

JEOTERMAL ALANLARIN JEOFİZİK YÖNTEMLERLE ARAŞTIRILMASI VE UYGULAMA ÖRNEKLERİ

Züheyr KAMACI

Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, Isparta

ÖZET

Dünyada yenilenebilir enerji kaynaklarından jeotermal enerjinin elektrik üretimi ve merkezi ısıtmada kullanıldığı düşünülürse, günümüzde yıllık 77 milyon varillik petrol eşdeğer tasarruf sağlar. Jeofizik arama yöntemleri, jeotermal alanların hem araştırılmasında hem de geliştirilmesinde ve doğrudan gözlenmesinde önemli rol oynamaktadır. Sıcaklık anomalilerini doğrudan doğruya gösteren ve mekanik sondaj yerlerinin belirlenmesinde en etkili yöntemler, termal ve jeoelektrik yöntemlerdir. Ancak söz konusu jeotermal alanların araştırılmasında anılan jeofizik arama yöntemlerinden başka Gravite, Manyetik, Sismik, Radyometrik, Kuyu Jeofiziği ve Kuyu Logu ile jeotomografinin birlikte kullanılması halinde daha iyi sonuçlar ortaya çıkabilmektedir. Buradan hareketle, bu makalede jeofizik arama yöntemleri kullanılarak jeotermal alanların saptanması ile ilgili dünyadan ve ülkemizden iki uygulama örneği verilmiştir. Bunlardan Uşak-Banaz jeotermal alanında jeoelektrik yöntemler kullanılarak yapılan çalışma sonucunda 55 °C'de artezyen yapan sıcak su bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler : Jeotermal enerji, Jeofizik yöntemler

EXPLORATION BY MEANS OF GEOPHYSICAL METHODS OF GEOTHERMAL FIELDS AND CASE STUDIES

ABSTRACT

Geothermal energy which is one of the reuseable energy resources, can save as much as 77 million barrels of petroleum equivalent annually when used in the production of electricity and heating-environment. Geophysical exploration methods plays in important role in the fields of geothermal exploration, development and observational studies. Thermal and geoelectrical methods are the most effective methods which shows the temperature variation anomalies and mechanical drilling places. But, when the other methods of gravity, magnetic, radiometric, well geophysics and well logs can be used in conjunction with seismic tomography, apart from the mentioned geophysical exploration method, better results could be obtained. From the above mentioned facts various case history reports are given from our country and worldwide to determine geothermal energy resources by using geophysical exploration technique application. From these results of studies a 55 °C hot water artesian aquifer is found in the Uşak-Banaz geothermal field by applying geoelectrical methods.

Key Words: Geothermal energy, Geophysical methods

1. GİRİŞ

Jeotermal sahalar dünyanın oluşumundan günümüze kadar olan zaman diliminde doğal enerji alanları sayılmaktadır. Bu alanlarda ısıtıcı , yerin iç ısı, ısı kaynağından geçen yeraltı sularıdır. Jeotermal enerji, yer kabuğunun çeşitli derinliklerinde olağan dışı olarak birikmiş ısının meydana getirdiği yenilenebilir (tekrarlanan) enerji türüdür. Bu enerji

yeryüzüne doğal olarak ya da mekanik sondajlarla sıcak su veya buhar şeklinde ulaşır. Dünya üzerinde yenilenebilir enerji kaynaklarından jeotermal enerji, elektrik üretiminde ve merkezi ısıtmada günümüz koşullarında çok yönlü kullanıma elverişli ve maliyet bakımından diğer enerji türlerine göre daha ekonomiktir. Ayrıca yenilenemeyen (tükenen) fosil enerji kaynaklarına göre jeotermal enerji aynı güneş enerjisi gibi (tükenmeyen) bir enerji türü olması

nedeniyle günümüzde üzerinde önemle durulması gereken bir kaynaktır. Bu da günümüzde yıllık 77 milyon varillik petrole eşdeğer tasarruf sağlamaktadır (Wright ve ark., 1985). Dünya üzerinde jeotermal enerji araştırmalarında aktif çalışmalar ve gelişmeler gösteren Çin, El Salvador, Etiyopya, Fransa, İzlanda, Endonezya, İtalya, Japonya, Kenya, Meksika, Yeni Zelanda, Filipinler, Sovyet Rusya, Birleşik Devletlerde titizlikle yürütülmektedir.

Aynı şekilde ülkemizde de jeofizik yöntemlerle jeotermal alanların araştırılmasında jeofizik yöntemlerle başarılar sağlanmıştır. Jeofizik yöntemlerle jeotermal alanların araştırılması, Breusse ve Mathier (1956), Alfano (1951), Heng (1970), Tezcan (1971) ve Demirören (1971), Palmason (1976), McNitt (1976), Meidav ve Tonani (1976), Zohdy (1978), Ward (1983), Rapolla ve Keller (1984), Türker ve ark. (1991) ve daha birçok araştırmacı tarafından dünyanın ve ülkemizin çeşitli yerlerinde yapılmıştır. Doğal olarak jeotermal kaynaklar üç ortak bileşene sahiptir. Bu kaynakların var olması bu bileşenlere bağlıdır.

