

## DENİZLİ JEOTERMAL ALANLARINDA JEOFİZİK ÇALIŞMALAR

M.E. ÖZGÜLER\*; M.I. TURGAY\* ve H. ŞAHİN\*

ÖZ.— MTA tarafından yürütülen Jeotermal Enerji Arama Projesi kapsamında, Denizli yöresinde özdirenç ve gravite etütleri yapılmıştır. Çalışma alanı Menderes ve Gediz grabenlerinin kenarlarında yer alan Tekke Hamam, Kızıldere, Tosunlar, Bölmekaya, Yenice, Gölemezli, Karahayıt ve Pamukkale jeotermal sahalarını içerir. Bu sahalarda termal etkinlik 34° - 98°C arasında değişen Sıcaksu kaynakları, fümeroller, hidrotermal çökeller ve termal alterasyonlar şeklinde görülür. Gravite etüdü jeotermal kaynakların aranmasında ön prospeksiyon amaçlı olarak yapılmıştır. Ölçümlerden elde edilen Bouguer anomali ve ikinci türev haritaları sahanın genel taban topografyasını ve horst-graben tektoniğini aydınlatmıştır. Özdirenç etüdü, maksimum elektrot açıklığı 2000-6000 metre üzere Schlumberger elektrot dizilimiyle yapılmıştır. Toplam olarak beşyüze aşkın noktada yapılan elektrik sondaj ölçüleriyle yaklaşık 500 kilometrekarelik bir alan incelenmiştir. Model-eğri albümleri ve bilgisayar yardımıyla değerlendirilen saha verilerinden, jeotermal alanlara işaret eden anomalilerin konum ve uzanımlarıyla ilgili bilgiler elde edilmiştir. Kızıldere, Tosunlar, Bölmekaya, Yenice, Gölemezli, Karahayıt ve Pamukkale sahalarında saptanan bu anomaliler üzerinde, yörede jeotermal enerjinin bilimsel ve endüstriyel ölçülerde belirlenebilmesi amacıyla sondajlar önerilmiştir.

### GİRİŞ

Yerkabuğu içerisinde uygun ortamlara yerleşen çok ısınmış suların bulunduğu jeotermal alanların varlıklarının dört ana etkene bağlı olduğu bilinir. Bunlar;

1. Soğuma halinde olan magma kütlesi gibi yüksek verimli bir ısı kaynağı,
2. Geçirimli bir hazne kaya,
3. Geçirimsiz bir örtü kaya,
4. Yeterli su beslenmesidir.

Akdeniz kuşağında yer alan diğer ülkelerde olduğu gibi, Türkiye'de de genç volkanik etkinliklerin sonucu yukarıdaki ana koşulları içeren çok sayıda jeotermal saha bulunmaktadır. Özellikle Ege bölgesi bu bakımdan çok zengindir. Ülkemizdeki bu çok sayıda jeotermal sahaların en önemli olanı ise Kızıldere, Tosunlar, Bölmekaya, Yenice, Gölemezli, Karahayıt ve Pamukkale alanlarını kapsayan Denizli jeotermal sahasıdır. Bu saha ve kapsadığı alanlar Büyük Menderes ile Gediz grabenlerinin doğu ucunda ve kesiştiği kesimlerde yer almaktadır (Şek. 1).

Denizli yöresinde elektrik üretimine dönük jeotermal buharın elde edimi için MTA Genel Müdürlüğüne çeşitli arama yöntemlerini içeren bir program çerçevesinde 1965 yılında çalışmalara başlanmıştır. Bu çalışmalar kapsamında bölgede ilk jeofizik çalışma, 1965 yılında 1500 km<sup>2</sup>lik bir alanda gravite ölçümleri şeklinde yapılmıştır. Elektrik özdirenç yöntemi ise ilk olarak Kızıldere-Tekke Hamam alanlarını içeren 40 km<sup>2</sup>lik bir sahada uygulanmıştır (Tezcan 1967). Bu çalışmaların sonucuna bağlı olarak 1968-1974 yılları arasında 16 adet derin sondaj yapılmıştır. Bu sondajların üretime elverişli altısından elde edilecek buharla 20 MW gücündeki bir elektrik santralının yapımına TEK ca geçilmiş olup, santralin 1984 yılı başlarında faaliyete geçmesi beklenmektedir.

\* Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Jeofizik Dairesi, Ankara.



Şek. 1 - Bulduru haritası.

Kızıldere alanında erişilen bu olumlu sonuçlara bağlı olarak, bölgede yeni hedef sahaları belirlemek ve tüm jeotermal enerji olanaklarının bilimsel ve endüstriyel boyutlarda değerlendirilebilmesini sağlamak üzere özdirenç çalışmaları Tosunlar, Bölmekaya, Yenice, Gölemezli, Karahayıt ve Pamukale gibi Denizli yöresinde yer alan komşu jeotermal alanları da kapsayacak şekilde genişletilmiştir. Yaklaşık 500 km<sup>2</sup>lik bir sahanın incelendiği bu özdirenç çalışmalarına 1978 yılında başlanmış ve 1979 yılında sonuçlandırılmıştır.

## JEOLOJİ

Denizli jeotermal sahası yüksek topografya oluşturan Menderes masifi metamorfiklerinin çevrelediği ve Pliyosen formasyonları ile kaplı bir havzada yer almaktadır. Sahada bulunan jeolojik birimler yaşlıdan gence doğru aşağıdaki gibi sıralanırlar (Şek. 2).

**Paleozoyik metamorfikler:** Kendi içinde alttan üste doğru gözlü gnays, gnayslı şist, kuvarsit, mikaşist ve mermer birimlerinden oluşan bu kayalar tabanı oluştururlar.

