

MADEN TETKİK VE ARAMA DERGİSİ

Türkçe Baskı

2014

149

İÇİNDEKİLER

Tuzgözü Havzası Kuvaterner Tortularının Fasiyes Özellikleri ve Denetim MekanizmalarıAlper GÜRBÜZ ve Nizamettin KAZANCI	1
Tuz Gölü Fay Zonunun Neotektonik Dönem Özellikleri, Depremselliği, Geometrisi ve Segment YapısıAkın KÜRÇER ve Yaşar Ergun GÖKTEN	19
Karaburun (İzmir) Çevresinin Neojen Stratigrafisi ve Paleocoğrafik EvrimiFikret GÖKTAŞ	71
Malatya Oligo-Miyosen Havzasının Bentik Foraminifer Faunası (Doğu Toroslar, Doğu Türkiye)Fatma GEDİK	95
Qushchi (KB İran, Batı Azerbaycan) Amfibolitlerinin Tektonomagmatik Özellikleri ve Protolit TipiMohssen MOAZZEN	141
Bozkır Formasyonunda Gliberit-Halit Birlikliği (Pliyosen, Çankırı-Çorum Havzası, Orta Anadolu, Türkiye)İlhan SÖNMEZ	155
Basit Zemin İndeks Özelliklerini Kullanarak Şişme Basıncının HesaplanmasıKamil KAYABALI ve Özgür YALDIZ	179
Gömülü Jeolojik Sınırların Görüntülenmesine İki Örnek: Obruk Yapısı ve Seyithacı Fayı, Karapınar, KonyaErtan TOKER, Yahya ÇİFTÇİ, Aytekin AYVA ve Akın KÜRÇER	193
Türkiye Jeotermal Potansiyelinin Isı Akısı Hesaplamasıyla DeğerlendirilmesiUğur AKIN, Emin Uğur ULUGERGERLİ ve Semih KUTLU	205
Mineral Gelişimi ve Biyokimya Hakkında Kısa NotJosé Mario AMİGO	215
Güney Marmara Bölgesindeki Büyük Vadilerin Olası Deşilme Zamanları (N. Kazancı, Ö. Emre, K. Erturaç, S.A.G. Leroy, S. Öncel, Ö. İleri, Ö. Toprak; MTA Dergisi 148, 1-17) Makalesine Eleştiri ve DüzeltmeNizamettin KAZANCI	223
Katkı Belirtme.....	225
Maden Tetkik ve Arama Dergisi Yayın Kuralları.....	227



Maden Tetkik ve Arama Dergisi

<http://dergi.mta.gov.tr>



TÜRKİYE JEOTERMAL POTANSİYELİNİN ISI AKISI HESAPLAMASIYLA DEĞERLENDİRİLMESİ

THE ASSESSMENT OF GEOTHERMAL POTENTIAL OF TURKEY BY MEANS OF HEAT FLOW ESTIMATION

Uğur AKIN^{a*}, Emin U. ULUGERGERLİ^b ve Semih KUTLU^a

^a Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Jeofizik Etütleri Dairesi, ANKARA

^b Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeofizik Mühendisliği Bölümü, ÇANAĞKALE

ÖZ

Anahtar sözcükler:
Isı akısı, Curie sıcaklığı,
Curie noktası derinliği,
jeotermal gradient

Bu çalışma da, Türkiye'deki bilinen jeotermal sahaların dışındaki yeni sahaların belirlenmesine yönelik olarak Türkiye'nin ısı akısı dağılımı araştırılmıştır. Bu amaçla, havadan manyetik verilerinden güç spektrumu yöntemiyle elde edilen Curie noktası derinliğinden yararlanılarak jeotermal gradient hesaplanmıştır. Jeotermal gradient değerleri ile kayaç ısı iletim değerleri çarpılarak Türkiye'nin ısı akısı haritası elde edilmiştir. Türkiye geneli ısı akısı haritasında ortalama değer 74 mW/m² olduğu belirlenmiştir. Bu değer, Türkiye'de, dünya ortalamasının üzerinde bir jeotermal enerji kaynağının varlığına işaret etmektedir. Türkiye'nin jeotermal açıdan en önemli bölgesi 200 mW/m² aşan değeri ile Aydın ve çevresini kapsayan alandır. Buna karşın, Aksaray, Niğde, Karaman ve Konya ile sınırlanan alanda bu değer 30 mW/m² değer altına kadar düşmektedir. Doğu Karadeniz, Doğu ve Güneydoğu Anadolu bölgeleri için ise ayrıntılı ek çalışma yapılması gerekliliği görülmüştür.

ABSTRACT

Keywords:
Heat flow, Curie
temperature, Curie
point depth, geothermal
gradient

In this study, the heat flow distribution of Turkey was investigated in the interest of exploring new geothermal fields in addition to known ones. For this purposes, the geothermal gradient was estimated from the Curie point depth map obtained from airborne magnetic data by means of power spectrum method. By multiplying geothermal gradient with thermal conductivity values, the heat flow map of Turkey was obtained. The average value in the heat flow map of Turkey was determined as 74 mW/m². It points out existence of resources of geothermal energy larger than the average of the world resources. in terms of geothermal potential, the most significant region of Turkey is the Aydın and its surrounding with a value exceeding 200 mW/m². On the contrary, the value decreases below 30 mW/m² in the region bordered by Aksaray, Niğde, Karaman and Konya. The necessity of conducting a detailed additional studies for East Black sea, East and Southeast Anatolia is also revealed.

