

# Denizli Sarayköy–Buldan Alanının Jeolojisi ve Jeotermal Enerji Olanakları\*

## Geology And Geothermal Energy Possibilities Of The Denizli, Sarayköy-Buldan Area

Őakir ŞİMŞEK

**ŐZEĐ:** Bu araştırmanın amacı, Büyük Menderes ve Gediz grabenlerinin kesim bölgesindeki Sarayköy-Buldan alanında jeotermal enerji oluşumunu sağlayan ana ögelerden ısıtıcı, haznekaya, örtükaya ve beslenme olgularını belirlemek ve jeotermal enerji olanaklarını değerlendirmektir.

Kaya stratigrafi birimleri olarak, Paleozoyik Menderes metamorfileri ve Senozoyik karasal-gölsel  kelleri bulunur. Bölgede graben ve horstları oluşturan faylar genellikle birbirine paralel, normal atımlıdır. Menderes masifindeki grabenlerin oluşumunu açıklayıcı bir model geliŐtirilmiŐ, jeotermal olanaklar bu model üzerinde yorumlanmıŐtır.

Pliyo-Kuvarterlerde, bölgesel tektonik etkilerle grabenleŐme başlamış, günümüzde de devam etmektedir. Kayıt edilmiŐ ve bilinen depremler de bunu doğrulamaktadır.

Pliyosen, Sazak formasyonu içindeki kireçtaşları birinci, Menderes metamorfitlerinden Iğdecik formasyonunun mermer-kuvarsitli ardalanması ikinci haznekayayı oluşturmaktadır. Pliyosen birimlerinden, Kızılburun, Kolonkaya ve yerel olarak Sazak formasyonu örtükaya dır. Geniş beslenme olanağı vardır, özellikle yüksek geçirimli fay zonları, jeotermal haznekayaların beslenmesini sağlamaktadır. Bölgede gnays-kuvarsit birimi  c nc  haznekaya olabilecek niteliktedir.

Bölgede Kızıldere, Tekkehanam Buldan ve Yenice alanlarının önemli jeotermal enerji potansiyeli olduğu belirlenmiştir.

Kızıldere jeotermal sahasında rezervuardaki jeotermal akışların ana graben fayları boyunca yükseldikleri ve rezervuar içinde graben ortasına doğru hareket ettikleri belirlenmiştir. Bu modele dayanarak üretim ve reenjeksiyon alanları önerilmiştir.

Jeotermal alanlardan elde edilecek jeotermal akışkanın, baŐta elektrik üretiminde olmak üzere sera ve kent ısıtmacılığında, dokuma endüstrisinde, turistik ve sağlık tesislerinde CO<sub>2</sub> (kurubuz) ve diğer kimyasal maddelerin üretiminde kullanılması olanaklıdır.

Jeotermal alanlarda entegre tesislerin kurulması halinde, jeotermal enerji yuğdumuz için en ekonomik enerji kaynağı olacaktır.

\* Bu  alıŐma, Prof. Dr. S. Okay EROSKAY'ın yönetiminde hazırlanarak İstanbul Üniversitesi Yerbilimleri Fakültesinde sunulan aynı adlı doktora tezinin özetidir.

**ABSTRACT** — The purpose of this study is to solve the problems of heater, reservoir rock, caprock and water supply, which provide the conditions of formation of geothermal energy, in the region of the junction of B. Menderes and Gediz grabens in the Sarayköy-Buldan area and to evaluate possibilities for geothermal energy in this region.

The Palaeozoic metamorphic rocks of the Menderes massif and Cenozoic terrestrial and lacustrine sediments are the major lithological units in the area. The faults which generate grabens in the area are normal faults which are disposed parallel to each other. Thus a model has been developed to explain graben formation in the Menderes Massif and possibilities of geothermal energy have been investigated using this model.

The formation of grabens in the area has started during the Plio-Quaternary times and is going on today. The recorded historical earthquakes support to this view.

The limestone of the Sazak formation of Pliocene age form the first and marble-quartzite-schist unit of the second reservoirs. Kızılburun, Kolonkaya and locally Sazak formation, all belonging to Pliocene form the caprock. Large watersupply areas and highly permeable fault zones provides the water supply for the reservoir rock. A third possible reservoir unit in the area is the gneiss-quartzite unit.

Important geothermal potentials are determined in the Kızıldere Tekkehamam, Buldan and Yenice areas.

Geothermal fluid in the reservoir rocks have risen through main faults of the graben is proved. Production and re-injection areas are proposed according to the this model.

Geothermal fluids produced from the geothermal fields can be used firstly in the electric generation and also in the heating of houses and greenhouses, in textile industry, in touristic and health buildings and in the production of dry ice (CO<sub>2</sub>) and similar chemicals.

When the integrated complexes for geothermal energy are built in Turkey, geothermal energy will be the most economical energy in Turkey.

## **GİRİŞ**

Hızla artan enerji gereksinimi karşısında fosil yakıtların yetersiz kalacağı ve tükeneceği bilinmektedir. Bu nedenle yeni enerji kaynaklarının araştırılması ve işletilmesi konusunda çalışmalar ve çeşitli uygulamalar yapılmaktadır. Jeotermal enerjinin, diğer enerji türlerine göre daha ucuz, temiz, tükenmez ve devreye girme çabukluğu nedeniyle yurdumuzda da araştırılmasına başlanmıştır.

Türkiye'nin aktif tektonik bir kuşakta yer alması, genç graben sistemleri ve volkanik etkinliğin bulunması, jeotermal enerji potansiyelinin büyük olabileceğini göstermektedir. 1965 yılına kadar derlenen bilgiler ile hazır-

lanan program gereğince ilk önemli araştırma Denizli-Kızıldere ve Tekkehamam jeotermal alanlarında başlamıştır. Bu alanlarda ilk jeolojik, jeofizik ve jeokimyasal çalışmalardan sonra 17 derin sondaj gerçekleştirilmiş ve alanda iki hazne kaya saptanmış, bunların birincisinde 198°C, ikincisinde ise 213°C sıcaklıkta jeotermal akıştan bulunmuştur. Alanda jeotermal akışkandan pilot elektrik üretimi ve diğer kullanım alanlarının araştırılması yapılmıştır. Halen yılda 160.000.000 kilowattsaatlik üretim yapacak 20 megawatt kapasiteli elektrik santralının yapımı sürdürülmekte, santralin 1982 de devreye girmesi beklenmektedir.

### Çalışmanın amacı

Bu çalışma İstanbul Üniversitesi, Yerbilimleri Fakültesi Jeoloji Mühendisliği bölümünde doktora tezi olarak hazırlanmıştır. Araştırmanın başlıca amaçları şunlardır:

I — Bölgede jeotermal modelin kurulması,

a) Büyük Mederes ve Gediz grabeni yaklaşım alanındaki önemli jeotermal anomalinin oluşmasını sağlayan tektonik modelin belirlenmesi,

b) Bölgede temeli oluşturan, Menderes Masifi metamorfitlelerinin kaya stratigrafisi ve zaman stratigrafisinin incelenmesi, inceleme alanında ikinci haznekayayı oluşturan mermer-kuarsitli ardalanmasının yanal, düşey devamlılığı ve olası üçüncü haznenin araştırılması,

c) Genellikle örtükaya, yerel olarak hazne kaya niteliği taşıyan Pliyosen çökelleri-

nin düşey ve yanal değişimlerinin saptanması,

d) Alanda haznelerin beslenme olanaklarının araştırılması,

e) Bölgenin jeotermal enerji potansiyeli ve kullanma olanaklarının belirlenmesi,

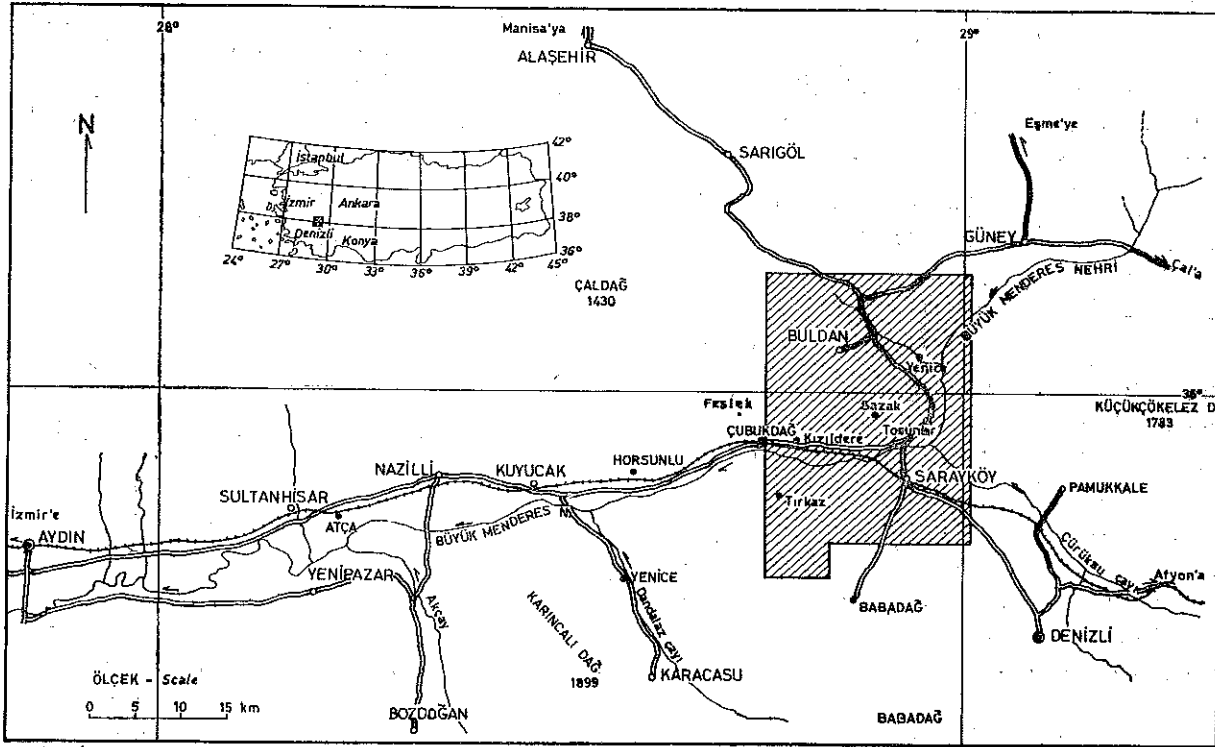
II — Saha çalışmaları ve yapılmış derin sondaj verilerinin yorumlanması ile,

a) Jeotermal alanların sınırlarının belirlenmesi,

b) Kızıldere jeotermal alanında üretim ve reenjeksiyon alanlarının bulunmasıdır.

### Yapılan Araştırmalar

Sarayköy-Buldan alanını içeren Büyük Mederes ve Gediz grabenlerinin kesiştiği alanın 650 Km<sup>2</sup> lik, 1/25.000 ölçekli (Denizli-M21-b1-b2, kısmen b4, Uşak L21-c3-c4 paftalarında) ayrıntılı jeoloji haritası yapılmıştır (Şekil 1).