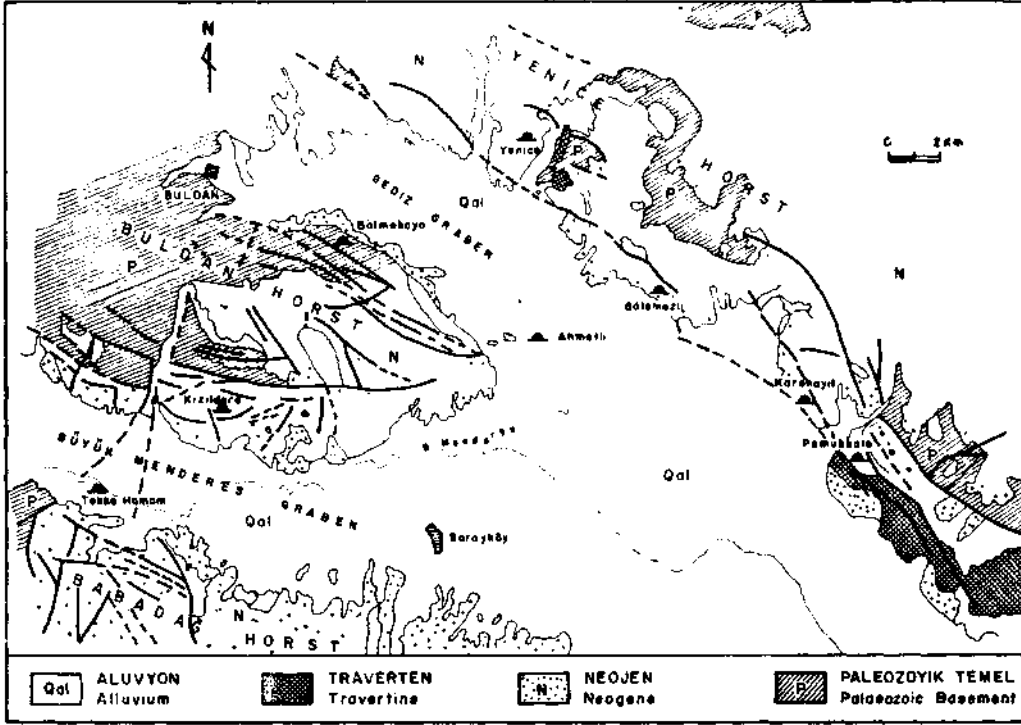
**Pliyosen çökelleri:** Tabanı örten karasal ve gösel bu çökeller konglomera, kumtaşı, kiltası, kireçtaşı, marn ve silttaşı aralanmalarından oluşur.

**Kuvaterner çökelleri:** Alüvyon, yamaç molozu ve hidrotermal bozuşum kayaları bu çökelleri temsil ederler.

Bölgede Pliyosen sonrası yükselen Menderes masifinin yarattığı gerilim, doğu-batı doğrultulu grabenlerin oluşmasına neden olmuştur. Grabenlerin kenarlarında oluşan basamaklı fayların toplam atımı 2000 m kadardır. Masif ve grabenler içerisine giren magma sokulumları, grabenleri sınırlayan faylar ve kırık zonlarında jeotermal enerji sisteminin oluşumuna neden olmuştur.

Güneyden kuzeye doğru sıralanan Babadağ horstu, Büyük Menderes grabeni, Buldan horstu, Gediz grabeni ve Yenice horstu inceleme alanındaki başlıca yapılardır. Sahada volkanik kayalar yoktur, fakat faylardan gelen gazların türü, ısı kaynağının magmatik orijinli olduğuna işaret etmektedir.

Sahada tektonik hareketler sonucu ikincil geçirgenlik kazanmış Pliyosen kireçtaşları birinci hazne kayacı, Paleozoyik yaşlı mermer, kuvarsit ve mikaşist aralanmasından oluşan birimler ise ikinci hazne kayacı oluşturur.



Şek. 2 - Çalışma sahası jeoloji haritası.

Sahadaki örtü kayaç Pliyosen yaşlı marnlı ve killi siltaşlardır. Jeotermal etkinlik ise; Sıcaksu kaynakları (34°C-98°C), hidrotermal çökel ve bozuşum ürünleri gibi yüzey belirteçleriyle karakterize edilirler (Şimşek, 1982).

Sıcaksu kaynaklarına uygulanan  $SiO_2$ , Na/K oranı vb. gibi jeokimyasal termometreler hazne sıcaklığının yaklaşık 200°C civarında olduğunu göstermektedir. Genel olarak 150°C yi aşan hazne kayaç sıcaklığı en azından sıcaşsuyun hâkim olduğu jeotermal sisteme işaret etmektedir.

## JEOFİZİK

Jeotermal akışkanı içeren hazne kaya ve onu çevreleyen ortam jeofizik yöntemlerle kolayca algılanıp haritalanabilecek fiziki özelliklere sahiptir. Bu özelliklerden yararlanarak jeotermal alanlarda jeofizik çalışmalar; genellikle sahadaki yapıyı ortaya çıkarmak, hidrojeolojik koşulları ve örtü kalınlığını saptamak, yöresel ya da bölgesel jeotermal sistemin yerini, dağılımını belirlemek amacıyla yapılır.

Denizli jeotermal alanlarında bu amaçlar doğrultusunda gravite ve öz direnç çalışmaları yapılmıştır.

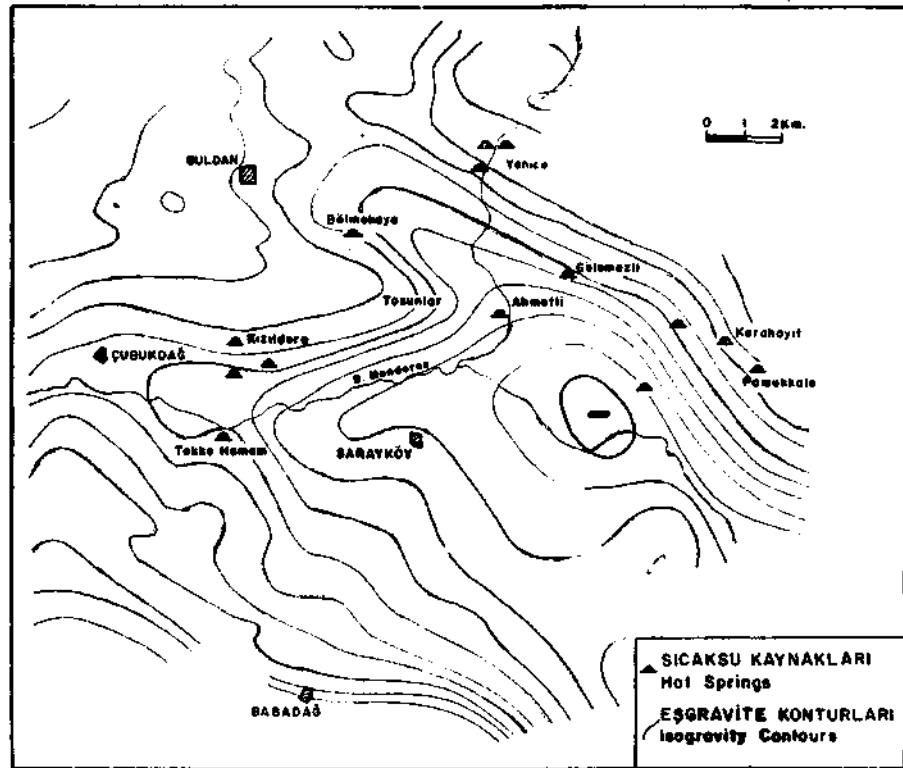
## GRAVİTE ÇALIŞMALARI

Gravite sistemi, jeolojik birimler arasındaki yoğunluk farkı özelliklerini kullanarak taban topografyasını, yapısını, derinliğini çıkarmak, magmatik sokulumların yerini, yayılımını saptamak ve tekto-

nik hatları belirlemek amacıyla uygulanır. Diğer jeofizik yöntemlere göre hem daha ucuz, hem de hızlı olması nedeniyle; jeotermal bir alanın yapısal durumunun belirlenmesinde ön araştırma amaçlı olarak ilk kullanılacak yöntemlerden birisidir.

