

KIRŞEHİR MASİFİ'NİN ISI AKISI VE RADYOJENİK ISI ÜRETİMİNİN JEOLJİK KAYNAKLARI

Uğur AKIN* ve Yahya ÇİFTÇİ**

ÖZ.- Kıta içi mantodan gelen ısı akısı ile radyojenik ısı oluşumu bileşenlerini birbirlerinden ayırmak genel olarak kolay değildir. Yüzey ısı akısı iki bileşenden oluşur. Birincisi, üst kabuktaki radyojenik ısı kaynakları, ikincisi ise üst manto ve alt kabuk kaynaklı ısı akısıdır. Bu çalışmada, Kırşehir Masifi'nin ısı akısı ve radyojenik ısı üretimi ve bunun jeolojik kaynakları araştırılmıştır. İnceleme alanındaki havadan manyetik verilerden Curie noktası derinlikleri hesaplanmış, ortam homojen ve izotrop kabul edilerek jeotermal gradyent değerleri oluşturulmuştur. Daha sonra sahadan alınmış kayaç örneklerinin ısı iletim değerleri kullanılarak bölgenin ısı akısı hesaplanmış ve bu değerler çalışma alanı için 53 mWm^{-2} ile 108 mWm^{-2} değerleri arasında değişim gösterdiği saptanmıştır. Ayrıca, Kırşehir Masifi üzerinde önceden derlenmiş olan havadan spektral gamma-ray verileri kullanılarak radyojenik ısı üretimi haritası oluşturularak çalışma alanının radyojenik ısı üretimi hesaplanmış ve bu değerler $0.62 \mu\text{Wm}^{-3}$ ile $5.68 \mu\text{Wm}^{-3}$ arasında kaldığı saptanmıştır. Isı akısı ve radyojenik ısı üretim haritalarının birlikte değerlendirilmesi sonucunda bölgenin ortalama ısı akısı değerlerinin %60-92'sinin manto kaynaklı, %8-38'sinin ise radyojenik kaynaklı olduğu hesaplanmıştır. Çalışma alanındaki radyojenik ısı üretimi, beklenildiği üzere, genel olarak bölge-deki genç granitoidlerde yüksek anomali değerleri sunmuştur.

Anahtar kelimeler: Kırşehir Masifi, Isı Akısı, Radyojenik Isı Üretimi, Curie Derinliği.

ABSTRACT.- It is not often easy to distinguish the components of the mantle originated heat flow and radiogenic heat generation from each other. Surface heat flow is composed of two components. The first is the radiogenic heat source and the second is the heat flow originated from the upper mantle and the lower crust. In this study, heat flow and the radiogenic heat production of the Kırşehir Massif and its geological sources were investigated. Curie point depths were calculated from aeromagnetic data. Geothermal gradient values were formed by considering the medium as homogenous and isotropic. The heat flow of the region was calculated using the heat transfer values of rock samples collected from field and it was determined that this value had ranged between 53 mWm^{-2} and 108 mWm^{-2} . As a result of the evaluation of heat flow and heat production maps together, it was calculated that 60-92% of the average heat flow values of the region are mantle and 8-38% are radiogenic sourced. The radiogenic heat production in the study area, generally showed high anomaly values in young granitoids as predicted.

Keywords: Kırşehir Massif, heat flow, radiogenic heat production, Curie depth.

GİRİŞ

Yer kabuğunda var olan ısı, manto kökenli ısı ile radyojenik elementlerin bozunmasından oluşur. Radyojenik kaynaklı ısı yer kabuğundaki kısa ve uzun yarı ömürlü izotoplar tarafından oluşturulmaktadır. Kısa yarı ömürlü radyojenik izotoplar (^{26}Al , ^{26}Cl ve ^{60}Fe) yerkürenin ilk dönemlerin

ısı üretiminde etkili olurken uzun ömürlü izotoplar (^{235}U , ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K) yerkürenin ilk dönemlerinden günümüze kadar radyojenik ısı üretiminde yer alırlar (Göktürkler, 2002).

Birch (1947)'e göre, yer kabuğunun üst bölümünde yer alan radyojenik ısı üretimi, radyoaktif elementlerinin oluşturduğu termal enerjinin da-

* MTA Genel Müdürlüğü, Jeofizik Etütleri Dairesi Başkanlığı, 06800 - Balgat-Ankara / Türkiye, akin@mta.gov.tr

** MTA Genel Müdürlüğü, Maden Etüt ve Arama Dairesi Başkanlığı, 06800 - Balgat-Ankara / Türkiye

ğılımı ve büyük tektonik proseslerle ilişkilidir. Turcotte ve Schubert (1982), kıtasal kabuğun termal yapısında radyojenik ısı üretiminin önemli bir faktör olduğunu ortaya koymuşlardır. Isı üretiminde, metamorfizma, magmatizma ve deformasyonlar gibi kabuk proseslerine bağlı sıcaklık değişimlerinin önemli olduğu da değişik çalışmalar ile açıklanmıştır (Bea ve diğerleri, 2003; Andreoli ve diğerleri, 2006; Sandiford ve McLaren, 2006). Ayrıca, Jaupart ve Mareschal (2003), yüzeydeki radyojenik ısı üretimi ile kabuğun derinliklerindeki ısı akısı çalışmalarını ilişkilendirmişlerdir.

Çalışma alanındaki radyojenik ısı üretimi ile diğer unsurların doğru yorumlanabilmesi için öncelikle bölgesel jeolojinin ve bölgesel tektonik unsurların tanıtılması yararlı olacaktır.

BÖLGESEL JEOLJİ

İnceleme alanı, Anadolu Levhası'nın orta kesiminde yer alan Kırşehir Masifi'nin önemli bir bölümünü kapsamaktadır (Şekil 1). Bu masif kuzeyde Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) ve doğuda Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ) transform fay zonları ile sınırlandırılan alanı tanımlamakta olup bu alanda yukarıda belirtilen ana neotektonik yapılar ile ilişkili olarak gelişmiş çok sayıda transform fay yer almaktadır (Şekil 2). Gravite verileri kullanılarak üretilen Türkiye kabuk kalınlığı haritasında Kırşehir Masifi iki adet profille kesilmiştir. Bu profillerden ilki kuzey güney, ikincisi ise doğu batı doğrultuludur. Her iki profilde de Kırşehir Masifi'nin kabuk kalınlığının 35 ila 40 km arasında değiştiği hesaplanmıştır (Arslan ve diğerleri, 2010).

Bu çalışmada jeoloji taban haritası olarak MTA (2002) tarafından yayınlanan 1/500.000 ölçekli Kayseri paftası kullanılmış olup bu harita, çalışmanın amacı doğrultusunda sadeleştirilerek yeniden hazırlanmış ve birimler kökenlerine göre gruplandırılarak sunulmuştur (Şekil 3). İnceleme alanının temeli genel olarak Kambro-Ordovisiyen yaşlı metamorfik şistler, Prekambriyen / Paleo-

zoik yaşlı gnays, şist, amfibolit, vb. metamorfik kayalar ve Permiyen yaşlı mermerlerden kuru- ludur (Şekil 3). Bölgede Üst Kretase - Eosen döneminde değişik bileşimli plütonik faaliyetler oluşmuş olup bunlar genel olarak Geç Kretase-Paleosen yaşlı granitoidler ve siyenitler ile temsil edilirler. Geç Kretase - Paleosen yaşlı volkanitler, bu magmatik provensin son evre ürünleri olarak bölgedeki yerini almıştır. İzmir-Ankara-Erzincan kenet kuşağının şekillenmesi ile ilişkili olarak ofiyolitli karmaşık ve bunun değişik ürünleri de aynı dönemde bölgeye yerleşmiştir (Şekil 3).

STRATİGRAFI

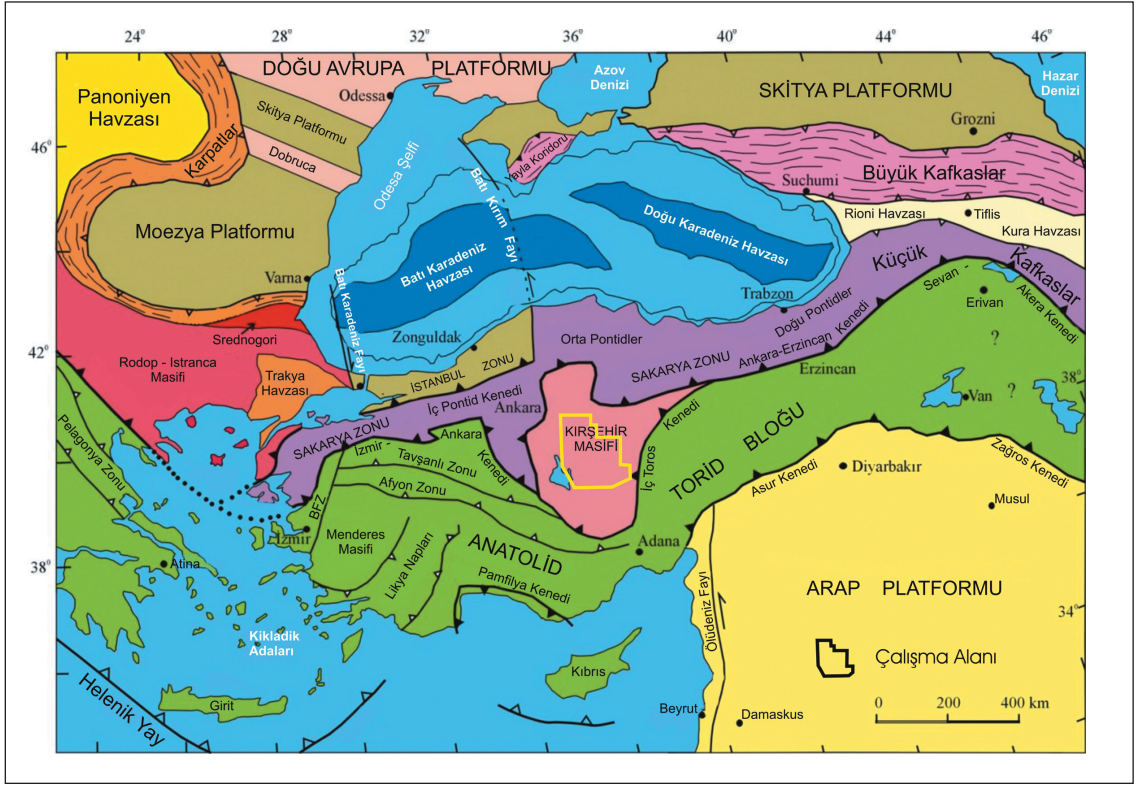
Çalışma alanında temelde metamorfik kayalar yer alır (Şekil 3). Bu temel kayalar üzerine ofiyolitik topluluklar tektonik olarak yerleşmiştir. Magmatik sokulum kayaları ve bunların volkanik üyeleri de temel ve ofiyolitik toplulukları keserek bölgedeki yerlerini almışlardır. Tüm bu metamorfik ve magmatik seriler, Eosen'den itibaren volkanik olarak başlayan, daha sonra kırıntılı olarak devam eden volkano sedimanter ve sedimanter seriler tarafından örtülür (Şekil 4).

Çalışmanın amacına uygun olarak bu alandaki kayaç toplulukları aşağıda kısaca tanıtılmıştır.

