

TÜRKİYE' DE JEOTERMİK ARAŞTIRMALAR

Geothermic Investigations in Türkiye

O.Metin İLKİŞİK* ve Sıddık ÖZTÜRK* ; Çetin ŞENER** ve Tuğrul TOKGÖZ**

ÖZET

Jeotermik araştırmaların amacı, yeryüzünde ısı akısı yoğunluğu ölçümleri yaparak litosfer-astenosfer sistemi içindeki sıcaklık dağılımını ve olası ısı hücrelerinin yapısını anlamak ve özellikle kabuk yapısındaki derin yanal ve düşey değişimleri belirlemektir.

Genel anlamda yapılan bazı araştırmalara göre Türkiye Avrupa' nın yüksek ısı akısı gözlenen bir bölümünde yer almaktadır. Fakat bu güne kadar yurdumuzun ayrıntılı bir ısı akısı haritası hazırlanamamıştır. Bunun nedeni genellikle petrol aramak gibi başka amaçlarla açılan derin kuyuların çoğunda sistematik sıcaklık loglarının olmayışı ve özellikle kesilen kayaların ısı iletkenlik katsayılarının bilinmemesidir.

Jeotermal suların silika içeriklerine dayanan çalışmalar (İlkışık,1990 ve 1992) bütün Türkiye için ortalama ısı akısı yoğunluğunun $108.1 \pm 44.5 \text{ mW.m}^{-2}$ olduğunu göstermektedir. Bu değer Yerküre ortalamasından %50 kadar daha yüksektir. Ancak, değerlendirilen veri tabanındaki bazı düzensizlikler ayrıntılı bir harita için yetersiz kalmaktadır.

MTA tarafından Batı Anadolu'dan başlayarak tüm Türkiye' nin sağlıklı bir ısı akısı haritasını hazırlanması çalışmalarına başlanmıştır. Bu amaçla, eldeki eski ve yeni sıcaklık ve gradyan loglarının örneklenmesi yanısıra, çeşitli karot örneklerinin ısı iletkenlik katsayısı (K) değerleri ölçülmektedir.

Bu çalışmada Türkiye' nin değişik bölgelerinde alınmış sıcaklık logları incelenecek, farklı kayalar birimlerinde ölçülen (K) değerlerine örnekler verilecek, sonuçlar silika ısı akısı değerleri ile kıyaslanacaktır. Ayrıca, eldeki verilere göre Batı, Orta ve Doğu Anadolu' daki ısı akısı dağılımı irdelenecek, yerkabuğunun üst kesitlerindeki radyojenik ısı üretimi, üst manto içinde astenosfer derinliği, olası magma cepleri ve gelecekte incelenmesi gereken diğer konular tartışılacaktır.

ABSTRACT

The aim of geothermic investigations are to understand temperature distribution in the lithosphere asthenosphere system and the structure of possible heat-cells and especially to determine deep horizontal and vertical changes of crustal structure, by doing heat flow density measurements on the earth' s surface.

Some regional studies show that Türkiye take place on a high heat flow zone of Europe. But until now a detailed heat flow map of our country could not be prepared. In general, this is due to the lack of systematic temperature logs in most of deep holes which are drilled with different aims such as oil exploration and specially there are no information on litology and temperature conductivity coefficients of core samples.

Studies based on silica content of geothermal waters (İlkışık,1990 and 1992) show that the mean values of the heat flow for Türkiye is $108.1 \pm 44.5 \text{ mW.m}^{-2}$. These value is 50% higher than the world average. But some untidiness in studied data base are not enough for a detailed map.

Recently, MTA has been initiated studies to prepare a reliable heat flow map for whole Türkiye starting from western Anatolia. For this aim, in besides sampling of available old and new temperature and gradient logs, the temperature conductivity coefficient (K) values of various core samples have been measuring.

In this study temperature logs from different locations of Türkiye will be presented together with measured temperature conductivity coefficient (K) for different rock samples and the results will be compared with silica heat flow values. In addition, using available data the heat flow distribution in western, central and eastern Anatolia will be discussed together with radiogenic heat production in upper crust, the depth of asthenosphere in upper mantle, plausible magma plumbs and other subjects which must be taken in to account in the future.

