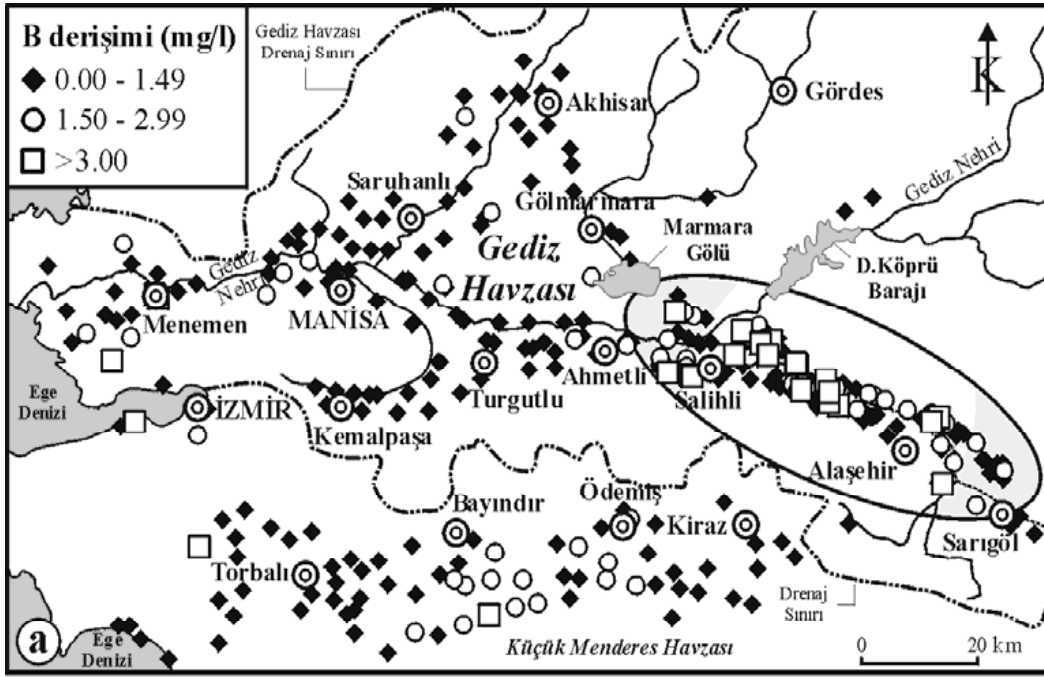


Aslında gözden kaçırılan en büyük kirlilik jeotermal akışkanın neden olduğu kirlilik ile birlikte tuzlanma riskidir. Gediz Havzası'ndaki kuyu sularının B içerikleri değerlendirildiğinde; kuzeybatıdan güneydoğuya doğru sıralanmış olan Salihli, Alaşehir ve Sarıgöl ovalarındaki yeraltısularında 3 mg/l'nin üzerinde B derişimleri elde edilmiştir. Bu ovalar Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğüne (MTA) tanımlanmış jeotermal alanlarla çakışmaktadır. Bor derişimi 20-30 mg/l'nin üzerinde olan jeotermal suların grabenin kenarlarındaki fay zonlarından yükselerek akiferdeki tatlı suyla karıştığı düşünülmektedir. Bor elementi genellikle yeraltısularında borat ( $BO_3^{-3}$ ) anyonu formunda bulunmaktadır. Borat son derece yüksek hareketliliğe sahip bir iyondur. Bor mineralleri yüksek çözünürlükleri nedeniyle zor çökeler ve bu nedenle doğada geniş bir yayılım gösterebilirler (Doğdu, M.Ş. Yiğitler, O. Görkmen, A. 2008). Gediz Havzası'nın bazı bölümlerinde de yüksek B derişimlerine rastlanmaktadır. Gediz Havzası yüksek tektonizmaya sahip horst-graben sistemi içerisinde yer almaktadır. Havzada yer alan yeraltısularındaki yüksek B derişimlerinin (Şekil 6.) ana nedenin de bu tektonizma ve termal su aktivitelerinin olduğu düşünülmektedir (Özen ve Tarcan 2005).



Şekil 6. Yer altı Sularındaki Bor Dağılımı Haritası (Doğdu vd. 2008)

Her ne kadar termal akışkanın graben sınırlarını oluşturan faylar boyunca çıktığı düşünülse de, grabendeki çökelim kayaçlarının kalınlığı (yaklaşık 1600-2000m) ve rezervuar özelliği nedeniyle bölgedeki yer altı suları tamamen termal akışkanın içeriğine bağlı olarak kirlenmektedir. Son yıllarda bölgede modern seracılığın gelişmesi (Yılmazköy ve Urganlı) ve termal akışkanın sera ısıtmasında ve kent ısıtmacılığında (Salihli) kullanılması sonucunda ortaya çıkan atık termal akışkan, yüzey sularını da kirletmeye devam etmektedir.

### 2.2.1. Manisa Yöresi Akifer Ortamları

Bu bölge İzmir kent içi içme suyu kaynaklarının önemli bir bölümünü içermektedir. Tamamen yer altı suyu deposu olarak kullanılan bu yörede, neojen yaşlı kireç taşlarının oluşturduğu akifer olarak Göksu kaynaklarının bulunduğu bölümden kente yaklaşık 2000 l/s su sağlayabilecek durumdadır. Yine Manisa sınırları içinde olup ta İzmir kent içme suyuna katkı veren önemli kaynaklardan biride Sarıkız kaynaklarıdır. Bu kaynaklar da 1500 l/s verim liliğindedirler(Kazanasmaz,E .2009).

Gediz nehri yüzey suyu olarak, geçtiği coğrafi ortamlardaki endüstriyel faaliyetler nedeniyle (Salihli,Manisa ve İzmir Organize Sanayileri) ağır metal kirlenmesine maruz kalmaktadır. Bir dönem Kuladaki deri işletmelerinin dahi gediz nehrini kirlettiği varsayıyordu. Bu tez, 2007 yılında DEÜ-DEVAK tarafından gerçekleştirilen araştırma projesi çalışmasıyla çürütülmüştür.

### 2.2.2. Menemen Ovası Akifer Ortamları

Menemen ovası alüvyon akiferi olarak İzmir içme suyuna katkı vermektedir. Elde edilen bilgilere göre 800 l/s lik bir verim yakalanmıştır. Bu alüvyon akiferi tarımsal faaliyetlerde de kullanan işletmecilerin yaptığı çekimlerle de kullanılmaktadır. Bu nedenle de aşırı çekim nedeniyle çok güçlü bir tuzlanma söz konusudur. Seyrek ve Musa köy sınırlarına kadar özellikle 40-90m arasındaki ortam tuzlanmış durumdadır. Bu tuzlanmanın kaynağı fosil deniz suyu olabileceği gibi, doğrudan denizden beslenme de olabilir. Bu konuda herhangi bir araştırmaya rastlanılmamıştır.

Sasalı-AOSB –Yaşar Spor tesisleri –Mavi şehir arasında yazarın yaptığı çalışmalarla kuyu içi jeofizik yöntemlerle 230m derinlikte 34 °C sıcaklığında termal akışkana rastlanılmıştır. Özellikle bölgede bulunan bir beton santralının sahası içinde bulunan sondaj kuyusunda yapılan ölçmelerde bu değer 36 °C olarak ölçülmüştür. Bu bilgilerden de anlaşılacağı üzere bölgede yeraltı suyu termal akışkanla kirlenmiş durumdadır. Sasalıdaki bir kuyudan alınan su numunesi ACME-Kanada laboratuvarlarında 32 element tayini analizlerinde Arsenik oranında standart değerın yaklaşık 20 katı konsantrasyon belirlenmiştir(2006).

Kuzeydeki Neojen Yaşlı Volkanikler (Yamanlar volkanikleri,Yuntdağı v.,Çukurköy, Andezitleri, Rahmanlar ve Çaltıdere bazaltları(yağışlarla veya komşu kayaçlardaki kırık ve çatlaklarla yanal akışlarla beslenirler), Arsenik kirliliğine büyük olasılıkla bu volkaniklerin de katkısı olmalıdır.

İzmirin en büyük sanayi bölgelerinden biri olan Atatürk Organize Sanayi Bölgesindeki fabrikalardan kaynaklanan sanayi atıkları kirliliği de göz önünde tutulmalıdır. Özellikle soğutma suyuna gereksinim duyan demir çelik fabrikalarının olduğu Aliağa-Horoz gediği bölgesi tamamen yeraltı suyu olarak 30-36 °C civarında jeotermal akışkan kullanılmaktadır. Bu bölgede yeraltı su seviyesini (YASS) neredeyse jeotermal akışkan oluşturmaktadır. Büyük bir olasılıkla bu jeotermal akışkan Samurlu jeotermal alanından beslenmektedir. Bu jeotermal kirlilikten Kozbeyli, Güzelhisar, Samurlu, Şehit Kemal ve Bozköy de etkilenmektedir.

### 2.2.3 Foça-Bağarası-Yenifoça Akifer Ortamları

Yunt dağı volkanikleri ile örtülü olan bu alanda açılmış bazı sondaj kuyularında 32 °C civarında sıcaklığa sahip jeotermal akışkanın varlığı tesbit edilmiştir. Bu bölgedeki akiferler tamamen meteorik suların çatlak ve kırık sistemleriyle dolaşımı sonucu yayıldığı varsayılırsa

ortamın jeotermal akışkanla kirlendiği ortaya çıkar. Bu alan İzmir kent içine değil ama yöredeki Bağarası-Foça-Yenifoça gibi yerleşim yerlerinin içme sularını sağladığından, bu alandaki sularında tam bir izlemeye tutulması gereği ortaya çıkmaktadır.