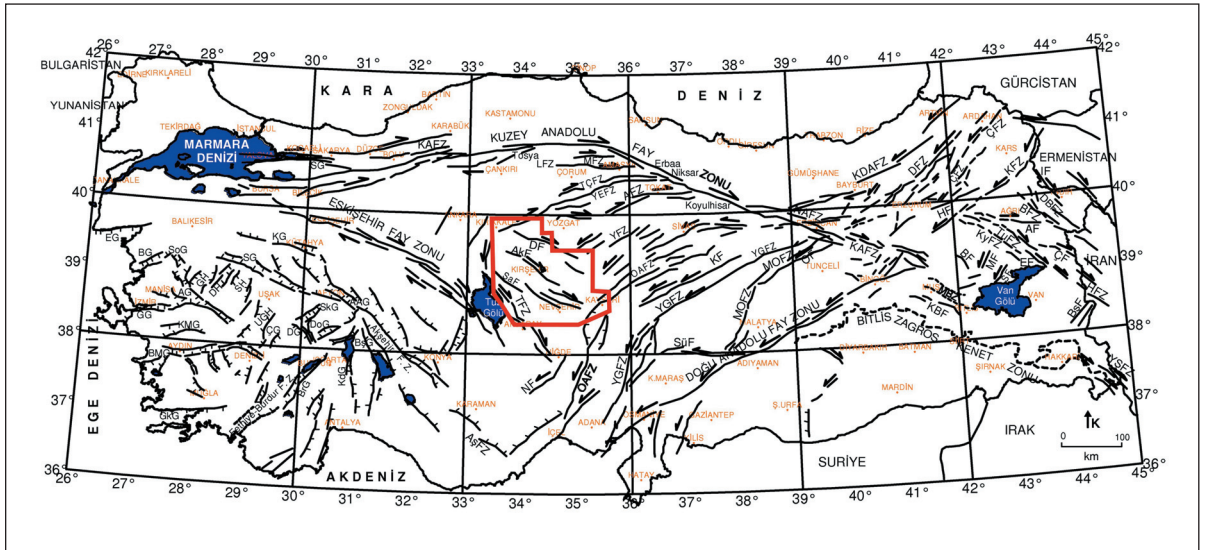
Metamorfik temel kayaları

İnceleme alanının temelini oluşturan metamorfik kayalar farklı mineralojik bileşimlere sahip çok sayıda formasyon ile temsil edilirler. Kambro-Ordovisiyen yaşlı kayalar inceleme alanının KD kesimlerinde ve Nevşehir'in KB kesimlerinde yayılım sunar. Paleozoik temelde ayırtılan en yaşlı birim, Göncüoğlu (1977) tarafından Gümüşler formasyonu olarak adlandırılmıştır (Şekil 4). Bu formasyon başlıca gnays, sillimanitli gnays, mermer, kalkışist, amfibol şist, mikaşist türü litolojilerden oluşmaktadır ve inceleme alanındaki yayılımı doğu-kuzeydoğu kesimlerde daha fazladır (Şekil 3).

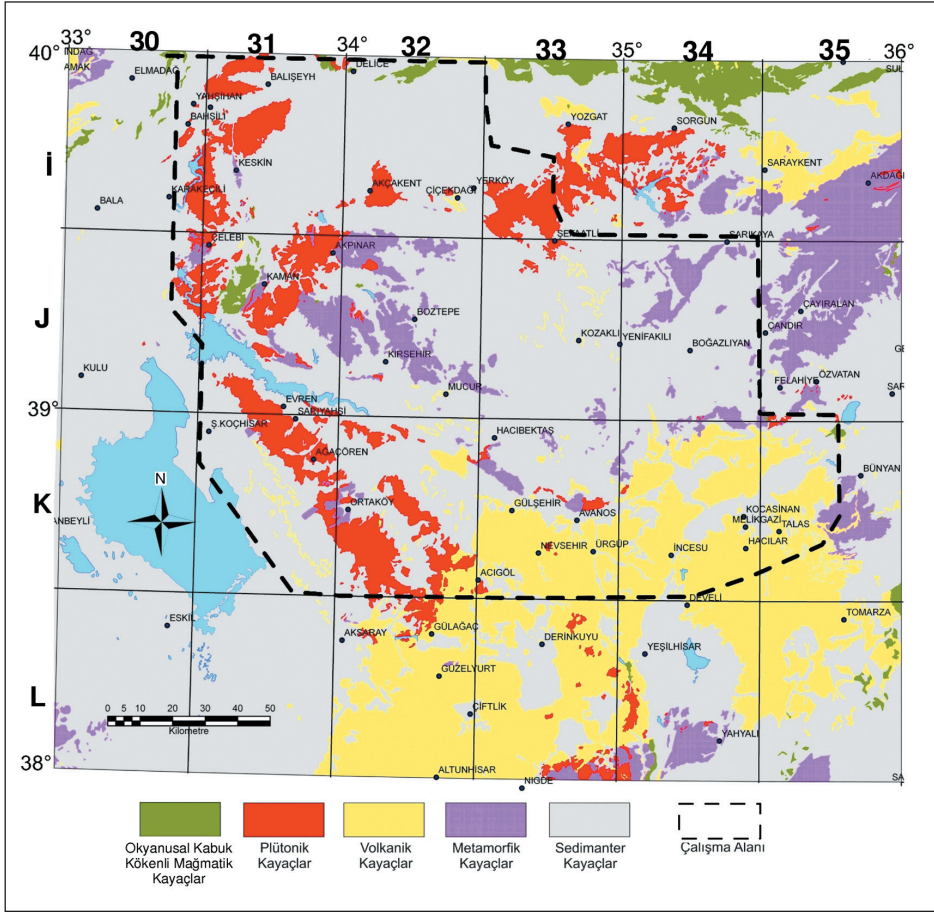
Temelde yer alan Gümüşler formasyonunun üzerine uyumlu olarak gelen Kaleboynu formas-



Şekil 1- Çalışma alanının (sarı poligon) genel tektonik konumu (Okay ve Tüysüz, 1999'dan değiştirilerek).



Şekil 2- Türkiye'nin neotektonik süreksizlikleri Bozkurt (2001) tarafından; Yılmaz ve diğerleri, 2000; Seyitoğlu 1997; Şaroğlu ve diğerleri, 1992; Koçyiğit, 2000; Koçyiğit ve diğerleri, 2000; Bingöl, 1989; Koçyiğit ve Erol, 2001; Bozkurt ve Koçyiğit, 1996; Dirik ve Göncüoğlu, 1996'dan derlenmiştir. Kırmızı poligon çalışma alanının konumunu göstermektedir (Akın ve Çiftçi, 2011'den değiştirilerek).



Şekil 3- Çalışma alanının sadeleştirilmiş jeoloji haritası 1/500.000 ölçekli Kayseri paf-tasından sadeleştirilerek hazırlanmıştır (MTA, 2002).

yonu (Göncüoğlu, 1981) başlıca biyotitli-granatlı gnays, amfibol şist, mermer ve muskovit şist türü litolojilerden oluşur ve Prekambriyen - Paleozo-yik olarak yaşlandırılmaktadır. Bu formasyon in-celeme alanında yüzeyleyen ağırlıklı litolojileri oluşturur ve üç üyeye ayrılmıştır. Bunlar alttan üste doğru Sarıkavak üyesi (biyotitli gnays, mer-mer ve amfibol şist), Mermer üyesi (mermer ve kalkşist) ve Muskovit şist üyesidir (kuvars-muskovit şist, kalkşist, mermer).

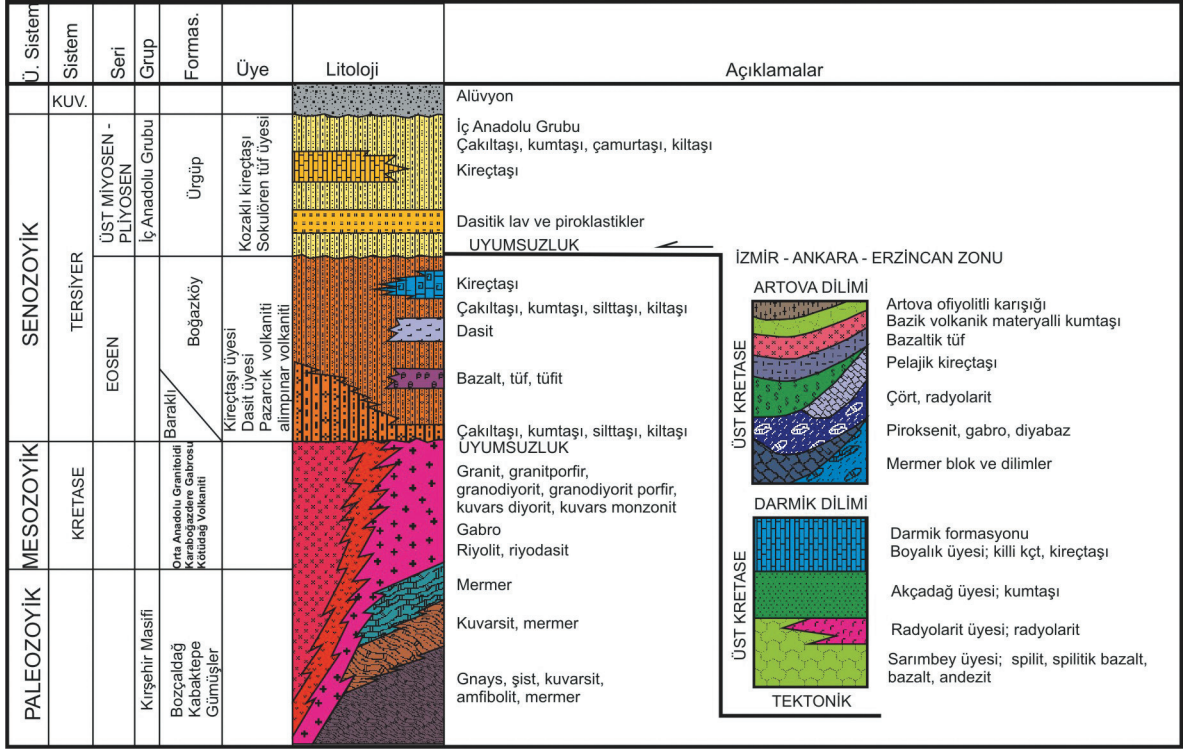
Metamorfik temel kayaçlarında en üstte yer alan istif, genel olarak mermerlerden oluşan ve Bozçaldağ formasyonu olarak (Seymen, 1981a)

adlandırılmıştır ve Permien yaşlıdır. Bu forma-syon Göncüoğlu (1977) tarafından Aşıgediği forma-syonu olarak, Kara (1997) tarafından ise Boz-çaldağ mermerleri adıyla ayırtlanmıştır.

Bu formasyon inceleme alanının orta ve KB kesimlerinde yayılım sunar. Kırşehir KB kesim-lerinde magmatik kayaçlar tarafından kesildiği yerlerde yer yer önemli skarn zonları oluşmuştur (Kara, 1997).

Ofiyolitik karmaşık

İnceleme alanının KB ve KD kesimlerinde iki farklı ofiyolitik seri yüzeylenmektedir. Yozgat ku-



Şekil 4- İnceleme alanının genelleştirilmiş tektono-stratigrafik dikme kesiti (Akçay ve diğerleri, 2008'den sadeleştirilerek).

zeyinde yüzeyleyen ofiyolitler İzmir-Ankara-Erzincan zonu ofiyolitleri olarak bilinmektedir. Bu zonun inceleme alanında kalan kesimindeki ofiyolitler Artova Ofiyolitli Karışığı olarak adlandırılmış olup (Özcan ve diğerleri, 1980) başlıca bazik, ultrabazik, volkanik, metamorfik ve çökel kayaların ayrılmamış dilim ve bloklarını içerir (Şekil 3 ve 4).

İnceleme alanının KB kesimlerinde yayılım gösteren ofiyolitli seri ise Çiçekdağ formasyonu olarak adlandırılmış olup (Kara ve Dönmez, 1990) genel olarak volkanotortul bir topluluk görünümündedir. Bu formasyon, literatürde serpantin ve radyolaritler (Baykal, 1943), Üst Kretase deniz altı volkanik serisi / ofiyolitli seri (Ketin, 1955, 1963), Ankara melanji (Bailey ve McCallien, 1950), Yahşihan formasyonu (Norman, 1972), Ankara karışığı (Seymen, 1982) ve Kasımağa formasyonu (Bilgin ve diğerleri, 1986)

olarak da adlandırılan topluluğa eşdeğerdir (Şekil 3 ve 4). Bu formasyonun taban kesimlerinde izlenen siyah - koyu yeşil renkli gabro ve mikrogabrolar, Bilgin ve diğerleri (1986) tarafından Karaböğazdere gabro üyesi olarak adlandırılmışlardır. Bu birim, bazik intrüzifler (Ketin, 1955; Ayan, 1963), Karakaya Ultramafiti (Seymen, 1982) ve Ortaköy granitoyidi (Atabey ve diğerleri, 1987) ile eşdeğerdedir (Şekil 4).