GİRİŞ

Yerküre'nin ısı alanı incelenerek kabuğa ilişkin önemli yapısal özellikler ve manto içindeki bazı işlemler belirlenebilir. Avrupa kıtasında yerkabuğunun ayrıntılı yapısının araştırılması için 1985 den sonra yürütülen

Avrupa Jeotravers Projesi (EGT) içinde kıtayı çeşitli yönlerde geçen doğrultular boyunca litosfer ve astenosferin jeoelektrik, yoğunluk, sismik hız ve sıcaklık yapısı incelenmiştir. Örneğin Shen ve diğ. (1991) İskandinavya' nın kuzeyinden Kıbrıs güneyinde Karadeniz içlerine kadar uzanan bir doğrultu boyunca yer içinde

* Jeofizik Mühendisliği Bölümü, İstanbul Üniversitesi, Avcılar 34850, İstanbul

** Jeofizik Etüdüleri Dairesi, MTA Genel Müdürlüğü, Eskişehir Yolu 06520. Ankara

sıcaklık dağılımı 60-70 km derinlere kadar haritalanmıştır. Alexidze ve diğ. (1993) ise Karadeniz, Kafkaslar ve Hazar Denizi bölgelerinde ölçülen ısı akısı değerlerine üst kabuğun üç boyutlu yapısının etkisini irdelemektedir. Bu ve birçok benzeri jeotermik araştırma kıtaların kayması ve depremler gibi jeodinamik olayların ana kaynağı olan mantodaki ısı hücrelerinin yapısını anlamakta çok yararlı olmaktadır.

Ülkemiz, Avrupa'nın yüksek ısı akısı gözlenen bir bölümünde yer almaktadır. Ege Bölgesini de kapsayan Avrupa Isı Akısı Haritası - Sofya Paftası (Hurtig ve diğ., 1991) bazı temel bilgiler içermekte ise de, değerler hesaplanırken kayaların ısı iletkenliğinin (K) tortul kayalar için ortalama bir değer alınması ve kuyularda sıcaklıkların ölçümüne ilişkin çeşitli belirsizlikler nedeniyle bir ölçüde tartışmaya açıktır. İlkışık'ın (1990) termal suların kimyasal, özellikle silika içeriklerine dayanan çalışmaları ise su kaynaklarının dağılımında ve veri tabanındaki düzensizlikler açısından bazı sorunlar içerir. Rybach ve Pfister (Straub ve diğ., 1992) Marmara Bölgesini esas alan ve halen devam eden bir termal araştırma yürütmektedir.

MTA Genel Müdürlüğü Jeofizik Etüdlere Dairesi'nce 1994'de başlattıkları "Türkiye Isı Akısı Haritası Projesi" çerçevesinde yapılacak ayrıntılı jeotermik araştırmalar Anadolu'da yeralan tektonik birimlerin ayrıntılı yayılım ve derinliklerini, kıta-kıta çarpışmalarını yansıtan bloklar olup olmadıklarını, Ege deniz tabanı ve Anadolu kıtasındaki kayaların ilişkilerini ve özellikle yerici sıcaklığının büyük derinliklerdeki dağılımını belirleyecektir. Bu konu güncel ve geçmişteki jeolojik oluşumlar kadar bölgenin petrol ve maden zenginlikleri açısından da önemlidir. Ayrıca, ısı akısı anomalisi görülen bazı alanlarda yerel uygulamalar yaparak bölgenin "Jeotermal Enerji Potansiyeli" de incelenebilir.

İLKELER

Jeotermik araştırmalara esas olan ısı akısı ölçümleri iki alt grupta toplanabilir.

Gradyan Yöntemi:

Bir ortamda ısı iletiminin genel denklemi

$$\rho c(\partial T/\partial t) = \nabla K \nabla T + K \nabla^2 T + A \quad (1)$$

olup burada ρ yoğunluk, c özgül ısı, T mutlak sıcaklık, t zaman, K ısı iletkenlik katsayısı ve A ise ısı üretimidir. Eğer K sabit ve T durağan ise (1) bağıntısı

$$K \nabla^2 T + A = 0 \quad (2)$$

şekline girer ve kabuk sıcaklığı için yapılan birçok hesaplamalarda kullanılır. Jeolojik açıdan genelde sıcaklığın yanal olarak değişmediğini de kabul edersek (2) bağıntısı

$$(\partial^2 T / \partial z^2) = -A / K \quad (3)$$

olur ve bir integrasyon sonra (3) bağıntısı

$$(\partial T / \partial z) = -(A/K)z + \text{Sabit} \quad (4)$$

biçimine girer. Öte yandan ısı akısı yoğunluğunun (birim zamanda birim yüzeyden geçen ısı miktarı)

$$q_0 = K(dT/dz)_{z=0} \quad (5)$$

olduğu dikkate alınarak (ısı iletimine ilişkin birinci Fourier bağıntısı); sabit terim yeryüzü ($z=0$) için