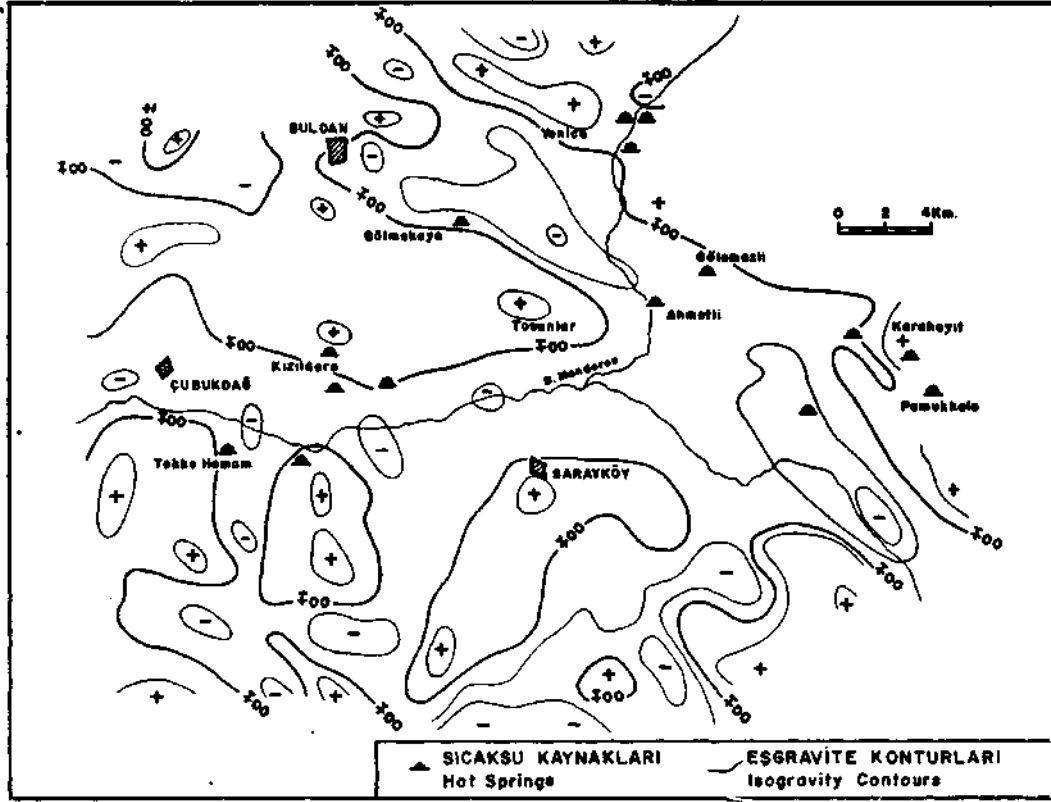
Denizli yöresinde yapılan gravite çalışmaları sonucunda Bouguer anomali ve ikinci türev haritalarına indirgenen gravite ölçümleri Şekil 3 ve 4 te gösterilmiştir (Tezcan, 1967).

Bouguer anomali haritasında, konturların dağılımı sahanın topografik yapıyla tamamen uyum içindedir (Şek. 3). Daha yüksek topografya oluşturan ve daha yoğun olan Menderes masifi metamorfikleri Pliyosen ve Kuvaterner çökellerine göre çarpıcı nitelikte belirgin gravite yükselimlerine neden olmuşlardır. Bu nedenle Bouguer anomali haritası temeli oluşturan metamorfiklerin topografyasını iyi bir şekilde yansıtmaktadır. Pliyosen birimleri ve alüvyonlarla örtülü alanlarda gravite alçalım ve yükselimleri, örtü altındaki metamorfik tabanın yer yer alçalıp yükselmesi ile açıklanabilir. Aynı haritada gözlenen ve yer yer doğu-batı, yer yer de güneydoğu-kuzeybatı uzanımları boyunca ve bu uzanımlara dik olarak gözlenen yüksek gravite gradyanları, çalışma sahasındaki egemen horst-graben tektonik yapılarının sınırlarındaki faylarla denestirilebilir.



Şek. 3 - Denizli-Sarayköy-Pamukkale-Buldan jeotermal sahaslarının Bouguer anomali haritası.

ikinci türev haritasında üç adet belirgin gravite yükselimi (pozitif) görülmektedir (Şek. 4). Birincisi D-B uzanımlı olup, Kızıldere-Buldan arasında yer alır, ikincisi KD da ve KB-GD uzanımlıdır, üçüncüsünün uzanımı ise D-B olup, güneyde görülür. Bu yükselimler sırasıyla Buldan horstu, Yenice horstu ve Babadağ horstu ile denestirililer. Aynı haritada görülen gravite alçalımları (negatif) ise, örtünün kalın olduğu graben alanları ile uyum içindedirler.



Şek. 4 - Denizli-Sarayköy-Pamukkale-Buldan jeotermal sahalarının ikinci türev gravite haritası.

Çalışma sahasında jeotermal yüzey belirteçlerinin, negatif ve pozitif alanların geçiş sınırlarında dağılması, jeotermal sistemin horst-graben sınırlarıyla yakın ilişkide olduğuna işaret etmektedir.

#### ÖZDİRENÇ ÇALIŞMALARI

Elektrik öz direnç yöntemi jeotermal enerji alanlarının saptanması için uygulanan yöntemlerin en önde gelenidir. Bilindiği gibi bir ortamın öz direnci; akışkan miktarı, sıcaklık, akışkan tuzluluğu ve gözeneklilik gibi özelliklere bağlıdır. Jeotermal alanlarda öz direncin çevre alanlara göre değişmesi ve farklı olması bu etkenlerin bir sonucudur. Örneğin, bir ortamda sıcak ve soğuk zonlar; öz direnç değerinin sıcaklık ve buna ilişkin artan akışkan tuzluluğuna bağlı olarak düşmesiyle kolayca ayırt edilebilir.