Bunlar ısı kaynağı, porozitesi ve geçirgenliği yüksek bir rezervuar ve yüzeye sıcaklığın transferini sağlayan akışdır. Ancak bunlar doğada iki şekilde görülür; sıcak su sistemi ve buharın hakim olduğu sistem. Örneğin, Amerika Kaliforniya, İtalya, Denizli Kızılder buharın hakim olduğu yakın kuyu ve kaynaklardan alınan örnekler, sülfat anyonlarının yüksek ve klorofilin düşük konsantrasyonu (<20 ppm) ile karakterize edilir. Sülfatı zengin kaynak sularının pH değeri düşüktür. Sülfatın yerini sodyumbikarbonatın aldığı kaynak sular oldukça azdır. Ülkemizden Uşak-Banaz Hamamboğaz'ındaki sıcak sular sodyumbikarbonatlı sularıdır. Buradan hareketle jeofizik arama yöntemleri, sıcak suların özelliklerine bağlı olarak genel anlamda jeotermal alanların hem araştırılmasında, hem de geliştirilmesinde önemli rol oynamaktadır.

Sıcaklık anomalilerini doğrudan gösteren ve mekanik sondaj yerlerinin belirlenmesinde en etkili yöntemler termal ve jeoelektrik yöntemlerdir. Ancak bu jeofizik yöntemlerden başka Gravite, Manyetik, Sismik, Radyometrik, Kuyu jeofiziği ve Logları ile Jeotomografinin birlikte kullanılması halinde daha yararlı sonuçlar çıkacağı açıktır. Bu makalede, jeofizik arama yöntemleri kullanılarak çeşitli jeotermal alanların saptanması ile ilgili derlenen dünyadan ve bizzat çalıştığım ülkemizden birer uygulama örneği verilmiştir. Burada verilen uygulama örneklerinin kısaca değerlendirilmesi ve yorumu yapılmaya çalışılmıştır.

2. JEOTERMAL ARAŞTIRMALAR İÇİN BİRLİKTE KULLANILAN JEOFİZİK YÖNTEMLER

1. TERMAL YÖNTEMLER
2. JEOELEKTRİK YÖNTEMLER
 - 2.1. Elektrik Özdirenç Yöntemi
 - 2.2. Etkisel Kutuplaştırma Yöntemi (% FE veya IP)
 - 2.3. Kontrollü Kaynaklı Elektromanyetik (CSEM)
 - 2.4. Audiomagnetotellürik (AMT)
 - 2.5. Magnetotellürik ve Audiofrekans Magnetotellürik Magnetotellürik (MT/ AMT)
 - 2.6. Doğal Gerilim (SP)
 - 2.7. Tellürik Akımlar
3. GRAVİTE YÖNTEMİ
4. MAGNETİK YÖNTEM
5. SİSMİK YÖNTEMLER
 - 5.1. Mikrosismik
 - 5.2. Mikrodepremler
 - 5.3. Telesismik
 - 5.4. Sismik Kırılma Yansıma Yöntemleri
6. RADİOMETRİK YÖNTEMLER
7. JEOFİZİK KUYU LOGLARI
8. KUYU JEOFİZİĞİ
 - 8.1. Düşey Sismik Profili (VSP)
 - 8.2. Sismik Tomografi

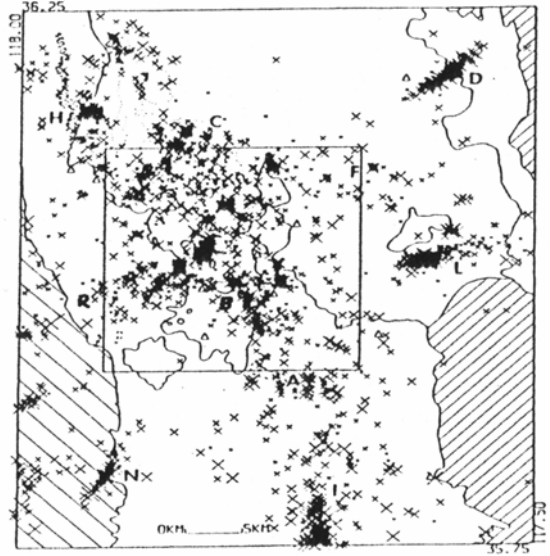
Hidrotermal kaynakların bulunduğu bölgelerdeki jeotermal araştırmalarda, söz konusu bölgelerin jeolojik yapısına göre öncelikli olarak bir çok disiplin içerisinde farklı jeofizik yöntemler sırasıyla uygulanmaktadır. Ancak ülkemizde bu çalışma disiplinine pek rastlanmamaktadır. Bu yüzden, derleme şeklindeki bu makalede, her jeofizik prospeksiyon kitaplarında rastlanması mümkün olan rastlanması mümkün olan uygulamalı jeofizik yöntemlerin uygulama prensiplerine girilmeden, sadece her jeotermal araştırmalarda üzerinde titizlikle durulması ve uygulanması gereken hususlara yer verilmeye çalışılmıştır. Aksi halde söz konusu jeotermal araştırmalarda doğru bir sonuca ulaşmak mümkün olmayabilir.