Ş. 1- İNCELEME ALANININ BULDURU HARİTASI

Fig.1- Location map of the investigated area

Jeotermal enerji açısından örtü kaya ve haznekaya olabilecek birimlerden 6 ölçülmüş stratigrafi kesiti hazırlanmıştır.

Jeokimyasal çalışmalarda yüksek ve düşük sıcaklıklı kaynaklardan ve üretim kuyularından alınan su ve buhar analizi yapılarak

suların bileşimleri, kökenleri ve yeraltı sıcaklıkları tahmin edilmiştir.

TCHIHATCHEFF (1867) ile başlayan birçok eski inceleme sonunda bölgenin genel jeolojisi hakkında birçok önemli sonuçlar alınmıştır. Menderes masifinin ve graben sistemlerinin oluşumu, yaşı ve genel tektoniği konusunda birçok fikir gelişmiş ancak tartışmalar süregelmiştir. Jeotermal çalışmaları yeni olmakla beraber önemli deneyimler kazanılmaktadır. Genel jeoloji çalışmalarının yanında jeotermal modelin kurulması için ısıtıcı, haznekaya, örtükaya ve beslenme sisteminin belirlenmesi gerekmiştir. Bu çalışmada, ilk defa ayrıntılı olarak bölgede daha önce yapılan yerel çalışmalar birleştirilmiş, sondaj verileri ve jeotermal enerji konusundaki son gelişmeler de değerlendirilerek önemli sonuçlar elde edilmiştir.

## JEOLOJİ

### STRATİGRAFI

Bölgede Menderes masifine ait metamorfik kayalar ile Pliyosen ve Kuvaterner'e ait çökel kayaları bulunmaktadır.

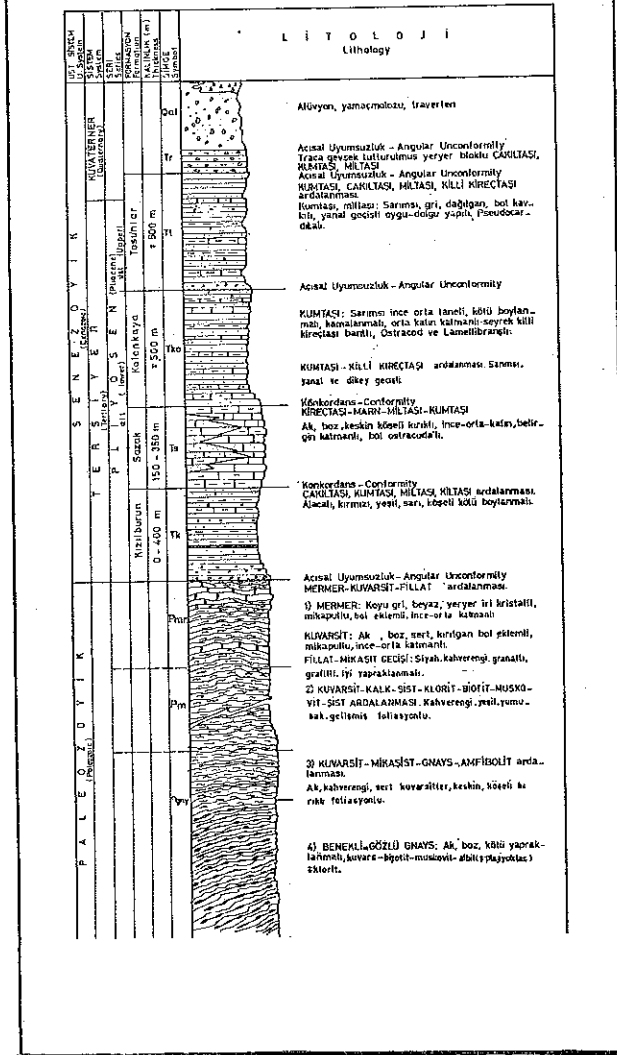
Paleozoyik yaşlı Menderes masifinin metamorfikleri değişik kesitlerde tabandan tavana doğru, çeşitli gnayslar, şistler, kuvarsit, ve mermerlerle temsil edilmektedir.

Senozoyik (Alt Pliyosen) Kızılburun formasyonu (TK), çakıltası, kumtaşı, Sazak formasyonu (Ts), kireçtaşı, marn, Kolonkaya formasyonu (Tko), marn, kumtaşı, (Üst Pliyosen) Tosunlar formasyonu (Tt), bloklu çakıltası, kumtaşı ve kireçtaşından oluşmuştur. Kuvaternerde traçalar (Qtr) eski alüvyon ve yeni alüvyon, (Qal) yamaç molozu, (Ymç) alüvyon yelpazeleri ile travertenler (Trv) gelişmiştir (Şekil 2).

### YAPISAL JEOLOJİ

İnceleme alanındaki kıvrımlar, faylar (yarımlar), horst ve grabenler, eklemler, sırasıyla tanımlanarak, oluşum yaşları ile evrimleri ve diğer yapılarla ilişkileri belirtilecektir. Türkiye'de neotektonik devre Bitlis kenet kuşağı

Ş.2 DENİZLİ, SARAYKÖY-BULDAN ALANININ GENELLEŞTİRİLMİŞ STRATİGRAFI KESİTİ  
Fig. 2-Generalized stratigraphic section of the Denizli, Sarayköy-Buldan area



boyunca Anadolu ve Arap kıtası çarpışması ile başlamıştır.

Bu sıkışmanın dolaylı bir sonucu olarak Ege ve Batı Anadolu'da doğu-batı yönlü bir sıkışma rejimi ortaya çıkmıştır. Aynı zamanda Doğu Akdeniz litosferinin (Levan Okyanus kabuğu) Anadolu plakası altına dalması, Menderes masifi altında bir anateksis zonu nun oluşmasını, masifte asit intrüzyonların gelişmesini ve masifin yükselmesini sağlamıştır (Şengör ve Yılmaz, 1981). Böylece tüm bu ettiler altında Ege graben sistemi oluşmuştur. İnceleme alanı, Menderes Masifindeki Büyük Menderes ve Gediz grabenlerinin kesişme bölümündedir.

İnceleme alanında Pliyo-Kuvarterner ve Kuvaternerdeki genişleme oranını bulmak için Yenice horstunda uygun kesit hattı boyunca bir örnek çalışması yapılmıştır. Bu kesit fayların ve atımların iyi gözlenebildiği Büyük Menderes vadisinde yapılmıştır. Kesit boyunca fay atımları, eğimleri, diskordans yerleri, katman doğrultu ve eğimleri kaydedilmiştir. İki kesit çıkarılmıştır. Ölçüler kesit üzerine konduktan sonra katmanlar Alt Pliyosendeki konumuna getirilmiştir. İlksel konuma getirilirken katman eğimleri fay eğimlerinden çıkarılmıştır. Böylece 7.5 km. olan ilk durum bugün 8.5 km. ye ulaşmış, genişleme oranı % 12 bulunmuştur.

Mokenzie (1972) Ege denizi ve çevresinin neotektoniğini ve güncel yamulmasını özetlemektedir. Bölgenin en belirgin özelliği doğu-batı yönlü uzanan çok sayıda graben bulunmasıdır. Fay düzlemi çözümü diyagramları genel bir kuzey-güney gerilmenin olduğunu göstermektedir. Ancak inceleme alanında, kuzey-güney doğrultulu normal atımlı fayların bulunması (Pelitliada, Hacı Mehmet Fayı vd.) ve komşu batı alanlarda birbirine paralel, kuzey-güney doğrultulu Karacasu, Akçay, Çine ve Köşk grabenlerinin görülmesi, bölgede kuzey-güney gerilmeyle aynı değerde olmamakla beraber önemli bir doğu-batı doğrultulu gerilmenin de varlığını belirlemektedir. Büyük atımlı kuzey-güney fayları doğu-batı doğrultulu graben fayları tarafından kesilmektedir.

### *Eklemler*

İnceleme alanında tipik eklem örnekleri veren Menderes masifi metamorfittleri ve Sazak formasyonundaki eklemler ayrıntılı bir inceleme konusu yapılmıştır. Ölçülen eklemler İstanbul Üniversitesi Haydar Furgaç Elektronik Hesap Merkezindeki IBM-360 elektronik hesaplayıcısında değerlendirilmiş ve eşit alan izdüşümleri hazırlanmıştır. Daha sonra yazar, verilerle stereografik izdüşümlerini çizmiştir. Elde edilen sonuçlara göre; Eklemlerin gelişiminde çeşitli doğrultudaki kuvvetlerin yanında K-G çekim kuvvetleri egemen olmuştur. Bu durum, bölgede D-B yönündeki grabenlerin gelişmesiyle yakından ilişkilidir.

### *Kıvrımlar*

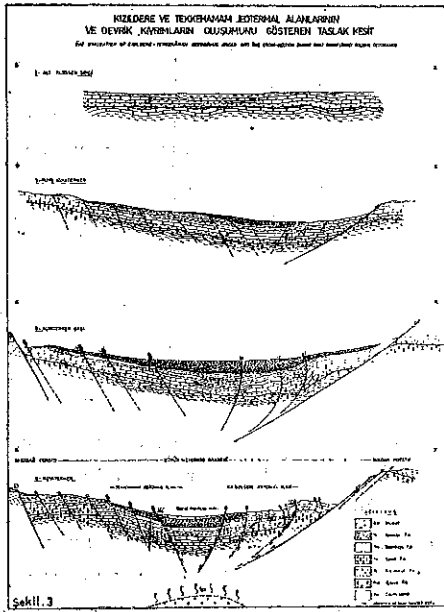
Pliyosen çökellerinde izlenebilen kıvrımların genel gidişleri tektonik hatlara ve morfolojiye uygun olup genellikle doğu-batı ve batı kuzeybatı -doğu güneydoğu doğrultuludur. Asimetrik kıvrım tipi çoğunluktadır. Yerel olarak bakışımı, diz şeklinde, devrik ve yatık kıvrımlar gelişmiştir

### *Kızıldere jeotermal alanındaki kıvrımlar*

Büyük Menderes grabeni kuzey ana fayı olan Gökdere fayından itibaren güneye doğru buna paralel olarak gelişmiş kıvrımlar saptanmıştır. Özellikle Kızıldere fayı önünde görülen kıvrımlar dalga boyları derine doğru azalan plastik Pliyosen çökellerindeki örtü kıvrımlarıdır. Benzer kıvrımlar graben tektoniğinde yerel olarak görülebilir (GOGUEL, 1952). Eksen uzunlukları 4-5 km.ye ulaşmaktadır. Gidişleri yaklaşık doğu-batıdır. Kızıldere fayından itibaren güneye doğru 2 km. içinde dalga boyları gittikçe azalır. Kanat eğimleri artar. Önce yatık sonra sırasıyla devrik, diz şeklinde ve bakışimsız olan 8 kıvrım ekseni saptanmıştır. Bu kıvrımlar Kızıldere sıcaksu kaynaklarının bulunduğu Gebeler deresi vadisiyle, buna paralel vadilerdeki doğal kesitlerde iyi görülmektedir. Kıvrım eksenlerinin aşırı zorlandığı yerlerde kırıklar, faylar gelişmiştir. Kızıldere ters fayı da böyle bir kıvrım eksenindedir. Bölgede bu kıvrımların oluşumunu a) Graben alanındaki daralma b) Fay atımlarının çok fazla olması c) Fay eğiminin düşük olması (40°) sağlamıştır (*Şekil - 3*).