### 2.3 Küçük Menderes Akifer Ortamları

Yerkabuğunun yaygın elementlerinden olan bor insan, hayvan ve bitki için önemli bir elementtir. Yeterli görülen derişim aralığının üstündeki değerlerde ise bor zehir etkisi göstermektedir. Bor, insan ve hayvan dokularında düşük konsantrasyonda bulunur. Hayvan hücresinde bulunan miktarı yaklaşık 1 mg B/L kadardır. İçme suyu 1 mg B/L den fazla bor miktarını nadiren içerir ve genelde 0,1 mg B/L den az bor bulundurur. Küçük Menderes Havzası boyunca ise Fetrek Çayı Torbalı çıkışında Fetrek Çayı Memba KGI'sine göre belirgin bir kirlilik belirlenmiştir. Bunun da sebebi borun kullanıldığı sanayi kuruluşlarının atıklarıdır (Demirbaş,P., Orhun,Ö. 2008). Demirbaş ve arkadaşlarının Bakırçay, Gediz ve Küçük Menderes havzalarına ait elde etmiş oldukları bor kirlenmesine ait tablolar ilgili yayında geniş bir şekilde bulunmaktadır.



Şekil 7. Küçük Menderes Akifer Ortamı-Kıyı Kesimi(google Earth)

#### 2.3.1. Bölüm: Kıyı Kesimi

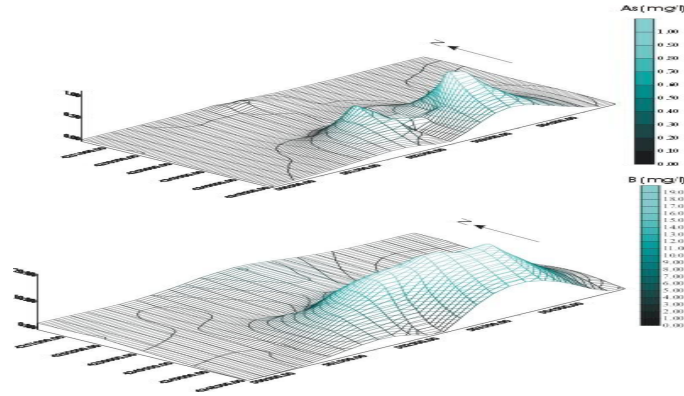
Çeşme-Karaburun-Urla-Seferihisar alanlarını içine alan, jeotermal çıkışların olduğu bölgedir. Özellikle Çeşme Ilıca kent ısıtımında, balneolojik kullanımlarda jeotermal akışkandan yararlanmaktadır(Şekil.4). Şifne civarındaki jeotermal akışkan çıkışları, Ildırındaki mesozoik kireç taşları ile volkaniklerin dokanakları, jeotermal rezervuar olma özelliğini taşıdığı düşünülmeli ve bu yönde jeolojik-jeofizik-jeokimyasal araştırmalar yapılmalıdır.

İzmir Jeotermal A.Ş. nin Seferihisar bölgesi jeotermal alanda aldığı ruhsatlarla bu bölgede jeotermal akışkandan elektrik enerjisi üretimi için 7 yeni kuyu açması, bölgenin önemini gösteren en önemli işarettir. Bölgedeki Cumalı ve Karakoç kaplıcaları doğal çıkışı

jeotermal akışkanı kullanmaktadırlar. Doğanbey termal çıkışları ise yüzlerce yıldır doğal çıkışla akarak yakındaki dere ile denize kadar ulaşmaktadır. Son yıllarda elektrik enerjisi üretimi için açılan kuyulardan çıkacak termal akışkanın da büyük bir yüzdesi dere yatağına verilecektir.

İzmir içindeki Balçova jeotermal alanından elde edilen sıcak akışkan, termal turizm dışında, kent ısıtıcılığında ve sera ısıtıcılığında da kullanılmaktadır. Bölgeden elde edilen termal akışkanın enerjisinin bir bölümü alındıktan sonra Balçova deresine deşarj edilerek termal kirliliğe yeşil ışık yakılmaktadır (Şekil.8).

Ödemiş-Bayındır-Beydağ-Kiraz –Selçuk ve Torbalıyı içine alan bu bölgede (Şekil 9) 16000 civarında sondaj kuyusu olduğu tahmin ediliyor. Bölgedeki sanayi işletmeleri ve tarım işletmelerinin hemen hemen tamamı yer altı suyunu kullanmaktadırlar. Bölgede yapılmış olan Tahtalı barajı, hem yer altı suyunu beslemekte, hemde İzmirin ihtiyacı olan içme suyunun neredeyse yarısını sağlamaktadır.



Şekil 8. Balçova jeotermal alanındaki yeraltı suyuna ait B ve As dağılımı (Şimşek,C,2008)

### 2.3.2. Bölüm: İç Kesim



Şekil 9. Küçük Menderes Havzası İç Kesim

### 3. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu yazı,yazarın arazi çalışmaları ve İzmire su sağlayan havzalarda başka yazarlar tarafından yapılmış çalışmaları ,Jeotermal kirlilik başlığında gündeme taşıyarak,sürekli göz ardı edilen bu büyük tehlikenin gerçek boyutlarıyla araştırılarak tartışılması ve jeotermal yasada görülen eksiklerin yeniden gözden geçirilmesini sağlamaya yönelik hazırlanmıştır.

Buna göre;

- Jeotermal alanlarla ilgili doğayı ve çevreyi koruyucu yaptırımların bir an önce uygulamaya konulması gerekmektedir.

- Jeotermal enerji sonsuz ya da sorunsuz enerji değildir. Uygun koşullar sağlanarak sürekliliği sağlanabilecek bir enerji olan jeotermal enerji kullanımında mutlaka geri dönüşüm sağlanmalıdır.

- Jeotermal akışkanlar doğası gereği yüksek konsantrasyonlarda erimiş mineraller içerirler. Bu nedenle zararlı elementler( göz önüne alınarak koruyucu ya da engelleyici önlemler alınmalıdır.

- Jeotermal akışkanlar içerisindeki Br,B,Li,As,Na vb gibi değerli elementlerin reenjeksiyon ya da deşarj yapılmadan geri kazanım yolları mutlaka araştırılarak atık jeotermal akışkandan en üst düzeyde ekonomik gelir elde edilmesi sağlanmalıdır.

- Soğuk yer altı sularındaki jeotermal kökenli kirlenmelerin kesin olarak belirlenebilmesi için multidisipliner çalışmalar gerçekleştirilmelidir.

- Jeotermal alanlarda Jeolojik, Jeokimyasal ve özellikle de Jeofizik Yöntemlerle yapılacak araştırmalardan sonra akifer modellemesi yapılarak, hem akiferi korumak hem de yer altı sularını korumak amacıyla uygun noktalarda tekniğine uygun sondaj kuyusu açılmasına geçilmelidir.

- Soğuksu akiferlerinin yada sıcak akiferin korunması amacıyla açılacak jeotermal kuyuların mutlaka ilgili jeoloji, jeofizik ve/veya maden mühendislerince kontrolünün gerçekleştirilmesi, tekniğine uygun sondaj kuyularının açılması sağlanmalıdır.

- Teknik şartları uygun olmayan ya da korozyona uğramış sondaj boruları ile üretim yapılan kuyular derhal kapatılarak, yer altı suyuna verdikleri zararların bir an evvel sonlandırılmaları gerekir.

- Havzalarda yer alan jeotermal üretim kuyularından elde edilen atık akışkanın mutlaka geri dönüşümü sağlanmalıdır. Jeotermal yasada (5686 sayılı yasa madde 14/4)bu yöndeki suistimale açık ifadeler derhal düzeltilmelidir.

- Kullanımda olup ta teçhizleri eskimiş olan termal akışkan üretimi yapılan kuyulara kapatılmaları kaydıyla yeni kuyular açılması için kolaylıklar sağlanmalıdır.

- İzmire içme suyu sağlayan sondaj kuyularından aşırı su çekimine kesinlikle izin verilmemelidir. Gerekirse dinamik testlerle yeniden sağlıklı verim parametreleri hesaplanmalıdır.

- Salihli,Kavaklıdere,Alaşehir,Çeşme,Seferihisar gibi jeotermal üretim alanlarında yüzeye yapılan deşarjlar durdurularak reenjeksiyon sağlanmalıdır. Yakınlarda uygun alıcı ortam bulunamaması halinde daha uzaklardaki alıcı ortamlardan yararlanılmalıdır.

- Yenilenebilir enerji olarak tanımlanabilmesi için jeotermal akışkan mutlaka korunmalı, çevrenin olumlu etkilenmesi için gerekli önlemler alınmalıdır.

- Özellikle Göksu ve Sarıkız kaynakları, havzanın doğu ve güneydoğusundaki(Yılmaz

köy ve Urganlı) jeotermal kullanımlar nedeniyle risk altına girmemişse de yakın zamanda gireceklerdir. Mutlaka kaynak kontrolü sağlanmalıdır.

- Ülkemizdeki yer altı ve yerüstü su kaynaklarının korunması ve geliştirilmesi için mutlaka “Ulusal Su Kaynaklarını Koruma Yasası” çıkartılmalıdır.

