

KUZEYBATI ANADOLU'DA ISI AKISI DAĞILIMI

Heat Flow Pattern of Northwest Anatolia

O. Metin İLKİŞİK*

ÖZET

Yerin ortalama ısı akısı 61.5 mW/m^2 dir (Lee 1970) ve Prekambriyen alanlarda 41.5 mW/m^2 den Senozoyik alanlarda 90 mW/m^2 ve daha yüksek değerlere kadar değişir (Sass 1971). Levha tektoniği kavramlarına uygun olarak okyanus ortası yükselimleri boyunca çok yüksek, dalma batma bölgelerinde ise çukurun önünde düşük, arkasında ise yüksek ısı akısı değerleri gözlenir. Batı Akdeniz genelde yüksek değerler ile karakterize olur. Tersine, Doğu Akdeniz'de ısı akısı verileri düşük bir ısı akısı bölgesine işaret etmektedir. Karadeniz'de ise düşük değerler ölçülmüştür (Erickson 1970). Gerçekte çok hızlı bir çökme olduğundan, bu alan bir yüksek ısı akısı bölgesi olarak yorumlanmalıdır. Ege denizinde alınmış ısı akısı ölçmeleri tektonik yapılar boyunca uzanan üç yüksek ısı akısı bölgesine işaret etmektedir. En yüksek değerler Ege volkanik yayı üzerinde ve arkasındadır.

Türkiye'de Tezcan'ın (1979) jeotermal gradyanı temel alan yaklaşımı dışında geleneksel anlamda ölçülmüş ısı akısı verileri yoktur. Bu çalışmada Kuzeybatı Anadolu'da ısı akısı değerlerini saptamak için yeni bir yöntem uygulanmıştır. Yöntem bir yerdeki ortalama silika sıcaklığı ile bölgesel ısı akısının arasındaki doğrusal bir ilişkinin varlığına dayanır. Edremit Körfezi-Gönen - M. Kemalpaşa - İnegöl kuşağı boyunca 140 mW/m^2 ye varan yüksek ısı akısı değerleri saptanmıştır. Kuzey Anadolu Fayının güney kolu ve Bilecik'ten geçen kenet kuşağı boyunca bu yüksek ısı akısı belirtisinin varlığı Miyosen sonrası kapanan bir dalma batma ve bunun volkanik etkinlikleri ile ilişkili olabilir.

Bilecik kuzeyindeki manyetotellürik ölçmelerde (İlkışık 1988) özdirenci yüksek bir ortamın altında 18-20 km den aşağıda elektrik özdirencin 10-100 ohm-m civarına düştüğü gözlenmiştir. Bu sonuç, yukarıda değinilen kuşak boyunca saptanan yüksek ısı akısı belirtisi ile birlikte Moho/üst manto sınırında bir kısmi ergimeyi yansıtabilir. Eğer bu doğru ise, sıcaklık -en azından bu kuşak boyunca- $800-1000^\circ\text{C}$ civarında olmalıdır.

ABSTRACT

The mean heat flow of the earth is 61.5 mW/m^2 (Lee 1970). Heat flow ranges from about 41 mW/m^2 in Precambrian areas to over 90 mW/m^2 in Cenozoic areas (Sass 1971). Very high flow values are observed along the mid-oceanic ridges compatible with the concepts of the plate tectonics. In the subduction zones however, low heat flow values in fronts and high heat flow data behind the trenches are observed. Western Mediterranean is, in general, characterized with high values. In contrast, the heat flow data from the eastern Mediterranean region indicates an extensive area of low heat flow. In the Black Sea, however, low heat flow values have been measured (Erickson 1970). In fact, this area must be interpreted as a high heat flow zone due to a very high rate of sedimentation. Heat flow measurements in the Aegean Sea indicates three high heat flow zones along the tectonic zones. The highest values occur within and behind the Aegean volcanic arc.

In Turkey, there are not any conventionally measured heat flow data, except Tezcan's (1979) geothermal gradient approach. In the present study however, a new method has been applied to determine heat flow values in Northwest Anatolia. The method based on the linear correlation between average silica geotemperature and regional heat flow for a region (Swanberg ve Morgan 1979). The observed distribution of high heat flow values up to 140 mW/m^2 are line up along the Edremit Bay-Gönen-M.Kemalpaşa-Inegöl Zone. This high heat flow anomaly along southern branch of the North Anatolian Fault and collision zone near Bilecik are plausibly related to the volcanic activity of a Post-Miosen subduction zone.

Magnetotelluric measurements in north of Bilecik (İlkışık 1988) suggest that a low resistivity of 10-100 ohm.m underlies a 18-20 km thick high resistivity medium. This result together with the above mentioned high heat flow anomaly along the Edremit-Gönen-Inegöl-Bilecik zone may reflect a partial melting at the Moho/upper mantle boundary. If this is the case, temperature - at least along this zone - should be around $800-1000^\circ\text{C}$.

ISI AKISI ÖLÇÜMLERİ

Isının her ortamda iletimi sırasında sıcaklığın uzaklıkla değişik oranına "sıcaklık gradyanı" denir. Isı akısı ile ilgili jeofizik araştırmalarda sadece düşey doğrultudaki sıcaklık değişimi (dT/dz) dikkate alınır. Bir ortamın ısı iletkenliği ise birim sıcaklık gradyanında, birim zamanda birim alandan geçen ısı miktarına eşittir. "k" ile gösterilen ısı iletkenliğinin SI sisteminde birimi W/mC° dir.

Herhangi bir ortam içinde ısı birbirine paralel birim kesitte yüzeyler içinden bu yüzeylere dik olarak akmakta ise ve duraylı duruma ulaşılmışsa ısı akısı, ısı iletkenliği ve sıcaklık gradyanı

$$q = k \times (dT / dz) \quad (1)$$

çarpımın eşittir.

Isı akısının alışılmış birimi cgs sisteminde türetilmiş $\mu cal/cm^2 s$ (HFU) olmakla birlikte, günümüzde kabul edilen SI birim sistemine uygun birimi mW/m^2 dir. İki birim arasında

$$1 \mu cal/cm^2 s (HFU) = 41.84 mW/m^2$$

ilişkisi vardır.

Kayaçlarda ısı iletkenliği minerallere bağlı olmakla birlikte, gözeneklilikten çok etkilenir. Ayrıca, sıcaklık ve basınca bağlı olarak artar.