1. Giriş

Yer kabuğundaki ısının büyük miktarı mantodan, çok az bir miktarı ise radyoaktif elementlerin bozuşmasından (radyojenik süreçten) kaynaklanmaktadır. Radyojenik kaynaklı ısı, yer kabuğundaki kısa ve uzun yarı ömürlü izotoplar tarafından

oluşturulur. Kısa yarı ömürlü radyojenik izotoplar, yerkürenin ilk dönemlerinin ısı üretiminde etkili olurken, uzun ömürlü izotoplar (²³⁵U, ²³⁸U, ²³²Th ve ⁴⁰K) ise yerkürenin ilk dönemlerinden günümüze kadar olan surede radyojenik ısı üretiminde yer alırlar (Göktürkler, 2002). Yer kürenin herhangi bir noktasındaki ısı enerjisinin kaynakları görelî olarak % oranları ile elde edilebilir (Akın ve Çiftçi, 2011).

* Başvurulacak yazar: Uğur AKIN, ugurakin11@gmail.com

Türkiye'de ısı akısının yüksek olduğu yerlerin pek çoğu hem volkanik veya tektonik geçmişi olan hem de jeotermal kaynakların yer aldığı alanlardır (Şekil 1). Isı akısı doğrudan veya dolaylı olarak elde edilebilir. Isı akısını doğrudan belirleme yöntemlerinden bazıları sırasıyla verilmiştir. Silika jeotermometresi kaynak sularındaki çözülmüş SiO_2 miktarından hareketle ısı akısını hesaplar (Fournier and Rowe, 1966, 1977). Bullard yöntemi (Bullard 1939) özellikle tortul kayalar içinde açılan sondaj kuyularında kullanılan yöntemdir. Yöntem, düzensiz sıcaklık gradienti ve iletkenliği gözlemlendiği durumlarda da geçerlidir.

Modelleme yönteminde yer altı sıcaklık dağılımı için değişik tip yer altı suyu akış rejimi kullanılabilir (Bal, 2004). Bu yöntemlere ek olarak ısı akısı, sıcaklık gradienti yöntemi ile de hesaplanabilir. Isının bir ortamda iletimi sırasında, sıcaklığın derinlikle değişim oranına sıcaklık gradienti denir. Isı akısında düşey doğrultudaki sıcaklık değişimi (dT/dz) dikkate alınır. Bir ortamın ısı iletkenliği katsayısının SI (International System of Units - Uluslararası Birim Sistemi) sisteminde birimi $\text{W/m}^\circ\text{C}$ olarak tanımlanır. Herhangi bir ortam içinde ısı, birbirine paralel birim kesitte yüzeyler içerisinde bu yüzeylere dik olarak akmakta ise ve duraylı duruma ulaşmış ise; ısı akısı, ısı iletkenliği ve sıcaklık gradienti çarpımına eşittir.

Anılan yöntemle geçmişte yapılmış çalışmalar göreceli olarak dar bölgeleri kapsar. Geçmiş çalışmalarda ortak nokta, hesaplanmış kayaç ısı

iletiminin kullanılmayışıdır. Bu nedenle araştırmacılar kayaç ısı iletim katsayısı olan λ için literatür çalışmalarından bütün bölgeyi temsil ettiği düşünülen tek bir sabit değer seçerek, ısı akısını hesap etmektedirler.

Kayaçların oluşumu sırasında λ ısı iletim katsayısı değişimini etkileyen özellikleri şöyle sıralayabiliriz; Sıcaklık, basınç, gözenek, yoğunluk, tane boyutu, çimentolanma derecesi, mineral içeriğinin ve içerdiği akışkan. Ayrıca, gözenek ve suya doygunluk oranları önemlidir. Kayaç örneğinin suya doygun veya kuru olmasına bağlı olarak laboratuvarla ölçülen λ değerleri arasında %30 a varan farklar oluşmaktadır (Scharli ve Rybach 1984).

1969'dan günümüze kadar, her ülkede değişik teknik ve yöntemlerle ısı akısı jeofizik ve jeolojinin araştırma konusu olmuştur (İspir, 1972). Genellikle tektonik zonlarda; grabenlerde, okyanus ortası sırtlarında ısı akısı değerleri 83.8 mW/m^2 den yüksektir (Lee ve Uyeda, 1965; Langseth ve Taylor, 1967; McKenzie, 1967; Gorshkov, 1972; Zonshin, 1975).

Adayayı oluşumlarında, dalma batma zonlarında, derin fay zonlarında levha çarpışma zonlarının yakınında ısı akısı yüksektir (Slater, 1972). Okyanus ortası sırtlarda, eksenden dik yönde uzaklaştıkça ısı akısında azalma görülmüştür. Okyanus çukurlarında ise ısı akısı oldukça düşüktür. Tektonik ile ilgili ısı akısı bileşeni jeolojik yaşa göre değişir; Prekambriyen (>600 milyon yıl) yaşlı



Şekil 1- Jeotermal kaynaklar ve volkanik alanlar haritası (MTA, 2014).

jeolojik oluşumlarda düşük ısı akısı gözlemlenirken, Senezoyik (<70 milyon yıl) yaşlı genç kıvrımlarda yüksek ısı akısı elde edilmektedir. Volkanların üçte ikisi Pasifik Zonu'nda yer alır. Genel olarak volkanik bölgelerde ısı akısının yüksek olduğu görülmüştür ancak yaşlı ve genç volkanitler arasında da ısı akısı farklılıkları vardır.

