
YERBİLİMLERİ

Bulletin for Earth Sciences

Cilt / Volume 37 Sayı / No 3 Aralık / December 2016

Editörler Kurulu / Editorial Board

Baş Editör (Editor-in-Chief)

ELİF VAROL MURATÇAY

Editör (Editor)

OKAY ALTUN

İNAN ULUSOY

Yardımcı Editör (Assistant Editor)

BURCU KAHRAMAN

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 Dündar (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 özleri;

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

YERBİLİMLERİ is indexed or abstracted in

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

2016 yılında sunularak sonuçlandırılan makalelerin değerlendirilmesinde katkıda bulunan isimler
Following are the names of the contributors for reviewing the papers submitted to the bulletin in 2016

Ali Muhittin ALBORA, Cihat ALÇİÇEK, Muzaffer Özgü ARISOY, Hamdi Soner ALTUNDOĞAN, Hakan BAŞARIR, Ataç BAŞÇETİN, Ahmet Tuğrul BAŞOKUR, Ziyadin ÇAKIR, Seda YOLSAL ÇEVİKBİLEN, Murat ERCANOĞLU, Ayfer ERKEN, Hamza GÜLLÜ, Selahattin KADİR, Volkan KARABACAK, Himmet KARAMAN, Özgür KARAOĞLU, Abdullah OBUT, Kağan ÖZDEMİR, Çağlar ÖZKAYMAK, Hüseyin ÖZTÜRK, Rahmi PINAR, Jacek PISKOROWSKI, Mehmet Deniz TURAN, Okan TÜYSÜZ, Emin ULUGERGERLİ, Ergin ULUTAŞ, İbrahim UYSAL

ISSN 1301-2894

Kapak

Tasarım : Yağmur İNAL EMİROĞLU
Fotoğrafi Çeken : Yağmur İNAL EMİROĞLU
Karakuş Antiklinali, Kahta (Adıyaman) TÜRKİYE

Cover

Design : Yağmur İNAL EMİROĞLU
Photographed by Yağmur İNAL EMİROĞLU
Karakuş Anticlinal, Kahta (Adıyaman) 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): 20.01.2017

YERBİLİMLERİ

Bulletin for Earth Sciences

Cilt / Volume 37 Sayı / No 3 Aralık / December 2016

İÇİNDEKİLER CONTENTS

Merkezi Kompozit Tasarımı Kullanılarak Bakır Cürufundan Arsenik Liçinin İncelenmesi/ Investigation of Arsenic Leaching From Copper Slag by Using Central Composite Design
Tuğba TÜRK193

Cevher ve Skarn Minerallerinde Yapılan Bir Konfokal Raman Spektroskopisi Çalışması: Dumluca Demir Yatağı (Divriği, Sivas, Türkiye) / A Confocal Raman Spectroscopy Study in Ore and Skarn Minerals: Dumluca Iron Ore Deposit, Sivas, Turkey
Ceyda ÖZTÜRK, Cumhuriyet Ö. KILIÇ, Taner ÜNLÜ203

Küre (Kastamonu) Karmaşığı Ofiyolitik Kayaçları ve Bu Kayaçları Kesen Dasitlerin Kökeni/ Origin of the Ophiolitic Rocks and Crosscutting Dacites from the Küre (Kastamonu) Complex
Ömer Faruk ÇELİK217

Düşük Magnitüdü Kayıtların Yer Hareketi Tahmin Denklemleri Üzerindeki Etkisi: Türkiye için Bir Ön Çalışma / Effects of Low Magnitude Records on Ground-Motion Prediction Equations: A Preliminary Study for Turkey
M. Abdullah SANDIKKAYA237

Gömülü Jeolojik Yapıların Görüntülenmesinde Farklı Sınır Belirleme Yöntemleri / Different Edge Detection Techniques for Imaging Buried Geological Structures
Nihal AKYOL253

Analytic Notch Filter Design Using the Hyperbolic Secant Function / Hiperbolik Sekant Fonksiyonlar ile Analitik Çentik Süzgeç Tasarımı
Ertan PEKŞEN , Fatih SEVİM 271

Manyetotellürik Veri Üzerindeki Deniz Etkisinin İncelenmesi: Düzce Bölgesi Örneği / Investigation of the Sea Effect On Magnetotelluric Data: An Example from Düzce Region, Turkey
Fatih UZUNCA, S. Bülent TANK, Tülay KAYA, Levent GÜLEN 285

Merkezi Kompozit Tasarımı Kullanılarak Bakır Cürufundan Arsenik Liçinin İncelenmesi

Investigation of Arsenic Leaching From Copper Slag by Using Central Composite Design

TUĞBA TÜRK^{1*}

¹Karadeniz Teknik Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, 61080 Trabzon, Türkiye

Geliş (received) : 19 Şubat (February) 2016

Kabul (accepted) : 03 Ağustos (August) 2016

ÖZ

Bu çalışmanın amacı, yüzey yanıt metodolojisi kullanılarak sodyum hidroksit ile bakır cürufundan arsenik liçinin incelenmesidir. Bu işlemin optimizasyonu için Merkez kompozit tasarımı kullanılmıştır. Arsenik liçi üzerine sıcaklığın, sodyum hidroksit derişiminin ve liç süresinin etkileri incelenmiştir. Arsenik liç verimi sıcaklığın artmasıyla artmıştır. NaOH derişiminin etkisi sıcaklık etkisiyle karşılaştırıldığında liç verimi üzerinde daha az etkili olduğu görülmüştür. Liç zamanının etkisi ise verim üzerinde göz ardı edilebilecek seviyededir. Arsenik liç verimi %57.24-%71.4 arasında değişmektedir. Optimum liç verimi, sıcaklığın 90°C, NaOH derişiminin 3 M ve tepkime süresinin 188 dakika olduğu koşulda sağlanmış olup %70 olarak bulunmuştur. Bu çalışmanın sonuçları, sodyum hidroksitin bakır cürufundan arsenik liçi için potansiyel bir çözücü olarak kullanılabilceğini göstermiştir. Regresyon eşitliği ve varyans analizi Design-Expert programı kullanılarak yapılmış olup, 0.954 güven seviyesinde varyans analizi ile elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Alkali liç, arsenik, bakır cürufu, istatistiksel modelleme.

ABSTRACT

The objective of this study was to leach arsenic from copper slag waste with sodium hydroxide by optimizing the leaching process using response surface methodology. For optimization of process, the central composite design was employed. The effects of temperature, sodium hydroxide concentration and leaching time on the leaching of arsenic were investigated. Study proved that, arsenic leaching yield increased with increasing temperature. Compared to the temperature effect, the effect of the NaOH concentration of the leaching yield was found to be less effective. In addition, the effect of leaching time had a negligible effect on the yield. The arsenic leaching yield of copper slag was in the range of 57.24 to 71.4%. The optimum conditions identified for arsenic leaching from copper slag were as follows: sodium hydroxide concentration at 3 M, leaching temperature at 90°C and leaching time of 188 min. Under these conditions, an average leaching yield of 70% was achieved from copper slag. The results of this study showed that NaOH can be used as a potential extractant for removal of arsenic from copper slag. The regression equation and analysis of variance were obtained using Design-Expert. A model was obtained by means of variance analysis at 0.954 confidence level.

Keywords: Alkaline leaching, arsenic, copper slag, statistical modeling.

*T. Türk

e-posta: tugbatürk@yahoo.com.tr

GİRİŞ

Bakır atıkları, demir, kalsiyum oksit, silika vs. gibi bileşenleri içeren bakır cevherlerinin pirometalurjik olarak işlenmesi esnasında oluşmaktadır. Metal üretimi esnasında ton metal başına yaklaşık 2.2 ton atık üretilmektedir (Gorai vd., 2003). Karadeniz Bakır İşletmeleri yıllık bakır cürufu üretim kapasitesi yaklaşık 150.000 tondur. Yılda yaklaşık 1.5-2 milyon ton cüruf ve bakır flotasyon atığı herhangi bir çevresel kirlilik kontrolü yapılmadan Yeşilirmak deltasına boşaltılmaktadır. Bu kadar fazla miktarda atığın depolanması veya bertaraf edilmesi çevre ve yer problemlerine neden olmaktadır (Çoruh vd., 2006). Maden ve metalürjik atıkların çevresel açıdan karakterizasyonu, atıkların potansiyel olarak değerlendirilmesi ve önlemlerin alınması açısından önemlidir. Atıkların tanımlanması için TCLP (Toksosite Karakteristiği Süzme Prosedürü) ve SPLP (Sentetik Yağış Yıkama İşlemi) yaygın olarak kullanılan testlerden bazılarıdır (Townsend vd., 2003). TCLP testinde katı atığın açık arazide maruz kalabileceği şartları benzetmek için organik asitle hazırlanmış çözelti kullanılmaktadır. SPLP testinde ise iki inorganik asitle hazırlanan çözücü asidik yağmur sularını benzetmek için kullanılmaktadır (Lim vd., 2009). Önceki çalışmalarda bakır cürufu TCLP ve SPLP testleri uygulanarak, çevresel açıdan değerlendirilmiştir. TCLP sonuçları bu atıkların "zararsız" olarak sınıflandırılabilirliğini göstermiştir. Ancak, SPLP test sonuçları da dikkate alındığında, atıkta As, Cu, Zn, Pb gibi ağır metallerin oldukça yüksek olduğu görülmüştür (Alp vd., 2008). Yapılan ayrıntılı çalışmalarla izabe tesislerinin çevresindeki toprağın ağır metal kirliliği kanıtlanmıştır (Çubukçu ve Tüysüz, 2007).

Bakır cürufuları; kirliliğin önlenmesi ve/veya atıkların farklı alanlarda değerlendirilebilmesi için çeşitli alanlarda kullanılmaktadırlar. Bir çalışmada bakır cüruf atıkları Portland çimento yapımında demir hammaddesi olarak kullanılmıştır (Alp vd., 2008). Ayrıca arazi ıslahı için dolgu malzemesi (Lim ve Chu, 2006), kahverengi ve siyah pigmentler (Ozel vd., 2006), sinterlenmiş cam-seramik (Çoruh vd., 2006) yapımında kullanımı üzerine çalışmalar bulunmaktadır. Bu atıkların farklı alanlarda değerlendirilmesi planlandığında içinde bulunan çevresel açıdan sorun yaratan bileşenlerinin uzaklaştırılması gerekebilmektedir. Arsenik bu açıdan değerlendirildiğinde çevresel açıdan kullanımını kısıtlayan en önemli bileşenlerden birisi olarak dikkati çekmektedir. Özellikle bakır cürufunun içeriğindeki demir oksit bileşenleri nedeniyle ileriki çalışmalarda arsenik gideriminde kullanılabilecek

ucuz bir yüzey tutucu (adsorbent) olarak kullanıma potansiyelinin bulunması içerisindeki arseniğin uzaklaştırılmasını bir zorunluluk haline getirmektedir.

Arsenik toksik bir kirletici olup zirai işlemler, metalürjik işlemler, fosil yakıtların kullanımı, bakır, nikel, altın madenciliği, cevher zenginleştirme işlemleri, depolama sahası sızıntı suları gibi etkiler ve uygulamalar çevreye yayılmasına sebep olmaktadır (Altundoğan vd., 2000). Arsenik, kurşun, çinko, bakır, demir gibi maddeler içeren toz materyaller, pirometalürjik (Li vd., 2011a) veya hidrometalürjik (Ke vd., 1984) işlemlerle bu maddelerden arındırılabilirler. Arsenik içeren malzemelerden arsenik çıkarımı genellikle kuvvetli asidik veya bazik koşullar altında gerçekleştirilir (Li vd., 2011b). Bazılar, özellikle, belirli mineral veya mineral karışımından istenen veya istenmeyen bileşenlerin etkin şekilde çözündürülmesini sağlamakta olup asitlere göre daha seçicidirler. Sodyum hidroksit, sodyum karbonat, amonyum hidroksit, amonyum karbonat, kalsiyum hidroksit ve sodyum sülfid en yaygın olarak kullanılan bazik çözücülerdir (Bal, 2006). Curreli vd. (2009) alkali NaOH ve Na₂S kullanarak enargit mineralinden seçimli bir şekilde arsenik liçini %98 verimle gerçekleştirmişlerdir. Türk (2016) pirit külü atığından NaOH ile arsenik liçini, 90°C'de 180 dakikada 3 M NaOH derişiminde %92.5 verimle gerçekleştirmişlerdir.

Bu çalışmada, farklı alanlarda kullanılabilmesi için bakır cürufunda bulunan arseniğin, liç ile uzaklaştırılmasındaki optimum şartlar merkezi kompozit tasarımı kullanılarak belirlenmeye çalışılmıştır.

DENEYSEL DİZAYN

Yüzey yanıt metodu (YYM)

Son yıllarda deney tasarımı yöntemleri birçok farklı alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yaklaşımla özellikle çok değişkenli ve birden fazla bağımlı değişkene sahip sistemlerde sorunlar yaşanabilmektedir. Bu durumda, deneysel modeller ve istatistiksel analiz metotları önemli rol oynamaktadırlar. Ortam koşullarının optimizasyonu, verimi artırma ve maliyetini düşürme bakımından büyük avantajlar sağlamaktadır. Bu metotların etkin kullanımı ile işlemin kontrol edilmesi kolay olmaktadır. Bu metodların başında YYM gelmektedir (Myers ve Montgomery, 2002).

YYM hem endüstriyel hem de bilimsel çalışmalarda sıkça kullanılan bir yöntem olarak ön plana

çıkılmaktadır. Bu yöntem matematiksel ve istatistiksel verileri bir arada değerlendirmekte ve optimum deney şartlarını belirlemede son zamanlarda sıkça kullanılmaktadır (Çalban vd., 2006; Mohapatra vd., 2009; Zhang vd., 2010; Turan ve Altundoğan, 2011; Turan vd., 2015). YYM fonksiyonlarının belirlenmesinde en yaygın kullanılan tasarım tipleri tam faktöriyel tasarım, kısmi faktöriyel tasarım ve merkez kompozit tasarımı (MKT) bulunmaktadır (Ito vd., 2001). MKT yönteminde iki faktöriyel nokta mevcuttur bunlar, aksenel noktalar (α) ve merkez noktalarıdır. Yöntemin iki faktöriyel noktaları, bir faktörün + (en yüksek) veya - (en düşük) düzeylerinden oluşur. Aksenel noktalar, deneycinin belirlediği iki düzey noktalarının daha ötesinde olan program tarafından Eşitlik (1) ile belirlenen $+\alpha$ ve $-\alpha$ değerlerdir.

$$\alpha = 2k/4 \text{ (} k \text{ çalışılan bağımsız değişken sayısı)} \quad (1)$$

Merkez noktalar ise deneysel hatayı tahmin etmek için tekrar edilen noktalar. Parametrelerin iki düzey (faktöriyel) noktalarının orta noktalarıdır. Sonuç olarak MKT'de her bir parametrenin beş düzeyi vardır. Bunlar +1 ve -1 ile ifade edilen faktöriyel noktalar $+\alpha$ ve $-\alpha$ ile ifade edilen aksenel noktalar, 0 olarak ifade edilen merkez noktalarıdır. MKT modelinden elde edilen deneysel sonuçlar Eşitlik (2) kullanılarak değerlendirilir.

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i \chi_i + \sum_{i=1}^{k-1} \sum_{j=i+1}^k \beta_{ij} \chi_i \chi_j + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} \chi_i^2 \quad (2)$$

Bu karesel model n tane değişkenin lineer etkilerini, karesel etkilerini ve aralarındaki etkileşimlerini dikkate almaktadır. Bu modelde Y tahmini yanıt, β_0 , sabit katsayı, β_i , lineer katsayı, β_{ij} , i ve j değişkenleri arasındaki etkileşim etkisini ve k faktör sayısını tarif etmektedir (Liu vd., 2011; Khor ve Abdullah, 2012). En küçük kareler yöntemi ile regresyon analizi ile de ikinci derece modeldeki katsayılar tahmin edilerek regresyon denklemi oluşturulmaktadır. Oluşturulan denklem yardımı ile de yanıtlar için tahmini sonuçları elde edilerek, tahminlerin doğruluğu, modelin yeterli olup olmadığı kontrol edilmektedir.

DENEYSEL

Malzemenin tanımlanması

Bu çalışmada, Karadeniz Bakır İşletmeleri'nden (Samsun, Türkiye) elde edilen flash fırın cürufalarının

geri kazanım için kullanılan flotasyon tekniğinin atığından gelen bakır cürufu (BC) kullanılmıştır. Bu atıklar tesisin stok sahasında depolanmaktadır. Çalışma kapsamında stok sahasından temsili numuneler alınmış olup herhangi bir öğütme işlemi uygulanmamıştır. Bakır cürufunun kimyasal bileşimi İndüktif Bağlantılı Plazma-Kütle Spektrometre (ICP-MS) cihazı ile Acme Analiz Laboratuvarında (Çizelge 1), mineralojik bileşimi Rigaku Geigerflex X-Işını Kırınım (XRD) cihazı ile ($\text{Cu } K\alpha=1.54059 \text{ \AA}$, $2\theta=5-65^\circ$) Act Analiz Laboratuvarında ve tane boyut dağılımı Malvern Mastersizer (Hydro MU2000) cihazıyla KTÜ maden mühendisliği bölümünde belirlenmiştir. Brunauer-Emmett-Teller (BET) azot adsorpsiyonu yöntemi BC'nin yüzey alanının saptanması için kullanılmıştır ve özgül yüzey alanı $4.81 \text{ m}^2/\text{g}$ bulunmuştur. Numunedeki ana bileşenler Fe_2O_3 (%59.08) ve SiO_2 (%30.60)' dir. X-ışını kırınım analizinin sonucuna göre numunede fayalit (Fe_2SiO_4), manyetit (Fe_3O_4), kuvars (SiO_2) ve kristobalit ($\text{H}_2\text{O}_5\text{Si}_2$) bulunmaktadır. Tane boyut analizlerinde ise %80'inin geçtiği boyut değerinin 80 mikron olduğu görülmektedir (Şekil 1).

Deneysel yöntem

Arsenik uzaklaştırma testleri bazik çözeltilerde bakır cürufu atıklarının çözülmesiyle gerçekleştirilmiştir. Bakır cürufundan arsenik uzaklaştırılması üzerine liç sıcaklığının (X_1) (60, 70, 85, 90 ve 95°C), başlangıç NaOH derişiminin (X_2) (0.5, 1, 1.75, 2.5 ve 3 M) ve liç süresinin (X_3) (38, 120, 240, 360 ve 440 dk) etkisi 5 seviyede incelenmiştir (Çizelge 2). Tüm deneyler %0.5 katı oranında 300 mL liç çözeltisinde 400 dev/dk değerinde gerçekleştirilmiştir. Ayrıca liç işlemi sırasında buharlaşma kayıplarını önlemek için geri soğutucu kullanılmıştır. Liç sonrasında analiz için alınan örnekler 4000 dev./dk. hızda 15 dk. santrifüjlenmiştir. Daha sonra arsenik derişimleri ICP-MS ile belirlenmiştir.

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

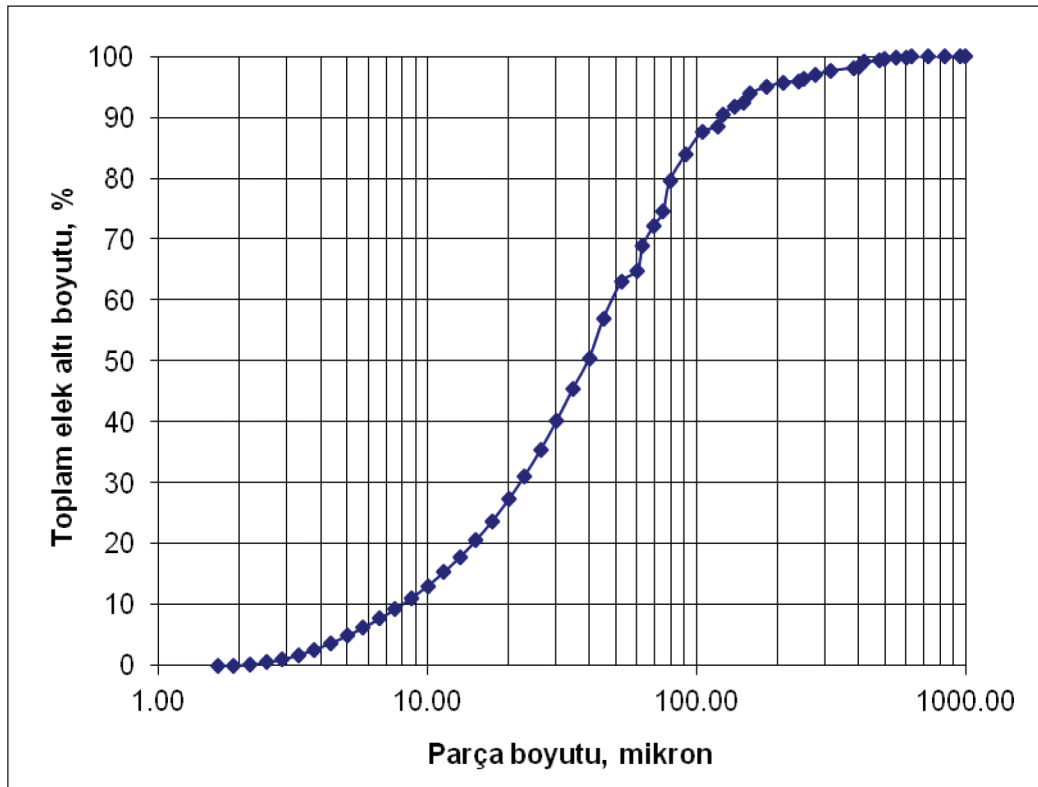
Yüzey yanıt metodu ve tartışma

Deneysel tasarım, 3 faktörlü tam faktöriyel MKT kullanılarak Design-Expert programı ile tasarlanmıştır. Tasarlanan deney şartları ve arsenik liç veriminin deneysel ve tahmini değerleri Çizelge 3'te gösterilmektedir.

Deneylerde liç sıcaklığı $70-90^\circ\text{C}$, NaOH derişimi 1-2.5 M ve tepkime zamanı 120-360 dk aralıklarında

Çizelge 1. Bakır cürufunun (BC) kimyasal bileşimi.
Table 1. Chemical composition of copper slag (CS).

Bileşik/Element	%	Element	%
SiO ₂	30.60	As	0.006
Fe ₂ O ₃	59.08	Mn	0.01
Ca	0.13	Cr	0.01
Al	0.24	Co	0.03
Mg	0.26	Sr	0.001
Cu	0.53	F	0.33
Pb	0.08	S	0.40



Şekil 1. Bakır cürufunun (BC) parça boyut dağılımı.
Figure 1. Particle size distribution of the copper slag (CS).

düşünülmesine rağmen MKT tasarımı kullanıldığında Çizelge 3'ten de görüldüğü gibi inceleme alanının dışında uç noktalarda da inceleme imkanı elde edilmiştir. Çizelge 3'te 8 adet küp nokta, 6 adet aksel nokta ve 2 adet merkez noktası görülmektedir. 16 deneyin son 1 tanesi tekrar deneyi olarak yapılmıştır. Arsenik liç verimi %57.24-%71.4 arasında değişmektedir.

Çizelge 4'te arsenik liçi için varyans analiz değerleri gösterilmektedir.

P>F değeri hangi parametrenin etkin olduğunu göstermektedir. P>F değeri 0.05 küçük olan parametrelerin daha etkin olduğu bilinmektedir (Trinh ve Kang, 2010). Çizelge 4 incelendiğinde X₁ kodlu değerlerin yani sıcaklığın arsenik çözünme verimi üzerinde daha etkili olduğu görülmektedir. Modelin doğruluğu için

Çizelge 2. Deneysel tasarımda kullanılan faktörler ve düzeyleri.
Table 2. Factors and levels used in the experimental design.

Faktörler	$-\alpha$	Düşük Seviye -1	Merkez Nokta 0	Yüksek Seviye +1	$+\alpha$
Sıcaklık, °C (X_1)	63	70	80	90	96.8
NaOH derişimi, M (X_2)	0.48	1	1.75	2.5	3
Liç süresi, dk (X_3)	38	120	240	360	440

Çizelge 3. Deneysel tasarım ve arsenik liç veriminin deneysel ve tahmini değerleri.

Table 3. Experimental design and experimental and estimated values of arsenic leaching efficiency.

Deneysel no	Değişkenlerin kodlu değerleri			Arsenik liç verimi (%)	
	X_1	X_2	X_3	Deneysel	Tahmini
1	-1.00000	-1.00000	-1.00000	57.2440	57.7364
2	1.00000	-1.00000	-1.00000	66.7140	65.0377
3	-1.00000	1.00000	-1.00000	61.5829	61.7984
4	1.00000	1.00000	-1.00000	70.6398	70.2371
5	-1.00000	-1.00000	1.00000	60.6000	60.5616
6	1.00000	-1.00000	1.00000	67.5074	66.8508
7	-1.00000	1.00000	1.00000	61.8143	63.0495
8	1.00000	1.00000	1.00000	71.4095	70.4761
9	-1.68179	0.00000	0.00000	57.4298	56.0846
10	1.68179	0.00000	0.00000	66.5003	68.4693
11	0.00000	-1.68179	0.00000	63.2457	64.1503
12	0.00000	1.68179	0.00000	70.8954	70.6146
13	0.00000	0.00000	-1.68179	61.9133	62.5159
14	0.00000	0.00000	1.68179	65.0714	65.0926
15	0.00000	0.00000	0.00000	64.8084	64.8083
16	0.00000	0.00000	0.00000	64.9152	64.8083

hesaplanan R^2 değerinin en az 0.80 olması gerektiği literatürde belirtilmektedir (Yang vd., 2013). Çalışmada R^2 değeri 0.954 olarak bulunmuştur. Böylelikle modelin uyumunun yüksek olduğu anlaşılmıştır. Arsenik yanıt değerleri için tahmini model denklemi Eşitlik (3)'te verilmektedir.

$$\begin{aligned} \text{Arsenik liç verimi} = & -24.98062 + 1.78407X_1 - \\ & 5.07930X_2 + 0.042747X_3 - 8.94595 \times 10^{-3}X_1^2 \\ & + 1.61830 X_2^2 - 2.45596 \times 10^{-5}X_3^2 + 0.037833X_1X_2 - \\ & 2.11458 \times 10^{-4}X_1X_3 - 4.37500 \times 10^{-3}X_2X_3 \end{aligned} \quad (3)$$

Çizelge 4. Arsenik liçi için varyans analiz değerleri (R^2 : 0.95, R^2_{adj} : 0.89).

Table 4. Analysis of variance values for arsenic leaching.

Kaynak	Kareler toplamı	Serbestleşme derecesi	Kareler ortalaması	F-Değeri	p > F	
Model	273.58	9	30.40	14.03	0.0022	önemli
X_1 -Sıcaklık, °C	11.02	1	11.02	5.08	0.0650	
X_2 -NaOH derişimi, M	1.33	1	1.33	0.61	0.4634	
X_3 -Liç süresi, dk	2.51	1	2.51	1.16	0.3231	
X_1X_2	0.64	1	0.64	0.30	0.6053	
X_1X_3	0.52	1	0.52	0.24	0.6432	
X_2X_3	1.24	1	1.24	0.57	0.4780	
X_1^2	7.41	1	7.41	3.42	0.1138	
X_2^2	7.68	1	7.68	3.54	0.1088	
X_3^2	1.16	1	1.16	0.53	0.4922	
Artan	13.00	6	2.17			

Regresyon analizinden takiben, tahmini değer ile gerçek değerlerin kıyasının gösterildiği grafik çizilmiştir (Şekil 2). Şekil 2'den de anlaşılabilceği gibi gerçek değerlerle tahmini değerler birbiri ile uyumludur.

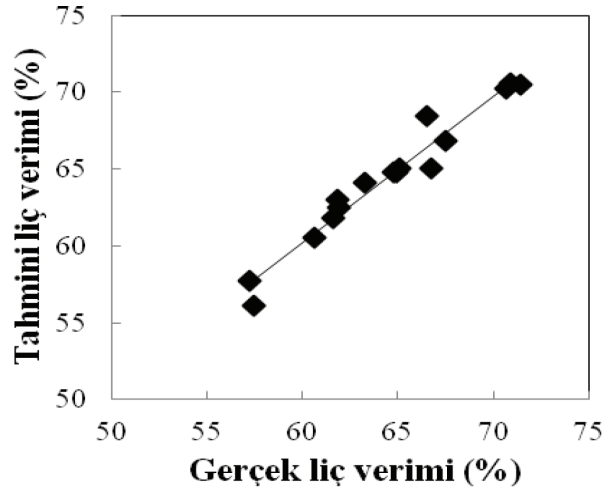
İşlem optimizasyonu

Deneysel çalışmanın istatistik değerlendirme sonrası sonuçların optimize edilmesi gerekmektedir. Optimum liç koşulları, liç etkinliğini maksimize etmek için Design-Expert software kullanılarak belirlenmiştir. Deneysel çalışma sonucunda elde edilen optimum liç koşulları ve muhtemel yanıt değerleri Çizelge 5'te gösterilmektedir. Optimum liç verimi üç deneysel koşul için %70 olarak bulunmuştur. Bu değer tahmini liç verimi ile uyum sağlamaktadır. Optimum şartlar sıcaklığın 90°C, NaOH derişiminin 3 M ve liç süresinin 188.76 dakika olduğu durumda sağlanmıştır. Optimum şartlarda elde edilen arsenik liç verimi üç boyutlu grafiklerle Şekil 3-5'te görülmektedir. Şekil 3'ten de anlaşılabilceği gibi en yüksek liç verimi yüksek sıcaklıklarda elde edilmiştir. Sıcaklık 63°C'den 96°C'ye çıkartıldığında liç verimi %57'den %66.5 değerine yükselmiştir. Türk (2016) yaptığı bir çalışmada bazik liç çözeltilisi ile pirit külünden arsenik liçini yüksek sıcaklıklarda gerçekleştirmiştir. Sonuç olarak sıcaklığın artmasıyla arsenik çözünmesinin

de arttığı belirtilmiştir. Şekil 4'te NaOH derişiminin artmasıyla liç veriminin arttığı görülmektedir. NaOH derişimi 0.48 M'den 3.01 M'e yükseldiğinde liç verimi %63'ten %70 değerine çıkmıştır. Fakat NaOH derişiminin etkisi sıcaklık etkisiyle karşılaştırıldığında liç verimi üzerinde daha az etkilidir. Liç süresinin ise arsenik liç verimi üzerindeki etkisi yok denecek kadar azdır. Liç süresi 38 dakikadan 441 dakikaya arttığında liç verimi %62'den %65'e çıkmıştır.

Sonuçlar

Birden fazla değişkeni olan bir ekstraksiyon çalışmasında yüzey yanıt metodu kullanılarak az sayıda deneysel çalışma ile çok sayıda sonuç elde edilebilmektedir. Ayrıca sonuçlar istatistiksel olarak analiz edilebilmekte ve elde edilen grafiklerle sonuçlar daha sağlıklı bir şekilde değerlendirilebilmektedir. Bu çalışmada ekstraksiyon işleminde kullanılan parametreler, NaOH derişimi, sıcaklık ve liç süresi olarak tespit edilmiştir. NaOH ile liç işlemini etkileyen en önemli parametreler etki sırasına göre, sıcaklık, NaOH derişimi ve liç süresi olarak belirlenmiştir. Yüzey yanıt metodu kullanılarak elde edilen model eşitliği deneysel veriler ile 0.967 korelasyon katsayısı ile iyi bir şekilde uyum sağlamıştır. Arsenik liç verimi %57.24-%71.4 arasında değişmektedir.



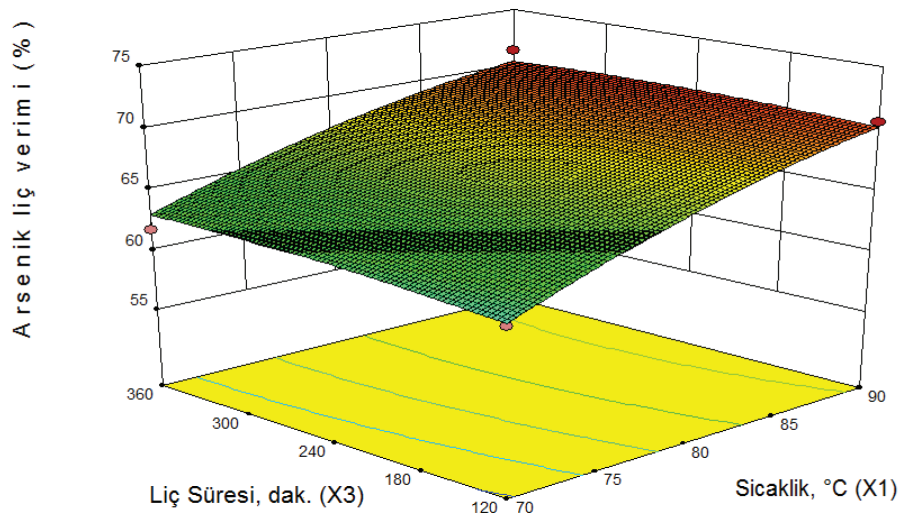
Şekil 2. Deneysel verilerle tahmini model karşılaştırılması.

Figure 2. Comparison model of prediction with the experimental data.

Çizelge 5. Tahmini ve deneysel liç verimi ile optimum liç koşulları ve karşılaştırmalı sonuçları.

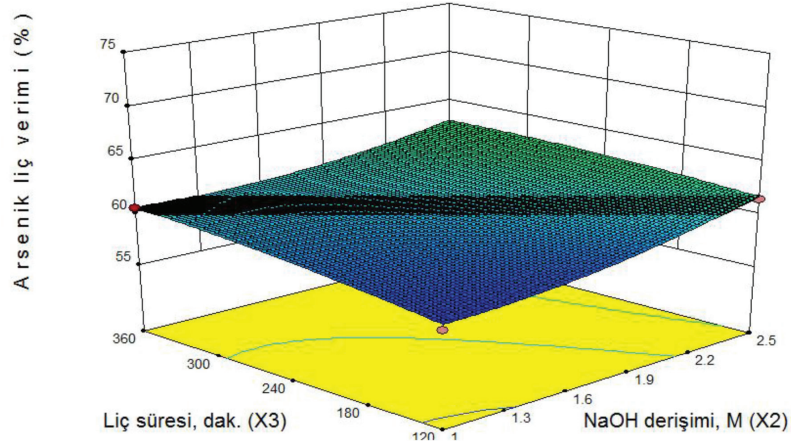
Table 5. Comparative results of estimated and experimental leaching efficiency with optimum leaching conditions.

Sıcaklık (°C, X_1)	NaOH derişimi (M, X_2)	Süre (dk., X_3)	Liç verimi (%)	
			Tahmini	Deneysel
90	3	188.76	73	70

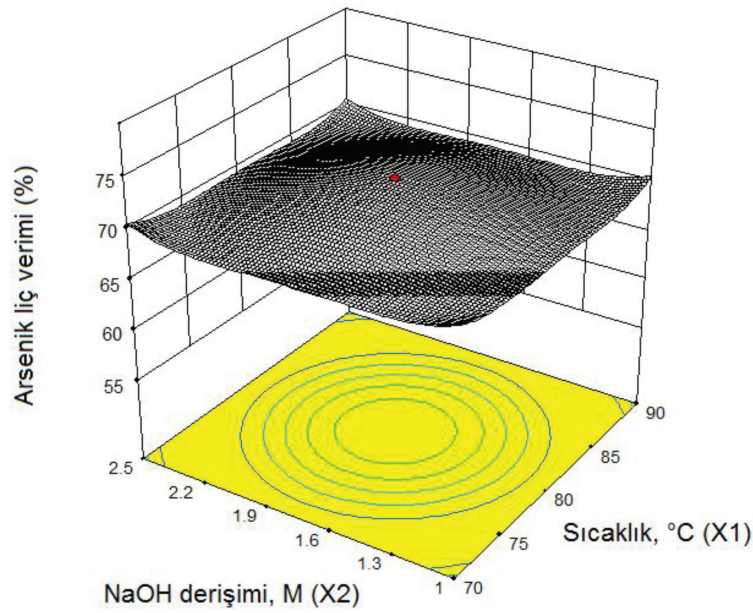


Şekil 3. Sabit NaOH derişiminde (2.5 M) liç süresi ve sıcaklığın arsenik liçine etkisi.

Figure 3. Effect of temperature vs. leaching time on leaching yield at a sodium hydroxide concentration of 2.5 M.



Şekil 4. Sabit sıcaklıkta (90°C) NaOH derişimi ve liç süresinin arsenik liçine etkisi.
Figure 4. Effect of sodium hydroxide concentration and leaching time on leaching yield at 90°C.



Şekil 5. Sabit liç süresinde (360 dk.) sıcaklık ve NaOH derişiminin arsenik liçine etkisi.
Figure 5. Effect of sodium hydroxide concentration vs. temperature on leaching yield at a leaching time of 360 minutes.

Optimizasyon için optimuma yakın parametre aralıkları Design-Expert programında, sıcaklığın 90°C, NaOH derişiminin 3 M ve liç süresinin 188.76 dakika olduğu zamanda sağlanmıştır. Optimum şartların sağlandığı deneysel işlemlerin sonucunda liç verimi %70 olarak bulunmuştur.

KATKI BELİRTME

Yazar Karadeniz Bakır İşletmeleri'ne (Samsun, Türkiye), bakır cüruf numunesinin sağlanmasındaki yardımlarından dolayı teşekkür eder.

KAYNAKLAR

- Alp, I., Deveci, H., and Sungun, H., 2008. Utilization of flotation wastes of copper slag as raw material in cement production. *Journal of Hazardous Materials*, 159, 390-395.
- Altundoğan, H.S., Altundoğan, S., Tümen, F., and Bildik, M., 2000. Arsenic removal from aqueous by adsorption on red mud. *Waste Management*, 20, 761-767.

- Bal, M., 2006. Seyreltik Sulu Çözeltiler Destekli Sıvı Membran İşlemi İle Bakırın Ekstraksiyonu. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, Türkiye.
- Curreli, L., Garbarino, C., Ghiani, M., and Orru, G., 2009. Arsenic leaching from a gold bearing enargite flotation concentrate. *Hydrometallurgy*, 96, 258-263.
- Çalban, T., Çolak, S., and Yeşilyurt, M., 2006. Statistical modeling of Chevreul's salt recovery from leach solutions containing copper. *Chemical Engineering and Processing*, 45, 168-174.
- Çoruh, S.C., Ergun, O.N., and Cheng, T.W., 2006. Treatment of copper industry waste and production of sintered glass-ceramic. *Waste Management Research*, 24, 234-241.
- Çubukçu, A., and Tüysüz, N., 2007. Trace element concentrations of soils, plants and waters caused by a copper smelting plant and other industries, Northeast Turkey. *Environment Geology*, 52, 93-108.
- Gorai, B., Jana, R.K., and Premchand K., 2003. Characteristics and utilisation of copper slag /a review, *Resources. Conservation and Recycling*, 39, 299-313.
- Ito, A., Takachi, T., Kitada, K., Aizawa, J., and Umita, T., 2001. Characteristics of arsenic elution from sewage sludge. *Applied Organometallic Chemistry*, 15, 266-270.
- Ke, J.J., Qiu, R.Y., and Chen, C.Y., 1984. Recovery of metal values from copper smelter flue dust. *Hydrometallurgy*, 12, 217-224.
- Khor, C.Y., and Abdullah, M.Z., 2012. Optimization of IC encapsulation considering fluid/structure interaction using response surface methodology. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 29, 109-122.
- Li, Y., Liu, Z., Li, Q., Zhao, Z., Liu, Z., and Zeng, L., 2011a. Removal of arsenic from Waelz zinc oxide using a mixed NaOH-Na₂S leach. *Hydrometallurgy*, 108, 165-170.
- Li, Y., Liu, Z., Li, Q., Zhao, Z., Liu, Z., and Zeng, L., 2011b. Removal of arsenic from arsenate complex contained in secondary zinc oxide. *Hydrometallurgy*, 109, 237-244.
- Lim, M., Han, G.C., Ahn, J.W., You, K.S., and Kim, H.S., 2009. Leachability of Arsenic and Heavy Metals from Mine Tailings of Abandoned Metal Mines. *International Journal Environment Research, Public Health*, 6, 2865-2879.
- Lim, T.T., and Chu, J., 2006. Assessment of the use of spent copper slag for land reclamation. *Waste Management Research*, 24, 67-73.
- Liu, J., Wen, S., Liu, D., and Lv, M., 2011. Response surface methodology for optimization of copper leaching from a low-grade flotation middling. *Journal of Minerals and Metallurgical processing*, 28, 139-145.
- Mohapatra S., Pradhan N., Mohanty S., and Sukla L.B., 2009. Recovery of nickel from lateritic nickel ore using *Aspergillus niger* and optimization of parameters. *Minerals Engineering*, 22, 311-313.
- Myers R.H., and Montgomery D.C., 2002. *Response Surface Methodology*. John Wiley & Sons, 2. Baskı, New York.
- Ozel, E., Turan, S., Çoruh, S., and Ergun, O.N., 2006. Production of brown and black pigments by using flotation waste from copper slag. *Waste Management Research*, 24, 125-133.
- Townsend, T., Jang, Y.C., and Tolaymat, T., 2003. *A Guide to the Use of Leaching Tests in Solid Waste Management Decision Making*, The Florida Center for Solid and Hazardous Waste Management, University of Florida Gainesville, Report 03-01, Florida.
- Trinh, T.K., and Kang, L.S., 2010. Application of Response Surface Method as an Experimental Design to Optimize Coagulation Tests. *Environmental Engineering Research*, 15, 063-070.
- Turan, M.D., ve Altundoğan H.S., 2011. Hidrometalurjik Araştırmalarda Yanıt Yüzey Yöntemlerinin (YYY) Kullanımı. *Madencilik*, 50, 11-23.
- Turan, M.D., Arslanoğlu, H., and Altundoğan, H.S., 2015. Optimization of the leaching conditions of chalcopyrite concentrates using ammonium persulfate in an autoclave system. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 50, 49-55.
- Türk, T., 2016. Optimization of arsenic removal from pyrite ash by NaOH leaching using central composite design. *Desalination and Water Treatment*, 57, 8575-8582.

Yang, K.D., Ye, X.J., Su, J., Su, H.F., Long, Y.F., Lü, X.Y., and Wen, Y.X., 2013. Response surface optimization of process parameters for reduction roasting of low-grade pyrolusite by bagasse. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 23, 548-555.

Zhang, Z., Peng, J., Srinivasakannan, C., Zang, Z., Zang, L., Fernandez, Y., and Menendez, J.A., 2010. Leaching zinc from spent catalyst: Process optimization using response surface methodology. *Journal of Hazardous Materials*, 176, 1113-1117.

Cevher ve Skarn Minerallerinde Yapılan Bir Konfokal Raman Spektroskopisi Çalışması: Dumluca Demir Yatağı (Divriği, Sivas, Türkiye)

A Confocal Raman Spectroscopy Study in Ore and Skarn Minerals: Dumluca Iron Ore Deposit, Sivas, Turkey

CEYDA ÖZTÜRK¹, CUMHUR Ö. KILIÇ¹, TANER ÜNLÜ¹

¹Ankara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Gölbaşı 50. Yıl Yerleşkesi, Bahçelievler Mh. 06830 Gölbaşı, Ankara

Geliş (received) : 15 Şubat (February) 2016

Kabul (accepted) : 05 Ağustos (August) 2016

ÖZ

Dumluca demir yatağı, Güneş Ofiyoliti'ne ait serpantinitle kesen mafik ve felsik intrüzyon kayalardan oluşan Dumluca Plütunu arasındaki dokanakta yer almaktadır. Yatakta gözlenen ana cevher minerali manyetittir. Yapılan sistematik örnekleme sonucu, intrüzyona yaklaşıldıkça, cevher mikroskobisi ve Konfokal Raman Spektroskopisi verilerine bağlı olarak mineral parajenezinde belirgin farklılıklar saptanmıştır. Yatağın dokanağa uzak kısımlarında serpantinite bağlı kromit ve manyetit oluşumları gözlenirken, dokanağa yaklaştıkça kromitin yok olduğu, buna karşın manyetitin baskın cevher minerali olarak gözleendiği belirlenmiştir. Özellikle dokanaktan alınan cevher örneklerinde yapılan cevher mikroskobisi çalışmalarında manyetit, hematit, pirit, kalkopirit, götit, markazit ve pirotin mineralleri saptanmıştır. Ana cevher minerali olarak gözlenen manyetitler, kenar ve çatlakları boyunca yer yer martitlemiştir. Bazı manyetitler içerisinde özşekilsiz pirit taneleri gözlenmiştir. Boşluk ve çatlaklarda daha genç oluşumlu piritler izlenmiş olup bunlar da yer yer markazite dönüşmüştür. Kalkopiritler özşekilsiz olup kısmen götit ve kovelline dönüşmüştür. Markazitler, piritlerin dönüşüm ürünleri olarak piritlerin kenarlarında gözlenmektedir. Cevher içeren örneklerde yapılan Konfokal Raman Spektroskopisi çalışmalarına göre, Dumluca demir yatağında cevher minerali olarak manyetit (668 cm⁻¹), hematit (1309 cm⁻¹, 406 cm⁻¹, 606 cm⁻¹), götit (411 cm⁻¹, 535 cm⁻¹) ve pirit (378 cm⁻¹, 342 cm⁻¹, 983 cm⁻¹) mineralleri yer almaktadır. Cevher ile birlikte skarn zonlarına özgü diyopsit (682.24 cm⁻¹, 1033.68 cm⁻¹), aktinolit (671 cm⁻¹, 1062 cm⁻¹) ve biyotit-flogopit (678 cm⁻¹, 572 cm⁻¹) mineral parajenezi saptanmıştır. Skarn mineral parajenezinde yer alan diyopsit minerallerinin tremolit ve biyotit (±flogopit) minerallerine dönüştükleri, ayrıca serpantinitle ise genel olarak krizotil (387 cm⁻¹, 690 cm⁻¹) minerallerinden oluştuğu ve serpantinleşme sürecine karbonatlaşma sürecinin eşlik ettiği saptanmıştır. Özellikle intrüzyona yakın kesimlerde manyetit-hematit ve götit dönüşümleri, Konfokal Raman Spektroskopisi kullanılarak belirgin bir biçimde saptanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Dumluca demir yatağı, Dumluca Plütunu, Güneş Ofiyoliti, Konfokal Raman Spektroskopisi, manyetit.

ABSTRACT

Dumluca iron ore deposit is formed in the contact between serpentinites of Güneş Ophiolite and mafic and felsic intrusive rocks of Dumluca Pluton which intrude into serpentinites. Main ore mineral is magnetite. According to systematic sampling of ore deposit, in closer parts to the intrusion, distinct differences in mineral paragenesis have been determined using Confocal Raman Spectroscopy data. In distant parts of the contact, chromite and magnetite are formed within serpentinites whereas in the parts closer to contact, chromite disappears and magnetite becomes the dominant ore in contact. Ore samples from the contact consist of magnetite, hematite, pyrite, chalcopyrite, goethite, marcasite and pyrotine according to ore microscopy studies. Magnetite is the main ore mineral and martite formation occur along the cracks and edges. Anhedral pyrite occurrences can be seen within some magnetites. Also younger pyrite formations in pores and cracks can be seen and they also partly transformed into marcasite. Chalcopyrites are anhedral and partly transformed into goethite and covelline. Marcasites are found in the edges of pyrites as transformation products.

*C. Öztürk

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

Confocal Raman Spectroscopy studies performed on ore samples shows that "Dumluca iron ore deposit" is mainly composed of magnetite (668.81 cm⁻¹), hematite (1309.33 cm⁻¹, 406.43 cm⁻¹, 606.32 cm⁻¹), goethite (411.76 cm⁻¹, 535.12 cm⁻¹) and pyrite (378.89 cm⁻¹, 342.7 cm⁻¹, 983.2 cm⁻¹) as ore minerals. Beside ore minerals, characteristic skarn zone mineral paragenesis diopside (682.24 cm⁻¹, 1033.68 cm⁻¹), actinolite (671.12 cm⁻¹, 1062.3 cm⁻¹) and biotite-phylogopite (678.16 cm⁻¹, 572.33 cm⁻¹) has been identified. Within ore minerals, transformation of magnetite to hematite and hematite to goethite has been figured both in Raman studies and polished section investigations. Also transformation of diopside to tremolite/biotite (\pm phylogopite) has been identified. Moreover, serpentine mineral type has been identified as chrysotile (387.53 cm⁻¹, 690.46 cm⁻¹) and effect of carbonitization has been figured in Raman studies.

Keywords: *Dumluca iron ore deposit, Dumluca pluton, Gunes ophiolite, Confocal Raman Spectroscopy, magnetite.*

GİRİŞ

Divriği bölgesi demir yatakları, Türkiye'nin en önemli demir alt provenslerinden birini oluştururlar. Bölgedeki demir oluşumlarının kökeni ile ilgili tartışmalar halen devam etmektedir (Kovenko, 1937; Gysin, 1938; Wijkerslooth, 1939; 1941; Klemm, 1960; Koşal, 1965; 1971; 1973; Bozkurt, 1980; Ünlü, 1983; Ünlü ve Stendal, 1986; Kuşcu vd., 2002, 2010). 1930'lu yıllardan 1980'li yıllara kadar Divriği bölgesinde yapılan çalışmalarda tüm araştırmacıların birleştiği ortak görüş, Divriği çevresindeki demir oluşumlarının, aynı yörede yer alan granitik kayalar ile doğrudan ilişkili olduğudur (Kovenko, 1937; Gysin, 1938; Wijkerslooth, 1939; 1941; Klemm, 1960; Koşal, 1965; 1971; 1973; Bozkurt, 1980). Divriği demir yatağı dünya literatürüne de kontak-metasomatik kalk-skarn (Bottke, 1981) ve kontak-metasomatik (Petrascheck ve Pohl; 1982) 'Tip Yatak' olarak girmiş ve tanıtılmıştır.

Doğrudan granite bağlı oluşum modeline karşı ilk görüş Ünlü (1983) ile başlar. Ünlü (1983) modeline göre, gerek bazik ve ultrabazik kayaların bünyesinde yer alan magmatik kökenli demir, gerekse serpantinleşme sonucu silikat minerallerinden açığa çıkan demir, Divriği bölgesi demir yataklarını oluşturmuştur. Daha sonraki etkiler, örneğin granitik kayaların oluşturduğu sıcaklık etkisiyle veya tektonik zonlardaki sıcaklık artışları ile oluşan hidrotermal sirkülasyonlarla ortaya çıkan demirin mobilizasyonu sonucu demir cevheri zenginleşmeleri ile yatak son görünümünü kazanmıştır (Ünlü ve Stendal, 1986; 1989a, b; Ünlü vd., 1995).

Daha sonraki yıllarda Kuşcu vd. (2002, 2010), Divriği bölgesi demir yataklarında yapmış oldukları çalışmalarda daha önce pirometasomatik, fels, kalk-skarn veya skarn olarak tanımlanan A-B Kafa cevherleşmelerinin, alterasyon ürünleri ve cevherleşme biçimleri bakımından, Fe oksit-Cu-Au türü cevherleşmelerle (IOCG) ilişkili olabileceği görüşünü gündeme taşımışlardır.

Divriği bölgesinde, değişik lokasyonlarda, oluşumları açısından farklı özellikler sergileyen bir çok yatağın varlığı bilinmektedir. Bu yataklardan biri de Dumluca demir yatağıdır. Koşal (1971), Dumluca demir yatağı ile ilgili çalışmalar yapmış ve yatağın plaser bir tip oluşuma sahip olduğu belirtmiştir. Yatağın ana cevher mineralinin hematit olduğunu saptamıştır. Bozkurt (1974), Divriği A-B Kafa ve Dumluca yataklarının pirometasomatik tipte olduğunu belirtmiştir. Yıldızeli (1977), Dumluca demir yatağında detaylı çalışma yapmış, yatakta yer alan intrüziflerin asit ve nötr karakterli olduğunu, oluşumun Divriği A-B Kafa yatakları gibi kontak-metasomatik olduğunu belirtmiştir. Doğan vd. (1989), cevher oluşumu olarak A-B Kafa ve Dumluca yataklarının serpantinleşmiş ultrabazik kayalardaki manyetit, granitik intrüzyon ile yan kayaç içinde oluşan sıcak su dolaşımının etkisiyle çözünmesi ve kontak felsler içine metasomatoz yoluyla yerleşmesi şeklinde kabul etmişlerdir. Dumluca demir yatağında granitik kayalar, serpantinleşmiş ultramafik kayaları kesmekte ve granitik kayalar ile serpantinleşmiş ultramafik kayaların dokanaklarında yüksek tenörlü (%57 Fe), 8 milyon tonluk bir yatağın varlığı bilinmektedir (Koşal, 1971). Günümüzde yatakta üretim yapılmamaktadır.

Bu çalışmanın amacı, Dumluca yatağından alınan yan kaya ve cevher örnekleri üzerinde gerçekleştirilen Konfokal Raman Spektroskopi çalışmalarından elde edilen verilerin, saha gözlemleri ve cevher mikroskopi çalışmaları ile birlikte yorumlanması ile, hem yan kayaç, hem de intrüzyona yaklaştıkça cevher minerallerinde gözlenen dönüşümlerin ortaya konularak Divriği bölgesinde yer alan benzer demir cevherleşmelerini etkileyen ya da oluşumuna neden olan magmatik-hidrotermal sistemlerin cevher oluşumundaki etkilerini ortaya çıkarmaktır.

BÖLGESEL JEOLJİ

Dumluca demir yatağı, Ketin (1966)'e göre Toridler içerisinde, Şengör ve Yılmaz (1981)'a göre Torid

Anatolid Platformu ve Okay ve Tüysüz (1999)'e göre ise Torid-Anatolid Bloğu içerisinde yer alır. Alpin orojenik kuşağı içerisinde yer alan İç Anadolu bölgesi, Neotetis Okyanusu'nun Mesozoyik-Senozoyik döneminde kapanması ile şekillenmiştir (Ketin, 1966; Şengör ve Yılmaz, 1981; Okay ve Tüysüz, 1999). Neotetis Okyanusu'nun kapanması ile kıta üzerine yerleşen ofiyolitik melanjın gözlemlendiği yerler, bu dalma batma süreci sonucu gelişen İzmir-Ankara-Erzincan Kenet Kuşağı'nın (IAEKK) yerini gösterir ve bu kuşak, Anatolid-Torid platformları arasında yer alır. Divriği bölgesi, Torid tektonik birliği içerisinde bulunmaktadır ve Neotetis Okyanusu'nun kuzey kolunun Geç Kretase'de kapanması ile oluşmuştur (Şengör ve Yılmaz, 1981; Robertson, 2002; Parlak vd., 2006).

Divriği ve yakın çevresinde temeli, Paleozoyik yaşlı, düşük dereceli metamorfizma gösteren, kırıntılı kayalardan oluşan Kangal Formasyonu (Gültekin, 1993) ve bu birimin üzerine tektonik dokanakla gelen Alt Karbonifer-Kampaniyen yaşlı platform kireçtaşlarından oluşan Munzur kireçtaşları oluşturmaktadır (Öztürk ve Öztunalı, 1993; Yılmaz vd., 2001). Bölgedeki temelin üzerinde Alt Maastrichtiyen yaşlı Yeşiltaşyayla Karışığı ve Divriği bölgesinde yer alan demir yataklarının oluşumunda etkin rol oynadığı bir çok araştırmacı tarafından belirtilen, yerleşim yaşı Maastrichtiyen öncesi olan Güneş Ofiyoliti tektonik dokanakla yer alır (Erkan vd., 1978; Bayhan, 1980; Bayhan ve Baysal, 1982; Yılmaz vd., 2001). Tüm bu birimler, Üst Kretase-Pliyosen aralığında çökelmiş farklı sedimanter ve volkanik kayalardan oluşan bir istif tarafından açısız uyumsuzlukla örtülür (Gültekin, 1993; Yılmaz ve Yılmaz, 2004). Bu örtü birimleri, Maastrichtiyen yaşlı volkano-sedimanter istif (Saya Formasyonu) ile, çakıllı, kumlu Eosen birimleri (Kozluca Formasyonu) ve Oligo-Miyosen yaşlı killi kireçtaşı, kumtaşı seviyelerinden oluşmaktadır. Pliyosen birimleri ise, manyetit çakıllı konglomera seviyeleri ve volkanik akıntılar ile tuf, aglomera ve andezitik, bazaltik örtü (Yamadağ Volkanitleri) ile temsil olunur (Gültekin, 1993; Yılmaz vd., 2001) (Şekil 1).

Çalışma alanında gözlenen Murmano ve Dumluca plütonları; Munzur kireçtaşı, Yeşiltaşyayla karışığı, Güneş Ofiyoliti ve Saya Formasyonu'na özgü birimleri sıcak dokanakla kesmektedirler (Yılmaz ve Yılmaz, 2004; Boztuğ ve Harlavan, 2007) (Şekil 2). Bu plütonların egemen kayaç tipi monzonit olup, kuvars-siyenitten başlayıp monzonite, hatta diyorite kadar değişen modal bileşimler sunmaktadır. (Zeck ve Ünlü 1988a, b; 1991). Dumluca ve Murmano plütonları, alkalin karakterli, çarpışma sonrası oluşan, levha

içi karakterli, silikaca aşırı doymun siyenitik, monzonitik plütonik kayaçlar olarak tanımlanmıştır (Boztuğ 1998a, b). Dumluca ve Murmano plütonlarının K-Ar soğuma yaşları, 77 My. (Senomaniyen-Turoniyen) olarak belirlenmiştir (Boztuğ vd., 2007) .

MATERYAL VE YÖNTEM

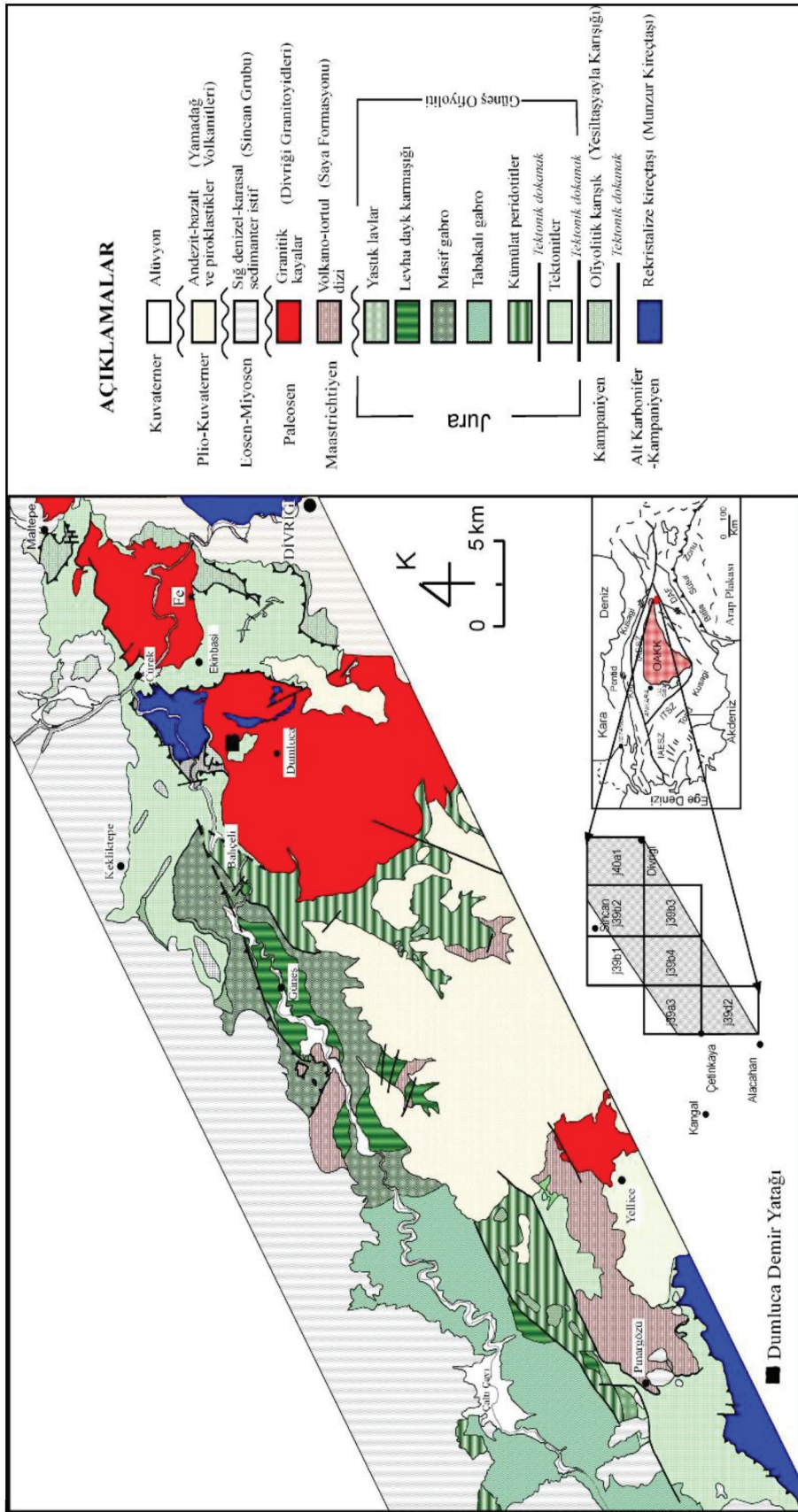
Dumluca sahasında 60 adet el örneğinden 57 adet ince kesit ve 15 adet parlatma Ankara Üniversitesi İnce Kesit Laboratuvarı'nda hazırlanmıştır. Kesitlerin petrografik incelemeleri, Leica DM/LSP marka polarizan mikroskopta, cevher mikroskopisi çalışmaları ise Leitz Ortholux marka üstten aydınlatmalı cevher mikroskopunda yapılmıştır.

Dumluca yatağına ait cevher ve serpantin minerallerinin türü ve dokanak kayalarının mineral parajenezini belirlemek için gerçekleştirilen Konfokal Spektrometre çalışmaları, Ankara Üniversitesi Yer Bilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezinde yer alan Thermo DXR Raman Mikroskobu cihazında gerçekleştirilmiştir.

Konfokal Raman çalışmaları için, örneklerin ince ve parlatma kesitleri üzerinde gerekli görülen mineraller belirlenmiş ve sınırları çizilerek analiz yapılacak spesifik bölge işaretlenmiştir. Analizlerde kullanılan konfigürasyon, 632 nm dalga boyundaki lazer ışınının, 100x objektif altında, 25 um pinhole aperture aralığından örnek üzerine iletilmesi ile gerçekleştirilmiştir. Saçınan ışınlar, CCD dedektör tarafından toplandıktan sonra OMNIC yazılımı aracılığıyla "Raman kayma" değerlerini içeren bir spektrogram olarak kaydedilmiştir. Bu spektrogram üzerindeki Raman kayma değerleri, ölçümü yapılan her numunenin moleküler yapısına göre karakteristik özellik gösterir. Elde edilen spektrogramlar, LabSpec yazılımı ile veri tabanında karşılaştırılarak minerallere ait karakteristikler belirlenmiştir.

MİNERALOJİ-PETROGRAFI

Çalışma alanını oluşturan Dumluca demir yatağı, Sivas ili, Divriği ilçesinin 9 km kuzeybatısında yer alır (Şekil 1). Dumluca yatağı, Güneş Ofiyoliti'ne özgü serpantinleşmiş ultramafik kayalar ile Dumluca Plütonu'na ait felsik ve mafik intrüzif kayaların dokanağında yer alır (Şekil 3 ve 4). Yatağı karakterize etmesi açısından, hem serpantinit, hem magmatik kayaçlar hem de dokanaktan sistematik bir şekilde örnekleme yapılmış ve seçilen taze örneklerde petrografik çalışmalar gerçekleştirilmiştir (Şekil 4).



Şekil 1. Çalışma alanı ve çevresinin jeolojisi haritası (Yılmaz ve Yılmaz, 2004).
Figure 1. Geological map of the study area (Yılmaz and Yılmaz, 2004).