Denizli yöresinde Tekke Hamam, Kızıldere, Tosunlar, Bölmekaya, Yenice, Gölmezli, Karahayıt ve Pamukkale alanlarını kapsayan öz direnç çalışmaları 250 -1000 m aralıklı yaklaşık 500 noktada Schlumberger elektrot dizilimi ile MTA yapısı D.R. tipi cihazlar kullanılarak yapılmıştır. Akım elektrotları arasında (AB) maksimum uzaklık, değişen taban derinliğine bağlı olarak 2000-6000 m alınmıştır. Ölçülerin değerlendirilmesinde alınan etkin ölçü derinliği teorik olarak akım elektrotları yarı mesafesidir (AB/2). Arazi uygulaması sırasında elde edilen düşey elektrik sondaj (DES) eğrileri saha da teorik model eğriler kullanılarak çakıştırma yöntemi ile değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmeler Jeofizik Dairesi Bilgi-İşlem Merkezinde bilgisayar yardımıyla türetilen matematiksel model eğrilerden saha eğrisine en uygun olanına dayanılarak sonuçlandırılmıştır.

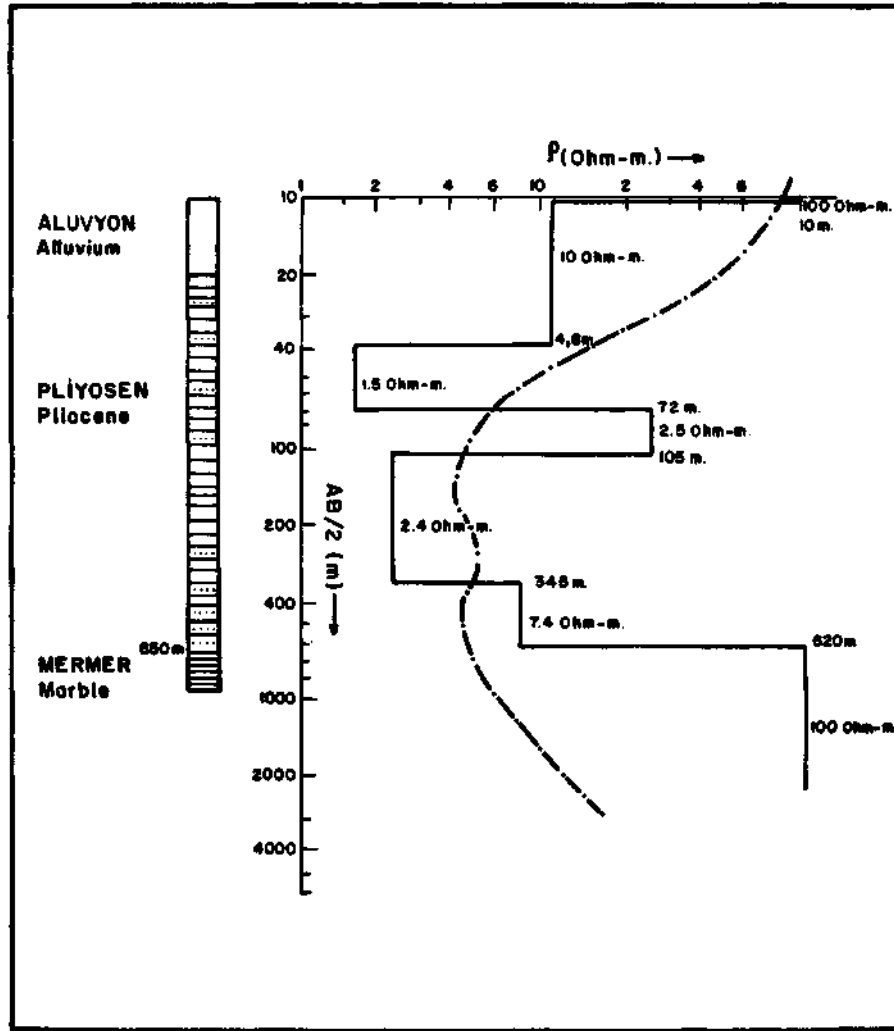
DES eğrilerinin çoğu sahada genellikle farklı üç elektrik seviyenin var olduğunu işaret etmektedirler. Bunlar;

1. Yüksek özdirenci üst seviye (30-2000 Ohm.m): Bu elektriki seviye sahada yaygın olarak en üstte bulunan alüvyon, yamaç molozu ve hidrotermal çökellerle (traverten) denestirilmiştir.

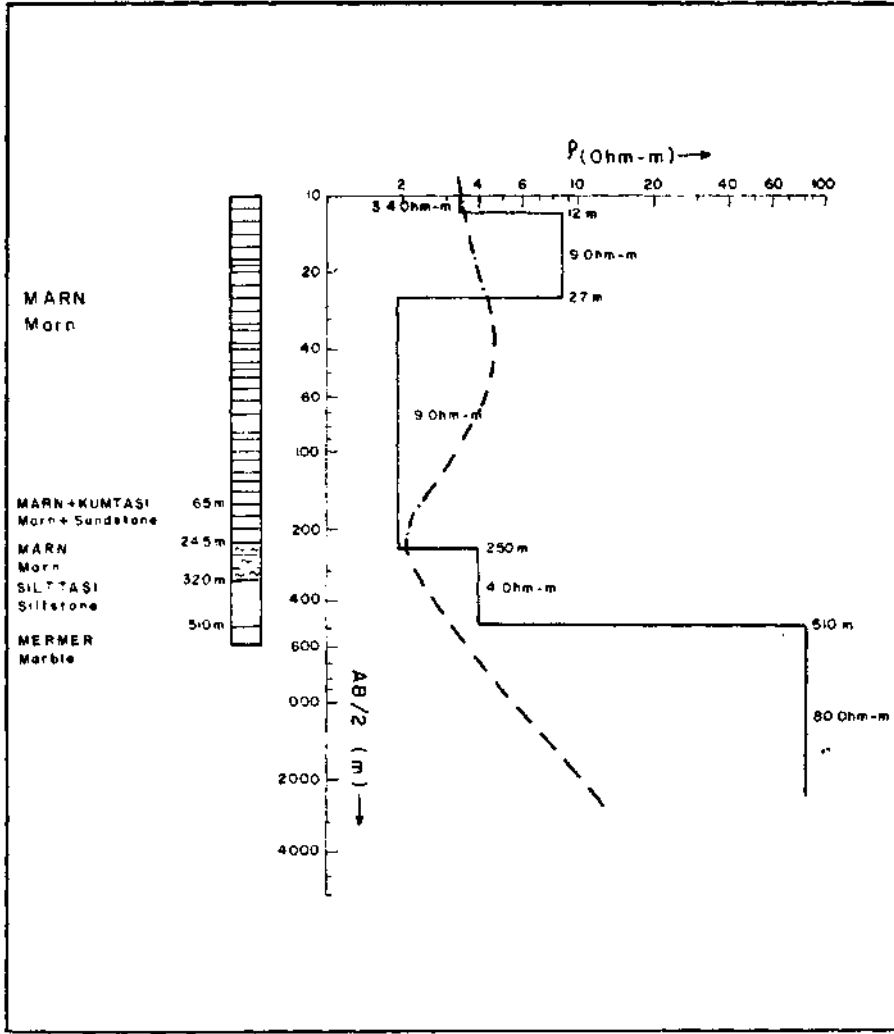
2. İletken orta seviye (2-30 Ohm.m): İletken bir seri ardalanmasına işaret eden bu seviye, sahada jeotermal sistemin-örtü görevini yapan ve en yaygın kayaç türü olan Pliyosen birimleri ile denestirilmiştir.

