
YERBİLİMLERİ

Bulletin for Earth Sciences

Cilt / Volume 38 Sayı / No 1 Nisan / April 2017

Editörler Kurulu / Editorial Board

Baş Editör (*Editor-in-Chief*)

ELİF VAROL MURATÇAY

Editör (*Editor*)

OKAY ALTUN

İNAN ULUSOY

Yardımcı Editör (*Assistant Editor*)

NURETTİN ALPER TOPRAK

Yayın Danışma Kurulu / Editorial Advisory Board (2016-2018)

Serdar Akyüz (İstanbul, Türkiye)
Musa Alpaslan (Mersin, Türkiye)
Ali İhsan Arol (Ankara, Türkiye)
Mehmet Arslan (Trabzon, Türkiye)
Faruk Aydın (Trabzon, Türkiye)
Nurgül Balcı (İstanbul, Türkiye)
Hakan Başarır (Perth, Avustralya)
A. Tuğrul Başokur (Ankara, Türkiye)
Hannes Bathke (Thuwal, S. Arabistan)
Celal Serdar Bayarı (Ankara, Türkiye)
Hasan Bayhan (Ankara, Türkiye)
Erdin Bozkurt (Ankara, Türkiye)
Osman Candan (İzmir, Türkiye)
Namık Çağatay (İstanbul, Türkiye)
Muazzez Çelik Karakaya (Konya, Türkiye)
Attila Çiner (İstanbul, Türkiye)
Ünal Dikmen (Ankara, Türkiye)
Kadir Dirik (Ankara, Türkiye)
Hakan Dünder (Ankara, Türkiye)
Murat Ercanoğlu (Ankara, Türkiye)

Hasan Ergin (İstanbul, Türkiye)
Gökhan Göktürkler (İzmir, Türkiye)
Şengül Can Genç (İstanbul, Türkiye)
Klaus Gessner (Perth, Avustralya)
Nilgün Güleç (Ankara, Türkiye)
Cüneyt Güler (Mersin, Türkiye)
Emine Aysun Güney (İstanbul, Türkiye)
Cahit Helvacı (İzmir, Türkiye)
Yusuf Kağan Kadioğlu (Ankara, Türkiye)
Doğan Kalafat (İstanbul, Türkiye)
Orhan Karslı (Rize, Türkiye)
Biltan Kürkçüoğlu (Ankara, Türkiye)
Halim Mutlu (Ankara, Türkiye)
Atike Nazik (Adana, Türkiye)
Faruk Ocakoğlu (Eskişehir, Türkiye)
Aral Okay (İstanbul, Türkiye)
Mehmet Akif Sankaya (İstanbul, Türkiye)
Gürol Seyitoğlu (Ankara, Türkiye)
Harun Sönmez (Ankara, Türkiye)

Hasan Sözbilir (İzmir, Türkiye)
Şevket Şen (Paris, Fransa)
Sabri Bülent Tank (İstanbul, Türkiye)
Orhan Tatar (Sivas, Türkiye)
Abidin Temel (Ankara, Türkiye)
Erhan Tercan (Ankara, Türkiye)
Cemal Tunoğlu (Ankara, Türkiye)
Okan Tüysüz (İstanbul, Türkiye)
Timur Ustaömer (İstanbul, Türkiye)
Ulvi Can Ünlügenç (Adana, Türkiye)
Bahtiyar Ünver (Ankara, Türkiye)
Keith T. Weber (Idaho, Amerika)
Hubert Whitechurch (Strasbourg, Fransa)
Hüseyin Yalçın (Sivas, Türkiye)
Mustafa Gürhan Yalçın (Antalya, Türkiye)
Namık Yalçın (İstanbul, Türkiye)
Ali Bahadır Yavuz (İzmir, Türkiye)
Sabah Yılmaz Şahin (İstanbul, Türkiye)
Galip Yüce (Ankara, Türkiye)

YERBİLİMLERİ Dergisi makale dizin ve özlery;

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
Fotoğrafi Çeken : Abidin TEMEL
Avanos (Nevşehir) TÜRKİYE

Cover

Design : Yağmur İNAL EMİROĞLU
Photographed by Abidin TEMEL
Avanos (Nevşehir) TURKEY

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): 28.04.2017

YERBİLİMLERİ

Bulletin for Earth Sciences

Cilt / Volume 38 Sayı / No 1 Nisan / April 2017

İÇİNDEKİLER CONTENTS

Kaletaş (Gümüşhane) Au Madeninde Cevher Yerleşimine Bağlı Gelişen Alterasyon Zonlarının Gamma Işın Spektrometresi ile Belirlenmesi: Örnek Bir Çalışma / Determination of Alteration Zones Developed With Mineralisation Settlement in Kaletaş (Gümüşhane) Au Mine Using Gamma Ray Spectrometry: A Sample Study
Nafiz MADEN, Yılmaz YİĞİT 1

Macun Dolgu Duraylılığının Ultrasonik P-Dalga Hızı ile Değerlendirilmesi / Assessment of the Durability of Paste Backfill Using P-Wave Velocity
Ferdi CİHANGİR 15

Abdüsselam Kısırılmış Tektonik Kaması: KB Orta Anadolu'da daralma rejimiyle ilişkili bir Geç Senozoyik yapısı / Abdüsselam Pinched Crustal Wedge: a Late Cenozoic structure related to the contractional regime in the NW Central Anatolia
Korhan ESAT, Gürol SEYİTOĞLU, Berkan ECEVİTOĞLU, Bülent KAYPAK 33

Termal Değişikliklerin Mermerlerde Renk ve Yüzey Pürüzlülüğüne Etkilerinin Belirlenmesi / Determination of Effects of Thermal Changes on Color and Surface Roughness at Marbles
Didem EREN SARICI, Engin ÖZDEMİR 57

Investigation of Probable Princes's Graves and Wall Remains In Alacahöyük Archaeological Site with Ground Penetrating Radar Method / Yer Radarı Yöntemi ile Alacahöyük Arkeolojik Alanındaki Olası Prens Mezarları ve Duvar Kalıntılarının Araştırılması
Aysel ŞEREN, Zeynep ÖĞRETMEN AYDIN, Ali Erden BABACAN 71

Sualtı Patlatmalarından Kaynaklı Titreşimlerin Yayılımında Derinlik Etkisinin Araştırılması / Investigation of Depth Effect for Underwater Blasting-Induced Vibrations Propagation
Bırol ALAS, Sadettin BAĞDATLI, Alp LÜLECİ, Hasan Ceyhun TÜRE 87

Palaeovegetational and Palaeoclimatic Changes During the Early Miocene in Central Taurus, Turkey / Orta Toroslar'da Erken Miyosen de Paleovejetasyon ve Paleoiklim Değişimleri, Türkiye
Demet BİLTEKİN 101

Kaletaş (Gümüşhane) Au Madeninde Cevher Yerleşimine Bağlı Gelişen Alterasyon Zonlarının Gamma Işın Spektrometresi ile Belirlenmesi: Örnek Bir Çalışma

Determination of Alteration Zones Developed With Mineralisation Settlement in Kaletaş (Gümüşhane) Au Mine Using Gamma Ray Spectrometry: A Sample Study

NAFİZ MADEN^{1*}, YILMAZ YİĞİT¹

¹Gümüşhane Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, 29100 Gümüşhane

Geliş (received) : 20 Haziran (June) 2016

Kabul (accepted) : 18 Kasım (November) 2016

ÖZ

Bu çalışmada Kaletaş (Gümüşhane, KD Türkiye) yöresinde toplam 198 noktada Potasyum (K), Uranyum (eU), Toryum (eTh) konsantrasyonu ve Doğal Doz Oranı değerleri Gamma Ray Spektrometre cihazı ile ölçülmüştür. Potasyum (K), Uranyum (eU), Toryum (eTh) ve Doğal Doz Oranı haritaları değerlendirildiğinde yüksek genlikli anomalilerin bozunmaya bağlı K zenginleşmesi gösteren kırık hatları boyunca yerleştiği görülmüştür. Yüksek genlikli K/eTh, K/eU ve efimov F-parametre (KeU/eTh) anomalileri hidrotermal çözeltilere bağlı bozunma zonlarına işaret etmektedir. Hızlı ve ekonomik bir yöntem olan gamma ray spektrometre yöntemi K bozunmasına bağlı cevher zonlarının belirlenmesinde kullanılabilir. Ayrıca, yüksek genlikli efimov F-parametre anomalileri potansiyel cevher sahalarını göstermekte olup sondaj noktaları olarak kullanılması mümkündür.

Anahtar Kelimeler: Doğu pontidler, gamma ray spektrometre, Gümüşhane, hidrotermal bozunma, Kaletaş, potasyum zenginleşmesi.

ABSTRACT

In this study, the Potassium (K40), Uranium (eU), Thorium (eTh) and total dose rates values in 198 stations were measured through a gamma-ray spectrometer in the Kaletaş area (Gümüşhane, NE Türkiye) It is seen that the high amplitude anomalies are located through the fault lines related to the potassium enrichment by evaluating the K, eU, eTh, total dose rate maps. High level K/eTh, K/eU and Efimov F-Parameter (KeU/eTh) anomalies showed the alteration zones related to hydrothermal ore solutions. The gamma ray spectrometry, which is fast and economics method, might be used for estimation of mineralisation zones associated with the K alteration. Also, the high Efimov F-Parameter anomalies denote the prospective ore zones and could be used the mine drilling points.

Keywords: Eastern Pontides, gamma ray spectrometer, Gümüşhane, hydrothermal alteration, Kaletaş, potassium enrichment.

*N. Maden

e-posta: nmaden@gumushane.edu.tr

GİRİŞ

Hidrotermal bozunmaya bağlı metalik maden yataklarının aranmasında Gamma ray spektrometre yaygın olarak kullanılan yöntemlerden birisidir (Grasty ve Shives, 1997; El-Sadek, 2009; Abd El Nabi, 2013; Maden ve Akaryalı, 2015; Yiğit ve Maden, 2016; Maden ve Kahveci 2016). Bu yöntemin esasını belirli enerji aralığındaki (0-3 MeV) yeryüzü kaynaklı gamma radyasyonunun ölçülmesi oluşturmaktadır. Bu radyasyonunun kaynağı doğal olarak yer kabuğunda bulunan uranyum (U), toryum (Th), potasyum (K) ve rubidyum (Rb) gibi elementlerdir (Wallin, 1984; Aydın, 1994; Aydın, 2005).

Shives vd. (2000) hidrotermal bozunmalara bağlı polimetallik volkanik masif sülfidler (VMS), magmatik hidrotermal Au-Co-Cu-Bi-W-As yatakları ve porfiri tip Cu-Au-(Mo) yatakları arasındaki ilişkiyi ortaya koymak için bu yöntemi kullanmışlardır. Bu araştırmacılar hidrotermal bozunma ile düşük eTh/K oranı arasında doğrusal bir ilişki olduğunu tespit etmişlerdir.

Kanada da Gross (1952) tarafından yapılan bir çalışmada, derinlik ve yarı derinlik kayaçları ile civarındaki yüksek radyoaktif zonların altın içeriği açısından önemli bir potansiyel oluşturduğunu ortaya konmuştur. Mısır'daki Um Salim Altın madeninde radyometrik araştırma yapan El-Sadek (2009) altın cevherleşmesi ile düşük eU/eTh, eU/K ve eTh/K oranı değerleri arasındaki ilişkiyi tespit etmiştir. Abd El Nabi (2013) Ashanti altın kuşağında (Gana) K, K/eTh, K/eU ve Efimov F-parametre ($K \times U/Th$; Efimov, 1978) haritalarında gözlemlenen yüksek genlikli anomalilerin potasyum zenginleşmesi ile ilişkili olduğunu öne sürmüştür.

Arzular (Gümüşhane) yöresinde Maden ve Akaryalı (2015) tarafından yapılan bir çalışmada hidrotermal bozunma zonlarının dairesel şekilli yüksek genlikli eU, eTh and K (%) anomalilerine karşılık geldiğini tespit edilmiştir. Epitermal altın yataklarında potasyum zenginleşmesi yüksek genlikli K/eTh oranı değerleri ile ilişkili olduğu ortaya konulmuştur (Kahveci, 2014; Yiğit, 2014; Yiğit ve Maden, 2016).

Gümüşhane ve çevresinde yer alan Mastra Au, Arzular Au, Ünlüpinar Pb-Zn, Altınpinar, Midi Zn-Pb, Kaletaş, Olucak, Kırkpavli ve Hazine Mağara Cu (Au, Ag) gibi maden sahaları üzerinde bölgenin jeolojisi, tektoniği ve ekonomik maden yatakları konusunda çok sayıda çalışma yapılmıştır (Adamia, vd., 1977; Şengör ve Yılmaz, 1981; Yalçınalp, 1992; Bektaş ve Gü-

ven, 1995; Tüysüz vd., 1995; Lermi, 1996; Çubukçu, 1998; Çiftçi, 2000; Lermi, 2003; Akaryalı, 2010; Eyüboğlu, 2010; Aslan, 2011; Akaryalı ve Tüysüz, 2013; Akbulut, 2014; Akbulut vd., 2015; Maden ve Akaryalı, 2015; Akaryalı ve Akbulut, 2016; Akaryalı, 2016; Yiğit ve Maden, 2016).

İlk kez MTA tarafından tespit edilen Kaletaş sahasında Eosen yaşlı volkanotortul kayaçlar içinde silisifiye zonda 1- 9 gr/t Au tespit edilmiştir (Güner vd., 1999). Altın potansiyelinin araştırılması için 1996 yılında başlatılan sondaj çalışmaları 1998 yılında tamamlanmış sahada 13 lokasyonda 15 adet toplam 1725.65 m. sondajlı fizibilite çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Yapılan bu çalışmalar sonucunda sahada 5.4 m kalınlıkta, ortalama 3.31 g/t Au tenörlü 116.150 ton görünür, 3.37 g/t Au tenörlü 246.314 ton muhtemel olmak üzere, 3.35 g/t Au tenörlü 362.464 ton toplam rezerv belirlenmiştir. Sahanın mümkün rezervi ise 3.27 g/t Au tenörlü 400.138 ton olarak bulunmuştur (Güner vd., 1999).

Tüysüz vd. (1994) yaptıkları çalışmalarında sahayı ada yaylarında gelişmiş Carlin tipi altın cevherleşmelerine ilk örnek olarak belirtmişlerdir. Pontid ada yayında ilk defa Carlin tipi bir altın zuhurunun bulunması, bu tip yatakların sadece kıtasal ortamlara özgü olmadığını, ada yaylarında da oluşabileceğini göstermektedir. Çubukçu (1998) ise altının mikroskopta görülmeyecek kadar küçük tane boyutunda olması, tüfitlerin içinde bulunması ve yoğun orpiment-realgar yığılması içermesi nedeniyle sedimanter tip (Carlin tipi) bir cevherleşme olduğunu belirtmiştir.

Bu çalışma ile altın cevherleşmesi içeren kırık ve fay zonları gibi jeolojik yapıların belirlenmesi; kırık zonlarında bozunmaya bağlı olarak gelişen cevherleşmelerin yoğunlaştığı bölgeler ile sondaj yerlerinin tespit edilmesi hedeflenmektedir. Buna bağlı olarak çalışma kapsamında elde edilen bulguların yararlanarak Kaletaş (Gümüşhane) sahasında (Şekil 1) yer alan cevherleşme zonunda detay arama çalışmalarının yapılacağı hedef alanlarının Gamma ray spektrometre yöntemi ile tespit edilmesi bu çalışmanın amacını oluşturmaktadır.

YÖNTEM

Bu çalışmada, Kaletaş (Gümüşhane) yöresinde gözlenen hidrotermal bozunmaya bağlı cevherleşmeleri belirlemek amacıyla 198 noktada yüksek duyarlılıklı NaI(Tl) kristalli, 512 kanallı, 4 pencereci gamma ray

spektrometre cihazı ile ölçümler alınmıştır. Doğal olarak yer kabuğunda bulunan K, U, ve Th gibi radyoaktif elementlerin yüzeydeki dağılımı Gamma Ray spektrometre yöntemi ile oldukça hızlı ve ekonomik olarak ölçülebilmektedir. Ölçüm noktaları jeolojik ve tektonik yapıya dik doğrultuda tespit edilmiştir. Sensörün bulunduğu dedektör ölçüm sırasında doğru- dan düz bir kayacın taze mostrası üzerine yerleştirilmiştir. Böylece ölçüm boyunca arazide 2π geometri sağlanmıştır. Ayrıca ölçümleri etkileyebilecek çevre gürültülerden uzak durulmuştur (Loevborg vd., 1971; Ray vd., 2008). Ölçüm süresi ortamdaki radyasyon yoğunluğu ve ölçümün doğruluğuna göre ayarlanmıştır. Özel durumlarda geleneksel olarak ölçüm zamanı gerekli hassasiyetin sağlanması amacıyla deneysel olarak seçilebilir. Bu çalışmada her bir ölçümün süresi 60 sn olarak tespit edilmiştir. Daha kısa ölçüm süreleri ulaşılan sonuçların kararlılığını azaltmaktadır (IAEA, 2003).

Sayımlar 1.46, 1.76 ve 2.62 MeV olmak üzere üç kanaldan yapılmıştır. Bu kanallar sırasıyla K, U, ve Th radyoizotoplarına karşılık gelmektedir. Ölçümlerde ^{238}U ve ^{232}Th aktiviteleri sırasıyla ^{214}Bi ve ^{208}Tl izotoplarından elde edilmiştir. ^{40}K aktivitesi doğru- dan 1.460 MeV emisyon değerinden belirlenmiştir (Ray vd., 2008; IAEA, 2003). Yapılan ölçümler sonucunda elde edilen K, eU, eTh konsantrasyon değerleri ile K/eU, K/eTh, eU/eTh, eTh/eU oranları ve Efimov F-parametre (KeU/eTh; Efimov, 1978) haritaları oluşturulmuştur. Bu haritalar üzerindeki ortalama değer- den farklı olan anomaliler değerlendirilerek Kaletaş yöresinin hidrotermal bozunmaya bağlı cevherleşme potansiyeli bu yöntemle ilk kez değerlendirilecektir. Ölçümler sahada geniş bir alanda yüzeyleme veren aynı zamanda sahadaki altın cevherleşmesine ev sahipliği yapan andezit-bazalt ve piroklastlarından oluşan ve Gümüşhane yöresinde ilk kez Tokel (1972) tarafından adlandırılmış olan Alibaba Formasyonu üzerinde gerçekleştirilmiştir.

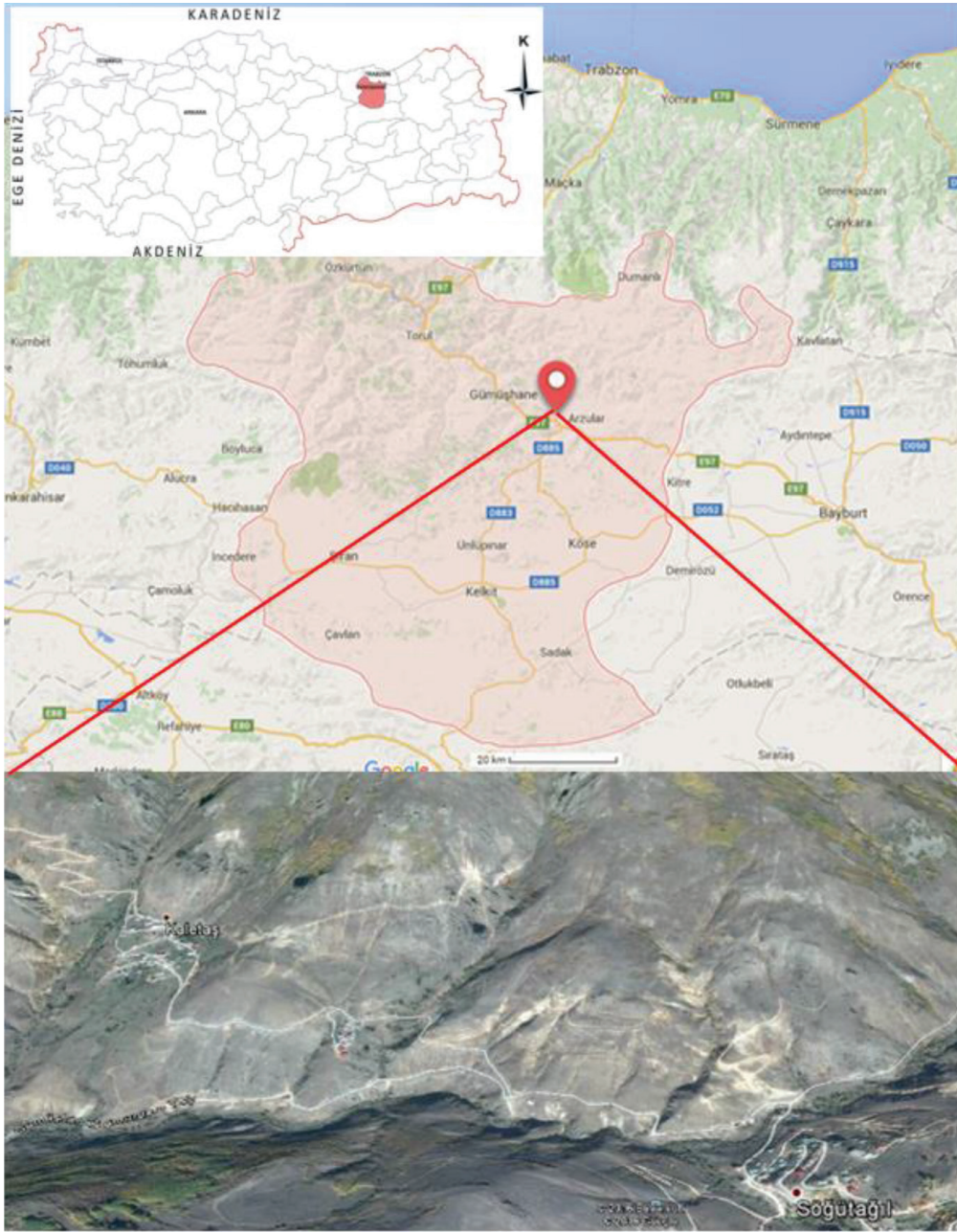
JEOLJİK YERLEŞİM

Doğu Pontid Tektonik Birliği, bölgede gözlenen kayaçların sedimentolojik, tektonik ve magmatik özelliklerine bağlı olarak Kuzey, Güney ve Eksen zonu olmak üzere üç alt birliğe ayrılabilir (Eyüboğlu vd., 2006). Kuzey zon genel olarak Geç Kretase yaşlı volkanikler, Tersiyer yaşlı volkanikler, granitik ve gabroyik kayaçlar ile temsil edilmektedir (Aydıncakır, 2014; Kaygusuz vd., 2014; Eyüboğlu vd., 2015). Güney Zon,

başlıca Geç Karbonifer yaşlı Gümüşhane ve Köse Granitoidlerini (Topuz vd., 2010; Dokuz, 2011), ultramafik intruzyonları (Eyüboğlu vd., 2010), Mesozoyik ve Tersiyer yaşlı sedimanter kayaçları, Pulur, Ağvanis ve Tokat metamorfik masiflerini, Geç Kretase yaşlı şoşonitik ve ultrapotasik volkanikleri, Erken Eosen yaşlı adakitik intruzyonları (Topuz vd., 2005; Karslı vd., 2010; Eyüboğlu vd., 2011a ve b; Eyüboğlu vd., 2015) Orta-Geç Eosen yaşlı bazaltik-andezitik volkanik kayaçları içine alır (Eyüboğlu vd., 2010). Pontidler ile Torid arasında geçişi temsil eden eksen zon ise geniş ultramafik kütleler ile Orta-Geç Kretase yaşlı ofiyolitik melanj ile karakteristiktir (Eyüboğlu vd., 2015).

Kaletaş, Doğu Pontid Tektonik Birliğinin Güney Zonunda (Şekil 2) yer almaktadır (Bektaş vd., 1995). Çalışma alanında yayılım gösteren birimler yaşlıdan gence doğru; Alibaba Formasyonu (Erken Eosen), Kaletaş Granitoidi (Geç Eosen) ve Traverten (Kuvaterner) şeklinde sıralanmaktadır (Şekil 3). Alibaba Formasyonunda gözlenen andezit ve andezitik tüflerin genelde yeşilimsi griden açık beje kadar değişen renklerde gözlendiği, söz konusu birimlerin içindeki kırık zonları ve çevresinde hidrotermal alterasyon ürünü olarak silisleşme, killeşme, limonitleşme, kalsitleşme ve kloritleşmenin olduğu tespit edilmiştir (Akaryalı vd., 2015). İnce kesit incelemeleri sonucu andezitlerin ve andezitik tüflerin mikrolitik ve mikrolitik porfirik dokuda olduğu, plajiyoklas, amfibol ve opak minerallerden olduğu hamurun ise plajiyoklas, amfibol ve alterasyon minerallerinin mikro kristallerinden olduğu belirlenmiştir. Sahadaki cevherleşmeye ev sahipliği yapan volkanik kayaçların ana ve iz element sonuçlarından oluşturulan Nb/Y'ye karşı $\text{Zr}/\text{TiO}_2 \times 0.0001$ kimyasal adlandırma diyagramına (Winchester ve Floyd, 1976) göre andezit, bazaltik trakiandezit ve trakiandezit alanında yer aldığı; Nb'ye karşı Nb/Th olarak çizilen tektonik ayırtman diyagramına göre (Pearce ve Cann, 1973) yay volkanitlerine ait olduğu; AFM üçgen diyagramına (Irvine ve Baragar, 1971) göre volkanitlerin ise kalk-alkali karaktere sahip olduğu ortaya konmuştur (Atay, 2016). Çalışma sahasında Eosen yaşlı Alibaba Formasyonu inceleme alanında gözlenmeyen Geç Kretase yaşlı Kermutdere Formasyonu üzerine uyumsuz olarak gelmektedir. Alibaba Formasyonunu keserek yerleşen Kaletaş Granitoidin (Karslı vd., 2007) üst sınırını uyumsuz olarak travertenler örtmektedir (Atay, 2016; Yiğit, 2014).

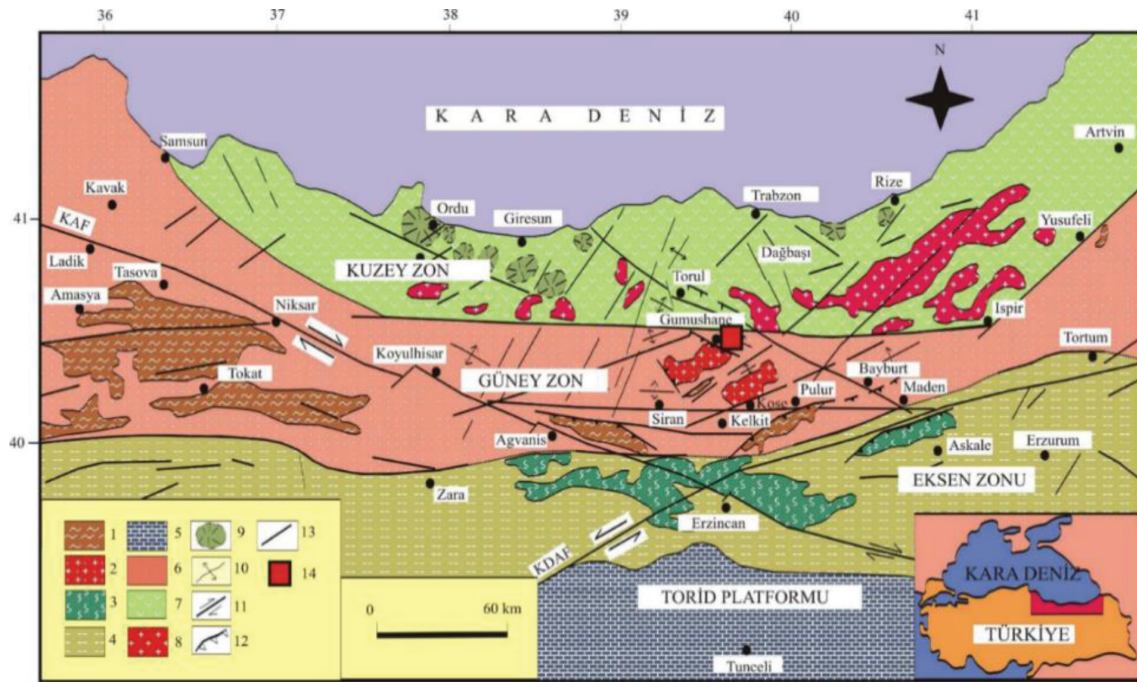
Hersinyen ve Alpin dağ oluşum hareketlerinin yoğun etkisi altında kalmış olan Gümüşhane yöresinde



Şekil 1. Çalışma alanının yer bulduru haritası.
Figure 1. Location map of the study area.

bu tektonik hareketlere bağlı olarak çeşitli tabakalar, uyumsuzluklar gelişmiştir. Doğu Pontid Güney Zonunda KD-GB, KB-GD ve D-B doğrultulu 3 farklı kırık sistemi tespit edilmiştir (Bektaş vd., 1995; Eyüboğlu vd., 2006). Kaletaş sahasındaki mineralizasyon, tektonik kırık hatları ile yakın ilişkili olup özellikle kırık hatları boyunca kayalarda yoğun hidrotermal bozunma izlenmektedir (Şekil 4). Kaletaş yöresindeki gri pembemsi renkli granitler oldukça çatlaklı, dik bir

topoğrafyaya sahiptir. Çatlaklar KD-GB, KB-GD ve D-B olmak üzere bölgenin tektonik yapısına uygun olarak üç doğrultuda gelişmişlerdir. Genellikle kil ile dolgulu olan çatlak açıklıkları 2 mm'den birkaç cm boyutuna kadar değişmektedir. Makroskobik olarak plajiyoklas, kuvars ve amfibol mineralleri rahatlıkla görülebilmektedir. Kaletaş altın cevherleşmesi Eosen yaşlı andezit, andezitik tüf-tüfitleri içinde, KB-GD doğrultulu tektonik hatlar boyunca silisli çözellilerle



Şekil 2. Doğu Pontidler'in başlıca tektonik ve litolojik birlikleri. (1) Paleozoyik metamorfik taban, (2) Paleozoyik granitleri, (3) Manto peridotitleri, (4) Genellikle Mesozoyik ve Senozoyik kayalar, (5) Karbonatlar, (6) Başlıca Mesozoyik ve Senozoyik sedimanter kayalar, (7) Geç Kretase ve Eosen yaşlı yay volkanikleri, (8) Eosen granitleri, (9) Kaldere veya dom, (10) Kıvrım eksenini, (11) Doğrultulu atımlı fay, (12) Bindirme fayı, (13) Tanımlanmamış fay (14) Çalışma alanı (Eyüboğlu vd. 2006).

Figure 2. Main geological features and tectonic zones of the eastern Pontides orogenic belt. (1) Paleozoic metamorphic basement, (2) Paleozoic granites, (3) Mantle peridotites, (4) Mesozoic and Senozoic rocks, (5) Carbonates, (6) Mesozoic and Senozoic sedimentary rocks, (7) Late Cretaceous and Eocene aged arc volcanics, (8) Eocene granites, (9) Caldera or dome, (10) fold axis, (11) Strike-slip fault, (12) thrust fault, (13) undifferentiated fault (14) study area (Eyüboğlu et al., 2006).

oluşmuştur (Çubukçu, 1998).

BULGULAR VE TARTIŞMA

Kaletaş yöresindeki bozunmaya bağlı cevherleşmeleri belirlemek için 198 noktada gamma ray spektrometre ölçümleri alınmıştır. Bu ölçümler sonucunda K, eU, eTh konsantrasyon haritaları ile K/eU, K/eTh, eU/eTh, eTh/eU oran haritaları ve efimov F parametre haritası hesaplanmıştır.

Şekil 5'te potasyum (K) konsantrasyon haritasında potasyum değerlerinin 0-6.84 % değerleri arasında değiştiği ve anomalilerin KB-GD doğrultulu kapanımlar verdiği görülmüştür. Çubukçu (1998) bu sahada tespit edilen fayların bozunmalarla yakından ilişkili olduğunu ortaya koymuş ve gelişen bu fayları mineralleşme öncesi ve mineralleşme sonrası olmak üzere iki grupta sınıflandırmıştır. Diğer yandan, Sipahi (2005), Sipahi ve Sadıklar (2010), Akaryalı (2010) inceleme alanında görülen bozunmaya bağlı potasyumun kaynağının biyotit,

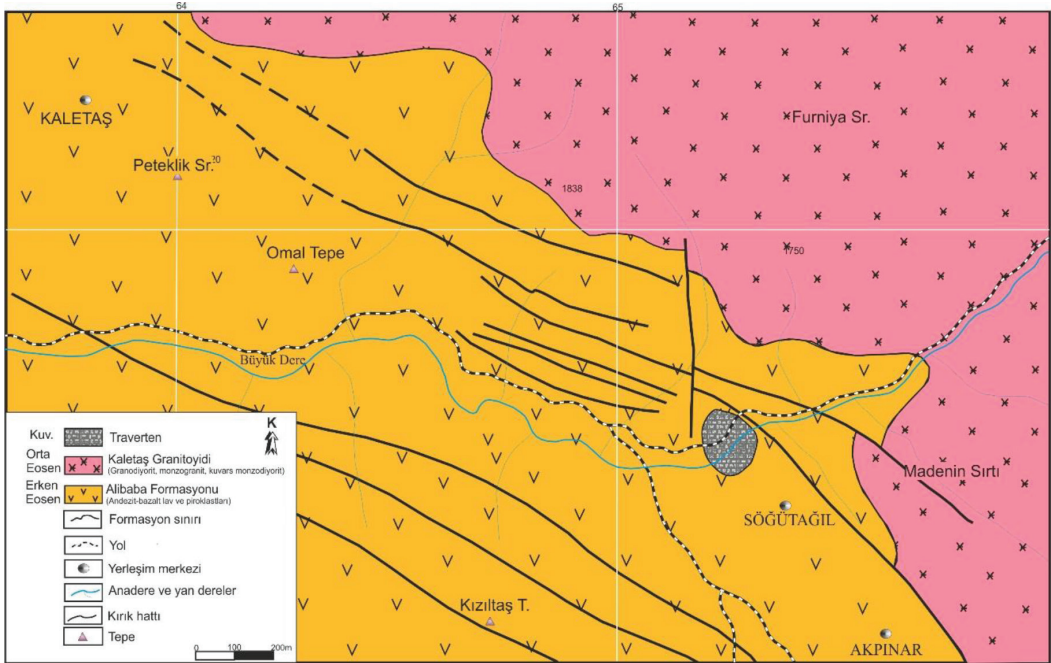
amfibol veya potasyumlu feldspat mineralleri olabileceğini ileri sürmüşlerdir. Çalışma sahasına ait jeolojik ve yapısal verilerle (Şekil 4) birlikte değerlendirme yapıldığında KB-GD doğrultulu silisifiye zon içeren kırık hattı ile K konsantrasyonlarının yoğunlaştığı anomali doğrultularının çakıştığı açıkça görülecektir. Bu durum cevherleşme ile faylanma ve potasyum miktarı arasında pozitif bir ilişkinin varlığını açıkça göstermektedir.

Çalışma alanına ait eU konsantrasyon değerleri tek bir kapanımdan oluşan kısa dalga boylu tek bir anomali şeklinde gözlenmektedir (Şekil 6a). eTh konsantrasyon değerleri ise sahada kısa dalga boylu dört farklı anomali kapanımı şeklinde haritanın merkezine yerleşmiştir (Şekil 6b). En yüksek eU ve eTh konsantrasyon değerleri sırasıyla 58.85 ppm ve 28.07 ppm olarak ölçülmüştür. Attendorn ve Bowen (1994), U ve Th zenginleşmesini granitik plütonların yerleşimi esnasındaki sıvı hareketleriyle ilişkilendirmiştir. Bieda ve Lizurek (2008) ise yüksek Th değerlerinin sebebinin granitik kayaların bileşimine etki eden

Senezoik	Üst Sistem			Litoloji	Açıklamalar
	Sistem		Formasyon		
	Kuv.	Seri			
	Neojen	Orta Eosen	Alibaba		
				Traverten	
				Granit	
				Andezit-bazalt ve piroklastları	
				Ölçeksizdir	

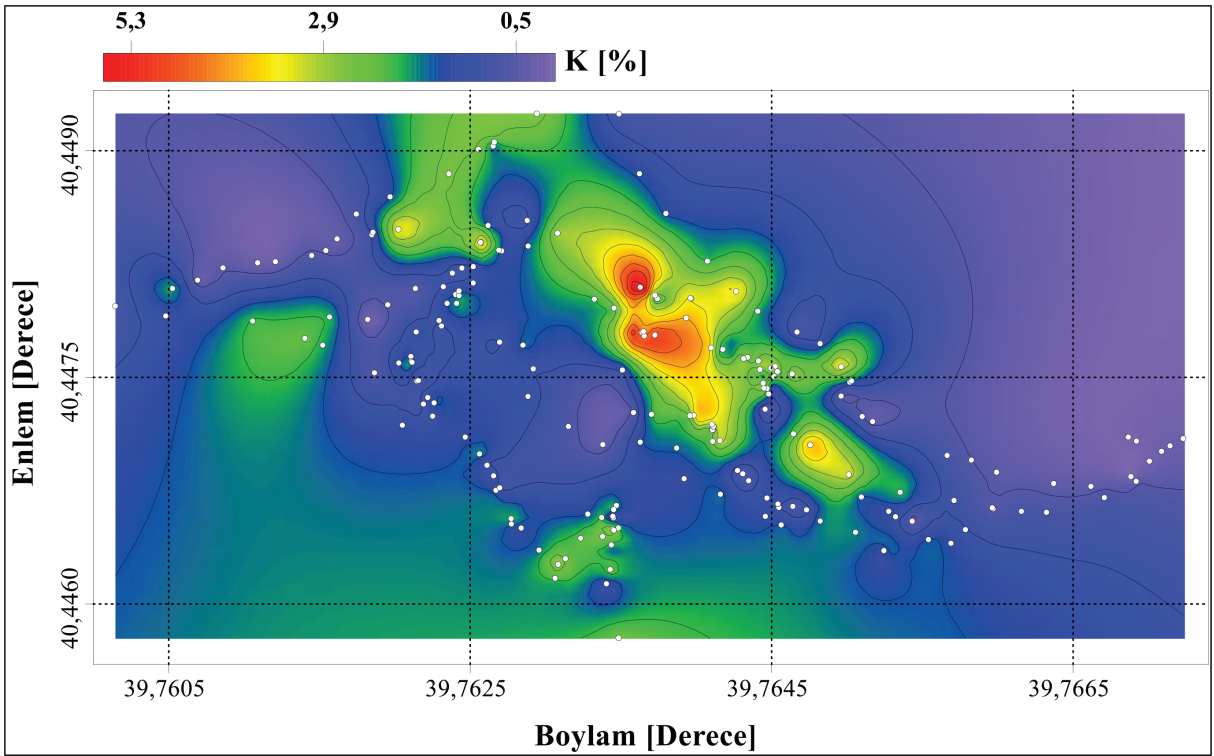
Şekil 3. Kaletaş (Gümüşhane) yöresine ait stratigrafik kolon kesit (Güner ve Yazıcı, 2011 ve Atay, 2016'dan değiştirilerek).

Figure 3. Stratigraphic column sections of Kaletaş (Gümüşhane) area (after from Güner and Yazıcı, 2011; Atay, 2016).



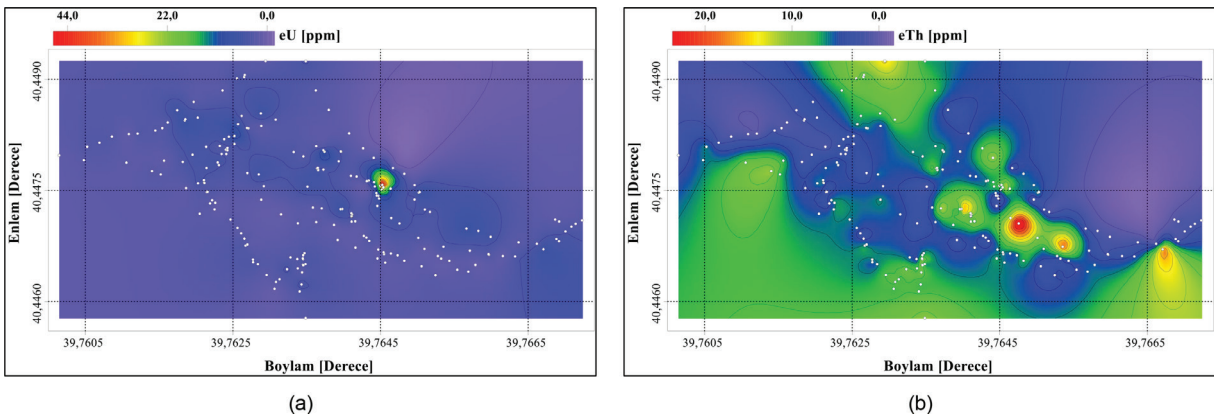
Şekil 4. Kaletaş alterasyon sahasının jeoloji haritası (Çubukçu, 1998; Güner ve Yazıcı, 2011 ve Atay, 2016'dan değiştirilerek).

Figure 4. The geological map of the Kaletaş alteration area (after from Çubukçu, 1998; Güner and Yazıcı, 2011; Atay, 2016).



Şekil 5. Kaletaş yöresine ait K40 (%) değerleri anomali haritası.

Figure 5. Potassium (K, %) contour map of the Kaletaş area.



Şekil 6. Kaletaş yöresine ait eU (ppm) (a) ve eTh (b) konsantrasyon değerleri anomali haritası.

Figure 6. Equivalent Uranium (eU, ppm; a) and equivalent Thorium (eTh, ppm; b) concentration value maps of the Kaletaş area.

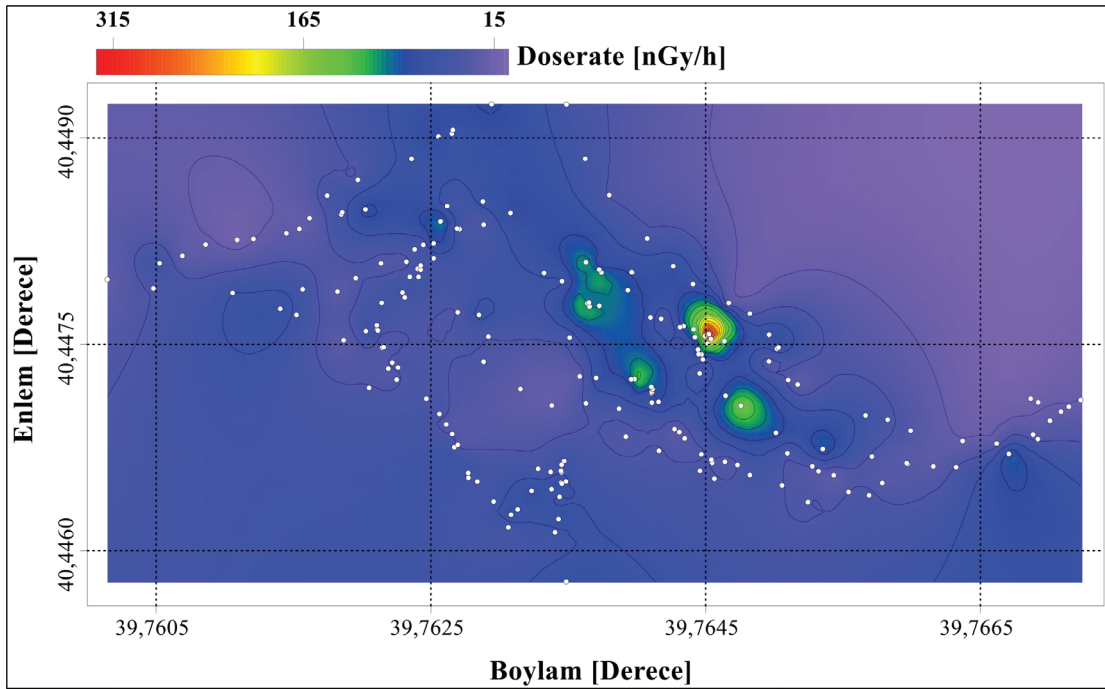
ısıllı metamorfizma ve metazomatik işlemler olduğunu ileri sürmüştür. Erkül vd. (2016) U, Th ve K gibi radyoaktif elementlerin zenginleşmesine hidrotermal bozunma ve metamorfizmayı sebep göstermişlerdir. Buradan eU ve eTh haritalarında (Şekil 6a ve 6b) kırık hatlarına paralel olarak yerleşen anomalilerin hidrotermal bozunma, metamorfizma, yüzeye çevher taşıyan çözeltilerle ilişkili olduğunu söyleyebiliriz.

Çevresel radyasyon değerlerini gösteren doz oranı değerlerinin KB-GD yönlü olarak 10.28 nGy/h ile 388.79 nGy/h arasında değiştiği görülmektedir (Şekil 7). En yüksek değerlere sahip doz oranı anomalilerinin ikisi dairesel, biri elips olmak üzere üç tanedir.

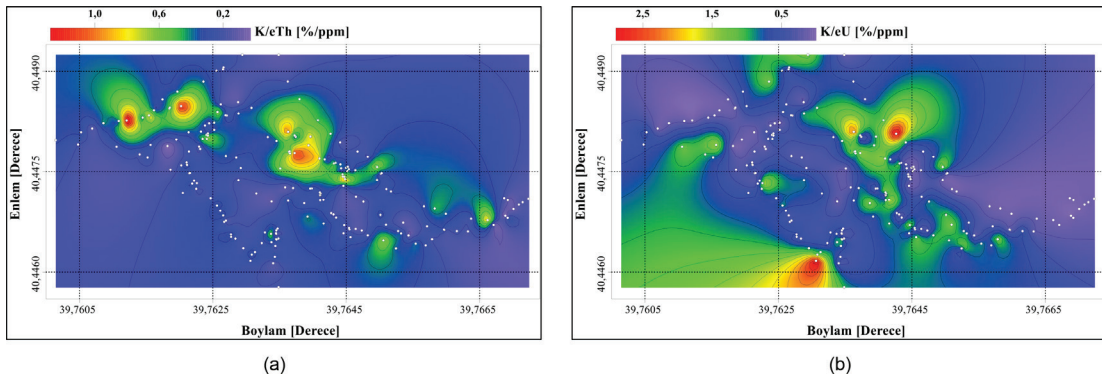
Hareketli bir element olan potasyum çoğu kayacın bünyesinde yer alırken, hareketsiz element olan

uranyum ve toryum kayaların bünyelerinde eser miktarda bulunmaktadır. Hidrotermal sistemlere bağlı oluşan bozunma toryuma oranla daha fazla uranyum zenginleşmesine sebep olur. Toryum elementi, potasyum ve uranyum elementlerinin aksine bozunma işleminden aynı derecede etkilenmez. Bu bize K/eTh ve eU/eTh oranları cevherleşme alanlarının belirlenmesine imkân sunar (Shives vd., 2000; Dickson ve Scott, 1997). Şekil 8a'da Kaletaş yöresine ait K/eTh (%/ppm) oran haritasında gözlemlenen uzun dalga boylu KD-GB yönlü üç farklı anomali ile

Şekil 8b'de izlenen K/eU (%/ppm) oran haritasındaki anomalilerin Şekil 4'te yer alan kırık hatlarına paralel olarak uzandığı izlenmektedir. En yüksek K/eTh ve K/eU değerleri sırasıyla 1.5 %/ppm ve 6.8 %/ppm olarak hesaplanmıştır. Çalışma alanı için hesaplanan eTh/eU oran değerleri D-B yönlü kısa dalga boylu yedi farklı anomali kapanımından oluşmaktadır (Şekil 9a). Bu anomalilerin kuzeyinde daha uzun dalga boylu iki farklı anomali kapanımı görülmektedir. En yüksek eTh/eU değeri 12.3 olarak hesaplanmıştır. Şekil 9b'de verilen eU/eTh oranı haritasında en yüksek



Şekil 7. Çalışma alanının Doğal Doz Oranı (nGy/h) anomali haritası.
Figure 7. The natural dose rate anomaly map of the study area.



Şekil 8. Çalışma alanına ait K/eU (%/ppm; a) ve K/eTh (%/ppm; b) değerleri anomali haritası.
Figure 8. Potassium/Equivalent Uranium (K/eU, %/ppm; a) and Potassium/Equivalent Thorium (K/eTh, %/ppm; b) value anomaly map of the study area.

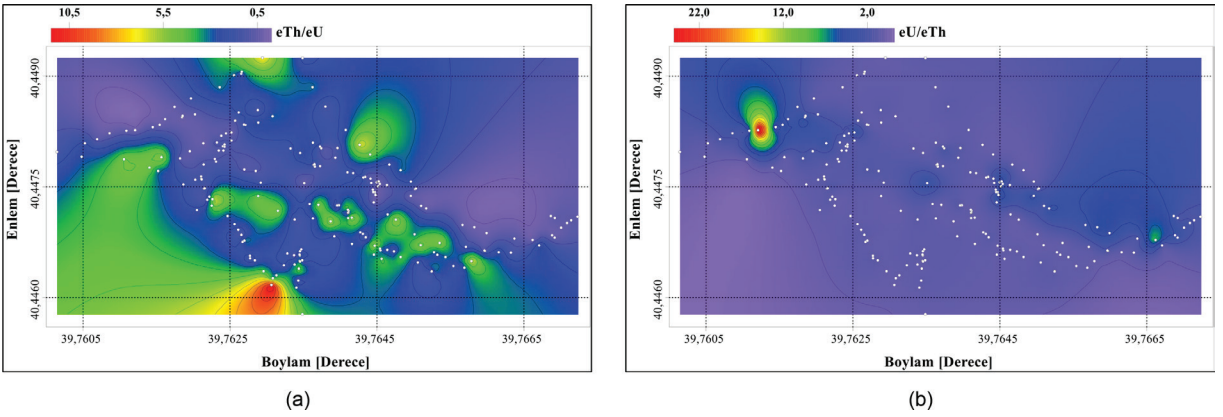
anomali değerlerinin haritanın sol üst köşesinde KB-GD doğrultulu uzanan kapanım verdiği saptanmıştır. En yüksek eU/eTh değeri 30.3 olarak hesaplanmıştır.

Kaletaş yöresine ait Efimov F-parametre haritasında yer alan anomalilerinin KB-GD doğrultulu olarak uzandığı ve kısa dalga boylu, yüksek genlikli üç farklı anomali kapanımından oluştuğu görülmektedir (Şekil 10). Bu üç farklı anomali bölgesi en yüksek potasyum zenginleşmesini ifade etmekte ve hidrotermal

çözellilerle yüzeyde oluşan cevherleşmelerin yerlerini göstermektedir.

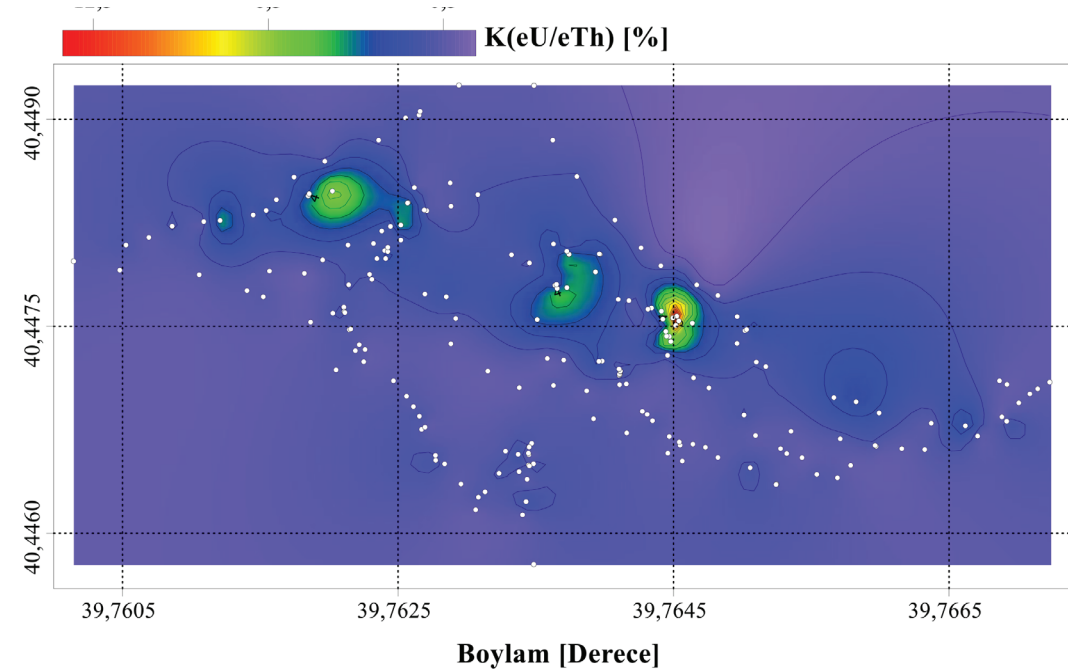
SONUÇLAR

Kaletaş cevherleşme sahasında yapılan Gamma Işını Spektrometre ölçümleri sonucunda elde edilen K, eU, eTh ve Doğal Doz Oranı ile bunlara ait oran haritaları birlikte değerlendirilerek inceleme alanında olası metal cevher mineralizasyonu ortaya konulmaya



Şekil 9. Kaletaş yöresine ait eTh/eU (a) ve eU/eTh (b) değerleri anomali haritası.

Figure 9. Equivalent Thorium/ Equivalent Uranium (eTh/eU; a) and Equivalent Uranium/ Equivalent Thorium (eU/eTh; a) value anomaly map of the Kaletaş area.



Şekil 10. Kaletaş yöresine ait Efimov F-parametre ($K \times eU/eTh$, %) değerleri anomali haritası.

Figure 10. F-parameter of Efimov ($K \times eU/eTh$, %) value anomaly map of the Kaletaş area.

çalışılmıştır. Bozunmaya bağlı olarak görülen potasyum zenginleşmesini belirlemek için kullanılabilecek en hızlı ve kolay yöntem Gamma ray spektrometre tekniğidir. Yapılan çalışma detay inceleme yapılacak hedef alanların tespitinde yol gösterici olmuştur. Sahada ölçülen en yüksek K, eU, eTh ve bunlara ait oran haritalarında ortaya çıkan anomaliler hidrotermal bozunma zonları ile ilgilidir. KB-GD doğrultulu bu anomalilerin yönü Doğu Pontidler'in jeodinamik gelişiminde ve buna bağlı olarak epitermal altın yataklarının yerleşiminde etkili olan bölgesel kırık sistemlerine paraleldir. Hidrotermal çözeltilerle yüzeye ulaşan potasyum zenginleşmesinin en yüksek olduğu yerler Altın cevherleşmelerine karşılık gelmekte olup en iyi şekilde Efimov F-parametre haritasında temsil edilmektedir. Sahada tespit edilen bu bölgeler detay çalışma ve sondaj yerleri olarak kullanılabilir.

KATKI BELİRTME

Yazarlar, bu çalışmanın ortaya çıkmasında değerli görüşlerinden yararlanan Dr. Enver AKARYALI'ya; jeolojik harita ve kesitlerin hazırlanmasında gösterdiği özverileri nedeniyle Dr. Mehmet Ali GÜCER'e; veri toplanması aşamasında yardımlarından dolayı Ayhan BULŞU'ya; makale değerlendirme sürecinde gösterdikleri ilgi nedeniyle Yerbilimleri Dergisi Editörlüğüne; makalenin kalitesinin artırılmasına yapıcı eleştirileriyle katkı koyan Dr. Sibel TATAR ERKÜL ve Dr. Abdurrahman LERMİ'ye teşekkür ederler.

KAYNAKLAR

- Abd El Nabi, S.H., 2013. Role of γ -ray spectrometry in detecting potassic alteration associated with Um Ba'anib granitic gneiss and meta-sediments, G. Meatiq area, Central Eastern Desert, Egypt, *Arabian Journal of Geosciences*, 6, 1249-1261.
- Adamia, S., Lordkitanidze, M.B. ve Zakariadze, G.S., 1977. Evaluation of an Active Continental Margine as Exemplified by the Alpine History of Caucasus, *Tectonophysics*, 40, 183-189.
- Akaryalı, E., 2010. Arzular (Gümüşhane KDTürkiye) Altın Yatağının Jeolojik, Mineralojik, Jeokimyasal ve Kökensele İncelenmesi, Doktora Tezi, KTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Akaryalı, E., Tüysüz, N., 2013. The genesis of the slab window-related Arzular low-sulfidation epithermal gold mineralization (Eastern Pontides, NE Turkey), *Geoscience Frontiers*, 4(4), 409-421.
- Akaryalı, E., Atay, U., Aydınçakır, E., Gücer, M.A., Türk, E., 2015. Mass Change Calculation of Hydrothermal Alteration In Kaletaş-Söğütağlı Area (Gümüşhane, NE Turkey), *World Multidisciplinary Earth Sciences Symposium*, Prague, 232 p.
- Akaryalı, E., 2016. Geochemical, fluid inclusion and isotopic (O, H and S) constraints on the origin of Pb-Zn \pm Au vein-type mineralizations in the Eastern Pontides Orogenic Belt (NE Turkey), *Ore Geology Reviews*, 74, 1-14.
- Akaryalı, E., Akbulut, K., 2016. Constraints of C-O-S isotope compositions and the origin of the Ünlüpınar volcanic-hosted epithermal Pb-Zn \pm Au deposit, Gümüşhane, NE Turkey, *Journal of Asian Earth Science*, 117, 119-134.
- Akbulut, K., 2014. Ünlüpınar (Kelkit-Gümüşhane) Eylence yayla Pb-Zn-Cu \pm Au Cevherleşmesinin Jeolojik, Mineralojik ve Kökensele İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gümüşhane Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gümüşhane, 73s.
- Akbulut, K., Akaryalı, E., Akpınar, İ., ve Aydınçakır, E., 2015. Ünlüpınar (Kelkit- Gümüşhane) Pb-Zn \pm Au Cevherleşmesinin Jeolojik, Jeokimyasal ve Kökensele Olarak İncelenmesi, Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi (GUFBED), 5, 34-49.
- Aslan, N., 2011. Mastra (Gümüşhane) Yatağı'nın Jeolojik, mineralojik ve Jeokimyasal Özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, KTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Atay, U., 2016. Kaletaş-Söğütağlı-Akpınar (Gümüşhane) Yörelere Hidrotermal Alterasyonların Modellemesi, Yüksek Lisans Tezi, Gümüşhane Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gümüşhane.
- Attendorn, H.G. ve Bowen, R., 1994. *Isotopes in the Earth Sciences*. Amsterdam, the Netherlands, Springer.
- Aydın, İ., 1994. Çorlu Yöresinde Manyetik Yöntem ve Gamma Işını Spektrometrisi ile Petrol ve Doğal Gaz Aramaları, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Aydın, İ., 2005. Jeofizikte Radyometrik Yöntem ve Gamma Işın Spektrometrisi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Yayın No:49, Isparta.