Orta Anadolu granitoidleri

İnceleme alanında yüzeyleyen granitoidler, bileşimleri ve yerleşim zamanları değişik olmakla birlikte bu üst başlık altında ele alınmışlardır (Dönmez ve diğerleri, 2005a). Önceki çalışmalarda bu topluluğa ait granitoidler Baranadağ masifi (Ayan, 1963), Cefalıkdağ granodiyoriti (Ataman, 1972), Karacaali plütunu (Norman, 1972), Uçkapılı granodiyoriti (Göncüoğlu, 1977), Bara-

nadağ plütunu (Seymen, 1982) ve Ortaköy granitoyidi (Atabey ve diğerleri, 1987) gibi farklı isimler altında çalışılmışlardır.

Orta Anadolu granitoidleri inceleme alanının KB'sinden başlayarak başlıca Kırıkkale dolayında yaklaşık K-G uzanımlı bir topluluk olarak, Yozgat dolayında KD-GB uzanımlı bir topluluk olarak ve Tuz Gölü'nün doğusunda KB-GD uzanımlı bir topluluk olarak yayılırlar. Ayrıca, Kırşehir-Kırıkkale arasında (Kaman dolayı) yine KD-GB uzanımlı bir topluluk göze çarpar (Şekil 3).

1/500.000 ölçekli jeoloji haritasında bu birimler başlıca dört bileşimsel grup ve ayrı yaş konanında yerleşmiş topluluklar olarak haritalanmışlardır. Bu çalışmanın bölgesel yaklaşımına uygun olarak Geç Kretase - Paleosen yerleşim yaşlı granitoidlerin tümü iki ana grup altında tanımlanacaktır (Şekil 3).

Granitoidler.- İnceleme alanında Aksaray doğu kesimlerinde yayılım sunan granitoidler Ortaköy granitoyidi (Atabey, 1989) olarak adlandırılmıştır. Aynı granitoidler Türel ve diğerleri (1993) tarafından Ekecikdağ Granitoyidi olarak adlandırılmıştır. Bu granitoid hem mafik hem de felsik üyeleri, hem derinlik hem de daha sığ yerleşimli üyeleri içinde barındırır. Başlıca gabro, bantlı gabro, diyorit, tonalit, granit, granodiyorit, diyorit-porfir, monzonit, siyenit, monzodiyorit, lökogradit ve granit-porfir üyeleri ayırtlanmıştır (Atabey, 1989). Bu kayaç topluluğu literatürde Baranadağ plütununa (Seymen, 1981a-b) karşılık gelir. Bu plütunun yerleşme soğuma yaşı Ayan (1963) tarafından 54 my, Ataman (1972) tarafından 74 my olarak, Göncüoğlu (1982; 1986) tarafından ise 95 my olarak verilmektedir. Seymen (1981b)'e göre bu plütunun yerleşme yaşı Paleosen'dir.

Kırıkkale doğu ve güneydoğu alanlarında yüzeyleyen granitoidler Kırşehir masifine ait Bozçaldağ formasyonunu ve Santoniyen yaşlı Çiçekdağ formasyonunu sıcak dokanakla keser (Dönmez ve diğerleri, 2005b).

Yozgat güneyindeki granitoid topluluk da çeşitli evre ve fazda sığ yerleşmiş plütun ve stoklar ile onların kenar zonlarında gelişen damar kayaçlarından oluşmaktadır (Akçay ve diğerleri, 2007).

Siyenitler.- 1/100.000 ölçekli Kırşehir J31 ve J32 paftalarının kuzey kesimlerinde yayılım sunan ve Orta Anadolu Granitoidleri ile ardışık ilişkili mağmatik kayaçlar bölgede Buzlukdağ Siyeniti (Kara ve Dönmez, 1990) olarak adlandırılmıştır. Bu topluluk Seymen (1982) tarafından tanımlanan Buzlukdağ plütununa karşılık gelmektedir.

Genel olarak İ31 paftasının KD alanlarında Çelebiuşağı ile Himmetuşağı yerleşimleri arasında yüzeyleyen siyenit, mikrosiyenit, trakit, kuvars siyenit, kuvars mikrosiyenit, kuvars trakit ve alkali siyenit türü litolojilerden oluşur.

Bu kayaçlar Orta Anadolu Granitoidleri ile geçişlidir (Dönmez ve diğerleri, 2005b). Ancak, fonolitlerin granitoidleri, granodiyorit porfirlerin de siyenitleri kestiği belirtilmektedir (Kara ve Dönmez, 1990).

Volkanik seri.- İnceleme alanının kuzey kesimlerinde İzmir - Ankara - Erzincan zonunun güney sınırı boyunca yaklaşık D-B doğrultulu volkanik bir seri yüzeyler (Şekil 3). Bu kesimde yüzeyleyen Üst Kretase yaşlı bu volkanik seri Darmik formasyonu olarak adlandırılmış olup başlıca aglomera, tuf, kumtaşı, pelajik kireçtaşı, bazaltik-andezitik yastık lav, radyolarit ve bunları kesen andezitik, bazaltik ve porfiri dayklar vb. kaya türlerinden oluşan bir volkanoklastik istif niteliğindedir (Akçay ve diğerleri, 2008; şekil 4).

Kırşehir - Kırıkkale arasında yukarıdaki istif ile eş yaşlı litoloji toplulukları Kötüdağ volkaniti (Seymen, 1982) olarak adlandırılmış olup başlıca riyalit, riyodasit, dasit ve latit bileşimli damar ve yüzey kayaçlarından oluşurlar. Bunlar, Orta Anadolu Granitoidlerinin son evre volkanik istiflerdir ve genel olarak bu granitoidlerin kenar zonlarında gelişmişlerdir.

Sedimanter istifler

İnceleme alanında geniş bir yayılıma sahip olan kırıntılı-karbonatlı istifler farklı amaçlarla ayrıntılı olarak haritalanmış ve çok sayıda istif kendi içinde ayrıntılanmış olsa da, bu çalışmada bu karasal-görsel istiflerin tümü "İç Anadolu Grubu" (Akçay ve diğerleri, 2008) adı altında sunulacaktır. İç Anadolu Bölgesi'nde geniş yayılım sunan, kızıl-kahverenkli, katmansız veya az belirgin katmanlı çakıtaşı, kumtaşı, çamurtaşı, jips ve anhidrit ile kireçtaşı ve ignimbrit ara düzeylerinden oluşan Orta Miyosen - Pliyosen yaşlı karasal istifler Akçay ve diğerleri (2008) tarafından İç Anadolu Grubu adı altında toplanarak haritalanmıştır (Şekil 3, Şekil 4). Bu çalışmada bu istifin, Birgili ve diğerleri (1975) tarafından tanımlanan Kızılırmak formasyonu'nun bir bölümüne karşılık geldiği belirtilmektedir. Şekil 4'te sunulan istifin taban dokanağı uyumsuzdur ve genel olarak çakıtaşı - kumtaşı - çamurtaşı - kilitaşı ardalanmasından oluşan ve Ürgüp formasyonu (Pasquare, 1968) olarak adlandırılan istifin alt düzeylerinde dasitik lav ve piroklastlarından oluşan Sokulören Tüf Üyesi (Akçay ve diğerleri, 2008); istifin orta kesimlerinde ise yanal geçişli dokanak ilişkisi gösteren Kozaklı kireçtaşı (Kara ve Dönmez, 1990) üyesi yer almaktadır (Şekil 4). Ürgüp civarında yer alan en yaşlı ignimbritlerden alınan radyometrik yaş 11.2 ± 2.5 my. olduğundan (Temel, 1992) bu istifin yaşı Üst Miyosen olarak kabul edilmektedir (Akçay ve diğerleri, 2008).

Çalışma alanındaki tüm istifler Kuvaterner yaşlı kırıntılı çökeller tarafından açısız uyumsuzlukla örtülürler.

ISI AKISI

ÖNCEL ÇALIŞMALAR VE GENEL ÇERÇEVE

Yüzey ısı akısı, birim zamanda birim alandan yerin derinliklerinden dışa doğru transfer olan ısı değeridir ve ısı akısı birimi mWm^{-2} dir. Türkiye'de şimdiye dek ısı akısı çalışmaları bölgesel ölçekli veya Türkiye geneli için yapılmıştır (Ericson,

1970; Jongsma, 1974; Fytikas, 1980; Tezcan ve Turgay, 1989; İlkışık, 1992 ve 1995; Yemen, 1999; Göktürkler ve diğerleri, 2003; Bal, 2004; Akın ve Duru, 2006; Akın ve diğerleri, 2006; Karlı ve diğerleri, 2006). Bu çalışmalarda ısı akısı değerlerinin, doğu Akdeniz'de ve Karadeniz'de düşük olmakla birlikte, hızlı tortullaşmadan dolayı yapılan düzeltmelerde yüksek değerlere eriştiğinin görüldüğü belirtilmiştir (Ericson, 1970). Ege Denizi'nde de ısı akısı çalışmaları mevcuttur (Jongsma, 1974). Ege Denizi'nde alınmış ısı akısı ölçümlerine göre tektonik yapılar boyunca uzanan üç yüksek ısı akısı bölgesi tanımlanmıştır. İliki, Helenik ada yayınının iç kısmında (Şekil 1) yer alan Palegonian-Parnos zonu boyunca Astipalia ve Kavaros adaları üzerinden Bodrum Karaada civarına uzanan yüksek ısı akısına sahip bölge olup yer yer $120 mW/m^2$ yi aşan değerler sunmaktadır. İkincisi, Orta Ege'de, İzmir-Ankara Zonu'nun batı ucunda (Şekil 1), $100 mW/m^2$ yi aşan bölgedir. Sonuncusu ise Makedonya, Kuzey Ege adaları, Biga ve Gelibolu yarımadaları kıyıları boyunca görülen yüksek ısı akısı anomalisi kuşağıdır (Fytikas, 1980).

Tezcan ve Turgay (1989), Türkiye geneli için ortalama ısı iletim katsayısını $\lambda=2.1 (W/m^{\circ}C)$ seçerek 1000 metre derinlik için sıcaklık dağılım haritasını hazırlamışlardır. İlkışık (1992 ve 1995), silika sıcaklığı yöntemi ile Türkiye'nin ısı akısı çalışmalarını yapmıştır. Araştırmacı, termal kaynaklarda silika jeotermometresi kullanarak Batı Anadolu'da rejyonel ısı akısı hakkında çalışmalar yapmış ve ısı akısı ortalama değeri olarak $107 \pm 45 mW/m^2$ değerlerini önermiştir.

Yemen (1999), Ege bölgesi ısı akısı dağılımını kuyulardaki jeotermal gradyent değerlerini kullanarak değerlendirmiştir. Göktürkler ve diğerleri (2003) ise iki boyutlu profillerle Batı Anadolu'da kabuk sıcaklıklarını modelleyerek, üst kabukta sedimanlarla dolu grabenlerin ve kabuğun alt kısmının sıcaklık dağılımlarını hesaplamışlardır. Bal (2004), Aydın ve İzmir civarının havadan manyetik verilerini kullanarak ısı akısı değerlerinin belirlenmesi ve ısı akısı dağılımının incelenmesi

ile ilgili çalışmıştır. Türkiye ısı akısı haritası üretilen diğer iki çalışmadan biri Akın ve Duru (2006)'ya, öbürü ise Karlı ve diğerleri (2006)'ne aittir. Akın ve Duru (2006) manyetik verilerden hesap edilmiş Curie noktası derinliklerinden yararlanarak, Karlı ve diğerleri (2006) ise sığ derinlikli soğuk su kuyularında jeotermal gradyenti ölçerek çalışmalarını yürütmüşlerdir.

VERİ TABANI VE YÖNTEM

MTA Türkiye'nin yer altı kaynaklarının aranması için 1978 yılında havadan manyetik etütlere başlamış ve 1989 yılında sonlandırmıştır. Yaklaşık 11 yıl süren bu çalışmalarda ülkenin rejyonal havadan manyetik haritası 460.000 km uçuş ve yer seviyesinden 2000 feet uçuş yüksekliğinden gerçekleştirilmiştir. Uçuş hatları 1-5 km aralıklı olarak seçilmiştir. Ölçülere IGRF - 1985 manyetik düzeltmesi uygulanmıştır. Bu süreçte deniz, göl ve kara olmak üzere 813 639 km² alan taranmıştır. Sınır antlaşmaları gereği Suriye, İran, Irak sınırlarına 5 km; eski SSCB, Yunanistan ve Bulgaristan sınırlarına ise 15 km'den daha fazla yaklaşılammıştır.