3. Yüksek özdirençli taban seviye (50-1000 Ohm.m): Bu seviye ise, sahada Paleozoyik yaşlı mermer, kuvarsit, gnays ve şistlere işaret etmektedir.

Kızıldere'de KD - 6 ve KD - 8 üretim kuyuları üzerinde elde edilen DES eğrileri Şekil 5 ve 6 da gösterilmiştir. Bu eğriler üzerinde değerlendirme sonucu elde edilen elektrik seviyeler ve mekanik sondaj loğları işaret edilmiştir. Değerlendirilmiş seviyeler ile sondaj loğlarının uyum içinde oldukları açıkça görülmektedir.



Şek. 5 - Kızıldere KD-6 üretim kuyusunun değerlendirilmiş DES eğrisi ve sondaj loğu.

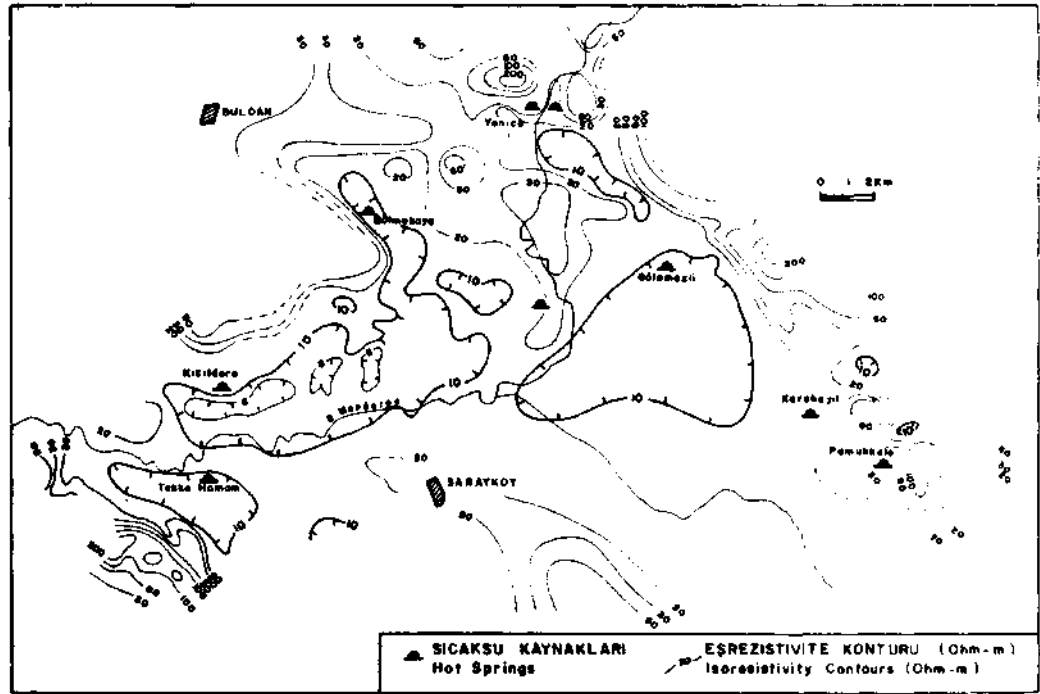


Şek. 6 - Kızıldere KD-8 üretim kuyusunun değerlendirilmiş DES eğrisi ve sondaj logu.

Tüm sahada elde edilen DES eğrilerinden yararlanılarak çizilen ve sahayı en iyi karakterize eden eşrezistivite haritalarından birincisi  $AB/2 = 300$  m için hazırlanmış ve Şekil 7 de verilmiştir. Bu haritada çok belirgin özdirenç farklılıkları görülmektedir. Çalışma sahasının kuzey, kuzeydoğu, doğu ve güneybatı bölümleri KB-GD ve D-B uzanımlı büyük özdirenç değerli konturlarla sınırlanmaktadır. Bu uzanımlar sahanın tektoniğini yansıtmakta ve jeolojik verilerle tamamen uyum içerisinde bulunmaktadır. İncelenen sahanın iç kısımları 30 Ohm.m. den küçük özdirenç değerli konturlarla şekillenmiştir. Bu bilgilere göre çalışma sahasını sınırlayan büyük değerli konturlar horst, iç kısımları kapsayan küçük değerli konturlar ise graben alanları ile denştirilmiştir.

Özde bu haritada göze çarpan en belirgin özellik özdirenç kontur değeri 10 Ohm.m den, yer yer de 5 Ohm.m den daha küçük konturlarla sınırlanan alanların varlığıdır. Sahada Sıcaksu kaynakları, hidrotermal çökeller gibi jeotermal yüzey belirteçlerinin de bu alanlar içerisinde yer alması, Jeo-

termal sistemin varlığını belirlemektedir. Kızıldere, Tosunlar, Bölmekaya, Yenice, Gölemezli, Karahayit ve Pamukkale civarında belirgin olarak izlenen bu alanlar, bölgede egemen horst-graben tektonik yapılarının sınırlarını oluşturan aktif faylara yakın ve bunlara paralel olarak uzanmaktadır. Elde edilen veriler bu zonların metamorfik tabanda yer alan jeotermal haznenin, bunları örten Pliyosen sedimanlarındaki izleri olarak oluştuğunu göstermektedir. Jeotermal haznenin varlığı ve buna bağlı olarak artan ortam sıcaklığı ve akışkan tuzluluğu genelde örtü kayaç niteliğindeki geçirimsiz Pliyosen serileriyle bu zonlarda özdirenç değerlerinin düşmesine neden olmuş olabilir.