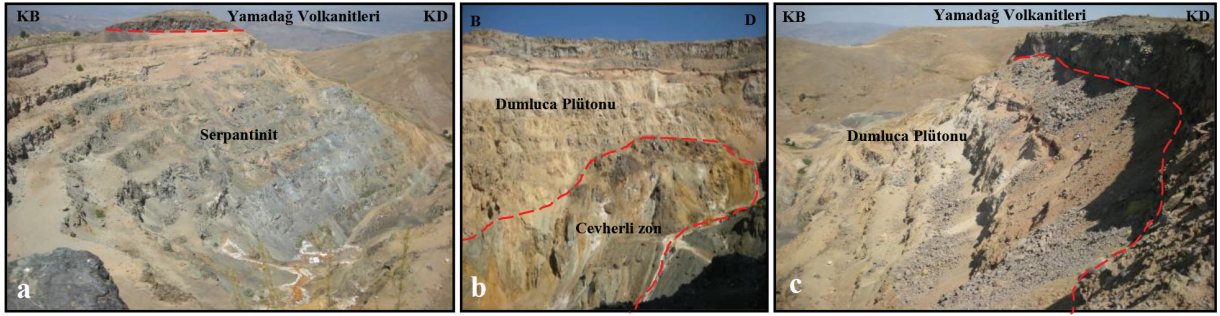
Yaş	Formasyon Litodem	Kalınlık (m)	Kaya türü	Açıklamalar
Kuvaterner	Örenlice	60		Alüvyon Yer yer kumtaşı ve silttaşı ara düzeyleri kapsayan çakıltaşı
				Bazalt
Pliyosen	Yamaadağı			Bazaltik piroklastitler ve karasal kıvrımlı tortul kayalar
	Uzunyayla	75		Andezitik lav ve piroklastitler
Üst Miyosen	Kurtoglu	250		Yer yer çamurtaşı arakatıkları içeren beyaz-bej renkli, bitki kırıntılı, gastropod ve pelecypoda kireçtaşı
Orta Miyosen	Sincan Jipsleri	300		Yaygın çapraz tabakalanmalı kırmızı çakıltaşı, kumtaşı, silttaşı ve çamurtaşı aralanması
	Güneşyerler			
	Kulmacadağı	120		Masif / Yer yer jips ve andezitik lav ve tüf Jips / ara düzeyleri kapsayan, kumtaşı- marn-çamurtaşı aralanması
Üst Oligosen	Altinyayla	300		Kalın ve orta tabakalı, fosilli gösel kireçtaşı
Eosen	Kozluca	200		Çakıltaşı, kumtaşı ve çamurtaşı
Paleosen	Divriği Granitoidleri			Çakıltaşı, kumtaşı, Nummulitesli kireçtaşı-marn aralanması Akdağ demir yatağı
Maastrichtiyen	Saya	750		Granitik kayalar
Jura	Güneş Ofiyoliti	2500		Volcano-tortul dizi Pelajik kireçtaşı Bordonsu-yeşilimsi çakıltaşı-kumtaşı Pınargözü-Davutoğlu demir yatağı
				Dumlucu demir yatağı
Alt Maastrichtiyen	Yeşiltayayla Karşığı	500		Ofiyolitik kayalar Yellice manyetit oluşumları
Kampaniyen	Munzur Kireçtaşı	1000		Serpantinleşmiş matris içinde kireçtaşı ve metamorf blokları A-B Kafa demir yatağı
Alt Karbonifer				Rekristalize kireçtaşı
Devoniyen- Permiyen	Kangal	600		Meta-kvarts kumtaşı, meta-şeyl ve sleyt, rekristalize kireçtaşı

Şekil 2. Çalışma alanı ve çevresinin genelleştirilmiş stratigrafik kolon kesiti (Yılmaz ve Yılmaz, 2004) (Ölçeksiz).
Figure 2. Generalized columnar section of the study area (Yılmaz and Yılmaz, 2004) (not to scale).

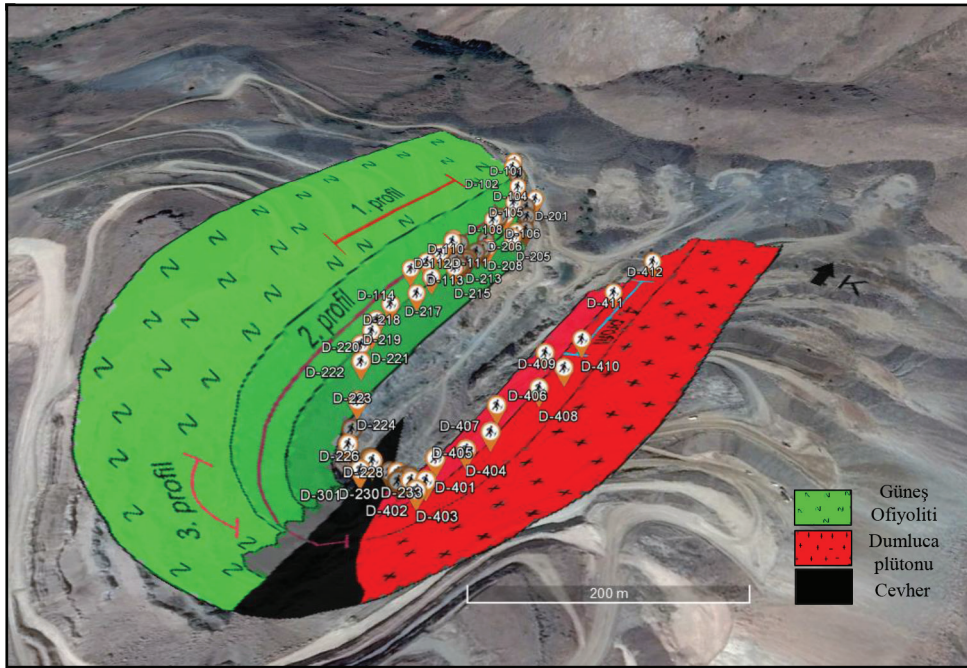
Serpantinitletler

Güneş Ofiyoliti'ne ait serpantinitletler, genellikle elek dokusu gösterirler, ancak bazı kısımlarda ilksel holokristalin doku da gözlenebilmektedir. Serpantinitletler, genel olarak serpantin, olivin, ortopiroksen, daha az oranda klinopiroksen ve opak mineral içerir (Şekil 5a). Serpantin mineralleri, kayada hakim mineral olarak gözlenirler. Piroksenlerin bazılarında ikincil uralitleşme gözlenmektedir (Şekil 5b). Piroksenlerin bir kısmı, serpantinleşme

sürecinden kısmen etkilenmiş olup ilksel optik özelliklerini korur şekilde yer alırlar. Kalsiyumca zengin akışkanların etkisi ile gelişen epidotlaşma, özellikle piroksen minerallerinde yaygın şekilde gözlenmektedir. Opak mineraller serpantinleşmiş ultramafik kayalar içerisinde genellikle ince taneli ve saçınımlı veya toz şeklinde dağılmış olarak veya mikro çatlak düzlemleri boyunca ayrıca kataklazma geçirmiş iri taneler şeklinde de yaygın olarak görülmektedir. Ayrıca olivin ve piroksenlerden açığa çıkan Fe elementinin oluşturduğu manyetit oluşumları da gözlenmektedir



Şekil 3. Dumluca demir yatağının panoramik görünümü; a) Serpantinitleşmelerin genel görünümü, b) Serpantinitleşme, granit ve cevher dokanağının genel görünümü ve c) Magmatik kayaların genel görünümü.
Figure 3. Panoramic view of Dumluca iron deposit; a) General view of serpentinites, b) General view of serpentinite, granite and ore contact and c) General view of magmatic rocks.



Şekil 4. Dumluca yatağından alınan örnek yerlerini gösteren projeksiyon.
Figure 4. Projection showing the location of samples taken from Dumluca deposit.

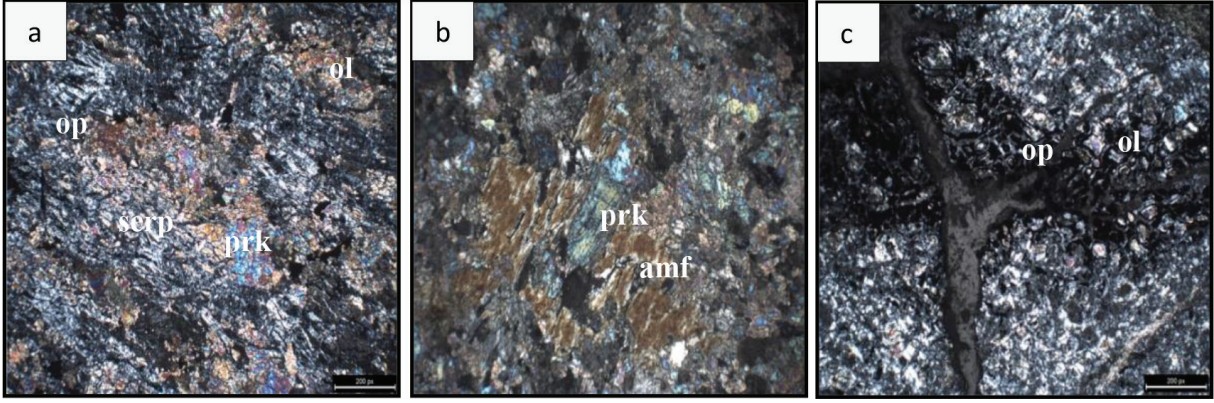
(Şekil 5c). Mikroskop altında, serpantinleşme derecesi ile opak minerallerinin çokluğu arasında bir paralel ilişki gözlenmektedir.

Magmatik Kayaçlar

Güneş Ofiyoliti'ni sıcak dokanakla kesen Dumluca Plütünü'na ait magmatik kayaçlar, kimyasal ve mineralojik bileşimlerine göre mafik (gabro ve monzodiyorit) ve felsik (monzonit ve siyenit) kayaçlar olarak iki gruba ayrılmışlardır.

Mafik kayaçlar

Mafik kayaçlar, gabro ve monzodiyorit olarak sınıflandırılmışlardır. Gabrolar, ince kesit altında plajiyoklaz, klinopiroksen, biyotit ve çok az oranda amfibolden oluşmaktadır ve holokristalin dokuya sahiptirler (Şekil 6a). Plajiyoklazlarda Ca-zengin akışkanların etkisi ile gelişen sossoritleşme sonucu merkezden çepere doğru karbonat mineralleri, serisit oluşumu ve killeşme gözlenmektedir (Şekil 6b). Piroksenlerde uratlaşma sonucu tremolit oluşumları gözlenmektedir.



Şekil 5. a) Serpantinlerde gözlenen serpantin, olivin, piroksen ve opak mineral birlikteliği (çift nikol), b) Klinopiroksenlerde gözlenen uralitleşme (çift nikol) ve c) Olivinlerden açığa çıkan Fe elementinin oluşturduğu manyetitler (çift nikol) (Kısaltmalar: amf: amfibol, ol: olivin, op: opak mineral, prk: piroksen, serp: serpantin).

Figure 5. a) Serpentine, olivine, pyroxene and opaque mineral association within serpentinites (cross nicol), b) Uralitization in pyroxenes (cross nicol) and c) Magnetites formed by extraction of Fe element from olivines (cross nicol) (Abbreviations: amf: amphibole, ol: olivine, op: opaque mineral, prk: pyroxene, serp: serpentine).

Klinopiroksenler, K-zengin çözeltilerin etkisi ile yaygın bir şekilde kenarlarından itibaren genellikle biyotite, daha az oranda amfibol-biyotit dönüşümüne uğramıştır (Şekil 6c).

Monzodiyoritler, genel olarak amfibol, plajiyoklaz, biyotit, K-feldispat, kuvars ve piroksen minerallerinden oluşmakta ve ofitik doku göstermektedirler (Şekil 6d). Gabrolara kıyasla K-feldispat ve kuvars oranında belirgin bir artış gözlenmektedir. Amfiboller ana mafik mineral bileşimini oluşturur ve yer yer biyotitler tarafından çeperlenmiş şekilde gözlenir. Biyotitler belirgin segregasyon özelliği gösterecek şekilde yer alırlar (Şekil 6e). Piroksenler, diğer mafik minerallere kıyasla daha az oranda gözlenirler (Şekil 6f). Plajiyoklazlarda kısmen sossoritleşme sonucu gelişen serisit ve kil minerali oluşumları gözlenmektedir.

Felsik kayalar

Felsik kayalar, monzonit ve siyenit olarak sınıflandırılmışlardır. Monzonitler, genel olarak holokristalin doku, kısmen de ofitik doku özelliği gösterirler. Genel olarak amfibol, K-feldispat, biyotit, plajiyoklaz ve kuvars minerallerinden oluşurlar. Amfiboller çoğunlukla hornblend, bazı kesimlerde de tremolit bileşimindedir (Şekil 6g). Biyotitler, piroksen ve amfibol çeperinde ya da amfibol ile poikilitik doku özelliği gösterir şekilde yer alırlar (Şekil 6h).

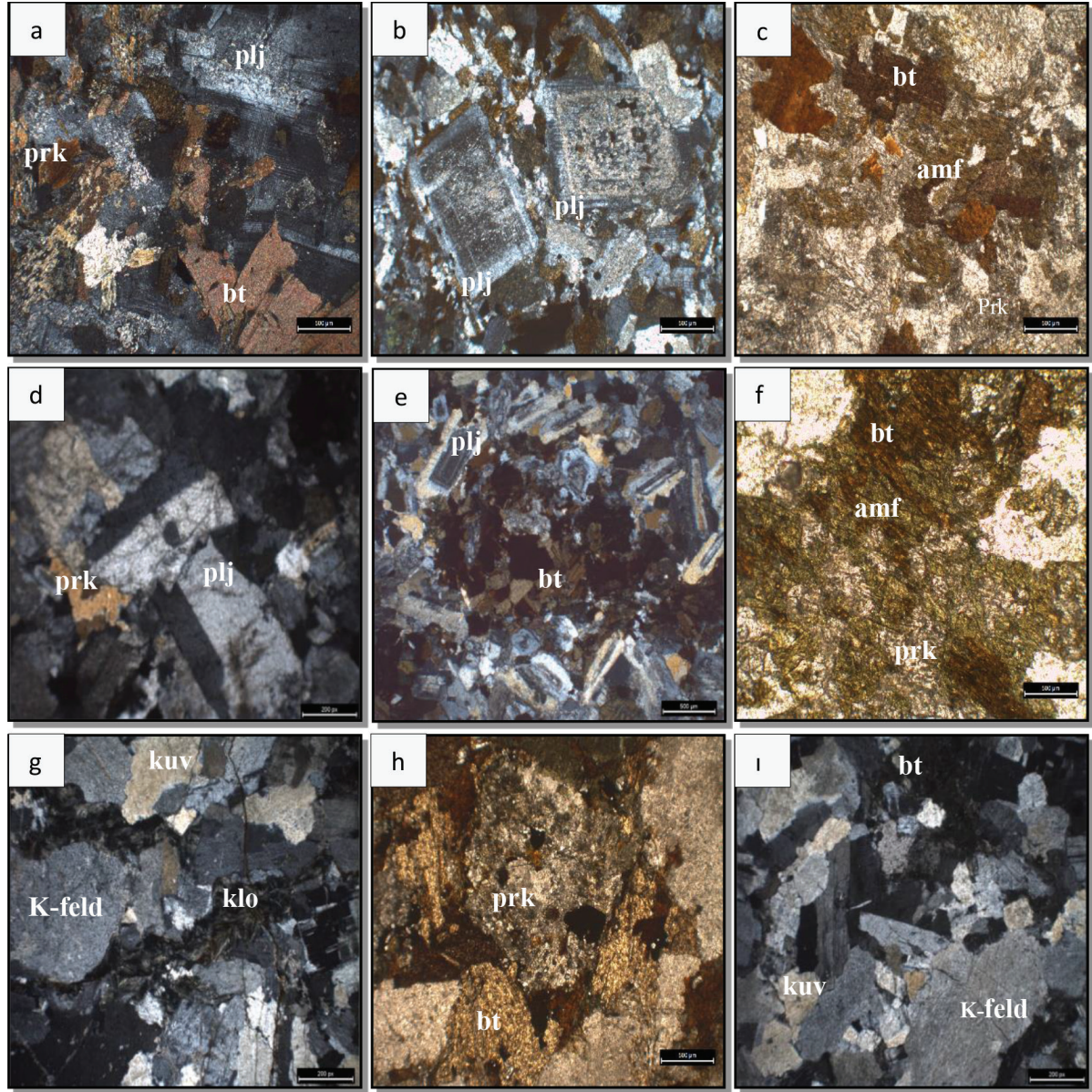
Siyenitler, holokristalin dokuya sahip olup K-feldispat, kuvars, plajiyoklaz ve biyotit minerallerinden oluş-

maktadır (Şekil 6i). K-feldispatlar megakristaller halinde bulunur. Biyotitlerde opasitleşme gözlenmektedir.

CEVHER MİNERALOGİSİ

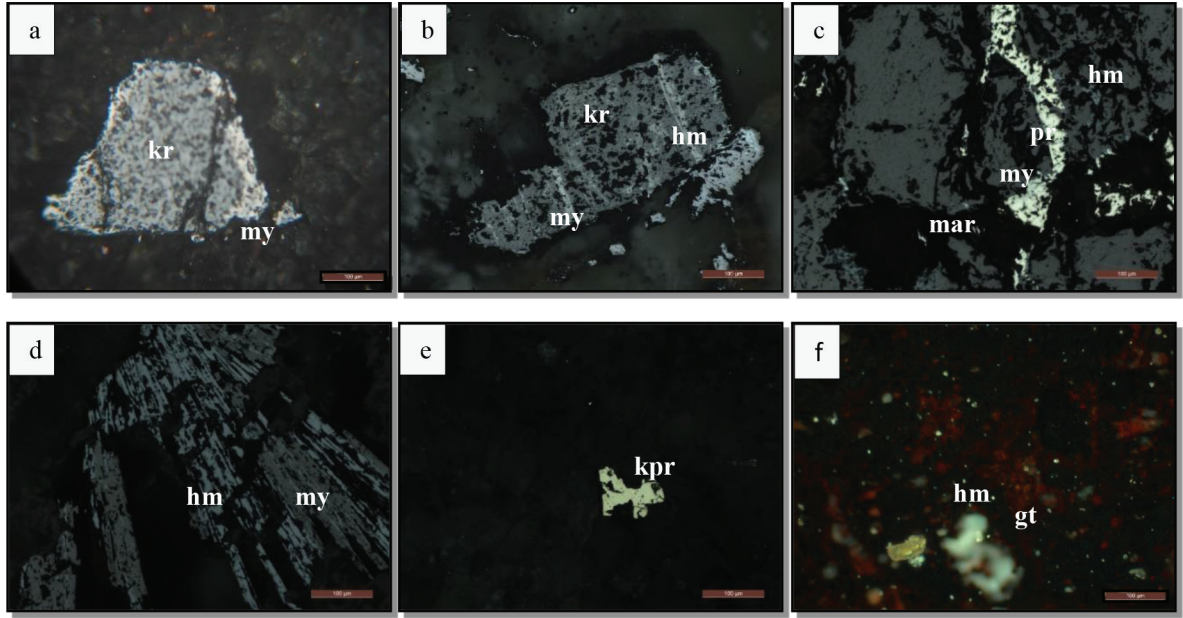
Dokanağa uzak serpantinleşmiş ultramafik kayaç örneklerinde ana cevher minerali olarak kromit ve manyetit tespit edilmiştir (Şekil 7a). Gang mineral olarak krizotil ve kuvars mineralleri gözlenmektedir. Kromit minerallerinde belirgin kataklazma etkisi gözlenmektedir ve kenarlarından itibaren manyetit dönüşümleri gelişmiştir. Manyetit mineralleri, hem birincil olarak, hem kromitlerin serpantinleşme sürecine bağlı olarak manyetite dönüşmesi şeklinde, hem de serpantinleşme sürecinde olivin ve piroksen minerallerinden açığa çıkan Fe elementinin oluşturduğu manyetitler olarak üç farklı oluşum şeklinde gözlenmiştir.

Dokanağa yakın serpantinleşmiş ultramafik kayaç örneklerinde ana cevher minerali olarak kromit, manyetit ve hematit tespit edilmiştir (Şekil 7b). Gang mineral olarak krizotil, kuvars ve flogopit mineralleri gözlenmektedir. Flogopitler, özellikle intrüzyon kaynaklı sıvıların etkisi sonucu oluşmuşlardır (Yılmaz vd., 2003). Kromitler iri taneli olup kenarlarından itibaren ve kırık-çatlakları boyunca hematit ve manyetite dönüşmüştür (Şekil 7b). Hematitler belirli hatlar boyunca ince, bazen uzun özşekilsiz tanecikler ya da devamsız damarlar şeklindedir. Hematitlerin bazıları manyetit kalıntıları içerirken, bazı hematitler ise gang



Şekil 6. a) Gabrolardaki plajiyoklaz-klinopiroksen ve biyotit birlikteliği (çift nikol), b) Gabrolarda yer alan plajiyoklazlarda gözlenen sossoritleşme (çift nikol), c) Gabrolarda gözlenen piroksen-amfibol-biyotit dönüşümleri (tek nikol), d) Monzodioritlerin genel görüntüsü (çift nikol), e) Monzodioritlerde gözlenen biyotit segregasyonları (çift nikol), f) Monzodioritlerde gözlenen piroksen-amfibol-biyotit birlikteliği (tek nikol), g) Monzonitlerin genel görüntüsü (çift nikol), h) Monzonitlerde gözlenen piroksenlerin etrafını saran biyotitler (tek nikol) ve i) Siyenitlerin genel görüntüsü (çift nikol) (Kısaltmalar: amf: amfibol, bt: biyotit, K-feld: K feldispat, klo: klorit, kuv: kuvars, plj: plajiyoklaz, prk: piroksen).

Figure 6. a) Plagioclase, clinopyroxene and biotite association in gabbro (cross nicol), b) Sossorization in plagioclases within gabbro (cross nicol), c) Pyroxene-amphibole-biotite transformations in gabbro (parallel nicol), d) General view of monzodiorites (cross nicol), e) Biotite segregations in monzodiorites (cross nicol), f) Pyroxene-amphibole-biotite association in monzodiorites (cross nicol), g) General view of monzonites (cross nicol), h) Pyroxene enrolling by biotite in monzonite (parallel nicol) and i) General view of syenites (cross nicol) (Abbreviations: amf: amphibole, bt: biotite, K-feld: K feldspar, klo: chlorite, kuv: quartz, plj: plagioclase, prk: pyroxene).



Şekil 7. a) Dokanağa uzak serpantinleşmiş ultramafik kayalarda yer alan ve kataklazma etkisi gösteren kromit-manyetit birlikteliği, b) Dokanağa yakın serpantinleşmiş ultramafik kayalarda yer alan kromit-manyetit-hematit birlikteliği, c) Dokanaktan alınan örnekte gözlenen manyetit-pirit-hematit-martit birlikteliği, d) Dokanaktan alınan örnekte gözlenen çubuk şekilli hematit e) Dokanaktan alınan örnekte gözlenen özşekilsiz kalkopirit minerali ve f) Cevher örneğinde hematit dönüşümü sonucu gözlenen hematit-götite birlikteliği (Kısaltmalar: gt: götite, hm: hematit, kpr: kalkopirit, kr: kromit, mar: martit, my: manyetit, pr: pirit).

Figure 7. a) Chromite-magnetite association which shows cataclasm effects found in serpentinized ultramafic rocks far from contact, b) Chromite-magnetite-hematite association in serpentinized ultramafic rocks close to contact, c) Magnetite-pyrite-hematite-martite association in samples from contact, d) Rod shaped primary hematites in samples from contact, e) Anhedrally shaped chalcopyrite in samples from contact and f) Hematite-goethite association resulted from hematite transformation in ore samples (Abbreviations: gt: goethite, hm: hematite, kpr: chalcopyrite, kr: chromite, mar: martite, my: magnetite, pr: pyrite).

minerallerinin kenarları boyunca oluşmuştur. Genel yönelmeyi kesen demir içeren damarlar içerisinde ince taneli hematit ve iri taneler halinde martitleşmiş manyetitler yer almaktadır.

Dokanaktan alınan cevher örneklerinde manyetit, hematit, pirit, kalkopirit, götite, markazit ve pirotin mineralleri belirlenmiştir (Şekil 7c). Intrüzyona yaklaştıkça cevher minerallerinin bileşiminde belirgin farklılıklar gözlenmektedir. Ana cevher minerali olarak gözlenen manyetitler, kenar ve çatlakları boyunca yer yer martitleşmiştir. Bazı örneklerde eser miktarda, çubuk şekilli hematitler belirlenmiştir (Şekil 7d). Piritler özşekilli olup, bazıları kenar ve çatlaklarından itibaren götite dönüşmüştür. Boşluk ve çatlaklarda daha genç oluşumlu piritler izlenmiş olup bunlar da yer yer markazite dönüşmüştür. Kalkopiritler özşekilsiz olup kısmen götite ve kovelline dönüşmüştür (Şekil 7e). Markazitler, piritlerin dönüşüm ürünleri olarak pirit-

lerin kenarlarında gözlenmektedir. Piritinler yuvarlağımsı taneler halindedir. Özellikle intrüzyona yakın kesimlerde manyetit-hematit ve götite dönüşümleri belirlenmiştir (Şekil 7f).

Dokanağın plütona yakın kesiminden alınan örneklerde tipik skarn mineral parajenezi olan diyopsit-tremolit-epidot birlikteliği gözlenmektedir. Cevher minerali olarak genellikle manyetit gözlenmektedir. Manyetitler, kenarlarından itibaren ve kırık-çatlakları boyunca martitleşmiş olup manyetit oranı, dokanaktan uzaklaştıkça azalmaktadır.

Cevher mikroskopi çalışmalarına göre, dokanağa yaklaştıkça cevher minerallerinin çeşitliliği ile birlikte bu mineraller arasında gözlenen dönüşümlerin ve ana cevher minerali olan manyetitin toplam oranının artmakta olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 1. Dumluca yatağındaki cevher, gang (skarn) ve serpantin minerallerinin Raman Kayma değerleri.
Table 1. Raman shift values of ore, gangue (skarn) and serpentine minerals of Dumluca deposit.

Mineral Adı	1. Kayma (cm ⁻¹)	2. Kayma (cm ⁻¹)	3. Kayma (cm ⁻¹)
Manyetit	668		
Hematit	406	606	1309
Götit	411	535	622
Pirit	342	378	983
Diyopsit	393	682	1033
Aktinolit	553	671	1062
Biyotit	351	572	678
Krizotil	387	690	1123

Çizelge 2. Dumluca yatağındaki manyetit-hematit ve hematit-götit dönüşümlerine ait Raman karakteristikleri.
Table 2. Raman characteristics of magnetite-hematite and hematite-goethite transformations of Dumluca deposit.

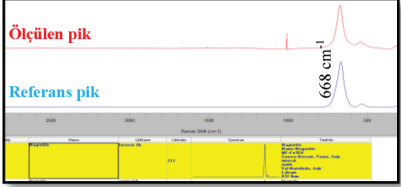
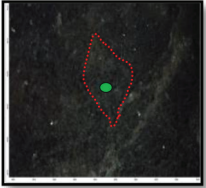
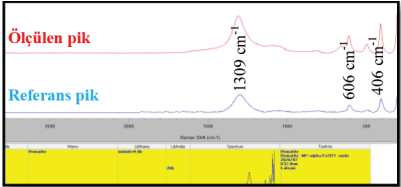
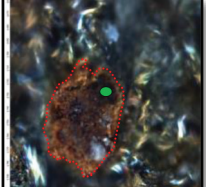
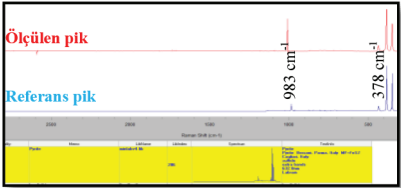
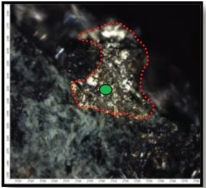
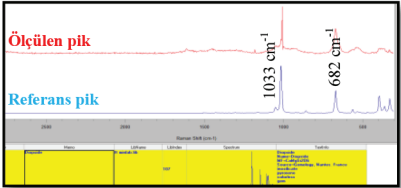
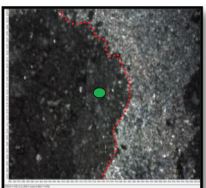
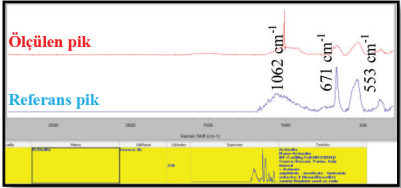
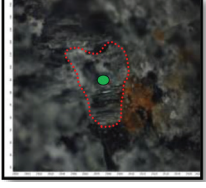
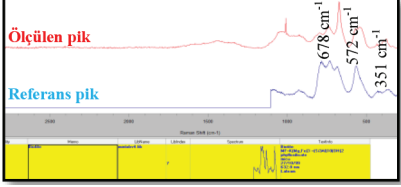
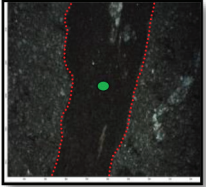
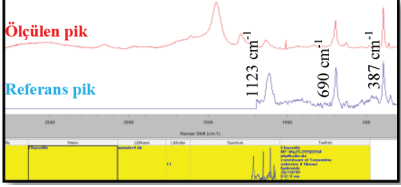
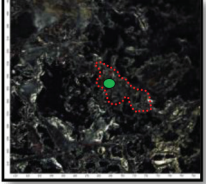
MİNERAL ADI	RAMAN SPEKTROGRAMI	RAMAN GÖRÜNTÜSÜ	RAMAN SPEKTROGRAMI	MİNERAL ADI
MANYETİT				HEMATİT
HEMATİT				GÖTİT

KONFOKAL RAMAN SPEKTROSKOPİ ÇALIŞMALARI

Raman spektroskopisi; inorganik, organik ve biyolojik örneklerin hem kalitatif hem de kantitatif analizinde kullanılabilen hızlı, kolay, örneğe temas etmeden ve zarar vermeden uygulanabilen çok önemli bir spektroskopik yöntemdir (Akçe, 2010). Jeolojik çalışmalarda özellikle minerallerin adlandırılması ve bağ yapılarının ortaya konulmasında etkin olarak kullanılan yöntem, moleküllerden saçılan enerjinin

ölçümüne dayanır (Güllü, 2012). Minerallerin bileşiminde bulunan moleküllerin özelliklerine bağlı olarak saçılan ışınlar arasındaki oluşturan farka "Raman saçılımı", dalga boyundaki kaymalara ise "Raman kayması" denilir. En önemli faktör, minerallerin kimyasal yapısıdır. Bu yöntemin tercih edilmesinin en önemli sebebi, inceleme yapılacak madde üzerinde herhangi bir yıkıcı etkiye sahip olmaması ve istenilen her noktadan ölçüm yapabilme kolaylığı sağlamasıdır. Titreşimli Raman spektrumu kimyasal ve moleküler yapının karakterize edilmesinde önemli rol oynar (Zo-

Çizelge 3. Dumluca yatağındaki cevher, gang (skarn) ve serpantin minerallerinin Raman karakteristikleri.
Table 3. Raman characteristics of ore, gangue (skarn) and serpentine minerals of Dumluca deposit.

MİNERAL ADI	RAMAN SPEKTROGRAMI	RAMAN GÖRÜNTÜSÜ
MANYETİT	 <p>Ölçülen pik: 668 cm^{-1} Referans pik: 668 cm^{-1}</p>	
HEMATİT	 <p>Ölçülen pik: 1309 cm^{-1}, 606 cm^{-1}, 406 cm^{-1} Referans pik: 1309 cm^{-1}, 606 cm^{-1}, 406 cm^{-1}</p>	
PIRİT	 <p>Ölçülen pik: 983 cm^{-1}, 378 cm^{-1} Referans pik: 983 cm^{-1}, 378 cm^{-1}</p>	
DİYOPSİT	 <p>Ölçülen pik: 1033 cm^{-1}, 682 cm^{-1} Referans pik: 1033 cm^{-1}, 682 cm^{-1}</p>	
AKTİROLİT	 <p>Ölçülen pik: 1062 cm^{-1}, 671 cm^{-1}, 553 cm^{-1} Referans pik: 1062 cm^{-1}, 671 cm^{-1}, 553 cm^{-1}</p>	
BİYOTİT	 <p>Ölçülen pik: 678 cm^{-1}, 572 cm^{-1}, 351 cm^{-1} Referans pik: 678 cm^{-1}, 572 cm^{-1}, 351 cm^{-1}</p>	
KRİZOTİL	 <p>Ölçülen pik: 1123 cm^{-1}, 690 cm^{-1}, 387 cm^{-1} Referans pik: 1123 cm^{-1}, 690 cm^{-1}, 387 cm^{-1}</p>	

roğlu, 2009).

Dumluca demir yatağında, serpantinitler ile intrüzif kayaların dokanağında gelişen cevherleşmeden alınan örneklerde yapılan Konfokal Raman Spektroskopisi çalışmaları ile cevher minerallerinin türü ve gözlenen dönüşümler belirlenmiştir. Dumluca yatağı cevher örneklerinin mineral parajenezine ait Raman Kayması değerleri Çizelge 1’de verilmiştir.

Yatağın dokanağa uzak kısımlarında serpantinite bağlı kromit ve manyetit oluşumları gözlenirken, dokanağa yaklaştıkça kromitin yok olduğu, buna karşın manyetitin baskın cevher minerali olarak gözleendiği belirlenmiştir. Dokanaktan alınan örneklerde, Raman analizi yapılan manyetitin belirgin bir şekilde hematite dönüştüğü, aynı spektrogram üzerinde belirlenebilmektedir (Çizelge 2). Spektrogram üzerindeki bu belirgin dönüşüm, dokanaktan uzaklaştıkça belirgin biçimde gözlenmektedir. Benzer şekilde, manyetit-hematit dönüşümünü takip eden hematit-götit dönüşümü de, dokanaktan alınan örneklerde net bir biçimde belirlenmiştir (Çizelge 2).

Dokanaktan alınan cevher örneğinde hem manyetit (668 cm^{-1}) hem de hematite ($406-606-1309 \text{ cm}^{-1}$) ait Raman Kayma değerleri elde edilmiştir (Çizelge 3). Benzer şekilde hem hematit ($406-606-1309 \text{ cm}^{-1}$), hem de götite ($411-535-622 \text{ cm}^{-1}$) ait Raman Kayma değerleri belirlenmiştir (Çizelge 3). Bu verilere bağlı olarak, direk dokanaktan alınan örneklerde yaygın dönüşüm gözlenirken, dokanaktan uzaklaştıkça bu dönüşümün Raman spektroskopisi ile saptanması zorlaşmakta, daha çok saf manyetit ve hematit minerallerinin oluştuğu söylenebilmektedir. Ayrıca bu mineral parajenezine ek olarak piritte ait ($342-378-983 \text{ cm}^{-1}$) Raman Kayma değerleri de elde edilmiştir (Çizelge 3). Diğer cevher mineralleri örnek içinde eser miktarda gözleendiği için saptama yapılamamıştır.

Dumluca yatağında dokanakta oluşan kayaçların bileşimini belirlemek üzere yapılan Raman çalışmalarına göre dokanak kayaçlarında skarn zonlarına özgü diyopsit ($393-682-1033 \text{ cm}^{-1}$) ve tremolit-aktinolit ($671-1062 \text{ cm}^{-1}$) mineral parajenezi belirlenmiştir (Çizelge 3). Ayrıca serpantinleşmiş ultramafik kayaçlardaki baskın serpantin türünü belirlemek için yapılan çalışmalarda, serpantin türü olarak krizotil saptanmıştır (Çizelge 3). Krizotil mineraline bağlı olarak serpantinleşme sürecinde sıcaklığın $350-400^\circ\text{C}$ civarında olduğu söylenebilir (Coleman, 1977; Dymek vd., 1988).

SONUÇLAR

Dumluca demir yatağında yer alan cevher minerallerinde gözlenen dönüşümlerin Konfokal Raman Spektrometre çalışmaları ile belirlenmesiyle birlikte, saha, petrografi ve cevher mikroskopisi çalışmalarından elde edilen veriler birleştirilerek, intrüzyon etkisinin cevher minerallerinin oluşumları ve dönüşümlerine olan etkisi belirlenmeye çalışılmıştır. Dumluca yatağı, Güneş Ofiyoliti’ne ait serpantinitler ile Dumluca Plütonu’na ait magmatik kayaçların dokanağında yer almaktadır. Serpantinitlerden başlıyarak dokanağa doğru yapılan sistematik örnekleme sonucunda elde edilen cevher mikroskopisi ve petrografi ve Konfokal Raman spektroskopisi verilerine göre,

1- Dokanağa en uzak serpantinitlerin mikroskop altında daha taze olduğu ve genel olarak serpantin (krizotil), olivin ve piroksen minerallerinden oluştuğu, cevher minerali olarak kromit, kromit-manyetit dönüşümleri ve serpantinleşme sürecinde olivin ve piroksen minerallerinden açığa çıkan Fe elementinin oluşturduğu manyetitlerin gözleendiği,

2-Dokanağa yakın serpantinitlerin, mikroskop altında serpantin, piroksen, flogopit ve epidot minerallerinden oluştuğu, dokanağa yaklaştıkça serpantin minerallerine eşlik eden cevher minerallerinin oranının arttığı, bununla birlikte yaygın karbonatlaşma ve kısmen silisleşme gözleendiği,

3-Dokanaktan alınan cevher örneklerinin, saf manyetitten oluştuğu ve sırasıyla hematit ve götite dönüşümünün gerçekleştiği,

4-Dokanağın intrüzyona yakın kısmından alınan örneklerin mikroskop altında tipik skarn parajenezi olan diyopsit, tremolit, epidot ve cevher minerallerinden oluştuğu ve cevher oranının dokanaktan uzak örneklerle oranla belirgin bir şekilde arttığı belirlenmiştir.

KATKI BELİRTME

Bu çalışma, Ankara Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından birinci yazarın, üçüncü yazarın danışmanlığında yürütölen 15L0443007 no.lu doktora tezi projesi kapsamında desteklenmiştir. Yazarlar ayrıca Konfokal Raman Spektroskopisi çalışmalarında destek olan Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi (YEBİM) araştırmacılarına, ayrıca yayının geliştirilmesi ve son haline getirilmesindeki katkılarından dolayı hakemlere teşekkür ederler.

KAYNAKLAR

- Akçe, M. A., 2010. Yozgat İntrüzif Kompleksinin jeolojisi, petrolojisi ve Orta Anadolu Kristallen Karmaşığındaki zamansal ve mekansal Konumu. Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Bayhan, H., 1980. Güneş-Soğucak (Divriği-Sivas) yöresinin jeolojik, mineralojik, petrografik-petrolojik ve metalojenik incelenmesi. Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Yerbilimleri Enstitüsü, Ankara (yayınlanmamış).
- Bayhan, H. ve Baysal, O., 1982. Güneş-Soğucak (Divriği-Sivas) yöresinin petrografik-petrolojik incelenmesi. Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni, 25, 1-13.
- Bottke, H., 1981. Lagerstättenkunde des Eisens: Verlag Glückauf GmbH, 202 s., Essen.
- Bozkurt, M. R., 1974. Dumluca Köyü (Sivas) Ni-Co-Bi mineralizasyonunun metalojenik ve yakın yöresinin petrografik etüdü. Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon (yayınlanmamış).
- Bozkurt, M.R., 1980. Divriği demir madenleri cevher minerallerinin incelenişi ve oluşumu. Doçentlik Tezi, Eskişehir.
- Boztuğ, D., 1998a. Orta Anadolu çarpışma intrüzifleri. Ofiyolit-Granitoid ilişkisiyle Gelişen Demir Yatakları Sempozyumu, Sivas, Bildiriler kitabı s. 19-37.
- Boztuğ, D., 1998b. Post-collisional Central Anatolian Alkaline Plutonism, Turkey. Turkish Journal of Earth Sciences, 7, 145-165.
- Boztuğ, D. and Harlavan, Y., 2007. K-Ar ages of granitoids unravel the stages of Neo-Tethyan convergence in the eastern Pontides and central Anatolia, Turkey. International Journal of Earth Sciences, 97, 585-599.
- Boztuğ, D., Harlavan, Y., Arehart, G.B., Satir, M. and Avcı, N., 2007. K-Ar age, whole-rock and isotope geochemistry of A-type granitoids in the Divriği-Sivas region, Easterncentral Anatolia, Turkey. Lithos, 97, 193-218.
- Coleman, R. G., 1977. Ophiolites. Springer-Verlag, Berlin.
- Doğan, H., Yıldızeli N., Yurt, M.Z., Celebi, A. and Özcan, H., 1989. T.D.C.I. Geological iron ore report 89/120 on Sivas Divriği and its environment, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Rapor No. 89/120, Ankara.
- Dymek, R.F., Brothers, S.C. and Schiffrics, M.C., 1988. Petrogenesis of ultramafic metamorphic rocks from the 3800 Ma Isua Supracrustal Belt, West Greenland. Journal of Petrology, 29 (6), 1353-1397.
- Erkan, E., Özer, S., Sümengen, M. ve Terlemez, I., 1978. Sarız-Şarkışla-Gemerek-Tomarza arasının temel jeolojisi. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Rapor No. 5646, Ankara (yayınlanmamış).
- Güllü, B., 2012. Topkaya ve Karakaya (Eskişehir) granitoidlerinin zamansal ve mekansal konumları, Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Gültekin, A.S., 1993. Alacahan-Çetinkaya-Divriği (Sivas ili) arasında kalan alanın jeolojisi. Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul (yayınlanmamış).
- Gysin, M., 1938. Le're impression sur la geologie de la region de Divrik, sur la structure et sur l'origine du gisement de fer. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Rapor No. 700, Ankara.
- Ketin, İ., 1966. Anadolu'nun Tektonik Birlikleri. MTA Bülteni, 66, 20-34.
- Klemm, D.D., 1960. Die Eisenerzvorkommen von Divrik (Anatolien) als Beispiel tektonisch angelegter pneumatolytisch-metasomatischer Lagerstättenbildung Jahrbuch Mineralogie, A 94, 591-607.
- Koşal, C., 1965. Divriği civarı jeolojisi ve magmatojen cevher yatakları. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Rapor No. 3743, Ankara.
- Koşal, C., 1971. Divriği A-B kafası demir yataklarının sondajlı aramalar jeolojik raporu. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Rapor No. 4304, Ankara.
- Koşal, C., 1973. Divriği A-B-C demir yataklarının jeolojisi ve oluşumu üzerinde çalışmalar. MTA Dergisi, 81, 1-22.
- Kovenko, V., 1937. Divriği imtiyaz manyetit yatağı hakkında rapor. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Rapor No. 485, Ankara.
- Kuşçu, İ., Yılmaz, E. ve Demirela, G. 2002. Sivas-Divriği bölgesi skarn tipi demir oksit yataklarına Fe-oksit-Cu-Au (Olympic Dam tipi)

- perspektifinden yeni bir bakış. Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni, 45 (2), 33-46.
- Kuşçu, İ., Yilmazer, E., Demirela, G., Gencalioğlu, G. and Güleç, N., 2010. Iron Oxide-(Copper ± Gold) Mineralisation in the Turkish Tethyan. Hydrothermal Iron Oxide Copper-Gold & Related Deposits: A Global Perspective, Advances in the Understanding of IOCG Deposits; PGC Publishing, 4, 573-600. Adelaide
- Okay, A. I. and Tüysüz, O., 1999. Tethyan Sutures of Northern Turkey. In The Mediterranean Basins: Tertiary Extension Within The Alpine Orogen, Geological Society of London, Special Publication, 156, 475-515.
- Öztürk, H. ve Öztunalı, Ö., 1993. Divriği demir yatakları üzerinde genç tektonizma etkileri ve sonuçları. Türkiye Jeoloji Kurultayı Bülteni, 8, 97-106.
- Parlak, O., Yılmaz, H., and Boztuğ, D., 2006. Origin and tectonic significance of the metamorphic sole and isolated dykes of the Divriği ophiolite (Sivas, Turkey): evidence for slab break-off prior to ophiolite emplacement. Turkish Journal of Earth Sciences, 15 (1), 25-41.
- Petrascheck, W. and Pohl, W., 1982. Lagerstättenlehre: E.S.V.H, 341, Stuttgart.
- Robertson, A.H.F., 2002. Overview of the genesis and emplacement of Mesozoic ophiolites in the Eastern Mediterranean Tethyan region. Lithos, 65, 1-67.
- Şengör, A.M.C. and Yılmaz, Y., 1981. Tethyan Evolution of Turkey - a Plate Tectonic Approach. Tectonophysics, 75 (3-4), 181-241.
- Ünlü, T., 1983. Sivas, Divriği-Akdağ; Gürün-Otluklisse; Erzincan, Kemaliye, Bizmişen-Çaltı, Kurudere ve Adıyaman, Çelikhhan-Bulam demir yatakları hakkında görüşler. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü. Rapor No. 1901, Ankara.
- Ünlü, T. ve Stendal, H., 1986. Divriği bölgesi demir yataklarının element korelasyonu ve jeokimyası. Jeoloji Mühendisliği Dergisi, 28, 5-19.
- Ünlü, T. ve Stendal, H., 1989a. Jeokimya verilerinin çok değişkenli jeostatistik analizlerle değerlendirilmesine bir örnek: Divriği Bölgesi demir yatakları, Orta Anadolu. MTA Dergisi, 109, 127-140.
- Ünlü, T. ve Stendal, H., 1989b. Divriği Bölgesi demir cevheri yataklarının nadir toprak element (REE) jeokimyası, Orta Anadolu, Türkiye. Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni, 32, (1-2), 21-38.
- Ünlü, T., Stendal, H., Makovicky, E. ve Sayılı, İ.S., 1995. Divriği (Sivas) demir yatağının kökeni, Orta Anadolu, Türkiye-Bir cevher mikroskopisi çalışması. MTA Dergisi, 117, 17-28.
- Wijkerslooth, P. D., 1939. Demirdağ (Divrik) demir yatakları hakkında jeolojik rapor. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Rapor No. 803, Ankara.
- Wijkerslooth, P. D., 1941. Divrik (Sivas Vilayeti) Demir Cevheri zuhuratının tevevvün ve yaşı hakkında bazı malumatlar. MTA Dergisi, 3-24.
- Yıldızeli, N., 1977. Divriği-Dumlucua Sondajlı Etüd Raporu, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Rapor No. 5986, Ankara.
- Yılmaz, H., Arıkal, T. ve Yılmaz, A., 2001. Güneş Ofiyoliti'nin (Divriği-Sivas) jeolojisi. 54. Türkiye Jeoloji Kurultayı, Ankara, 54-65.
- Yılmaz, H. ve Yılmaz, A., 2004. Divriği (Sivas) yöresinin jeolojisi ve yapısal evrimi. Türkiye Jeoloji Bülteni, 47 (1), 13-45.
- Yilmazer, E., Kuşçu, İ. ve Demirela, G., 2003. Divriği A-B kafa cevherleşmeleri, alterasyon zonlanması ve zonlanma süreçleri. Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni, 46 (1), 17-34.
- Zeck, H. P. and Ünlü, T., 1988a. Alpine ophiolite obduction before 110±5 Ma ago Taurus Belt, eastern central Turkey. Tectonophysics, 145 (1-2), 55-62.
- Zeck, H. P. ve Ünlü, T., 1988b. Murmano plütönu'nun yaşı ve ofiyolitle olan ilişkisi (Divriği-Sivas). MTA Dergisi, 108, 82-97.
- Zeck, H. P. ve Ünlü, T., 1991. Orta Anadolu'nun doğusunda yer alan şoşonitik, monzonitik Murmano Plütönu-Ön Çalışma. MTA Dergisi, 112, 103-115.
- Zoroğlu, O., 2009. Sivrihisar-Günyüzü (Eskişehir) Granitoidlerinin Jeolojisi, Petrolojisi ve Anklavlarının Kökeni, Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Küre (Kastamonu) Karmaşığı Ofiyolitik Kayaçları ve Bu Kayaçları Kesen Dasitlerin Kökeni

Origin of the Ophiolitic Rocks and Crosscutting Dacites from the Küre (Kastamonu) Complex

ÖMER FARUK ÇELİK^{1*}

¹Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 41380 İzmit-Kocaeli / Türkiye

Geliş (received) : 30 Haziran (June) 2016

Kabul (accepted) : 10 Eylül (September) 2016

ÖZ

Orta-Pontidler'de Küre Karmaşığı farklı türde magmatik ve çökel kayaçların birlikteliği olarak tanımlanır (ör. bazalt, siyah-şeyl, kumtaşı). Bu kayaçlar tektonizma ve alterasyondan değişik oranlarda etkilenmişlerdir. Bazaltlar masif, breşik ve yastık yapılı olup, tektonik etkiler sonucunda bazı yerlerde siyah şeyl gibi kırıntılı kayaçların altında, bazı yerlerde ise siyah şeyllerin üstünde yer alırlar. Bu kayaçlar dasit-porfir ve dolerit daykları tarafından kesilirler. Sınırlı alanda yüzlek veren gabrolar, genel olarak kaba taneli ve ofitik dokulu olup başlıca plajiyoklaz, piroksen, amfibol ve opak minerallerden meydana gelmektedir. Küre Karmaşığı ofiyolitik kayaçları (gabro, bazalt, dolerit) ve bu kayaçları kesen dasit-porfirler farklı kaynak alanlardan türemişlerdir. Ofiyolitik kayaçların kondrite göre normalize edilmiş nadir toprak elementleri (NTE) diyagramında, genellikle yitim ile ilgili kayaçlarda gözlenen yaklaşık düz bir yönsemeye birlikte bazı gabroların hafif nadir toprak elementlerinde hafif bir zenginleşme gözlenmektedir. Dasit-porfirlerin kondrite göre normalize edilmiş NTE diyagramında, ofiyolitik kayaçlardan farklı olarak, ortaç NTE'lerden hafif NTE'lere doğru belirgin bir zenginleşme, buna karşılık ortaç NTE'lerden ağır NTE'lere doğru yaklaşık düz bir yönseme gözlenmektedir. Ofiyolitik kayaçların $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_0$ oranları 0.7041 ile 0.7059 arasında değişmektedir. Aynı kayaçların ϵCHUR_0 değerleri 6.1 ile 7.2 arasındadır. Bu izotop verileri Küre Karmaşığı ofiyolitik kayaçlarının okyanus ortası sırtı bazaltları (OOSB) ya da tüketilmiş manto kaynağı ile zenginleşmiş manto kaynağının (muhtemelen EMII) karışımı sonucu oluşmuş yitim zonu üstü ofiyolitleri olduğunu işaret etmektedir. Küre Karmaşığı'nı kesen dasit-porfir daykları düşük $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}_0$ izotop oranlarına (0.51211–0.51225) ve yüksek $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_0$ oranlarına (0.7072- 0.7108) sahiptir. Negatif ϵCHUR_0 değerleri (-3.5 ve -6.2) gösteren dasit-porfir dayklarının $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}_0$ oranları 17.89–18.52, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}_0$ oranları ise 15.63–15.64'dür. Bu izotop verileri dasit-porfirlerin EMII kaynak alanıyla ilişkili olduklarını ve dolayısıyla kabuktan türemiş kayaçlar olabileceklerini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Dasit, nadir toprak elementleri, ofiyolit, Sr-Nd-Pb izotopları.

ABSTRACT

The Küre Complex in the Central Pontides has been defined as a rock association composed of various types of magmatic and sedimentary rocks (e.g. basalt, black-shale, sandstone). These rocks were affected by varying degrees of alteration and tectonism. Basalts, which are observed as massive, breccia and pillow structured, are tectonically overlain or underlain by the clastic rocks such as the black shales. These rocks are crosscut by dacite-porphry and dolerite dikes. Gabbros, which are observed in a limited area, consist mainly of plagioclase, pyroxene, amphibole and opaque minerals and are commonly granular and ophitic textured. Chondrite-normalized rare earth elements (REE) of the ophiolitic rocks display commonly flat patterns. Some gabbros exhibit light REE enrichment. These type of distribution patterns in the chondrite-normalized REE diagrams are commonly attributed to the subduction-related rocks. Chondrite-normalized REE diagrams of the dacites exhibit enrichment in light REE and a flat distribution pattern in heavy REE which are different from those of the ophiolitic rocks. $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_0$ ratio of the ophiolitic rocks vary between 0.7041 and 0.7059. ϵCHUR_0 values of the same rocks are between 6.1 and 7.2. These isotopic data suggest that the ophiolitic rocks of the Küre Complex were occurred as the supra-subduction ophiolites and were derived from mixing between mid-ocean ridge basalts (Depleted MORB mantle) and an enriched mantle source, most likely EMII. Dacite-porphry dikes cross-

*Ö.F. Çelik
e-posta: celikfrk@gmail.com

cutting the Küre Complex have low $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}_0$ ratios (0.51211–0.51225) and high $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_0$ ratios (0.7072–0.7108). $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}_0$ and $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}_0$ ratios of the dacite-porphry dikes which have negative ϵCHUR_0 values (-3.5 ve -6.2) are 17.89–18.51 and 15.63–15.62 respectively. The isotopic data of the dacite-porphry dikes show that they were originated from the EMII source area, so that they are crustal-derived.

Keywords: Dacite, rare earth elements, ophiolite, Sr-Nd-Pb isotope.

GİRİŞ

Orta Pontidler’de Küre Karmaşığı kabaca silis kırıntılı türbiditlerle (Akgöl Formasyonu) birlikte mafik ve ultramafik kayalardan meydana gelmektedir (Ustaömer ve Robertson, 1994). Orta Pontidler’in kuzey kesimlerinde birçok granitoyit sokulumu yer almakta olup (Şekil 1 ve 2) bu granitoyitlerin ve ilişkili oldukları kayaç ve cevherleşmelerin özellikle son yıllarda radyometrik yöntemlerle tarihlendirilmesi ve modern jeokimyasal analizlerinin yapılması neticesinde bölge kayalarının stratigrafisi ve bölgesel jeoloji içindeki yerleri daha iyi anlaşılmasına başlanmıştır (ör. Nzegge vd., 2006; Okay vd., 2006, 2013; Akbulut vd., 2016; Çelik vd., 2016; Okay vd., 2015). Küre Karmaşığı’na ait Akgöl Formasyonu Orta Jura yaşlı dasit-porfirler ve granitoyitler tarafından kesilmekte, Üst Jura – Alt Kretase kireçtaşları tarafından örtülmektedir (Yılmaz ve Boztuğ, 1986; Ustaömer ve Robertson, 1994; Okay vd., 2014). Dolayısıyla Akgöl Formasyonu için üst yaş sınırı Üst Jura – Alt Kretase kireçtaşları iken, alt yaş sınırı içinde barındırdığı Karniyen ve Noriyen’e karşılık gelen kireçtaşlarıdır (Okay vd., 2015). Okay vd., (2015) Küre Karmaşığı içinde tanımlanan serpantiniter ve filişleri kesen bir granitoyitin biyotitlerinden ^{40}Ar - ^{39}Ar yöntemi kullanarak 162 ± 4 My yaş elde etmişlerdir. Bu yaş verisi ve jeolojik ilişki sayesinde, serpantiniterin Üst Triyas yaşlı türbiditler içine Orta Jura’dan önce ve En Geç Triyas sonrasında yerleştiği sonucu çıkarılmıştır (Okay vd., 2015). Ustaömer ve Robertson (1994) Küre Karmaşığı içinde tanımladıkları serpantiniter, bazalt ve gabroların bir ofiyolitin üyelerine ayrılmış parçaları olduğunu belirtmişlerdir. Sınırlı element analizleriyle birlikte bazaltların toleyitik karakterde olduğunu ve baskın olarak OOSB tipi bazalt özelliğini yansıttıklarını belirten yazarlar, bu kayaların bir bölümünün de bazı ayırım diyagramlarında ada yayı toleyitleri (AYT) tipi olduğuna dikkat çekmişlerdir.

Bu çalışma ile, Küre Karmaşığı içinde yüzlek veren bazalt, gabro, dolerit ve dasit-porfir türü kayaların petrografik ve jeokimyasal özelliklerinin tespiti ile

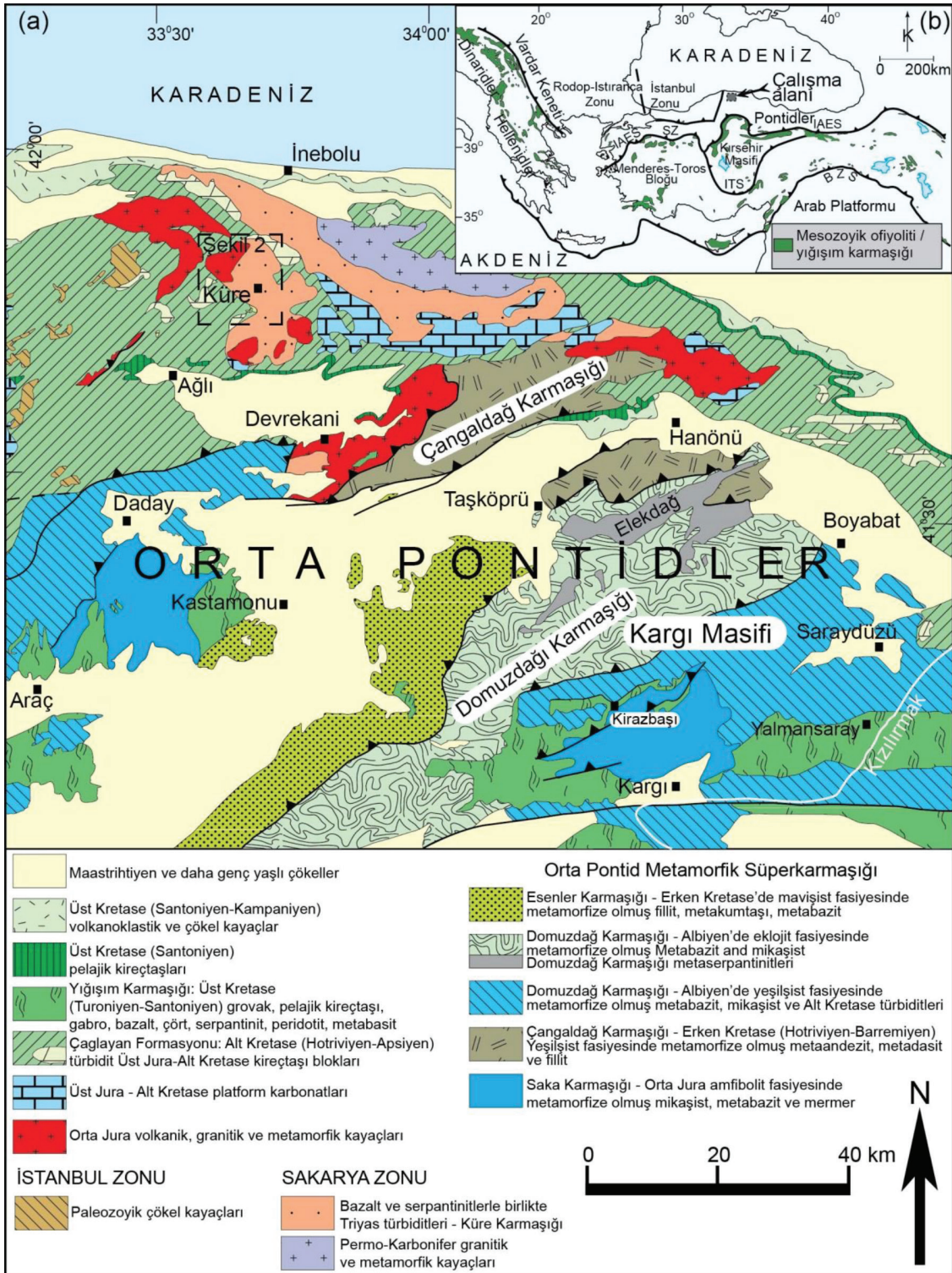
birlikte bu kayaların oluştuğu jeodinamik ortamlar ve manto kaynak alanları, tüm-kaya ana, iz ve nadir toprak elementleri ve Sr-Nd-Pb izotop verileri kullanılarak belirlenmeye çalışılmıştır.

GENEL JEOLJİ

Orta Pontidler İstanbul ve Sakarya zonlarının yüzlek verdiği bir bölgedir (Şekil 1). İstanbul zonu kabaca Prekambriyen yaşlı metamorfik bir temel ve bu temeli uyumsuz olarak üzerleyen, Ordovisyen’den Karbonifer’e kadar süreklilik sunan transgresif çökel bir istif ve bu istifi yine uyumsuz olarak örten Permo-Triyas yaşlı çökel kayalarla tanımlanır (ör. Aydın vd., 1986; Dean vd., 1997; Görür vd., 1997; Okay vd., 2006). Sakarya Zonu oldukça yoğun deformasyon göstermekle birlikte kısmen metamorfizmaya maruz kalmış Permo-Triyas yaşlı yitim yığışım karmaşığıyla (Karakaya Karmaşığı) temsil edilmektedir (ör. Tekeli, 1981; Okay vd., 2006). İstanbul ve Sakarya zonları Üst Jura yaşlı sığ denizel kireçtaşları tarafından örtülmektedirler (Şekil 1).

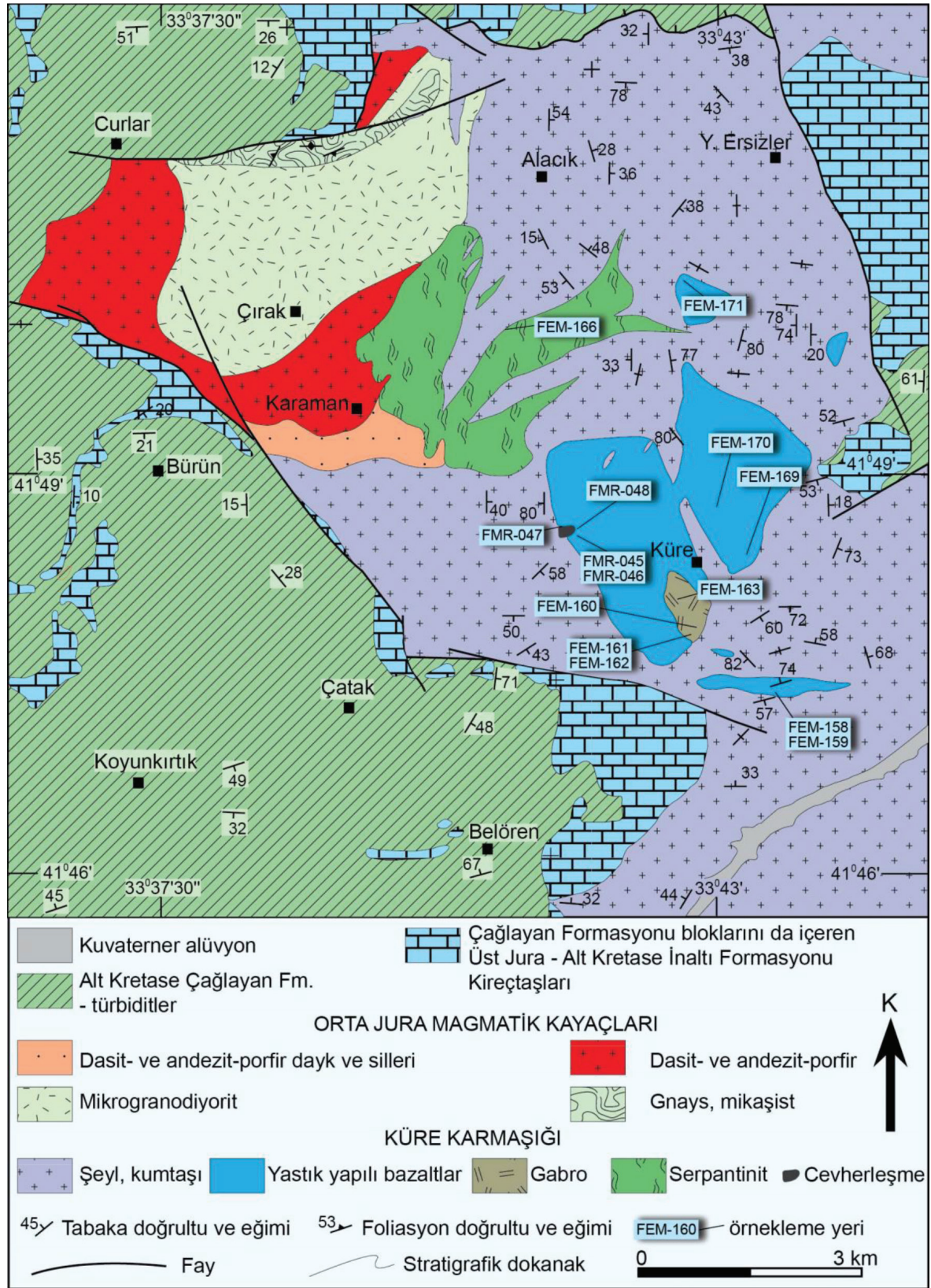
Orta Pontidler’in güney kesimlerinde geniş yayılım gösteren farklı fasiyeslerde başkalaşıma maruz kalmış metamorfik topluluklar önceki çalışmalarda Triyas ve daha yaşlı temel kayaları olarak değerlendirilmiş olsa da (Yılmaz ve Şengör, 1985; Tüysüz, 1990; Ustaömer ve Robertson, 1994, 1999; Yılmaz vd., 1997; Yiğitbaş vd., 1999; Uğuz vd., 2002) radyometrik yaş tayinlerinin özellikle son 10 yıl içinde Türkiye genelinde ve dolayısıyla bölge kayalarında gerçekleştirilmesiyle, temel olarak belirtilen metamorfiklerin düşünülenden farklı olarak Jura ve Kretase yaşlı oldukları tespit edilmiştir (Şekil 1; ör. Aygül vd., 2015; Okay vd., 2006, 2013; 2015; Çelik vd., 2016).

Orta Pontidler’de Sakarya Zonu’nun kristalin temeli Küre’nin kuzeybatısında, İnebolu’nun güneydoğusunda Karadeniz kıyısına yakın sınırlı bir alanda Permo-Karbonifer granitoyitleri (305–290 My) ve meta-sedimanter kayalar olarak yüzlek verir (Nzegge vd., 2006, Şekil 1). Varisken olarak tanımlanan Sivrikaya ve Deliklitaş granitoyitleri peralümino, kalk alkalın



Şekil 1. a) Orta Pontid'lerin doğu kesiminin jeoloji haritası (Okay vd., 2013 ve Çelik vd., 2016'dan değiştirilerek alınmıştır.), b) Doğu Akdeniz bölgesindeki kıtasal bloklar, kenet kuşakları ve çalışma alanı (Kısaltmalar: İAEK, İzmir-Ankara-Erzincan keneti; İTK, İç Toros keneti; BZK, Bitlis-Zagros keneti).

Figure 1. a) Geological map of the eastern part of the Central Pontides (modified from Okay et al., 2013 and Çelik et al., 2016), b) the study area and the main suture belts and continental blocks in the Eastern Mediterranean area (Abbreviations: İAEK, İzmir-Ankara-Erzincan suture; İTK, Inner Tauride suture; BZS, Bitlis-Zagros suture).



Şekil 2. Küre civarının jeoloji haritası (Okay vd., 2015 ve içerisinde değinilen kaynaklar).
Figure 2. Geological map of Küre and surrounding (Okay et al., 2015, references therein).

karakterli olup yüksek potasyum bileşimine sahiptirler (Nzegge vd., 2006). Orta Pontidler'de temeli oluşturan metasedimanter kayaçlar metasilttaşı ve ince taneli metakumtaşları ile arakatlı siyah ve kahverengi sleyt ve fillitlerden oluşmaktadır (Boztuğ ve Yılmaz, 1983).

