Kıtasal Levha-içi Volkanik Bir Sistemin Elektriksel Yapısı: Karadağ Stratovolkanı, Orta Anadolu Volkanik Bölgesi (Türkiye)

Electrical Structure of a Continental Intraplate Volcanic System: the Karadağ Stratovolcano, Central Anatolian Volcanic Province (Turkey)

Özlem HACIOĞLU *[,1], Ahmet T. BAŞOKUR[2], Ali KOÇYİĞİT [3], Halil İbrahim ARSLAN [2], Naser MEQBEL[4]

[1] *Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Müh. Böl., Trabzon, Türkiye*
[2] *Lemnis Yerbilimleri, Ankara Üniversitesi Teknoloji Geliştirme Bölgesi, Gölbaşı, Ankara, Türkiye*
[3] *Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Jeoloji Müh. Böl., Çankaya, Ankara, Türkiye*
[4] *National Observatory Rua General José Cristino, 77 São Cristóvão, Rio de Janeiro, RJ, Brazil*

E-posta: ozlem.hacioglu@ktu.edu.tr
**Sunumu yapacak yazar*

ÖZ

Karadağ stratovolkanı Orta Anadolu Volkanik Bölgesi'nin sönmüş Kuaterner volkanlarından biridir. Karadağ stratovolkanının altında olası bir hidrotermal sistemin varlığını ve ergime içeren her hangi bir magmatik zonun var olup olmadığını incelemek amacı ile bir manyetotellürik (MT) çalışma yürütülmüştür. Startovolkanın üç-boyutlu elektriksel özdirenç modelini oluşturmak için 124 farklı noktada geniş bant (0.0001-251 s) MT verisi toplanmıştır. Hesaplanan özdirenç modeli Karadağ stratovolkanının altında, üç farklı düşük elektriksel özdirençli belirtiye işaret etmektedir. Bunlar: (i) stratovolkanın krater merkezinin hemen altında yer alan ve eski bir krater gölüne ait sedimanlarla ilişkilendirilen yüzeye yakın düşük özdirençli bir zon, (ii) stratovolkanın doğusunda yer alan ve büyük olasılıkla hidrotermal alterasyonun neden olduğu sığ-düşük özdirençli bir zon ve (iii) üst kabuğa yerleşmiş (2-7 km) silisce zengin kristal-kısmi olarak ergimiş bir magma rezervuarı ile açıklanan, geniş ve derin bir düşük özdirenç zonu şeklindedir. Yüzeyde geniş bir alana yayılan, yüksek özdirence sahip tabaka Karadağ adakitik volkanik kayaçlarının ve piroklastiklerin yüzey dağılımlarıyla uyumludur. Volkanın uçlarında yer alan yüksek özdirençli taban kaya Prekambriyen-Mezozoik yüksek- ve orta-dereceli metamorfik kayaçlarla ilişkilendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: manyetotellürik, elektriksel özdirenç, hidrotermal sistemler, magma rezervuar, Karadağ stratovolkanı

ABSTRACT

Karadağ is one of the dormant Quaternary stratovolcanoes of the Central Anatolian Volcanic Province (Turkey). A magnetotelluric (MT) study was performed in order to describe a possible hydrothermal system and reveal whether any melt-bearing magma body could reside beneath the stratovolcano. We acquired broadband MT data in the period range 0.0001-251 s at 124 locations to obtain a three-dimensional electrical resistivity model of the stratovolcano. The resistivity model brings out three low resistivity anomalies, namely (i) a near surface low resistivity zone directly beneath the crater center interpreted to be lacustrine sediments of an extinct crater lake, (ii) a shallow low resistivity zone of probable hydrothermal alteration in the eastern part of the stratovolcano, and (iii) a deep and large zone of low resistivity attributed to a shallow (2-7 km) seated magma reservoir containing silicic crystal mush within the upper crust beneath the volcanic edifice. A resistive surficial layer is consistent with the distribution of the Karadağ adakitic volcanics and pyroclastics, and a resistive basement on the flanks of the stratovolcano also corresponds to Precambrian to Mesozoic high- and medium-grade metamorphic rocks.