3. JEOTERMAL ARAŞTIRMALARDA JEOFİZİK YÖNTEMLERİN KULLANIMI

(Wright ve ark. 1985)

YAPILAR	ÖNCELİKLİ KULLANIM SIRASI
Vadilerde	<ol style="list-style-type: none">1. Düşey elektrik sondajı yöntemi2. Mikrodepremler, gravite manyetik, magnetotellürik, dipol-dipol, bipol-dipol, ve Isı akışı ile Termal gradient yöntemleri.

Havza ve Civarı	Birincil ve ikincil jeomanyetik Sondajlar, CSAMT, yatay elektrik sondajı, pole-dipol IP ve kuyu jeofiziği yöntemlerinden başka bütün yöntemler
Sokulumlarda	1. Gravite, manyetik, düşey elektrik sondajı ve sıcaklık gradient yöntemler 2. Yansımali sismik, audiomagnetotellürik magnetotellürik, dipol-dipol ve ısı akısı yöntemler
Volkaniklerde	1. Gravite ve düşey elektrik sondajı yöntemleri 2. Mikrodepremler, yansımali sismik magnetik magnetotellürik, dipol-dipol, bipol-dipol, SP, ısı akısı, termal gradient yöntemler.
Havzalarda	1. Granite, düşey elektrik sondajı, ısı akısı ve termal yöntemler 2. Yansımali sismik magnetotellürik ve tellürik yöntemler.

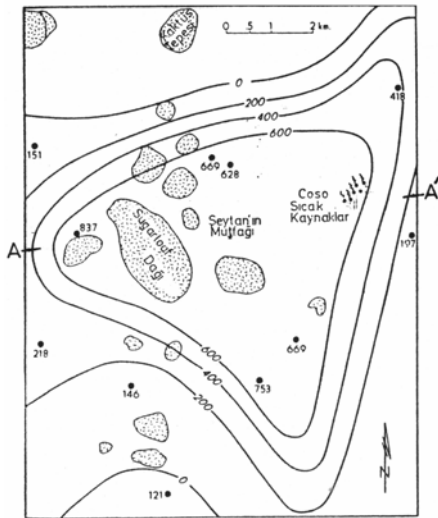


Şekil 2. Kaliforniya'daki Coso jeotermal alanının ısı akısı haritası (Combs, 1980' den sonra)

4. UYGULAMA ÖRNEKLERİ

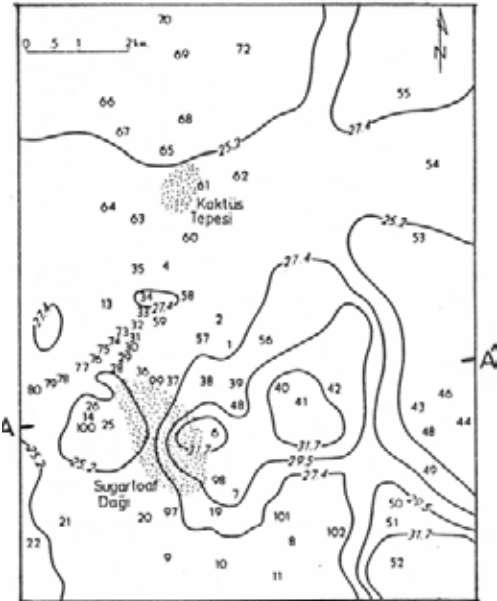
4.1. Coso Jeotermal Alanı

Coso jeotermal alanı GD Nevada (Amerika) uzantısında Coso Range bölgesinde yer almaktadır. Kuzey kısmında faylarla kesilmiş dağlardan ve litolojik olarak farklılıklar gösteren Prekambrien yaştan Holosen yaşa kadar değişen litolojileri içermektedir. Bölgedeki en eski kayalar karmaşık katmanlı Prekambrien yaşlı birimler, Mesozoik deniz sedimanları ve volkanik kayalardandır.