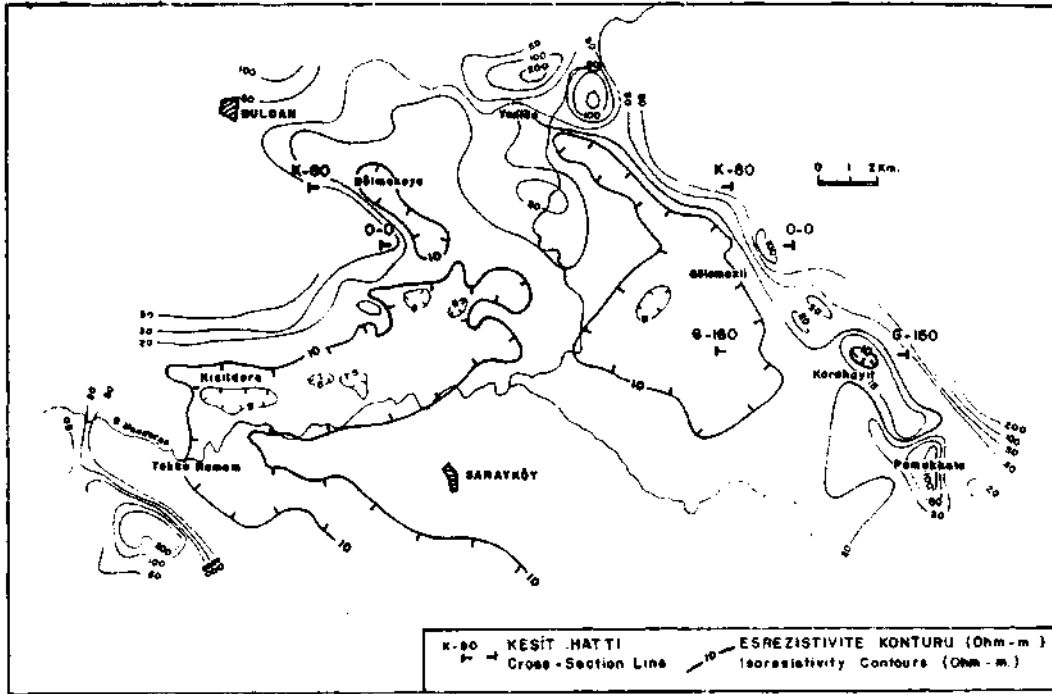


Şek. 7 - Denizli-Sarayköy-Pamukkale-Buldan jeotermal sahalarının eşrezistivite haritası (Schlumberger,  $AB/2=300$  m).

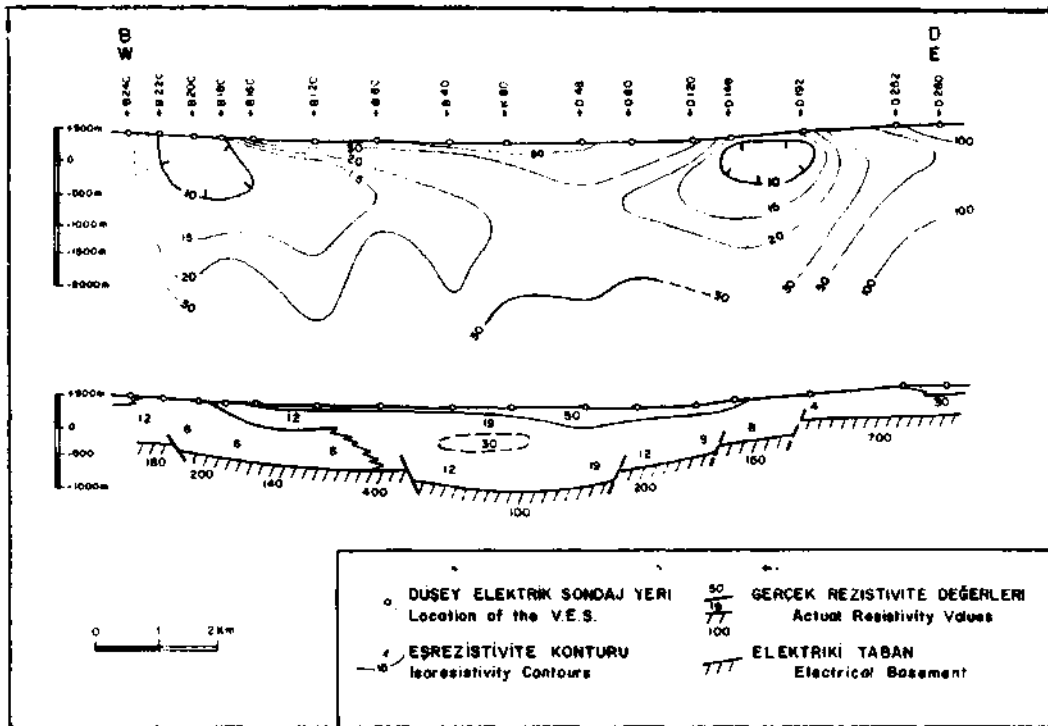
Eşrezistivite haritalarından  $AB/2 = 500$  m için hazırlanan Şekil 8 de görülmektedir. Bu harita Şekil 7 de verilen ve  $AB/2 = 300$  m yi yansıtan eşrezistivite haritasıyla büyük bir uyum içindedir. Tek farklılık nüfuz derinliğinin artması sonucunda, bu haritada metamorfik tabanın daha fazla alan kaplamakta oluşudur.

Doğu-batı uzanımlı K-80, 0-0, G-160 profilleri boyunca hazırlanan eşrezistivite ve elektrik ve elektrik yapı kesitleri Şekil 9,10 ve 11 de verilmiştir. Bu kesitlerde sahada egemen horst-graben yapıları belirgin olarak izlenmektedir. Özellikle temel kayada oluşan basamaklı faylar ve bunları örten örtüde özdirenç değerlerinin çevrelere göre çok düşmesi çarpıcı olarak belirmektedir. Özdirenç değerlerinin faylardan uzaklaştıkça büyümesi ve jeotermal yüzey belirteçlerinin de basamaklı fayların uzanımları boyunca oluşmaları, Denizli yöresindeki jeotermal alanların, tabandaki ana fay ve kırık sistemleri boyunca oluştuğuna ve tektonik orijinli olduğuna işaret etmektedir.