Yerküreyi oluşturan maddelerin çeşitli fiziksel özelliklerinin bir çoğu sıcaklığa bağlı olarak değişir. Bu nedenle, yerin ısı akısına ilişkin ölçmeler yaparak yerkürenin iç sıcaklığına ve yerkabuğunu oluşturan kayaçların diğer fiziksel özelliklerine ait bilgiler edinmek birçok yer bilimcinin araştırma konusudur.

Isı akısının (1) bağıntısından bulunabilmesi için iki farklı büyüklüğün ölçülmesi gerekir. Bunlardan sıcaklık gradyanı, incelenen ortam içinde düşey olarak duran ve aralarındaki uzaklık sabit olan iki noktadaki sıcaklık ölçülerek saptanır. Diğer büyüklük ısı iletkenliği ise sıcaklık gradyanının ölçüldüğü kütlemin civarından alınacak bir örnek üzerinde laboratuvarında ölçülür.

Isı akısı ölçmelerinde bazı düzeltmelerin yapılması gerekir. Sonuçların yorumlanması açısından önemli olanlar şunlardır. Okyanuslarda çökeltme hızı düşük olmakla birlikte, kıtalara yakın küçük basenlerde oldukça yüksektir. Buralarda yerküreye ait ısının önemli bir bölümü hızla çökelen taneciklerin ısınması ile yutulur ve ısı gradyanı bağıl olarak daha küçük ölçülür. Bu etkinin giderilmesi için çökeltme türü, hızı ve okyanus baseni gelişim tarihinin bilinmesi gerekir.

Bir de sadece kıtalardaki ölçmeleri etkileyen daha değişik bir olay vardır. Bilindiği gibi, radyoaktif cisimler ısı yolu ile enerji yayarlar. Kıtasal kabuğun ana hatları ile silisik ve bazik bileşimde iki tabakadan oluştuğu kabul edilirse, silisik üst kısımlar, bağıl olarak daha fazla radyoaktiflik ve ek bir ısı üretir. Bu durumda kabuk içinde radyoaktif yolla üretilen ısı, yerkürenin içinden gelen ısıya eklenecek ve yeryüzünde ikisi birden ölçülecektir. Bu durumun da yorumlarda dikkate alınması gerekir.

Yerküre üzerinde ortalama ısı akısı $61.5 mW/m$ dir (Lee 1970). Kabuk malzemelerinin farklı olmasına karşın, denizlerdeki ölçmeler ile karalardaki ölçmelerin ortalama değerleri birbirinden çok farklı değildir.

Gözlenen ısı akısı değerleri ile tektonik olayların yaşı arasında kesin bir ilişki vardır. Prekambriyen kalınlar gibi yaşlı tektonik birimler üzerinde düşük ısı akısı, Senozoyik gibi genç kıvrımlar civarında ise yüksek ısı akısı ölçülmektedir. Ayrıca, ısı akısı değerleri ile yerkabuğu kalınlığı ters orantılıdır. Öte yandan, levha tektoniği ile ilişkili olarak, kabuktaki yanal ve düşey hareketler ve volkanik etkinliklerin biçimlendirdiği ısı rejimleri yeryüzündeki ısı akısı değerlerine yansımaktadır.

Yeryüzünde yatay sıcaklık gradyanının yüksek olduğu bölgeler genellikle sismik etkinliğin yüksek olduğu olanlara karşı gelmektedir (Karnik 1971). Şiddetli depremlerin gözlemlendiği Doğu Karpatlar, Ege Denizi ve Batı Anadolu ısı akısında hızlı yanal değişimlerin gözlemlendiği bölgelerdir.

AVRUPA'DA VE TÜRKİYE CİVARINDA ISI AKISI

Avrupa kıtası ve etrafındaki denizlerde oldukça çok sayıda ısı akısı ölçümleri yapılmıştır. Eldeki verileri kullanarak Cermak ve Hurtig (1978/79) in hazırladığı ısı akısı haritası Şekil 1 de görülmektedir. Bütün kıta için ortalama değer yerküre ortalamasına yakın olup $62.1 \pm 28.6 mW/m^2$ dir. İskandinavya ve Ukranya platformu üzerinde, ayrıca Doğu Akdeniz'de Dünya ortalamasının altında düşük ısı akısı görülür (Yaklaşık $40 mW/m^2$). Büyük ve Küçük Kafkaslarda dağılımına paralel doğrultuda oldukça yüksek ısı akısı anomalisi gözlenmiştir ($90 mW/m^2$). Dağ zinciri içinde yeralan çöküntü havzaları ise, tersine, düşük ısı akısı gösterir. Kırim yarımadası civarında hem düşük hem yüksek değerler ölçülmüştür. Orta Avrupa'da Alplerin kuzeyinde ve İngiliz adalarında ısı akısı genelde normal ve yerküre ortalamasına yakındır. Isı akısının Avrupa'da dağılımı bir çok tektonik olay ile ilişkilidir. Örneğin, Ren grabeni üzerinde Avusturya ve İsviçre Alplerinde yüksek ısı akısı ölçülmektedir (Haenel 1974, Clark ve Niblett 1956). Pannonian (Macaristan) havzasında önemli bir yüksek ısı akısı anomalisi vardır (Boldizar 1968). Bu genç çöküntü havzası kalın Neojen-Kuvaterner tortullar ile doludur. Kabuk kalınlığı ortalama 25 km olup tabanında yerel olarak kısmi ergime olduğu düşünülmektedir (Cermak 1975).

Karadeniz'de ölçülmüş ısı akısı değerleri ortalama olarak $35 \pm 16 mW/m^2$ dir (Lubimova ve Polyak 1969). Gerçekte, Karadeniz'de ölçülen ısı akısı değerlerine hızlı tortulaşmadan dolayı düzeltme uygulandığında, yöremin $114.2 mW/m^2$ gibi yüksek bir ısı akısı bölgesi olduğu görülür (Erickson 1970).