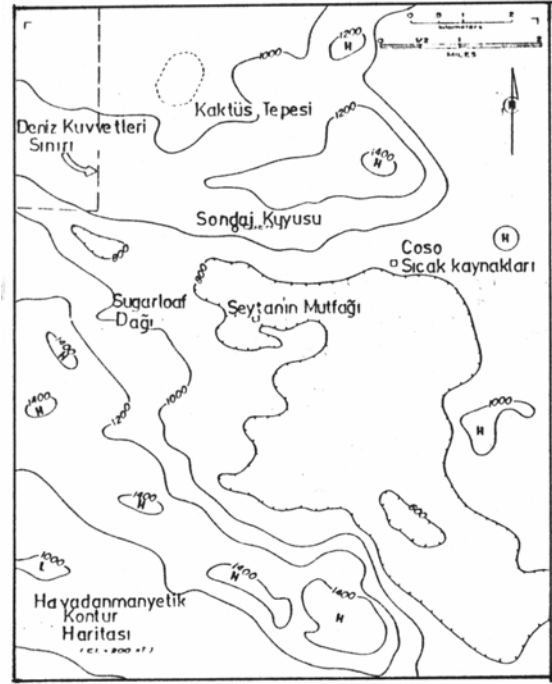
Şekil 1. 27 Eylül 1975 ile 30 Eylül 1975 tarihleri itibarıyla Coso alanında episantrları işaretlenen depremler. Burada R Kırmızı Tepe sismik zonunu ihtiva eder, B Coso havzasının batı kısmındaki sismik zonu gösterir (Walter ve Weaver, 1980)

Sözkonusu jeotermal alan sismik aktivitesi yüksek olan alanlardan biridir. Bu alanın sismisitesi Combs ve Rotstein (1976) tarafından incelenmiştir. Bölgenin sismisitesi (deprenselliği), Walter ve Weaver (1980), tarafından detaylı bir şekilde özetlenmiştir (Şekil 1). Combs (1980) yaptığı çalışmada ve Şekil 2'de gösterdiği gibi düzeltilmiş ısı akısı değerini 67' 960 mW/m arasında ölçmüştür (15 m ile 65 m derinlikteki etkileri içermektedir) ve haritalanmıştır.



Şekil 3. Kaliforniyada'ki Coso jeotermal alanındaki sığ sıcaklık ölçümleri (Le Schack ve Lewis, 1983'ten sonra)

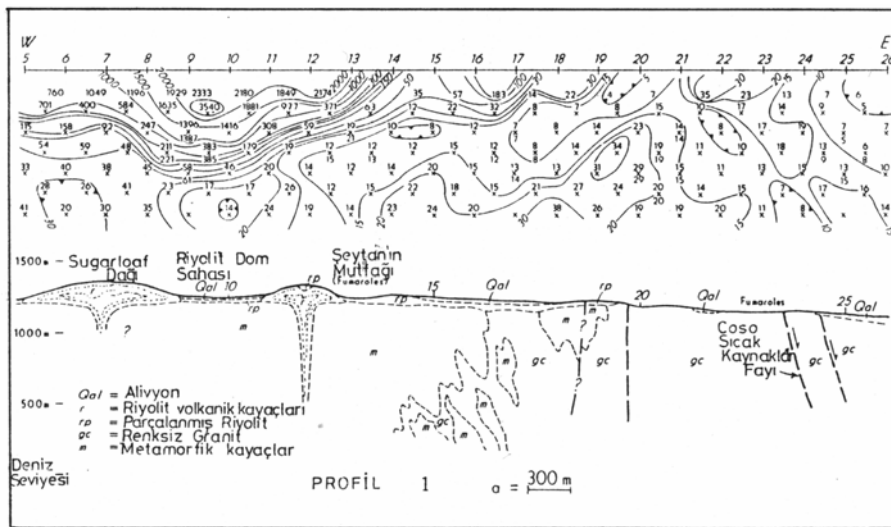
Şekil 3'de görüldüğü üzere 2m derinlikteki sıcaklıklar derece cinsinden eş konturlarla yeniden düzenlenmiş ve haritalanmıştır. Söz konusu jeotermal alanın elektrik özdirenç değerlerini ve jeolojik kesiti gösteren 1 nolu profil (AA') Şekil 4'de verilmiştir. Bu profil Coso sıcak su kaynaklarının 1000 m güneyinde ve Riyolit Tepesi ile Şeytanın Mutfağı Mevkisi'nden geçmektedir. Bu profilin jeolojik kesiti Hullen (1978) tarafından elde edilmiştir. 100 ile 3540 Ω m gibi aşırı yüksek elektrik özdirenç değerleri Sugarloaf dağı'nın kuzeyinde yer alan Riyolit Tepesinde görülmüştür. Buna karşın tek düze 5-10 Ω m gibi düşük elektrik özdirenç değerleri doğu kesimde granitik kayaların üzerindeki alüvyonlarda görülmüştür. Bu düşük özdirenç değerlerinin olduğu yer sıcak su kaynaklarının çıktığı alndır ve bir jeotermal sahayı gösterebilir. Jeotermal alana ait temel litolojik ve yapısal durum havadan manyetik ölçülerle belirlenmiştir. Bu manyetik değerler 200 nT (nano Tesla)'lık kontur aralıklarında harita haline getirilmiştir (Şekil 5). Çeşitli araştırmacılar tarafından belirlenen faylar ve yapısal farklılıklar havadan magnetikle süreksizlikler şeklinde belirlenmeye çalışılmıştır. Daha da önemlisi, her ne kadar bu geniş sahada değişik manyetik değerler elde edilmişse de, bu değerlerin 500 nT'laya kadar varabildiği gözlenmiş ve söz konusu bu iki büyük jeotermal potansiyelli sahanın GD kesiminde yer aldığı ve söz konusu bu kesim 26 km²'lik bir alanı kapsadığı görülmüştür. Yöntem gereği, düşük manyetik değerlerin jeotermal sistemdeki hidrotermal alterasyonlar sonucunda oluşan magnetik bozuşmalarından kaynaklandığı bilinmektedir. Dolayısıyla düşük manyetik değerlerin olduğu yerde jeotermal suların varlığı hissedilmelidir.