### *Faylar*

Bölgedeki en genç en önemli faylar Menderes masifinin Pliyosen ve sonraki yükselmesi sonucu doğan tansiyon kuvvetleriyle oluşan graben faylarıdır. Bölgedeki grabenler, kuzeyden güneye doğru Bakırçay, Gediz, Küçük Menderes, Büyük Menderes grabenleri olup kenar faylarının, eğimleri derine doğru azalan (kürek şekilli) normal eğim atımlıdır. Bunların doğrultuları doğu-batı ile doğu güneydoğu-batı kuzeybatıdır. Ayrıca kuzey-güney doğrultulu faylar da görülmektedir. İnceleme alanında sadece Kızıldere'de yerel ters faylarda bulunmaktadır.



Genç tektonik, bölgede jeotermal alan olanağının doğmasında en önemli etken olmuştur. Genç ve büyük atımlı faylar boyunca birçok sıcaksu kaynağı ve doğal buhar yüzeye ulaşmıştır. Yoğun tektonik etkiler nedeniyle istifteki sert ve kırılğan litolojiler ikincil geçirimsizlik kazanmışlar, böylece haznekayalar oluşabilmiştir. Faylarda bu kayalara beslenme olanağı bulunmuş ve buralarda jeotermal akışkan birikmiştir.

Bölgede K-G gerilme ve domsal yükselme sonunda güneyden başlayarak Babadaş hors-

tu, B. Menderes grabeni, Buldan horstu, Gediz grabeni, Yenice horstu oluşmuştur. Horst ve grabenler arasında basamaklı fayların güzel örnekleri bulunur.

## JEOTERMAL ENERJİ

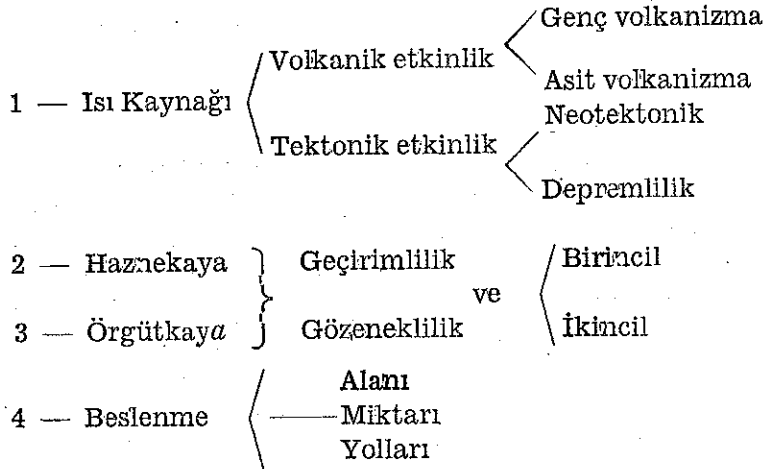
Yerkabuğunun çeşitli derinliklerinde olağandışı birikmiş ısının oluşturduğu bir enerji türüdür. Bu ısı yeryüzüne doğal sıcaksu kaynağı, buhar şeklinde veya sondajlarla sıcaksu, sıcaksu-buhar ve buhar şeklinde ulaşmaktadır. Yerin derinliklerinde var olan bu ısı kaynağı henüz soğumamış bir magma kütleleri veya genç bir volkan ile ilgili olabilir. Yeraltına sızan meteorik sular rezervuarlarda toplanır. Rezervuarlar üzerinde geçirimsiz örtü kaya vardır. Isı yerkabuğunun kırık ve çatlakları boyunca dolaşan sularla yeryüzüne ulaştırıldığında hidrotermal sistemler söz konusudur.

### Jeotermal Olanaklar

Bu bölümde, jeotermal alan oluşmasını sağlayan başlıca dört ana öğe irdelenecektir. Bu öğelerin birlikteliği jeotermal alanın oluşmasında gereklidir. Herhangi birimin eksikliği sistemin tamamlanmasını engellemektedir.

### Jeotermal Enerji Oluşumunu Sağlayan Faktörler

(Hidrotermal sistemli)



Bu faktörlerin bulunup bulunmadığını belirlemek için uzaktan algılama, jeoloji, jeomorfoloji çalışmalarının yanında hidrojeoloji,

jeofizik ve jeokimya çalışmaları da çok önemlidir. Faktörleri ayrı ayrı incelemeyen önce, jeotermal enerji aramalarında kullanılan bu

çalışmaların ilgi alanındaki uygulamaları değerlendirilecektir.

### Yeraltı Suları

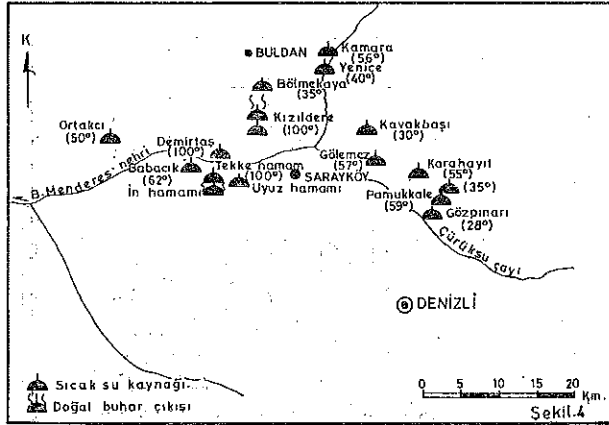
Büyük Menderes nehri, Çürüksu çayı ve Buldan çayının bulunduğu geniş alüvyon ovasında bol yeraltısuyu vardır. Bu ovalara kavuşan dere yataklarında ve ovalara açılan alüvyon yelpazelerinde de serbest yeraltısuyu bulunmaktadır. Sıcaksu kaynaklarının kimyasal içerğindeki birleticiler yeraltısuyunun kalitesini bozmaktadır.

### Kaynaklar

Harita alanında çok sayıda soğuksu, sıcaksu ve madensuyu kaynakları vardır.

**Soğuksu kaynakları** — Kuvarsit ve gnayslardan alınan soğuk sular, içme suyu kullanımı için ovalardaki yerleşim merkezlerine taşınmışlardır. Soğuksu kaynaklarından derlenen numunelerin analizi, Ca, Mg, ve SO<sub>4</sub> değerlerinin diğer iyonlardan daha yüksek B, NH<sub>4</sub>, SiO<sub>2</sub> iyonlarının ise düşük olduğunu göstermiştir.

**Sıcaksu ve doğal buhar çıkışları** — Sıcaklıkları 100°C ile 36°C arasında değişen 10 kadar sıcaksu sahası bulunmaktadır (Şekil 4). İnceleme alanı, sıcaksu kaynak yoğunluğu fazla alanlardandır. Sıcaksular bölgesel kırık hatlarını takiben genellikle doğu-batı büyük atımlı faylardan veya bu faylarla diğer yönlü fayların kesim noktalarından yüzeye ulaşmaktadır. Fayların vadileri kestiği yerde sıcaksu, sırt ve tepelerde ise doğal buhar çıkışları görülmektedir. Önemli doğal buhar çıkışları Kızıldere ve Tekkehamam'dır.



## JEOFİZİK ÖLÇÜMLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Yeraltı jeolojisinin yorumlanmasında, örtükaya kalınlığının, rezervuar yayılımının ve yapının çıkarılmasında, jeotermal enerji ara-malarıyla ilgili olarak jeofizik (gravite, rezistivite, sismik, gradyan) çalışmaları yapılmıştır.

### Gravite Ölçümleri

İlk jeotermal enerji araştırmalarının yoğunlaştığı ve 1500 km<sup>2</sup> lik Kızıldere-Tekkehamam-Pamukkale alanında jeofizik gravite ölçümleri yapılmıştır (TEZCAN, 1967, EKİNGEN 1970). Bu çalışma ile yapılan Bouguer haritasında bölgenin genel tektoniği Büyük Menderes ve Gediz grabenleri ve Buldan horstu gibi graben ve horst alanları kabaca belirlenmiştir. Bu haritada Buldan horstunun doğuya, ovaya doğru alçaldığı belirgin olarak görülmektedir. Gravite eğrilerinin doğu-batı uzanımı sıkışma yerleri, horstlardan grabenlere doğru gelişen basamak faylara koşut olduğu belirlenmiştir.

### Rezistivite Ölçümleri

Kızıldere ve Tekkehamam dolayında yapılan ilk rezistivite ölçümleriyle (TEZCAN, 1967) 70 m, 150 m, 300 m, 500 m, 900 m. derin rezistivite haritaları ve kesitleri ile taban haritası yapılmıştır. 5 ohm/m dolayındaki alanlar sondaj için ilk göz önüne alınan kesimleri oluşturmuştur. Rezistivite eğrilerinin sıklaştığı kesimlerde saptanan faylar, diğer haritalardakilerle küçük uyumluluk göstermiştir.

Sarayköy-Buldan-Pamukkale'ye içeren rezistivite çalışmasında (TURGAY, ÖZGÜLER, ŞAHİN, 1980) Gediz grabeni ve Büyük Menderes grabeni sınırları, örtükaya kalınlığı ve olası jeotermal alan sınırları verilmektedir. Ancak rezervuar derinliği ve jeotermal alan sınırları konusunda, Pliosen çökellerinin kalınlığı ve bazı kesimlerde killi olması nedeniyle kuşkuya düşülmektedir.