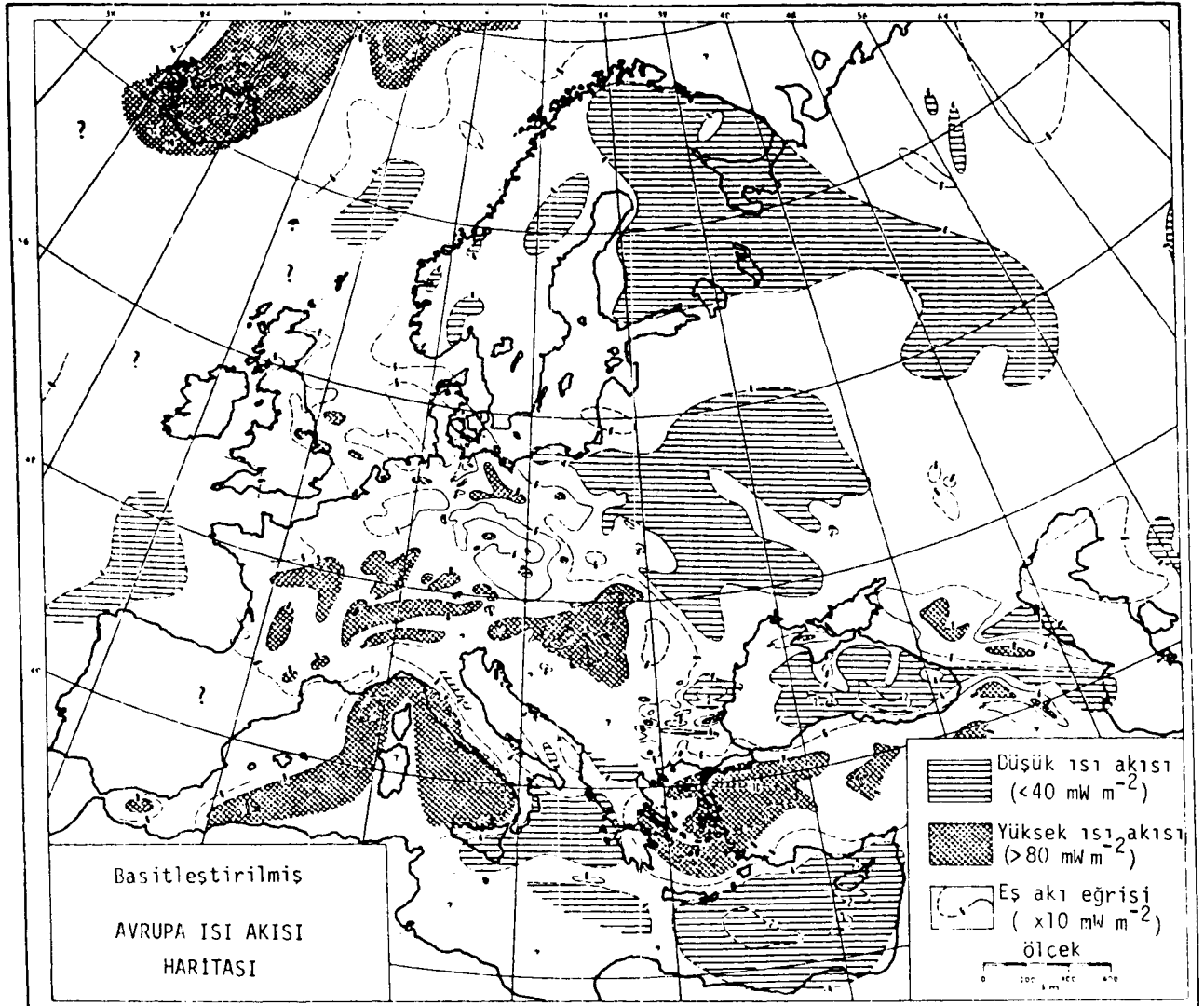
Akdeniz'de ısı akısı dağılımına gelince, Doğu ile Batı Akdeniz arasında açık bir fark göze çarpar. Erickson (1970) e göre, Sardunya ve Korsika adasının batısında ortalama ısı akısı $75 mW/m^2$ civarındadır. Tiren Denizi civarında ise ortalama ısı akısı çok yüksek olup $120 mW/m^2$ dir. Bütün Batı Akdeniz'de 24 ölçü için bulunan ortalama ısı akısı $97.5 \pm 42 mW/m^2$ olup dünya ortalamasının oldukça üzerinde bir değerdir. Doğu Akdeniz'de ise batıdan

farklı olarak, düşük bir ortalama ısı akısı gözlenmektedir. Doğuda (Kıbrıs dahil) yapılan 33 ölçmenin ortalaması $30.9 \pm 8 \text{ mW/m}^2$ dir.

Afrika ve Avrasya levhaları arasındaki sınır Azor - Cebelitarık civarında başlar. Cezayir'in kuzeyinden ve Sicilya üzerinden Yunanistan'a geçerek Helenik ada yayı boyunca Girit üzerinden Türkiye'ye ulaşır. Bu sınırın hemen güneyinde Afrika levhası üzerinde ısı akısı değerleri 30 mW/m^2 civarında olup, sınırın kuzeyinde gözlenen $65-70 \text{ mW/m}^2$ lik değerlerin yarısına eşittir (Çermak ve Hurtig 1978/79). İyon Denizi, Pelapones yarımadası önü ve Girit güneyinden geçerek Rodos civarında Anadolu'ya ulaşan bu dalma batma zonunun kuzeyinde, Ege Denizi'nde, okyanus ada yaylarındaki gözlemler ile uyumlu bir biçimde (Yasui ve diğ. 1970), deniz dibi derinliğinde değişimler, sismik ve volkanik etkinlikler ve yüksek ısı akısı anomalileri görülür (Ryan ve diğ. 1971).

Akdeniz'de ve özellikle Ege Denizi'nde yapılan ısı akısı ölçmeleri ve bunlara ek olarak Türkiye'deki bazı düşey sıcaklık gradyanı ölçmeleri (Tezcan 1979), Afrika

ve Avrasya levhalarının çarpışma zonunun kuzeyinde kalan Türkiye'de yüksek ısı akısı anomalisinin varlığına işaret etmektedir. Bu anomali geniş bir alana yayılmak yerine, Ege'de olduğu gibi, bazı tektonik birimler ile ilişkili olmalıdır. Ege Denizi'nde ve Yunanistan'da ölçülmüş verilerden yararlanarak hazırlanan ısı akısı haritası Şekil 2'de görülmektedir. Esas olarak bazaltik olan Kuvaterner volkanizması Helenik ada yayının iç kısmında Palegoni-an-Parnas zonu boyunca Astipalia ve Kavaros adaları üzerinden Bodrum Karaada civarına kadar uzanır (Fytikas 1980). Bu kuşak boyunca yer yer 120 mW/m^2 yi aşan yüksek ısı akısı anomalisi görülmektedir. Teselya masifinde görülen yüksek ısı akısı ve Denizli-Kızıldere Jeotermal alanı bu kuşağın karalardaki iki ucunda yer almaktadır. Bu zonun ortasında yer alan Milos adasında saptanan jeotermal alan Avrupa Toyluluğunca desteklenen projelerle geliştirilmeye çalışılmaktadır (Beamish 1985, kişisel görüşme). Orta Egede İzmir-Ankara zonunun batı ucunda 100 mW/m^2 yi aşan ikinci bir ısı akısı anomalisi vardır. Kuzeye doğru Oligosen-Miyosen yaşlı andezitik volkaniz-