Şekil 5. Kaliforniya'daki Coso jeotermal alanının alçak yükseklikteki havadan manyetik incelemeleri gösterir. Fox (1986)'tan düzenlenmiştir

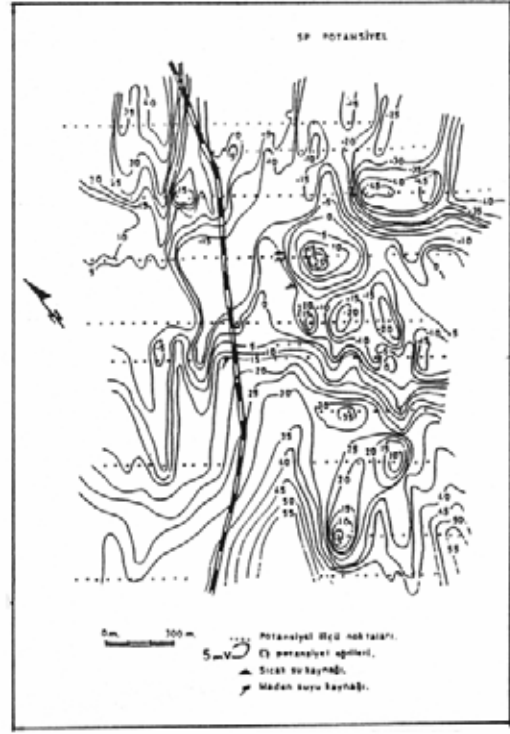
4.2. Uşak-Banaz (Hamamboğazı) Jeotermal Alanı

Banaz-Afyon karayolu üzerinde Hamamboğazı sıcak su kaynaklarının bulunduğu yerde travertenlerin eteğinden geçen kuzeydoğu-güneybatı yönlü ana bir fay ile bu fayı kesen ikincil faylar ve yakındaki faylar ve çöküntülerin gözlemlendiği ve deprenselliği (Şekil 6)