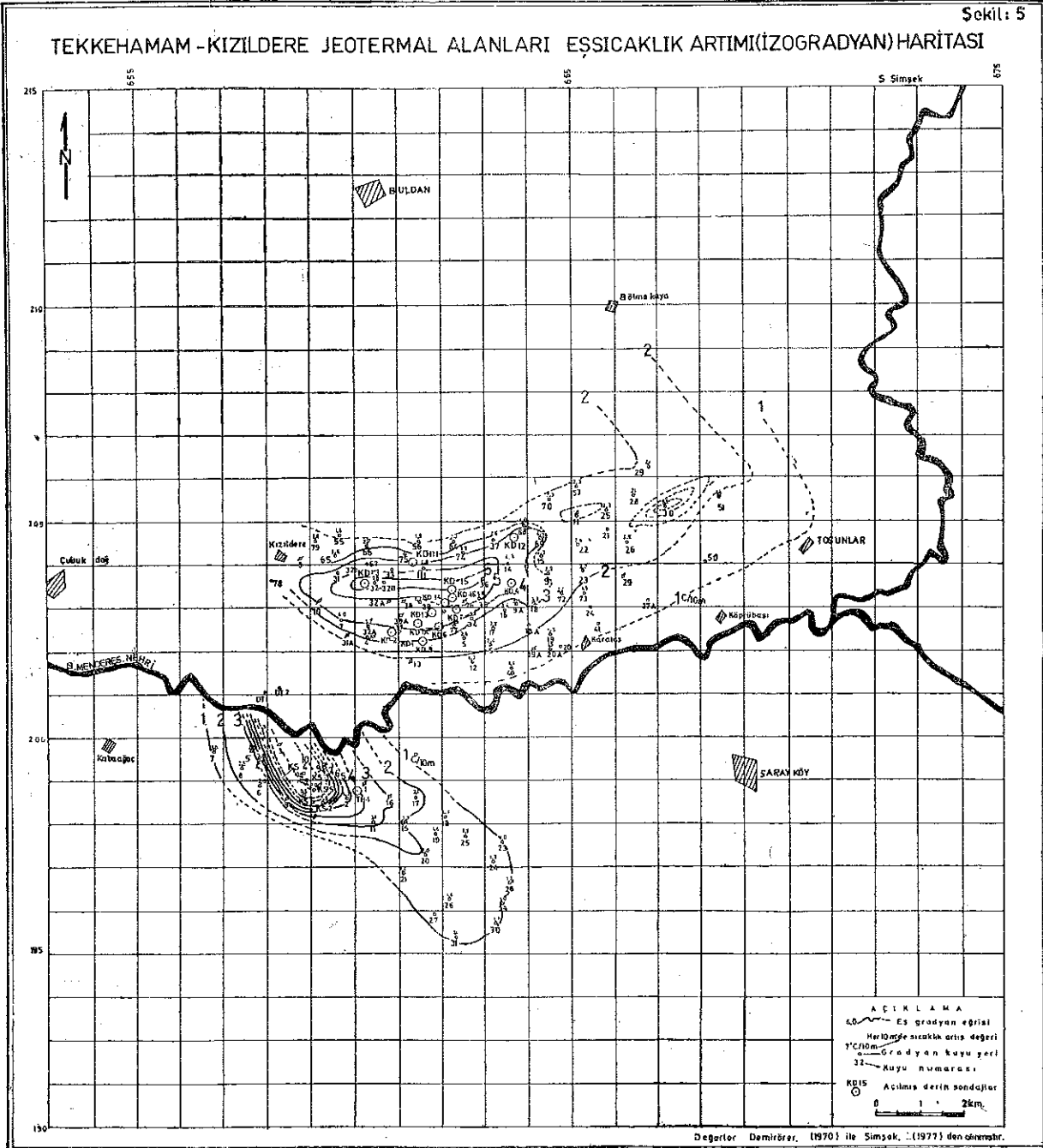
### Gradyan ölçümleri

Kızıldere ve Tekkehamam jeotermal alan anomalilerinde daha sağlıklı sonuç alabilmek

için örtükaya içinde derinlikleri 80-150 m. arasında değişen 130 gradyan sondajı yapılmıştır. Bunların 100 kadarı Kızıldere, 30 kadarı ise Tekkehamam alanında yapılmıştır (DEMİRÖREN, 1967 ve ŞİMŞEK, 1977). Gradyan değeri her 10 metrede artan yer sıcaklığı olarak alınmıştır. Yapılan ölçüler  $1^{\circ}\text{C}/10\text{ m}$  ile  $10^{\circ}\text{C}/10\text{m}$  arasında değişmiştir.

Kızıldere ve Tekkehamam alanlarında gradyan sondajlarındaki 100 m. derinlikler

için eş sıcaklık eğrileri çizilmiştir. Bu değerlere göre saptanan anomaliler eş gradyan anomalileri ile üstelenmektedir (Şekil 5). Bu anomalî değerleri Kızıldere'de 100 m. de  $92^{\circ}\text{C}$  ye, Tekkehamam'da  $110^{\circ}\text{C}$  a kadar çıkmaktadır. En düşük değerler ise  $30^{\circ}\text{C}$  dolayında bulunmuştur. Gradyan anomalileri derin sondaj yerleri ve jeotermal potansiyelin belirlenmesinde önemlidir. Kızıldere'de yeterli olmayan sismik çalışma vardır.



Şekil 5.



## JEOKİMYA ÇALIŞMALARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Jeotermal alanların haznekaya sıcaklıklarının saptanmasında, işletme aşamasında doğacak kimyasal sorunların çözümünde ve jeotermal potansiyelin bulunmasında jeokimya analizleri gerekli olmuştur. Bunun için sahadaki sıcak suların, soğuksuların, gazların ve hidrotermal alterasyonların ve hidrotermal çöktürlerin analizleri, yapılmıştır.

Kızıldere alanındaki kuyulardan alınan kondanse su analizlerine göre hazırlanan eşbor, amonyum, flor, kalsiyum, magnezyum ve sülfat eğrileri, çok önemli sonuçlar ortaya koymuştur.

### *Eşbor, amonyum, flor eğrileri.*

Eş sıcaklık eğrilerine benzer şekilde eşbor eğrileri de bölgedeki doğu-batı uzanımlı etkin tektonik doğrultuya paraleldir. Kızıldere fayından başlayarak 30 ppm olan bor konsantrasyonu güneye doğru KD-13 te 26.0 ppm, KD-6 da 25 ppm ve KD-9 da 13.3 ppm'e düşer. Bu da haznedeki jeotermal akışkanın çok az ( $B > 1$  ppm) bor konsantrasyonu olan soğuksu tarafından seyreltilmiş olduğunu gösterir. Benzer durum amonyum ve flor değerlerinde de gözlenmektedir.

### *Kalsiyum, magnezyum ve sülfat değerleri*

Bölgedeki soğuk suların bir karakteristiği olarak kalsiyum ( $Ca^{++}$ ), magnezyum ( $Mg^{++}$ ) ve Sülfat ( $SO_4$ ) değerleri sıcak sulara oranla yüksektir. Bu durum sondajlardan elde edilen jeotermal suya uygulandığında güneydeki kuyularda yüksek, kuzeydeki kuyularda ise düşüktür.

### *Jeotermometreler*

Jeotermal sistemlerde hazne sıcaklığının bilinmesi sistemin enerji kapasitesinin bulunmasında önemli bir etkidir. Yüzeide mostra veren suların kimyasal analiz sonuçları hazne sıcaklığının hesaplanması amacıyla bilinen jeotermometrelerden 4'ü, inceleme alanında kullanılmıştır. Bunlar Na-K, Na-K-Ca,  $SiO_2$  ve karışım modelleridir.

Diyagram, çizelge ve jeotermometre sonuçları aşağıda özetlenmiştir.

1 — Birinci ve ikinci haznedeki jeotermal akışkan, birbiriyle faylar yardımıyla ilişkilidir.

2 — Aynı haznekaya içinde soğuksu karışım yönüne göre akışkanın kimyasal bileşimi değişmekte ve soğuk su ile B, Na, K,  $NH_4$ ,  $HCO_3$ ,  $SiO_2$ , Cl yönünden seyreltilmektedir. Buna karşılık Ca, Mg bakımından ise zenginleşmektedir. Bu durum ikinci haznekayaya inen KD-15 ten güneye doğru sırasıyla, KD-16, KD-14, KD-13, KD-6 ve KD-9 da belirgin bir şekilde izlenmektedir.

3 — Jeotermometrelerden  $SiO_2$  ve Na-K-Ca metoduna göre, sahada olası 3. bir haznekaya varlığı düşünülmelidir. Bu haznekayada beklenen sıcaklık 250-260° C dolayındadır.

4 — Sondaj suyunda ve jeotermal akışkandan ayrılan buharın analizinde B,  $NH_4$ ,  $CO_2$  nin yüksekliğinin, başlıca derinlerden taşınan magmatik emanasyonlardan ileri geldiği anlaşılmıştır.

Haznekayadaki jeotermal akışkanın % 99 dan fazlasının meteorik kökenli, % 1 den az kısmının ise derinlere inen kırıklar yardımıyla magmatik emanasyonlar olduğu sanılmaktadır.

## DERİN SONDAJ KUYULARI SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Bugüne kadar inceleme alanı içinde Kızıldere jeotermal alanında 16, Tekkahmam jeotermal alanında 1 derin sondaj yapılmıştır. İlk sondaj mayıs 1968 de açılan KD-1 kuyusu olmuştur. Kuyu derinliği 540 m. kuyu dibindeki sıcaklığı 198° C bulunmuştur. Bu kuyu birinci haznekaya olan Sazak formasyonundaki kireçtaşlarından üretim yapmaktadır. Daha sonra yine 1. haznekayaya inen KD-2, KD-1A, KD-3 ve KD-4 kuyuları açılmıştır (UYSALLI, KESKİN 1970).

Sahadaki üretim yapılan ve yapılmayan sondajlar arasındaki karşılaştırmada deniz seviyesine göre belli bir kotun üzerinde, birinci veya ikinci haznekaya indirilse bile üre-

tim yapamamaktadır. En fazla jeotermal akışkan getiren Kızıldere fayının beslediği rezervuardan üretim yapan kuyular en yüksek kuyubaşı basıncı göstermektedir. Bu bölümde halen üretim yapan en yüksek kottaki kuyu 211 m. KD-15). Saha içindeki çeşitli bloklarda basınç durumunun farklı olmasına rağmen yaklaşık 300 m. kotunun üzerinde sondaj yapılmaması gereklidir. Statik su seviyesi bu seviye dolayındadır. II. haznekayaya ulaşan KD-111 (kotu 456 m), KD-3 (kotu 35 m.) kuyularından devamlı üretim yapılmamaktadır. Statik su seviyesi en yüksek 280 m. dir.

### JEOTERMAL ENERJİ OLUŞUMUNU SAĞLAYAN FAKTÖRLER

Hidrotermal sistemli jeotermal alanlarda, jeotermal enerji oluşumu, ısıtıcı, haznekaya, örtükaya ve beslenme öğelerinin bulunmasına bağlıdır. İnceleme alanında bu öğelerin varlığı önceki bölümlerin sonuçları da değerlendirilerek aşağıda tartışılacaktır.

#### Isıtıcı

Jeotermal alanlarda gerekli ısı kaynağı, ya genç bir volkanizma veya genç tektonik etkinlikle oluşabilir. İnceleme alanında genç volkanizma görülmemekle beraber kuzey batıda Gediz grabeninin kuzeyinde gelişen Kula volkanitleri çok gençtir. En son püskürme 12.000 yıl önce olmuştur (ERCAN, 1979). Büyük Menderes grabeni batı bölümünde görülen Söke volkanitleri ise yine Pliyo-Kuvaterner yaşlıdır (ŞİMŞEK vd. 1980 ve ŞİMŞEK, 1981). Her iki yerdeki volkanitlerin oluşumu rift sistemi ile yakından ilgilidir (ERCAN 1981). Yapılan ısı akışı haritasında, grabenler boyunca yüksek ısı anomalisi bulunmaktadır (TEZCAN, 1979). Isı akısının yüksekliği olasılı mağma yaklaşımı ile ilişkilidir. Bu magma yaklaşımının gelişmesi, Levant okyanus kabuğunun Anadolu plakası altında dalması sonunda Batı Anadolu'da özellikle Menderes masifi altında granit intrüzyonlarının oluşmasına bağlıdır (ŞENGÖR ve YILMAZ 1981). Meteorik sular genç graben sistemlerinin derine inen ve birbiri ile ilişkili kırıklarda dolmaktadır. Bu suların yüksek jeotermal gradyan ve grabenler

altındaki olasılı mağma yaklaşımından ve bunlardan kaçan mağmatik emanasyonlar yardımıyla ısındığı belirlenmiştir.