Şekil 1. Avrupa'nın basitleştirilmiş ısı akısı haritası (Çermak ve Hurtig 1978/79 dan)
Fig. 1. Simplified heat flow map of Europe. (After Çermak and Hurtig 1978/79)

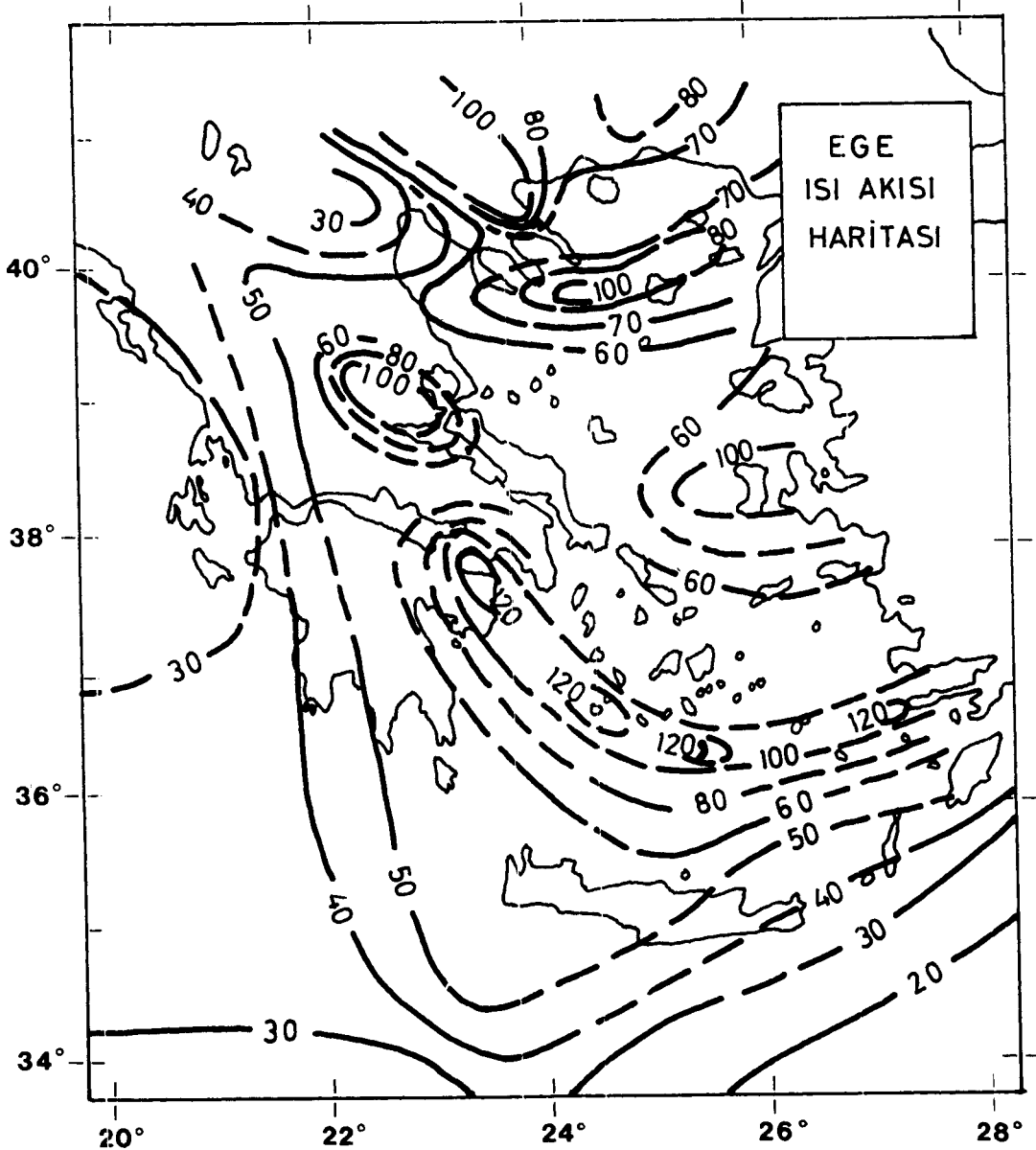
manın görüldüğü Makedonya, Kuzey Ege adaları, Biga ve Gelibolu yarımadaı kıyıları üçüncü bir yüksek ısı akısı anomalişi kuşağı oluşturmaktadır. Bu anomali Kuzey Ege'de bulunan ve Saros üzerinden Marmara'ya uzanan derin deniz çukurluğu üzerindedir (Jongsma 1974).

SİLİKA JEOTERMOMETRESİNDEN ISI AKISININ SAPTANMASI

Isı akısı hesaplamalarında belli bir noktada düşey sıcaklık gradyanı ile ısı iletkenliğinin ölçülmesi esastır. Ölçümün okyanuslarda veya karalarda yapılması uygulanan teknolojiye biraz farklılıklar getirir. Doğal dengeler iyi korunduğundan, deniz veya göl diplerinde ölçü almak daha kolay ve yaygındır. Ülkemiz etrafındaki denizlere ait verilere önceki bölümde değinmiştik. Anadolu ve Trakya'da ise geleneksel anlamda bir ısı akısı ölçümü henüz

yapılmamıştır. Yalnızca Tezcan (1979), daha çok Jeotermal alanlara yakın sıcaklık gradyanlarını dikkate alarak ve sabit bir ısı iletkenliği ($k=2.1 \text{ W/mC}^\circ$) kullanarak, bütün Türkiye için yaklaşık bir ısı akısı haritası önermiştir. Şekil 1 deki haritanın hazırlanmasında da aynı veriler kullanılmıştır. Bölgesel olarak kabul edilebilir bir yaklaşım olmakla birlikte, aslında Batı Anadolu'daki gibi geniş alanlara yayılan tek bir anomali yerine, Senozoyik volkanizması ve tektonik kuşaklar ile sıkı bağlantılı birçok yüksek ısı akısı bölgesi bulunması beklenir. Bunu doğrulayacak ayrıntılı bir ısı akısı ölçü programı ise teknolojik organizasyon ve finansman güçlükleri açısından bugün için oluşturulamaz.