Kıtalarda da ısı akısı araştırmalara konu olmuştur. Avrupa kıtasında Avrupa Jeotravers Projesi (EGT) kıtanın sıcaklık değişimini incelenmiştir. İskandinavya'nın kuzeyinden başlayıp Kırım'ın güneyine uzanan doğrultu boyunca sıcaklık dağılımı 60-70 km. derinlere kadar haritalanmıştır (Shen vd., 1991). Isı akısı değerleri bakımından iki bölgeye ayrılmış, doğu kısmı normal ısı akısı ile temsil edilirken (41.9-50.2 mW/m²) batı kısmı yüksek değerlere ulaşmaktadır (83.8 mW/m²). Düşük ısı akısının bulunduğu yerler Prekambriyen kalkanların bulunduğu bölgelerdir. Baltık Kalkanı'nda 36 mW/m², Ukrayna Kalkanı'nda 29.33 mW/m², Hindistan Kalkanı'nda 38.5 mW/m² değerleri gözlemlenirken Doğu Avrupa ve Sibiry'a'daki Prekambriyen platformlarda ısı akısı değeri oldukça düşüktür (Çizelge 1 ve 2).

Graben bölgelerde yüksek ısı akısı değerlerine rastlanmıştır. Ren grabeni 83.8-167.6 mW/m², Baykal Grabeni 83.8-209.5 mW/m² ve Cambay Grabeni için 83.8-104.7 mW/m² ısı akısı değerleri bulunmuştur (Gupta vd., 1970; Gorshkov, 1972; Tissot ve Espitalie, 1975).

Fytikas (1980) yaptığı çalışma ile Ege Denizi'ndeki ısı akısı ölçümlerinde, tektonik yapılar boyunca uzanan üç yüksek ısı akısı bölgesi saptamıştır. İlki, Helenik ada yayının iç kısmında Palegonian-Parnos Zonu boyunca Astipalia ve

Kavaros adaları üzerinden Bodrum Karaada civarına uzanan alandır. Isı akısı yer yer 120 mW/m² yi aşmaktadır, ikincisi, Orta Ege'de İzmir-Ankara Zonu'nun batı ucunda yer alır ve değerler 100 mW/m² yi aşar. Sonuncu alan ise Makedonya, kuzey Ege adaları, Biga ve Gelibolu yarımadaları kıyılarını kaplayan yüksek ısı akısı kuşağıdır.

Türkiye geneli veya bölgesel olarak ısı akısı hesaplamaları, birçok araştırmacı tarafından yapılmıştır. Bu çalışmalarda Batı Akdeniz için genelde yüksek, Doğu Akdeniz için ise düşük ısı akısı değerleri elde edilmiştir. Ayrıca, Karadeniz'de düşük ısı akısı değerleri gözlemlenmiştir. Gerçekte Karadeniz'de ölçülen ısı akısı değerlerine hızlı tortullaşmadan dolayı düzeltme uygulandığında, bu alanın yüksek bir ısı akısı bölgesi olduğu görülür (Ericson, 1970).

Tezcan ve Turgay (1991) Türkiye geneli için ortalama ısı iletim katsayısı $\lambda=2.1 \text{ W/m}^2\text{K}^{-1}$ değeri seçerek ısı akısı haritası ve 1000 metredeki sıcaklık dağılımı haritasını hazırlamışlardır. İlkışık (1995) termal kaynaklarda silika jeotermometresi kullanarak Batı Anadolu'da bölgesel ısı akısı çalışmaları yapmıştır. Ayrıca ısı akısı ortalama değeri olarak $107\pm 45 \text{ mW/m}^2$ hesaplamıştır ve bunun dünya ortalamasının % 50-60 daha fazla olduğunu belirtmiştir. Marmara bölgesinde ayrıntılı bir ısı akısı çalışmasını da Pfister (1995) yapmıştır. Ege bölgesi ısı akısı dağılımı kuyulardaki ölçülen jeotermal gradient ile de değerlendirilmiştir (Yemen, 1999).

Isı akısı, dolaylı olarak manyetik verilerin kullanılması ile de hesaplanabilir (Akın ve Duru, 2006; Akın vd., 2006). Türkiye havadan manyetik belirti haritası (Şekil 2), Anadolu'nun tektoniğini ve jeolojisini oldukça ayrıntılı bir şekilde tanımlarken

Çizelge 1- Kıtasal kabukta farklı jeolojik yapılarda ısı akısı ölçüm değerleri (Lee ve Uyeda, 1965).

Jeolojik Yapı	Ortalama Isı Akısı (mW/m ²)
Prekambriyen Kalkanlar	38.5 ± 29.3
Paleozoyik Orejenik Alanlar	51.5 ± 16.76
Mesozoyik-Senezoyik yaşlı orojenik alanlar	80.4 ± 20.5
Senezoyik yaşlı volkanik alanlar (jeotermal alan dışı)	90.5 ± 19.2

Çizelge 2- Okyanusal kabukta farklı yapıların ısı akısı değerleri (Lee ve Uyeda, 1965).

Okyanuslarda Isı Akısı	Ortalama Isı Akısı (mW/m ²)
Okyanusal Basenler	53.6 ± 22.2
Okyanus ortası sırtlar	76.2 ± 65.3
Okyanus Çukurları (Trençler)	41.8 ± 25.5

elde etmede kullanılmaktadır. Diğer geriye kalan %6 oranı ise elektrik enerjisi kullanımına uygundur (MTA, 2014).