#### Haznekaya

Jeotermal alanlarda jeotermal akışkanın yeraltında birikebileceği gözenekli ve geçirimli kayalar gereklidir. Alanımızdaki sondajlarda yoğun genç tektonik etkiler sonunda gelişen eklem takımları çatlaklar ve faylar nedeniyle ikincil gözeneklilik ve geçirimlilik kazanan kayalardan kireçtaşı, mermer ve kuvarsite rastlanmıştır. Sahada III. haznekayayı bulmak olasıdır. Belirlenen iki haznekaya vardır.

#### 1 — Birinci Haznekaya

Pliyosen birimleri içinde Sazak formasyonu birinci haznekayayı oluşturmuştur. Ancak Sazak formasyonunun yanal fasiyes değişiklikleri haznekaya niteliğini devamlılığını kısıtlamaktadır. Birimdeki kireçtaşlarının kalınlıkları değişmekte, yanal veya düşey olarak marn ve kumtaşıma geçebilmektedir. Kızıldere jeotermal alanında yapılan sondaj verilerine göre KD-1, KD-1A, KD-2, KD-3, KD-4, KD-12, KD-8 nolu kuyular 1. haznekaya olan Pliyosen kireçtaşlarından üretim yapmışlardır. Diğer kuyularda ise (KD-6, KD-7, KD-9, KD-13, KD-14, KD-15, D-16) kireçtaşı yerine marn ve kumtaşı kesmişlerdir. Bu nedenle üretim yapılamamış ve diğer Pliyosen çökelleri ile birlikte örtü kayayı oluşturmuşlardır. Birinci haznekayada en fazla KD-1 kuyusunda 198° C elde edilmiştir. Bu hazne için ortalama sıcaklık 170° C dolayındadır. Kalınlığı 100-250 m. arasında değişmektedir.

#### 2 — İkinci haznekaya

Menderes metamorfiteinden İğdecik formasyonunun mermer-kuravsit-sist arlanması ikinci haznekayayı oluşturmaktadır. Birinci haznekayaya oranla daha fazla ikincil geçirimlilik ve gözeneklilik görülmektedir. Ayrıca çok geniş bir alan için devamlılıkları vardır. Daha derin olduğundan daha yüksek sıcaklık verirler. KD-16 da 212° C'a yaklaşan kuyudibi sıcaklığı alınmıştır. KD-6, KD-7, KD-9, KD-13, KD-14, KD-15, KD-16 ve KD-111 kuyuları ikin-

ci haznekayaya ulaşmıştır. Kalınlık 100-300 m. arasında değişmektedir.

### 3 — Üçüncü haznekaya olanağı

Jeotermal alanlarda birden çok haznekaya olanağı bulunabilmektedir. Bu durum örtü ve hazne kaya niteliği taşıyan litolojilerin ardalanmasına bağlıdır. Dünyada ardarda 12 haznekaya ve örtü kaya bulunan sahalar olduğu bilinmektedir. Aynı blokta yeralan en derin haznekayada en yüksek sıcaklığın bulunması doğaldır. Kızıldere jeotermal alanında ilk haznekaya bulunduktan sonra bazı bölümlerin haznekaya özelliğini kaybettiği görülünce ikincil haznekaya araştırılmış ve bulunmuştur. Birincide ortalama 170° C olan sıcaklık, ikincide 212° C ye ulaşmaktadır. Jeoloji verilere göre ikinci haznekayayı oluşturan mermerekuvarsit-sist ardalanmasının altında kalın ve geçirimsiz mikasistler yer almaktadır. Genel istife göre, mikasistler altında gnays ve kuvarsit gözlenmektedir (Şekil 2). Bu durum geçiş zonunun iyi bir haznekaya oluşturabileceğini göstermektedir. Ayrıca DSİ'nin aynı yörede baraj temel etüdlerinde çeşitli gnaysların oluşturduğu temellerde gnayslardan (özellikle kuvarsitik gnays) bir bölümün geçirimli oldukları ve su geçirimsizlik testlerinde bunların haznekaya olabilecekleri anlaşılmıştır. Daha öncede (KESKİN, 1972) böyle bir olasılıktan bahsedilmiş, ancak haznekayanın ne olabileceği konusuna açıklık getirilememiştir. Ayrıca yeterli jeotermometre verileri sağlanamamıştır.

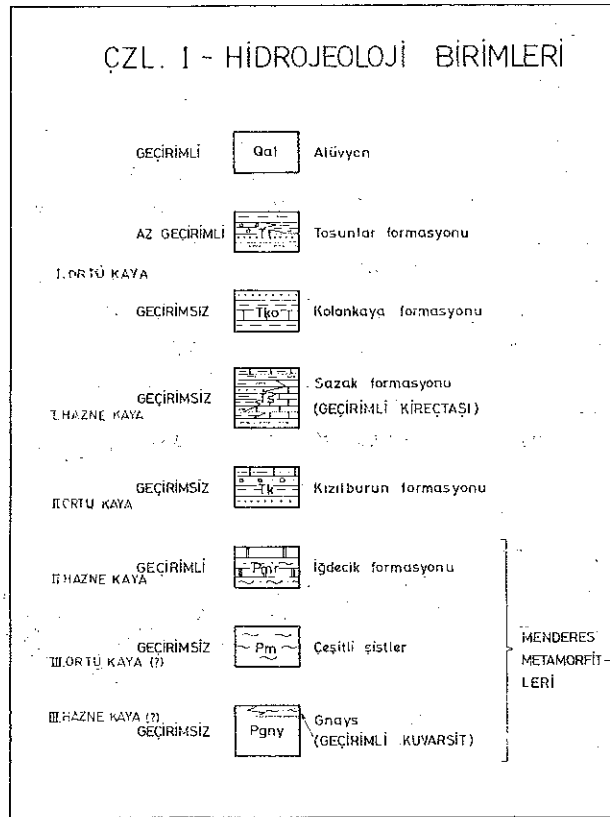
Jeotermometrelerde ise (Na-K-Ca ve SiO<sub>2</sub>) Kızıldere sahasında 250-260° C haznekaya sıcaklığı beklenmektedir.

Yukarıdaki verilere göre 3. bir haznekaya olasıdır. Bunun denenmesinde büyük yarar vardır. Özellikle kuyu verimlerinin, buhar sıcaklığının ve oranının artmasının sağlanması ve kabuklaşma, atıksu sorununa çözüm getirebilmesi açısından çok önemlidir.

### Örtükaya

Jeotermal akışkanı haznekayada tutan ve ısı kaybını önleyen geçirimsiz kayalar olarak

inceleme alanında Pliyosen kıltaşı, marn ve kumtaşı ardalanması görülür. Bu kayalar yoğun tektonik etkiler karşısında kırılma yerine kıvrılma göstermişlerdir. Sondajlarla iki örtükaya saptanmıştır (Çizelge 1).



### Birinci Örtükaya

Birinci haznekayanın yer aldığı Sazak formasyonu üzerinde görülen Kolankaya formasyonu ve Tosunlar formasyonunun kıltaşı, marn, kumtaşı ardalanması 1. haznekaya için çok iyi bir örtüdür. Kolankaya formasyonunda, eklem veya diğer süreksizlik düzlemlerinin, birimin geçirgenliğine etkisi yok denecek kadar azdır. Geçirimsizliğini belirleyen çok ince dokuda Dentritik drenaj örneği bu birim için ayırtmandır. Bu örtü içinde yapılan gradyan ölçüleri de haznekayanın yerinin saptanmasına ışık tutmuştur. Birinci örtü kayanın kalınlığı 350-600 m. arasında değişmektedir.

### İkinci Örtükaya

Birinci haznekaya altında yeralan Kızılburun formasyonunun sıkı tutturulmuş çakıltası, kumtaşı, kıltaşı ardalanması çok uygun ör-

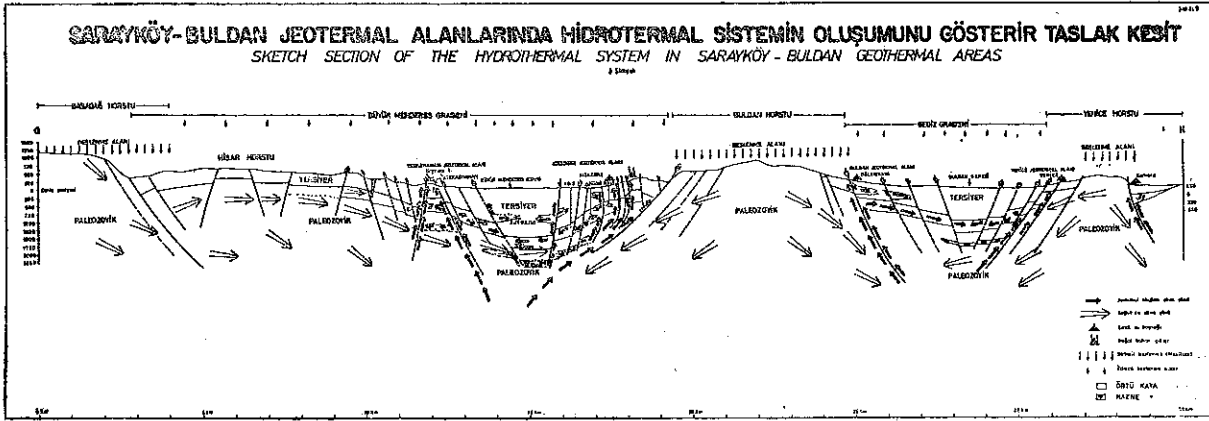
tükaya oluşturmuştur. Ölçülen stratigrafi ke-  
kitlerinde birimin çeşitli yerlerdeki özellikleri  
gözönüne alındığında inceleme alanının tü-  
münde bu birimin ideal örtü kaya olduğu be-  
lirlenmiştir. Kalınlığı 100-250 m. arasında de-  
ğişmektedir.

### Beslenme

Jeotermal alanın potansiyeli, alanın su  
bütünlmesiyle doğru orantılıdır. Bunun için  
beslenme yolları, yerleri ve kökeninin iyi be-  
lirlenmesi gerekmektedir. Hidrojeolojik verile-  
re göre, jeotermal alanın su bölümü çizgisi be-  
lirlenmesi gereklidir. İnceleme alanındaki  
hazne kayaların horstlar ve grabenlerdeki  
litolojilerin geçirirliği ile ilgilidir. Bu beslen-

me çoğun bu alana düşen meteorik suları,  
havzaya gelen yerüstü ve yeraltı sularının top-  
lamıdır. Yapılan sıcağı ve buhar analizleri-  
ne göre suyun kimyasal bileşiminde  $Co_2$ ,  $H_2$ ,  
 $S_2$ , B,  $NH_4$  ve Na bulunması çok az  $< \% 1$ ) ju-  
venil su katkısını belirlemektedir.