Orta Pontidler'de yüzlek veren Küre Karmaşığı, kaynaklarda Akgöl Formasyonu olarak geçen Üst Triyas yaşlı siliskirintılı türbiditler ve ofiyolitik kayaçlardan meydana gelmektedir (Ustaömer ve Robertson, 1994). Ultramafik (harzburjit, lerzolit, dünit) ve mafik kayaçlarla (bazalt, gabro, dolerit) temsil edilen ofiyolitik kayaçlar farklı derecelerde serpantinleşme ve alterasyon gösterirler (Ustaömer ve Robertson, 1993, 1994; Çakır vd., 2006).

Okay vd. (2015), siliskirintılı türbiditler içinde Noriyen (Geç Triyas) yaş aralığına denk gelen *Monotis salinaria* türü fosiller elde ederek, bu fosillerin benzer birimler içerisinde kuzeyde Kırım'ın Torik serisinde de yer aldığına dikkat çekmişlerdir. Küre Karmaşığı'nın bir bölümünü oluşturan Üst Triyas yaşlı orojenik volkano-sedimanter birim, Orta Pontidler'de temel olarak belirtilen Permo-Karbonifer granitoyitlerinin güney kesimini üzerler (Ustaömer ve Robertson, 1994). Akgöl Formasyonu ince tabakalı koyu renkli silttaşı ve kumtaşlarıyla arakatlı siyah şeyllerden meydana gelmekte olup, birçok kesiminde faylı ve kıvrımlı olmak üzere yoğun deformasyon gösterir. Kumtaşları genellikle ince taneli ve ince tabakalı olup kuvars, feldispat ve kayaç parçacıklarından meydana gelir. Kayaç parçaları daha çok andezitik ve daha asidik karakterli volkanik kayaç türlerindedir (Okay vd., 2015).

Küre Karmaşığı Orta Jura yaşlı granitoyitik kayaçlar tarafından kesilmekte olup (Şekil 2) Üst Jura kıtasal kırıntılı kayaçlar ve kireçtaşları tarafından uyumsuz olarak örtülürler (ör. Okay vd., 2015). Küre maden sahası içerisinde de siyah şeyller ve volkanitleri kesen bir dasit-porfir daykı Şekil 3a'da görülmektedir. Ayrıca Küre bakır madeni içerisinde yer alan volkanik kayaçlar, doleritik dayklar tarafından da kesilmektedir. Akgöl Formasyonu'nu stratigrafik olarak örten Üst Jura kireçtaşları ve Akgöl Formasyonu'na solum yapmış Orta Jura yaşlı granitoyitlerde deformasyonun görülmeşi, deformasyonun Geç Triyas veya Erken Jura dönemine karşılık geldiği şeklinde yorumlanmıştır (Okay vd., 2015). Üst Triyas yaşlı türbiditik Akgöl Formasyonu'nun şeyl ve kumtaşları içinde ayrıca Kayabaşı Formasyonu olarak isimlendirilen Anisiyen-Karniyen (Orta-Üst Triyas) yaşlı kireçtaşları

yer almaktadır (Blumenthal, 1948; Önder, 1988; Okay vd., 2015). Küre civarında uzun yıllardan beri işletilen volkanik kökenli masif sülfid yatakları masif, ağırsal ve saçınımlı şekilde olup özellikle masif yapıları olanların Küre Karmaşığı'nın şeyl ve bazaltlarının dokanağında yer aldığı rapor edilmiştir (ör. Akbulut vd., 2016 ve içerisinde değerlendirilen kaynaklar).

Bölgede bazaltik kayaçlar geniş bir yayılıma sahiptir. Bazaltik kayaçlar masif, yastık yapıları ve breşik volkanitler olarak yüzlek verirler (Şekil 3b ,c, d). Küre civarında gözlenen gabro ve bazaltlar genellikle alterdedir. Bazaltlarla türbiditlerin kontağı genellikle faylı olmakla birlikte birkaç lokasyonda yastık yapıları bazalt ve breşlerinin stratigrafik olarak Akgöl Formasyonu'nun siyah şeylleri tarafından üzerlendiği rapor edilmiştir (Bailey vd. 1967; Ustaömer ve Robertson, 1994; Okay vd., 2015). Bununla birlikte siyah şeyllerle volkanitlerin farklı yapısal durumları, bölgenin ekaylı yapısına işaret etmektedir (Şekil 3e ve f). Siyah şeyllerden Küre-Uzunöz arasında ölçülen doğrultu eğim değerleri K46°D/80°GD şeklindedir. Volkanik kayaçlar ve siyah şeyller, ayrıca, hem Küre madeni içerisinde hem de Küre-İnebolu yolu üzerinde geniş yayılım sunmaktadır. Bu alanlar içerisinde hem volkanitlerin kendi içlerinde (breşik ve ezik zonlar olarak) hem de siyah şeyllerle volkanitlerin kendi aralarında tektonik kuvvetlerden etkilendikleri tespit edilmiştir (Şekil 3c).

ANALİTİK YÖNTEM

Küre Karmaşığı'ndan 5 bazalt, 3 gabro, 1 dolerit ve 2 adet dasit numunesi, ana, iz ve nadir toprak element miktarlarının saptanması için Kanada'nın Vancouver şehrinde yer alan ACME Analitik Laboratuvarlarında ICP-ES ve ICP-MS teknikleriyle analiz ettirilmiştir. Yaklaşık 0.2 gr toz numune 1.5 gr LiBO₂ ile birlikte ergitilmiş ve % 5'lik HNO₃'te çözülmüştür. Ana oksitlerin tayininde ICP-ES, iz ve nadir toprak element tayinlerinde ise ICP-MS kullanılmıştır. Analiz sonuçları Çizelge 1 ve 2'de verilmiştir.

Amfibol kimyası analizleri Cameca SX50 elektron mikroprob cihazıyla Padova Üniversitesi'nde (İtalya) gerçekleştirilmiştir. Sabit artan voltajda, 15kV, amfibol analizleri için ışın akımı 15 nA olarak ayarlanmıştır. FEM-171 numaralı gabro numunesinden elde edilen analiz sonuçları Çizelge 3'te verilmiştir.

Tüm kayaç ana, iz ve nadir toprak element analizleri yapılan tüm örneklerin (FEM-159 numaralı bazalt numunesi hariç) Sr-Nd-Pb izotop analizleri İsviçre'nin Genevre Üniversitesi'nde Mineraloji Bölümü'nde



Şekil 3. a) Küre bakır madeninde siyah şeyller içine sokulum yapmış bir dasit-porfir daykı, b) Kastamonu-Küre yolu üzerinde yer alan yastık yapılı bazaltların genel görüntüsü, c) masif bazaltlarla siyah şeyllerin tektonik ilişkisi, d) breşleşmiş volkanik kayaların yakından görüntüsü, e) siyah şeyl arakatlı kumtaşlarının (Akgöl fm.) bazaltlar üzerinde tektonik olarak yer aldığını gösteren fotoğraf, f) bazaltların siyah şeyl arakatlı kumtaşlarının üzerinde tektonik olarak yer aldığını gösteren fotoğraf.

Figure 3. a) A dacite-porphyr dike intruded into the black-shales in the Küre copper mine, b) a general view of pillow structured basalts located on the Kastamonu-Küre road, c) the tectonic relationship between the massive basalts and the black-shales, d) a close view of volcanic rocks having the breccia structure, e) sandstones intercalated with black-shales that tectonically located on the basalts, f) basalts that tectonically located on the sandstones intercalated with black-shales.

Çizelge 1. Küre Karmaşığı'na ait gabro, dolerit, bazalt ve dasit türü kayaçların ana ve iz element analiz sonuçları.
Table 1. Major and trace element analyses for gabbro, dolerite, basalt and dacite from the Küre Complex.

Kayaç	Gabro	Gabro	Gabro	Dolerit	Bazalt	Bazalt	Bazalt	Bazalt	Bazalt	Bazalt	Dasit	Dasit
Örnek	FEM-160	FEM-163	FEM-171	FMR-046	FMR-045	FMR-048	FEM-158	FEM-159	FEM-169	FEM-166	FMR-047	
SiO ₂	55.94	51.68	47.29	45.75	41.78	46.33	41.09	43.66	49.89	61.27	65.46	
TiO ₂	1.36	0.43	0.27	1.13	1.21	1.31	1.01	0.95	0.68	0.61	0.29	
Al ₂ O ₃	16.32	16.49	13.48	14.3	12.95	15.44	13.65	16.24	17.62	17.32	15.43	
Fe ₂ O ₃	10.29	7.78	6.84	9.12	8.02	10.08	7.92	9	9.04	5.86	3.15	
MnO	0.09	0.12	0.12	0.14	0.14	0.17	0.17	0.13	0.12	0.09	0.06	
MgO	3.39	8.01	15.69	7.12	5.49	7.22	4.62	6.56	6.57	2.83	1.52	
CaO	3.61	11.45	11.82	12.24	16.94	9.31	13.73	8.55	7.43	4.27	2.86	
Na ₂ O	5.9	1.48	0.7	2.34	1.6	4.23	4.77	3.23	3.77	3.08	2.37	
K ₂ O	0.17	0.21	0.11	0.24	0.06	0.2	0.06	0.5	0.16	2.42	2.82	
P ₂ O ₅	0.082	0.04	0.024	0.108	0.159	0.132	0.085	0.085	0.045	0.123	0.146	
Cr ₂ O ₃	n.d.	0.005	0.164	0.053	0.036	0.041	0.013	0.041	0.047	0.037	0.005	
LOI	2.7	2.1	3.1	7.2	11.4	5.3	12.9	11	4.4	1.9	5.8	
Toplam	99.85	99.79	99.60	99.74	99.78	99.76	100.01	99.94	99.77	99.81	99.91	
İz Elementler (ppm)												
Nb	1	n.d.	0.3	1.5	2.1	1.6	1.2	1.1	0.6	6.2	6.2	
Zr	53.6	14.2	13.6	61.4	87.6	77.6	59.7	52.6	35.4	116.4	97.3	
Y	33.2	11.7	7.2	20.7	27.7	26.3	23.7	21	14.6	16.2	9.4	
Sr	120.1	64.8	61.7	129.4	54	259.6	65.2	107.1	165.4	275.8	103.4	
Rb	1.2	1.8	0.8	4.3	1.8	5.9	1.6	14.5	2.9	83.3	110.7	
Ba	25	16	13	23	11	36	8	29	20	400	176	
Pb	0.1	n.d.	0.1	0.5	0.6	0.3	0.5	0.1	0.8	3.1	34.4	
Ga	18.3	12.4	8.9	13.6	15.8	13.4	11.7	13.7	14.3	17.3	16.7	
Zn	13	16	8	62	69	77	50	53	61	32	49	
Cu	1.2	167.1	4.7	79.2	35.1	71.3	50.4	105	20.9	19.8	3.8	
Ni	2.5	31.9	101.8	120.8	52.3	61.5	42	88.1	109.8	9.5	12.2	
Co	27.2	34.4	48.1	44.4	26.5	41.9	34.3	46.1	44.4	14.7	5.5	
V	421	231	179	278	248	301	267	251	215	89	36	
Hf	1.9	0.6	0.5	1.8	2.4	2.3	1.9	1.7	1.2	3.6	2.7	
Ta	n.d.	n.d.	n.d.	0.1	0.1	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.4	0.6	
Th	0.4	n.d.	n.d.	0.2	0.3	0.3	0.2	0.3	n.d.	7.3	10.7	
U	0.2	n.d.	n.d.	n.d.	1.9	n.d.	0.9	n.d.	n.d.	2.2	4.9	
Mo	0.7	0.6	0.3	0.6	0.3	0.4	0.1	0.6	0.6	3.8	1	
Sc	34	41	41	36	32	41	41	46	40	17	6	

n.d., Ölçülebilirlik sınırları altında

Çizelge 2. Küre Karmaşığı'na ait gabro, dolerit, bazalt ve dasit türü kayaçların Nadir Toprak Element (NTE) analiz sonuçları (ppm).

Table 2. Rare earth element analyses for gabbro, dolerite, basalt and dacite from the Küre Complex.

Kayaç	Gabro	Gabro	Gabro	Dolerit	Bazalt	Bazalt	Bazalt	Bazalt	Bazalt	Bazalt	Dasit	Dasit
Örnek	FEM-160	FEM-163	FEM-171	FMR-046	FMR-045	FMR-048	FEM-158	FEM-159	FEM-169	FEM-166	FMR-047	
La	2.6	0.7	0.7	2.9	4.3	3.6	2.9	2.5	2.1	19.5	22.3	
Ce	6.4	1.8	1.6	7.4	11.1	9.6	7.6	6.8	4.9	38	43.9	
Pr	1.17	0.31	0.29	1.28	1.9	1.67	1.46	1.24	0.87	4.73	5.08	
Nd	6.1	2	1.7	7	9.8	9.6	7.2	6.6	4.3	17.9	18	
Sm	2.07	0.76	0.59	2.32	3.03	2.93	2.34	2.11	1.46	3.54	3.66	
Eu	0.85	0.34	0.23	0.93	1.11	1.17	0.85	0.8	0.63	0.93	0.84	
Gd	3.42	1.38	0.87	3	3.97	3.91	3.3	2.86	2.1	3.46	2.75	
Tb	0.76	0.3	0.18	0.61	0.8	0.76	0.66	0.58	0.45	0.55	0.39	
Dy	4.96	2.12	1.09	3.88	5.24	4.73	4.03	3.46	2.59	2.85	1.88	
Ho	1.1	0.46	0.26	0.82	1.04	1.03	0.86	0.78	0.54	0.62	0.33	
Er	3.29	1.38	0.78	2.4	3.04	3.05	2.49	2.26	1.68	1.77	0.89	
Tm	0.53	0.24	0.14	0.38	0.47	0.49	0.41	0.37	0.24	0.29	0.13	
Yb	3.3	1.42	0.75	2.26	2.99	2.91	2.36	2.11	1.53	1.81	0.94	
Lu	0.53	0.22	0.12	0.34	0.45	0.44	0.38	0.32	0.24	0.28	0.14	

yapılmıştır. Yaklaşık 130 mg öğütülmüş kayaç numunesi (<70 µm) 4 ml konsantre bir karışımla 140°C' de sıcak tabla üzerinde 7 gün boyunca kapalı teflon kaplarda çözülmüştür. Sıcak tabla üzerinde kurutulmuş numune 3ml nitrik asitte 140°C'de tekrar çözülmüş ve kurutulmuştur. Pb, Sr ve Nd izotop oranları statik modla Thermo TRITON kütle spektrometresinde ölçülmüştür. Ayrıntılı analitik yöntem Çelik vd. (2013)' nin çalışmasında bulunmaktadır.

MİNERALOJİ VE PETROGRAFI

Sınırlı alanda yayılım gösteren gabroyik kayaçlar, genel olarak kaba taneli ve ofitik dokulu olup plajiyoklaz, piroksen, amfibol ve opak minerallerden meydana gelmektedir (Şekil 4a). Plajiyoklazlarda alterasyon olağan olup kil minerali dönüşümleri tespit edilmiştir. Bazı numunelerde muhtemel hidrotermal süreçler etkisinde oluşmuş epidot, kuvars ve klorit mineralleri belirlenmiştir. Amfiboller kalsik amfibol bileşiminde olup magnezyumlu hornblend, tremolit

ve aktinolitlerle temsil edilirler (Şekil 5). Amfibollerin Si kation değerleri 6.86 ile 7.72, X_{Mg} (Mg/Mg+Fe⁺²) değerleri ise 0.85 ile 0.99 aralığında değişmektedir (Çizelge 3). Tremolit ve aktinolitler hidrotermal süreçlerde gelişmiş olabilir ancak magnezyumlu hornblendler kayacın magmatik dokusuyla uyumluluk gösterdiklerinden magmatik kökenli amfiboller olarak değerlendirilmişlerdir. Bu durum petrografik analizlerde magnezyumlu hornblendlerin kenar kısımlarında iğne şekilli tremolit ve aktinolit gelişimlerinin gözlenmesiyle de tespit edilmiştir. Bununla birlikte amfibol grubu mineraller gabro ve bazaltların tümünde gözlenmemiştir.

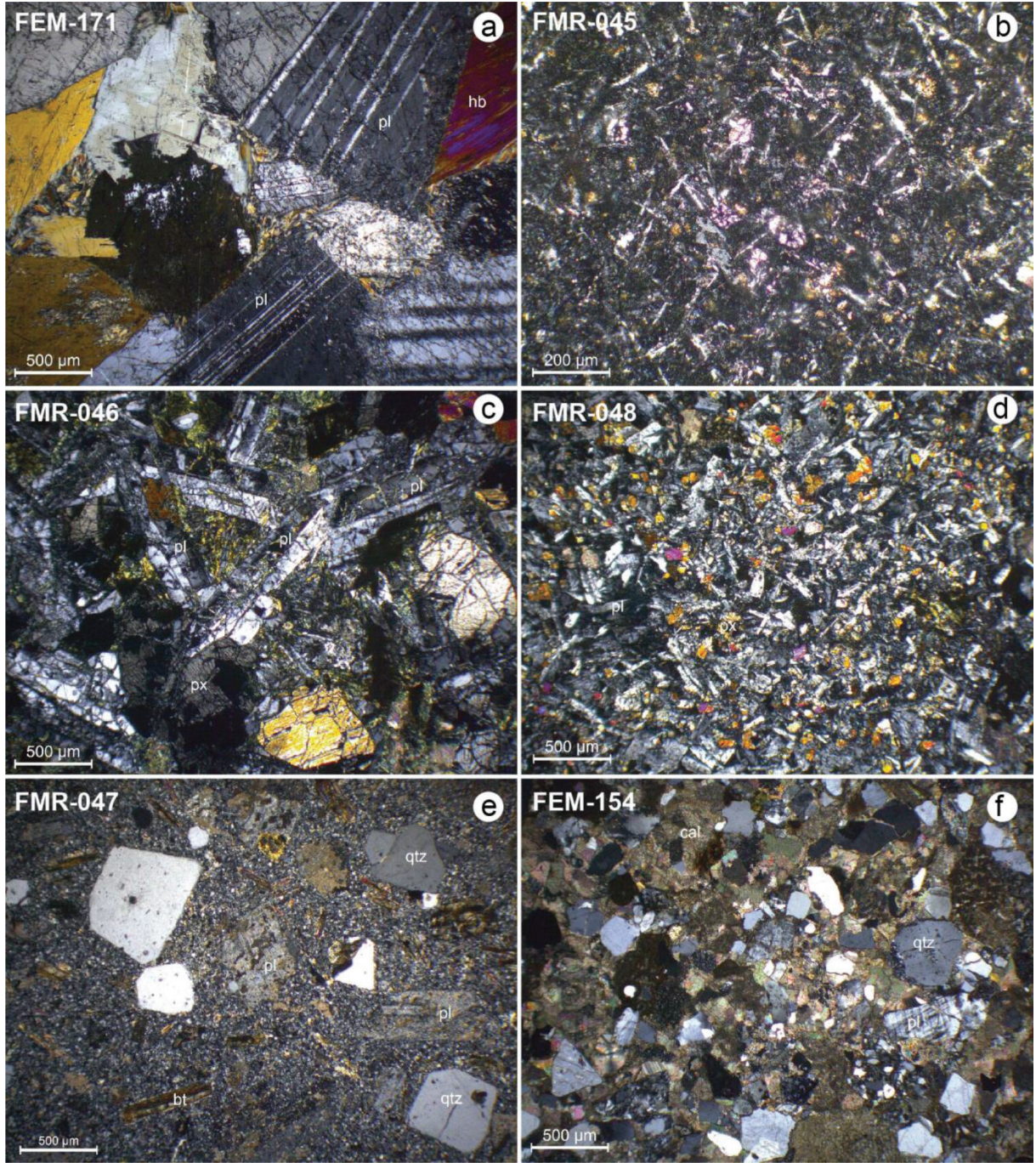
Küre maden ocağı içerisinde yastık yapılı bazaltlarda alterasyon yaygın olup, plajiyoklazlarında kloritleşmeler ve kayaç genelinde kalsit ve epidot gelişimi olağandır (Şekil 4b). Yastık yapılı altere bazaltlar doleritler tarafından kesilirler. FMR-046 numaralı dolerit örneği sub-ofitik doku göstermektedir (Şekil 4c). Bu kayaç başlıca piroksen, plajiyoklaz ve opak minerallerden

Çizelge 3. Küre Karmaşığı gabrosuna ait temsili amfibol analizleri (Hesaplamalar Tindle ve Webb (1994)'e göredir).
Table 3. Representative amphibole analyses from gabbro of the Küre Complex (The calculations are after Tindle and Webb (1994)).

Örnek	FEM171 r2-1	FEM171 r2-10	FEM171 r3-5	FEM171 r3-6	FEM171 r3-10	FEM171 r4-1	FEM171 r4-2	FEM171 r4-13	FEM171 r4-19	FEM171 r4-20
SiO ₂	52.18	54.39	48.05	54.59	52.19	53.22	53.36	52.94	54.12	53.73
TiO ₂	0.71	0.39	1.57	0.34	1.01	0.78	0.82	0.82	0.33	0.39
Al ₂ O ₃	3.53	2.66	7.04	1.46	3.84	2.71	2.76	3.25	2.73	3.08
FeO	9.73	7.66	9.59	9.19	9.02	8.74	8.88	8.74	8.34	8.03
MnO	0.18	0.09	0.12	0.14	0.13	0.19	0.13	0.17	0.19	0.25
MgO	18.57	19.93	16.68	18.75	17.94	19.05	19.21	18.80	19.40	19.24
CaO	11.14	11.97	11.64	12.07	11.79	11.43	11.27	11.37	11.32	11.52
Na ₂ O	0.83	0.44	1.36	0.25	0.64	0.52	0.42	0.62	0.55	0.60
K ₂ O	0.18	0.13	0.27	0.05	0.09	0.17	0.20	0.19	0.14	0.18
Cr ₂ O ₃	0.22	0.15	0.56	0.20	0.35	0.10	0.11	0.12	0.08	0.12
Toplam	97.28	97.81	96.89	97.05	96.98	96.93	97.17	97.02	97.19	97.13
Si	7.292	7.512	6.866	7.673	7.364	7.443	7.419	7.403	7.508	7.482
Ti	0.075	0.041	0.169	0.036	0.107	0.082	0.086	0.086	0.034	0.041
Al ^{IV}	0.581	0.432	1.134	0.241	0.636	0.447	0.453	0.536	0.446	0.505
Al ^{VI}	0.000	0.000	0.052	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Cr	0.025	0.017	0.063	0.023	0.039	0.012	0.013	0.013	0.009	0.013
Fe ³⁺	1.069	0.762	0.693	0.606	0.625	0.893	1.020	0.864	0.924	0.807
Fe ²⁺	0.068	0.123	0.454	0.474	0.438	0.129	0.013	0.158	0.044	0.128
Mn	0.021	0.010	0.015	0.017	0.015	0.023	0.016	0.020	0.022	0.029
Mg	3.869	4.104	3.554	3.929	3.773	3.971	3.982	3.920	4.013	3.994
Ca	1.668	1.771	1.781	1.818	1.782	1.713	1.680	1.703	1.683	1.718
Na	0.224	0.119	0.376	0.067	0.175	0.141	0.112	0.168	0.147	0.161
K	0.032	0.023	0.049	0.009	0.016	0.031	0.035	0.034	0.024	0.032
OH*	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Toplam Kat#	16.924	16.913	17.206	16.893	16.973	16.885	16.826	16.905	16.854	16.911
X _{Mg}	0.983	0.971	0.887	0.892	0.896	0.968	0.997	0.961	0.989	0.969

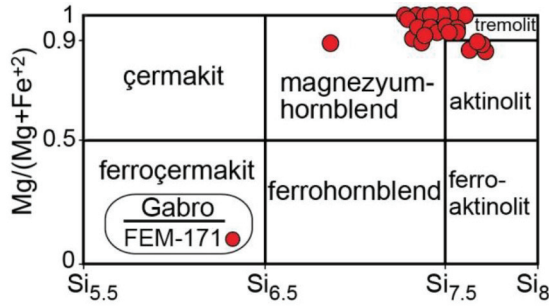
oluşmakta olup kestiği yastık yapılı bazaltlara göre daha taze durumdadır. Kayaçta piroksen ve plajiyoklaz dışında kalsit, klorit ve epidot dönüşümleri belirlenmiştir. Maden ocağından alınan bazaltik

karot numuneleri (FMR-048), diğer numunelere nazaran daha taze plajiyoklaz ve piroksen mineralleri içermektedir (Şekil 4d). Piroksenlerden itibaren sınırlı klorit, kalsit ve epidot oluşumları bu numunede de



Şekil 4. Ofiyolitik kayalar ve dasit-porfirlerin polarize ışık mikroskop görüntülerinden temsili örnekler, a) başlıca plajiyoklaz, piroksen ve amfibolden oluşan taneli dokulu gabro, b) yaygın kloritleşme gösteren bir bazalt, c) sub-ofitik dokulu dolerit, d) mikrokristalen dokulu bazalt, e) mikrogranüler porfirik dokulu dasit-porfir, f) kumtaşı (Kısaltmalar: pl, plajiyoklaz; hb, hornblend; px, piroksen; bt, biyotit; cal, kalsit; qtz, kuvars).

Figure 4. Representative microscopic polarized light views of the ophiolitic rocks and dacite-porphyr, a) a granular gabbro consisting mainly of plagioclase, pyroxene and amphibole, b) a basalt showing extensive chloritization, c) a dolerite with sub-ophitic texture, d) microcrystalline textured basalt, e) a dacite-porphyr with microgranular porphyric texture, f) sandstone (Abbreviations: pl, plagioclase; hb, hornblend; px, pyroxene; bt, biotite; cal, calcite; qtz, quartz).



Şekil 5. Küre Karmaşığı gabrosuna ait amfibollerin kimyasal bileşimleri (Leake vd. (1997)' ne göre hazırlanmıştır.).

Figure 5. Chemical composition of amphiboles from the gabbro of the Küre Complex (after Leake et al. 1997).

belirlenmiştir. Siyah şeylleri kesen lökokratik kayacın mikrogranular-porfirik dokulu dasit-porfir olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4e). Kayaç felsik mineraller olarak, altere plajiyoklaz ve kuvars minerallerinden, mafik mineral olarak ise çoğunlukla kloritleşmiş ve altere olmuş biyotit minerallerinden meydana gelmektedir. Kuvarslar matriksi oluşturan daneler şeklinde ve iri porfirik kristaller olarak gözlemlenmiştir. Ayrıca kalsit gelişimi ve bazı kuvarslarda simplektitik dokuya benzer dengesizlik dokuları gözlenmiştir. Kumtaşlarının petrografik olarak incelenmelerinde, kalsit bir çimento içerisinde kuvars, feldispat, muskovit, biyotit ve opak minerallerle birlikte fosilli kireçtaşı parçaları da içerdikleri tespit edilmiştir (Şekil 4f).

JEOKİMYA

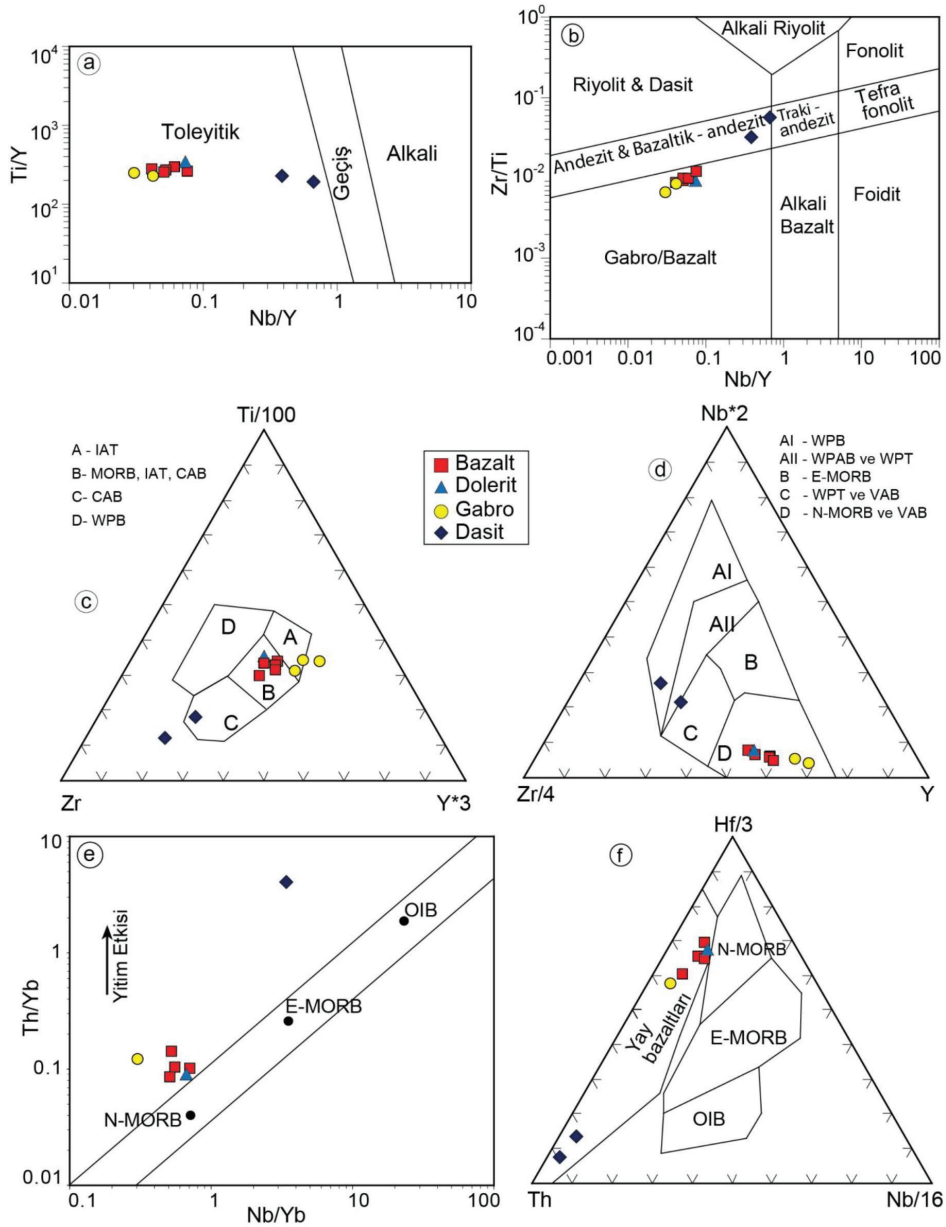
Petrografik incelemeler ve jeokimyasal analiz sonuçları, inceleme konusu kayaların değişik oranlarda alterasyona maruz kaldıklarını göstermektedir. Tüm kaya analizleri için seçilen numuneler, agat havanda öğütülüp toz haline getirilmeden önce altere olan kısımlarından arındırılarak en taze kısımları elde edilmeye çalışılmıştır. Numunelerin ateşte kayıp değerleri % 1.9 ile 12.9 arasında değişmektedir (Çizelge 1). Dolayısıyla jeokimya analiz sonuçları değerlendirilirken alterasyon süreçlerinde göç etmeyen, daha çok kalıcılığı yüksek (HFS) elementler ile nadir toprak elementler (NTE) hesaba katılmıştır.

Ana-İz ve Nadir Toprak Elementler (NTE) Jeokimyası

Küre Karmaşığı ofiyolitik kayalarına ait derinlik, yarı derinlik ve yüzey kayaları toleyitik karakterde olup,

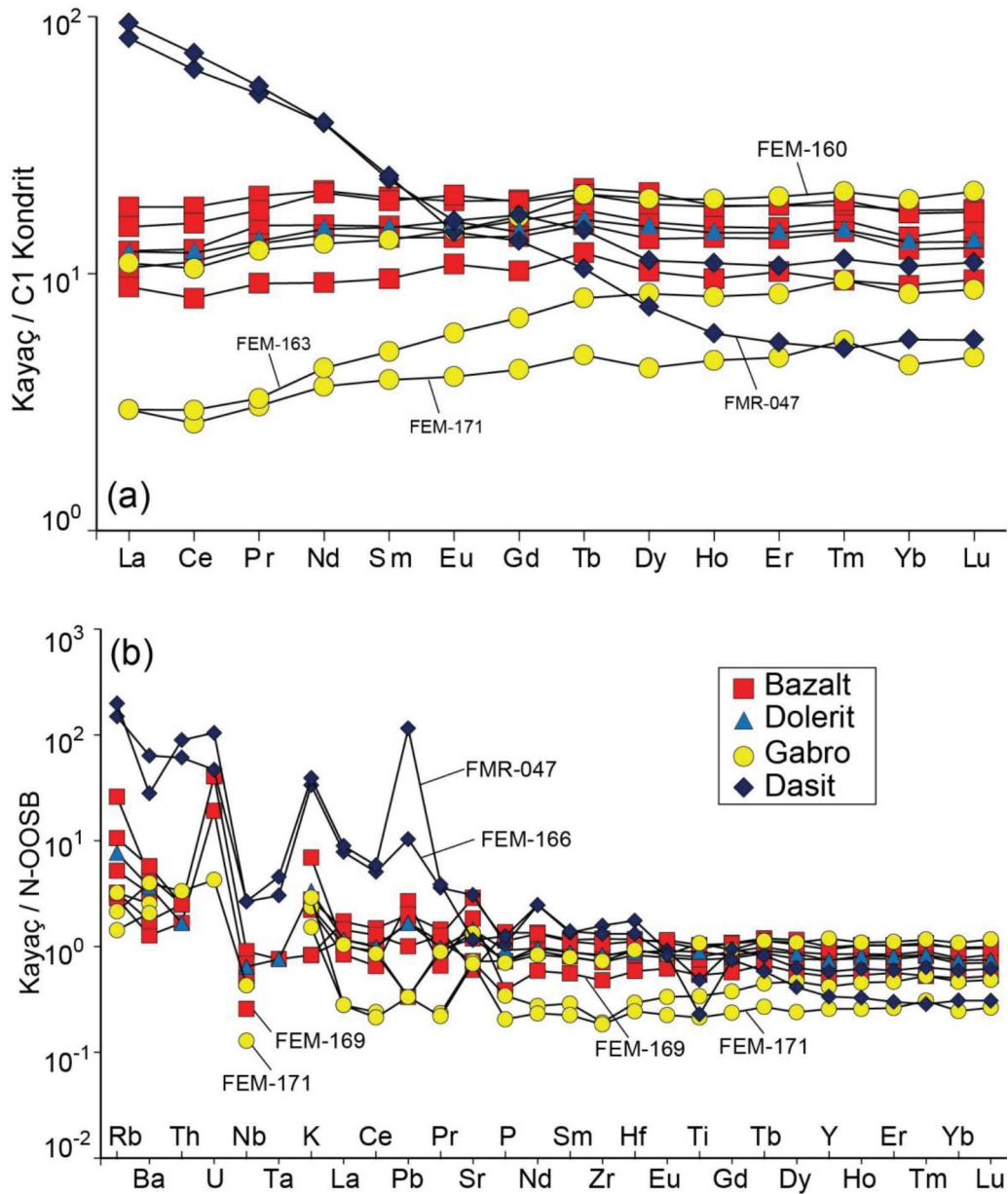
Zr/Ti oranlarının Nb/Y oranlarıyla kıyaslandığı diyagramda gabro/bazalt, andezit ve bazaltik andezitlerle temsil edilmektedirler (Şekil 6a ve b). Gabroların Sm/Yb oranları 0.5 ile 0.8 arasında olup, dolerit ve bazaltların 1, dasit-porfirlerin ise daha yüksek değerlerdedir (2-3.9). Gabro, dolerit ve bazaltların Ce/Sm oranları birbirlerine yakın değerler gösterirken (2.4-3.7) dasit porfirlerin Ce/Sm oranları yüksek değerlerdedir (10.7 ve 12.0). Gabro, dolerit ve bazaltların Nb/Yb (0.3-0.7) ve Th/Yb (~0.1) oranları düşük değerler gösterirken dasit-porfirlerin Nb/Yb (3.4-6.6) ve Th/Yb (4-11.4) oranları çok daha yüksektir. Pearce ve Cann (1973)'in Ti-Zr-Y diyagramına göre gabrolar ada yayı toleyitleri (AYT) özelliğinde olup, bazaltlar ve bazaltları kesen dolerit numuneleri yitimle ilgili (ör. AYT) ya da okyanus ortası sırtı bazaltları (OOSB) alanında dağılım sunmaktadır (Şekil 6c). Aynı diyagramda dasit numuneleri kalk alkali bazalt niteliği göstermektedirler. Diğer yandan Meschede (1986)'nin Nb-Zr-Y tektonomagmatik ortam ayırtman diyagramında bazalt, gabro ve doleritlerin tamamı N-OOSB ve volkanik yay bazaltları (VYB) alanına karşılık gelmektedirler (Şekil 6d). Pearce (1982)'nin Th/Yb-Nb/Yb ve Wood vd. (1979)'nin Hf-Th-Nb diyagramlarında gabro ve bazalt numunelerinin açık bir şekilde yitimle ilgili oldukları anlaşılmış olmakla birlikte bazı numunelerde Th içerikleri ölçülebilirlik sınırları altında kaldıkları için (FEM-163, FEM-169, FEM-171) diyagramda yer almamışlardır (Şekil 6e ve f). Bunların dışında, burada hepsi sunulmayan, örneğin Cabanis ve Lecolle (1989)'in Y-La-Nb tektonomagmatik ortam ayırtman diyagramında da dolerit, gabro ve bazaltların yitimle ilgili toleyitik bölgeye karşılık gelirken, dasit-porfirlerin kalk-alkali bölgeye iz düştükleri görülmüştür. Bazaltların ve onları kesen dolerit daykının kondrite göre normalize edilmiş NTE diyagramında (Şekil 7a) ada yayı toleyitlerinde gözlenen, ağır NTE'lerden hafif NTE'lere doğru, yaklaşık düz ($La_N/Yb_N = 0.8-1$) bir yönseme sunmalarına rağmen hafif NTE'lerde bir miktar tüketilme gözlenmektedir. Aynı kayaların N-OOSB'na göre normalize edilmiş çoklu element diyagramlarında da büyük iyonlu litofil elementlerde (ör: K, Rb, Sr) göreceli bir zenginleşme, buna karşılık kalıcılığı yüksek elementlerde (ör: Nb, Zr, Ti) çok belirgin olmayan bir tüketilme gözlenmektedir (Şekil 7b).

Gabroların kondrite göre normalize edilmiş La_N/Yb_N oranları 0.4 ile 0.7 arasında olup, dolerit ve bazaltlarınkinden (0.8-1) daha düşüktür. Bununla birlikte, gabroların kondrite göre normalize edilmiş NTE diyagramlarında, yitimle ilişkili kayalarda



Şekil 6. Küre Karmaşığı'na ait gabro, bazalt, dolerit ve dasitler için tektonomagmatik ayırım diyagramları, a) Nb/Y – Ti/Y diyagramı (Pearce, 1982' ye göre), b) Nb/Y – Zr/Ti diyagramı (Pearce, 1996' ya göre), c) Ti–Zr–Y tektonomagmatik ortam ayırım diyagramı (Pearce ve Cann 1973'e göre), d) Nb–Zr–Y üçgen diyagramı (Meschede 1986' ya göre), e) Th/Yb – Nb/Yb diyagramı (Pearce 1982' ye göre), f) Hf–Th–Nb üçgen diyagramı (Wood vd., 1979' a göre) (Kısaltmalar: IAT, ada yayı toleyitleri; N-MORB, normal okyanus ortası sırtı bazaltları; E-MORB, zenginleşmiş okyanus ortası sırtı bazaltları; CAB, kalk-alkali bazalt; OIB, okyanus adası bazaltları; WPB, plaka içi bazaltları; WPAB, plaka içi alkali bazaltları; WPT, plaka içi toleyitleri; VAB, volkanik yay bazaltları).

Figure 6. Tectonomagmatic discrimination diagrams for the gabbro/dolerite, basalt and dacite-porphry of the Küre Complex, a) Nb/Y vs. Ti/Y plot (after Pearce, 1982), b) Nb/Y vs. Zr/Ti plot (after Pearce, 1996), c) Ti–Zr–Y tectonomagmatic discrimination diagram (after Pearce and Cann 1973), d) Nb–Zr–Y triangular diagram after Meschede (1986), e) Th/Yb – Nb/Yb diagram (after Pearce 1982), f) Hf–Th–Nb triangular diagram after Wood et al., (1979) (Abbreviations: IAT, island arc tholeiite; N-MORB, normal-mid-ocean ridge basalts; E-MORB, enriched mid-ocean ridge basalts; CAB, calc-alkaline basalt; OIB, ocean island basalt; WPB, within-plate basalt; WPAB, within-plate basalt alkaline basalts; WPT, within-plate tholeiites; VAB, volcanic arc basalts).



Şekil 7. a) Küre Karmaşığı'na ait gabro, bazalt, dolerit ve dasitler için kondrite göre normalleştirilmiş NTE diyagramı, b) Aynı kayaların N-OOSB'ye göre normalleştirilmiş çoklu element diyagramı (normalleştirilen tüm değerler Sun ve McDonough (1989)' a göre).

Figure 7. a) Chondrite-normalized rare earth elements (REE) diagram for gabbro, basalt, dolerite and dacites from the Küre Complex, b) N-MORB-normalized multi element diagram of the same rocks (all normalising values after Sun and McDonough (1989)).

da gözlenebilen Lantanyum (La) zenginleşmesi görülmektedir (Şekil 7a). Gabroların N-OOSB'na göre normalize edilmiş çoklu element diyagramında bazı elementler (ör. U, Th, Ta) ölçüm sınırları altında kaldığı için görülmemektedir ancak genel olarak mevcut elementlerin tüketilmiş bir kayaktan geldiği anlaşılmaktadır (Şekil 7b). Bölgedeki siyah şeylleri

ve bazaltları kesen dasitlerin kondrite göre normalize edilmiş NTE diyagramları incelendiğinde, bunların bölgedeki ofiyolitik kayaların NTE dağılımlarından farklı oldukları ($La_N/Yb_N = 7.7-17$) ve özellikle hafif NTE içerikleri bakımından oldukça belirgin bir zenginleşme ($La_N/Sm_N = 3.6-3.9$) gösterdikleri, buna karşılık düze yakın ağır NTE desenleri sundukları

görülmektedir (Şekil 7a). Aynı kayaçların N-OOSB'na göre normalize edilmiş çoklu element diyagramında büyük iyonlu litofil elementlerde bir zenginleşme, buna karşılık kalıcılığı yüksek elementlerde (ör. Nb, Ta, Ti) yitim etkisiyle oluşan kayaçlara benzer şekilde tüketilme gözlenmiştir (Şekil 7b).

Radyojenik izotop (Nd, Sr, Pb) jeokimyası

Küre Karmaşığı ofiyolitik kayaçlarının (gabro, bazalt ve dolerit) ve dasit-porfirlerinin $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ ve $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ilksel ve günümüz değerleri incelendiğinde farklı kaynakların ürünleri oldukları açık bir şekilde görülmektedir (Şekil 8a). Gabroların $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}_{(0)}$ izotop oranları 0.51273 ve 0.51274, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_{(0)}$ izotop oranları ise 0.7046-0.7051 arasında değişmektedir. Bazaltların ve onları kesen dolerit daykının $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}_{(0)}$ (0.51269-0.51275) ve $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_{(0)}$ (0.7041-0.7059) izotop oranları gabroların izotop oranlarına yakın değerlerdedir. Buna karşılık dasit-porfirlerin $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}_{(0)}$ (0.51212 ve 0.51225) ve $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_{(0)}$ (0.7073-0.7109) izotop oranları gabro, dolerit ve bazaltların izotop oranlarından oldukça farklı değerlere sahip olup EMII kaynak alanına işaret etmektedirler (Şekil 8).

Tüm kaya analizlerinde bazı numunelerin (ör. FMR-048, FEM-169) Uranyum (U), Toryum (Th) değerleri, uygulanan analiz yönteminin ölçülebilirlik sınırları altında kalmıştır (Çizelge 1). Ayrıca bazı numuneler ölçüm sınırlarına yakın değerler içermektedirler. Ölçülebilirlik sınırları altında kalan numunelerin ilksel izotop değerleri hesaplanmadığından Şekil 8'deki ilgili diyagramlarda gösterilmemiştir. İlksel izotop oranları hesaplanabilen gabro, dolerit ve bazaltların $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}_{(0)}$ oranları 15.12 ve 18.40 arasında geniş bir dağılım gösterirken, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}_{(0)}$ oranları (15.37-15.49) birbirlerine daha yakın değerlerdedir. Dasit-porfirlerin $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}_{(0)}$ oranları ofiyolitik kayaçlarından farklı olarak 17.89 ve 18.52, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}_{(0)}$ oranları ise 15.63'dür.

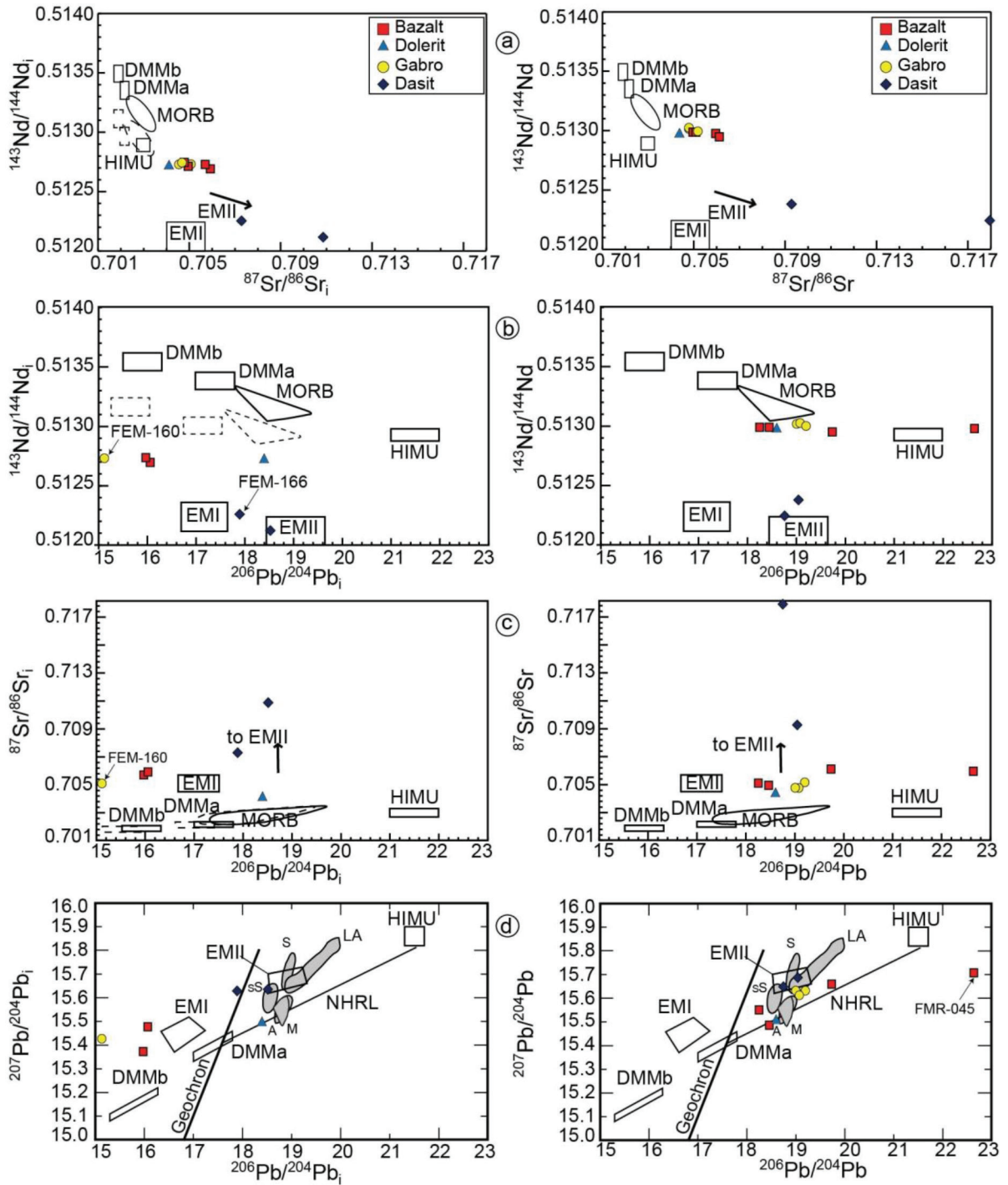
TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Küre Karmaşığı'nın bazaltları masif, breşik ve yastık yapılı olarak gözlemlenmiştir. Bazaltların, bazı yerlerde Akgöl Formasyonu'nun siyah şeyl ve kumtaşları üzerine tektonik olarak geldiği, bazı yerlerde ise Akgöl Formasyonu'nun siyah şeyl ve kumtaşları, bazaltları tektonik olarak üzerlediği tespit edilmiştir. Bu durum Küre Karmaşığı'nın ekaylı yapısını göstermektedir. Gabrolar genellikle taneli ve ofitik dokulu

olup başlıca plajiyoklaz, piroksen ve amfibol mineralerinden meydana gelirler. Amfiboller kalsik amfibol bileşiminde olup magnezyumlu hornblend, tremolit ve aktinolitlerle temsil edilirler. Gabro, dolerit ve bazaltlarda en yaygın alterasyon mineralleri klorit, epidot, kalsit ve kuvars olup, alterasyon kayaçlarda farklı dereceldedir.

Küre Karmaşığı'nın gabro, bazalt ve doleritlerden oluşan ofiyolitik kayaçlarıyla bu kayaçları kesen dasit-porfir dayklarının farklı kökenlerden geldikleri tüm-kayaç ana-iz NTE ve izotop jeokimyası çalışmalarıyla tespit edilmiştir. Ofiyolitik kayaçların (gabro, bazalt ve dolerit) $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}_{(0)}$ (0.51269-0.51274) ve $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_{(0)}$ (0.7041-0.7059) izotop oranları bu kayaçların aynı kaynaktan türemiş olabileceğine işaret etmektedir (Çizelge 4, Şekil 8a). Radyojenik izotoplar, Küre Karmaşığı'nın ofiyolitik kayaçlarının tüketilmiş manto ve yitime uğrayan sedimanların (büyük olasılıkla EMII) karışımından meydana gelmiş olabileceğini göstermekte olup, bu kayaçların oluşumunda HIMU bileşeni etkisi görülmemektedir (Şekil 8). Bu türlü izotop dağılımlarının okyanusal kabuk üstünde gelişen ada yaylarında görülmekte olduğu ve dolayısıyla yitim zonu üstünde gelişen kayaçların karakteristiklerinden olduğu bilinmektedir. Bu çalışmaya ait iz element jeokimyası da bu kayaçların yitim zonu üstü ofiyolitleri şeklinde oluşmuş olabileceğini desteklemektedir. Küre ofiyolitinin yitim zonu üstü ofiyoliti şeklinde oluşmuş olabileceği önceki çalışmalarda da belirtilmiştir (ör. Ustaömer ve Robertson 1994, 1999; Çakır vd., 2006).

Ofiyolitik kayaçların izotop kimyası sonuçlarına benzer sonuçlar başka çalışmalarda da tespit edilmiş olup özellikle Sr izotoplarındaki ilksel ve günümüz izotop oranları arasında fazla bir fark olmamasının nedeni mafik kayaçlardaki Rb/Sr değerlerinin düşük olmasıyla ilişkilendirilmiştir (ör. Chiaradia, 2009; Çelik vd., 2013; Çelik vd., 2016). Bazaltların Sr izotoplarına göre kabaca ikiye ayrıldıkları söylenebilir. Bu örneklerin yüzey kayaçları olması ve benzer Nd izotop oranlarına sahip olmaları nedeniyle deniz suyu alterasyonunun bu kayaçları etkilemiş olabileceği düşünülebilir. Ofiyolitik kayaçlardan hesaplanabilen Pb (ör. $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$) izotop değerleri ise oldukça fazla değişkenlik göstermektedirler (Şekil 8b, c ve d). Bu durumun en önemli nedeni U, Th ve Pb elementlerinin bu kayaçlarda çok az miktarda oluşu ve alterasyon süreçlerinde Pb'nin daha mobil olmasıdır (ör. Chiaradia, 2009). Neodmiyum (Nd) düşük çözünürlüğe sahip olup sulu akışkan fazda çok düşük hareketliliğe



Şekil 8. Küre Karmaşığı'nın gabro, bazalt, dolerit ve dasitlerine ait, a) Nd-Sr, b) Nd-Pb, c) Sr-Pb ve d) Pb-Pb ilksel ve günümüz izotop oranları diyagramları (Manto ve uç üye bileşimleri Zindler ve Hart (1986)' a göre. MORB, DMMa ve DMMb kesikli çizgi alanları Hart vd. (1999) ile Workman ve Hart (2005)' in ilgili alanlarının element içerikleri ve izotop bileşimlerinin kullanımıyla 160 My'a göre düzeltilmiştir.).

Figure 8. a) Nd-Sr, b) Nd-Pb, c) Sr-Pb ve d) Pb-Pb diagrams of present day and initial isotopic ratios for gabbros, basalts, dolerites and dacites of the Küre Complex (Mantle end member compositions are from Zindler and Hart (1986). The dashed contour fields of MORB, DMMa and DMMb were corrected to 160 Ma ago using element concentrations and isotopic compositions of those reservoirs from Hart et al. (1999) and Workman and Hart (2005)).

Çizelge 4. Sr-Nd-Pb izotop oranları.

Table 4. Sr-Nd-Pb isotopes ratios.

Numune	Kayaç	Sm (ppm)	Nd (ppm)	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_{(i)}$	$^{143}\text{Nd} / ^{144}\text{Nd}$	$^{143}\text{Nd} / ^{144}\text{Nd}_{(i)}$	$\epsilon\text{CHUR}_{(t)}$
				ölçülen	ilksel (a)	ölçülen	ilksel	
FMR-045	Bazalt	3.03	9.8	0.705957	0.705683	0.512976	0.512732	6.86
FMR-048	Bazalt	2.93	9.6	0.704958	0.704771	0.512987	0.512747	7.15
FEM-158	Bazalt	2.34	7.2	0.706112	0.70591	0.512949	0.512693	6.09
FEM-169	Bazalt	1.46	4.3	0.705088	0.704944	0.512984	0.512716	6.55
FMR-046	Dolerit	2.32	7	0.704369	0.704095	0.512982	0.51272	6.63
FEM-160	Gabro	2.07	6.1	0.705158	0.705076	0.512997	0.51273	6.81
FEM-163	Gabro	0.76	2	0.70478	0.704551	0.513027	0.512728	6.77
FEM-171	Gabro	0.59	1.7	0.704791	0.704684	0.513015	0.512742	7.04
FMR-047	Dasit	3.66	18	0.717915	0.710862	0.512245	0.512116	-6.16
FEM-166	Dasit	3.54	17.9	0.709274	0.707286	0.512378	0.512254	-3.48
Numune	Kayaç	$^{206}\text{Pb} / ^{204}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb} / ^{204}\text{Pb}_{(i)}$	$^{207}\text{Pb} / ^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb} / ^{204}\text{Pb}_{(i)}$	$^{208}\text{Pb} / ^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb} / ^{204}\text{Pb}_{(i)}$	
		ölçülen	ilksel	ölçülen	ilksel	ölçülen	ilksel	
FMR-045	Bazalt	22.6414	15.9714	15.7063	15.3721	38.0264	37.6830	
FMR-048	Bazalt	18.4583	n.d.	15.4863	n.d.	38.1353	n.d.	
FEM-158	Bazalt	19.7351	16.0677	15.6591	15.4754	38.4325	38.1668	
FEM-169	Bazalt	18.2491	n.d.	15.5485	n.d.	38.2515	n.d.	
FMR-046	Dolerit	18.5968	18.3976	15.5015	15.4915	38.0462	37.7864	
FEM-160	Gabro	19.1972	15.1249	15.6303	15.4263	38.9451	36.2893	
FEM-163	Gabro	19.0746	n.d.	15.6108	n.d.	38.7975	n.d.	
FEM-171	Gabro	19.0041	n.d.	15.6304	n.d.	38.8233	n.d.	
FMR-047	Dasit	18.7491	18.5198	15.6471	15.6358	38.7415	38.5778	
FEM-166	Dasit	19.0446	17.8914	15.6860	15.6292	39.0943	37.8438	

(a) ilksel oranlar dasit porfirler için 160 My, diğer kayaçlar için 200 My olarak hesaplanmıştır.

n.d. = Pb, U veya Th analitik ölçüm limitlerinin altında olduğu için tespit edilmedi.

sahipken, Pb elementi yitim süreçlerindeki metasomatizma olaylarında sulu akışkan fazla birlikte dala dilimden manto kamasına kolaylıkla göç edebilir (ör. Kessel vd., 2005). Dolayısıyla evrimleşmiş Pb izotop değerleriyle birlikte göreceli ilksel Nd izotop değerleri, dala dilimden türeyen akışkanlarla birlikte sisteme katılan Pb izotoplarının anomalileri olabilir.

Ayrıca alterasyon süreçlerinde ebeveyn (ör. Th, U) ve yavru izotoplar (ör. Pb) akışkanlardaki farklı çözünlüklükleriyle sistemden farklı derecelerde uzaklaştırılırlar, dolayısıyla hesaplanan ilksel izotop değerleri magmatik kristallenme esnasındaki gerçek değerleri yansıtmaz ve sistem açık sistem olarak davranır (ör. Chiaradia, 2009). Ölçümü yapılabilenlerden iki bazalt

(FMR-045 ve FEM158) ve bir gabro numunesi Pb izotopları yönünden oldukça saçınım göstermekte olup FMR-045 NHRL'nin altında kalmaktadır. Bu durum, bu kayaların alterasyondan etkilendiklerini ve dolaşısıyla 'açık sistem' davranışı gösterdikleri şeklinde değerlendirilmiştir (Şekil 8d).

Küre Karmaşığı ofiyolitik kayaları ve kırınıtlı çökel kayalarını kesen dasit-porfirler düşük $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}_{(t)}$ (0.51211–0.51225) oranlarıyla Küre Karmaşığı'nın ofiyolitik kayalarından bariz bir şekilde ayrılmaktadır, dolayısıyla bu kayaların ofiyolitik kayalarla ilgili olmadıkları ve kabuktan veya eski bir temelden türemiş kayalar oldukları anlaşılmaktadır. Dasit-porfirlerde ilksel ve günümüz izotop değerleri incelendiğinde uyumsuzluk olduğu ve bir örnekte (FMR-047) radyojenik ^{87}Sr 'nin anomali verdiği görülmektedir dolayısıyla sisteme hidrotermal etki neticesinde Sr girdisi olduğu büyük olasılıktır. Dasit porfirlerin negatif epsilon değerleri ($\epsilon\text{CHUR}_{(t)} = -6.2, -3.5$), radyojenik Sr ve Pb değerleri beraber değerlendirildiğinde EMII kaynak alanına işaret ettikleri, dolayısıyla ofiyolitik kayaların kaynak alanlarından farklı olarak kabuktan türeme kayalar oldukları açıktır. Bu özellik bu kayaların tabanında yer alan kıtasal bir kabuğa işaret etmektedir. Böyle bir kaynak, Küre'nin hemen kuzey doğusunda yüzlek veren Sakarya Zonu'nun Permo-Karbonifer yaşlı temeli (granitik ve metamorfik kayaç topluluğu) olabilir. Bu durumda Sakarya Zonu'nun Permo-Karbonifer yaşlı temel kayalarının Küre bölgesinin tabanında da devam ettiği düşünülebilir.

KATKI BELİRTME

Bu çalışma TÜBİTAK 106Y222 numaralı proje ile desteklenmiştir. Yazar, izotop analizlerinin gerçekleştirilmesini sağlayan Cenevre Üniversitesi'nden Massimo Chiaradia'ya ve mineral kimyası analizine destek sağlayan Padova Üniversitesi'nden Andrea Marzoli'ye teşekkür eder. Yazar, Küre Maden Ocağı ve çevresinde çalışma yapılmasına müsaade eden Cengiz Holding yetkililerine ve mühendislerine teşekkür eder. Yazar, makalenin değerlendirilme aşamasında yapıcı öneri ve düzeltmeleri ile katkı sağlayan hakem İbrahim Uysal (KTÜ)' a, ismi belirtilmeyen diğer hakeme ve editörlere teşekkür eder.

KAYNAKLAR

Aygül, M., Okay, A.I., Oberhansli, R., Schmidt, A., and Sudo, M., 2015. Late Cretaceous infant intra-oceanic arc volcanism, the Central

Pontides, Turkey: Petrogenetic and tectonic implications. *Journal of Asian Earth Sciences*, 111, 312-327.

Aydın, M., Şahintürk, O., Serdar, H.S., Özçelik, Y., Akarsu, I., Üngör, A., Çokuğraş, R., and Kasar, S., 1986. Geology of the region between Ballıdağ-Çangaldağ (Kastamonu). *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, 29, 1-16.

Akbulut, M., Oyman, T., Çiçek, M., Selby, D., Özgenç, İ., and Tokçer, M., 2016. Petrography, mineral chemistry, fluid inclusion microthermometry and Re–Os geochronology of the Küre volcanogenic massive sulfide deposit (Central Pontides, Northern Turkey). *Ore Geology Reviews*, 76, 1-18.

Bailey, E.H., Barnes, J.W., and Kupfer, D.H., 1967. Geology and ore deposits of the Küre District, Kastamonu Province, Turkey. In CEN-TO Summer Training Program in Geological Mapping Techniques, 11-94.

Blumenthal, M.M., 1948. Geology of the North Anatolian Mountain Ranges Between Bolu and Lower Kızılırmak (in Turkish). Ankara: Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü Publication, Series B, 13, 265.

Boztuğ, D., and Yılmaz, O., 1983. Mineralogical-petrographic and geochemical study of the Büyükçay-Elmalçay granitoid (Kastamonu) and its country rocks. *Yerbilimleri*, 10, 71-88.

Cabanis, B., and Lecolle, M., 1989. Le diagramme La/10–Y/15–Nb/8: un outil pour la discrimination des series volcaniques et la mise en evidence des processus de mélange et/ou de contamination crustale. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences-Series II* 309, 2023-2029.

Chiaradia, M., 2009. Adakite-like rocks from fractional crystallization and assimilation of mafic lower crust: Eocene Macuchi arc (Western Cordillera, Ecuador). *Chemical Geology*, 265, 468-487.

Çakır, Ü., Genç, Y., and Paktunç, D., 2006. Intrusive Iherzolites within the basalts of Küre ophiolite (Turkey): an occurrence in the Tethyan suprasubduction marginal basin. *Geological Journal*, 41, 123-143.

Çelik, Ö.F., Chiaradia, M., Marzoli, A., Billor, Z., and Marschik, R. 2013. The Eldivan ophiolite and volcanic rocks in the İzmir-Ankara-

- Erzincan suture zone, Northern Turkey: Geochronology, whole-rock geochemical and Nd–Sr–Pb isotope characteristics. *Lithos*, 172-173, 31-46.
- Çelik, Ö.F., Chiaradia, M., Marzoli, A., Özkan, M., Billor, Z., and Topuz, G., 2016. Jurassic metabasic rocks in the Kızılırmak accretionary complex (Kargı region, Central Pontides, Northern Turkey). *Tectonophysics*, 672-673, 34-49.
- Dean, W.Y., Martin, E., Monod, O., Demir, O., Rickards, A.B., Bultynck, P., and Bozdoğan, N., 1997. Lower Paleozoic stratigraphy, Karadere-Zirze area, central Pontides, northern Turkey. In: Göncüoğlu, M.C., Derman, A.S. (Eds.), *Early Paleozoic Evolution in NW Gondwana*. Turkish Association of Petroleum Geologists, Special Publications, 3, 32-38.
- Görür, N., Monod, O., Okay, A.I., Şengör, A.M.C., Tüysüz, O., Yiğitbaş, E., Sakıncı, M., and Akkök, R., 1997. Palaeogeographic and tectonic position of the Carboniferous rocks of the western Pontides (Turkey) in the frame of the Variscan belt. *Bulletin de la Societe Geologique de France*, 168, 197-205.
- Hart, S.R., Blusztajn, J., Dick, H.J.B., Meyer, P.S., and Muehlenbachs, K., 1999. The fingerprint of seawater circulation in a 500-meter section of ocean crust gabbros. *Geochimica Cosmochimica Acta*, 63, 4059-4080.
- Kessel, R., Schmidt, M.W., Ulmer, P., and Pettke, T., 2005. Trace element signature of subduction-zone fluids, melts and supercritical liquids at 120-180 km depth. *Nature*, 437, 724-727.
- Leake, B.E., Woolley, A.R., Arps, C.E.S., Birch, W.D., Gilbert, M.C., Grice, J.D., Hawthopne, F.C., Kato, A., Kisch, H.J., Krivovichev, V.G., Lint-hout, K., Laird, J., Mandarino, J., Maresch, W.V., Nickel, E.H., Rock, N.M.S., Schumacher, J.C., Smith, D.C., Stephenson, N.C.N., Ungaretti, L., Whittaker, E.J.W., and Youzhi, G., 1997. Nomenclature of amphiboles: report of the subcommittee on amphiboles of the International Mineralogical Association, commission on new minerals and mineral names. *American Mineralogist*, 82, 1019-1037.
- Meschede, M., 1986. A method of discriminating between different types of midoceanic ridge basalts and continental tholeiites with the Nb–Zr–Y diagram. *Chemical Geology*, 56, 207-218.
- Nzegge, O.M., Satır, M., Siebel, W., and Taubald, H., 2006. Geochemical and isotopic constraints on the genesis of the Late Palaeozoic Deliktaş and Sivrikaya granites from the Kastamonu granitoid belt (Central Pontides, Turkey). *Neues Jahrbuch für Mineralogie, Abhandlungen*, 183, 27-40.
- Okay, A.I., Tüysüz, O., Satır, M., Özkan-Altınler, S., Altınler, D., Sherlock, S., and Eren, R.H., 2006. Cretaceous and Triassic subduction-accretion, HP/LT metamorphism and continental growth in the Central Pontides, Turkey. *Geological Society of America Bulletin*, 118, 1247-69.
- Okay, A.I., Sunal, G., Sherlock, S., Altınler, D., Tüysüz, O., Kylander-Clark, A.R.C., and Aygül, M., 2013. Early Cretaceous sedimentation and orogeny on the southern active margin of Eurasia: Central Pontides, Turkey. *Tectonics*, 32, 1247-71.
- Okay, A.I., Sunal, G., Tüysüz, O., Sherlock, S., Keskin, M., and Kylander-clark, A.R.C., 2014. Low-pressure– high-temperature metamorphism during extension in a Jurassic magmatic arc, Central Pontides, Turkey. *Journal of Metamorphic Geology*, 32, 49-69.
- Okay, A.I., Altınler, D., and Kılıç, A.M., 2015. Triassic limestone, turbidites and serpentinite—the Cimmeride orogeny in the Central Pontides. *Geological Magazine*, 152, 460-479.
- Önder, F. 1988. Taxonomic features of the Triassic conodonts in the Kayabaşı Formation (in Turkish). *Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, Seri A5*, 67-90.
- Pearce, J.A., 1982. Trace element characteristics of lavas from destructive plate boundaries. In: Thorpe, R.S. (Ed.), *Andesites: Orogenic Andesites and Related Rocks*. John Wiley and Sons, 252-548.
- Pearce, J.A., and Cann, J.R., 1973. Tectonic setting of basic volcanic rocks determined using trace element analysis. *Earth and Planetary Science Letters*, 19, 290-300.