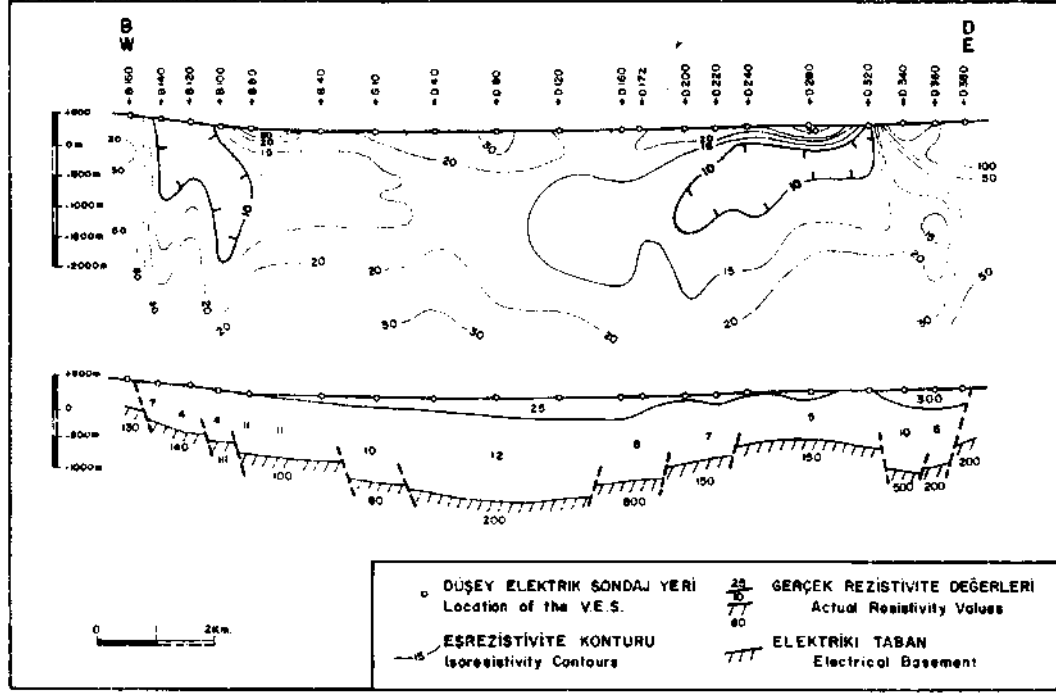




Şek. 8 - Denizli-Sarayköy-Pamukkale-Buldan jeotermal sahalarının eşrezistivite haritası (Schlumberger, AB/2=500 m).



Şek. 9 - K-80 profilinin eşrezistivite ve elektrik yapı kesiti.



Şek. 10 - 0-0 profilinin eşrezistivite ve elektrik yapı kesiti.

DES eğrilerinin değerlendirilmesi sonucunda elde edilen taban kayaç derinlik haritası (Şek. 12) deniz seviyesine indirgenen taban kayaç derinliğinin dağılımını göstermektedir. Bu haritanın sahadaki ana yapı ve farklılıkları gösteren topografya, jeoloji ve gravite haritalarıyla uyum içinde olduğu görülmektedir. Ayrıca horst-graben tektoniği burada çok daha belirgin olarak izlenebilmektedir.

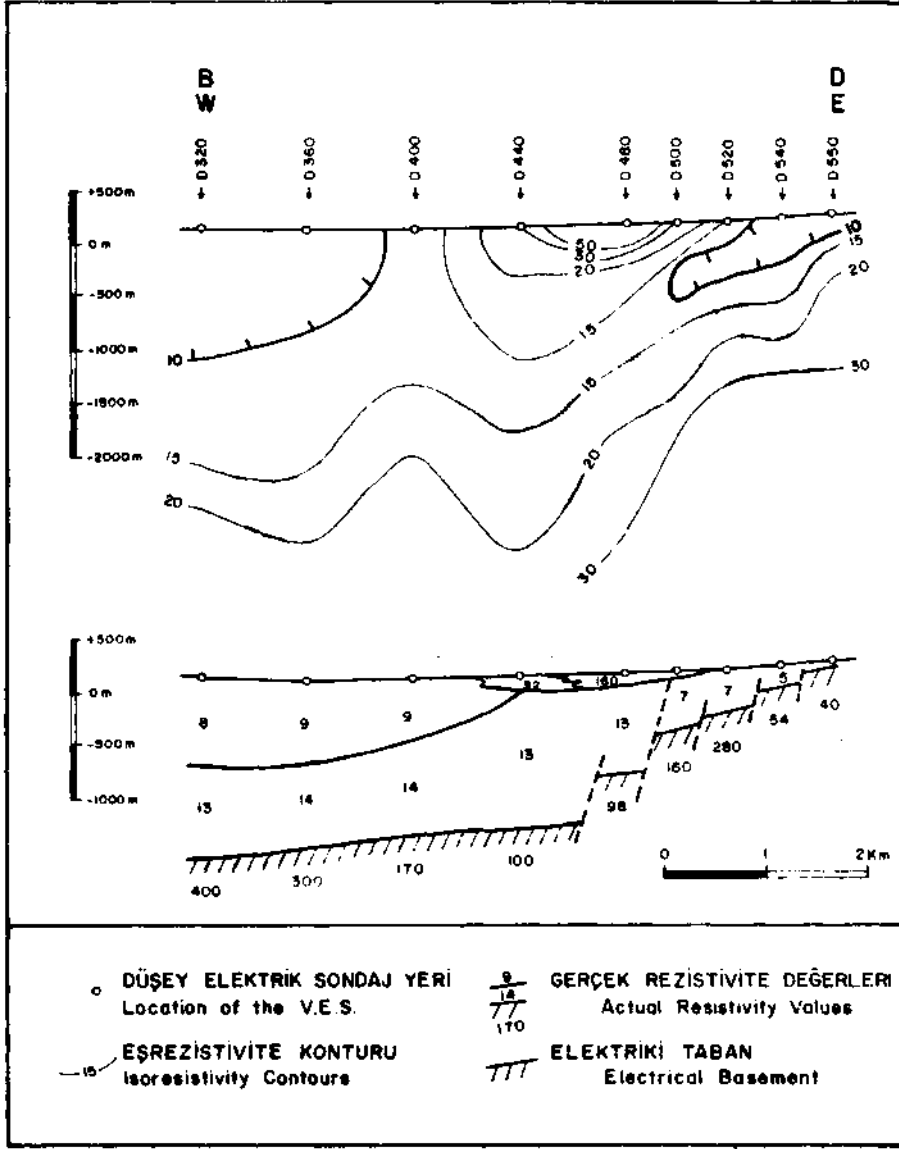
Paleozoyik metamorfiklerle deneştirilen taban kayacın derinliği sahanın kuzeybatı, kuzey, kuzeydoğu ve güneybatı kesimlerinde yüzeye çok yaklaşmakta, sahanın orta kesimlerinde ise derinleşmektedir. Temel kayacın en yüksek ve en derin seviyeleri arasındaki fark yaklaşık 3000 m kadardır. Bu değer fay atımlarının toplam değeri olarak alınabilir.