İnceleme alanı ve çevresinin havadan manyetik verilerle hazırlanmış manyetik anomali haritası şekil 5'te sunulmuştur. Bu haritaya bakıldığında en yüksek manyetik anomali değerlerinin Keskin'den doğuya doğru, Akçakent - Çiçekdağı - Yerköy hattı boyunca olduğu görülür. Nevşehir - Kayseri hattı boyunca GB - KD doğrultulu zayıf bir manyetik anomali kuşağı da aynı şekil üzerinde tanımlanabilmektedir. Bu harita üzerindeki anomali kuşakları Akın ve Çiftçi (2010)'nin çalışmalarında ayrıntılı olarak tartışılmıştır.

Yukarıdaki veri tabanı kullanılarak Curie noktası derinlik haritası elde edilmiştir (Akın ve Çiftçi, 2010). Haritaların üretilmesinde Geosoft Oasis Montaj paket programı kullanılmıştır. Curie noktası, magnetit mineralinin yaklaşık olarak 580°C sıcaklık altında aniden manyetizasyon özelliğini kaybettiği ve paramanyetik özellik kazandığı derinliktir. Curie noktası hesaplamalarında,

128x128 km²'lik pencere alanı kullanılmıştır. Pencere birbiri üzerine batıdan doğuya doğru 32 km kaydırmalı olarak yerleştirilmiş olup her pencerenin 2B güç spektrumları hesaplanmış ve elde edilen değerler pencerenin orta noktasına atanmıştır. Bu şekilde, Spector ve Grant (1970) ve Okubo ve diğerleri (1985)'nin uyguladıkları spektral analiz tekniğini geliştiren Tanaka ve diğerleri (1999)'nin ortaya koyduğu yöntem uygulanarak Curie noktası derinlik haritası elde edilmiştir (Şekil 6). Çalışma alanında Curie noktası derinlikleri en sığ 11 km, en derin 15 km olarak hesaplanmıştır. Şekil 6'daki etkin anomali doğu batı doğrultuludur ve sığ derinlikleri temsil etmektedir. Sahanın kuzey kesimlerinin Curie derinlikleri güney bölümüne göre yaklaşık olarak 2 km daha sığ görünmektedir.

Yüzey ısı akısı, astenosfer ve litosferden etkilenir. Yüzeyden elde edilen bölgesel ısı akısı değerleri, bölgenin jeolojik yapısını değerlendirmede önemli katkılar sağlar. Bu çalışmada, şekil 6'daki Curie noktası derinlik değerleri kullanılarak jeotermal gradyent verileri elde edilmiştir. Çalışma alanını temsil eden 32 adet kayacın ısı iletim katsayıları ise, Karlı ve diğerleri (2006) tarafından QTM (Quick Thermal Measurement) cihazı ile laboratuvar ortamında hesaplanmış olup ısı akısını (K) hesaplamada bu değerler kullanılmıştır. Böylece eşitlik 1'de verilen bağıntı kullanılarak bölgenin ısı akısı haritası üretilmiştir (Şekil 7).

$$q = K (\partial T / \partial z) \quad (1)$$

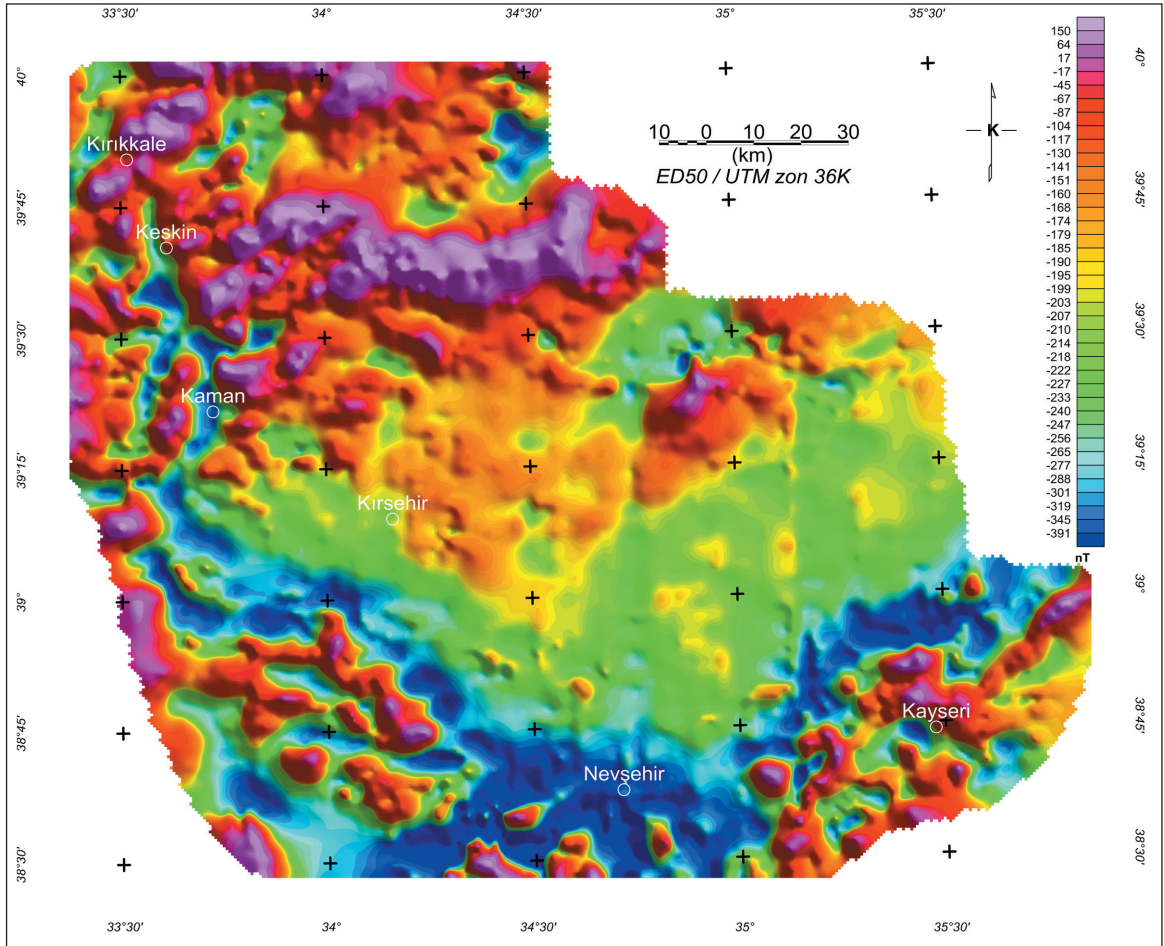
Bu eşitlikte

K = termal iletkenlik,

q = yüzey ısı akısı,

($\partial T / \partial z$) ise düşey sıcaklık gradyentini ifade ederler.

Bölgedeki kayaçların ısı iletim katsayıları (ortalama değer olarak) plutonik kayaçlar için 2.5 W/m°C, metamorfik kayaçlar için 2.75 W/m°C,



Şekil 5- Kırşehir çevresinin havadan manyetik anomali haritası.

volkanik kayalar için $1.87 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$, sedimanter kayalar için ise $2.06 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$ olarak hesaplanmıştır.

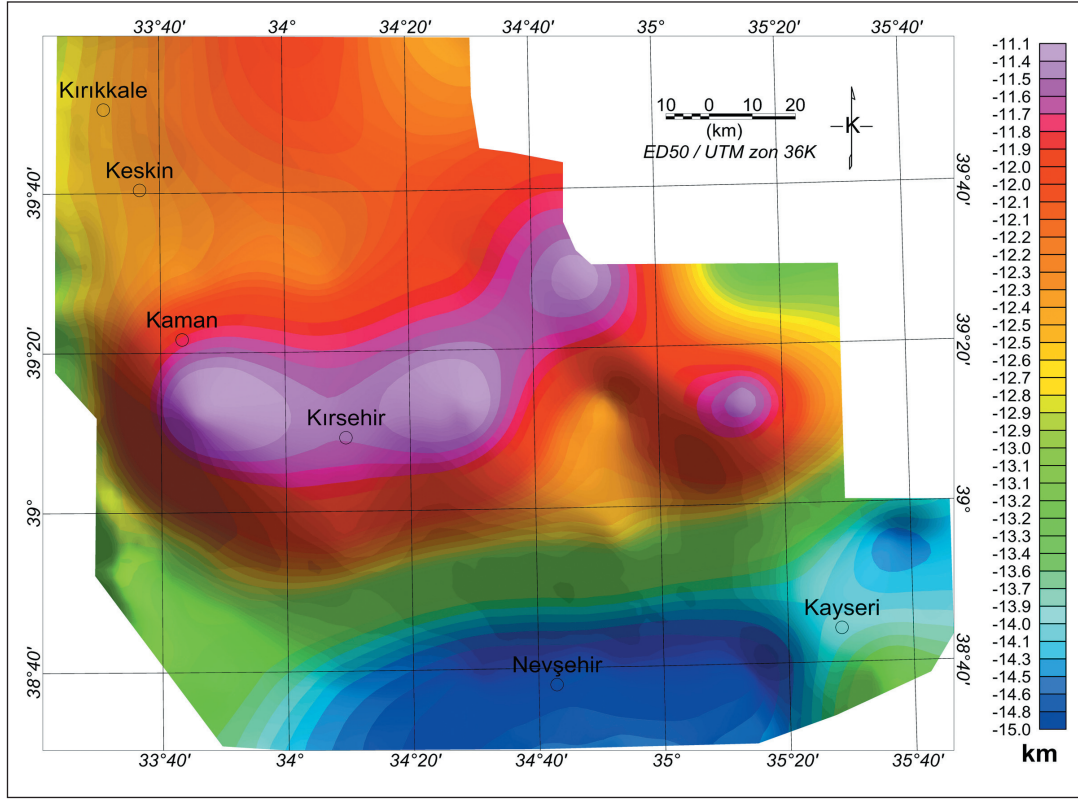
Bölgenin ısı akısı haritasına bakıldığında ısı akısı değerlerinin 50 mW/m^2 ile 110 mW/m^2 arasında değişim gösterdiği görülmüştür (Şekil 7). Bölgenin ortalama ısı akısı 72 mW/m^2 olarak hesaplanmıştır. Bu değer, yine havadan manyetik verileri kullanılarak üretilen Türkiye ısı akısı haritasındaki (Akın ve Duru, 2006) Kayseri 1:500.000 ölçekli paftanın ortalama ısı akısı değeri ile uyumludur. Isı akısı haritasındaki (Şekil 7) yüksek ısı akısına sahip anomali yaklaşık kuzey - güney doğrultuludur. Düşük ısı akısına sahip

bölgeler ise Kayseri'nin kuzeybatısında ve Nevşehir'in güneybatısında yer almıştır.

RADYOAKTİF ISI ÜRETİMİ

TEORİ VE LİTERATÜR

Yer kabuğundaki uranyum, toryum, potasyum gibi radyoaktif elementlerin doğal bozunmasından "radyojenik ısı" oluşur. Radyoaktif elementlerin bozunması ile birlikte ortamda α ve β partikülleri salınımı ve elektromanyetik dalga yayını meydana gelir. Gerek elektromanyetik dalgaların ortamdaki diğer atomlar tarafından emilmesi, gerekse ortamdaki diğer atomların α ve β



Şekil 6- Çalışma sahasının Curie noktası derinlik haritası (Akin ve Çiftçi, 2010'dan).