- Aydınçakır, E., 2014. The Petrogenesis of Early-Eocene non-adakitic volcanism in NE Turkey: Constraints on geodynamic implications, *Lithos*, 208, 361-377.
- Bektaş, O. ve Güven, İ.H., 1995. Alaskan Aphinitic Type Ultramafic and Mafic Complexes as the Root Zone of the Eastern Pontide Magmatic Arc (NE 48 Turkey), *Geology of the Black Sea Region*, 189-196. Ankara.
- Bektaş, O., Yılmaz C., Tasli K., Akdag, K., Ozgur, S., 1995. Cretaceous rifting of the eastern Pontide carbonate platform, NE Turkey, the formation of carbonate breccias and turbidites as evidence of a drowned platform, *Giornale di Geologia*, 57, 233-244.
- Bieda, A. ve Lizurek, G., 2008. Natural radioactivity of rocks occurring in the contact zone of the Karkonosze massif with the Szklarska Poręba schist belt, *Acta Geodynamica Et Geomaterialia*, 5(2), 225-231.
- Çiftçi, E., 2000. Mineralogy, Paragenetic Sequence, Geochemistry and Genesis of the Gold and Silver Bearing Upper Cretaceous Mineral Deposits, North eastern Turkey, Ph. D Thesis, University of Missouri-Rolla, Missouri.
- Çubukçu, A., 1998. Kaletaş (Gümüşhane) Epitermal Altın Cevherleşmesinin Jeolojisi, Jeokimyası ve Mineralojisi, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Dickson B.L. ve Scott K.M., 1997. Interpretation of aerial gamma-ray surveys – adding the geochemical factors, *AGSO, Journal of Australian Geology and Geophysics*, 17, 187–200.
- Dokuz, A., 2011. A slab detachment and delamination model for the generation of Carboniferous high-potassium I-type magmatism in the Eastern Pontides, NE Turkey: Köse composite pluton. *Gondwana Research*, 19, 926-944.
- Efimov, A.V., 1978, Multiplikativniy pokazatel dlya vydeleniya endogennykh rud aerogamma-spectrometricheskim dannym, in *Metody rudnoy geofiziki: Lenigrad, Nauchnoproizvodstvennoye objedinenie Geofizika Ed.*, p. 59-68.
- El-Sadek, M.A., 2009. Radiospectrometric and magnetic signatures of a gold mine in Egypt, *Journal of Applied Geophysics*, 67, 34–43
- Erkül, S.T., Özmen, S.F., Erkül, F., ve Boztosun İ., 2016. Comparison between natural radioactivity levels and geochemistry of some granitoids in western Turkey, *Turkish Journal of Earth Sciences*, 25, 242-255.
- Eyüboğlu, Y., Bektaş, O., Şeren, A., Maden, N., Jacoby, W.R. ve Özer, R., 2006. Threedirectional extensional deformation and formation of the Liassic rift basins in the Eastern Pontides (NE Turkey). *Geol. Carpath.* 57, 337–346.
- Eyüboğlu, Y., 2010. Late Cretaceous High-K Volcanism in the Eastern Pontide Orogenic Belt: Implications for the Geodynamic Evolution of NE Turkey, *International Geology Review*, 52, 142-186.
- Eyüboğlu, Y., Chung, S.L., Santosh, M., Dudas, F.O. ve Akaryali, E., 2011a. Transition from shoshonitic to adakitic magmatism in the Eastern Pontides, NE Turkey: implications for slab window melting. *Gondwana Research*, 19, 413–429.
- Eyüboğlu, Y., Santosh, M., Dudas, F.O., Chung, S.L. ve Akaryali, E., 2011b. Migrating magmatism in a continental arc: geodynamics of the Eastern Mediterranean revisited, *Journal of Geodynamics* 52, 2–15.
- Eyüboğlu, Y., Dudas, F.O., Santosh, M., Zhu, D.C., Yi, K., Chatterjee, N., Jeong, Y.J., Akaryali, E. ve Liu, Z., 2015. Cenozoic forearc gabbros from the northern zone of the Eastern Pontides Orogenic Belt, NE Turkey: Implications for slab window magmatism and convergent margin tectonics, *Gondwana Research*, 33, 160-189.
- Grasty, R.L., Shives, R.B.K., 1997. Applications of gamma ray spectrometry to mineral exploration and geological mapping, Workshop presented at Exploration 97: Fourth Decennial Conference on Mineral Exploration.
- Gross, W.H., 1952. Radioactivity as a guide to ore, *Economic Geology*, 47.
- Güner, S., Dursun, A., Yılmaz, Z., Demirci M. ve Yakıcı, M., 1999. Gümüşhane – Kaletaş Altın Cevherleşme Sahası Maden Jeolojisi, Rezerv Hesapları ve Ekonomik Değerlendirme Raporu, MTA, Ankara.
- Güner, S., ve Yazıcı, E.N., 2011. Gümüşhane- Bayburt-Trabzon Kıymetli Metal (Au-Ag) ve Baz

- Metal (Cu-Pb-Zn) Sahaları Envanter Raporları, Trabzon, (yayınlanmamış).
- Irvine, T.N., Baragar, W.R.A., 1971. A Guide to Chemical Classification of the Common Volcanic Rocks, Canadian Journal of Earth Sciences, 8, 523-548.
- International Atomic Energy Agency (IAEA), 2003. Guidelines for radioelement mapping using gamma-ray spectrometry data. IAEA-TEC-DOC-1363.
- Karlı, O., Chen, B., Aydın, F., Şen, C., 2007. Geochemical and Sr-Nd-Pb Isotopic Compositions of The Eocene Dölek and Sarıççek Plutons, Eastern Turkey: Implications for Magma Interaction in The Genesis of High-K Calc-Alkaline Granitoids In A Post-Collision Extensional Setting, Lithos 98, 67-96.
- Karlı, O., Dokuz, A., Uysal, I., Aydın, F., Kandemir, R., Wijbrans, R.J., 2010. Generation of the early Cenozoic adakitic volcanism by partial melting of mafic lower crust, Eastern Turkey: implications for crustal thickening to delamination, Lithos 114, 109-120.
- Kahveci, N., 2014. Kelkit-Ünlüpinar, Eylence yayla cevherleşme sahasının gamma ray spektrometre ölçümleri ile incelenmesi, Bitirme Tezi, Gümüşhane Üniversitesi Mühendislik ve Doğa bilimleri Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, Gümüşhane.
- Kaygusuz, A., Arslan, M., Siebel, W., Sipahi, F., Ilbeyli, N., Temizel, I., 2014. LA-ICP MS zircon dating, whole-rock and Sr-Nd-Pb-O isotope geochemistry of the Camiboğazı pluton, Eastern Pontides, NE Turkey: Implications for lithospheric mantle and lower crustal sources in arc-related I-type magmatism, Lithos 192-195, 271-290.
- Lermi, A., 1996. Kanköy (Yomra-Trabzon) Cevherinde Toprak-Bitki Jeokimyasının uygulanması ve İndikatör Bitki Türü Tespiti, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Lermi, A., 2003. Midi (Karamustafa/Gümüşhane, KD Türkiye) Zn-Pb Yatağının Jeolojik, Mineralojik, Jeokimyasal ve Kökensel İncelemesi, Doktora Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Loevborg, L., Wollenberg, H., Sørensen, P., Hansen, J., 1971. Field determination of uranium and thorium by gamma-ray spectrometry, exemplified by measurements in the Ilimussaq alkaline intrusion, South Greenland, Economic Geology, 66, 368-384.
- Maden, N., Akaryalı, E., 2015. Gamma ray spectrometry for recognition of hydrothermal alteration zones related to a low sulfidation epithermal gold mineralization (Eastern Pontides, NE Türkiye), Journal of Applied Geophysics, 122, 74-85.
- Maden, N., Kahveci, N., 2016. Ünlüpinar, Eylence Yayla (Kelkit-Gümüşhane) Epitermal Pb-Zn±Au Cevherleşmesinin Gamma Ray Spektrometre Ölçümleri ile İncelenmesi, Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi (GUFBED), 6(2), 138-149
- Pearce, J.A., Cann, J. R., 1973. Tectonic setting of basic volcanic rocks determined using trace element analyses, Earth and Planetary Science Letters, 19, 290-300.
- Ray, L., Roy, S., Srinivasan, R., 2008. High radiogenic heat production in the Kerala Khondalite Block, Southern Granulite Province, India, International Journal of Earth Sciences, 97, 257-267.
- Shives, R.B.K., Charbonneau, B.W., ve Ford, K.L., 2000. The detection of potassic alteration by gamma-ray spectrometry—Recognition of alteration related to mineralization, Geophysics, 65(6), 2001-2011.
- Sipahi, F., 2005. Zigana Dağı (Torul-Gümüşhane) Volkanitlerindeki Hidrotermal Ayrışmaların Mineraloji ve Jeokimyası, Doktora Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enst., Trabzon.
- Sipahi, F., Sadıklar, B., 2010. Zigana (Gümüşhane, KD-Türkiye) Volkanitlerinin Alterasyon Mineralojisi ve Kütle Değişimi, Türkiye Jeoloji Bülteni, 53, 2-3.
- Şengör, A.M.C. ve Yılmaz, Y., 1981. Tethyan Evolution of Turkey: A Plate Tectonic Approach, Tectonophysics, 75, 181-241.
- Tokel, S., 1972. Stratigraphical and Volcanic History of the Gümüşhane Region (NE Turkey), Doktora Tezi, University of College, London.
- Topuz, G., Altherr, R., Schwarz, W.H., Siebel, W., Satir, M., Dokuz, A., 2005. Post-collisional plutonism with adakite-like signatures: the Eocene Saraycik granodiorite (Eastern Pontides, Turkey), Contributions to Mineralogy and Petrology 150, 441-455.

- Topuz, G., Altherr, R., Wolfgang, S., Schwarz, W.H., Zack, T., Hasanözbek, A., Mathias, B., Sattir, M., Şen C., 2010. Carboniferous high-potassium I-type Granitoid Magmatism in the Eastern Pontides: The Gümüşhane pluton (NE Turkey), *Lithos* 116, 92-110.
- Tüysüz, N., Özdoğan, K., Er, M., Yılmaz, Z. ve Ağan, A., 1994. Pontid Ada Yayında Carlin Tipi Kaletaş (Gümüşhane) Altın Zuhuru, *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 37,41 -46.
- Tüysüz, N., Er, M., Yılmaz, Z., Akıncı, A., 1995. Geology, Mineralogy and Alteration of the Mastira Epitermal Gold-silver Deposits, Gümüşhane NE-Turkey, *Turkish Journal of Earth Sciences*, 4, 11-21.
- Wallin, B., 1984. A Pilot Airborne Gamma Ray Survey in Yozgat and Bayburt Areas, Anatolia, Turkey. Riso National Laboratory, DK-4000, Roskilde, Denmark.
- Winchester, J.A., Floyd, P.A., 1976. Geochemical Discrimination of Different Magma Series and Their Diferantation Products Using Immobile Elements, *Chemical Geology*, 20, 97-127.
- Yağcınalp, B., 1992. Güzelyayla (Maçka-Trabzon) Porfiri Cu-Mo Cevherleşmesinin Jeolojik Yerleşimi ve Jeokimyası, Doktora Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Yiğit, Y., 2014. Canca ve Kaletaş cevherleşme sahalarının gamma Ray Spektrometresi ile incelenmesi, Bitirme Tezi, Gümüşhane Üniversitesi Mühendislik ve Doğa bilimleri Fakültesi Jeofizik Mühendisliği Bölümü, Gümüşhane.
- Yiğit, Y., ve Maden, N., 2016. Gamma Ray Spektrometre Ölçümlerinin Au+Ag Cevherleşme Sahalarına Uygulanması: Çitdüzü-Zarfu Yöresi (Gümüşhane) Örneği, *Jeofizik Bülteni*, 76-77, 44-50.

Macun Dolgu Duraylılığının Ultrasonik P-Dalga Hızı ile Değerlendirilmesi

Assessment of the Durability of Paste Backfill Using P-Wave Velocity

FERDİ CİHANGİR^{1*}

¹Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, 61080 Trabzon

Geliş (received) : 19 Nisan (April) 2016

Kabul (accepted) : 15 Aralık (December) 2016

ÖZ

Bu çalışmada sülfürlü atıklardan normal (NPÇ) ve puzolanik (PPÇ) Portland çimentolarla alkali aktive cüruf çimentoları (AAC: LSS-C; sodyum silikat ve SH-C; sodyum hidroksit ile aktifleştirilmiş cüruf) kullanılarak hazırlanan macun dolgu duraylılığı, dolgunun mikroyapı özelliklerine bağlı olarak P-dalga hızı ile değerlendirilmiştir. Yapılan çalışmalarda, NPÇ ve PPÇ numunelerinde uzun dönemde asit ve sülfat etkileri nedeniyle %6-%25 oranlarında dayanım kaybı meydana geldiği anlaşılmıştır. En yüksek dayanım kaybının NPÇ numunelerinde görüldüğü PPÇ denemelerinde ise, asit ve sülfat etkilerinin azaldığı belirlenmiştir. Çalışmalar neticesinde, AAC numunelerinin asit ve sülfat etkilerine karşı daha dayanıklı olduğu, NPÇ ve PPÇ örneklerine göre yaklaşık 3-4.5 kat daha yüksek dayanım değerine sahip olduğu tespit edilmiştir. LSS-C örneklerinde dayanım kaybının olmadığı, SH-C örneklerinde uzun dönemde yaklaşık %8 dayanım kaybı olduğu gözlemlenmiştir.

Deneysel çalışmalar, P-dalga hızları ile dayanım sonuçlarının birbirleri ile ilişkili olduğunu göstermiştir. Bir başka deyişle, dayanım artışına bağlı olarak P-dalga hızı artmış, dayanımdaki düşüşe bağlı olarak da P-dalga hızı düşmüştür. Asit ve sülfat ile porozite ve taramalı elektron mikroskop (SEM) analizlerine göre P-dalga hızı ve dayanımdaki azalmaların sebepleri, sülfürlü maden atıklarından hazırlanan macun dolgu numunelerinin içsel özelliklerine bağlı olarak oluşan asit ve sülfat etkileri nedeniyle i) zamanla C-S-H ürünlerinde meydana gelen bozunma, ii) genleşme minerallerinin (ikincil jips ve etrenjit) sebep olduğu heterojen yapı ve iii) SH-C numunelerinde uzun dönemde oluşan kuruma çatlakları olarak ortaya çıkmıştır. P-dalga hızı ile dayanım sonuçlarının oldukça iyi örtüşmesi, belirli bir atık türü için zamana bağlı olarak macun dolgu performansının sağlıklı bir şekilde takip edilebileceğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Asit ve sülfat etkisi, duraylılık, macun dolgu, mikroyapı, P-dalga hızı.

ABSTRACT

In this study, the durability of paste backfill (CPB) made from sulphidic tailings, ordinary (OPC) and pozzolanic (PPC) Portland cements and alkali activated slag cements (AAS: LSS-S; slag activated with sodium silicate and SH-S; slag activated with sodium hydroxide) was investigated based on P-wave velocity by taking the microstructural properties of CPB into consideration. The study indicated that strength losses of about 6-25% occurred in cement samples due to acid and sulphate effects in the long term. While the highest strength losses were observed in OPC samples, PCC decreased the acid and sulphate effects. AAS specimens were found to be more resistant to acid and sulfate attack, and produced 3-4.5 times higher strengths than cement samples. On the other hand, there was no loss in strength for LSS-S samples. However, approximately 8% strength loss was obtained for SH-S samples after 224 days.

P-wave velocity and strength results were directly proportional to each other. Acid and sulphate, porosity and scanning electron microscope (SEM) analyses showed that the reasons behind the decrease in strength and P-wave velocity were derived from the acid and sulphate effects depending on the intrinsic properties of CPB. These effects are as i) the decomposition of C-S-H products, ii) heterogeneous structure due to the expansive phases (such as secondary gypsum and ettringite formation) and iii) drying shrinkage cracks in SH-S samples as curing time increased. This study showed that the performance of CPB for a specific type of tailings can be followed in an improved way since the P-wave velocity is in good agreement with strength values.

Keywords: Acid and sulphate effect, durability, microstructure, paste backfill, P-wave velocity.

*F. Cihangir
e-posta: cihangir@ktu.edu.tr

GİRİŞ

Ultrasonik P–dalga hızı, beton gibi çimentolu malzemeler ile kayaların jeoteknik özelliklerinin belirlenmesine yönelik maden, inşaat ve jeoteknik mühendisliğinde gerek laboratuvarında gerekse arazide kolaylıkla uygulanabilen hasarsız bir test yöntemidir (Altındağ, 2012; Kahraman, 2002a). Daha önce yapılan çalışmalarda P–dalga hızı ile kayaların fiziksel, mekanik ve jeoteknik özelliklerinin tayin edilebileceği belirtilmiştir (Altındağ, 2012; Kahraman, 2007, 2001; Karakul ve Ulusay, 2012; Karaman ve Kesimal, 2013; Kılıç ve Teymen, 2008; Vasconcelos vd., 2008; Yağız, 2011; Yaşar ve Erdoğan, 2004). Kayaçlarda gözeneklilik ile ayrışma derecesi uyumlu olup, ayrışma özelliklerinin tam olarak anlaşılabilmesi için kayaç petrografik özelliklerinin göz önüne alınması gerekmektedir. Ayrıca ayrışma derecesindeki artışa bağlı olarak mekanik özelliklerinin negatif yönde geliştiği ve ultrasonik P–dalga hızının azaldığı görülmüştür (Karpuz ve Paşamehmetoğlu, 1997). Kaya malzemelerinde mikro–çatlakların yoğunluğunun artması da P–dalga hızında bir azalmaya yol açmaktadır (Hamdi ve Lafhaj, 2013; Kahraman, 2002b; Karakul ve Ulusay, 2012). Yöntem, malzeme özelliklerinde (anizotropi ve heterojenlik gibi) meydana gelen değişimlere karşı oldukça hassas olduğundan (Hamdi ve Lafhaj, 2013), kaya ve çimentolu malzemelerin kalite–kontrol ve sınıflandırılmasında (Christaras, 2009; Demirboğa vd., 2004; Kahraman vd., 2007) oldukça etkili çözümler sunmaktadır.

Metalik cevherlerin zenginleştirilmesi sonucu yüksek miktarlarda ortaya çıkan sülfürlü ve tehlikeli atıkların yeraltına depolanmasını mümkün kılan macun dolgu da çimentolu bir malzemedir. Pratik, kolay uygulanabilir, hızlı ve ucuz bir yöntem olduğundan P–dalga hızı ile macun dolgu malzemelerinde dayanım tahminine yönelik çalışmalarda da son yıllarda artış gözlenmiştir (Erçikdi vd., 2014; Wu vd., 2016; Yılmaz vd., 2014).

Çimentolu macun dolgunun kalitesi genellikle tek eksenli basınç dayanımı ile ölçülmektedir. Birçok maden işletmecisi 28 günlük kür süresinde dolgu dayanımının 1.0 MPa olmasını ve uzun dönemde duraylı kalması için bu dayanımı >90 günde muhafaza etmesini yeterli görmektedirler (Landriault, 1995). Duraylılık yeraltında dolgu etrafındaki üretimi planlanmış diğer blokların güvenli bir şekilde üretilebilmesi için kritik öneme sahiptir. Macun dolguda duraylılık; jeoteknik, jeokimyasal ve mikroyapısal anlamda pek çok

çalışma ile iyi bir şekilde incelenmiştir (Benzaazoua vd., 1999; Cihangir vd., 2015a, 2012; Erçikdi vd., 2010a, 2009a, 2009b; Fall ve Pokharel, 2010; Fall vd., 2009, 2005; Nehdi ve Tariq, 2007).

Yapılan deneysel çalışmalara göre macun dolgu yüksek porozite içerdiğinden (%32–43) ve bünyesinde uzun süreler yüksek oranlarda nem bulundurduğundan (%15–23) (Cihangir vd., 2015a, 2015b), bileşimindeki sülfürlü mineraller oksidasyona uğrayarak asit ve sülfat ürünleri oluşturmaktadır (Cihangir vd., 2012; Erçikdi vd., 2010b, 2009b; Nehdi ve Tariq, 2007). İlk 56 günlük kür süresinde sülfat ürünleri hidrasyon ürünleri ile reaksiyona girmekte ve daha zayıf C–S–H jel yapısına neden olmaktadır (Fall ve Pokharel, 2010). Diğer taraftan sülfat ürünleri CH (portlandit) tarafından tamamen tüketilmekte ve ortamda CH tükendikten sonra da sülfat iyonları artmaktadır (Cihangir vd., 2015a, 2012). pH ise 14 günlük kür süresinden sonra ortamda oluşan asit ürünlerini nötralize etmek için ve tüketilen CH ürünlerinden dolayı düşmektedir. Böylece uzun dönemde asit ve sülfat etkileri nedeniyle C–S–H ürünleri bir yandan dekalsifiye olarak bozunurken, diğer taraftan ikincil mineral çökelimleri (Pokharel ve Fall, 2013) dolgu bünyesinde heterojen yapıya sebebiyet vermektedir. Bu reaksiyonlar dolgunun dayanım kazanımı ve duraylılık özelliklerini olumsuz etkilemektedir (Benzaazoua vd., 1999; Erçikdi vd., 2009a).

Son yıllarda asit ve sülfat etkilerinden kaynaklanan dayanım ve duraylılık kayıplarını engellemeye yönelik mineral katkı maddelerinin kullanımının yanında (Benzaazoua vd., 1999; Erçikdi vd., 2010a, 2009a, 2009b), bu maddelerin alkali aktivasyon teknikleri ile aktifleştirilmesinden elde edilen jeopolimerlerin kullanılmasıyla asit ve sülfat etkilerine karşı daha dayanıklı ve daha yüksek dayanıma sahip dolgu üretilebildiği belirtilmektedir (Cihangir vd., 2015a, 2012; Khater, 2014).

Alkali aktive yüksek fırın cürufu ile üretilen macun dolgu duraylılığının P–dalga hızı ile değerlendirilmesine yönelik literatürde yapılmış bir çalışma bulunmamaktadır. Dolayısıyla bu çalışmada, sülfürlü tesis atıklarından üretilen macun dolguda asit etkileri ile bağlayıcı yapının bozunması ve sülfat ürünleri sonucu dolgu yapısında meydana gelen heterojen yapının dolgu dayanım ve duraylılık özelliklerine etkisi ultrasonik P–dalga hızı ile değerlendirilmiştir. Hamdi ve Lafhaj (2013), kayaların mikroyapılarının analizinde

ultrasonik dalga hızı ve porozitenin oldukça sağlıklı sonuçlar verdiğini, ancak kayaç mikroyapısının daha iyi anlaşılabilmesi için taramalı elektron mikroskop (Scanning Electron Microscope–SEM) ve civalı porozimetre (Mercury Intrusion Porosimeter–MIP) gibi ileri mikroyapı analiz yöntemlerinin de kullanılması gerektiğini ifade etmiştir. Bu nedenle, bu çalışmada elde edilen deneysel sonuçlar, SEM ve MIP analizleri ile desteklenmiştir.

MALZEME ve METOD

Atık ve Bağlayıcı Malzemeler

Deneysel çalışmalarda kullanılan atık malzeme Rize ilinin Çayeli ilçesi Madenköy sınırları içinde bulunan Çayeli Bakır İşletmeleri'nden sülfürlü bakır cevherinin (non–spek cevher: sfalerit (Zn minerali) içeriği en az %10 olan cevher tipi (Yılmaz, 2013)) zenginleştirildiği flotasyon tesisinden alınmıştır. Madende arakatlı kaz–doldur yeraltı üretim metodu uygulanmaktadır. Dolayısıyla maden üretimi sonucu oluşan yer altı açıklıkları, cevher zenginleştirme işlemlerinden sonra ortaya çıkan atık malzeme+çimento+suyun belirli bir dizayna göre karışımından oluşan malzeme (macun kıvamında) ile geri doldurulmaktadır. Böylece yeraltı boşlukları bir taraftan doldurulurken, diğer taraftan hem atık malzemeler yeniden kullanılmakta hem de bitişikteki çevre bloklarının üretimi için uygun platform ve yeraltı çalışma ortamları oluşturulmaktadır.

Malvern Mastersizer Hydro 2000 MU cihazı ile yapılan tane boyu dağılımı analizine göre atık malzemenin (non–spek cevher atığı/NSA) 20 µm altı malzeme miktarı ağırlıkça %54.67 olup, tesiste işlenen diğer cevher tiplerine göre pirit içeriği biraz daha düşük, inceliği biraz daha yüksek orta boyutlu atık sınıfına girmektedir (Landriault, 2001). Üniformluk katsayısı (C_u) ve eğrilik katsayısı (C_c) göz önüne alındığında (Çizelge 1) malzeme iyi bir tane boyut dağılımı göstermiştir. Atık malzemenin özgül ağırlığı (ÖA) ASTM D854–14. (2014) standardına göre belirlenmiştir. Kimyasal analizi ACME kimyasal analiz laboratuvarlarında (Kanada) gerçekleştirilmiştir. Yüksek S⁻² (sülfid kükürdü; %34.38) içeriğine bağlı olarak atık malzeme yaklaşık %64.47 oranında pirit minerali içermektedir. SiO₂ + Al₂O₃ (%) içeriği ise %14.72'dir (Çizelge 2).

Macun dolgu malzemelerinin hazırlanmasında bağlayıcı olarak normal (NPÇ) ve kompoze çimentolar

(PPÇ) ile jeopolimer bağlayıcılar (AAC) için yüksek fırın cürufu kullanılmıştır. Yüksek fırın cürufu sıvı sodyum silikat (LSS:Na₂O·2SiO₂) ve granül sodyum hidroksit (SH: NaOH) ile aktifleştirilmiştir. Bağlayıcı malzemelerin kimyasal analizleri ACME laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Özgül ağırlıkları (G_s) ASTM C188–14. (2011) standardına, özgül yüzey alanları ise (incelik) TS EN 196–6 (2010) standardına göre belirlenmiştir. Bağlayıcı maddelerin fiziksel, kimyasal ve mineralojik analizleri Çizelge 1 ve Çizelge 2'de verilmiştir.

Macun Dolgu Numunelerin Hazırlanması ve Dayanım testleri

Macun dolgu malzemeleri, tesis atıkları, karışım suyu, aktivatörler ve bağlayıcı malzemelerin, 20.8 litre kapasiteli bir karıştırıcıda (Univex SRMF20 Stand Model) karıştırılarak homojenleştirilmesiyle hazırlanmıştır. Sektörel uygulamalarda macun dolgu kıvamı 6.0 ila 10.0 inç aralığında değiştiğinden, bu çalışmada macun dolgu malzemelerinin başlangıç slampaları yaklaşık 8 inç (203 mm) olarak alınmıştır.

Dolgu numunelerinin hazırlanmasında bağlayıcı oranı, sülfür içeriği yüksek atıkların kullanılması durumunda daha önce yapılan çalışmalardan (Kesimal vd. 2010; Cihangir vd., 2015a, 2012; Erçıkı vd., 2009b) kısa dönemde ulaşılması hedeflenen 1.0 MPa eşik dayanım değeri (Landriault, 1995) esas alınarak %7 olarak belirlenmiştir. Burada %7 bağlayıcı oranı; yaklaşık 8 inç kıvama sahip slampın elde edildiği toplam katı oranına göre (bağlayıcı+atık) hesaplanan sabit bir bağlayıcı oranını ifade etmektedir. NPÇ ve PPÇ için bağlayıcı faz dolgu bünyesindeki toplam katının ağırlıkça %'sidir. Jeopolimer (AAC) bağlayıcılarda LSS–C için 1.0 modül oranı (modül oranı NaOH kullanılarak ayarlanmıştır) ve %8 Na₂O aktivatör dozajı esas alınmıştır. Dizaynlarda AAC, NPÇ ve PPÇ için bağlayıcılar ağırlıkça eşit şekilde kullanılmıştır. AAC'de bağlayıcı faz (her bir farklı dizaynda kullanılan malzemeleri içerecek şekilde); cüruf, sodyum silikatın katı bileşenleri sodyum oksit (Na₂O) ve silisyum dioksit (SiO₂) ile sodyum hidroksitten oluşmaktadır.

Çalışma kapsamında tek eksenli basınç dayanımı testleri için her kür süresinde (14–28–56–112–224– ve 360 gün) 3'er numune olmak üzere deneysel koşulları Çizelge 3'te verilen toplam 72 adet numune hazırlanmıştır. Sektörde numune testleri 100 mm çap x 200 mm uzunluktaki numunelerle gerçekleştirildiğinden,

Çizelge 1. Atık ve bağlayıcı maddelerin fiziksel özellikleri
Table 1. *Physical properties of tailings and binders*

Atığın fiziksel özellikleri								
	ÖA	ÖYA (cm ² /g)	D ₁₀ (µm)	D ₃₀ (µm)	D ₆₀ (µm)	D ₉₀ (µm)	C _c (-)	C _u (-)
Atık Malzeme	4.08	3775	2.21	6.62	24.43	89.13	0.82	11.05
Bağlayıcıların fiziksel özellikleri								
	ÖA	ÖYA (cm ² /g)	+32 µm elek (ağ.%)		+45 µm elek (ağ.%)			
NPÇ	3.07	4120	7.48		2.17			
PPÇ	3.05	3990	8.67		3.34			
Cüruf	2.89	4600	9.60		4.15			

Çizelge 2. Atık ve bağlayıcı maddelerin kimyasal ve mineralojik özellikleri
Table 2. *Chemical and mineralogical properties of tailings and binders*

Bileşim	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	MgO (%)	CaO (%)	Na ₂ O (%)	K ₂ O (%)	BaSO ₄ (%)	T. Kükürt (S;%)	Kızdırma Kaybı
Atık	10.90	3.82	46.08	1.93	3.02	0.21	0.23	7.07	36.60	26.20
NPÇ	21.88	4.74	2.90	1.40	65.0	0.39	0.75	-	1.07	2.50
PPÇ	25.78	7.47	3.96	1.12	56.11	0.62	1.62	-	1.09	2.80
Cüruf	39.75	10.91	0.80	5.92	38.02	0.32	1.19	-	0.65	0.20
Bağlayıcıların mineralojik özellikleri										
	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF	Serbest Kireç (%)	Reaktif SiO ₂ (%)		Bazıklık İndeksi		
NPÇ	50.42	27.76	7.66	8.83	1.04	-		-		
PPÇ	-	-	-	-	-	-		-		
Cüruf	-	-	-	-	-	39.10		1.03		

bu çalışmada numune boyutları 100 mm çap ve 200 mm uzunluğundadır. Numune kalıplarının altlarında 2 mm çapında 7 adet drenaj deliği (Kesimal vd. 2004) bulunmakta olup numuneler 20±1°C ve %85±1 nem koşullarında hava sızdırmaz plastik paketler içinde olmak üzere yeraltı koşullarını yansıtabilecek şekilde kür işlemine tabi tutulmuştur. Tek eksenli basınç dayanım testleri 14–28–56–112–224– ve 360 günlük kür sürelerinde ASTM C39/C39M–14a. (2012) standardında gerçekleştirilmiştir. Kısa ve uzun dönem-

de dayanım ve duraylılık değerlendirmelerinde eşik dayanım değeri 1.0 MPa olarak alınmıştır. Dayanım testlerinde yükleme hızı 0.5 mm/dk olacak şekilde 5 tonluk servo kontrollü pres kullanılmıştır.

Asit ve Sülfat Analizleri

Atıkların yüksek oranda pirit içermesinden dolayı, kür süresi ile bozunan pirit, asit ve sülfat ürünleri oluşturmaktadır. Asit ve sülfat etkilerinin dolgu da-

Çizelge 3. Macun dolgu numuneleri için deneysel koşullar
Table 3. *Experimental conditions for paste backfill material*

Bağlayıcı tipi	Katı oranı (%)	Su içeriği (%)	Katı yoğunluğu (g/cm ³)
NPÇ	78.50	21.50	2.43
PPÇ	80.54	19.46	2.53
LSS-C	80.48	19.52	2.52
SH-C	78.78	21.22	2.49

yanım ve duraylılığına etkisini araştırmak için dolgu numunelerinin tek eksenli basınç dayanımı testlerini takiben, bütün kür sürelerinde pH ve sülfat analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada dolgu gözenek suyunun asit ve serbest sülfat içeriğinin belirlenmesinde Cihangir (2011) tarafından macun dolguya uyarlanan analiz metodu izlenmiştir. Atığın başlangıç sülfat içeriği 1640 ppm'dir.

Mikroyapı (Porozite ve Taramalı Elektron Mikroskop:SEM) Analizleri

Macun dolgu numunelerinin porozite analizleri civalı porozimetre (Micromeritics Autopore IV 9410) cihazı ile ASTM D4404-10. (2010) standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Numuneler 0.003 µm'lik gözeneklere Hg intrüzyonunu sağlayacak şekilde 0-414 MPa (60,000 psi) aralığında hidrostatik basınç altında deneye tabi tutulmuştur. Deneysel çalışmalarda Hg yüzey gerilimi 0.485 N/m ve Hg ile numune yüzeyleri arasındaki kontak açısı 130° olarak alınmıştır. MIP testleri ile orta (0.002-0.05 µm arası) ve iri boyutlu (>0.05 µm) porozite ölçülebilmektedir. Porozite analizleri bu çalışma için 14-28 ve 360 günlük kür sürelerinde gerçekleştirilmiştir.

Dolgu numunelerinin mikroyapı analizleri ZEISS-EVO MA model taramalı elektron mikroskop (SEM) ile 28 ve 360 günlük kür süreleri için yapılmıştır.

İlgili kür sürelerinde MIP ve SEM analizleri için dolgu numunelerinin ortalarından alınan temsili örnekler ağırlıkları sabit oluncaya kadar etüvde 50°C'de 36 saat süreyle kurutulmuş ve nemden etkilenmemesi için desikatöre konularak soğutulmuştur. MIP testleri için numuneler macun dolgu örneklerinin tam orta kısımlarından yaklaşık 1cmx1cmx1.5cm boyutlarında hazırlanmıştır. SEM analizleri için numune yüzeyleri Au ile kaplanarak iletken hale getirilmiştir.

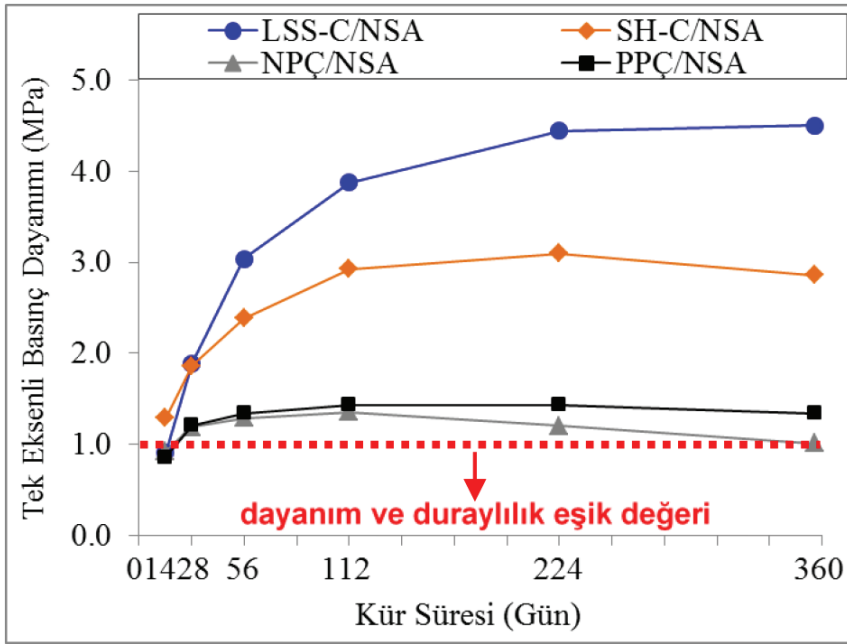
Ultrasonik P-dalga Hızı Testi

Ultrasonik P-dalga hızı (UPV) testleri PUNDIT Plus marka cihaz ile ASTM C597-09. (2009) standardına uygun olarak yapılmıştır. Macun dolgu numunelerinin uç kısımları basınç dayanımı testlerinden önce düzeltilmiş ve uzunlukları ±0.1 mm doğrulukta ölçülmüştür. Jeofonlar ile iyi temas sağlanması için numune yüzeyleri ince bir jel tabakası ile kaplanmıştır. Sinyal iletici ve alıcı jeofonlar birbirine karşılıklı olarak tutulmuş ve sürekli ölçüm modunda doğrudan geçiş süresi ölçülerek minimum okuma değeri kaydedilmiştir. Daha sonra P-dalga hızı (V_p), " $V_p = x/t$ " eşitliği ile hesaplanmıştır. Burada " V_p ; P-dalga hızını-m/s", " x ; numune uzunluğunu-mm" ve " t ; sinyalin numune üzerinden geçiş süresini-µs" ifade etmektedir. İlgili kür süreleri için üçer numunenin ölçümlerinin ortalamaları, UPV değeri olarak sunulmuştur.

BULGULAR VE TARTIŞMA

Bağlayıcı özelliklerinin dayanım ve duraylılık özelliklerine etkisi

Dolgu örneklerinin kısa ve uzun dönemdeki dayanım performansları Şekil 1'de verilmiştir. Bütün seriler kısa (28 gün) ve uzun (90-360 gün) kür süresinde 1.0 MPa'lık dayanımı sağlamıştır. Uzun dönemde çimento örneklerinde dayanım kayıpları meydana gelmiştir. Dayanım kaybı oranları NPÇ numuneleri için 112 günlük küresinden sonra %25.3, PPÇ numunelerinde ise 224 günlük kür süresinden sonra %6.37 olduğu belirlenmiştir. Dolayısıyla PPÇ kullanımının uzun dönemde dayanım kaybını azalttığı anlaşılmıştır. Buna bağlı olarak da PPÇ örneklerinin NPÇ numunelerine göre kısa dönemde benzer, uzun dönemde ise biraz daha yüksek dayanım değerleri verdiği tespit edilmiştir.



Şekil 1. Macun dolgu numunelerinin dayanım özellikleri
Figure 1. Strength behaviour of paste backfill specimens

LSS-C örneklerinde dayanım kür süresi boyunca artış göstermiş ve en yüksek dayanım değerlerini üretmiştir. LSS-C/NSA örnekleri SH-C, NPÇ ve PPÇ örneklerinden sırasıyla 0.70–1.58, 0.97–4.45 ve 1.05–3.36 kat yüksek dayanım üretmiştir.

Erken kür sürelerinde en yüksek dayanım kazanım oranı SH-C örneklerinde gözlenmiştir. SH-C örnekleri NPÇ ve PPÇ örneklerinden sırasıyla 1.39–2.83 ve 1.51–2.16 kat yüksek dayanımlar vermiştir. SH-C örneklerinde 224 günlük kür süresinden sonra %7.67 oranında dayanım kaybı söz konusudur.

PPÇ kullanımı, NPÇ'ye kıyasla uzun dönemde dayanım kaybı oranı daha az olan daha dayanıklı dolgu üretimini mümkün kılmıştır. Irassar vd. (2000) NPÇ'lerin diğer çimentolara göre daha yüksek oranda C_3S ve C_3A içerdiğini ve bu tür çimentoların sülfat etkilerine karşı daha dayanıksız olduğunu belirtmiştir. Ayrıca C_3S 'in hidratasyonu sonucu oluşan CH miktarı, C_2S hidratasyonu sonucu oluşan CH miktarının 2.2 katıdır (Irassar vd., 2000). Erçikdi vd. (2009b) PPÇ kullanılması durumunda, bu çimentoların düşük C_3A ve C_3S/C_2S içeriklerinden dolayı, asit ve sülfat etkilerine karşı daha dayanıklı olduğunu, PPÇ içeren dolgu numunelerinde uzun dönemde daha düşük oranda dayanım kaybının meydana geldiğini belirtmiştir. Dolayısıyla bu çalışmada NPÇ örneklerindeki dayanım

kayıplarının bu çimentoların mineralojik içeriği ile doğrudan ilişkili olduğu görülmektedir.

LSS-C numunelerindeki sürekli dayanım artışı ise, i) hidratasyonun başlamasıyla birlikte silikat polimerizasyonu ile sülfürlü atık tanelerinin yüzeylerinin Si iyonlarınca zengin/geçirimsiz C–S–H jel tabakası ile kaplanmasına, ii) iç kısımlardaki C–S–H ürünlerinin asit ve sülfat etkilerinden böylece korunmasına, iii) taneler arası boşlukların doldurulması ve bağ kuvvetine bağlanabilir (Cihangir vd., 2012; Komljenović vd., 2012; Shi vd., 2006).

Daha önce yapılan çalışmada yüksek sülfür içeriğine sahip atıklardan SH-C ile üretilen dolgu numunelerinde dayanım kaybı görülmemiştir (Cihangir vd., 2012). Bu çalışmada SH-C örneklerinde dayanım kayıplarının görülmesi, atık ve bağlayıcı etkileşiminin önemli olduğunu ortaya koymuştur. Benzaazoua vd. (2004a) bu çalışmada elde edilen bulguya benzer şekilde farklı bağlayıcıların belirli bir atık türü için farklı dayanımlar ürettiğini belirtmiştir.

Asit ve Sülfat Etkilerinin Değerlendirilmesi

Macun dolgu numunelerinin pH seviyeleri ile sülfat içeriklerindeki değişim Şekil 2a,b'de verilmiştir. Atık

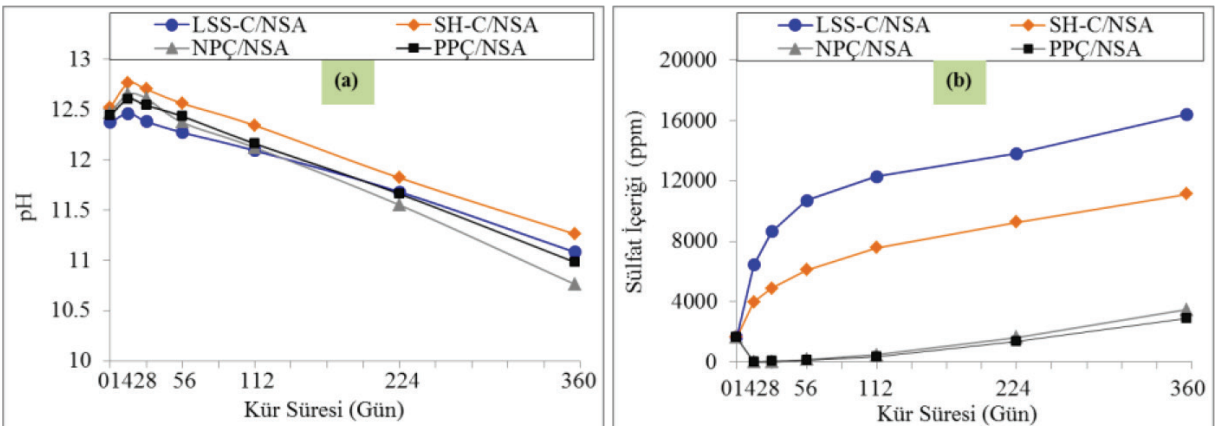
ve bağlayıcı malzemeler su ile karıştırılarak dolgu malzemesi üretildiğinde özellikle bağlayıcı malzemelerin baziklik özelliğinden dolayı karışımın pH değeri başlangıçta 12.40-12.60 seviyesine yükselmiştir. Oluşan hidrasyon ürünlerinden dolayı ilk 14 günlük kür süresinde pH değerleri ilave yükselme eğilimi göstermiştir. Bu noktadan sonra kür süresine bağlı olarak bütün numunelerin pH'ları düşme eğilimine girmiştir. pH'ı en fazla düşen NPÇ, en az düşen ise AAC numuneleridir (Şekil 2a). NPÇ numunelerinde erken kür sürelerinde başlangıçta atık bünyesinde bulunan sülfat iyonlarının tamamının tüketildiği, AAC numunelerinde ise (LSS-C numunelerinde en yüksek oranda olmak üzere) sülfat iyonlarının kür süresi ile birlikte arttığı (Şekil 2b) görülmektedir.

Çimentonun hidrasyonu ile birlikte portlandit oluşmaktadır. Bu ürün C-S-H bağları arasında zayıf halkalar oluşturmaktadır. pH'ın 12'nin altına düşmesiyle portlandit çözünür (Shi ve Stegemann, 2000) ve geride gözenekli bir yapı bırakır (Gaitero vd., 2008). Diğer taraftan çimento ürünlerinde pH'ın hızlı düşmesinin diğer nedeni, portlanditin sülfat iyonları tarafından tüketilmesine de bağlanabilir. Erken kür sürelerinde sülfat iyonlarının çimento dolgu numunelerinde tamamen tüketilmesi sülfat atak mekanizmasının başlangıçtan itibaren gerçekleştiğini göstermektedir. Fall ve Pokharel (2010) yeterli miktarda sülfat içeren ikincil genleşme özelliğine sahip minerallerin (alçıtaşı ve etrenjit gibi) macun dolguda boşluklu yapıyı iyileştirdiğini ve dayanım kazanımına olumlu yönde katkı yaptığını belirtmektedir. Ancak bu minerallerin genleşme özelliklerinden dolayı aşırı miktarda oluşması-

nın macun dolgu yapısının homojen yapısını bozduğu, düşük kalitede C-S-H oluşumuna neden olduğu ve içsel gerilmelere sebep olarak dolgu bütünlüğünü bozduğu, böylece dolgu duraylılığını olumsuz yönde etkilediği belirtilmektedir (Cihangir vd., 2012; Erçikdi vd., 2009a, 2009b; Fall ve Pokharel, 2010; Fall vd., 2005; Nehdi ve Tariq, 2007).

"AAC" içeren malzemelerin hidrasyonunda başlangıç pH'ı ne kadar yüksek olursa, hidrasyon olayı da o derece yüksek oranda gerçekleşmektedir (Fernández-Jiménez ve Puertas, 2003; Rashad vd., 2013; Song vd., 2000). Özellikle SH-C numunelerinde erken kür süresindeki yüksek dayanım değerleri bu durumla ilişkilendirilebilir.

Diğer taraftan, pH'ın düşmesi ile birlikte C-S-H ürünlerinde dekalsifikasyon başlar (Chen vd., 2006). Çimento dolgu numunelerinde dayanım kaybı portlanditin tüketilmesi sonucu boşlukların oluşmasına, genleşme ürünlerinin oluşumuna ve C-S-H bünyesinin ve bağ kuvvetlerinin kalsiyum dekalsifikasyonu sonucu zayıflamasına bağlanabilir (Komljenović vd., 2012). Cihangir vd. (2012) AAC kullanılması durumunda oluşan C-S-H jellerinin düşük Ca/Si oranına sahip olduğunu ve silisyum içeriğince zengin jellerin pirit yüzeylerini kapladığını belirtmiştir. AAC numunelerinde yüksek pH ve artan sülfat iyonu seviyeleri, kür süresinin artması ile birlikte Si iyonları zengin koruyucu tabakanın pirit minerallerinin reaktivitesini düşürmesine bağlanabilir.



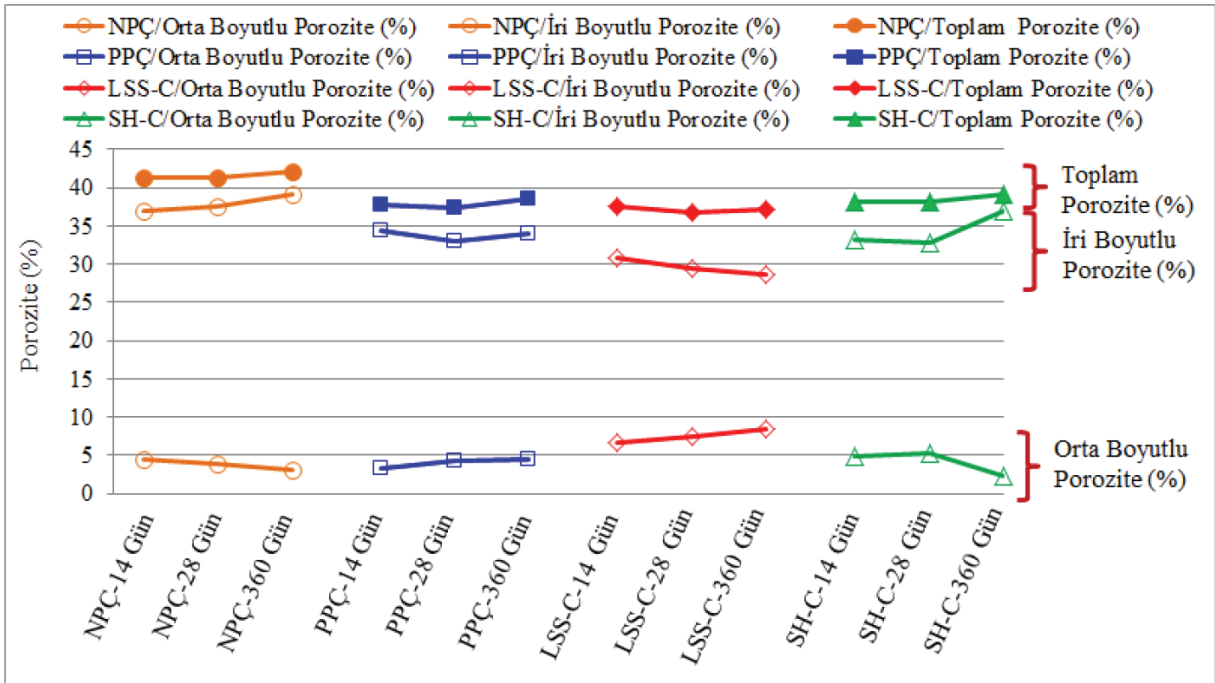
Şekil 2. Macun dolgu numunelerinin pH ve sülfat içerikleri
Figure 2. pH levels and sulphate contents of paste backfill samples

Gözenekli Yapının Değerlendirilmesi

Macun dolgu numunelerinin kür süresine bağlı (14–28 ve 360 gün) olarak gözenekli yapılarındaki değişim Şekil 3'te verilmiştir. Erken kür süresinde hidrasyonun devam etmesiyle bütün numunelerde boşluklu yapı az da olsa düşmüştür. Uzun dönemde ise LSS-C dışındaki numunelerin poroziteleri başlangıca göre artmıştır. NPÇ, PPÇ, LSS-C ve SH-C numunelerinin poroziteleri sırasıyla ortalama %41.6, %37.82, %37.15 ve %38.47 olarak tespit edilmiştir. PPÇ, LSS-C ve SH-C numuneleri NPÇ'ye göre poroziteyi sırasıyla ortalama %9.1, %10.7 ve % 7.6 oranında azaltmıştır. En düşük iri boyutlu porozite ve en fazla orta boyutlu porozite içeriği ile atık taneleri en iyi LSS-C numunelerinde kenetlenmiştir. İri boyutlu gözenek miktarı uzun dönemde en fazla SH-C numunelerinde artmıştır. Cincotto vd. (2003) LSS-C örneklerinde orta boyutlu porozite miktarının SH-C örneklerine nazaran daha fazla olduğunu belirtmiştir. Macun dolgu numunelerinde gözenekli yapıdaki iyileşme ile dayanım sonuçları birlikte değerlendirildiğinde oldukça iyi bir korelasyon gözükmektedir.

Bu çalışmada kullanılan atıkta olduğu gibi 20 mikron altı malzeme miktarı fazla olan atıklar yüksek özgül

yüzey alanlarından dolayı yüksek su tutma kapasitesine sahiptir. Poroziteli yapı, dolgu içerisine oksijen difüzyonuna imkân kılmakta, dolayısıyla nem ve oksijen varlığında pirit mineralleri bozunmakta, sonuçta asit (H^+) ve sülfat (SO_4^{-2}) oluşmaktadır. Asit, hidrasyon ürünlerinin (C-S-H jeli) ayrışmasına ($pH < 9$) ve bağlayıcılık özelliklerini kaybetmelerine neden olmaktadır. Sülfat ise hidrasyon ürünleri olan portlandit ($Ca(OH)_2$) ve trikalsiyum alüminat ($3CaO \cdot Al_2O_3$) ile reaksiyona girerek ikincil alçıtaşı ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) ve etrenjit ($3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3CaSO_4 \cdot 32H_2O$) mineralleri oluşturmaktadır. İnan Sezer vd. (2008) oluşan ikincil minerallerin 2.2 ila 2.8 kat genleşebileceğini belirtmiştir. Genleşme özelliğine sahip bu mineraller dolgu içerisinde içsel gerilme çatlaklarına sebep olmaktadır. Dolayısıyla asit ve sülfat etkileri ile özellikle CaO içeriği yüksek NPÇ içeren macun dolgu numunelerinde uzun dönemde dayanım ve duraylılık problemlerine neden olmaktadır (Benzaazoua vd., 2004b, 1999; Cihangir vd., 2012; Erçikdi vd., 2010a, 2009a, 2009b; Fall ve Benzaazoua, 2005; Kesimal vd., 2005; Nehdi ve Tariq, 2007; Yılmaz vd., 2015).



Şekil 3. Macun dolgu numunelerinin porozite içerikleri
Figure 3. Porosity contents of paste backfill specimens

Mikroyapı Özelliklerinin Değerlendirilmesi

Macun dolgu numunelerinin 28 ve 360 günlük kür sürelerindeki mikroyapıları Şekil 4'te verilmiştir. Tarımalı elektron mikroskop (SEM) ve porozite analizlerine göre kür süresine bağlı olarak PPÇ ve özellikle NPÇ numunelerinin mikroyapılarında asit etkileri nedeniyle zamanla boşlukların oluştuğu izlenmiştir. NPÇ numunelerinde sülfat etkileri nedeniyle başlangıçtan itibaren ikincil alçıtaşı oluşumları (Şekil 2b ve Şekil 4a) ve NPÇ-PPÇ numunelerinde erken kür sürelerinde iğnemi etrenjit mineralleri görülmüştür (Şekil 4a.c). Uzun dönemde ise özellikle NPÇ numunelerinde geniş alanlara yayılmış ikincil alçıtaşı mineralleri oluşmuştur (Şekil 4b). Asit etkileri nedeniyle artan kür sürelerinde çimento örneklerinde bağlayıcı jel (C-S-H) yapıları zayıflamıştır. NPÇ ve PPÇ örneklerinde erken kür süresindeki amorf-lifimsi C-S-H yapısı, uzun dönemde PPÇ için yapılaşmış-kristalize yapıya dönüşmüştür. Bu durumun, PPÇ içeriğinde yer alan puzolanik katkının (reaktif silisyumca zengin) sebep olduğu ikincil C-S-H jel oluşumlarından kaynaklandığı düşünülmektedir.

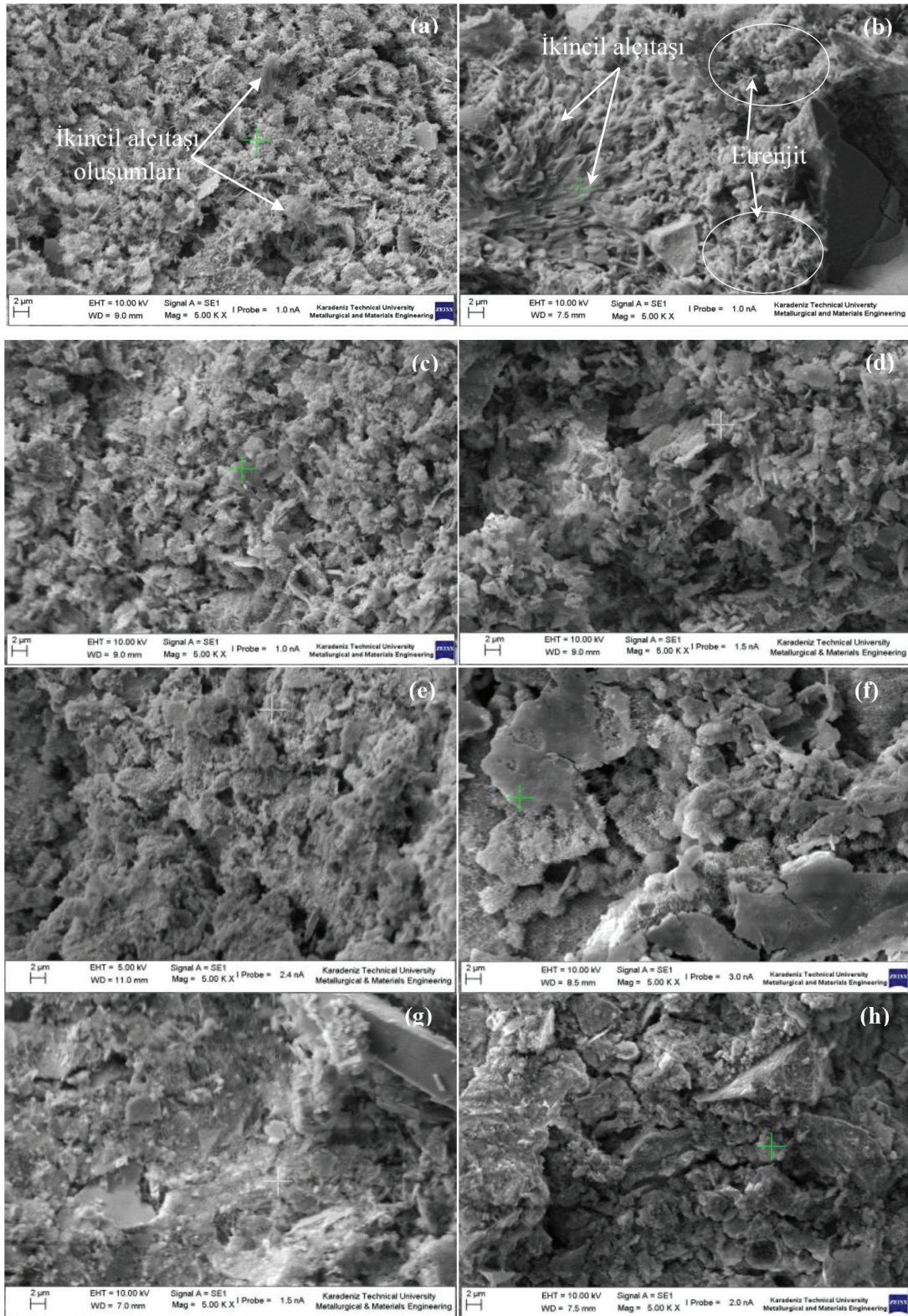
AAC örneklerinde, çimento örneklerine kıyasla taneler birbirine daha bağlı ve mikroyapı daha sıkidir. Bağlayıcı jeller LSS-C numunelerinde erken dönemde amorf-yapılaşmış-kristalize, uzun dönemde ise yapılaşmış-kristalize-tortumsu (Silisyumca zengin); SH-C numunelerinde ise erken ve uzun dönemde amorf-yapılaşmış-kristalize teşkil etmiştir. LSS-C örneklerinde kür süresinin artmasıyla asit etkilerinden dolayı bağlayıcı yapıda (C-S-H) meydana gelen Ca^{2+} liçinden dolayı bağlayıcı dokusu Si iyonlarınca zengin yapılaşmış-kristalize-tortumsu görünüşlü (Şekil 4f) tabakalara dönüşmüştür (Cihangir vd., 2012; Shi vd., 2006). LSS-C numunelerinde dayanımın sürekli artması, bu numunelerde silisyumca zengin az geçirimli/koruyucu C-S-H jel tabakalarının (Şekil 4f-Şekil 5a) oluşması ile asit etkilerinin engellenmesine bağlanabilir. Dolayısıyla, sülfürlü minerallerin yüzeylerinin Si iyonlarınca zengin bir polimerize tabaka ile kaplanmasıyla asit ve sülfat etkileri azaltılırken, bağlayıcı yapı-bağ kuvveti korunmakta, böylece dayanım ve duraylılık problemleri minimum seviyeye inmektedir (Cihangir vd., 2015a, 2012; Komljenović vd., 2012; Shi vd., 2006).

LSS-C örneklerinde ikincil jips minerallerine uzun dönemde nadiren rastlanmıştır. Belirli bir miktara kadar ikincil genleşme mineral oluşumu numune

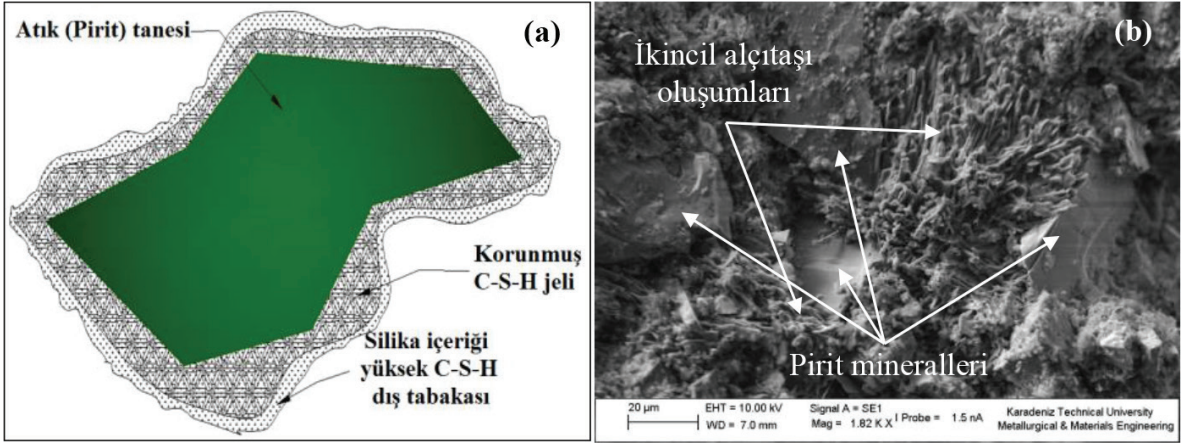
dayanımını ve mikroyapı gelişimini pozitif yönde etkilemektedir (Erçıkı vd., 2013; Fall ve Benzaazoua, 2005; Fall ve Pokharel, 2010).

28 günlük kür süresinde en yoğun C-S-H oluşumu SH-C örneklerinde izlenmiştir (Şekil 4g). Bu gözlem cürufun çözünmesini sağlayan ve SH-C numunelerinde erken kür sürelerinde elde edilen en yüksek pH değerleriyle (Şekil 2a) (Fernández-Jiménez ve Pueras, 2003; Shi vd., 2006; Song vd., 2000) ve dolayısıyla erken kür sürelerinde en yüksek dayanım değerlerinin SH-C örneklerinden elde edilmesi (Şekil 1) ile örtüşmektedir. Ancak, LSS-C örneklerine kıyasla SH-C örneklerinde 360 günlük kür süresinde bağlayıcı jel mikroyapısının zayıfladığı, kuruma çatlaklarının (Şekil 4h) ve ikincil alçıtaşı ürünlerinin oluştuğu (Şekil 5b) gözlenmiştir. Dolayısıyla yukarıda değinilen bulgular ışığında uzun dönemde SH-C örneklerindeki dayanım kayıplarının (Şekil 1) C-S-H jellerinin zayıflaması ve uzun dönemde oluşan ikincil genleşme mineralleri ile kuruma çatlaklarıdır. SH-C numunelerinde uzun dönemde artan iri boyutlu porozitenin, oluşan bu kuruma çatlaklarından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu durum ise bu numunelerde gevrekliğe yol açmaktadır.

SEM ve porozite analizleri birlikte değerlendirildiğinde PPÇ'nin porozite miktarını %9.1 azaltmasına rağmen LSS-C ve SH-C çimentolarından daha düşük dayanım üretmeleri, PPÇ'nin hidratasyonu sonucu oluşan bağlayıcı jel kuvvetinin daha düşük olmasına ve dokularının farklı olmasına bağlanabilir. AAC numunelerindeki yüksek dayanım sonuçları yoğun C-S-H oluşumu, daha kompakt mikroyapı ve özellikle de LSS-C numuneleri için yüksek bağ kuvveti, diğer numunelere kıyasla daha az iri boyutlu ve daha yüksek oranda orta boyutlu poroziteye bağlanabilir. Dolayısıyla farklı çimentolar farklı kuvvette C-S-H jel yapısı, bağlayıcı dokusu ve mikroyapısından dolayı farklı dayanım ve duraylılık özelliklerine sahiptirler. Powers (1958), farklı çimentoların farklı hidratasyon kinetiği nedeniyle farklı bağ kuvvetleri ve içsel özelliklerinden dolayı farklı dayanım seviyesine sahip olduğunu belirtmiştir. Bununla birlikte silisyumca zengin mikroyapıları nedeniyle AAC numunelerinde asit ve sülfat ürünlerinin olumsuz etkileri dolgu dayanım ve duraylılığı üzerine daha az oranda yansımıştır. Bu çalışmadan görüldüğü üzere özellikle LSS-C kullanımının, düşük poroziteli, daha kuvvetli bağlayıcı bağları içeren, asit ve sülfat etkilerine dayanıklı daha duraylı dolgu üretimini mümkün kılacağı görülmektedir.