- Pearce, J.A., 1996. A user's guide to basalt discrimination diagrams. In: Wyman, D.A. (Ed.), Trace Element Geochemistry of Volcanic Rocks: Applications for Massive Sulphide Exploration: Geological Association of Canada, Short Course Notes, 12, 79-113.
- Sun, S.S., and McDonough, W.F., 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. In: Saunders, A., Norry, M.J. (Eds.), Magmatism in the Ocean Basins, 42. Geological Society of London Special Publication, 313-345.
- Tekeli, O., 1981. Subduction complex of pre-Jurassic age, northern Anatolia, Turkey. *Geology*, 9, 68-72.
- Tindle, A.G., and Webb, P.C., 1994. PROBE-AMPH a spreadsheet program to classify microprobe-derived amphibole analyses. *Computers and Geosciences* 20, 1201-1228.
- Tüysüz, O., 1990. Tectonic evolution of a part of the Tethyside orogenic collage: the Kargı Masif, northern Turkey. *Tectonics*, 9, 141-60.
- Uğuz, M.F., Sevin, M., and Duru, M., 2002. Geological Map Series of Turkey, Sinop Sheet, 1: 500 000. Ankara: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü.
- Ustaömer, T., and Robertson, A.H.F., 1993. Late Palaeozoic–Early Mesozoic marginal basins along the active southern continental margin of Eurasia: evidence from the Central Pontides (Turkey) and adjacent regions. *Geological Journal*, 28, 219-238.
- Ustaömer, T., and Robertson, A.H.F., 1994. Late Paleozoic marginal basin and subduction-accretion: evidence from the Palaeotethyan Küre Complex, Central Pontides, northern Turkey. *Journal of the Geological Society of London*, 151, 291-306.
- Ustaömer, T., and Robertson, A.H.F., 1999. Geochemical evidence used to test alternative plate tectonic models for pre-Upper Jurassic (Palaeotethyan) units in the Central Pontides, N Turkey. *Geological Journal*, 34, 25-53.
- Wood, D.A., Joron, J.L., and Treuil, M., 1979. A reappraisal of the use of trace elements to classify and discriminate between magma series erupted in different tectonic settings. *Earth and Planetary Science Letters*, 45, 326-336.
- Workman, R.K., and Hart, S.R., 2005. Major and trace element composition of the depleted MORB mantle (DMM). *Earth and Planetary Science Letters*, 231, 53-72.
- Yılmaz, O., and Boztuğ, D., 1986. Kastamonu granitoid belt of northern Turkey: first arc plutonism product related to the subduction of the Paleo-Tethys. *Geology*, 4, 179-183.
- Yılmaz, Y., and Şengör, A.M.C., 1985. Palaeo-Tethyan ophiolites in northern Turkey: petrology and tectonic setting. *Ofioliti*, 10, 485-504.
- Yılmaz, Y., Tüysüz, O., Yiğitbaş, E., Can Genç, Ş., and Şengör, A.M.C., 1997. Geology and tectonic evolution of the Pontides. In Robinson A.F. (Ed), Regional and Petroleum Geology of the Black Sea and Surrounding Region. American Association of Petroleum Geologists Memoir, 68, 183-226.
- Yiğitbaş, E., Elmas, A., and Yılmaz, Y., 1999. Pre-Cenozoic tectono-stratigraphic components of the Western Pontides and their geological evolution. *Geological Journal*, 34, 55-74.
- Zindler, A.E., and Hart, S.R., 1986. Chemical geodynamics. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 14, 493-571.

Düşük Magnitüdü Kayıtların Yer Hareketi Tahmin Denklemleri Üzerindeki Etkisi: Türkiye için Bir Ön Çalışma

Effects of Low Magnitude Records on Ground-Motion Prediction Equations: A Preliminary Study for Turkey

M. ABDULLAH SANDIKKAYA^{1*}

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

Geliş (received) : 27 Ocak (January) 2016
Kabul (accepted) : 26 Eylül (September) 2016

ÖZ

Bu çalışmada, Türkiye için üretilen yer hareketi tahmin denklemleri incelenmiş ve tartışma kapsamında incelenecek olan denklemler seçilmiştir. Seçilen denklemlerin 2008-2014 yılları arasında kaydedilen düşük magnitüdü ($M_w < 5.5$) kuvvetli yer hareketi kayıtları ile değerlendirmesi yapılmış ve yeni kayıtların tahminlerden daha düşük spektral değerler aldığı gözlenmiştir. Bu kayıtların doğrudan yer hareketi tahmin denklemi üretilirken regresyona katılmaları durumunda özellikle orta büyüklükteki deprem davranışının olumsuz etkilendiği görülmüştür. Bu nedenle ileride yapılacak çalışmalarda regresyonun aşamalı olarak yapılması ve üç parçalı bir magnitüd ölçekleme fonksiyonu kullanılması tavsiye edilir.

Anahtar Kelimeler: Düşük magnitüdü deprem davranışı, Kuvvetli yer hareketi kayıtları, Yer hareketi tahmin denklemleri.

ABSTRACT

This study includes investigation and selection of the ground-motion prediction equations developed for Turkey. The selected equations are evaluated with the low-magnitude ($M_w < 5.5$) earthquakes recorded from 2008 to 2014. The predictive equations generally give higher spectral ordinates than the observed data. Directly using of these low-magnitude data in the regression analysis for generation of predictive equations yields incorrect estimation of the spectral ordinates in mid-magnitude range. For this reason, utilizing a step by step regression with three piece-wise magnitude scaling function is recommended for future studies.

Keywords: Low-magnitude earthquake behavior, Ground-motion prediction equations, Strong ground-motion records.

*M.A. Sandikkaya
e-posta: abdullahsandikkaya@hacettepe.edu.tr

GİRİŞ

Ülkemizde ve dünyada deprem hasarlarını en aza indirgeyecek şekilde tasarımı izin veren deprem şartnameleri kullanılmaktadır (Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, 2007; BSSC, 2003). Söz konusu şartnamelerin amacı deprem sırasında yapıya etkiyecek olan kuvvetlere karşı koyabilecek tasarımların yapılmasını sağlamaktır. Bu kuvvetleri doğru kestirebilmek için, şartnamelerde bölgesel sismik özelliklerin iyice belirlenmiş ve çalışılmış olması gerekmektedir. Son zamanlarda bu işlem olasılıksal sismik tehlike analizleri ile yapılmaktadır. Bu analizlerin sonucunu etkileyen en önemli bileşenlerinden biri yer hareketi tahmin denklemleridir. Bu denklemler kuvvetli yer hareketi deprem kayıtlarından elde edilen gözlemsel ivme zaman serilerine (deprem kayıtlarına) ait pik yer ivmesi ve spektral ivme değerlerinin, temel olarak fay tipi, depremin büyüklüğü (M_w), alan kaynak mesafe ölçüleri (kıvrılan faya en yakın uzaklık, R_{rup} veya Joyner-Boore mesafesi, R_{JB}) ve saha koşulları (30 m'lik kayma dalgası hız-zaman ortalaması; V_{330}) gibi parametreler ile değişimlerinin istatistiksel yöntemler (medyan ve belirsizlik hesabı) kullanılarak üretilmesi ile elde edilmektedir (Kramer, 1996).

1976 yılından beri Türkiye'de meydana gelen depremlere ait kuvvetli yer hareketi kayıtları Türkiye Cumhuriyeti Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı altında faaliyet gösteren Deprem Dairesi Başkanlığı (AFAD) tarafından arşivlenmektedir. Söz konusu deprem kayıtlarının 2008 kadar olan kısmı TÜBİTAK 1007 Programı kapsamında 105G016 nolu "Ulusal Kuvvetli Yer Hareketi Şebekesi Veri Tabanının Uluslararası Ölçütlere Göre Derlenmesi" projesi kapsamında bilim insanlarının kullanımına sunulmuştur (Akkar vd., 2010; Sandikkaya vd., 2010). Avrupa veritabanı güncellenirken Türkiye'de 2008-2012 arasında meydana gelen orta ve büyük magnitudlü depremler çalışılmış ve Avrupa Deprem Hareketi İçin Referans Veritabanı (Reference Database for Seismic Ground-Motion in Europe; RESORCE) veritabanına eklenmiştir (Akkar vd., 2014). 2008-2014 tarihleri arasında meydana gelen depremler çerçevesi Akkar vd. (2014) çalışmasında belirlenmiş olan sistematığe göre derlenerek oluşturulmuştur. Meydana gelen depremlerin lokasyonu, moment büyüklüğü ve fay çözümü uluslararası ajanslardan (Global CMT Web Sitesi, 2016; Regional Centroid Moment Tensor Web Sitesi, 2016; CSEM Moment Tensor Web Sitesi, 2016) bulunmuş ve fay tipleri belirlenmiştir. Alan kaynak mesafe uzaklıkları hesaplanmış ve kayıtlar

mühendislik uygulamalarında kullanılması amacıyla filtreleme işlemine tabi tutulmuştur.

Bu çalışmanın temel amacı, 2008 sonrasında Türkiye Kuvvetli Yer Hareketi Veritabanında (2016) kaydedilmiş düşük magnitudlü depremlerin incelenerek Türkiye için üretilecek olan bir sonraki tahmin denklemlerine yol göstermesidir. Çalışmaya Türkiye için üretilmiş olan yer hareketi tahmin denklemlerinin değerlendirilmesi yapılarak başlanmıştır. Üretilen denklemler incelendiğinde 2008 sonrasında kaydedilen verilerin kullanılmadığı tespit edilmiştir (Kale vd. (2015)'nin çalışmasında sadece 2008 yılından sonra meydana gelen $M_w > 5.6$ depremler kullanılmıştır). Bu nedenle çalışılan veritabanı, tüm denklemler için "yeni" olarak değerlendirilmiş ve 2008 yılı öncesindeki kayıtlara değerlendirme aşamasında yer verilmiştir. (Batı Amerika için Yeni Nesil Azalım İlişkilerinin Geliştirilmesi (Enhancement of Next Generation Attenuation Relationships for Western US) projesi kapsamında üretilen denklemlerde kullanılan kayıtlar genellikle $M_w > 3$ olacak şekilde seçilmiştir (Bozorgnia vd., 2014). Bu çalışmada da bu alt sınırlara yakın olan depremler kullanılmak istenmiş ancak eldeki veri yetersizliği dikkate alınarak $M_w = 3.5$ alt sınır olarak belirlenmiştir. Veritabanında orta ve yüksek magnitudlü depremlerin azlığından ötürü çalışma düşük magnitudlü depremler ($M_w < 5.0$) ile sınırlandırılmıştır. Magnitud üst limiti ise 0.5 birim yukarıda olacak şekilde $M_w = 5.5$ olarak belirlenmiştir.

Denklemlerin değerlendirilmesi aşamasında öncelikle değerlendirmeye alınacak tahmin denklemleri seçilmiştir. Bu çalışma kapsamında literatürde denklemlerin test edilmesi şeklinde olan metodlar kullanılmamıştır (ör. ; Scherbaum vd., 2004; Sherbaum vd., 2009; Kale ve Akkar, 2013; Güllü ve İyisan, 2016). Bu metodlar sismik tehlike analizlerinde kullanılmak üzere yer hareketi tahmin denklemlerinin seçiminde ve seçilen denklemlerin mantık ağacı uygulamalarında kullanılmak üzere bir ağırlıklandırılma işlemi kullanılmaktadır. Bu çalışmanın bu kapsamın dışında olduğu burada vurgulanmalıdır. Seçilen denklemlere ait magnitud ve mesafe ölçümleri gözlemsel veriler ile karşılaştırılmış ve daha sonra deprem-arası ve içi kalıntıları (residüelleri) Scassera vd. (2009) çalışmasında kullanılan deprem-içi ve deprem-arası residüel ayırma metodolojisi ile hesaplanarak çeşitli sismolojik parametrelere göre değişimleri incelenmiştir. Çalışmanın bir sonraki aşamasında Kale vd. (2015) tahmin denkleminin magnitud ölçekleme fonksiyonunun düşük magnitudlü kayıtlar

ile nasıl değişeceği tartışılmış ve düşük magnitüdü kayıtlar içeren bir veritabanı ile nasıl bir modelleme yapılması gerektiği önerilmiştir.

KUVVETLİ YER HAREKETİ VERİSETİ

AFAD arşivinde bulunan 2008-2014 arasında kaydedilmiş depremlere ait ivme-zaman serileri aşağıdaki kriterler kullanılarak seçilmiştir: (1) Moment büyüklüğü (M_w) 3.5 ile 5.5 arasında olan depremler, (2) Fay tipi (normal, ters veya yanal atımlı) belirlenmiş depremler, (3) Odak derinliği 30 km'den sığ olan depremler, (4) V_{s30} değeri belli olan istasyonlardan elde edilen kayıtlar, (5) Kaynak-saha mesafesi 200 km'nin altında olan kayıtlar, (6) En az dört istasyonda kaydedilmiş depremler.

93 depremden elde edilen 983 kayıtlık veri setine ait $M_w - R_{JB}$ dağılımı Şekil 1'de gösterilmiştir. M_w 3.8 ile 5.2 arasında olan depremlerde düzgün dağılım gözlenmiş ama bu aralığın dışında kalan kısımda dağılımın seyrekleştiği görülmüştür. Aynı şekil ayrıca kayıtların hem fay tipi hem de saha koşullarını da göstermektedir. Kullanılan kayıtlara bakıldığında sadece % 6'sının ters atımlı kayıtlardan oluştuğu görülmüştür. Normal ve yanal atımlı kayıtların sırasıyla oranı %64 ve %30'dur. Saha koşulları NEHRP zemin sınıflandırma kriterlerine (BSSC, 2003) göre incelendiğinde 53 kaydın kaya zemin sınıfından ($V_{s30} > 760$ m/s); 406 kaydın sert zemin sınıfından ($360 < V_{s30} < 760$ m/s) ve 524 kaydın ise yumuşak zemin ($V_{s30} < 360$ m/s) sınıfından alınmıştır.

TAHMİN DENKLEMLERİNİN SEÇİMİ

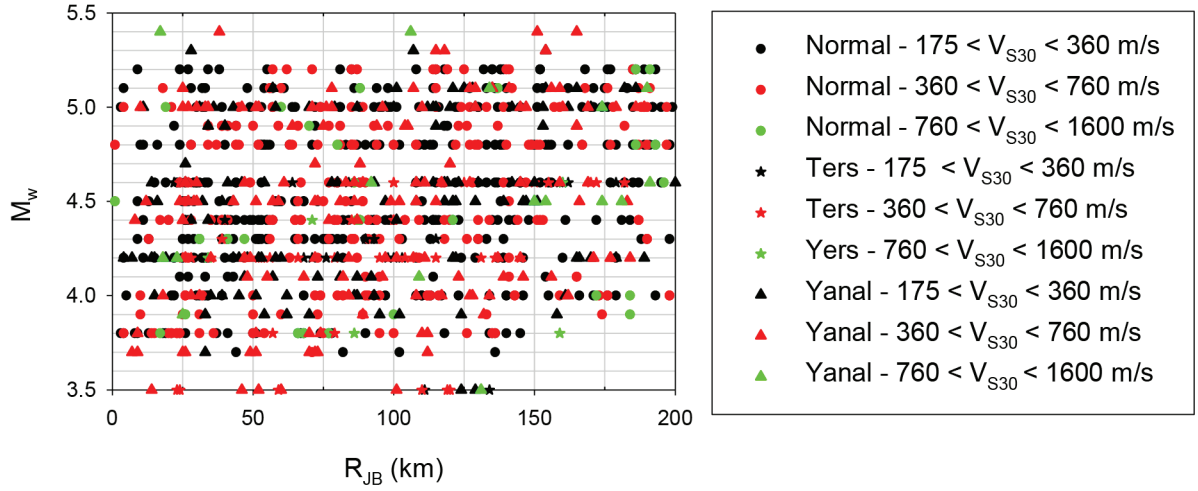
Özellikle 1999 depremlerinden sonraki geçici ve kalıcı istasyonların kurulması ile veri artışına bağlı olarak yer hareketi tahmin denklemlerinin sayısı ülkemizde artış göstermiştir. Bu bağlamda Türkiye için 26 denklemin üretildiği görülmüştür (bu denklemlerin belirlenmesinde Kale vd. (2015), Güllü ve İyisan (2016) ve Douglas (2016)'ın çalışmalarından faydalanılmıştır). Bu denklemlerden Aydan vd. (1996), Inan vd. (1996), Ansal (1997), Aydan (2001), Ulutaş ve Özer (2003), Beyaz (2004), Ulusay vd. (2004), Aydan (2007), Güllü ve Erçelebi (2007), Güllü vd. (2008), Günaydın ve Günaydın (2008), Cabalar ve Cevik (2009), Ulutaş ve Özer (2010), Kayabalı ve Beyaz (2011), Yılmaz (2011) ile Güllü (2012) sadece pik ivme için üretildiği için incelemeye alınmamıştır. Schwarz vd. (2002) ve Bindi vd. (2007)'nin çalışmaları M_w ile tahmin yapmadığı

gereğesiyle envanterden çıkarılmıştır. Gülkan ve Kalkan (2002) ile Akkar ve Çağnan (2010) sırasıyla Kalkan ve Gülkan (2004) ile Kale vd. (2015) çalışmalarıyla güncellendiği için kapsam dışı bırakılmıştır. Kalan altı denklem olan Kalkan ve Gülkan (2004), Özbey vd. (2004), Akyol ve Karagöz (2009), Ulutaş vd. (2011), Kale vd. (2015) ve Gülerce vd. (2016) ait özellikler Çizelge 1'de verilmiştir. Bu çalışmalardan olan Gülerce vd. (2016), Yeni Nesil Azalım İlişkileri (Next Generation Attenuation Relations; NGA) projesi (Power vd., 2008) kapsamında üretilen beş ayrı denklemin katsayılarını Türkiye için uyarlamıştır. Uyarlanan denklemler içinde ihtiyaç duyulan parametrelerin az olması nedeniyle sadece uyarlanmış Boore ve Atkinson (2008) denklemi ile elde edilen sonuçlar tartışılacaktır.

Seçilen denklemlere ait magnitüd (sol sütun) ve mesafe (sağ sütun) ölçeklemeleri Şekil 2'de pik ivme (üst satır), $T=0.2s$ (orta satır) ve $T=1.0s$ (alt satır) için verilmiştir. Veri setinde bulunan tüm kayıtlara ait spektral ivme değerleri saha koşulu $V_{s30}=400$ m/s'de, magnitüd ölçeklemesinde $R_{JB}=15$ km ve mesafe ölçeklemesinde $M_w=4.5$ olacak şekilde yeniden hesaplanarak gösterilmiştir. Bu amaçla Abrahamson ve Youngs (1992) tarafından önerilen rassal etki regresyon algoritması ile basit bir tahmin denklemi üretilmiştir. Magnitüd ölçeklemesi dikkate alındığında denklemlerin genellikle veriden daha büyük değerler verdiği gözlenmiştir. Bu duruma tek istisna, $T=1.0s$ 'de Özbey vd. (2004)'nin çalışmasının yaptığı tahminlerdir. Mesafe ölçeklemesinde de hemen hemen aynı sonuçlar elde edilmiştir. Hem magnitüd hem de mesafe ölçeklemelerinde Kalkan ve Gülkan (2004)'nin modeli ile Ulutaş vd. (2011)'ninki benzer sonuçlar verirken Akyol ve Karagöz (2009), Kale vd. (2015) ve Gülerce vd. (2016)'nin modeli bu iki denklemden daha düşük sonuçlar vermiştir.

Bu gözlemler doğrultusunda denklemlerin daha detaylı olarak incelenmesi ihtiyacı doğmuştur. Belirtilildiği üzere tahmin denklemleri üretilirken deprem-arası ve deprem-içi belirsizlik hesabı rassal olarak dikkate alınır (Abrahamson ve Youngs, 1992). Bu nedenle yukarıda bahsi geçen denklemlerin performansları yeni derlenen düşük magnitüdü kayıtlar ile değerlendirilirken Scassera vd. (2009) tarafından önerilen deprem-içi ve deprem-arası residüel ayırma metodu kullanılacaktır (Eşitlik 1).

$$R_{ijk} = \ln(Y_j) - \ln(\mu_{ijk}) = c_k + \eta_{Bjk} + \varepsilon_{ijk} \quad (1)$$



Şekil 1. Verisetine ait moment büyüklük - mesafe dağılımı.
Figure 1. Magnitude vs distance scatter plot of the dataset.

Çizelge 1. Değerlendirmede kullanılan tahmin denklemlerin özellikleri.

Table1. Properties of prediction equations that are used in evaluation.

Denklem	Bölge	Kayıt Sayısı	M_w Aralığı	Mesafe Cinsi ve Aralığı	Zemin ölçeklemesi	Fay tipi ölçeklemesi
Özbey vd. (2004)	Kuzey Batı	195	5-7.4	R_{JB} : 5-300km	Saha sınıfları	Yok
Akyol ve Karagöz (2009)	Batı	168	4-6.4	R_{hyp} : 15-200km	Saha sınıfları	Yok
Kalkan ve Gülkan (2004)	Ulusal	112	4-7.4	R_{JB} :1.2-250km	V_{S30}	Yok
Ulutaş vd. (2011)	Kuzey Batı	751	4-7.4	R_{JB} :0-200km	Yok	Yok
Kale vd. (2015)	Ulusal	670	4-7.6**	R_{JB} :0-200km	V_{S30}	Var
Gülerce vd. (2016)*	Ulusal	1142	4-7.6**	R_{JB} :0-200km	V_{S30}	Var

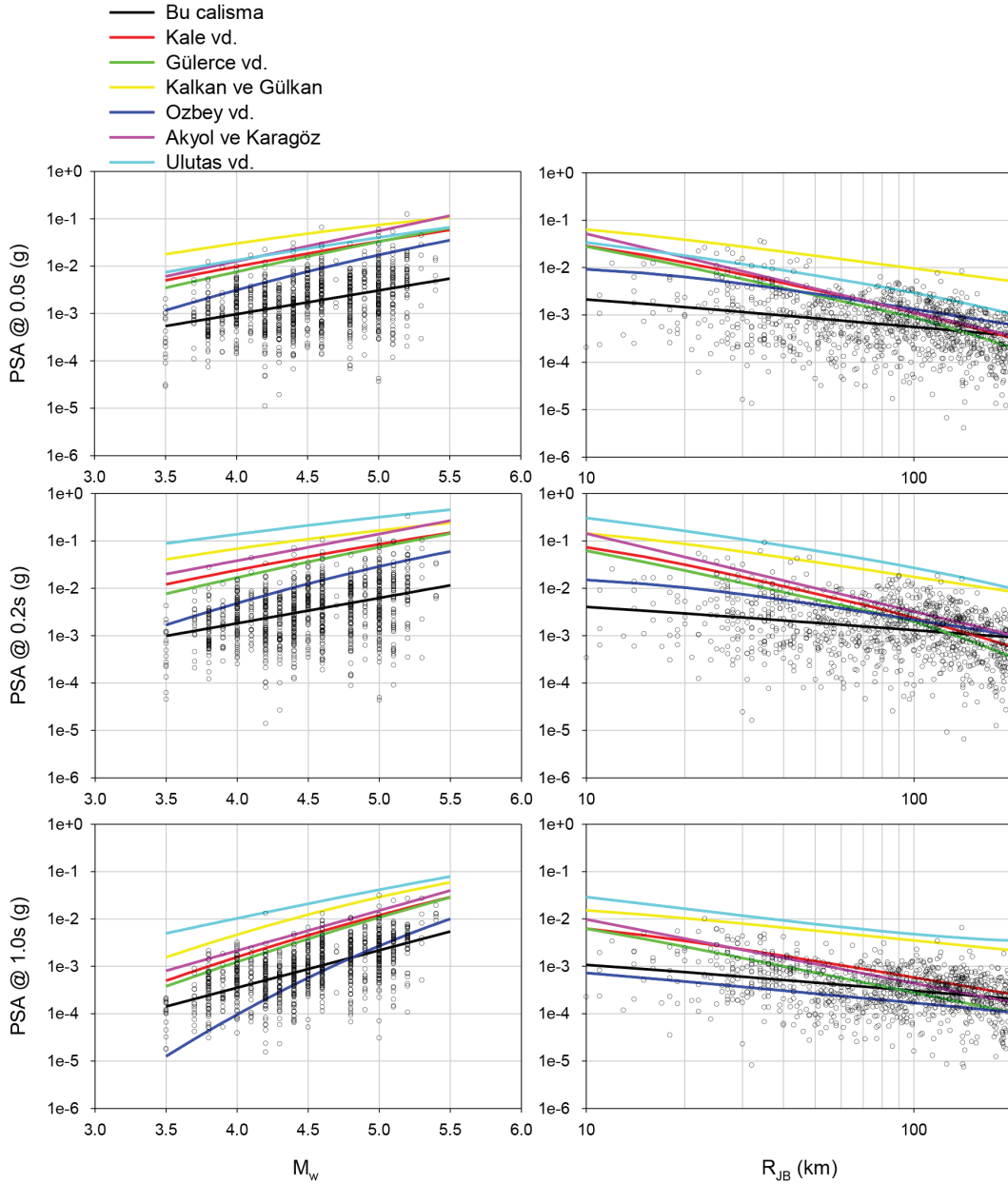
* Uyarlanmış Boore ve Atkinson (2008) denklemi için verilmiştir.

** 1999 Kocaeli moment büyüklükleri farklı kullanılmıştır.

Bu denklemde "i" depreminde "j" istasyonunda kaydedilen gözlemsel verinin (Y_{ij}), "k" denklemi kullanılarak elde edilen tahminin (μ_{ijk}), logaritmik olarak farkı residüel (R_{ijk}) olarak tanımlanır. Bu residüel daha sonra ilki toplam sapma (c_k) olmak üzere üç bileşene ayrılır. Toplam sapma her bir denklem için tüm residüellerin ortalaması alınarak hesaplanır ve bu miktar residüellerden çıkartılır. Bu sayede ortalaması "0" olacak şekilde deprem-içi (η_{ij}) ve deprem-arası (ε_{ij}) residüeller hesaplanır. Burada bir depreme ait residüellerin ortalaması deprem-içi; her bir kaydın bu ortalamadan uzaklığı ise deprem-arası olarak nitelenir.

Denklemlerin toplam sapma miktarı (c_k) Özbey vd. (2004)'nin modeli hariç hepsinde negatif bulunmuştur

ve bu değerler Çizelge 2'de sunulmuştur. Her bir denkleme ait deprem-içi residüellerin M_w (ilk sütun) ile deprem-arası residüellerin mesafeye (orta sütun) ve V_{S30} 'a (son sütun) bağlı olarak dağılımları pik ivme (birinci satır), $T=0.2s$ (ikinci satır) ve $T=1.0s$ (üçüncü satır) spektral periyodları için gösterilmiştir (Şekil 3-8). Bu şekillerde ayrıca deprem-içi residüeller 0.5 birim aralıklarla gruplanmış ve her bir grubun ortalaması verilmiştir. Keza deprem-arası residüeller yakın mesafe (0-20 km), orta mesafe (20-80 km) ve uzak mesafe (80-200 km) ile yumuşak zemin ($V_{S30}<360$ m/s), sert zemin ($360<V_{S30}<760$ m/s) ve kaya zemin ($V_{S30}>760$ m/s) olacak şekilde gruplandırılmış ve ortalamaları gösterilmiştir.



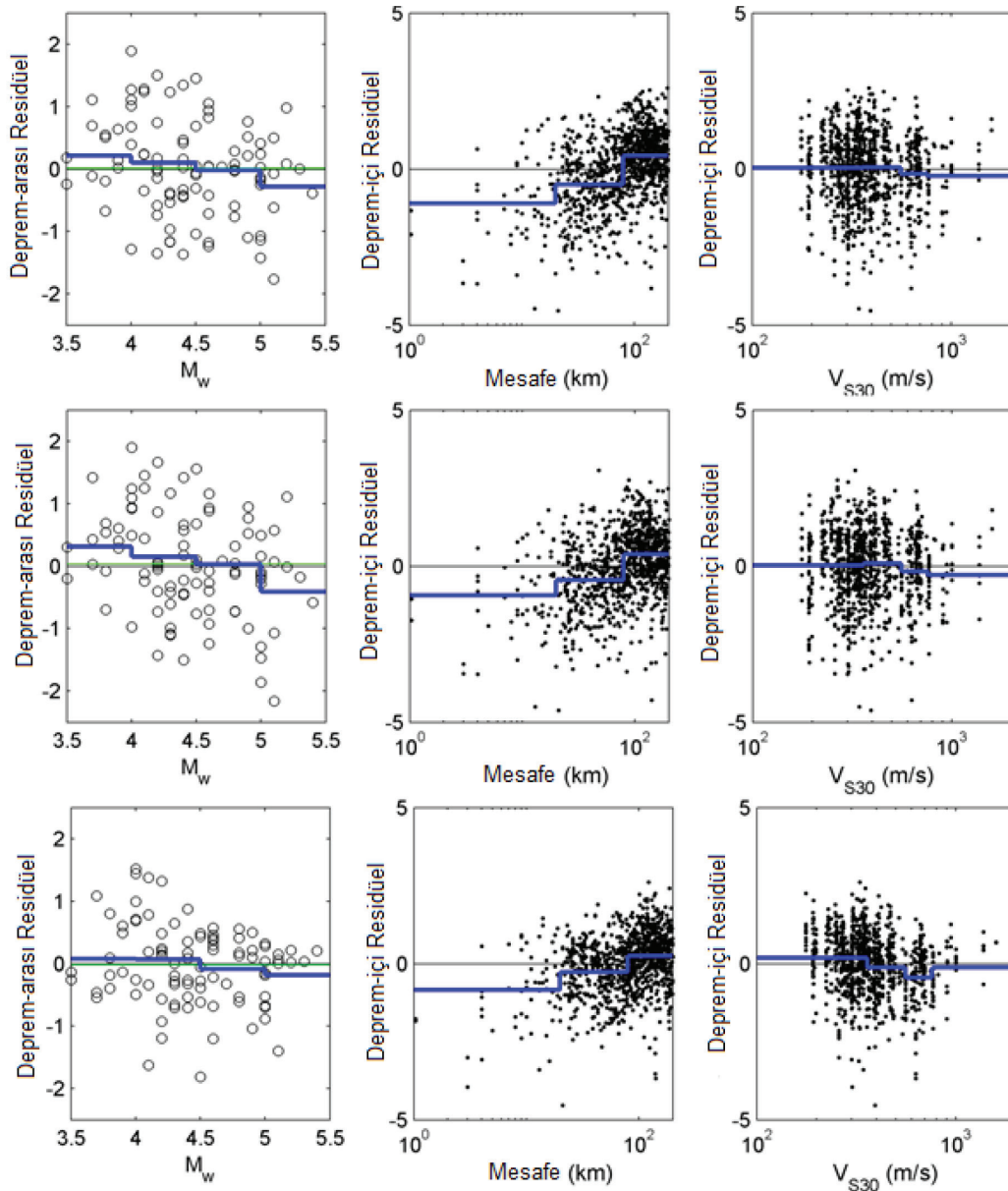
Şekil 2. Magnitüd ve mesafe ölçeklemelerinin karşılaştırılması.
Figure 2. Comparison of magnitude and distance scaling.

Kale vd. (2015)'nin denklemine ait deprem-içi resüdüellerinin dağılımı nispeten diğerlerine göre daha iyi bir sonuç vermiştir. Gülerce vd. (2016) ve Özbey vd. (2004)'nin denklemleri için M_w 3.5-4 aralığında gözlemlenen değerler tahmin edilen değerlerden yüksek bulunmuştur ve bu trend magnitüd arttıkça düşerek M_w 5-5.5 için tam tersi yani gözlemlenen değerler tahmin edilen değerlerden düşük bulunmuştur. Ulutaş vd. (2011), Akyol ve Karagöz (2009) ile Kalkan ve

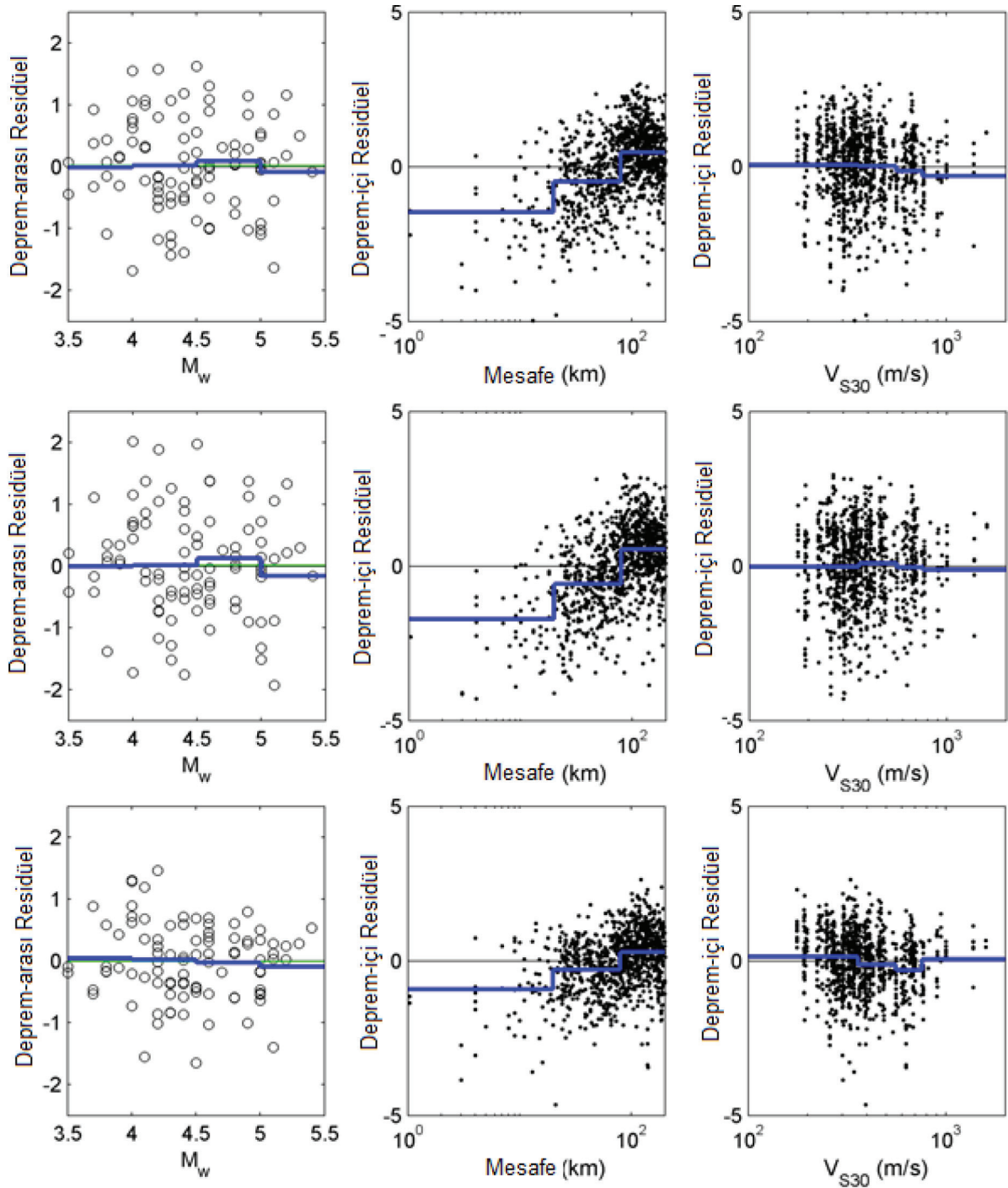
Gülkan (2004)'ün denklemlerinde bu davranışın tersi çıkmıştır. Ölçülen değerlerin ampirik bağıntılarla karşılaştırılması sonucu mesafe ve sahaya göre yapılan karşılaştırmalarda deneysel bağıntılarda önerilene yakın değerler elde edilmiştir. Ancak kaya zemin koşulunda (Gülerce vd. (2016) ve Kale vd. (2015) hariç) denklemlere ait residuel dağılımında negatif değerler elde edilmiştir.

Çizelge 2. Tahmin denklemleri için toplam sapma (c_k) miktarları.
Table2. Total bias (c_k) for prediction equations.

	T=0s	T=0.2s	T=1s
Gülerce vd. (2016)	-0.7245	-0.8412	-0.345
Kale vd. (2015)	-1.0055	-0.9706	-0.7186
Ulutaş vd. (2011)	-1.8521	-3.2487	-2.8262
Akyol ve Karagöz (2009)	-1.1663	-1.378	-0.8117
Kalkan ve Gülkan (2004)	-2.9782	-2.7906	-2.4235
Özbey vd. (2004)	-1.1717	-0.7972	0.5477



Şekil 3. Gülerce vd. (2016)'nin denklemi ile elde edilen residüel dağılımları.
Figure 3. Residual distribution for Gülerce et al. (2016) equation.

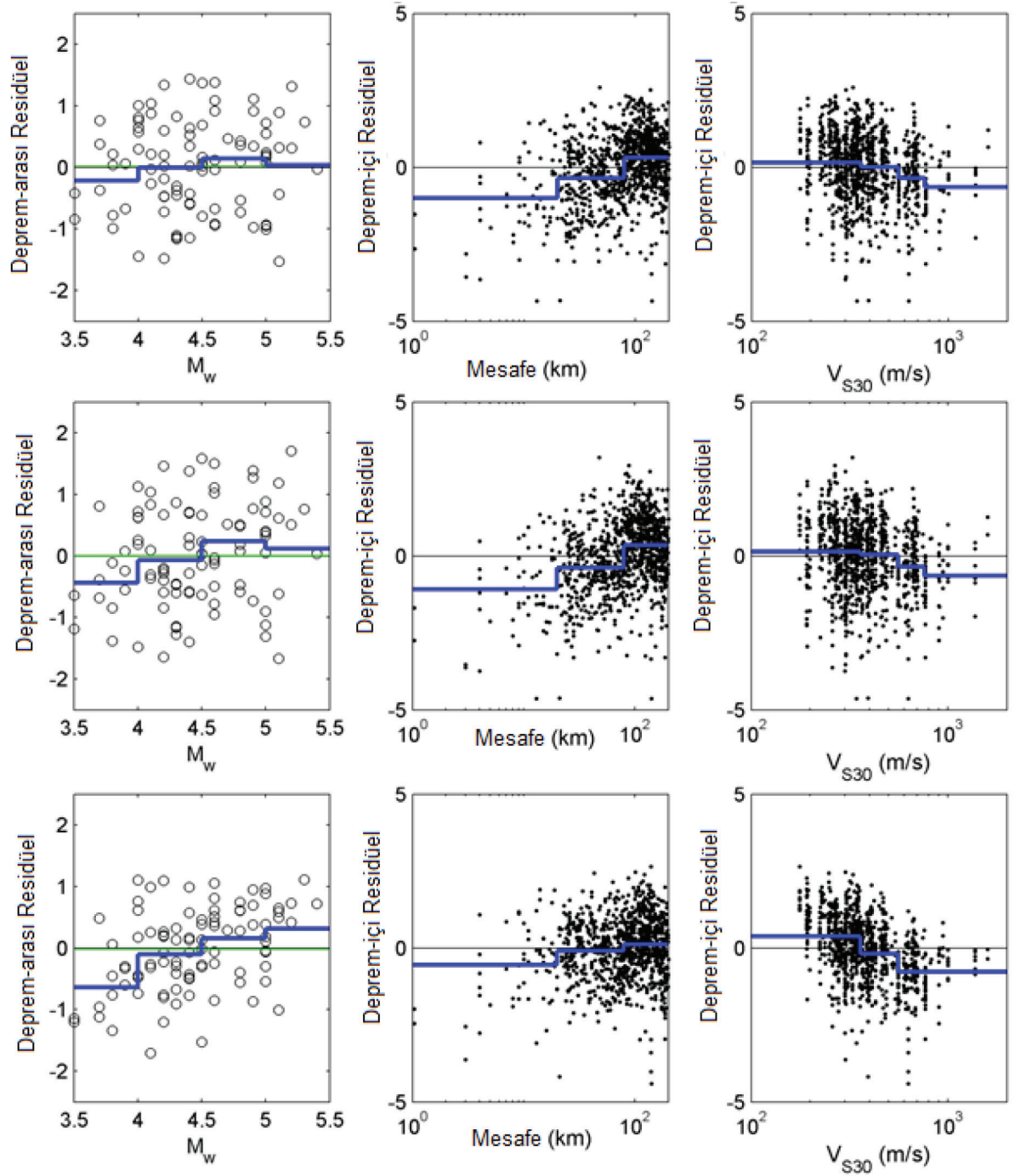


Şekil 4. Kale vd. (2015)'nin denklemi ile elde edilen residüel dağılımları.
Figure 4. Residual distribution for Kale et al. (2015) equation.

DÜŞÜK MAGNİTÜDLÜ DEPREM DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

Yukarıda özetlenen bulgular bize düşük magnitüdü kayıtlar kullanılarak üretilecek tahmin denklemlerinde

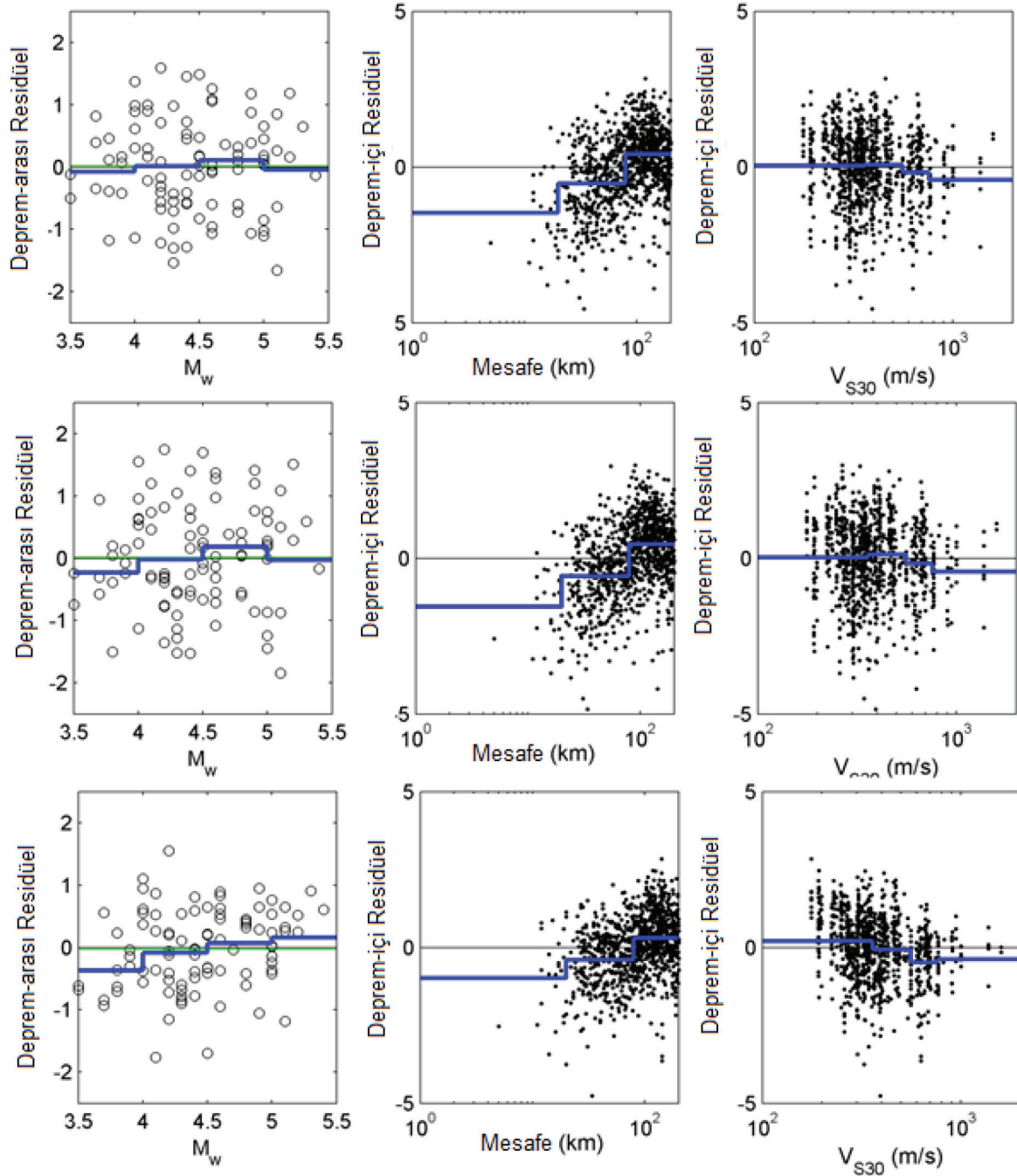
özellikle magnitüd ölçeklemesine dikkat edilmesi sonucunu çıkarmıştır. Bu bulguyu desteklemek üzere bir önceki kısımda kullanılan kayıtlara RESORCE veritabanından Türkiye'de kaydedilmiş moment büyüklüğü 3.5'tan büyük olan 30 km'den siğ ve alan kaynak



Şekil 5. Ulutaş vd. (2011)'nin denklemi ile elde edilen residüel dağılımları.
Figure 5. Residual distribution for Ulutaş et al. (2011) equation.

mesafesi 200 km içinde bulunup V_{S30} değeri belli olan 691 kayıt eklenerek yeni bir veritabanı oluşturulmuştur. Regresyon için denenecek fonksiyon Eşitlik 2'de sunulmuştur. Sırasıyla $f(m)$, $f(m,r)$, $f(f)$ ve $f(z)$ magnitüd, mesafe, fay tipi ve zemin fonksiyonlarını ifade etmektedir. Magnitüd ölçeklemesinde moment

magnitüd kullanılarak (Eşitlik 3) Abrahamson vd. (2014) tarafından önerilen üç parçalı bir fonksiyon (c_1 ve c_2 magnitüd seviyeleri ile ayrılmış) tercih edilmiştir. Mesafe ölçeklemesinde R_{JB} alan-kaynak mesafesi magnitüd etkisi ile beraber hesaba katılırken (Eşitlik 4); saha ölçeklemesinde doğrusal zemin büyütmesi



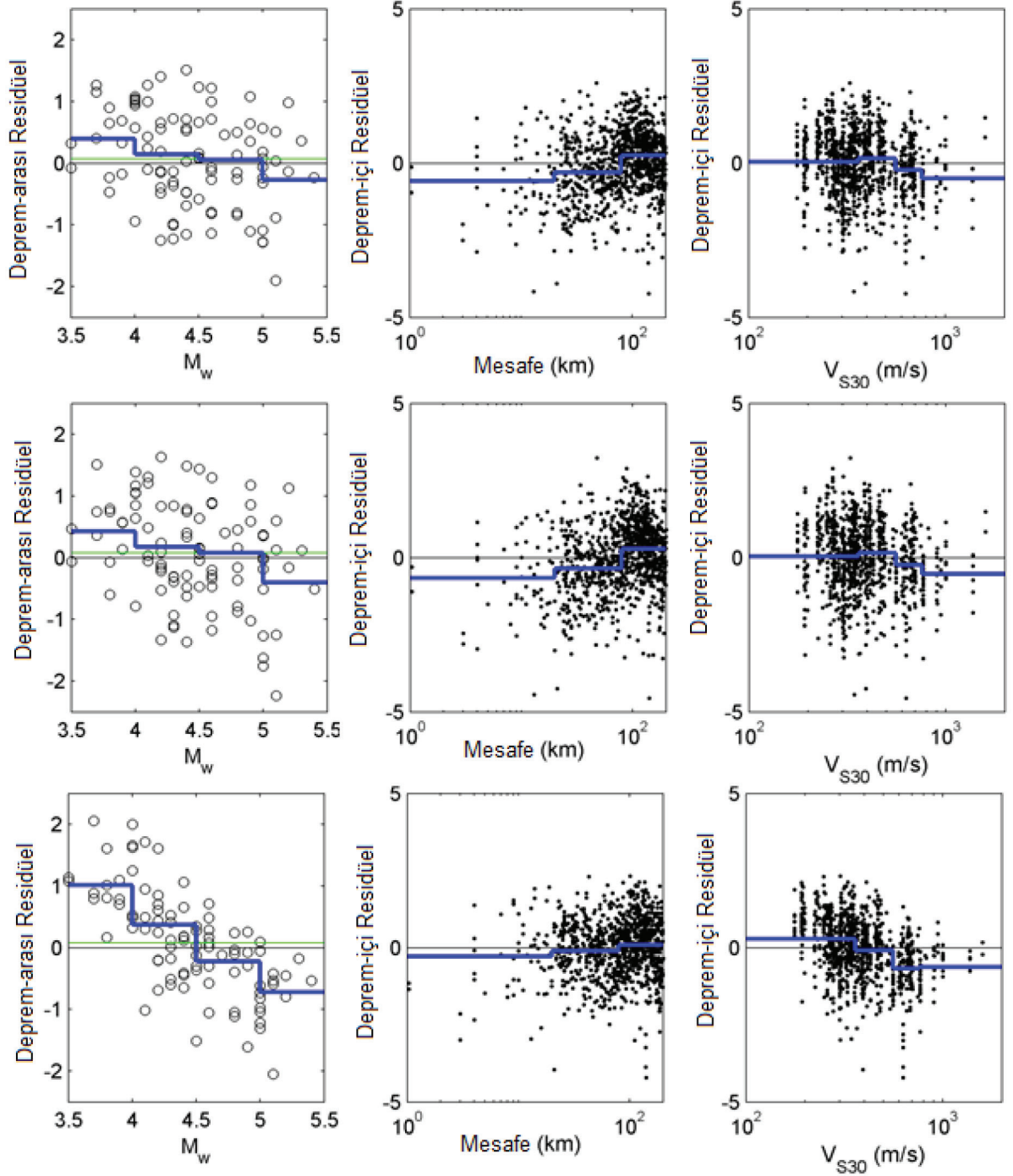
Şekil 6. Akyol ve Karagöz (2009)'ün denklemleri ile elde edilen residüel dağılımları.
 Figure 6. Residual distribution for Akyol and Karagöz (2009) equation.

V_{S30} ile ifade edilmiştir (Eşitlik 5). Normal ve ters atımlı fay tiplerini yanal atımlı fay tipinden ayırmak için F_N ve F_R değişkenleri kullanılmıştır (Eşitlik 6). Fay tipinin yanal atımlı olması durumunda her iki değişken de 0 değerini alırlar. Normal atımlı fay tipinde F_N 1 olurken F_R 0 değerini alır. Ters atımlı fay durumunda ise tam tersi olur.

$$\ln(Y) = f(m) + f(m, r) + f(f) + f(z) \quad (2)$$

$$f(m) = \begin{cases} d + a_1 + a_5(M_w - c_2) & M_w \leq c_2 \\ a_1 + a_2(M_w - c_1) + a_3(8.5 - M_w)^2 & c_2 < M_w < c_1 \\ a_1 + a_4(M_w - c_1) + a_3(8.5 - M_w)^2 & M_w \geq c_1 \end{cases} \quad (3)$$

$$d = a_2(c_2 - c_1) + a_3(8.5 - c_2)^2$$



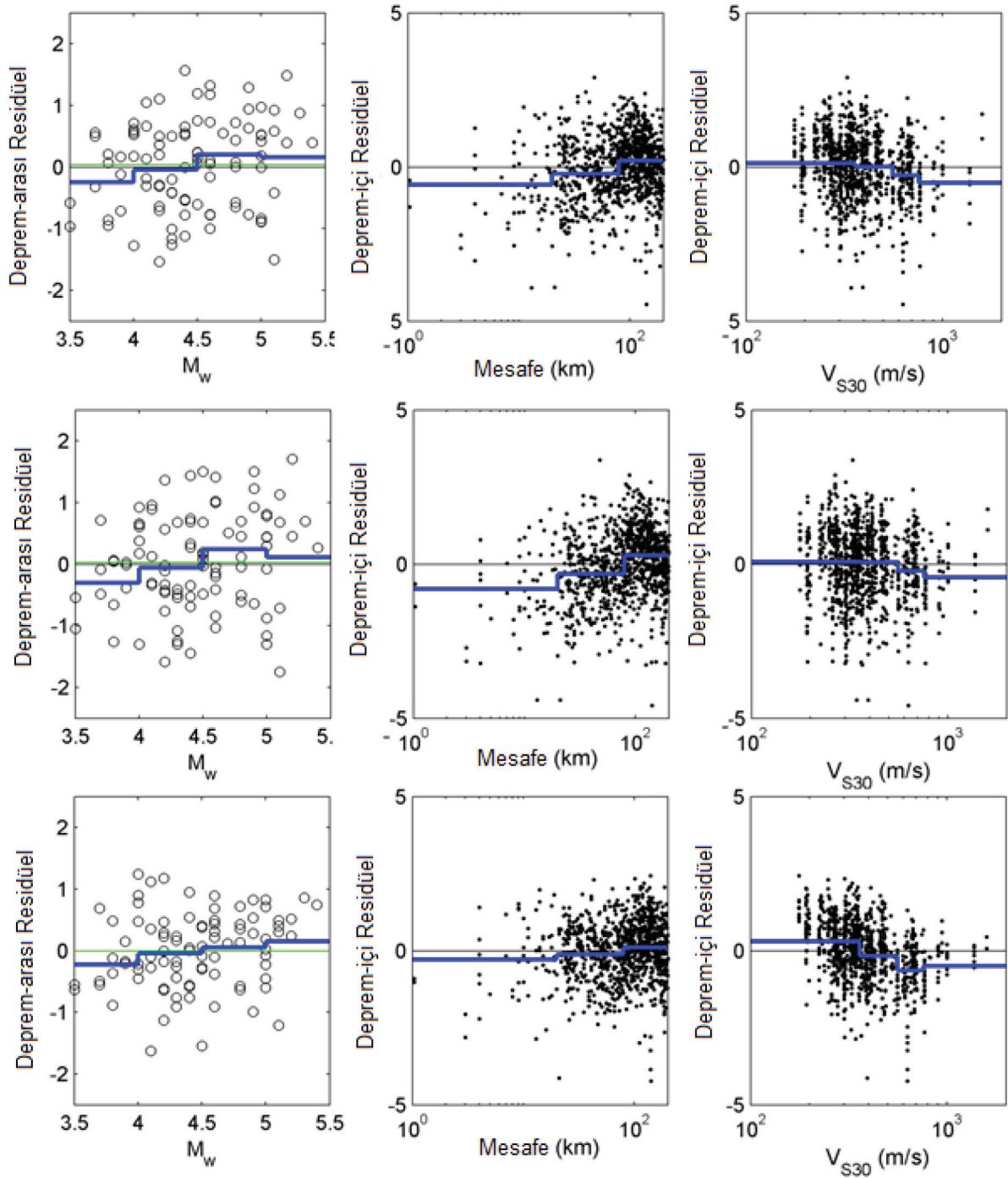
Şekil 7. Özbey vd. (2004)'in denklemleri ile elde edilen residüel dağılımları.
 Figure 7. Residual distribution for Özbey et al. (2004) equation.

$$f(m, r) = (b_1 + b_2 M_w) * \ln \sqrt{b_3 + R_{JB}^2} \quad (4)$$

$$f(z) = b_4 \ln \left(\frac{\min(V_{S30}, 1000)}{750} \right) \quad (5)$$

$$f(f) = b_5 F_N + b_6 F_R \quad (6)$$

Burada a_1 - a_6 ile b_1 - b_6 regresyon katsayılarıdır. Yapılan ilk regresyon denemesinde özellikle $M_w < 6$ için Kale vd. (2015)'nin çalışmasına göre daha düşük değerler bulunmuştur. Örneğin $M_w = 5.5$ için Kale vd. (2015)'nin denklemleri yaklaşık iki kat daha büyük bir tahminde bulunmuştur. Bu fark $M_w > 6.5$ için önemsiz

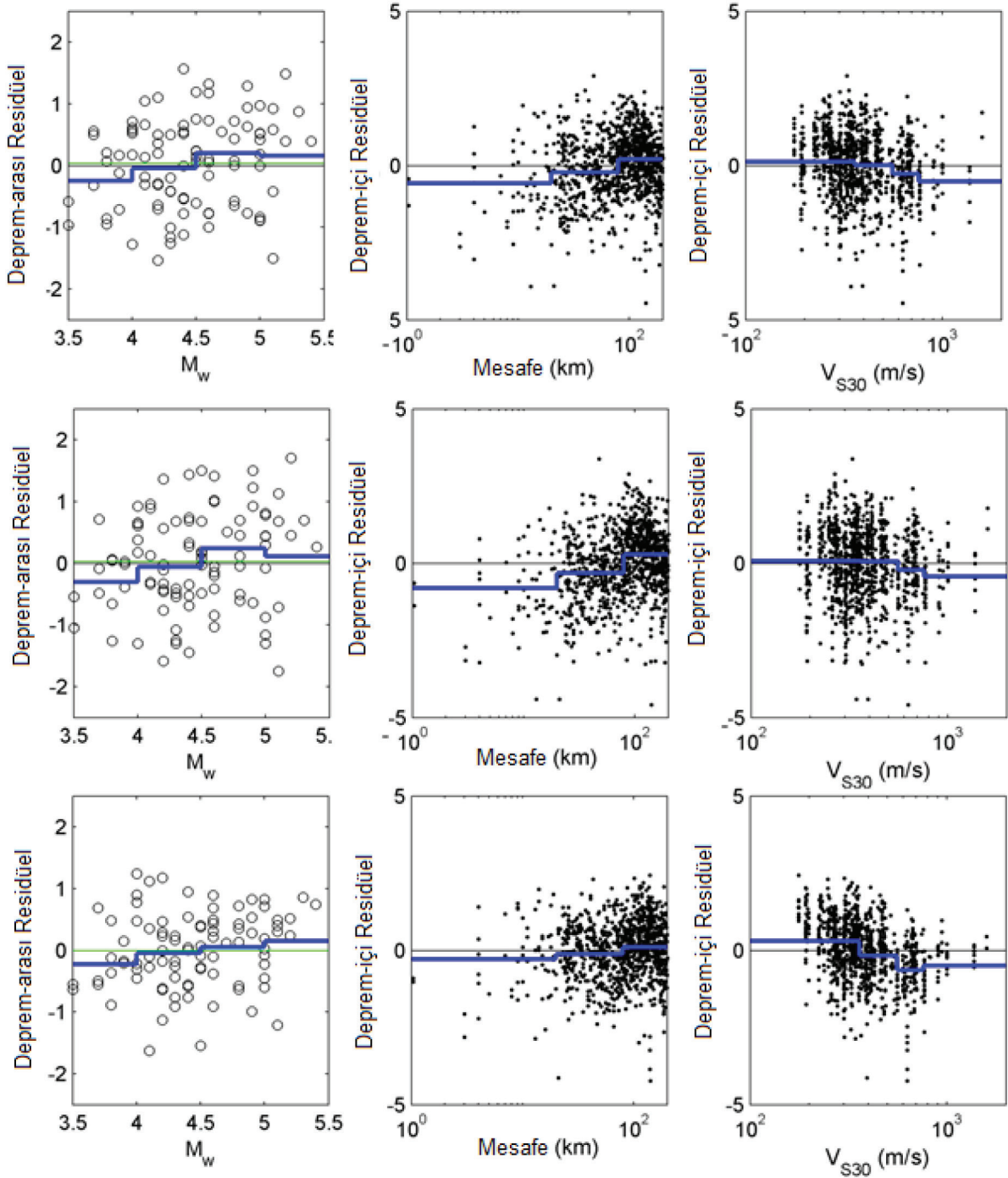


Şekil 7. Özbey vd. (2004)'in denklemi ile elde edilen residüel dağılımları.
Figure 7. Residual distribution for Özbey et al. (2004) equation.

hale gelmiştir. Bunun nedeni olarak elimizde olan verinin düşük magnitüde Kale vd. (2015)'nin denklemine göre nisbeten daha düşük amplitüdlarda olmasıdır. Bu ikilemi ortadan kaldırmak amacıyla (düşük magnitüd ölçeklemesi için ihtiyaç duyulan) a_5 ve c_2 katsayıları regresyon ile belirlenmiş ve diğer

katsayılar ise Kale vd. (2015) çalışmasından adapte edilmiştir. Böylelikle orta magnitüd aralığında tahmin değerleri korunmuştur.

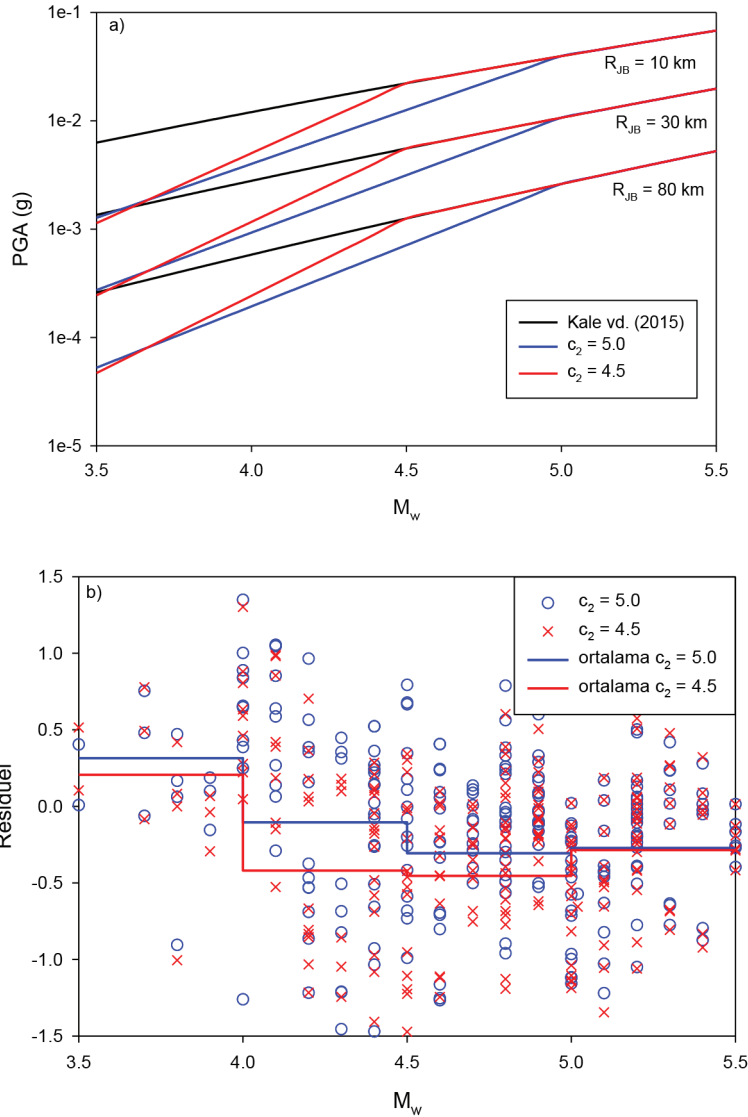
Denklemin 3'ten anlaşılacağı üzere magnitüd ölçeklemesi iki kırılım göstermektedir. Bunlardan ilki c_1



Şekil 8. Kalkan ve Gülkan (2004)'ın denklemi ile elde edilen residüel dağılımları.
 Figure 8. Residual distribution for Kalkan and Gülkan (2004) equation.

katsayısı ile belirlenen yüksek magnitüd deprem davranışı ve c_2 katsayısı ile belirlenen düşük magnitüd deprem davranışıdır. c_1 katsayısı yapılan gözlemler ile Kale vd. (2015)'nin çalışmasında 6.75 olarak belirlenmiştir. Elimizde bulunan düşük magnitüdü deprem

kayıtları kullanılarak c_2 katsayısı 4.5 ve 5.0 olacak şekilde denemeler yapılmıştır. Her iki durumda elde edilen magnitüd ölçeklemesi ve residüel dağılımı Şekil 9'da verilmiştir. Residüellerin magnitüd aralığındaki ortalamaları incelendiğinde $c_2 = 5.0$ olarak kullanılı-



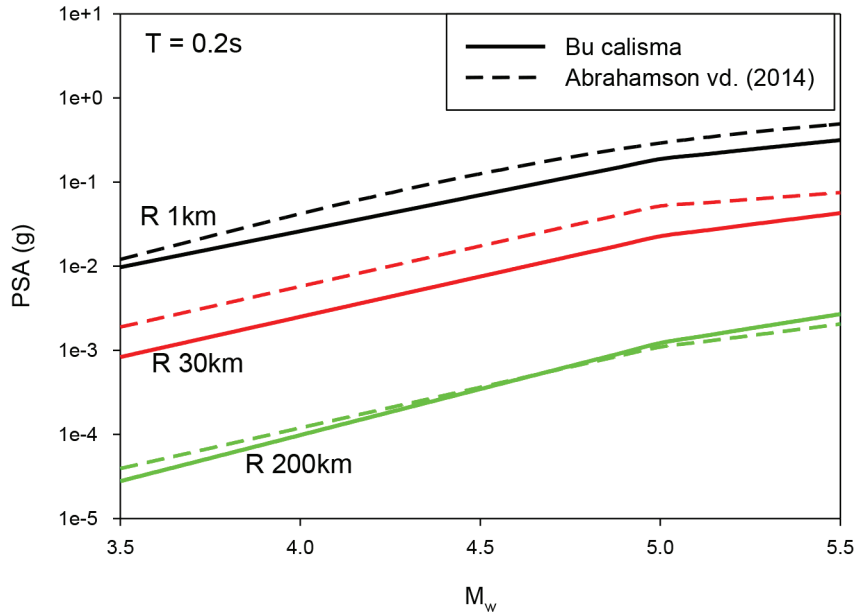
Şekil 9. c_2 değerlerine göre (a) magnitüd ölçeklemesi ve (b) residuellerin karşılaştırılması.
 Figure 9. Comparison of magnitude scaling (a) and residuals (b) for different c_2 values.

masının daha iyi sonuç verdiği görülmüştür. Daha sonra a_s katsayısı da hesaplanarak düşük magnitüd için tahmin denklemi elde edilmiştir. Şekil 10'da $T = 0.2s$ periyodunda önerilen denklem, Abrahamson vd. (2014)'nin denklemi ile çeşitli mesafelerde karşılaştırılmıştır. Aynı fonksiyon kullanılmasından ötürü magnitüd ölçeklemesinde benzer davranış elde edilmiş ancak yakın ve orta mesafelerde daha düşük, uzak mesafelerde ise benzer sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada Türkiye Cumhuriyeti Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı altında faaliyet

gösteren Deprem Dairesi Başkanlığı (AFAD) tarafından arşivlenen 2008-2014 arasında kaydedilen düşük magnitüdü kuvvetli yer hareketi ivme-zaman serileri ile Türkiye için üretilmiş olan yer hareketi tahmin denklemleri değerlendirilmiştir. Öncelikle veritabanından seçilen kayıtlar ile denklemlere ait magnitüd ve mesafe ölçeklemeleri karşılaştırılmıştır. Gözlemsel veriden elde edilen spektral değerlerin tahmin denklemlerinkine göre daha düşük olduğu bulunmuştur. Kale vd. (2015) ile Gülerce vd. (2016) muhtemelen en son katalog bilgilerini kullandığından diğer denklemlere göre residüel farkları daha az bulunmuştur. Ancak bu bulgudan diğer denklemlerin sismik tehlike çalışmalarında kullanılmayacağı sonucu çıkarılmamalıdır. Mantık ağacı uygulamalarında epistemik



Şekil 10. Önerilen model ile Abrahamson vd. (2014)'nin denkleminin magnitüd ölçeklemesine ait karşılaştırma.
Figure 10. Comparison of magnitude scaling of proposed model and Abrahamson et al. (2014) equations.

belirsizliği dikkate almak için diğer modeller faydalı olabilirler. Scassera vd. (2009) tarafından önerilen deprem-içi ve deprem-arası residüel hesaplama yöntemiyle çeşitli sismolojik parametrelere göre bu residüellerin değişimleri incelenmiştir ve benzer sonuçlar elde edilmiştir. Daha sonra çalışmaya orta ve büyük magnitüdü kayıtlar eklenmiş ve Abrahamson vd. (2014) tarafından önerilen üç parçalı magnitüd ölçekleme fonksiyonu ile regresyon yapılmıştır. Düşük magnitüdü depremler içeren veritabanları kullanılarak üretilen denklemlerde özellikle orta büyüklükteki deprem davranışının daha düşük sonuçlar verecek şekilde etkilediği görülmüştür. Bu olumsuz davranışın önlenmesi için regresyonun Abrahamson vd. (2014) veya Kale vd. (2015) çalışmalarındaki gibi aşamalı olarak yapılması gerektiği anlaşılmıştır.