$$\text{Sabit } (dT/dz)_{z=0} = q_0/K \quad (6)$$

olur. (5) bağıntısı ile verilen ısı akısı yoğunluğunun hesaplanabilmesi için -karalarda- bir sondaj kuyusunda veya derin bir madende sıcaklık gradyanı (dT/dz) ölçülmeli ve aynı noktada geçilen kayaların ısı iletkenlik katsayısı K ile çarpılmalıdır. Gradyanın bulunmasında gereçlere ilişkin sorunların yanısıra, (çoğu kez yapıldığı gibi) petrol sondajlarının (1000-4000 m) kuyu dibine sıcaklıkları kullanılıyorsa "ölçü zamanı" veya jeotermal haritalama için çok sayıda sığ kuyular kullanılıyorsa "engebe düzeltilmesi" vardır. Kuyuda geçilen bütün litolojiyi simgeliyecek sayıda örneğin ısı iletkenlik katsayısının dikkatle ölçülmesi ve derinlik düzeltilmesinin yapılması gereklidir. Farklı derinliklerden sağlanan verilerin birlikte yorumlandığı doğru bir harita isteniyorsa paleo-klimatik ve erozyon düzeltilmeleri de işin içine girer.

Silika Sıcaklığı Yöntemi :

Isı akısı hesaplamalarında normalde belli bir noktada düşey doğrultuda sıcaklık gradyanı ile ısı iletkenliğinin çarpılması esastır. Ancak termal suların silikat içeriğine dayanan bir yöntemle bulunan hazne kaya sıcaklığı da ($TSiO_2$) o bölgedeki ısı akısı değerinin (q_0) hesaplanmasında

$$q_0 = (TSiO_2 - b) / m \quad (7)$$

kullanılabilir (Swanberg ve Morgan, 1978/79). İlkışık (1992) de bu yolla yapılan çalışmada bütün Türkiye için Yenil ve diğ. (1969/70) tarafından tıbbi amaçlarla ölçülmüş jeokimyasal veriler kullanılmıştır. Hazne kaya sıcaklığının 300 °C yi geçmediği durumlarda bu yöntem oldukça doğru sonuçlar vermektedir.

Sıcaklığın Derinlikle Dağılımının Modellenmesi :

Gösterilebilir ki, sıcaklığın derinlikle değişimi (4) bağıntısına ikinci bir integral işlemi uygulayarak a) eğer ortamda sabit bir ısı üretimi varsa

$$T = T_0 + (q_0/K) z - (A/2K) z^2 \quad (8)$$

b) ısı üretimi derinlikle " $A = A_0 \exp(-z/D)$ " biçiminde üstel olarak değişiyorsa

$$T = T_0 - (q_0/K + A_0 D/K) z - (A_0 D^2/K) [1 - \exp(-z/D)] \quad (9)$$

(3) olur ve bir integrasy-

bağıntısını sağlar. Burada geçen D , yerkabuğu kalınlığının yaklaşık 1/3 kadar olup radyojenik ısı üretiminin oluştuğu üst kısmın kalınlığını simgeler.

Eğer katmanlı bir ortamda bulunuyorsak (8) bağıntısı

$$T_n(z) = T_{n-1} + (q_{n-1}/K_n)(z-z_{n-1}) - (A/2K_n)(z-z_{n-1})^2 \quad (10)$$

biçimine dönüşür. Eğer yeryüzündeki q_0 ve T_0 gibi bazı ısı değerler alınmıyorsa ve her katmanındaki K_n için bir yaklaşım yapılabiliyorsa sıcaklığın katmanlı ortamda derinlikle değişimi yinelemeli olarak bulunabilir.

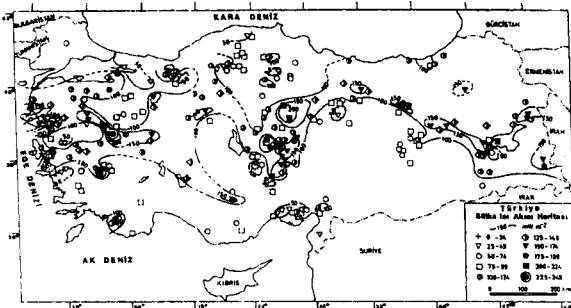
Sıcaklığın derinlikle ve yanal dağılımı yanısıra ısı akısı yoğunluğunun yerkabuğu ve manto içindeki değişimi de başka bir araştırma konusudur. Burada ısının iletim yerine dolaşım yolu ile aktarılması ve radyojenik ısı üretimi (A) gibi olaylar önem kazanır. Yeryüzünde ölçülen ısı akısı yoğunluğu

$$q_0 = q_c + q_m \quad (11)$$

olup " $q_c = A.D$ " yeryüzünde ölçülen değere radyojenik kaynaklı kabuk katkısı ve q_m mantonun üst sınırındaki ısı akısı yoğunluğudur. q_m mantodaki ısı hücrelerinin incelenmesi açısından daha doğru bilgiler içerir.