Şekil 4. Numunelerin mikroyapı özellikleri: NPÇ/28 gün (a), NPÇ/360 gün (b), PPÇ/28 gün (c), PPÇ/360 gün (d), LSS-C/28 gün (e), LSS-C/360 gün (f); SH-C/28 gün (g); SH-C/360 gün (h)
 Figure 4. SEM images of CPBs; OPC/28 days (a), OPC/360 days (b), PPC/28 days (c), PPC/360 days (d), LSS-S/28 days (e), LSS-S/360 days (f); SH-C/28 days (g); SH-C/360 days (h)



Şekil 5. LSS-C içeren numunelerde zamanla oluşan az geçirimli silisyumca zengin C-S-H modeli (a), SH-C/360 örneklerinde atık tanesi etrafında ikincil alçıtaşı oluşumu (b)

Figure 5. Low-permeable Si-rich C-S-H layer model for CPB of LSS-S over curing (a), secondary gypsum formation around pyrite grains in SH-S/360 days sample (b)

Macun Dolgu Dayanım Ve Duraylılığının P-dalga Hızı ile Değerlendirilmesi

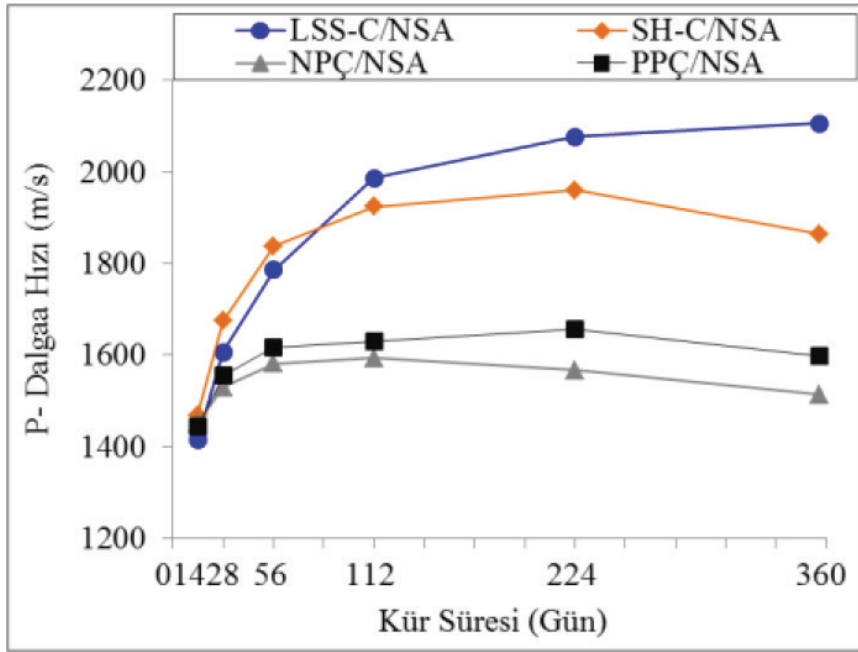
Macun dolgu numunelerine ait P-dalga hızları Şekil 6'da verilmiştir. Çizelge 4'te ise kür süresine bağlı olarak farklı bağlayıcı tipleri için ortalama dayanım ve P-dalga hızı değerlerinin değişimi sunulmuştur. Şekil 6 ve Çizelge 4 birlikte değerlendirildiğinde genel olarak en düşük P-dalga hızlarının NPÇ ve PPÇ numunelerinde ölçüldüğü görülmektedir. NPÇ numunelerinde 112 gün ve PPÇ ile SH-C numunelerinde 224 günlük kür süresinden sonra P-dalga hızları düşme eğilimi göstermiştir. Uzun kür sürelerinde en yüksek P-dalga hızları LSS-C örneklerinden elde edilmiştir. LSS-C numunelerinde P-dalga hızı, SH-C, PPÇ ve NPÇ numunelerinden 360 günlük kür süresinde sırasıyla %12.9, %31.7 ve %39.1; SH-C numunelerine ait P-dalga hızları ise PPÇ ve NPÇ numunelerinden sırasıyla %16.6 ve %23.1 ve PPÇ numunelerine ait P-dalga hızları NPÇ numunelerinden %5.6 daha yüksektir. Macun dolgu numunelerinin dayanımları arasında 4.45 kate kadar yüksek oranlar mevcut iken P-dalga hızları arasında 1.05-1.39 kat fark bulunmaktadır. Ancak, Çizelge 4 ve Şekil 6 birlikte değerlendirildiğinde dayanım ve P-dalga hızları arasında oldukça kuvvetli bir ilişki olduğu görülmektedir.

LSS-C numunelerinin P-dalga hızlarının diğerlerinden yüksek olması, bu çimentolarda hidratasyon mekanizmasının silikat polimerizasyonu sürecinden

ibaret olmasına (Shi vd., 2006), dolayısıyla daha yüksek oranda sertleşme ve dayanım kazanımı oranı ile yüksek bağ kuvvetine (Shi vd., 2006) bağlanabilir. LSS-C örneklerinde sadece erken kür sürelerinde P-dalga hızlarının düşük olması, bu çimentolarda dayanım kazanım hızının erken kür sürelerinde çok yüksek su/çimento oranlarında (Cihangir vd., 2012) düşük olmasından kaynaklanmaktadır. Dayanım ve P-dalga hızlarının bu örneklerde daha yüksek olmasının diğer nedeni ise Çizelge 3'ten görüldüğü üzere katı oranının yüksek ve su/çimento oranının düşük olmasıdır (Erçıkı vd., 2014; Galaa vd., 2011; Hamdi ve Lafhaj, 2013; Trtnik vd., 2009). Ayrıca, LSS-C numunelerinde P-dalga hızının sürekli yükselmesi porozite ve SEM analizleri birlikte değerlendirildiğinde, bu numunelerinin mikroyapılarının daha kompakt olması ve bağlayıcı jel yapılarının daha iyi korunmasıyla ilişkilendirilebilir. Bu çalışmadan elde edilen bulgular Erçıkı vd. (2014) çalışmasından elde edilen bulgular ile oldukça iyi örtüşmektedir.

NPÇ ve PPÇ örneklerinde P-dalga hızındaki azalma, pH, porozite ve SEM analizlerine göre asit etkilerinden dolayı bu numunelerde bağlayıcı jel yapılarının zayıflamasından, numunelerin boşluklu yapılarının zamanla artmasından ve sülfat etkileri nedeniyle oluşan genişleme minerallerinden (ikincil jips ve etrenjit) kaynaklanmaktadır.

SH-C numunelerinde 224 günlük kür süresinden sonra meydana gelen dayanım kayıpları (Çizelge 4) ve



Şekil 6. Macun dolgu dayanım ve duraylılığının P-dalga hızı ile değerlendirilmesi
Figure 6. Evaluation of paste backfill strength and durability by using P-wave velocity

Çizelge 4. Kür süresine bağlı olarak ortalama dayanım ve P-dalga hızı değişimi
Table 4. Variation of average strength and P-wave velocity according to the curing time

Bağlayıcı Tipi	Parametre	Kür Süresi (Gün)					
		14	28	56	112	224	360
LSS-C/NSA	Dayanım (MPa)	0.9	1.89	3.04	3.88	4.44	4.50
	P-dalga hızı (m/s)	1414.80	1607.63	1786.06	1986.89	2076.71	2106.02
SH-C/NSA	Dayanım (MPa)	1.29	1.86	2.39	2.92	3.09	2.86
	P-dalga hızı (m/s)	1468.81	1674.84	1837.36	1924.59	1960.29	1864.64
PPÇ/NSA	Dayanım (MPa)	0.86	1.21	1.34	1.43	1.43	1.34
	P-dalga hızı (m/s)	1443.63	1556.89	1616.12	1631.24	1657.35	1598.85
NPÇ/NSA	Dayanım (MPa)	0.93	1.19	1.29	1.35	1.20	1.01
	P-dalga hızı (m/s)	1451.86	1529.98	1581.80	1593.92	1567.83	1514.41

P-dalga hızındaki azalma, SEM ve porozite analizleri değerlendirildiğinde bu numunelerde uzun dönemde C-S-H jellerinin zayıflaması, sadece bu numunelerde görülen kuruma çatlakları (Şekil 4h) ve ikincil jips oluşumlarından (Şekil 5b) kaynaklanmaktadır.

Asit ve sülfat etkileri atık tanelerini birbirine bağlayan ve taneler arası boşlukları dolduran bağlayıcı bağlar zayıflatarak ayrıştırırken, ikincil mineral oluşumları da dolgu mikroyapısını daha heterojen hale getirmektedir. Bu unsurlar P-dalga hızının daha fazla kırılarak

yayılmasına ve azalmasına neden olmaktadır (Aydın ve Doven, 2006; Smolarkiewicz vd., 2000). Dolgu numunelerinde bağlayıcı yapılarda meydana gelen bozunma, dolgunun sağlamlığını ve sertliğini etkileyerek dayanımla birlikte P-dalga hızı gibi diğer mühendislik özelliklerinin düşmesine doğrudan neden olmaktadır (Gupta ve Seshagiri Rao, 1998; Vasconcelos vd., 2008). Dolayısıyla, Karpuz ve Paşamehmetoğlu (1997)'nin bulguları esas alındığında, macun dolgu numunelerinin içsel özelliklerine bağlı olarak zamanla C-S-H ürünlerinde asit ve sülfat etkileri ile meydana gelen bozunma ve oluşan heterojen yapı (özellikle çimento örnekleri için), dayanım ve P-dalga hızlarının düşmesinin nedenleri olarak ortaya çıkmaktadır. P-dalga hızının kür süresine bağlı olarak ölçülmesinin macun dolgu numunelerinin dayanım ve duraylılık özelliklerinin değerlendirilmesinde önemli katkı yapacağı görülmektedir. Buradan hareketle, belirli bir atık türü ve macun dolgu bileşimi için dayanım ve duraylılık özellikleri P-dalga hızı ile sağlıklı bir şekilde takip edilebilir.

SONUÇLAR

Yüksek sülfür içeriğine sahip atıklardan hazırlanan macun dolguda hedeflenen kısa ve uzun dönem dayanım için bağlayıcı içeriği optimize edilmelidir. Bu çalışmada %7 bağlayıcı oranında hazırlanan dolgu numunelerinin tamamının hedef dayanım değerini sağladığı belirlenmiştir. Normal Portland çimento (PPÇ) ve puzolanik Portland çimento (PPÇ) numunelerinde uzun dönemde asit ve sülfat etkileri nedeniyle sırasıyla yaklaşık %25 ve %6 oranlarında dayanım kayıpları görülmüştür. En yüksek dayanım kayıpları NPÇ örneklerinde meydana gelmiştir. NPÇ kullanımı asit ve sülfat etkilerini azaltmıştır.

Sodyum silikat ile (LSS-C) ve sodyum hidroksit ile aktifleştirilmiş cüruf (SH-C) çimentoları kullanılması durumunda ise NPÇ ve PPÇ örneklerine kıyasla yaklaşık 4.5 ve 3 kat daha yüksek dayanım sonuçları elde edilmiştir. SH-C örneklerinde uzun dönemde yaklaşık %8 dayanım kaybı görülmüştür. AAC numuneleri asit ve sülfat etkilerine karşı daha dayanıklı sonuçlar üretmiştir. Sülfürce zengin atıklarla en iyi etkileşimi LSS-C örnekleri vermiştir.

En düşük P-dalga hızları NPÇ ve PPÇ, en yüksek P-dalga hızları ise LSS-C numunelerinde ölçülmüştür. P-dalga hızları ile dayanım sonuçlarının birbirleri ile korele oldukları belirlenmiştir. pH, porozite ve SEM

analizlerine göre P-dalga hızı ve dayanımdaki azalmalar, sülfürce zengin maden atıklarından hazırlanan macun dolgu numunelerinin içsel özelliklerine bağlı olarak zamanla C-S-H ürünlerinde asit ve sülfat etkileri nedeniyle meydana gelen bozunma, genleşme minerallerinin (ikincil jips ve etrenjit) sebep olduğu heterojen yapı ve kuruma çatlaklarından kaynaklanmıştır. Dolayısıyla belirli bir atık türü için macun dolgu bileşiminin zamana bağlı dayanım ve duraylılık özelliklerinin P-dalga hızı ile sağlıklı bir şekilde takip edilebileceği görülmüştür.

KATKI BELİRTME

Bu çalışma, Karadeniz Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimince desteklenen 8629 no'lu KTÜ BAP03 araştırma projesi kapsamında yapılmıştır. P-dalga hızının ölçülmesinde yardımcı olan Maden Yüksek Mühendisi Sinan OCAK'a ve değerlendirme sürecinde değerli zamanlarını ayırarak makaleye teknik ve içerik yönünden katkı sağlayan hakemlere teşekkür ediyorum.

KAYNAKLAR

- Altındağ, R., 2012. Correlation between P-wave velocity and some mechanical properties for sedimentary rocks. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 112, 229-237.
- ASTM C188-14., 2011. Standard Test Method for Density of Hydraulic Cement.
- ASTM C39/C39M-14a., 2012. Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens, ASTM International.
- ASTM C597-09, 2009. Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete, American Society of Testing Materials.
- ASTM D4404-10., 2010. Standard Test Method for Determination of Pore Volume and Pore Volume Distribution of Soil and Rock by Mercury Intrusion Porosimetry.
- ASTM D854-14., 2014. Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer. ASTM Int 1-8.
- Aydın, E., and Doven, A.G., 2006. Influence of water content on ultrasonic pulse-echo measurements through high volume fly ash cement paste - Physicomechanical

- characterization. *Research in Nondestructive Evaluation*, 17, 177–189.
- Benzaazoua, M., Fall, M., and Belem, T., 2004a. A contribution to understanding the hardening process of cemented pastefill. *Minerals Engineering*, 17, 141–152.
- Benzaazoua, M., Marion, P., Picquet, I., and Busiere, B., 2004b. The use of pastefill as a solidification and stabilization process for the control of acid mine drainage. *Minerals Engineering*, 17, 233–243.
- Benzaazoua, M., Ouellet, J., Servant, S., Newman, P., and Verburg, R., 1999. Cementitious backfill with high sulfur content Physical, chemical, and mineralogical characterization. *Cement and Concrete Research*, 29, 719–725.
- Chen, J.J., Thomas, J.J., and Jennings, H.M., 2006. Decalcification shrinkage of cement paste. *Cement and Concrete Research*, 36, 801–809.
- Christaras, B., 2009. P-wave velocity and quality of building materials. *Recent Advances in Geology and Seismology, Proceedings of the 3rd IASME/WSEAS International Conference on Geology and Seismology (GES 2009)*, WSEAS Press, Cambridge, UK, February 24–26, p.41–46.
- Cihangir, F., 2011. Aktifleştirilmiş yüksek fırın cürufunun macun dolguda bağlayıcı olarak kullanılabilirliğinin araştırılması. Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, p.181 (Yayımlanmamış).
- Cihangir, F., Ercikdi, B., Kesimal, A., Turan, A., and Deveci, H., 2012. Utilisation of alkali-activated blast furnace slag in paste backfill of high-sulphide mill tailings: Effect of binder type and dosage. *Minerals Engineering*, 30, 33–43.
- Cihangir, F., Ercikdi, B., Kesimal, A., Deveci, H., and Erdemir, F., 2015a. Paste backfill of high-sulphide mill tailings using alkali-activated blast furnace slag: Effect of activator nature, concentration and slag properties. *Minerals Engineering*, 83, 117–127.
- Cihangir, F., Kesimal, A., Deveci, H., Erçikdi, B., ve Akyol, Y., 2015b. Aktifleştirilmiş yüksek fırın cürufuyla hazırlanan macun dolgunun performans ve mikroyapı özelliklerinin araştırılması. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projesi (Proje no: 8629), Trabzon, Türkiye (Yayımlanmamış).
- Cincotto, M.A., Melo, A.A., and Repette, W.L., 2003. Effect of different activators type and dosages and relation to autogenous shrinkage of activated blast furnace slag cement, *Proceedings of the 11th International Congress on the Chemistry of Cement (ICCC)*, 11-16 May, Durban South Africa, p.1878–1888.
- Demirboga, R., Turkmen, I., and Karakoc, M.B., 2004. Relationship between ultrasonic velocity and compressive strength for high-volume mineral-admixed concrete. *Cement and Concrete Research*, 34, 2329–2336.
- Erçikdi, B., Baki, H., and Izki, M., 2013. Effect of desliming of sulphide-rich mill tailings on the long-term strength of cemented paste backfill. *Journal of Environmental Management*, 115, 5–13.
- Erçikdi, B., Cihangir, F., Kesimal, A., Deveci, H., and Alp, I., 2010a. Effect of natural pozzolans as mineral admixture on the performance of cemented-paste backfill of sulphide-rich tailings. *Waste Management and Research*, 28, 430–435.
- Erçikdi, B., Cihangir, F., Kesimal, A., Deveci, H., and Alp, I., 2010b. Utilization of water-reducing admixtures in cemented paste backfill of sulphide-rich mill tailings. *Journal of Hazardous Materials*, 179, 940–946.
- Erçikdi, B., Cihangir, F., Kesimal, A., Deveci, H., and Alp, I., 2009a. Utilization of industrial waste products as pozzolanic material in cemented paste backfill of high sulphide mill tailings. *Journal of Hazardous Materials*, 168, 848–856.
- Erçikdi, B., Kesimal, A., Cihangir, F., Deveci, H., and Alp, I., 2009b. Cemented paste backfill of sulphide-rich tailings: Importance of binder type and dosage. *Cement and Concrete Composites*, 31, 268–274.
- Erçikdi, B., Yılmaz, T., and Külekci, G., 2014. Strength and ultrasonic properties of cemented paste backfill. *Ultrasonics* 54, 195–204.
- Fall, M., Adrien, D., Célestin, J.C., Pokharel, M., and Touré, M., 2009. Saturated hydraulic

- conductivity of cemented paste backfill. *Minerals Engineering*, 22, 1307–1317.
- Fall, M., and Benzaazoua, M., 2005. Modeling the effect of sulphate on strength development of paste backfill and binder mixture optimization. *Cement and Concrete Research*, 35, 301–314.
- Fall, M., Benzaazoua, M., and Ouellet, S., 2005. Experimental characterization of the influence of tailings fineness and density on the quality of cemented paste backfill. *Minerals Engineering*, 18, 41–44.
- Fall, M., and Pokharel, M., 2010. Coupled effects of sulphate and temperature on the strength development of cemented tailings backfills: Portland cement-paste backfill. *Cement and Concrete Composites*, 32, 819–828.
- Fernández-Jiménez, A., and Puertas, F., 2003. Effect of activator mix on the hydration and strength behaviour of alkali-activated slag cements. *Advances in Cement Research*, 15, 129–136.
- Gaitero, J.J., Campillo, I., and Guerrero, A., 2008. Reduction of the calcium leaching rate of cement paste by addition of silica nanoparticles. *Cement and Concrete Research*, 38, 1112–1118.
- Galaa, A.M., Thompson, B.D., Grabinsky, M.W., and Bawden, F.B., 2011. Characterizing stiffness development in hydrating mine backfill using ultrasonic wave measurements. *Canadian Geotechnical Journal*, 48, 1174–1187.
- Gupta, A.S., and Seshagiri Rao, K., 1998. Index properties of weathered rocks: Inter-relationships and applicability. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 57, 161–172.
- Hamdi, E., and Lafhaj, Z., 2013. Microcracking based rock classification using ultrasonic and porosity parameters and multivariate analysis methods. *Engineering Geology*, 167, 27–36.
- Inan Sezer, G., Ramyar, K., Karasu, B., Burak Goktepe, A., and Sezer, A., 2008. Image analysis of sulfate attack on hardened cement paste. *Materials Design*, 29, 224–231.
- Irassar, E.F., Gonzalez, M., and Rahhal, V., 2000. Sulphate resistance of type V cements with limestone filler and natural pozzolana. *Cement and Concrete Composites*, 22, 361–368.
- Kahraman, S., 2007. The correlations between the saturated and dry P-wave velocity of rocks. *Ultrasonics* 46, 341–348.
- Kahraman, S., 2002a. Estimating the direct P-wave velocity value of intact rock from indirect laboratory measurements. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Science*, 39, 101–104.
- Kahraman, S., 2002b. The effects of fracture roughness on P-wave velocity. *Engineering Geology*, 63, 347–350.
- Kahraman, S., 2001. Evaluation of simple methods for assessing the uniaxial compressive strength of rock. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Science*, 38, 981–994.
- Kahraman, S., Ulker, U., and Delibalta, M.S., 2007. A quality classification of building stones from P-wave velocity and its application to stone cutting with gang saws. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 107, 427–430.
- Karakul, H., ve Ulusay, R., 2012. Kayaların Dayanım Özelliklerinin Farklı Doymuluk Koşullarında P-dalga Hızından Kestirimi ve P-Dalga Hızının Fiziksel Özelliklere Olan Duyarlılığı Prediction of Strength Properties of Rocks at Different Saturation Physical Properties. *Yerbilimleri*, 33, 239–268.
- Karaman, K., ve Kesimal, A., 2013. Kayaçların Tek Eksenli Basınç Dayanımı ile Ultrasonik Dalga Hızı Arasındaki İlişkinin Değerlendirilmesi. *MT Bilimsel, Yer Altı Kaynakları Dergisi*, 4, 9–17.
- Karpuz, C., and Paşamehmetoğlu, A.G., 1997. Field characterisation of weathered Ankara andesites. *Engineering Geology*, 46, 1–17.
- Kesimal, A., Yılmaz, E., and Ercikdi, B., 2004. Evaluation of paste backfill mixtures consisting of sulphide-rich mill tailings and varying cement contents. *Cement and Concrete Research*, 34 (10), 1817–1822.

- Kesimal, A., Yilmaz, E., Ercikdi, B., Alp, I., and Deveci, H., 2005. Effect of properties of tailings and binder on the short-and long-term strength and stability of cemented paste backfill. *Materials Letters*, 59, 3703–3709.
- Kesimal, A., Cihangir, F., Ercikdi, B., Deveci, H., ve Alp I., 2010. Optimization of paste backfill performance for different ore types in Cayeli Copper Mine. Karadeniz Technical University, Revolving Fond Project, Trabzon, Turkey (Yayımlanmamış, in English).
- Khater, H.M., 2014. Studying the effect of thermal and acid exposure on alkali-activated slag geopolymer. *Advances in Cement Research*, 26, 1–9.
- Kılıç, A., and Teymen, A., 2008. Determination of mechanical properties of rocks using simple methods. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 67, 237–244.
- Komljenović, M.M., Baščarević, Z., Marjanović, N., and Nikolić, V., 2012. Decalcification resistance of alkali-activated slag. *Journal of Hazardous Materials*, 233-234, 112–121.
- Landriault, D.A., 2001. Backfill in underground mining: Underground mining methods engineering fundamentals and international case studies. Society for Mining, Metallurgy and Exploration, Hustrulid, W.A., Bullock, R.L. (Eds.), Litleton, Colorado, p.601–614.
- Landriault, D.A., 1995. Paste backfill mix design for Canadian underground hard rock mining, Proceedings of the 97th Annual General Meeting of the CIM Rock Mechanics and Strata Control Session, Nova Scotia, Canada, p.652–663.
- Nehdi, M., and Tariq, A., 2007. Developing durable paste backfill from sulphidic tailings. Proceedings of the Institution of Civil Engineers–Waste and Resource Management, 160-4, 155–166.
- Pokharel, M., and Fall, M., 2013. Combined influence of sulphate and temperature on the saturated hydraulic conductivity of hardened cemented paste backfill. *Cement and Concrete Composites*, 38, 21–28.
- Powers, T.C., 1958. Structure and Physical Properties of Hardened Portland Cement Paste. *Journal of the American Ceramic Society*, 41, 1–6.
- Rashad, A.M., Bai, Y., Basheer, P.A.M., Milestone, N.B., and Collier, N.C., 2013. Hydration and properties of sodium sulfate activated slag. *Cement and Concrete Composites*, 37, 20–29.
- Shi, C., Krivenko, P.V., and Roy, D., 2006. *Alkali-Activated Cements and Concretes*. Taylor and Francis, London and New York.
- Shi, C., and Stegemann, J.A., 2000. Acid corrosion resistance of different cementing materials. *Cement and Concrete Research*, 30, 803–808.
- Smolarkiewicz, P.P., Nogueira, C.L., and Willam, K.J., 2000. Ultrasonic Evaluation Damage in Heterogeneous Concrete Materials. European Congress on Computational Methods in Applied Sciences and Engineering (ECCOMAS 2000), Barcelona, p.1–13.
- Song, S., Sohn, D., Jennings, H.M., and Mason, T.O., 2000. Hydration of alkali-activated ground granulated blast furnace slag. *Journal of Materials Science*, 35, 249–257.
- Trtnik, G., Kavčič, F., and Turk, G., 2009. Prediction of concrete strength using ultrasonic pulse velocity and artificial neural networks. *Ultrasonics* 49, 53–60.
- TS EN 196-6., 2010. Methods of testing cement - Part 6: Determination of fineness.
- Vasconcelos, G., Lourenço, P.B., Alves, C.A.S., and Pamplona, J., 2008. Ultrasonic evaluation of the physical and mechanical properties of granites. *Ultrasonics* 48, 453–466.
- Wu, D., Zhang, Y., and Liu, Y., 2016. Mechanical performance and ultrasonic properties of cemented gangue backfill with admixture of fly ash. *Ultrasonics* 64, 89–96.
- Yağız, S., 2011. P-wave velocity test for assessment of geotechnical properties of some rock materials. *Bulletin of Materials Science*, 34, 947–953.
- Yaşar, E., and Erdoğan, Y., 2004. Correlating sound velocity with the density, compressive strength and Young's modulus of carbonate rocks. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Science*, 41, 871–875.

- Yılmaz, E., 2013. Factors affecting the performance of crushing plant operations. Proceedings of the 23rd International Mining Congress and Exhibition of Turkey, IMCET 2013, Kemer, Antalya, Turkey, April 16-19, p.293-301.
- Yılmaz, E., Belem, T., Bussi re, B., Mbonimpa, M., and Benzaazoua, M., 2015. Curing time effect on consolidation behaviour of cemented paste backfill containing different cement types and contents. *Construction and Building Materials*, 75, 99–111.
- Yılmaz, T., Ercikdi, B., Karaman, K., Kulekci, G., 2014. Assessment of strength properties of cemented paste backfill by ultrasonic pulse velocity test. *Ultrasonics* 54, 1386–1394.

Abdüsselam Kısıtılmış Tektonik Kaması: KB Orta Anadolu'da daralma rejimiyle ilişkili bir Geç Senozoyik yapısı

Abdüsselam Pinched Crustal Wedge: a Late Cenozoic structure related to the contractional regime in the NW Central Anatolia

KORHAN ESAT^{1*}, GÜROL SEYİTOĞLU¹, BERKAN ECEVİTOĞLU², BÜLENT KAYPAK³

¹Ankara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 06830 Ankara

²Anadolu Üniversitesi, Yer ve Uzay Bilimleri Enstitüsü, 26555 Eskişehir

³Ankara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, 06830 Ankara

Geliş (received) : 12 Temmuz (July) 2016

Kabul (accepted) : 15 Aralık (December) 2016

ÖZ

KB Orta Anadolu'da yer alan Ankara'nın batısındaki Neojen öncesi temel birimler, kabuktaki daralmanın etkisiyle yükselerek Neojen ve daha genç sedimanter birimleri deforme eder ve kesit görüntüsünde bir tektonik kama yapısı oluşturur. Eş yaşlı olarak doğu kenarı bindirme/ters, batı kenarı ise normal faylarla sınırlı bu yapı Abdüsselam Kısıtılmış Tektonik Kaması (AKTK) olarak isimlendirilmiştir. AKTK'nin çevresinde ve kuzey ve güney devamında yer alan Neojen ve daha genç birimlerdeki daralmayla ilişkili deformasyon yapıları, bölgede Orta Pliyosen'den günümüze KB-GD yönlü bir daralma rejiminin etkin olduğunu gösterir. Ankara şehir merkezinin batısında yer alan ve olasılıkla aktif olan bu kama yapısıyla ilişkili faylar, bölgedeki yoğun yapılaşma ve diğer önemli tesisler düşünüldüğünde deprem riski açısından dikkate alınmalıdır.

Anahtar Kelimeler: Ankara, Daralma rejimi, Geç Senozoyik, KB Orta Anadolu, Tektonik kama.

ABSTRACT

The Neogene and younger sedimentary units, which are located in the W of Ankara, NW central Anatolia, have been uplifted and deformed by the pre-Neogene basement rocks due to the crustal contraction. Thus, a tectonic wedge structure has been formed in cross-section view. This structure having coeval thrust and normal faults at its eastern and western boundaries, respectively, is called as Abdüsselam Pinched Crustal Wedge (APCW). The contraction related deformation structures in the Neogene and younger sedimentary units around the APCW and along its northern and southern continuation show that the NW-SE-directed contractional regime has been active in the region since Middle Pliocene. Therefore, the faults related to the APCW located in the west of Ankara city center should be taken into consideration for the earthquake risk when considering the dense settlement and the other important facilities in the region.

Keywords: Ankara, Contractional regime, Late Cenozoic, NW central Anatolia, Tectonic wedge.

*K. Esat

e-posta: esat@ankara.edu.tr

GİRİŞ

KB Orta Anadolu Bölgesi, genel olarak doğudaki yaklaşık kuzey-güney yönlü daralma ile batıdaki yaklaşık kuzey-güney yönlü genişleme sistemlerinin arasında yer alır (Şengör vd. 1985). Doğrultu atımlı fay zonlarının etkisi altındaki KB Orta Anadolu Bölgesi'ni etkileyen başlıca yapılar Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ), Kırıkkale-Erbaa Fay Zonu (KEFZ), Eskişehir Fay Zonu (EFZ), Tuzgölü Fay Zonu (TFZ), Eldivan-Elmadağ Kısırlı Tektonik Kaması (EKTK) ve Beypazarı Kör Bindirme Zonu (BKBZ)'dur (Şekil 1a). Günümüzde Türkiye ve yakın çevresinin ve dolayısıyla bu fay zonlarının tektonik gelişimini kontrol eden ana unsurlar ise Bitlis-Zagros Kenet Kuşağı boyunca Arap ve Avrasya levhalarının çarpışması, Anadolu bloğunun batıya doğru hareketi ve Afrika levhasının Ege ve Kıbrıs yayları boyunca Anadolu bloğunun altına dalmasıdır (McKenzie, 1972; Şengör 1980) (Şekil 1b). Bu tektonik olayların etkisiyle Doğu Akdeniz bölgesinde şekillenen deformasyon yapıları, Türkiye'nin sıkça büyük depremlerin de görüldüğü tektonik olarak aktif bir bölge olmasına neden olmaktadır.

Bu neotektonik çerçeve içerisinde, makalenin inceleme alanını oluşturan ve KB Orta Anadolu'da yer alan Ankara'nın batısı, sağ yönlü doğrultu atımlı ana fay zonları olan KAFZ, EFZ ve KEFZ yapılarıyla çevrili yaklaşık üçgen şekilli bölge içerisinde yer alır (Şekil 1a). Bu bölge içerdiği KB-GD yönlü daralmayla ilişkili deformasyon yapıları nedeniyle "KB Orta Anadolu Daralma (Sıkışma) Bölgesi" olarak tanımlanmıştır (Esat ve Seyitoğlu, 2010; Esat 2011). Bununla birlikte, Ankara'nın batı bölümü ve yakın çevresinde yapılmış önceki çalışmalarda, ana doğrultu atımlı fay zonlarının çevrelediği bölgede günümüzde etkili olan tektonik rejimin niteliğiyle ilgili farklı görüşler bulunmaktadır. İlerleyen bölümlerde bu görüşler özetlendikten sonra, jeolojik gözlemlerin ve sismik yansıma çalışmalarının ışığında tanımladığımız Abdüsselam Kısırlı Tektonik Kaması (AKTK) ve ilişkili yapılarının, bölgenin güncel tektonik rejimiyle ilişkisi tartışılacaktır.

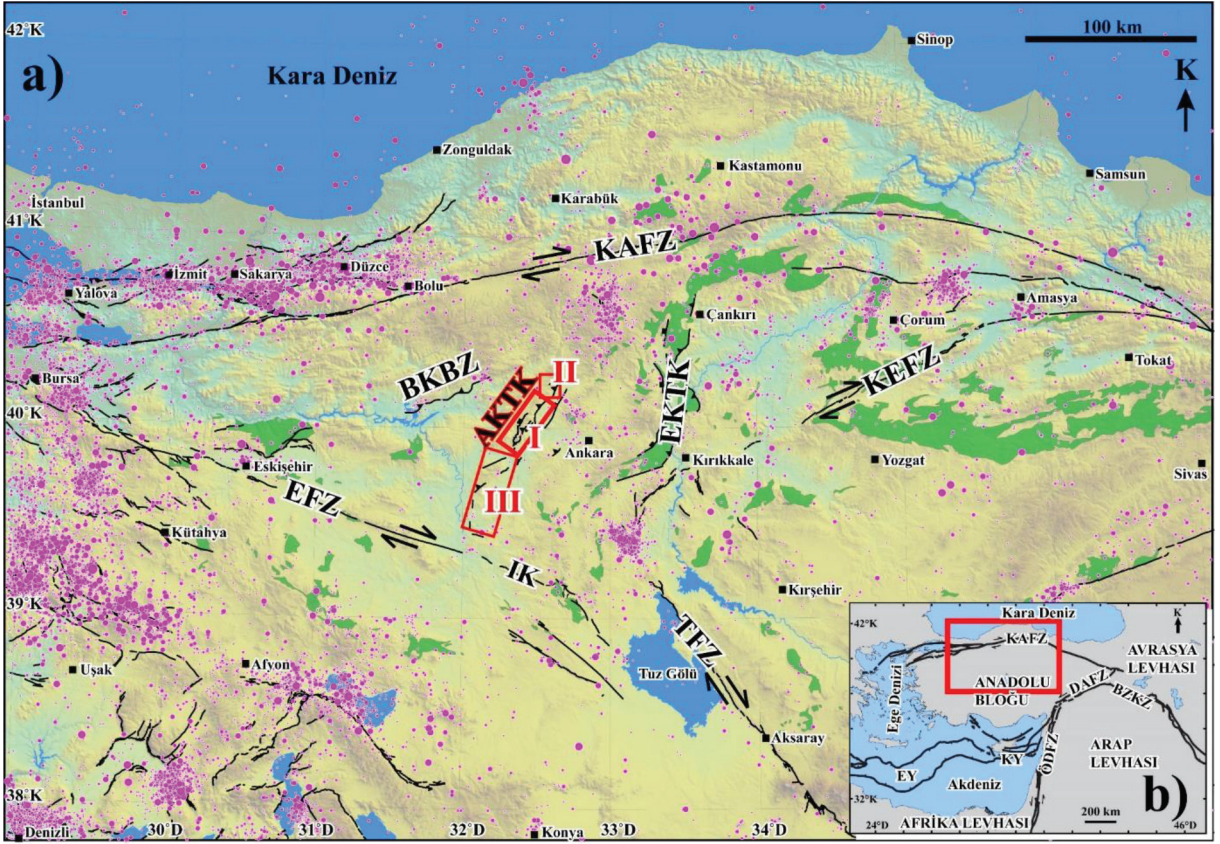
ANKARA ÇEVRESİNDE KB ORTA ANADOLU'YU ETKİLEYEN NEOTEKTONİK REJİMİN NİTELİĞİ ÜZERİNE GÖRÜŞLER

Önceki araştırmacıların, KAFZ'in güneyinde KB Orta Anadolu'yu etkileyen neotektonik rejimin niteliğiyle ilgili Ankara çevresindeki gözlemlerine dayanarak vardıkları birbirini destekleyen ya da çelişen görüşlerin bir özeti aşağıda ve Şekil 2'de verilmektedir.

Gökten vd. (1988)'nin Ankara'nın kuzeybatısında Bağlum ve Kazan arasında gerçekleştirdikleri çalışmaya göre, Oligo-Miyosen ile Pliyosen aralığında daralmalı rejimin etkisindeki bölge, Pliyosen sonrasında graben oluşumu ile temsil olunan genişlemeli bir neotektonik rejimin etkisi altına girer. Bununla birlikte, Koçyiğit (1991) Ankara bölgesinin neotektoniğini incelediği çalışmasında bölgedeki yapıları KB-GD yönlü daralma etkisiyle gelişmiş Geç Pliyosen öncesi ve K-G yönlü daralmanın oluşturduğu Geç Pliyosen-Kuvaterner olarak iki gruba ayırır. Bu çalışmaya göre Geç Miyosen'den beri bölgeyi etkileyen KB-GD yönlü daralma rejimi Geç Pliyosen'de yerini K-G daralmaya bırakır ve günümüzde de etkin olan daralma yönü K-G'dir. Koçyiğit (1991)'in Ankara çevresinde Yuva Köyü civarı, Yakacık Köyü'nün kuzeydoğusu, Edige Köyü'nün 500 m güneydoğusu ve 2 km kuzeyinde incelediği bölgelerde Neojen öncesi temel birimler ile Neojen birimler arasında bindirme olarak gösterilen sınırlar, Seyitoğlu vd. (1997) tarafından yeniden gözden geçirilerek tartışılmıştır. Buna göre Seyitoğlu vd. (1997) bölgede çarpışma sonrası daralmalı tektonik rejimin Erken Miyosen'de sona erdiğini, Erken Miyosen-Pliyosen aralığında olasılıkla orojenik çökmeye bağlı genişlemeli bir tektonik rejimin geliştiğini ve Pliyosen'den günümüze de KAFZ'in etkisiyle bölgede transpresyonel ya da transtansiyonel bir tektonik rejimin etkili olduğunu söyler.

Koçyiğit (1992)'in Ankara-Yuva Köyü'ndeki gözlemlerine göre, Ankara-Erzincan Kenet Zonu boyunca çarpışma sonrası daralmalı rejim Ponsiyen (Geç Miyosen)'de sonlanmış ve sonrasında doğrultu atımlı faylanmayla ilişkili Pliyo-Kuvaterner yaşlı neotektonik bir döneme girilmiştir. Yuva Köyü'ndeki fayın türü ile ilgili farklı iki görüş olması nedeniyle (Koçyiğit, 1991; 1992; Seyitoğlu vd., 1997) Özsayın vd. (2005) Ankara-Yuva Köyü civarında gerçekleştirdikleri çalışmada, Koçyiğit (1992) tarafından K-G yönlü daralmanın kanıtı olarak gösterilen D-B doğrultulu bindirme faylarının varlığını arazi gözlemleriyle doğrulamıştır. Bu çalışma sonrasında Seyitoğlu vd. (2006), Ankara-Yuva Köyü çevresinde bindirme olarak haritalanan fayların (Koçyiğit, 1991; 1992; Özsayın vd., 2005) niteliğini jeolojik ve jeofizik yöntemlerle tekrar denetleyerek, normal fay karakterinde olduklarını belirlemiş, dolayısıyla bölgede K-G yönlü daralmayı kanıtlayacak bir veri olmadığını söylemiştir.

Koçyiğit vd. (1995), "Ankara Orojenik Safhası" olarak tanımladıkları çarpışma sonrası daralmalı rejimin geç-Erken Pliyosen'de sonlandığını, sonrasında ise

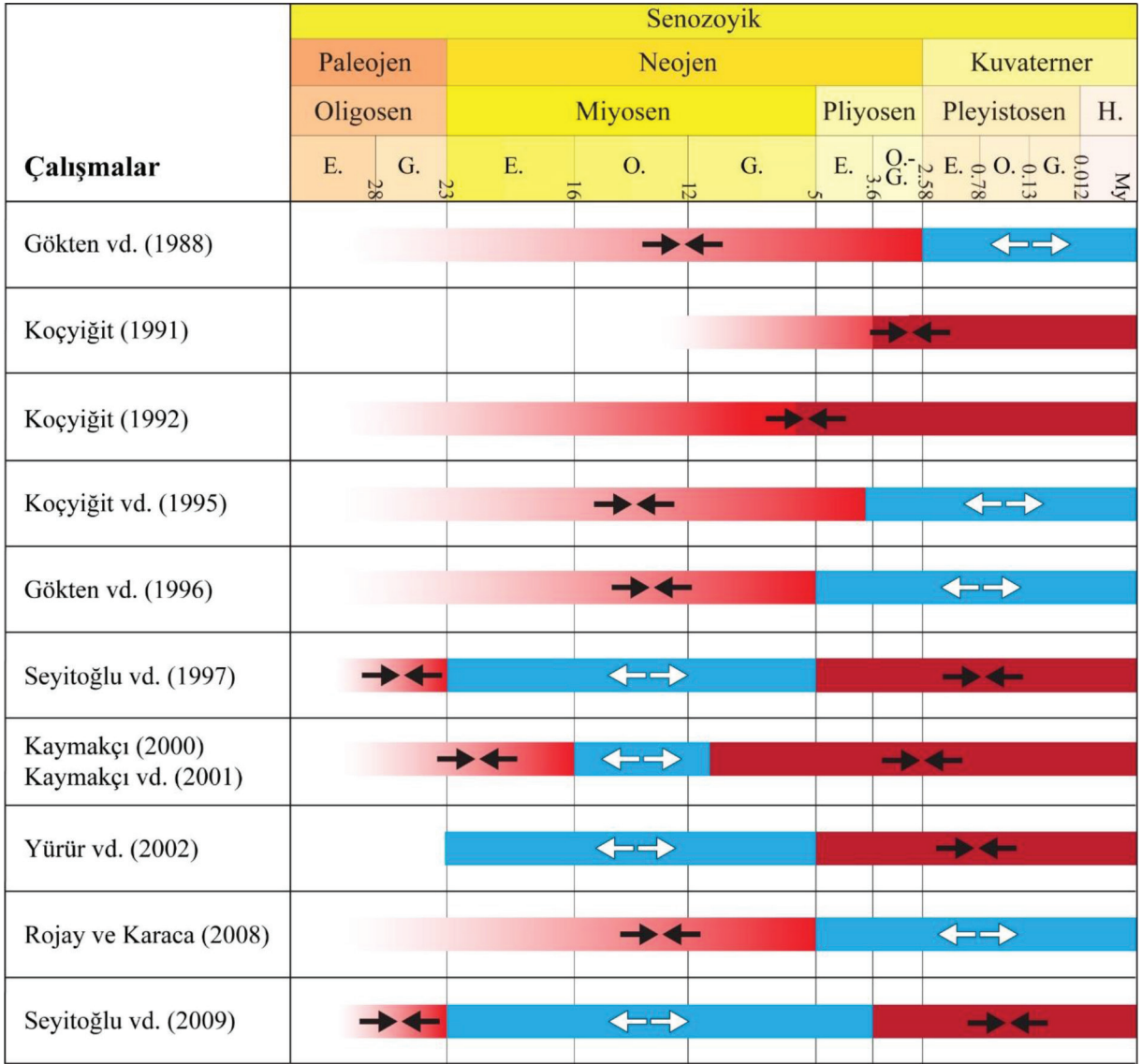


Şekil 1. a) Siyah hatlar KB Orta Anadolu'nun önemli neotektonik yapılarını (Emre vd., 2013; Esat vd., 2016; Seyitoğlu vd., 2009; Seyitoğlu vd. 2017'den yararlanılarak çizilmiştir), pembe daireler ise aletsel dönemdeki deprem dağılımını gösterir (B.Ü. Kandilli Rasathanesi UDİM kataloğundan alınmıştır). Kırmızı çerçeveler inceleme alanlarını gösterir: I: Abdüselam Kısırlımsız Tektonik Kaması (AKTK), II: Çalta ve Sinap Tepe bölgeleri, III: Çiledağ, Şabanözü, Dua Tepe ve Sakarya bölgeleri. BKBZ: Beypazarı Kör Bindirme Zonu, EFZ: Eskişehir Fay Zonu, ETKK: Eldivan-Elmadağ Tektonik Kaması, IK: Ilica Kolu, KEFZ: Kırıkkale-Erbaa Fay Zonu, TFZ: Tuz Gölü Fay Zonu. Yeşil alanlar İzmir-Ankara-Erzincan Kenet Zonunu oluşturan ofiyolitik melanj kayaların gösterir. b) Doğu Akdeniz'in önemli neotektonik unsurları. KAFZ: Kuzey Anadolu Fay Zonu, DAFZ: Doğu Anadolu Fay Zonu, BZKZ: Bitlis-Zagros Kenet Zonu, ÖDFZ: Ölü Deniz Fay Zonu, EY: Ege Yayı, KY: Kıbrıs Yayı.

Figure 1. a) Black lines represent the major neotectonic structures (after Emre et al., 2013; Esat et al., 2016; Seyitoğlu et al., 2009; Seyitoğlu et al., 2017). Pink circles show the earthquake distribution in the instrumental period (obtained from the earthquake catalogue of B.U. KOERI). Red frames show the study areas: I: Abdüselam Pinched Crustal Wedge (AKTK), II: Çalta and Sinap Tepe areas, III: Çiledağ, Şabanözü, Dua Tepe and Sakarya areas. BKBZ: Beypazarı Blind Thrust Zone, EFZ: Eskişehir Fault Zone, ETKK: Eldivan-Elmadağ Pinched Crustal Wedge, IK: Ilica branch, KEFZ: Kırıkkale-Erbaa Fault Zone. Green areas indicate the ophiolitic mélanges of the İzmir-Ankara-Erzincan Suture Zone. b) Major neotectonic elements of Eastern Mediterranean. KAFZ: North Anatolian Fault Zone, DAFZ: East Anatolian Fault Zone, BZKZ: Bitlis-Zagros Suture Zone, ÖDFZ: Dead Sea Fault Zone, EY: Aegean Arc, KY: Cyprus Arc.

gravite çökmesine bağlı yeni bir tektonik rejimin egemen olduğunu öne sürmektedir. Benzer şekilde Rojay ve Karaca (2008) da, Galatya Volkanik Bölgesi'nin güneyinde yaptıkları gözlemlere dayanarak bölgede Pliyosen'den itibaren yönü KB-GD'dan KKD-GGB'ya değişen genişlemeli bir rejimin etkili olduğunu

söylemektedir. Gökten vd. (1996) de Ayaş - Gündül - Çeltikçi bölgesinde gerçekleştirdikleri çalışmaya göre Miyosen sonuna kadar KB-GD yönlü daralmalı, Erken Pliyosen'den sonra ise KB-GD yönlü genişlemeli bir rejimin bölgede var olduğunu belirtir. Buna karşılık Seyitoğlu vd. (2000; 2009), Ankara'nın doğu-



Şekil 2. Geç Senozoyik'te KB Orta Anadolu'yu etkileyen neotektonik rejimin niteliğiyle ilgili görüşler. Kırmızı daralmalı, mavi ise genişlemeli tektonik rejimin etkin olduğu zaman aralığını gösterir. Detaylı bilgi için metne bakınız.

Figure 2. Views on the character of the neotectonic regime of the NW central Anatolia in Late Cenozoic. Red and blue areas show periods of contractional and extensional tectonic regime, respectively. See text for details.

kuzeydoğusunda yer alan ETKK ile ilgili yaptıkları çalışmalarda günümüzde KAFZ ile KEFZ arasında kalan bölgenin KB-GD yönünde daralmaya uğradığını söylemektedir. Kaymakçı (2000) ve Kaymakçı vd. (2001) de Ankara'nın doğu-kuzeydoğusundaki Çankırı Havzası'nda Orta Miyosen'e kadar daralmanın, Orta-erken Geç Miyosen'de genişlemenin ve erken Geç Miyosen'den günümüze de transpresyonel bir rejimin etkili olduğunu söyler. Yürür vd. (2002) de Galya Volkanik Bölgesi'nin güneyinden elde ettikleri

verilere göre Miyosen'de etkili olan genişlemeli rejimin Pliyosen'de sonlandığını belirtir.

Yukarıda özetlenen görüşlere bakıldığında bölgede günümüzde etkin olan rejimin niteliği hakkında farklı görüşlerin olduğu görülmektedir. Kiratzi (1993)'nin, deprensellik parametrelerini kullanarak hesapladığı yamulma eksenlerinin konumları, Ankara'nın kuzeyinde KAFZ üzerinde K49°B yönünde 14 mm/yıl'lık bir daralmayı gösterir. Ayrıca, Reilinger vd. (2006)'nin GPS veri seti kullanılarak hesaplanmış yamulma

eksen konumlarının (Allmendinger vd., 2007; Seyitoğlu vd., 2009), KAFZ ve KEFZ arasında kalan bölgenin KB-GD yönlü bir daralma etkisi altında olduğunu göstermesi de önemlidir.

Tektonik gelişimle ilgili tartışmalar dikkate alındığında, bölgedeki önemli deformasyon yapılarından biri olan Abdüselam Kısırılmış Tektonik Kaması'nın bu çalışma kapsamında tanımlanmış olması, bölgenin neotektonik rejiminin aydınlatılması adına önemli bir katkı sağlamaktadır.

ABDÜSSELAM KISTIRILMIŞ TEKTONİK KAMASI (AKTK)

Bir tektonik kamanın (pinched crustal wedge: Fossen, 2000) her iki tarafını sınırlayan yapılar olarak eş yaşlı gelişen normal ve bindirme faylarına büyük ölçekli olarak Himalayalarda (Burg vd., 1984; Burchfiel ve Royden, 1985; Burchfiel vd., 1992) ve EKTK (Seyitoğlu vd., 2009) örneklerinde rastlanır. Sıkışmayla oluşan tektonik kamalarda (elastik-kırılgan özellikte) eş yaşlı normal fayların gelişimi elastik bir model üzerinde teorik olarak tanımlandığı gibi (Yin, 1993), fiziksel modeller üzerinde de gelişimi izlenmiştir (Chemenda vd., 1995). Bu normal faylar "daralmaya ilişkin normal faylar" olarak adlandırılmıştır (Ring ve Glodny, 2010). AKTK de mevcut geometrik yapısıyla küçük ölçekli bir bindirme kamasıdır.

AKTK, Ankara şehir merkezinin 35 km batısında Yenikent ile Ayaş arasında yer alır ve Mürted ovasının (Kazan havzasının) batı sınırını oluşturur. KD-GB yönünde yaklaşık 30 km boyunca bir sırt şeklinde doğrusal olarak uzanan ve 6 km genişliğe sahip bu yükseltinin en yüksek noktası 1610 m'dir ve topoğrafik haritalarda Abdüselam Dağı olarak isimlendirilir. Yükseltinin doğu kenarı bindirme-ters faylarla, batı kenarı ise normal faylarla sınırlanır (Şekil 3). Orta Miyosen-Pliyosen karasal sedimanter birimleri deforme eden eş yaşlı bu fayların oluşturduğu yükselti, bu yapısal özelliği nedeniyle tektonik bir kama olarak tanımlanmıştır.

Yükseltinin özellikle doğu bölümündeki deformasyon yapıları Kutluay (2007) tarafından çalışılmıştır. Yapıyı KD-GB doğrultulu büyük bir antiklinal olarak tanımlayan (Abdüselam antiklinali) bu çalışmaya göre, inceleme alanında Neojen öncesi temel birimler (Galatya Volkanik Yay Karmaşığı'na ait volkanik-volkanoklastik kayalar ile ofiyolitik melanja ait bloklar) ve örtü birimleri (Geç Miyosen-Erken Pliyosen yaşlı Pazar

formasyonu, Geç Pliyosen-Pleyistosen yaşlı Etimesgut formasyonu ve Kuvaterner-alüvyon çökelleri) bulunmaktadır.

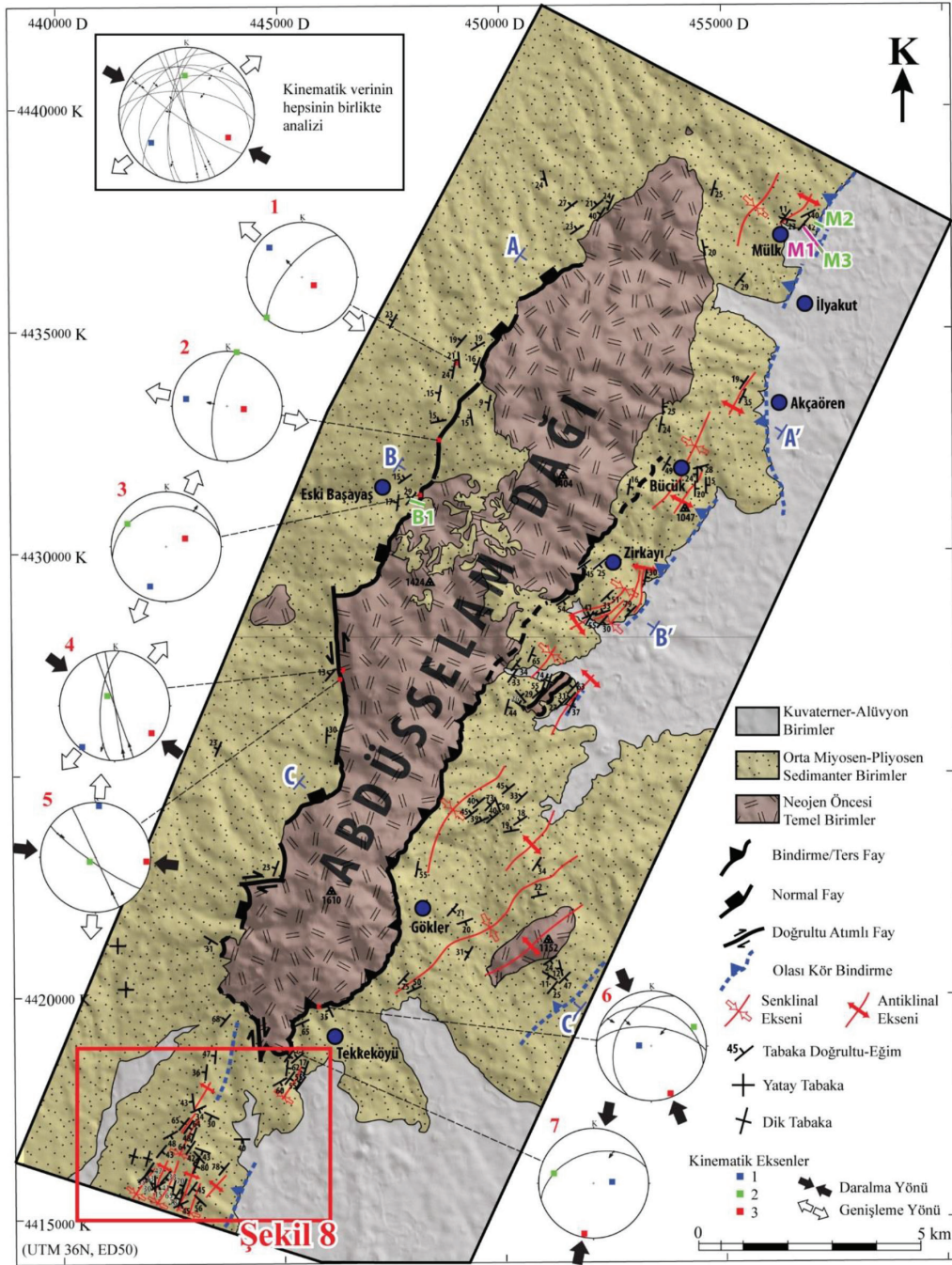
Bölgede gerçekleştirdiğimiz arazi çalışmaları sonucunda jeolojik birimler ve yapısal unsurlar haritalanmıştır (Şekil 3). Bölgedeki kaya birimleri Neojen öncesi temel birimler, Orta Miyosen-Pliyosen sedimanter birimler ve Kuvaterner-alüvyon birimler olarak üç grup altında haritalanmıştır. Jeoloji haritası hazırlanırken arazi çalışmalarının yanı sıra görünür yakın kızılötesi bantları kullanılan ve dekorelasyon germesi uygulanmış ASTER uydu görüntüsü de birimleri ayırt etmede destekleyici ve yardımcı bir araç olarak kullanılmıştır.

Bölgedeki Neojen öncesi temel birimler, ağırlıklı olarak volkanikler, volkanoklastikler, kireçtaşları ve metamorfik kayalardan oluşur. Dönmez vd. (2009)'ne göre Abdüselamdağ volkanitleri olarak isimlendirilen volkanik-volkanoklastik kayaların yaşı Orta Eosen'dir.

Orta Miyosen-Pliyosen sedimanter birimler kireçtaşı, marn, kumtaşı, kiltaşı ve tuf aralanmasından oluşur. Kömürlü seviyeler de içerir. Neojen öncesi temel birimlerle arasında faylı ya da uyumsuz sınırlara sahip bu birimin yaşı, AKTK'nin doğu ve batı bölümlerinden elde edilmiş fosil verileriyle belirlenmektedir. Eski Başayaş Köyü'nün kuzeyinde memeli fosillerine dayanılarak elde edilmiş yaş Geç Miyosen'dir (Saraç, 1994). Breli (1957), Bücük köyü civarındaki kömürlü seviyelerde bulunan polen ve sporelerden Geç Miyosen yaşını önermektedir. Nebert (1957) Bücük köyü civarında yaptığı çalışmada kömürlü seviyenin üzerine en az 700 m kalınlığa sahip sedimanların gelmesine dayanarak bu istifin en üst kesimlerinde Alt Pliyosen birimlerinin olma ihtimalinin yüksek olduğunu, dolayısıyla birimin yaşının Geç Miyosen-Erken Pliyosen olması gerektiğini önermektedir. Bununla birlikte, Benda (1971) Bücük köyündeki linyit oluşumlarından elde edilen sporomorf topluluğunun Yeni Eskihisar olduğunu belirtmiş olup, bu topluluğun yaş aralığı 11-14 My'dir (Benda vd., 1974; Benda ve Meulenkamp, 1990). Buna göre Bücük kömürlerini içeren istif Orta Miyosen yaşındadır.

Bölgedeki en genç birimler olan Kuvaterner-alüvyon birimleri ise Orta Miyosen-Pliyosen sedimanter kayaların üzerine uyumsuz olarak gelen az pekişmiş-pekişmemiş kırıntılılardan meydana gelir.

AKTK'nin doğu ve batı bölümleri farklı yapısal özellikler göstermektedir. Doğu bölümde Neojen öncesi



Şekil 3. AKTK ve yakın çevresinin jeoloji haritası. Daireler fay düzlemlerinin alt yarıküre eşit alan stereografik izdüşümlerini gösterir. Kinematik eksenler FaultKin (Marrett ve Allmendinger, 1990; Allmendinger vd., 2012) yazılımıyla belirlenmiştir. Kinematik veri için Çizelge 1'e bakınız. En üstte kinematik verinin tamamının değerlendirildiği, bölgesel daralma yönüyle uyumlu olduğu gözlenen bir analiz sunulmuştur. A-A', B-B' ve C-C' jeolojik kesit hatlarını (Şekil 7), M1, M2, M3 ve B1 (Şekil 9, 10, 11 ve 12) sismik yansıma hatlarını gösterir.

Figure 3. Geological map of the APCW and adjacent areas. Circles represent lower hemisphere equal area stereographic projections of the fault planes. Kinematic axes were determined with FaultKin software (Marrett and Allmendinger, 1990; Allmendinger et al., 2012). See Table 1 for the kinematic data. An analysis of the all kinematic data, which is compatible with the regional shortening direction, is presented on the top. A-A', B-B', and C-C' are the geological cross-section lines (Figure 7). M1, M2, M3, and B1 (Figure 9, 10, 11 and 12) are the seismic reflection lines.

temel birimler ile Orta Miyosen-Pliyosen sedimanter birimler arasındaki sınır bindirme-ters faylı ya da uyumsuz olarak gözlenir (Şekil 3 ve 4a,b,c,d). Bu bölümde bindirme önündeki sedimanter birimler kıvrımlanarak deforme olmuştur (Şekil 4a,e). Sedimanter birimlerin kendi içinde de ters faylar gözlenir (Şekil 4d). Kıvrım eksenleri bindirme doğrultularına paralel ve yaklaşık KD-GB gidişlidir (Şekil 3).

AKTK'nin batı bölümünde ise Orta Miyosen-Pliyosen sedimanter birimlerin tabakalarında batıya doğru hafif eğimlenmeler olmakla birlikte doğu bölümdeki gibi kıvrımlar gözlenmemektedir (Şekil 3 ve 5a,b). Bu bölümde Neojen öncesi temel birimler ile Orta Miyosen-Pliyosen sedimanter birimleri arasındaki ilişki normal faylı ya da uyumsuzdur (Şekil 3 ve 5a,b,c). Ayrıca normal faylar bu iki birim arasındaki sınırı izler şekilde, sedimanter birimleri de keser (Şekil 3 ve 5d). Bu durum, normal fayların Orta Miyosen-Pliyosen sonrasında geliştiğini gösterir. Bazı yerlerde normal fayların doğrultu atımlı faylarla ötelendiği de görülmektedir (Şekil 3 ve 5e).

Bölgedeki Neojen öncesi temel birimler yaklaşık KB-GD yönlü bir daralmanın etkisiyle üzerinde bulunan Orta Miyosen-Pliyosen sedimanter birimleri deforme ederek KD-GB doğrultusunda kama geometrisine sahip olarak yükselmiştir. AKTK'nin doğusu ve batısındaki Orta Miyosen-Pliyosen sedimanter birimlerin aynı litolojik özellikte ve yaşta olmaları ve temel birimlerin üzerinde de aynı sedimanter birimlerin uyumsuz olarak gözlenmesi, her ne kadar bölgede sintektonik sedimanter bir oluşum bulunmasa da bu kamayı sınırlayan normal ve bindirme faylarının —temel birimlerin kama geometrisinde yükselmesinin mekanik bir sonucu olarak— aynı yaştaki sedimanter birimleri deforme ederek eş zamanlı geliştiğini gösterir (Şekil 6). Bölgede normal ve bindirme faylarının farklı tektonik rejimler altında ve farklı zamanlarda oluştuğunu söyleyebileceğimiz bir veri yoktur. Diğer bir deyişle batı bölümdeki normal fayları kesen bindirme fayları ya da doğu bölümdeki bindirme/ters fayları kesen normal faylar gözlenmez. Sedimanter birimlerde saptanan KD-GB uzanımlı kıvrım eksenleri bölgede KB-GD doğrultulu bir sıkışmanın varlığını göstermektedir (Şekil 3).