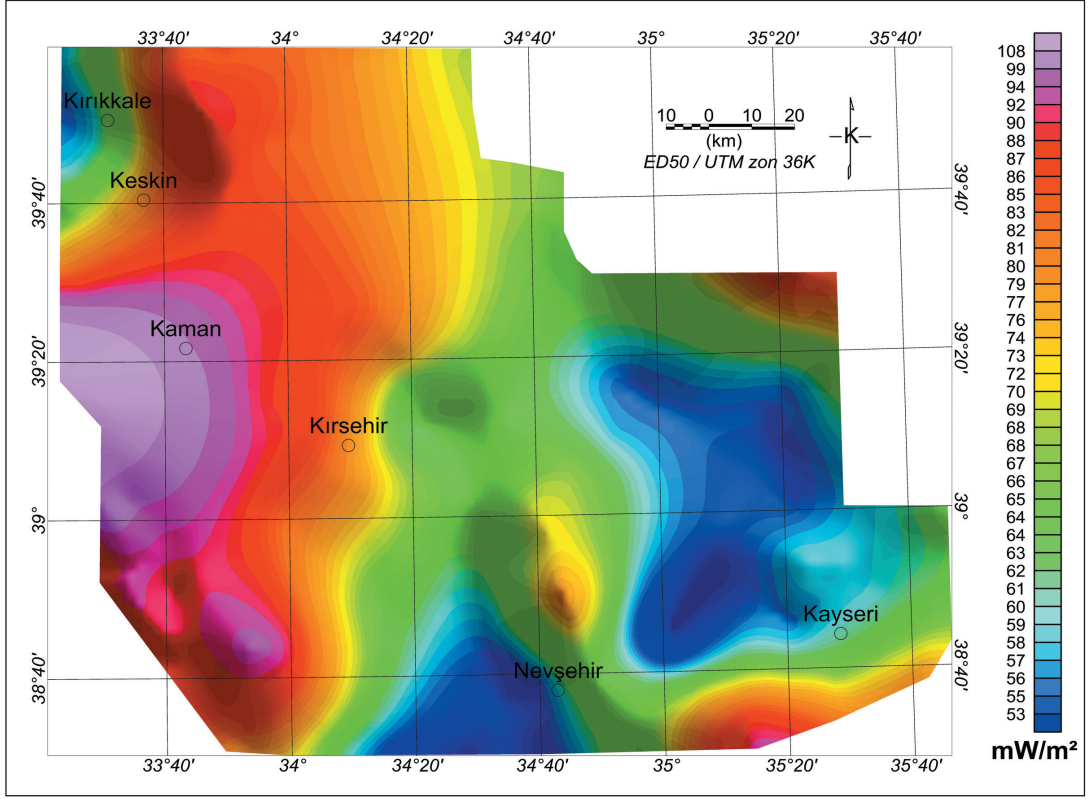
partikülleri ile çarpışması sonucu bu atomların kinetik enerjilerinde bir artış meydana gelir. Böylelikle ortamın ortalama kinetik enerjisi, yani sıcaklığı artar (Göktürkler, 2002). Ortaya çıkan enerji, üst kabuktaki radyojenik ısıyı oluşturur ve bu enerji, litosferin ısı akısına eklenerek ısı akısı değerinin yükselmesini sağlar. Kabuk kaynaklı radyojenik ısı genellikle kıtasal temelin en üst kesiminden yayılan toplam ısının %50 ila 70'ini oluşturur (Rudnick ve Fountain, 1995; Waples, 2001). McLennan ve Taylor (1996)'a göre yer kabuğunun radyojenik ısı değeri 21 mW/m^2 ile 34 mW/m^2 arasında kalmaktadır.

VERİ TABANI VE YÖNTEM

Bu çalışmanın veri tabanı, 1987-1988 yıllarında Kayseri-Kırşehir-Yozgat ve Nevşehir yöresinde yürütülen havadan gamma-ray spektrometre

etüdünden derlenen radyoaktivite verileri olup söz konusu çalışmada toplam 25 000 km^2 bir alan taranmıştır. Etüt, 33.5 litre kristal hacimli bir spektrometre kullanılarak Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü'ne (MTA) ait Cessna 402B uçağı ile gerçekleştirilmiştir. Projenin aletsel desteği Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı (IAEA) tarafından sağlanmıştır. Bu etüt, Orta Anadolu uranyum aramaları projesine veri sağlamıştır (Aydın, 1990).

Kabuktaki radyojenik ısı üretimi A simgesi ile gösterilir ve birimi ($\mu\text{W/m}^3$)'tür. Radyojenik ısı üretiminin hesaplanmasında Rybach ampirik formülü kullanılmıştır (Rybach ve Buntebarth, 1982). Aşağıdaki eşitlikte (Eşitlik 2) kayaçların yoğunluk değerleri ile uranyum, toryum ve potasyum konsantrasyonlarının bilinmesi gerekir.



Şekil 7- Çalışma alanının ısı akısı haritası.

$$A(\mu\text{W}/\text{m}^3) = 0.1325 \rho (0.718C_U + 0.193C_{Th} + 0.262 C_K) \quad (2)$$

Yukarıdaki formülde C_U , C_{Th} ve C_K sırasıyla uranyum (ppm), toryum (ppm) ve potasyum (wt.%) konsantrasyonlarını; ρ ise yoğunluk (g/cm^3) değerini ifade etmektedir.

Bu çalışmada kayaçların yoğunluk değerleri (ρ) sabit bir değer olarak alınmayıp, Bouguer gravite haritasından her hücre için görünür yoğunluklar elde edilmiştir. Görünür yoğunluk değerleri, $2,27 \text{ g}/\text{cm}^3$ ile $2,64 \text{ g}/\text{cm}^3$ arasında yer almaktadır. Daha sonra, eşitlik (2) kullanılarak radyojenik ısı üretim haritası elde edilmiştir (Şekil 8). Bu haritaya göre radyojenik ısı değeri $0.62 \mu\text{W}/\text{m}^3$ ile $5.68 \mu\text{W}/\text{m}^3$ değerleri arasında değişim göstermektedir.

ISI AKISI İLE RADYOAKTİF ISI ÜRETİMİ ARASINDAKİ İLİŞKİ

Isı akısı ile radyojenik ısı üretimi arasında doğrusal bir ilişki vardır (Birch ve diğerleri, 1968).

$$q = q_0 + Ab \quad (3)$$

Eşitlik (3)'te

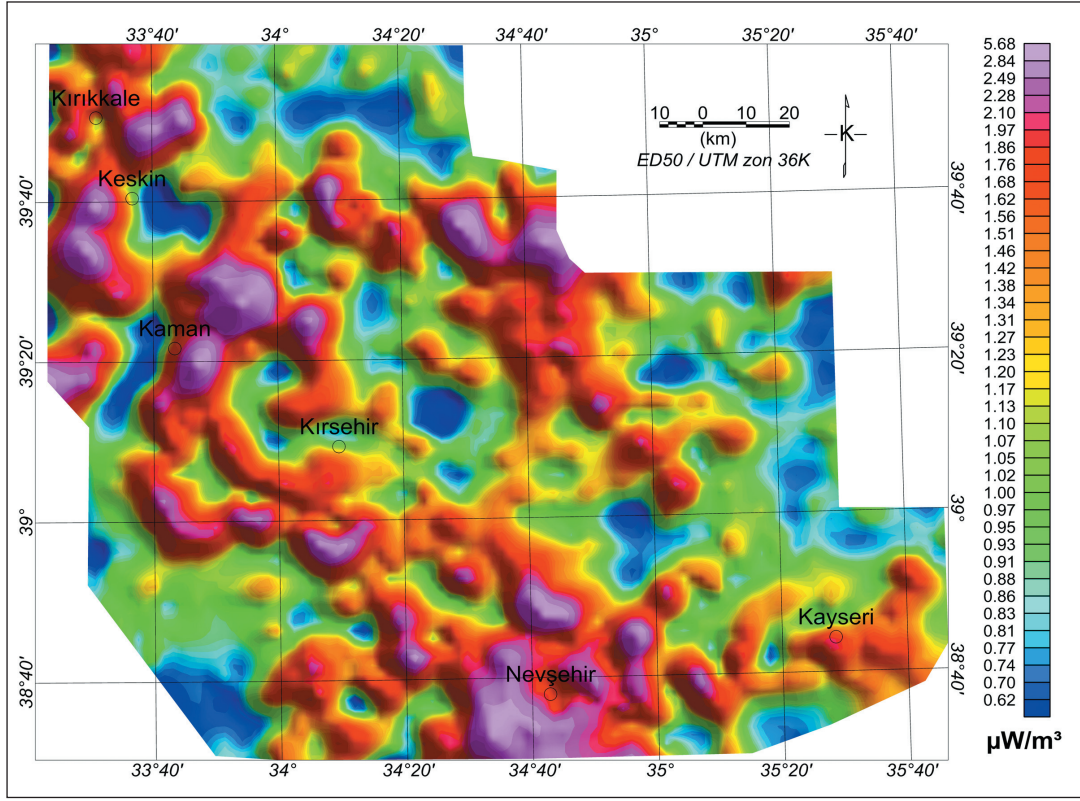
(q) yüzey ısı akısını,

(q_0) indirgenmiş ısı akısı (reduced heat flow),

(A) radyojenik ısı akısı,

(b) doğrunun eğimi olup radyojenik ısı akısının sıfır olduğu karakteristik derinliktir. (q_0), kabuktaki radyojenik ısı üretiminin sıfır olduğu andaki manto kaynaklı ısı akısıdır. Bu değer ise eşitlik (3)'ten yararlanarak üretilen eşitlik (4) ile temsil edilir (Blackwell, 1971).

$$q_0 = q - Ab \quad (4)$$



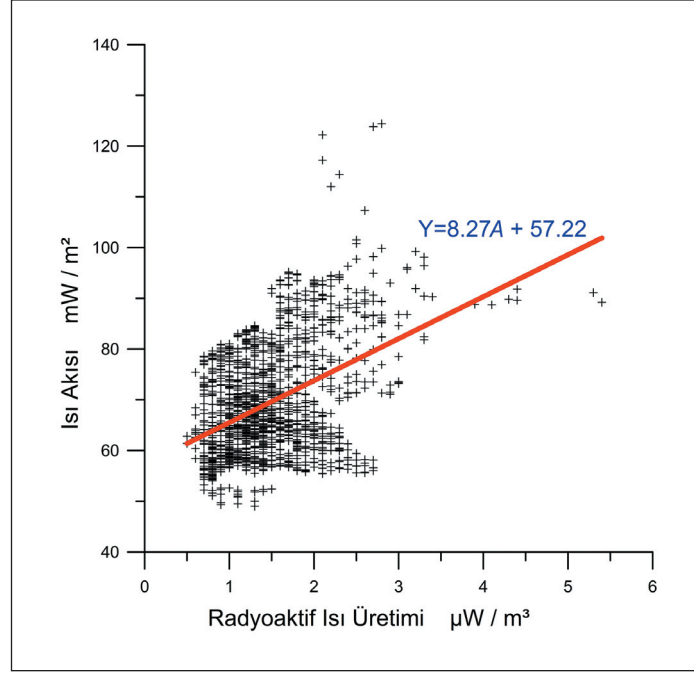
Şekil 8- İnceleme alanının U, Th ve K radyojenik elementlerinden kaynaklanan ısı üretimi haritası.

Manto kaynaklı ısı akısı ve radyojenik kaynaklı ısı üretimiyle ortaya çıkan ısı miktarları arasındaki oran hesaplanmış ve (yüzde miktarı olarak) grafiği oluşturulmuştur (Şekil 9).

Bu grafikteki ilişki katsayısı, veri saçılımının dağınık olması nedeniyle düşük çıkmıştır. Bu nedenle, b değeri 8.27 yerine 10 km olarak kabul edilmiş ve şekil 10'daki mantodan kaynaklı ısı akısı yüzde miktarı haritası oluşturulmuştur.

Çalışma alanında, mantodan kaynaklanan ısı akısı miktarı minimum %60 ile maksimum %92 arasında değişim göstermiştir (Şekil 10). Bu alanda radyojenik elementlerin (U, Th ve K) bozunmasından kaynaklanan ısı akısı miktarı ise minimum %8 ile maksimum %40 arasında kalmaktadır. Manto kaynaklı ısı akısının yüzde olarak en düşük olduğu bölge, Nevşehir ve çevre-

sinde Kuvaterner yaşlı piroklastik ve bazaltların yayılım sunduğu alanlar üzerindedir (Şekil 3,4 ve 10). 33°40' - 34°30' boylamları ve 39°40' enleminin kuzeyinde yer alan bölgede ısı akısının %85-92'si manto kaynaklıdır. Bu anomaliye, olasılıkla bölgede sedimanter kayaların altında devam ettiği düşünülen ve yer yer küçük mostralalar vermiş olan okyanus tabanı kökenli mağmatik kayalar neden olmaktadır (Akin ve diğerleri, 2011). Nitekim Birch-Lachrenburg eşitliğindeki q_0 parametresinin (indirgenmiş manto kaynaklı ısı akısı) tektonik - mağmatik olarak aktif bölgelerde yüksek değere sahip olduğu bilinmektedir. Bu bağlamda, çalışma bulguları, bölgedeki tektonomağmatik etkinliğe ilişkin önemli ipuçları sunuyor olabilir. q_0 bileşeninin yüksek olduğu yöre (Kaman kuzeyi), oluşumu güncel gerilmeli tektonik rejime bağlanan alkali siyenitlerin bulunduğu alana karşılık gelmektedir. Söz konusu ve-



Şekil 9- Isı akısı ve radyoaktif ısı üretimi arasındaki ilişki.

riler toplu olarak değerlendirildiğinde, ilgili yöredeki yüksek q_0 bileşeni, derinlerde halen soğumasına devam eden bir mağmatik kütleli işaret ediyor olabilir kanısındayız.