3. Jeofizik Veri Ve Kullanılan Teknik

Türkiye'deki yer altı zenginliklerinin aranıp bulunmasına temel oluşturmak amacıyla MTA, Jeofizik Etütleri Dairesi bünyesinde 1978 yılında başlatılan havadan manyetik araştırmalar 1989 yılında tamamlanmıştır. Bu süre içerisinde deniz, göl ve kara olmak üzere toplam 813639 km² alanda yaklaşık 460.000 km uçuş yapılmıştır. Ancak ülkeler arası sınır antlaşmaları gereği Suriye, İran, Irak sınırlarına 5 km, eski SSCB, Yunanistan, Bulgaristan sınırlarına 15 km kadar yaklaşmamıştır. Uçuşlar, sektör olarak adlandırılan alanlarda, kısmen topografik yükseklikler, çoğu zamanda jeolojik unsurlar göz önüne alınarak ortalama 2000 feet yükseklikten uçularak gerçekleştirilmiştir. Jeotermal, mineral aramaları veya diğer potansiyel kaynaklara bağlı olarak sektörlerdeki uçuş hatları aralıkları 1-5 km arasında seçilmiştir. Her uçuş sektöründe manyetik baz istasyonu tarafından günlük değişim ölçümleri alınmış ve uçuş yönü sapması (heading error) tanımlanarak gerekli düzeltmeler gerçekleştirilmiştir. Farklı zamanlarda uçulmuş sektörlerin verisi (jeomanyetik alanın yıllık değişimleri göz önüne alınarak) ortak ve aynı uçuş yüksekliklerindeki hatlarda birbirine bağlanmıştır (Karat ve Aydın, 2004). Havadan manyetik veriler IGRF 1985 (International Geomagnetic Reference Field – Uluslararası Jeomanyetik Referans Alanı) e göre indirgenmiştir.

Aydın vd., (2005), 1x1 km grid yaptıkları haritalarını 380 adet bloğa bölerek spektral analiz tekniğini her bir blok üzerinde uygulamışlardır.

Spector ve Grant (1970) in önerdiği, Tanaka vd., (1999) ve Okuba vd., (1985) tarafından da geliştirilmiş teknikle Curie eşsıcaklık derinlik haritası hazırlanmıştır. Manyetik belirtiye neden olan yapının derinliği Eşitlik 1 de verilmiştir (Şekil 3).

$$Z_b = 2Z_o - Z_t \quad 1$$

burada

Z_b , manyetik kaynağın alt derinliği

Z_o , manyetik kaynağın merkezinin derinliği

Z_t , manyetik kaynağın üst derinliği olarak tanımlanmıştır.

Karat ve Aydın (2004, 2005) hesapladıkları Curie noktası derinlik değerleri ile, Batı Anadolu'nun diğer bölgelere göre daha sığ olduğunu ortaya koymuşlardır. Aydın-Denizli-Uşak arasını kaplayan ve batı-doğu doğrultusunda uzanan bu bölgede, derinlik 6-10 km arasındadır. Menderes grabeninde yer alan, Aydın ve yöresi Curie noktası derinliğinin en sığ olduğu yer olarak görülmüştür (Şekil 4). Orojenik kuşaklarda ve yüksek platolarda 20-29 km derinlikler hesaplanmıştır. Curie noktası derinlik haritasının her bir grid hücrelerinden jeotermal gradient hesaplanmış ısı akısı haritası için kullanılmıştır.

Daha öncede belirtildiği gibi herhangi bir ortam içinde ısı, birbirine paralel birim kesitteki yüzeylerde bu yüzeylere dik olarak akmakta ise ve duraylı duruma ulaşmış ise; ısı akısı Eşitlik 2'de olduğu gibi ısı iletkenliği ve sıcaklık gradienti çarpımına eşittir.