JEOTERMİK VERİLER

Ülkemiz önemli bir ısı akısı anomalisinin üzerinde yer almaktadır. Şekil 1 de Türkiye'de, İlkışık (1992) tarafından silika sıcaklığı yöntemi hesaplanan ısı akısı değerlerinin dağılımı görülmektedir. Bütün Türkiye için ortalama ısı akısı yoğunluğu $108.1 \pm 44.5 \text{ mW.m}^{-2}$ olup yerküre ortalamasından %50 kadar daha yüksektir. En yüksek ısı akısı ise Gediz - Eynal - Simav civarında (247 mW.m^{-2}) gözlenmiştir. Batıda Tuzla - Gönen, Kızıldere, Dikili ve Akyazı'da; Orta Anadolu'da Yozgat (Sarıkaya) ve Nevşehir civarında; Doğuda ise verilerin dağılımı düzensiz olmakla birlikte Erzincan-Nemrut kuşağı boyunca önemli anomaliler izlenmektedir.



Şekil 1: Silika sıcaklığı yöntemi ile hesaplanan Türkiye ısı akısı verileri (İlkışık 1992'den).

Figure 1: Calculated heat flow of Türkiye using silica temperature method (İlkışık, 1992)

Silika ısı akısı değerlerinin Batı ($24\text{-}31^\circ\text{D}$), Orta ($31\text{-}37^\circ\text{D}$), Doğu ($37\text{-}46^\circ\text{D}$) ve bütün Anadolu için hesapla-

nan histogramları Şekil 2 a-d de görülmektedir. Jeolojik açıdan farklı ortamlar olmalarına karşın bu bölgeler için bulunan ortalama değerler sırasıyla 110.8 ± 48.1 , 103.0 ± 44.4 ve $113.1 \pm 39.8 \text{ mW.m}^{-2}$ olup birbirine çok yakındır. Silika yöntemi ile yapılan hesaplarda yüksek ısı akısı gözlenen Gediz-Simav kuşağında açılan Eynal-1 jeotermal kuyusunun bitiminden sonra alınan sıcaklık logları Şekil 3 de çizilmiştir. 240 m derinde 48 saat sonra 120°C ye ulaşan sıcaklık dikkati çekmektedir. Muhafaza borusunun altında kalan (64-240m) derinlikler için sıcaklık gradyanı $\approx 0.3 \text{ C.m}^{-1}$ olup (altere andezitik tüfler için $K \approx 1\text{-}1.6 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ olarak) muhtemelen $300\text{-}500 \text{ mW.m}^{-2}$ arasında beklenen bir yüksek ısı akısı değerine işaret eder ki bölgede ölçülen yüksek silika verilerine uymaktadır.

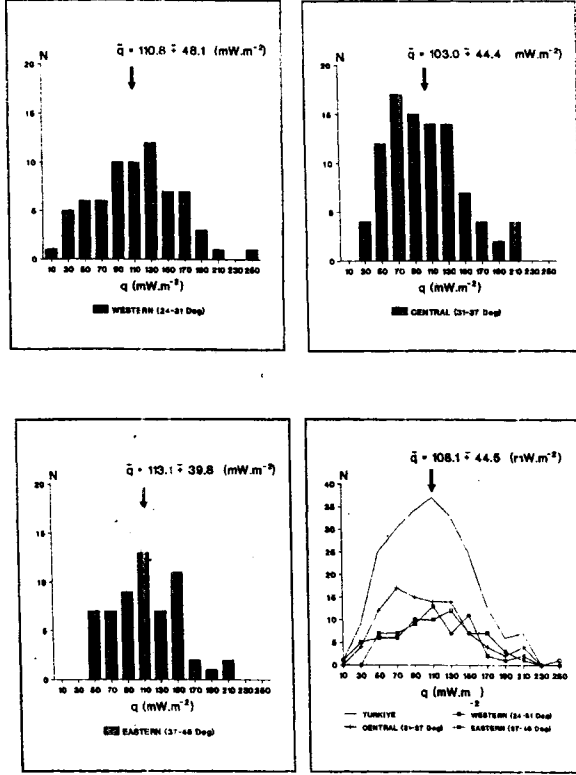
Dikili' de andezitik volkanikler içinde açılan üç araştırma sondajında yapılan sıcaklık gradyanı ve ısı iletim katsayısı ölçümleri ise ısı akısı yoğunluğunun DG-1 kuyusunda (400-600m.ler arası için) 91.3 , DG-2 kuyusunda (130-200m) 90.9 ve DG-3 kuyusunda (100-200m) 202.7 mW.m^{-2} olduğunu göstermektedir (JICA,1987). Bu değerler de Şekil 1 deki ısı akısı değerleri ile uyumludur.