Daralma ile birlikte yükselen Neojen öncesi temel birimler, doğu bölümde ters faylar-bindirmelerle Orta Miyosen-Pliyosen sedimanter birimleri deforme ederek kıvrımlara neden olmuş, batı bölümde ise bu birimleri üzerinde taşıyarak, tabakaları batıya doğru

eğimli olacak şekilde normal faylarla daha az deforme etmiştir (Şekil 7). Bu yapısal özelliği nedeniyle AKTK'nin, Ankara'nın doğusunda benzer şekilde KB-GD daralma etkisiyle oluşmuş ETK'nin (Şekil 1a) (Seyitoğlu vd., 2009) bir benzeri olduğu söylenebilir. ETK ve AKTK'nin uzanımlarına bakıldığında birbirlerine yaklaşık paralel yapılar olması da dikkat çekmektedir (Şekil 1a).

AKTK'nin güney bölümünde Tekkeköy'ün hemen güneybatısında Orta Miyosen-Pliyosen sedimanter birimler yoğun bir kıvrımlanmaya uğramıştır (Şekil 3 ve 8). Bu kıvrımlanmanın bir kör bindirmeyle ilişkili olduğu düşünülmektedir. Bu bölümdeki olası kör bindirmenin konumu jeoloji haritası ve uydu görüntüsünde kesikli mavi çizgiyle gösterilmiştir (Şekil 3 ve 8).

AKTK'nin doğu bölümünde Orta Miyosen-Pliyosen sedimanter birimlerin içinde gelişmiş çoğunlukla bir antiklinal yapının Kuvaterner birimlerle sınır oluşturduğu gözlenir (Şekil 3). AKTK'nin kuzey bölümünde Mülk Köyü civarında Orta Miyosen-Pliyosen sedimanter birimin tabakaları kıvrımlıdır. Burada da genel gidişe uygun olarak Neojen birimiyle Kuvaterneralüvyon arasındaki sınırdaki Orta Miyosen-Pliyosen sedimanter biriminin tabakaları asimetrik bir antiklinal oluşturur (Şekil 4e). Arazide gözlenen bu durum burada kör bindirmelerin varlığının öngörülmesine neden olmuştur. Bu öngörü Neojen öncesi temel ile Orta Miyosen-Pliyosen sedimanter birimleri arasında ve içerisinde açıkça izlendiğinden bölgesel yapıya uygunluk göstermektedir.

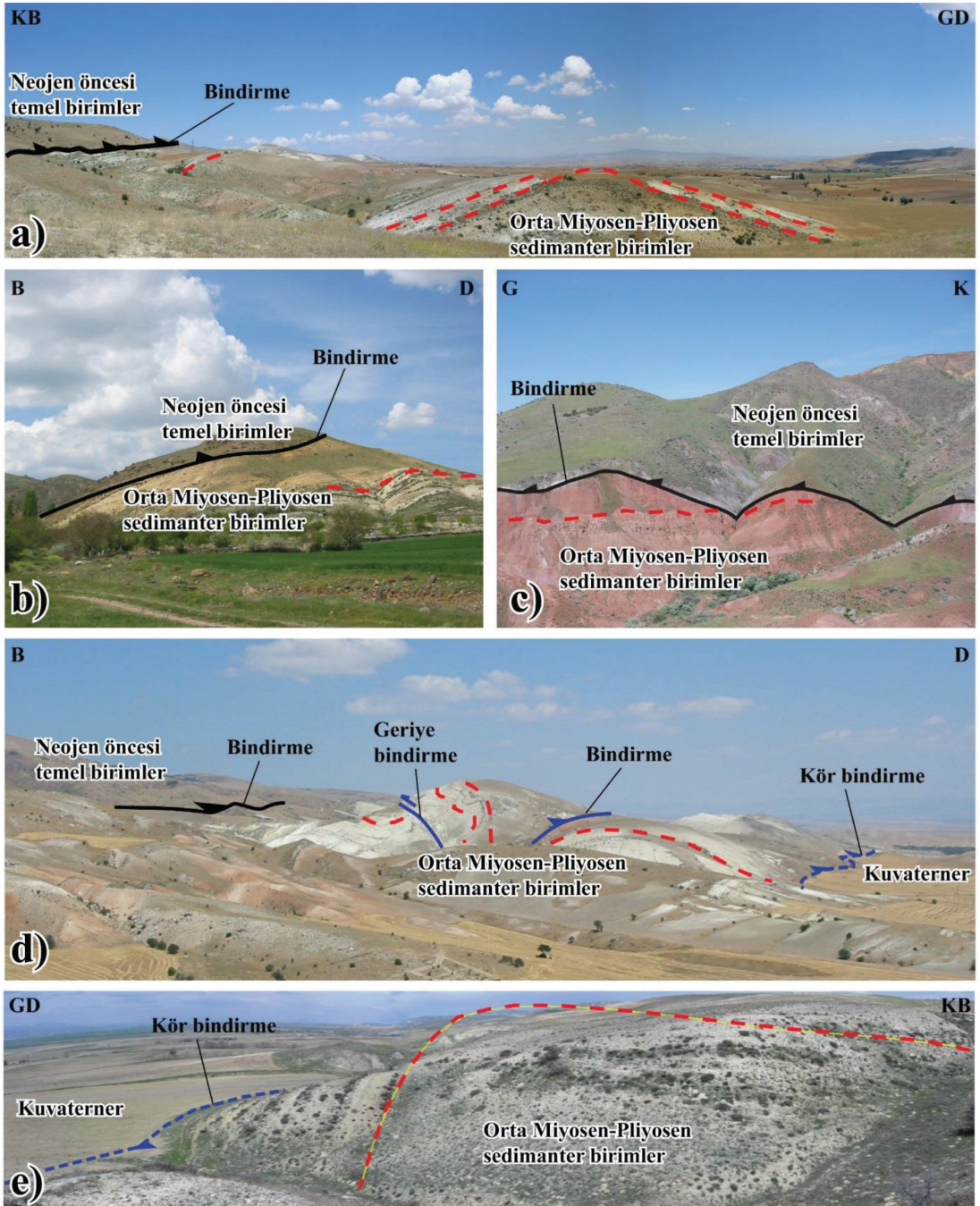
AKTK ile ilişkili faylara ait kinematik veri Çizelge 1'de verilmiştir. Fay düzlemleri ve kinematik eksenlerin konumları bölgesel daralma yönüyle uyumludur (Şekil 3).

AKTK'nin Doğu ve Batı Kenarlarında Gerçekleştirilen Sismik Yansıma Çalışmaları

Mülk sismik yansıma kesitleri (Doğu kenar)

Bu bölümde, 'Orta Miyosen-Pliyosen sedimanter birimleri ile Kuvaterner birimler arasındaki sınırın niteliği nedir?', 'Kuvaterner birimler deformasyona uğramış mıdır?' sorularına yanıt aramak amacıyla Mülk Köyü civarında sismik yansıma çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

AKTK'nin doğu kenarında gerçekleştirilen 'Mülk hattı' (Şekil 3'teki M1 hattı) iki parçadan oluşmaktadır.

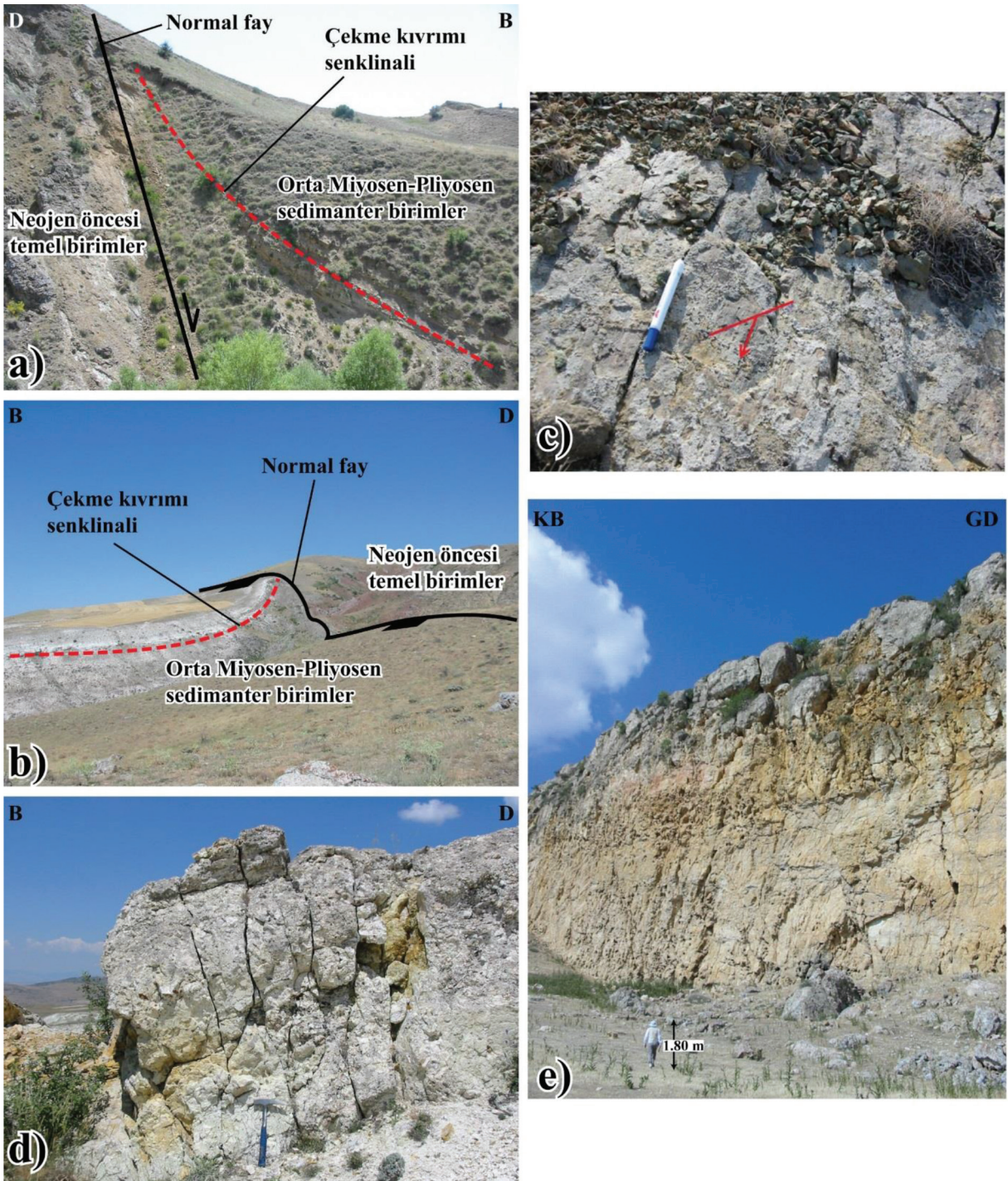


Şekil 4. AKTK'nin doğu bölümünde gözlenen bindirme ve kıvrım yapıları.

Figure 4. Thrusts and folds which are observed in the eastern part of the APCW.

Enerji kaynağı olarak 'P-gun' sistemi kullanılmıştır. 425 m kesit uzunluğuna sahip ilk hat boyunca jeofonlar 10'ar metre aralıklarla yerleştirilmiştir. 'P-gun'ın içine yerleştirilmesi için yine 10'ar metre aralıklarla toplam 20 adet çukur açılmıştır. Hat başından itibaren ateşlenmeye başlanan 'P-gun', sırasıyla diğer çukurlara aktararak toplamda 20 atış gerçekleştirilmiştir. Normal yürüme tekniğinin kullanıldığı çalışmada

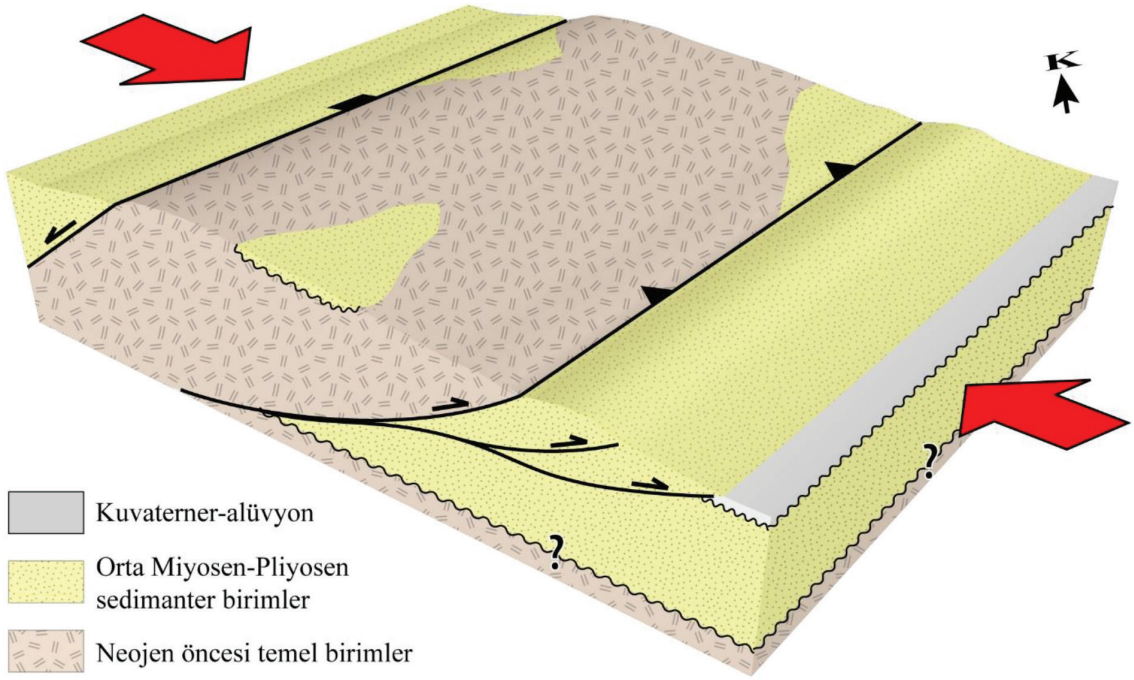
Jeofon sayısı 48, CDP aralığı 5 m, örnekleme aralığı 1 ms ve kayıt süresi 4 s'dir. Enerji kaynağı olarak yine 'P-gun' sistemi kullanılan Mülk hattının 680 m'lik ikinci parçası ise kablo boyunca yürüme tekniği ile atış aralığı 50 m, atış sayısı 15, jeofon aralığı 10 m, jeofon sayısı 66, CDP aralığı 5 m, örnekleme aralığı 1 ms ve kayıt süresi 4 s olacak şekilde düzenlenmiştir.



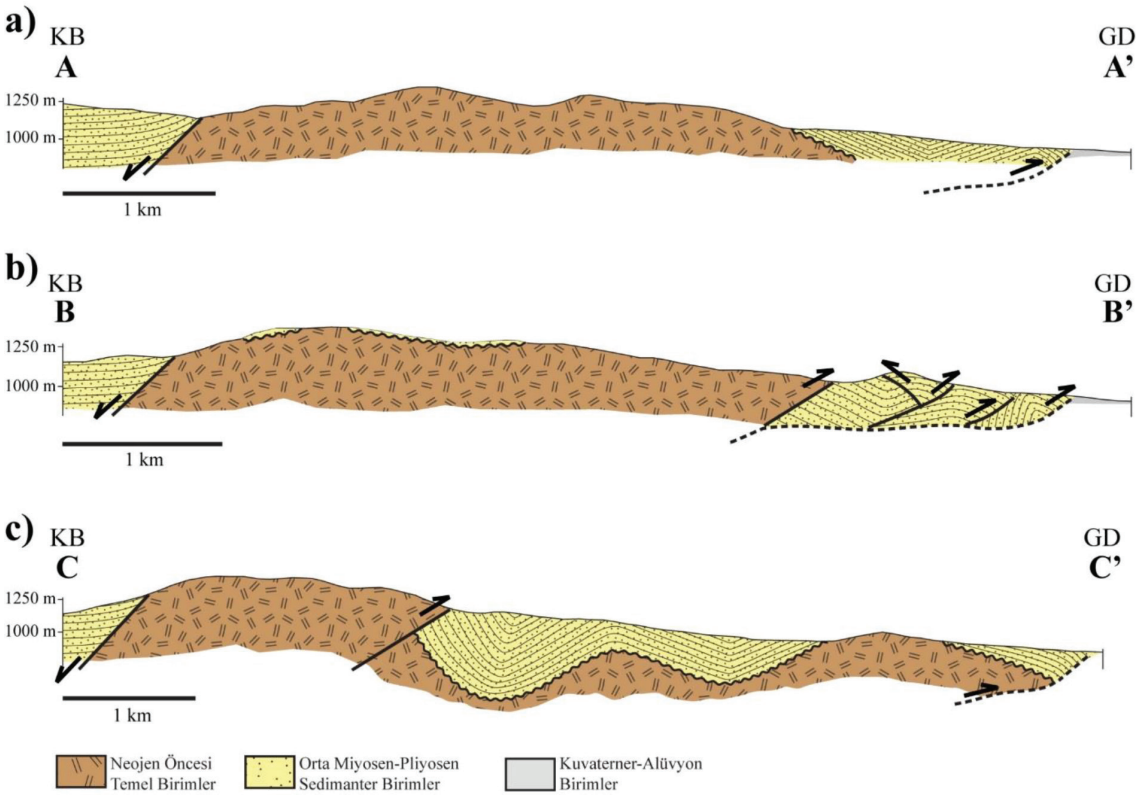
Şekil 5. AKTK'nin batı bölümünde gözlenen normal (a-d) ve doğrultu atımlı faylar (e) ve ilişkili yapılar.
 Figure 5. Normal (a-d) and strike-slip (e) faults and related structures in the western side of the APCW.

Mülk hattına ait sismik yansıma kesitinin birinci ve ikinci parçalarının yorumuz ve yorumlanmış hali Şekil 9'da verilmiştir. Mülk sismik yansıma kesitinde ters/bindirme faylarının belirgin sismik seviyeleri ötediği ve genel olarak asimetrik rampa antiklinallerinin

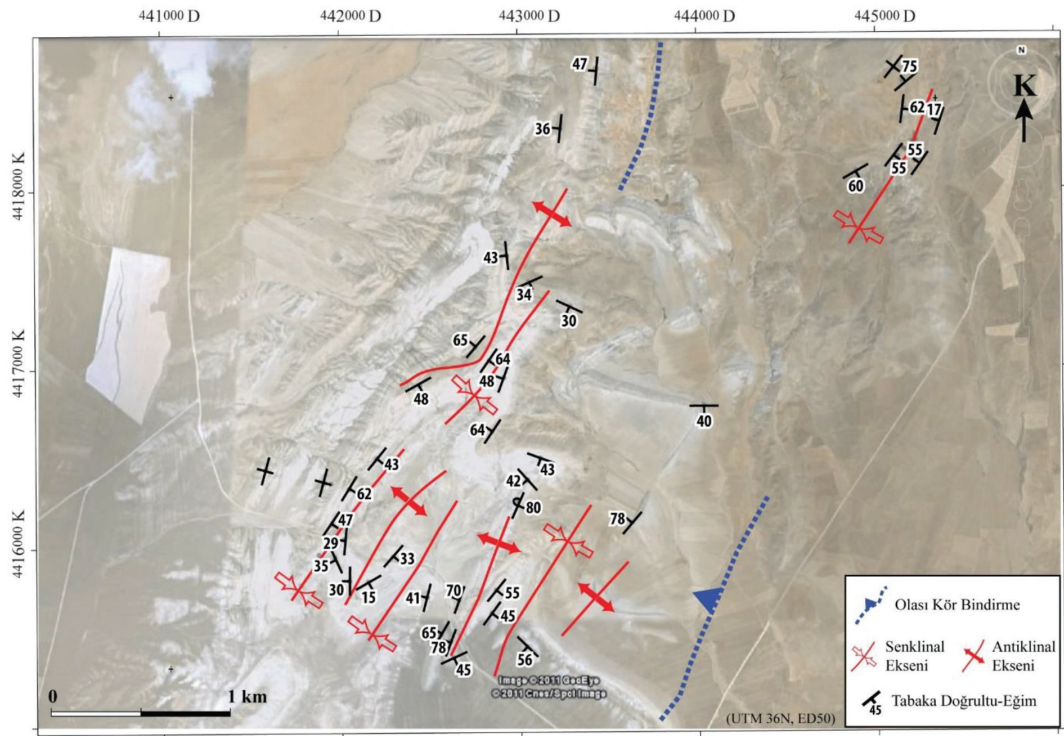
tipik olarak gözleendiği fark edilmiştir. En belirgin bindirme/ters faylanma, kesitin ortasında yeşil sismik seviyenin ötelenmesi ile saptanmıştır. Bu lokasyon arazide ani topoğrafik değişime karşılık gelmektedir ve 100 m derinliğe kadar izlenebilmektedir (Şekil 9).



Şekil 6. AKTK'nin yapısını gösteren üç boyutlu model.
 Figure 6. A 3D model showing the structure of the APCW.



Şekil 7. AKTK'nin yapısını gösteren jeolojik enine kesitler. Kesit hatlarının konumu için Şekil 3'e bakınız.
 Figure 7. Geological cross-sections showing the structure of the APCW. See Figure 3 for locations of the section lines.



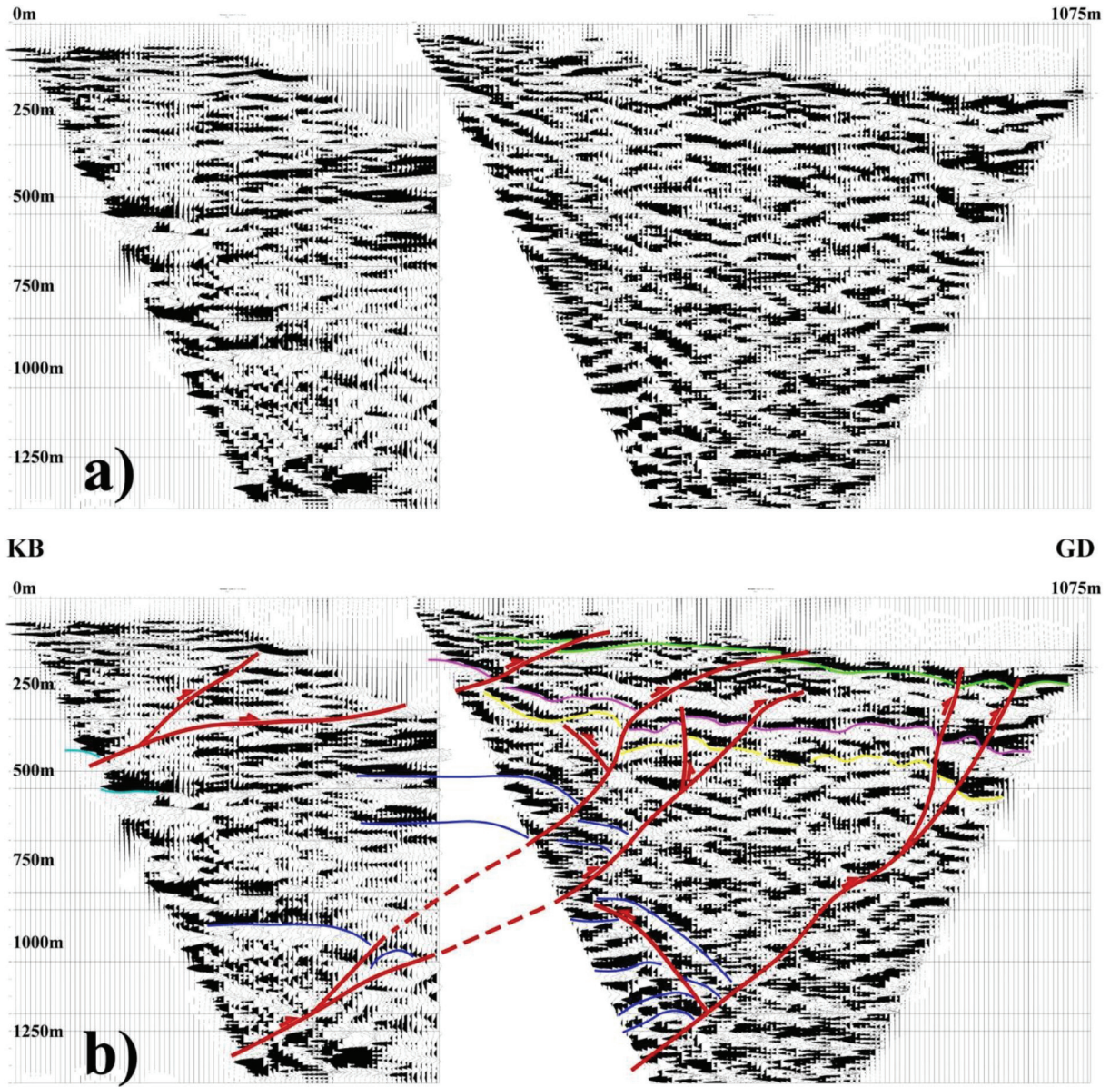
Şekil 8. Üzerinde yapısal unsurların gösterildiği, AKTK'nin güney bölümüne ait Google Earth görüntüsü. Konum için Şekil 3'e bakınız.

Figure 8. Google Earth image of the southern part of the APCW with structural features. See Figure 3 for location.

Çizelge 1. AKTK'ye ait fay kinematik verisi. Konum için Şekil 3'e bakınız.

Table 1. Fault kinematic data of the APCW. See Figure 3 for location.

No	Koordinat		Kinematik Eksenler									
	(UTM 36N-ED50)		Doğ.	Eğim	Yan yat.	Türü	S3		S2		S1	
	D	K					Gidiş (°)	Dalım (°)	Gidiş (°)	Dalım (°)	Gidiş (°)	Dalım (°)
1	0449018	4434249	K40°D	66°KB	87°K	Normal	124	69	221	3	312	21
2	0448584	4432522	K10°D	70°KB	90°	Normal	100	65	10	0	280	25
3	0448150	4431276	K79°D	28°KB	45°K	Normal	67	59	300	19	202	23
4	0446487	4427257	K20°B	90°	15°G	Sol yan.	127	17	323	72	218	5
			K10°B	90°	7°G	Sol yan.						
			K05°D	69°KB	30°G	Normal						
5	0446365	4427141	K25°B	90°	20°G	Sol yan.	95	8	232	79	4	7
			K55°B	82°GB	20°K	Ters						
6	0445766	4419845	K25°D	35°KB	74°K	Ters	158	8	66	16	272	72
			K85°B	62°KD	72°G	Ters						
			K70°B	32°KD	14°K	Ters						
7	0445161	4418795	K73°D	44°KB	50°K	Ters	190	8	284	27	86	62



Şekil 9. Mülk sismik yansıma kesiti (M1 hattı): a) yorumuz, b) yorumlanmış. Konum için Şekil 3'e bakınız.
 Figure 9. Mülk seismic reflection section (M1 line): a) uninterpreted, b) interpreted. See Figure 3 for location.

Diğer belirgin bindirme/ters faylanmalar kesitin sağ üst bölümünde yeşil, mor ve sarı sismik seviyelerdeki deformasyon ile belirlenmiştir ve 1200 m derinliğe kadar net olarak izlenmektedir. Yeşil, mor, sarı olarak renklendirilen sismik seviyelerdeki deformasyonun normal faylardaki çekme kıvrımları ile açıklanması mümkün olmayıp, deformasyona neden olan fay düzlemleri KB'ya eğimli çizilmek zorundadır. Seviyelerdeki deformasyon, birbirine yakın iki ters fay hattının yaklaşık 750 m derinde birleşerek tek hat olarak devam ettiğini göstermektedir. Bu bindirme fayının

tavan bloğunda 1000-1250 m derinlik aralığındaki maviyle renklendirilmiş sismik seviyelerde tipik rampa antiklinalleri gözlenir (Şekil 9).

Mülk sismik yansıma kesitinde orta kesimde yeşil sismik seviyelerin yer değiştirmesi ile saptanan bindirme fayı, topoğrafyadaki ani değişikliğe karşılık gelmektedir. Bu kesimden daha detay veri alınması, buna ek olarak sismik kesitin GD ucunda çift bindirmenin görüldüğü alandan yüzeye yakın daha net veri alınması amacıyla, sismik enerji kaynağı olarak balyozun kullanıldığı iki

adet de sığ sismik yansıma çalışması gerçekleştirilmiştir (Şekil 3'teki M2 ve M3 hatları).

Balyoz kullanılarak yapılan sığ sismik çalışma sonucunda 250 m derinliğe kadar ayrıntılı görüntü almak mümkün olmuştur. 'Mülk ek-kenar (M2)' sismik yansıma çalışmasında kablo boyunca yürüme tekniği kullanılmıştır ve atış aralığı 4 m, atış sayısı 25, jeofon aralığı 2 m, jeofon sayısı 48, CDP aralığı 1 m, örnekleme aralığı 0.5 ms ve kayıt süresi 2 s'dir. Sismik kesitte AKTK'nin doğu kenarının yeraltı jeolojisi ayrıntılı olarak gözlenmektedir (Şekil 10). Asimetrik antiklinal şeklinde deforme olmuş Neojen birimler ile Kuvaterner örtü birimlerinin sınırına karşılık gelen ve topoğrafik yükseklik farklılığı gözlenen alanda çok belirgin bindirme yapıları görülmektedir. Bindirmelelerin yüzeye yaklaştıkları net olarak bellidir (Şekil 10).

Mülk sismik yansıma kesitinin GD ucunda Kuvaterner dolgu içinde gözlenen çift bindirme üzerinde (Şekil 9) yapılan 'Mülk ek-ova (M3)' sığ sismik yansıma çalışmasının (kablo boyunca yürüme tekniği, atış aralığı 4 m, atış sayısı 25, jeofon aralığı 2 m, jeofon sayısı 48, CDP aralığı 1 m, örnekleme aralığı 0.5 ms ve kayıt süresi 2 s) sonuçları Şekil 11'de verilmiştir. Bu kesitte çift bindirmenin yarattığı antiklinaller açık olarak izlenmekte olup bindirme faylarının yüzeye yakınlığı 50 m'ye kadar sorunsuz izlenmektedir.

AKTK'nin doğusunda gerçekleştirilen tüm sismik yansıma çalışmalarının sonucunda tektonik kamanın doğu kenarını oluşturan bindirmenin net olarak Kuvaterner örtüyü etkilediği ve bu nedenle de aktif bir yapı olduğu öne sürülebilir.

Başayaş sismik yansıma kesiti (Batı kenar)

AKTK'nin batı bölümünde normal faylı kenar üzerinde gerçekleştirilen Başayaş sismik yansıma çalışmasının konumu Şekil 3'te görülebilir (B1 hattı). Bu çalışmada sismik enerji kaynağı olarak balyozdan yararlanılmıştır ve kablo boyunca yürüme tekniği ile atış aralığı 2 m, atış sayısı 49, jeofon aralığı 2 m, jeofon sayısı 48, CDP aralığı 1 m, örnekleme aralığı 0.5 ms ve kayıt süresi 2 s'dir. Elde edilen sismik kesitte batıya eğimli normal faylar ile bunların sentetik ve antitetik kolları, sismik seviyelerin yer değiştirmelerinden faydalanılarak yorumlanmıştır (Şekil 12).

AKTK'NİN KUZEYDOĞUSU

AKTK'nin hemen kuzeydoğu devamı olan ve önemli omurgalı fosil lokaliteleri içeren Çalta Köyü ve Sinap

Tepe bölgeleri de bu çalışma kapsamında incelenmiştir (Şekil 1a'da II numaralı alan). Bu alanlardaki gözlemler KB Orta Anadolu'da etkili olan neotektonik rejimin yaşını ve özelliğini anlamak bakımından önemlidir.

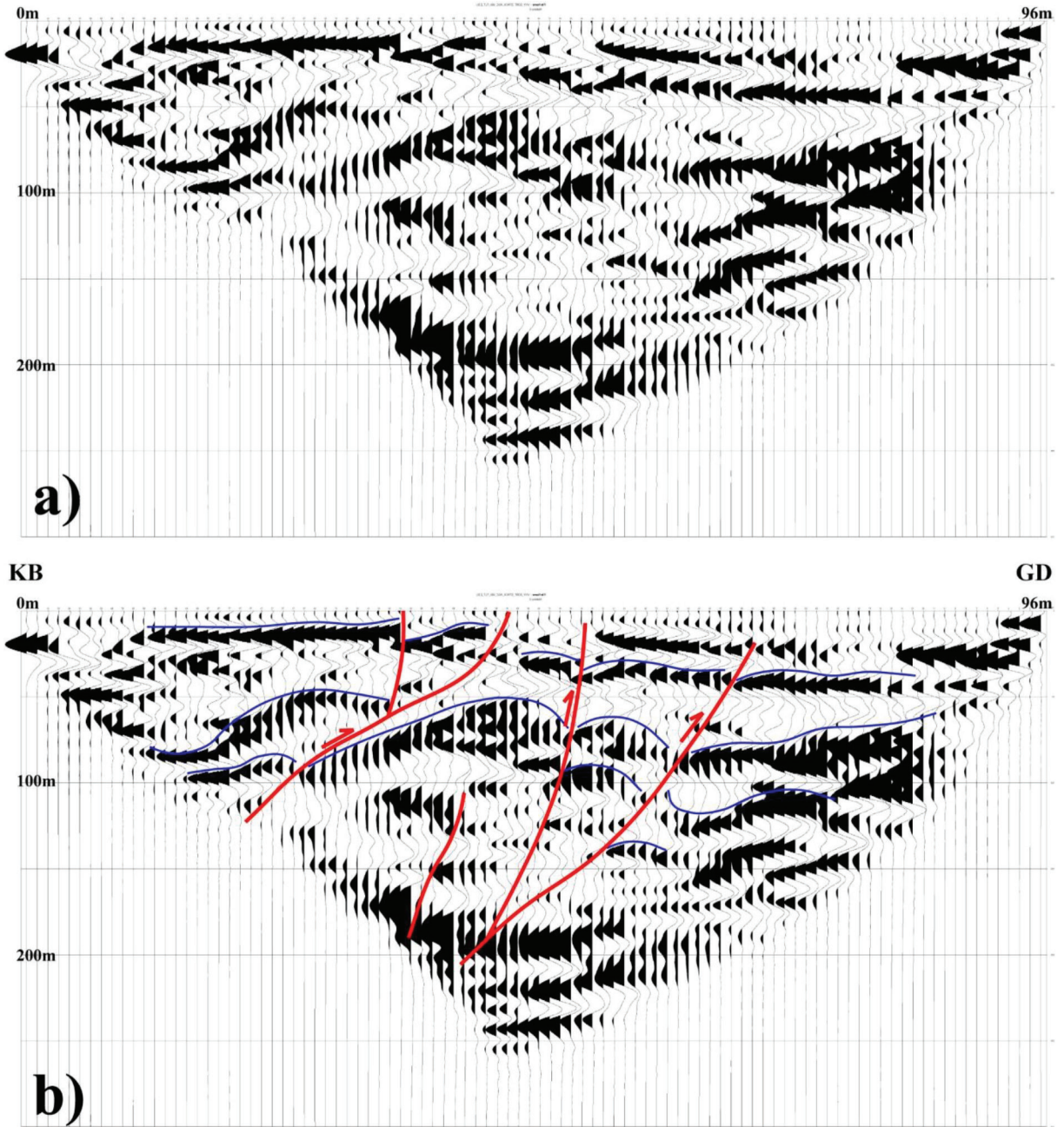
Çalta Bölgesi

Bu bölgede Miyosen sedimanter birimler, Pliyo-Kuvaterner klastikler ile teras konglomerası ve alüvyondan oluşan Kuvaterner birimleri bulunur (Karaca, 2004; Rojay ve Karaca, 2008). Rojay ve Karaca (2008), aralarında açılmal uyumsuzluk olduğunu belirttikleri Pliyo-Kuvaterner ve Miyosen birimlerde yaklaşık KD-GB gidişli kıvrım eksenleri tanımlar ve Miyosen birimlerin daha fazla deforme olduğunu söyler. Rojay ve Karaca (2008)'nin bölge için önerdikleri model, Miyosen yaşlı birimlerdeki kıvrımlar ve KD-GB doğrultulu ters faylara dayanarak Geç Miyosen sonrasında KB-GD yönlü daralma, Pliyo-Kuvaterner birimleri sınırlayan ve ters fayları kesen normal faylara dayanarak da Pliyosen'den itibaren KB-GD'dan KKD-GGB'ya değişen bir genişleme rejimidir. Bununla birlikte, Sinap Tepe'nin 8 km batısında, Çalta Köyü'nün hemen güneyinde yer alan Çalta memeli fosil lokalitesi Erken Pliyosen (MN15) olarak yaşlandırılmıştır (Şen vd., 1998) (Şekil 13). Bu lokaliteyi içeren fosilli sedimanter birim, kanatları yüksek açılı ve kıvrım eksenli KD-GB gidişli bir antiklinal oluşturur (Lunkka vd., 1998). Erken Pliyosen yaşlı sedimanter birimde gözlenen bu daralma yapısı, bölgedeki KB-GD yönlü daralmanın yaşının Erken Pliyosen sonrası olarak değerlendirilmesi gerektiğini gösterir. Bölgedeki kıvrımlarla ilişkili kör bindirmelerin olası konumu Şekil 13'te kesikli mavi hat olarak çizilmiştir.

Sinap Tepe Bölgesi

AKTK'nin kuzeydoğusunda yer alan ve içerdiği memeli fosilleriyle yaşı çok iyi bilinen (Orta Miyosen-Geç Pliyosen) (Ozansoy, 1957; Tekkaya, 1970; Kostopoulos ve Şen, 1999; Bernor vd., 2003; Kappelman vd., 2003a; Kappelman vd., 2003b; Sarıca ve Şen, 2003; Şen, 2003) Sinap Tepe ve civarındaki sedimanter birimlerin deformasyonu da bu çalışma kapsamında incelenmiştir.

Bölgenin genelleştirilmiş stratigrafisine bakıldığında (Şekil 14) volkanoklastik birimlerden oluşan Pazar formasyonu üzerine gelen 15.7-16 My yaşındaki bazalt akıntısının üzerinde yaşları memeli fosilleri

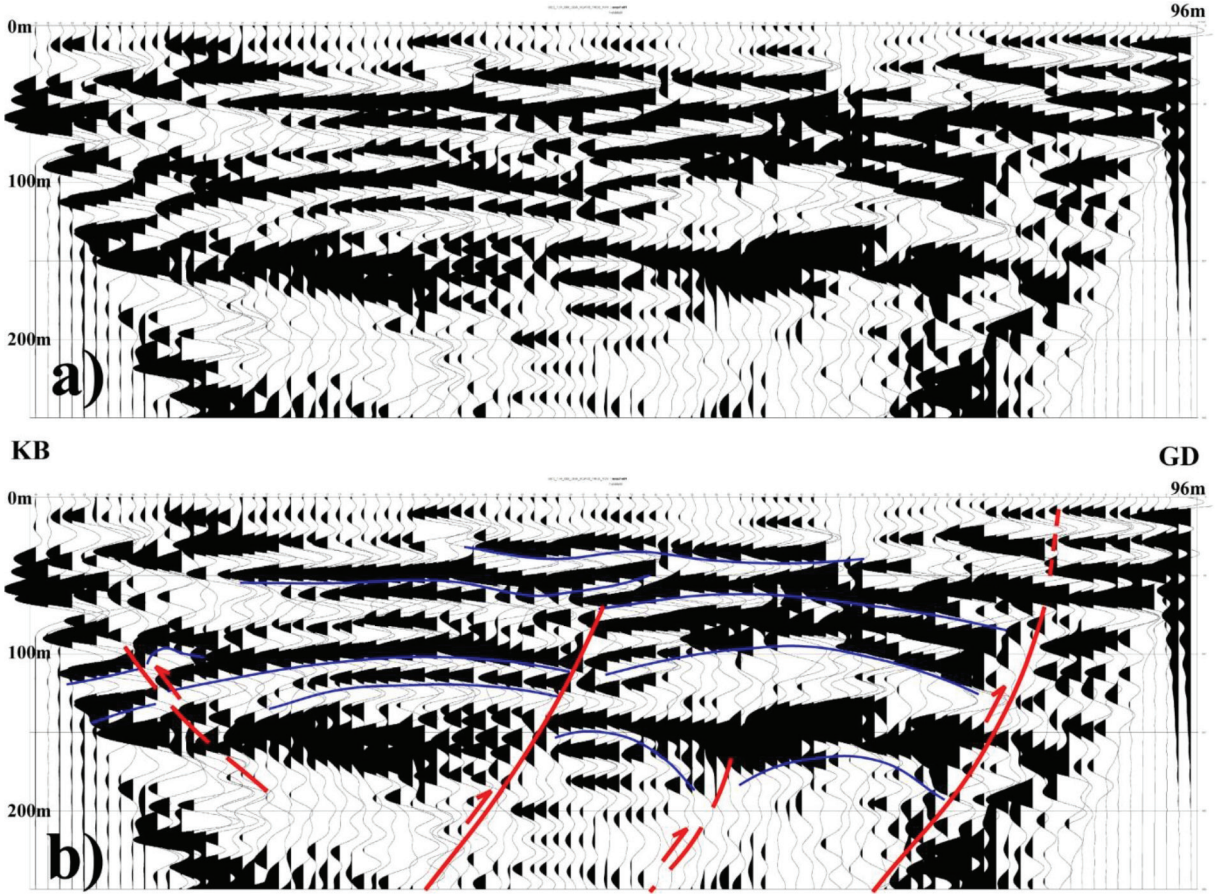


Şekil 10. Mülk-ek kenar sismik yansıma kesiti (M2 hattı): a) yorumuz, b) yorumlanmış. Konum için Şekil 3'e bakınız.

Figure 10 Mülk-addition (edge) seismic reflection section (M2 line): a) uninterpreted, b) interpreted. See Figure 3 for location.

ve manyetostratigrafik çalışmalarla belirlenmiş Orta Miyosen-Orta Pliyosen (MN 7,8-MN 15) yaşlı kırıntılı sedimanter kayalardan oluşan Sinap formasyonu yer alır (Kappelman vd., 2003a; Lunikka vd., 2003). Sinap formasyonunun üzerinde Geç Pliyosen (MN 17) yaşlı Sarıkol Tepe memeli fosil lokalitesini içeren üst sedimanter birim, aşınmalı uyumsuzlukla ince bir

konglomera seviyesi olarak bulunur (Kostopoulos ve Şen, 1999). Stratigrafide en üstte ise alüvyon birim yer alır. Bölgenin, üzerinde tabaka doğrultu-eğim ve kıvrım eksenleri gösterilmiş uydu görüntüsü Şekil 15a'da, görüntü üzerindeki X-X' hattından alınan jeolojik kesit de Şekil 15b'de verilmiştir.



Şekil 11. Mülk-ek ova sismik yansıma kesiti (M3 hattı): a) yorumlansız, b) yorumlanmış. Konum için Şekil 3'e bakınız. Figure 11. Mülk-addition (plain) seismic reflection section (M3 line): a) uninterpreted, b) interpreted. See Figure 3 for location.

Bölgede Sinap formasyonu yaklaşık KD-GB gidişli kıvrım eksenlerine sahip olacak şekilde kıvrılmıştır. Sedimanter birimin tabakaları jeolojik kesitin güneydoğu ucunda da görüldüğü gibi Kuvaterner birimle olan sınırında 29-36° ile eğimlenerek sonlanır. Güneybatıda Mülk Köyü civarında olduğu gibi burada da büyük olasılıkla kıvrımların gömülü bindirme(ler) ile ilişkili olduğu düşünülmektedir.

Sinap formasyonunun üzerinde yer alan ve Sarkol Tepe fosil lokalitesini içeren Geç Pliyosen (MN 17) yaşlı üst sedimanter birim arazide küçük bir alanda gözlenir (Şekil 15a). Kostopoulos ve Şen (1999)'in de belirttiği üzere bu birim ile arazide hemen altında yer alan Sinap formasyonuna ait çökellerin arasında önemli bir zaman boşluğu vardır. 9° ile 17° arasında tabaka eğimlerine sahip üst birimin, Sinap formasyonunu deforme eden daralma rejiminden etkilenip etkilenmediğini sınırlı mostra olanakları ile söyleyebilmek güç olup, bu birimin çökeliğini denetleyen herhangi bir yapının varlığı da gözlenememiştir. Bununla

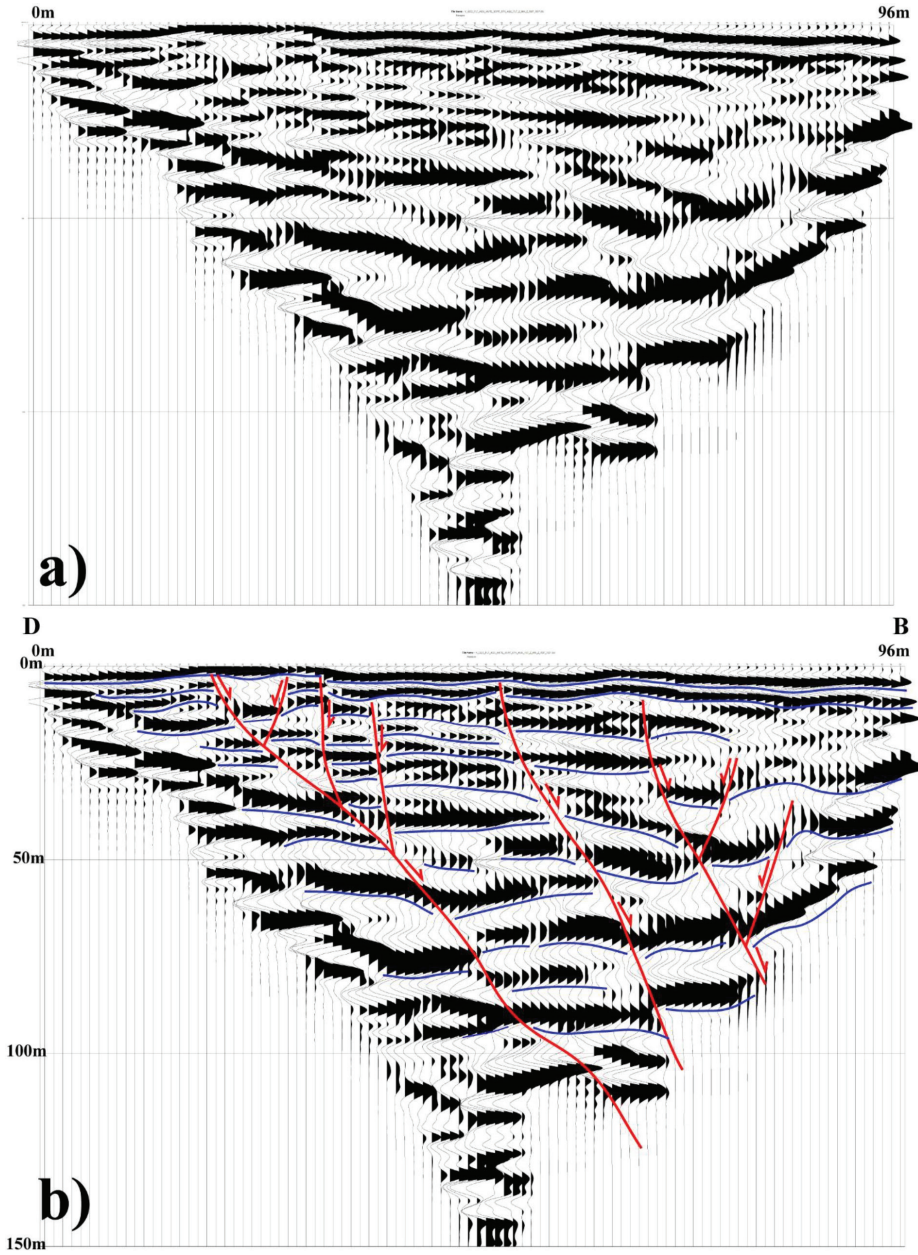
birlikte Çankırı Havzası'nda bu üst birimle aynı yaşta olan (MN 17) Deyim formasyonu bindirmeye eş yaşlı gelişmiş kırıntılı bir birimdir (Seyitoğlu vd., 2009).

AKTK'NİN GÜNEYBATISI

AKTK'nin güneybatısında bindirme ve KD-GB ile K-G arasında değişen eksenlere sahip kıvrım yapıları Polatlı'nın güneyine kadar izlenir (Şekil 1a'da III numaralı alan ve Şekil 16a). Bu kıvrım yapılarının AKTK'nin doğu bölümünde gözlemlendiği şekilde kör bindirmelerle ilişkili olduğu düşünülmektedir (Şekil 16a). Çiledağ, Şabanözü güneyi, Dua Tepe ve Sakarya bölgelerindeki gözlemler aşağıda sunulmaktadır:

Çiledağ Bölgesi

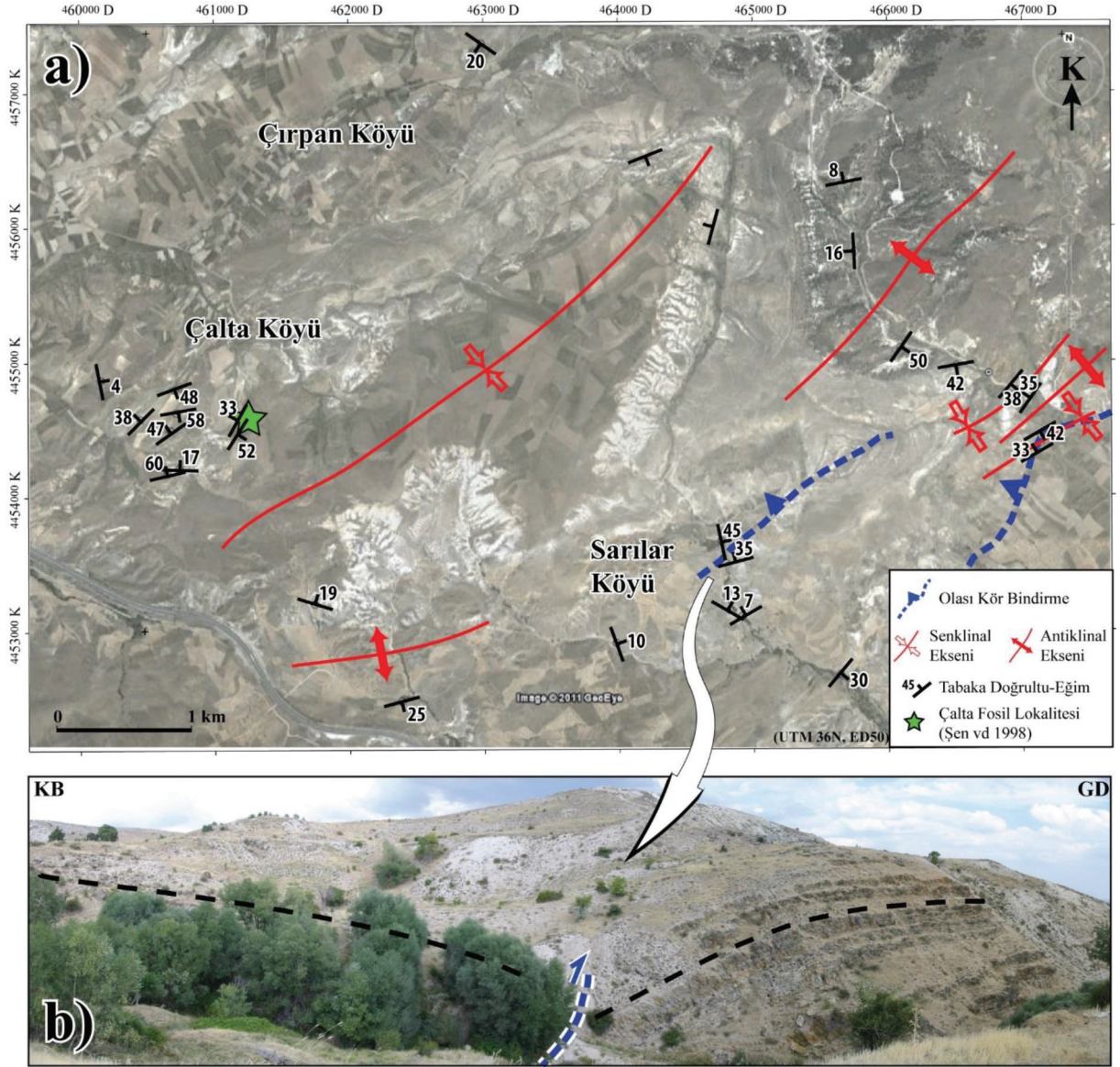
Çiledağ, AKTK'nin hemen güneybatısında yer alan bir yükseltidir (Şekil 16a). Bu bölümde Geç Paleosen-Erken Eosen yaşlı volkanik kayalar (Dönmez



Şekil 12. Başayaş sismik yansım kesiti (B1 hattı): a) yorumuz, b) yorumlanmış. Konum için Şekil 3'e bakınız.
 Figure 12. Başayaş seismic reflection section (B1 line): a) uninterpreted, b) interpreted. See Figure 3 for location.

vd., 2009), Neojen yaşlı marn-kumtaşı-konglomera ile Kuvaterner-alüvyon birimleri bulunur (Demirbağ, 2005; Temel vd., 2010). Neojen birimler volkanik kayalar çevreler. Genelleştirilmiş jeolojik enine kesit Şekil 16b'de görülmektedir. Kuzey bölümde volkanik kayalar Neojen birimlerin üzerine KD-GB doğrultulu bir hat boyunca bindirirken (Şekil 16b'de A-A' kesiti ve Demirbağ, 2005), güney bölümde bu iki birim arasındaki ilişki uyumsuzdur (Şekil 16b'de B-B' kesiti).

B-B' (Şekil 16b) kesitinde de görüleceği gibi güney bölümde volkanik kayalar üzerine yaklaşık 35° eğim ile uyumsuz olarak gelen Neojen birim tabakaları, doğuya doğru Kuvaterner-alüvyon birim sınırında 55-56° eğime sahiptir. Bu eğim artışı kuzeyde aynı hat üzerinde yer alan Abdüsselam ve Sinap Tepe bölgelerinde görüldüğü gibi olasılıkla gömülü bindirme(ler) ile ilişkilidir (Şekil 16a).



Şekil 13. a) Üzerinde yapısal unsurların gösterildiği, AKTK'nin kuzeydoğu devamında Çalta Köyü civarının Google Earth görüntüsü. Konum için Şekil 1a'ya bakınız. b) Neojen birim tabakalarındaki olası kör bindirmeye ilişkin deformasyon.

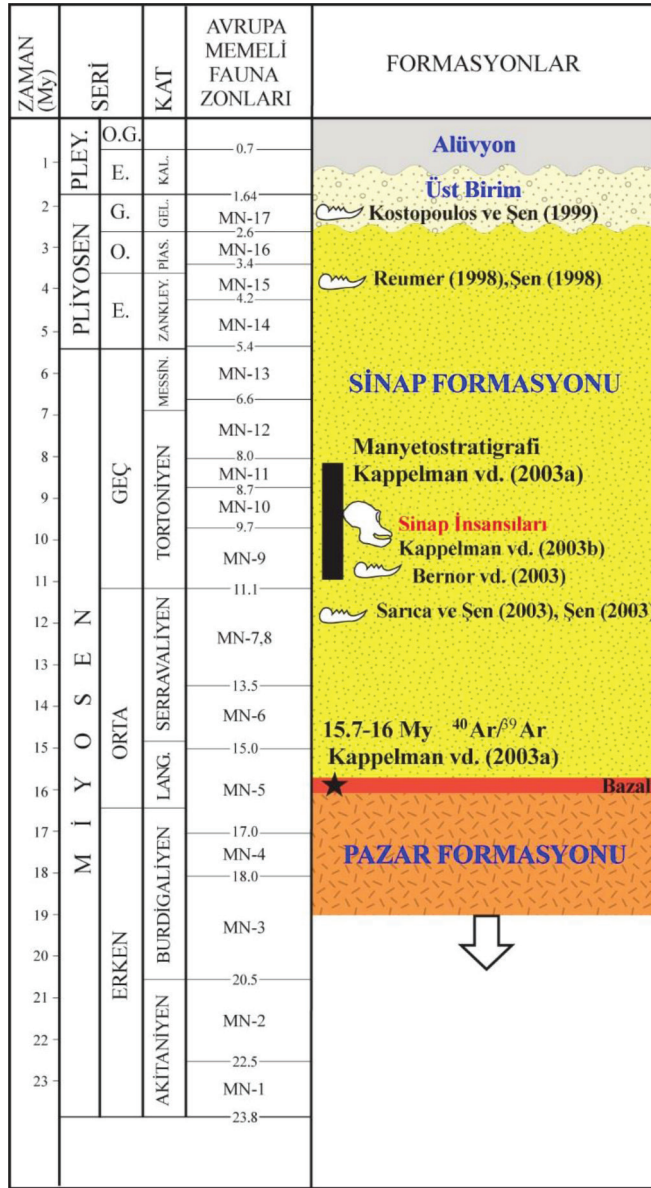
Figure 13. a) Google Earth image of the northern continuation of the APCW around Çalta village with structural features. See Figure 1a for location. b) Deformation of the Neogene strata related to the probable blind thrust.

Şabanözü Güneyi

Çiledağ'ın hemen güneybatısında yer alan bu bölümde (Şekil 16a) Neojen birimlerin (Temel vd., 2010) tabakaları bir antiklinal oluşturacak şekilde kıvrılmıştır (Şekil 16c). Kıvrım ekseninin konumu KB-GD sıkışma yönü ile uyumlu olarak yaklaşık KD-GB'dir ve bir bindirme ile ilişkili olabileceği düşünülmektedir (Şekil 16c).

Dua Tepe Bölgesi

Polatlı'nın hemen batısında yer alan bölgede (Şekil 16a) Neojen birim içerisinde (Temel vd., 2010) kıvrım eksenleri yaklaşık KKD-GGB olan bir antiklinal gözlenir (Şekil 16d). Bu antiklinalin doğu kanadı aniden dikleşir ve beyaz renkli Neojen birim tabakaları izlenemez. Olası bindirme hattının bu bölümden geçtiği düşünülmektedir (Şekil 16d).



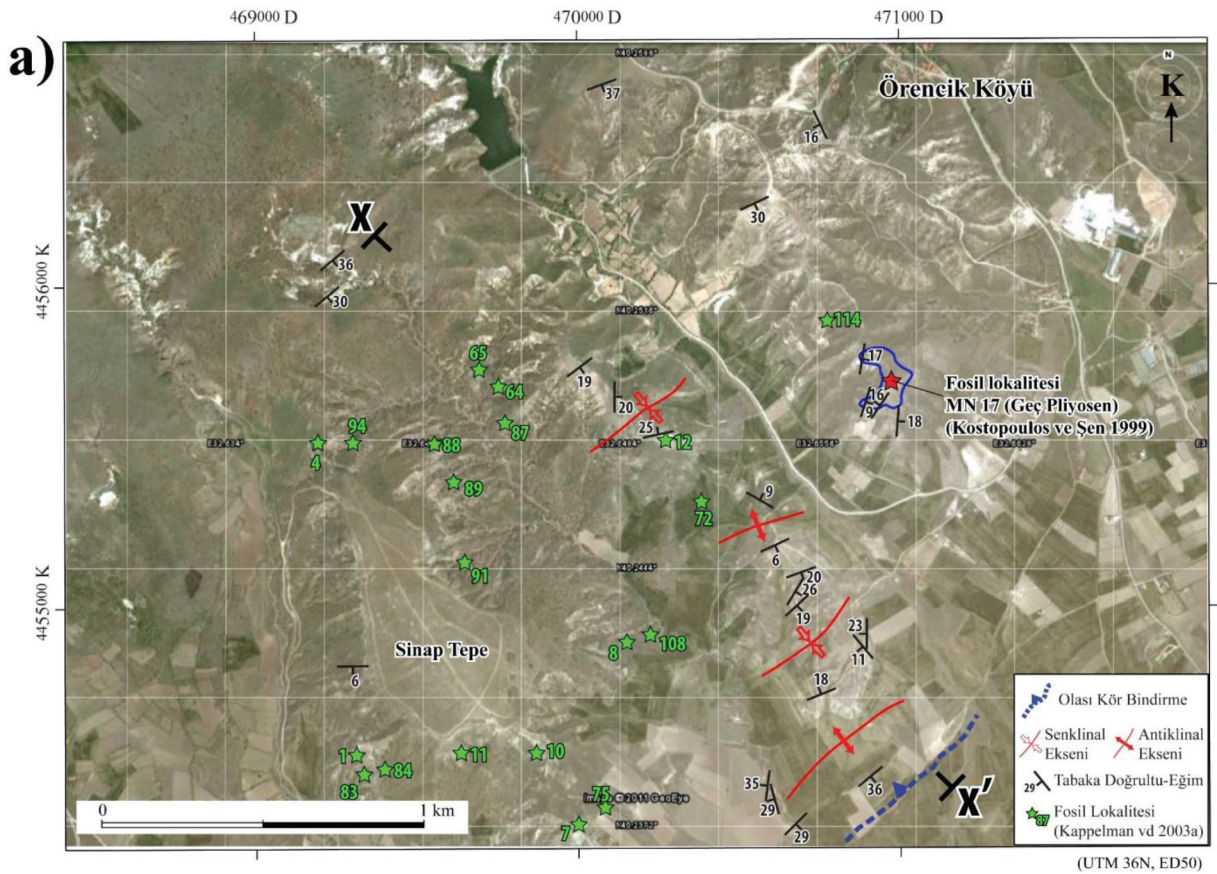
Şekil 14. Sinap Tepe bölgesinin genelleştirilmiş stratigrafik kolon kesiti (Bernor vd., 2003; Kappelman vd., 2003a; 2003b; Kostopoulos ve Şen, 1999; Reumer, 1998; Sarıca ve Şen, 2003; Şen, 1998; 2003'den yararlanılarak oluşturulmuştur)

Figure 14. Generalized stratigraphic section of the Sinap Tepe area (It was prepared using the data from Bernor et al., 2003; Kappelman et al., 2003a; 2003b; Kostopoulos and Şen, 1999; Reumer, 1998; Sarıca and Şen, 2003; Şen, 1998; 2003).