KATKI BELİRTME

Bu çalışmayı değerlendirerek kalitesinin artmasına yardımcı olan iki hakeme ve Kale vd. (2015) çalışmasında kullanılan regresyon aşamalarındaki açıklamalarından ötürü Dr. Özkan Kale'ye teşekkür ederim.

KAYNAKLAR

Abrahamson, N.A., and Youngs, A.A., 1992. A stable algorithm for regression analyses using the random effects model. Bulletin of the

Seismological Society of America, 82 (1), 505-510.

Abrahamson, N.A., Silva, W.J., and Kamai, R., 2014. Summary of the ASK14 ground motion relation for active crustal regions. Earthquake Spectra, 30 (3), 1025-1055.

Akkar, S., and Çağnan Z., 2010. A local ground-motion predictive model for Turkey and its comparison with other regional and global groundmotion models. Bulletin of the Seismological Society of America, 100 (6), 2978-2995.

Akkar, S., Çağnan, Z., Yenier, E., Erdoğan, Ö., Sandikkaya, M.A., and Gülkan, P., 2010. The recently compiled Turkish strong motion database: Preliminary investigation for seismological parameters. Journal of Seismology, 14, 457-479.

Akkar, S., Sandikkaya, M.A., Senyurt, M., Sisi, A.A., Ay, B.Ö., Traversa P., Douglas, J., Cotton, F., Luzi, L., Hernandez, B., and Godey, S., 2014. Reference database for seismic ground-motion in Europe (RESORCE). Bulletin of Earthquake Engineering, 12, 311-339.

Akyol, N., and Karagöz, Ö., 2009. Empirical attenuation relationships for western Anatolia, Turkey. Turkish Journal of Earth Sciences, 18, 351-382.

- Ansal, A.M., 1997. İstanbul için tasarım deprem özelliklerinin belirlenmesi. Prof. Dr. Rifat Yarar Sempozyumu, İstanbul.
- Aydan, Ö., 2001. İstanbul Bogazi denizaltı geçisi için tünel ile kalkan tünelin uygunluğunun karşılaştırılması. *Jeoloji Mühendisliği*, 25 (1), 1-17.
- Aydan, Ö., 2007. Inference of seismic characteristics of possible earthquakes and liquefaction and landslide risks from active faults. In *The 6th National Conference on Earthquake Engineering of Turkey*, İstanbul.
- Aydan, Ö., Sedaki, M., and Yarar, R., 1996. The seismic characteristics of Turkish earthquakes. In *Proceedings of Eleventh World Conference on Earthquake Engineering*, Mexico.
- Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, 2007. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Esaslar. Ankara, Türkiye.
- Beyaz, T., 2004. Development of a new attenuation relationship of seismic energy for Turkey using the strong motion records free of soil effect. PhD Thesis, Ankara University, Turkey.
- Bindi, D., Parolai, S., Grosser, H., Milkereit, C., and Durukal, E., 2007. Empirical ground-motion prediction equations for northwestern Turkey using the aftershocks of the 1999 Kocaeli earthquake. *Geophysical Research Letters*, 34, L08305, doi: 10.1029/2007GL029222.
- Boore, D.M., and Atkinson, G.M., 2008. Ground-motion prediction equations for the average horizontal component of PGA, PGV, and 5 %-damped PSA at spectral periods between 0.1 and 10.0 s. *Earthquake Spectra*, 24, 99-138.
- Bozorgnia, Y., Abrahamson, N.A., Atik, L.A., Ancheta, T.D., Atkinson, G.M., Baker, J.W., Baltay, A., Boore, D.M., Campbell, K.W., Chiou, B.S.J., Darragh, R., Day, S., Donahue, J., Graves, R.W., Gregor, N., Hanks, T., Idriss, I.M., Kamaï, R., Kishida, T., Kottke, A., Mahin, S.A., Rezaeian, S., Rowshandel, B., Seyhan, E., Shahi, S., Shantz, T., Silva, W., Spudich, P., Stewart, J.P., Watson-Lamprey, J., Wooddell, K., and Youngs, R., 2014. NGA-West2 research project. *Earthquake Spectra*, 30, 973-987.
- BSSC, Building Seismic Safety Council (2003) NEHRP recommended provisions for seismic regulations for new buildings and other structures, part 1 – provisions and part 2 – commentary. Federal Emergency Management Agency, Washington DC.
- Cabalar, A.F., and Cevik, A., 2009. Genetic programming-based attenuation relationship: An application of recent earthquakes in Turkey. *Computers and Geosciences*, 35, 1884-1896.
- CSEM Moment Tensor Web Sitesi, 2016, http://www.emsc-csem.org/Earthquake/index_tensors.php; 07 Aralık 2015.
- Douglas, J., 2016. Ground motion prediction equations 1964-2016. Strathclyde, UK.
- Global CMT Web Sitesi, 2016; <http://www.globalcmt.org> , 07 Aralık 2015.
- Gülerce, Z., Kargioğlu, B., and Abrahamson, N.A., 2016. Turkey-adjusted NGA-W1 horizontal ground motion prediction models. *Earthquake Spectra*, 32, 75-100.
- Gülkan, P., and Kalkan, E., 2002. Attenuation modeling of recent earthquakes in Turkey. *Journal of Seismology*, 6 (3), 397-409.
- Güllü, H., 2012. Prediction of Peak Ground Acceleration by Genetic Expression Programming and Regression: A Comparison Using Likelihood-Based Measure. *Engineering Geology*, 141, 92-113.
- Güllü, H., and Erçelebi, E., 2007. A neural network approach for attenuation relationships: An application using strong ground motion data from Turkey. *Engineering Geology*, 93, 65-81.
- Güllü, H., and İyisan, R., 2016. A seismic hazard study through the comparison of ground motion prediction equations using the weighting factor of logic tree. *Journal of Earthquake Engineering*, 20, 861-884.
- Güllü, H., Ansal, A.M., and Özbay, A., 2008. Seismic hazard studies for Gaziantep city in south Anatolia of Turkey. *Natural Hazards*, 44, 19-50.
- Günaydın, K., and Günaydın, A., 2008. Peak ground acceleration prediction by artificial neural networks for northwestern Turkey. *Mathematical Problems in Engineering*, Article ID 919420, <http://dx.doi.org/10.1155/2008/919420>.

- Inan, E., Colakoglu, Z., Koc, N., Bayülke, N., and Coruh, E., 1996. Earthquake catalogs with acceleration records from 1976 to 1996. Technical report, General Directorate of Disaster Affairs, Earthquake Research Department, Ankara, Turkey.
- Kale Ö., and Akkar, S., 2013. A New Procedure for Selecting and Ranking Ground-Motion Prediction Equations (GMPEs): The Euclidean Distance-Based Ranking (EDR) Method. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 103, 1069-1084.
- Kale, Ö., Akkar, S., Ansari, A., Hamzehloo, H., 2015. A Ground-Motion Predictive Model for Iran and Turkey for Horizontal PGA, PGV, and 5% Damped Response Spectrum: Investigation of Possible Regional Effects. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 105, 963-980.
- Kalkan, E., and Gülkan, P., 2004. Site-dependent spectra derived from ground motion records in Turkey. *Earthquake Spectra*, 20, 1111-1138
- Kayabali, K., and Beyaz, T., 2011. Strong motion attenuation relationship for Turkey – a different perspective. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 70, 467-481.
- Kramer, S.L., 1996. *Geotechnical earthquake engineering*. Prentice-Hall, New Jersey.
- Özbeý, C., Sari, A., Manuel, L., Erdik, M., and Fahjan Y., 2004. An empirical attenuation relationship for northwestern Turkey ground motion using a random effects approach. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 24 (2), 115-125.
- Power, M., Chiou, B., Abrahamson, N., Bozorgnia, Y., Shantz, T., and Roblee, C., 2008. An overview of the NGA project. *Earthquake Spectra*, 24, 3-21.
- Regional Centroid Moment Tensor Web Sitesi, 2016. <http://www.bo.ingv.it/RCMT/searchRCMT.html>, 07 Aralık 2015.
- Sandikkaya, M.A., Yılmaz, M.T., Bakır, B.S., and Yılmaz, Ö., 2010. Site classification of Turkish national strong-motion stations. *Journal of Seismology*, 14, 543-563.
- Scassera, G., Stewart, J., Bazzurro, P., Lanzo, G., and Mollaioli, F., 2009. A comparison of NGA ground-motion prediction equations to Italian data. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 99, 2961-2008.
- Scherbaum, F., Delavaud, E., and Riggelsen, E., 2009. Model selection in seismic hazard analysis: an information theoretic perspective. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 99 (6), 3234-3247.
- Scherbaum, F., Cotton, F., and Smit, P., 2004. On the use of response spectral-reference data for the selection and ranking of ground-motion models for seismic-hazard analysis in regions of moderate seismicity: the case of rock motion. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 94 (6), 2164-2185.
- Schwarz, C. Ende, J., Habenberger, D.H., Lang, M., Baumbach, H., Grosser, C., Milereit, S., Karakisa, S., and Zünbül, S., 2002. Horizontal and vertical response spectra on the basis of strong-motion recordings from the 1999 Turkey earthquakes. In *Proceedings of the XXVIII General Assembly of the European Seismological Commission*, Lizbon.
- Türkiye Kuvvetli Yer Hareketi Veritabanı, 2016. http://kyhdata.deprem.gov.tr/2K/kyhdata_v4.php, 05 Haziran 2015.
- Ulusay, R., Tuncay, E., Sonmez, H., and Gokceoglu, C., 2004. An attenuation relationship based on Turkish strong motion data and iso-acceleration map of Turkey. *Engineering Geology*, 74, 265-291.
- Ulutaş, E., and Özer, M.F., 2003. Attenuation relationship for estimation of peak ground horizontal acceleration in eastern Marmara region of Turkey. In *EGS-AGU-EUG Joint Assembly*, Nice, France.
- Ulutaş, E., and Özer, M.F., 2010. Empirical attenuation relationship of peak ground acceleration for eastern Marmara region in Turkey. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 35, 187-203.
- Ulutaş, E., Coruk, Ö., and Karakaş, A., 2011. A Study of Residuals for Strong Ground Motions in Adapazarı Basin, NW Turkey, By Ground Motion Prediction Equations (GMPEs). *Studia Geophysica et Geodaetica*, 55, 213-240.
- Yılmaz, S., 2011. Ground motion predictive modeling based on genetic algorithms. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 11, 2781-2789.

Gömülü Jeolojik Yapıların Görüntülenmesinde Farklı Sınır Belirleme Yöntemleri

Different Edge Detection Techniques for Imaging Buried Geological Structures

NIHAL AKYOL^{1*}

¹Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, Tınaztepe Kampüsü, TR 35397 Buca-İzmir, TÜRKİYE

Geliş (received) : 27 Ocak (January) 2016

Kabul (accepted) : 12 Ekim (October) 2016

ÖZ

Jeofizik potansiyel alan verilerinin yorumunda, gömülü yapıların sınırlarının belirlenmesi oldukça önemli bir yere sahiptir. Anomaliye neden olan gömülü yapı sınırlarını belirlemek için, potansiyel alan vektör bileşenleri ve gradient tensörlerinden türetilen pek çok yöntem bulunmaktadır. Bu çalışmada, gömülü jeolojik yapıların görüntülenmesinde kullanılan farklı sınır belirleme yöntemlerinin tanıtımı ve performanslarının karşılaştırılması amaçlanmıştır. Bu yöntemlerin gerek incelenen yer altı jeolojik modeline ve gerekse birbirlerine göre, üstün ve zayıf yönleri bulunmaktadır. Bu nedenle, arazi verilerine uygulanmadan önce, pek çok karmaşık model için üretilecek sentetik veriler ile sınanmaları gerekmektedir. Ayrıca, "Gravite Gradient Tensörlerinin Toplam Yatay Türevi" olarak isimlendirilen, yeni bir sınır/kenar belirleme süzgeci tanımlanmıştır. Bu süzgeç, sıg ve yoğunluk kontrastı fazla olan yapı sınırlarını belirlemede başarılıdır.

Anahtar Kelimeler: Anomali, gravite, gravite gradient tensörleri, gravite gradient tensörlerinin toplam yatay türevi, gravite vektörleri, sınır/kenar belirleme.

ABSTRACT

Imaging buried geological boundaries has an important role during the interpretation of potential field data of Geophysics. There are lots of techniques, which were generated from potential field's vector components and gradient tensors, to detect boundaries of the buried structure which causes anomaly. In this study, introducing the different edge detection techniques for imaging buried geological boundaries and comparing their performances were aimed. These techniques have advantages and drawbacks between each other and also depend on geological model below the surface. For that reason, they should be tested for the synthetic data from various complex models, before application to field data. Additionally, a new edge detection filter, named as Total Horizontal Derivative of Gravity Gradient Tensors, has presented. This filter is successful on detection of the boundaries of shallow structures and also the boundaries with high density contrast.

Keywords: Anomaly, gravity, gravity gradient tensors, total horizontal derivative of gravity gradient tensors, gravity vectors, boundary/edge detection.

*N. Akyol
e-posta: nihal.akyol@deu.edu.tr

GİRİŞ

Jeofizikte, içinde bulunduğu ortamdan farklı fiziksel özellik sunan yapının (kaynağın) neden olduğu tepki, anomali (aykırılık) olarak isimlendirilir. Gravite yönteminde yoğunluk farkı ve manyetik yöntemde mıknatıslanma farklılıkları gibi etmenler, ölçümlerde gözlenen potansiyel alan anomalilerine neden olmaktadır. Potansiyel alan birincil/ikincil türevlerinin, maksimum/sıfır değerlerinin veya dönüm noktalarının uzanımları, yoğunluğun/mıknatıslanmanın ani değişimleri üzerinde gözlenir. Bu nedenle, potansiyel alan anomalilere neden olan kaynak sınırlarını belirlemek için, potansiyel alanın yatay ve düşey türevleri uzun zamandır kullanılmaktadır (Örn: Cordell ve Grauch, 1985; Hood ve Tasked, 1989; Hsu vd., 1996; Fedi ve Florio, 2001). Yapı sınırları tespiti için yatay ve düşey türevlerin farklı kombinasyonlarına dayanan pek çok yöntem tanımlanmıştır (Örn: Nabighian, 1984; Nelson, 1986, 1988; Roest vd., 1992). Ayrıca, analitik sinyal genliğinin maksimumlarının, gömülü yapı sınırlarına karşılık geldiği kanıtlanmıştır (Nabighian, 1972; Roest vd., 1992). Yapı sınırlarını belirlemek amacıyla Euler dekonvolüsyonu (Roy vd., 2000) ve hücresel sınır ağları yaklaşımı (Albora vd. 2001) gibi teknikler de yaygın olarak kullanılmaktadır.

Birinci merteye yatay türevlerin vektörel genliği şeklinde ifade edilen Toplam Yatay Türev (TYT), Analitik Sinyal genliği (AS) (Nabighian, 1972; 1984; Roest vd., 1992), Tilt Açısı (TA) (Miller ve Singh, 1994); Tilt Açısı Toplam Yatay Türevi (TAD) (Verduzco vd., 2004), Teta Haritası (TETA) (Wijns vd., 2005), Tilt Açısı Hipربولik Tanjantı (HTA) (Cooper ve Cowan, 2006), Gravite Gradient Tensörlerinin (GGT) ve Yatay Bileşenler Genliğinin (MHC) Tilt türevleri (Oruç ve Keskinsezer, 2008), Genlik Stabilize Toplam Yatay Türev (TDX) (Cooper ve Cowan, 2006), Yönelimli Analitik Sinyaller (A_x , A_y , A_z) (Beiki, 2010) ve bu sinyallerin kombinasyonlarından türetilen iki farklı süzgeç (ED_A ve ED_A₂) (Yuan ve Yu, 2015), literatürde yer alan ve bu çalışmada performansları karşılaştırılan sınır belirleme yöntemlerindedir.

Bu çalışmada, gömülü jeolojik yapıların görüntülenmesinde kullanılan farklı sınır belirleme yöntemlerinin tanıtımı amaçlanmıştır. Ayrıca, gravite yatay vektör bileşenlerinin (G_x ve G_y) düşey türevleri kullanılarak, yeni bir sınır belirleme süzgeci (Gravite Gradient Tensörlerinin Toplam Yatay Türevi, GGT_TYT) tanımlanmıştır. İki farklı yer altı modeli için üretilen gürültülü/gürültüsüz sentetik gravite verisine ve Batı Anadolu

Ege Graben Sistemi arazi verisine, farklı sınır belirleme yöntemleri uygulanarak, performansları karşılaştırılmıştır.

YÖNTEMLER

Uzay ortamında U potansiyel alanının ikinci mertebeden kısmi türevleri, potansiyel alan gradient tensörleri olarak aşağıdaki dizeyle ifade edilir (Yuan ve Yu, 2015):

$$G = \begin{bmatrix} \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} & \frac{\partial^2 U}{\partial x \partial y} & \frac{\partial^2 U}{\partial x \partial z} \\ \frac{\partial^2 U}{\partial y \partial x} & \frac{\partial^2 U}{\partial y^2} & \frac{\partial^2 U}{\partial y \partial z} \\ \frac{\partial^2 U}{\partial z \partial x} & \frac{\partial^2 U}{\partial z \partial y} & \frac{\partial^2 U}{\partial z^2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} G_{xx} & G_{xy} & G_{xz} \\ G_{yx} & G_{yy} & G_{yz} \\ G_{zx} & G_{zy} & G_{zz} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Kaynak dışında U potansiyel alanı Laplace denklemini sağlamaktadır. Potansiyel alanın birinci (vektör bileşenleri) ve ikinci (gradient tensörleri) mertebeden türevleri, anomaliye neden olan gömülü yapı sınırlarını belirlemek için oldukça yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Örn: Hood ve Tasked, 1989; Hsu vd., 1996; Fedi ve Florio, 2001). Üç boyutlu Hilbert Dönüşümü (Nabighian, 1984; Nelson, 1988) uygulamaları göstermiştir ki; potansiyel alanın x yönündeki türevleri (G_x , G_{xx} , G_{zx}) y yönündeki yapı sınırlarını, y yönündeki türevleri (G_y , G_{yy} , G_{zy}) ise x yönündeki yapı sınırlarını belirlemektedir (Becerik ve Pınar, 1999). G_x ve G_y birincil türevlerinin maksimum ve minimumlarının uzanımları; G_{xx} ve G_{yy} ikincil türevlerinin dönüm noktalarının uzanımları; G_{zx} ve G_{zy} ikincil türevlerinin maksimum ve minimumlarının uzanımları yapı sınırlarını belirlemektedir. $G_{xy} = G_{yx}$ ise yapı köşelerini belirlemektedir. Düşey birincil türev yapı sınırlarını belirlerken, düşey ikincil türev ile sığ yapılara ait sınırların çözünürlüğü artmaktadır.

Pek çok araştırmacı tarafından, gömülü yapıların yatay sınırlarını belirlemek için yatay ve düşey türevlerin değişik kombinasyonları şeklinde pek çok yöntem tanımlanmıştır. Genel olarak, sınır/kenar belirleme süzgeçleri (Edge detection filters) olarak isimlendirilen bu yöntemlerden bir kısmı aşağıda tanımlanmaktadır.

Toplam Yatay Türev (TYT)

Toplam Yatay Türev, potansiyel alan verilerinde sınır belirleme amacıyla yaygın olarak kullanılmakta olup, iki bağımsız değişkenli harita verisi için;

$$TYT = \sqrt{\left(\frac{\partial U}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial U}{\partial y}\right)^2} \quad (2)$$

şeklinde tanımlanmaktadır. TYT süzgeçlemesi, gömülü yapı sınırlarında pozitif pikler vermekte olup, sığ yapıların pikleri daha belirgindir.

Anolitik Sinyal (AS)

Anolitik sinyalin genliği, Roest vd. (1992) tarafından aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır:

$$|AS| = \sqrt{\left(\frac{\partial U}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial U}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial U}{\partial z}\right)^2} \quad (3)$$

AS süzgeçlemesi, yapı sınırlarında pozitif pikler vermektedir.

Tilt Açısı (TA)

Miller ve Singh (1994), Tilt Açısı olarak bilinen, TYT normalize düşey türevi önermiş ve aşağıdaki şekilde tanımlamışlardır:

$$TA = \tan^{-1} \left(\frac{\partial U / \partial z}{\sqrt{TYT}} \right) \quad (4)$$

Tilt (Eğim) Açısı süzgeçlemesi, yapı sınırları üzerinde sıfır değeri almakta olup, sığ ve derin yapılar için eşit tepkiler sunmaktadır. Bu nedenle, otomatik genlik kontrol süzgeçlemesi gibi çalışmaktadır.

Tilt Açısı Toplam Yatay Türevi (TAD)

Verduzco vd. (2004), gömülü yapıların sınır tespiti için Tilt Açısı Toplam Yatay Türevinin kullanımını önermişlerdir:

$$TAD = \sqrt{\left(\frac{\partial TA}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial TA}{\partial y}\right)^2} \quad (5)$$

TAD süzgeçlemesi, gömülü yapı sınırlarında pozitif pikler vermekte olup, sığ yapıların pikleri, derin yapılarla kıyasla daha belirgindir.

Teta Haritası (TETA)

Wijns vd. (2005), Teta Haritası isimli ve analitik sinyal tabanlı, sınır belirleme süzgecini aşağıdaki şekilde tanımlamışlardır:

$$TETA = \cos \left(\frac{\sqrt{TYT}}{\sqrt{AS}} \right) \quad (6)$$

TETA süzgeçlemesi, gömülü yapı sınırlarında pikler vermektedir.

Tilt Açısı Hiperbolik Tanjantı (HTA)

Tilt açısı hiperbolik tanjantı, Cooper ve Cowan (2006) tarafından aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır:

$$HTA = \Re \left(\tanh^{-1} \left(\frac{\partial U / \partial z}{\sqrt{TYT}} \right) \right) \quad (7)$$

HTA süzgeçlemesi, gömülü yapı sınırlarında pikler vermekte olup, Cooper ve Cowan (2006), yapı sınırlarını belirlemede TYT ve TETA süzgeçlemelerinden daha iyi sonuçlar verdiğini gözlemlemişlerdir.

Gravite Gradient Tensörlerinin (GGT) ve Yatay Bileşenler Genliğinin (MHC) Tilt Türevleri

Eşitlik (4)'ten hareketle, Oruç ve Keskinsezer (2008), Gravite Gradient Tensörleri (GGT) ile aşağıdaki ifadeleri tanımlamışlardır:

$$\theta_x = \tan^{-1} \left(\frac{G_{xz}}{\sqrt{(G_{xx})^2 + (G_{xy})^2}} \right) \quad (8)$$

$$\theta_y = \tan^{-1} \left(\frac{G_{yz}}{\sqrt{(G_{yx})^2 + (G_{yy})^2}} \right) \quad (9)$$

ve

$$\theta_z = \tan^{-1} \left(\frac{G_{zz}}{\sqrt{(G_{zx})^2 + (G_{zy})^2}} \right) \quad (10)$$

Ayrıca, Yatay Bileşenler Genliği (MHC);

$$MHC = \sqrt{(G_x)^2 + (G_y)^2} \quad (11)$$

olmak üzere, MHC'nin Tilt türevini;

$$\theta_{MHC} = \tan^{-1} \left(\frac{MHC_z}{\sqrt{(MHC_x)^2 + (MHC_y)^2}} \right) \quad (12)$$

yeni bir sınır belirleme süzgeci olarak tanımlamışlardır. GGT ve MHC'den hesaplanan Tilt Açısı kabulünün şematik gösterimi Şekil 1'de verilmektedir (Oruç ve Keskinsezer, 2008).

Genlik Stabilize Toplam Yatay Türev (TDX)

Eşitlik (2)'de verilmekte olan TYT ifadesinin, potansiyelin birincil düşey türev genliğine normalize edilmesi ile elde edilen sınır belirleme süzgeci, aşağıdaki şekilde verilmektedir (Cooper ve Cowan, 2006):

$$TDX = \tan^{-1} \left(\frac{\sqrt{TYT}}{|\partial U / \partial z|} \right) \quad (13)$$

TYT süzgeçlemesi sonuçlarında, sığ yapıların pikleri daha belirgin iken; TDX süzgeçlemesi, sığ ve derin yapılar için eşit tepkiler sunmakta olup, TA süzgeçlemesine benzer şekilde, otomatik genlik kontrol süzgeçlemesi gibi çalışmaktadır (Cooper ve Cowan, 2006).

Yönelimli Analitik Sinyal

Beiki (2010), potansiyel alan gradient tensörlerini kullanarak, yönelimli analitik sinyal genliklerini aşağıdaki şekilde tanımlamıştır:

$$A_x = \sqrt{(G_{xx})^2 + (G_{xy})^2 + (G_{xz})^2} \quad (14)$$

$$A_y = \sqrt{(G_{yx})^2 + (G_{yy})^2 + (G_{yz})^2} \quad (15)$$

$$A_z = \sqrt{(G_{zx})^2 + (G_{zy})^2 + (G_{zz})^2} \quad (16)$$

Burada, eşitliklerin sol tarafındaki x, y ve z indisleri, türev indisleri olmayıp, analitik sinyal yönelimini ifade etmektedirler. Yuan ve Yu (2015), A_x ve A_y ifadelerini kullanarak, aşağıdaki sınır belirleme süzgecini tanımlamışlardır:

$$ED_A = \sqrt{(A_x)^2 + (A_y)^2} \quad (17)$$

Çözünürlüğü arttırmak için, A_x ve A_y yönelimli analitik sinyallerinin düşey türevlerini (A_{xz} ve A_{yz}) kullanarak;

$$ED_A_z = \sqrt{(A_{xz})^2 + (A_{yz})^2} \quad (18)$$

şeklinde yeni bir sınır belirleme süzgeci daha tanımlamışlardır. ED_A ve ED_A_z süzgeçleme çıktılarının maksimum değerleri yapı sınırlarını belirlemektedir. Yuan ve Yu (2015), A_{xz} ve A_{yz} 'in maksimum değerlerinin yapı sınırlarını, A_x ve A_y 'den daha iyi bir çözünürlükte belirlediklerini gözlemlenmiştir.

Gravite Gradient Tensörlerinin Toplam Yatay Türevi (GGT_TYT)

Yönelimli analitik sinyallerin düşey türevleri yerine (Eşitlik 18), gravite yatay vektör bileşenlerinin (G_x ve G_y) düşey türevlerini kullanarak, yeni bir sınır belirleme süzgeci:

$$GGT_TYT = \sqrt{(G_{xz})^2 + (G_{yz})^2} \quad (19)$$

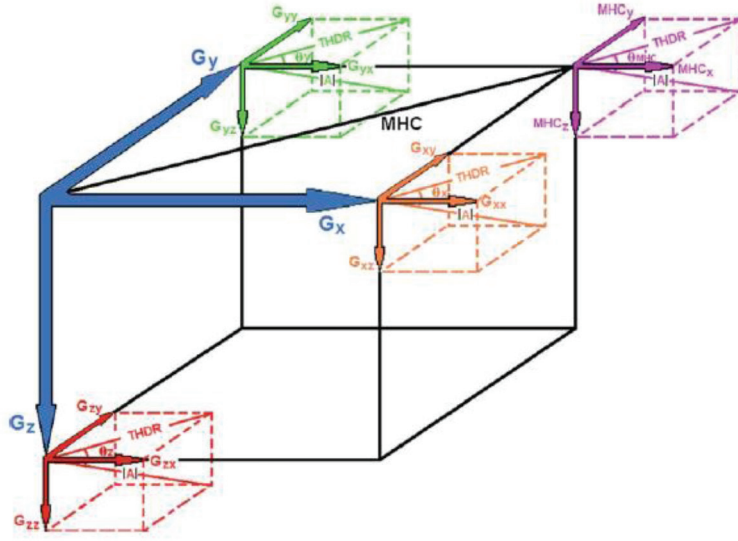
şeklinde tanımlanabilir. ED_A ve ED_A_z süzgeçlemelerine benzer olarak, GGT_TYT çıktıının maksimum değerleri yapı sınırlarını belirlemektedir.

UYGULAMALAR

İlk olarak, iki farklı model için gürültülü ve gürültüsüz sentetik gravite verisi üretilerek, yukarıda tanımlanan farklı sınır belirleme yöntemlerinin performansları karşılaştırılmıştır. Yaygın olarak kullanılmakta olan, ilk altı sınır belirleme süzgecine ait uygulamalar Potensoft yazılımı (Arısoy ve Dikmen, 2011) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Birincil ve ikincil türevler, bu yazılım ile hesaplanmıştır. Yazılımda, yatay türevler uzay ortamında merkezi farklar yaklaşımı ile hesaplanırken; düşey türev frekans ortamında hesaplanmakta olup, FFT (Fast Fourier Transformation) kullanımı içermektedir. İki farklı model ve bunlar için elde edilen sonuçlar aşağıda verilmektedir.

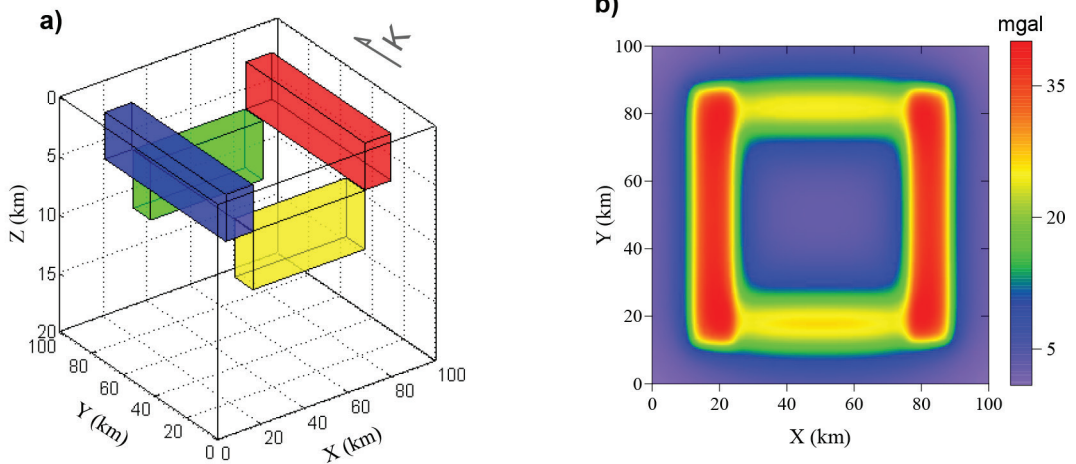
Model 1

Dört prizmatik yapıdan oluşmakta olup, Şekil 2a'da modele ait Voxel görünümü ve Şekil 2b'de ise gravite anomalisi verilmektedir. Y eksenini (K-G) uzanımlı yapıların derinliği 1-5 km ve X eksenini (B-D) uzanımlı yapıların derinliği 5-10 km arasında olup, dört prizma için tanımlanan yoğunluk farkları (0,3 gr/cm³) eşittir. Bu modele ait, gravite vektör bileşenleri ve gradient tensörleri ile birlikte, TYT (Eşitlik 2), AS (Eşitlik 3), TA (Eşitlik 4), TAD (Eşitlik 5), TETA (Eşitlik 6) ve HTA (Eşitlik 7) süzgeçlemelerine ait sonuçlar Şekil 3'de verilmektedir. Bu şekle baktığımızda; potansiyelin



Şekil 1. Şematik gösterim (Oruç ve Keskinsezer, 2008'den alınmıştır): Gravite vektör bileşenleri (G_x , G_y , G_z) ve gradient tensörleri (G_{xx} , G_{xy} , G_{xz} , G_{yx} , G_{yy} , G_{yz} , G_{zx} , G_{zy} , G_{zz}); gravite gradient tensörlerinin Tilt Açılı (θ_x , θ_y , θ_z); Toplam Yatay Türevin (THDR/MHC) Tilt Açısı (θ_{MHC}); Toplam Yatay Türevin vektör bileşenleri (MHC_x , MHC_y ve MHC_z); Analitik Sinyal (A).

Figure 1. Schematic diagram (taken from Oruç and Keskinsezer, 2008): Vector components (G_x , G_y , G_z) and gradient tensors (G_{xx} , G_{xy} , G_{xz} , G_{yx} , G_{yy} , G_{yz} , G_{zx} , G_{zy} , G_{zz}) of gravity; Tilt Angles of gravity gradient tensors (θ_x , θ_y , θ_z); Tilt Angle (θ_{MHC}) of Total Horizontal Derivate (THDR/MHC); vector components of Total Horizontal Derivate (MHC_x , MHC_y and MHC_z); Analytical Signal (A).

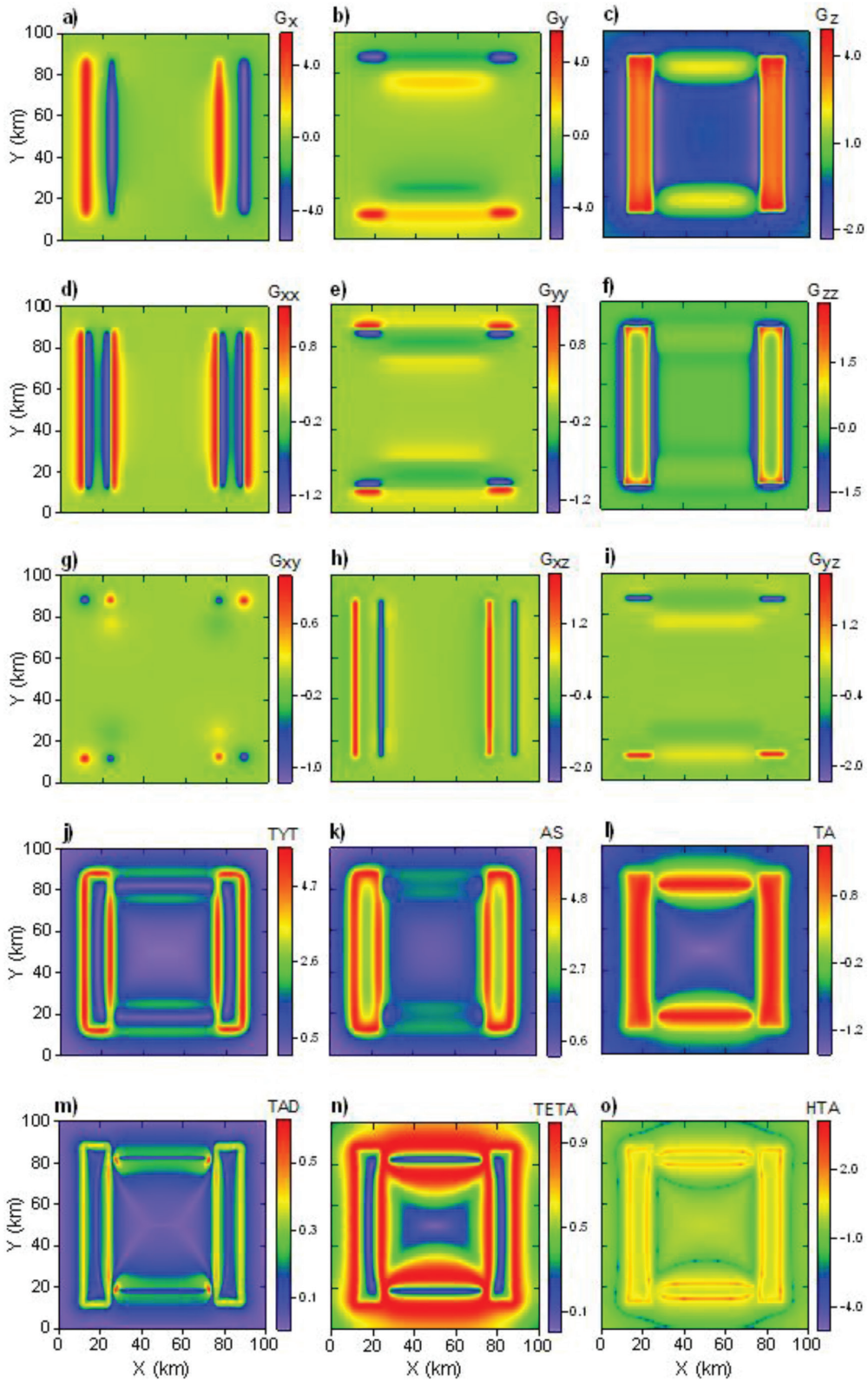


Şekil 2. Gömülü dört prizmatik yapıdan oluşan Model 1'e ait a) Voxel görünümü ve b) Gravite anomalisi.

Figure 2. a) Voxel view and b) Gravity anomaly of Model 1, which is composed of buried four prismatic structures.

birincil ve ikincil türevlerinde, sığ yapı sınırları daha net görüntülenmektedir. G_z ve G_{zz} sonuçları karşılaştırıldığında, artan türev mertebesi ile birlikte sığ yapı sınırları netleşirken, derin yapı sınırlarının görünürlüğü azalmaktadır. G_{xy} 'de sığ yapı köşeleri belirgin olup, derin yapı köşeleri ayırt edilememektedir. Geleneksel

sınır belirleme süzgeçlerinin performanslarına baktığımızda; AS sonuçları yayvan pozitif pikler sunmakta olup, derin yapı sınırları net değildir. TYT ve TAD çıktılarında, sığ yapı sınırları derin yapıya kıyasla daha belirgindir. TETA haritasındaki geniş pozitif pikler, yapı sınırlarını net bir şekilde ifade etmemektedir.



Şekil 3. Model 1 (Şekil 2 için, a) G_x , b) G_y , c) G_z , d) G_{xx} , e) G_{yy} , f) G_{zz} , g) G_{xy} , h) G_{xz} , i) G_{yz} türevleri ve j) TYT, k) AS, l) TA, m) TAD, n) TETA, o) HTA sonuçları.

Figure 3. The results of a) G_x , b) G_y , c) G_z , d) G_{xx} , e) G_{yy} , f) G_{zz} , g) G_{xy} , h) G_{xz} , i) G_{yz} derivatives and j) TYT, k) AS, l) TA, m) TAD, n) TETA, o) HTA filters for Model 1 (Figure 2).

HTA'da sığ yapılar için daha net olmakla birlikte, pozitif pikler yapı sınırlarını belirlemektedir. Ancak, yapı sınırlarını ifade etmeyen negatif pikler de gözlenmektedir.

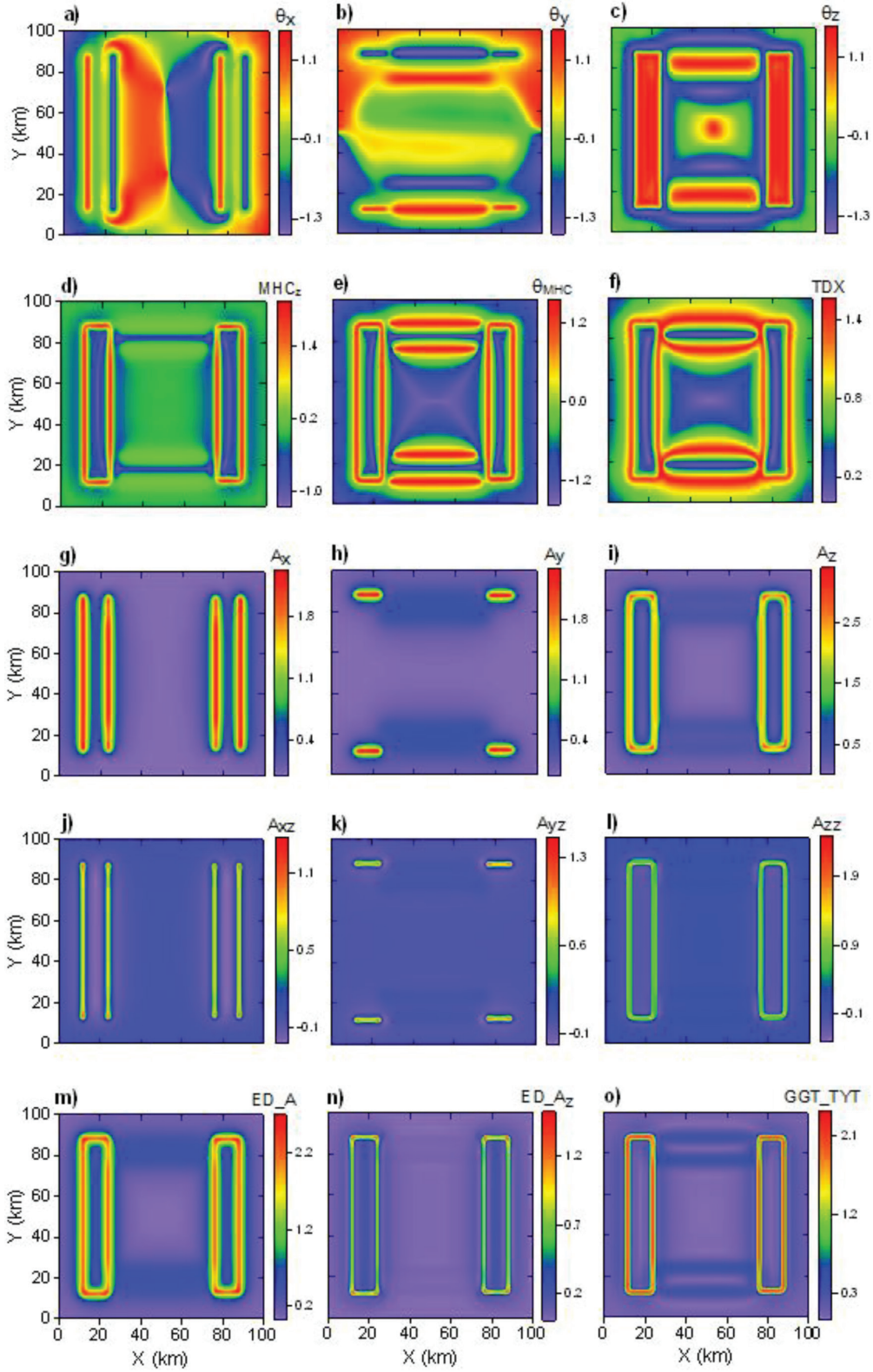
Şekil 2'de verilmekte olan model için, θ_x (Eşitlik 8), θ_y (Eşitlik 9), θ_z (Eşitlik 10), MHC_z (TYT'nin düşey türevi), θ_{MHC} (Eşitlik 12), TDX (Eşitlik 13), Eşitlik 14-16'da tanımlanan yönelimli analitik sinyal genlikleri (A_x , A_y ve A_z), bunların düşey türevleri (A_{xz} , A_{yz} ve A_{zz}), ED_A (Eşitlik 17), ED_A_z (Eşitlik 18) ve GGT_TYT (Eşitlik 19) sınır belirleme süzgeçlemelerine ait sonuçlar Şekil 4'te verilmektedir. θ_x ve θ_y 'de, maksimum ve minimumların uzanımları sığ ve derin yapı sınırlarını belirlemede fakat alanı bölmekte olan genel eğilimler bulunmaktadır. θ_z 'de, yapı sınırları belirgin ancak modelin ortasında yapay bir anomali bulunmaktadır. TYT'nin düşey türevi olan MHC_z'de, derin yapı sınırları ayırt edilememektedir. θ_{MHC} ve TDX sonuçlarında ise, sığ yapı sınırları derin yapılara kıyasla daha belirgin olup, derin yapı sınırları daha yayvan pozitif pikler sunmaktadır. A_x , A_y ve A_z yönelimli analitik sinyallerinde, G_x , G_y ve G_z 'e kıyasla, yapı sınırları çözünürlüğü sığ yapılar için daha iyi olup, derin yapı sınırları seçilememektedir. Yönelimli analitik sinyallerin düşey türevlerinde (A_{xz} , A_{yz} ve A_{zz}) de aynı durum söz konusudur. Artan türev mertebesi ile birlikte sığ yapı sınırları daha da netleşirken, derin yapı sınırlarının görünürlüğü tamamen kaybolmaktadır. ED_A ve GGT_TYT'ye kıyasla, sığ yapı sınırları ED_A_z'de daha nettir, ancak derin yapı sınırları görünürlüğü söz konusu değildir. Çok belirgin olmamakla birlikte derin yapı sınırları GGT_TYT'de gözlenmekte olup, ED_A çıktısında gözlenmemektedir. Sığ ve derin yapı sınırlarını aynı anda belirlemedeki başarısından dolayı, TA süzgeçlemesi, bu model için en iyi sonucu vermektedir.

Model 1 için, sentetik veriye maksimum veri genliğinin %1'i oranında, normal dağılımlı düzenli gürültü eklendiğinde elde edilen sınır belirleme süzgeçlemesi sonuçları, Şekil 5'te verilmektedir. Sonuçlara baktığımızda; HTA'daki θ_z , θ_{MHC} ve TDX sonuçlarında gözlenen yapay anomalilerin kaybolduğunu görmekteyiz. Bununla birlikte, yapı sınırları çözünürlüğü TAD, θ_z , A_{zz} ve ED_A_z'de azalmaktadır. Performansı artan süzgeçleme olarak, HTA'da negatif pikler kaybolmaktadır. Böylece, gürültülü model için sığ ve derin yapı sınırlarını aynı anda belirlemedeki başarılarından dolayı, TA ve HTA süzgeçlemeleri, en iyi sonucu vermektedir.

Model 2

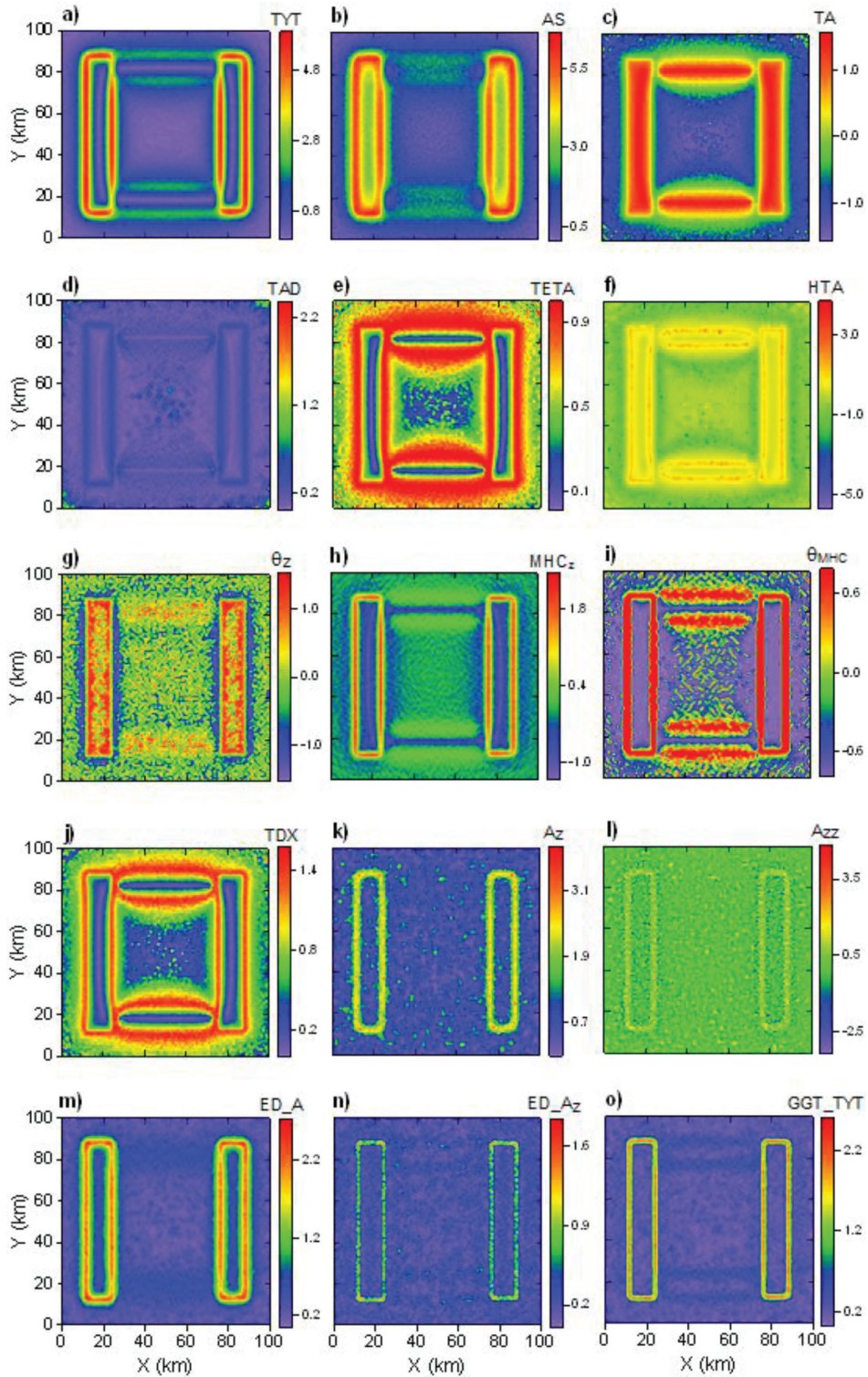
Beş prizmatik yapıdan oluşmakta olup, Şekil 6a'da modele ait Voxel görünümü ve Şekil 6b'de ise gravite anomalisi verilmektedir. Ortadaki prizma en derin gömülü yapı olup derinliği 5-15 km arasındadır. Onun kuzeyinde yer alan yapıların derinliği 2-5 km ve güneyinde yer alan yapıların derinliği ise, 3-5 km arasında değişmektedir. Her bir yapı için yoğunluk farkı 0.5 gr/cm³ olarak tanımlanmıştır. Bu modele ait gravite vektör bileşenleri ve gradient tensörleri ile birlikte, TYT (Eşitlik 2), AS (Eşitlik 3), TA (Eşitlik 4), TAD (Eşitlik 5), TETA (Eşitlik 6) ve HTA (Eşitlik 7) süzgeçlemelerine ait sonuçlar Şekil 7'de yer almaktadır. Bu şekilde baktığımızda; G_x , G_y , G_{xx} ve G_{yy} 'de üst üste olan sığ ve derin yapı sınırları net bir şekilde ayırt edilememektedir. Bunlara kıyasla, G_{xz} ve G_{yz} 'de yapı sınırlarını net bir şekilde belirlemektedir. G_{zz} sığ yapıların kenarlarının belirlenmesinde G_z 'e göre daha başarılıdır. Ancak G_{zz} 'de derin yapı için ayrımlılık azalmıştır. G_{xy} 'de sığ ve derin, tüm yapılara ait köşeler görülmektedir. Bu model için, geleneksel sınır belirleme süzgeçlerinin performansları iyi değildir. TA'nın çözünürlüğü, diğerlerine (TYT, AS, TAD, TETA, HTA) kıyasla daha iyidir; ancak üst üste olan sığ ve derin yapı sınırları ayırt edilememektedir. TAD'da, sığ ve üst üste olmayan yapı sınırları belirgindir. HTA'da pozitif pikler üst üste olamayan yapı sınırlarını belirlemede olup, üst üste olan yapı sınırları ayrımlılığı gözlenmemektedir. Ayrıca, yapı sınırlarını ifade etmeyen negatif pikler bulunmaktadır.

Şekil 6'da verilmekte olan model için, θ_x (Eşitlik 8), θ_y (Eşitlik 9), θ_z (Eşitlik 10), MHC_z (TYT'nin düşey türevi), θ_{MHC} (Eşitlik 12), TDX (Eşitlik 13), Eşitlik 14-16'da tanımlanan yönelimli analitik sinyal genlikleri (A_x , A_y ve A_z), bunların düşey türevleri (A_{xz} , A_{yz} ve A_{zz}), ED_A (Eşitlik 17), ED_A_z (Eşitlik 18) ve GGT_TYT (Eşitlik 19) sınır belirleme süzgeçlemelerine ait sonuçlar Şekil 8'de verilmektedir. θ_x ve θ_y 'de, alanı bölmekte olan genel eğilimlere rağmen, maksimum ve minimumların uzanımları sığ ve derin yapı sınırlarını belirlemektedir. θ_z 'de, üst üste olan sığ ve derin yapı sınırları ayırt edilememektedir. TYT'nin düşey türevi olan MHC_z'de, üst üste olan sığ ve derin yapı sınırları, TYT'ye kıyasla, oldukça belirgindir. Bu model için, daha önceki modelden farklı olarak, θ_{MHC} sonucu, MHC_z'den daha düşük çözünürlükte olup, üst üste olan yapı sınırları net değildir. TDX sonucunun çözünürlüğü ise, θ_{MHC} 'den daha kötüdür. Bir önceki modelin aksine Model 2 için, A_x , A_y ve A_z yönelimli analitik sinyallerinin, derin yapı sınırlarını belirlemede daha başarılı olduğu



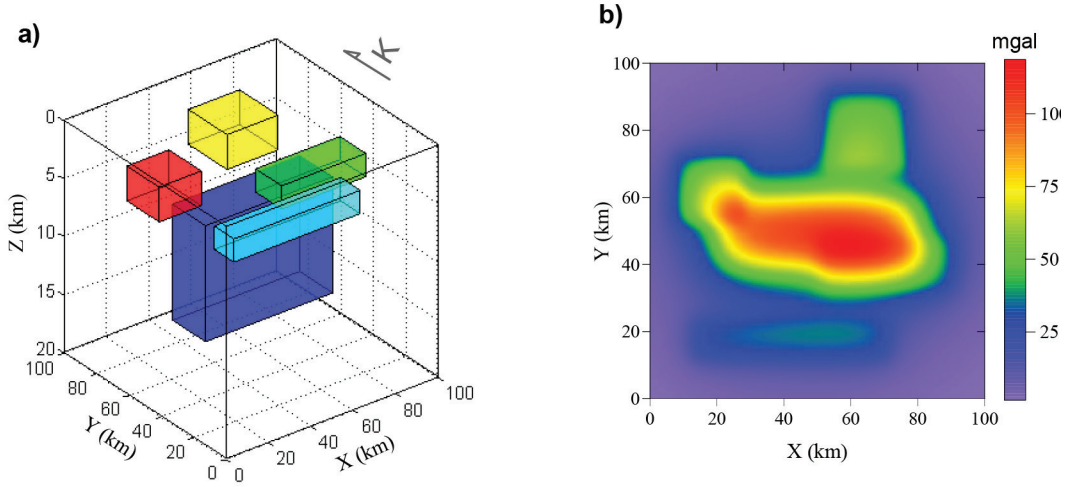
Şekil 4. Model 1 (Şekil 2) için, a) θ_x , b) θ_y , c) θ_z , d) MHC_z , e) θ_{MHC} , f) TDX, g) A_x , h) A_y , i) A_z , j) A_{xz} , k) A_{yz} , l) A_{zz} ve m) ED_A, n) ED_Az, o) GGT_TYT süzgeçleme sonuçları.

Figure 4. The results of a) θ_x , b) θ_y , c) θ_z , d) MHC_z , e) θ_{MHC} , f) TDX, g) A_x , h) A_y , i) A_z , j) A_{xz} , k) A_{yz} , l) A_{zz} and m) ED_A, n) ED_Az, o) GGT_TYT filters for Model 1 (Figure 2).



Şekil 5. Model 1 (Şekil 2) için, sentetik gravite verisine maksimum veri genişliğinin %1'i oranında normal dağılımlı düzenli gürültü eklendikten sonra, elde edilen sınır belirleme süzgeç sonuçları: a) TYT, b) AS, c) TA, d) TAD, e) TETA, f) HTA g) θ_z , h) MHC_z , i) θ_{MHC} , j) TDX k) A_z , l) A_{zz} and m) ED_A, n) ED_ A_z ve o) GGT_TYT.

Figure 5. The results of edge detection filters for Model 1 (Figure 2), after normally distributed random noise, with amplitude equal to 1% of maximum data amplitude, was added to synthetic gravity data: a) TYT, b) AS, c) TA, d) TAD, e) TETA, f) HTA g) θ_z , h) MHC_z , i) θ_{MHC} , j) TDX k) A_z , l) A_{zz} and m) ED_A, n) ED_ A_z ve o) GGT_TYT.



Şekil 6. Gömülü beş prizmatik yapıdan oluşan Model 2'ye ait a) Voxel görünümü ve b) Gravite anomalisi.
Figure 6. a) Voxel view and b) Gravity anomaly of Model 2, which is composed of buried five prismatic structures.

gözlenmektedir. Yönelimli analitik sinyallerin düşey türevlerinin (A_{xz} , A_{yz} ve A_{zz}) çözünürlüğü ise çok daha iyi olup; A_{zz} , A_z 'e kıyasla daha nettir. ED_A'nın çözünürlüğü kötü olup; ED_A_z'de sığ yapı sınırları net bir şekilde gözlenmektedir. Bu model için en iyi sonucu veren, tüm yapı sınırlarını görünür kılan, GGT_TYT süzgeçlemesidir.

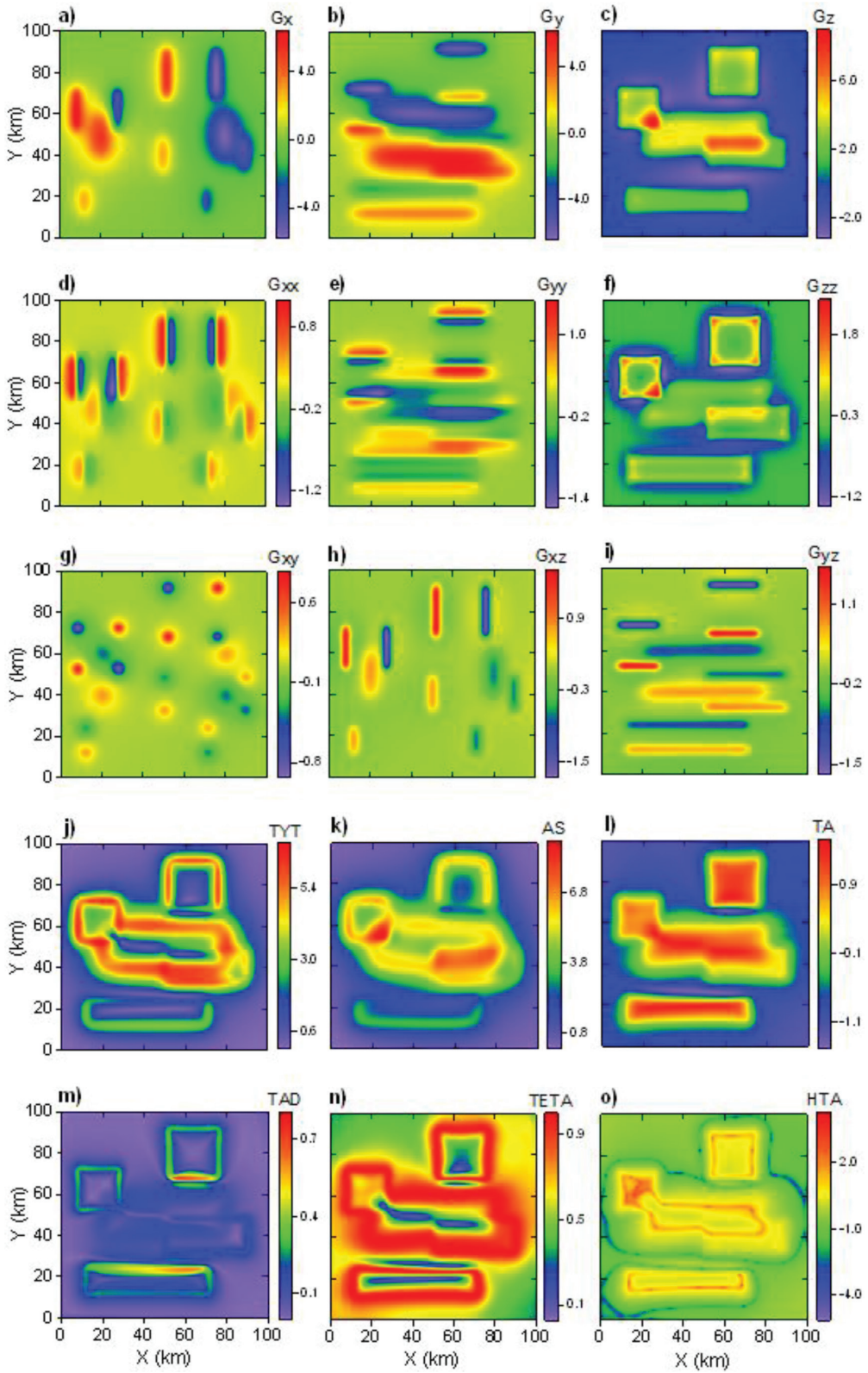
Model 2 için, sentetik veriye maksimum veri genişliğinin %1'i oranında, normal dağılımlı düzenli gürültü eklendiğinde elde edilen sınır belirleme süzgeçlemesi sonuçları, Şekil 9'da verilmektedir. Gürültülü ve gürültüsüz veri sonuçlarını karşılaştırdığımızda; gürültülü veri sonuçlarında, yapı sınırları çözünürlüğü TAD, θ_z , A_z , A_{zz} , ED_A ve ED_A_z'de azalmaktadır. Performansı artıran süzgeçleme gözlenmemekte olup, gürültüsüz veri sonucuna kıyasla çözünürlüğü azalmasına rağmen, bu model için en iyi sonucu veren ve tüm yapı sınırlarını görünür kılan, GGT_TYT süzgeçlemesidir.

Şekil 3 ve 7'de görüldüğü gibi, GGT_TYT'yi oluşturan gravite gradient tensörleri x ve y doğrultusundaki yapı sınırlarını belirlemektedir. Bu tensörlerde (G_{xz} ve G_{yz}) sığ yapı sınırları daha net ayırt edilebilmektedir. Bu nedenle GGT_TYT'de, sığ yapı sınırları daha belirgindir (Şekil 4 ve 8). Yoğunluk kontrastının fazla olduğu durumlarda, derin yapı sınırları da ayırt edilebilmektedir (Şekil 8). Ancak, gömülü yapının ürettiği anomaliye etkiyen gürültüye bağlı olarak yapı sınırları ayrımlılığı azalmaktadır (Şekil 5 ve 9).