$$q = \lambda * (dT/dz) \quad 2$$

q : ısı akısı

λ : kayaç ısı iletim katsayısı

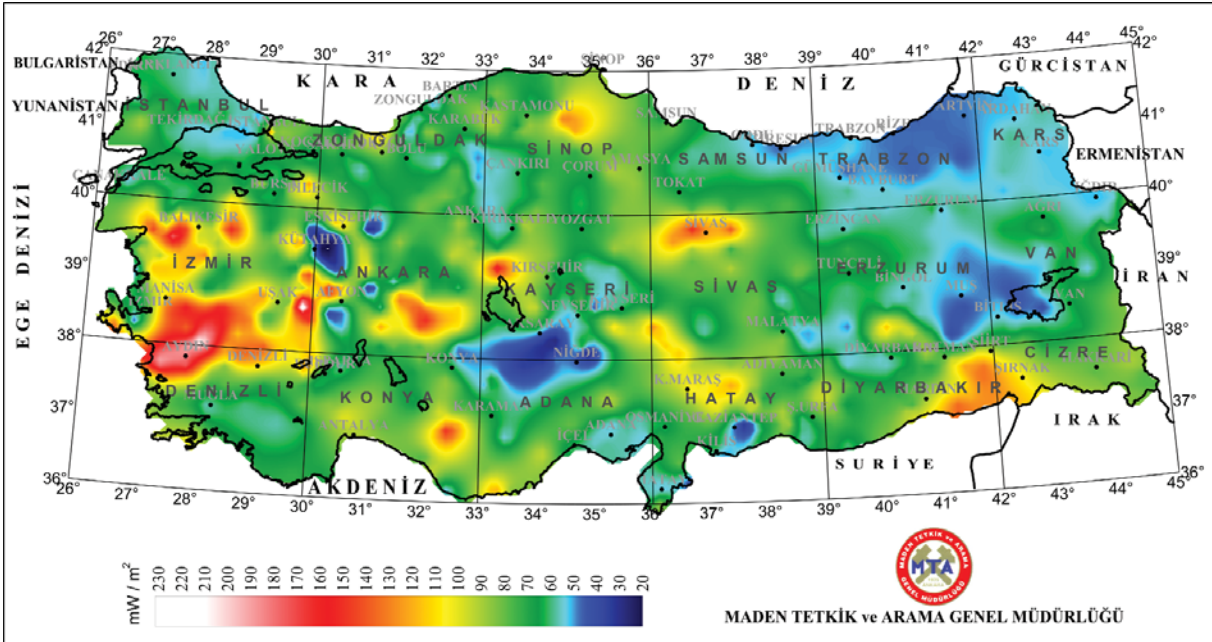
dT/dz : jeotermal gradient

Bu çalışmada, Karlı vd., (2006) tarafından Türkiye genelinde toplanan 579 adet örnekte elde edilmiş kayaç ısı iletim değerleri (λ) kullanılmıştır. Çizelge 3'de Manisa-Çataloluk'da hesaplanmış λ değerleri görülür. Eşitlik 2'de λ katsayısı için araziden ölçülmüş kayaç ısı iletim değerleri kullanılmasıyla yeni bir ısı akısı haritası elde edilmiştir (Şekil 5).

Doğu Karadeniz, Güneydoğu ve Doğu Anadolu bölgelerinde kayaç ısı iletim verileri azdır. İleriki yıllarda, bu bölgelerde veri sayısı arttırılırsa daha yüksek ayrımlı haritaların oluşturulması sağlanacaktır.

Çizelge 3- QTM (Quick Thermal Measurement) cihazı kullanılarak alınmış kayaç ısı iletim katsayıları ölçüm değerleri (Yemen, 1999).

Yer	Kuyu litolojisi ve kalınlıkları (metre)	QTM ölçümü λ (W/m°C)	
Manisa-Çataloluk	Marn	0-53	1.797
Manisa-Çataloluk	Çakıl-Tüf	53-85	1.375
Manisa-Çataloluk	Kumtaşı	85-122	3.228



Şekil 5- Türkiye güncellenmiş ve geliştirilmiş ısı akısı haritası.

Batı Anadolu'da Menderes Masifi üzerindeki horst graben sistemlerinin neden olduğu kabuk inceliği gözlemlenmektedir. Bu incelemeye bağlı olarak Aydın, Denizli ve Uşak illerinde Curie noktası derinlikleri sıg olup, 7.3 ile 15 km'dir (Karat ve Aydın 2004; Aydın vd., 2005). İzmir ve çevresini kapsayan Batı Anadolu kesiminde ortalama 101 mW/m² ısı akısı ile Türkiye'nin jeotermal potansiyeli açısından en önemli bölgesini oluşturmaktadır.

Ankara-Erzincan Sütur Zonu'nun kuzeyinde Doğu Karadeniz Bölgesi'nde ısı akısı değerleri Ordu, Artvin, Bayburt bölgelerinde sırasıyla 57 mW/m², 47 mW/m², 55 mW/m² olarak hesaplanmıştır.

Isı akısı değerleri kabuğun kalınlaştığı Bitlis Kenet Zonu'nun kuzeyinde, zona paralel konumlu Bingöl, Bitlis, Muş, Batman ve Van arasında azalım göstermiştir. Litoloji özelliklerinin ısı akısı değişiminde önemli rol oynadığı saptanmıştır. Bölgedeki granatoyid, volkanit ve gnaysların yoğun olduğu alanlarda ısı akısındaki görece yükselimler belirginleşmiştir.

Van Gölü'nün kuzey ve doğusunda yer alan ve birbiri ile ilişkili olabileceği düşünülen, Curie noktası derinlikleri 17-18 km olan iki alan görülmektedir (Karat ve Aydın, 2004).

TPAO tarafından, Nemrut Dağı'nda yapılan derin sondajlarda ısı ölçümlerinde sıcaklığın beklenilenden

düşük olduğu anlaşılmıştır. Isı akısı haritası, Van Gölü'nün kuzeydoğusunda (Muradiye yakını) 55 mW/m², Nemrut Dağı'nda da 46 mW/m² düşük ısı akısı değerleri göstermiştir. Ağrı çevresi ve güneyinde yayılım gösteren belirti alanında bulunan genç volkanikler üzerinde oluşan ısı akısı değeri 71 mW/m² dir.

Anadolu'nun tektonik açıdan aktif olan alanları ve genç volkanizmanın olduğu bölgelerde yüksek ısı akısı jeotermal kaynakların zenginliğine işaret etmektedir. Karadeniz'in en sıg kısım olduğu Sinop, Samsun ve Çorum arasındaki bölgenin Curie noktası derinliği 11.6 km dir (Karat ve Aydın, 2004). Belirtinin kenar kesimlerinde yer alan sıcak su çıkışları buradaki sıglığı doğrular niteliktedir.

Isı akısı haritasında Kastamonu'nun güney batısındaki 93 mW/m² ve Sinop, Samsun ve Çorum arasında yer alan bölgeki 128 mW/m² maksimum değeri uyumlu görülmektedir.