Sakarya Bölgesi

Bu bölüm Polatlı'nın güneybatısında Sakarya Köyü civarında yer alır (Şekil 16a). Paleosen ve Eosen sedimanter birimlerin (Sirel, 1975) KKD-GGB gidişli ek-sene sahip bir antiklinal şeklinde kıvrımlandığı görülür (Şekil 16e). Bu antiklinal olasılıkla bir gömülü bindirmeyle ilişkilidir. Antiklinalin batı kanadı da olasılıkla bir fayla kesilmiş durumdadır (Şekil 16e).

Kazan-Sinap Tepe'den itibaren güneybatıya doğru 100 km'lik bir mesafede izlenen, eksenleri yaklaşık KD-GB gidişli kıvrım ve bindirme yapıları, Polatlı'nın güneyinde Sakarya Köyü civarında EFZ'nin Ilıca Kolu ile sonlanır (Şekil 1a) (Esat vd., 2016).



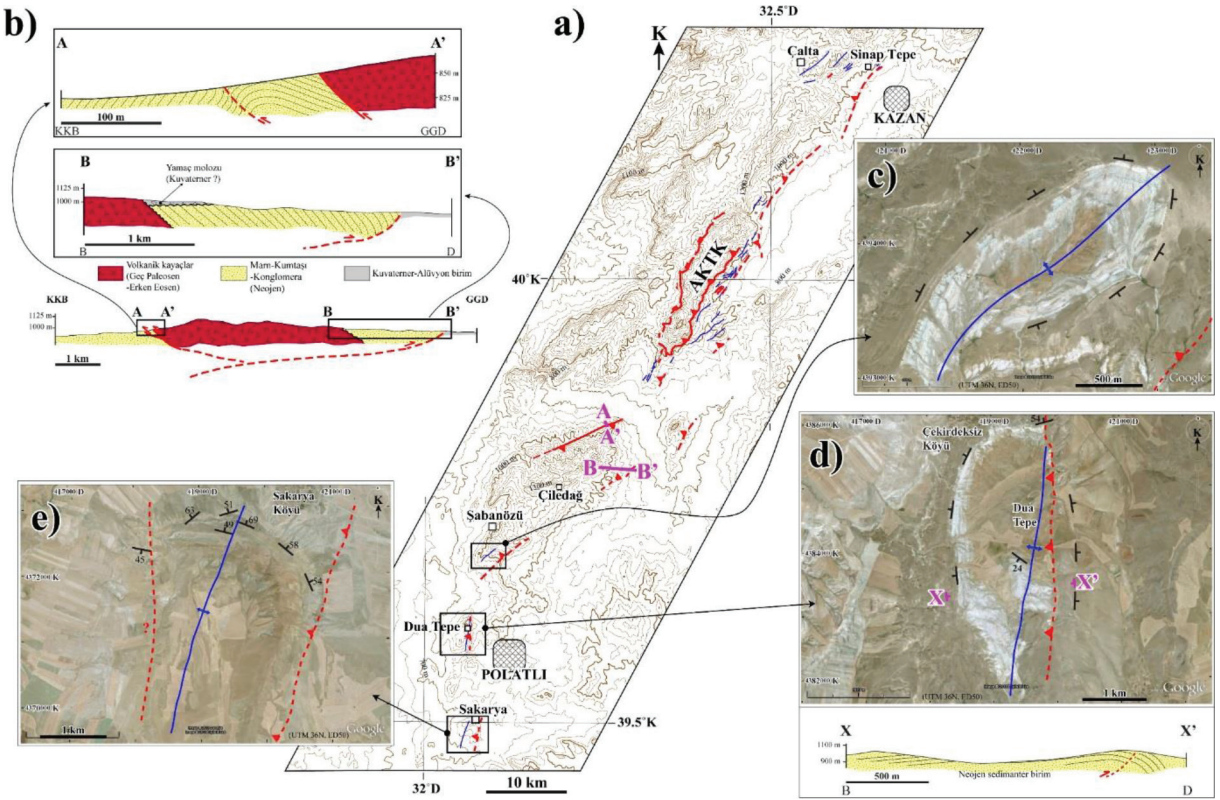
Şekil 15. a) Üzerinde yapısal unsurların gösterildiği, AKTK'nin kuzeydoğu devamındaki Sinap Tepe civarının Google Earth görüntüsü. Konum için Şekil 1a'ya bakınız. Yeşil yıldızlarla gösterilen fosil lokaliteleri 9.3 ile 10.9 My yaş aralığındadır (Kappelman vd., 2003a). b) Neojen birim tabakalarındaki olası kör bindirmeye ilişkin kırımlanmayı gösteren jeolojik enine kesit. Kesit hattının konumu için Şekil 15a'ya bakınız.

Figure 15. a) Google Earth image of the northern continuation of the APCW around Sinap Tepe with structural features. See Figure 1a for location. Age of the fossil localities, which are represented by green stars, are between 9.3 and 10.9 Ma (Kappelman et al., 2003a). b) Geological cross-section showing the folding of the Neogene strata related to the probable blind thrust. See Figure 15a for location of the cross-section line.

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Yaklaşık KD-GB uzanımına sahip ve eş yaşlı doğu kenarı bindirme, batı kenarı normal faylarla sınırlanan AKTK, bu yapısal özelliği nedeniyle Ankara ile Çankırı arasında yer alan ETKK ile benzeşir. AKTK'nin

batı kenarında Neojen sedimanter birimler içerisinde, normal faylarla ilişkili çekme kıvrımı şeklinde senklinaler, doğu kenarında ise bindirmeler ve gömülü bindirmelerle ilişkili KKD uzanımlı geniş ölçekte kıvrımlanma gözlenir. Bu bindirmeler Neojen öncesi temel birimlerle Orta Miyosen-Pliyosen sedimanter



Şekil 16. a) Kazan ile Polatlı arasında gözlenen KB-GD yönlü daralma rejimiyle ilişkili yapılar. Kırmızı çizgiler fayları, mavi çizgiler kıvrım eksenlerini gösterir. b) En altta Çiledağ bölgesindeki yapıları gösteren genelleştirilmiş jeolojik enine kesit, en üstte Şekil 16a'daki A-A' kesit hattından alınmış jeolojik enine kesit, ortada Şekil 16a'daki B-B' kesit hattından alınmış jeolojik enine kesit görülmektedir. c) Şabanözü Köyü güneyinde Neojen sedimanter birimlerde gözlenen antiklinal ve olası kör bindirme (Google Earth görüntüsü). d) Dua Tepe'de Neojen sedimanter birimlerde gözlenen antiklinal ve olası kör bindirme (Google Earth görüntüsü). Altta X-X' doğrultusunda alınmış jeolojik enine kesit görülmektedir. e) Sakarya Köyü güneyinde Paleosen-Eosen sedimanter birimlerde gözlenen antiklinal ve olası kör bindirme (Google Earth görüntüsü).

Figure 16. a) Structures related to the NW-SE direction contractional regime which are observed between Kazan and Polatlı. Red and blue lines represent faults and fold axes, respectively. b) Generalized geological cross-section showing the structures in the Çiledağ region is seen at the bottom. Geological cross-sections from A-A' and B-B' lines in the Figure 16a are seen at the top and in the middle, respectively. c) Anticline and probable blind thrust in the Neogene sedimentary units in the south of Şabanözü village (Google Earth image). d) Anticline and probable blind thrust in the Neogene sedimentary units in the Dua Tepe (Google Earth image). Geological cross-section from the X-X' line is seen at the bottom. e) Anticline and probable blind thrust in the Paleocene-Eocene sedimentary units in the south of Sakarya village (Google Earth image).

birimleri arasında gözlemlendiği gibi, sedimanter birimlerin kendi içerisinde yüzeyle ya da gömülü olarak da bulunur. AKTK'nin kuzey bölümünde Mülk Köyü civarında Orta Miyosen-Pliyosen sedimanter birimlerle Kuvaterner-alüvyon birimleri kesecek şekilde gerçekleştirilen sismik yansıma kesitlerinde gömülü bindirmelerin varlığı net olarak gözlenir. Demirci (2000)'nin Yenikent monoklinali, Kutluay (2007)'in ise Abdüsselam antiklinali olarak tanımladığı yapı, bu çalışma kapsamında gerçekleştirdiğimiz jeolojik

ve jeofizik gözlemlere dayanarak bir tektonik kama yapısı olarak tanımlanmıştır. Bu yapının hem KD-GB morfolojik uzanımı, hem de Orta Miyosen-Pliyosen sedimanter birimlerinde gözlenen kıvrım eksenlerinin KD-GB gidişleri, AKTK'nin yaklaşık KB-GD daralmanın etkisiyle geliştiğini gösterir.

AKTK'nin kuzeydoğusunda yer alan, önemli bir memeli fosil lokalitesi olan Sinap Tepe civarında Orta Miyosen - Orta Pliyosen yaşlı Sinap formasyonu

kıvrımlanarak deforme olmuştur. AKTK'nin doğu bölümüne benzer şekilde bu bölgede de Orta Miyosen-Pliyosen sedimanter birimlerin tabakalarının Kuva-terner - alüvyon sınırında 36°'ye kadar eğimlenerek sonlandığı görülür. Bu deformasyonun güneybatıda Mülk Köyü'nde görüldüğü gibi gömülü bindirmeye ilişkili olduğu düşünülmektedir. Sinap Tepe bölgesinin hemen batısında Çalta ve Sarılar bölgesinde gerçekleştirdikleri çalışmada Rojay ve Karaca (2008), Pliyosen'den itibaren bölgede genişlemeli bir rejimin etkin olduğunu belirtir. Sinap formasyonunun deforme olduğu düşünüldüğünde bölgede daralma rejiminin yaşı Orta Pliyosen sonrası olmalıdır. Dolayısıyla bu veri, Rojay ve Karaca (2008)'nin Pliyosen'de bölgede genişlemeli bir rejimin etkin olduğu fikriyle uyuşmamaktadır.

AKTK'nin güneybatısında Polatlı'nın güneyine kadar olan bölümde bindirme ve kıvrım yapıları gözlenmeye devam eder. Kıvrımlar kuzeyde AKTK'nin doğusunda olduğu gibi gömülü bindirmelerle ilişkili olmalıdır. Yapıların yaklaşık KD-GB genel uzanımları da AKTK'yi oluşturan KB-GD yönlü daralma rejimiyle uyumludur.

Sonuç olarak AKTK'nin sismik kesitlerin de yardımıyla çok genç, olasılıkla da aktif bir yapı olarak tanımlanması, Ankara batısındaki hızlı yapılaşma ve bu bölgedeki askeri havaalanları ve savunma sanayii kuruluşları dikkate alındığında oldukça önemlidir. Bu yapının deprem üretme potansiyeli paleosismoloji çalışmaları ile de en kısa sürede incelenmelidir.

KATKI BELİRTME

Bu araştırma Ankara Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi Koordinatörlüğü'nün (Proje no: 06B4343011) ve Türkiye Ulusal Jeodezi ve Jeofizik Birliği (TUJJB)-Ulusal Deprem Programı (UDP)'nin (Proje no: TUJJB-UDP-01-10) desteğiyle gerçekleştirilmiştir. Sismik yansıma çalışmalarına arazideki katkılarından dolayı Anadolu Üniversitesi Yer ve Uzay Bilimleri Enstitüsü'nden Yücel Güney, Muammer Tün, Uğur Avdan, Emrah Pekkan ve Sunay Mutlu'ya ve Ankara Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü'nden (lisans ve lisansüstü öğrenci olarak) Moosarreza Toori, Canalp Özkul, Esra Gürbüz, Reza Saber, Anıl Ardahanlıoğlu ve Öncü Burak Akyol'a teşekkür ederiz. Değerli öneri ve katkılarından dolayı hakemler Hasan Sözbilir ve Halil Gürsoy'a içten teşekkürlerimizi sunarız.

KAYNAKLAR

- Allmendinger, R.W., Reilinger, R., and Loveless, J., 2007. Strain and rotation rate from GPS in Tibet, Anatolia, and the Altiplano. *Tectonics*, 26, TC3013, doi:10.1029/2006TC002030.
- Allmendinger, R.W., Cardozo, N.C., and Fisher, D., 2012. *Structural Geology Algorithms: Vectors and Tensors*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Benda, L., 1971. Grundzüge einer pollenanalytischen Gliederung des türkischen Jungtertiärs. *Beihfte zum Geologischen Jahrbuch*, 113, 46s.
- Benda, L., Innocenti, F., Mazzuoli, R., Radicati, F., and Steffens, P., 1974. Stratigraphic and radiometric data of the Neogene in Northwest Turkey. *Z. deutsch. geol. Ges.*, 125, 183-193.
- Benda, L., and Meulenkamp, J.E., 1990. Biostratigraphic correlations in the Eastern Mediterranean Neogene. *Newsletters on Stratigraphy*, 23(1), 1-10.
- Bernor, R.L., Scott, R.S., Fortelius, M., Kappelman, J., and Şen, Ş., 2003. Equidae (Perissodactyla). In: *Geology and Paleontology of the Miocene Sinap Formation, Turkey*. Fortelius, M., Kappelman, J., Şen, Ş., Bernor, R.L. (eds.), Columbia University Press, pp.220-281.
- Brelie, G.V.D., 1957. Ankara vilayetine bağlı Kayı-Bucuk linyit kömürü zuhurunun yaş durumu hakkında palinolojik tetkikler. *MTA Dergisi*, 50, 30-35.
- Burchfiel, B.C., and Royden, L.H., 1985. North-south extension within the convergent Himalaya region. *Geology*, 13, 679-682.
- Burchfiel, B.C., Zhiliang, C., Hodges, K.V., Yiping, L., Royden, L.H., Changrong, D., and Jiene, X., 1992. The south Tibetan detachment system, Himalayan orogen: Extension contemporaneous with and parallel to shortening in a collisional mountain belt. *Special Paper of Geological Society of America*, 269, 48 pp.
- Burg, J.P., Brunel, M., Gapais, D. Chen, G.M., and Liu, G.H., 1984. Deformation of leucogranites of the crystalline main central sheet in southern Tibet (China). *Journal of Structural Geology*, 6, 535-542.

- Chemenda, A.I., Mattauer, M., Malavieille, J., and Bokun, A.N., 1995. A mechanism for syn-collisional rock exhumation and associated normal faulting: Results from physical modeling. *Earth and Planetary Science Letters*, 132, 225-232.
- Demirbağ, H., 2005. Çiledağ Polatlı bölgesinin tektonik evrimi. Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Ankara (yayımlanmamış).
- Demirci, C.Y., 2000. Structural analysis in Beypazarı-Ayaş-Kazan-Peçenek Area, NW of Ankara. Doktora Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara (yayımlanmamış).
- Dönmez, M., Akçay, A.E., Türkecan, A., Evcimen, Ö., Atakay, E. ve Görmüş, T., 2009. Ankara ve yakın çevresinin Tersiyer volkanitleri. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Rapor No: 11164, Ankara (yayımlanmamış).
- Emre, Ö., Duman, T.Y., Özalp, S., Elmacı, H., Olgun, Ş ve Şaroğlu, F., 2013. Türkiye Diri Fay Haritası. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Özel Yayın Serisi 30, Ankara.
- Esat, K., 2011. Ankara çevresinde Orta Anadolu'nun neotektoniği ve deprenselliği. Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi, Ankara (yayımlanmamış).
- Esat, K., Kaypak, B., Işık, V., Ecevitöglü, B. ve Seyitoğlu, G., 2016. Eskişehir Fay Zonu'nun güneydoğu bölümünü oluşturan Ilica Kolu: Orta Anadolu'da sağ yanal doğrultu atımlı aktif bir yapı (The Ilica branch of the southeastern Eskişehir Fault Zone: an active right-lateral strike-slip structure in central Anatolia, Turkey). *MTA Dergisi (Bulletin of the Mineral Research and Exploration)*, 152, 25-37.
- Esat, K. ve Seyitoğlu, G., 2010. Neotectonics of North Central Anatolia: a strike-slip induced compressional regime. *Tectonic Crossroads: Evolving Orogens of Eurasia-Africa-Arabia*, Middle East Technical University, Ankara, Abstracts, p.38.
- Fossen, H., 2000. Extensional tectonics in the Caledonides: Synorogenic or postorogenic? *Tectonics*, 19, 213-224.
- Gökten, E., Kazancı, N. ve Acar, Ş., 1988. Ankara kuzeybatısında (Bağlum-Kazan arası) Geç Kretase-Pliosen serilerinin stratigrafisi ve tektoniği. *MTA Dergisi*, 108, 69-81.
- Gökten, E., Özaksoy, V., and Karakuş, K., 1996. Tertiary volcanic and tectonic evolution of the Ayas-Güdü-Celtikci region, Turkey. *International Geology Review*, 38, 926-934.
- Kappelman, J., Duncan, A., Feseha, M., Lunkka, J.P., Ekart, D., McDowell, F., Ryan, T.M., and Swisher III, C.C., 2003a. Chronology. In: *Geology and Paleontology of the Miocene Sinap Formation, Turkey*. Fortelius, M., Kappelman, J., Şen, Ş., Bernor, R.L. (eds.), Columbia University Press, pp.41-66.
- Kappelman, J., Richmond, B.G., Seiffert, E.R., Maga, A.M., and Ryan, T.M., 2003b. Hominoidea (Primates). In: *Geology and Paleontology of the Miocene Sinap Formation, Turkey*. Fortelius, M., Kappelman, J., Şen, Ş., Bernor, R.L. (eds.), Columbia University Press, pp.90-124.
- Karaca, A., 2004. Post-Miocene deformation of the area between Alibey (Kızılcahamam) and Karalar (Kazan) villages, NW Ankara (Turkey). Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara (yayımlanmamış).
- Kaymakçı, N., 2000. Tectono-stratigraphical evolution of the Çankırı basin (Central Anatolia, Turkey). Doktora Tezi, Utrecht University, Hollanda, *Geologica Ultraiectina*, 190, 247s.
- Kaymakçı, N., Özçelik, Y., White, H.S., and Van Dijk, P.M., 2001. Neogene tectonic development of the Çankırı basin (Central Anatolia, Turkey). *TPJD Bülteni*, 13(1), 27-56.
- Kiratzi, A.A., 1993. A study on the active crustal deformation of the North and East Anatolian Fault Zones. *Tectonophysics*, 225(3), 191-203.
- Koçyiğit, A., 1991. Changing stress orientation in progressive intracontinental deformation as indicated by the neotectonics of the Ankara region (NW central Anatolia). *TPJD Bülteni*, 3(1), 43-55.
- Koçyiğit, A., 1992. Southward-vergent imbricate thrust zone in Yuvaköy: a record of the latest compressional event related to the collisional tectonic regime in Ankara-Erzincan suture zone. *TPJD Bülteni*, 4(1), 111-118.
- Koçyiğit, A., Türkmenoğlu, A., Beyhan, A., Kaymakçı, N., and Akyol, E., 1995. Post-collisional tectonics of Eskişehir-Ankara-Çankırı segment of Izmir-Ankara-Erzincan suture zone (IA-ESZ): Ankara orogenic phase. *TPJD Bülteni*, 6(1), 69-86.

- Kostopoulos, D.S. and Şen, Ş., 1999. Late Pliocene (Villafranchian) mammals from Sarıkol Tepe, Ankara, Turkey. *Mitt. Bayer. Staatsslg. Palaont. hist. Geol.*, 39, 165-202.
- Kutluay, A., 2007. Yenikent ve civarının (KB Ankara-Türkiye) Neojen stratigrafisi ve tektoniği. Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Ankara (yayımlanmamış).
- Lunkka, J.P., Kappelman, J., Ekart, D., and Sen, S., 1998. Sedimentation and lithostratigraphy. In: Pliocene vertebrate locality of Çalta, Ankara, Turkey, Şen, Ş. (ed.), *Geodiversitas*, 20(3), 353-358.
- Lunkka, J.P., Kappelman, J., Ekart, D., Crabaugh, J., and Gibbard, P., 2003. Geology. In: *Geology and Paleontology of the Miocene Sinap Formation, Turkey*. Fortelius, M., Kappelman, J., Şen, Ş., Bernor, R.L. (eds.), Columbia University Press, pp.25-40.
- Marrett, R. and Allmendinger, R.W., 1990. Kinematic analysis of fault-slip data. *Journal of Structural Geology*, 12(8), 973-986.
- McKenzie, D.P., 1972. Active tectonics of the Mediterranean Region. *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society*, 30, 109-185.
- Nebert, K., 1957. İç Anadolu'nun en genç jeolojik-tektonik olayı hakkında bir etüd: Ankara vilayetinin (Kayı-Bucuk) civarındaki Wallachien orojenez safhasının ispatı. *MTA Dergisi*, 50, 16-29.
- Ozansoy, F., 1957. Türkiye Tersiyer memeli faunaları ve stratigrafik revizyonları. *MTA Dergisi*, 49, 11-22.
- Özsayın, E., Yürür, T. ve Dirik, K., 2005. Yuva ve Yakacık köyleri (Ankara kuzeybatısı, İç Anadolu) civarındaki Üst Kretase ofiyolitik karmaşığı ile Miyosen birimlerinin dokanak ilişkileri ile ilgili yeni gözlemler. *Yerbilimleri*, 26(3), 55-59.
- Reilinger, R., McClusky, S., Vernant, P., Lawrence, S., Ergintav, S., Cakmak, R., Ozener, H., Kadirov, F., Guliev, I., Stepanyan, R., Nadariya, M., Hahubia, G., Mahmoud, S., Sakr, K., Ar-Rajehi, A., Paradissis, D., Al-Aydrus, A., Prielopin, M., Guseva, T., Evren, E., Dmitrova, A., Filikov, S.V., Gomez, F., Al-Ghazzi, R., and Karam, G., 2006. GPS constraints on continental deformation in the Africa-Arabia-Eurasia continental collision zone and implications for the dynamics of plate interactions. *Journal of Geophysical Research*, 111, 1-26.
- Reumer, J.W.F., 1998. Insectivores. In: Pliocene vertebrate locality of Çalta, Ankara, Turkey, Şen, Ş. (ed.), *Geodiversitas*, 20(3), 353-358.
- Ring, U., and Glodny, J., 2010. No need for lithospheric extension for exhuming (U)HP rocks by normal faulting. *Journal of Geological Society of London*, 167, 225-228.
- Rojay, B. and Karaca, A., 2008. Post-Miocene deformation in the south of the Galatean Volcanic Province, NW of central Anatolia (Turkey). *Turkish Journal of Earth Sciences*, 17, 653-672.
- Saraç, G., 1994. Ankara yöresindeki karasal Neojen çökellerinin Rhinocerotidae (Mammalia-Perrissodactyla) biyostratigrafisi ve paleontolojisi. Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi, Ankara (yayımlanmamış).
- Sarıca, N. and Şen, Ş., 2003. Spalacidae (Rodentia). In: *Geology and Paleontology of the Miocene Sinap Formation, Turkey*. Fortelius, M., Kappelman, J., Şen, Ş., Bernor, R.L. (eds.), Columbia University Press, pp.141-162.
- Seyitoğlu, G., Kazancı, N., Karakuş, K., Fodor, L., Araz, H., and Karadenizli, L., 1997. Does continuous compressive tectonic regime exist during Late Paleogene to Late Neogene in NW central Anatolia, Turkey? Preliminary observations. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 6, 77-83.
- Seyitoğlu, G., Kazancı, N., Karadenizli, L., Şen, Ş., Varol, B., and Karabıyıkçılı, T., 2000. Rockfall avalanche deposits associated with normal faulting in the NW of Çankırı Basin: Implications for the postcollisional tectonic evolution of the Neo-Tethyan suture zone. *Terra Nova*, 12, 245-251.
- Seyitoğlu, G., Ecevitöglü, B., Işık, V., Esat, K., Akkaya, İ. ve Sağol, Ö., 2006. Yuvaköy (Ankara) kuzeyinde Üst Kretase ofiyolitik melanaj ile Neojen birimler arasındaki tektonik sınırın niteliği hakkında jeolojik ve jeofizik veriler. *Yerbilimleri*, 27(3), 163-171.
- Seyitoğlu, G., Aktuğ, B., Karadenizli, L., Kaypak, B., Şen, Ş., Kazancı, N., Işık, V., Esat, K., Parlak, O., Varol, B., Saraç, G., and İleri, İ., 2009.

- A late Pliocene - Quaternary pinched crustal wedge in NW central Anatolia, Turkey: a neotectonic structure accommodating the internal deformation of the Anatolian plate. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 52(1), 121-154.
- Seyitoğlu, G., Esat, K. ve Kaypak, B., 2017. KB İç Anadolu'daki ana neotektonik yapılardan biri: Beypazarı Kör Bindirme Zonu ve ilişkili fay-ilerleme kıvrımları (One of the main neotectonic structures in the NW central Anatolia: Beypazarı Blind Thrust Zone and related fault-propagation folds). *MTA Dergisi (Bulletin of the Mineral Research and Exploration)*, 154, doi (tr): 10.19076/mta.30800, doi (en): 10.19111/bmre.42566.
- Sirel, E., 1975. Polatlı (GB Ankara) güneyinin stratigrafisi. *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, 18, 181-192.
- Şen, Ş., 1998. Rodentia and Lagomorpha. In: Pliocene vertebrate locality of Çalta, Ankara, Turkey Şen, Ş. (ed.), *Geodiversitas*, 20(3), 359-378.
- Şen, Ş., Bouvrain, G., and Geraads, D., 1998. Paleoeology, biogeography and biochronology. In: Pliocene vertebrate locality of Çalta, Ankara, Turkey, Şen, Ş. (ed.), *Geodiversitas*, 20(3), 497-510.
- Şen, Ş., 2003. Muridae and Gerbillidae (Rodentia). In: *Geology and Paleontology of the Miocene Sinap Formation, Turkey*. Fortelius, M., Kappelman, J., Şen, Ş., Bernor, R.L. (eds.), Columbia University Press, pp.125-140.
- Şengör, A.M.C., 1980. Türkiye'nin neotektoniğinin esasları. *Türkiye Jeoloji Kurumu yayını*, 40 s.
- Şengör, A.M.C., Görür, N., and Şaroğlu, F., 1985. Strike-slip faulting and related basin formation in zones of tectonic escape: Turkey as a case study. *The Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Special Publication*, 37, 227-264.
- Tekkaya, İ., 1970. Orta Sinap'ta bulunan *Gazella deperdita* Gervais (n. Var)'ye ait bir boynuz. *MTA Dergisi*, 74, 95-97.
- Temel, A., Yürür, T., Alıcı, P., Varol, E., Gourgaud, A., Bellon, H., and Demirbağ, H., 2010. Alkaline series related to Early-Middle Miocene intra-continental rifting in a collision zone: An example from Polatlı, Central Anatolia, Turkey. *Journal of Asian Earth Sciences*, 38, 289-306.
- Yin, A., 1993. Mechanics of Wedge-Shaped Fault Blocks 1. An elastic solution for compressional wedges. *Journal of Geophysical Research*, 98(B8), 14245-14256.
- Yürür, M.T., Temel, A., and Köse, O., 2002. Evidences of extensional tectonics at the southern boundary of the Galatean Volcanic Province, NW central Anatolia. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 45(1), 85-98.

Termal Değişikliklerin Mermerlerde Renk ve Yüzey Pürüzlülüğüne Etkilerinin Belirlenmesi

Determination of Effects of Thermal Changes on Color and Surface Roughness at Marbles

DİDEM EREN SARICI^{1*}, ENGİN ÖZDEMİR¹

¹İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, 44280 Malatya

Geliş (*received*) : 22 Haziran (*June*) 2016

Kabul (*accepted*) : 25 Ocak (*January*) 2017

ÖZ

Bu çalışmada ani ve yavaş gelişen ısı değişimlerinin mermer yüzey pürüzlülüğüne ve renk özelliklerine etkileri araştırılmıştır. Bu amaçla farklı birimlere ait parlak ve pürüzsüz yüzeyli mermer örnekleri iki grup halinde termal şok ve termal yaşlandırma çevrimlerine tabii tutulmuştur. Termal şok çevrimlerinde numuneler 105 °C deki etüvde 18 saat bekletildikten sonra 6 saat saf su içinde bekletilmiş, termal yaşlandırma döngülerinde ise farklı olarak 6 saat oda sıcaklığında soğumaya bırakılmıştır. Termal döngülerin başlangıcında ve 4, 8, 12, 16, ve 20. döngülerin sonunda yüzeylerden pürüzlülük ölçümleri alınmış ve döngülerin sonunda renk değişimleri belirlenerek pürüzlülük ve renk ölçümleri yapılmış ve aralarındaki ilişkiler belirlenmeye çalışılmıştır. Ani ısı değişimleri ile termal şok döngüleri sonucunda gelişen pürüzlülük ve renk değişimleri arasında ilişkiler olmadığı ve ayrıca termal şok ve termal yaşlandırma çevrimlerinde pürüzlülük değişimlerinin renk değişimlerinin tahmininde önemli bir belirteç olmadığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Mermer, renk analizi, termal değişiklikler, yüzey pürüzlülüğü.

ABSTRACT

In this study, effects of sudden and slow grown thermal changes on the roughness and color of marbles were investigated. For this purpose thermal ageing and thermal shock cycles were realized on two groups of marble from different rock units. In thermal shock cycles, samples were placed in an oven at 105 °C for 18 hours then kept in distilled water for 6 hours. As distinct from thermal shock cycles, samples were cooled for 6 hours at room temperature in thermal ageing cycles. At the beginning and end of the cycles 4,8,12,16 and 20, roughness and color measurements were performed and the relationships between roughness and color changes were also investigated. It is seen that there is no relationship between the roughness and color changes of the thermal shock and thermal ageing cycles and also the roughness is not an indicator for predicting color changes for thermal cycle.

Keywords: Color analysis, marble, surface roughness, thermal changes.

*D.Eren Sarıcı

e-posta: didem.sarici@inonu.edu.tr

GİRİŞ

Dayanımları ve estetik görünüşleri nedeniyle birçok alanda kullanılan doğal taşlar kullanım alanlarına göre uzun süre yağmur, rüzgar, nem, donma-çözülme ve gece gündüz sıcaklık farklılıkları gibi atmosfer olaylarına maruz kalmaktadır ve bu faktörler doğal taşların hem fiziko-mekanik özelliklerinde hem de dış görünüşlerinde olumsuz değişimler meydana getirmektedir. Doğal taşın yapısında meydana gelen bu tür bozulmalar onarım yapılmasını zorunlu kılmakta ve bu işlemler de yapı maliyetini arttırmaktadır (Akbaş vd., 2012; Erdoğan ve Yaşar, 2001).

Doğal taşların bozunma sürecinde termal etkiler, nem, donma-çözülme çevrimleri, tuz kristallenmesi gibi dış etkenlerin yanı sıra kayacın kimyasal, mineralojik-petrografik bileşimi, yapısal ve dokusal özellikleri, gibi içsel parametreler de rol oynamaktadır (Cantisani vd. 2009).

Kayaçların termal davranışlarının tanımlanması ve tahmini zor bir konudur çünkü kayaçlar heterojen yapılıdır. Isı artışı kayaçlarda dekompozisyon, oksidasyon gibi pek çok değişikliğe neden olmaktadır (Plevova vd. 2010). Ayrıca ısının kayacın fiziksel özelliklerine etkisi değişik mühendislik uygulamalarıyla da ilgili bir konudur. Nükleer atık depoları ve jeotermal enerji kaynaklarının çıkarılması gibi uygulamalarda kayaların termal etkilere karşı davranışlarını belirlemek çalışma karakteristikleri bakımından da önem arz etmektedir (Yavuz vd. 2010).

Termal etkiler özellikle nem, kimyasal ve biyolojik kirlilikler, radyasyon, hava kirliliği, gibi diğer bazı faktörler ile birleştiği zaman bozulma sürecini hızlandırmaktadır. Bu bozulma kayaç kohezyonunun zayıflaması ve buna bağlı olarak gözeneklilikde ve mikrokırıklarda artış, ve genişleme, şeklinde gelişmektedir (Royer-Carfagni, 1999; Vazquez vd. 2012; Careddu ve Marras, 2013; Özgüven ve Özçelik, 2014).

Mermerlerin termal bozulma süreçlerinin incelenmesi ve bu süreçlerin mermer yüzey kalitesine etkilerinin belirlenmesi, bu tür doğal taşların kullanım alanları belirlenirken göz önünde bulundurulması açısından önem taşımaktadır.

Bu çalışmada parlatılmış yüzeylere sahip mermer örnekleri üzerinde termal şok ve termal yaşlandırma döngüleri gerçekleştirilerek gelişen değişiklikler belirlenmiş ve pürüzlülük değişimleri ile renk değişimleri arasındaki ilişkiler araştırılmıştır.

MALZEME ve YÖNTEM

Malzeme

Çalışmada Doğu Anadolu Bölgesinde üretilen ve yaygın olarak kullanılan 6 farklı mermer örneği kullanılmıştır. Örneklerin kodları, ticari isimleri ve fiziki görünüşleri Çizelge 1’de verilmiştir.

Deneylerde kullanılan örneklerin fiziko-mekanik özellikleri TSE standartlarında belirtilen yöntemlere göre belirlenmiştir (TS 699, 1987; TS EN 1936, 2010; TS 6809, 1989). Örneklerin bazı fiziko-mekanik özellikleri Çizelge 2’de, XRF analizi sonuçları Çizelge 3’te, XRD analizi sonuçları Çizelge 4’te verilmiştir.

Termal Döngülerin Uygulanması


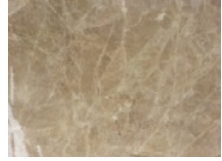

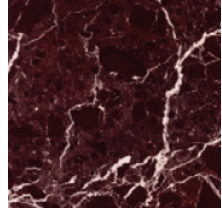
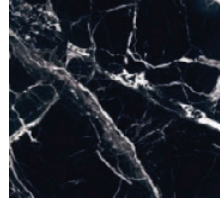

Satış koşullarına uygun şekilde kesilerek hazırlanan yüzey pürüzlülüğü oldukça düşük ve parlak yüzeyli mermer örnekleri TS 14066 standardında belirtilen ebatlarda (200 mm x 200 mm x 20 mm) ± 2 mm kesilerek hazırlanmış, numunelerde renklerin mümkün olduğunca mermer yüzeyinin her bölgesinde aynı veya benzer tonlamalarda olmasına özen gösterilmiştir. Deneylere başlamadan önce numuneler üzerine pürüzlülük ölçümlerinin yapılacağı noktalara silinmez şekilde çizgiler çizilmiş ve pürüzlülük ölçümleri bu noktalardan alınmıştır (TS EN 14066, 2004).

Termal değişikliklerin mermer yüzey kalitesine etkilerinin belirlenmesi için hazırlanan mermer örnekleri iki grup halinde deneye tabii tutulmuş ve birinci gruba termal şok uygulaması ikinci gruba ise termal yaşlandırma uygulaması yapılmıştır. Termal şok ve termal yaşlandırma deneylerinde; numune hazırlama için taş kesme testeresi, Utest marka laboratuvar etüvü, hassas terazi, Talysurf TR100 pürüzlülük ölçer aleti, Hunter CIELAB renk tayin cihazı kullanılmıştır.

Termal şok çevrimleri

Termal şok çevrimleri TS 14066’da tanımlanan yöntemle göre gerçekleştirilmiştir (TS EN 14066, 2004). Termal şok çevrimlerine başlamadan önce numuneler kurutma işlemine tabii tutulmuştur. $105 \pm 5^\circ\text{C}$ ’lik etüvde sabit kütleye gelinceye kadar kurutulan numuneler tartılmış, tartım sonucu (m_0) olarak kaydedilmiştir. Daha sonra numuneler $105 \pm 5^\circ\text{C}$ sıcaklıktaki hava dolaşımli etüvde 18 ± 1 saat bekletildikten sonra $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$ sıcaklıktaki demineralize su içerisine (6 ± 0.5) saat süreyle daldırılmıştır. Bu işlem bir çevrim

Çizelge 1. Mermer örneklerinin ticari isimleri, kodları ve fiziksel görünüşleri
 Table 1. Commercial name, code and appearance of marble samples.

Örnek Kodu	Ticari İsmi	Görünümü
MB	Malatya Bej	
E	Adıyaman Emprador	
KT	Kırmızı Traverten	
EV	Elazığ Vişne	
HY	Hazar Yeşili	
Si	Siyah İnci	

olarak tarif edilmiştir. Her 5 çevrim sonunda numunelerin yüzeyinde belirlenen aynı noktalardan pürüzlülük ölçümleri alınmıştır.

Numuneler yirminci çevrim sonunda (105 ± 5)°C sıcaklıkta sabit kütleye ulaşıncaya kadar kurutulmuş, desikatörde soğutularak tartılmıştır (m_p).

Termal Yaşlandırma Çevrimleri

Termal yaşlandırma çevrimleri Lam dos Santos et al. 2011'de belirtilen yöntemle uygulanmıştır (Santos et al., 2011). Termal şok çevrimleri ile aynı koşulların sağlanması için sıcaklık 105 °C olarak uygulanmıştır. Termal yaşlandırma çevrimine tabii tutulan numuneler, 105 ± 5 °C sıcaklıktaki hava dolaşımı

Çizelge 2. Mermer örneklerinin bazı fiziko-mekanik özellikleri
Table 2. Some of physico-mechanical properties of marble samples

	Malatya Bej	Adıyaman Emprador	Kırmızı Traverten	Hazar Yeşili	Siyah İnci	Elazığ Vişne
Doğal Birim Hacim Ağırlığı kN/m ³	26.39 ± 0.01	25.70± 0.04	23.54±0.04	25.70±0.03	25.90±0.04	26.58±0.03
Doygun birim hacim ağırlığı kN/m ³	26.39 ± 0.01	25.99 ± 0.04	23.93±0.04	25.80±0.03	25.90±0.04	26.58±0.03
Kuru birim hacim ağırlığı kN/m ³	26.39 ± 0.01	25.70± 0.04	23.34±0.04	25.61±0.03	25.80±0.04	26.49±0.03
Ağırlıkça su emme (%)	0.15 ± 0.04	1.36 ± 0.29	2.36±0.04	0.69±0.08	0.22±0.03	0.34±0.14
Hacimce su emme (%)	0.41 ± 0.11	3.56 ± 0.74	3.55±0.04	2.52±0.23	0.57±0.09	0.90±0.03
Mohs sertliği	4	3-4	3	4	4	4
Tek eksenli basma dayanımı MPa	87.39	77.50	31.09	82.2	138.4	94.5
Nokta yükleme dayanımı MPa	5.84	5.73	2.52	5.71	7.75	5.96

Çizelge 3. Mermer örneklerinin XRF analizi sonuçları
Table 3. Results of XRF analysis of marble samples

Sample	Malatya Bej	Adıyaman Emprador	Kırmızı Traverten	Hazar Yeşili	Siyah İnci	Elazığ Vişne
SiO ₂	0.47	0.08	0.001	25.60	1.33	23.18
Fe ₂ O ₃	0.089	0.73	1.050	8.62	0.34	7.335
CaO	54.77	33.21	54.56	18.70	52.40	20.71
MgO	1.48	19.2	0.023	25.40	1	26.25
Na ₂ O	0.014	2.72	1.304	0.05	0.04	<0.014
K ₂ O	0.0012	0.001	<0.0012	-	0.07	<0.0012
Al ₂ O ₃	0.24	2.168	0.0814	0.26	0.53	1.328
P ₂ O ₅	0.014	0.00846	0.01	0.07	0.35	0.3611
ZnO	0.0024	0.33610	0.0036	0.01	0.01	0.00476
SrO	0.019	0.02266	0.0074	0.06	0.18	0.012
Co ₂ O ₃	-	-	0.0048	0.01	0.04	0.022
LOI	41.91	40.95	42.90	20.30	43.30	20.30

etüvde 18 ± 1 saat bekletildikten sonra 25 °C sıcaklıktaki oda ısısında 6 saat soğumaya bırakılmıştır. Bu işlem bir çevrim olarak tarif edilmiştir. Deney boyunca numunelere 20 çevrim uygulanmıştır. Her 4 çevrim sonunda numunelerin yüzeyinde belirlenen aynı

noktalardan pürüzlülük ölçümleri alınmıştır.

Numuneler yirminci çevrim sonunda (105 ± 5)°C sıcaklıkta sabit kütleye ulaşınca kadar kurutulmuş ve tartılmıştır.

Çizelge 4. Mermer örneklerinin XRD analizi sonuçları
Table 4. Results of XRD analysis of marble samples

Örnek	Malatya Bej	Adıyaman Emprador	Kırmızı Traverten	Hazar Yeşili	Siyah İnci	Elazığ Vişne
	Kalsit	Dolomit	Kalsit, Hematit	Dolomit, Kalsit, İllit	Kalsit	Kalsit, Dolomit, Bentonit Kil, Silika

Ağırlık Kayıplarının Belirlenmesi

Termal döngüler sonucunda gerçekleşen ağırlık kayıplarını belirlemek amacıyla deney öncesi ve sonrasında numuneler 105 °C de 24 saat süre ile kurutulmuş, kuru ağırlıkları kaydedilmiştir (TS EN 14066, 2004).

Yapılan termal şok ve termal yaşlandırma deneyleri sonucunda meydana gelen ağırlık kayıpları Eşitlik (1) kullanılarak bulunmuştur.

$$\Delta m = \frac{m_f - m_o}{m_o} \times 100 \quad (1)$$

Burada;

m_o : deney öncesi kuru ağırlık

m_f : Deney sonrası kuru ağırlık

Pürüzlülük Ölçümlerinin Alınması

Çalışmada herbir numune üzerinde belirlenen 9 ayrı noktadan pürüzlülük ölçümleri kaydedilerek ortalama değerleri alınmıştır. Örnek üzerinde ölçüm alınan bölgeler Şekil 1’de verilmiştir.

Bu çalışmada pürüzlülük ölçüm parametresi olarak R_a (ortalama pürüzlülük) dikkate alınmıştır. R_a , en çok kullanılan uluslararası pürüzlülük parametresidir. Yüksek pürüzlülüğü ölçen cihazlardan direkt olarak okunabildiği gibi, bir yüzeyin R_a değeri, grafiksel olarak da bulunabilir. Ortalama pürüzlülük, pürüzlülük profilinin aritmetik olarak ana hat çizgisinden sapmasıdır (Görgülü ve Ceylanoğlu, 2001).

*Ana hat; ölçüm yapılan yüzeyin pürüzlülük profilinin alt ve üst kısımlarını eşit şekilde bölen hatta denilmektedir.

Ölçüm yapılan yüzey profiline ait bir örnek Şekil 2’de verilmiştir.

Pürüzlülük değerleri (R_a) mermer yüzeylerinde işaretilenen noktalardan her 4 termal çevrim sonunda

Talysurf TR100 pürüzlülük ölçer aleti ile Mod 2’de 5 x 0.8 mm örnekleme aralığında ölçülmüştür.

Renk Değişimlerinin Belirlenmesi

Renk, mermerlerde satış koşullarını etkileyen özelliklerin en önemlisidir. Mermerler renk ve desen özelliklerine göre ticari olarak isimlendirilerek satışa sunulurlar. Bu isimlendirmede kahverengi, kırmızı, beyaz, bej, kiraz, lila gibi renk isimleri kullanılır. Mermerlerin bünyesinde bulunan safsızlıklar mermerin değişik renklerde oluşmasına sebep olurlar. Renk özellikleri L, a, b ve E ile ifade edilmektedir. L parametresi; parlaklık (L:0 siyah, L: 100 beyaz), a parametresi kırmızılık-yeşillik (a>0 kırmızı, a<0 yeşil), b parametresi sarılık-mavilik (b>0 sarı, b<0 mavi) durumunu ifade etmektedir. Uygulanan termal çevrimler sonucunda mermerlerde renk değişimleri meydana gelmiştir. Meydana gelen bu değişimler Hunter CIELAB renk tayin cihazı kullanılarak belirlenmiştir (Eren Sarıcı; 2016).

Toplam renk değişimi ΔE Eşitlik (2) ile belirlenmiştir (Özgüven ve Özçelik, 2013).

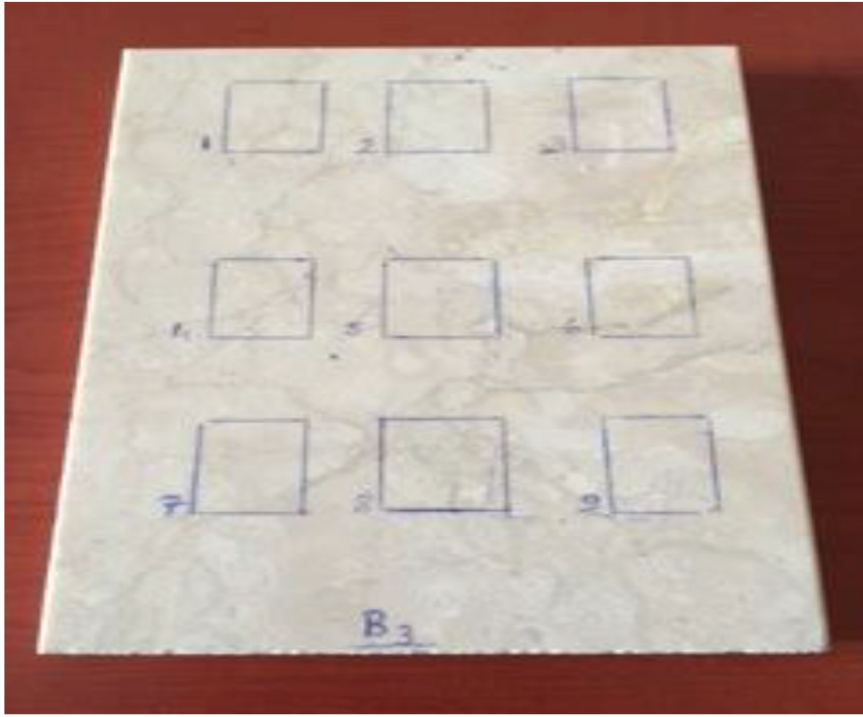
$$\Delta E_{ab}^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (2)$$

ARAŞTIRMA BULGULARI

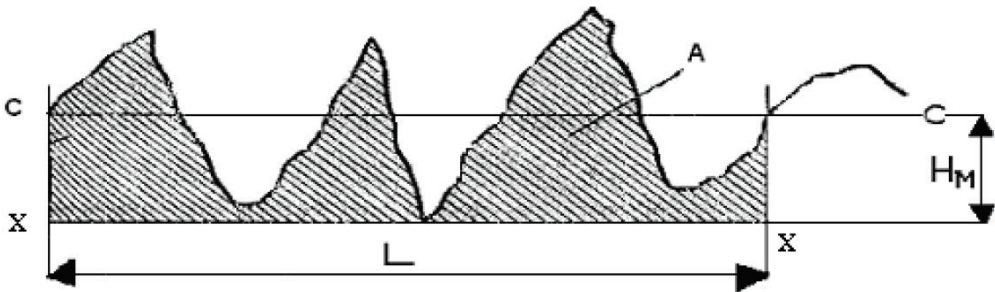
Ağırlık Kayıplarının Değerlendirilmesi

Yapılan termal şok ve termal yaşlandırma döngüleri sonucunda mermer örneklerinde gözlenen ağırlık kayıpları Çizelge 5’ de verilmiştir.

Çizelge 5 incelendiğinde termal şok ve termal yaşlandırma döngülerinin her ikisinin deneyleri sonucunda örneklerde değişik oranlarda ağırlık kaybının gerçekleştiği görülmektedir. Ani ısınma ve soğumanın etkili olduğu termal şok çevrimlerinde daha fazla ağırlık kaybının olduğu görülmektedir. Mermerleri oluşturan minerallerin ısınma-soğuması sonucu genişmesi



Şekil1. Örnek üzerinde pürüzlülük ölçümlerinin yapıldığı bölgeler
Fig.1. Roughness measurement areas on the specimen



Şekil 2. Ölçüm yapılan yüzeyin profili
Fig.2. Profile of measuring surface

ve tekrar büzüşmesi ile özellikle mikro kırık ve çatlakların olduğu bölgelerde genişlemeler ve koparak ayrılmalar olmuştur. Bu tür parçalanmalar yavaş gelişen ısı değişimlerinin rol oynadığı termal yaşlandırma döngülerinde de gözlenmiştir.

Pürüzlülük Değişimlerinin Değerlendirilmesi

Termal şok ve termal yaşlandırma deneylerinde her 4 çevrim sonunda alınan pürüzlülük ölçümlerinin (Ra)

ortalama değerleri Çizelge 6 ve Çizelge 7’de, elde edilen pürüzlülük değerlerinin (Ra) döngü sayısına göre değişimi ise grafiksel olarak Şekil 3 ve Şekil 4’ de verilmiştir.

Pürüzlülük değerlerindeki % değişimler Eşitlik (3) ile belirlenmiştir. Elde edilen değerler Çizelge 8’de verilmiştir.

$$\Delta P = \frac{(sp - ip)}{ip} \times 100 \quad (3)$$

Çizelge 5. Termal şok ve termal yaşlandırma çevrimleri sonucunda gözlenen ağırlık kayıpları
Table 5. Weight loss of marble samples after thermal shock and thermal ageing cycles

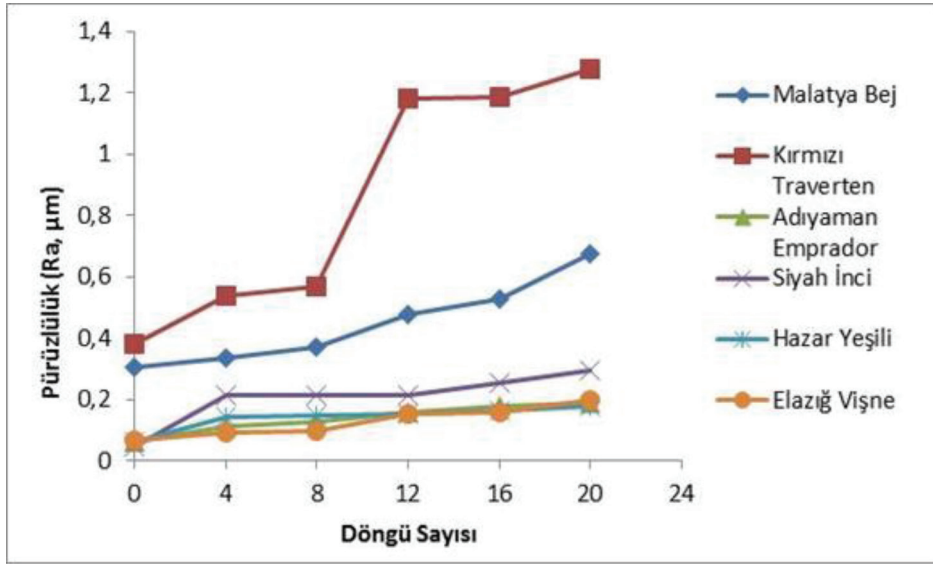
Örnek	Termal Şok Sonucunda Gelişen Ağırlık Kaybı (%)	Termal Yaşlandırma Sonucunda Gelişen Ağırlık Kaybı (%)
Malatya Bej	-0.026	-0.012
Kırmızı Traverten	-0.019	-0.009
Adıyaman Emprador	-0.018	-0.017
Siyah İnci	-0.075	-0.052
Hazar Yeşili	-0.144	-0.334
Elazığ Vişne	-0.216	-0.147

Çizelge 6. Termal şok deneyinde her 4 çevrim sonunda alınan ortalama pürüzlülük değerleri
Table 6. Average roughness values at the end of every 4 thermal shock cycles

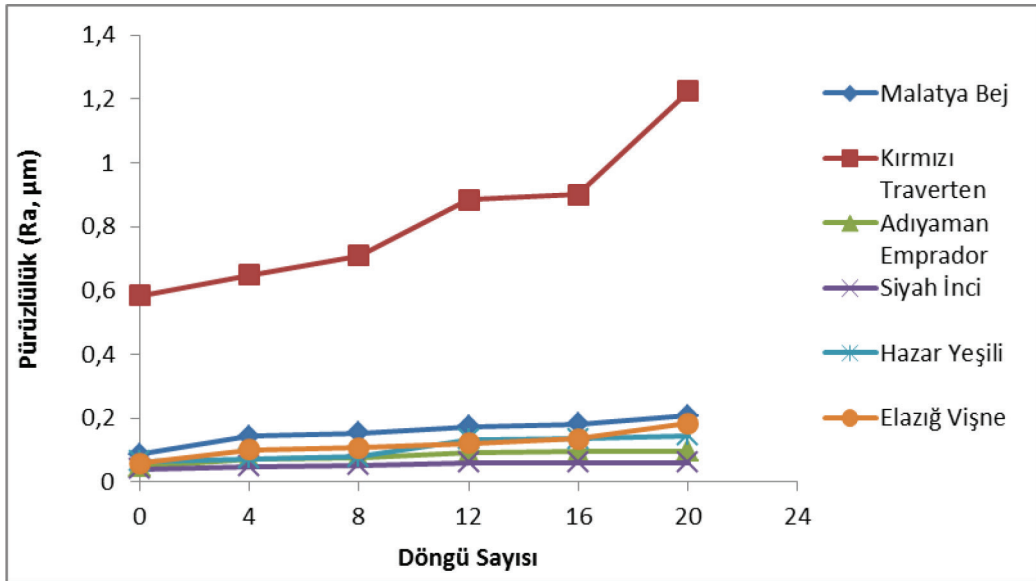
Örnek	Başlangıç	4. döngü	8. döngü	12. döngü	16. döngü	20. döngü
Malatya Bej	0.304	0.334	0.373	0.478	0.528	0.677
Kırmızı Traverten	0.383	0.534	0.567	1.182	1.187	1.278
Adıyaman Emprador	0.062	0.114	0.129	0.157	0.180	0.190
Siyah İnci	0.049	0.212	0.212	0.215	0.255	0.296
Hazar Yeşili	0.062	0.141	0.147	0.152	0.162	0.178
Elazığ Vişne	0.068	0.092	0.095	0.150	0.16	0.198

Çizelge 7. Termal yaşlandırma deneyinde her 4 çevrim sonunda alınan ortalama pürüzlülük değerleri
Table 7. Average roughness values at the end of every 4 thermal ageing cycles

Örnek	Başlangıç	4. döngü	8. döngü	12. döngü	16. döngü	20. döngü
Malatya Bej	0.086	0.143	0.153	0.173	0.181	0.208
Kırmızı Traverten	0.583	0.648	0.709	0.884	0.901	1.224
Adıyaman Emprador	0.049	0.073	0.076	0.091	0.095	0.096
Siyah İnci	0.041	0.049	0.052	0.060	0.060	0.060
Hazar Yeşili	0.065	0.072	0.079	0.133	0.135	0.145
Elazığ Vişne	0.059	0.101	0.107	0.120	0.134	0.183



Şekil 3. Termal Şok deneylerinde döngü sayısına göre pürüzlülük değişimleri
Figure 3. Roughness changes with respect to cycle number in the thermal shock test



Şekil 4. Termal yaşlandırma deneylerinde döngü sayısına göre pürüzlülük değişimleri
Figure 4. Roughness changes with respect to cycle number in the thermal ageing test

ΔP : Pürüzlülükte gerçekleşen % değişim

Sp: Son döngüde ölçülen Pürüzlülük değeri (Ra)

İp: Deney öncesi ölçülen pürüzlülük değeri (Ra)

Şekil 3, Şekil 4, Çizelge 6 ve Çizelge 7 incelendiğinde çalışmada kullanılan tüm mermer örneklerinde termal döngü sayısındaki artışa bağlı olarak pürüzlülük

değerlerinin arttığı gözlenmiştir. Pürüzlülük değerlerinde en fazla artış Kırmızı Traverten örneğinde görülmüştür. Bu örnek için özellikle ilk 12 termal şok döngüsünde pürüzlülük büyük oranda artmış, daha sonra sabitlenmiştir. Kırmızı traverten mermeri çok sayıda açık gözenek içermektedir. Bu gözenekler ısı değişimleri ile genişlemiştir. Pürüzlülüğün en çok

Çizelge 8. Termal şok ve termal yaşlandırma döngüleri sonucunda gerçekleşen pürüzlülük değişimleri (%)
Table 8. After thermal shock and thermal ageing cycles changes of roughness

Örnek	Termal yaşlandırma ΔP	Termal şok ΔP
Malatya Bej	141.86	122.69
Adıyaman Emprador	95.96	233.68
Kırmızı Traverten	109.84	206.45
Elazığ Vişne	210.16	504.08
Hazar Yeşili	123.07	191.17
Siyah İnci	46.37	187.09

artış gösterdiği diğer örnek ise krem renkli Malatya bej mermeridir. Bu mermer de bünyesinde Kırmızı traverten örneğinde olduğu gibi önemli oranda kalsit minerali içermektedir. Kalsit minerali termal genişlemeye-büzülmeye daha fazla uğrayarak bozular. Koyu renkli mermerlerde ise pürüzlülük değişimi daha az oranda görülmektedir. Bu durum mermerlerin mineralojik bileşimi ile ilişkilendirilebilir.

Şekil 4 incelendiğinde termal yaşlandırma deneyinin döngü sayıları arttıkça Kırmızı traverten dışındaki tüm mermerlerde pürüzlülük değerinin çok kısa bir aralıkta arttığı görülmektedir.

Pürüzlülük değerlerinde meydana gelen değişim termal şok ve termal yaşlandırma deneyleri için değerlendirildiğinde termal şok olayının mermer yüzey pürüzlülüğünü daha fazla artırdığı görülmektedir. Pürüzlülüğün artmasında mermerin mineralojik yapısı, bünyesinde mikrokırık ve çatlakları ne oranda içerdiği gözeneklilik durumu, gözeneklerin açık veya kapalı oluşu gibi faktörler etkili olmaktadır.

Termal Şok ve Termal Yaşlandırma Deneyleri Sonucunda Mermer Yüzeylerinde Gözlemlenen Renk Değişimleri

Tüm mermer örneklerinde termal şok ve termal yaşlandırma döngüleri sonucunda değişik oranlarda renk değişimleri gerçekleşmiştir. Termal şok ve termal yaşlandırma döngüleri sonucunda mermer yüzeylerinde meydana gelen toplam renk değişimleri (ΔE) Çizelge 9'da pürüzlülük ve renk değişimlerinin arasındaki ilişki grafiksel olarak Şekil 5 ve Şekil 6'da verilmiştir.

Çizelge 9 incelendiğinde bütün örneklerin renklerinin değişik oranlarda farklılaştığı görülmektedir. Özellikle kırmızı traverten örneğinin renginin her iki döngü sonunda büyük ölçüde değiştiği belirlenmiştir.

Pürüzlülük ve renk değişimleri arasındaki ilişkiyi gösteren Şekil 5 ve Şekil 6 incelendiğinde, termal döngüler sonucunda pürüzlülük artışı karşısında en fazla renk değişiminin gözenekliliğin en fazla olduğu Kırmızı traverten örneğinde daha sonra su emme yeteneği diğer örneklerle oranla daha fazla olan Adıyaman Emprador mermerinde geliştiği görülmektedir. Termal yaşlandırma döngüleri sonucunda daha fazla renk değişimi görülmüştür. Termal döngülerde ısının etkisi ile genişleme ve büzümeye uğrayan kayacın bu döngüler yüzey kalitesinin bozulmasına neden olmaktadır. Termal şok ve termal yaşlandırma döngülerinde gerçekleşen pürüzlülük ve renk değişimlerinin % cinsinden oransal ilişkisi ise Şekil 7' ve Şekil 8'de verilmiştir.

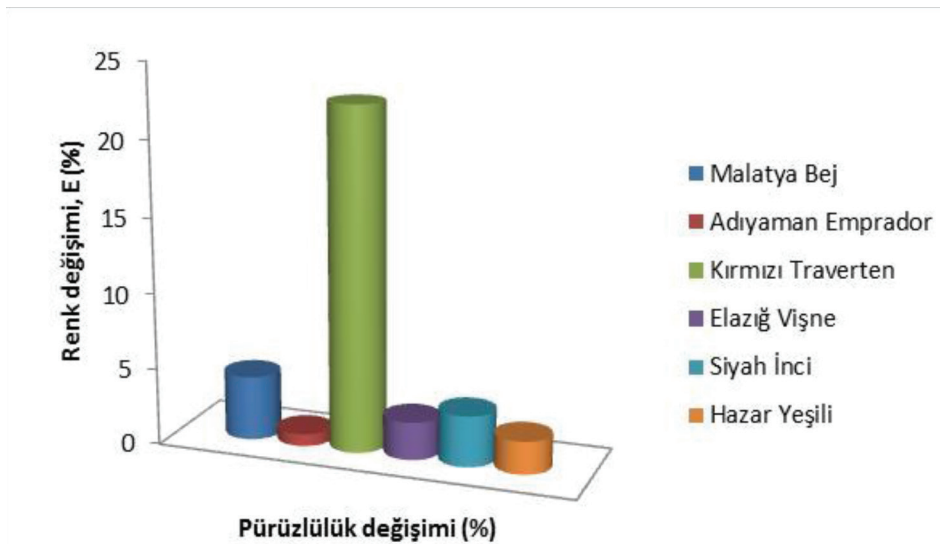
Şekil 7 incelendiği zaman ani ısı değişimlerinin ve nemin etken faktör olduğu termal şok çevrimlerinde ve yavaş gelişen ısı etkilerinin rol oynadığı termal yaşlandırma çevrimlerinde toplam pürüzlülük değişimlerinin toplam renk değişimi üzerinde etkili olmadığı görülmektedir. Örneğin yüksek pürüzlülük değişimi gösteren Siyah İnci mermerinde renk değişimi fazla olmamıştır. Bu durum sözkonusu mermerin dayanım değerlerinin yüksek olmasından kaynaklanabilir.