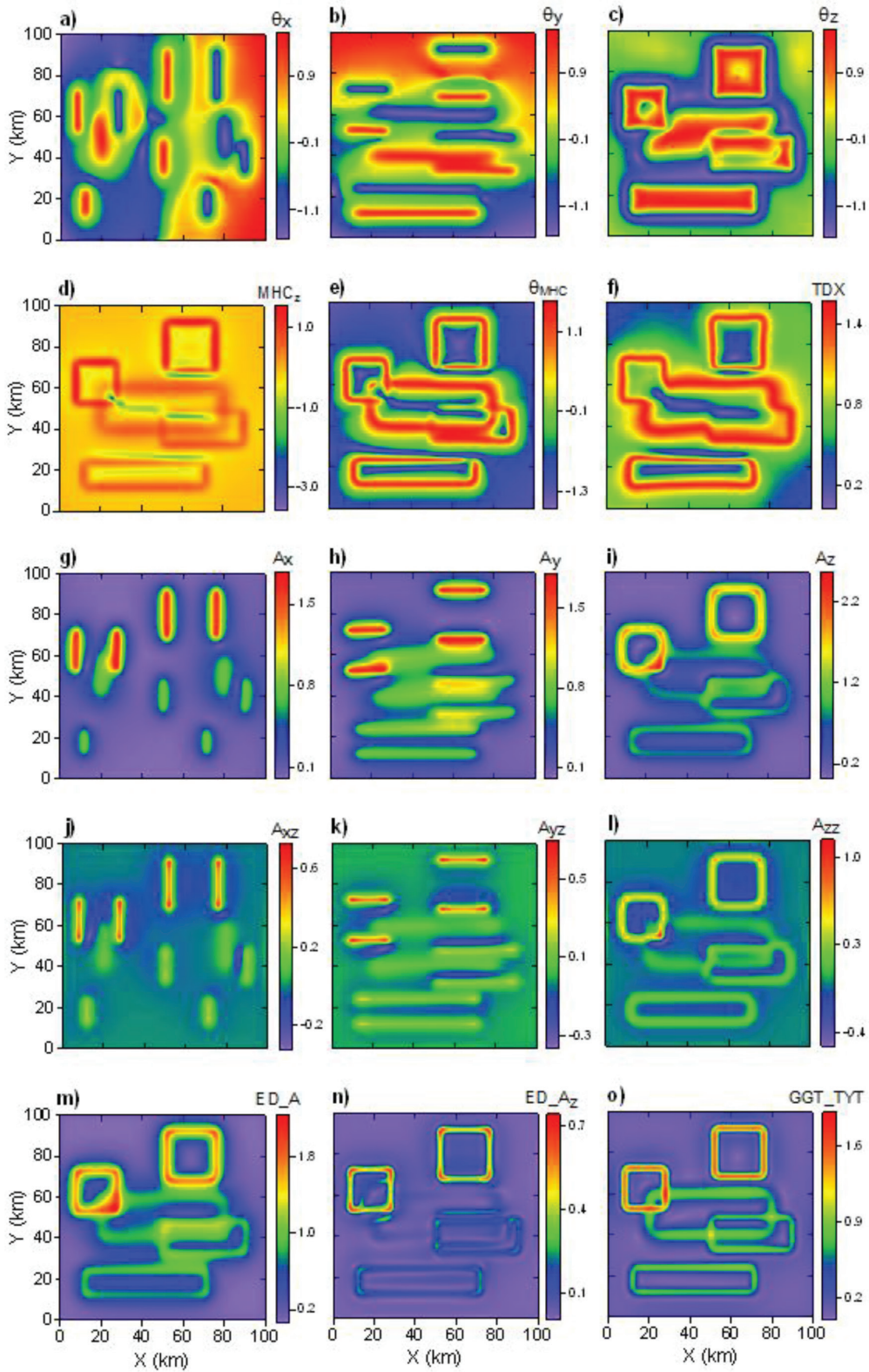
Arazi verisi uygulaması

Doğu Akdeniz'in jeodinamik evriminin kontrolündeki, Batı Türkiye'deki çarpışma sonrası volkanizma, farklı içerikte magmatik episodlar içermektedir (Pe-Piper ve Piper, 2001). Çarpışma sonrası açılmanın, Ege'de, pek çok Alpin metamorfik masif oluşturduğu bilinmektedir (Jolivet vd., 2013). Ege'deki Kiklat Masifinin doğudaki uzantısı olduğu düşünülen (Seyitoğlu ve Işık, 2009) ve bir metamorfik çekirdek kompleksi olan Menderes Masifi, batı Türkiye merkezinde bulunmaktadır (Bozkurt ve Oberhänsli, 2001). Masif, B-D uzantılı Gediz ve Büyük Menderes Grabenlerini sınırlandıran normal faylar tarafından kesilmektedir (Şekil 10) (Öner ve Dilek, 2013). Yaygın volkanizmanın (Aldanmaz, 2006) neden olduğu mineralleşme ve pek çok jeotermal sistemin (Mutlu, 2007) kaynağı yüksek ısı akısı değerleri (İlkışık, 1995) bölgenin tektonik karmaşasını ifade etmektedir.

Bölgeye ait Bouguer gravite haritası Şekil 11a'da verilmektedir. Haritaya baktığımızda, genel olarak doğudan batıya artmakta olan gravite değerleri gözlenmektedir. Yapılan çalışmalar bölgedeki kabuk kalınlığı değişiminin batıya doğru azalmakta olduğunu göstermiştir (Zhu vd., 2006). Şekil 11a'ya baktığımızda, bölgenin en derin çökellerini içeren ve en belirgin neotektonik yapısal unsurları olan Gediz Grabeni (GG) ve Büyük Menderes Grabeni (BMG), sırasıyla, KB-GD ve D-B uzanımlı gravite anomalileri ile karakterize olmaktadır.

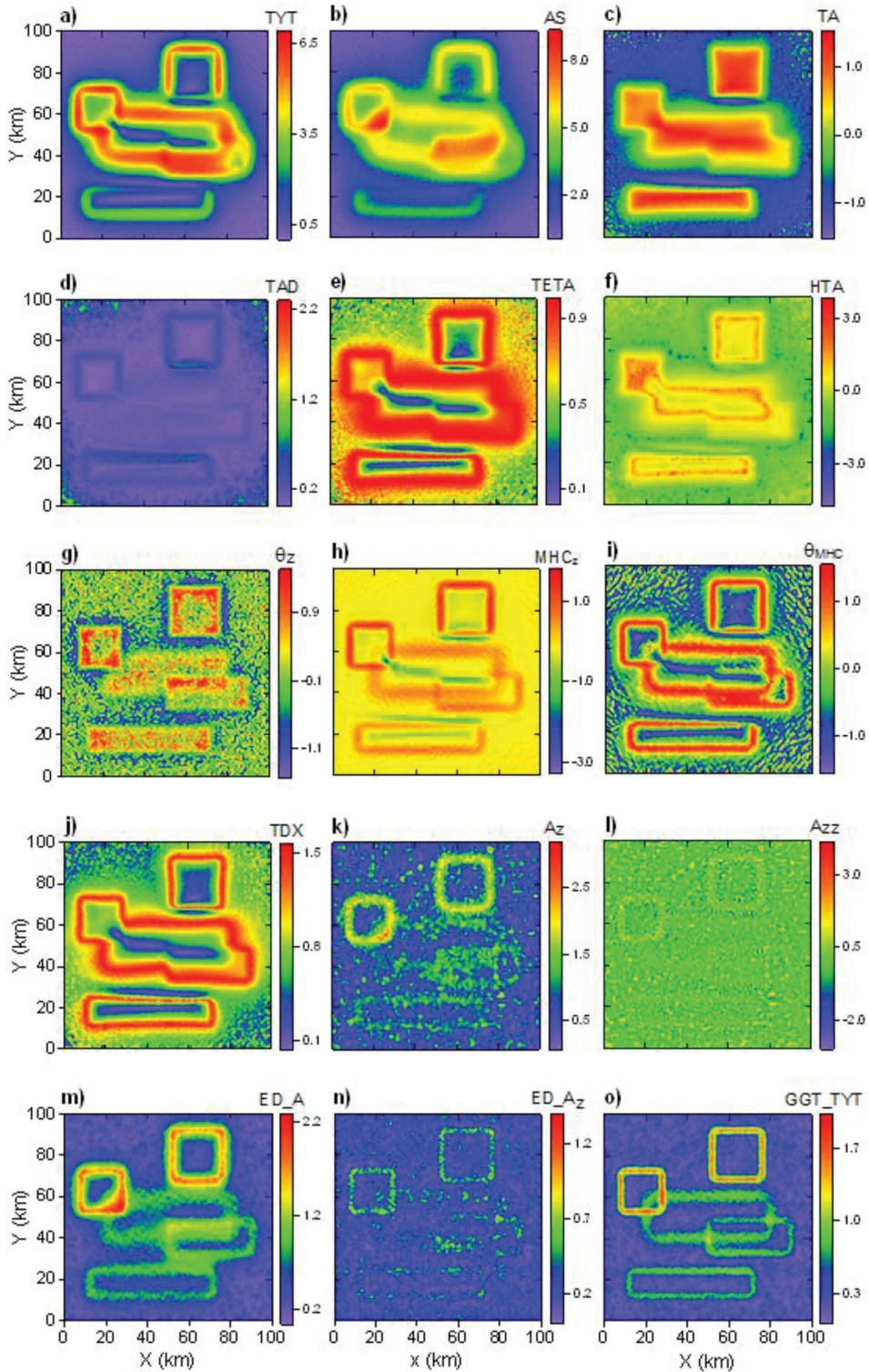


Şekil 7. Model 2 (Şekil 6) için, a) G_x , b) G_y , c) G_z , d) G_{xx} , e) G_{yy} , f) G_{zz} , g) G_{xy} , h) G_{xz} , i) G_{yz} türevleri ve j) TYT, k) AS, l) TA, m) TAD, n) TETA, o) HTA süzgeçleme sonuçları.
 Figure 7. The results of a) G_x , b) G_y , c) G_z , d) G_{xx} , e) G_{yy} , f) G_{zz} , g) G_{xy} , h) G_{xz} , i) G_{yz} derivatives and j) TYT, k) AS, l) TA, m) TAD, n) TETA, o) HTA filters for Model 2 (Figure 6).



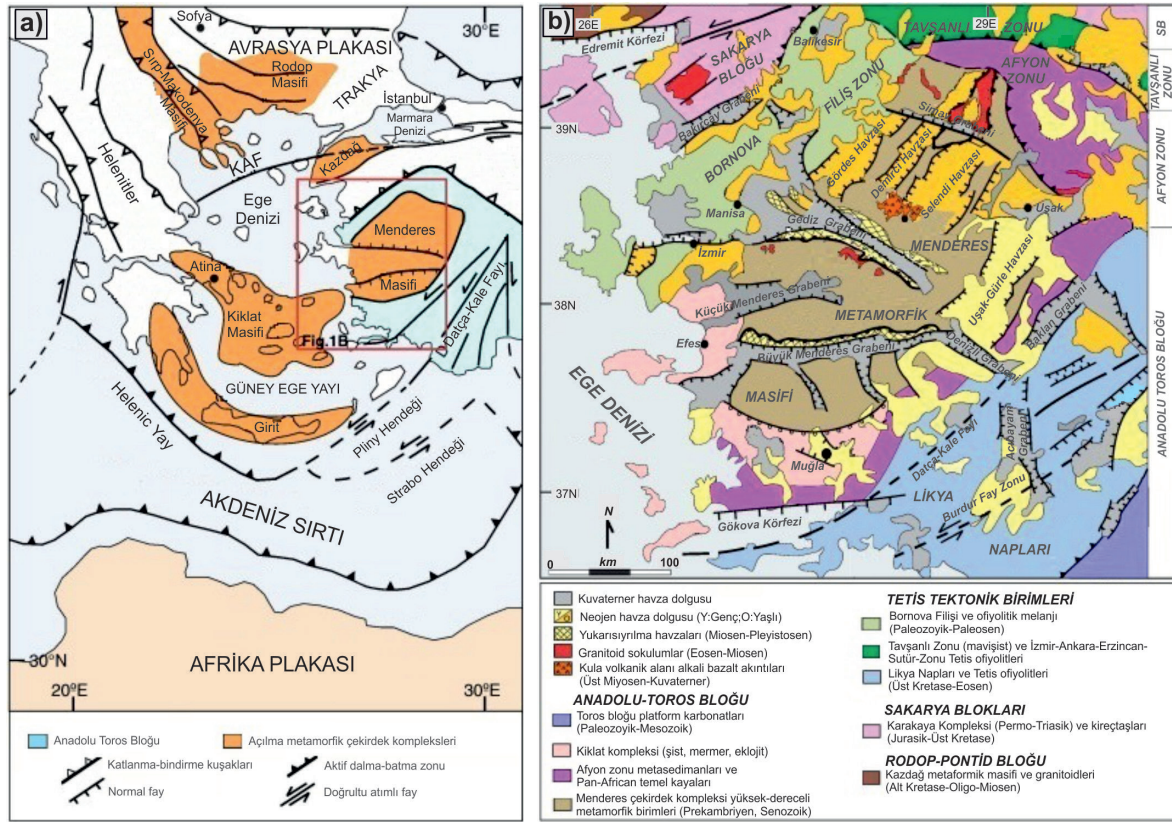
Şekil 8. Model 2 (Şekil 6) için, a) θ_x , b) θ_y , c) θ_z , d) MHC_z , e) θ_{MHC} , f) TDX, g) A_x , h) A_y , i) A_z , j) A_{xz} , k) A_{yz} , l) A_{zz} ve m) ED_A, n) ED_Az, o) GGT_TYT süzgeçleme sonuçları.

Figure 8. The results of a) θ_x , b) θ_y , c) θ_z , d) MHC_z , e) θ_{MHC} , f) TDX, g) A_x , h) A_y , i) A_z , j) A_{xz} , k) A_{yz} , l) A_{zz} and m) ED_A, n) ED_Az, o) GGT_TYT filters for Model 2 (Figure 6).



Şekil 9. Model 2 (Şekil 6) için, sentetik gravite verisine maksimum veri genişliğinin %1'i oranında, normal dağılımlı düzenli gürültü eklendikten sonra, elde edilen sınır belirleme süzgeç sonuçları: a) TYT, b) AS, c) TA, d) TAD, e) TETA, f) HTA g) θ_z , h) MHC_z , i) θ_{MHC} , j) TDX k) A_z , l) A_{zz} ve m) ED_A, n) ED_ A_z ve o) GGT_TYT.

Figure 9. The results of edge detection filters for Model 2 (Figure 6), after normally distributed random noise, with amplitude equal to 1% of maximum data amplitude, was added to synthetic gravity data: a) TYT, b) AS, c) TA, d) TAD, e) TETA, f) HTA g) θ_z , h) MHC_z , i) θ_{MHC} , j) TDX k) A_z , l) A_{zz} and m) ED_A, n) ED_ A_z and o) GGT_TYT.



Şekil 10. a). Ege Bölgesi'nin sadeleştirilmiş tektonik haritası (Öner ve Dilek, 2013'ten alınmıştır). Turuncu alanlar, Ege açılma bölgesindeki metamorfik çekirdek kompleksleri göstermektedir. Kırmızı dikdörtgen, Şekil 10B'deki alanı ifade etmektedir. b). Menderes Masifi'nin Neojen-Kuvaterner havzalarını ve bunları çevreleyen ana tektonik hatları gösteren Batı Anadolu'nun sadeleştirilmiş jeolojik haritası (Öner ve Dilek, 2013'ten alınmıştır).

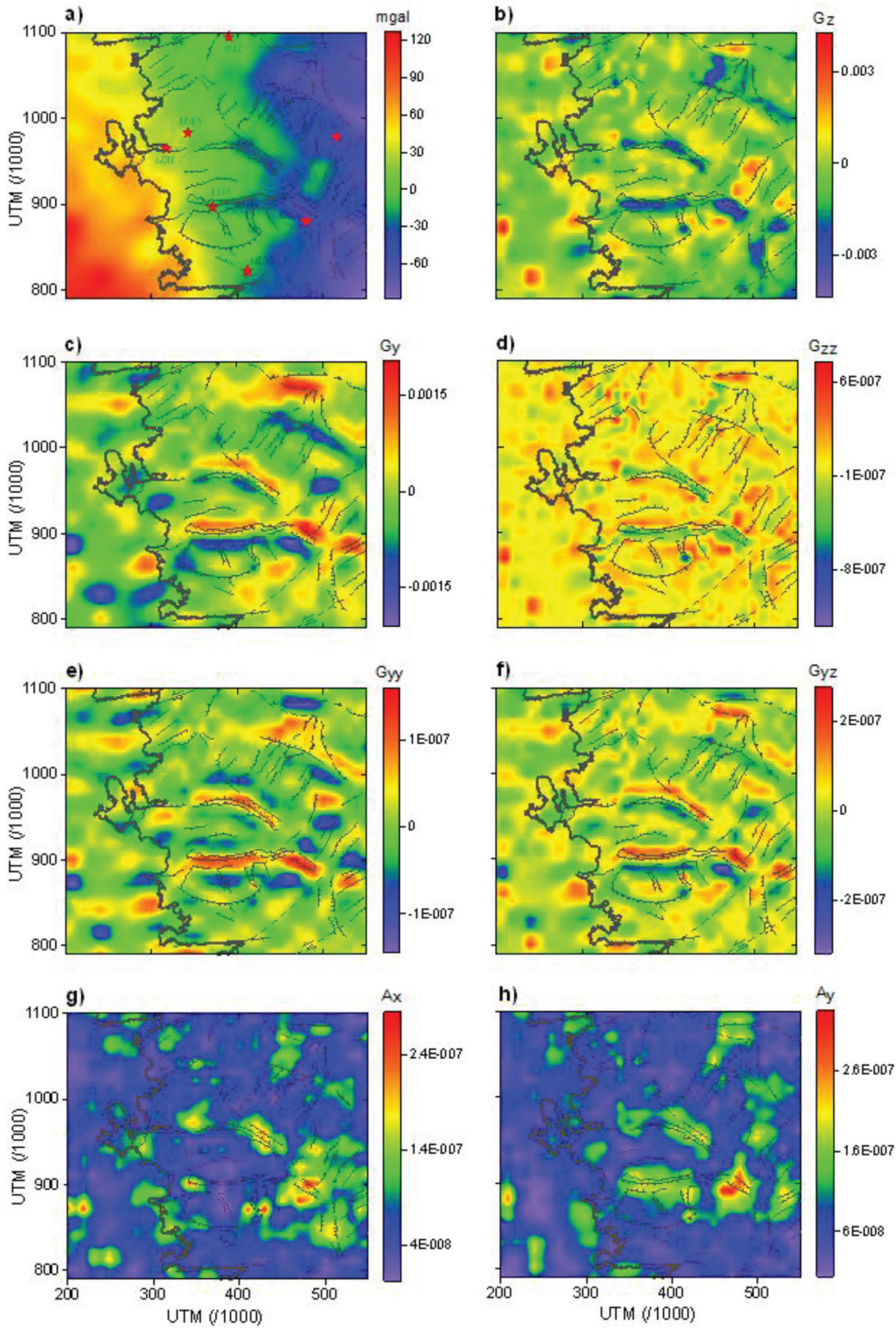
Figure 10. a). Simplified tectonic map of the Aegean region (taken from Öner and Dilek, 2013). Orange-color areas show the metamorphic core complexes in the Aegean extensional province. The red square depicts the area of Figure 10b. b). Simplified geological map of western Anatolia showing the Neogene-Quaternary basins in the Menderes Massif and the surrounding major tectonic features (taken from Öner and Dilek, 2013).

Şekil 11'de, Batı Anadolu Ege Graben Sistemi arazi verisine, farklı sınır belirleme yöntemleri uygulandığında elde edilen sonuçlar tektonik hatlarla (Şekil 10) (Öner ve Dilek, 2013) birlikte verilmektedir. Yukarıda bahsedilen sınır belirleme süzgeçlerinden çözünürlüğü iyi olanların sonuçları bu şekilde yer almaktadır. Elde edilen sonuçlar, bölgenin tektonik ve jeolojik karmaşasının neden olduğu yoğunluk heterojenitesini yansıtmaktadır. Sonuçların tümünde, Gediz ve Büyük Menderes Grabenleri net bir biçimde ayırt edilmekte olup, diğer yapısal unsurların çözünürlüğü yöntemden yönteme değişmektedir. θ_{MHC} ve TA süzgeçleme sonuçlarının, sıg ve derin yapılar için eşit tepkiler sunarak, otomatik genlik kontrol süzgeçlemesi gibi çalıştıklarını görmekteyiz. MHC_2 ve TYT sonuçlarında, yanal yoğunluk kontrastının fazla

olduğu tektonik hatlar belirgindir. İkincil türevlerin kombinasyonları olan A_x , A_y , A_z , ED_A, AS ve GGT_TYT süzgeçleme sonuçları benzer olup, tüm yapı sınırlarını değil yoğunluk kontrastının fazla olduğu yörelerdeki yapı sınırlarını ifade etmektedirler. Düşey ikincil türevlerin kombinasyonları şeklinde tanımlı süzgeçlerde, özellikle A_z 'de, düşey ve yanal yoğunluk kontrastının birlikte sonucu etkilediği görülmektedir.

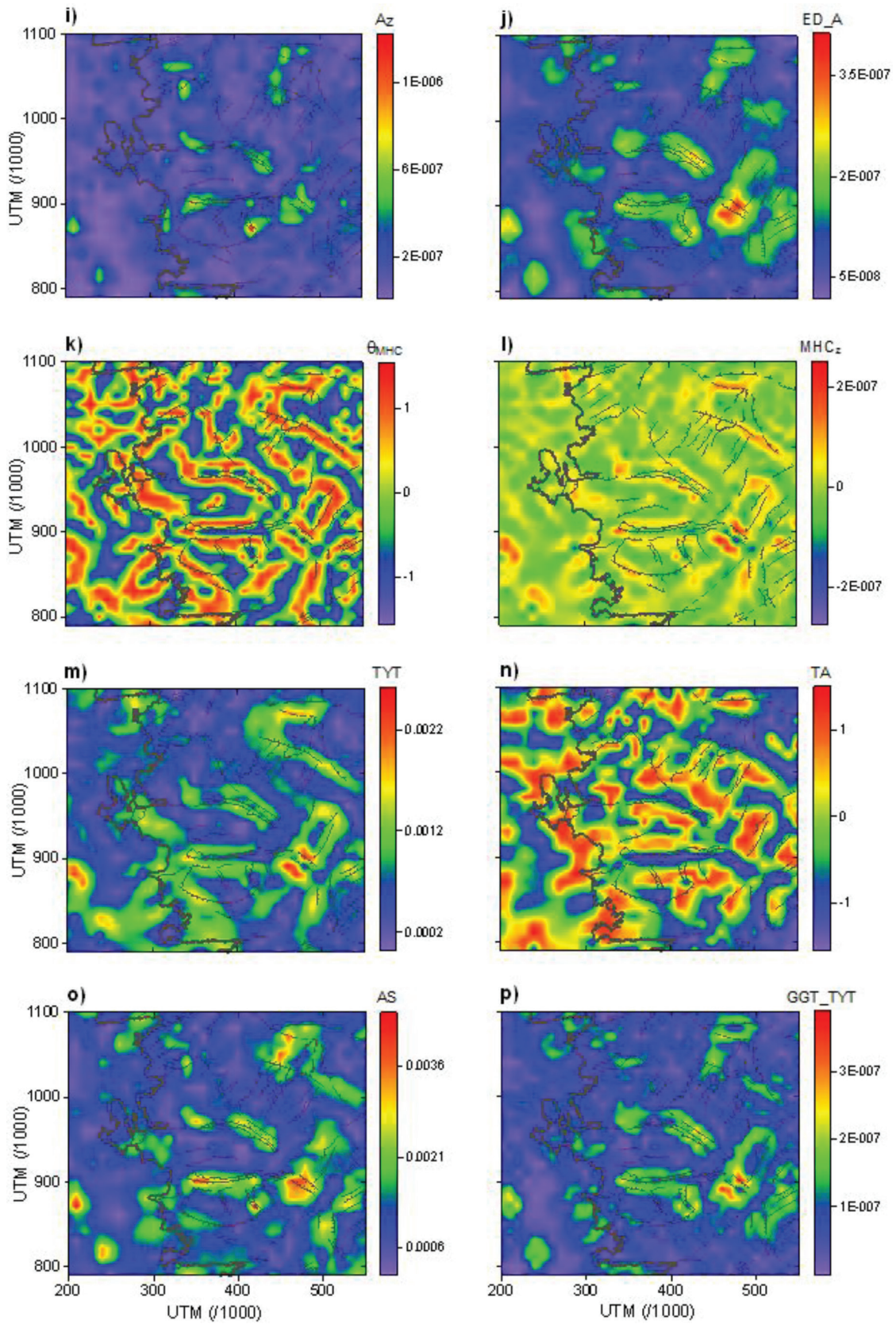
TARTIŞMA ve SONUÇLAR

Gömülü Jeolojik yapı sınırlarının belirlenmesi için kullanılmakta olan pek çok sınır belirleme süzgeci bulunmaktadır. Anomaliye neden olan gömülü yapı sınırları belirlenirken gerekli olan, tüm sınır ve köşelerin ayırt edilip düzgün bir şekilde yorumlanabilmesidir. Bu ça-



Şekil 11. a) Batı Anadolu Bouguer Gravite haritası, Şekil 10'daki (Öner ve Dilek, 2013) tektonik hatlarla birlikte verilmektedir. Kırmızı yıldızlar şehir merkezlerini göstermektedir. b) G_z , c) G_y , d) G_{zz} , e) G_{yy} , f) G_{yz} , g) A_x , h) A_y , i) A_z , j) ED_A, k) θ_{MHC} , l) MHC_z , m) TYT, n) TA, o) AS ve p) GGT_TYT süzgeçleme sonuçları.

Figure 11. a) Bouguer Gravity map of western Anatolia, together with tectonic features (Öner and Dilek, 2013) in Figure 10. Red stars show centers of the cities. The results of b) G_z , c) G_y , d) G_{zz} , e) G_{yy} , f) G_{yz} , g) A_x , h) A_y , i) A_z , j) ED_A, k) θ_{MHC} , l) MHC_z , m) TYT, n) TA, o) AS and p) GGT_TYT filters.



Şekil 11. Devam ediyor.

Figure 11. Continued.

lişmada, iki farklı yer altı modeli için üretilen gürültülü/gürültüsüz sentetik gravite verisine ve Batı Anadolu Ege Graben Sistemi arazi verisine farklı sınır belirleme yöntemleri uygulanarak, performansları karşılaştırılmıştır. Uygulanan yöntemlerin performansları, yer altı modeli karmaşasına, ürettiği anomali genliğine ve etkiyen gürültüye bağlı olarak değişmektedir. Bu çalışmada, yeni bir sınır belirleme süzgeci olarak tanımlanan GGT_TYT süzgeçlemesi, sığ ve yoğunluk kontrastı fazla olan yapı sınırlarını belirlemede başarılıdır. Sonuçlar göstermektedir ki; tek bir yöntemle bağlı değerlendirmelerden kaçınılmalıdır. Mümkün olduğunca farklı ve çok sayıda yöntem uygulanmalı, elde edilen sonuçlar bütünlük bir biçimde değerlendirilerek yoruma ulaşılmalıdır.

KATKI BELİRTME

Türkiye Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA) tarafından üretilmiş olan Bouguer Gravite Harita verisi kullanılmıştır. Yazar, bu kuruma ve makalenin ilksel halinin gelişimindeki katkılarından dolayı Ali Muhittin ALBORA (İstanbul Üniversitesi) ve ismi belirtilmemiş olan hakeme ve editörlere teşekkürlerini sunmaktadır.

KAYNAKLAR

- Albora, A.M., Uçan, O.N. and Özmen, A., 2001. Residual separation of magnetic fields using a cellular neural network approach, *Pure and Applied Geophysics*, 158, 1797-1818.
- Aldanmaz, E., 2006. Mineral-chemical constraints on the Miocene calc-alkaline and shoshonitic volcanic rocks of western Turkey: Disequilibrium phenocryst assemblages as indicators of magma storage and mixing conditions. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 15, 47-73.
- Ansoy, M.N. and Dikmen, Ü., 2011. Potensoft: MATLAB-based software for potential field data processing, modeling and mapping. *Computers and Geosciences*, 37, 935-942.
- Becerik, N. ve Pınar, R., 1999. Üç boyutlu Hilbert Dönüşümünün gravitede model verilere uygulanması. *Jeofizik Dergisi*, 13 (1-2), 3-18.
- Beiki, M., 2010. Analytical signals of gravity gradient tensor and their application to estimate source location. *Geophysics*, 75, 159-174.
- Bozkurt, E. and Oberhänsli, R., 2001. Menderes Massif (Western Turkey): Structural,

metamorphic and magmatic evolution – a synthesis. *International Journal of Earth Sciences*, 89, 679-708.

- Cooper, G.R.J. and Cowan, D.R., 2006. Enhancing potential field data using filters based on the local phase. *Computers and Geosciences*, 32, 1585-1591.
- Cordell, L. and Grauch, V.J.S., 1985. Mapping basement magnetization zones from aeromagnetic data in the San Juan Basin, New Mexico. In Hinze, W.J. (Ed.), *the utility of regional gravity and magnetic anomaly*. Society of Exploration Geophysicists, 181-197.
- Fedi, M. and Florio, G., 2001. Detection of potential fields' source boundaries by enhanced horizontal derivative method. *Geophysical Prospecting*, 49, 40-58.
- Hood, P.J. and Tasked, D.J., 1989. Aeromagnetic gradiometer program of the Geological Survey of Canada. *Geophysics*, 54, 1012-1022.
- Hsu, S., Sibuet, J.C. and Shyu, C., 1996. High-resolution detection of geologic boundaries from potential field anomalies: an enhanced analytic signal technique. *Geophysics*, 61, 373-386.
- İlkışık, O.M., 1995. Regional heat flow in western Anatolia using silica temperatures estimates from thermal springs. *Tectonophysics*, 244, 175-184.
- Jolivet, L., Faccenna, C., Huet, B., Labrousse, L., Le Pourhiet, L., and Lacombe, O., 2013. Aegean tectonics: Strain localization, slab tearing and trench retreat. *Tectonophysics*, 597-598, 1-33.
- Miller, H.G. and Singh, V., 1994. Potential field tilt - a new concept for location of potential sources. *Journal of Applied Geophysics*, 32, 213-217.
- Mutlu, H., 2007. Constraints on the origin of the Balıkesir thermal waters (Turkey) from stable isotope ($\delta^{18}\text{O}$, δD , $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{34}\text{S}$) and major-trace element compositions. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 16, 13-32.
- Nabighian, M.N., 1972. The analytic signal of two dimensional magnetic bodies with polygonal cross-section: Its properties and use for automated interpretation. *Geophysics*, 37, 507-517.

- Nabighian, M.N., 1984. Toward a three dimensional automatic interpretation of potential field data via generalized Hilbert Transforms: Fundamental relations. *Geophysics*, 49, 780-786.
- Nelson, J.B., 1986. An alternate derivation of the three-dimensional Hilbert Transform relations from first principles. *Geophysics*, 51, 1014-1015.
- Nelson, J.B., 1988. Calculation of the magnetic gradient tensor from total field gradient measurements and its application to geophysical interpretation, *Geophysics*, 53, 957-966.
- Öner, Z. and Dilek, Y., 2013. Fault kinematics in supradetachment basin formation, Menderes core complex of western Turkey, *Tectonophysics*, 608, 1394-1412.
- Oruç, B. and Keskinsezer, A., 2008. Structural setting of the Northeastern Biga Peninsula (Turkey) from Tilt derivatives of gravity gradient tensors and magnitude of horizontal gravity components. *Pure and Applied Geophysics*, 165, 1913-1927.
- Pe-Piper, G. and Piper, D.J.W., 2001. Late Cenozoic post-collisional Aegean igneous rocks: Nd and Sr isotopic constraints on petrogenetic and tectonic models. *Geological Magazine*, 138, 653-668.
- Roest, W.R., Verhoef, J. and Pilkington, M., 1992. Magnetic interpretation using the 3-D analytic signal. *Geophysics*, 55, 116-125.
- Roy, L., Agarwal, B.N.P. and Shaw, R.K., 2000. A new concept in Euler deconvolution of isolated gravity anomalies, *Geophysical Prospecting*, 48, 559-575.
- Seyitoğlu, G. and Işık, V., 2009. Meaning of the Küçük Menderes Graben in the tectonic framework of the central Menderes metamorphic core complex (western Turkey). *Geologica Acta*, 7, 323-331.
- Verduzco, B., Fairhead, J.D. and Green, C.M., 2004. New insights into magnetic derivatives for structural mapping. *The Leading Edge*, 23, 116-119.
- Wijns, C., Perez, C. and Kowalczyk, P., 2005. Theta map: Edge detection in magnetic data. *Geophysics*, 70, 39-43.
- Yuan, Y. and Yu, Q., 2015. Edge detection in potential-field gradient tensor data by use of improved horizontal analytical signal methods. *Pure and Applied Geophysics*, 172, 461-472.
- Zhu, L., Mitchell, B.J., Akyol, N., Çemen, I. and Kekovalı, K., 2006. Crustal thickness variation in the Aegean region and its implications for the extension of continental crust. *Journal of Geophysical Research*, 111, B01301.

Analytic Notch Filter Design Using the Hyperbolic Secant Function

Hiperbolik Sekant Fonksiyonlar ile Analitik Çentik Süzgeç Tasarımı

ERTAN PEKŞEN ¹, FATİH SEVİM ²

¹Kocaeli University, Faculty of Engineering, Department of Geophysical Engineering, İzmit, Kocaeli

²TÜBİTAK MAM Gebze, Kocaeli

Geliş (received) : 15 Şubat (February) 2016

Kabul (accepted) : 15 Ekim (October) 2016

ABSTRACT

A notch filter can be analytically designed by using the hyperbolic secant function. This paper investigates notch filters in both time and frequency domains. Generally, the purpose of a notch filter design is to filter some unwanted signal (usually interference at 50 or 60 Hz) from observed data. In this study, the impulse response of a notch filter in the time domain was obtained by using its frequency domain expression. A cascaded-notch filter was analytically designed as well. Numerical examples were considered for a single notch filter and a cascaded-notch filter in the time and frequency domain. The frequency response and the impulse response of proposed notch filter were derived. Finally, the new designed filter was successfully applied to a field data set.

Keywords: Cascaded Notch Filter, Hyperbolic Secant Function, Notch Filter, Seismograms.

ÖZ

Hiperbolik sekant fonksiyonlar ile çentik süzgeç tasarlanabilir. Bu çalışmada zaman ve frekans ortamlarında çentik süzgeçler incelenmektedir. Genel olarak, çentik süzgeç tasarımının amacı ölçülen verilerden istenmeyen (genellikle 50 veya 60 Hz lik girişimler) kısımların süzülmesidir. Bu çalışmada zaman ortamındaki çentik süzgeç fonksiyonu, çentik süzgeç fonksiyonunun frekans ortamındaki ifadesinden türetilmiştir. Basamaklı çentik süzgeci de analitik olarak tasarlanmıştır. Sayısal örneklerde çentik ve basamaklı çentik süzgeçler zaman ve frekans ortamında dikkate alınmıştır. Önerilen çentik süzgecin birim dürtü ve frekans tepki bağıntıları türetilmiştir. Son olarak, yeni tasarlanan filtre başarılı bir şekilde arazi verisine uygulanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Basamaklı Çentik Süzgeci , Hiperbolik Sekant Fonksiyon, Çentik Süzgeci, Sismogram.

*E. Pekşen

e-posta: ertanpeksen@kocaeli.edu.tr

INTRODUCTION

The design of a digital notch filter is important in geophysics, electronics, biomedical sciences and other sciences. In geophysics, measured field data can be often contaminated by the frequency of power-line, therefore, the frequencies of power lines and from other sources need to be filtered out from the measured field data to make the measured data contaminated free – signals. An ideal notch filter is used in removing the power-line frequency from seismograms, or some other types of signals.

There have been numerous publications about filter design in literature (e.g. Deshpande et al., 2008; Piskorowski, 2013; Stancic and Nikolic, 2013; Piskorowski, 2012). There are many filter designing options, for instance, a notch filter can be designed with z-Transform method (pole-zero placement method) (Cadzow, 1973), and hyperbolic tangent function can be used for designing various digital filters (Johansen and Sorensen, 1979; Başokur, 1998; Başokur, 2011). A notch filter is not the only method use in filtering out a single harmonic from a data set, subtraction noise from signal can also be used for filtering purpose (Butler and Russell, 1993).

Since the power-line frequency is known e.g. 50 Hz or 60 Hz, these frequencies can be subtracted from geophysical records. However, the disadvantage of this method is that, the power-line frequency is not always at 50 Hz or 60 Hz. There are always some deviations of the mean value of the power-line frequency (Figure 1). To get rid of these sorts of stochastic noise from the corresponding data, adaptive filtering methods may be applied (Butler and Russell, 1993; Hattingh, 1988; Haykin, 1991).

The main aim of this work is to develop an analytic digital notch filter. This paper is organized in three sections as follows; the first section contains the derivation of an analytic expression for the notch filter and numerical examples of the notch filter. In the second part, demonstration of how this method can be applied to a cascaded-notch filter is shown. And in the final section, the presented notch filter was applied to a field data set.

DIGITAL NOTCH FILTER

Notch Filter Design

The behavior of the hyperbolic secant function is shown in Figure 2. To obtain an analytic expression

for a notch filter, the Fourier pairs of the hyperbolic secant function can be used. The Fourier pair of the hyperbolic secant function is given by Gradshteyn and Ryzhik (1994) as shown below;

$$n(t) = \operatorname{sech}(ct) \leftrightarrow \frac{\pi}{c} \operatorname{sech}\left(\frac{\pi^2 f}{c}\right) = N(f) \quad (1)$$

where t is time (s) and f is a frequency (Hz). c is a constant, which mainly controls the slope of the function. Figure 2 displays the behavior of the hyperbolic secant function in the frequency domain for various c values. It could be observed that, increasing in the value of c , decreases the slope of the hyperbolic secant function. Thus, it is possible to choose an optimum c for filtering out an unwanted signal from a given data and to control the band width. The lower panel of Figure 2 illustrates normalized amplitudes.

Using the Fourier pairs of Equation 1 and combining the hyperbolic secant functions gives

$$H(f) = \left(\frac{\pi}{c}\right) \operatorname{sech}\left(\frac{\pi^2(f+f_c)}{c}\right) + \left(\frac{\pi}{c}\right) \operatorname{sech}\left(\frac{\pi^2(f-f_c)}{c}\right) \quad (2)$$

where f_c is the cut-off frequency. If Equation 2 is subtracted from a constant, it yields

$$H(f) = \frac{\pi}{c} - \left\{ \left(\frac{\pi}{c}\right) \operatorname{sech}\left(\frac{\pi^2(f+f_c)}{c}\right) + \left(\frac{\pi}{c}\right) \operatorname{sech}\left(\frac{\pi^2(f-f_c)}{c}\right) \right\} \quad (3)$$

Equation 3 is the frequency response of the notch filter. Figure 3 demonstrates how the hyperbolic secant functions behave in the frequency domain. Figure 3 (a) displays a constant value. Figure 3 (b) illustrates the behaviors of the filter characteristic. Finally, the last panel of the Figure 3 (c) shows the behavior of a desired notch filter. As seen in Figure 3, the frequency response of the hyperbolic secant function notches the signal at the cut-off frequency, which is at 15 Hz. In this example, c is chosen as 5.

Equation 3 can be rewritten as

$$H(f) = A - \{N(f+f_c) + N(f-f_c)\} \quad (4)$$

where $A = \frac{\pi}{c}$. The shift theorem for the Fourier transform (Bracewell, 1965) may be used for deriving an expression for the notch filter. Thus, Equation 4 can then be written in the form

$$h(t) = A\delta(t) - \{e^{-i2\pi f_c t} n(t) + e^{i2\pi f_c t} n(t)\} \quad (5)$$

where $\delta(t)$ is the Dirac delta function. Consider $e^{\pm i2\pi f_c t} = \cos(2\pi f_c t) \pm i \sin(2\pi f_c t)$ then substitute the Euler identity into Equation 5, results in

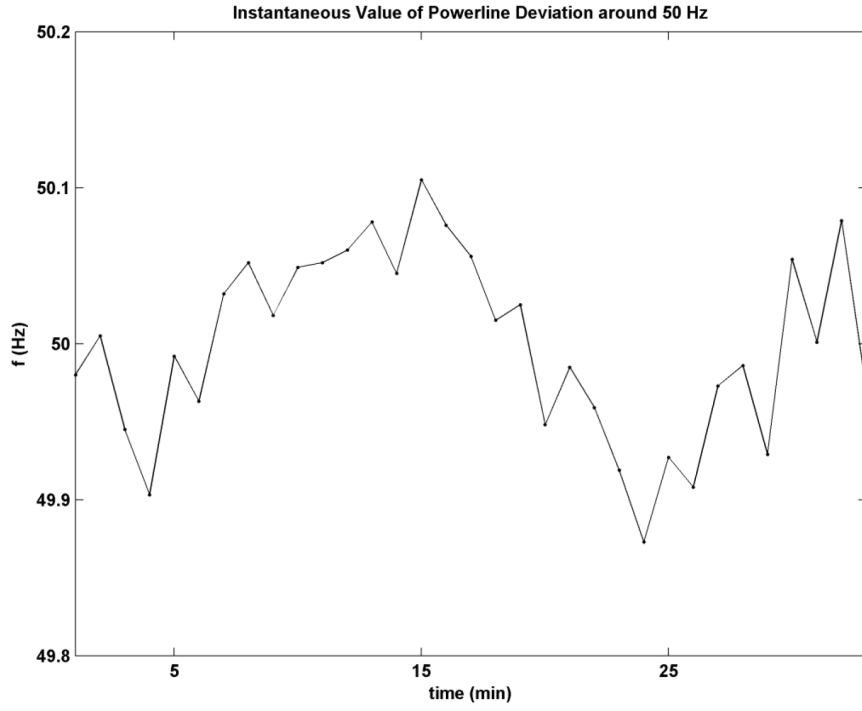


Figure 1. The curve illustrates instantaneous value of power-line frequency variation measured outlet of a building.
 Şekil 1. Eğri, bir bina içindeki elektrik prizinde ölçülen anlık güç hattı frekans değişimini göstermektedir.

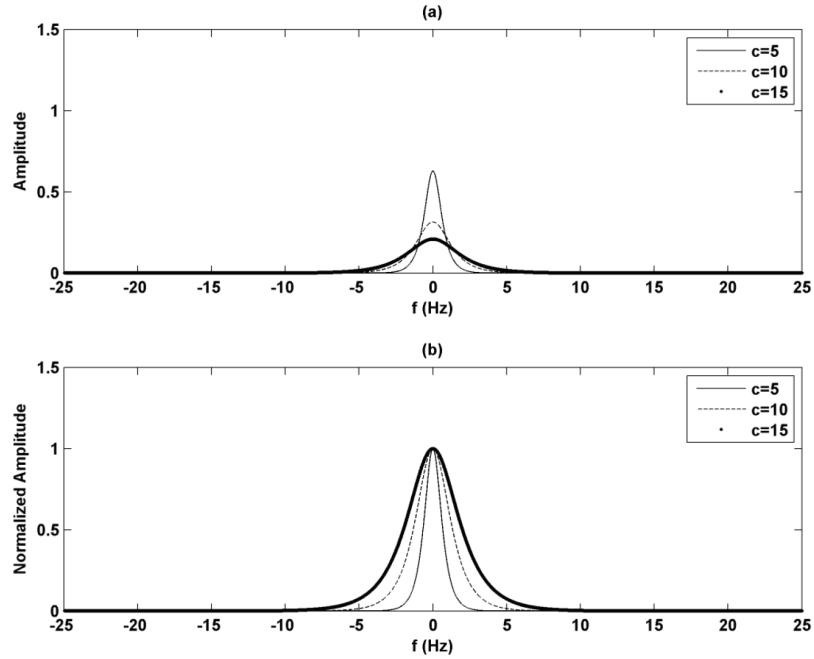


Figure 2. (a) The behavior of secant hyperbolic function for various c values. (b) Normalized secant hyperbolic function.

Şekil 2. (a) Farklı c değerlerine göre sekant hiperbolik fonksiyonun değişimi. (b) Normalize edilmiş sekant hiperbolik fonksiyonu.

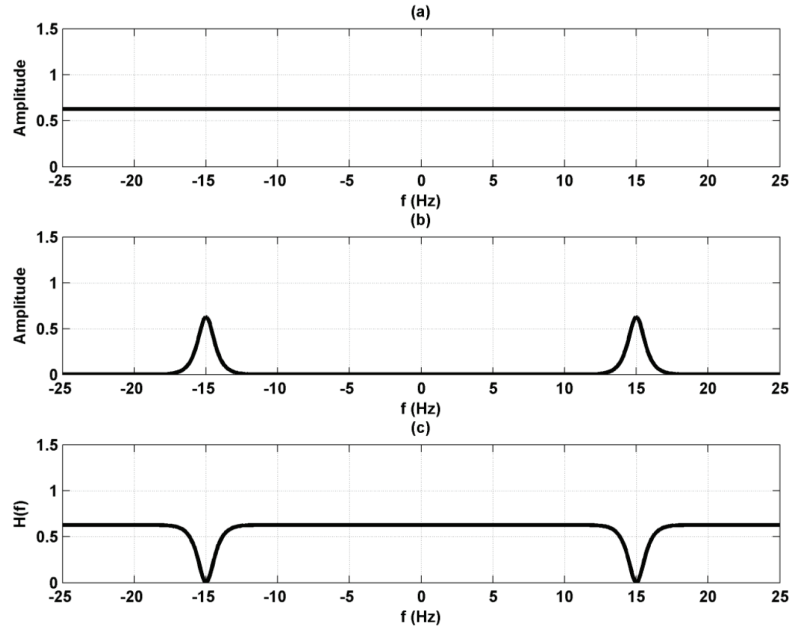


Figure 3. (a) A constant value, (b) The behavior of the filter characteristic for $c = 5$, (c) The difference between constant and two secant hyperbolic functions which give an expression of a notch filter in the frequency domain.

Şekil 3. (a) Sabit değer, (b) $c=5$ için süzgeç karakteristiği değişimini, (c) Sabit bir değer ve iki sekant fonksiyonu arasındaki fark frekans ortamında çentik süzgeci fonksiyonunu vermektedir.

$$h(t) = A\delta(t) - 2\cos(2\pi f_c t) \operatorname{sech}(ct) \quad (6)$$

Equation 6 is called the impulse response of the filter. To calculate notch filter coefficients, Equation 6 is convolved with a sinc function. Thus, the result can be written

$$b_n(t) = h(t) * \sin c \quad (7)$$

where * stands for the convolution process. Substitute Equation 6 into Equation 7 which yields

$$b_n(t) = (A\delta(t) - 2\cos(2\pi f_c t) \operatorname{sech}(ct)) * \sin c \quad (8)$$

where the sinc function is given by $\sin c = \frac{\sin(2\pi f_N t)}{2\pi f_N t}$. Finally, the filter coefficients of a notch filter is calculated by using the following expression

$$b_n(n\Delta t) = A \frac{\sin(2\pi f_N n\Delta t)}{2\pi f_N n\Delta t} - \frac{1}{f_N} \cos(2\pi f_c n\Delta t) \operatorname{sech}(cn\Delta t) \quad (9)$$

where f_N is the Nyquist frequency and f_c is the cut-off frequency. Δt is the time-step size with a

corresponding index number n . From Equation 9, one can calculate notch filter coefficients. Equation 9 has a singularity point at $t=0$. So it is evaluated by using the limit theorem (Abramowitz and Stegun, 1965). When $\lim_{x \rightarrow 0} \frac{\sin(x)}{x} = 1$ considered, the following expression is used for estimating $b(0)$ filter coefficient:

$$b_n(0) = A - \frac{1}{f_N} \quad (10)$$

The rest of the coefficients is calculated by using Equation 9, except at $t=0$ point.

Cascaded-Notch Filter Design

The method used in the previous section may be extended to cascaded-notch filter design. It is possible to filter out a couple of harmonics from a data set rather than one specific frequency. Cascading helps in designing a filter for that kind of purpose. The idea of what have been done so far in the previous section can be extended then in the design of a cascaded-filter.

Suppose that, data are contaminated with f_1 and f_2 frequencies. These frequencies need to be filtered out from the data. In this case, the frequency response can be derived as

$$H(f) = A - \left\{ \left(\frac{\pi}{c} \right) \operatorname{sech} \left(\frac{\pi^2 (f + f_1)}{c} \right) + \left(\frac{\pi}{c} \right) \operatorname{sech} \left(\frac{\pi^2 (f - f_1)}{c} \right) + \left(\frac{\pi}{c} \right) \operatorname{sech} \left(\frac{\pi^2 (f + f_2)}{c} \right) + \left(\frac{\pi}{c} \right) \operatorname{sech} \left(\frac{\pi^2 (f - f_2)}{c} \right) \right\} \quad (11)$$

where $A = \frac{\pi}{c}$. An expression of the filter coefficient is obtained by using the same process as in the previous section. After a straightforward derivation, the filter coefficients are calculated by

$$b_{cas}(n\Delta t) = A \frac{\sin(2\pi f_N n\Delta t)}{2\pi f_N n\Delta t} - \frac{1}{f_N} (\cos(2\pi f_1 n\Delta t) + \cos(2\pi f_2 n\Delta t)) \operatorname{sech}(c n\Delta t) \quad (12)$$

Equation 12 can be written in a more general case. Thus, a general expression for cascaded-notch filter can be

$$b_c(n\Delta t) = A \frac{\sin(2\pi f_N n\Delta t)}{2\pi f_N n\Delta t} - \frac{1}{f_N} \left(\sum_{m=1}^M \cos(2\pi f_m n\Delta t) \right) \operatorname{sech}(c n\Delta t) \quad (13)$$

where m is an index number and M is a number of frequencies which needs to be eliminated from the corresponding signal.

Comparison of Some Common Windows

In signal processing, windowing is used for filter design and reducing the spectral leakage from a signal. The main purpose of using windows for the filter design is to increase the main-lobe and reducing the side-lobe effects of a signal (Hayes, 1999). Here, the comparison was conducted the results obtained with some common windows in signal processing such as Bartlett, Parzen, Tukey, and Kaiser. Figure 4 shows the filter coefficient calculated using these windows. One can see that the filter coefficients illustrated in Figure 4 are very close to each other's. To distinguish the differences between these results, the relative errors are shown in Figure 5. From these numerical calculations, it can be figured out that the signal filtered using Tukey and Kaiser windows gave better results based on the relative errors. The formulas used in this study for Bartlett, Parzen, Tukey, and Kaiser windows are given in Appendix.

In general, the signal is multiplied by some windows before Fourier transform to reduce the spectral leakage. The spectral leakage occurs, since the signal is measured some internal without knowing the exact

period of events (Ertürk, 2009). Figure 6 illustrates effects of windows on the signal. From these numerical experiments, it is easy to see that the Tukey and Kaiser windows reduce the spectral leakage effect significantly. However, Bartlett and Parzen windows cannot reduce the spectral leakage successfully.

NUMERICAL EXAMPLES

Time domain

The applicability of the notch filter was tested by using a simple numerical example. Figure 7 (a) illustrates the signal. The signal consists of two harmonics at 0.5 and 5 Hz frequencies. The synthetic data in Figure 7 (a) is generated by

$$g(t) = 1.5 \cos(t\pi) + 2.5 \cos(10t\pi) \quad (14)$$

where t is a time-step size. The time-step size is set to 0.01 s. The range of the harmonics is -5 to 5 s. The Nyquist frequency for this signal is set to 50 Hz and c constant value is chosen to be 6.7. Trial and error methods are a way to get an optimum number of filter coefficients. Here, it has been used trial and error methods to get an optimum c value. The number of filter coefficients (or filter weights) is chosen 101.

After calculating filter coefficients, the signal is convolved with them. Figure 7 (b) shows the filter coefficients. The original synthetic data has two harmonics. The signal at 5 Hz needs to be eliminated from the original synthetic data. To achieve this, the original synthetic data is convolved with the filter coefficients. Figure 7 (c) displays the result. The relative error of the notch filter is given in Figure 8.

The second numerical example is a notch filter by cascading. The synthetic data can be generated by

$$g_{cas}(t) = 2.5 \cos(5t\pi) + 1.5 \cos(10t\pi) + \cos(30t\pi) \quad (15)$$

where t is the time (s) on the interval between -5 to 5 s with $\Delta t = 0.01$. The original signals consist of three harmonics. The frequencies are at 2.5, 5 and 15 Hz. The harmonics at 5 and 15 Hz (unwanted-signals, noise) needs to be eliminated from the corresponding data set. The original signals are shown in Figure 9 (a). The filter coefficients are displayed in Figure 9 (b). The bottom panel of Figure 9 (c) shows the filtered data by using the cascaded-notch filter. A notch filter designed by using the hyperbolic secant function was successfully applied to the signal and

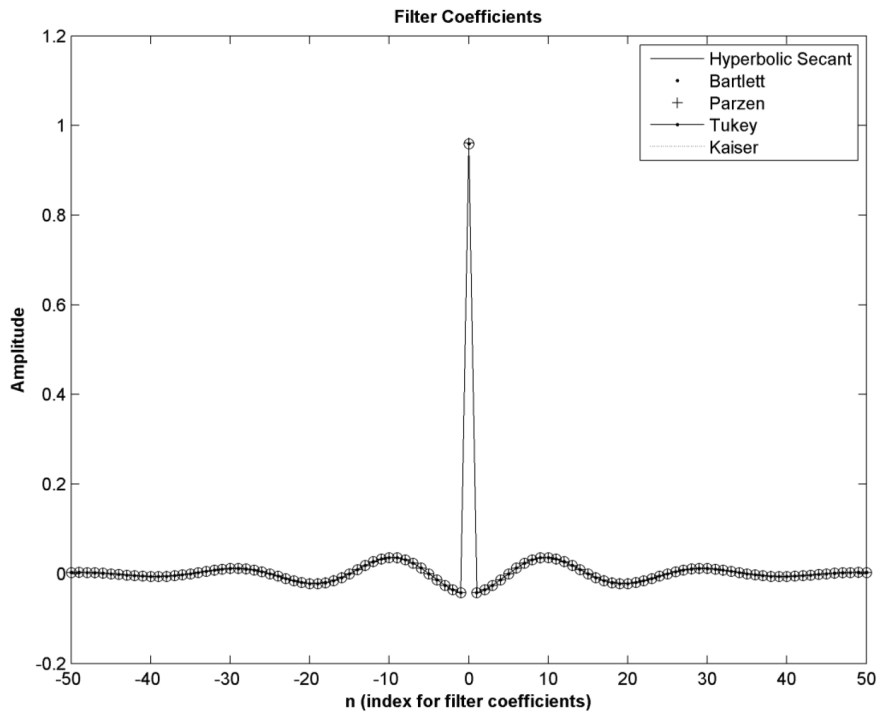


Figure 4. Numerical comparison of Bartlett, Parzen, Tukey and Kaiser windows and Hyperbolic secant function.
 Şekil 4. Bartlett, Parzen, Tukey ve Kaiser pencerelerinin Hiperbolik sekant fonksiyonu ile sayısal karşılaştırılması.

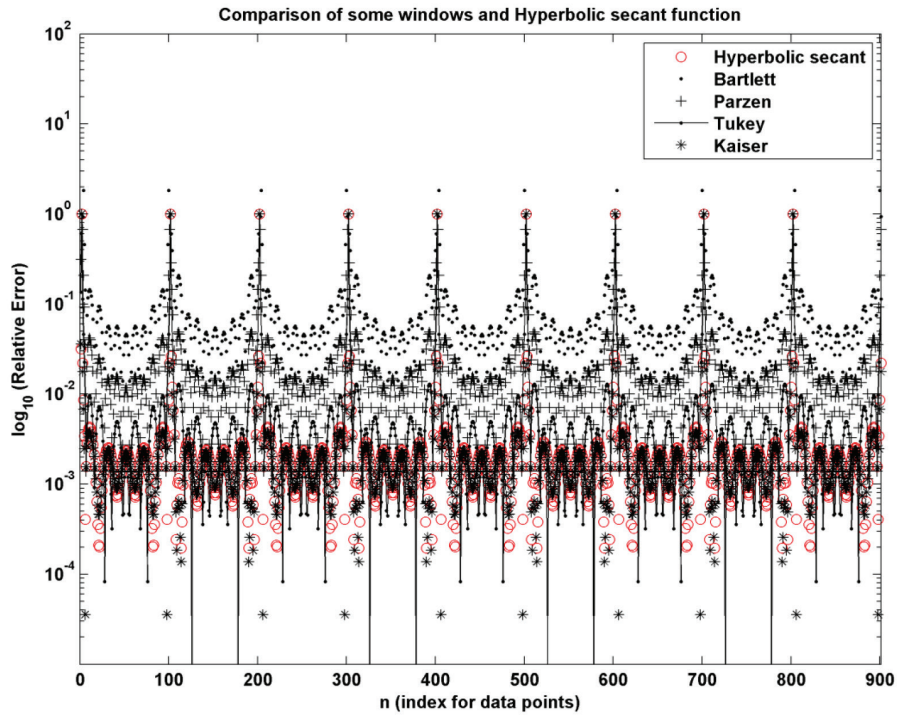


Figure 5. Relative errors of Hyperbolic secant function, Bartlett, Parzen, Tukey, and Kaiser windows.
 Şekil 5. Hiperbolik sekant fonksiyonu, Bartlett, Parzen, Tukey, ve Kaiser pencerelerinin göreceli hataları.

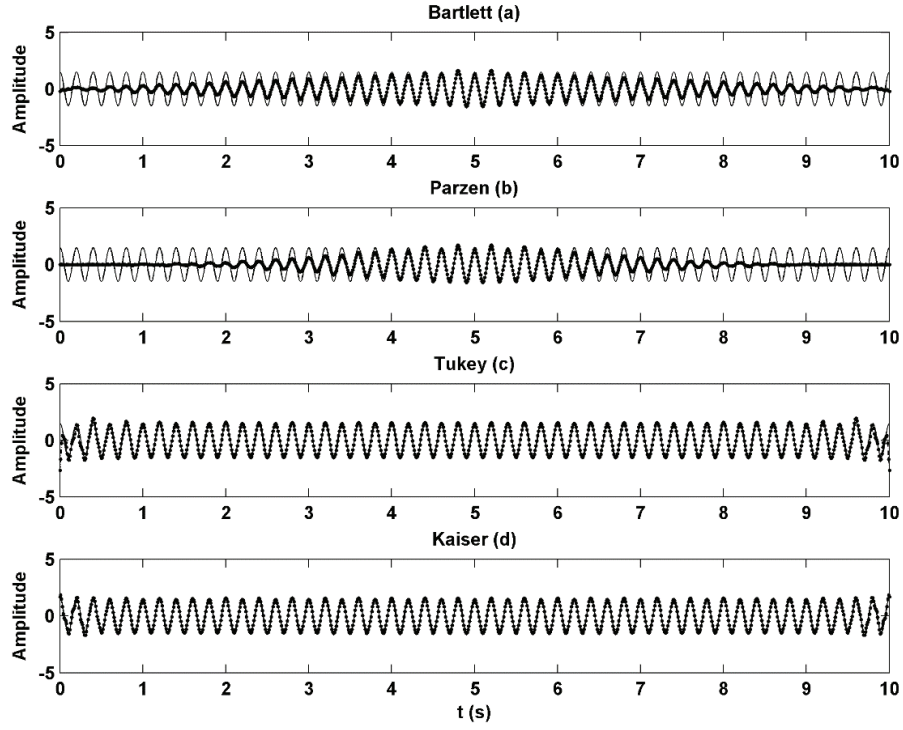


Figure 6. Comparison of Bartlett (a), Parzen (b), Tukey (c) and Kaiser (d) windows. The solid lines show the original signal. The dotted lines display the filtered data for various windows.

Şekil 6. Bartlett (a) , Parzen (b) , Tukey (c) ve Kaiser (d) pencerelerinin karşılaştırılması. Sürekli çizgi orijinal veriyi göstermektedir. Noktalı çizgiler farklı pencerelerle süzölmüş verileri göstermektedir.

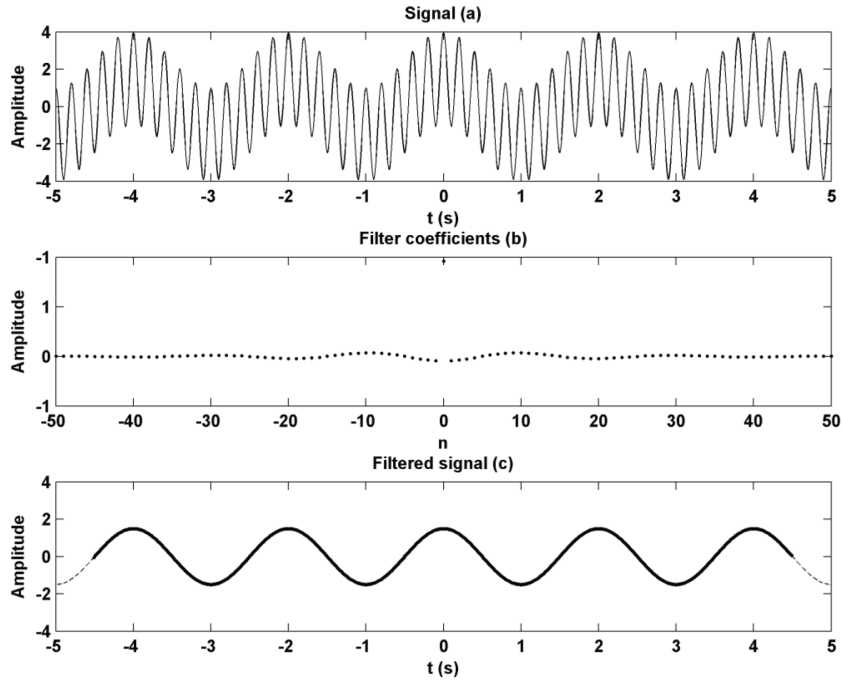


Figure 7. (a) The signal generated by harmonic functions frequencies at 0.5 and 5 Hz. (b) Filter weights, and (c) The signal filtered out by the notch filter. Panel (c) shows the original signal (dashed lines) and filtered signal (dotted lines).

Şekil 7. (a) 0.5 ve 5 Hz frekanslı harmonik fonksiyonlardan üretilen sinyal. (b) Süzgeç katsayıları ve (c) Çentik süzgeç ile süzölmüş sinyal. Orijinal sinyal (kesikli çizgiler) ve süzölmüş sinyal (noktalı çizgiler).

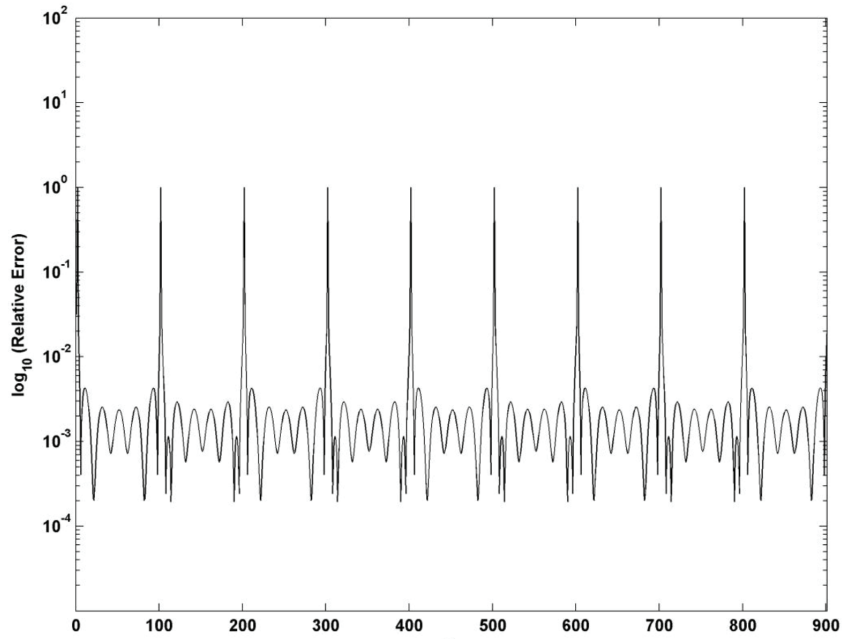


Figure 8. The relative errors of the notch filter.
Şekil 8. Çentik süzgecin göreceli hatası.

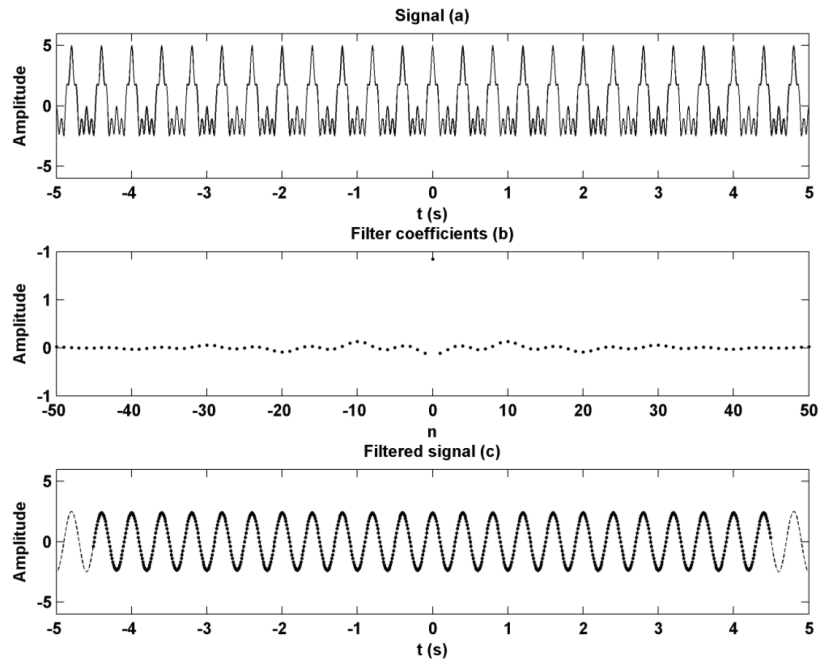


Figure 9. A notch filter applied of a signal is shown. (a) The signal generated by harmonic functions at 2.5, 5, and 15 Hz. (b) Filter weights is shown in the middle panel, and (c) The signal can be filtered out by the notch filter. Panel (c) shows the original signal (dashed lines) and filtered signal (dotted lines).