Türkiye'deki en etkin faylarının makaslama zonunda Erzincan-Tunceli arasında Curie noktası derinliği 16km'dir. Bölgede önemli sayıda sıcak su çıkışları mevcuttur. Bingöl'de 56 mW/m² lik değerlerin olduğu belirlenmiştir. Bu görülen uyumsuzluk, tartışma bölümünde de ele alındığı gibi, Doğu Anadolu bölgesinde yeterli kayaç ısı iletim veri kümesinin olmaması nedeniyle ortaya çıkmıştır.

Hakkari'den başlayıp Urfa'nın kuzeyine, buradan da batıya uzanarak Adana'nın kuzeyine kadar gelen dar kuşakta sığ Curie noktası derinliğine gözlemlenmektedir. Curie noktası derinliği 11 km'ye varan sığlaşmalar göstermiştir (Karat ve Aydın 2004). Hesaplanan ısı akısı verileri Şırnak-Siirt-Batman ve Mardin arasında kalan kısımda maksimum 132 mW/m², Diyarbakır'ın kuzeyinde 116 mW/m², Karacadağ bölgesinde ise 55 mW/m² dir.

Kayseri'nin güneyinde Erciyes'in yer almasına karşın çevresinde belirgin sıcak su çıkışları yoktur (Şekil 1). Isı akısı haritasında Kayseri'den

Gaziantep'e kadar dar bir alanda en büyük değeri 116 mW/m² çıkan belirgin yüksek ısı akısı vardır.

Trabzon ve Kars çevresini kapsayan Doğu Karadeniz ve Kuzey Batı Anadolu ısı akısı bakımından en düşük yer olup sırasıyla 52 ve 54 mW/m² değerlere düşmektedir.

Türkiye'nin bazı paftalarındaki en yüksek, en düşük ve ortalama ısı akısı değerleri ile birlikte Curie noktası derinlikleri çizelge 4'de verilmiştir.

Çizelge 4- Türkiye 1:500.000 ölçekli harita bölgeleri üzerindeki ortalama ısı akısı ve Curie değerleri.

1:500.000 Ölçekli Pafta	En Yüksek (mW/m ²)	En Düşük (mW/m ²)	Ortalama (mW/m ²)	Ortalama Curie Derinliği (km)
İstanbul	123	51	66	20.3
Zonguldak	113	48	70	18.7
Sinop	129	52	78	17.9
Samsun	100	59	74	20.4
Trabzon	63	45	52	21.5
Kars	80	50	54	19.5
İzmir	229	29	101	12.2
Ankara	166	20	81	15.4
Kayseri	164	26	72	18.6
Sivas	152	50	81	17.5
Erzurum	116	41	61	19
Van	87	42	62	19.6
Denizli	191	56	86	16
Konya	148	48	80	18.9
Adana	118	34	67	19.6
Hatay	120	33	78	17.7
Diyarbakır	135	54	83	17.1
Cizre	126	64	87	19.3

4. Tartışma ve Öneriler

Türkiye genelinde toplanan 579 örneğin kayaç ısı iletimi değerlendirmeye alınarak Türkiye'nin ısı akısı haritası elde edilmiştir. Kayaç ısı iletkenlik sayısı, Türkiye üzerinde homojen dağılım göstermediği gibi yeter sayıda değildir. Bu veriler Doğu Karadeniz, Güneydoğu ve Doğu Anadolu bölgesinde seyrek dağılım gösterir. Bu alanlarda yapılacak ek çalışmalarla, örnek sayısının artırılması yeniden oluşturulacak haritaların değerini daha da artıracaktır.

Türkiye ısı akısı haritasında ülkenin ortalama değerinin 74 mW/m² olduğu belirlenmiştir.

Yapılan çalışmanın sonuç haritası Türkiye'nin büyük bir jeotermal potansiyeli olduğunu ortaya koymuştur. Türkiye'nin jeotermal açısından en önemli bölgesi 101 mW/m² lik ortalama değeri ile 1:500.000 ölçekli İzmir paftası olduğu görülür. Bu bölge içerisinde Curie noktası derinliği 6 ila 15 km arasında değişmektedir.

Bölgedeki en sığ kısım Menderes Grabeni içerisinde yer alan Aydın ve Denizli yörelerinde hesaplanmıştır. Bu bölgedeki en düşük ve en yüksek değerler aynı zamanda Türkiye'nin de en düşük ve en yüksek değerleri olup Kütahya ile Eskişehir arasında 30 mW/m² altında olduğu, en büyük değer ise 229

mW/m² ile Uşak ve Afyon arasında oluştuğu görülmüştür.

Trabzon, Samsun ve İstanbul paftaları, 20km civarında ortalama derinlik gösterirken buna karşın ortalama ısı akısı değerleri de uyumlu olarak düşük çıkmıştır. Trabzon paftası özellikle ısı akısı açısından 52 mW/m² değeri ile Türkiye'nin jeotermal potansiyel açısından en zayıf bölgesi olarak ortaya çıkmıştır (Şekil 1 ve Çizelge 4).

Eldeki kısıtlı bilgiler ışığında Ankara, sıcak su kaynakları ve jeotermal alanlar açısından etkin görülmemektedir. İleriki tarihlerde Ankara paftasında yapılacak çalışmalar bölgenin jeotermal potansiyelini daha iyi ortaya koyacaktır.