SONUÇLAR ve TARTIŞMA

Bu çalışmada bazı mermer örneklerinde ani ve yavaş gelişen ısı değişimleri karşısında gelişen pürüzlülük

Çizelge 9. Termal şok ve termal yaşlandırma döngüleri sonucunda gerçekleşen toplam renk değişimleri
Table 9. After thermal shock and thermal ageing cycles changes of total colour

Örnek	Termal yaşlandırma ΔE	Termal Şok ΔE
Malatya Bej	4.25	2.97
Adıyaman Emprador	0.80	3.606
Kırmızı Traverten	22.57	19.06
Elazığ Vişne	2.50	1.79
Hazar Yeşili	2.17	2.16
Siyah İnci	3.37	2.54

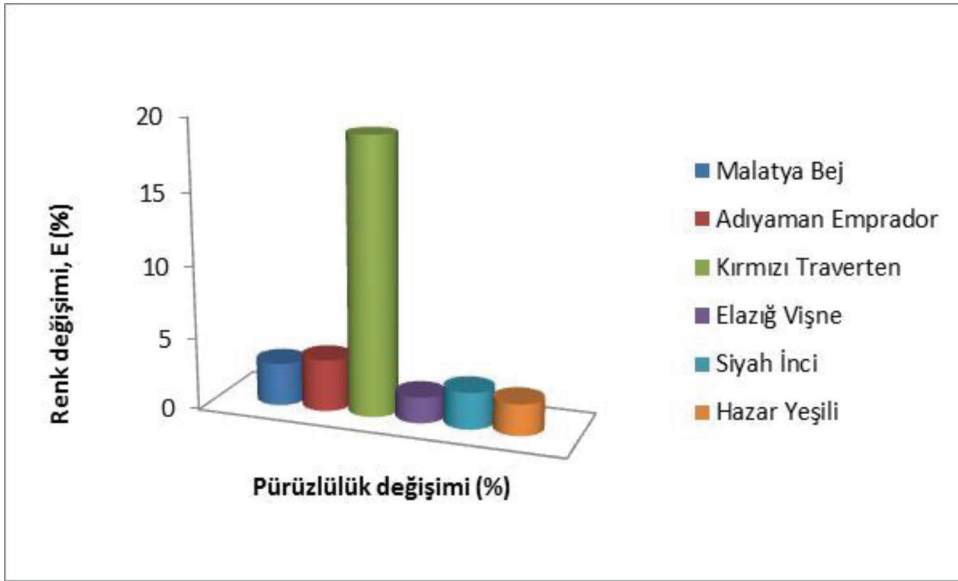


Şekil 5. Termal yaşlandırma döngüleri sonucunda gerçekleşen pürüzlülük ve renk değişimleri
Figure 5. Roughness and color changes at the end of thermal ageing cycles

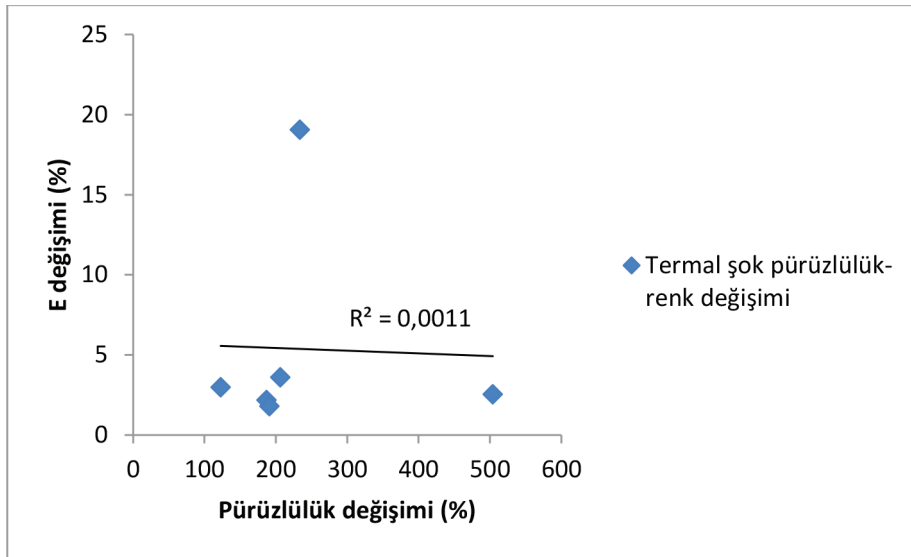
ve renk değişimlerinin ilişkisi araştırılmıştır. Bu amaçla termal şok ve termal yaşlandırma döngüleri uygulanan mermer örneklerinde belirli periyotlarla pürüzlülük ölçümleri alınmış, döngüler sonunda renk tayinleri yapılmış, ağırlık kayıpları belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir;

Döngü sayısı arttıkça mermerlerin yüzey pürüzlülüğünün arttığı tespit edilmiştir. Özellikle ani ısı değişimlerinin yaşandığı termal şok çevrimlerinde yüzey pürüzlülüğündeki artış miktarı daha fazladır çünkü

ısı değişimi nedeniyle meydana gelen kayaç tanelerinin genişlemesi ve suyun etkisiyle gelişen büzülme termal şok döngülerinde daha büyük ölçüde gerçekleşmiştir. Isı değişimleri neticesinde gelişen genleşme ve büzülme sonucunda meydana gelen koparak ayrılmalar, mikrokirik ve çatlaklarda genişlemelere neden olmuştur. Bunun neticesinde mermer örneklerinin hepsinde belirgin oranlarda ağırlık kayıpları meydana gelmiştir. Bu etkiyi gözenekliliğin en fazla olduğu kırmızı traverten örneğinde görmek mümkündür.



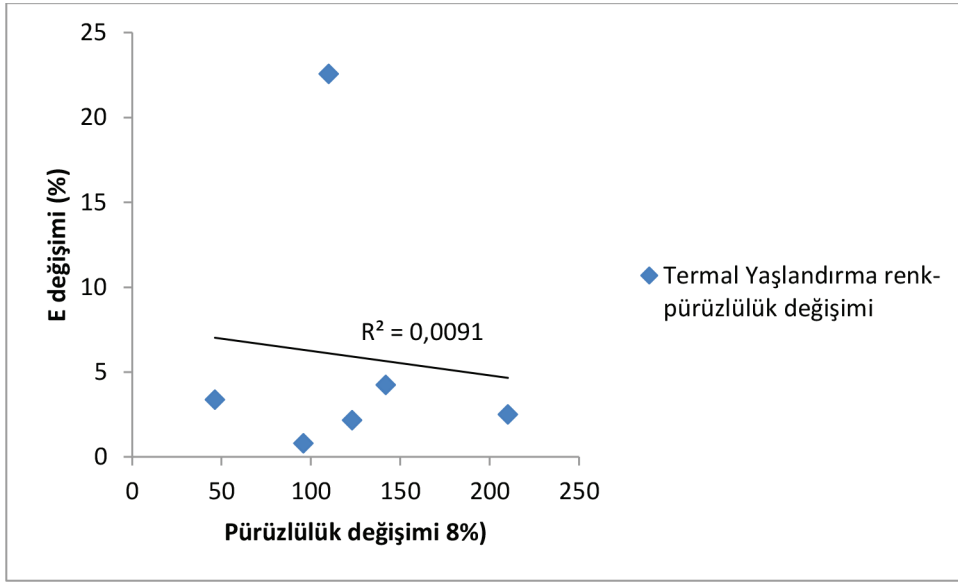
Şekil 6. Termal şok döngüleri sonucunda gerçekleşen pürüzlülük ve renk değişimlerinin
Figure 6. Roughness and color changes at the end of thermal shock cycles



Şekil 7. Termal şok döngülerinde elde edilen pürüzlülük ve renk değişimleri arasındaki ilişki
Figure 7. The relationship between roughness and color change obtained thermal shock cycles.

Toplam renk değişimi ΔE ile pürüzlülük değişimi arasındaki ilişkiye bakılacak olursa ani ve yavaş gelişen ısı değişimlerinin yaşanması sırasında gelişen pürüzlülük değişimleri renk değişimleri arasında belirli bir ilişki tespit edilememiştir.

Mermerlerde özellikle dış cephe kaplamacılığında kullanılacak olanların seçimi yapılırken traverten gibi fazla gözenekli olan türlerin ani ve yavaş gelişen ısı değişimlerinden daha fazla etkilendiği, daha çok yüzey bozulmasına uğradığı ve renk değişimlerinin daha sık geliştiği gözönünde bulundurulmalıdır.



Şekil 8. Termal yaşlandırma döngülerinden elde edilen pürüzlülük ve renk değişimlerinin ilişkisi
Figure 8. The relationship between roughness and color change obtain thermal ageing cycles.

Çalışmanın daha sonraki aşamalarında farklı jeolojik kökenli kayalar kullanılarak jeolojik köken ve kayaç parametrelerinin olaya etkileri araştırılacaktır.

KATKI BELİRTME

Yazarlar bu çalışmayı 2012/181 nolu proje ile maddi açıdan destekleyen İnönü Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne, yaptıkları değerlendirmelerle çalışmaya katkılar sağlayan hakemlere teşekkür ederler.

KAYNAKLAR

- Akbay, D., Efe, T., Şengün, N., Demirdağ, S., Altındağ, R., and Erinç Koççaz, C., 2012. Donma-Çözülme ve Termal Şok Koşullarının Bazı Mermerler Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi. Uluslararası 8. Mermer ve Doğaltaş Kongresi, Afyon.
- Cantisani, E., Pecchioni, E., Fratini, F., Garzonio, C.A., Malesani, P., and Molli, G., 2009. Thermal stress in the Apuan marbles: Relationship between microstructure and petrophysical characteristics. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 46, 128-137.
- Careddu N. and Marras. G., 2013. The effects of solar UV radiation on the gloss values of polished

stone surfaces. Construction and Building Materials, 49, 828-834.

- Erdoğan, Y. and Yaşar, E., 2001. Adana-İçel-Osmaniye Mermerlerinin Mühendislik Özellikleri Açısından Değerlendirilmesi, Türkiye 3. Mermer Sempozyumu, Afyon-Karahisar.
- Eren Sarıcı D., 2016. Thermal deterioration of marbles: Gloss, color changes. Construction and Building Materials, 102, 416-421.
- Görgülü K. ve Ceylanoğlu, A., 2001. Bazı mermer birimlerinde değişik aşındırıcılarla yerinde gerçekleştirilen yüzey aşındırma deney sonuçları ve değerlendirilmesi. Madencilik, Haziran-Eylül-Aralık, 11-26.
- Lam dos Santos JP., Rosa LG. and Amaral PM., 2011. Temperature effects on mechanical behavior of engineered Stones. Construction and Building Materials, 25, 171-174.
- Özguven A. and Özçelik Y., 2013. Investigation of some property changes of natural building stones exposed to fire and heat, Construction and Building Materials 38, 813-821.
- Özguven A., Özçelik. Y., 2014. Effects of high temperature on physico-mechanical properties of Turkish natural building stones. Engineering Geology, 83, 127-136.

- Plevová, E., Kožušníková, A., Vaculíková, L., and Simha Martynková, G., 2010. Thermal behavior of selected Czech marble samples. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 101, 657-664.
- Royer-Carfagni GF. 1999. On the thermal degradation of marble. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 36, 119-126.
- TS EN 14066. 2004. Doğal Taşlar-Deney Metodları-Termal Şok Etkisiyle Yıpranmaya Direncin Tayini. TSE. Ankara.
- TS 699.,1987. Tabii yapı taşları-muayene ve deney metodları. TSE. Ankara.
- TS 6809., 1989. Mohs sertlik cetveline göre sertlik tayini. TSE. Ankara.
- TS EN 1936., 2010. Doğal taşlar-Deney metodları-Gerçek yoğunluk, görünür yoğunluk toplam ve açık gözeneklilik tayini. TSE. Ankara.
- Vazquez P. Luque A. Alanso J.F. and Grassi C.M., 2012. Surface Changes on Crystalline Stones due to salt crystallisation. *Environmet Earth Science. Special Issue*. DOI:10.1007/s12665-012-2003-6.
- Yavuz, H., Demirdağ, S., and Caran S., 2010. Thermal effect on the physical properties of carbonate rocks. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 47, 94-103.

Investigation of Probable Princes's Graves and Wall Remains In Alacahöyük Archaeological Site with Ground Penetrating Radar Method

Yer Radarı Yöntemi ile Alacahöyük Arkeolojik Alanındaki Olası Prens Mezarları ve Duvar Kalıntılarının Araştırılması

AYSEL ŞEREN^{1*}, ZEYNEP ÖĞRETMEN AYDIN¹, ALİ ERDEN BABACAN¹

¹Karadeniz Technical University, Faculty of Engineering, Department of Geophysics Engineering, 61080 Trabzon

Geliş (received) : 27 Haziran (June) 2016

Kabul (accepted) : 25 Ocak (January) 2017

ABSTRACT

The aim of this study is to determine the probable Princes's graves and wall remains using geophysical Ground Penetrating Radar (GPR) method at two study areas defined by archaeologist before in Alacahoyuk archaeological site, Çorum-Turkey. GPR data were continuously collected in the first site (Area 1) by using the reflection profiling measurement technique with a 100 MHz unshielded antenna on four parallel profiles spaced 1 m apart probable Princes's graves could be buried there. On each profile, measurements were taken for two different positions of the transmitter-receiver antenna due to the directivity properties of the antenna. Probable wall remains could be buried in the second site (Area 2), which has 12 m length and 10 m in width. GPR data were also acquired as in the first study site. On the site, 44 GPR profile measurements have been collected on 22 profiles. After data processing, time slices/amplitude maps were produced from the data collected on 52 profiles according to the different positions of the transmitter-receiver antennas in these sites.

It was concluded that the presence and lateral extends of strong reflections on time slices/amplitude maps indicate the locations of some wall remains and probable Princes' graves. In accordance with these results, excavations were recommended where the presence of anomalies was observed on these maps. Archaeological finds corroborated the existence of remains during the following excavations when strong reflections were observed on the maps.

Keywords: Alacahöyük, GPR, time slices/amplitude maps, Princes's graves, wall remains.

ÖZ

Bu çalışmanın amacı, Türkiye'nin Çorum ilindeki Alacahöyük arkeolojik alanında daha önceden arkeologlar tarafından tanımlanan iki ayrı çalışma sahasında jeofizik yöntem olan yeraltı radarı (GPR) kullanılarak olası prens mezarları ve duvar kalıntılarını belirlemektir. Olası prens mezarlarının gömülü olabileceği düşünülen ilk çalışma (Alan 1) sahasında, GPR verileri; birbirine paralel 1 m aralıklı dört profilde, 100 MHz korumasız antenle yansıma profil ölçüm tekniği kullanılarak sürekli modda toplanmıştır. Antenin yönelimine göre elektromanyetik dalganın farklı yayılım özelliğini kullanmak için, GPR verileri; alıcı-verici antenin iki farklı konumunda ölçülmüştür. Olası duvar kalıntılarının gömülü olduğu tahmin edilen ikinci alan (Alan 2); 12 m uzunluğunda ve 10 m genişliğinde bir alandır. Bu alanda, 22 hatta 44 GPR profil ölçümü alınmıştır. Bu iki çalışma alanında, verici-alıcı antenlerin farklı konumlarına göre, 52 profilde toplanan GPR verilerine uygulanan veri işlem adımlarından sonra zaman düzlemleri/genlik haritaları oluşturulmuştur.

Zaman düzlemleri/genlik haritalarındaki kuvvetli yansımaların varlığı ve yanal uzanımları; bazı duvar kalıntılarını ve olası prens mezarlarını işaret ettiği sonucuna varılmıştır. Bu sonuçlar ışığında, haritalar üzerinde gözlenen anomalilerin olduğu yerlere arkeolojik kazılar önerilmiştir. İzleyen kazılardan ortaya çıkan arkeolojik bulgular; haritalarda gözlenen kuvvetli yansımalarla uyumluluk göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Alacahöyük, GPR, zaman düzlemleri/genlik haritaları, Prens mezarları, duvar kalıntıları.

*Aysel Şeren

e-posta: aysel.seren@gmail.com

INTRODUCTION

Determining locations and depths of buried archaeological structures is one of the most important goals of archaeologists who try to bring them to light. Geophysics is a science that allows archaeologists to reveal archaeological remains before the excavations. Archaeogeophysical studies are very important for minimizing time and economic losses and give the results in a non-destructive way. Therefore, geophysical methods such as resistivity, magnetic surveys and ground penetrating radar (GPR) are essential in archaeological terms and have paved the way for a new discipline: archaeo-geophysics. The new discipline rests on geophysicist and archaeologist's joint interpretation of subsurface structures found by measuring variations in geophysical properties of the surveyed area from the ground surface and obtaining images. These geophysical measurements also give to more detailed information about lateral and vertical extensions of subsurface structures compared with small scale test excavations. So, geophysicists are guides laying the groundwork for appropriate excavations contribute substantially to archaeological finds (Johnson and Johnson, 2006).

The paper aims at discovering probable Princes' graves, wall boundaries and other archaeological features by utilizing GPR method in the ancient city of Alacahöyük. In the next sections we presented the GPR methodology, data acquisition and interpretation results, respectively.

METHODOLOGY

Ground Penetrating Radar (GPR) method is one of the near-surface geophysical methods that has gained acceptance because images of the subsurface geometries can be obtained rapidly with high resolution (Daniels, 2004; Annan, 2003; Goodman et al., 1995; Conyers, 2004; Orlando, 2005, 2007). In this method, an antenna radiates high frequency electromagnetic waves into the ground. When transmitted, a certain amount of that energy is reflected from buried objects (archaeological remains or ruins) or from the interface between sediments and soil whereas the rest of that energy is transmitted within the ground. The reflected electromagnetic (EM) waves are received back at the surface and recorded as wave amplitude and two-travel time (nanoseconds) with a receiver antenna. The amplitudes and reflections of the

waves gain importance in relation to the contrasts in the dielectric properties of the subsurface structures (Annan, 2003). However, in order to effective use of GPR method, there are some factors that are independent of the researcher such as the electromagnetic waves not reaching the buried feature and not giving back reflections. This is due to the system and subsurface conditions which generate adverse effects when archaeological objects are very deep. Moreover, the depth of investigation is limited with respect to the conductivity of the surveyed area and the antennas frequency used in the system. Lower the antenna frequency, the higher the investigation depth but with lower resolution. In addition, the shale or clay content of the underground causes an increase in conductivity and consequently prevents the propagation of the electromagnetic wave. Thus, the complex subsurface conditions, overlapping archaeological features of varying sizes which are located at different depths compel the researcher to interpret GPR data as standard sections. There have been successful interpretations of researchers who have used various imaging techniques such as time slices/amplitude map (Malagodi et al., 1996; Orlando, 2005, 2007). In these studies, the images of the soil, sediments and archaeological structure remains were obtained with receiver antenna that help to measure and record thousands of radar reflections within the study area along selected profiles parallel to one another.

There is extensive literature concerning the applications of GPR in the archaeological field (e.g. graves, walls, roads, channels) (Hruska and Fuchs, 1999; Basile et al., 2000; Piro et al., 2001; Rizzo et al., 2005; Gibson and George, 2006; Leucci and Negri, 2006; Leckebusch et al., 2008; Seren et al., 2008; Negri et al., 2008; Shaaban et al., 2009; Tsokas et al., 2009; Yalciner et al., 2009; Kadioglu and Kadioglu, 2010; Kadioglu et al., 2010; Seren et al., 2010; Kadioglu et al., 2011; Orlando, 2013; Moscatelli et al., 2014). Bonomo et al. (2010) carried out an archaeo-geophysical investigation near the Palo Blanco archaeological site, Catamarca, Argentina. A large area on the site was investigated with the GPR method in order to detect archaeological structures ruins by composing GPR time slices. Finally, systematic excavations confirmed the GPR maps providing further relevant information about the characteristics of the walls and the occupational floor in their study. Porsani et al. (2010) presented and discussed the

results of GPR-2D and GPR-3D surveys performed at an archaeological rock shelter site, Lapa do Santo, localized in the karstic region of Lagoa Santa, central Brazil. The results showed the efficiency of GPR method in identifying potential buried archaeological targets. A GPR survey carried out near the earlier-discovered tombs at Kilo-6 El-Bahariya to Farafra Oasis road by Shaaban et al. (2009). The final results of the survey, in the form of 2D radar records, time slices and 3D block diagrams, were used to guide the archaeologists during the excavation process. It is worthy to mention that, the excavations and location of tombs and cavities matched strongly with the GPR results.

STUDY AREA AND DATA ACQUISITION

Alacahöyük is an ancient city in the Çorum province that is located 15 km northwest of the district Alaca in central Anatolia of Turkey (Figure 1a,b). According to archaeologists, the site consists of 14 settlements or structure layers (strata-foundations) dating from four different cultural periods. The findings of previous researchers have brought to light some buried features (princes' graves) in this ancient city (Figure 1c), which is of great significance in terms of archaeological finds (Arık, 1937; Koşay, 1938; Koşay and Akok, 1966). The first and real systematic excavations in the strictest sense of the word were ordered by Mustafa Kemal Atatürk during the first Republic. In 1935, digging activities were begun by Hamit Zübeyr Koşay, Remzi Oğuz Arık and Mahmut Akok for the Turkish History Association and continued until 1983. During the excavations, archaeological remains dating from the Bronze-Stone Ages to the Ottoman Period were uncovered. Excavations were suspended in 1983 then restarted by Prof.Dr. Aykut Çınaroğlu (Çınaroğlu, 2003). In order to accelerate these excavations at low cost and time, applications of the GPR method were performed in the site.

As a result of interviews with archaeologists, two distinct sites were defined to find probable wall and archaeological structure remains (Figure 1c,d). GPR data were continuously collected in the first site (Area 1) by using the reflection profiling measurement technique (the distance between the transmitter-receiver antenna was constant and measurements were taken by moving the antenna along the profiles) with a 100 MHz unshielded antenna and using the Mala

CU II GPR system on four parallel profiles being 1 m apart (Figure 2a).

In general, the antennas used for GPR are dipolar and radiate with a preferred polarity. The antennas are normally oriented so that the electric field is polarized parallel to the long axis or strike direction of the target. There is no optimal orientation for an equidimensional target. In some instances, it may be advisable to collect two data sets with orthogonal antenna orientations in order to extract target information based on coupling angle. If the antenna system is one which attempts to use a circularly polarized signal, the antenna orientation becomes irrelevant. Since most commercial systems employ polarized antennas, orientation can be important. Antenna orientation affects the subsurface footprint size. As the simplified beam pattern indicates, the simple dipole antenna has a broader footprint in the "broad side" direction than in the "end fire direction" (Annan, 2003). In each profile, measurements were taken for the two different positions of the transmitter-receiver antenna due to the directivity properties of the antenna (in XX mode, transmitter-receiver antenna were parallel to one another, parallel to the profile – in YY mode; transmitter-receiver antenna were parallel to one another and perpendicular to the profile as shown in Figure 2 a,b).

The GPR data of the other site (Area 2), which is 12 m in length and 10 m in width, where probable wall remains are thought to be located were acquired with the same system (Figure 2b). The previous excavations uncovered wall remains in an area is next to the present study area. A question arose as to whether these ruin a continuation of walls. To answer this question, detailed measurements were taken by using both XX and YY modes on all the profiles of area 2 to confirm the existence and define the orientation of these probable walls. The measurement profiles and their directions are clearly visible in Figure 2b. For both modes of the antenna, 44 GPR profile measurements have been collected on 22 profiles and their directions are indicated with P and H (Figure 2b).

DATA PROCESSING

Observing anomalies in subsurface structures from raw GPR sections are impossible or a difficult task. Therefore, the data must go through basic data processing steps until they become interpretable. The

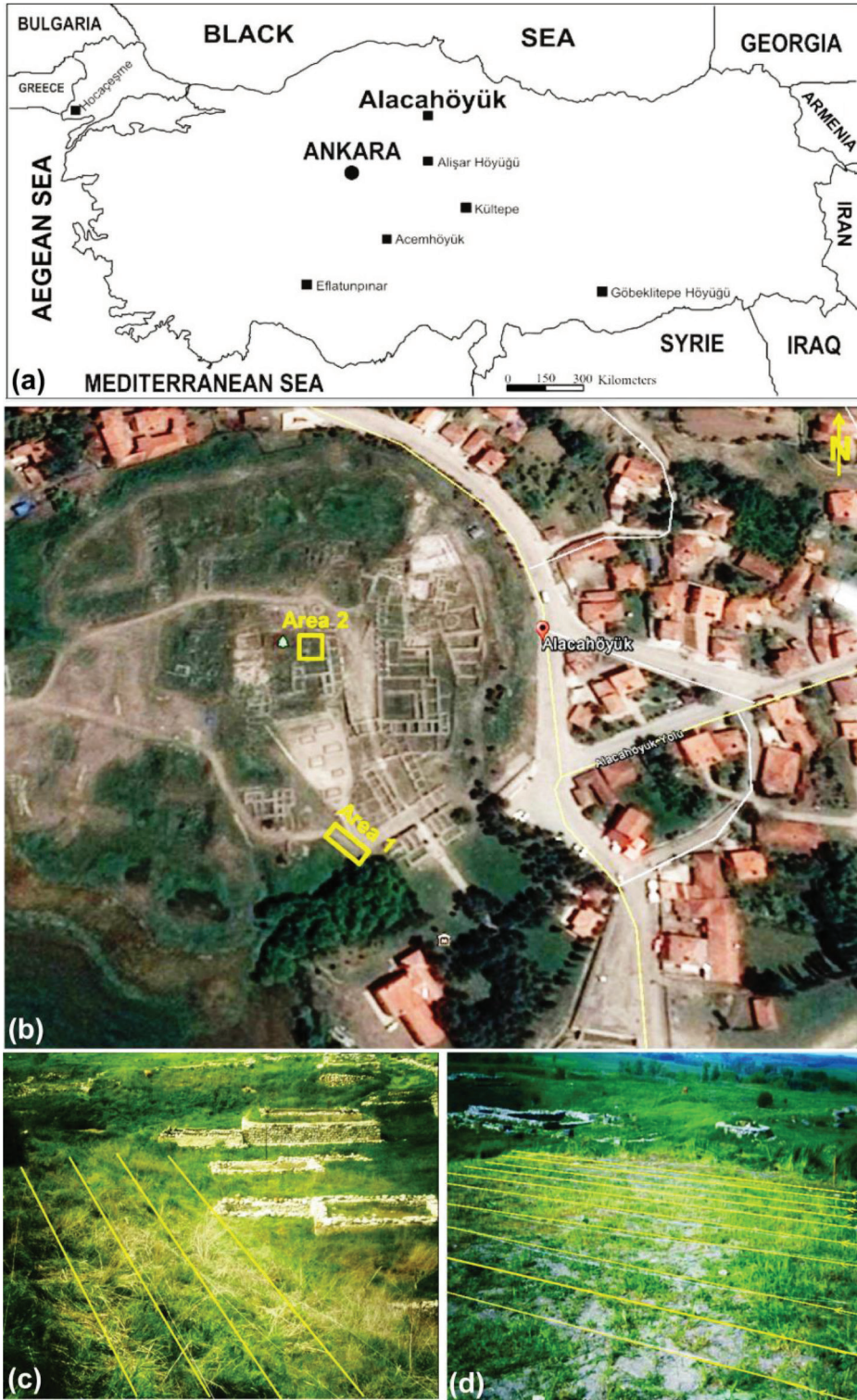


Figure 1. (a) Location map of Alacahöyük ancient city in the Çorum province in central Anatolia, (b) an aerial photo of the ancient city, (c) measurement profiles of Area 1 and (d) measurement profiles on H direction of Area 2 in study area.

Şekil 1. Anadolu'nun merkezinde yer alan Çorum ili Alacahöyük antik kentinin (a) yer bulduru haritası, (b) antik kentin hava fotoğrafı, (c) çalışma alanındaki Alan 1 in ölçü profilleri ve (d) Alan 2 in H yönündeki ölçü profilleri.

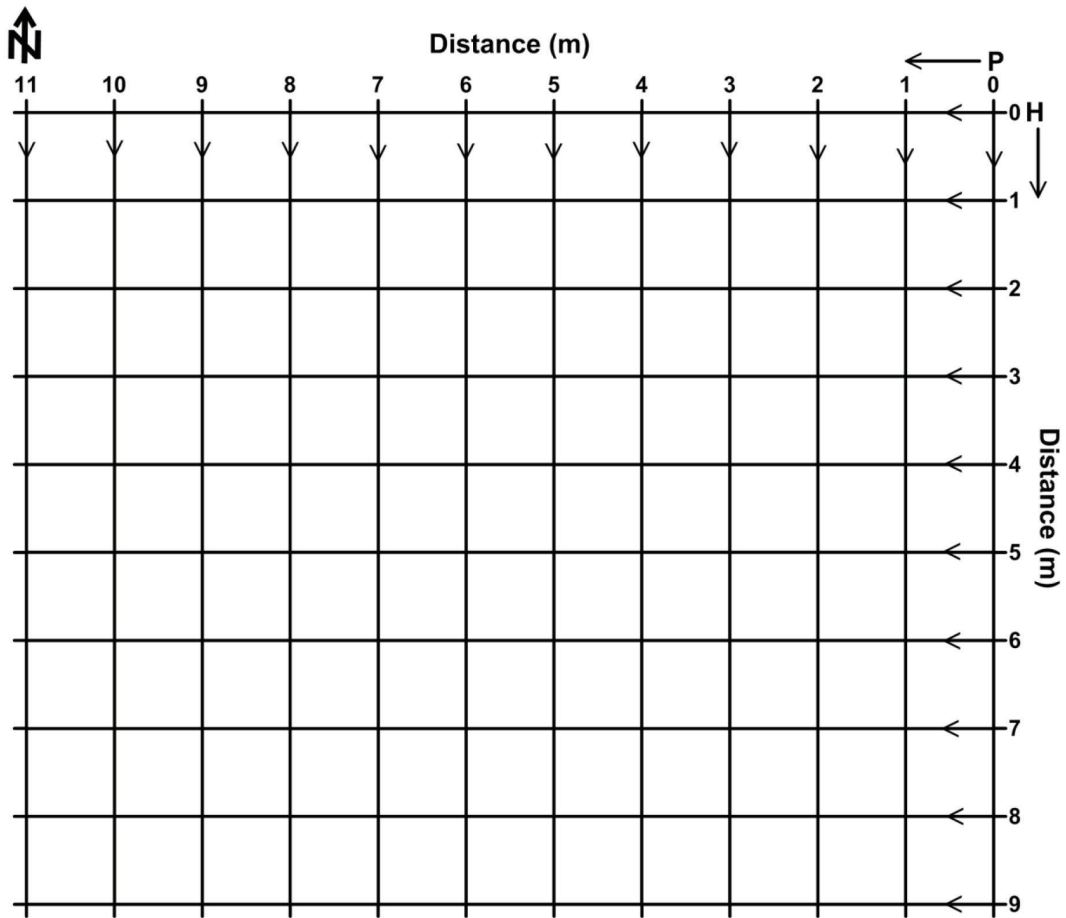
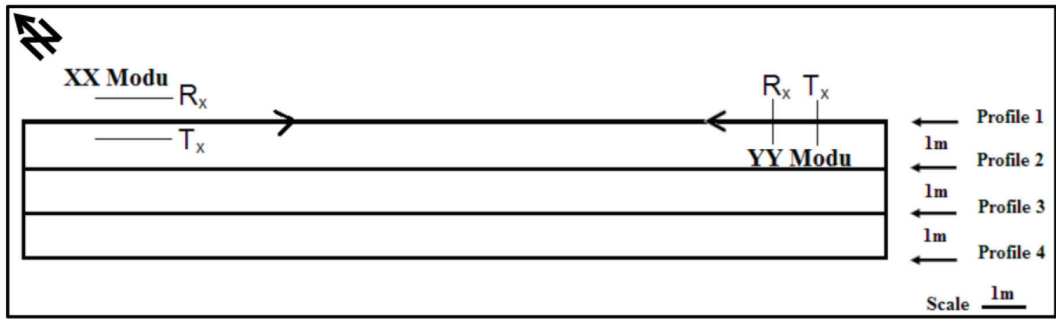


Figure 2. Measurement profiles of investigated site, (a) area 1 and (b) area 2
Şekil 2. İnceleme alanındaki ölçü profilleri, (a) alan 1 ve (b) alan 2

basic processing steps applied to the collected GPR data of this paper consist of dewow, gain (energy decay) and background removal. Since the studied field was flat, applying static correction to the data was not considered necessary. The fact that there were no sources of artificial noise in the surroundings of the surveyed area enabled us to acquire high signal to noise ratios. Dewow, the first data processing application used in this survey, is the removal of

low frequency waves from the traces. While performing this task mathematically, the selection of the time window is of great significance with respect to the running mean value. Energy decay, one of the amplitude gain types, is performed to compensate for the decrease in amplitude due to the distance of the electromagnetic wave propagating within the ground. During this process, a ratio of decrease is calculated from all the traces in the measurement profiles. With

resulting energy decay curve obtained by the help of the ratio, trace amplitude adjustment is done by dividing the amplitude value of each point. The final data processing application named as background removal, one of the methods removing of ringing effect on radargrams, is thought to constitute an important step in the analysis of GPR data. The ringing effect, a common type of coherent noise, is generally observed in the GPR data and has a negative impact on the radargram signals. Furthermore, the presence of this type of random noise in traces, when strong, indicates that the noise has not been removed and thus completely masks deeper features such as reflections, diffractions etc. Therefore, ringing which is regarded as horizontal and periodic events in the sections is one of the most important phenomena to eliminate with data processing. Given that the ringing effect is nearly consistent along the whole section when reflected events are less correlated and more random, it can be considered the average trace containing ringing noise only for the whole section. Removing that average trace in a simple way compensates for the horizontal appearance of the ringing in the radargram (Kim et al., 2007). In this study, the data processing steps described above include the ReflexW software applying to the data (Sandmeier, 2015).

The left vertical axis of the radargram traces shows the recorded two-way travel time whereas the right axis indicates depth. To calculate the depth of probable archaeological remains from the surface, electromagnetic (EM) wave velocity of the medium is determined. The velocity of the EM wave surrounding the archaeological object to be identified was calculated as 0.08 m/ns following the analysis conducted using the diffraction that occurred in the GPR section. The sections were converted from time to depth sections by using two-way travel time and this velocity value. The observed depths of the strong reflections in the sections were analysed.

RESULTS AND DISCUSSION

Princes' graves and structure walls are more resistant than surrounding formations because they have formed from massive rock in geological terms (Wilchek, 2000). So, GPR signals reflect strong waves from these structures. Structures in subsurface is often complicated in archaeological sites. The

orientation of potential remains is not exactly known in these sites. Therefore, to define these structures with different oriented, GPR data have been collected with different antennas modes (XX and YY). The extents of possible archeological structures have been tried to define from strong reflections on observed all radargrams.

In this study, the measurements taken in both areas (Area1 and 2) were processed and shown as GPR sections and maps. In the area 1, when all sections were analysed on profile 1-4, strong reflections (Figure 3) were observed at depths of about 11 m. Figure 3 show GPR sections collected with XX mode (on the left of this figure) and YY mode (on the right this figure) on profile1-4 in the area 1. Lateral changes at a depth of up to 3 m from the surface have the same characteristics along the profiles on all sections. Especially, high amplitude reflections were observed and indicated potential ruins walls of Prince's graves with frames on some of these sections on Figure 3. For example, while strong amplitude reflections are traced between 3 and 7 m in distances on radargram collected with XX mode on Profile 1, these reflections are not seem on the radargram belonging to other mode (Figure 3).

To determine the lateral and vertical changes of strong reflections observed on GPR sections, time slices/amplitude maps were obtained from these sections. Considering the shallowest part to be uncovered in the planned excavations, time slices/amplitude maps were contoured to show change by grouping parallel profiles belonging to the first part up to 3 m in depth from the surface. Then the geography coordinate locations and the approximate depths of probable walls and other features of archaeological interest could be determined on these maps. Amplitude changes were mapped in time/amplitude slices with the first, 26 ns, 51 ns, 76 ns reflections (Figure 4). Amplitude changes in these slices were obtained by combining recorded amplitude with time values according to the coordinates of measurement points in each profile after basic data processing. Given that the travel time of the recorded signal in the GPR data is two-way travel time, each time of these slice-maps was multiplied by 0.08 m/ns for converting to depth and the result was divided by two. Consequently, depths that approximately corresponded to each map were determined. When studying Figure 4, structures extending on X axis were detected at all depth levels in the changes of

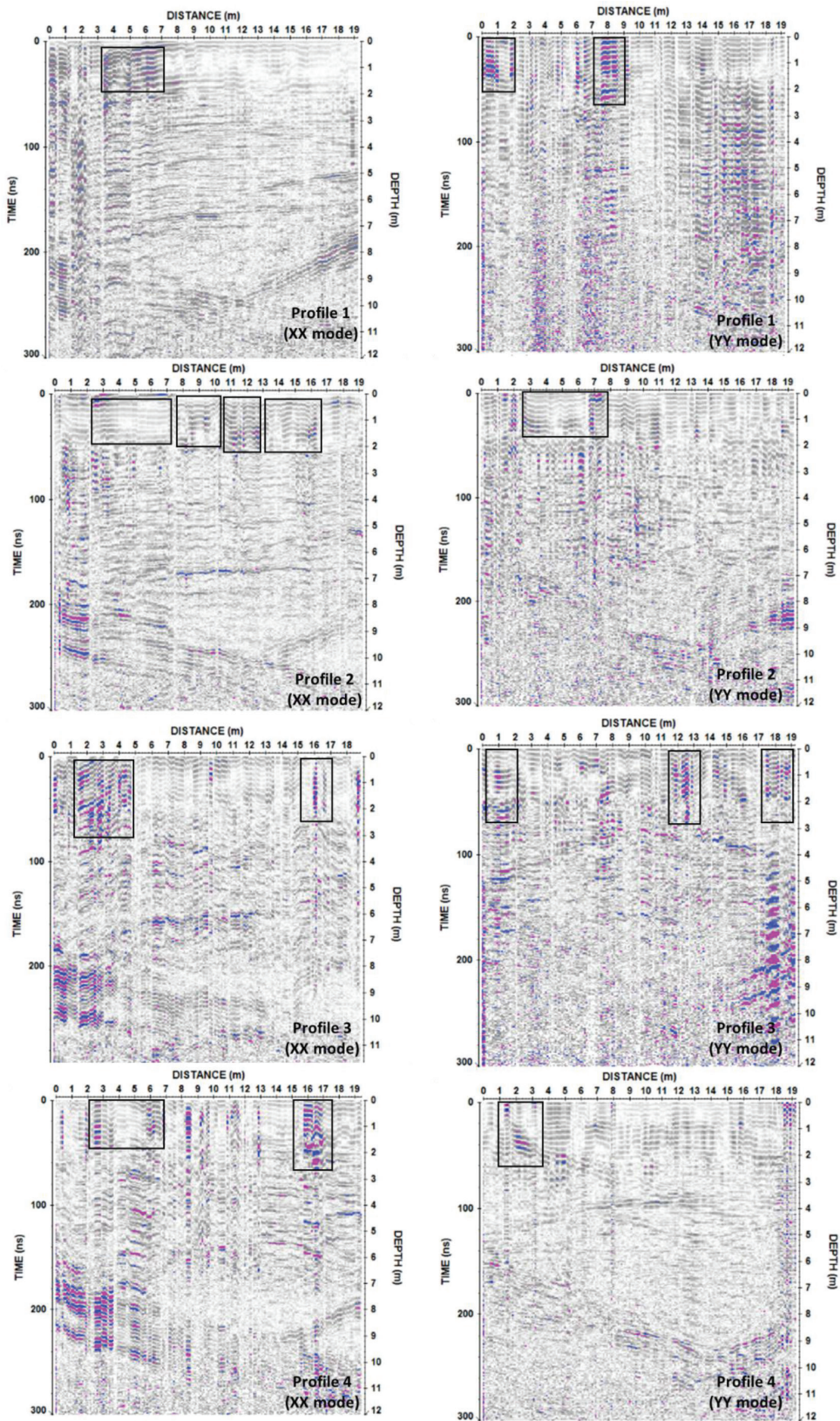


Figure 3. Radargrams on profile 1-4 in the area 1, XX (on the left) and YY (on the right) modes
 Şekil 3. Alan 1'deki profil 1-4'ye ait radargramlar XX (solda) ve (b) YY (sağda) modları

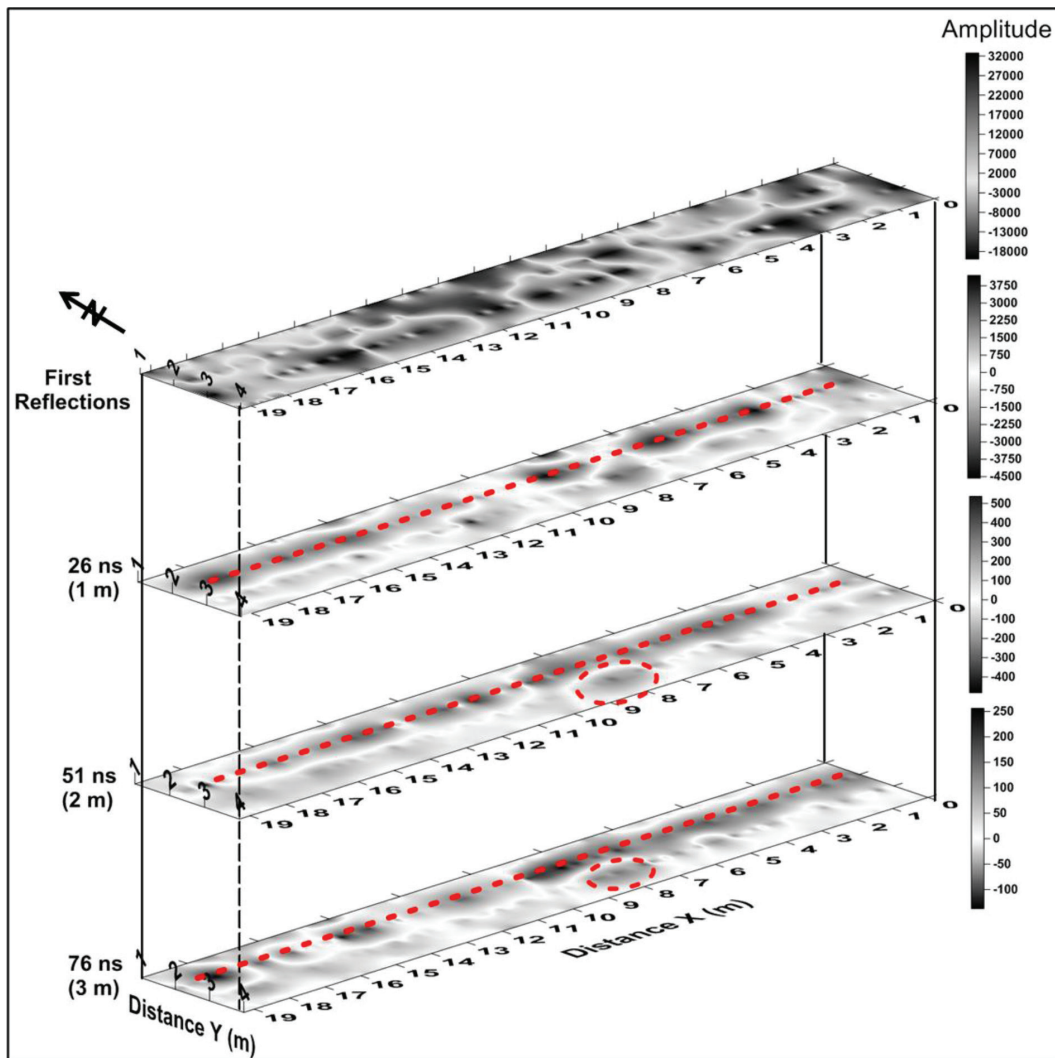
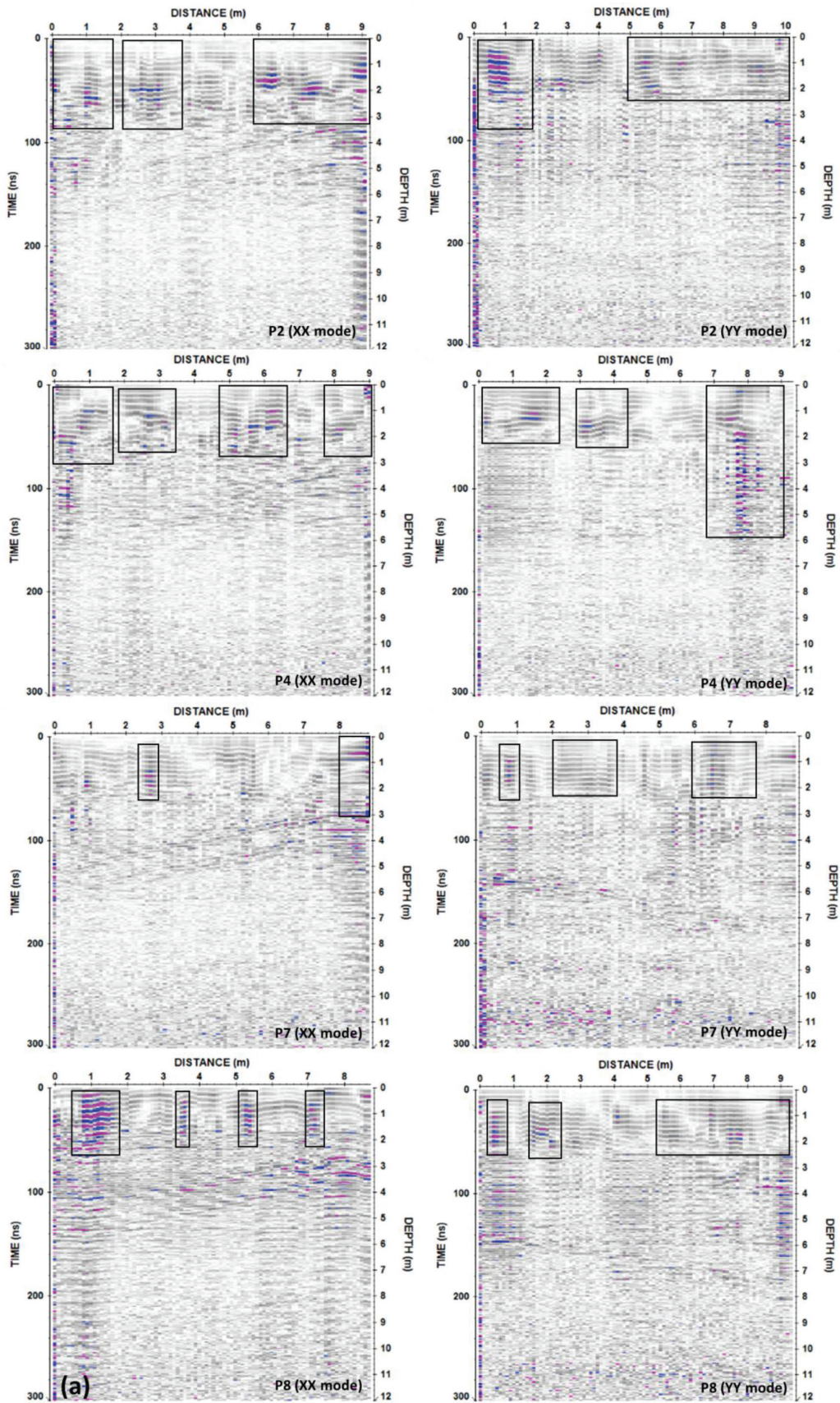


Figure 4. Time slice/amplitude maps with the first, 26 ns, 51 ns and 76 ns reflections in area 1
 Şekil 4. Alan 1'deki 1 ns, 26 ns, 51 ns ve 76 ns' lere ait zaman düzlemleri/genlik haritaları

strong reflections present in plane areas (time slice / amplitude map) 1 m apart starting from the surface up to 3 m. Anomalies of extended shape at 26 ns (≈ 1 m), 51 ns (≈ 2 m) and 76 ns (≈ 3 m) on the time slices/amplitude maps are drawn by red dashed lines. Besides, strong reflections about circular shape at 51 ns (≈ 2 m) and 76 ns (≈ 3 m) on the amplitude slices maps are marked with red dashed circles in Figure 4.

In the surveyed area 2, GPR measurements were taken to locate probable extensions of wall remains. The GPR sections of the collected GPR data in XX (on the left of Figure 5a) and YY (on the right of Figure 5a) modes along profile 2, 4, 7 and 8 in P direction are shown on Figure 5a. Also, radargrams collected GPR data on the other measurement direction (H) in

XX (on the left of Figure 5b) and YY (on the right of Figure 5b) modes along profile 2, 5, 6 and 7 are given on Figure 5b. Once the sections were examined, similar distribution of the data in both modes at an approximate depth of up to 3 m from the surface was observed. From the collected GPR data in XX mode, two reflection boundaries of dipping shape starting from 3.5 to 5 m in depth were detected to the Figure 5a whereas the data collected in the other mode on the section to the Figure 5a reveal horizontally extended reflections between 2 and 6 m in depth and a strong horizontal reflection boundary was observed at the exact depth of 6 m both to the Figure 5a. Once the sections were examined, similar distribution of the data in both modes at an approximate depth of



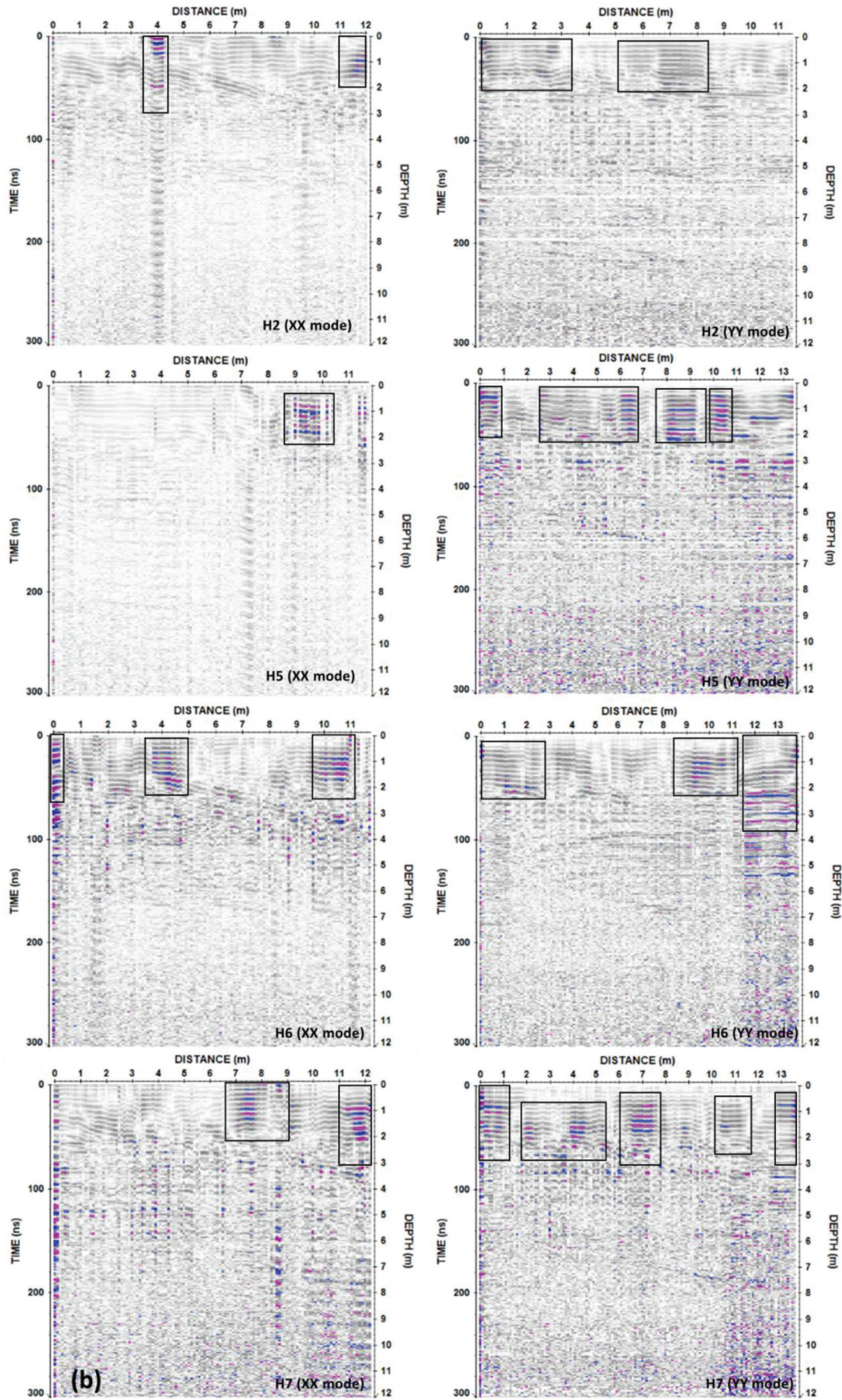


Figure 5. (a) Radargrams along profile 2, 4, 7, 8 on P direction in the area 2, XX (on the left) and YY (on the right) modes, b) Radargrams along profile 2, 5, 6, 7 on H direction in the area 2, XX (on the left) and YY (on the right) modes.

Şekil 5. (a) Alan 2'de H yönündeki profil 2, 5, 6, 7'ye ait radargramlar XX (solda) ve YY (sağda) modları, (b) Alan 2'de P yönündeki profil 2, 4, 7, 8'e ait radargramlar XX (solda) ve YY (sağda) modları

up to 2 m from the surface was observed. In particular, high amplitude reflections were observed and lined probable remains walls with frames on some of these sections on Figure 5 a,b. For instance, when high amplitude reflections are appeared between 3 and 7 m in distances on radargram collected with XX mode on Profile 1, these reflections are not seem on the radargram belonging to other mode (Figure 5a). Looking at Figure. 5b, once very high amplitude reflections are traced in 0-1 m, 2-5.5 m and 6-7.9 m on distances of radargram acquired with YY mode on H7, these reflections are weakly shown on that of XX mode. In general, when all radargrams with XX and YY modes are compared, these similar situations are seemed (Figure 3, Figure 5 a,b).

In order to define an expansion of buried wall structures including their size, shape and location, time slices/amplitude map (Figure 6 a,b) were created by mapping after the processing of the collected GPR data in 10 parallel profiles in H direction and in 12 parallel profiles in P direction (Figure 2b). Lateral amplitude changes caused by the reflections on the acquired sections were surveyed in the slice maps. The collected GPR data in P and H directions with YY mode revealed the distribution of amplitudes by reflecting from 0.11 m to 3.6 m depths as shown in Fig. 6a,b. As shown these figures, reflections with relatively high amplitudes are clearly visible on the slices. We also draw some relatively high amplitude as yellow dashed lines and blue dashed curves with the same direction on the slice maps. Thus, the continuation of the investigated archaeological structure (wall) was brought to light by means of imaging techniques. It's a well known fact that high amplitude reflections indicate the interface between soil and rock (archaeological structure) that have high electric conductivity contrast. Thus, the archaeologist's attention has been to the locations of these interfaces. Archaeologists have been primarily directed to those areas with a view to undertake appropriate excavations.

CONCLUSION

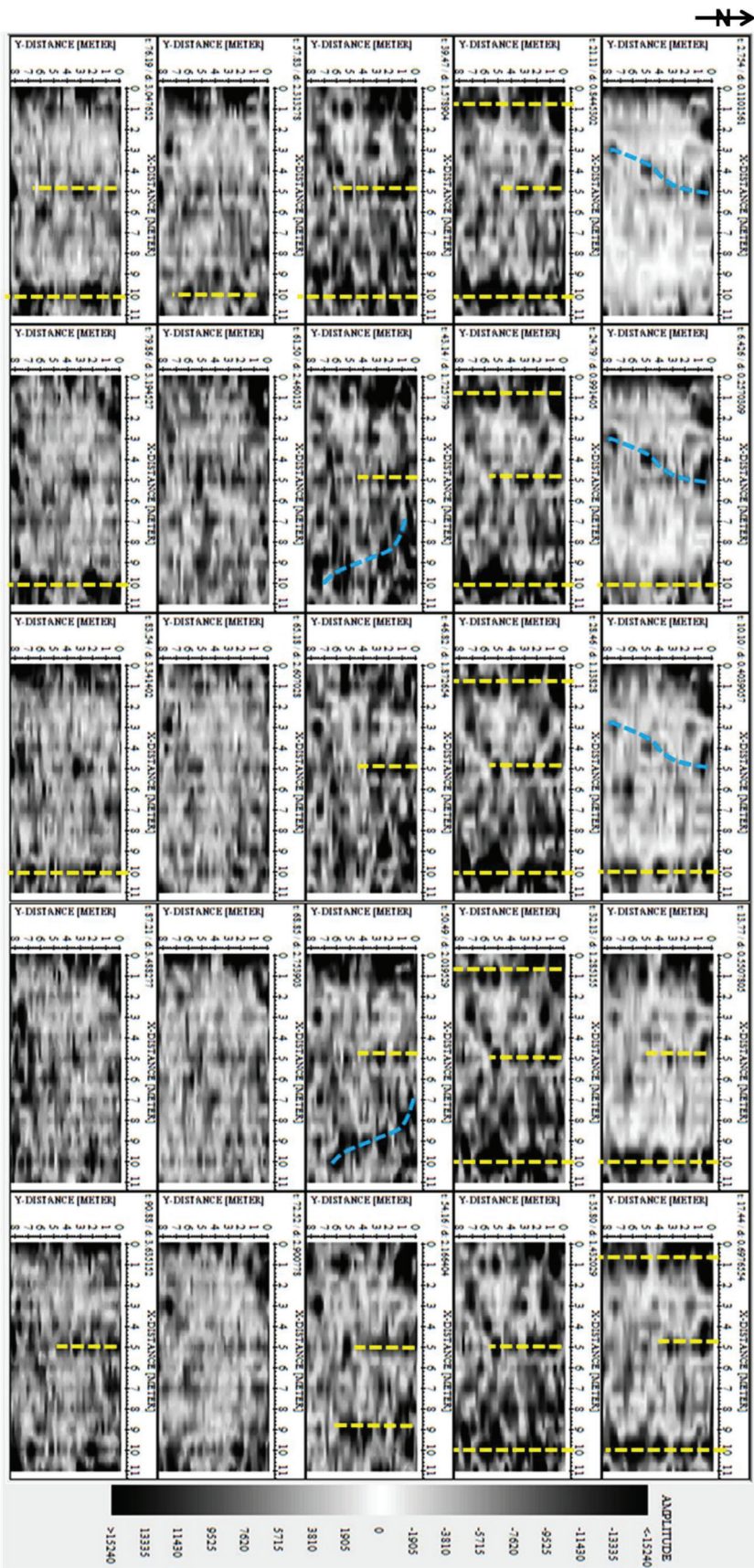
According to time slices/amplitude maps, wall remains have been detected under a thin layer of soil at different depths and it has been concluded that these features are located at a very shallow depth. As a result, it has been decided that strong reflections with high amplitudes as shown in the maps can

be regarded as important indicators of structures of archaeological interest. On the other hand, the walls that have been demolished have lost their resistivity and which are rich in soil can produce scattered reflections with lower amplitudes. Not to lose sight of these facts, it must be taken into account all the extensions shown in the maps.

As mentioned above, excavations have been recommended where the presence of strong reflections and anomalies of extended shape, which are indicative of the location of princes' graves and probable wall remains, detected in interpretable maps. The archaeological findings in the subsequent excavations of the surveyed areas have confirmed the hypothesis that the location of strong reflections observed in the maps correspond to the location of archaeological remains (Figure 7 a,b and 8 a,b). Remains of prince's graves can be seen on Figure 7a. In Figure 4, anomalies of extended shape at 26 ns ($\cong 1$ m), 51 ns ($\cong 2$ m) and 76 ns ($\cong 3$ m) on the time slices/amplitude maps are indicated by red dashed lines. In the image of the excavation area, structures resembling stairs adjacent to the exposed wall have been considered the sources of high amplitude reflections along 2 m on axis Y and between 1-19 m on axis X (Figure 4). Besides, strong reflections at 51 ns ($\cong 2$ m) and 76 ns ($\cong 3$ m) in the amplitude slices maps are present where between 2.5-3.75 m on axis Y and 7.5-9.75 m on axis X are intersected as shown with red dashed circles on the figure.

In area 2, the locations of the recommended excavation areas resulting from the survey have not been completely dug out. The uncovered wall remains (Figure 8 a,b) correspond to defined anomalies with blue dashed curves on Figure 6b. Images of the discovered wall which is visible from different angles in Figure 8 a,b have been watched. When examining the image, the presence of cement between the stacked stones is quite evident. Besides, the archaeological remains that diffracted in a chaotic way due to demolition in places are consistent with the anomaly distribution shown in Figure 6 a,b.

It has been concluded that the results of the study have quite effectively enabled us to identify prince's graves, structure walls and other archaeological features in the ancient city of Çorum Alacahöyük by investigating two distinct areas with the GPR method from which data was acquired, processed and mapped at short notice.