Ülkemizde geleneksel anlamda ölçülmüş ısı akısı verilerinin bulunmadığını, ancak konunun bilimsel ve ekonomik önemini gözönüne alarak, ısı akısı hesaplamalarında önerilen yeni bir yöntemi Kuzeybatı Anadolu'ya uy-



Şekil 2. Ege Denizi'nde ısı akısı (Fytikas 1980 den). Değerler mW/m^2 dir.

Fig. 2. Heat flow in the Aegean sea (after Fytikas 1980). Contour values are in mW/m^2 .

guladık. Yöntem oldukça basit olup, kaynak sularındaki çözülmüş SiO_2 miktarından hareketle, bölgenin ısı akısının hesaplanmasına dayanır.

Jeotermal sistemlerin hazne kayaçlarının sıcaklıklarının saptanmasında uygulanan silika jeotermometresi, kuvarsin sudaki çözülebilirliğinin sıcaklık ile değişimini temel alır (Fournier ve Rowe 1966). Suda çözülmüş silikat- SiO_2 ppm olarak ölçülmüş ise, hazne sıcaklığı $^{\circ}\text{C}$ cinsinden

$$\text{TSiO}_2 = \frac{1315}{5.205 - \log \text{SiO}_2} - 273.15 \quad (2)$$

bağıntısından bulunabilir (Trusdell 1976).

Suda erimiş diğer iyonların değerlerini kullanarak da -örneğin Ca, Na, K gibi- derinliklerdeki sıcaklığın hesaplanması olanağı vardır (Fournier, 1977). Ancak, (2) bağıntısı yüzeye yakın kısımlarda jeotermal sisteme katılan veya ayrılan suların vereceği hatalardan en az etkilenmektedir.

Marmara bölgesinde yeralan bütün jeotermal sular (ılıca-içme-maden suyu) MTA sistematüğinde (Demirbaşı 1980) numaralanarak (1-72) Şekil 3 de işaretlenmiştir. Bunlardan metasilikat analizleri yapılanlar (Yenal 1969) Çizelge 1 de verilmektedir. Adı geçen kaynak sularının yüzeydeki sıcaklığı ve (2) bağıntısından hesaplanan hazne kaya sıcaklığı (silika sıcaklığı - TSiO_2) Şekil 3 de küçük dikdörtgen alanlar içinde işaretlenmiştir. Birçok noktada (9, 29, 36, 43, 50, 56, 71) hazne sıcaklığı 100°C veya daha fazladır. Armutlu, Yalova (9 ve 10) ve Sındırgı

(71) dışında diğer sıcak kaynaklar Bolu'nun batısında ikiye, hatta üçe ayrılan Kuzey Anadolu Kırık Kuşağının en güneydeki Bursa-Gönen-Edremit bölümü ile ilişkilidir. Bu kuşağın Ege'deki devamında Midilli adasında yüzeyde 87.5°C sıcaklığa ulaşan kaynaklar vardır (Fytikas 1980). Bu tektonik ilişkinin yanısıra, bölgede yeralan alt-orta Miyosen yaşlı, daha çok andezitik volkanik ürünler (Ercan 1979) konumuzu oluşturan ısının önemli bir kaynağı olmaktadır.

Swanberg ve Morgan (1978/79) silika jeotermometresi ($\text{TSiO}_2 - ^{\circ}\text{C}$) ile bölgesel ısı akısı ($q - \text{mW/m}^2$) arasında