Diyarbakır ve Cizre ise yüksek ısı akısı gözlemlenirken, sıcak su kaynakları ve jeotermal alanların yokluğu oldukça dikkat çekicidir (Şekil 1). Cizre'nin 19.3 km ortalama Curie noktası derinliği vardır. Diyarbakır'a göre, jeotermal gradiyenti daha düşüktür.

Adana, Van, Erzurum, Kars ve Konya'nın Curie noktası derinliği 18.9-19.6 km arasında değişim sunarken ısı akısı bakımından göreceli olarak zayıf özellik sunarlar.

Sivas, Hatay ve Sinop paftalarında Curie noktası derinliği 17.5-17.9 km arasında değişim gösterir. Bu değerler ülke ortalama Curie noktası derinliğinden daha sığdır. Paftaların ısı akısı değerleri ise sığ Curie noktası derinlikleri ile uyumludur ve ülke ortalamasının üzerinde yer alır. Kuzey Anadolu Fay Sistemi'nin bir kısmını içerisinde bulunduran Sinop paftası, Zonguldak paftasında olduğu gibi sıcak su çıkışları açısından yoğun bir bölge olup kaynaklar genellikle fay sistemi üzerinde sıralanmıştır.

Kırşehir Masifi'nin çok büyük bölümünü sınırları içerisine alan Kayseri paftası 18.6 km Curie noktası derinliği, 72 mW/m² ısı akısı değeri ile ülke ortalamasının altında yer alır. Akın ve Çiftçi (2011), bu paftanın ısı akısının belirli bir kısmının radyojenik ısı üretiminden kaynaklandığını ortaya koymuşlardır. Sahanın jeolojisinde volkanikler hakimdir. Sıcak su çıkışları, jeotermal alanlar ve volkanik çıkışları açısından birçok bölgeye göre zenginlik sunar.

5. Sonuçlar

Önceki çalışmalarda elde edilen Curie noktası derinlik haritası baz alınarak ve çeşitli projelerden elde edilmiş ısı iletkenlik değerleri kullanılarak,

Türkiye için yeni ısı akısı haritası hazırlanmıştır. Elde edilen ayrıntılar çoğunlukla saha gözlemleri ile uyumludur. Bunun yanı sıra henüz keşfedilmemiş Doğu Karadeniz, Güneydoğu ve Doğu Anadolu bölgelerindeki potansiyel alanlar için ek çalışmaların yapılmasının gerekliliği ortaya konmuştur.

Katkı Belirtme

Türkiye ısı akısı haritası (manyetik verilerden) MTA raporunu birlikte hazırladığımız, yakın bir zamanda kaybettiğimiz yer bilimlerinin her alanına sonsuz ilgisi ile örnek bilim adamı olan ağabeyimiz Dr. Mehmet Duru'yu tanıtmaktan ve O'nunla çalışmaktan dolayı onur duyar, kendisini sonsuz saygı ve rahmetle anarız.

Bu çalışmamızda değerli fikirleri ile makalenin olgunlaşmasını sağlayan Dr. M. Özgü Arısoy'a (MTA), makalenin yayımlanmasında, olumlu eleştirileri ile yol gösteren Doç. Dr. O. Pamukçu (DEÜ) ve Dr. İbrahim Aydın'a (SDÜ) katkılarından dolayı teşekkür ederiz.

Geliş Tarihi: 22.04.2014

Kabul Tarihi: 15.04.2014

Yayınlanma Tarihi: Aralık 2014

Değinilen Belgeler

- AFAD, 2014. T.C. Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı Deprem Araştırma Dairesi Başkanlığı. 17 Nisan 2014, <http://www.deprem.gov.tr/sarbis/Shared/Default.aspx>
- Akın, U., Duru, M., Kutlu, S., Ulugergerli, E.U., 2006. Türkiye'nin Isı Akısı Haritası (manyetik verilerden). 17. Jeofizik Kongresi (genişletilmiş özet Cd). Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Akın, U., Çiftçi, Y., 2011. Kırşehir Masifi'nin Isı Akısı ve Radyojenik Isı Üretimini Jeolojik Kaynakları. *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, 143, 53-73.
- Aydın, İ., Karat, H.İ., Koçak, A., 2005. Curie-point depth map of Turkey. *Geophys. J. Int.* 162, 633-640.
- Bal, A., 2004. Aydın İzmir civarının hava manyetik verilerinden ısı akısı değerlerinin belirlenmesi ve ısı akısı dağılımının İncelenmesi. *Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı*. 141s., Ankara (yayımlanmamış).
- Bhattacharyya, B.K. 1965. Two dimensional harmonic analysis as a tool for magnetics interpretation. *Geophysics* 30, 829, 857.
- Bhattacharyya, B.K., 1966. Continuous spectrum of the total magnetic field anomaly due to a rectangular prismatic body, *Geophysics*, 31, 97-121.