İnceleme alanındaki hazne kayaların baş-  
lıca, ana faylardan beslendiği bu çalışma ile  
saptanmıştır. Buna göre, derinlerden ısınarak  
graben kenarlarındaki ana faylar boyunca  
yükselen jeotermal akışkan hazne kayalara  
gelmekte, buradan graben ortasına doğru ha-  
reket etmekte ve gittikçe artan oranda soğuk-  
su ile karışmaktadır. Bunu belirleyen deliller  
kısaca aşağıda açıklanmıştır (Ş. 6).



Şekil 6.

### Eş Sıcaklık Haritası

Kızıldere fayından başlamak üzere yapı-  
lan sondajlardaki kuyu dibi sıcaklıklarından  
elde edilen eş-sıcaklık eğrilerine göre, olası en  
yüksek sıcaklık eğrisi  $215^{\circ}C$  ana faya en ya-  
kındır. KD-14 (210.4), KD-16 (211.7), KD-15  
(209.4) aynı gidiş üzerindedir. Güneye doğru  
kuyu dibi sıcaklıkları düşmekte en güneyde  
ise KD-9  $170^{\circ}C$  olmaktadır.

### Eş basınç eğrileri

Kızıldere fayından başlamak üzere görü-  
len yüksek kuyubaşı basınçlarında güneye  
doğru azalma gözlenmektedir. Beslenme geli-  
ş yolu olan kuzey kesimde gaz basıncı da gü-  
neydeki diğer kuyulara oranla yüksektir.  
Eğriler birbirine ve Kızıldere fayına paralel-  
dir. Statik kuyu başı basınçları KD-14 te 21.0,

KD-13 de 7.0 ve KD-6 da 7.0 ve KD-9 da 6.5  
 $kg/cm^2$  dir.

### Kuyu verimleri

Bugüne kadar açılmış üretim kuyularındaki  
verim karşılaştırmasına göre, yine kuzeydeki  
üretim kuyuları güneye nazaran yüksek ve-  
rimlidirler.

Jeotermal haznelerin beslenmesi çok faz-  
ladır. Tüm üretim kuyuları açıldığında bir yıl  
süreyle yaklaşık 5.000.000 ton üretim yapılmış,  
kuyu veriminde, kuyu dibi sıcaklığında ve ba-  
sıncında hiç bir değişiklik gözlenmemiştir.

### JEOTERMAL ALANLARIN POTANSİYELİ

Jeotermal enerji sahalarının potansiyeli-  
nin bulunmasında kullanılan bazı yöntemler

vardır. Bunlardan doğruya en yakın sonuç vereni «analoji» yönetimidir. Buna göre herhangi bir jeotermal alanda jeoloji, feofizik ve jeokimya çalışmaları tamamlandığında, elde potansiyel tahmininde kullanılabilecek veriler olarak, jeolojik saha sınırları, düşük rezistiviteli alan sınırı, eşgradyan anomalileri, yaklaşık derinlik ve yeraltı sıcaklığı belirlenmektedir. Yapılan bir veya birkaç sondaj sonunda kuyu verimleri de biliniyorsa daha kolay sonuca gidilmektedir. Önce, alandaki 1 km<sup>2</sup> deki beklenen potansiyel bulunmakta, daha sonra benzer sahalarda tahminler geliştirilmektedir.

Kızıldere'nin ilk geliştirilen jeotermal alan olması ve diğer alanlara model olarak benzerliği nedeniyle bölgenin jeotermal enerji potansiyelinin hesaplanmasında baz olarak kullanılmıştır.

Kızıldere'de bir kuyudan ortalama 300 m<sup>3</sup>/saat buhar ve sıcaksu üretimi yapılmaktadır. Suyun ikili buharlaştırılmalı sistemde, ortalama 40 tonu buhardır. Her 10 ton/saat lik buhar üretiminde yaklaşık 1 Mwe elde edilmektedir. Artan suyun ise yaklaşık 20 termal Mwj gücü olacaktır. Bu güç, gradyanı 4° C/10 m. ve rezistivitesi 5-10 ohm-m gibi düşük değerler dolayında olan alanlar için geçerlidir.

Bu nitelikteki bir sahada üretim kuyuları arasında, girişim yapmayacağı düşünülen kuyu aralığı 150-260 m. olarak seçilebilecektir. Buna göre 1 km<sup>2</sup> de yaklaşık 25-30 kuyu açılacağından elde edilebilecek elektrik gücü 100 Mwe, termal güç ise 600 Mwt alınabilir. Buna göre, Kızıldere sahasında 5 km<sup>2</sup> lik alanda beklenen potansiyel 500 Mwe görülmektedir. Tekkehamamda elektrik üretimine elverişli alan 2,5 km<sup>2</sup> lik bölümdedir. 2,5 X 100 = 250 Mwe değeri gösterir. Buldan'da 5 km<sup>2</sup> (5X100 = 500 Mwe) ve Yenice'de 6 km<sup>2</sup> (6X100 = 600 Mwe) potansiyel beklenebilir.

Verilere göre beklenen termal potansiyel Kızıldere de 6000 Mwt, Tekkehamamda 2000 Mwt, Buldan'da 300 Mwt ve Yenice jeotermal alanında 3600 Mwt olasıdır.

Alandaki haznelerde birikmiş ısıyı bulmak için, rezistivitesi 10 ohm-m ve daha az değerli bölümlerde, ortalama 300 m. kalınlıktaki haz-

nekayada yer alan toplam akışkan miktarlarının bulunması gerekir Kızıldere'de iki belirgin zon vardır. Bunlardan 4° C/10 m. den yukarı gradyanı bulunan 7 km<sup>2</sup> lik alan I. zon olarak alınabilir. Bu zonda 200° C dolayında sıcaklık ölçülmüş, % 15 gözeneklilik (efektif pozite) varsayılmıştır. II. zon, ortalama 150° C dolayında sıcaklıklı, % 10 poroziteli ve 4-2° C/10 m. gradyanlı olan alanlardadır. Bu hesaplamalarda birinci haznekaya ihmal edilmiştir.

Buna göre, I. zonda 315X10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>

II. zonda 600X10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> ve

Toplam : 915X10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> bulunur.

Kızıldere'de 20 Mw lik santral için yıllık üretim ise 1600 ton/saat X24X360: 13, 8X10<sup>6</sup> tondur.

Bu üretim haznelerdeki jeotermal akışkanın % 1,5 inin kullanılması demektir.

Jeotermal enerji üretim alanları, bölgedeki en düşük topografik yüksekliklerde yer almaktadır. Bu durumda, haznekayalar yüksek hidrostatik basınç altındadır. Üretim kuyularındaki yüksek kuyubaşı basınçları da bunu doğrulamaktadır.

Tüm yağışın yaklaşık % 20 sinin derine süzülmesi düşünülürse derin haznelerin beslenmesi aşağıdaki şekilde çıkarılabilir.

Toplam birincil beslenme alanları

$$50 + 250 + 150 = 450 \text{ km}^2 = 450 \times 10^6 \text{ m}^2$$

Yıllık toplam yağış Sarayköy Meteoroloji İstasyonu'na göre, ortalama yağış 431 mm dir. Ancak birincil beslenme alanları 600-2000 m. yükseklikte daha fazla yağış aldığından, ortalama 900 mm. alınabilir.

$$\text{Yıllık beslenme: } 450 \times 0,900 \times 0,20 = 81 \times 10^6 \text{ m}^3.$$

Bu hesaplamada, Büyük Menderes nehri vadisindeki alüvyonlar ve graben içinde yer alan geçirimsiz Pliyosen birimlerini kateden fay zonları da beslenmeye katkıda bulunacaktır.

Yaklaşık 1500 km<sup>2</sup> lik bir alan için süzülme oranının % 10 olacağı varsayılırsa beslenme,

$1500 \times 10^6 \times 0,431 \times 0,10 = 64,5 \times 10^6 \text{ m}^3$  olacaktır.

Yukarıda verilere göre toplam beslenme en az,

Toplam :  $145,5 \times 10^6 \text{ m}^3$  yıl'dır.

Beslenmenin, sadece bir yerüstü akaçlamasına, yağışta ve formasyonların niteliğine bağlı olmayıp bölgedeki yoğun kırık sistemleri de gözönüne alındığında hesaplanan değerlerin çok üzerinde olabileceği anlaşılmaktadır. Bölgedeki jeotermal alanlarını su bütünlmesi yeterli olduğundan, belirlenen potansiyelin büyük bir bölümü işletilebilir. Kızıldere jeotermal alanında yıllık üretimin  $13,8 \times 10^6 \text{ m}^3$  olduğu ve haznekayada birikmiş akışkanın yılda % 1,5 inin kullanıldığı belirlendiğine göre sahada bugünkü üretimin birkaç katı daha üretim yapılabilecektir.

#### KIZILDERE JEOTERMAL ALANINDA ARTIK SU SORUNU ÇÖZÜM SEÇENEKLERİ

Kızıldere jeotermal alanında 1982 de devreye girecek 20 Mw güçlü elektrik santralından yaklaşık 1500 t/saat artık suyun Büyük Menderes nehrine verilmesi gerekecektir. Artık suda bor içeriği litrede 28 ppm'e ulaşmaktadır. Bu değerlerdeki artıksu birinci santralin işletmeye açılmasında sorun yaratmayacaktır. Çünkü, debi ve bor içeriği Büyük Menderes nehri tarafından seyreltilecek ve bölge bölge tarımına hiç bir zararı olmayacaktır. Ancak inceleme alanında geliştirilecek yeni bir saha kurulacak ikinci santralde, kullanılacak buhar + su karışımından artan jeotermal akıştan Menderes nehrindeki bor içeriğini artıracığından ve nehir suyu sulamada kullanıldığından tarıma zararlı olabilecektir.

İkinci santraldan çıkacak artık suyun çevre kirliliğini önleyici bazı seçenekler belirlenmiştir.

#### 1 — Kimyasal Arıtma

Dünyada, birçok jeotermal alandaki artık

sularda, başlıca kirletici arseniktir. Ülkemizdeki artık sularda ise başlıca kirletici bor'dur. Kızıldere'deki artık akışkanda, bor değeri ortalama litrede 28 ppm dolayındadır. Borun (B) arındırılması için çalışmalar yeni başlamış olup, laboratuvarında ve arazide deneyler sürdürülmektedir. Artık suyun reçine, talaş, amberlik, mağnezit vb. den geçirilerek arındırma denemeleri sürdürülmektedir.

#### 2 — Kanal yoluyla denize atma

Artık suyun bu yolla uzaklaştırılması da düşünülen yöntemler arasındadır. Bu konuda DSİ'den alınan bilgiye göre, kanal yapımının pahalı ve yapım süresinin çok uzun olacağı sonucuna varılmıştır.

#### 3 — Reenjeksiyon yöntemi

Dünyada su buhar karışımında su oranı fazla olan jeotermal alanlarda kirletici elementler var ise, (B, As, F, Cl vb.) ve jeotermal alan denize uzaksa, % 80 reenjeksiyon yöntemiyle artık su sorununa çözüm aranmaktadır. Bu yolla rezervuarın beslenmesi de sağlandığından, işletilen rezervuarın parametrelerinin uzun vadede bozulması önlenmiş olmaktadır.

Her sahanın niteliklerine özgü reenjeksiyon sistemi geliştirilmektedir.