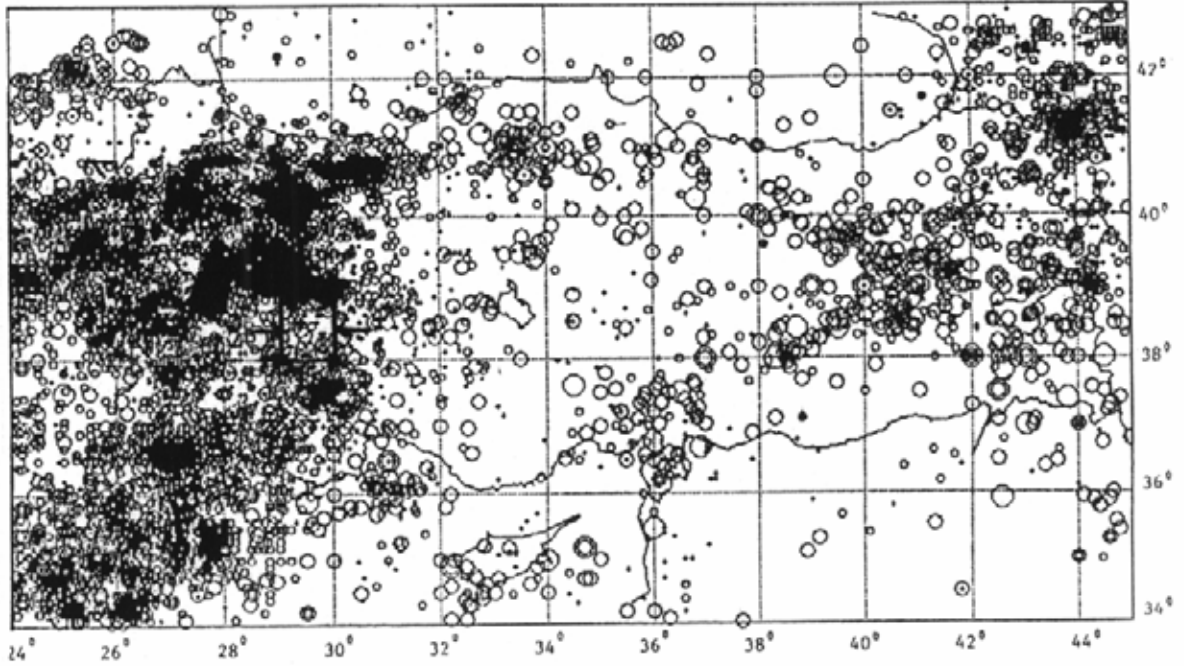


Şekil 4. Coso jeotermal alanındaki 1. profile ait gözlenen görünür özdirenç ve jeolojik kesit Jeolojik kesit Hullen (1978)'den, elektrik özdirenç verisi Fox (1978)'tan düzenlenmiştir (Hullen, 1978)

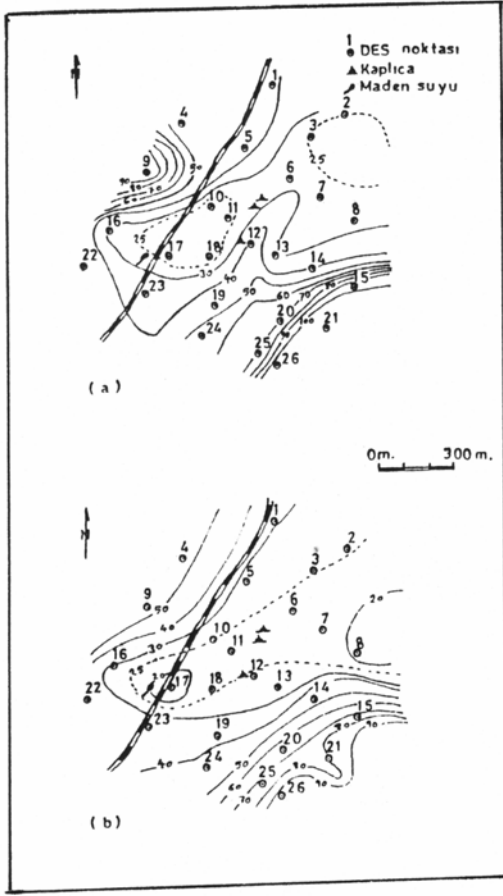
Aktif olan çalışma alanında SP, Elektrik özdirenç, IP ve faz ölçüleri alınmıştır. SP yönteminin gereği olarak sıcak suların çıktığı yerlerde SP- Potansiyel ölçü değerleri alınmış ve haritalanmıştır (Şekil 7). Bu yerlerde SP ölçü değerleri artı (+) ve soğuyarak aşağıya dönüş yapan yerlerde eksi (-) değerlere ulaşacaktır. Şekil 8 ve 9'da elektrik özdirenç haritası ile eş özdirenç eğrileri ve bu eğrilerden elde edilen jeolojik kesit verilmiştir. Bilindiği üzere jeotermal sahalarda elektrik özdirenç aynı birimler içinde çevreye göre oldukça düşükçe sıcak ve iletken birimleri, yüksekçe soğuk ve iletken olmayan ya da az iletken olan birimleri işaret eder. Dolayısıyla en düşük özdirenç değere sahip bölge 12 numaralı jeoelektrik sondajı civarında olmaktadır. Keza etkisel kutuplaştırma (IP) profilinde yüksek IP değerleri kil ve pirit nedeniyle oluşabilir. Sıcak suların hareketi sonucunda depolanan saçılmış pirit büyük bir olasılıkla IP'yi arttırmaktadır. Faz farkı profiline bakıldığında jeotermal alanın merkezinde belirtiler görülmektedir. Şekil 10'da görüldüğü gibi görünür özdirençin yanal değişimi, SP IP ve faz farkı profilleri ile birlikte dikkate alındığında verilebilecek mekanik sondajın yerinin 12 numaralı jeoelektrik sondaj noktası olduğu düşünülmüştür. Busaptamalardan sonra birinci derecede önemli 12'nolu yerde açılan mekanik sondala 140 m derinlikte 55 °C'de 15 lt'lik ve 15 metreye artezyen yapan sıcak su elde edilmiştir.