Şekil 9. Çentik süzgeç uygulanmış bir sinyal gösterilmektedir (a) 2.5, 5 ve 15 Hz frekanslı harmonik fonksiyonlardan üretilen sinyal (b) Filtre katsayıları orta panelde gösterilmektedir. Sinyal çentik süzgeç ile süzülebilir. (c) Orijinal sinyal (kesikli çizgiler) ve süzölmüş sinyal (noktalı çizgiler).

the signal was filtered out two frequencies from the data.

Comparison of band-stop and notch filters

The band-stop filter can also be used for filtering from the signal at a specific frequency. However, the proposed notch filter has some advantages over the band-stop filter. To illustrate these advantages, a synthetic signal generated at 2.5, 5 and 15 Hz can be used. If a band-stop filter is used to eliminate 5 Hz harmonics from the generated signal, it is necessary to use more filter coefficients to achieve the same accuracy with the result obtained the proposed filter. Figure 10 shows the filtered result using the band-stop and the hyperbolic notch filter together. The parameters used for the synthetic signal are the same with the previous example. The cut-off frequency is 5 Hz for the hyperbolic notch filter. As for the band-stop filter, the cut-off frequencies are 4.9 and 5.1, respectively. The reader is referred to Başokur (2007) for more detail information about the band-stop filter.

Frequency domain

So far we have done the processes in the time domain which can also be applied to the frequency domain as well. Figure 11 (a) shows a synthetic data set generated by Equation 15. Equation 15 in the frequency domain is given

$$G(f) = \frac{2.5}{2} \delta(f+2.5) + \frac{2.5}{2} \delta(f-2.5) + \frac{1.5}{2} \delta(f-5) + \frac{1.5}{2} \delta(f+5) + \frac{1}{2} \delta(f-15) + \frac{1}{2} \delta(f+15) \quad (16)$$

Equation 16 is shown in Figure 11 (b). To eliminate noise from the data, the frequency response is multiplied by the FFT of the signal (Figure 11c). The result of the multiplication gives the filtered data in the frequency domain (Figure 11d). To obtain the data in the time domain, we carry out the Inverse Fast Fourier Transform (IFFT) to the data (Figure 11e). Figure 11 a-e shows the result of a numerical example of the cascaded-notch filter in the frequency domain step by step. In this numerical example we used the same parameters with the previous signal.

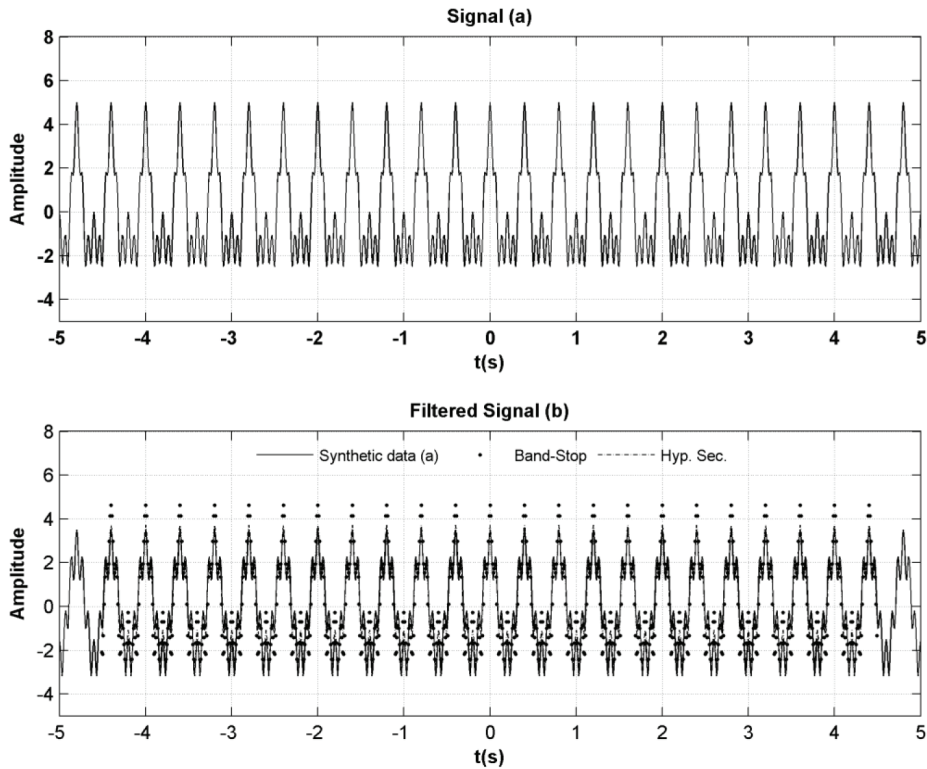


Figure 10. Panel (a) shows the signal. Panel (b) shows the comparison of band-stop and hyperbolic secant filter. Şekil 10. (a) paneli sinyali göstermektedir. (b) paneli bant-durdurucu ve hiperbolik sekant süzgeç karşılaştırılması gösterilmektedir.

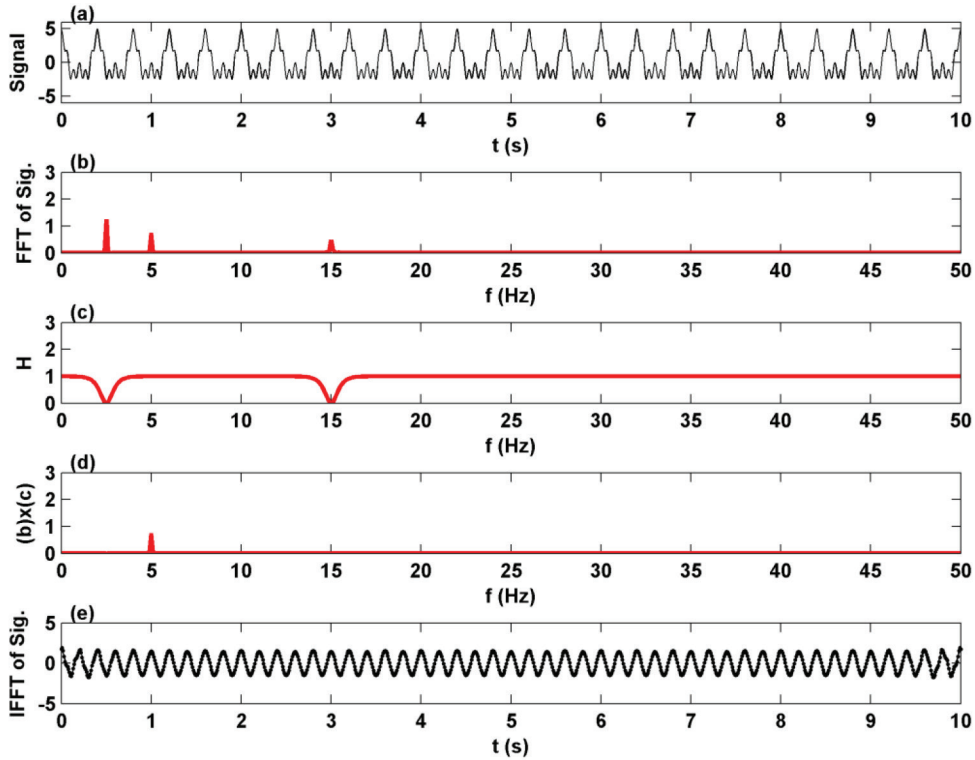


Figure 11. The frequency domain application of a notch filter. Panel (a) shows the signal. The FFT of the signal is illustrated in (b). The filter characteristic is given in Panel (c). (d) is obtained by multiplication of (b) and (c). The IFFT of the (d) is shown in Panel (e).

Şekil 11. Çentik süzgecinin frekans ortamı uygulaması. (a) paneli sinyali göstermektedir. Sinyalin Fourier dönüşümü (b) sunulmuştur. Filtre karakteristiği (c) de verilmektedir. (d) şekli (b) ve (c) nin çarpımından elde edilir. (e) ise (d) nin ters Fourier dönüşümünü göstermektedir.

FIELD EXAMPLE, DIGITAL FILTERING ON SEISMOGRAMS

In order to test the proposed notch filter performance, a set of field measurement were used. The data recorded with REFTEK seismometer with 3 components broad band device. Figure 12 shows Z (vertical) components with 1800 s measured using a seismometer. Time step is 0.01 s. Figure 12 (a) displays the seismogram in the time domain. The data were multiplied a Kaiser window to reduce the spectral leakage before filtering. The same data set are displayed in frequency domain (Figure 12b). It could be seen that, there could be interference at around 50 Hz due to the power-line sources. There is a rectangular shape with dashed lines in the middle of Figure 12 (b), which shows noise. After multiplying the signal in frequency domain with the frequency response of the proposed filter, frequencies around

50 Hz were successfully filtered out (See Figure 12c). The bottom panel in Figure 12 (d) illustrates inverse Fourier transform of the filtered signal. Figure 13 shows a closer look at the interference around 50 Hz.

CONCLUSION

An analytic expression for notch filter was derived using the hyperbolic secant function and the possibility of cascaded-notch filters was shown. The design of digital – notch filter using the secant hyperbolic function was demonstrated and was applied to the signal for filtering out some specific frequencies from the data set. These filters might be used in geophysics, biomedical sciences and other related sciences for filtering one or more specific frequencies (from sources such as power-lines and other sources) from contaminated data set. The notch filter designed in this study is analytical one and since the

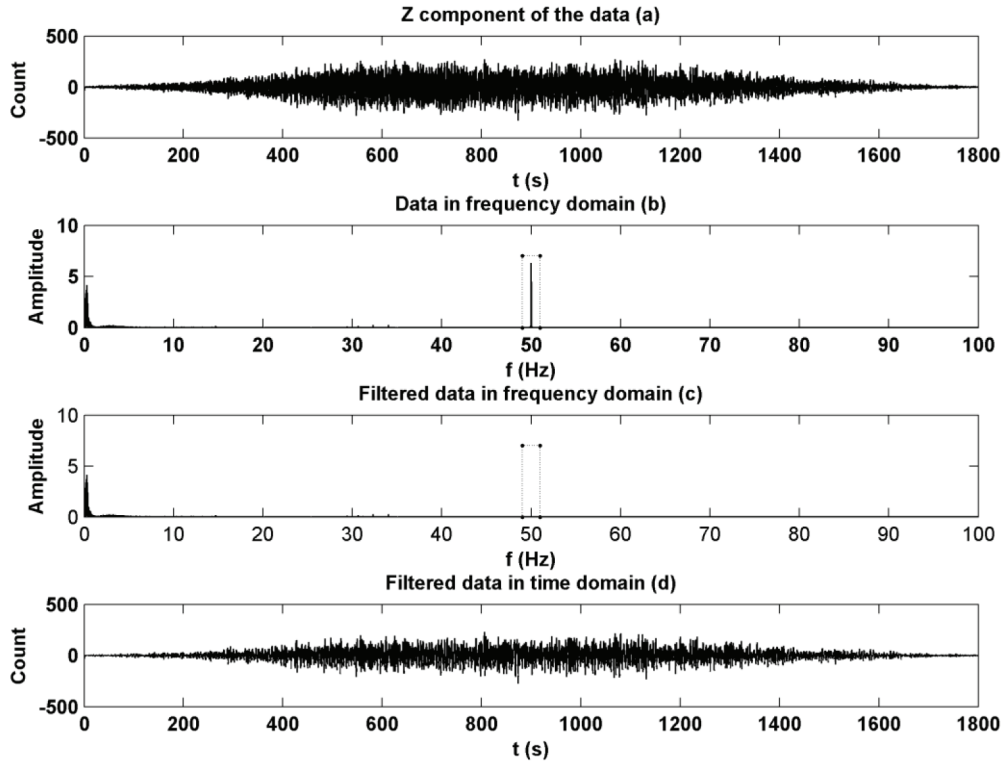


Figure 12. A seismogram (Z component) (a). (b) FFT of field data. (c) The filtered signal. (d) IFFT of the filtered signal. Rectangular areas with dashed lines in (b) and (c) emphasize before and after filtering the data.
 Şekil 12. Sismogram (Z bileşeni) (a). (b) Arazi verisinin Fourier dönüşümü. (c) Süzölmüş sinyal. (d) Süzölmüş sinyalin ters Fourier dönüşümü. (b) ve (c) de kesikli dikdörtgen alanlar verinin filtrelenmeden önceki ve sonraki önemini göstermektedir.

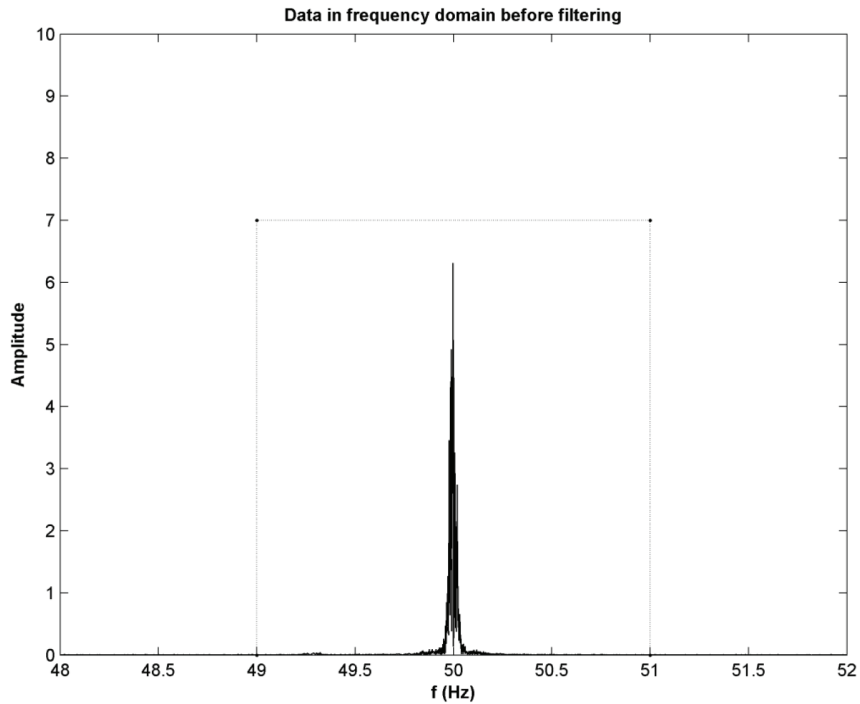


Figure 13. Noisy data before filtering around 50 Hz.
 Şekil 13. Filtreleme öncesi 50 Hz civarında gürültülü data.

hyperbolic secant function has no singularity point within plus and minus infinity, the filter is stable.

The proposed filter has been compared with some common windows used in signal processing. The proposed signal derived a smooth hyperbolic-secant filter compared Bartlett, Parzen, Tukey, and Kaiser windows. The proposed filter gives a better result than Bartlett and Parzen do. However, there have been very small differences observed among the proposed filter Tukey and Kaiser windows. We also compared the band-stop filter with the proposed filter. The result obtained with the proposed filter much better than the result obtained with the band-stop filter. The proposed filter can be used in seismic data set as well. The seismic data set for oil exploration often is contaminated with power-lines.

As a conclusion, the new filter coefficient obtained by using the hyperbolic secant function has successfully been applied to a synthetic data set. And the filter has also been tested on the field data set as well.

ACKNOWLEDGEMENT

The authors would like to thank Mehmet Küçükiftik from Erkoç Elektrik Company for providing the instantaneous value of power-line frequency variation. The authors also would like to thank to TUBITAK MAM for providing the data set for the study.

REFERENCES

- Abromowitz, M., and Stegun, I.A., 1965. Handbook of mathematical functions. Dover Publications Inc..
- Başokur, A.T., 1998. Digital filter design using the hyperbolic tangent functions. *Journal of the Balkan Geophysical Society*, 1, 14-15.
- Başokur, A.T., 2007. Spectral Analiz and Sayısal Süzgeçler. *JFMO Eğitim Yayınları No:8* (in Turkish).
- Başokur, A.T., 2011. Designing Frequency Selective Filters Via the Use of Hyperbolic Tangent Functions. *Bulletin of Earth Sciences Application and Research Centre of Hacettepe University*, 1, 69-88.
- Bloomfield, P., 2000. *Fourier Analysis of Time Series: An Introduction*. New York: Wiley-Interscience, p.69.
- Bracewell, R., 1965. *The Fourier transform and its applications*. McGraw-Hill, Inc..
- Butler, K.E., and Russell, R.D., 1993. Subtraction of powerline harmonics from geophysical records. *Geophysics*, 58, 898-903.
- Cadzow, J.A., 1973. *Discrete-Time systems: An introduction with interdisciplinary applications*. Prentice-Hall, Inc.
- Deshpande, R., Jain, S.B., and Kumar, B., 2008. Design of maximally flat linear phase FIR notch filter with controlled null width. *Signal Processing*, 88, 2584-2592.
- Ertürk, S., 2009. *Sayısal işaret işleme*, Birsen Yayınevi (in Turkish).
- Gradshteyn, I.S., and Ryzhik, I.M., 1994. *Table of integrals, series, and products*, Academic Press Inc.
- Harris, F.J., 1978. On the Use of Windows for Harmonic Analysis with the Discrete Fourier Transform. *Proceedings of the IEEE*, 6651-83.
- Hattingh, M., 1988. A new data adaptive filtering program to remove noise from geophysical time- or space- series data. *Computers & Geosciences*, 14, 467-480.
- Hayes, M.N., 1999. *Digital Signal Processing*, Schaum's Outline Series, McGraw-Hill. p.361.
- Haykin, S., 1991. *Adaptive filter design*, Prentice Hall.
- Johansen, H.K., and Sorensen, K., 1979. Fast Hankel transforms. *Geophysical Prospecting*, 27, 876-901.
- Oppenheim, A.V., and R.W. Schaffer. 1999. *Discrete-Time Signal Processing*. Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall, 468-471.
- Piskorowski, J., 2012. Suppressing harmonic power-line interference using multiple-notch filtering methods with improved transient behavior. *Measurement*, 45, 1350-1361.
- Piskorowski, J., 2013. Time-efficient removal of power-line noise from EMG signals using IIR notch filters with non-zero initial conditions. *Bioceybernetics and Biomedical Engineering*, 33, 1771-178.
- Stancic, G., and Nikolic, S., 2013. Digital linear phase notch filter design based on IIR all-pass filter applications. *Digital Signal Processing*, 23, 1065-1069.

APPENDIX

Some Common Windows

In signal processing, windowing is used for increasing the main-lobe and reducing the side-lobe effects of the signal as mentioned in previous. Here, formulas used for Bartlett, Parzen, Tukey, and Kaiser windows are introduced. A triangular shape of a Bartlett can be calculated using as the following expression

$$w_1(n) = \begin{cases} \frac{2n}{N}, & 0 \leq n \leq \frac{N}{2} \\ 2 - \frac{2n}{N}, & \frac{N}{2} \leq n \leq N \end{cases}$$

where n is an index. N is the number of points calculated (Oppenheim and Schaffer, 1999). A similar expression for Parzen window is given

$$w_2(n) = \begin{cases} 1 - 6\left(\frac{|n|}{N/2}\right)^2 + 6\left(\frac{|n|}{N/2}\right)^3, & 0 \leq |n| \leq (N-1)/4 \\ 2\left(1 - \frac{|n|}{N/2}\right)^3, & (N-1)/4 < |n| \leq (N-1)/2 \end{cases}$$

(Harris, 1978). Tukey windows is

$$w_3(x) = \begin{cases} \frac{1}{2} \left\{ 1 + \cos\left(\frac{2\pi}{\alpha} \left[x - \frac{\alpha}{2}\right]\right) \right\}, & 0 \leq x \leq \frac{\alpha}{2} \\ 1, & 0 \leq x \leq \frac{\alpha}{2} \\ \frac{1}{2} \left\{ 1 + \cos\left(\frac{2\pi}{\alpha} \left[x - 1 + \frac{\alpha}{2}\right]\right) \right\}, & 1 - \frac{\alpha}{2} \leq x \leq 1 \end{cases}$$

where x is a N-point linearly spaced vector. The parameter α is the ratio of cosine-tapered section length to the entire window length with. Here, $\alpha = 0.5$ is used (Bloomfield, 2000). Kaiser developed a family of windows can be generated with

$$w_4(n) = \frac{I_0 \left[\beta \left(1 - \left[\frac{(n-\alpha)/\alpha}{\alpha} \right]^2 \right)^{1/2} \right]}{I_0}$$

where $\alpha = N/2$ and I_0 is a zero order Bessel function of the first kind. The parameter β controls the shape of the window. Therefore, it may be used for the trade-off between main-lobe width and side-lobe amplitude. To apply a window to the filter, as the following expression can be used

$$b(n) = b_n(n)w_m(n)$$

where m stands for window types with 1, 2, 3, and 4. Namely, proposed filter is multiplied with a corresponding window type.

Manyetotellürik Veri Üzerindeki Deniz Etkisinin İncelenmesi: Düzce Bölgesi Örneği

Investigation of the Sea Effect On Magnetotelluric Data: An Example from Düzce Region, Turkey

FATİH UZUNCA^{1*}, S. BÜLENT TANK², TÜLAY KAYA³, LEVENT GÜLEN¹

¹Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, Serdivan, Sakarya, Türkiye

²Boğaziçi Üniversitesi, Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, Çengelköy, İstanbul, Türkiye

³Tokyo Teknoloji Enstitüsü, Volkanik Sıvıları Araştırma Merkezi, Meguro-ku, Tokyo, Japonya

Geliş (received) : 16 Mart (March) 2016

Kabul (accepted) : 18 Ekim (October) 2016

ÖZ

Bu çalışmada manyetotellürik (MT) veriler üzerindeki deniz etkisinin miktarının belirlenmesi amacıyla Kuzey Anadolu Fayı'nın batı kısmında Düzce bölgesine karşılık gelen alan temel alınarak düz çözüm çalışması yapılmıştır. Bölgenin tektonik yapısı dikkate alınarak oluşturulan modellerde, deniz için 0.3 Ω -m ve kara için çeşitli modellerde 100 Ω -m, 500 Ω -m ve 1000 Ω -m gibi sabit öz direnç değerleri atanmıştır. Deniz derinliğinin değişimi, fay, sediman ve Karadeniz kıyı şeridinin basit biçimde eklenmesi gibi parametreler de kullanılmıştır. Modellere ait MT tepkileri üç-boyutlu (3B) düz çözüm programı ile elde edilmiştir. Yapılan çalışma kuramsal bir çalışma olup, kuramsal veriler kullanılmıştır. Düz çözümden elde edilen öz direnç eğrileri, endüksiyon (irgitim, tesir) okları ve faz eğrileri karşılaştırılarak deniz etkisinin miktarı tartışılmıştır. Deniz derinliği ve deniz-kara sınırındaki öz direnç farklılığının artması ile MT tepkilerinin bozulmalara uğradığı sonucuna ulaşılmıştır. Deniz etkisinden dolayı **E**-kutuplaşması (transverse electric, TE mode) öz direnç eğrileri **B**-kutuplaşması (transverse magnetic, TM mode) öz direnç eğrilerine göre asıl olması gereken değerden büyük oranda farklı görülmektedir. Gerçek endüksiyon okları ise öz direnç eğrilerinin denizden etkilenmeye başladığı periyotlarda yön değiştirme eğilimi göstermiştir. Denize yakın yerlerde yapılan MT çalışmalarında deniz etkisinin MT tepkisinden giderilmesi gerekmektedir. Bu çalışma, denize yakın noktalarda yapılabilecek MT ölçümlerine dayanacak modeller geliştirildiğinde, doğru sonuca ulaşılabilmesi bakımından önemlidir.

Anahtar Kelimeler: Deniz (kıyı) etkisi, Kuzey Anadolu Fayı, Manyetotellürik yöntem.

ABSTRACT

In this study, it was applied forward modeling to investigate the sea effect on the magnetotelluric (MT) measurements originating from a geometry that is similar to the Düzce area near Black Sea. It was used constant resistivity value for the sea 0.3 Ω -m and for the land 100 Ω -m, 500 Ω -m and 1000 Ω -m in the models while considering also the tectonic features in the area. Additionally, it was used parameters such as; depth, fault, sediments and coast line of the Black Sea. The three-dimensional MT responses were calculated for a number of models. This is a theoretical study based on synthetic data. The resistivity curves, induction arrows and phase curves obtained from models, were compared with each other using templates and the sea effect was discussed. Consequently, when the resistivity contrast between sea-land and the depth of sea are high, MT responses are effected significantly. When compared with **E**-polarization (transverse electric, TE mode) resistivity curves and **B**-polarization (transverse magnetic, TM mode) resistivity curves, **E**-polarization one has more distortion compared to the latter. Real induction arrows change direction beginning from the period when the sea effects on the MT measurements. Therefore, sea effect must be removed from the MT responses, if the study area is near the sea. This study is important in terms of obtaining accurate results when developing models based on MT measurements in coastal areas.

Keywords: Sea (coast) effect, North Anatolian Fault, Magnetotelluric method.

*F. Uzunca
e-posta: fuzunca@live.com

GİRİŞ

Manyetotellürük (MT) yöntem, çeşitli jeolojik ortamlardaki yeraltı yapılarının elektrik iletkenliğinin belirlenmesinde kullanılan bir jeofizik yöntemdir (Rikitake, 1948; Tikhonov, 1950; Cagniard, 1953). Pasif elektromanyetik yöntemler sınıfına giren MT yöntemi, geniş bir spektrumda gözlemlenebilen birincil jeomanyetik değişimler ve bu değişimlerin endüksiyon prensibine bağlı olarak oluşturduğu ikincil jeomanyetik değişimleri kaynak olarak kullanan bir araştırma tekniğidir (Vozoff, 1972; Simpson ve Bahr, 2005; Tank, 2010). Yöntemin öne çıkan önemli özelliği yeryüzünün sığ derinliklerinden başlayıp bir kaç yüz kilometre derinliklere kadar yeraltı hakkında iyi çözünürlüklü bilgi edinilmesine olanak sağlamasıdır (Vozoff, 1972).

Jeofizik yöntemler sahada uygulanırken çeşitli fiziksel olgulardan (gürültüler, uygulama hataları, bazı jeolojik geometriye sahip kütleler) etkilenirler. MT yönteminin de uygulanması sırasında etkilendiği fiziksel olgular bulunmaktadır. Bu etkiler istasyon civarındaki kültürel gürültüler (rüzgâr, elektrik hatları, boru hatları, hava alanları), yüzeye yakın bölgelerde yer alan ve homojenliği bozan üç boyutlu yapılar ile karmaşık topografya olarak sıralanabilir. Çalışma alanının yakınlarında yüksek iletkenlikli deniz ve okyanus gibi yapıların bulunması durumunda MT verileri ayrıca, iletken su kütlesi ve kara arasında bulunan yüksek özdirenç farklılığından kaynaklanan bir etkiye maruz kalır. Bu etki genel olarak deniz etkisi ya da kıyı etkisi (sea effect ya da coast effect) olarak adlandırılır. Deniz etkisinin MT verilerinden ayırt etmek ve özellikle deniz etkisinin varlığından dolayı derin yapıların iletkenliklerini belirlemek oldukça güçtür (Yang vd., 2010).

Deniz etkisi birçok çalışmada araştırılmıştır (Parkinson, 1959; Rikitake, 1959; Parkinson, 1962; Jones, 1983; Singh vd., 1995; Pous vd., 2002; Santos vd., 2006; Constable vd., 2009; Han vd., 2009; Tank, 2010; Worzewski vd., 2010; Key ve Constable, 2011; Kaya vd., 2013). Deniz etkisinin düzeltilmesi için ise Santos vd. (1999), Santos vd. (2001), Nam vd. (2008), Yang vd. (2010) tarafından çeşitli yöntemler geliştirilmiştir.

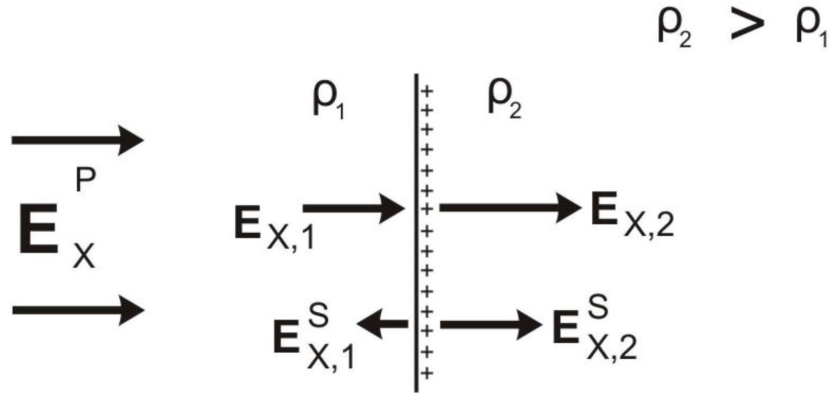
MT istasyonları, yüksek özdirenç farklılığı bulunan deniz-kara sınırına yakın bir bölgede ise, istasyonlardan toplanan veriler, ilgili istasyonların deniz-kara sınırına yakınlıkları oranında etkilenirler (Yang vd., 2010). Deniz gibi çok iletken bir yapı ile yalıtkan bir yapıyı ayıran ara yüzeye gelen birincil elektrik alan alternatif

yüzey yükleri oluşturur (Şekil 1). Yüzey yükleri ikincil elektrik alanları oluşturur. Oluşan ikincil alanlar, iletken kısımda toplam elektrik alanı azaltırken, yalıtkan kısımda toplam elektrik alanı arttırır (Jiracek vd., 1995). Elektromanyetik alanın nüfuz derinliği, yalıtkan kısımda iletken kısma göre daha fazladır. Başka bir ifade ile akım yoğunluğu iletken kısımda daha büyüktür (Şekil 2c ve d). Akımın iletken-yalıtkan sınırına yaklaştıkça yataylığını kaybetmesi (Şekil 2c), bu sınıra yakın belirli bir uzaklıkta bulunan MT istasyonunda toplanan veriyi etkiler (Şekil 2a).

Derin yapıların özdirenç modellerinden hareketle gömülü süreksizliklerin kestirilmesi tektonik açıdan önemlidir. MT yöntemi derin yapıların özdirenç değerlerinin saptanmasında iyi sonuçlar verebilmektedir. Bununla birlikte denize yakın bölgelerde yöntemin uygulanması sırasında deniz etkisi dikkate alınmalıdır. Türkiye üç tarafı denizlerle çevrili olması nedeniyle denize yakın sahalarda yapılacak manyetotellürük çalışmalarda, verilerin denizden etkilenmesi kaçınılmazdır. Bu çalışmada, Deniz etkisinin miktarını belirlemek için Kuzey Anadolu Fayı'nın batı kısmında Düzce ve çevresine benzeyen bir geometri temel alınarak Mackie vd. (1993) algoritmasını içeren WinG-Link® programı ile üç-boyutlu düz çözüm çalışması yapılmıştır. Çalışma kuramsal bir çalışma olup, kuramsal veriler kullanılmıştır. Basit bir modelden başlanıp Düzce bölgesini temsil eden model yapılarına (faylar, özdirenç değerleri, sediman, basitleştirilmiş kıyı çizgisi) göre hesaplanan özdirenç eğrileri, endüksiyon okları ve faz eğrileri karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre toplanan verilerin ait olduğu istasyonun deniz-kara sınırına yakınlığı oranında denizden etkilendiği saptanmıştır. Bu çalışmanın amacı ileride yapılacak çalışmalara katkı sağlamaktır.

MANYETOTELLÜRİK YÖNTEM

Manyetotellürük (MT) yöntem, yer içinde bulunan ve birincil jeomanyetik değişimlerin oluşturduğu birbirine dik elektrik (**E**, koyu yazım vektör olduğunu simgeler) ve manyetik (**H**) alanlardaki dalgalanmaların yüzeyde ölçülmesi ve belirli veri işlem süreçleri ile yer içindeki elektrik özdirenç (iletkenliğin tersi) dağılımının elde edilmesinde kullanılan bir yöntemdir (Simpson ve Bahr, 2005). Jeofizikte ilk olarak 1950'li yıllarda (Rikitake, 1948; Tikhonov, 1950; Cagniard, 1953) tarif edilen yöntem, 1800'lü yılların ortalarında geliştirilmiş Maxwell denklemlerini (Maxwell, 1865) temel alır (Vozoff, 1972). MT yöntemi yer içinde birkaç on



Şekil 1. Birincil ve ikincil elektrik alanlar P üst simgesi birincil alan, S üst simgesi ikincil alan Jiracek vd. (1995)'den tekrar çizilmiştir.

Figure 1. Primary and secondary electric fields. Superscript P and S represent primary and secondary electric fields, respectively (redrawn from Jiracek et al.(1995)).

metreden, birkaç yüz kilometreye kadar elektrik öz direnç yapısını çözebilir (Simpson ve Bahr, 2005). Birbirine dik yatay elektrik ve manyetik alan bileşenleri karmaşık empedans gerey (impedance tensor) (\mathbf{Z}) ile birbirine bağlı olup, Eşitlik 1 dolayısıyla Eşitlik 2 geçerlidir.

$$\mathbf{E} = \mathbf{Z} \mathbf{H} \quad (1)$$

$$\begin{bmatrix} E_x \\ E_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{xx} & Z_{xy} \\ Z_{yx} & Z_{yy} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} H_x \\ H_y \end{bmatrix} \quad (2)$$

Burada, \mathbf{E} , elektrik alan (V/m), \mathbf{H} , manyetik alanı (A/m) gösterir (Simpson ve Bahr, 2005). Homojen ve tekdüze (isotropic) bir ortamda birbirine dik elektrik ve manyetik alanların oranı ile elektromanyetik empedans (bundan böyle sadece empedans olarak adlandırılacaktır) elde edilir. Empedans kullanılarak görünür öz direnç, (ρ_a) Eşitlik 3 ile elde edilir.

$$\rho_a = (\mathbf{Z})^2 / \mu \omega \quad (3)$$

Burada, \mathbf{Z} , empedans (Ω), μ , manyetik (H/m) ve ω açılal frekanstır (R/Sn) (Vozoff, 1972).

Özdirenç değeri (ρ) söz konusu ortamın bir özelliğidir ancak elektrik ve manyetik alan değerlerinden hesaplanırsa "görünür öz direnç" olarak isimlendirilir ve ölçme ile ilişkilidir (Vozoff, 1972). Empedans gerçek ve sanal kısımlar içerdiğinden faz bilgisi de içerir. Faz, Eşitlik 4 kullanılarak hesaplanır (Simpson ve Bahr, 2005).

$$\phi = \tan^{-1} \left(\frac{\text{Sanal } \mathbf{Z}}{\text{Gerçel } \mathbf{Z}} \right) \quad (4)$$

Yüksek faz değeri iletken yapıları işaret ederken düşük faz değeri yalıtkan yapıları işaret etmektedir (Jiracek vd., 1995).

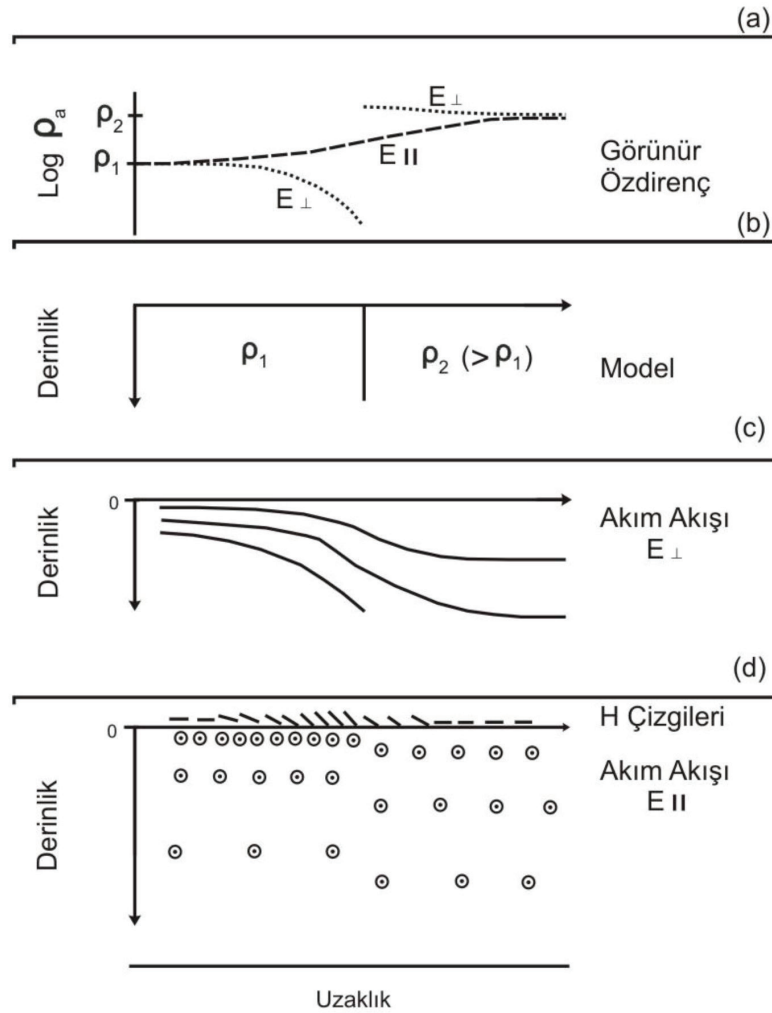
Endüksiyon okları, düşey manyetik alanın yatay manyetik alana oranını temsil eden gerçek kısım ve sanal kısım içeren oklardır. Düşey manyetik alan yanal iletkenlik değişiminden meydana geldiği için endüksiyon okları bu iletkenliğin var olup olmadığını belirlemede kullanılabilir. Bunun için iki yaklaşım vardır. Parkinson (1959) yaklaşımına göre endüksiyon okları iletkeni gösterir. Wiese (1962) yaklaşımına göre ise endüksiyon okları yalıtkanı gösterir. Bu oklar bazı kaynaklarda (Vozoff, 1972; Jiracek vd., 1995; Simpson ve Bahr, 2005) "tipper" terimi ile isimlendirilmiştir. Düşey manyetik alan ve yatay manyetik alan arasında, Eşitlik 5 geçerlidir (Simpson ve Bahr, 2005).

$$\mathbf{H}_z(\omega) = [\mathbf{T}_x(\omega) \quad \mathbf{T}_y(\omega)] \begin{bmatrix} \mathbf{H}_x(\omega) \\ \mathbf{H}_y(\omega) \end{bmatrix} \quad (5)$$

Burada, \mathbf{H}_z , düşey manyetik alan (A/m), \mathbf{H}_x ve \mathbf{H}_y , yatay manyetik alan (A/m), \mathbf{T}_x ve \mathbf{T}_y , endüksiyon ok bileşenleri (bilinmeyen karmaşık katsayılar (Vozoff, 1972)) olarak tanımlanır (Simpson ve Bahr, 2005). Endüksiyon oklarının büyüklükleri ise Eşitlik 6 ile verilmektedir.

$$\mathbf{T}_B = \left(\mathbf{T}_{x_r}^2(\omega) + \mathbf{T}_{x_i}^2(\omega) + \mathbf{T}_{y_r}^2(\omega) + \mathbf{T}_{y_i}^2(\omega) \right)^{(0.5)} \quad (6)$$

Burada, r ve i indisleri bilinmeyen karmaşık katsayıların gerçek ve sanal kısımlarını ifade etmektedir (Vozoff, 1972).



Şekil 2. (a) Modele ait özdirenç eğrileri, (b) model, (c) elektrik alan yer elektrik doğrultusuna (strike) dik iken akım ve (d) elektrik alan yer elektrik doğrultusuna paralel iken akım ve manyetik alan çizgileri Vozoff (1972)'dan tekrar çizilmiştir.

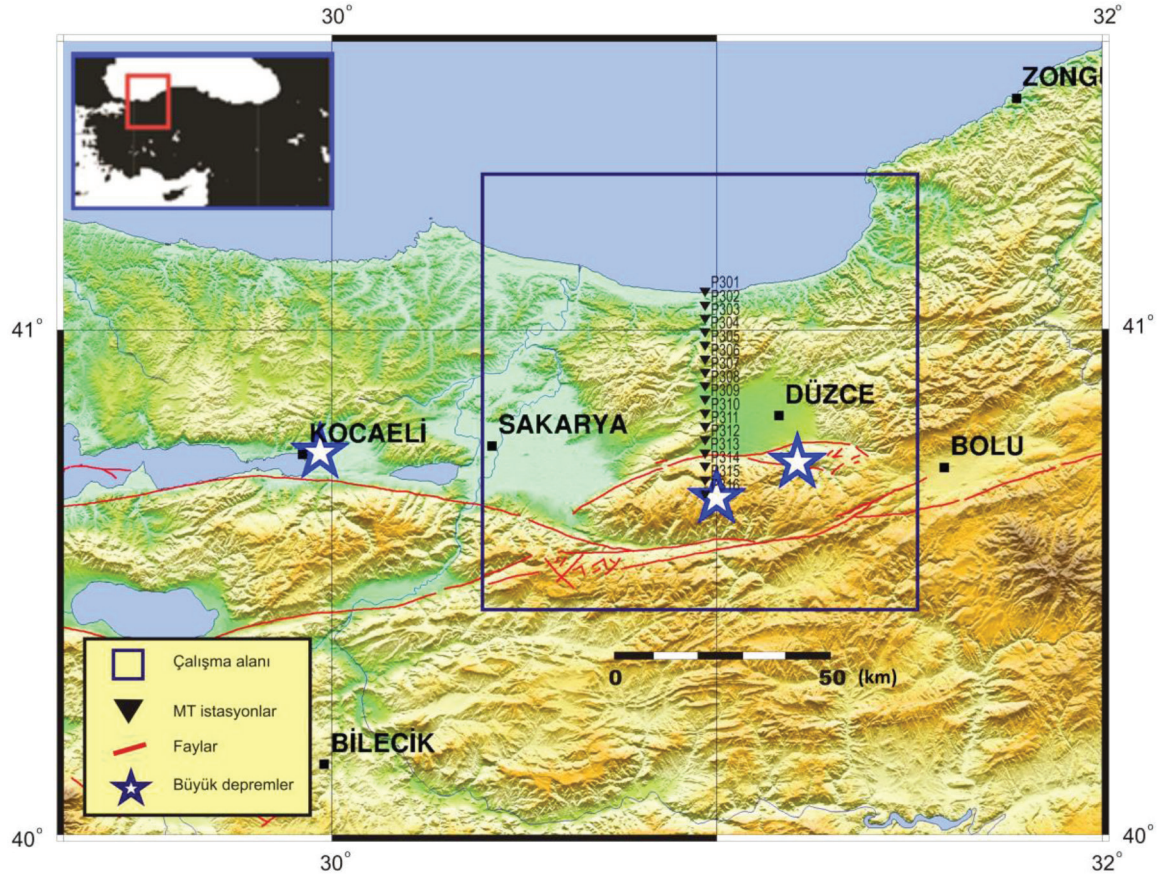
Figure 2. (a), Resistivity curves obtained from the model, (b), the model, (c), current flux when electric field is parallel to strike and (d), current flux when electric field is perpendicular to strike and magnetic field lines (redrawn from Vozoff (1972)).

KURAMSAL MODELLER VE MANYETOTELLÜRİK DÜZ ÇÖZÜM

Model Tasarımı İçin İnceleme Alanı

Manyetotellürik yöntemin temel amacı yer için öz-direnç değişimini saptamaktır. Yöntem bunu yaparken tüm diğer jeofizik yöntemlerde olduğu gibi bazı yer parametrelerinden (galvanik etkiler, üç boyutlu yüzeye yakın yapılar ve deniz) etkilenmektedir. Deniz ve okyanuslar gibi, içerdiği yüksek tuz miktarından dolayı yüksek iletkenlikli kütleler manyetotellürik veriler üzerinde ciddi bozulmalara neden olmaktadır. Bu çalışmada Düzce ve çevresine benzeyen bir geometri

kullanılmıştır. Bölgenin kuzeyinde de bu şekilde bozulmalara yol açabilecek Karadeniz bulunmaktadır. Karadeniz'den kaynaklanan bu bozulmaların Kuzey Anadolu Fayı'nın batı kısmındaki Düzce bölgesinde toplanan ya da ileride toplanılacak manyetotellürik veriler üzerindeki olası etkisi araştırılmaktadır. Bunun için Karadeniz'in bir bölümü ve Düzce bölgesini de içine alan geniş bir inceleme alanı belirlenmiştir (Şekil 3). İnceleme alanını gösterir harita Generic Mapping Tools (GMT) programında oluşturulmuştur (Wessel ve Smith, 1995). Program Emre vd. (2013) tarafından hazırlanan Türkiye Diri Fay Haritası verisini kullanılmaktadır.



Şekil 3. Deniz etkisi araştırma ve kuramsal model çalışmalarında kullanılan MT istasyonlarının konumları. (Harita Generic Mapping Tools (GMT) programıyla oluşturulmuştur (Wessel ve Smith, 1995). Program Emre vd. (2013) tarafından hazırlanan Türkiye Diri Fay Haritası verisini kullanmaktadır).

Figure 3. The locations of the MT stations which used on forward modelling to investigate sea effect. (The fault data is taken from Emre et al. (2013). The map was generated using Generic Mapping Tools (GMT) (Wessel and Smith, 1995)).

Kuzey Anadolu Fayı geçmişte çeşitli büyüklüklerde ve yıkıcı depremlere neden olmuştur. En son Düzce depremi ($M_w=7.2$, 1999) ve Gölcük depremi ($M_w=7.5$, 1999) ile gündeme gelen fay özellikle beklenen Marmara depremi ile gündemdeki yerini korumaktadır. Bu nedenle bu yapının çok iyi analiz edilmesi, üzerinde meydana gelmiş depremleri tartışmak ve ileride meydana gelebilecek depremleri tahmin etmek önemlidir. Bu da çeşitli bilimsel yöntemlerin yanında MT yöntemi ile de yapılabilir. MT yöntemi ile elde edilen verilerin doğru bir şekilde yorumlanması için Düzce bölgesindeki Karadeniz'den kaynaklanan deniz etkisinin miktarının bilinmesi gereklidir. Tüm bunlar düşünüldüğünde bu çalışma Düzce bölgesinde ileride yapılacak MT çalışmalarına kaynak teşkil edecektir. Düz çözüm aşamasında sınır problemi ile karşılaşmamak için oluşturulan modelin sınırları oldukça geniş tutulmuştur.

Düz Çözüm

Manyetotellürik yöntemde saha verileri ile karşılaştırılmak üzere kuramsal verilerin hesaplanabilmesi için tüm jeofizik yöntemlerde olduğu gibi modelleme işlemi yapılır. Modelleme işleminin ilk aşaması düz çözümdür. Bu çalışmada düz çözüm WinGLink® programı kullanılarak yapılmıştır. Program, Mackie vd. (1993) tarafından geliştirilen üç-boyutlu düz çözüm algoritmasını kullanmaktadır. Algoritma Maxwell denklemlerinin integral formlarını sonlu farklar yöntemi kullanarak çözmektedir. Oluşturulan model çok fazla karmaşık olmadığı durumda, integral denklemlerinin çözümü çok hızlıdır (Mackie vd., 1993). Deniz etkisinin belirlenmesi için çalışılan bölge sabit bir iletken olarak girildiğinden (Tank, 2010) bu çalışmada oluşturulan modeller çok karmaşık modeller değildir. Bu algoritma bu nedenle tercih edilmiştir.

Kuramsal Modeller

Şekil 4, çalışmada kullanılan model ağını (mesh) göstermektedir. Model ağı, yatayda bir kenarı 300 km uzunluğundaki bir kare alan şeklindedir. Çalışma alanı olarak tabir edilen lacivert alan ise, bir kenarı 100 km uzunluğundaki bir kare şeklinde yerleştirilmiştir. Modelin yaklaşık olarak kuzeye doğru 179'uncu km'sinden itibaren Karadeniz temsili olarak yerleştirilmiştir. Oluşturulan modellerde farklı derinlikler belirlenerek Karadeniz temsil edilmiştir. Çalışma alanının ortasına gelen bir konumda kuzey-güney yönlü bir hat boyunca 16 yapay MT istasyon yerleştirilmiştir. Deniz kıyısına en yakın istasyon 1.5 km uzaklığında yerleştirilmişken, deniz kıyısına en uzak istasyon 46.5 km uzaklığında yerleştirilmiştir. Her bir bloğa, ilgili modeli temsil edecek şekilde özdirenç değerleri atanmak suretiyle çeşitli modeller oluşturulmuş ve MT istasyonlardan MT verileri elde edilmiştir. Burada belirli istasyonlara ait MT verileri gösterilmektedir. Elde edilen veriler değerlendirmeye tabi tutularak periyota karşılık, her bir istasyona ait özdirenç eğrileri, endüksiyon okları ve faz eğrileri çizdirilmiştir.

İleride Düzce bölgesinde yapılacak MT çalışmalara kaynak teşkil etmesi için çalışma sahası mümkün olduğu kadar gerçeğe yakın modellenmiş ve böylece Düzce bölgesindeki manyetotellürik çalışmalarda Karadeniz'den kaynaklanan deniz etkisinin miktarı daha net ortaya çıkartılmıştır. Denize yakın sahalarda yapılacak bir MT çalışmada farklı deniz ve kara özellikleri için kıyı etkisini daha iyi ortaya koymak amacıyla modeller basitten karmaşığa çeşitlilik göstermektedir. Farklı modellerin etkisini daha net anlamak için tüm modellerden elde edilen özdirenç eğrileri, endüksiyon okları ve faz eğrileri karşılaştırılarak incelenmiştir.

Şekil 5 ve 6, kıyı şeridinin doğrusal kabul edildiği modeller için sırasıyla modellerin üstten görünümü ve kesitidir. Farklı modellerde Çizelge 1'deki özdirenç ve derinlik değerleri kullanılarak modellere ait MT tepkileri elde edilmiştir. Buradaki modeller basit yapıları modeller olup jeolojik ve tektonik birim içermektedir. Şekil 7 ve 8 Karadeniz kıyı şeridinin basit bir biçimde eklendiği model için sırasıyla modelin üstten görünümü ve kesitidir. Farklı modellerde Çizelge 2'deki özdirenç ve derinlik değerleri kullanılarak ve çeşitli jeolojik ve tektonik özellikler eklenerek modellere ait MT tepkileri elde edilmiştir.

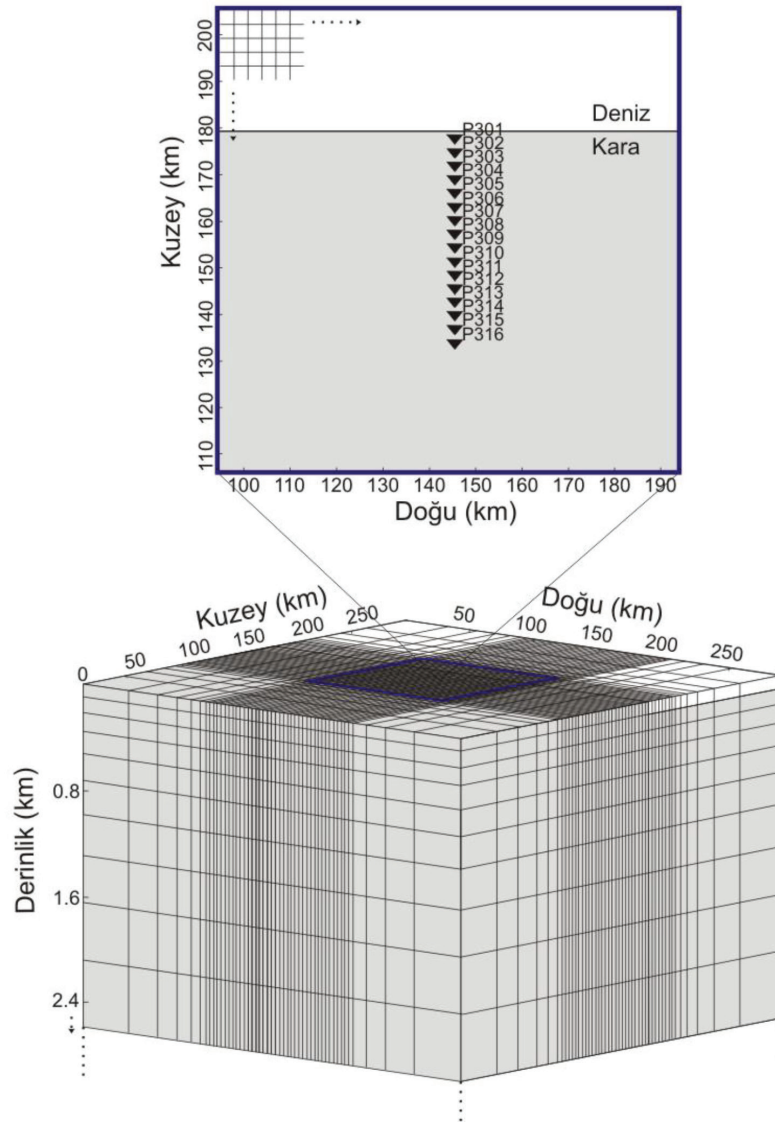
Çizelge 2'de, Çizelge 1'deki modellerden farklı olarak jeolojik ve tektonik birimleri içinde barındıran modellere ve denizin bulunmadığı homojen modele

ait özellikler gösterilmiştir. Modellere deniz derinliğinin basamaklı olması, Kuzey Anadolu Fayı'nın kuzey kolunu temsil eden bir fay ve sediman gibi yapılar basit biçimde eklenmiş ve bölgenin özellikleri temsil edilmiştir. Böylece çalışılan bölgenin tektonik yapısına daha yakın modeller oluşturulmuştur.

Fay kalınlığı farklı modellerde 1 km ve 3 km olarak dikkate alınmıştır. Çünkü faylar, fay doğrultuları boyunca fayın sağında ve solunda çatlaklara sahiptirler. Bu çatlaklara zamanla dolan meteorik sular, fayın yaklaşık 1 km çapındaki özdirenç değerlerinin düşmesine neden olurlar (Ritter vd., 2005). Kuzey Anadolu Fayı'nın Düzce bölgesinde ve bu çalışmaya konu olan sahadaki kuzey kolunun Karedere-Düzce segmentinde, Düzce Depremi (1999) sırasında meydana gelmiş çatlaklar bulunmaktadır (Peng ve Ben-Zion, 2004). Fayın etkisinin daha net belirlenmesi amacıyla fay kalınlığı 1 km yerine 3 km olarak girilmiştir. Ayrıca Karadeniz'in tabanındaki sediman tabakasının kalınlığı (Robinson vd., 1995) da dikkate alınmıştır. Bunun için sediman tabakası basit bir biçimde modellere eklenmiştir. Sediman özdirenç değeri 5 Ω -m (Haak ve Hutton, 1986) olarak atanmıştır. Deniz derinliği ise 1500 m olarak tasarlanmıştır. Kuzey Anadolu Fayı'nın eğimi kuzeye doğru yaklaşık olarak 65°'dir (Konca vd., 2010). Daha gerçeğe yakın bir model elde etmek için Kuzey Anadolu Fayı'nın eğimi de dikkate alınmıştır. Oluşturulan modellerden elde edilen özdirenç eğrileri, endüksiyon okları ve faz eğrileri karşılaştırma tabloları kullanılarak karşılaştırılmıştır. Görsellerin oluşturulmasında WinGLink® ve CoreDRAW programlarının çıktıları kullanılmıştır.

TARTIŞMA VE YORUMLAR

Düzce bölgesinde yüksek elektrik iletkenliğe sahip Karadeniz'den kaynaklanabilecek olası deniz etkisinin miktarını araştırmak için çeşitli kuramsal modeller oluşturulmuştur. Oluşturulan modellerde denizin derinliği (z), karanın özdirenç değeri (ρ), kıyının tipi değiştirilerek ve fay, sediman gibi yapılar da eklenerek bu parametrelerin denizden kaynaklanan bozucu etkiye katkıları karşılaştırılmıştır. Bunun için ikili ve üçlü tablolar kullanılmıştır. Karşılaştırma hem aynı modelde denize yakın-uzak istasyon verilerinin ilişkisi hem de farklı modellere ait özdirenç eğrileri, endüksiyon okları ve faz eğrilerinin karşılaştırılması olarak yapılmıştır. Her bir karşılaştırma tablosunda tek bir parametre karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırmalar ve hangi parametrenin incelendiği Çizelge 3'te verilmiştir.

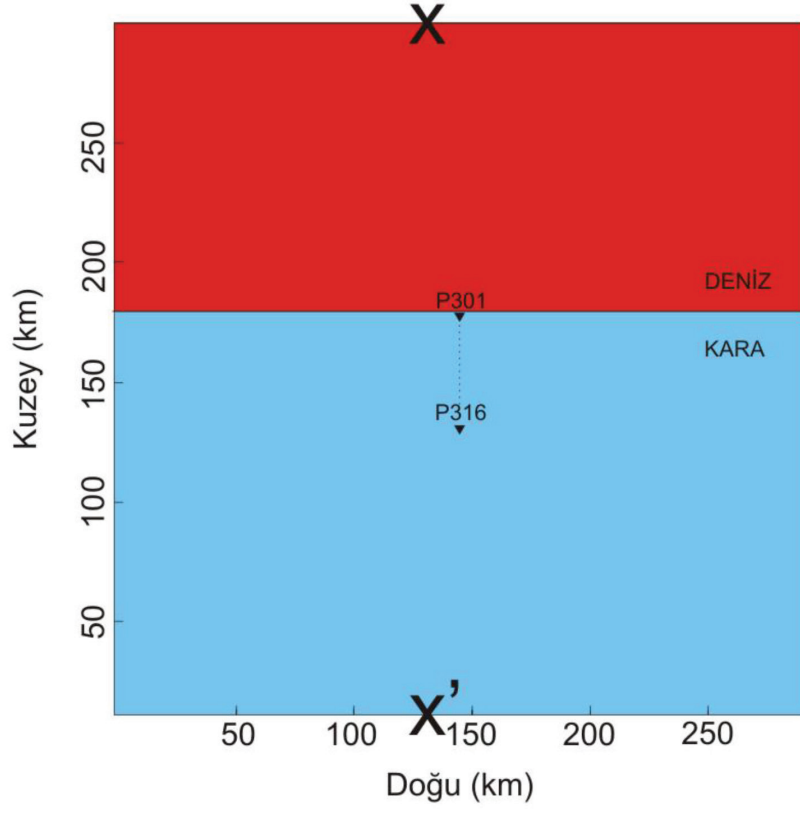


Şekil 4. Modellerin oluşturulmasında kullanılan model ağı (mesh) (Siyah üçgenler bir hat boyunca konumlandırılmış istasyonları temsil etmektedir. İlk istasyonun kıyı çizgisine olan uzaklığı 1.5 km iken, son istasyonun kıyı çizgisine olan uzaklığı 46.5 km'dir).

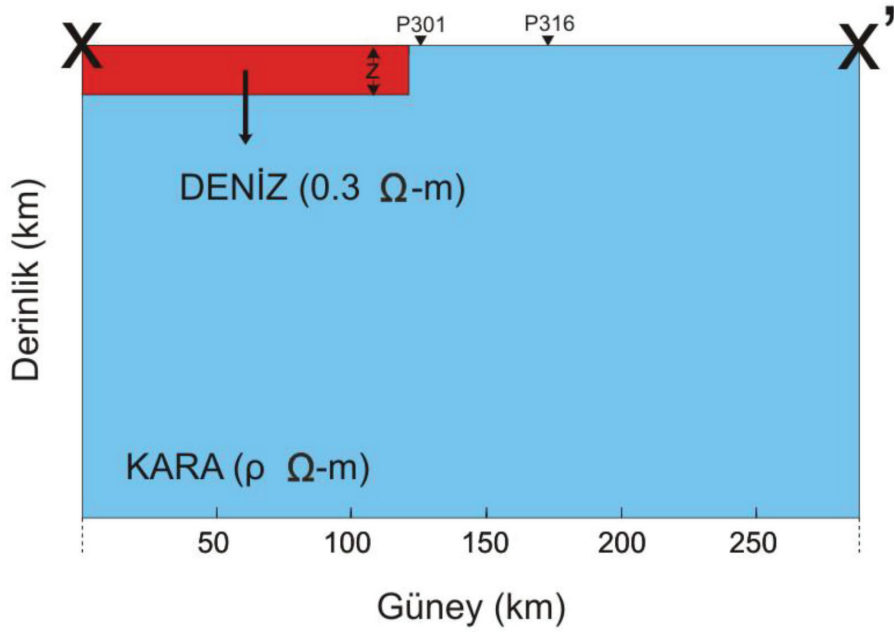
Figure 4. The mesh which is used for forward modelling (Black triangles represent MT stations that are located on a profile. The distances of the first and the last stations from the coastline are 1.5 km and 46.5 km, respectively).

Homojen yarı uzayda deniz-kara sınırı gibi yüksek öz direnç farkının bulunmadığı durumda, öz direnç eğrilerinin başlangıçta verilen öz direnç değerlerini göstermesi gerekir. Endüksiyon okları, büyüklük olarak düşük değerlerde olmalıdır. Faz eğrilerinde bir sapma ile karşılaşılması gerekir (Şekil 9). Ancak, modellerde denizin varlığından dolayı oluşan yüksek öz direnç farkının, MT tepkilerini belirli parametrelere (deniz derinliği, öz direnç farklılığı kıyı tipi, fay ve sediman) göre belirli periyotlarda etkilediği saptanmıştır.

Yerin iki-boyutlu olarak incelenmesi durumunda görünür öz direnç denklemi (Eşitlik 3) empedans, Z_{xy} ve Z_{yx} olmak üzere iki farklı değere sahip olur. Dolayısıyla Z parametresinin, hem $Z_{xy}=E_x/E_y$, hem de $Z_{yx}=E_y/H_x$ bağıntısı ile hesaplanması gerekir. Elektrik alan ve manyetik alan deniz-kara sınırına yakın bölgelerde kıyının tipine ve öz direnç farklılığına bağlı olarak belirli oranda etkilenir (Santos vd., 2001). Z , kıyı ekseninin konumuna göre ya normal değerinden fazla ya da normal değerinden düşük olarak hesaplanır.



Şekil 5. Kıyı çizgisi doğrusal iken oluşturulan modellerin üstten görünümü.
Figure 5. Map view of the models for linear coastline.

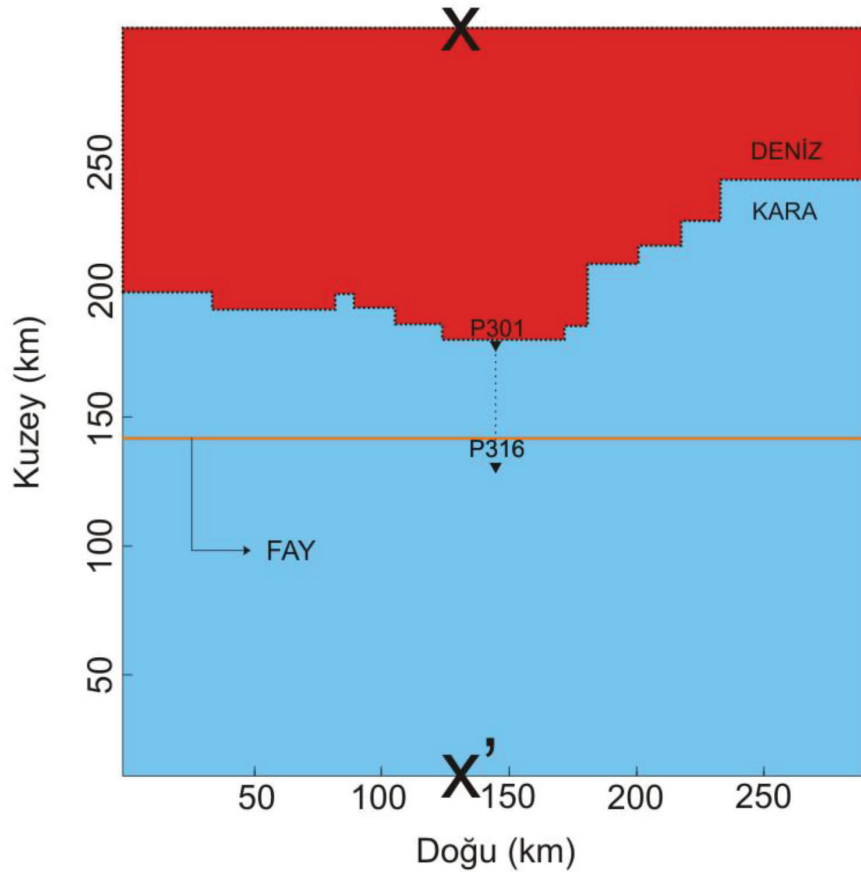


Şekil 6. Kıyı çizgisi doğrusal iken oluşturulan modellerin kesiti.
Figure 6. Cross-section of the models for linear coastline.

Çizelge 1. Oluşturulan modeller ve özellikleri.
Table 1. Different models considered in this study.

ρ ve z	100 m	500 m	1000 m
100 Ω -m	Model 1	Model 2	Model 3
500 Ω -m			Model 4
1000 Ω -m			Model 5

ρ : Kara öz direnci; z: Deniz derinliği.