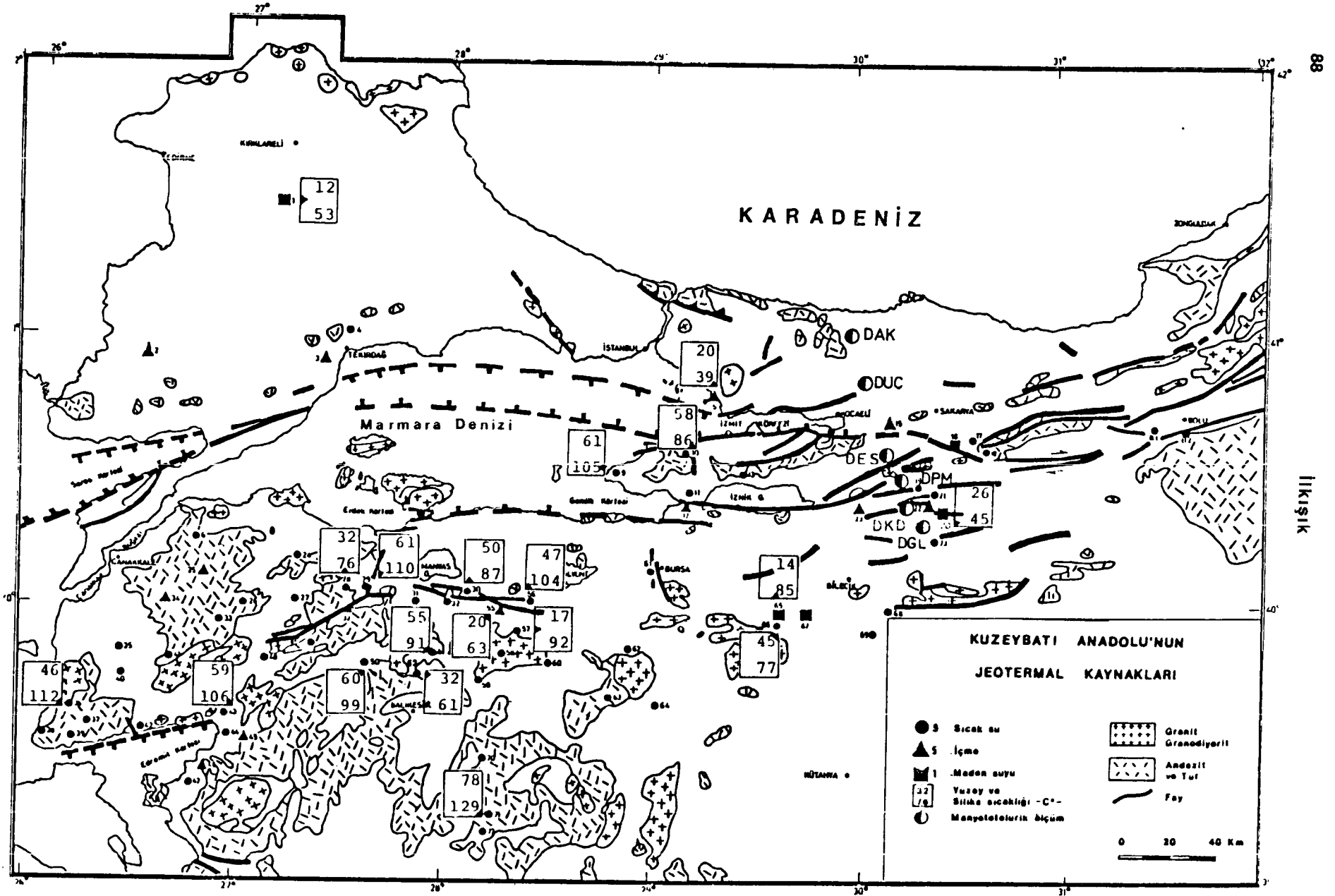
$$\text{TSiO}_2 = mq + b \quad (3)$$

biçiminde doğrusal bir ilişki saptanmıştır. Benzeri bir bağıntı Oxburgh ve diğ. (1980) tarafından da verilmektedir. Burada m- eğimi, k- ısı iletkenlik katsayısı ile çarpıldığında, yeraltı sularının dolaştığı ortalama derinliği veren bir sabittir. İncelediğimiz bölgede kayaçların k- ısı iletkenliğine ilişkin ölçülmüş ve yayınlanmış veriler yoktur. Yerkürenin çeşitli yerlerindeki araştırmalara ilişkin yayınlarda ise k değerleri kristalin kayaçlar için 3.1 ve tortullar için $1.9 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$ civarında verilmektedir. (ör. Clark 1966, Beaumont ve diğ. 1982). Kuzeybatı Anadolu için hesaplamalarımızda m değeri 0.7 alınmıştır. Bu değer, kayaçların ısı iletkenliğinin $k = 2.1 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$ olması durumunda yeraltı sularının ortalama dolaşım derinliğinin $d = 1500 \text{ m}$, $k = 2.8$ için ise $d = 2000 \text{ m}$ olmasına karşı gelir. k ve d nin bu sınırları bölgedeki kay-

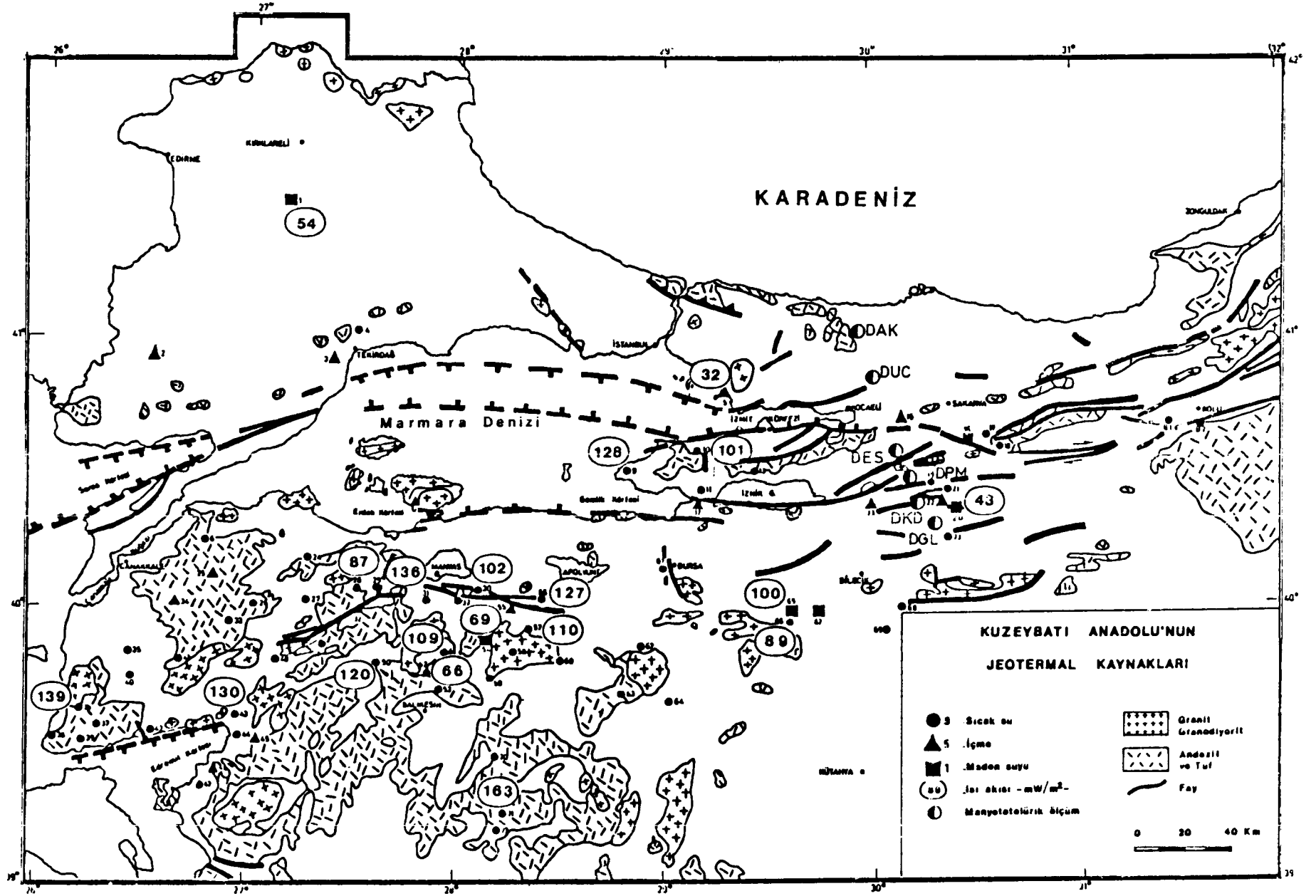
Çizelge 1. Kuzeybatı Anadolu'da metasilikat analizi yapılan jeotermal sular (Yenal 1969 dan), Numaralar MTA sıralamasına göre (Demirtaşlı 1980). Koordinatlar $\pm 5'$ hatalıdır. (x) Ortalama alınmıştır.