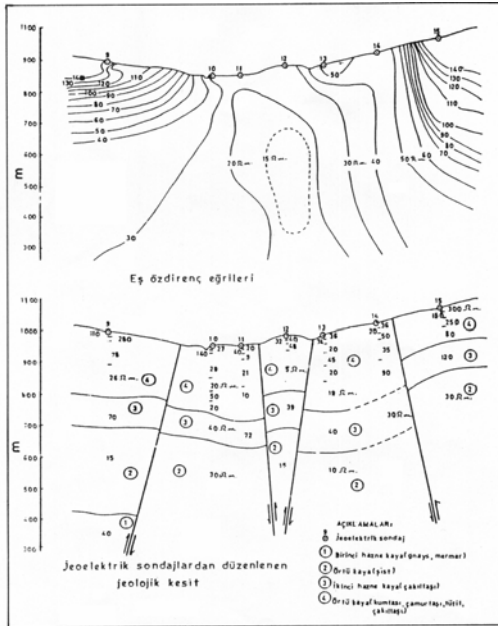
Şekil 7. Uşak-Banaz hamamboğazına ait SP potansiyel haritası (Türker ve ark., 1991)



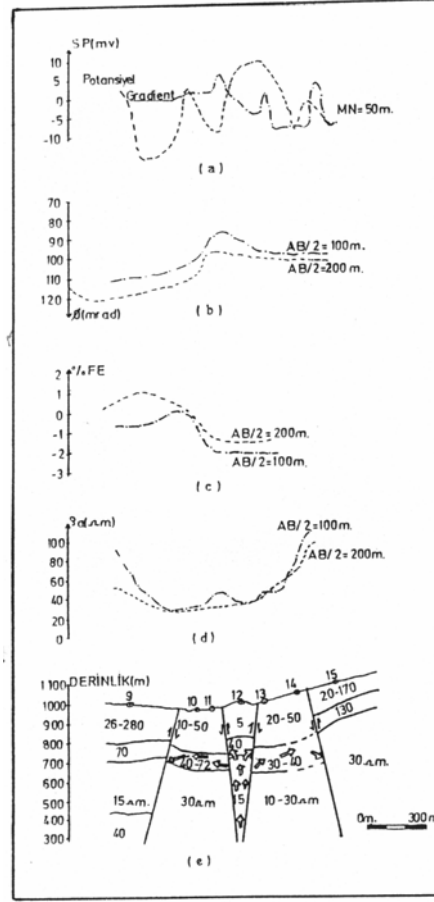
Şekil 6. M.Ö. 2100- M.S. 1984 yılları arasında Türkiye ve çevresinde depremselliği içerisinde Uşak-Banaz jeotermal alanının aktif sismik zonunu gösterir bulden haritası (Alptekin ve ark., 1992)



Şekil 8. (a) $AB/2= 100$ m. için görünür özdirenç haritası, (b) $AB/2= 200$ m. için görünür özdirenç haritası (Türker ve ark., 1991)



Şekil 9. Uşak-Banaz Hamamboğazına ait eş özdirenç eğrileri ve jeolojik kesit (Türker ve ark., 1991)



Şekil 10. Uşak-Banaz Hamamboğazına ait (a) SP, (b) faz farkı, (c) IP, (d) yanıl görünür özdirenç ve (e) jeoelektrik ölçülerinden elde edilen jeolojik kesit (Türker ve arkadaşları, 1991)

Bu saptamalardan sonra birinci derecede önemli 12 numaralı yerde açılan mekanik sondajla 140 m derinlikte 55°C 'de 15 lt'lik ve 15 metreye artezyen yapan sıcak su elde edilmiştir.

5. SONUÇLAR

Sonuçta görülüyor ki, jeofizik arama yöntemleri, jeotermal alanların hem araştırılmasında, hem de geliştirilmesinde ve doğrudan gözlenmesinde önemli rol oynamaktadır. Sıcaklık anomalilerini doğrudan doğruya gösteren ve mekanik sondaj yerlerinin belirlenmesinde en etkili yöntemler olan Termal ve Jeoelektrik yöntemler olmakla birlikte Gravite, Manyetik, Sismik, Radyometrik, Kuyu jeofiziği ve Kuyu logu ile Jeotomografinin bir arada kullanılması halinde çok daha sağlıklı sonuçlar

ortaya çıkabilmektedir. Ancak bütün bu yöntemler birlikte kullanıldığında çok pahalıya gelmektedir. Buna karşın ikinci uygulama örneğimizde kullanılan Görünür Özdirenç, Doğal Gerilim (SP), Etkisel Kutuplaştırma (IP) ve Faz farkı ölçüleri kendi aralarında karşılaştırıldığında sıcak su aramalarının hızlı ve çok ucuza başarılı bir biçimde yapılabileceğini ve gereksiz olabilecek yatırımlardan kaçınılabileceğini ortaya koymuştur.