#### KAYNAKLAR

- Demirbaş,P. Orhun,Ö. 2008 Kuzey Ege, Gediz ve Küçük Menderes Havzalarında 2003 – 2007 Yılları Arasında Su Kalitesi Açısından Bor İçeriğinin Spektrofotometrik Analiz Metodu İle Belirlenmesi ve Değerlendirilmesi. 5.Dünya Su Forumu Bölgesel Hazırlık Süreci Havza Kirliliği Konferansı İzmir 2008
- Doğdu,M.,Bayarı,S. 2002 Akarçay Havzasında Jeotermal kökenli kirlenme(1). Yerbilimleri dergisi 25(2002) 21-23 Hacettepe-Ankara
- Doğdu,M.Ş. vd 2008 Gediz Havzası Yeraltısularında Bor (B) Kirliliği. 5.Dünya Su Forumu Bölgesel Hazırlık Süreci Havza Kirliliği Konferansı İzmir 2008
- Özen, T,Tarcan,G. Dikili Kaynarca Jeotermal Sistemlerinin Hidrojeolojik ve Jeokimyasal Değerlendirilmesi.DEÜ Mühendislik Dergisi Cilt 7 Sayı2 2005
- Sarıyıldız,A vd 2008 Gediz Nehri Su Kalitesi Parametrelerinin Eğilim Analizi. 5.Dünya Su Forumu Bölgesel Hazırlık Süreci Havza Kirliliği Konferansı İzmir 2008
- Şimşek, C. 2008 Balçova Jeotermal Sahasında Bor ve Arsenik Kirliliği. Jeotermal Enerji Semineri.. TMMOB Kent Sempozyumu 2009
- Tomar,A. Toprak ve Su Kirliliği Ve Su Havzalarının Korunması
- Varol,S.,vd. (200) Derleme.Yeraltı suyu Kimyası ve Sağlığa Etkisinin Tıbbi Jeoloji Açısından Değerlendirilmesi.Med Bull.2008,7(4). 351-356

## Manyetotellurik Yöntem ve Jeotermal Aramalarda Kullanımı

Ahmet Tuğrul BAŞOKUR

Ankara Üni., Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Müh. Böl., Tandoğan 06100 ANKARA  
[basokur@eng.ankara.edu.tr](mailto:basokur@eng.ankara.edu.tr)

### ÖZ

Manyetotellurik (MT) yöntemde, doğal elektromanyetik alanın yer içerisinde yayılımının frekansa ve yer altı öz direnç dağılımına bağlı olma özelliğinden yararlanır. Zamana karşı ölçülen elektrik ve manyetik alanlara Fourier dönüşümü ve bazı veri-işlem tekniklerinin uygulanması ile frekans bölgesinde çeşitli MT nicelikleri türetilir. Bu makalede, MT yöntemde kullanılan kavramlar, veri-işlem ve veri-sunum teknikleri ile MT veriden ters-çözüm işlemi ile yer altı öz direnç dağılımının elde edilmesi açıklanmıştır. Ters çözüm sonucunda türetilen iki-boyutlu (2B) model bloklarının gerçek öz direnç değerlerinin görüntülenmesi ile bir fiziksel model üretilir. Bu fiziksel modelin jeotermal aramalar açısından anlamlandırılması 'yorum' olarak adlandırılır. MT verisinden hesaplanan yeraltı öz direnç modeli ile jeotermal sistemin ve jeolojik yapıların ilişkilendirilmesi örneklerle açıklanmıştır.

### GİRİŞ

Yerkabuğunun çeşitli derinliklerinde birikmiş ısının oluşturduğu, sıcaklığı 20 °C den fazla olan ve çevresindeki sulara göre daha fazla mineral, gaz ve tuz içeren akışkanların yeryüzüne çıkarılarak kullanılması jeotermal enerji olarak tanımlanır. Jeotermal enerjinin diğer enerji kaynaklarına göre temiz, ucuz, yenilenebilir ve çabuk devreye girme özellikleri bulunmaktadır. Bir jeotermal alanın oluşabilmesi için ısı kaynağı, gözenekli bir hazne kaya, geçirimsiz örtü kaya ve yeterli su beslenmesi gerekmektedir. Jeotermal akışkan dolaşımı nedeni ile geçirgenlik ve gözenekliliğin artması elektriksel öz direnç değerlerini etkiler. Elektrik ve elektromanyetik yöntemlerde, yeraltındaki dağılımı hesaplanmaya çalışılan fiziksel özellik maddenin öz direnci olduğundan, bu yöntemler jeotermal aramalarda hem doğrudan rezervuarın yerinin saptanması hem de yapısal jeolojinin çıkarılmasında kullanılabilir olduğundan, bir bütün olarak jeotermal sistemin özelliklerinin anlaşılmasında oldukça etkilidir. Diğer elektrik ve elektromanyetik yöntemler ile karşılaştırıldığında, manyetotellurik yöntemin arazi uygulaması daha kolaydır. Ayrıca, kullanılan frekans aralığına bağlı olan araştırma derinliğinin inceleme amaçlarına göre denetlenebilmesi olanaklıdır. Bu nedenle, jeotermal çalışmalarda birincil arama yöntemidir. Ancak, veri-işlem aşaması diğer jeofizik yöntemlere göre daha zaman alıcıdır, deneyim ve özel uzmanlık gerektirir.

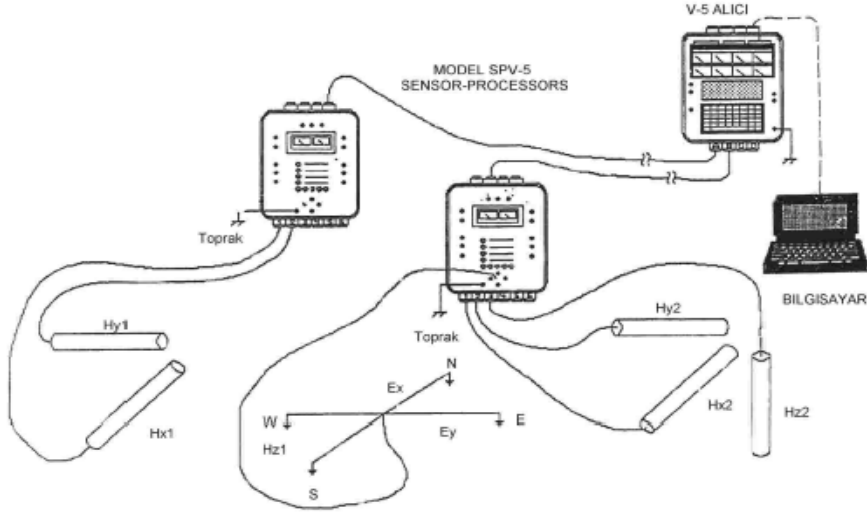
### MANYETOTELLÜRİK ALAN VE YÖNTEM

Yer manyetik alanının zamanla değişimi, yer içerisinde bir indüksiyon akımının oluşmasına neden olur. Manyetik ve elektrik alanlardaki değişimler aynı karakterde olacağından, bir doğal elektromanyetik alanın varlığı söz konusudur ve manyetotellurik (MT) alan olarak adlandırılır. MT alanın kaynağı değişik olaylara bağlı olarak atmosferde, iyonosferde veya manyetosferde

bulunur. 1 hertz'in altındaki elektromanyetik dalgalar güneşten gelen yükler ile manyetosfer sınırındaki girişimlerden oluşur. 1 hertz'in üzerindeki değişimler yere ulaşmadan iyonosfer içinde soğurulduğundan, bu sinyallerin kaynağı atmosferde oluşan yıldırım ve şimşeklerdir. MT alanın genliğindeki en zayıf değişim ise 1 Hz civarındadır. Serbest uzayda 'yerdeğiştirme akımı' ile yayılan elektromanyetik dalga çok az soğurularak çok büyük uzaklıklara erişebilirken, yer içine doğru ilerleyen bir elektromanyetik dalga iletken içerisine girdiğinde 'iletkenlik akımı' baskın duruma gelir. Bu ise dalganın soğurulması, yani uzaklık ile dalga genliğinin azalmasına neden olur. Soğurulma dalganın frekansına ve ortamın öz direncine bağlı olduğundan, MT alanın incelenmesi ile yeraltı öz direnç dağılımı elde edilebilir. Kullanılan frekans, dolayısı ile ilgilenilen derinlik aralığına bağlı olarak, 'duyulabilir manyetotellürik' (audio-magnetotellurics, AMT), manyetotellurik (MT) ve Jeomanyetik Derinlik Sondajı (geomagnetic depth sounding, GDS) adları ile sınıflandırılan yöntemlerin temel ilkeleri aynıdır (Başokur, 2008).

### MT ÖLÇÜ DÜZENİ VE TEMEL TANIMLAR

MT yönteminde doğal elektrik alanın iki bileşeni ( $E_x$ ,  $E_y$ ) ve manyetik alanın üç bileşeni ( $H_x$ ,  $H_y$ ,  $H_z$ ) zamanın fonksiyonu olarak ölçülürler (Şekil 1). Elektrik alan doğrudan ölçülemeyeceğinden, yaklaşık değeri sonlu-farklar yöntemi ile hesaplanır. Bu amaçla iki ucunda polarize olmayan elektrotlar bulunan bir kablo yardımı ile elektrotlar arasındaki gerilim farkı ölçülür ve aralarındaki uzaklığa bölünür. Manyetik alan ise indüksiyon bobinleri ile ölçülür.



Şekil 1. MT ölçü düzeni. Bir ölçü istasyonunda iki elektrik ve üç manyetik alan ölçülmektedir. Bu örnekte gürültü giderme yöntemlerinde kullanılmak üzere uzak-istasyonda iki manyetik alan daha ölçülmektedir.