## SONUÇ

Denizli jeotermal alanlarında yapılan jeofizik çalışmalar jeotermal akiferin durumu ve boyutlarıyla ilgili olarak önemli bilgilerin elde edilmesini sağlamıştır.

İlk sırada yapılan gravite çalışmalarıyla sahanın genel tektonik yapısı belirlenmiş; öz direnç çalışmalarıyla de araştırmaya iki yönden yararlı olunmuştur:

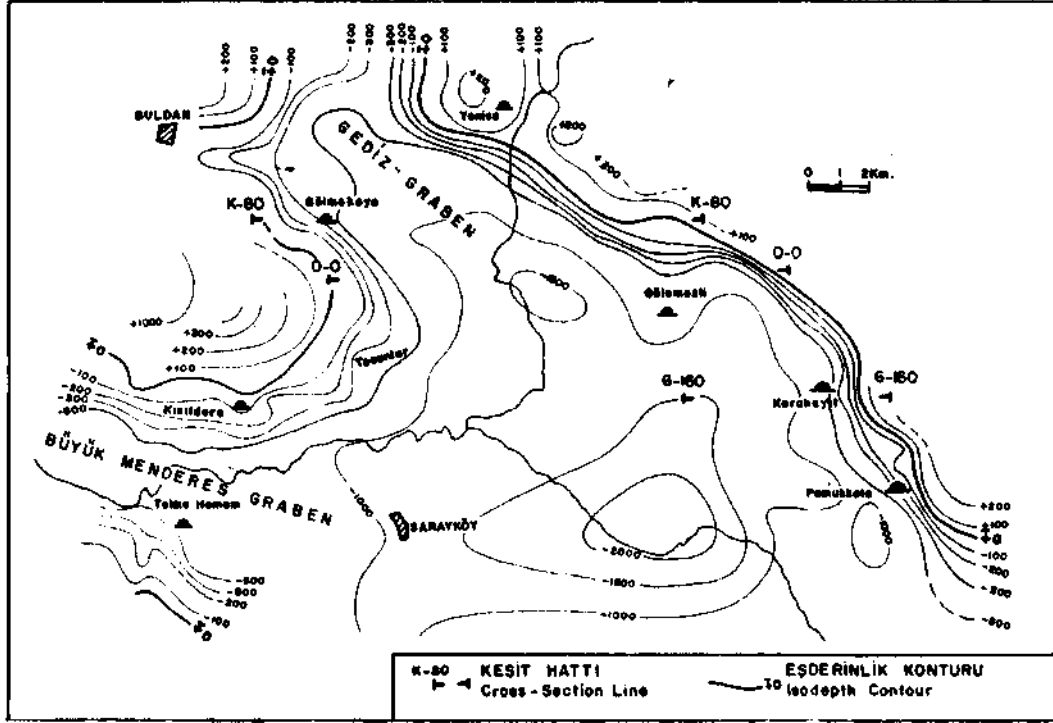
1. Temeldeki jeotermal haznenin Pliyosen örtü içindeki göstergesi olan ve jeotermal akışkanın elde edilmesi amacıyla yapılacak sondajlar için başlıca hedef alanları olacak küçük öz dirençli zonlar (jeotermal anomaliler) ve bunların yayılımları belirlenmiş,



Şek. 11 - G-160 profilinin eşrezistivite ve elektrik yapı kesiti.

2. Sondaj planlamasında en önemli etken olan temel kaya derinliği saptanmıştır.

Özdirenç çalışma sonuçlarına bağlı olarak Kızıldere, Tosunlar, Bölmekaya, Yenice, Gölemezli, Karahayıt ve Pamukkale'de elde edilen jeotermal anomalilerin horst-graben dokanıklarında oluşan fay ve kırık sistemleriyle yakından ilişkili olduğu saptanmıştır. Yörede jeotermal enerjinin bilimsel ve endüstriyel boyutlarda değerlendirilmesinin yapılabilmesi için, belirlenen anomali sınırları içinde gradyan ve derin sondajların yapılması önerilmiştir.



Şek. 12 - Denizli-Sarayköy-Pamukkale-Buldan jeotermal sahalarının elektrik taban eşderinlik kontur haritası.

Jeotermal anomali olarak saptanan küçük öz dirençli alanların toplamı yaklaşık  $20 \text{ km}^2$  dir. Çeşitli aşamalarındaki jeoloji, jeokimya ve jeofizik veriler, bu alanların tümünün Kızıldere jeotermal alanıyla benzer özellikte olduklarını göstermiştir. Kızıldere jeotermal alanında  $20 \text{ MW}$  hk elektrik enerjisinin  $1 \text{ km}^2$  den daha küçük bir alanda termal enerjinin yüzde onundan elde edildiği göz önüne alınırsa; yukarıda belirlenen Denizli yöresindeki jeotermal enerji alanlarının toplam elektrik enerjisi gücünün  $400 \text{ MW}$ , toplam termal gücünün ise  $4000 \text{ MW}$  olacağı düşünülebilir.

Vardığımız sonuçlarla umulabilecek termal güç ve bununla elde edilebilecek endüstriyel ve ekonomik yararlar; özellikle içinde yaşadığımız enerji dar boğazında hiç de göz ardı edilemeyecek, tersine bir an önce ekonominin hizmetine sokulması gereken bir gizil gücün işaretçisidir.

## TEŞEKKÜR

Yazarlar, yararlı görüşleri ile çalışmaya ışık tutan Dr. S. Kavlaçoğlu ve K. Tezcan ile, saha ve büro çalışmalarındaki katkılarından ötürü E. Duvarcı, A. Tüzüner, N. Özen ve H. Çalıkoğlu'na teşekkürlerini sunarlar.

## DEĞİNİLEN BELGELER

- Şimşek, Ş., 1982, Geology, geochemistry and geothermal model of the Kızıldere Field: First Turkish Italian seminar on geothermal energy, vol. 11, Ankara-Kızıldere.
- Tezcan, A.K., 1967, Denizli-Sarayköy jeotermik enerji araştırmaları gravite ve rezistivite etütleri: Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü Rap., 3896, Ankara.
- , 1975, Geophysical Studies in Sarayköy-Kızıldere geothermal field, Turkey: Second UN Symposium on the developmanı and Use of Geothermal Resources, San Francisco, California USA, 1231-1240.
- Turgay, I.; Özgüler, M.E. ve Şahin, H., 1980, Denizli Buldan-Pamukkale jeotermal enerji aramaları rezistivite etüdü: Maden Tetkik ve Arama Enst. Rap., 6958, Ankara.