#### Kızıldere Jeotermal Alanında Reenjeksiyon Olanakları

Kızıldere jeotermal alanında artıksu sorunu 1975 ten beri üzerinde çalışılan bir konudur. KD-1 kuyusunda reenjeksiyon denemesi yapılmıştır. Bu kuyu için gözlem kuyusu olarak KD-1A seçilmiştir. Her iki kuyuda 1. rezervuara kadar delinmiştir. Bu nedenle reenjeksiyon sırasında kuyubaşı basıncı çok yükselmiş ve bu rezervuarın reenjeksiyon için sınırlı bir depolama hacmi nedeniyle uygun olmadığı anlaşılmıştır. Gözlem kuyusunda basınç ve sıcaklık değişimlerinin olduğu gözlenmiştir.

Bundan sonraki denemeler için daha önce açılmış üretim kuyularından yararlanılması düşünülmelidir. İkinci hazneye inen güneydeki kuyularda (KD-9) en düşük kuyubaşı

basıncı (6.5 at.) ve kuyudibi sıcaklığı (170° C) bulunmaktadır. Kuzeydeki kuyuların (KD-13, KD-14, KD-15, KD-16) kuyubaşı basınçlarının çok yüksekliği (ortalama 20 at.) kuyu verimlerinin çok fazlalığı (KD-16, 650 ton/saat) çok sayıda fayın yer aldığı kuyular arasında, çok yüksek geçirimli zonların bulunabilmesi ve reenjeksiyonda basılacak suyun düşük sıcaklıkta, fazla miktarda olmasının gerekli olması ve haznekaya kalınlığının yanıl yönde açılmayı zorunlu kılması (250-300 m) kuyular arasındaki mesafenin reenjeksiyon için çok kısa olduğunu göstermektedir. Bu kesimde reenjeksiyon amaçlı açılacak yeni bir kuyu bile üretim kuyularını etkilemeyecek kadar uzakta (en az 500 m) olmalıdır.

Kuzeydeki üretim sahasının daha kuzeydeki birincil beslenme alanı olarak belirlenen sahanın durumu da reenjeksiyon olanakları açısından değerlendirildiğinde, bu alanda açılan kuyuların (KD-3, KD-4, KD-111 verimsiz ve hatta kuru olması (KD-12), ilk bakışta bu bölümün ilginç olduğunu göstermektedir. Ancak bu bölümdeki mevcut kuyuların üretim alanına oranla çok yüksek kotta bulunmaları (üretim alanı + 200 m, kuzeydeki alan + 450 m. kotunda) ve buraya artık suyun gönderilebilmesi çok büyük masraf gerektireceğinden, ikinci derecede deneme alanı olabilecektir. Bu alanda reenjeksiyon amaçlı yeni kuyular Kızıl dere fayı ile Gökdere fayı arasında açılabilir. Bu nedenle ilk aşamada sahanın kuzey bölümü üretim, güney bölümü reenjeksiyon deneme alanı olarak seçilmelidir.

#### KIZILDERE JEOTERMAL ALANINDA JEOTERMAL AKIŞKANIN KULLANIMI VE EKONOMİYE KATKISI

Kızıldere jeotermal alanındaki 6 adet üretim kuyusundan toplam yaklaşık 1600 ton/saat jeotermal akışkan elde edilmektedir.

İkinci rezervuarda sıcaklığı 200-212° C alındıktan sonra, içindeki buhar, ayırıcı (separatör) yardımıyla sıcaksudan ayrılır. Üretilen jeotermal akışkanın ortalama % 10'u buhar olup elektrik üretiminde kullanılacaktır. Bu amaçla Mwe kapasiteli bir santral TEK tarafından kurulmaktadır. 1982'de üretime

geçmesi beklenmektedir. Buhar içinde, kondanse edilemeyen gazlarla öncelikle karbondioksit (CO<sub>2</sub>) vardır. Bu gazdan kurubuz üretimi planlanmıştır.

Ayırıcı yardımıyla buharı alınan artık akışkan, 10° C dolayında bir sıcaklıkta ve 1450-1500 ton/saat debidedir. Bu sıcaklıkta da yine bir miktar buhar, konacak ikinci bir ayırıcı ile düşük buharlaşmalı gazlar (Freon, izobütan vb.) kullanılarak elde edilebilir. Bunun gücü 10 Mw'e kadar çıkabilir.

Artan akışkanın (100° C) kullanılacağı alan olarak ilk aşamada, başlıca sera ısıtılmalan termal gücü yaklaşık 500 dönüm sera ısıtılacaktır. Halen 300 m<sup>2</sup> sera denemeleri olumlu sonuç vermiş, 1000 dönümlük bir alan sera kurulması amacıyla Tarım ve Orman Bakanlığı tarafından istimlak edilmiştir. Artan akışkan ayrıca kurutmacılıkta, sağlık ve turistik amaçlı tesislerin kurulmasında, kimyasal eçirigi nedeniyle iplik ağartmacılığında, nadır element elde edilmesinde ve sulama suyu olarak kullanılabilir. Ekonomimize katkısı tüm kullanımlar gözönüne alındığında 30 Milyar TL.ni bulacaktır. Sahanın gerçek potansiyelinin kullanılması halinde ise değerler 10 misline kadar artabilecektir.

Böylece jeotermal enerjinin en verimli kullanımları için entegre tesislerin kurulması halinde, bilinen enerji kaynakları içerisinde en ucuz enerji kaynağı olduğu kolayca görülmektedir.

#### SONUÇLAR

Yapılan jeoloji harita alımı, kesit ölçümleri, petrografi, paleontoloji çalışmaları ve jeotermal enerji amaçlı jeofizik, jeokimya, derin sondaj çalışmalarının birlikte değerlendirilmesiyle aşağıda belirlenen önemli sonuçlar elde edilmiştir.

1 — Menderes metamorfikleri ve Pli-yosen çökelleri birimlere ayrılarak İğdek, Kızılburun, Sazak, Kolankaya ve Tosunlar formasyonları ayrı haritalanmış ve yazar tarafından adlanmıştır.

2 — Mineral parajenezleri saptanarak Menderes metamorfizmasının inceleme alanı içindeki metamorfizmasının Yeşil şist ve kısmen Almandin-Amfibolit fasiyeslerinde olduğu öğrenilmiştir.

3 — Stratigrafi kesitleri ölçülerek (6 adet) birimlerin kalınlıkları, litoloji aralanmaları değişimleri açıklanarak Kızılburun ve Kolankaya formasyonunun tüm alanlarda devamlı, Sazak ve Tosunlar formasyonunun ise yerel olarak örtükaya olabileceği saptanmıştır.

4 — Gelişen çok sayıda eklem ve kırık sisteminin, bölgede Pliyosen yaşlı Sazak formasyonu kireçtaşları ve Paleozoyik İğdecik formasyonu mermer-kuvarsit şistlerinde ikincil gözenek ve geçirimsizliği oluşturması, bu kayaların haznekaya olmasını sağlamıştır.

5 — Eklemlerin elektronik hesaplayıcıyla istatistiksel ve fayların stereografik metodla değerlendirilmesiyle bölgeye etkmiş streslerin gerileme kuvvetleri ve gelişen eklemlerinde kesme çatlakları olduğu belirlenmiştir.

6 — Bölgede en büyük atımlı ve en genç faylar doğu-batı (Büyük Menderes) ve batı kuzeybatı-doğu güneydoğu (Gediz) doğrultulu graben faylarıdır. Graben içinde devrik örtü kıvrımları ve ters faylarda gelişmiştir. Oluşumlarının, graben faylarının eğiminin düşüklüğüne ve büyük atımına grabendeki daralmaya, plastik Pliyosen çökellerine bağlı oldukları anlaşılmıştır.

7 — Jeotermal alan oluşmasında, grabenlerdeki fay atımlarının, yüzey genişlemesi oranlarının büyüklüğü özellikle alanın beslenmesi ve jeotermal akışkanın hareketini sağlaması açısından önemli olduğu anlaşılmıştır.

8 — Soğuk ve sıcak su analizlerinden yararlanılarak jeotermometreler yardımıyla, beklenen hazne sıcaklıkları yaklaşık olarak kızıldere 259° C, Tekkehamamda 239° C ve Yenivede 200° C dolayında olabileceği bulunmuştur.

9 — Jeolojik ve jeokimyasal veriler Kızıldere sahasında gnayslar üzerindeki kuvarsitlerin daha yüksek sıcaklıklı (250-260° C) üçüncü bir haznekayayı oluşturabileceğini göstermektedir.

10 — Sondajlardan alınan suların analizleri yapılarak Kızıldere jeotermal alanında II. rezervuarda jeotermal akışkanın hareket yönünün Kızıldere fay zonuundan güneye doğru olduğu sonucuna varılmıştır.

11 — Gradyan sondaj verilerinden yararlanarak Kızıldere ve Tekkehamam jeotermal alanında önemli jeotermal gradyan bulunan kesimler belirlenmiştir.

12 — Bir taslak kesit hazırlanarak jeotermal akışkan dolaşımı gösterilmiştir. Haznekayaların en önemli beslenme yolunun grabenlerin büyük atımlı ana fayları boyunca olduğu anlaşılmıştır. Beslenme alanlarının genişliği, ortalama yağış ve süzülme oranından hareketle jeotermal rezervuarların muhtemel su tünelmesinin toplam  $145.6 \times 10^6$  m<sup>3</sup> yıl olabileceği hesaplanmıştır. Ancak jeotermal haznelerin beslenmesinin sadece su bölümü içinde kalan bir yerüstü beslenmesine bağlı olmayıp bölgedeki yoğun kırık sistemleriyle ilgili ve hesaplanan değerlerin çok üzerinde olabileceği anlaşılmıştır.

13 — Kızıldere'de mevcut kuyuların üretimi  $13,8 \times 10^6$  m<sup>3</sup> yıl olduğu ve haznekayada birikmiş akışkanın yılda % 1,5'inin kullanıldığı belirlenmiştir. Sahada bugünkü üretimin birkaç katı daha üretim yapılabilecektir.

14 — Kızıldere jeotermal alanının geliştirilmesi sırasında seçilecek sondaj yerlerinin yüksek sıcaklıklı, verimli kuyubaşı basınçlı ve sığ örtükaya bulunan kuzey kesimde olmalıdır.

15 — Kızıldere'deki araştırma kuyularındaki statik su seviyelerine göre en yüksek 300 kotuna kadar sondaj verilebilecektir. Bu nedenle fazla sayıda üretim



kuyusu açılabilmesi için üretim alanındaki vadilerden eğik sondaj yapılması gereklidir.

16 — Jeoloji haritası üzerine jeofizik elektrik, gravite ve gradyan eğrileri çizilerek bir anomali haritası elde edilerek, jeotermal alanlar sınırları ve olasılı potansiyelle belirlenmiştir. Buna göre Kızıldere jeotermal alanı dışında Tekkehamam, Buldan ve Yenice alanlarının da jeotermal enerji olanakları açısından önemli oldukları anlaşılmıştır. Muhtemel potansiyelin Kızıldere'de 500 Mwt, Buldanda 500 Mwe, 3000 Mwt ve Yenice'de 500 Mwe ve 3600 Mwt olabileceği hesaplanmıştır.