Elektromanyetik dalganın  $1/e$  kadar soğurulduğu derinlik, 'nüfuz derinliği (skin depth)' olarak adlandırılır ( $e=2.71828$ ). Tekdüze ve yarısonsuz bir ortam için



$$\delta = 503\sqrt{\rho / f} \quad (1)$$

olarak tanımlanır.  $\rho$  ve  $f$  sırası ile ortamın özdirenci ve elektromanyetik dalganın frekansdır. Araştırma derinliği ise (depth of investigation), MT yanıtın %95 lik bölümünü oluşturan derinlik olarak verilir (Spies, 1989):

$$z = 1.5 \delta = 750\sqrt{\rho / f} \quad (2)$$

Zaman ortamında ölçülen elektrik ve manyetik alan verilerinin Fourier dönüşümleri alınarak frekans ortamına dönüştürülmeleri yorumlama açısından daha uygundur. Yer içine doğru ilerleyen bir elektromanyetik dalganın yüzey direntisi (impedance), birbirlerine dik yatay elektrik ( $E$ ) ve manyetik alanların ( $H$ ) oranı olarak tanımlanır. Frekans bölgesinde, direnti frekansın (veya periyodun) bir fonksiyonu olarak verilir:

$$Z_{xy}(f) = \frac{E_x(f)}{H_y(f)} = \frac{|E_x(f)|}{|H_y(f)|} \exp[i(\phi_{E_x}(f) - \phi_{H_y}(f))] \quad (3)$$

Karmaşık bir fonksiyon olan direntinin genliği, elektrik ve manyetik alanların genliklerinin oranına,

$$|Z_{xy}(f)| = |E_x(f)| / |H_y(f)| \quad (4)$$

ve direntinin fazı ise elektrik ve manyetik alanların fazlarının farkına eşittir:

$$\phi_{xy}(f) = \phi_{E_x}(f) - \phi_{H_y}(f) \quad (5)$$

Frekansın bir fonksiyonu olan direnti değişimini, özdirenc değişimi ile uyumlu duruma getirmek için 'Frekans Düzgeli Direnti (Frequency Normalized Impedance, FNI)' olarak adlandırılan bir fonksiyon Başokur(1994) tarafından önerilmiştir:

$$Y = Z / \sqrt{i\mu\omega} \quad (6)$$

Burada,  $\omega$  açısal frekans,  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$  Henry/m, serbest uzayın manyetik geçirgenliğidir.  $i = \sqrt{-1}$  ve  $\sqrt{i} = (1+i) / \sqrt{2}$  olarak verilir. MT ve yapay kaynaklı MT (CSAMT) yöntemlerinde FNI fonksiyonunun davranışı ve diğer MT niceliklerinin davranışının açıklanmasındaki kullanımı, sırası ile Başokur(1999a) ve Başokur ve diğ. (1997b) tarafından ayrıntılı olarak verilmiştir.

### GÖRÜNÜR ÖZDİRENÇ TANIMLARI

Elektromanyetik yöntemlerde ölçülen veriler (gerilim farkı ve manyetik alan) geleneksel olarak görünür öz direnç ve faz değerlerine dönüştürülür. Verilerin sunumu ise görünür öz direnç eğrileri, yapma-kesitleri ( pseudo-section ) ve haritaları ile gerçekleştirilir. Bu sunum yöntemleri, sayısal modelleme ve çözümlenme işlemlerinden önce yorumcunun nitel bir değerlendirme yapabilmesine olanak verir. Manyetotellürik yöntemin kuramsal ilkelerini geliştiren Tikhonov(1950) ve Cagniard(1953) izleyen görünür öz direnç tanımını yapmışlardır:

$$\rho_{ac} = \frac{I}{\omega \mu_0} |Z|^2 \quad (7)$$

Bu bağıntı, Frekans Düzgeli Direnti (FNI) fonksiyonu cinsinden,

$$\rho_{ac} = Y_r^2 + Y_i^2 \quad (8)$$

şeklinde de yazılabilir (Başokur, 1994). Burada  $Y_r$  ve  $Y_i$  FNI fonksiyonunun sırası ile gerçel ve sanal bölümlerini göstermektedir. Görünür öz direnç veriye uygulanan bir normalleştirme işlemi olduğundan, geleneksel tanımlardan daha iyi sonuçlar üreten tanımların gerçekleştirilmesi olasıdır (Spies ve Eggers, 1986). Herhangi bir görünür öz direnç tanımının aşağıdaki ölçütleri gerçeklemesi istenir (Başokur, 1994).

- (a) Görünür öz direnç tek düze bir ortamda, ortamın öz direncine eşit olmalıdır.
- (b) Görünür öz direnç yüksek frekans limitinde birinci katmanın öz direncine ve alçak frekans limitinde temelin öz direncine eşit olmalıdır.
- (c) Görünür öz direnç ara frekanslarda katmanların gerçek öz dirençlerine mümkün olduğunca yakın olmalıdır.

FNI fonksiyonunun gerçel bileşeni, yüksek ve alçak frekans limitlerinde sırası ile birinci katmanın ve temelin öz dirençlerinin kareköküne yaklaşır. Sanal bileşenin her iki frekans limitindeki değeri sıfırdır. Bu özellikler, gerçel ve sanal bileşenlerin karelerini kapsayan tanımların, yukarıda verilen (a) ve (b) ölçütlerini sağlayacağını göstermektedir. İzleyen görünür öz direnç tanımı Başokur (1994; 1997a) tarafından önerilmiştir:

$$\rho_{aF} = \left[ \left( Y_r^2 - \text{sign}(Y_i) \cdot Y_i^2 \right) / (Y_r + Y_i) \right]^2 \quad (9)$$

Bir-boyutlu (1B) ortamın özellikleri kullanılarak geliştirilen yukarıdaki tanımın, iki- ve üç-boyutlu (3B) ortamlar içinde geçerli ve yukarıdaki ölçütleri en fazla karşılayan tanım olduğu kuramsal (Szarka ve Zhang, 2003) ve arazi çalışmaları (Szarka ve diğ., 2005; Başokur and Candansayar, 2003) ile gösterilmiştir.

## VERİ SUNUMU

MT yönteminde bir istasyona ait veriler logaritmik yatay eksen frekans (veya periyot) olmak üzere düşey eksen de direnç, görünür öz direnç ve faz gibi niceliklerin grafiklendiği sondaj eğrisi çizimi ile görüntülenir (bkz. Şekil 2). Görünür öz direnç grafiği çiziminde düşey eksen de logaritmik olarak seçilir. Bir hat üzerinde bulunan birden fazla istasyona ait veriler, yapma-kesit (pseudosection) çizimi ile görselleştirilir. Yatay eksen uzaklık ve düşey eksen frekans olmak üzere her uzaklık-frekans çiftine bir MT niceliği (görünür öz direnç veya faz gibi) atanır. İkinci adımda eş değerler birleştirilir (konturlama) veya bir renk ölçeği kullanılarak renkli bir kesit elde edilir. Bu veri-sunum yöntemi, görselleştirilen MT niceliğinin hem yanal hem de düşey yönlereki değişimlerini yansıtır. Ölçülen veri değerleri yer yüzeyinden itibaren belirli bir hacimdeki öz direnç değişimlerinin tümünden etkilenir ve bu nedenle ölçülen MT nicelikleri 'görünür' terimi ile birlikte adlandırılır. Aynı nedenle, belirli bir frekans değeri belirli bir derinliğe karşılık gelmez. Ancak, frekansın azalması ile görece daha derinden bilgi elde edilir. Gerçek öz direnç ve derinlik değerleri, ters-çözüm işlemi ile hesaplanabilir. 'Seviye haritası' ise belirli bir frekans değeri için bütün arama alanını kapsayacak şekilde ölçülen fiziksel niceliğin konturlanması veya renklendirilmesi ile elde edilir. Seviye haritaları herhangi bir frekans (veya yapma-derinlik) için ölçülen fiziksel niceliğin yanal yöndeki değişimlerini görüntüler.

Görünür öz direnç grafikleri, yapma-kesitleri ve seviye haritalarının gözden geçirilmesi ile veri kalitesi incelenebileceği gibi hedef kütlelerin yeri ve uzanımı hakkında da nitel bir yorum yapılabilir. Ancak, bu yorum ile hedef kütlelerin derinlik, uzanım ve kalınlıkları hakkında sayısal bilgiler elde edilemez. Bu görselleştirme teknikleri sayısal modelleme yöntemlerinin uygulanmasından önce ön-bilgi sağlarlar (Başokur, 2003).

## VERİ-İŞLEM AŞAMALARI

Elektrik ve manyetik alan bileşenleri arasındaki ilişki bir tensör denklemi ile verilir:

$$\begin{pmatrix} E_x \\ E_y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Z_{xx} & Z_{xy} \\ Z_{yx} & Z_{yy} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} H_x \\ H_y \end{pmatrix} \quad (10)$$

Burada,  $x$  ve  $y$  kuzey-güney ve doğu-batı coğrafi yönlerinde ölçülen alanların Fourier dönüşümlerini göstermektedir. Frekans bölgesinde, ölçülen alanlar ve  $2 \times 2$  boyutundaki direnç dizisinin elemanları frekansın karmaşık bir fonksiyonudur. Tekdüze veya yatay katmanlardan oluşan yer altı modelleri için  $Z_{xx}$  ile  $Z_{yy}$  sifıra eşittir ve  $Z_{xy} = -Z_{yx}$  eşitliği sağlanır. İki-boyutlu (2B) yapılar için  $E$  veya  $H$  jeolojik doğrultuya paralel ise  $Z_{xx} = Z_{yy} = 0$  ve  $Z_{xy} \neq -Z_{yx}$ . Eğer,  $E$  veya  $H$  jeolojik doğrultu yönünde değilse hem  $H_x$  hem de  $H_y$ ,  $x$  ve  $y$  yönlerinde elektrik alan yaratırlar.