Kızıldere-5 kuyusunda üç ayrı derinlikte (60, 80 ve 100 m) ölçülen sıcaklıklardan hesaplanan gradyanların yaklaşık 1 ay süre ile değişimi ise Şekil 4 de gözükmektedir. İlginç olan nokta gradyan değerinin ancak 7-10 gün sonra dengelenmiş olmasıdır ($\approx 0.25 \text{ C.m}^{-1}$). Eğer ısı iletim katsayısı K için bütün tortul taşların ortalama değeri olan $2.1 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ i kullanırsak (Tezcan ve Turgay, 1989), bu kuyuda ısı akısı 525 mW.m^{-2} olur ki eldeki bilgilere uymaz. Halbuki bölgede yeralan Pliyosen yaşlı Kolonkaya "marn" ından alınan (ıslak) yüzey örnekleri üzerinde yapılan ısı iletim katsayısı K ölçümleri $1.052\text{-}1.281 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ arasında çıkmaktadır. Bu durumda ısı akısı $262\text{-}352 \text{ mW.m}^{-2}$ olur ki Kızıldere-5 kuyusunda ölçülen silika değerlerinden bulunan 318 mW.m^{-2} ile tam uyumlu bir değerdir. Bu, ısı akısı haritalarının hazırlanmasında dikkat edilecek birçok etken arasında ısı iletim katsayısı K ölçümlerine özel bir önem verilmesi gerektiğinin açık bir kanıtıdır. Sistematik ölçümlerine yeni başladığımız K değerleri için bazı örnek değerler Çizelge 1 de görülmektedir.

Sıcaklık logları değerlendirilirken; sıg loglar için topoğrafik ve erozyon düzeltmeleri yapılmalı, Paleoklimatik etkiler hesaplanmalıdır. Ayrıca ortamdaki yeraltısuyu hareketleri dikkatlice denetlenmelidir. Kayaç örneklerinin ısı iletim katsayıları (K) doğru ölçülmeli, derin karotlar için P-T koşulları dikkate alınmalıdır. K değerleri açısından diğer bir önemli konu kayacın gözenek ve suyla doygunluk oranıdır. Gözenek oranının %1-9 gibi küçük bir değerde olması durumunda bile suyla doygun ve kuru durumdaki K değerleri arasında %30 fark oluşmaktadır (Scharli ve Rybach 1984). Gerek yüzeydeki ısı akısı ölçümleri gerekse alt kabuk ve üst

mantodaki sıcaklıkların hesaplanması sırasında kayaçların ısı iletim katsayısı K nin basınç, sıcaklık, tane boyutu gibi bir çok etkene bağlı değişiminin ayrıntılı olarak bilinmesi gerekir.

Jeotermal alanlardan uzakta Zonguldak, Koşlu'da açılan 20-H kuyusundaki sıcaklık logu Şekil 5 de verilmiştir.



Şekil 2: a) Batı Anadolu, b) Orta Anadolu, c) Doğu Anadolu için silika ısı akısı verilerinin histogramları. d) Türkiye ve a, b, ve c deki bölgeler için histogramların bir karşılaştırılması

Figure 2: Histograms of silica heat flow (q) data-set for, a) western, b) central and, c) eastern Anatolia, d) A comparison of all the histograms (e.i. Fig. 2a, b and c).

Yeraltı su seviyesi 200 m de olup kuyuda 1300 m ye kadar borulama yapılmıştır. Kuyu bitiminden 16 ve 45 saat sonra alınan kayıtlar çok farklı değildir. 1400-2000 m için sıcaklık gradyanı $\approx 0.0295 \text{ C.m}^{-1}$ olup derinden alınan ıslak kumtaşı karotlar üzerinde yapılan K ölçümleri $3.3\text{-}3.6 \text{ W.m}^{-1}\text{.K}^{-1}$ arasında değerler vermektedir. Bu ise kuyuda 1000 m nin altında ısı akısının $\approx 100 \text{ mW.m}^{-2}$ olduğunu göstermektedir.