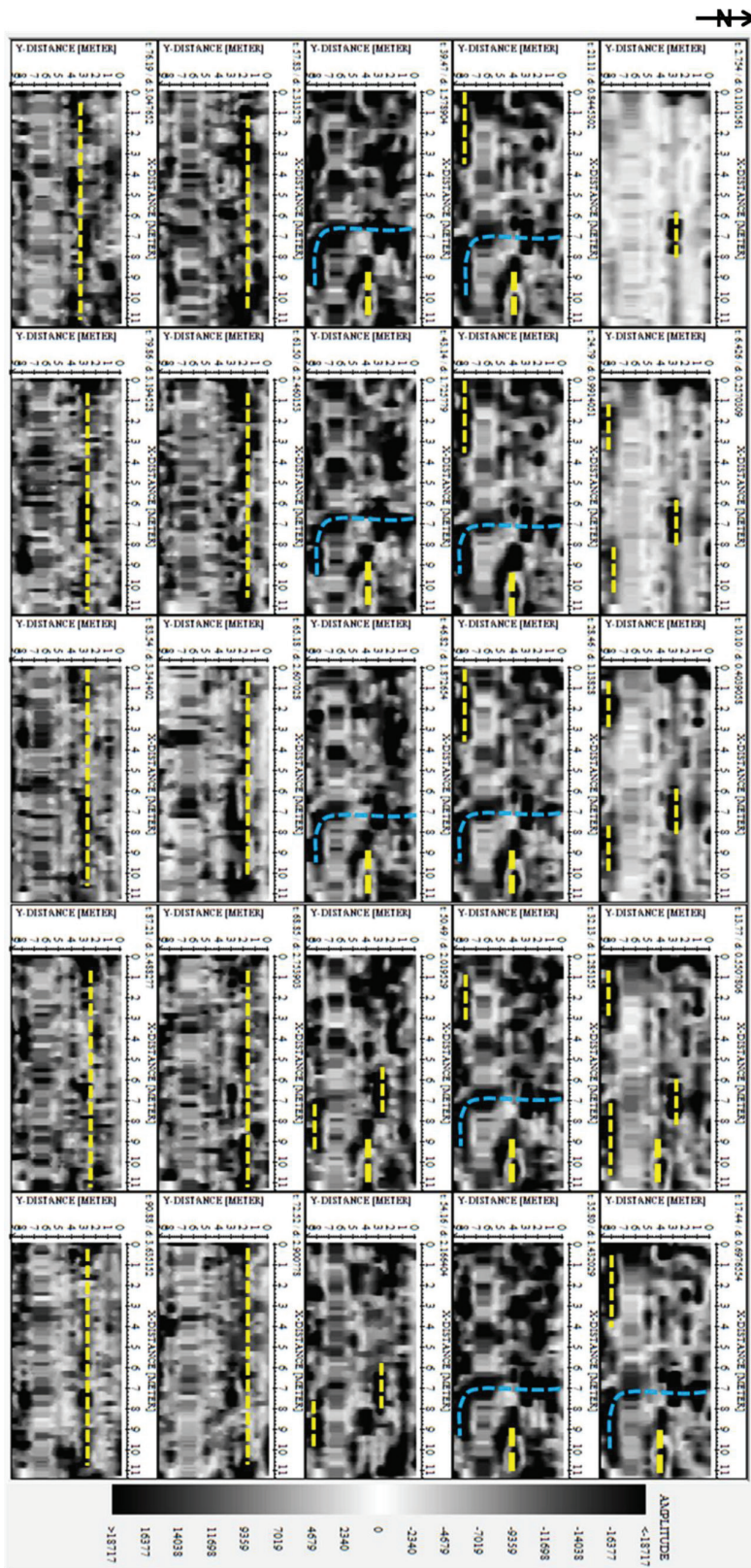


Figure 6. Area 2: time slices/amplitude maps (0.11–3.6 m of depth) (a) P and (b) H directions with YY mode
 Şekil 6. Alan 2' de YY modu ile (a) P ve (b) H yönlerindeki zaman düzlemleri/genlik haritaları (0.11-3.6 m derinliklerde)

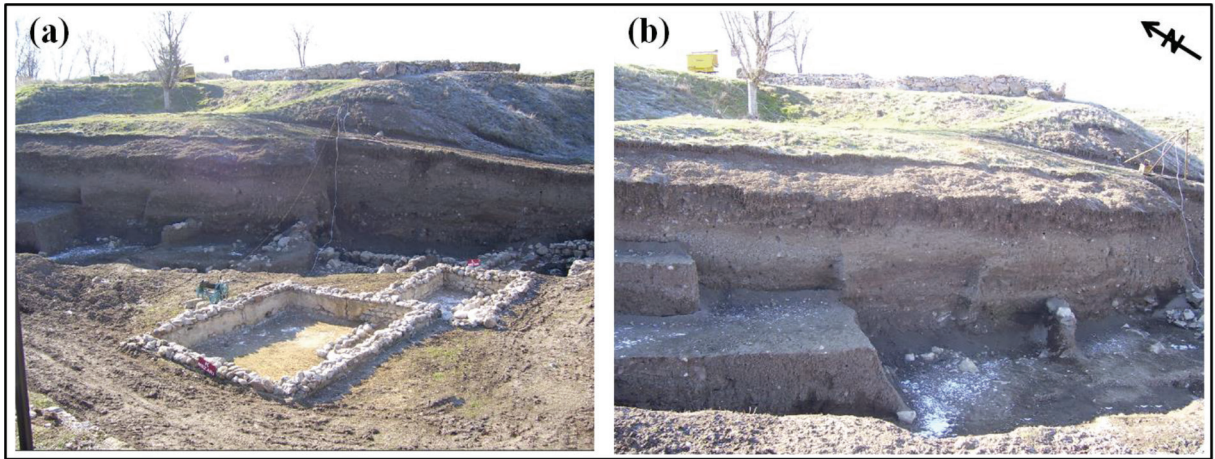


Figure 7. Images of the excavations on Area 1, (a) remains of prince's graves (b) structures resembling stairs adjacent to the exposed wall

Şekil 7. Alan 1'e ait kazı görüntüleri (a) prens mezarlarının kalıntıları (b) duvarlara bitişik merdiven benzeri yapılar

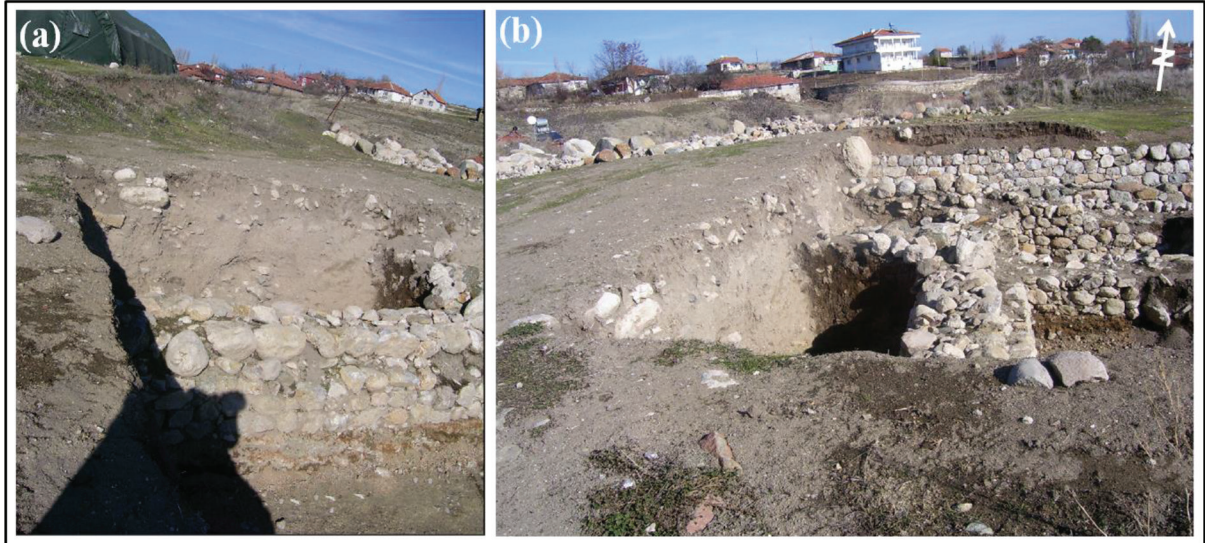


Figure 8. (a-b) Images of the discovered wall which is visible from different angles on Area 2.

Şekil 8. (a-b) Alan 2'de ortaya çıkarılmış duvarın farklı açılardan görünüşleri

ACKNOWLEDGEMENTS

We owe our gratitude to Prof.Dr. Aykut Çınaroğlu, the chief archaeologist of the study area, to archaeologist Duygu Çelik and Dr. Burak Açıkgöz for their continued contribution to collecting data and archaeological information about the surveyed area. We would like to address special thanks to geophysicists Aycan Çataklı, Murat Özkaptan, Aydanur

Demirkol and Selin Erkul for their invaluable help in the presentation and analysis of the data. Many thanks to Melek Öztel for the translation of the paper. Thanks are also due to the reviewers for their constructive comments and contributions.

REFERENCES

- Annan, A.P., 2003. Ground Penetrating Radar Principles, Procedures & Applications, Sensors & Software Inc., Canada.
- Arik, R.O., 1937. Alaca Höyük Hafriyatı. 1935 deki Çalışmalara ve Keşiflere ait İlk Rapor. Ankara: Türk Tarihi Kurumu, 5 (1), (In Turkish).
- Basile, V., Carrozzo, M.T., Negri, S., Nuzzo, L., Quarta, T. and Villani, A., 2000. A ground-penetrating radar survey for archaeological investigations in an urban area (Lecce, Italy). *Journal of Applied Geophysics*, 44 (1), 15–32.
- Bonomo, N., Osella, A. and Ratto, N., 2010. Detecting and mapping buried buildings with Ground-Penetrating Radar at an ancient village in northwestern Argentina, *Journal of Archaeological Science*, 37, 3247-3255.
- Conyers, L.B., 2004. Ground-penetrating Radar for Archaeology. AltaMira Press: Walnut, Creek, CA.
- Çınaroğlu, A., 2003. Alaca Höyük 2001 Yılı Kazı Çalışmaları, 24. Uluslararası Kazı, Araştırma ve Arkeometri Sonuçları Toplantısı, 509-518, Ankara (In Turkish).
- Daniels, J.D., 2004. Ground Penetrating Radar 2nd Edition, published by the IEEE Radar, Sonar, Navigation and Avionics Series, London, United Kingdom.
- Gibson, P. J. and George, D.M., 2006. Geophysical investigation of the site of the former monastic settlement, Clonard, County Meath, Ireland. *Archaeological Prospection*, 13, 45–56.
- Goodman, D., Nishimura, Y. and Rogers, D., 1995. GPR time slice in archaeological prospecting. *Archaeological Prospection*, 2 (2), 85-89.
- Hruska, J. and Fuchs, G., 1999. GPR prospecting in ancient Ephesos. *Journal of Applied Geophysics*, 41, 293-312.
- Johnson, W.J. and Johnson, D.W., 2006. Application of geophysics to North American Prehistoric sites. *First Break*, 24, 117-122.
- Kadioglu, S. and Kadioglu, Y.K., 2010. Picturing internal fractures of historical statues using ground penetrating radar method. *Advances in Geosciences*, 24, 23–34.
- Kadioglu, S., Kadioglu, Y.K., Akyol, A.A. and Ekincioglu, E.E., 2010. GPR Research at the Tomb of Zeynel Bey in Hasankeyf Ancient City-Southeastern Turkey. Proceedings of the 13th International Conference on Ground Penetrating Radar, GPR 2010, Lecce, Italy.
- Kadioglu, S., Kadioglu, Y.K. and Akyol, A.A., 2011. Monitoring buried remains with a transparent 3D half bird's eye view of ground penetrating radar data in the Zeynel Bey tomb in the ancient city of Hasankeyf, Turkey. *Journal of Geophysics and Engineering*, 8 (3), S61–S75.
- Kim, J.-H., Cho, S.-J, and Yi, M.-J., 2007. Removal of ringing noise in GPR data by signal processing. *Geosciences Journal*, 11 (1), 75 – 81.
- Koşay, H.Z., 1938. Alaca Höyük hafriyatı. 1936'daki çalışmalara ve keşiflere ait ilk rapor. Ankara: Türk Tarihi Kurumu (In Turkish).
- Koşay, H.Z. and Akok, M., 1966. Türk Tarih Kurumu Tarafından Alaca Höyük Kazısı 1940-1948 deki Çalışmalara ve Keşiflere Ait İlk Rapor. Ankara: Türk Tarih Kurumu (In Turkish).
- Leucci, G. and Negri, S., 2006. Use of ground penetrating radar to map subsurface archaeological features in an urban area. *Journal of Archaeological Science*, 33, 502–512.
- Leckebusch, J., Weibel, A., and Böhler, F., 2008. Semi-automatic feature extraction from GPR data. *Near Surface Geophysics*, 6 (2), 75–84.
- Malagodi, S., Orlando, L., Piro, S., Rosso, F., 1996. Location of archaeological structures using GPR method: three-dimensional data acquisition and radar signal processing. *Archaeological Prospection*, 3, 13-23.
- Moscатели, M., Piscitelli, S., Piro, S., Stigliano, F., Giocoli, A., Zamuner, D. and Marconi, F. 2014. Integrated geological and geophysical investigations to characterize the anthropic layer of the Palatine hill and Roman Forum (Rome, Italy). *Bulletin of Earthquake Engineering*, 12, 1319–1338.
- Negri, S., Leucci, G. and Mazzone, F., 2008. High resolution 3D ERT to help GPR data interpretation for researching archaeological items in a geologically complex subsurface. *Journal of Applied Geophysics*, 65, 111–120.
- Orlando L., 2005. Joint interpretation of geophysical data for archaeology. A case study. *Subsurface Sensing Technologies and Applications*, 6 (2), 235–250.
- Orlando L., 2007. Georadar data collection, anomaly shape and archaeological interpretation- a

- case study from central Italy. *Archaeological Prospection*, 14, 213–225.
- Orlando L., 2013. GPR to constrain ERT data inversion in cavity searching: theoretical and practical applications in archeology. *Journal of Applied Geophysics*, 89, 35–47.
- Piro, S., Goodman D., Nishimura Y., 2001. Delocation of Emperor Traiano's villa (Altopiani di Arcinazzo Roma) using high resolution GPR surveys. *Bollettino di Geofisica Teorica ed Applicata*, 43 (1–2), 143–155.
- Porsani. J.L., Jangelme, J. M. and Kipnis, R., 2010. GPR survey at Lapa do Santo archaeological site, Lagoa Santa karstic region, Minas Gerais state, Brazil. *Journal of Archaeological Science*, 37, 1141–1148.
- Rizzo, E., Chianese, D. and Lapenna, V., 2005. Magnetic, GPR and geoelectrical measurements for studying the archaeological site of 'Maseria Nigro' (Viggiano, southern Italy). *Near Surface Geophysics*, 3 (1), 13–19.
- Sandmeier K. J. 2015. Reflexw 7.2.2 manual, Sandmeier Software, Zipser Strabe 1, D-76227 Karlsruhe, Germany.
- Seren, A., Gelisli, K. and Catakli, A., 2008. A Geophysical Investigation of the Late Roman Underground Settlement at Aydıntepe, Northeast Turkey. *Geoarchaeology*, 23 (6), 842–860.
- Seren, A., Gelisli, K., Acikgoz, A.D. and Erkul, S., 2010. Georadar investigation of graves and wall remains in Alacahöyük, Central Anatolia, Proceedings of the 13th International Conference on Ground Penetrating Radar, GPR 2010, Lecce, Italy.
- Shaaban, F.A., Abbas, A.M., Atya, M.A. and Hafez, M.A., 2009. Ground-penetrating Radar exploration for ancient monuments at the valley of mummies -kilo 6, Bahariya Oasis, Egypt, *Journal of Applied Geophysics*, 68 (2), 194–202.
- Tsokas, G.N., Vargemezis, G., Tsourlos, P., Stambolidis, A., Fikos, I., Tassis, G. and Daskalakis, S., 2009. Geophysical investigations at the acropolis of ancient eleon (modern arma) in Eastern Boeotia, Report, Aristotle University of Thessaloniki School of Geology Department of Geophysics Laboratory of Exploration Geophysics, Thessaloniki, Greece.
- Yalciner, C.Ç., Bano, M., Kadioglu, M., Karabacak, V., Meghraoui, M. and Altunel, E., 2009. New temple discovery at the archaeological site of Nysa (Western Turkey) using GPR method. *Journal of Archaeological Science*, 36, 1680–1689.
- Wilchek, L., 2000. Ground Penetrating Radar for Detection of Rock Structure, M.Sc. Thesis, Department of Civil and Environmental Engineering, University of Alberta, 285.

Sualtı Patlatmalarından Kaynaklı Titreşimlerin Yayılımında Derinlik Etkisinin Araştırılması

Investigation of Depth Effect for Underwater Blasting-Induced Vibrations Propagation

BİROL ALAS¹, SADETTİN BAĞDATLI^{2*}, ALP LÜLEÇİ³, HASAN CEYHUN TÜRE³

¹Okan Üniversitesi Meslek Yüksekokulu, Mimarlık ve Şehir Planlama Bölümü, 34722 İstanbul

²Okan Üniversitesi Meslek Yüksekokulu, İnşaat Bölümü, 34722 İstanbul

³Türk Deniz Kuvvetleri Sualtı Savunma Grup Komutanlığı, 34829 İstanbul

Geliş (received) : 22 Haziran (June) 2016

Kabul (accepted) : 07 Şubat (February) 2017

ÖZ

Dünyada özellikle son 50 yılda gelişmeye başlayan sualtı patlatma teknolojisi insani bir takım gerekler ve zorunluluklar nedeniyle ilerleme göstermeye başlamıştır. Sualtı patlatmalarının, yeryüzünde yapılan patlatmalarda olduğu gibi bir takım çevresel etkileri vardır. Sualtı patlatmalarının çevresel etkilerinden birisi de titreşimdir. Patlatma kaynaklı titreşimlerin yayılımının; mesafe, patlayıcı miktar ve jeolojik özelliklere bağlı olarak değiştiği bilinmektedir.

Bu çalışmada; sualtı patlatmalarından kaynaklı titreşimlerin değişiminde, derinlik faktörünün etkisi incelenmiştir. Bu amaçla; iki farklı dönemde, aynı bölgede, farklı derinliklerde yapılan sualtı patlatmaları istatistiksel olarak incelenerek, derinliğin sualtı patlatma kaynaklı titreşimlerine olan etkisi tartışılmıştır. Yapılan testler sonucunda; derinliğin, sualtı patlatma kaynaklı titreşimlere etki etmediği sonucuna varılmıştır. Ayrıca, patlatma kaynaklı titreşim tahmini için kullanılan; maksimum parçacık hızı (PPV) ile ölçekli mesafe (SD) eşitliklerinden yararlanılarak, çalışma kapsamında yapılan patlatmaların titreşim yayılımı incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Derinlik, patlayıcı, sualtı patlatma, titreşim.

ABSTRACT

The underwater blasting technology improvement that especially gained way in last 50 years, this process accelerated due to some humanitarian needs and obligations. Underwater blasting has environmental effects as surface blasting, vibration is one of them. The propagation of blasting-induced vibration which is known to vary depending on distance, amount of explosive and geological features.

In this study, effect of depth was investigated for propagation of underwater blasting-induced vibrations. In accordance with this purpose, in two different periods, underwater blasting at different depths were analyzed statistically in the same area and then depth effect discussed for impact of underwater blasting-induced vibration. As result of the test, the effect of depth could not be determined to propagation of vibration for underwater blasting. Also, PPV and SD equations were used for prediction of blasting-induced vibrations. Then, blasting-induced vibration propagation of blasting were examined within the scope of this study

Keywords: Depth, explosive, underwater blasting, vibration.

*S.Bağdatlı

e-posta: sadettin.bagdatli@okan.edu.tr

GİRİŞ

Patlayıcı maddeler kullanım alanlarına göre; ticari patlayıcılar ve askeri patlayıcılar olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Askeri patlayıcılar; genellikle RDX, TNT, nitrogliserin gibi yüksek hassasiyetli maddelerden üretilen, infilak hızı yüksek patlayıcılar olup; tahrip etkisinden faydalanılarak savunma ve taarruz amaçlı olarak kullanılmaktadır. Ticari patlayıcılar ise; genellikle amonyum nitrat bazlı, infilak hızı, askeri patlayıcılara göre, nispeten düşük olan patlayıcılardır. Ticari patlayıcıların en yaygın kullanım alanı ise kaya kırma amaçlı olan madencilik ve inşaat faaliyetleridir. Özellikle, büyük hacimli alanlardaki kaya kazılarında patlatmalı kazı faaliyetleri; ekonomik ve hızlı olması nedeniyle sıklıkla tercih edilmektedir.

Patlayıcı maddelerin avantajları yanında dezavantajları da söz konusudur. İster askeri ister ticari amaçlı üretilen patlayıcılar olsun, bu maddeler bir takım tehlikelere ve risklere sahiptir. Kontrolsüz olarak infilak etme, statik elektrikten etkilenme (tüm patlayıcı ürünlerde söz konusu değildir) vb. tehlikelerin yanında, patlayıcı maddelerin kullanımında; titreşim, hava şoku, kaya ya da taş savrulması, toz vb. çevresel etkilerde söz konusudur. Patlatma çalışmalarında, titreşim; tesir ettiği alanın diğer çevresel etkilere nazaran daha geniş olması nedeniyle üzerinde daha çok çalışılan ve araştırılan bir alandır. Titreşim konusu, askeri ve ticari patlayıcıların kullanıldığı çalışmalar içinde, çevresel etkiler açısından önemli konulardan birisidir.

Kaya kırma amaçlı yapılan patlatmalı kazıların büyük kısmı, yerüstü ve yeraltı yapılarında yapılmaktadır. Yeraltı ve yerüstü yapılarda gerçekleştirilen patlatmalı kazı faaliyetleri yanında oldukça küçük bir oranda gerçekleştiriliyor olsa da su altında da patlatmalı kazı faaliyetleri zaman zaman kullanılan uygulamalardır. Sualtı patlatmalı kazıları genellikle; gemilerin liman ya da koylara yanaşabilmesi, iskele inşaatları, su yollarının açılması vb. amaçlarla icra edilmektedir. Yapılan bu çalışmalar, sadece ticari amaçla değil, kimi zaman askeri amaçlar için de uygulanabilmektedir.

Siğ derinliklere gemilerin yanaşabilmesi (geçici lokal alanlar için), su altında infilak etmemiş patlayıcı mühimmatların infilak ettirilmesi vb. durumlarda, savunma ya da taarruz amacı taşımayan, askeri amaçlı sualtı patlatma çalışmaları yapılabilmektedir. Bu tür patlatma ihtiyaçları genellikle plansız olarak ortaya çıktığı için, söz konusu çalışmalarda sualtında delgi yapılarak patlayıcı şarj deliklerinin oluşturulması

mümkün olmayabilmektedir. Bu gibi durumlarda, tahrip gücü yüksek patlayıcı maddelerle (C4, TNT vb.) yüzey şarjı yapılarak patlatma gerçekleştirilmektedir. Böylelikle hızlı bir şekilde kaya kırma, patlatma patlayıcı mühimmat infilakı vb. amaçlarla çalışmalar yürütülmektedir.

Gerçekleştirilen bu tür işlemlerin, yerleşim alanlarına yakın olması durumunda özellikle titreşim etkilerinin karada ki yapılara etkisi önem arz etmektedir. Literatürde, karada gerçekleştirilen patlatma çalışmalarından kaynaklı titreşimlerin yayılımına yönelik Duvall ve Fogelson (1962); Langefors ve Khilström (1978); Kahrman (2004); Khandelwal ve Singh (2007); Ozer (2008) gibi birçok araştırmacı çalışma gerçekleştirmiştir. Söz konusu araştırmalar; kaya üzerinde delik delinmesi ve deliğin içerisine patlayıcı şarj edilmesi ile gerçekleştirilen patlatmaların mesafe ve kullanılan patlayıcı miktarına bağlı olarak gerçekleştirilen çalışmalardır.

Bu araştırma kapsamında ise; Lüleci (2014) ve Türe (2015)'nin araştırmaları esnasında, sualtında yapılan patlatmalarda, kaya üzerine delgi vb. işlem yapılmadan sabitlenmiş patlayıcı maddenin infilak etmesiyle oluşan titreşimlerin, sualtı patlatma derinliğine bağlı olarak değişim gösterip göstermediği incelenmiştir. Ayrıca, madencilik ve inşaat faaliyetlerinde yapılan patlatmalarda oluşan yer sarsıntılarının tahmin edilmesinde kullanılan eşitliklerin, kayada delik oluşturulmadan, yüzey şarjı ile yapılacak sualtı patlatmalardan kaynaklı titreşimlerin tahmininde kullanılıp kullanılmayacağı değerlendirilmiştir.

ARAŞTIRMADA KULLANILAN YÖNTEM

Patlatmadan kaynaklı oluşan titreşimlerin etkileri genellikle maksimum parçacık hızı (PPV- Peak Particle Velocity) ile incelenmektedir. Maksimum parçacık hızını belirlemede farklı yaklaşımlar kullanılmaktadır. Bu yaklaşımda, anlık olarak (gecikme başına) patlatılacak patlayıcı miktarı ile mesafe ilişkilendirilerek ölçekli mesafe değeri tespit edilir. Ölçekli mesafeyi belirlemede literatürde bulunan birkaç denklemden biri Eşitlik (1) dir. Ölçekli mesafe kavramı ile ilişkilendirilerek maksimum parçacık hızı tahmininde sıklıkla kullanılan denklem ise Eşitlik (2) de verilmiştir (Duvall ve Fogelson, 1962; Nicholls vd., 1971; Siskind vd., 1980).

$$SD = R/W^{0.5} \quad (1)$$

$$PPV = K * (SD)^{-\beta} \quad (2)$$

Burada; SD ölçekli mesafe, PPV maksimum parçacık hızı (mm/s), R patlatma noktası ile ölçüm noktası arası mesafe (m), W gecikme başına kullanılan (anlık) patlayıcı miktarı (kg), K ve β arazi katsayılarıdır.

Maksimum parçacık hızını oluşturan parametreler incelendiğinde; R ve W parametreleri değiştirilebilir bağımsız değişkenler iken, K ve β ise çalışma yapılan arazinin jeolojik özelliklerine göre değişiklik gösteren bağımlı değişkenlerdir.

Araştırmada; Eşitlik (1) de verilen denklem temel alınarak, sualtı patlatmalarda, su derinliğinin maksimum parçacık hızına etkisinin olup olmadığı incelenmiştir. Bu amaçla, 2 farklı dönemde, aynı bölgede sualtı patlatma çalışmaları yapılmıştır. Patlatma çalışmaları esnasında oluşan patlatma kaynaklı titreşimler, titreşim ölçer cihazlar vasıtasıyla kayıt edilmiştir. Elde edilen kayıtlar farklı istatistiksel yöntemlerle analiz edilerek, patlatma kaynaklı titreşimlerin oluşumunda derinliğin etkisi değerlendirilmiştir.

ÇALIŞMA YAPILAN BÖLGENİN KONUMU VE JEOLJİK ÖZELLİKLERİ

Çalışmanın gerçekleştirildiği yer İstanbul ili, Beykoz ilçesi, Riva Köyü, Çayağzı mevkiinde bulunan Soğanadası yarım adasıdır (Şekil 1). İstanbul iline TEM yolu, Kavacık sapağı yolu ile 23 km, Beykoz ilçesine eski köy yolları üzerinden 22 km uzaklıktadır. Toplam uzunluğu 70 kilometre olan, İstanbul'un su ihtiyacının yarısını karşılayan ve Ömerli Barajı'nın su kaynağını oluşturan Riva Deresi, Gebze'den doğar ve Riva'da Karadeniz'e dökülerek son bulur.

Çalışmanın gerçekleştirildiği Riva Bölgesi'nin içinde bulunduğu formasyon, İstanbul Boğazı'nın her iki yakasında dar şerit biçiminde, Karadeniz kıyısına kabaca koşut uzanan Üst Kretase yaşlı kırıntılı ve volkanik kayalar kapsayan Sarıyer Formasyonu adıyla adlandırılmıştır.

Karadeniz kıyısına kadar uzanan ilçe sınırları içinde, söz konusu kırıntılı ve volkanitlerin kalın bir istifini kapsayan Sarıyer adının istifin tümü için formasyon adı olarak korunması, adlamada öncelik kuralı da gözetilerek, benimsenmiştir. İstifin alt düzeyinde kırıntılılar üst düzeyinde ise volkanitler egemendir. Birbirleriyle yan ve düşey geçişli olan ve birbirlerine ait kaya türlerini ara katkılar halinde de kapsayabilen bu iki düzeyin, tek bir formasyona ait üyeleri olarak adlandırılması yeğlenmiştir. Bu düşünce ile Bozhane Formasyonu tek başına "Bozhane Üyesi" ve başlıca

volkanitlerden oluşan Garipçe ve Kısırkaya formasyonları ise birleştirilerek "Garipçe Üyesi" adlarıyla Sarıyer Formasyonu kapsamında incelenmiştir.

Riva Bölgesinin içinde olduğu Garipçe Üyesi adını, Boğaz'ın batı yakasında, söz konusu volkanitlerin yoğun olarak yüzelediği Garipçe köyünden alır. Boğaz'ın Karadeniz'e çıkış kesiminin her iki yakasında ve Karadeniz kıyı kesiminde yaygın olan volkanitler çeşitli araştırmacılar tarafından değişik adlar altında incelenmiştir.

Garipçe Üyesi; başlıca andezit-bazaltik andezit türü volkanit kökenli kum, çakıl, kocataş (blok) boyutunda kaotik gereç kapsayan, genellikle porfirik dokulu aglomera, volkanik breş ve lavlardan oluşur ve İshaklı-Kılıçlı köyleri arasındaki asfalt yol boyunca görüldüğü gibi, Bozhane Üyesi'nin kırıntılılarıyla ardalananaglomera düzeyleri ile başlar. Üste doğru volkanitler ve volkanik kökenli çökeller egemen olur. (Gedik vd., 2005)

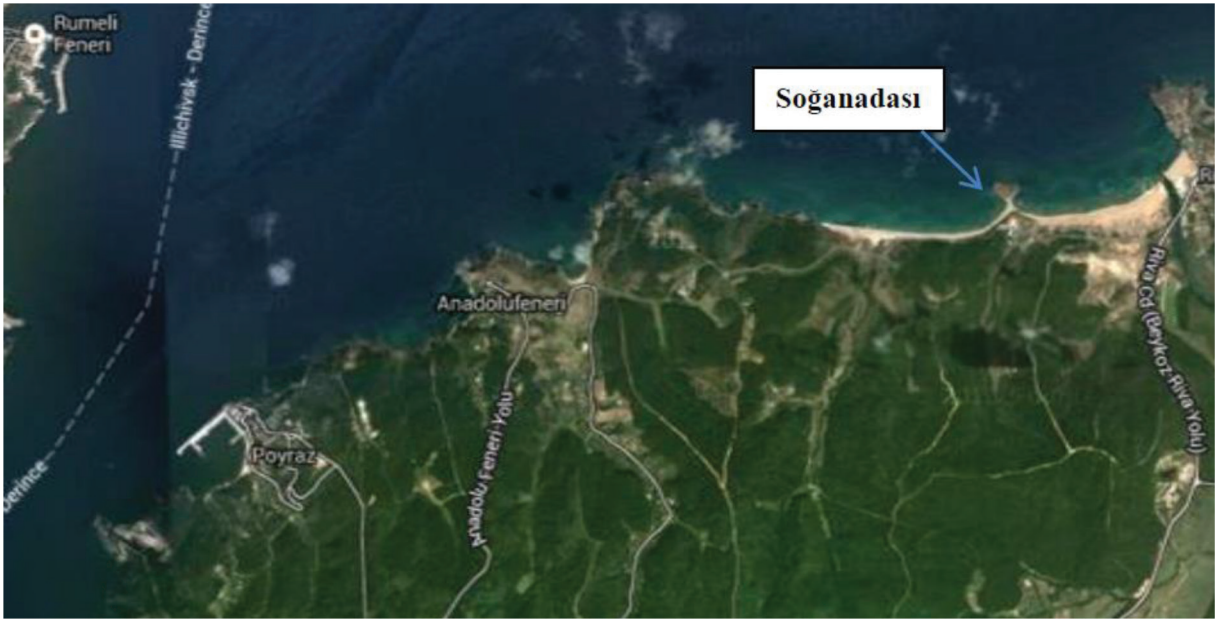
ARAŞTIRMADA KULLANILAN MALZEME VE CİHAZLAR

Çalışmalarda; C-4 plastik patlayıcı, emniyetli fitil, infilaklı fitil, adi kapsül, askeri ateşleme çakmağı, derinlikölçer, zodiak bot, lazer mesafe ölçer ve GPS kullanılmıştır. Kullanılan patlayıcı malzemelerin bir kısmı Şekil 2'de gösterilmiştir.

Patlatma kaynaklı titreşimler Instanetel firmasının ürettiği Mini Mate Plus ve Minimate Blaster model titreşim ölçer cihazları ile ölçülmüştür. Sistem üç adet algılayıcı (boyuna, enine ve düşey), mikrofon, yazıcı, şarj, kontrol ve hafıza, bilgisayar bağlantı sistemi, muhafaza ve taşıma ünitelerinden oluşmaktadır. Cihazın kayıtları; zaman esaslı olarak her bir olay için hava şoku, genlik, frekans, ivme ve parçacık hızı bileşenlerini (boyuna, enine, düşey, bileşke ve maksimum) içermektedir.

ARAZİ ÇALIŞMALARI

Arazi çalışmaları iki farklı dönemde gerçekleştirilmiştir. İlk olarak Aralık-2013 döneminde 1.dönem patlatma çalışması gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar doğrultusunda Nisan-2015 döneminde 2.dönem patlatma çalışmaları gerçekleştirilerek sonuçlar değerlendirilmiştir. Her iki dönemde yapılan çalışmalar aşağıda detaylı olarak aktarılmıştır.



Şekil 1. Çalışma alanının uydu görüntüsü (Google Earth)
Figure 1. Satellite image of the study area (Google Earth)



Şekil 2. Çalışmada kullanılan patlayıcı malzemeler
Figure 2. Explosive materials used in study

Patlatma çalışmalarının tamamı, Deniz Kuvvetleri Komutanlığı ile yapılan protokole istinaden Sualtı Savunma Grup Komutanlığı'nın icra ettikleri sualtı tahrir eğitimlerinden istifade ile gerçekleştirilmiştir.

1. Dönem Arazi Çalışmaları

1. dönem arazi çalışmaları kapsamında, derinliğin titreşim değerlerine olan etkisini belirleyebilmek aç-

sından, denizin kara ile birleştiği 0 noktası (su üstünde), deniz içerisinde ise 0.5m, 1 m ve 2 m derinlikler çalışma noktaları olarak belirlenmiştir. Fakat olumsuz hava koşulları sebebiyle 1 m derinliğin altına inmek çalışma esnasında mümkün olmadığı için 2 m lik derinlik iptal edilerek, bu grupta patlatılması planlanan patlayıcı maddeler 1 m derinlikte kullanılmıştır. Oluşturulan 3 farklı derinlikteki 4 grupta, her bir grupta sırasıyla; 25 gr., 50 gr., 100 gr., 200 gr. ve 500 gr. lık miktarlarda C-4 plastik patlayıcı kullanılmıştır. Kullanılan patlayıcıların tümü eğitilmiş ve yetkin personel tarafından hazırlanarak kullanılacağı alana yerleştirilmiş, yerleştirilen noktanın derinlik ve koordinatları (GPS ve lazermetre ile) itina ile kaydedilmiştir. Titreşimin yayılımını görmek üzere sistematik olarak yerleştirilen titreşim ölçer cihazların koordinatları yine GPS vasıtasıyla ölçülerek kayıt edilmiştir. Patlatma ve ölçüm konumları Çizelge1 ve 2'de verilmiş ve Şekil 3'te kesit ve plan olarak gösterilmiştir. Ateşlenen tüm patlayıcılar derinlik, koordinat, patlayıcı madde miktarı ve patlama saatine göre dikkatlice kayıt edilmiştir.

1. Dönem Patlatma Çalışmaları

Söz konusu sahada, derinliğin titreşim değerlerine olan etkisini belirleyebilmek açısından, denizin kara ile birleştiği 0 noktası (karada), deniz içerisinde ise 0.5 m ve 1m derinlikte 4 grupta, her bir grupta sırasıyla; 25 gr., 50 gr., 100 gr., 200 gr. ve 500 gr. lık miktarlarda C-4 plastik patlayıcı patlatılmıştır. Toplamda gerçekleştirilen 20 adet atım esnasında oluşan 134 adet olayın parçacık hızı bileşenleri ölçekli mesafe unsurları ve derinlikler ile birlikte kayıt edilmiştir. Ölçümlere ait bazı ölçüm değerleri Çizelge 3' te verilmiştir.

Çalışma süresince 8 adet kalibrasyonları güncel titreşim ölçer cihaz patlatma noktalarına göre, titreşimin yayılımını gösterecek şekilde sistematik olarak

yerleştirilmiştir. Bazı atımlarda, kullanılan patlayıcı miktarı ve cihaz ile patlatma noktası arasındaki mesafeden dolayı kayıt alınamamıştır.

Elde Edilen Kayıtların İstatiksel Olarak İncelenmesi

Çalışma kapsamında 20 atımda kayıt edilen 134 olay 3 farklı derinlikte elde edilmiştir. Bu derinlikler; denizin kara ile birleştiği 0 noktası (su üstünde), deniz içerisinde ise 0.5 m ve 1 m olarak uygulanmıştır. Elde edilen verilerden patlayıcı miktarları, patlatma noktası ile ölçüm istasyonları arası mesafeler ve derinlik bileşenleri kullanılarak bu bileşenlerin parçacık hızına olan etkisi analiz edilmiştir.

Yapılan analizler sonucunda Parçacık hızı (PPV) ile hesaplanan ölçekli mesafe (SD) arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki elde edilmiştir. PPV ile derinlik ilişkisini incelemek için ise Anova, Kruskal Wallis-H Testi, Doğrusal Regresyon, Lojistik Regresyon gibi istatistiksel testler yapılmış, verilerin gruplandırılmadığı/yerleştirilemediği sonuçları edilmiştir.

Titreşim Yayılımının İzlenmesi ve Arazi Katsayılarının Tespiti

Yukarıda bahse konu derinlik ve PPV arasında istatistiksel bir bağlantı elde edilememesinden dolayı, derinlik değerleri mesafe (uzaklık) olarak değerlendirilmiş ve ölçekli mesafe hesabında etkin bir parametre olarak kullanılmıştır (Dowding, 1985).

Bu tür uygulamalarda en sık kullanılan yöntem olan maksimum parçacık hızı değerleri ve ölçekli mesafe değerleri için regresyon analizi yapılarak çalışılan sahaya özgü K, arazi katsayısı ile β , arazi sönümlenme katsayısı tespit edilmiştir.

Çizelge 1. Patlatma yapılan gruplara ait konumlar
Table 1. Coordinates of blasting groups

Patlatma Grup No	Enlem	Boylam	Derinlik (m)
1	41.222500	29.200278	0
2	41.222500	29.200278	0.5
3	41.222778	29.200000	1
4	41.222778	29.200000	1

m: metre

Çizelge 2. Titreşim ölçer cihaz istasyonlarına ait konumlar
Table 2. Coordinates of seismograph

Cihaz Seri Numarası	Enlem	Boylam	Yükseklik
13744	41.222778	29.200278	6
20486	41.189444	29.200278	4
20488	41.222500	29.200556	6
20487	41.222778	29.200556	6
13743	41.222778	29.200556	6
14361	41.222778	29.200833	6
13426	41.222778	29.200833	6
14360	41.222778	29.200833	8



Şekil 3. Patlatma ve titreşim ölçüm noktalarını gösterir uydu ve kesit görüntüsü (1.Dönem)

Figure 3. Satellite image and cross-section view of blasting and vibration measurement points (1st period)

%50 Ortalama tahmin denklemi

$$PPV = 2786.1 * SD^{-1.41} \quad (r = 0.79) \quad (3)$$

%95 Üst tahmin denklemi

$$PPV = 14223.3 * SD^{-1.41} \quad (r = 1) \quad (4)$$

Burada; r korelasyon katsayısıdır.

Literatüre göre iyi bir korelasyon katsayısı ile bulunan bağıntılar yukarıda olduğu gibidir. Elde edilen korelasyon katsayısı; patlayıcı maddenin kaya içerisine sabitlenerek gerçekleştirildiği delik içi patlatma uygu-

lamalarına kıyasla oldukça yüksek değere sahip olduğu görülmüştür. Yüzey şarjı şeklinde gerçekleştirilen patlatmalarda, açığa çıkan enerjinin daha düzensiz dağılması beklenmektedir. Çalışmada elde edilen verilerin birbiriyle ilişkili sonuçlar vermesinin başlıca nedeni, patlayıcı maddelerin zemine sıkı biçimde sabitlenmiş olması, hazırlanan düzeneklerin üzerlerinin ağırlıklarla desteklenerek stabil hale getirilmesinin etkisi olduğu düşünülmektedir. Elde edilen maksimum parçacık hızı değerlerinin tamamının düşey (vertical) bileşende kayıt edilmesi bu görüşü destekler

Çizelge 3. Bazı Patlatma Titreşim Sonuçları (1.Dönem)
Table 3. Examples of vibrations of someblastings

Grup No	Max. Parçacık Hızı (PPV) (mm/s)	Frekans (f) (Hz)	Gecikme Başına Toplam şarj (W) (kg)	Mesafe (R) (m)	Ölçekli Mesafe (SD)	Derinlik (m)
1	3.05	64	0.2	35.51	79.40	0
1	3.17	73	0.5	52.61	74.40	0
2	7.62	49	0.1	14.32	45.28	0.5
2	1.78	79	0.2	35.51	79.40	0.5
3	31.7	64	0.1	14.32	45.28	1
3	3.05	64	0.2	35.51	79.40	1
4	0.635	93	0.025	39.46	249.57	1

niteliktedir. Fakat bu konuda, çalışma esnasında detaylı değerlendirme yapma imkanı oluşmadığı için kati bir görüş bildirmek mümkün olmamaktadır.

2. Dönem Arazi Çalışmaları

1. dönem arazi çalışmaları kapsamında yapılan ölçümler sonucunda elde edilen veriler gözlemsel olarak incelendiğinde her ne kadar derinliğe bağlı bir değişim görülmüş olsa da istatistiksel analizler sonucunda bu değişim tespit edilmemiştir. Bunun nedeninin verilerin derinlik değişkenine göre yeterli sayıda olmayışı ve hava şartları münasebetiyle patlayıcı düzeneklerin kayaç üzerine yerleştirilip sabitlenmesinde yaşanan sıkıntılar olduğu düşünülmektedir. Bu problemlerin giderilerek, 2.dönem arazi çalışmalarında bir uygulama modeli oluşturulmuştur.

Oluşturulan modele göre; patlatma derinliklerinin artırılması, patlayıcı düzeneklerinin deniz tabanında hareket etmeyecek şekilde sabitlenmesi planlanmıştır. Bu doğrultuda sualtı patlayıcı düzenekleri hazırlanmıştır. Sualtı patlatma düzeneği temel olarak 2 parçadan oluşmaktadır. Birinci parçada patlatma süresine göre kesimi yapılmış olan emniyetli fitile bağlı adi kapsül ve ucuna irtibatlı ateşleme çakmağı su üzerinde yüzecek köpüğe yerleştirilmiştir. Adi kapsülün su sızdırmazlığı sağlanmış ve ucuna ikinci parçayla irtibatı sağlayacak olan infilaklı fitil irtibatlanmıştır.

Sualtı Patlatma Düzeneğinin ikinci kısmında C4 ana patlayıcı üzerine infilaklı fitil sarılmış ve aynı infilaklı fitil derinliğe göre ayarlanarak yüzeye gelecek uzunlukta kesilmiştir. İkinci parçada C4 ana patlayıcıyı tabana

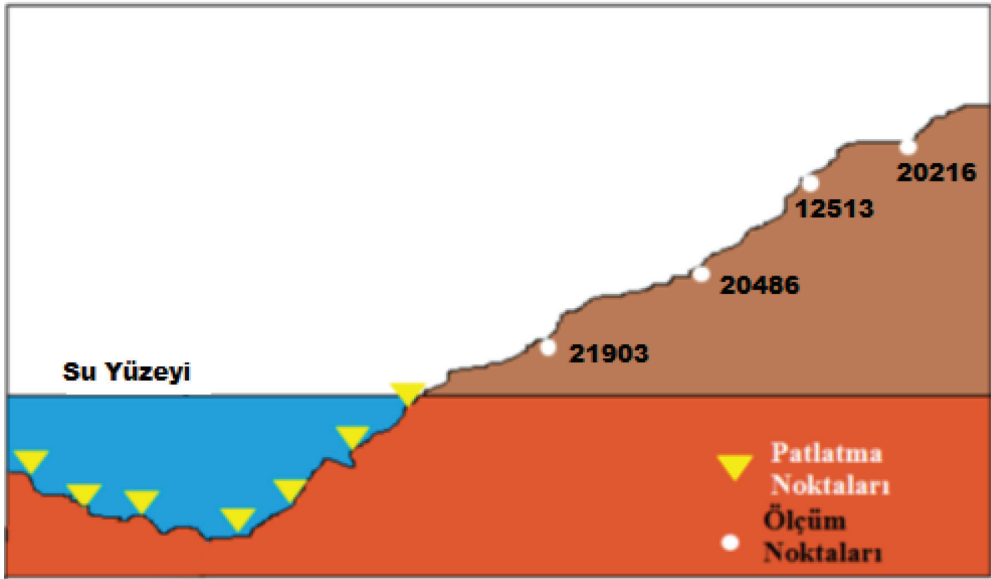
sabitleme maksatlı olarak kaya parçası ana dolguya ip vasıtasıyla bağlanmıştır. Araştırma kapsamında yapılan düzeneğe ait fotoğraf Şekil 4'te olduğu gibidir.

Dalgıçlar öncelikle ikinci parçada bulunan C4 ana patlayıcıyı kaya parçası yardımıyla dibe sabitleyerek infilaklı fitil ucu ile satha gelirler, müteakiben birinci parçaya ait infilaklı fitil ucu ile ellerinde bulunan infilaklı fitil ucu irtibatlanarak verilen komutla ateşleme çakmakları çekilir ve dalgıçlar bota alınarak emniyetli sektörde patlatmalar beklenir. Patlatmalar arasındaki 1'er dakikalık zaman farkı emniyetli fitillerin uygun uzunluklarda kesilmesiyle ayarlanmıştır.

Derinliğin titreşim değerlerine olan etkisini belirleyebilmek maksadıyla denizin kara ile birleştiği 0/0.5 m, 2 m, 3 m ve 4 m derinlikler çalışma noktaları olarak belirlenmiştir. Patlatma noktalarında dalgıçlar vasıtasıyla patlayıcılar dibe sabitlenerek 8 defa 284 gr ve 8 defa da 568 gr C-4 plastik patlayıcı kullanılarak patlatma yapılmıştır. Kullanılan patlayıcıların dibe bırakıldığı noktaların derinliği akustik el sonarıyla, patlayıcıların titreşim ölçer cihaza olan mesafeleri lazer mesafe ölçerle, patlatma nokta koordinatları ise GPS ile kaydedilmiştir. Şekil 5'te kesit olarak görüleceği üzere patlatma noktalarına göre, titreşimin yayılımını görmek üzere sistematik olarak yerleştirilen 4 adet titreşim ölçer cihazın koordinatları yine GPS vasıtasıyla ölçülerek kayıt edilmiştir. Daha sonra ateşlenen tüm patlayıcılar derinlik, koordinat, patlayıcı madde miktarı ve patlama saatine göre dikkatlice kayıt edilmiştir. Patlatma ve titreşim ölçüm istasyonlarının konumları, önceki dönemki çalışma ile oldukça yakın



Şekil 4. Sualtı patlatma düzeneği
Figure 4. Underwater blasting assembly



Şekil 5. Patlatma ve titreşim ölçüm noktalarını gösterir kesit görüntüsü (2.Dönem)
Figure 5. Cross-section view of blasting and vibration measurement points (2nd period)

konumlarda ve aynı doğrultularda seçilmiştir. Bunka-ki amaç, her iki araştırmada da benzer jeolojik yapı-lardan faydalanmaktır.

2. Dönem Patlatma Çalışmaları

Söz konusu sahada, derinliğin titreşim değerlerine olan etkisini belirleyebilmek açısından, denizin kara

ile birleştiği 0/0.5 m, 2 m, 3 m ve 4 m derinlikler çalışma noktaları olarak belirlenmiş derinlikler akustik el sonarı yardımıyla tespit edilmiştir. Dalgıçlar ve hazırlanan sualtı patlatma düzenekleri Zodiak Bot vasıtasıyla sahada belirlenen noktalara intikal ettirilmiş, dalgıçlar patlayıcıları dibe sabitlemiş, patlayıcıların sabitlendiği noktaların titreşim ölçer cihazlara mesafeleri lazer mesafe ölçer ile bot üzerinden ölçülmüştür. Her grupta 4 dalgıç ve patlayıcı düzenek ile toplam 4 grupta 16 sualtı patlatması yapılmıştır.

Çalışma kapsamında 16 farklı atımda 64 adet olay kayıt edilmiştir. Çalışma süresince 4 adet kalibrasyonları güncel titreşim ölçer cihaz patlatma noktalarına göre, titreşimin yayılımını gösterecek şekilde sistematik olarak yerleştirilmiştir. Bununla birlikte oluşan titreşimler; enine, boyuna ve düşey olmak üzere 3 boyutta ölçülmüştür. Sualtı patlatmalarından kaynaklı titreşimlerin derinliğe bağlı değişkenliğinin olup olmadığı ve mesafeye bağlı analizler ile PPV ve ölçekli mesafe arasında regresyon analizi yapılmıştır.

Elde Edilen Kayıtların İstatiksel Olarak İncelenmesi

Yapılan çalışma sonucunda elde edilen veriler 2 gruba ayrılmıştır. Bunlar;

1. Çizelge 5 ve 6'da görüldüğü gibi derinliğe göre toplamda 7 gruba ayrılmıştır. (283 gr ve 566 gr şarj için)
2. Çizelge 7 ve 8'de görüldüğü gibi mesafeye göre toplamda 14 gruba ayrılmıştır. (283 gr ve 566 gr şarj için)

Her gruptaki ölçü sayısı ≤ 10 olduğundan dolayı, parametrik testlerden tek yönlü varyans analizinin parametrik olmayan karşılığı Kruskal Wallis varyans analizi uygulanmıştır (Akdağ ve Sümbüloğlu, 2010).

Uygulama deseni olarak:

1- Şarj= 283 gr

a) Mesafeye göre gruplar arasındaki farkın incelenmesi

b) Derinliğe göre gruplar arasındaki farkın incelenmesi

2- Şarj= 566 gr

c) Mesafeye göre gruplar arasındaki farkın incelenmesi

d) Derinliğe göre gruplar arasındaki farkın incelenmesi yapılmıştır.

Bağımlı değişken olarak maksimum parçacık hızı alınmıştır.

Şarj= 0.283 Mesafeye göre gruplar arasındaki farkın incelenmesi:

Hipotezler:

H0: Mesafeler arasında maksimum parçacık hızı açısından farklılık yoktur.

H1: Mesafeler arasında maksimum parçacık hızı açısından farklılık vardır.

Test sonucuna göre 0,000 (Sig) >0.05 olduğu için (chi-square=20,544) Mesafeler arasında maksimum parçacık hızı açısından istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık olmadığı sonucuna ulaşılmıştır.

Şarj= 0.283 Derinliğe göre gruplar arasındaki farkın incelenmesi:

Hipotezler:

H0: Derinlikler arasında maksimum parçacık hızı açısından farklılık yoktur.

H1: Derinlikler arasında maksimum parçacık hızı açısından farklılık vardır.

Test sonucuna göre 0,000 (Sig) >0.05 olduğu için (chi-square=1,436) Derinlikler arasında maksimum

Çizelge 4. Titreşim ölçer cihaz istasyonlarına ait konumlar (2.dönem)
Table 4. Coordinates of seismograph (2nd period)

Cihaz Seri Numarası	Enlem	Boylam	Yükseklik
21903	41.223028	29.200083	1
20486	41.223111	29.200194	7
12313	41.223222	29.200333	11
20216	41.223278	29.200319	15

Çizelge 5. Derinliğe Bağlı Parçacık Hızı Değerleri (283 gr Şarj),
Table 5. PPV values depending on depth (for 283 gr explosive)

	Derinlik	N	Ortalama Değer
Maksimum Parçacık Hızı PPV (mm/sn)	0.1 m	8	16.38
	2.3 m	4	17.5
	3 m	8	18.5
	3.8 m	4	11.75
	4.1 m	8	16.5
	Toplam	32	

m: metre, N: örnek sayısı

Çizelge 6. Derinliğe Bağlı Parçacık Hızı Değerleri (566 gr Şarj)
Table 6. PPV values depending on depth (for 566 gr explosive)

	Derinlik	N	Ortalama Değer
Maksimum Parçacık Hızı PPV (mm/sn)	0.1 m	8	19.44
	2.3 m	4	18.63
	2.8 m	4	16.63
	3 m	4	15.38
	3.3 m	4	18.38
	4.1 m	8	12.06
	Toplam	32	

m: metre, N: örnek sayısı

parçacık hızı açısından istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık olmadığı sonucuna ulaşılmıştır.

Şarj= 0.566 Mesafeye göre gruplar arasındaki farkın incelenmesi:

Hipotezler:

H0: Mesafeler arasında maksimum parçacık hızı açısından farklılık yoktur.

H1: Mesafeler arasında maksimum parçacık hızı açısından farklılık vardır.

Test sonucuna göre 0,000 (Sig) >0.05 olduğu için (chi-square=16,738) Mesafeler arasında maksimum parçacık hızı açısından istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık olmadığı sonucuna ulaşılmıştır.

Şarj= 0.566 Derinliğe göre gruplar arasındaki farkın incelenmesi:

Hipotezler:

H0: Derinlikler arasında maksimum parçacık hızı açısından farklılık yoktur.

H1: Derinlikler arasında maksimum parçacık hızı açısından farklılık vardır.

Test sonucuna göre 0.000 (Sig) >0.05 olduğu için (chi-square=3.000) Derinlikler arasında maksimum parçacık hızı açısından istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık olmadığı sonucuna ulaşılmıştır.

2.dönem arazi çalışmalarından elde edilen titreşim verileri; farklı derinlik, mesafe ve patlayıcı miktarlarına göre istatistiksel olarak farklı yöntemlere göre değerlendirilmiştir. Yapılan testler sonucunda incelenen veriler açısından istatistiksel olarak anlamlı bir sonuca ulaşılamamıştır.

Çizelge 7. Mesafeye Bağlı Parçacık Hızı Değerleri (283 gr Şarj),
Table 7. PPV values depending on distance (for 283 gr explosive)

	Derinlik	N	Ortalama Değer
Maksimum Parçacık Hızı PPV (mm/sn)	5 - 10 m	2	27.00
	20 - 25 m	3	23.33
	30 - 35 m	2	30.50
	35 - 40 m	4	16.25
	40 - 45 m	1	32.00
	45 - 50 m	2	23.00
	50 - 55 m	6	14.83
	60 - 65 m	4	11.75
	65 - 70 m	1	12.00
	70 - 75 m	2	8.00
	75 - 80 m	1	3.00
	80 - 85 m	3	7.67
	90 - 95 m	1	10.00
	Toplam	32	

m: metre, N: örnek sayısı

Titreşim Yayılımının İzlenmesi ve Arazi Katsayılarının Tespiti

2. dönem arazi çalışmalarında da derinlik, mesafe ve PPV arasında istatistiksel bir bağlantı elde edilememesinden dolayı, derinlik değerleri mesafe (uzaklık) olarak değerlendirilmiş ve ölçekli mesafe hesabında etkin bir parametre olarak kullanılmıştır.

Maksimum parçacık hızı değerleri ve ölçekli mesafe değerleri için regresyon analizi yapılarak çalışılan sahaya özgü K, arazi katsayısı ile β , arazi sönümlenme katsayısı tespit edilmiştir.

%50 tahmin hattı

$$PPV=260.02*SD^{-0.86} \quad (r=0,72) \quad (5)$$

%95 tahmin hattı

$$PPV=909.91*SD^{-0.88} \quad (r=1) \quad (6)$$

Literatüre göre iyi bir korelasyon katsayısı ile bulunan bağıntılar elde edilmiştir. Yukarıda (5) numaralı eşitlikle verilen, 2. dönem arazi çalışmalarından elde

edilen korelasyon katsayısı, (3) numaralı eşitlikte verilen 1. dönem arazi çalışmalarından elde edilen korelasyon katsayısına ($r=0,79$) nazaran daha düşük oranla elde edilmiştir. Bunun nedeni ise; 2 m ve daha derin noktalarda gerçekleştirilen atımlarda, patlayıcı düzeneklerin bir kısmının zemine yeterinde iyi sabitlenememesi olduğu düşünülmektedir.

Ayrıca çalışma kapsamında, her 2 dönemde yapılan arazi çalışmalarından elde edilen arazi katsayıları birbirleriyle karşılaştırılmıştır.

TESPİT EDİLEN ARAZİ KATSAYILARININ KARŞILAŞTIRILMASI

Her 2 dönemde yapılan patlatma çalışmalarından elde edilen titreşim verileri, PPV-SD değerleri ile ilişkilendirilerek literatüre uygun olarak regresyon analizi yapılmıştır (Dowding, 1985). Analiz sonucunda, çalışılan arazinin K ve β arazi katsayıları, %50 ortalama tahmin ve %95 üst tahmin hattına göre tespit edilerek; (3), (4), (5), ve (6) numaralı eşitliklerde verilmiştir.

Çizelge 8. Mesafeye Bağlı Parçacık Hızı Değerleri (566 gr Şarj)
Table 8. PPV values depending on distance (for 566 gr explosive)

	Derinlik	N	Ortalama Değer
	5 - 10 m	2	31.00
	20 - 25 m	3	24.83
	30 - 35 m	2	18.00
	35 - 40 m	3	19.00
	45 - 50 m	3	15.83
	50 - 55 m	5	19.30
Maksimum Parçacık Hızı PPV (mm/sn)	60 - 65 m	4	13.25
	65 -70 m	2	20.25
	70 - 75 m	1	2.50
	75 - 80 m	1	12.00
	80 - 85 m	2	10.00
	85 - 90 m	2	8.75
	90 - 95 m	2	4.50
	Toplam	32	

m: metre, N: örnek sayısı

Elde edilen arazi katsayılarının birbiriyle olan uyumluluğu karşılaştırılması amacıyla; eşit miktarlarda patlayıcı miktariyle, eşit mesafelerde oluşturacakları PPV değerleri hesaplanmıştır. Karşılaştırmada %50'lik eşitlikler kendi arasında, %95'lik eşitlikler kendi arasında değerlendirilmiştir. Karşılaştırmalar, Çizelge 9'da toplu olarak verilmiştir.

Elde edilen arazi katsayılarından yararlanılarak elde edilen PPV değerleri karşılaştırıldığında %95'lik tahmin eşitlikleri ile hesaplanan PPV değerleri arasında farklıların, %50'lik tahmin eşitlikleri ile hesaplanan PPV değerlerine nazaran daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Dolayısıyla, %50'lik tahmin eşitliklerinin birbirlerine daha yakın sonuçlar verdiği görülmektedir.

SONUÇLAR ve TARTIŞMA

Bu araştırma kapsamında; askeri tip patlayıcılar ile deniz tabanında gerçekleştirilen sualtı patlatmalarından kaynaklı titreşimlerin karadaki yayılımına, patlatma derinliğinin etki edip etmediği incelenmiştir. Bu

kapsamda; 2 farklı dönemde, aynı bölgede sualtı patlatmaları gerçekleştirilmiştir. Farklı derinlik ve mesafelerde gerçekleştirilen patlatmalarda oluşan yer sarsıntıları, titreşim ölçer cihazlar vasıtasıyla kayıt edilmiştir. Kayıt edilen değerler farklı istatistiksel metotlarla test edilmiştir. Yapılan testler sonucunda, denizin kara ile birleştiği 0 noktası (su üstünde), sualtında ise; 0.5 m, 1 m, 2 m, 3 m ve 4 m, derinliklerde deniz tabanına yerleştirilen patlayıcılar ile gerçekleştirilen patlatmalarda oluşan yer sarsıntılarının, karadaki yayılımına derinlik faktörünün, incelenen derinlik aralığında etkisi olduğuna dair bir sonuca ulaşılamamıştır. Sığ derinliklerde, yüzeysel şarj ile gerçekleştirilecek patlatmaların derinliğe bağlı değişkenlik göstermediği sonucuna varılmıştır.

Ayrıca, madencilik ve inşaat faaliyetlerinde gerçekleştirilen patlamalardan kaynaklı yer sarsıntılarının tahmininde sıklıkla kullanılan PPV-SD değerlerinin ilişkilendirilmesi ile elde edilen eşitliklerin, askeri patlayıcıların kaya yüzeyine şarjı ile yapılan sualtı patlatmalarından kaynaklı yer sarsıntılarının tahmininde

Çizelge 9. Elde edilen arazi katsayılarının karşılaştırılması
Table 9. Comparison of obtained coefficients

	Eşitlikler	Mesafe (R) (m)	Patlayıcı Miktarı (W) (kg)	Maksimum Parçacık Hızı (PPV) (mm/s)
1.Dönem Arazi Çalışmalarına Ait Eşitlikler	PPV = 2786.1 x SD ^{-1.41} (3)	50	1	11.206
		100	1	4.217
		150	1	2.381
	PPV = 14223.3 x SD ^{-1.41} (4)	50	1	57.207
		100	1	21.528
		150	1	12.154
2.Dönem Arazi Çalışmalarına Ait Eşitlikler	PPV=260.02*SD ^{-0.86} (5)	50	1	8.993
		100	1	4.955
		150	1	3.496
	PPV=909.91*SD ^{-0.88} (6)	50	1	29.101
		100	1	15.812
		150	1	11.067

kullanılıp kullanılmayacağı da incelenmiştir. Bu amaçla, araziye yönelik K ve β arazi katsayıları tespit edilerek, PPV tahmininde bulunulmuştur. Sonuçlar karşılaştırıldığında elde edilen sonuçlar birbirleriyle tam olarak uyumlu olmasa da, tespit edilen sonuçların kısmen benzer sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Bu durum; askeri patlayıcıların yüzey şarjı olarak kullanıldığı sualtı patlatmalarında, PPV tahmin eşitliğinin, patlatma öncesi titreşim tahminine yönelik olarak yardımcı olabileceği görüşünü oluşturmuştur.

KATKI BELİRTME

Yazarlar, araştırmadaki desteklerinden dolayı Okan Üniversitesi Öğretim Üyesi Prof. Dr. Ali Kahrıman'a, Türk Deniz Kuvvetleri Sualtı Savunma Grup Komutanlığı ile değerli personeline, makalenin değerlendirilmesi aşamasında düzeltme ve önerileri ile değerli katkıları sağlayan hakemler Doç. Dr. Güzin Gülsev UYAR ve Doç. Dr. Doğan KARAKUŞ'a ve bu derginin çıkartılmasında emek sarf eden tüm yayın ekibine teşekkür eder.