Veri-işlem aşamasında yapılması gereken işlemler, MT verisinin yorumunda kullanılacak modele bağlıdır. Bir-boyutlu model kullanılarak yapılacak yorum işlemlerinde, direnç fonksiyonu olarak çeşitli tanımlar seçilebilir. Bu tanımlarda, elde edilecek direnç fonksiyonu döndürme açısından bağımsız olmalıdır. Örneğin, direnç tensörünün determinantının

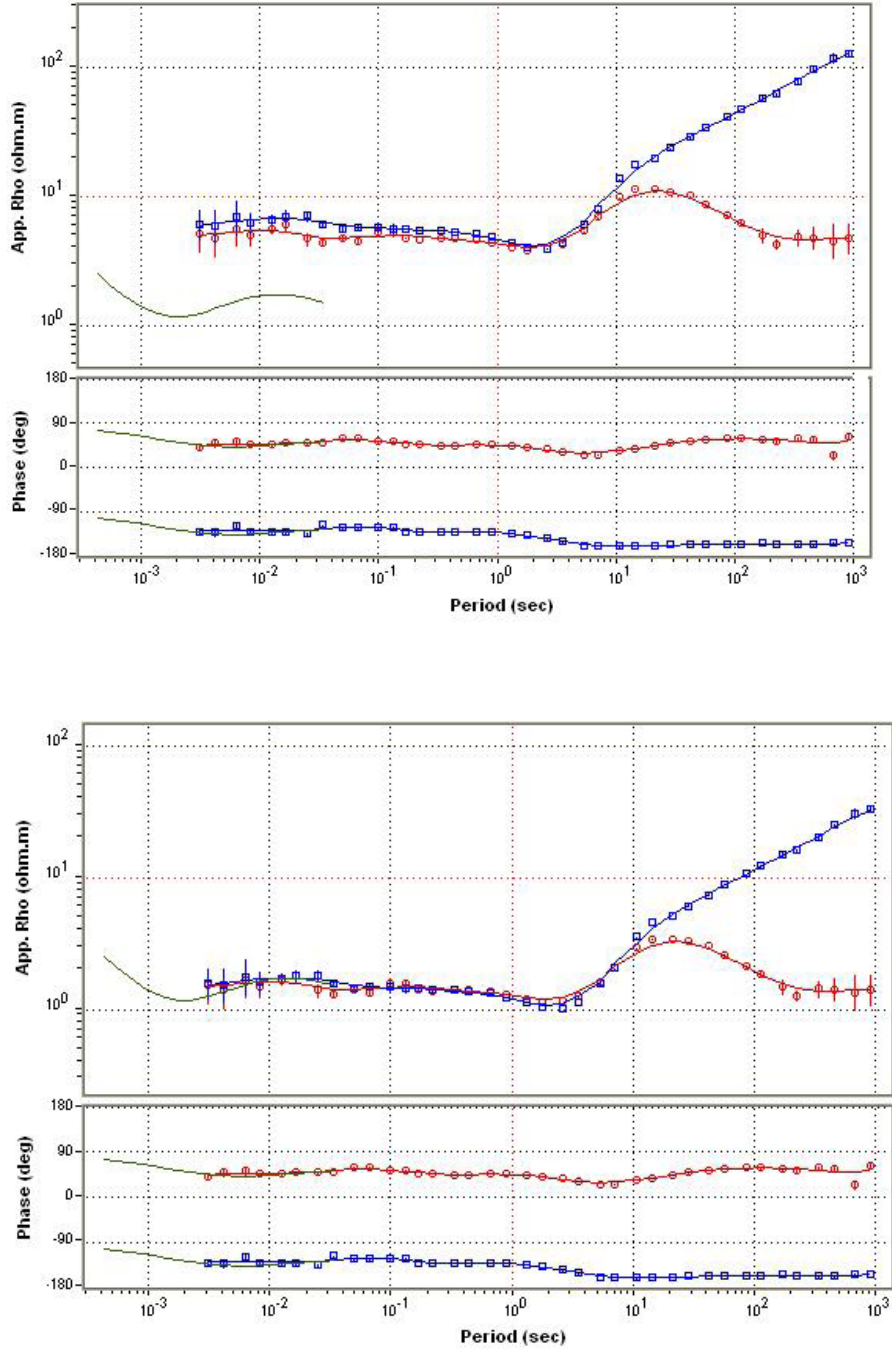
karekökü koordinat sisteminden bağımsızdır ve bu özelliği nedeni ile yaygın olarak kullanılır (Porstendorfer, 1975):

$$Z_{\det} = \sqrt{Z_{xx}Z_{yy} - Z_{xy}Z_{yx}} \quad (11)$$

MT yönteminde elektrik ve manyetik alanın coğrafi yönlerdeki bileşenleri ölçüldüğünden, 2B yorum uygulamalarında, (10) denklemi ile verilen direnç dizeyinin köşegen olmayan bireyleri, jeolojik doğrultu ve bu doğrultuya dik yöne karşılık gelecek şekilde döndürülür. Döndürme açısını saptamak için çeşitli yöntemler önerilmiştir. Groom-Bailey ayrışımı (Groom and Bailey, 1989), en yaygın kullanılan yöntemdir. Döndürme işlemi TE (elektrik alan jeolojik doğrultuya paralel) ve ona dik TM modlarının ayırt edilmesi izler. Böylece, direnç, görünür öz direnç, faz ve diğer MT nicelikleri TE ve TM modlarına ait olmak üzere ikiye ayrılarak hesaplanır. Bazı MT nicelikleri ise döndürme ile değişmezler. Üç-boyutlu yorumlama algoritmaları için döndürme ve ayrışım yöntemlerinin kullanımı gerekli değildir. Coğrafi yönlerde ölçülen alanlar ve bu alanlardan hesaplanan MT nicelikleri doğrudan kullanılır.

MT yönteminin en önemli sorunlarından biri 'statik kayma' olarak adlandırılan ve görünür öz direnç eğrilerinin, ölçü istasyonu altında veya yakınında küçük ölçekli üç-boyutlu cisimlerin oluşturduğu galvanik etki nedeni ile düşey eksen boyunca aşağı veya yukarı kaymasıdır (Stenberg ve diğ., 1988; Meju, 1996). Frekanstan bağımsız olan statik kayma sabitini saptamak için kullanılan en etkili teknik, MT ölçü istasyonunda ayrıca geçici elektromanyetik yöntem (transient electromagnetic method, TEM) ölçüsü almaktır. TEM yönteminde kenar uzunlukları genellikle MT elektrik dipol boyu kadar olan kare şekilli bir kablodan elektrik akımı uygulayarak, yeraltında Eddy akımları oluşturulur. Bu akımlar ikincil bir manyetik alan yaratır. Yeryüzündeki kare kablodaki akım kesilir ise ikincil manyetik alan da zamanla söner. Yer altı öz direnç dağılımına bağlı bu sönüm, yeryüzündeki bir alıcı bobindeki sönüm gerilimi olarak ölçülür (Fitterman and Stewart, 1986). Alıcı bobin, verici halkanın merkezine yerleştirilir (merkezi halka tekniği). TEM yöntemi sadece manyetik alanın ölçümüne dayandığından, TEM verisinde galvanik etkiler bulunmayacaktır. TEM eğrisinin 1B değerlendirilmesi ile elde edilen model kullanılarak, 1B kuramsal MT eğrisi hesaplanabilir. Bu MT eğrisinde statik kayma etkisi bulunmadığından, ölçülen MT görünür öz direnç eğrileri, kuramsal MT eğrisine çıkışacak şekilde kaydırılır (Şekil 2a ve 2b).

Veri yuvarlatılması isteğe bağlı olarak uygulanan bir veri-işlem aşamasıdır. Verinin yuvarlatılmaması halinde ters-çözüm aşamasında veri değerlerine mutlaka ağırlık katsayısı atanmalıdır. Başokur, Kaya ve Ulugergerli (1997a), FNI fonksiyonunun davranışına uyan sürekli bir fonksiyonun doğrusal bileşiminin (linear combination), FNI verisinin sayısal değerlerine yaklaştırılması ile MT verisini yuvarlatan bir yöntem geliştirmişlerdir. Rastgele gürültülerin yanında sistematik gürültüleri de temsil edebilen bir ağırlık katsayısı atama yöntemi Başokur(2008) tarafından önerilmiştir.

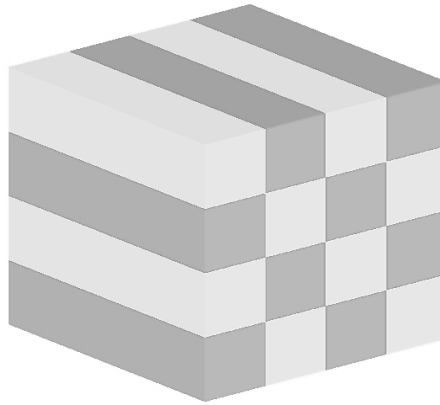


Şekil 2. (a) Trakya’da ölçülen MT görünür öz direnç ve faz eğrileri (TE ve TM modları farklı renkte) ve TEM verisinden hesaplanan kuramsal MT eğrisi (siyah), (b) görünür öz direnç eğrilerinin kuramsal MT verisine çıkışacak şekilde kaydırılması. Faz eğrisinde statik-kayma etkisi bulunmamaktadır.

### MT VERİLERİNİN TERS-ÇÖZÜMÜ

MT yönteminin amacı, yer altı özdirenç dağılımını hesaplamaktır. Bunun için ölçülen görünür özdirenç yapma-kesitlerinin, gerçek özdirenç kesitlerine dönüştürülmeleri gerekmektedir. Bu işlem belirli modeller kullanılarak, dolaylı bir şekilde yapılır. Dönüştürme işleminin temel ilkesi, ölçülen veriye belirli ölçütler çerçevesinde çakışan kuramsal veri üreten modelin aranmasıdır. Elektrik yöntemlerde üç tür model kullanılmaktadır. 1B modelin jeolojik koşulları sağlamaması nedeni ile çoğunlukla 2B veya 3B modelleme ve ters-çözüm tercih edilmektedir. İki-boyutlu ters-çözüm için birden fazla MT istasyonu bir hat oluşturmalı, üç-boyutlu ters-çözüm içinse birden fazla hat bulunmalıdır. 3B modellemenin çok hızlı bilgisayar kullanımı gerektirmesi nedeni ile 2B ters-çözümün daha yaygın kullanım alanı bulunmaktadır. Birden fazla hat var ise iki-boyutlu çözümlerin birlikte kullanılması ile sonuç modelinin 3B görüntüleri elde edilebilir. Bu yol ile elde edilen görüntüler, 'yapma-3B model' olarak adlandırılmalıdır.