Table 1. Geothermal springs of northwest Anatolia with metasilicate analysis (after Yenal 1969), numbers follow MTA order (Demirtaşlı 1980). Error in coordinates $\pm 5'$. (x) Avaraged values

No	Yer	Enlem	Boyları	H_2SiO_3 (mg/lit)	Yüzeyde $^{\circ}\text{C}$	Temelde $^{\circ}\text{C}$	q mW/m^2
1	Lüleburgaz	41 31	27 11	19.20	12	52.7	54
5	Tuzla, İst.	40 50	29 15	12.74	20	38.9	32
9 x	Armutlu	40 31	28 51	70.40	61	105.4	128
10 x	Yalova	40 34	29 10	45.03	58	85.7	101
20 x	Geyve	40 23	30 28	15.38	26	45.1	43
28 x	Ekşidere	40 04	27 04	38.01	32	75.6	87
29 x	Gönen	40 04	27 39	77.3	61	110.1	136
30 x	Susurluk	40 06	28 07	46.3	50	86.6	102
36 x	Ezine	39 38	26 15	83.4	46	111.5	139
43 x	Güre	39 46	26 57	71.5	59	106.4	130
50 x	Balya	39 48	27 40	61.5	60	99.4	120
52	Balıkesir	39 47	27 58	24.2	32	60.9	66
55	M.Kemalpaşa	40 01	28 14	25.6	20	63.0	69
56	"	40 05	28 52	68.1	47	104.1	127
57	"	39 57	28 17	52.0	17	91.8	110
61 x	Bursa	40 10	29 02	59.7	55	90.7	109
65 x	İnegöl	40 01	29 40	44.5	14	84.6	100
66 x	"	39 59	20 40	37.3	45	76.7	89
71 x	Sındırgı	39 15	28 13	111.8	78	128.9	163



Şkil 3. Kuzeybatı Anadolu'da jeotermal kaynaklar. Jeoloji Ternek (1984) den alınmıştır.
Fig. 3. Geothermal springs of northwest Anatolia geology taken after Ternek (1964).



Şekil 4. Kuzeybatı Anadolu'da ısı akısı dağılımı
 Fig. 4. Heat flow pattern of northwest Anatolia.

nakların ilişkili olduğu havzaların derinliği ve oluşturan malzemeler dikkate alındığında kabul edilebilir değerlerdir. b- değeri ise yıllık ortalama hava sıcaklığıdır. Marmara Bölgesinin güneyindeki şehirler için (Çanakkale-Balıkesir-Bursa-İzmit) 14.3 - 14.8 C° civarında olan uzun yıllar ortalama sıcaklık değerleri (Abur G. kişisel görüşme) dikkate alınarak hesaplamalarda b = 15 C° alınmıştır.

Sıcak kaynak sularının diğerlerine kıyasla daha çok silikat içerecekleri doğaldır. Bağlı olarak ılık veya soğuk sulara ait verilerden saptanan (3) bağıntısı kullanıldığında, sonuçlar belli bir hata taşır. Bunun yanı sıra m - değerindeki belirsizlikler (ki kayaçların ısı iletkenliğini ve yeraltı suyunun ısınma için dolaştığı derinliği yansıtır) ek hatalara yol açmış olmalıdır. Yine de Şekil 4 de verilen ısı akısı değerlerindeki hata sınırının +/- % 25 i geçmeyeceği söylenebilir.

SONUÇLAR

Çalışmamız Kuzeybatı Anadolu'daki jeotermal kaynakların birçoğunda yapılmış metasilikat asidi analizlerinden suyun derinde ısıdağı yerdeki sıcaklığını (bir anlamda ısıtan kayacın sıcaklığını) hesaplamak ve bu verileri kullanarak bölgede kabul edilebilir bir ısı akısı dağılımını saptamak amacıyla yöneliktir.

Şekil 4 de verilen haritada yeralan ısı akısı değerlerine kesin değerler olarak bakılmamalıdır. Harita Miyosen volkanik etkinlikleri ve Kuzey Anadolu Kırık Kuşağı'na ilişkin olarak bölgede ısı akısının genelde yüksek (en azından 80 mW/m² den yüksek) olduğuna işaret etmekte ve aslında büyük potansiyele sahip, ancak çok az jeofizik veri bulunan bir alanda jeoloji ve tektonik ile yüksek ısı akısı gözlenen yerlerin kıyaslanmasına yaramaktadır.

Edremit Körfezi-Gönen-M.Kemalpaşa kuşağı boyunca 140 mW/m² ye varan yüksek ısı akısı değerleri gözlenmektedir. Bilinen yüzey jeolojisi (Ternek 1964) ve Kuzeybatı Anadolu gravite verilerinde aynı yerde gözlenen düşük anomali (Ekingen 1978) yörede genç tortullar ile örtülü bir çöküntü kuşağına işaret etmektedir. Aynı kuşak depremler açısından da oldukça etkindir (Üçer ve diğ. 1985). İnegöl civarında (65 ve 66 No.) ısı akısının 100 ve 89 mW/m² ye çıkması bu kuşağın Bilecik'ten geçerken kuşağına (Okay 1984) bağlandığı izlenimi vermektedir. Eğer Miyosen sonrası kapanan bir dalma batma kuşağı üzerinde bulunuyorsa, gözlenen bu yüksek ısı akısı değerleri kabuk içinde sıkışıp kalmış bazı magma ceplerinin varlığına işaret edebilir. Çermak ve Lastovickova'nın (1987) Şekil 1 de verilen ısı akısı dağılımı ve daha çok laboratuvar deneylerine dayanarak tasarladıkları sıcaklık haritası ile Bilecik'in kuzeyinde Gölpazarı-Pamukova civarında yürütülen (DGL, DKD, ...) manyetotelürik araştırmaların sonuçları (İlkışık 1988) 30-40 km derinliklerde Moho/üst manto sıcaklığının 800-1000°C civarında olduğunu göstermektedir. Bu, alt kabukta kısmi ergimelere ve astenosferin yükselmesine karşı geliyorsa, Batı Anadolu için geliştirilmekte olan jeolojik modeller açısından önemli olabilir. Ayrıca, Kuzeybatı Anadolu'da Miyosen sonrası volkanik etkinlikler, sismotektonik özellikler ve jeolojik birimler, jeolojinin ve jeofiziğin derinlere dönük çeşitli yöntemleri kullanılarak izlenirse, özellikle kırık ve /veya kenetlenme bölgelerinde yeralan jeotermik po-

tansiyelin bugün bilinenden çok daha fazla olduğu gösterilebilir.