Yerkabuğunun daha derin bölümlerine ait sıcaklıkların belirlenmesi aşamasında irdelenmesi gereken diğer bir konu kayaçların radyoaktif ısı üretimidir. Bu değer kayaçların U(ppm), Th(ppm) ve K(% ağırlık) içeriğinden

$$A=0.1325 \rho(0.718 U+0.193 \text{ Th}+0.262 \text{ K}) \quad (12)$$

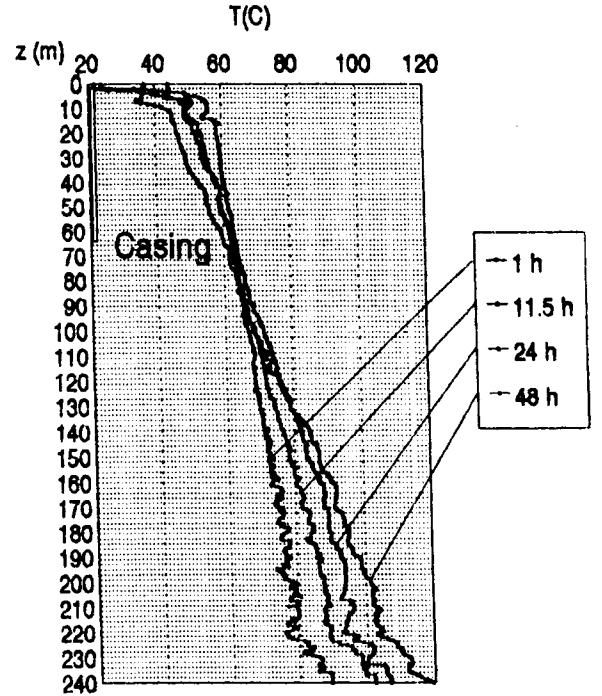
veya yerkabuğu içindeki sismik V_p hızlarından

$$\ln A=13.7 - 2.17 V_p \quad (13)$$

bağıntıları ile bulunabilir (Rybach ve Buntebarth, 1982). Batı Anadolu'da her iki yöntemle de A nın değerine ilişkin yaptığımız hesaplar üst kabuktaki ısı üretiminin $3.7 \mu\text{.W.m}^{-3}$ kadar olduğunu göstermektedir (İlkışık, 1992). Bu ise sonuçta bölgede üst manto sınırındaki ısı akısının da yerküre ortalamasından %50 daha fazla ve 55 mW.m^{-2} olduğuna dolayısı ile litosfer/astenosfer sınırının Batı Anadolu'nun altında oldukça sığ olduğuna işaret eder.

EYNAL - 1

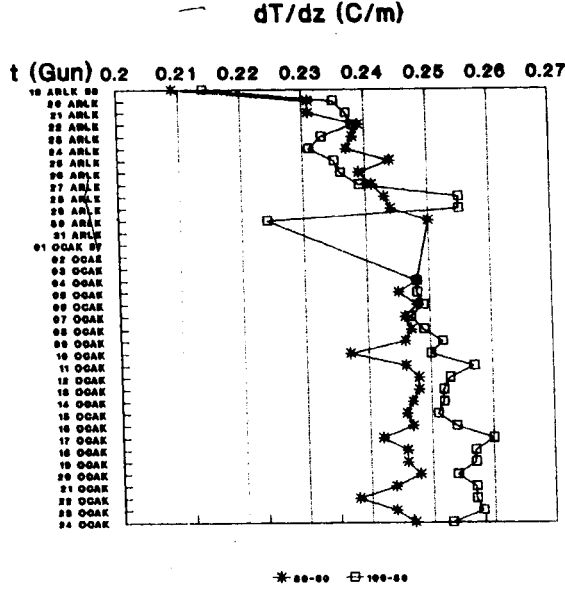
Sıcaklık Logunun Zamanla Değişimi



Şekil 3: Eynal-1 kuyusunda sıcaklık logunun zamana bağlı olarak değişimi

Figure 3: Variation of temperature log as a function of time in Eynal-1 drillhole.

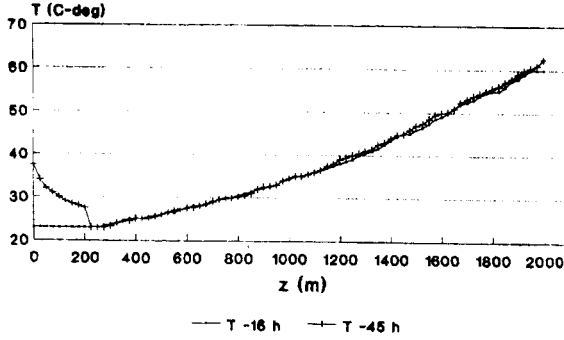
KIZILDERE - 5 Gradyanın Zamanla Değişimi



Şekil 4: Kızıldere-5 kuyusunda gradyanın zamanla değişimi (Erentöz ve Ternek, 1968).