Keywords: magnetotellurics, electrical resistivity, hydrothermal systems, magma reservoir, Karadağ stratovolcano

GİRİŞ

Dünya üzerindeki volkanik merkezlerin büyük çoğunluğu (~%95) yaklaşan (dalma batma zonları) ve uzaklaşan (okyanus ortası sırtları ve kıtasal açılma zonları) levha sınırlarıyla ilişkilendirilmektedir (Decker ve Decker 2005). Ancak, daha az sayıda, tektonik levha sınırlarından daha uzakta ve levhaların içlerinde meydana gelen Kuaterner-Neojen yaşlı volkanizmaya doğu Asya ve Anadolu gibi bazı bölgelerde rastlanmaktadır. Levha sınırlarındaki volkanizma sayıca çok olmalarıyla ilişkili olarak, levha-içlerinde meydana gelen volkanizmaya göre iyi çalışılmış ve anlaşılmıştır. Levha içlerinde meydana gelen volkanizma ve özellikle astenosferden yüzeye ya da üst-kabuksal derinliklere ulaşan magmanın izlediği yol tam olarak anlaşılmamakla birlikte, astenosfer kaynaklı sıcak magma yükselimi ya da dalan bir levhadan yükselen sıvıların neden olduğu mantodaki ergime sürecinin bir sonucu ile ilişkilendirilmiştir (Chen vd 2017; Li vd 2021; Comeau vd 2022).

Manyetotellürik (MT) yöntem yerkabuğu içerisindeki jeotermal rezervuar (örneğin; Başokur vd 2019; Hacıoğlu vd 2020; 2021; Cheng vd 2021), kısmi ergime zonları (örneğin; Unsworth vd 2005; Türkoğlu vd 2008) ve kabuksal akma zonları (örneğin; Unsworth 2010; Hacıoğlu vd 2018) gibi akışkan bölgelerin görüntülenmesinde başarılı bir şekilde uygulanmıştır. Ayrıca, volkanlar üzerinde yürütülen MT çalışmaları ile düşük özdirenç değerleri ile ayırt edilen hidrotermal sistemler ve bu sistemlere ait bileşenler, volkanların güncel durumları ve gelecekteki davranışları da araştırılmıştır (örneğin; Hill vd 2015; Matsushima vd 2020). Bu çalışma kapsamında, Karadağ stratovolkanının üst kabuk yapısını betimleyen elektriksel özdirenç modelini elde etmek amacıyla volkanın üzerinde ve eteklerinde 124 farklı noktada MT verisi toplanmış ve bu veriler üç-boyutlu olarak modellenmiştir.

JEOLOJİ

Orta Anadolu, kuzeyde Ponditler ve güneyde orta Toroslar ile sınırlandırılmış bir bölgede yer alan, Kıbrıs dalma-batma zonuyla ilişkili yay-ardı havzada yer alan orojenik bir platodur. Bölgedeki tektonik yükselmenin etkisi geç Miyosenden beri devam etmekle birlikte, özellikle Kuaterner dönemin başından itibaren genişlemeli tektonik rejim etkisinde çeşitli morfotektonik ve hidrolojik değişimler görülmektedir (örneğin; Koçyiğit, 1984; Melnick vd., 2017; Koçyiğit and Doğan, 2016). Bölgede egemen olan genişlemeli tektonik rejimin sonucu olarak çok sayıda çökme bölgesi oluşmuştur. Bu bölgelerin en önemlilerinden biri, Konya-Niğde grabenidir.

Bu çalışmanın konusu olan Karadağ startovolkanı Orta Anadolu Volkanik Bölgesi'nde Konya-Niğde grabeninde yer almaktadır. Karadağ, Anadolu levhacığı içerisinde yaklaşık olarak 2288 m yüksekliğinde bir volkanik yapıdır. Traziandezit ve andezit-dasit içerikli lavların ve tüf, volkan breşi gibi piroklastikleri oluşturduğu çok sayıda dom, volkan konisi ve kaldera gibi yapıları içermektedir. Volkanik örtünün toplam kalınlığı yaklaşık olarak 1.1 km'dir. Karadağ stratovolkanının oluşumu, kuzeye doğru Anadolu levhacığının altına dalan Afrika levhasının kopması ve bununla ilişkili olarak litosferik mantonun kısmi ergimesi ile birlikte eriyiklerin kabuk ölçeğindeki grabeni sınırlayan faylarca taşınması ile ilşkilendirilmiştir (Çoban vd 2019; 2020).