2B model, özdirençlerin ölçü hattı doğrultusunda ve düşey yönde değiştiği, ancak kesit düzlemine dik yönde değişmediği varsayımı ile elde edilir. Şekil 3'de, farklı özdirençli ve farklı boyutlu dikdörtgen prizmalar kullanılarak yeraltının parametreleştirilmesi gösterilmiştir. Her bir prizmayı (kesit üzerinde hücre) tanımlamak için gereken geometrik ve fiziksel nicelikler parametre olarak adlandırılır. 'Geometrik parametreler' prizmaların boyutları, 'fiziksel parametreler' ise prizmaların özdirençleridir. Prizmalar çizim düzlemine dik yönde  $-\infty$  ile  $+\infty$  aralığında devamlıdır. Her bir prizma ise kesit düzleminde bir hücre oluşturmaktadır. Modele bazı üçgen kesitli prizmalar eklenerek, topografya da temsil edilebilir.



Şekil 3. Yeraltını temsil etmekte kullanılan iki-boyutlu (2B) model.

Seçilen bir model için veri ve parametreleri birbirine bağlayan matematik bağıntı 'düz çözüm' olarak adlandırılır ve modelin belirli bir fiziksel durumu için ölçülmesi gereken verinin önceden kestirilmesini sağlar. Bu anlamda, parametreler ile veri arasındaki ilişkiyi verir. 'Kuramsal veri' veya 'model yanıtı', parametrelere atanan bazı sayısal değerler yardımı ile düz çözümden hesaplanan sayısal veridir. Ölçülen veriden, parametre değerlerinin (dolayısı ile modelin) hesaplanması 'ters-çözüm' olarak adlandırılır. 2B kesitteki hücrelerin boyutları

sabit tutularak, çözülmesi gereken parametre sayısı azaltılır. Hücrelerin özdirenç değerlerinin çözümü sırasında komşu hücreler birbirleri ile ilişkilendirilmelidir. 2B ters çözüm sonucunda türetilen model bloklarının gerçek özdirenç değerlerinin görüntülenmesi ile bir fiziksel model üretilir. Bu modelin jeolojik olarak anlamlandırılması, yeraltı özdirenç değişimi ile jeolojik koşulların ilişkilendirilmesi ile yapılır ve bu işlem ‘yorum’ olarak adlandırılır (Başokur, 1997b).

Ters-çözüm işleminde fiziksel modelin hesaplanması dolaylı bir yol ile gerçekleştirilir. Türev-tabanlı ters-çözüm yöntemlerinin birinci adımında, model parametreleri için bir ön-kestirim yorumcu tarafından sağlanır ve ön-kestirime karşılık gelen kuramsal veri hesaplanarak, ölçülen veri ile karşılaştırılır. Daha sonra, ölçülen ve kuramsal verinin çakışma derecesini arttırmak amacı ile parametreler yenilenir. Bu işlem, iki veri kümesi arasında yeterli bir çakışma elde edilinceye kadar yinelenir. Ölçülen veri ile çakışan kuramsal veri üreten birden fazla model bulunabileceğinden, çözüm tekil değildir. Model yanıtı ile ölçülen veri arasındaki farkları en aza indirmek için yapılan yineleme işleminin sayısı, ön-kestirim değerlerinin gerçeğe yakınlığı ve verinin gürültü içeriği ile ilişkilidir. Gürültü bazı durumlarda yineleme işleminin yakınsamasını engelleyebilir. MT yönteminde en çok kullanılan ters-çözüm algoritmaları, türev-tabanlı yöntemlerden ‘sönümlü en-küçük kareler’ tekniğinin değişik uyarlamalarıdır. 1B ters-çözümde, ön-kestirim olarak yorumcunun sağladığı katman özdirenci ve kalınlıkları kullanılır. 2B ve 3B ters-çözüm işlemlerinde, ilk adımda yeraltı homojen varsayıldığından, tüm hücrelerin özdirençlerine aynı değer atanır. Her bir yineleme adımında, hücrelerin özdirenç değerleri,

$$\Delta \mathbf{p} = (\mathbf{J}^T \mathbf{C}_d^{-1} \mathbf{J} + \mathbf{C}_m^{-1})^{-1} \mathbf{J}^T \mathbf{C}_d^{-1} \Delta \mathbf{d} \quad (12)$$

bağıntısı kullanılarak yenilenir. Burada,  $-1$  ve  $T$  sırası ile bir dizeyin tersini ve devriğini göstermektedir.  $n$  ve  $m$  sırası ile veri ve parametre sayısı olmak üzere,  $\Delta \mathbf{P}$ ; her yineleme adımında parametrelere uygulanacak  $m \times 1$  boyutunda düzeltme yöneyi,  $\mathbf{J}$ ; sütunlarında, her ölçü noktasında her frekans için görünür özdirenç (ve faz) değerlerinin parametrelere göre kısmi türevlerini kapsayan  $n \times m$  boyutunda Jacobian dizeyidir.  $\Delta \mathbf{d}$ ; ölçülen ve kuramsal verinin

farklarını içeren  $n \times 1$  boyutunda ‘veri farkları yöneyi’dir.  $\mathbf{C}_d^{-1}$  ve  $\mathbf{C}_m^{-1}$  sırası ile  $n \times n$  boyutundaki veri değişinti (covariance) ve  $m \times m$  boyutundaki parametre değişinti dizeyleridir. Ağırlık

dizeyi olarak da adlandırılan  $\mathbf{C}_d^{-1}$  dizeyi, genellikle sadece köşegen elemanları sıfırdan farklı

olacak şekilde düzenlenir.  $\mathbf{C}_m^{-1}$  dizeyi için çok sayıda öneri bulunmaktadır. Bu dizey ayrıca modeldeki özdirenç değerlerinin yavaş veya keskin olarak değişmesi, çözümün ön-kestirim civarında olması gibi çeşitli isteklerin ters-çözüm aşamasında gerçekleştirilmesini sağlamakta amacıyla da kullanılabilir.

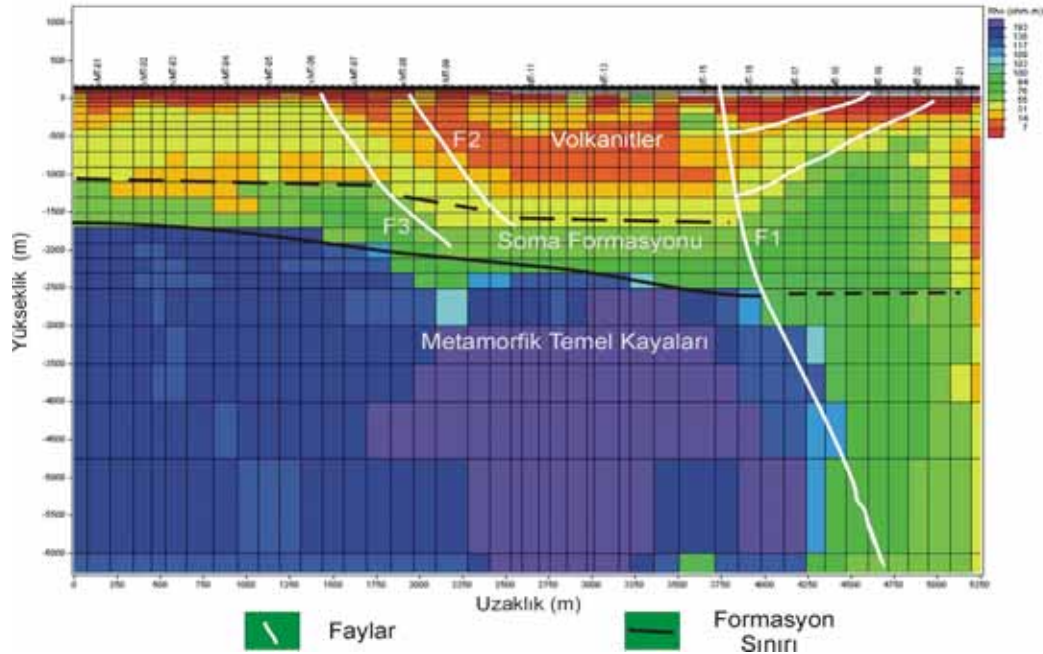
### MT YÖNTEMİNİN JEOTERMAL ARAMALARDA KULLANIMI

Jeofizik yöntemlerin amacı belirli bir fiziksel parametrenin yeraltındaki dağılımını saptamaktır. Bu işlem doğrudan fiziksel parametrenin ölçülmesi ile gerçekleştirilmez. Bunun yerine, bu fiziksel parametrenin yeraltındaki dağılımı nedeni ile oluşan alan değişimi yeryüzeyinde (veya bir sondaj kuyusu içerisinde) ölçülür. Bu alan değerleri kullanılarak, ters-çözüm yöntemleri

ile fiziksel parametrenin yeryüzündeki dağılımı kestirilmeye çalışılır. Ancak, arama çalışmalarının başarıya ulaşabilmesi için, ölçülen verilerde fiziksel parametrelerin uzaysal dağılımı hakkında bilgi olması ve bu bilginin ters-çözüm yöntemleri ile elde edilebilmesi gerekir. Jeotermal akışkanlar çevrelerinde sıcaklık, elektriksel iletkenlik, yoğunluk ve çeşitli mineralleşmeler açısından değişiklik yaratırlar. Bunlardan, elektriksel iletkenlik (özdirenç) değişimi yüzeyden yapılacak ölçümler ile görece kolay belirlenebilmekte ve potansiyel jeotermal rezervuarların aranmasına yardımcı olmaktadır. Bu nedenle, elektrik ve elektromanyetik yöntemler jeotermal aramalarda en çok başvurulan jeofizik yöntemlerden biridir.

Jeotermal sahalar, ısı kaynağı, ısıyı taşıyan akışkanlar, tektonik yapı ve örtü kayaç ile birlikte bir sistem olarak ele alınmalı ve tüm sistem yapısal elemanları ile birlikte incelenmelidir. MT yöntemi jeolojik trendlerin, ayrışma kuşaklarının ve fay sistemlerinin incelenmesinde oldukça başarılı bir yöntemdir. Bunların yanında, frekans bandının uygun olduğu durumlarda, MT yöntemi ile kıtasal kabuk derinliği ve kabuk içerisindeki olası iletkenlik belirtilerinin saptanması olanaklıdır.