TARTIŞMA

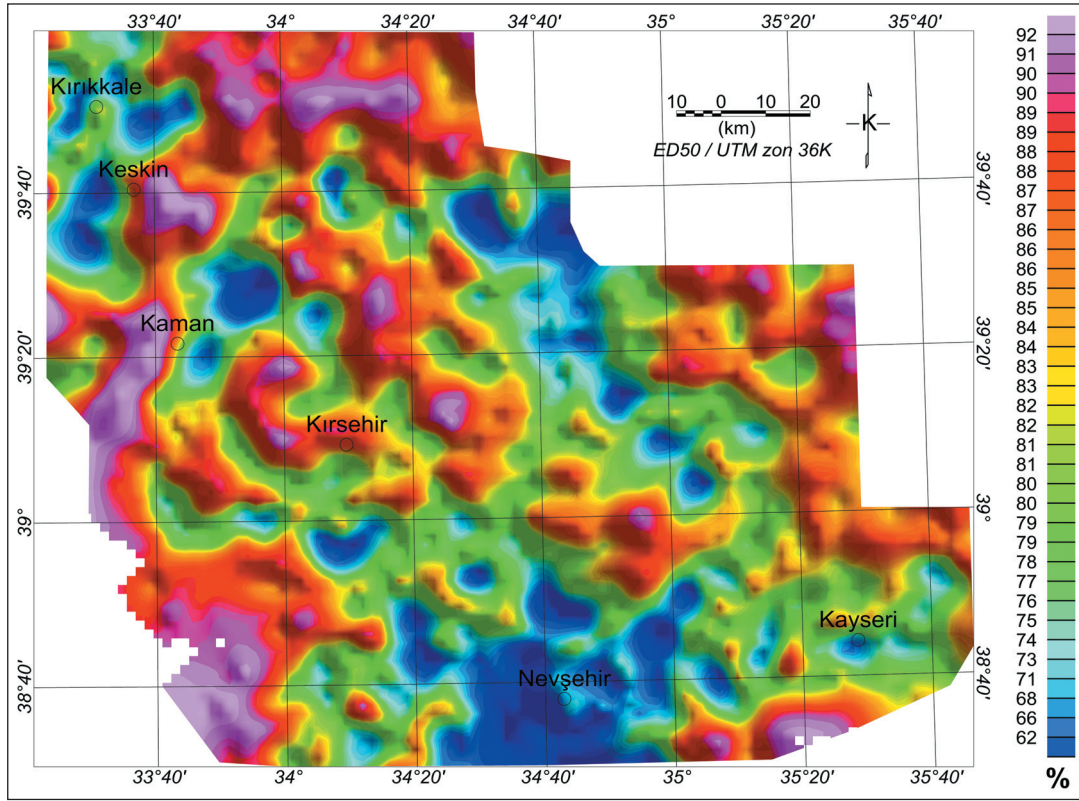
Isı akısı ve radyojenik ısı üretimi sahaların termal davranış biçimlerini ortaya koyar. Bu çalışmalarda genel olarak kuyu loglarından elde edilen veri grubu kullanılır. Orta Anadolu'da yer alan Kırşehir Masifi'nin ısı rejimini ortaya koymak amacıyla yapılan bu çalışmada ise hesaplamalarda tamamıyla grid verileri kullanılmıştır. Bunun nedeni, aynı gözlem noktalarında tüm verilerin yer almamasıdır. İnceleme alanında veri analizi sırasındaki hesaplamalarda kolaylık sağlamak üzere, saha verileri grid verilerine dönüştürülerek kullanılmıştır. Kullanılan havadan manyetik verileri, havadan spektral gamma-ray verileri ve karadan rejyonel gravite verilerinin grid aralıklarının bu çalışmanın amacına uygun olduğu, yete-

rince küçük aralıklı ve yeterli veri sıklığı içerdiği söylenebilir.

Radyojenik ısı üretiminin hesaplanmasında kullanılan eşitlik (2) deki yoğunluk değeri, Bouguer gravite haritasından elde edilen görünür yoğunluklardan elde edilmiştir. Böylelikle tüm saha için tek bir ortalama yoğunluk değeri kullanılmayıp, her bir grid alanı için farklı bir değer oluşturularak yanal yönde analiz hassasiyeti artırılmış, kayaç gruplarının çok daha ayrıntılı olarak temsil edilmesi sağlanmıştır.

Isı akısı haritasının elde edilmesinde kullanılan eşitlik (1)'deki kayaç ısı iletimleri, ya da termal iletkenlik katsayısının (K) kullanıldığı grid dosyası 32 adet veriden oluşturulmuştur. Hiç kuşkusuz, bu saha verilerinin daha fazla olması, çalışmayı daha doğru sonuçlara götürecektir.

Kayaç gruplarının ısı akısı ile ilişkilerini gösteren şekil 11a'da da görüldüğü gibi standart sap-



Şekil 10- Çalışma alanının mantodan kaynaklı ısı akısı yüzde miktarı.

ma değerlerinin yüksek olması, hesaplamalarda ki hata payının yüksek olduğunu göstermektedir. Çalışmada eşitlik (4)'te, radyojenik tabaka derinliğinin kullanıldığı b katsayısı, $Y=8.27A + 57.22$ doğru denklemi kullanılarak 8.27 km olarak hesaplanmıştır (Şekil 9). Ancak, bu grafikteki veri saçılımının fazla olması nedeni ile dünya literatürlerinde de yaygınca kabul gören 10 km derinlik değeri seçilerek b katsayısı olarak atanmış ve hesaplamalarda kullanılmıştır. Bu değer kullanılarak üretilen haritada (Şekil 10) manto kaynaklı ısı akısı minimum değeri %60, maksimum değeri ise %92 olarak belirlemiştir.

Çalışma alanında yer alan volkanik kayalardan 311 adet, sedimanter kayalardan 415 adet, plutonik kayalardan 194 adet ve metamorfik kayalardan 111 adet veri kullanılarak şekil 11'deki bar grafikleri üretilmiştir. Her barın içerisinde

parantezle verilen rakamlar, o kayaç grubuna ait ortalama değerlerin standart sapma değerlerini ifade etmektedir.

Şekil 11a' daki Isı Akısı verilerinin standart sapma değerleri yüksek olmuş, değerler 7.2 ile 8.7 arasında değişim göstermiştir. Bu diyagramda kayaç grupları arasında ısı akısı barlarının büyüklüklerinin fazla değişim göstermediği, en fazla ısı akısının plutonik kayalarda olduğu görülmüştür.

Şekil 11b'deki plutonik kayalarda Radyojenik Isı Üretimi ortalama $2 \mu W/m^2$ üzerindedir. Metamorfik ve sedimanter kayalardaki ortalama radyojenik ısı üretimleri oldukça düşüktür.

Şekil 11c, 11d ve 11e'de sırası ile kayaç gruplarındaki Uranyum, Potasyum ve Toryum ele-

mentlerinin ortalama oranlarını göstermektedir. Bu grafiklerde standart sapma değerleri U ve K açısından küçük aralıklarda kalmış ise de Th'da bu değer görece biraz yüksek kalmıştır. Uranyum değeri volkanitlerde en yüksek değeri alırken (Şekil 11c), potasyum (Şekil 11d) ve toryum (Şekil 11e) grafiklerinde plütonitler en yüksek değerleri sunmuştur. Şekil 11c'de uranyumun en yüksek değeri volkanitlerde sunması, inceleme alanına özgü bir durum olmalıdır. Uranyum içeriği açısından volkanik kayalar son derece farklı değerler sunabilir. Kökensel olarak bazik karakterli volkanik kayalar çok düşük U içeriği sunarken, asidik karakterli volkanik kayaların U içeriği görece çok daha yüksektir. Bu çalışmada inceleme alanındaki volkanik kayalar, çalışmanın amacı doğrultusunda, kökenine bakılmaksızın sadeleştirilerek sunulmuştur (Şekil 3). Bölgede yayılım sunan volkanik kayalar kuzey alanlarda genel olarak bazik karakterli iken, güney alanlarda yayılım sunan Kötüdağ volkaniti ağırlıklı olarak asidik karakterli volkanik ürünlerden oluşmaktadır (Bölüm 2.2.4). Şekil 11c'deki U anomalisi, örneklerin daha çok asidik karakterli volkanitlerden derlendiğini gösteriyor olabilir.

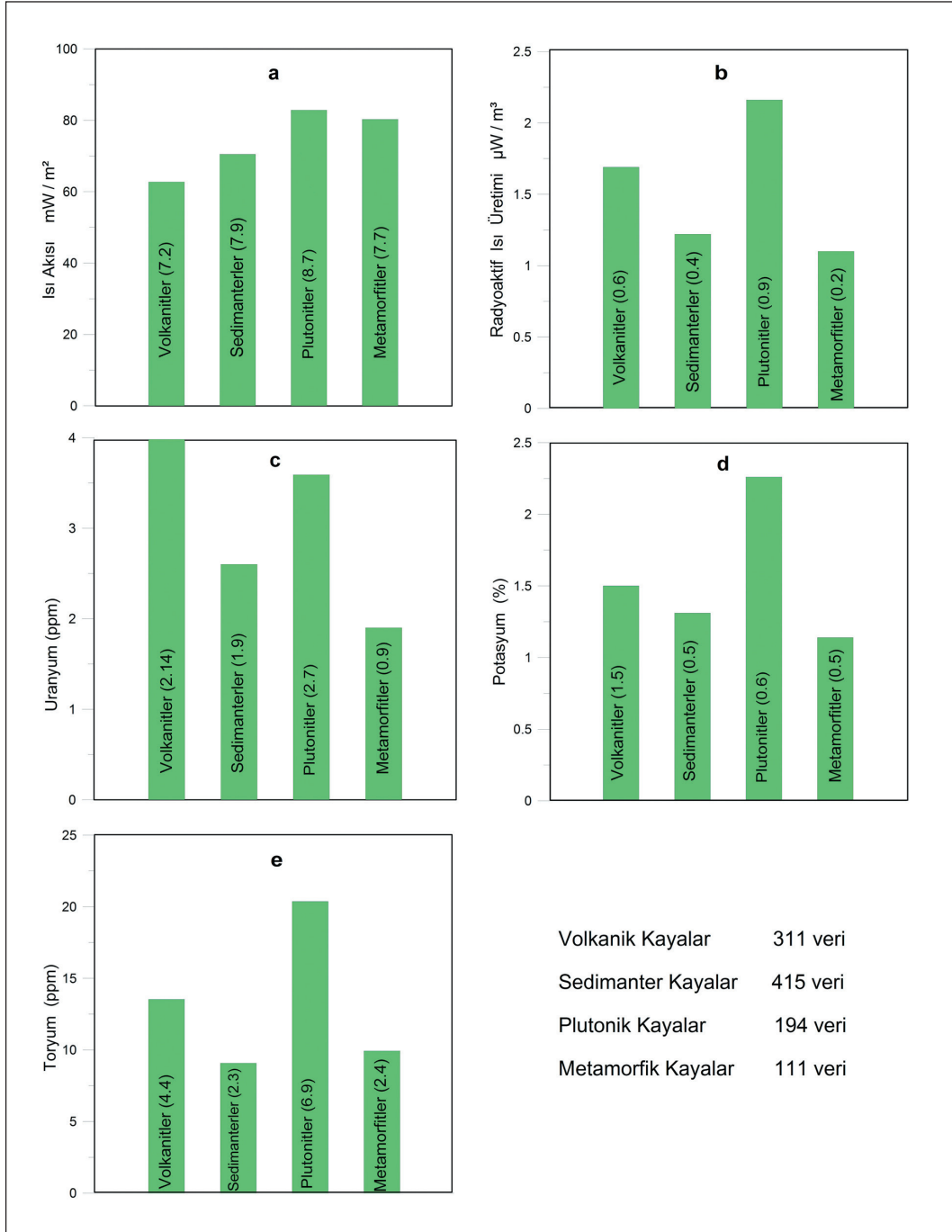
SONUÇLAR

Bu çalışma, Orta Anadolu'da, Kırşehir Masifi'nin büyük bir kısmını kapsayan alanda (Şekil 1 ve 2) yürütülmüş olup yaklaşık 580 °C sıcaklığın olduğu Curie noktası derinliğinin en sığ bölümünün 11 km ile Kırşehir dolayında yer aldığı, en derin olduğu bölümün ise 15 km ile Nevşehir dolayında yer aldığı ortaya konmuştur (Şekil 6). Curie noktası derinliği haritasında etkin anomali doğrultuları yaklaşık D - B'dir. Bu harita ile jeoloji haritası (Şekil 3) karşılaştırıldığında, en sığ anomalinin Kırşehir - Yozgat hattı üzerinde yer aldığı; bu kesimde yayılım sunan kayaların ise batı ve doğu kesimde granitoidlerden, Kırşehir çevresinde ise metamorfik kayalardan kurulu olduğu görülmüştür. Her iki kayaç grubu da, ısı akısının yüzeye yaklaşmasına izin verecek termal iletkenliğe sahip kayalardandır. Ayrıca, bölgedeki Curie derinliğinin sığ olmasında termal iletken-

liğin yanı sıra, bölgesel tektono-mağmatik olayların da rolü olmalıdır. Bu iki harita (Şekil 3 ve Şekil 6) genel olarak uyumludur.