- Bullard, E.C., 1939. Heat flow in South Africa. *Proc. Roy. Soc., London*, Ser. A., 173, 474-572.
- Ericson, A.J., 1970. The measurement and interpretation of heat flow in the Mediterranean and Black Sea. Ph. D. Thesis, *Cambridge, Mass., Massachusetts Institute of Technology*, 272p.
- Fytikas, M.D., 1980. Geothermal exploration in Greece. 2nd. Int. Sem on the Results of E.C. *Geothermal Energy Research, Strasbourg*. (eds) A.S. Strub ve P. Ungemanch, 213 – 237, Reidel Publ., Dordrecht.
- Fournier, R. O., J. J. Rowe, 1966. Estimation of underground temperatures from the silica content of water from hot springs and wet steam wells. *Am. J. Sci.*, 264, 685-697.
- Fournier, R. O., J. J. Rowe, 1977. The solubility of amorphous silica in water at high temperatures and high pressures. *American Mineralogist*. Volume 62, pages 1052-1056.
- Gorshkov, G.S., 1972. Progress and problems in volcanology: *Tectonophysics*, 13, 1-4, 123-140.
- 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.
- Gupta, M.L., Verma, R.K., Hazma V.M., Venkateshwar, Rao.G., Rao, R.U.M., 1970. Terrestrial heat flow and tectonics of the Cambay basin (India). *Tectonophysics*, 10, 1-3, 147-163.
- İlkışık, O.M., 1995. Regional heat flow in western Anatolia using silica temperature estimates from thermal springs. *Tectonophysics*, 244, 175-184.
- İspir, Y., 1972. Arz içinde ısı akısı. *İ.Ü. Fen Fakültesi Jeofizik Kürsüsü Öğretim yayınları* 5. İstanbul.
- Jongsma, D., 1974. Heat flow in the Aegean Sea. *Geophys. J.R. Astr. Soc.*, 37, 337-346.
- Karat, H.İ., Aydın, İ., 2004. Türkiye Curie ısısı derinlik haritası raporu. *Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü* Report No: 10638, Ankara (yayımlanmamış).
- Karlı, R., Öztürk, S., Destur, M., 2006. Türkiye ısı akısı haritası projesi raporu. *Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü* Report No: 10937, Ankara (yayımlanmamış).
- Langseth, M.G., Taylor, P.T., 1967. Recent heat flow measurements in the Indian ocean: *Journ. Geop. Research.*, 72, 24, 6249-6260.
- Lee, W.H.K., Uyeda, S., 1965. Review of heat flow data: Terrestrial Heat Flow. *Geophysical Monograph Series Am. Geop. Union*. 8, 87-190.
- Okubo, Y., Graf, R.J., Hansen, R.O., Ogawa, K., Tsu, H., 1985. Curie point depths of the island of Kyushu and surrounding areas, Japan. *Geophysics*, 50, 481-494.
- McKenzie, D. P., 1967. Some remarks on heat flow and gravity anomalies; *Journ. Geop. Research* 72, 24, 6261-6273.
- MTA, 2014. *Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü*, 17.Nisan.2014, www.mta.gov.tr
- Pfister, M., 1995. Geothermische Untersuchungen in der Region Marmara, NW-Turkei. Kartierung des Wärmeflusses und hydrothermale Modellrechnungen, (Geothermal investigations in the region of Marmara, NW-Turkey, terrestrial heat flow density and hydrothermal modelling), Diss. ETH, Nr. 11054, 231 p.
- Scharli, U., Rybach, L., 1984. On the thermal conductivity of low porosity crystalline rocks. *Tectonophysics*, 103, 307-313.
- Slater, J.G., 1972. New perspectives in terrestrial heat flow: *Tectonophysics*, 13, 257-291.
- Shen, P.Y., Wang, K., Back, A.E., 1991. Crustal thermal models along East European peotraverses: inverse solutions. *Tectonophysics*, 194, 363-385.
- Spector, A., Bhattacharyya B.K. 1966, Energy Spectrum and autocorrelation function of anomalies due to simple magnetic models. *Geophysical Prospecting*, 14, 242-272.
- Spector, A., Grant, F.S., 1970. Statistical models for interpreting aeromagnetic data. *Geophysics*, 35, 293-302.
- Şalk, M., Pamukçu, O., Kaftan, I., 2005. Determination of the Curie Point Depth and Heat Flow from Magsat Data of Western Turkey. *Journal of the Balkan Geophysical Society*, 8/4/149-160.
- Şimşek, İ., Mertoğlu, O., Bakır, N., Akkuş, İ., Aydoğdu, Ö. 2005. Geothermal Energy Utilization Development and Projections - Country Update Report 2000 - 2004 of Turkey Proceedings *World Geothermal Congress*, Antalya, 24-29 April.
- Tanaka, A., Okuba, Y., Matsubayashi, O., 1999. Curie point depth based on spectrum analysis of the magnetic anomaly data in East and Southeast Asia, *Tectonophysics*, 306, 461-470.
- Tezcan, A. K., Turgay, M. I. 1991. Heat flow and temperature distribution in Turkey, in: *Geothermal Atlas of Europe*, edited by: Cermak, V., Haenal, R., and Zui, V., 84-85.
- Tissot, B., Espitalie, J., 1975. L'évolution thermique de la matiere organique des sediments; applications d'une simulation mathematique; Potentiel petrolier des bassins sedimentaires et reconstitution de l'histoire thermique des sediments. *Revue de l'Institut Francais du Petrole et Annales des Combustibles Liquides* 30 (5): 743-777.
- Vitarello, I., Pollack, H.N., 1980. On the variation of continental heat flow with age and the thermal evolution of continents. *J. Geophys. Res.* 85, 983-995.
- Yemen, H., 1999. Ege bölgesi ısı akısı dağılımı. Yüksek lisans tezi. *Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*. 101s., Isparta (yayımlanmamış).
- Zonenshin, L.P., 1975. Problems of global tectonics; *Bull. Am Assoc. Petroleum Geologist*, 59, 1, 124-133.