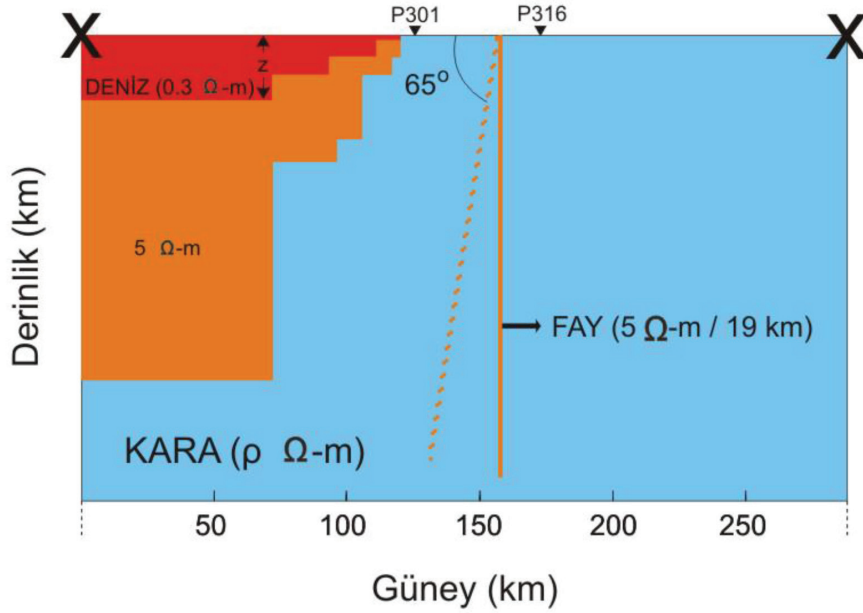
Şekil 7. Karadeniz kıyı çizgisinin basit biçimde eklenerek ve bölgenin tektonik özelliklerinin de dikkate alınarak oluşturulan modellerin üstten görünümü.

Figure 7. Map view of the models for which a simplified coastline of the Black Sea and the main tectonic features are taken into account.

Bunun nedeni, yüksek iletkenlikli denizin jeomanyetik alan üzerindeki etkisidir (Parkinson, 1959). Ayrıca kıyının konumuna göre yüksek öz direnç farkı ara yüzeyde ikincil elektrik alanları oluşturarak birincil elektrik alanı artırıcı ya da azaltıcı olarak etkiler (Vozoff, 1972; Jones, 1983). Deniz-kara sınırına yakın bölgelerden toplanan MT verilerinden elde edilen öz direnç eğrilerinin etkilenmesindeki temel fiziksel olgu bu şekildedir. Burada belirleyici parametre kıyı şeridinin

yer elektrik doğrultusu (strike) ile olan ilişkisi, deniz derinliği ve yüksek öz direnç farklılığıdır.

Endüksiyon okları düşey manyetik alanın yatay manyetik alana oranı şeklindedir (Simpson ve Bahr, 2005). Deniz gibi iletkenliğin yüksek olduğu yapılarda jeomanyetik alan girdap akımları (eddy current) oluşturur. Oluşan girdap akımları düşey manyetik alanda artışa neden olur. Girdap akımları yatay man-



Şekil 8. Karadeniz kıyı çizgisinin basit biçimde eklenerek ve bölgenin tektonik özelliklerinin de dikkate alınarak oluşturulan modellerin kesiti.

Figure 8. Cross-section of the models for which a simplified coastline of the Black Sea and the main tectonic features are taken into account.

Çizelge 2. Oluşturulan diğer modeller ve özellikleri.

Table 2. Other designed models and their features.

ρ ve z	1000 m	1500 m	
100 Ω -m	Model 6 (Deniz derinliği basamaklı)	Model 8 (Deniz derinliği basamaklı) (Karadeniz kıyı şeridi) (Sediman)	Model H (Homojen model) (Deniz bulunmamaktadır)
	Model 7 (Deniz derinliği basamaklı) (3 km kalınlıkta bir fay)	(1 km kalınlıkta bir fay) (Fay eğimli)	

ρ : Kara özdirenci; z : Deniz derinliği.

yetik alanı düşey konuma getirerek yatay manyetik alanı azaltıp düşey manyetik alanı artırır (Parkinson, 1959; Ranganayaki ve Madden, 1980; Jones, 1983; Santos vd., 2001). Yatay yöndeki manyetik alanlar özdirenç farklılığının yüksek olduğu deniz-kara sınırından yüksek oranda etkilenmezler (Santos vd., 2001). Böylece düşey manyetik alan yatay manyetik alana oranlanırsa ve belirli periyotlarda çizdirilirse girdap akımlarının etkisi dolayısıyla deniz etkisi karşılaştırılabilir. Deniz-kara sınırına yakın bölgelerden toplanan MT verilerinden elde edilen endüksiyon oklarının etkilenmesindeki temel fiziksel olgu bu şekildedir. Faz eğrileri ise düşük değerlerde yalıtkanı yüksek değerlerde iletkeni göstermektedir (Jiracek vd., 1995).

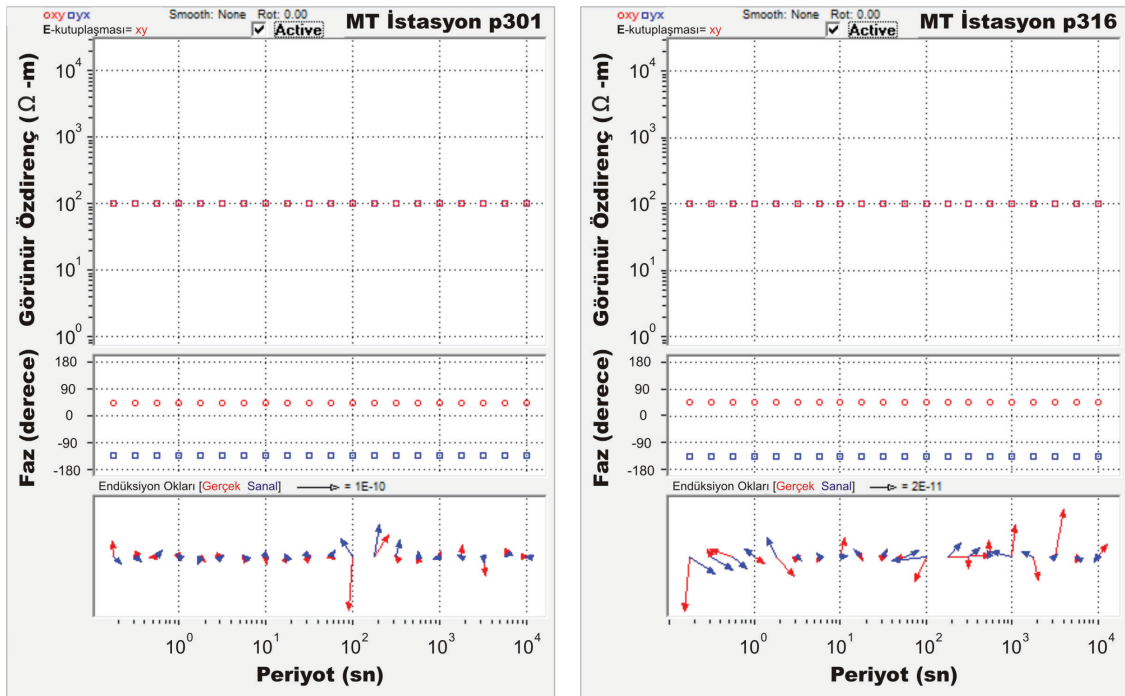
Deniz etkisinin net bir şekilde anlaşılabilmesi için Şekil 9' da Model H olarak isimlendirilmiş denizin bulunmadığı modele ait MT tepkileri gösterilmektedir. Burada 100 Ω -m olarak girilen özdirenç değeri ile düz çözümden hesaplanmış elektrik özdirenç eğrilerinden elde edilen özdirenç değeri, deniz etkisi olmadığı için herhangi bir bozulmaya uğramamış ve birbirleri ile uyumludur. Endüksiyon okları incelendiğinde ise, endüksiyon okları büyüklük olarak birim okta oldukça küçük değerler (1E-10 ve 2E-11 gibi) ile MT tepkisini temsil etmektedir. Faz eğrilerinde ise bir sapma görülmemektedir. Denizin varlığı durumunda MT tepkilerinde bozulmalar meydana gelebilmektedir.

Çizelge 3. Karşılaştırma kılavuzu.

Table 3. Comparison guide.

Karşılaştırma	İncelenen Parametre
1	Uzak istasyon – Yakın istasyon ilişkisi ($\rho=100 \Omega\text{-m}$)
1	Deniz derinliğinin artması ($\rho=100 \Omega\text{-m}$)
2	Özdirenç farklılığının artması ($z=1000 \text{ m}$)
3	Deniz derinliğinin basamaklı değişimi ($\rho=100 \Omega\text{-m}$)
4	Fay parametresinin bulunması ($z=1000 \text{ m}$, $\rho=100 \Omega\text{-m}$ ve $\zeta=90^\circ$)
5	Homojen model ve tüm parametrelerin bulunduğu model ($z=1500 \text{ m}$, $\rho=100 \Omega\text{-m}$ ve $\zeta=65^\circ$)

ρ : Kara öz direnci; z : Deniz derinliği; ζ : fay eğimi.

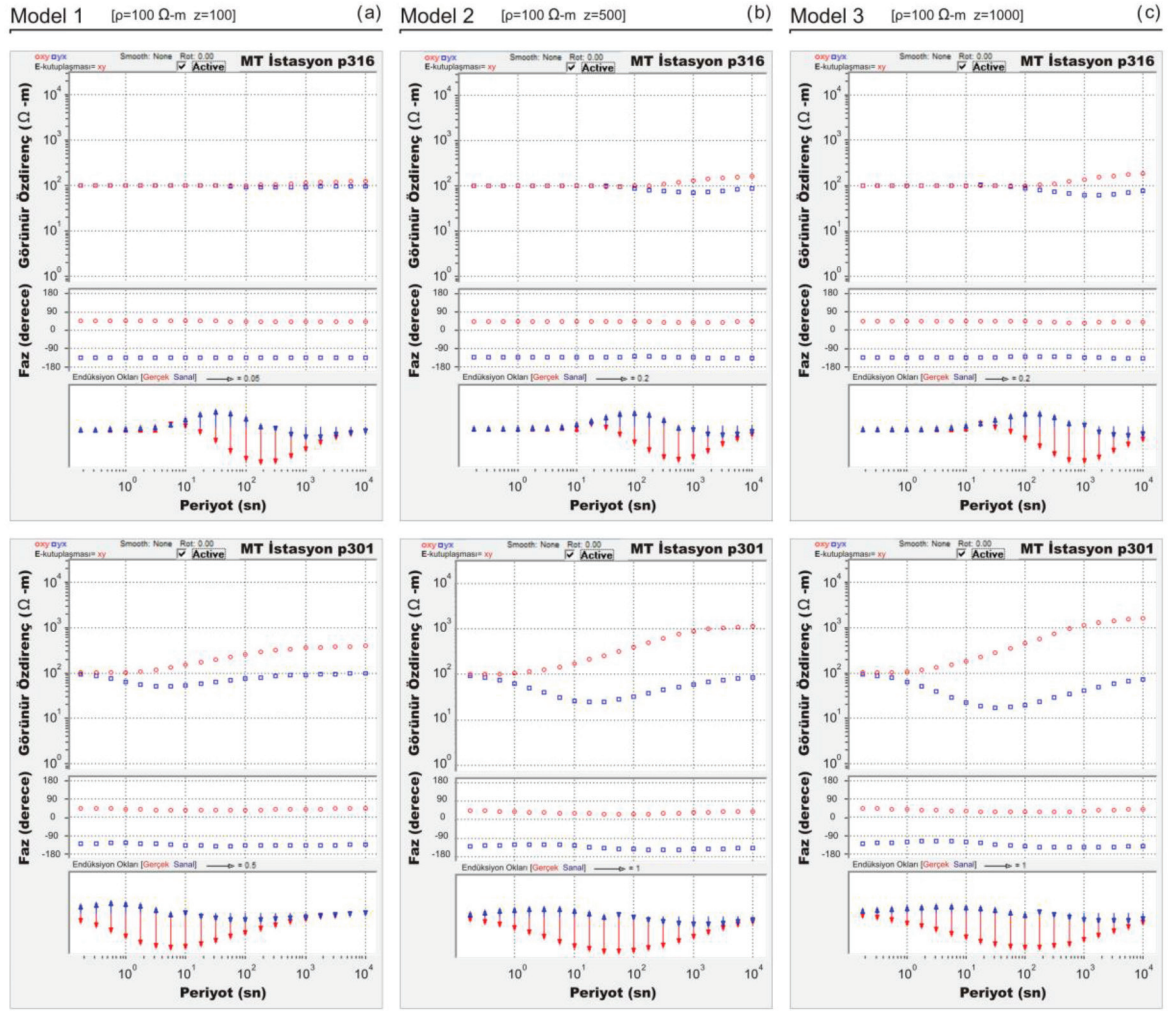
Model H [$\rho=100 \Omega\text{-m}$ $z=0$]

Şekil 9. Homojen modele ait MT tepkileri.

Figure 9. MT responses obtained for the homogeneous model.

Şekil 10a'da (Karşılaştırma 1) Model 1'e ait MT İstasyon p301'den (bundan böyle denize yakın istasyon olarak tabir edilecektir) elde edilen **B**-kutuplaşması öz direnç eğrisinde (lacivert kare ile temsil edilen) ve **E**-kutuplaşması öz direnç eğrisinde (kırmızı çember ile temsil edilen) artışlar ve azalışlar görülmektedir. **E**-kutuplaşması öz direnç eğrisi üzerinde

pozitif yönde bir deniz etkisi görülmekte iken bu etki **B**-kutuplaşması öz direnç eğrisi üzerinde negatif yönde görülmektedir. **E**-kutuplaşması öz direnç eğrisi üzerindeki deniz etkisinin yaklaşık 1 saniye periyodundan itibaren başladığı görülmektedir. Pozitif yöndeki deniz etkisinin miktarı 1 saniye periyodunda yaklaşık $\rho_a - \rho = +3 \Omega\text{-m}$ (hesaplanan değerler



Şekil 10. Karşılaştırma 1. Model tepkileri (Hem modellere ait uzak ve yakın istasyon verilerinin karşılaştırması hem de farklı deniz derinliği bulunan modellerin tepkilerinin karşılaştırması gösterilmektedir).

Figure 10. Comparison 1. Model responses (The first comparison is between MT responses which is obtained from both first stations and last stations from the coastline and the second comparison is between responses of models which have different sea depths).

tam sayıya yuvarlanmıştır) olarak hesaplanmıştır. **E**-kutuplaşması öz direnç eğrisi daha uzun periyotlarda daha çok miktarda bozulmaya (100 ve 10000 saniye periyotlarında sırasıyla +158 ve +288 Ω -m) maruz kalmıştır. Buna karşın **B**-kutuplaşması öz direnç eğrisi üzerindeki negatif yöndeki deniz etkisinin miktarı 0.2 saniye periyotunda daha kısa periyotlardan itibaren (söz konusu periyotlar inceleme aralığında değildir) başlamış olduğu görülmektedir. Negatif yöndeki deniz etkisinin miktarı yaklaşık 0.2 saniye periyotunda -7 Ω -m olarak hesaplanmıştır. **B**-kutuplaşması öz direnç eğrisi, **E**-kutuplaşması öz direnç eğrisinden farklı bir davranış sergileyerek yaklaşık 10 saniye periyotundan itibaren asıl değerine

dönme eğilimi göstermektedir. **B**-kutuplaşması öz direnç eğrisi daha uzun periyotlarda daha az miktarda bozulmaya (10, 100 ve 10000 saniye periyotlarında sırasıyla -47, -25 ve -2 Ω -m) maruz kalmıştır. Konu ile ilgili daha önce yapılan çalışmalar (Han vd. 2009; Yang vd. 2010; Tank, 2010) denizin öz direnç eğrilerini benzer şekilde değişen miktarlarda etkilediğini göstermektedir. Tank (2010) çalışmasında **B**-kutuplaşması öz direnç eğrisinin **E**-kutuplaşması öz direnç eğrisine göre daha az etkilendiği sonucuna varmış ve **B**-kutuplaşması öz direnç eğrisinin kullanımını önermiştir. Hangi öz direnç eğrisinin kullanılması gerektiği ile ilgili kesin bir yargı yoktur. Singh vd. (1995) çalışmasında, **E**-kutuplaşması eğrisinin

kullanımını önermiştir. Burada belirleyici parametre, kıynın yer elektrik doğrultusu ile olan ilişkisidir.

Şekil 10a'da (Karşılaştırma 1) Model 1'e ait MT İstasyon p316'dan (bundan böyle denize uzak istasyon olarak tabir edilecektir) elde edilen özdirenç eğrileri üzerinde denize yakın istasyondan elde edilen özdirenç eğrilerine göre daha uzun periyotlarda değişen miktarda deniz etkisi görülmektedir. Bir başka önemli nokta ise **E**-kutuplaşması özdirenç eğrisi üzerindeki deniz etkisi yaklaşık 100 saniye periyotundan itibaren başlamakta iken **E**-kutuplaşması özdirenç eğrisi üzerindeki deniz etkisi yaklaşık 10 saniye periyotundan itibaren başlamaktadır. **E**-kutuplaşması özdirenç eğrisi üzerindeki deniz etkisinin miktarı 10, 100, 1000 ve 10000 saniye periyotlarında sırasıyla yaklaşık 0, +1, +15 ve +24 Ω -m olarak hesaplanmıştır. **B**-kutuplaşması özdirenç eğrisi üzerindeki deniz etkisinin miktarı ise aynı periyotlarda sırasıyla yaklaşık +1, -6, -6 ve -2 Ω -m olarak hesaplanmıştır. Bununla birlikte uzak istasyondan elde edilen özdirenç eğrileri üzerindeki deniz etkisinin başladığı periyot, yakın istasyondan elde edilen özdirenç eğrileri üzerindeki deniz etkisinin başladığı periyota göre daha uzundur. Daha önce yapılmış çalışmalarda (Yang vd. 2010; Tank, 2010) değinildiği gibi istasyon deniz-kara sınırından uzaklaştıkça deniz etkisi daha uzun periyotlara doğru ilerlemektedir.

Şekil 10a'da (Karşılaştırma 1) Model 1'e ait denize uzak istasyondan elde edilen endüksiyon okları uzun periyotlara doğru yaklaşık 20 saniye periyotundan 4000 saniye periyoduna kadar büyüklük olarak yüksek değerlerde görülmektedir. Endüksiyon oklarının büyüklükleri gerçek endüksiyon oklarının yön değiştirdiği periyot olan yaklaşık 5 saniye periyotunda artmaya başlamıştır. Denize yakın istasyondan elde edilen endüksiyon oklarının büyüklükleri ise yaklaşık 0.2 saniye periyotundan itibaren 1000 saniye periyoduna kadar yüksek değerlerde görülmektedir. Santos vd. (2001) çalışmasında endüksiyon oklarını belirli periyotlara göre çizdirmiş ve deniz-kara sınırına yakınlıkları oranında ve belirli periyotlarda değişen büyüklüklerde oldukları sonucuna ulaşmıştır. Model 1'e ait yakın istasyondan elde edilen faz eğrileri üzerinde deniz etkisinin varlığından dolayı bir miktar dalgalanma görülmektedir. Lacivert kare ile temsil edilen faz eğrisi üzerinde 1 saniye periyotunda pozitif yönde ve 100 saniye periyotunda negatif yönde bir miktar bozulma görülmektedir. Kırmızı çember ile temsil edilen faz eğrisinde ise, inceleme aralığının kısa periyotlarından itibaren bir dalgalanma söz konusudur.

Denize uzak istasyondan elde edilen kırmızı çember ile temsil edilen faz eğrisinde yaklaşık 100 saniye periyotundan sonra bir dalgalanma görülmektedir.

Genel olarak tüm modellerde uzak istasyonlardan toplanan MT tepkileri üzerindeki etkinin azaldığı görülmektedir. Etki kıyıya yaklaştıkça kendini daha fazla göstermektedir. Benzer şekilde birçok çalışmada (Singh vd., 1995; Santos vd., 2001; Yang vd., 2010) bu sonuca ulaşılmıştır. Kıyı çizgisine yakın bölgelerdeki çalışmalarda (Parkinson, 1959; Han vd., 2009; Worzewski vd., 2010; Key ve Constable, 2011) kıyıya yakın olan istasyonlardaki özdirenç eğrileri bu çalışmada ulaşılan bu sonuçtan dolayı ya hesaplanamamış ya da eğriler deniz etkisinden yüksek oranda etkilenmiştir.

Deniz derinliğinin değişmesi durumunda deniz etkisini karşılaştırmak için kara kısmının özdirenç değerinin 100 Ω -m olduğu ve deniz derinliğinin 100, 500 ve 1000 metre olduğu üç farklı model Şekil 10'da (Karşılaştırma 1) gösterilmiştir. Yakın istasyonlar kendi aralarında ve uzak istasyonlar kendi aralarında incelendiğinde **E**-kutuplaşması özdirenç eğrileri ve **B**-kutuplaşması özdirenç eğrileri arasındaki fark derinlik arttıkça artmaktadır. Model 1, 2 ve 3'de denize yakın istasyonlardan elde edilen özdirenç eğrileri arasındaki fark 100 saniye periyodu için sırasıyla $P_{a(xy)} - P_{a(yx)} = +182, +366$ ve $+422$ Ω -m olarak, 10000 saniye periyodu için özdirenç eğrileri arasındaki fark sırasıyla $+290, +1073$ ve $+1503$ Ω -m olarak hesaplanmıştır. Denize uzak istasyon özdirenç eğrileri arasındaki fark ise 100 saniye periyodu için sırasıyla $+7, +11$ ve $+11$ Ω -m olarak, 10000 saniye periyodu için sırasıyla $+26, +78$ ve $+105$ Ω -m olarak hesaplanmıştır. Buradan deniz derinliği arttıkça özdirenç eğrilerinin üzerindeki deniz etkisi miktarının arttığı görülmektedir. Bununla birlikte denize uzak istasyonlardan elde edilen özdirenç eğrileri arasındaki fark uzun periyotlara doğru artış göstermektedir. Önemli bir nokta ise, **B**-kutuplaşması özdirenç eğrileri asıl değerine dönme eğilimi gösterirken **E**-kutuplaşması özdirenç eğrilerinin böyle bir eğilim göstermemesidir. Dolayısıyla **E**-kutuplaşması özdirenç eğrisi, iki eğri arasındaki farka daha çok katkı sağlamaktadır. Key ve Constable (2011) çalışmasında benzer bir model kullanmış ve **E**-kutuplaşması özdirenç eğrisindeki bozulmanın, **B**-kutuplaşması özdirenç eğrisindeki bozulmadan daha çok olduğu sonucuna varmıştır. Denize yakın istasyonlardaki endüksiyon okları deniz derinliği 100 m iken 0.2 saniye ve 1000 saniye periyotlarında büyük değerlere sahiptir. Derinlik arttıkça

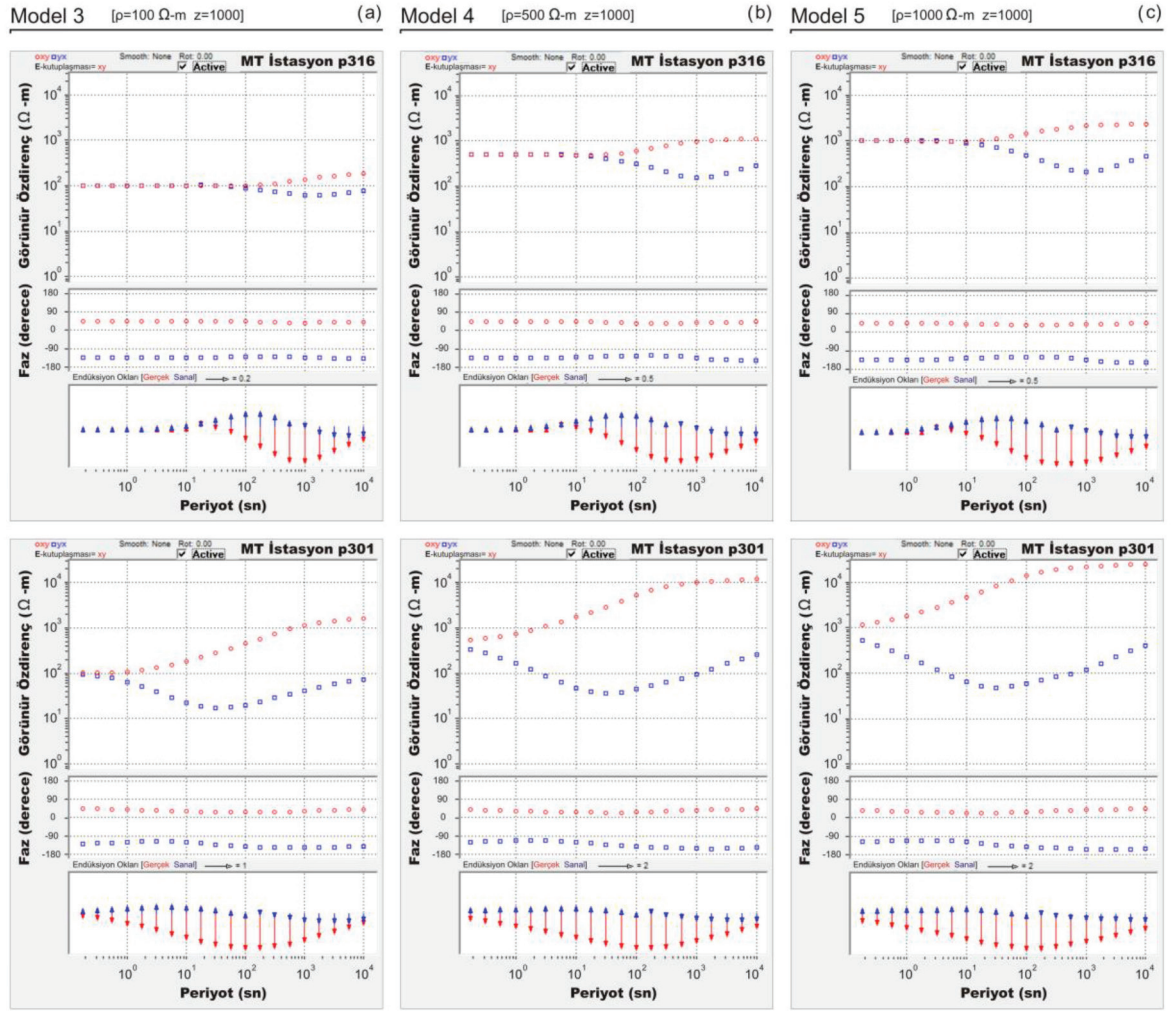
büyük değerlere sahip endüksiyon okları daha uzun periyotlara doğru genişlemekte, derinlik 100 m iken yaklaşık 300 saniye periyotundan itibaren büyüklük olarak düşük değerlere doğru değişmektedir. Denize uzak istasyonlarda ise, kısa periyotlardaki endüksiyon oklarının büyüklükleri uzun periyotlardaki endüksiyon oklarının büyüklüklerine göre daha düşüktür. Uzak istasyonlarda endüksiyon okları yaklaşık 15 saniye periyodu ve 6000 saniye periyodu aralığında büyük değerlere sahiptir. Buradan, uzak istasyonlarda deniz etkisinin uzun periyotlarda kendini gösterdiği anlaşılmaktadır. Özellikle denizin derinliği burada belirleyici parametredir. Bunun sebebi derinlik arttıkça özdirenç farklılığı olan derinlik artmasıdır. Santos vd. (2001) çalışmasında, denize yakın ve uzak istasyonlardaki endüksiyon oklarını belirli periyotlara göre hesaplamış ve bu çalışmada olduğu gibi deniz-kara sınırına uzak istasyondaki endüksiyon oklarının büyüklüklerinin, kısa periyotlarda uzun periyotlara göre daha düşük olduğu sonucuna varmıştır. Şekil 10a'da (Karşılaştırma 1) denize yakın istasyonlardaki faz eğrileri deniz derinliğinin artmasından etkilenmiştir. Lacivert kare ile temsil edilen faz eğrisi yaklaşık 0.2 saniye ve 100 saniye periyotları arasında artış göstermiştir. Buna karşın uzun periyotlarda yaklaşık 100 saniye ve 10000 saniye periyotları arasında bir azalış göstermiştir.

Şekil 11'de (Karşılaştırma 2) deniz derinliği sabit 1000 metre olarak belirlenip özdirenç değerinin 100, 500 ve 1000 Ω -m olarak atandığı 3 farklı modele ait MT verileri üzerindeki deniz etkisinin miktarı araştırılmıştır. Denize yakın istasyonlardan elde edilen **B**-kutuplaşması özdirenç eğrisinin inceleme aralığındaki ilk periyotlardan itibaren negatif yönde bir deniz etkisine maruz kaldığı görülmekteyken, orta periyotlardan itibaren etkinin uzun periyotlara doğru azaldığı görülmektedir. Model 3, 4 ve 5'de denize yakın istasyondan elde edilen **B**-kutuplaşması özdirenç eğrisinin maruz kaldığı deniz etkisinin miktarı yaklaşık 0.2 saniye periyotunda sırasıyla -6, -162 ve -474 Ω -m olarak hesaplanmıştır. Endüksiyon okları incelendiğinde farklı özdirenç atanan modellerin yakın istasyonlarındaki endüksiyon okları özdirenç farklılığı arttıkça büyüklük olarak daha da yüksek değerlerde görülmektedir ancak karşılaştırma yapılan üç modelde de yakın istasyondaki sanal endüksiyon okları aynı periyotta yön değiştirmişlerdir. Şekil 11c'de (Karşılaştırma 2) Model 5'e ait faz eğrileri hem deniz derinliğinin 1000 metre olması hem de modele atanan özdirenç değerinin 1000 Ω -m olması nedeniyle

diğer MT tepkilerinde olduğu gibi, yüksek miktarda denizden etkilenmiştir.

Deniz derinliğinin keskin bir şekilde artması yerine, gerçeğe daha uygun olarak basamaklı şekilde artması durumunda deniz etkisinin miktarını araştırmak amacıyla Şekil 12'deki (Karşılaştırma 3) model tepkileri kullanılmıştır. Diğer karşılaştırmalardan elde edilen sonuçlardan farklı olarak Şekil 12b'deki modelde derinliğin basamaklı olarak artması denize yakın istasyonlarda **B**-kutuplaşması özdirenç eğrilerinde bir dalgalanmaya neden olmuştur. Denize yakın istasyonlarda **B**-kutuplaşması özdirenç eğrileri, yaklaşık 2 saniye ve 100 saniye periyot aralığında asıl değerine yaklaşıma eğilimi göstermiş fakat periyot arttıkça tekrar uzaklaşmış daha sonra tekrar asıl değerine dönme eğilimi göstermiştir. Model 3'de denize yakın istasyondan elde edilen **B**-kutuplaşması özdirenç eğrisinin 1, 10, 100 ve 1000 saniye periyotlarında maruz kaldığı negatif deniz etkisinin miktarı sırasıyla -35, -78, -80 ve -60 Ω -m olarak hesaplanmışken, Model 6'da denize yakın istasyondan elde edilen **B**-kutuplaşması özdirenç eğrisinin aynı periyotlarda maruz kaldığı negatif deniz etkisi sırasıyla -36, -45, -50 ve -48 Ω -m olarak hesaplanmıştır. Buradan deniz derinliğinin basamaklı olarak artması durumunda denize yakın istasyonda periyot arttıkça genel olarak eğriler arasındaki farkın azalmış olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Denize uzak istasyon özdirenç eğrileri arasındaki fark ise, derinliğin basamaklı olması durumunda uzun periyotlarda azalma eğilimi göstermiştir. Model 3'de denize uzak istasyondan elde edilen özdirenç eğrileri arasındaki fark 10000 saniye periyotunda +105 Ω -m iken Model 6'da uzak istasyondan elde edilen özdirenç eğrileri arasındaki fark aynı periyotta +94 Ω -m olarak hesaplanmıştır.

Basamaklı derinlik parametresine ek olarak çalışılan bölgenin tektonik yapısına daha yakın bir model oluşturmak için Kuzey Anadolu Fayı'nın kuzey kolunu temsil eden bir fay eklenmiş Model 6 ve fayın bulunmadığı Model 7 Şekil 13'te (Karşılaştırma 4) gösterilmektedir. Fayların, fay doğrultuları boyunca, sağında ve solunda çatlaklar bulunmaktadır. Bu çatlaklara zamanla dolan meteorik sular, fayın yaklaşık 1 km çapındaki özdirenç değerlerinin düşmesine neden olurlar (Ritter vd., 2005). Buna karşın, Model 7'de, fay kalınlığının oluşturduğu deniz etkisini daha iyi görebilmek için fay kalınlığı 1 km yerine 3 km olarak alınmıştır. Model 7'de denize uzak istasyondan elde edilen **B**-kutuplaşması özdirenç eğrisi Model 6'da denize uzak istasyondan elde edilen **B**-kutuplaşması



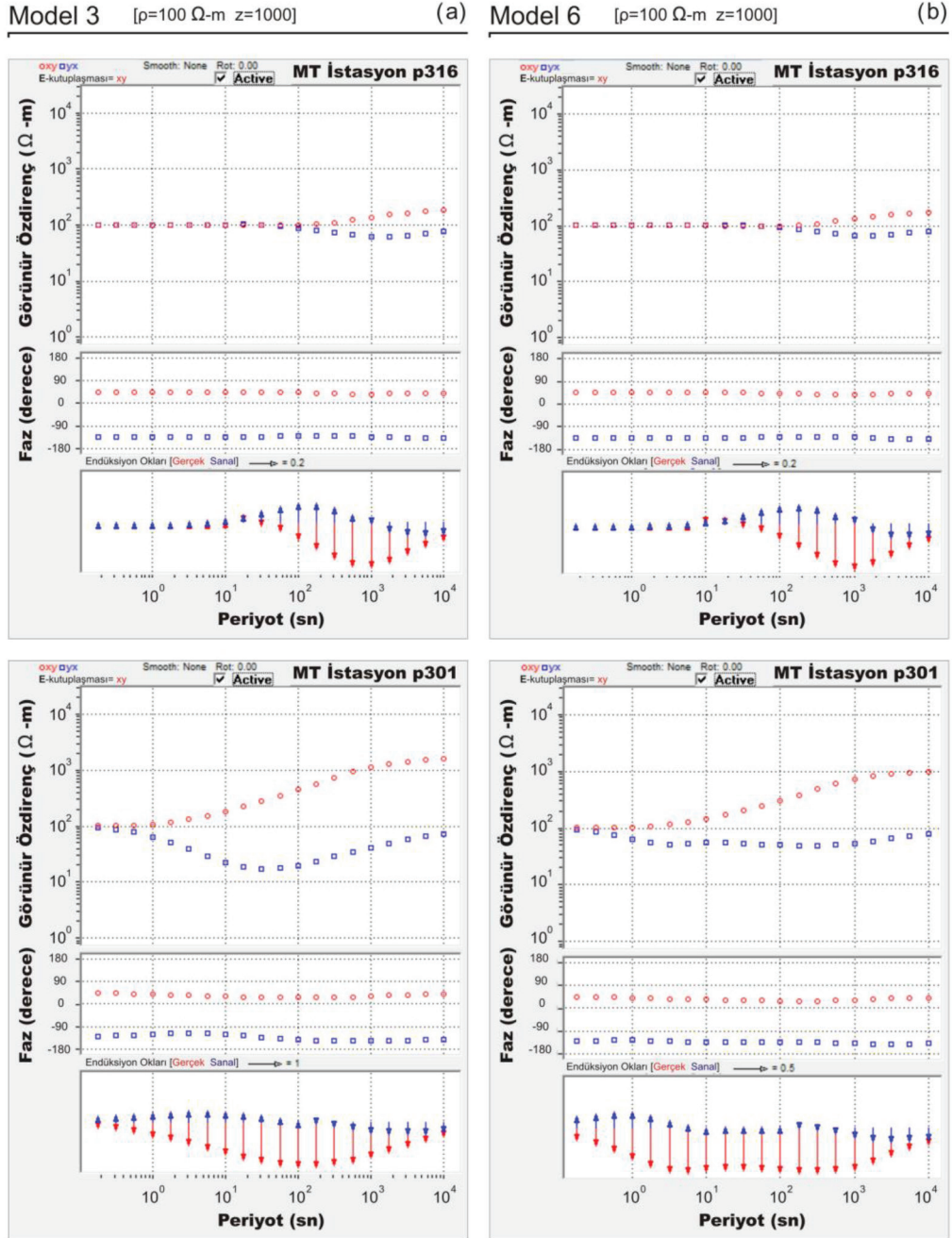
Şekil 11. Karşılaştırma 2. Model tepkileri (Özdirenç farklılığı olduğu durumdaki model tepkilerinin karşılaştırılması gösterilmektedir).

Figure 11. Comparison 2. Model responses (The comparison between responses of models which have different resistivity contrast).

özdirenç eğrisine göre daha kısa periyotlardan başlayan bir deniz etkisine maruz kalmaktadır. Yaklaşık 2 saniye ve 1000 saniye periyot aralığında fayın bulunduğu durumda **B**-kutuplaşması özdirenç eğrisi negatif yönde artan bir bozulmaya maruz kalmıştır. Bu durumda eğriler arası açıklık söz konusu periyot aralığında artmıştır. Denize yakın istasyondan elde edilen endüksiyon okları incelendiğinde sanal endüksiyon oklarının yönlerinde bir farklılık görülmektedir. Ancak uzak istasyon verilerinden elde edilen sanal endüksiyon oklarında belirgin bir farklılık görülmemektedir. Denize uzak istasyondan elde edilen gerçek endüksiyon oklarının fayın bulunmadığı durumda yaklaşık 10 saniye periyotundan itibaren büyüklük olarak yüksek

değerlere doğru artmaya başladığı görülmekteyken fayın bulunduğu durumda gerçek endüksiyon oklarının büyüklüklerinin arttığı bu periyot daha kısa periyotlara doğru kaymıştır.

Son olarak Şekil 14'teki karşılaştırmada (Karşılaştırma 5) homojen model ve Düzce bölgesinin tektonik özellikleri temel alınarak oluşturulmuş model tepkileri gösterilmektedir. Modeller üzerindeki MT İstasyon p303 kıyı şeridinde 3.5 km uzaklığında, MT İstasyon p316 istasyonu kıyıya 46.5 km uzaklığındadır. Karadeniz kıyı şeridi basit biçimde eklendiğinden dolayı, kıyı şeridinde bir miktar daha uzak istasyonların MT tepkileri karşılaştırılmıştır. Denizin bulunmadığı durumda özdirenç eğrileri üzerinde bozulma görül-

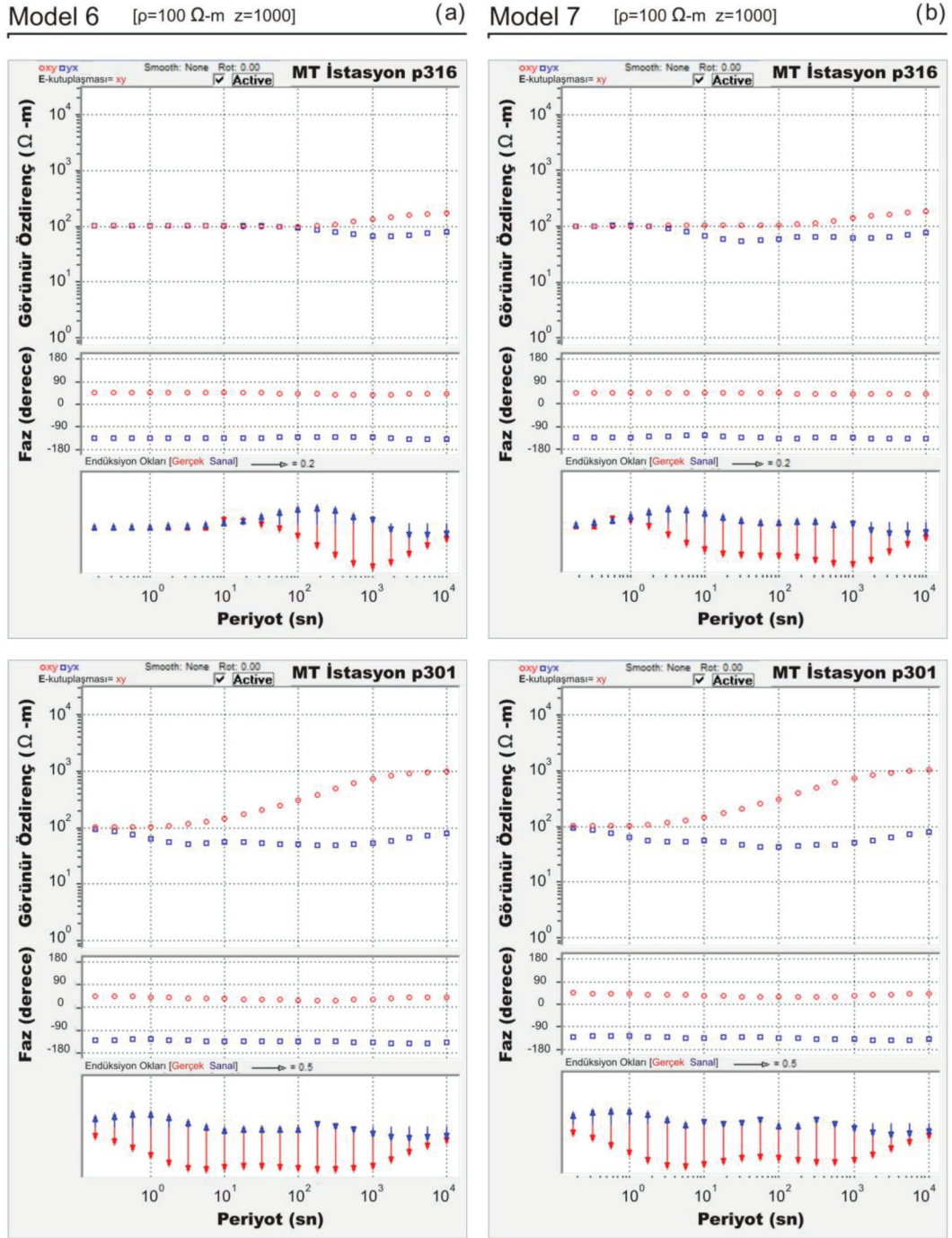


Şekil 12. Karşılaştırma 3. Model tepkileri (Deniz derinliğinin basamaklı olduğu durumda model tepkilerinin karşılaştırılması gösterilmektedir. Model 6'da deniz derinliği basamaklı olacak şekilde tasarlanmışken Model 3'te deniz derinliği keskin olacak şekilde tasarlanmıştır).

Figure 12. Comparison 3. Model responses (The comparison is between responses of models for which one has steps on the sea floor, while the other one has no steps. Model 6 was designed with steps on the sea floor, but Model 3 was not designed with steps on the sea floor).

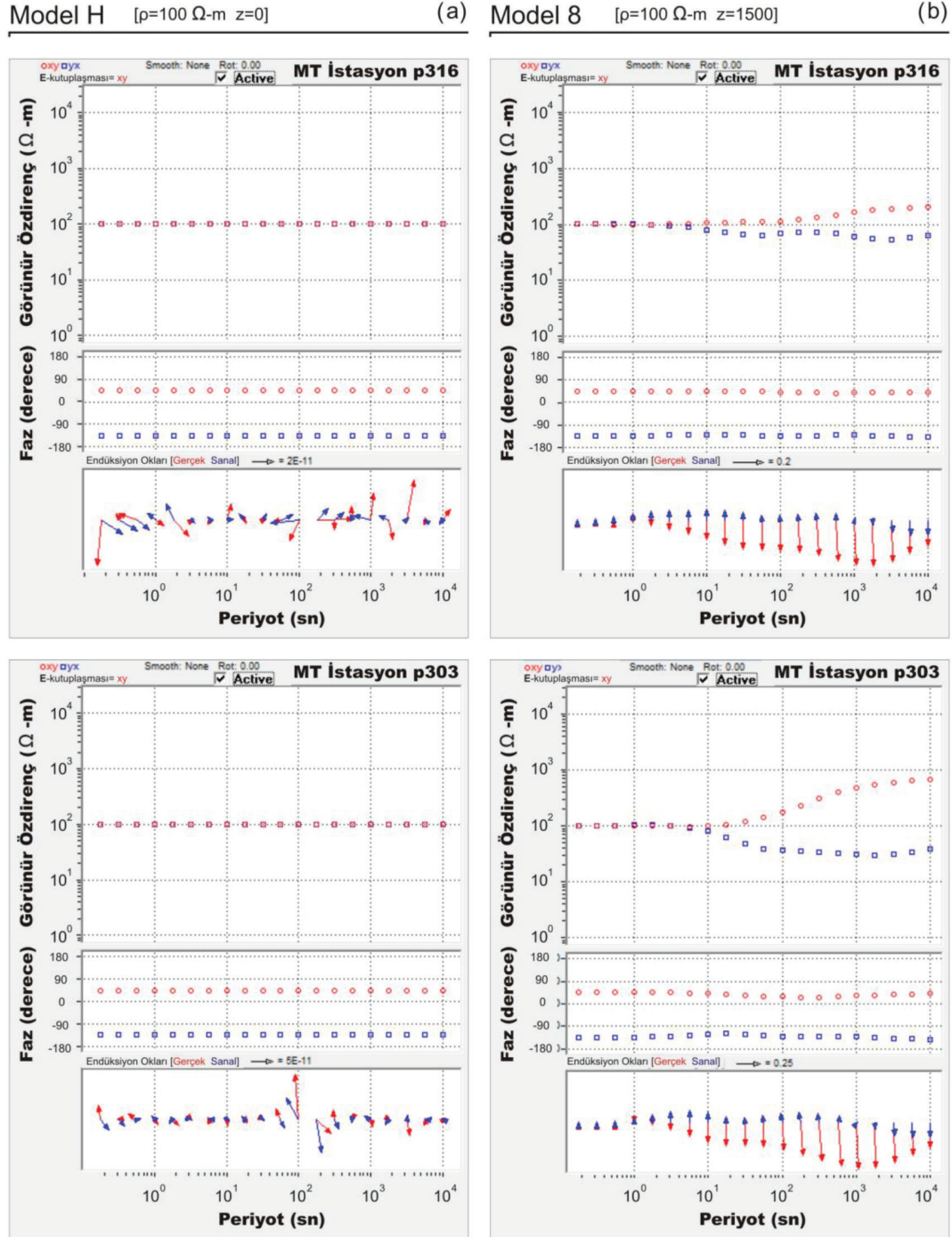
mezken denizin, jeolojik ve tektonik birimlerin bulunması nedeniyle öz direnç eğrilerinde, endüksiyon oklarında ve faz eğrilerinde söz konusu parametrelerin varlığından dolayı farklılık görülmektedir. Tüm bu

parametrelerin tek bir modelde toplandığı durumda elektrik öz direnç eğrileri, endüksiyon okları ve faz eğrileri üzerindeki deniz etkisinin miktarı net bir şekilde görülmektedir.



Şekil 13. Karşılaştırma 4. Model tepkileri (Fay parametresinin etkisinin karşılaştırılması gösterilmektedir. Fay öz direnci $5 \Omega\text{-m}$ olarak atanmıştır. Fay kalınlığı ve fay derinliği sırasıyla 3 km ve 19 km olarak tasarlanmıştır. Model 6'da fay parametresi bulunmazken Model 7'de fay parametresi bulunmaktadır. İki modelde de deniz derinliği basamaklı olacak şekilde tasarlanmıştır).

Figure 13. Comparison 4. Model responses (The comparison is between responses of models for which one has a fault, while the other one does not. The resistivity of the fault is $5 \Omega\text{-m}$. The thickness and the depth of the fault is 3 km and 19 km, respectively. Model 7 was designed with the fault while model 6 was not designed with a fault. Both of the models were designed with steps on the sea floor).



Şekil 14. Karşılaştırma 5. Model tepkileri (Homojen model ve bölgenin jeolojik ve tektonik özelliklerinin dikkate alınarak oluşturulan modelin karşılaştırılması gösterilmektedir. Model 8’de deniz derinliği basamaklı ve 1500 m’dir. Bununla birlikte $5 \Omega\text{-m}$ öz dirençli ve 1 km kalınlıklı bir sediman tabakası ve 19 km derinlikli ve 65° eğimli bir fay bulunmaktadır. Ayrıca Model 8’de Karadeniz kıyı şeridi de basit bir biçimde eklenmiştir. p303 MT istasyonu kıyı şeridine 3.5 km uzaklığında, p316 MT istasyonu kıyıya 46.5 km uzaklığındadır).

Figure 14. Comparison 5. Model responses (The comparison is between responses of the models for which one is homogeneous and the other one has geologic and tectonic features. There are steps on the sea floor. There is also sediment with a resistivity of $5 \Omega\text{-m}$ and a fault with thickness, depth and slope of 1 km, 19 km and 65° , respectively. Additionally Model 8 was designed with a simplified coastline of the Black Sea. The distances of the stations p303 and p316 from the coastline are 3.5 km and 46.5 km, respectively).

SONUÇLAR

Bu çalışmada, Kuzey Anadolu Fayı'nın batı kısmında manyetotellürik veri üzerindeki deniz etkisi kuramsal olarak araştırılmıştır. Bunun için Düzce bölgesine karşılık gelen alan temel alınarak ve çeşitli kuramsal modeller oluşturularak düz çözüm denemeleri yapılmıştır. Modellerden, özdirenç eğrileri, endüksiyon okları ve faz eğrileri elde edilmiş ve belirli periyotlarda çizilerek karşılaştırılmak suretiyle Karadeniz'den kaynaklanabilecek olası deniz etkisinin miktarı araştırılmıştır. Deniz-kara sınırına yakın olan istasyonların uzak olan istasyonlara göre belirli periyotlarda daha çok deniz etkisine maruz kaldığı görülmektedir. Denize yakın istasyonlarda deniz etkisi kısa periyotlardan itibaren baskın olmaya başlarken denize uzak istasyonlarda deniz etkisinin başlangıcı daha uzun periyotlardadır. Toplanan verilerin, deniz derinliğinin artmasına ve deniz-kara arasındaki özdirenç farklılığının artmasına bağlı olarak değişen bir deniz etkisine, denize uzak ve denize yakın istasyonlarda istasyonların deniz-kara sınırına uzaklığı oranında maruz kaldığı görülmektedir. Deniz etkisini, özdirenç farklılığı parametresinin deniz derinliği parametresine nazaran daha fazla kontrol ettiği görülmektedir. Bu durum sığ denizlerde bile özdirenç farklılığı yüksek ise toplanan verilerin deniz etkisine maruz kalacağını göstermektedir. Tüm modellerde incelenen periyot aralığında **E**-kutuplaşması özdirenç eğrisi asıl değerine dönme eğilimi göstermemiştir. Özdirenç farklılığı ve deniz derinliği arttıkça **E**-kutuplaşması özdirenç eğrisi asıl değerinden uzaklaşmıştır. Buna karşın **B**-kutuplaşması özdirenç eğrisi uzun periyotlarda asıl değerine dönme eğilimi göstermiştir. Endüksiyon okları ise, deniz etkisinin bulunduğu periyotta düşey manyetik alan arttığından dolayı büyüklük olarak yüksek değerler ile görülmüştür. Yakın istasyonlarda endüksiyon okları üzerindeki bu etki geniş bir periyot aralığında görülmüşken uzak istasyonlarda belirli bir periyot aralığında görülmüştür. Bu periyot aralığı deniz derinliği arttıkça daha uzun periyotlara kayma eğilimi göstermiştir. Özdirenç farklılığının artması durumunda ise, uzak istasyonda endüksiyon okları üzerindeki etkinin değişmediği görülmüştür. Tüm modellerde gerçek endüksiyon okları (kırmızı oklar) deniz etkisinin kendini gösterdiği periyotta yön değiştirmişlerdir. Bu periyotta **E**-kutuplaşması özdirenç eğrisi ve **B**-kutuplaşması özdirenç eğrisi arasındaki fark artmaya başlamıştır. Sanal endüksiyon okları (mavi oklar) ise **B**-kutuplaşması özdirenç eğrisinin dalgalanma (eğrinin artması azalması) eğilimi göster-

diği periyotlarda yön değiştirme eğilimi göstermiştir. Tüm bu sonuçlar MT istasyonun denizden 46.5 km uzaklıkta olsa bile belirli periyotlarda deniz etkisine maruz kaldığını gösteriyor. Denize daha yakın istasyonlar daha kısa periyotlarda deniz etkisine maruz kalmışlardır. Bu nedenle Düzce bölgesinde toplanan ya da ileride toplanacak olan MT verilerinin doğru bir şekilde değerlendirilebilmesi için veriler üzerindeki deniz etkisinin giderilmesi gerekmektedir. MT tepkisi üzerindeki deniz etkisini giderebilmek için deniz etkisinin miktarı birçok düz çözüm modellemesi yapılarak tespit edilir. Deniz etkisinin miktarı belirlendikten sonra, ters çözüm aşamasında denizin modelde sabitlenmesi gereklidir.

KATKI BELİRTME

Yazarlar, çalışmanın hazırlanması aşamasında teknik ve program desteklerinden dolayı Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü'ne teşekkür ederler. Ayrıca yayını değerlendirip katkı sağlayan hakemlere de teşekkür ederler. Bu çalışma Sakarya Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP Proje No: 20145001044) tarafından desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

- Cagniard, L., 1953. Basic theory of the magnetotelluric method in geophysical prospecting. *Geophysics*, 18 (3), 605-635.
- Constable, S., Key, K. and Lewis, L., 2009. Mapping offshore sedimentary structure using electromagnetic methods and terrain effects in marine magnetotelluric data. *Geophysical Journal International*, 176 (2), 431-442.
- Emre, Ö., Duman, T.Y., Özalp, S., Elmacı, H., Olgun, Ş. ve Şaroğlu, F., 2013. 1/1.125.000 Ölçekli Türkiye Diri Fay Haritası, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Özel Yayınlar Serisi-, Ankara, Türkiye.
- Haak, V. and Hutton, V. R. S., 1986. Electrical resistivity in continental lower crust. In *The Nature of the Lower Continental Crust*, eds. J. B. Dawson, D. A. Carswell, J. Hall, and K. H. Wedepohl. Oxford: Blackwell Scientific Publications. Geological Society Special Publication, 24, 35-49.
- Han, N., Nam, M. J., Kim, H. J., Lee, T. J., Song, Y. and Suh, J. H., 2009. Three-dimensional inversion of magnetotelluric data including

- sea effects obtained in Pohang, Korea. *Journal of Applied Geophysics*, 68 (4), 533-545.
- Jiracek, G. R., Haak, V. and Olsen, K. H., 1995. Practical magnetotellurics in a continental rift environment. Elsevier, 103-129,
- Jones, A. G., 1983. The problem of current channeling: A critical review. *Geophysical Surveys*, 6, 79-122.
- Kaya, T., Kasaya, T., Tank, S. B., Ogawa, Y., Tunçer, M. K., Oshiman, N., Honkura, Y. and Matsushima, M., 2013. Electrical characterization of the North Anatolian Fault Zone underneath the Marmara Sea, Turkey by ocean bottom magnetotellurics. *Geophysical Journal International*, 193 (2), 664-677.
- Key, K. and Constable, S., 2011. Coast effect distortion of marine magnetotelluric data: Insights from a pilot study offshore northeastern Japan. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 184 (3-4), 194-207.
- Konca, A. O., Leprince, S., Avouac, J. and Helmberger, D. V., 2010. Rupture Process of the 1999 Mw 7.1 Duzce Earthquake from Joint Analysis of SPOT, GPS, InSAR, Strong-Motion, and Teleseismic Data: A Supershear Rupture with Variable Rupture Velocity. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 100 (1), 267-288.
- Mackie, R. L., Madden, T. R. and Wannamaker, P. E., 1993. Three-dimensional magnetotelluric modeling using difference equations-Theory and comparisons to integral equation solutions. *Geophysics*, 58 (2), 215-226.
- Maxwell, J. C., 1865. A dynamical theory of the electromagnetic field. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 155, 459-512.
- Nam, M. J., Kim, H. J., Song, Y., Lee, T. J. and Suh, J. H., 2008. Three dimensional topographic corrections of magnetotelluric data. *Geophysical Journal International*, 174 (2), 464-474.
- Parkinson, W. D., 1959. Directions of Rapid Geomagnetic Fluctuations. *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society*, 2 (1), 1-14.
- Parkinson, W., 1962. The influence of continents and oceans on geomagnetic variations. *Geophysical Journal of The Royal Astronomical Society*, 6, 441-449.
- Peng, Z. and Ben-Zion, Y., 2004. Systematic analysis of crustal anisotropy along the Karadere-Düzce branch of the North Anatolian fault. *Geophysical Journal International*, 159 (1), 253-274.
- Pous, J., Heise, W., Schnegg, P., Munoz, G., Marti, J. and Soriano, C., 2002. Magnetotelluric study of the Las Canadas caldera (Tenerife, Canary Islands): structural and hydrogeological implications. *Earth and Planetary Science Letters*, 204, 249-263.
- Ranganayaki, R. P. and Madden, T. R., 1980. Generalized thin sheet analysis in magnetotellurics, an extension of Price's analysis. *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society*, 60 (3), 445-457.
- Rikitake, T., 1948. Notes on the electromagnetic induction within the Earth. *Earthquake Research Institute*, 24, 1-9.
- Rikitake, T., 1959. Anomaly of geomagnetic variations in Japan. *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society*, 2 (4), 276-287.
- Ritter, O., Hoffmann-Rothe, A., Bedrosian, P. A., Weckmann, U. and Haak, V., 2005. Electrical conductivity images of active and fossil fault zones. *Geological Society, London, Special Publications*, 245 (1), 165-186.
- Robinson, A., Spadini, G., Cloetingh, S. and Rudat, J., 1995. Stratigraphic evolution of the Black Sea: inferences from basin modelling. *Marine and Petroleum Geology*, 12 (8), 821-835.
- Santos, F. A. M., Nolasco, M., Almeida, E. P., Pous, J. and Mendes-Victor, L. A., 2001. Coast effects on magnetic and magnetotelluric transfer functions and their correction: application to MT soundings carried out in SW Iberia. *Earth and Planetary Science Letters*, 186 (2), 283-295.
- Santos, F. A. M., Pous, J., Almeida, E. P., Queralt, P., Marcuello, A., Matias, H. and Mendes-Victor, L. A., 1999. Magnetotelluric survey of the electrical conductivity of the crust across the Ossa Morena and South Portuguese Zone suture. *Tectonophysics*, 313, 449-462.
- Santos, F. A. M., Trota, A., Soares, A., Luzio, R., Lourenço, N., Matos, L., Almeida, E., Gaspar, J. L. and Miranda, J. M., 2006. An audio-mag-

- netotelluric investigation in Terceira Island. *Journal of Applied Geophysics*, 59, 314-323.
- Simpson, F. and Bahr, K., 2005. *Practical Magnetotellurics*. Cambridge University Press. Cambridge.
- Singh, U. K., Kant, Y. and Singh, R. P., 1995. Effect of coast on magnetotelluric measurements in India. *Annali Di Geofisica*, 38 (3-4), 331-335.
- Tank, B., 2010. Armutlu Yarımadası manyetotellürik verisindeki üç boyutlu deniz etkisinin incelenmesi. *İstanbul Yerbilimleri Dergisi*, 23 (2), 65-72.
- Tikhonov, A. N., 1950. On determining electrical characteristics of the deep layers of the Earth's Crust. *Doklady Akademii Nauk*, 73 (2), 295-297.
- Vozoff, K., 1972. The magnetotelluric method in the exploration of sedimentary basins. *Geophysics*, 37 (1), 98-141.
- Wessel, P. and Smith, W. H. F., 1995. New version of the generic mapping tools released, *EOS* 76, 329.
- Wiese, H., 1962. Geomagnetisch Tiefentelluric Teil II: die Streichrichtung der Untergrundstrukturen des elektrischen Widerstandes, erschlossen aus geomagnetischen Variationen. *Geofisica pura e applicata*, 52, 83-103.
- Worzewski, T., Jegen, M., Kopp, H., Brasse, H. and Castillo, W. T., 2010. Magnetotelluric image of the fluid cycle in the Costa Rican subduction zone. *Nature Geoscience*, 4, 108-111.
- Yang, J., Min, D.-J. and Yoo, H.-S., 2010. Sea effect correction in magnetotelluric (MT) data and its application to MT soundings carried out in Jeju Island, Korea. *Geophysical Journal International*, 182 (2), 727-740.

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 yayım 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 (gerekliyorsa)
- Kaynaklar
- Ekler (gerekliyorsa)
- Çizelgeler

- (1) 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 puntoyla (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)’dir”).

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

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

Kapak Sayfası

Yazıdan ayrı olarak sunulacak kapak sayfasında aşağıdaki bilgiler yer almalıdır.

- a. Yazının başlığı
- b. Yazar(lar)ın ad(lar)ı (ad ve soyadı kısaltılmadan)
- c. Tüm yazarların açık posta ve e-posta adresleri (Başvurulacak Yazar belirtilerek) 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’i izlemelidir.

Anahtar Kelimeler

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

Kaynaklar

Gerek metinde, gerekse şekil ve çizelge açıklamalarında atıfta bulunulan tüm kaynaklar, metnin sonunda “KAYNAKLAR” başlığı altında listelenmelidir. Tek veya iki yazarlı makalelerde yazarlara atıfta bulunulmalıdır (örneğin; Barka ve Cadinsky-Cade, 1988; Hudson, 1997). İki veya 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 arasında da virgöl 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 dolaylı olarak alınıyorsa, ulaşılamayan bu kaynak alıntı yapılan diğer kaynakla birlikte aşağıda belirtilen şekilde çapraz referans olarak verilmelidir: “.....Gamble (1971; Franklin ve Chandra, 1972). Sözlü ve yazılı görüşmelere de, yukarıda belirtilen örneklere benzer şekilde, metin içinde atıfta bulunulmalı ve ayrıca Kaynaklar dizininde de yer verilmelidir (örneğin; Gerçek (2001)).

Atıfta bulunulan kaynakların “KAYNAKLAR” bölümünde sunulmasına ilişkin örnekler

(a) Dergiler

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

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

(b) Bildiri Tam Metinleri ve Bildiri Özleri

Bildiri tam metinleri:

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

Bildiri özlere:

Bouchon, M., Toksöz, M.N., Karabulut, H., Boun, M.P., Diczich, 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 bildirimler:

Aydan, Ö., Sezaki, M., and Yarar, 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) Yayınlanmış 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 kayalarından 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 dayanarak 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*10-3). Bölme işareti olarak yatay çizgi yerine “/” işareti kullanılmalıdır. Kimyasal formüllerde iyonların gösterilmesi amacıyla Ca⁺⁺ ve CO₃⁻ yerine Ca⁺² ve CO₃⁻² tercih edilmelidir. Metinde eşitliklere “eşitlik (1)” şeklinde atıfta bulunulmalıdır. Gerekliyse, bilgisayar programı listeleri de net ve okunur şekilde ekte verilmelidir.

Çizelgeler

Çizelgeler, başlıklarıyla birlikte (çizelge başlıkları ayrı bir sayfada liste halinde verilmemelidir), derginin sayfalarındaki baskı alanını (15.8 cm x 22.5 cm) aşmayacak şekilde hazırlanmalı, metnin sonunda her bir çizelge ayrı birer sayfada bulunacak şekilde ve birbirini izleyen sıra numaralarıyla verilmelidir. Çizelgelerin üst kısmında hem Türkçe, hem de İngilizce başlıkları bulunmalıdır. Makalenin Türkçe yazılması halinde İngilizce başlık italik harflerle Türkçe başlığın altında yer almalı, İngilizce makalelerde ise, italik yazılmış Türkçe başlık İngilizce başlıktan sonra verilmelidir. Çizelgeler, “Çizelge 1” vb. şeklinde sunulmalıdır. Metinde çizelgelere Çizelge 1 veya Çizelge 1 ve 2 (eğer birden fazla sayıda çizelgeye atıfta bulunulacaksa) şeklinde değinilmelidir. Çizelgeler, metinde kullanılan karakterlerden daha küçük (10 veya 11 punto) karakterle yazılmalı ve derginin tek (7.3 cm-genişlik) veya çift (15.8 cm-genişlik) kolonuna sığacak şekilde düzenlenmelidir.

Çizelgelerde düşey çizgiler kullanılmamalı, yatay çizgiler ise sadece çizelgenin alt ve üstünde, ayrıca çizelgedeki başlıklar ile bunların altında listelenen rakamları ayırmak için kullanılmalıdır (Bunun için derginin önceki sayılarına bakılması önerilir). Çizelgelerde makalenin diğer kısımlarında verilen bilgi veya sonuçların (örneğin grafikler vb.) tekrar verilmemesine özen gösterilmelidir. Her çizelge ayrı sayfalarda olacak şekilde metnin sonunda (Kaynaklar dizininden sonra) sunulmalıdır. Çizelgelerdeki kısaltma ve simgeler daha küçük karakterlerle çizelgelerin altında verilmelidir (örneğin; sc: tek eksenli sıkışma dayanımı; Il: illit vd.).

Şekiller

Çizim, grafik ve fotoğraf gibi tüm şekiller “Şekil” başlığı altında ve metin içinde anıldıkları sırayla numaralandırılarak verilmelidir. Şekillerin her biri JPG olarak hazırlanmalı 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 yerelmalıdır. Fotoğraflar, çizimler veya bunların birlikteliğinden oluşan şekiller (a), (b) vb. gibi gruplar halinde verilebilir. Bu tür sunumlarda (örneğin; Şekil 5a ve 5b) a, b, c vb. gibi tek bir şekle ait çizimler veya fotoğraflar ayrı sayfalarda olması yerine, gruplandırılarak aynı sayfada sunulmalıdır. Şekillerde açık gölge ve tonlarından kaçınılmalı, özellikle bilgisayar programlarından elde edilen 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., Dietrich, M., and Aktar, M., 2002. Space and times evaluation of rupture and faulting during the 1999 Gölcük, İzmit (Turkey) earthquake. 1st International Symposium of the Faculty of Mines (İTÜ) on Earth Sciences and Engineering, İTÜ, İstanbul, Abstracts, p.51.

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

Proceedings on CD:

Aydan, Ö., Sezaki, M., and Yarar, 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; Ill: 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