17 — Kızıldere jeotermal alanında mevcut sorunlar ve yeni sahalara geliştirildiğinde doğabilecek çevre sorunlarının çözümü için artık suyun reenjeksiyonu, kimyasal arıtılması veya denize atılması gibi seçenekler belirlenmiştir. Kızıldere alanının reenjeksiyon olanakları irdelenmiş ve olasılı reenjeksiyon alanı olarak düşük kuyubaşı basıncı bulunan, düşük sıcaklıklı ve derin olan kuyuların bulunduğu güney bölümü önerilmiştir.

18 — Kızıldere'de mevcut jeotermal akışların kullanımı için entegre bir program belirlenmiştir. Böylece jeotermal enerjinin, entegre tesisler kurulması halinde, kullanımının diğer enerji türlerine göre çok daha ekonomik olacağı sonucuna varılmıştır.

#### YARARLANILAN KAYNAKLAR

- AKARTUNA, M. (1965) Aydın-Nazilli hattı kuzeyindeki versanların jeolojisi hakkında, MTA. Dergisi, sayı 65.
- ANGELIER, J. DUMONT, J.F., KARAMANDERESİ, İ.H. POISSON. A. ŞİMŞEK, Ş., and UYSAL, Ş., (1981) Analyses of fault mechanism and expansion of Southwestern Anatolia since the late Miocene Tectonophysics, 75-T1-T9.
- AKKÖK, R. (1979) Petrology of Gneisses and Schists in the Menderes Masif Derbent, Alaşehir, Turkey (Doktora tezi), University of LONDON.
- ALTINLI, İ.E. (1955) Denizli güneyi jeolojisi, İ.Ü. Fen Fak. Mecm., cilt xx, s. 1-2.

- ARPAT, E. - BİNGÖL, E. (1969) Ege bölgesi graben sisteminin gelişimi üzerine düşünceler, MTA dergisi no. 73.
- ARPAT, E. - ŞAROĞLU, F. (1975) Türkiye'de bazı önemli genç tektonik olaylar, TJK Bülteni, sayı 18, s. 91-101.
- BAŞARIR, E. (1976) Çine güneyindeki metamorfizmanın petrografik ve yapısal analizi (Doktora tezi), Ege Üniv. İZMİR.
- BİNGÖL, E. (1976) Batı Anadolu'nun jeotektonik evrimi, MTA Dergisi, sayı 86.
- BRINKMANN, R. (1976) Türkiye Jeolojisine giriş, Ege Üniv. Fen Fak. kitapları serisi no. 53, İZMİR.
- BORAY, A. vd. (1973) Menderes masifi güney kenarı boyunca bazı önemli sorunlar ve bunların muhtemel çözümleri, Cumhuriyetin 50. Yılı Yerbilimleri Kongresi tebliğleri, sayfa 11-12, ANKARA.
- CAN, A. (1966) Menderes masifi Buldan bölgesine ait jeolojik etüd, MTA rapor no. 5192.
- DEMİRÖRER, M. (1969) Denizli-Sarayköy gradyent etüdü, MTA Rapor, no. 4141.
- DİZER, A. (1970) Denizli bölgesinin Eosen ve Oligosen foraminiferleri, İ.Ü. Fen Fak. Mecm. seri B, Cilt XXVII, sayı 1-2, İSTANBUL.
- DORA, O. (1975) Menderes masifinde alkali feldispatların yapısal durumları ve bunların petrojenetik yorumlarında kullanılması, TJK Bült. C. 18, sayı 1.
- DUMONT, J.F., UYSAL, Ş., ŞİMŞEK, Ş., KARAMANDERESİ, İ.H. (1930) Türkiye'nin güneybatısında Üst Miyosenden günümüze kadar görülen tektonik basınç ve çekimleri, MTA bülteni, sayı 92.
- EKİNGEN, A. (1970) Kızıldere (Denizli) Sondaj alanı detay gravimetrik etüdü, MTA Rap. no. 4788.
- ERCAN, T. (1979) Batı Anadolu, Trakya ve Ege adalarında ki Senozoyik volkanizması, Jeoloji Müh. Od. Yayını, sayı 9.
- ERCAN, T. (1931) Kula yöresinin jeoloji ve volkanitlerinin petrolojisi (Doktora tezi), İ.Ü. Yer Bilimleri Fakültesi, 165 pp.
- ERENTÖZ, C. ve TERNEK, Z. (1968) Türkiye termomineral kaynakları ve jeotermik enerji etüdü, MTA Dergisi, sayı 70.
- ERİNG, S. (1955) Die morphologische Entwicklungsstadien der Küçük Menderes-marse Rewiew no. 2.
- ERİSEN, B. (1971) Denizli-Dereköy sahasının jeolojik etüdü ve jeotermik enerji imkânları, MTA Rapor no. 4665.
- EŞDER, T. and ŞİMŞEK, Ş. (1975) Geology of İzmir seferhisar Geothermal area, Western Anatolia of Turkey: Determination of reservoir by means of gradient drilling, Second United Nations Symposium on the Development and Use of Geothermal Resources, San Fransisco.
- EROSKAY, S.O. (1979) Karst araştırmaları, Mühendislik jeolojisi Bült. sayı 2.
- EVİRGEN, M. ve ATAMAN, G. (1981) Menderes masifinin merkezi bölgesinin metamorfizmasının incelenmesi izograd, basınç ve sıcaklık, Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri Dergisi, sayı 7.

- FOURNIER, R.O. (1977) The use of mixing models in the prediction of underground conditions in geothermal systems, Symposium on Geothermal Energy p. 199-210, ANKARA.
- GÖLKALP, E. (1971) Denizli vilayeti Yenice kazası Gölemezli Karahayıt kaplıcaları çevresi jeoloji etüdüleri ve jeotermal enerji imkanları, MTA Rap. no. 4571.
- IZDAR, E.K. (1975) Batı Anadolu'nun jeotektonik gelişimi ve Ege denizi çevresine ait üniteleri ile karşılaştırılması, Ege Üniv. Müh. Bil. Fak. Yay. no. 8.
- KARAMANDERESİ, İ.H. (1972) Aydın-Nazilli-Çubukdağ arası jeotermal alan olanakları hk. Jeolojik Rap. MTA Derleme Raporu no. 5224.
- KASTELLİ, M. (1971) a — Denizli-Sarayköy-Çubukdağ-Karacasu alanı jeoloji incelenmesi, MTA Rap. no. 4573.
- KASTELLİ, M. (1971) b — Denizli güneyinin jeolojisi ve jeotermal enerji imkanları MTA Rapor no. 5199.
- KAYA, O. (1979) Ortadoğu Ege çöküntüsünün (Neojen) stratigrafisi ve tektoniği, TJK Bülteni, cilt 22, sayı 1.
- KESKİN, B. (1972) Kızıldere jeotermal sahası jeokimyasal analizleri ve 3. rezervuar varlığı hakkında rapor. MTA Petrol ve Jeotermal Enerji Dairesi arşivi.
- LAHN, E. (1948) Denizli-Sarayköy-Buldan bölgesinin deprem faaliyeti Hk. not, TJK cilt 1, sayı 2.
- NEBERT, K. (1958) Denizli Pliyosen teressubatu ve bunların Batı Anadolu tatlısu Neojen stratigrafisi için ehemmiyeti, MTA Dergisi no. 51.
- ÖNGÜR, T. (1972) Denizli-Babadağ çevresine ilişkin jeolojik etüd ve jeotermik enerji olanakları, MTA Raporu no 4689.
- ÖZTUNALI (1965) Demirtepe - Çavdar, Osmaniye - Kısır (Cine masifi) Uranyum zuhurlarının petrografisi ve oluşumları, MTA Dergisi 65, s. 109-121.
- SCHULING, R.D. (1971) Active Role of Continents in Tectonic Evolution, Geothermal Models Gravity and Tectonics, Ohio-Cincinnati.
- SİPAHIOĞLU, S. (1979) Büyük Menderes alçalımı ile Menderes masifi yükselişinin sınırları oluşturan kuşağa uygulanan bir deprem öncesi çalışması, Deprem Araştırma Ens. Bül. sayı 25.
- ŞAMİLGİL, E. (1973) Jeotermal Enerji aramasının Menderes graheninde bir uygulaması, Cumh. 50. Yıl Kongresi tebliğleri, s. 257-278.
- ŞENGÖR, Ç. and YILMAZ, Y. (1981) Tethyan Evolution of Turkey: A Plate Tectonic Approach. Tectonophysics 75 (1981) 181-241.
- ŞİMŞEK, Ş. UYGUR, N. ÖZBAYRAK, T.H., DİKMEOĞLU, T., COŞKUN, S.B., ARAS, A. (1980) Germencik-Söke (Aydın) alanının jeotermal enerji olanakları, Tubitak VI. Temel Bilimler Kongresi, KUŞADASI.
- ŞİMŞEK, Ş., YILMAZER, S. (1977) Nazilli-Kuyucak-Yenice (Karacasu) alanının jeolojisi ve jeotermal enerji olanakları, MTA Rapor no. 6390.
- ŞİMŞEK, Ş. (1981a) Ömerbeyli-Germencik alanının jeolojisi ve jeotermal enerji olanakları, Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları Semineri, ANKARA.
- ŞİMŞEK, Ş., ŞAMİLGİL, E. ve AKKUŞ, M.F. (1981b) Türkiye'nin jeotermal enerji potansiyeli ve yararlanma olanakları, Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları Semineri, ANKARA.
- ŞİMŞEK, Ş. (1981c) The Denizli-Kızıldere Geothermal Field, MTA Enstitüsü Petrol ve Jeotermal Enerji Dairesi arşivi (Yayınlanmamış).
- ŞİMŞEK, Z. (1978) Tekkehamam jeotermal alanı gradyent sondajları değerlendirilmesi, MTA Rapor no. 6236.
- TAN, E. (1977) Kızıldere sahası test raporu. Petrol ve Jeotermal Enerji Dairesi arşivi (Yayınlanmamış).
- TANER, G. (1974-1975) Denizli Neojenin Paleontolojik ve Stratigrafik etüdü, MTA Dergisi, 82-83 ve 85.
- TEZCAN, A.K. (1967) Denizli-Sarayköy jeotermik enerji araştırmaları gravite ve rezistivite etüdüleri, MTA Rapor no 3896.
- TEZCAN, A.K. (1979) Geothermal Studies, Their Present Status and Contribution to Heat Flow Contouring in Turkey, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- TURGAY, T., ÖZGÜLER, M.E., ŞAHİN, H. (1980) Denizli Buldan-Pamukkale Jeotermal enerji aramaları rezistivite etüd raporu MTA Rapor no 6958.
- UYSALLI, H. (1967) Tekke-Kızıldere sıcaksu sahalarının (Denizli-Sarayköy batısı) jeolojik etüd ve jeotermik enerji imkanları, MTA Rapor no 3874.
- UYSALLI, H., KESKİN, B. (1971) Denizli-Sarayköy KD-I, KD-II, TH-1, KD-1/A, KD-III, IV, VI, IX, XII, XIII, VIII, XIV derin jeotermik sondajları bitirme raporu, MTA Rapor no 4441.