Burada MT yöntemi hakkında belirtilen tüm özellikler, yöntemin jeotermal aramalarda birincil teknik durumuna gelme sürecinin nedenlerini açıklamaktadır. Ülkemizde de MT yönteminin jeotermal uygulamalarda kullanımına örnek oluşturacak birçok çalışma bulunmaktadır. Şekil 4 de Aliğa sahasında MT çalışmaları ile elde edilen model görülmektedir (Kaya ve Başokur, 2007). 21 ölçü istasyonunun bulunduğu hat 5 km uzunluğundadır. MT verisinin 2B ters-çözümü ile elde edilen özdirenç kesitinin yüzeyden itibaren 6 km derinliğe kadar olan bölümü Şekil 4 de görüntülenmiştir. Özdirenç kesitinin yorumlanması ile bölgenin yapısal özellikleri, ana fayların genel karakterleri ve çalışma alanının jeotermal enerji için umutlu olan bölümleri ortaya çıkarılmıştır.



Şekil 4. Aliğa sahasında İki-boyutlu ters-çözüm sonucu elde edilen gerçek özdirenç dağılımı ve jeolojik yorum (derinlik 6 km - doğrusal ölçek) (Kaya ve Başokur, 2007).



Burçak ve diğ. (2005), Orta Anadolu'da Aksaray ve civarındaki sahalara MT yöntemini uygulayarak, derin düşük özdirençli belirti kuşaklarını sıcak ve kısmi ergimeye uğramış magma kütleleri olarak yorumlayarak, jeotermal sistemin ısı kaynağı olabileceğini belirtmişlerdir. Yüzey ile 1500 m aralığındaki düşük özdirenç bölgelerinin hidrotermal altere tüf ve ignimbrite karşılık geldiği düşünülmüştür. Bölgede ele alınan sahalarda MT yöntemi kullanılarak, kavramsal modeller geliştirilmiştir.

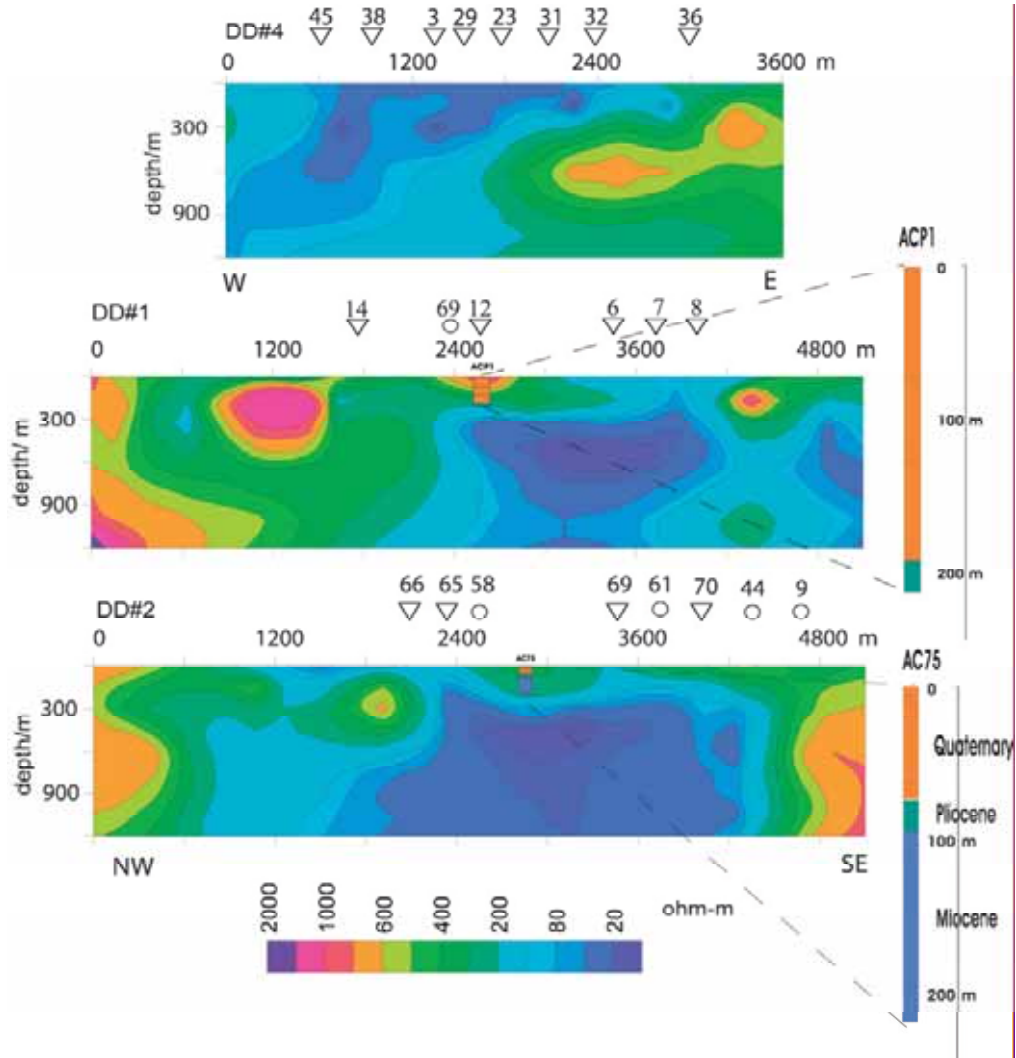
Özdirenç modelinden yararlanılarak, yer altı gözeneklilik dağılımının da çeşitli yaklaşımlar ile kestirimde bulunmak olanaklıdır. Santos ve diğ. (2007), graben içerisindeki bir jeotermal rezervuarı incelemek amacı ile dipol-dipol ve duyulabilir manyetotellürik (AMT) verilerine birleşik ters-çözüm uygulamışlardır. Şekil 5'de üç hat için ters-çözüm sonucu elde edilen özdirenç kesitleri verilmiştir. Grabenin merkezi bölümlerinde jeotermal rezervuar ile ilişkilendirilen düşük özdirençli ( $20 < \rho_m$ ) bir kuşak görülmektedir.

Yer altı özdirenç dağılımından gözeneklilik dağılımını hesaplamak amacı ile iki farklı yaklaşım kullanılmıştır. Elektrik akımının gözenekli ortamda iletilmesi iki şekilde denetlenir. Birincisi akışkan içerisindeki, diğeri de gözenek yüzeylerindeki iyon hareketleridir. Dolayısı ile gözenekli ortamın öziletkenliği, gözenekliliğe, gözenek geometrisine, akışkan doygunluğuna, akışkan öziletkenliğine ve mineral tanelerinin yüzey biçimlerine bağlıdır. Archie (1942), kayaç ve akışkan öziletkenlikleri arasında doymuş ortamlar için bir bağıntı vermekle birlikte, yüzey iyon iletiminin akışkan içerisindeki iyon iletimine göre önemsiz olduğunu varsaymıştır. Waxman ve Smits (1968), kil parçacıklarının ortamın öziletkenliğini düşürme katkısını da göz önüne alan bir model önermişlerdir:

$$\sigma_b = \phi^m (\sigma_f + BQ_v), \quad (13)$$

$$B = 4.6 (1 - 0.6 \exp(-\sigma_f / 1.3)). \quad (14)$$

Burada,  $\sigma_b$  ve  $\sigma_f$  sırası ile kayaç ve akışkan öziletkenlikleridir.  $\phi$  gözeneklilik ve  $m$  kayaç türüne bağlı bir katsayıdır.  $Q_v$ ; birimi ( $1/\text{meqml}$ ) olarak verilen birim gözenek hacmi başına düşen, kile ait elektriksel yük katkısıdır.



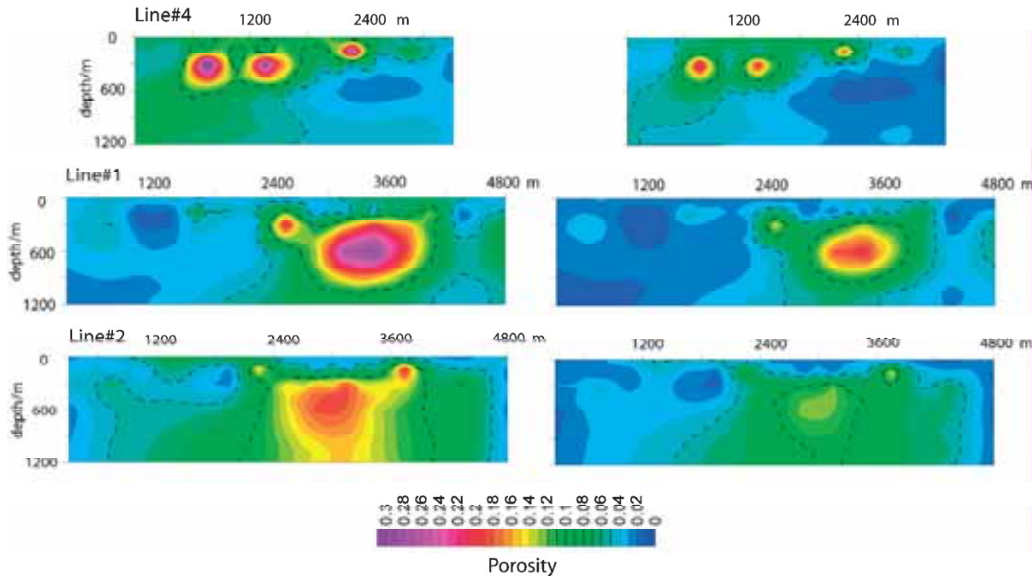
Şekil 5. Dipol-dipol doğru akım ve AMT verilerinin birleşik ters-çözümü ile elde edilen iki-boyutlu öz direnç modeli (Santos ve diğ., 2007).