Anadolu ve Trakya'da yeralan sıcak su ve maden suyu kaynaklarının ise çeşitli kuruluş ve kişilerce farklı zamanlarda yapılmış kimyasal analizleri vardır. Ek olarak petrol ve benzeri amaçlar için açılmış bir çok kuyuda kuyu dibi sıcaklıkları ölçülmüştür. Bütün bunlardan sağlıklı bir jeotermal veri bankası oluşturulabilirse değerlendirdiğimiz yöntemle hesaplanacak ısı akısı verileri ülke çapında hızlı bir ön bilgi birikimi sağlayacaktır.

KATKI BELİRTME

Hazne kaya sıcaklıklarının saptanması kısmen Serttaş'ın (1988) lisans ödevi konusudur.

KAYNAKLAR

- Beaumont C., Keen C.E. and Boutilier R. 1982, On the evolution of rifted continental margins: Comparison of models and observations for the Nova Scotian margin, *Geophys. J. R. Astr. Soc.* 70, 667-715.
- Boldizar T. 1968, Geothermal data from the Vienna Basin, *J. Geophys. Res.* 73, 613-618.
- Çermak V. 1975, Temperature-depth profiles in Czechoslovakia and some adjacent areas derived from heat flow measurements, deep seismic sounding and other geophysical data, *Tectonophysics* 26, 103-119.
- Çermak V. and Hurting E. 1978/79, The preliminary heat flow map of Europe and some of its tectonic and geophysical implications, *Pageoph.* 117, 92-103
- Çermak V. and Lavrovicková M. 1987, Temperature profiles in the earth of importance to deep electrical conductivity models, *Pageoph.* 125, 255-284.
- Clark S.P. (ed.) 1966, Handbook of physical constants, GSA M.No.97, Washington.
- Clark S.P. and Niblett E.R. 1956, Terrestrial heat flow in the Swiss Alps. *Montly Notices Roy. Astro. Soc. Geophys. Suppl.* 7, 176-195.
- Demirtaşlı Y. 1980, Türkiye Sıcaksu ve Madensuyu Kaynakları, M.T.A. Arş. No. 37367.
- Ekingen A 1978, Biga yarımadası gravite gradyanı. *Jeotermal Enerji*, No. 6.1-5.
- Ercan T. ve diğ. 1979, Batı Anadolu, Trakya ve Ege Adalarındaki Senozoyik volkanizması, *Jeol. Müh. Dergisi*, No.9.
- Erickson 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 Sci., Massachusetts.
- Fournier R.O. and Rowe, J.J. 1966, Estimation of underground temperatures from the silica content of water from hot springs and wet-steam wells, *Am.J. of Science* 264, 685-697.
- Fytikas M.D. 1980, Geothermal exploitation in Greece. 2nd Int. Sem on the Results of E.C. Geothermal Energy Research, Strasbourg. (eds.) A.S. Strub ve P. Ungemach, 213-237, Reidel Publ., Dordrecht.
- Haenel R. 1974, Heat flow in Northern Italy and heat flow maps of Europe. *Zeitschrift für Geophysik* 40, 370.
- İlkışık O.M. 1988, Kuzey-kuzeybatı Anadolu'nun derin özdirenç yapısı. TÜBİTAK Projesi, TBAG-799, Ankara.
- Jongsma D. 1974, Heat flow in the Aegean Sea. *Geophys. J.R. Astr. Soc.* 37, 337-346.
- Kamık V. 1971 Seismicity of The European Area, Part 2. *Academia*, Prag.

- Lee, W.H.K. 1970, On the global variations of terrestrial heat flow. *Phys. Earth Planet. Int.* 2:332-341.
- Lubimova E.A. and Polyak B.G. 1969. Heat flow map of Eurasia. *The Earth's Crust and Upper Mantle.* (ed.) P.J. Hart. AGU Geophys. Mong. No. 13, 826.
- Okay A.I. 1984, Kuzeybatı Anadolu'da yeralan metamorfik kuşaklar, Ketin Simpozyumu, TJK, 83-92, Ankara.
- Oxburgh E.R. et al 1980, Heat flow pattern of the United Kingdom. 2 nd Int. Sem. on the Results of E.C. Geothermal Energy Research, Strasbourg (eds.) A.S. Strub ve P. Ungemach 447-455, Reidel Publ, Dordrecht.
- Ryan W.B.F. et al. 1971, The tectonics and geology of the Mediterranean Sea. *The Sea* (ed.) a.e. Maxwell, Vol. 4, Interscience, New York.
- Sass J.H. 1971, The earth's heat and internal temperatures. I.G. Gaskell et al. (ed.), *Understanding of the Earth*, 81-87.
- Seritaş F. 1988 Kuzeybatı Anadolu Jeotermal kaynakları. (Yönt. İlişkisi O.M.) İ.Ü.Müh. Fak. Bitirme Ödevi, İstanbul.
- Temek Z. (ed.) 1964, 1:500 000 ölçekli Türkiye jeoloji haritası, İstanbul paftası. MTA yay., Ankara.
- Tezcan A.K. 1979, Geothermal studies, their present status and contribution to heat flow contouring in Turkey. Çermak, V. ve Rybach, L. (eds.), *Terrestrial Heat Flow in Europe*, 283-291. Springer Verlag, Berlin.
- Truesdell A.H. 1976, Summary of section III, Geochemical techniques in exploration. Proc. 2 nd U.N. Symp. on the Development and Use of Geothermal Resources, San Francisco, 1975, 1, liii-1xx.
- Üçer S.B., Crampin S., Evans R., Miller A. and Kafadar N. 1985, The MARNET radiolinked seismometer network spanning the Marmara Sea and the seismicity of western Turkey. *Geophys. J.R. Astr. Soc.* 83, 17-30.
- Yasui M. et al. 1970. Terrestrial heat flow in the seas around the Nansei Shoto, Ryukyu Islands, *Tectonophysics* 10, 255-234.
- Yenal O. (ed.) 1969, Türkiye Maden Suları, cilt 1, 2. İ.Ü. Tıp Fak. Hidro-Klimatoloji kürsüsü, İstanbul.