YÖNTEM

Manyetotellürik yöntemde yapay bir kaynaktan yayılan elektromanyetik (EM) dalgalar yerine, yerin doğal EM alanı kullanılmaktadır ve bununla ilişkili olarak yer içerisinde doğal olarak var olan EM

dalgaların dalga boyları ve yeraltındaki kayaç gruplarının elektriksel iletkenlik özelliklerine de bağlı olarak araştırma derinliği diğer jeo-elektromanyetik yöntemlere göre çok daha derindir (Chave ve Jones 2012). Bu nedenle MT yöntemi çok geniş bir ölçekte çeşitli amaçlarla yaygın olarak kullanılmaktadır.

Geniş bant MT verisinin toplanması her bir ölçüm istasyonunda elektromanyetik alanın iki elektrik bileşeninin (E_x, E_y) ve üç manyetik bileşeninin (H_x, H_y,H_z) zamanın bir fonksiyonu olarak kaydedilmesi şeklindedir. Zaman ortamında ölçülen bu alan bileşenleri, farklı örnekleme aralıklarında kaydedilerek zaman serisi verileri elde edilmektedir. Her bir istasyonda, farklı örnekleme aralıklarındaki tüm alan bileşenleri zaman ortamında düzeltilmektedir. Daha sonra ise ölçülen veriler frekans ortamına Fourier dönüşümü ile taşınmaktadır. Frekans ortamında elektrik alan ve manyetik alan bileşenlerinin bir birlerine oranı ise frekansa bağlı karmaşık bir fonksiyon olan MT empedans tensörünü tanımlanmaktadır. Empedans tensörünün genlik ve faz bilgileri yine her bir bileşen ve farklı frekanslar için görünür özdirenç ve empedans faz bilgilerini vermektedir. MT verisine düz- ve ters-çözüm işlemlerinin uygulanması ile de frekans ortamı empedans verisi derinliğin bir fonksiyonu olan yer-elektrik modele dönüştürülmektedir. Bu çalışmada toplanan MT veri ModEM algoritması (Kelbert vd 2014; Egbert ve Kelbert 2012) kullanılarak üç-boyutlu olarak modellenmiş ve ilgili testler yapılmıştır.

SONUÇLAR

Karadağ stratovolkanının üstünde ve eteklerinde 124 farklı noktada toplanan geniş-bant MT verisi kullanılarak geliştirilen üç-boyutlu elektriksel özdirenç modeli, stratovolkanın altında olası bir hidrotermal sisteme, bu sisteme ait bileşenlere ve sığ derinliklerde bulunan magmatik bir rezervuarın varlığına işaret etmektedir.

KAYNAKLAR

Başokur AT, Meqbel N, Hacıoğlu Ö, Arslan H. İ. and Efeçınar T 2019, A hidden caldera revealed from magnetotelluric data in Cappadocia region of central Turkey: *10th Congress of the Balkan Geophysical Society*.

Chave A, Jones A (Eds.) 2012, *The Magnetotelluric Method: Theory and Practice*. Cambridge University Press, Cambridge.

Chen C, Zhao D, Tian Y, Wu S, Hasegawa A, Lei, J, Park JH, Kang IB 2017, Mantle transition zone, stagnant slab and intraplate volcanism in Northeast Asia: *Geophysical Journal International*, **209**, 68-85.

Cheng, Y, Pang Z, Di Q, Chen X, Kong Y 2021, Three-dimensional resistivity structure in the hydrothermal system beneath Ganzi Basin, eastern margin of Tibetan Plateau: *Geothermics* **93**, 102062.

Comeaua MJ, Becken M, Alexander VG, Käufl JS, Kuvshinovb AV 2022, The geophysical signature of a continental intraplate volcanic system: From surface to mantle source: *Earth, Planet. Science Letters*, **578**, 117307.