Figure 4: Variation of gradient as a function of time in Kızıldere-5 drillhole (Erentöz ve Ternek, 1968)

Kozlu 20-H T Log



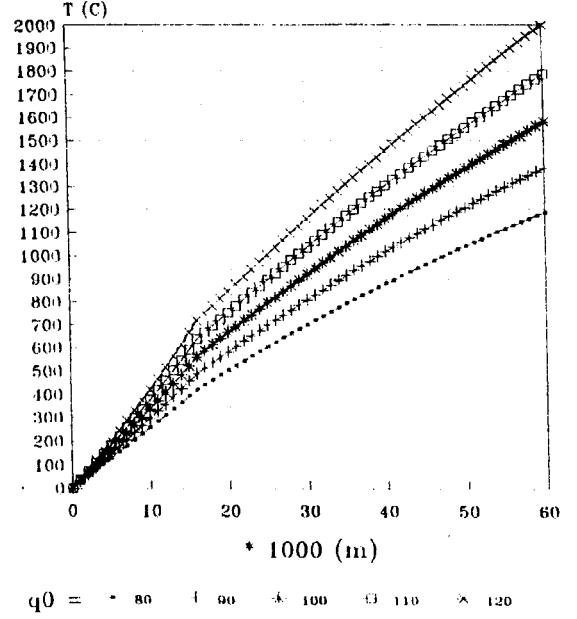
Şekil 5: Kozlu 20-H kuyusunda sıcaklık logu

Figure 5: Temperature log of Kozlu 20-H drillhole

Çizelge 1: Batı Anadolu' da ölçülen K ($W.m^{-1}K^{-1}$) değerlerinden bazı örnekler.

Table 1: Some samples of K ($W.m^{-1}K^{-1}$) values which are measured in western Anatolia

Yer	Litoloji	d(m)	K(kuru)	K(yaş)
Kızıldere	Man	0	0.626	1.167
Dikili	And. Volkanik	608	2.791	3.267
Tuzla F-2	Iğnibrüt	330	1.250	-
Ömerbeyli	Metif. Kumtaşı	760	3.314	4.436
Kozlu 20-H	Kumtaşı	304	2.583	3.352



Şekil 6: Çeşitli yüzey ısı akısı değerleri için jeotermik gradyan eğrileri. Türkiye' de ortalama ısı akısı değeri ($q_0=108 mW.m^{-2}$) için $1250^{\circ}C$ astenosfer derinliği yaklaşık 40-50 km. dedir.

Figure 6: Geothermic gradient curves for various surface heat flow values. In Turkey for mean heat flow heat ($q_0=108 mW.m^{-2}$) the $1250^{\circ}C$ asthenosphere depth is about 40 to 50 km.

Şekil 6 da yer kabuğu içinde sıcaklığın derinliğe bağlı olarak değişimi verilmiştir. Yatay katmanlı ortamda ve yeryüzünde ölçülen farklı ısı akısı yoğunluğu (q_0) değerleri için yapıların hesaplarında K nın üst kabukta derinlikle azaldığı ve alt kabukta sabit olduğu kabul edilmiştir. Verilerin daha yaygın olduğu Batı Anadolu için verilen ortalama ısı akısının doğru olduğunu ve $100-110 mW.m^{-2}$ arasında değiştiğini kabul edersek $1250^{\circ}C$ sıcaklığa karşı gelen litosfer/astenosfer sınırının kabuk tabanına çok yakın, muhtemelen 55 ± 5 km derinde olduğunu söyleyebiliriz. Doğaldır ki daha çok silika verilerine dayanan bu yorumun doğruluğu ancak gradyan yöntemine ve ayrıntılı K ölçümlerine dayanan çok sayıda yeni verinin üretilmesi ile kesinleşecektir.

SONUÇLAR

Ege Bölgesi' nde ortalama ısı akısı yoğunluğu $110.8\pm 48.1 mW.m^{-2}$ olup Yerküre ortalamasından %50 kadar daha yüksektir. Bölgedeki en yüksek ısı akısı ise Gediz-Eynal-Simav civarındadır ($247 mW.m^{-2}$). Batıda Tuzla-Gönen, Kızıldere, Dikili ve Akyazi' da; Orta Anadolu' da Yozgat (Sarıkaya) ve Nevşehir civarında; Doğuda ise verilerin dağılımı düzensiz olmakla birlikte Erzincan-Nemrut kuşağı boyunca önemli anomaliler izlenmektedir.

Jeotermal araştırmaların gündeminde bulunan Dikili, Kızıldere ve Eynal gibi alanlarda yapılan gradyan ve K

ölçümlerinden bulunan ısı akısı değerleri silika değerleri ile iyi bir uyum göstermektedir.

Jeotermal alanlardan uzak Zonguldak gibi birkaç bölgede yapılan derin sondajlardaki sıcaklık gradyanı ölçümleri de eldeki veriler ile uyumlu sonuçlar vermektedir.