KAYNAKLAR

- Akdağ, B., ve Sümbüloğlu, K., 2010. Önemlilik Testleri. Hatiboğlu, Ankara.
- Dowding, C. H., 1985. Blast Vibration Monitoring and Control. Prentice-Hall, New Jersey, USA.
- Duvall, W. I., ve H. Fogelson, 1962. Review of criteria for estimating damage to residences from blasting vibrations. U.S. Bureau of Mines, RI5868., USA.
- Gedik, İ., Timur, E., Duru, M., ve Pehlivan, Ş., 2005. MTA 1:50.000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları - İstanbul F-23d Paftası, Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Kahrıman, A., 2004. Analysis of parameters of ground vibration produced from bench blasting at a limestone quarry. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Volume 24, Issue 11, 887–892.
- Khandelwal, M. ve Singh T., 2007. Evaluation of blast-induced ground vibration predictors. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Volume 27, 116–125.

- Langefors, U., ve Khilström, B., 1978. The Modern Technique of Blasting. 3rd Ed, Halsted Press, Sweden.
- Lüleci, A., 2014. Sualtı Patlatmalarından Kaynaklı Titreşim Değerlerinin Çevresel Etkileri. Yüksek Lisans Tezi, Okan Üniversitesi FBE, İstanbul
- Nicholls, H.R., Johnson, C.F., ve Duvall, W.L., 1971. Blasting Vibrations And Their Effectson Structure. United States Department of Interior, USBM, Bulletin 656., USA.
- Ozer U., 2008. Environmental impacts of ground vibration induced by blasting at different rock units on the Kadikoy-Kartal metro tunnel. Engineering Geology, Volume 100, 82–90
- Siskind, D.E., Stagg, M.S., Kopp, J.W., Dowding, C.H., 1980, StructureResponseAndDamageProducedByGroundVibrationFromSurface Mine Blasting, USBM, RI8507.
- Türe, H.C., 2015. Sualtı Patlatmalarından Kaynaklı Titreşimlerin Derinliğe Bağlı Değişkenliğinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Okan Üniversitesi FBE, İstanbul

Palaeovegetational and Palaeoclimatic Changes During the Early Miocene in Central Taurus, Turkey

Orta Toroslar'da Erken Miyosen de Paleovejetasyon ve Paleoiklim Değişimleri, Türkiye

DEMET BİLTEKİN^{1*}

¹Ordu University, Fatsa Faculty of Marine Sciences, Marine Sciences and Technology Engineering, 52400 Ordu

Geliş (received) : 9 Ocak (January) 2017

Kabul (accepted) : 14 Mart (March) 2017

ABSTRACT

This study presents palynological records from the Ermenek Basin during the Early Miocene to evaluate paleoenvironmental changes. The pollen spectra was dominated by coniferous trees during this time period. Especially, Cedrus was abundant in Ermenek flora and cedars occupied on the mountain areas with Abies and Picea, indicating cooler climate in the area. However, an increase in mega-mesothermic trees, mainly Taxodiaceae swamps show that the climate slightly turned to warmer and humid conditions at the uppermost part of the Ermenek section. The low occurrence of herbeceous taxa imply that the vegetation cover was mainly forest.

Keywords: Ermenek, flora, paleoclimate, paleoenvironment, pollen grains

ÖZ

Bu çalışma, Ermenek Havzası'nda Erken Miyosen'deki paleoortamsal değişimleri tayin etmek için palinolojik kayıtları sunmaktadır. Bu zaman aralığında polen dağılımı başlıca kozalaklı ağaçlardan oluşmaktadır. Özellikle Cedrus Ermenek florasında yaygın olarak bulunmuştur. Sedir ağaçları Abies ve Picea ile birlikte Erken Miyosen'de dağlık alanlarda yayılım göstermekte ve bölgede daha serin bir iklimin varlığına işaret etmektedir. Ancak, Ermenek kesitinin üst kısımlarında görülen Taxodiaceae bataklık ormanlarındaki artış iklimin hafifçe daha sıcak ve yağışlı koşullara geçtiğini göstermektedir. Otsul bitkilerin az miktarda bulunması vejetasyon örtüsünün başlıca ormanlardan oluştuğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Ermenek, flora, paleoiklim, paleoortam, polen taneleri,

*D. Biltekin

e-posta: demetbiltekin@gmail.com

INTRODUCTION

Our modern world was formed during the Miocene time (Potter and Szatmari, 2009), including important tectonic and climate events composing Neogene climate with the transition from greenhouse conditions of Paleogene to the icehouse conditions of Quaternary. East Antarctic Ice Sheet (EAIS) started to expand at the onset of the Neogene (Pagani et al., 1999; Zachos et al., 2001). This phenomena is also well-recorded at worldwide-scale with a temperature decrease and positive values in the oxygen isotope profile (Miller et al., 1991; Zachos et al., 2001). The oxygen isotope record of benthic foraminifers enable significant evidences for nine glacial events during the Miocene, four of these glacial cases established during the Early Miocene (Miller et al., 1991; Pagani et al., 1999). The outer wall of pollen grains are very resistant to the weathering conditions and strong acids. With this feature, pollen grains are well preserved in the sediments. Therefore, pollen analysis is a significant proxy in order to assess changes in past flora, vegetation and climate. In the recent years, several palynological studies have been made in the Mediterranean realm. These studies indicate that Anatolian flora experienced important changes in the context of climate (i.e. Suc, 1984; Akgün et al., 2007; Yavuz-Işık, 2007, 2008; Yavuz-Işık and Toprak, 2010; Akkiraz et al., 2011; Kayseri-Özer, 2014; Biltekin et al., 2015; Jiménez-Moreno et al., 2015; Üçbaş Durak and Akkiraz, 2016; Yavuz et al., 2017). Most of tropical and sub-tropical plants suffered and disappeared from Europe and Mediterranean due to the decrease in global thermal gradient during the late Cenozoic (Suc and Popescu, 2005; Jiménez-Moreno et al., 2007). However, some meso-thermic deciduous trees such as, *Liquidambar orientalis* (Turkish sweetgum), *Parrotia* (ironwood), *Zelkova* (elm), *Pterocarya* (walnut), and meso-microthermic trees such as *Cedrus* (cedars) continued to persist in reduced areas of Anatolia (Quézel and Médail, 2003, Biltekin et al., 2015). Thus, today, Anatolia is one of the important refuge area for Neogene and Early Pleistocene Mediterranean flora (i.e. Becker-Platen et al., 1974, 1977; Akgün et al., 2007; Yavuz-Işık, 2007, 2008; Yavuz-Işık and Toprak, 2010; Akkiraz et al., 2011; Kayseri-Özer, 2014; Biltekin et al., 2015; Jiménez-Moreno et al., 2015; Üçbaş Durak and Akkiraz, 2016; Yavuz et al., 2017). To carry out the distribution of plants

and climatic changes, more palynological studies are still needed. Therefore, Ermenek pollen data will contribute new insights to the future studies. In this research, pollen analysis has been done in the Early Miocene Ermenek Basin to reconstruct the paleoenvironmental changes through the studied time-window and determine climatic conditions in Central Taurus (Turkey).

REGIONAL SETTINGS

The study area is located in the central Taurus belt (Figure 1), covering southern regions of Turkey as a part of Alpine-Himalayan orogenic belt (Demirel, 2004), being Neogene intra-montane molasse basin which located at Taurus mountain belt (Özgül, 1976). The Ermenek Basin was formed by North-South crustal extension and strike-slip deformation (Ilgar and Nemec, 2005, Uchman et al., 2007). During the Early Miocene, two lakes phases turned to one clastic lake (Ilgar and Nemec, 2005) and towards to the end of the Early Miocene, the lakes was drowned by marine transgression. This issue induced the deposition of thick limestones during Burdigalian-Serravalian (Early-Middle Miocene). The Ermenek Basin is located on the Bozkır and Aladağ nappes (Özgül, 1976; Ilgar and Nemec, 2005). The basin is mainly constituted by Yenimahalle Formation with lacustrine sediments and Mut Formation with reefal carbonates (Middle Miocene). Bozkır and Aladağ nappes are overlain by Pamuklu Formation (lacustrine carbonates, Oligocene). The Lower Miocene sequence is represented by Yenimahalle Formation covered by upper Burdigalian marine deposits (Figure 1). The Yenimahalle Formation has a 300 m clastic lacustrine sediments (sandstones, claystones and conglomerates) (Ilgar and Nemec, 2005). The lower part of Yenimahalle Formation contains lignite levels (Ilgar and Nemec, 2005). The Lower Miocene sediments contain ostracod fauna such as *Cyprideis torosa*, *Candona candida*, *Candona recta*, and *Heterocypris salina* (Ilgar and Nemec, 2005, Uchman et al., 2007). These lacustrine sediments in the Ermenek Basin, formed close to the sea level, and have been uplifted (ca. 1000 m) since the Middle Miocene (Koç et al., 2012).

Present-day vegetation of Anatolia has a complexity and different phytogeographic regions represented by Mediterranean, Irano-Touranian, European and

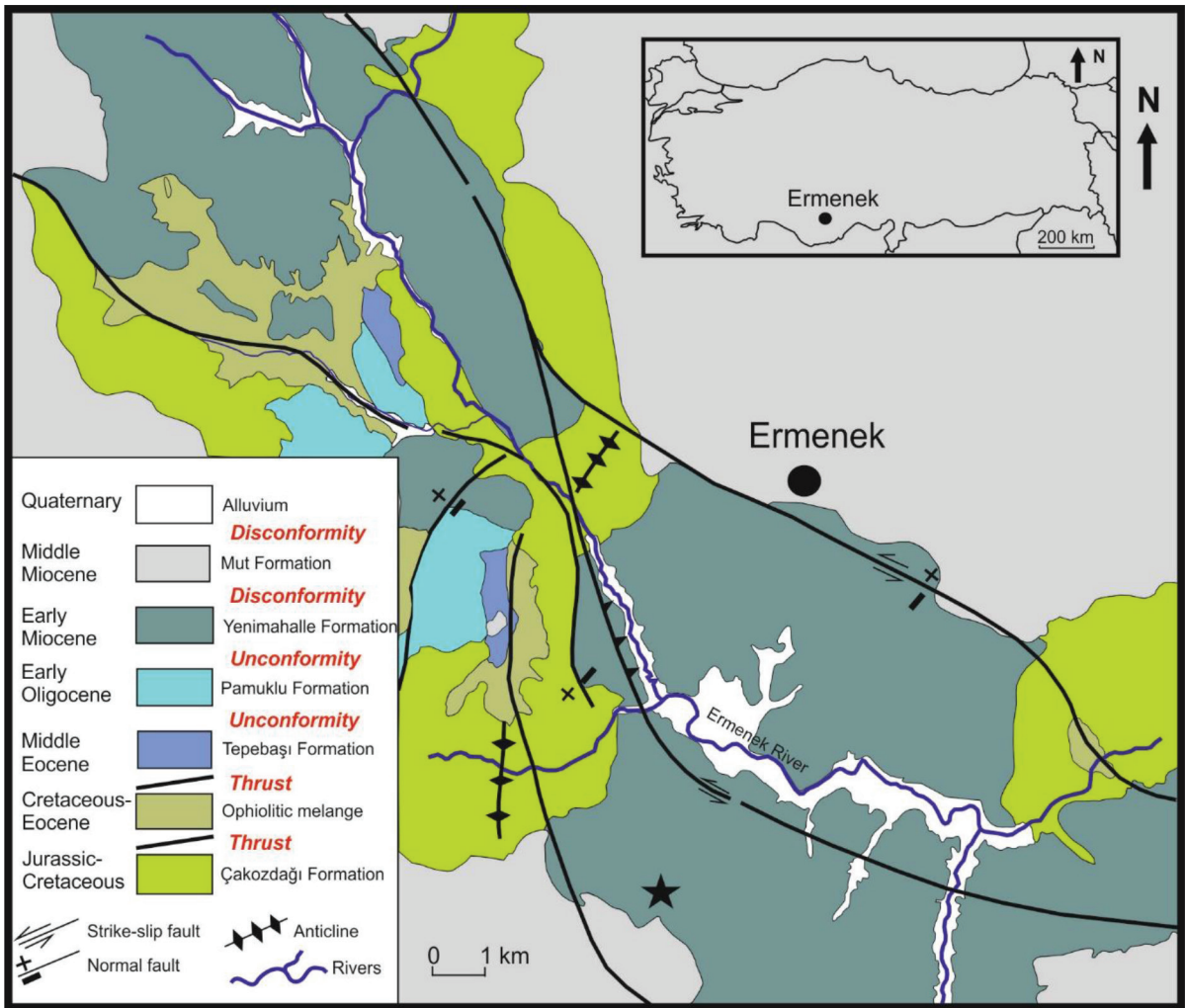


Figure 1. The simplified geological map of the Ermenek Basin (modified from Ilgar and Nemeç, 2005; Uchman et al., 2007). The black star indicates outcrop section.

Şekil 1. Ermenek Havzası'nın sadeleştirilmiş jeoloji haritası (Ilgar ve Nemeç, 2005; Uchman vd., 2007'den sadeleştirilerek). Siyah yıldız kesit yerini göstermektedir.

Euxino-Hyrcanian phytogeographic regions (Figure 3). Today, Anatolia is a refuge area for Neogene and Early Pleistocene Mediterranean flora. Among mesothermic trees such as *Pterocarya*, *Zelkova*, *Liquidambar*, *Parrotia* and *Cedrus* are still occurred in the Anatolia and Hyrcanian vegetation zone (Quézel and Médail, 2003). The study area is located in the Mediterranean vegetation belt with different vegetation types according to rainfall and altitude (Quézel and Médail, 2003). The thermo-Mediterranean belt composes of *Ceratonia siliqua*, *Pistacia lentiscus*, *Myrtus communis*, *Olea europaea* with *Quercus coccife-*

ra and *Pinus brutia*. A meso-Mediterranean belt is dominated by sclerophyllous oaks, where *Quercus ilex* is very sparse (Quézel and Médail, 2003). The major extension of *Liquidambar orientalis* occurs in the southwestern Anatolia and in northeastern Antalya (Akman et al., 1993) and along the Oronte River (Hatay). In Mediterranean montane belt consists of the altitudinal conifers such as *Cedrus libani* occupying significant areas on the Taurus and Anti-Taurus massifs with oro-Mediterranean belt formed by meadows and steppes. The Irano-Touranian vegetation belt covers the Anatolian Plateau. In this

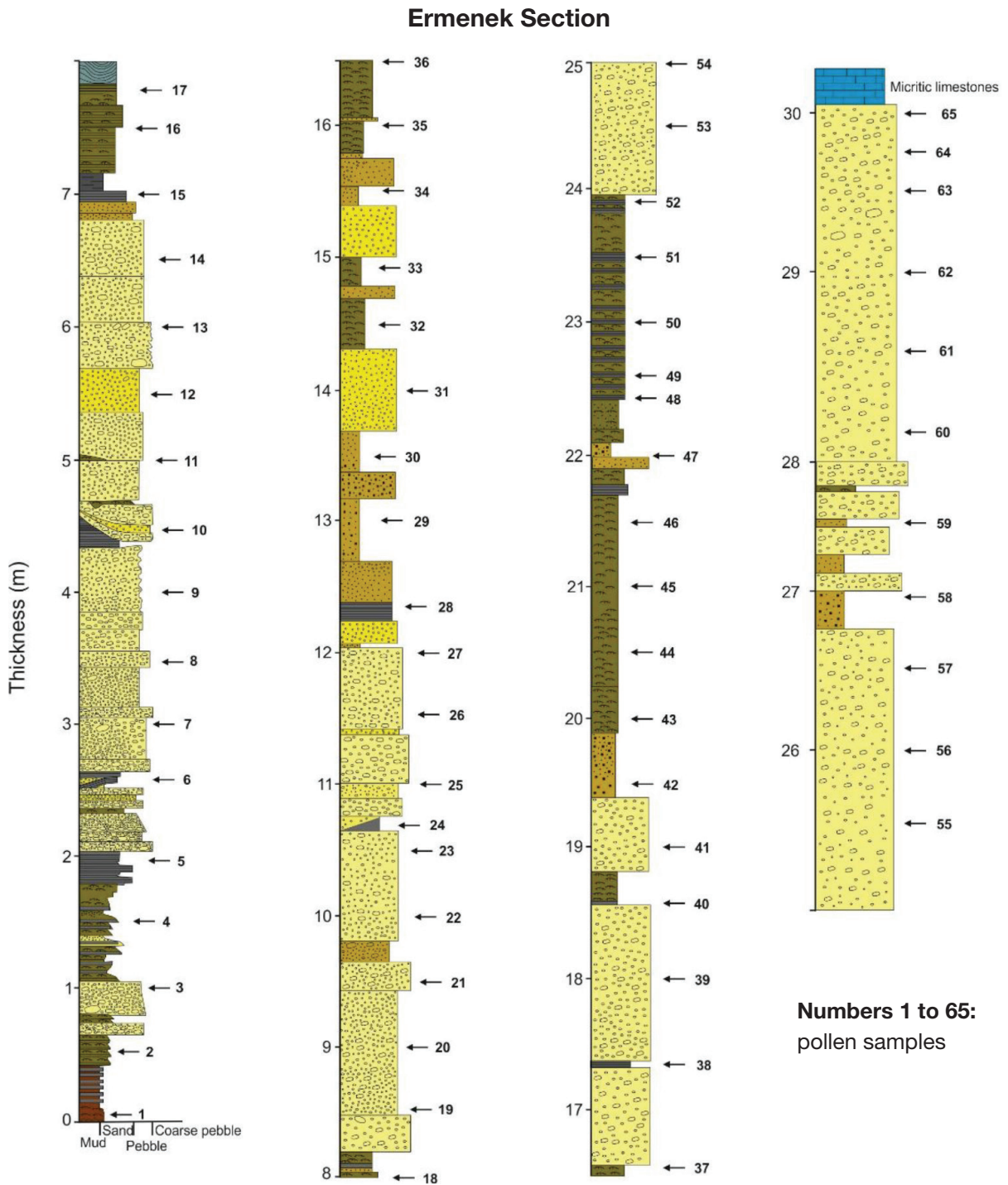


Figure 2. The lithological log of the Ermenek section with indicating the level of pollen samples (modified from Zigar and Nemeç, 2005).

Şekil 2. Ermenek kesitinin litolojik logunda polen örnekleri seviyesi belirtilmiştir (Zigar ve Nemeç, 2005'den sadeleştirilerek).

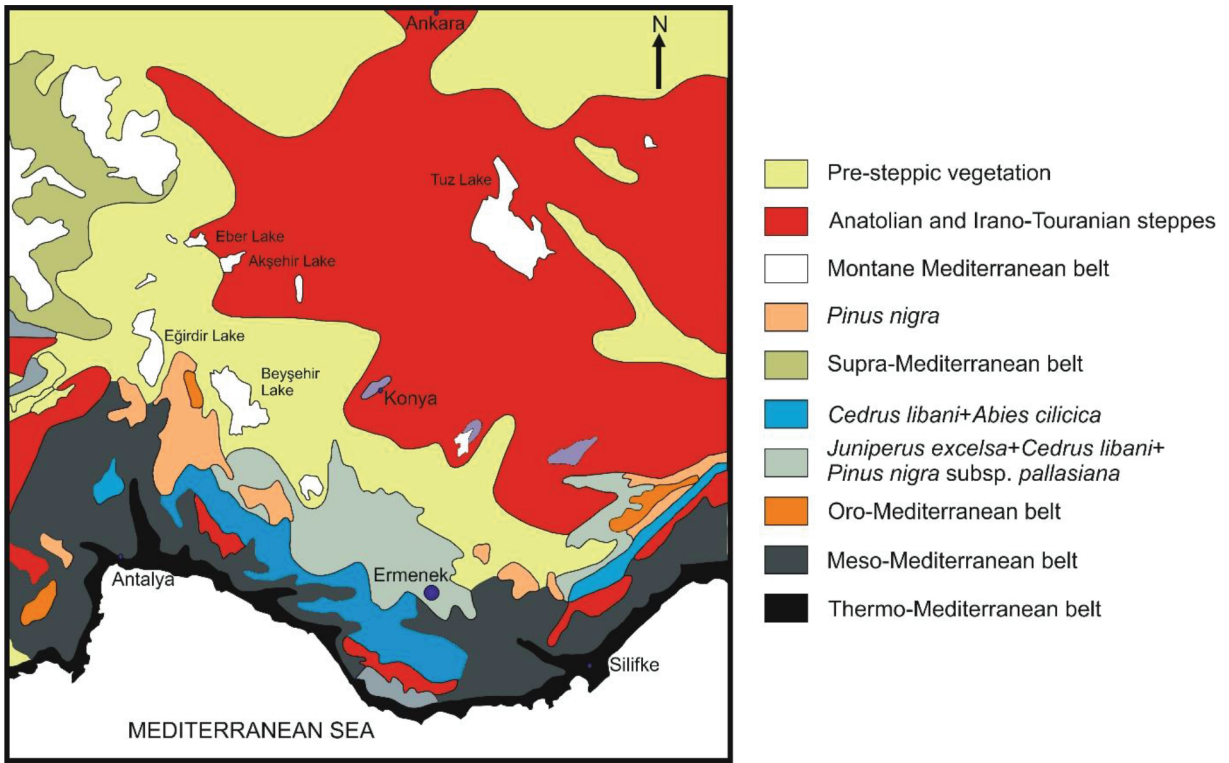


Figure 3. The present-day vegetation of Ermenek region (southern Turkey) (modified by Quézel, P., and Barbero, M., 1985)

Şekil 3. Ermenek bölgesinin (Türkiye'nin güneyi) günümüz vejetasyonu (Quézel, P., ve Barbero, M., 1985'den sadeleştirilerek)

phytogeographic region, annual precipitation does not exceed 200 mm and mostly includes steppe vegetation with *Artemisia* (Figure 3). Pre-steppic vegetation belt is characterized by *Quercus libani* and to eastward, *Quercus brantii* occurs on slopes while precipitation is high and to westward with *Pinus pallasiana* and *Juniperus excelsa* (Quézel and Médail, 2003).

METHODS AND MATERIALS

Sampling and Chemical Treatment

In this research, 65 sediment samples (mainly clays-tones, sandstones) were taken from the southern part of the Ermenek Basin belonging to the Early Miocene (Figure 2) and analysed in terms of pollen analysis. Among the pollen grains, the diagrams of Sapotaceae, *Engelhardia*, Taxodiaceae, *Catha-*

ya, *Carya*, *Tsuga*, *Zelkova*, *Pterocarya*, *Liquidambar orientalis* and *Cedrus* were shown in Biltekin et al (2015). This study covers the resting most of the other identified pollen grains in order to reconstruct the history of flora in the Ermenek Basin. For chemical treatment, the samples were processed according to the Cour's method (1974). Firstly, ca. 20-30 g of sediment was weighed. The samples were reacted with cold HCl (35%) and HF (70%) to remove carbonates and silicates respectively. For separation of the palynomorphs from the sediments was used $ZnCl_2$ (density >2). The resting sediment was sieved with using a 200 μm sieve and then a 10 μm nylon mesh sieve. The pollen residue was mounted on slides with glycerine.

Counting and Identification

In order to identify and to count the palynomorphs, a transmitted light microscope was used with x40 and x100 magnifications (with immersion oil). The

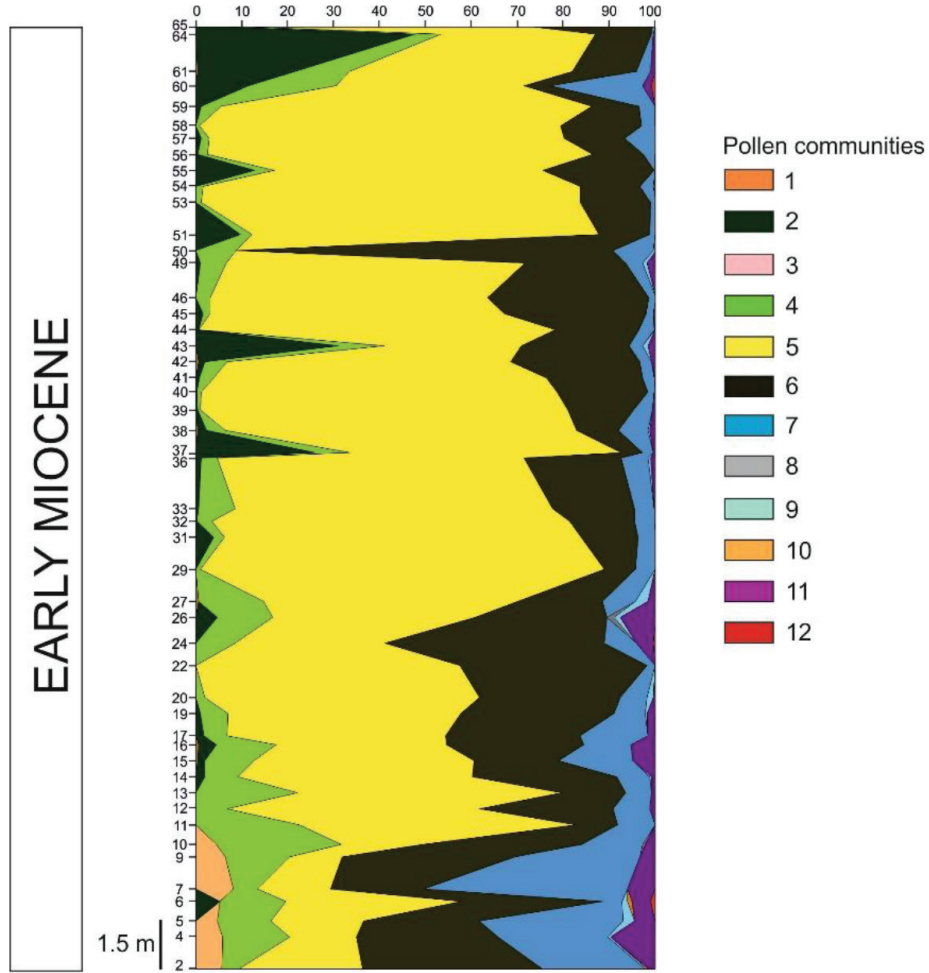


Figure 4. The synthetic pollen diagram of the Ermenek Basin. In the diagram, plants are grouped based on their ecological importance. Pollen communities: 1) Megathermic (tropical) elements: Euphorbiaceae, Rubiaceae, Sapotaceae; 2) Mega-mesothermic (sub-tropical) elements: Taxodiaceae, *Engelhardia*; 3) *Cathaya*; 4) Mesothermic (warm-temperate) elements: *Ilex*, *Alnus*, *Liquidambar orientalis*, Anacardiaceae, *Carya*, *Rhus*, *Ulmus*, *Corylus*, Oleaceae, *Zelkova*, *Pterocarya*, *Carpinus betulus*, *Quercus* deciduous type, *Parrotia cf. persica*, *Acer*, *Betula*, *Fraxinus*, *Carpinus orientalis*, Caprifoliaceae, *Juglans*, *Platanus*, *Salix*, *Tilia*, *Fagus*, *Buxus sempervirens*; 5) *Pinus*; 6) Meso-microthermic (mid-altitudinal trees) elements: *Tsuga*, *Cedrus*; 7) Microthermic (high altitudinal trees) elements: *Abies*, *Picea*; 8) Non-significant: Rosaceae, Ranunculaceae; 9) Cupressaceae; 10) Mediterranean xerophytes: *Olea*, *Quercus ilex-coccifera* type; 11) Herbs: Poaceae, Asteraceae-Asteroideae, *Geranium*, Ericaceae, Caryophyllaceae, Asteraceae-Cichorioideae, Amaranthaceae-Chenopodiaceae, *Myriophyllum*, Apiaceae, *Erodium*, *Phlomis*, *Rumex*, Cyperaceae with aquatic herbs such as *Potamogeton*, *Trapa natans*, *Typha*; 12) Steppes: *Ephedra*.

Şekil 4. Ermenek Havzası'nın sentetik polen diyagramı. Diyagramda bitkiler ekolojik önemlerine göre gruplandırılmıştır. Polen toplulukları: 1) Megatermik (tropikal) elementler: Euphorbiaceae, Rubiaceae, Sapotaceae; 2) Mega-mezotermik (yarı-tropikal) elementler: Taxodiaceae, *Engelhardia*; 3) *Cathaya*; 4) Mezotermik (sıcak-ılıman) elementler: *Ilex*, *Alnus*, *Liquidambar orientalis*, Anacardiaceae, *Carya*, *Rhus*, *Ulmus*, *Corylus*, Oleaceae, *Zelkova*, *Pterocarya*, *Carpinus betulus*, *Quercus* yaprağını döken türü, *Parrotia cf. persica*, *Acer*, *Betula*, *Fraxinus*, *Carpinus orientalis*, Caprifoliaceae, *Juglans*, *Platanus*, *Salix*, *Tilia*, *Fagus*, *Buxus sempervirens*; 5) *Pinus*; 6) Mezo-mikrotermik (orta-enlem ağaçları) elementler: *Tsuga*, *Cedrus*; 7) Mikrotermik (yüksek enlem ağaçları) elementler: *Abies*, *Picea*; 8) Non-significant: Rosaceae, Ranunculaceae; 9) Cupressaceae; 10) Akdeniz kserofitleri: *Olea*, *Quercus ilex-coccifera* türü; 11) Otsul bitkiler: Poaceae, Asteraceae-Asteroideae, *Geranium*, Ericaceae, Caryophyllaceae, Asteraceae-Cichorioideae, Amaranthaceae-Chenopodiaceae, *Myriophyllum*, Apiaceae, *Erodium*, *Phlomis*, *Rumex*, Cyperaceae, sucul otsu bitkiler: *Potamogeton*, *Trapa natans*, *Typha*; 12) Stepler: *Ephedra*.

sediments are rich in pollen grains. Only four samples were barren and these samples were counted, but they were extracted from the pollen sum. The eight samples were sterile. Spores have not been included due to their barely representation, but were counted. A special effort has been done with respect to botanical nomenclature. In the identification of pollen grains was used several pollen atlases from Mediterranean, China, Europe, etc. (Reille, 1992, 1995 and 1998; Huang, 1972) and pollen photographs. A minimum of 300 pollen grains was counted in each pollen slides except *Pinus* due to its over-representation in the sediments. A total of 59 taxa were identified. The standard synthetic pollen diagram (Suc, 1984) was plotted based on pollen results. In the synthetic pollen diagrams, pollen taxa have been grouped into 12 different groups (Nix, 1982) based on ecological criteria in order to reconstruct the past vegetation and diagram was made with using Matlab program (Figure 4):

(1) Megathermic (tropical) elements: Euphorbiaceae, Rubiaceae, Sapotaceae

(2) Mega-mesothermic (sub-tropical) elements: Taxodiaceae, Engelhardia

(3) Cathaya

(4) Mesothermic (warm-temperate) elements: *Ilex*, *Alnus*, *Liquidambar orientalis*, Anacardiaceae, *Carya*, *Rhus*, *Ulmus*, *Corylus*, Oleaceae, *Zelkova*, *Pterocarya*, *Carpinus betulus*, *Quercus* deciduous type, *Parrotia cf. persica*, *Acer*, *Betula*, *Fraxinus*, *Carpinus orientalis*, Caprifoliaceae, *Juglans*, *Platanus*, *Salix*, *Tilia*, *Fagus*, *Buxus sempervirens*

(5) Pinus

(6) Meso-microthermic (mid-altitudinal trees) elements: *Tsuga*, *Cedrus*

(7) Microthermic (high altitudinal trees) elements: *Abies*, *Picea*

(8) Non-significant: widely distributed cosmopolitan plants such as Rosaceae, Ranunculaceae

(9) Cupressaceae

(10) Mediterranean xerophytes: *Olea*, *Quercus ilex-coccifera* type

(11) Herbs: Poaceae, Asteraceae-Asterioideae, *Geranium*, Ericaceae, Caryophyllaceae, Asteraceae-

Cichorioideae, Amaranthaceae-Chenopodiaceae, *Myriophyllum*, Apiaceae, *Erodium*, *Phlomis*, *Rumex*, Cyperaceae with aquatic herbs such as *Potamogeton*, *Trapa natans*, *Typha*.

(12) Steppes: *Ephedra*

RESULTS AND DISCUSSION

Pollen Analysis

Pollen record covers the Early Miocene sediments from Ermenek (central Taurus, Turkey). Counting results were performed by using TILIA program developed by Grimm (1994), excluding the aquatics (i.e., Cyperaceae). A cluster analysis stratigraphically constrained with using a square root transformation was performed by CONISS (constrained incremental sum-of-squares cluster analysis). The pollen diagram is divided into three local pollen zones and two subzones based on major changes in pollen species as *Pinus*, *Cedrus*, *Abies* and cluster analysis of pollen record performed by CONISS program (Grimm, 1987).

Pollen zone Er-1 (0.5-4.4 m)

Er1 pollen zone is characterized by coniferous trees. In this forest assemblages, microthermic trees such as *Abies* and *Picea* and among meso-microthermic trees, *Cedrus* are abundant in this zone with *Cathaya* (4.5-7.8%). Additionally, *Pinus* is also frequent in the zone and reaches up 88 % towards to upper part of this pollen zone. Among the other forest communities, *Liquidambar orientalis*, deciduous *Quercus*, *Ulmus* and *Rhus* are prominent in the sediments (Figure 5). The resting pollen spectra comprises of Cupressaceae and herb communities. Cupressaceae reach up to 2.6% at 2 m at the lower part of the Ermenek section (Figure 5). Herbaceous assemblages are represented by Poaceae, Asteraceae-Asterioideae, *Potamogeton*, *Geranium*, Ericaceae, Caryophyllaceae, Asteraceae-Cichorioideae, Amaranthaceae-Chenopodiaceae, *Myriophyllum*, *Trapa natans*, Apiaceae, *Erodium*, *Typha*, *Phlomis*, *Rumex* and Cyperaceae. In these assemblages, Poaceae are prominent and vary between 1.2 and 7% in this zone (Figure 5).

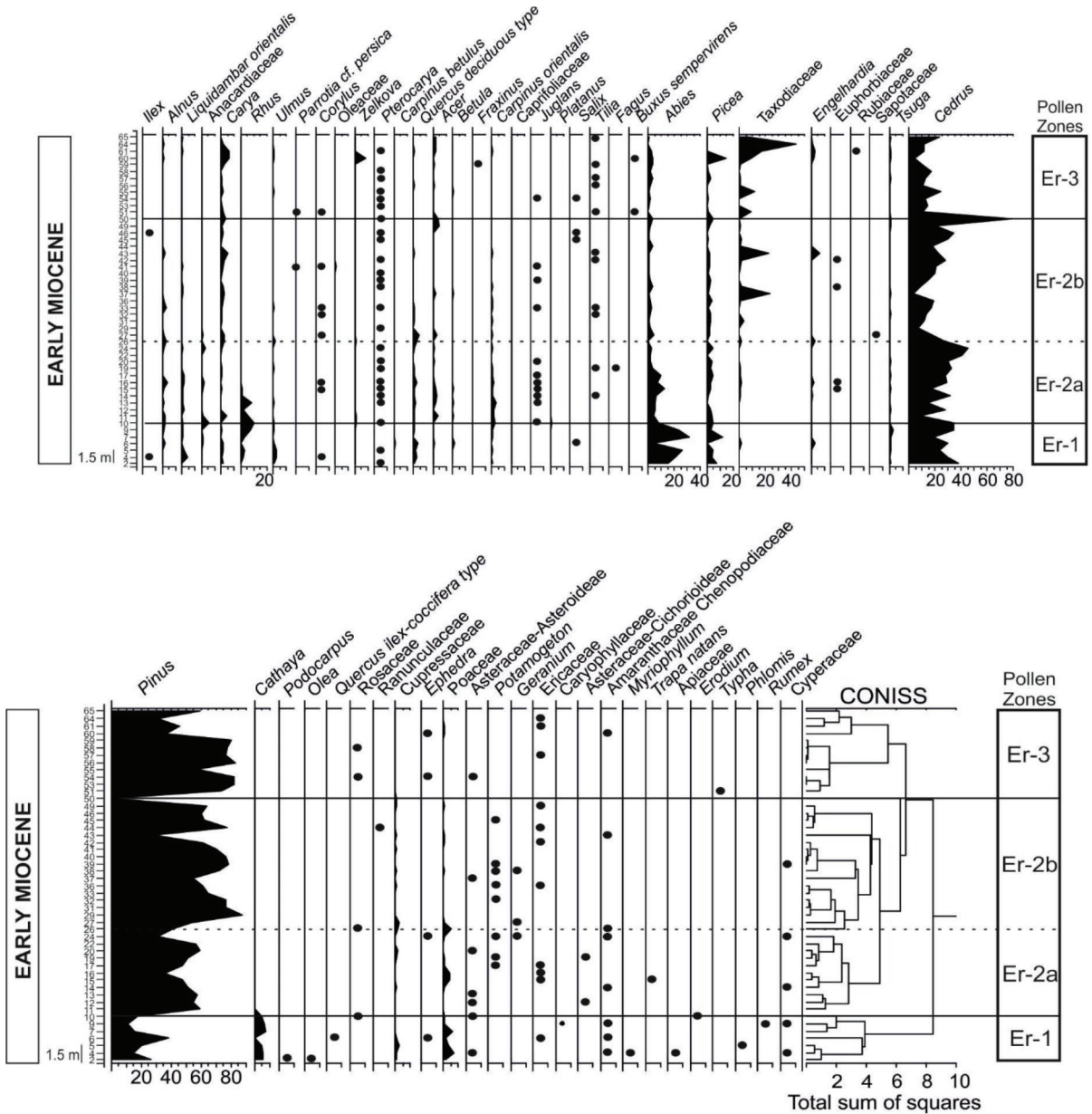


Figure 5. Detailed pollen diagram of the Ermenek Basin. Cyperaceae were excluded, but calculated according to total pollen sum. Pollen zones were done using CONISS in Tilia program (Grimm, 1987). The black dots indicate values are < 1%.

Şekil 5. Ermenek Havzası'nın detaylı polen diyagramı. Cyperaceae hariç tutulmuş fakat toplam polen dağılımına göre yüzdesi hesaplanmıştır. Polen zonları Tilia programında CONISS kullanılarak belirlenmiştir (Grimm, 1987). Siyah noktalar değerlerin < 1'den küçük olduğunu göstermektedir.

Pollen zone Er-2 (4.4-23 m)

This zone is represented by *Cedrus*, Taxodiaceae and *Pinus*. The pollen zone Er-2 is divided by two sub zones which are labeled as Er-2a (4.4-11.5 m)

and Er-2b (11.5-23 m). *Alnus* is observed frequently. Anacardiaceae are abundant at the beginning of the subzone Er-2a at 4.4 m (Figure 5). *Carya* increases in this zone, especially in subzone Er-2b. *Rhus* continues to increase in bottom of the subzone Er-2a,

but in subzone Er-2b starts to decrease and its last appearance is recorded at 14.5 m. *Acer* increases and varies between 0.1 and 4.5%. *Abies* decreases in the zone with *Picea*, but is still prominent in the sediments. Taxodiaceae are abundant and occur over 20% at 20 m and 16.65 m. *Cedrus* increases at 23 m up to 78.9% in the upper level of the zone (Figure 5). *Cathaya* is only recorded at 4.4 m in the subzone Er-2a. *Pinus* increases and reaches up to 88% at 13 m. Among herb communities, Poaceae are still detected in the most of the samples, but in minor quantities (Figure 5).

Pollen zone Er-3 (23-30 m)

Pollen zone Er-3 is dominated by Taxodiaceae and pine trees such as *Pinus* (Figure 5). *Cedrus* slightly declines but is still prominent in the sediments. *Pinus* is very abundant and increases according to previous zone. While *Abies* continues to decrease in this zone, *Picea* makes a peak at 28.15 m, but in the resting sediments of this zone, it has low values. Beside coniferous trees, Taxodiaceae forest are also abundant and reach up about 43% at 29.75 m in the zone. *Acer* is still prominent in this zone mesothermic trees are well recorded as well. They are constituted by *Liquidambar orientalis*, Anacardiaceae, *Rhus*, *Corylus*, Oleaceae, *Pterocarya*, *Carpinus betulus*, *Quercus* deciduous type, *Acer*, *Betula*, Caprifoliaceae, *Juglans*, *Platanus*, *Tilia*, *Fagus* and *Buxus sempervirens* with some riparian trees such as *Alnus*, *Salix*, *Fraxinus*, *Carpinus orientalis*, *Carya*, *Zelkova* and *Ulmus*, etc.

The Evaluation of Vegetation Cover and Climate

The paleoecological data from lacustrine basin in Ermenek, reflect that the Early Miocene vegetation has a mosaic of vegetation types. The Ermenek flora is dominated by coniferous woodland. In this forest assemblages, *Cedrus* is regularly abundant, with other coniferous trees such as *Cathaya*, *Tsuga*, *Abies* and *Picea* (Biltekin et al., 2015). *Cedrus* needs to be mentioned due to abundance and their morphological characters in Ermenek area (Figure 4 and Figure 5). Today, *Cedrus* is distributed in the Eastern Mediterranean, in the Northern Africa and in the Western Himalaya today (Quézel and Médail, 2003). Cedar trees includes four species consisting of *Cedrus deodara*, *Cedrus atlantica*, *Cedrus libani*

and *Cedrus brevifolia*. According to genetic studies on *Cedrus*, firstly *Cedrus deodara* (Himalayan cedar) diverged and then *Cedrus atlantica* (North African cedar) separated from its ancestor of *Cedrus libani* and *Cedrus brevifolia* (Qiao et al. 2007). The molecular clock estimates display that separation between *C. atlantica* and Eastern Mediterranean species took place at 23.49 ± 3.55 to 18.81 ± 1.25 Ma. The divergence occurs between *C. libani* and *C. brevifolia* at 7.83 ± 2.79 to 6.56 ± 1.20 Ma (Qiao et al., 2007). The earliest fossil wood record of *Cedrus* was found in Kamchatka (Russia) (Blokhina et al., 1998, 2005, 2007). The coming of *Cedrus* to Himalaya would not have been before the Miocene, and to North Africa during the late Cenozoic (Qiao et al., 2007). According to palynological analysis from Anatolia (Biltekin et al., 2015), it may be considered that *Cedrus* in Ermenek area may belong to the couple *C. Libani-C. brevifolia*. The earlier existence of *Cedrus* goes back to the late Oligocene (Akgün and Sözbilir, 2001; Üçbaş Durak and Akkiraz, 2016). Palynological records from Denizli region (Akgün and Sözbilir, 2001) and in Danişment from Kalkım-Gönen Basin (Üçbaş Durak and Akkiraz, 2016) during the late Oligocene (Chattian) indicate that *Cedrus* existed in Anatolian flora for along time. In these regions, while *Cedrus* occurs with minor amounts in Kalkım-Gönen Basin, it is found with *Pinus* and Fagaceae as a ca. %15 in Denizli. However, the main development of Cedar trees occurred in Central Taurus, in Ermenek during the Early Miocene. During this time, *Cedrus* is recorded abundantly. These pollen records show that *Cedrus* survived in Anatolia since late Oligocene (Akgün and Sözbilir, 2001; Üçbaş Durak and Akkiraz, 2016) and from early miocene to present (Biltekin et al., 2015) with changing amount. The long time presence of Cedar trees in ancient Anatolian flora indicates that coniferous forest occupied in the nearby mountain range with cooler climate. *Cathaya*, is a gymnosperm in Pinaceae family, today it is living in the tropical southern China between 900 and 1900 m (Liu et al., 1997). *Cathaya* is only observed in the lowermost part of the section with prominent values. Deciduous-evergreen mixed forest developed at higher altitude, with comprising of *Engelhardia*, *Carpinus orientalis*, *Carpinus betulus*, *Fagus*, *Acer*. In this forest community, riparian plants also formed such as *Alnus*, *Salix*, *Fraxinus*, *Zelkova*, etc., and shrub associations were composed of Caprifoliaceae, *Ilex*, Rosaceae and Ericaceae.

Rhus is a warm-temperate tree, belongs to Anacardiaceae family and abundant with *Cathaya* at the lowerpart of the Ermenek section (Figure 5). *Rhus* was extensively scattered in Eastern Asia, Europe and North America during the Eocene and Miocene (Yi et al., 2004). *Rhus*, probably, developed on well-drained slopes around paleolake in Ermenek during the Early Miocene. Sub-tropical trees, particularly, such as Taxodiaceae give a peak in the upper part of the section (Figure 4). This suggests that climate started to turn warm and humid while high and middle altitudinal trees decline. This swamp forest generally requires very humid conditions during all the year (Wang, 1961). Herb assemblages are characterized by Poaceae, Asteraceae Asteroideae, Asteraceae Cichorioideae, Amaranthaceae-Chenopodiaceae, *Potamogeton*, Ericaceae, etc. with low percentages in the section. In herb communities, only, Poaceae are prominent in the pollen spectra. The low representation of herbaceous and steppe plants indicate that the climate was not arid in the lake environment during the Early Miocene and land cover was mostly forest. Non-significant plants are generally preserved poorly. While some of them are cosmopolitan, the others are widely distributed plants such as Ranunculaceae and Rosaceae (Figure 5). Palynological studies belonging to the Early Miocene from another localities in Turkey indicate that climate was warm and humid by the occurrence of tropical and sub-tropical trees (Akgün et al., 2007; Yavuz-Işık et al., 2010; Yavuz-Işık, 2008). However, vegetation cover has a different history in Ermenek region, chiefly constituted of coniferous trees signing cooler climate during the Early Miocene. The similar trend was observed by Üçbaş Durak and Akkiraz (2016) in Kalkım-Gönen Basin. Here, the pollen record of Danişment section exhibits that presence of coniferous forest suggesting cooler climate in that region in the late Oligocene (Chatian) (Üçbaş Durak and Akkiraz, 2016). The oxygen isotope record of deep sea benthic foraminiferal data ($\delta^{18}\text{O}$) shows an increase, corresponding to first Early Miocene glaciations (Miller et al., 1991; Billups et al., 2002). Moreover, climatical variations from the late Oligocene to the earliest Miocene was associated with orbital forcing (Zachos et al., 2001). This is followed by warmth during the late Early Miocene. These global signals are also well associated with Ermenek pollen data. While coniferous

trees reflect cooler climate in the most of Ermenek section, towards to the upper part of section, an increase in subtropical and warm-temperate trees suggest that climate slightly turned to the warmer conditions in the region.

CONCLUSION

The palynological analysis of the Ermenek Basin enable us to visualize paleovegetation and paleoclimate during the Early Miocene. The pollen record indicates that Ermenek flora comprises of mainly middle- and high-altitudinal trees. In these tree community, Cedar trees (*Cedrus*) are abundantly detected in the sediments with *Abies* (Firs) and *Picea* (Spruce). *Cathaya*, is a coniferous (pine) tree, is living southern tropical China today. *Cathaya* is prominent at the lowermost part of the Ermenek section. However, it decreases towards to up in the section. The abundance of coniferous trees shows that the climate was cool during the deposition of sediments in the most of the Ermenek section. In contrast to this, sub-tropical trees (mega-mesothermic plants) increase at the upper most parts of the Ermenek section with warm-temperate trees. This may be occurred by changing climate conditions turning to warmer and humid climate in the region. The low presence of herbaceous taxa imply that vegetation was constituted by mainly forests in Ermenek during the Early Miocene. Another noteworthy result, the common appearance of *Cedrus* remarks that cedar trees can be ancient element in Anatolian flora since 23 Ma.

ACKNOWLEDGEMENTS

I would like to thank to C. Messina and the late D. Joly, for providing samples from Ermenek. I would like to thank Funda Akgün and Mehmet Serkan Akkiraz for their valuable comments on the manuscript, which greatly improved the article.

REFERENCES

- Akgün, F., and Sözbilir, H., 2001. A palynostratigraphic approach to the SW Anatolian molasse basin: Kale-Tavas molasse and Denizli molasse. *Geodinamica Acta*, 14, 71–93.
- Akgün, F., Kayseri, M.S., Akkiraz, M.S., 2007. Palaeoclimatic evolution and vegetational chan-

- ges during the Late Oligocene–Miocene period in the Western and Central Anatolia (Turkey). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 253, 56–106.
- Akkiraz, M.S., Akgün, F., Utescher, T., Bruch, A.A., Mosbrugger, V., 2011. Precipitation gradients during the Miocene in Western and Central Turkey as quantified from pollen data. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 304, 276–290.
- Akman, Y., Quézel, P., Ketenoglu, O., Kurt, F., 1993. Analyse syntaxonomique des forêts de Liquidambar orientalis en Turquie. *Ecologia Mediterranea*, 19, 49–57.
- Becker-Platen, J.D., Benda, L., Sickenberg, O., Tobien, H., 1974. Saugerfaunen und Neogen-Stratigraphie in Zentral- und West-Anatolien (Türkei). *Memoires du B.R.G.M.* 81–88.
- Becker-Platen, J.D., Benda, L., Steffens, P., 1977. Litho- und biostratigraphische Deutung radiometrischer Altersbestimmungen aus dem Jungtertiär der Türkei. *Geologische Jahrbuch B25*, 139–167.
- Billups, K., Channell, J. E. T., Zachos, J., 2002. Late Oligocene to Early Miocene geochronology and paleoceanography from the subantarctic South Atlantic. *Paleoceanography*, 17, 1,1004.
- Biltekin, D., Popescu, S.M., Suc, J.P., Quézel, P., Jiménez- Moreno, G., Yavuz, N., and Çağatay, M.N., 2015. Anatolia: a long-time plant refuge area documented by pollen records over the last 23 million years. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 215, 1–22.
- Blokhina, N. I., 1998. Fossil wood of Cedrus (Pinaceae) from the Paleogene of Kamchatka. *Paleontological Journal*, 32, 532–538.
- Blokhina, N. I., 2005. Fossil wood from the Paleogene of Russian Far East. XVII International Botanical Congress – Abstract 6.6.2 (P99).
- Blokhina, N. I., Afonin, M. A., 2007. Fossil wood Cedrus penzhinaensis sp. Nov. (Pinaceae) from the Lower Cretaceous of north-western Kamchatka (Russia). *Acta Palaeobotanica*, 47, 2, 379–389.
- Cour, P., 1974. Nouvelles techniques de détection des flux et de retombées polliniques: étude de la sédimentation des pollens et des spores à la surface du sol. *Pollen et Spores*, 16, 1, 103–141.
- Demirel, I.H., 2004. Petroleum systems in the eastern and central Taurus region, Turkey. *Marine and Petroleum Geology*, 21, 1061–1071.
- Grimm, E.C., 1987. CONISS: a Fortran 77 program for stratigraphically constrained cluster analysis by the method of incremental sum of squares. *Computers and Geosciences*, 13, 13–35.
- Grimm, E., 1994. TILIA and TILIAGRAPH pollen diagramming program. Illinois State Museum, Springfield, IL.
- Huang, T.C., 1972. Pollen flora of Taiwan. (Taipei) National Taiwan University, Botany Department Press.
- Ilgar, A., Nemeč, W., 2005. Early Miocene lacustrine deposits and sequence stratigraphy of the Ermenek Basin, Central Taurides, Turkey. *Sedimentary Geology*, 173, 233–275.
- Jiménez-Moreno, G., Popescu, S.-M., Ivanov, D., Suc, J.-P., 2007. Neogene flora, vegetation and climate dynamics in Central Eastern Europe according to pollen records. In: Williams, M., Haywood, A., Gregory, J., Schmidt, D.N. (Eds.), *Deep-Time Perspectives on Climate Change. Marrying the Signal from Computer Models and Biological Proxies*. The Micropaleontological Society, The Geological Society, London Special Publications, 393–406.
- Jiménez-Moreno, G., Alçiçek, H., Alçiçek, C.M., van den Hoek Ostende, L., Wesselingh, F.P., 2015. Vegetation and climate changes during the late Pliocene and Early Pleistocene in SW Anatolia, Turkey. *Quaternary Research*, 84, 448–456.
- Kayseri-Özer, M.S., 2014. Spatial distribution of climatic conditions from the Middle Eocene to Late Miocene based on palynoflora in Central, Eastern and Western Anatolia. *Geodina-mica Acta*, 26, 122–157.
- Koç, A., Kaymakci, N., van Hinsbergen, D.J.J., Kuiper, K.F., Vissers, R.L.M., 2012. Tectono-Sedimentary evolution and geochronology of the Middle Miocene Altınapa Basin, and

- implications for the Late Cenozoic uplift history of the Taurides, southern Turkey. *Tectonophysics*, 532–535, 134–155.
- Liu, Y.S., Zetter, R. and Fergusson, D.K., 1997. Fossil pollen grains of *Cathaya* (Pinaceae) in the Miocene of eastern China. *Mededelingen Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen*, 58, 227–235.
- Miller, K. G., Feigenson, M., Wright, J. D. and Clement, B., 1991. Miocene isotope reference section, Deep Sea Drilling Project Site 608: an evaluation of isotope and biostratigraphic resolution. *Palaeoceanography*, 6, 33–52.
- Nix, H., 1982. Environmental determinants of biogeography and evolution in Terra Australis. In: Barker, W.R., Greenslade, P.J.M. (Eds.), *Evolution of the Flora and fauna of Arid Australia*. Peacock Publishing.
- Özgül, N., 1976. Torosların bazı temel jeoloji özellikleri. *Bulletin of Geological Society, Turkey*, 19, 65–78.
- Pagani, M., Arthur, M. A. and Freeman, K. H., 1999. Miocene evolution of atmospheric carbon dioxide. *Paleoceanography*, 14, 3, 273–292.
- Potter, P.E., Szatmari, P., 2009. Global Miocene tectonics and the modern World. *Earth-Science Reviews*, 96, 279–295.
- Reille M., 1992. Pollen et spores d'Europe et d'Afrique du Nord. *Laboratoire de botanique historique et de palynologie*, Marseille, France.
- Reille M., 1995. Pollen et spores d'Europe et d'Afrique du Nord. *Laboratoire de botanique historique et de palynologie-Supplément 1*, Marseille, France.
- Reille M., 1998. Pollen et spores d'Europe et d'Afrique du Nord. *Laboratoire de botanique historique et de palynologie-Supplément 2*, Marseille, France.
- Qiao, C.Y., Ran, J.H., Li, Y. and Wang, X.Q., 2007. Phylogeny and Biogeography of *Cedrus* (Pinaceae) Inferred from Sequences of Seven Paternal Chloroplast and Maternal Mitochondrial DNA Regions. *Annals of Botany*, 100, 573–580.
- Quézel, P., and Barbero, M., 1985. Carte de la végétation potentielle de la région méditerranéenne. Feuille n° 1: Méditerranée orientale. Editions du Centre National de la Recherche Scientifique, Paris.
- Quézel, P., and Médail, F., 2003. *Ecologie et biogéographie des forêts du bassin méditerranéen*. Elsevier, Paris.
- Suc, J.P., 1984. Origin and evolution of the Mediterranean vegetation and climate in Europe. *Nature*, 307, 5950, 429–432.
- Suc, J.P., Popescu, S.M., 2005. Pollen records and climatic cycles in the North Mediterranean region since 2.7 Ma. *Geological Society London Special Publications*, 247, 147–158.
- Uchman, A., Nemeček, W., Ilgar, A., Messina, C., 2007. Lacustrine Trace Fossils and Environmental Conditions in the Early Miocene Ermenek Basin, Southern Turkey. *Annales Societatis Geologorum Poloniae*, 77, 123–139.
- Üçbaş Durak, S.D. and Akkiraz, M.S., 2016. Late Oligocene–Early Miocene palaeoecology based on pollen data from the Kalkım-Gönen Basin (Northwest Turkey). *Geodinamica Acta*, 28, 4, 295–310.
- Wang, C.W., 1961. *The forests of China with a survey of grassland and desert vegetation*. Maria Moors Cabot Foundation, vol. 5. Harvard University, Cambridge, Massachusetts.
- Yavuz-İşık, N., 2007. Pollen analysis of coal-bearing Miocene sedimentary rocks from the Seyitömer Basin (Kütahya), Western Anatolia. *Geobios*, 40, 701–708.
- Yavuz-İşık, N., 2008. Vegetation and climatic investigations in the Early Miocene lacustrine deposits of the Güvem Basin (Galatean Volcanic Province), NW Central Anatolia, Turkey. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 150, 130–139.
- Yavuz-İşık, N., Toprak, V., 2010. Palynostratigraphy and vegetation characteristics of Neogene continental deposits interbedded with the Cappadocia ignimbrites (Central Anatolia, Turkey). *International Journal of Earth Sciences*, 99, 1887–1897.
- Yavuz, N., Culha, G., Demirer, S.S., Utescher, T., Aydın, A., 2017. Pollen, ostracod and stable isotope records of palaeoenvironment and climate: Upper Miocene and Pliocene of the

- Çankırı Basin (Central Anatolia, Turkey). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, Volume 467, 149–165.
- Yi, T., Miller, A.J., Wen, J., 2004. Phylogenetic and biogeographic diversification of *Rhus* (Anacardiaceae) in the Northern Hemisphere. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 33, 861–879.
- Zachos, J., Pagani, M., Sloan, L. and Billups, K., 2001. Trends, rhythms, and aberrations in global climate 65 Ma to present. *Science*, 292, 686–693.

YAZIM KURALLARI

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 “Başvurulacak 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 Editörler 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 değerlendirirken 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.

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.

YAZILARIN GÖNDERİLMESİ

Yazılar e-posta ile gönderilir. Gönderiler “Kapak Dosyası” ve “Ana Dosya” olmak üzere iki Word dosyası halinde olmalıdır. Kapak dosyası içerisinde tüm yazarların iletişim (adres, e-posta, telefon numarası) bilgileri bulunmalıdır. Ana dosya başlık, öz, anahtar kelimeler, metnin ana gövdesi, sonuçlar, teşekkür ve referansları içeren dosyadır. Çizelgeler ve açıklamaları, şekiller dizini ve şekiller de ana dosya içinde en sonda sıralanmalıdır. Ana dosyada tüm metne satır numarası verilmelidir. Ayrıca başlığın, şekil alt yazılarının ve çizelge açıklamalarının İngilizce çevirileri de eklenmelidir (İngilizce yazılan makaleler için ise Türkçe çevirileri eklenmelidir). Ana dosya yazım kurallarına uygun şekilde düzenlenmiş olmalıdır. Dosyalar Word dosyası olarak hazırlanmalıdır.

Editörlük makalelerin kaybolmasıyla ilgili herhangi bir sorumluluk almayacağı için, yazarlar yazılarının bir kopyasını muhafaza etmelidirler.

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 adresi (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
- Ekler (gerekliyse)
- 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 virgül 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) ve 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 virgül 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). İki den 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 virgül konmalıdır (örneğin; Vendeville vd., 1995 veya Vendeville et al., 1995).

Metin içinde kaynaklara atıfta bulunurken, kaynaklar en eski tarihten 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 örneklerle 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., Dictrich, 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 Belirtine

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 dayandırılarak birbirini izleyen bir sırayla parantez içinde, ayrıca eşitliklerdeki sembollerin anlamı makalede ilk kez kullanıldıkları eşitliğin altında verilmelidir.

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

Burada; t makaslama dayanımı, c kohezyon, σ normal gerilme ve ϕ 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; scmass = scs0.5). 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; II: 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 şekil numarası 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 yer almalıdır. Fotoğraflar, çizimler veya bunların birlikteliğinden oluşan şekiller (a), (b) vb. gibi gruplar halinde verilebilir. Bu tür sunumlarda (örneğin; Şekil 5a ve 5b) a, b, c vb. gibi tek bir şekle ait çizimler veya fotoğraflar ayrı sayfalarda olması yerine, gruplandırılarak aynı sayfada sunulmalıdır. Şekillerde açık gölge ve tonlarından kaçınılmalı, özellikle bilgisayar programlarından elde edilen gra-

fiklerde 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.

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 her bir şekil 300 dpi'den az olmamak koşuluyla JPG olarak ayrı sayfalarda yer almalıdır.

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 edilmeyeceği için, yazarların prova baskıları göndermeden çok dikkatli şekilde kontrol etmeleri önerilir.

TELİF HAKLARI

Yazar veya Başvurulacak Yazar (birden fazla yazarlı makalelerde), kendisi ve diğer yazarlar adına "Telif Hakkı Devir Formu"nu makalenin baskıya verilmesinden önce imzalamalıdır. Bu sözleşme, Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma 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.

Baş Editör

Doç. Dr. Elif VAROL MURATÇAY

Yerbilimleri Dergisi

Adres: Hacettepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Beytepe Kampüsü, 06800 Çankaya, Ankara

E-posta: yerbilimleri@hacettepe.edu.tr

Tel: 0 312 2977744

Fax: 0 312 2992075

INSTRUCTIONS FOR CONTRIBUTORS

STATEMENT OF EDITORIAL AND PUBLICATION POLICIES

Manuscripts submitted to YERBİLİMLERİ/Bulletin for 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 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.

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.

SUBMISSION OF MANUSCRIPTS

Submissions could be sending electronically, via the internet. Submissions should be in 2 word files as "Cover Page" and "Main Document". Contact information (e.g., address, e-mail, phone number) of all authors should be in cover page. Main Document is a file that includes title, abstract, keywords, main body, conclusions, acknowledgements, references. Table and figure captions as well as figures should also be at the end of main document. Line numbers should be added in main document. Figure, table captions and title of the manuscript should also be given in English (English manuscripts should contain Turkish title, figure and table captions). Main document should be arranged according to instructions. All files should be prepared as Word documents.

Authors should remain a copy of their manuscript, since the editors cannot accept responsibility for loss of papers.

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 (2.4 kg/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 , $\sqrt{\quad}$) should not be used 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., Dictrich, 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., Törk, 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. Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Ankara (yayımlanmamış).

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.

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

Where τ is the shear strength, c is cohesion, σ is normal stress and, θ 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; II: 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.

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.

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.

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.

Editor-in-Chief

Assoc. Prof. Dr. Elif VAROL MURATÇAY

Yerbilimleri Dergisi/Bulletin for Earth Sciences

Address: Hacettepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Beytepe Kampüsü, 06800 Çankaya, Ankara, Turkey

E-mail: yerbilimleri@hacettepe.edu.tr

Phone: +90 312 2977744

Fax: +90 312 2992075