Çoban H, Karsli O, Caran Ş, Yilmaz K 2019, What processes control the genesis of absorkite to shoshonite-banakite series in an intercontinental setting, as revealed by geochemical and Sr-Nd-Pb isotope data of Karadağ Stratovolcano in Central Anatolia, Turkey: *Lithos*, **324-325**, 609-625.

Çoban H, Karsli O, Caran Ş, Yilmaz K 2020, Sediment-derived melt-related metasomatised mantle wedge as a source of post-subduction Quaternary adakitic porphyries associated with absarokiteshoshonite from the Karadağ stratovolcano (Karaman, Central Anatolia, Turkey): *Journal of Asian Earth Science*, **196**, 104380.

Decker R, Decker B 2005, Volcanoes. WH Freeman & Co, New York.

Egbert G, Kelbert A 2012, Computational recipes for electromagnetic inverse problems. *Geophysical Journal International*, 189, 251-267.

Hacıoğlu Ö, Başokur AT, Tolak-Çiftçi E (2018), Crustal structure of a young collision zone: the Arabia–Eurasia collision in northeasternTurkey investigated by magnetotelluric data: *Earth, Planets and Space*, **70:161**,

Hacıoğlu Ö, Başokur AT, Diner Ç, Meqbel N, Arslan Hİ, Oğuz K 2020, The effect of active extensional tectonics on the structural controls and heat transport mechanism in the Menderes Massif geothermal province: Inferred from three-dimensional electrical resistivity structure of the Kurşunlu geothermal field (Gediz Graben, western Anatolia): *Geothermics*, **85**, 101708.

Hacıoğlu Ö, Başokur AT, Diner Ç 2021, Geothermal potential of the eastern end of the Gediz basin, western Anatolia, Turkey revealed by three-dimensional inversion of magnetotelluric data: *Geothermics*, **91**, 102040.

Hill GJ, Bibby HM, Ogawa Y, Wallin ER, Bennie,SL, Caldwell TG, Keys H, Bertrand EA, Heise W 2015, Structure of the Tongariro Volcanic system: Insights from magnetotelluric imaging. *Earth Planetary Science Letters*, **432**, 115-125.

Kelbert A, Meqbel N, Egbert GD 2014, ModEM: A modular system for inversion of electromagnetic geophysical data: *Compututers and Geoscience,* **66**, 40-53.

Koçyiğit A 1984, Güneybatı Türkiye ve yakın dolayında levha içi yeni tektonik gelişim. Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni, **27**, 1-16.

Koçyiğit A, Doğan U 2016, Strike-slip neotectonic regime and related structures in the Cappadocia region: a case study in the Salanda basin, Central Anatolia, Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences*, **25**, 293-417.

Li Y, Weng A, Xu W, Zou Z, Tang Y, Zhou Z, Li S, Zhang Y, Ventura G 2021, Translithospheric magma plumbing system of intraplate volcanoes as revealed by electrical resistivity imaging. *Geology,* **49**, 1337-1342.

Matsushima N, Utsugi M, Takakura S, Yamasaki T, Hata M, Takeshi H, Uyeshima M 2020, Magmatic–hydrothermal system of Aso Volcano, Japan, inferred from electrical resistivity structures. *Earth, Planets and Space*, **72:57**.

Melnick D, Yıldırım C, Hillemann C, Garcin Y, Çiner A, Perez-Gussinyé M, Strecker MR 2017, Slip along the Sultanhanı Fault in Central Anatolia from deformed Pleistocene shorelines of palaeo-lake Konya and implications for seismic hazards in low-strain regions: *Geophysical Journal International*, **209**, 1431–1454.

Türkoğlu E, Unsworth M, Çağlar İ, Tuncer V, Avşar Ü 2008, Lithospheric structure of the Arabia–Eurasia collision zone in eastern Anatolia: magnetotelluric evidence for widespread weakening by fluids? *Geology*, **36**, 619–622.

Unsworth M, Jones AG, Wei W, Marquis G, Gokarn S, Spratt JE, INDEPTH-MT team 2005, Crustal rheology of the Himalaya and southern Tibet inferred from magnetotelluric data. *Nature*, **438**, 78–81.

Unsworth M 2010, Magnetotelluric studies of active continent–continent collisions. *Surveys in Geophysics*, **31**, 137–161.