Kayaçların bir çok özelliğine bağlı olarak değişebilen ısı iletim katsayısı K , gerek yüzeydeki ısı akısı değerlerinin gerekse kabuk ve mantodaki sıcaklık hesaplanması açısından büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle örneklerin doğal K değerlerinin belirlenmesine çalışılmaktadır. Bazı eksiklikler taşısa da özellikle Batı Anadolu'ya ait eldeki ısı akısı ve jeoelektromanyetik veriler (İlkışık, 1992), hatta bazı başka jeofizik ve jeolojik araştırmalar bölgede astenosferin oldukça sığ olduğuna işaret etmektedir. Ege Bölgesi altında litosfer/astenosfer sınırı (1250 °C) oldukça sığ ve muhtemelen 55 ± 5 km derindedir.

Türkiye için yapımına başlanan yeni ve ayrıntılı bir "Isı Akısı Yoğunluğu Haritası"nın hazırlanması ve buna bağlı olarak Litosfer içinde düşey ve yanal sıcaklık belirlenmesi salt bilimsel yararları dışında; Bölgemizde yer kabuğunun iki ve üç boyutlu yapısı, petrol için basen analizi, metalik maden yatakları ve depremler gibi birçok konuda önemli bilgiler sağlayacaktır.

KATKI BELİRTME

Bu çalışmada yeralan verilerin bir kısmını sağlayan ve yayına izin veren MTA Genel Müdürlüğü'ne ve Jeofizik Etüdüleri Dairesine teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- Alexidze, M.A., Gugunava, G.E., Kiria, D.K. ve Chelidze, T.L., 1993. A three-dimensional stationary model of the thermal and thermoelectric fields of the Caucasus. *Tectonophysics*, 227, 191-203.
- Erentöz, C. ve Ternek, Z., 1968. Türkiye'de termomineral kayıtlar ve jeotermik enerji etüdüleri. *MTA Enst. Derg.*, 20, 1-57.

- Hurtig E., Cermak, V., Haenel, R. ve Zui, V., 1990. *Geothermal Atlas of Europe. Sheet Sophia*. VEB Heimat Haack, Gotha.
- İlkışık, O.M., 1990. Heat flow pattern of western Anatolia. 15. Gen. Assembly 23-27 April. Copenhagen, Ann. Geophys. Spec. Issue, 55.
- İlkışık, O.M., 1992. Silica heat flow estimates and lithospheric temperature in Anatolia. Proc. of XI. Con. of World Hydrothermal Org. 13-18.5.1992 İstanbul Pamukkale, 92-106.
- İlkışık, O.M. 1992. Magnetotelluric investigations in the western Taurides Region. (Eds. Savaşın, M.Y.S. ve Eronat, A.H.) Proc. of IESCA, v II 40-51, İzmir.
- JICA, 1987. The pre-feasibility study on the Dikili-Bergama geothermal development project. Final Report. Japan Int. Coop. Agency. MPN 87-160, Tokyo.
- Rybach, L. ve Buntebarth, G., 1982. Relationship between the petrophysical properties, density, seismic velocity, heat generation and mineralogical constitution. *Earth and Planetary Science Letters*, 57, 367-376.
- Scharli, U. ve Rybach, L., 1984. On the thermal conductivity of low porosity crystalline rocks. *Tectonophysics*, 103, 307-313.
- Shen, P.Y., Wang, K. ve Beck, A.E., 1991. Crustal thermal models along East European geotraverses: inverse solutions. *Tectonophysics*, 194, 363-385.
- Straub, C., Kahle, H.-G., Aksoy, A. ve Deniz, R., 1992. GPS Project Marmara: Report of the second Campaign August/September 1992. ETH, Inst. für Geodesie und Photogrammetrie, Br. 208, Zurich.
- Swanberg, C. A ve Morgan, P., 1979. The linear relation between temperatures based on the silica content of groundwater and regional heat flow: A new heat flow map of the United States. *Pageoph*, 117, 227-241.
- Tezcan, A.K. ve Turgay, I., 1989. Türkiye ısı akısı haritası. MTA Gen. Md., Jeofizik Etüdüleri Dairesi (Yayınlanmamış doküman), Ankara.
- Yenil, O., Usman, N., Bilecen, L., Kanan E., Öz, G., Öz, U., Bonce, T., Göksel, A., Alkan, H. ve Sezginer, N., 1969/70. Türkiye Maden Suları, Cilt 1, 2, 3, 4 ve 5. I. Ü Tıp Fakültesi, Tıbbi Ekoloji ve Hidra Klimatoloji Kürsüsü, İstanbul.