Bölgede daha önceki dönemde yürütülmüş olan havadan manyetik, yerden yapılmış rejyonal ölçekli gravite ve havadan gamma-ray spektrometre çalışmalarının verileri kullanılarak çalışma alanının ısı akısı (Şekil 7) ve radyojenik ısı üretimi haritaları (Şekil 8) elde edilmiştir. Bölgenin ısı akısı, baskın olarak kuzey güney yönlü bir anomali sunmuştur (Şekil 7). Isı akısı haritasında 50 mW/m² ile 110 mW/m² arasında değişim gözlenmiş, ortalama değer olarak 72 mW/m² hesaplanmıştır. Isı akısının yüksek olduğu bölgenin oluşturduğu anomali, şekil 3'teki jeoloji haritasında Aksaray - Ş. Koçhisar - Kaman - Keskin hattı boyunca yaklaşık KB - GD doğrultusunda yayılım sunan granitoidler üzerine düşmektedir. Düşük ısı akısına sahip anomali alanları ise jeoloji haritasında sedimanter ve volkanik kayaların bulunduğu alanlar ile örtüşmektedir. Her ne kadar ısı akısı haritası ile Curie derinliği haritası arasında morfolojik olarak yakın bir ilişki beklense de, bu çalışmada bu konuda pozitif korelasyon sağlanamamıştır. Curie noktası derinlik haritasındaki etkin anomali doğrultuları ile ısı akısı haritasındaki etkin anomali doğrultuları yaklaşık birbirlerine dik olarak gelişmiştir. Diğer taraftan, bölgenin tektonik konumuna bakıldığında (Şekil 2), ana yapı unsurlarının genel doğrultularının Curie noktası derinlik haritasındaki etkin anomali doğrultuları ile bir ölçüde uyumlu olduğu görülebilir. Bu uyum, söz konusu derin kırık sistemlerinin aynı zamanda Curie derinliğini de denetlediklerini düşündürmektedir.

Bu çalışmada, iki farklı ısı kaynağından (Mantodan ve radyojenik ısı üretiminin gerçekleştiği tabakadan) türeyen ısının çalışma alanındaki yüzde oranları hesaplanmış ve manto kaynaklı ısının % oran dağılımını veren harita (Şekil 10) üretilmiştir. Bu haritaya göre çalışma alanında mantodan gelen ısı %60 ile %92 arasında değişim göstermektedir. Manto + Radyojenik ısı %100 kabul edildiğinde, mantodan kaynaklanan



Şekil 11-Çalışma sahasındaki kayaçların ortalama değerleri ve standart sapma değerleri a) Isı akısı, b) Radyojenik ısı üretimi, c) Uranyum, d) Potasyum, e) Toryum.

ısı dağılımının tüm oranları da radyojenik ısı oran dağılımını verecektir. Bu durumda, radyojenik ısının en yüksek olduğu bölgeler, manto-dan kaynaklanan ısının en düşük olduğu bölgelere karşılık gelecektir. Bu yaklaşıma uygun olarak şekil 10 yeniden incelendiğinde, radyojenik ısının en yüksek olduğu bölgeler Nevşehir dolay, Kaman KD kesimi ve Kayseri merkezi itibarıyla KB'ye doğru ince bir hat boyunca dizilmiş, Yozgat GB kesiminde genişleyen bir zondur. Bu bölgelerde jeolojik olarak sırasıyla Neojen yaşlı volkanik ve volkano-tortul istifler ile karasal kırıntılı ve karbonat istifleri geniş yayılımlar sunmaktadır. Radyojenik ısı üretimi bu kesimlerde $5.68 \mu\text{Wm}^{-3}$ 'e kadar yükselmektedir (Şekil 8). Sahanın batı kesiminde bu yüksek radyojenik ısı üretimi alanları genel olarak granitoid arazileri üzerinde kalmaktadır ve bu bir ölçüde anlamlıdır. Oysa Nevşehir dolayında yüzeyde yaygın olarak volkanik / volkano-tortul seriler olmasına karşın en yüksek değerlere ulaşılması, radyoaktif element konsantrasyonlarının bu kayaçlarda oldukça yüksek olduğunu işaret etmektedir. Nitekim şekil 11b incelendiğinde, plütonik kayaçlar kadar olmasa da, volkanik kayaçların oldukça yüksek ısı üretimi değerlerine sahip oldukları görülebilir. Aynı şekilde, karasal kırıntılı ve karbonatlarda da ısı üretiminin yüksek değerlere ulaşması, bu kırıntılıların beslenme alanlarında yüksek radyoaktif element konsantrasyonlarının bulunduğunu, hatta bunların bazı havzalarda (Şekil 3) yer yer zenginleşmiş olabileceklerini düşündürmektedir.

Çalışma alanındaki plütonik kayaçlar (ortalama değerler olarak): $2.16 \mu\text{Wm}^{-3}$ radyojenik ısı üretimi; 82 mWm^{-2} ısı akısı; %2.26 potasyum / 20.36 ppm Toryum / 3.29 ppm Uranyum ortalama değerleri ile diğer kayaç grupları ortalamalarının üzerinde seyretmiştir (Şekil 11). Radyojenik ısı üretiminde volkanitler $1.68 \mu\text{Wm}^{-3}$ ile plütonitleri takip etmektedir. Sedimanter ve metamorfik kayaçların radyojenik ısı üretimleri de birbirine oldukça yakındır ve sırasıyla $1.25 \mu\text{Wm}^{-3}$ ve $1.20 \mu\text{Wm}^{-3}$ dolayındadır. Bu değerler, asıl radyojenik ısı üretiminin ağırlıklı olarak magmatik ve volkanik kayaçlarda meydana geldiğini, diğer türev ka-

yaçlarda, zenginleşme proseslerine rağmen bu değerlere ulaşamadığını göstermektedir. Nitekim, radyoaktif element konsantrasyon dağılımlarına bakıldığında da bu durum açıkça ortaya çıkmaktadır. Uranyumun davranışı farklı olsa da, genel olarak tüm radyoaktif elementler pik değerlerine plütonik kayaçlarda (uranyum ise volkanik kayaçlarda pik değer sunmuştur) ulaşırlar. Bunu volkanik kayaçlar takip eder; sedimanter ve metamorfik kayaçlar da yaklaşık yarı değerlerde olmak üzere sıralama içinde yer alırlar.

Radyojenik ısı üretiminin bölgedeki magmatik ve volkanik kayaçlarda oldukça yüksek olması, bu olgunun insan sağlığı ve çevre açısından da dikkate alınmasını gerekli kılmaktadır. Bu kapsamda, gerek bölgedeki jeotermal enerji araştırmalarında manto ve radyojenik ısı ayrımını yapmak ve bölgedeki rezervuarları tanımlamak açısından gerekse insan yerleşimleri ve besin zincirine olası radyoaktif etkileri en aza indirmek konularında bu bilimsel bulgunun kullanılabilirliği belirtilebilir.

KATKI BELİRTME

Çalışma sırasında gereksinim duyulan bazı paket programların hazırlanmasındaki katkılarından dolayı Yrd. Doç. Dr. Ünal Dikmen ve Araş. Gör. M. Özgü Arısoy'a ve teşekkür ederiz. Metnin İngilizce'ye çevirisi Jeoloji Yük. Müh. Kerem Mustafa Avcı tarafından yapılmıştır. Özenli çalışmasından ve katkısından dolayı kendisine teşekkür ederiz. Yakın zamanda kaybettiğimiz sevgili yer bilimci ağabeyimiz Dr. Mehmet Duru'nun bu çalışmaya önemli katkıları olmuştur. Yer bilimlerinin her alanına sonsuz ilgisi ile örnek bir yer bilimci olan Dr. Mehmet Duru'yu tanıtmaktan dolayı onur duyar, kendisini saygı ve rahmetle anarız.

Yayına verildiği tarih, 4 Mayıs 2011

DEĞİNİLEN BELGELER

Akçay, A.E., Dönmez, M., Kara, H., Yergök, A.F. ve Esentürk, K., 2007. 1/100.000 ölçekli Türkiye

- jeoloji haritaları, Kırşehir i-33 paftası, No: 80, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Akçay, A.E., Dönmez, M., Kara, H., Yergök, A.F. ve Esentürk, K., 2008. 1/100.000 ölçekli Türkiye jeoloji haritaları, Kırşehir I-34 paftası, No: 81, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Akın, U. ve Çiftçi, Y., 2010. Kırıkkale-Kırşehir-Nevşehir-Kayseri-Yozgat arasındaki bölgenin ısı akısı ve radyoaktif ısı üretimi araştırma raporu, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Rapor No: 11307 (yayımlanmamış) Ankara.
- _____ ve Duru M., 2006. Türkiye ısı akısı haritası (manyetik verilerden) raporu, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Rapor No. 10840 (yayımlanmamış), Ankara.
- _____ Duru, M., Kutlu, S. ve Ulugergerli, E.U., 2006. Heat flow map of Turkey (from magnetic data), 17 Geophysical Congress, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara (in Turkish). Extended Abstract CD.
- _____, İşikdeniz Şerifoğlu, B. ve Duru, M., 2011. Gravite ve manyetik yöntemlerde tilt açısının kullanılması. Bulletin of the Mineral Research and Exploration no. 143.
- _____ ve Çiftçi, Y., 2011. Structural discontinuities of Turkey: Geological and Geophysical Analysis (Gravity and Magnetic), Monography Series Nr. 6, General Directorate of the Mineral Research and Exploration I., 156p, Ankara, Turkey.
- Andreoli, M.A.G., Hart, R.J., Ashwal, L.D. ve Coetzee, H., 2006. Correlations between U, Th content and metamorphic grade in the Western Namaqualand Belt, South Africa, with implications for radioactive heating of the crust. Journal of Petrology, 47 (6), 1095-1118.
- Arslan, S., Akın, U. ve Alaca, A., 2010. Investigation of crustal structure of Turkey by means of gravity data. Bulletin of the Mineral Research and Exploration no. 140.
- Atabey, E., Tarhan, N., Akarsu, B. ve Taşkıran, A., 1987. Şerflikoçhisar, Panlı (Ankara) - Acıpınar (Niğde) yöresinin jeolojisi, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Rapor No: 8155 (yayımlanmamış), Ankara.
- Atabey, E., 1989. 1/100.000 ölçekli açınsama nitelikli Türkiye Jeoloji Haritaları serisi, Aksaray H18 Paftası, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Ataman, G., 1972. Ankara güneydoğusundaki granitik-granodiyoritik kütlelerden Cefalik dağın radiometrik yaşı hakkında ön çalışma. Hacettepe Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 2, 44-49.
- Ayan, M., 1963. Contribution a l'etude petrographique et geologique de la region situee au Nord-Est de Kaman : Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Yayınları, 115, 332 s.
- Aydın, I., 1990. Orta Anadolu uranyum aramaları havadan gamma ray spektrometre etüdü raporu, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Rapor No. 9146 (yayımlanmamış), Ankara.
- Bailey, E.B. ve McCallien, W.C., 1950. Ankara melanji ve Anadolu şariyaji. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Dergisi, 40, 12-17.
- Bal, A., 2004. Aydın İzmir civarının hava manyetik verilerinden ısı akısı değerlerinin belirlenmesi ve ısı akısı dağılımının incelenmesi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı.
- Baykal, F., 1943. Kırıkkale - Kalecik ve Keskin - Bala mıntıkasındaki jeolojik etütler, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Rapor No: 1448 (yayımlanmamış), Ankara.
- Bea, E., Montero, P. ve Zinger, T., 2003. The nature, origin and thermal influence of the granite source layer of Central Iberia. Journal of Geology, 111, 579-552.
- Bilgin, Z. R., Akarsu, B., Arbas, A., Elibol, E., Yaşar, T., Esentürk, K., Güner, E. ve Kara, H., 1986. Kırıkkale - Kesikköprü - Çiçekdağ alanının jeolojisi, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Rapor No: 7876 (yayımlanmamış), Ankara.
- Bingöl, E., 1989. Geological map of Turkey at 1:2.000.000 scale. Mineral Research and Exploration Institute of Turkey Publications, Ankara.