LeSchack, L. A. and Lewis, J. E. 1983. Geothermal

6. KAYNAKLAR

Alptekin, Ö., Öncel, A. O. ve Yörük, A. 1992. En Büyük Olasılık Yöntemi ile Fay Zonunda Deprem Riskinin Belirlenmesi. Jeofizik 6, 35-53.

Baysal, E. 1984. Sismik Veri İşlem Kitabı, 521 s, TPAO, Ankara.

Combs, J. and Rotstein, Y. 1976. Microearthquake Studies at The Coso Geothermal Area, China Lake, California, **Proc. 2nd U.N. Sympos. on The Development and use of Geoth. Res.**, San Fransisco, (2) 909-916.

Combs, J. 1980. Heat flow in the Coso Geothermal Area, Inyo. County, California, Geophysics, Res., 85, 2411-2424.

Çetinok, G. 1982. Germencik-Ömerbeyli Sıcak Alanında Doğru Akım Özdirenç Çalışmaları ve Değerlendirilmesi, DEÜ. Müh.-Mim. Fak. Jeofizik Müh. Böl. Diploma Çalışması 53 s. İzmir.

Demirören, M. 1971. Çanakkale-Ayvacık-Tuzla Jeotermik Enerji Sahası Rezistivite Etüdü, **1. Jeotermal Enerji Sempozyumu**, Ankara.

Ercan, A. 1982a-b. Yapay Kaynaklı Doğru Akım Özdirenç Yöntemleri, İTÜ. Maden Fak. Yay.

Fox, R. C. 1978a. Dipole-Dipole Resistivity Survey of a Portion of The Coso Hot Springs KGRA, Inyo County, California Univ. of Utah Res. Inst., Earth Sci. Lab., Rep. ID 0/77.5.6.

Fox, R. C. 1978b. Low Altitude Aeromagnetic Survey of a Portion of The Coso Hot Springs KGRA, Inyo County, California., Univ. of Utah. Res. Inst., Earth Sci. Lab. Rep. ID 0/77. 5.7.

Hulen, J. B. 1978. Geology and Alteration of the Coso Geothermal Area, Inyo County, California, Univ. of Utah Res. Inst., Earth Sci. Lab. Rep. DOE/ID/28392 - 4.

Prospecting With Shallow-Tempo Surveys, Geophysics, 48, 975-996.

McNitt, J. R. 1976. Summary of United Nations Geothermal Exploration Technigues: **Proc. 2nd U.N. Sympos.on the Devolpment and of Geoth. Res.**, San Francisco, 2, 1143-1154.

Meidav, T. and Tonani, F. 1976. A critigue of Geothermal Exploration Technigues: **Proc. 2nd U. N. Sympos. On the Development and Use of Geoth. Res.**, San Fransisco, 2, 1143-1154.

Palmason, G. 1976. Geophysical Methods in Geothermal Exploration : **Proc. 2nd U. N. Sympos. on the Development and Use of Geoth. Res.**, San Fransisco, 2, 1175-1184.

Rapolla, A., and Keller, G.V. 1984. Eds., Geophysics of Geothermal Areas: State of the Art and Future Development: **Proc. of the 3rd Course Held of the School of Geophysics," Ettore Majorana" Internat. Centre for Sci. Culture**, Erice Italy, 1980, Colorado School of Mines Press.

Şahinci, A. 1991. Jeotermal Sistemler ve Jeokimyasal Özellikleri, 250 s İzmir.

Tezcan, A. K. 1971. Sarayköy-Kızıldere Jeotermal Enerji Sahasında Kuru Buhar Üretme İmkani, **Türkiye 1. Jeotermal Enerji Sempozyumu** Ankara.

Türker, A. E., Keçeli, D.A., Kaya, M.A. ve Kamacı, Z. 1991. Uşak-Banaz Jeotermal Alanının Jeoelektrik Yöntemlerle Araştırılması, Jeofizik, 5, 59-74.

Walter, A.W. and Weaver, C.S. 1980. Seismic Studies in the Coso Geothermal Area, Inyo County, California, J. Geophys. Res. 85, 2441-2458.

Ward, S. H., 1983. Geophysical Studies of Active Geothermal Systems in the Northern Basin and Range: Geoth. Res. Counc. Spec. Rep. 13, 121-157.

Wright, P. M., Ward, S. H., Ross, H. P. and West, R. C. 1985. State- of-the-art Geophysical Exploration for Geothermal Resources, Geophysics. 50 12, 2666-2699.

Zohdy, A. A. R. 1978. Total-Field Resistivity Mapping and Sounding over Horizontally Layered Media (Bipole-Dipole Geothermal), Geophysics, 43, 748-766.