- Birch, F., 1947. Crustal structure and surface heat flow near the Colorado Front Range, *Trans. Am. Geophys. Union*, 28 (5), 792-797.
- _____, Roy, R.F. ve Decker, E.R., 1968. Heat flow and thermal history in New England and New York, in *studies of Appalachian Geology: Northern and Maritime*, edited by E-an Zen, White, W.S., Hadley, J.B. and Thompson, J.B. Jr., pp. 437-451, Interscience, New York.
- Birgili, Ş., Yoldaş, R. ve Ünalın, G., 1975. Çankırı - Çorum havzasının jeolojisi ve petrol olanakları: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Rapor No: 5621 (yayımlanmamış), Ankara.
- Blackwell, D.D., 1971. The thermal structure of the continental crust. *The Structure and Physical Properties of the Earth's Crust*, Geophysical Monograph 14, editor John G. Heacock, pp. 169-184.
- Bozkurt, E., 2000. Timing of extension on the Büyük Menderes Graben, western Turkey, and its tectonic implications, in: Bozkurt E., Winchester J.A., Piper J.D.A. (Eds.), *Tectonics and magmatism in Turkey and the surrounding area*, Geological Society Special Publication no. 173, Geological Society, London, pp. 385-403.
- _____, 2001. Neotectonics of Turkey: a synthesis. *Geodinamica Acta*, 14, 3-30.
- _____, ve Koçyiğit, A., 1996. The Kazova basin: an active negative flower structure on the Almus Fault Zone, a splay fault system of the North Anatolian Fault Zone, Turkey, *Tectonophysics*, 265, 239-254.
- Dirik, K. ve Göncüoğlu, M.C., 1996. Neotectonic characteristics of the Central Anatolia: *International Geological Review.*, 38/9, 807-817.
- Dönmez, M., Akçay, A.E. ve Türkecan, A., 2005a. 1/100.000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları, Kayseri K-34 paftası, No:49, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara.
- _____, Bilgin Z.R., Akçay, A.E., Kara, H., Yergök, A. F. ve Esentürk, K., 2005b. 1/100.000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları, Kırşehir i-31 paftası, No:46, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Ericson, A.J., 1970. The measurement and interpretation of heat flow in the Mediterranean and Black Sea. Ph. D. Thesis, MIT, Dept. Of Earth and Planetary Science, Massachusetts.
- Fytikas, M.D., 1980. Geothermal exploration in Greece. 2nd. Int. Sem on the Results of E.C.
- Göncüoğlu, M. C., 1977. Geologic des westlichen Niğde massivs. Bonn Üniv., Doktora tezi, 181.
- _____, 1981. Niğde masifinde viridin-gnaysının kökeni, *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, 24/1, 45-50.
- _____, 1982. Niğde masifi paragnayslarında zirkon U/Pb yaşları, *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni* 25/1, 61-66.
- _____, 1986. Orta Anadolu Masifi'nin güney ucunda jeokronolojik yaş bulguları, *Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Dergisi*, 105-106, 27-28.
- Göktürkler, G., 2002. Yerbilimlerinde, Isı Transferi Modellemesi: Kararlı-Hal Kondüktif Isı İletimi. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 4, 3, 67-80.
- _____, Şalk, M. ve Sarı, C., 2003. Numerical modeling of the conductive heat transfer in western Anatolia. *Journal of the Balkan Geophysical Society*, 6, 1, 1-15.
- İlkışık, O. M., 1992. Silica heat flow estimates and lithospheric temperature in Anatolia. *Proc. Of XI.Con. Of World Hydrothermal Org.* 13-185. 1992 İstanbul-Pamukkale, 92-106.
- _____, 1995. Regional heat flow in western Anatolia using silica temperature estimates from thermal springs: *Tectonophysics*, 244, 175-184.
- Jaupart, C. ve Mareschal, J.C., 2003. Constraints on crustal heat production from heat flow data. In Rudnick, R.L., (ed.), *The Crust, Treatise on Geochemistry* 3, 65-84. Elsevier-Pergamon, Oxford.
- Jongsma, D., 1974. Heat flow in the Aegean Sea. *Geophys. J.R. Astr. Soc.*, 37, 337-346.
- Kara, H., 1997. 1/100.000 ölçekli, Açın-sama Nitelikli Türkiye Jeoloji Haritaları Serisi, Yozgat G19

- Paftası, No:54, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Kara, H. ve Dönmez, M., 1990. 1/100.000 ölçekli, Açınama Nitelikli Türkiye Jeoloji Haritaları Serisi, Kırşehir G17 Paftası, No:34, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Karlı R., Öztürk, S. ve Destur, M. 2006. Türkiye Isı Akısı Haritası projesi raporu, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Rapor No: 10937 Ankara.
- Ketin, İ., 1955. Yozgat bölgesinin jeolojisi ve Orta Anadolu Masifi'nin tektonik durumu, Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni, VI, 1, 1-40, Ankara.
- _____, 1963. 1/500.000 ölçekli Türkiye jeoloji haritası, Kayseri paftası ve açıklaması, Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü Yayınları, Ankara.
- Koçyiğit, A., 2000. Güneybatı Türkiye'nin depremselliğinin: Batı Anadolu Deprem Sempozyumu 2000-Batı Anadolu'nun Depremselliği Sempozyumu, Proceedings, 24-27 Mayıs 2000, Izmir, 2000, pp. 30-39 (in Turkish with English abstract).
- _____, Ünay, E. ve Saraç, G., 2000. Episodic graben formation and extensional Neotectonic regime in west Central Anatolia and the Isparta Angle: a case study in the Akşehir-Afyon graben, Turkey, in: Bozkurt E., Winchester J.A., Piper J.D.A. (Eds.), Tectonics and magmatism in Turkey and the surrounding area, Geological Society Special Publication no. 173, Geological Society, London, pp. 405-421.
- _____, Erol, O., 2001, A tectonic escape structure: Erciyes pull-apart basin, Kayseri, central Anatolia, Turkey. *Geodynamica Acta*, 14, 1-13.
- McLennan, S.M. ve Taylor, S.R., 1996. Heat Flow and the chemical composition of continental crust: *Jour. Geol.*, 104, 4, 369-377.
- Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, 2002. 1:500.000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları (Kayseri Paftası), No:9, MTA, Ankara.
- Norman, T., 1972. Ankara Yahşihan bölgesinde Ü. Kretase-A. Tersiyer istifinin stratigrafisi, Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni., XV, 2, 180-276.
- Okay, A.I. ve Tüysüz, O., 1999. Tethyan sutures of northern Turkey. In: Durand, B., Jolivet, L., Horvath, F., Seranne, M. (Eds.), *Mediterranean Basins: Tertiary extension within the Alpine Orogen*. Geological Society of London Special Publication, 156, 475-515.
- Okubo, Y., Graf, R. J., Hansen, R. O., Ogawa, K. ve Tsu, H., 1985. Curie point depths of the island of Kyushu and surrounding areas, Japan, *Geophysics*, 50, 491-494.
- Özcan, A., Erkan, A., Keskin, A., Keskin, E., Oral, A., Özer, S., Sümengen, M. ve Tekeli, O., 1980. Kuzey Anadolu Fayı - Kırşehir Masifi arasının temel jeolojisi. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Rapor No : 6722 (yayımlanmamış), Ankara.
- Pasquare, G., 1968. Geology of the Cenozoic volcanic area of Central Anatolia, *Atti. Lincei Mem Nazionale* 40, 1077-1085.
- Rudnick, R.L. ve Fountain, D.M., 1995. Nature and composition of the continental crust: A lower crustal perspective: *Reviews of Geophysics*, 33, 3, 267-309.
- Rybach, L. ve Buntebarth, G., 1982. Relationships between the petrophysical properties density, seismic velocity, heat generation, and mineralogical constitution, *Earth and Planetary Science Letters*, 57, 367-376.
- Sandiford, M. ve McLaren, S., 2006. Thermo-mechanical controls on heat production distributions and the long-term evolution of the continents. In Brown, M. ve Rushmer, T. (Eds), *Evolution and Differentiation of the Continental Crust*, 67-91. Cambridge University Press.
- Seyitoğlu, G., 1997. Late Cenozoic tectono-sedimentary development of the Selendi and Uşak-Güre basins: a contribution to the discussion on the development of E-W and north trending basins in western Turkey, *Geological Magazine*, 134, 163-175.
- Seymen, I., 1981a. Kaman (Kırşehir) dolayında Kırşehir Masifi'nin metamorfizması. İç Anadolu'nun Jeoloji Sempozyumu. Türkiye Jeoloji Kurumu, 12-15.

- Seymen, I., 1981b. Kaman (Kırşehir) dolayında Kırşehir Masifi'nin stratigrafisi ve metamorfizması. Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni, 24, 7-14.
- Seymen, I., 1982. Kaman dolayında Kırşehir Masifinin jeolojisi. Doçentlik Tezi (yayımlanmamış), İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi., 164 pp.
- Spector, A. ve Grant, F.S., 1970. Statistical models for interpreting aeromagnetic data, Geophysics, 35, 293-302.
- Şaroğlu, F., Emre, Ö. ve Kuşçu, İ., 1992. The East Anatolian fault zone of Turkey, Annales Tectonicae. 6, 99-125.
- Tanaka, A., Okubo, Y. ve Matsubayashi, O., 1999. Curie point depth based on spectrum analysis of the magnetic anomaly data in East and Southeast Asia, Tectonophysics, 306, 461-470.
- Temel, A., 1992. Kapadokya eksplozif volkanizmasının petrolojik ve jeokimyasal özellikleri. Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi (yayımlanmamış), Ankara.
- Tezcan, A.K. ve Turgay, I., 1989. Türkiye ısı akısı haritası. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Jeofizik Etütleri Dairesi, Ankara.
- Turcotte, D. ve Schubert, G., 1982. Geodynamics; Application of Continuum Physics to Geological Problems. John Wiley and Sons Inc., New York, 464 pp.
- Waples, D.W., 2001. A new model for heat flow in extensional basins: Radiogenic heat, asthenospheric heat, and the McKenzie model: Natural Resources Research, 10, 3, 227-238.
- Yemen, H., 1999. Ege bölgesi ısı akısı dağılımı. Yüksek Lisans tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. 101s., Isparta (yayımlanmamış).
- Yılmaz, Y., Genç, S.C., Gürer, O.F., Bozcu, M., Yılmaz, K., Karacık, Z., Altunkaynak, Ş. ve Elmas, A., 2000. When did the western Anatolian grabens begin to develop? in: Bozkurt E., Winchester J.A., Piper J.D.A. (Eds.), Tectonics and magmatism in Turkey and the surrounding area, Geological Society Special Publication 173, Geological Society, London, pp. 353-384.
-