Sen ve diğ.(1988), gözeneklilik ile kayaç iletkenliğini birbirine bağlayan aşağıdaki görgül bağıntıyı önermişlerdir:

$$\sigma_b = \phi^m \left[ \sigma_f + \mu_{DL} m_s Q_v / (1 + C Q_v / \sigma_f) \right] + E Q_v \quad (15)$$

Burada,  $\mu_{DL}$ ; iyon hareketliliği,  $m_s$ ; yüzey kıvrımlılığı (tortuosity) ve C kayaç geometrisine bağlı bir katsayıdır. Sen ve diğ.(1988), kendi verilerinden yararlanarak,  $\mu_{DL} m_s = 1.93 \times 10^{-1}$ ,  $C Q_v = 0.7$  S,  $E Q_v \approx 0$  ve  $m \approx 2$  sayısal değerlerini elde etmişlerdir. Santos ve diğ. (2007), gözeneklilik hesabı için aynı değerleri kullanmışlardır.

Şekil 5 de verilen özdirenç dağılımları, hem Sen ve diğ.(1988) hem de Waxman ve Smits(1968) modelleri kullanılarak, Santos ve diğ. (2007) tarafından Şekil 6'nın sırası ile sol ve sağ taraflarında görüntülenen gözeneklilik kesitlerine dönüştürülmüştür. Hesaplamalarda ortalama akışkan öziletkenliği ( $\sigma_f$ ) değeri  $2600 \mu S cm^{-1}$  ve  $m=2$  olarak alınmıştır.  $Q_v$  için herhangi bir bilgi bulunmadığından, en küçük gözeneklilik değerini üretecek uç değer olan  $2.04 meq ml^{-1}$  değeri kullanılmıştır. Gözeneklilik dağılımı %12 ile (Waxman ve Smits, 1968) %24 (Sen ve diğ., 1988) aralığında değişmektedir. Özdirenç modelindeki duyarlılığa bağlı olarak gözeneklilik hesaplamalarında en fazla %10 oranında bir hata beklenmektedir. Bu örnek, jeolojik şartların elverdiği ölçüde MT yönteminin gözeneklilik dağılımı hakkında da bilgi verebileceğini göstermektedir.



Şekil 6. İki-boyutlu gözeneklilik modelleri. Şekil 5'de verilen özdirenç modellerinden hesaplanan gözeneklilik modelleri (solda Sen ve diğ.(1988), sağda ise Waxman ve Smits(1968) bağıntısından hesaplanan modeller). Kesikli çizgiler %5 ve %10 gözeneklilik eşdeğer çizgilerini göstermektedir.

## SONUÇLAR

Elektriksel iletkenlik (özdirenç) değişimi yüzeyden yapılacak ölçümler ile görece kolay saptanabildiğinden, elektrik ve elektromanyetik yöntemler jeotermal aramalarda en çok başvurulan jeofizik yöntemlerden biridir. Doğru akım (DC), doğal gerilim (SP) ve indüksiyon polarizasyon (IP) yöntemleri de yer altı özdirenç değişiminden etkilenmektedir. DC ve IP yöntemleri ancak sığ çalışmalar için (0-200 m) ayrımlılık ve uygulama kolaylığı açısından AMT yönteminden bazı durumlarda daha yararlı olabilir. DC ve IP yöntemlerinde araştırma derinliğini arttırmak için çok uzun kabloların kullanılma zorunluluğu derin araştırmalar için bu yöntemleri pratik olmaktan çıkarır. Düşey elektrik sondajı (VES) gibi uygulamalar, MT uygulamaları ile karşılaştırıldığında yavaş ve daha maliyetlidir. Topografyanın hızlı değişim

gösterdiği bölgelerde de MT yöntem uygulamaları daha sorunsuzdur. Burada verilen örneklerin dışında jeotermal üretim sahalarında sürekli MT gözlemleri ile rezervuarın denetlenmesi gibi MT uygulamaları da bulunmaktadır (Wannamaker ve diğ., 2005).

#### KAYNAKLAR

- Archie, G. E., 1942, The electrical resistivity log as an aid in determining some reservoir characteristics, *Petr. Tech.* **1** 55–62
- Başokur, A.T., 1994, Definitions of apparent resistivity for the presentation of magnetotelluric sounding data, *Geophysical Prospecting* **42**, 141-149.
- Başokur, A. T., Kaya, C. and Ulugergerli, E. U., 1997a, Direct interpretation of magnetotelluric sounding data based on the frequency-normalized impedance, *Geophysical Prospecting* **43**, 17-34.
- Başokur A.T., Rasmussen, T.M., Kaya, C., Altun, Y., Aktas, K., 1997b, Comparison of induced polarization and controlled source audio-magnetotellurics methods for the massive chalcopyrite exploration in volcanic area, *Geophysics* **62**, 1087-1096.
- Başokur, A. T., 1999a, Properties of the magnetotelluric frequency-normalised impedance function over a layered medium, *Journal of the Balkan Geophysical Society* **2**, 63-74.
- Başokur, A. T. 1999b, Automated 1-D interpretation of resistivity soundings by simultaneous use of the direct method and iterative methods, *Geophysical Prospecting* **47**, 149-177.
- Başokur, A. T., 2002, Doğrusal ve Doğrusal Olmayan Problemlerin Ters-Çözümü, TMMOB Jeofizik Mühendisleri Odası, 166 sayfa. ISBN 975-395-505-7.
- Başokur, A. T., 2003, Maden aramalarında elektrik ve elektromanyetik yöntemler, E-kitap (<http://geop.eng.ankara.edu.tr>), 40 sayfa.
- Başokur, A. T. and Candansayar, M. E. 2003. Enhancing VLF data for qualitative interpretation: An example of massive chalcopyrite exploration. *Leading Edge*. Vol. **22**, p. 568-570.
- Başokur, A. T., 2008. Manyetotellürik Yöntemde Temel Kavramlar. (<http://geop.ankara.eng.ankara.edu.tr>). 87 sayfa.
- Burçak, M., Kaya, C., Kılıç, A. R. ve Akdoğan, N., 2005, Exploration of the Heat Source and Geothermal Possibilities of the Aksaray Region, Central Anatolia, Turkey, *Proceedings World Geothermal Congress 2005 Antalya, Turkey*, 24-29 April 2005.
- Cagniard L. 1953. Basic theory of magnetotelluric of geophysical prospecting, *Geophysics*. Vol.18, p. 605-635.
- Fitterman, D. V. and Stewart, M. T., Transient electromagnetic sounding for groundwater, *Geophysics* **51**, 995-1005, 1986.
- Groom, R. W. and Bailey, R. C., Decomposition of the magnetotelluric impedance tensor in the presence of local three-dimensional galvanic distortion, *Journal of Geophysical Research* **94**, 1913-1925, 1989.
- Kaya, C. ve Başokur, A. T., 2007, Aliğa Jeotermal Sahasının Manyetotellürik Yöntemle Araştırılması, TMMOB Jeotermal Kongresi, 21-24 Kasım 2007, Ankara, 231-247.
- Meju, M.A., Joint inversion of TEM and distorted MT sounding: Some effective practical considerations. *Geophysics* **61** 56-65, 1996.
- Porstendorfer, G., 1975, *Principles of Magneto-telluric Prospecting*, Geoexploration

- Monographs, Gebrüder Borntraeger, Berlin. 118 pp.
- Santos, F. A. M., Afonso, A. R. A. 1 and Dupis, A., 2007, 2D joint inversion of dc and scalar audio-magnetotelluric data in the evaluation of low enthalpy geothermal fields, *J. Geophys. Eng.*, 4, 53–62.
- Sen, P. N., Goode, P. A. and Sibbit, A., 1988, Electrical conduction in clay bearing sandstones at low and high salinities, *J. Appl. Phys* 63, 4832–40
- Spies B.R., 1989, Depth of investigation in electromagnetic sounding methods, *Geophysics* 54, 872-888.
- Spies B.R. and Eggers D.E., 1986, The use and misuse of apparent resistivity in electromagnetic methods, *Geophysics* 51, 1462-1471.
- Sternberg, B. K., J. C. Washburne and L. Pellerin, Correction for the static shift in magnetotelluric using transient electromagnetic soundings, *Geophysics*, 53, 1459-1468, 1988.
- Szarka L. and Zhang, D., 2003, Correlation between alternative magnetotelluric response functions and 3-D model parameters, EAGE 65th Conference & Exhibition — Stavanger, Norway, 2 - 5 June, Presentation Number F19.
- Szarka L., Adam, A. and Menvielle, M., 2005, A field test of imaging properties of rotational invariants of the magnetotelluric impedance tensor, *Geophysical Prospecting*, 53, 325-334.
- Wannamaker, P. E., Rose, P. E., Doerner, W. M., McCulloch, J. and Nurse, K., 2005, Magnetotelluric Surveying and Monitoring at the Coso Geothermal Area, California, in Support of the Enhanced Geothermal Systems Concept: Survey Parameters, Initial Results Proceedings World Geothermal Congress 2005, Antalya, Turkey, 24-29 April 2005.
- Waxman, M. H. and Smits, L. J. M., 1968, Electrical conductivities in oil-bearing shaly sands, *Soc. Pet. Eng. J.*, 8, 107–122.



## Kütahya-Simav Jeotermal Sahasında Yapılan Jeoelektrik Çalışmalar

Ayhan KESKİNSEZER\*, Günay BEYHAN\*, Can KARAVUL\*, Muharrem AKÇORA\*\*

\*Sakarya Üniversitesi, Müh. Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, 54187, Adapazarı, Sakarya

\*\*Sakarya Üniversitesi, Fen Bil. Enstitüsü, Jeofizik Müh. E.A.B.D., 54187, Adapazarı, Sakarya

[ayhank@sakarya.edu.tr](mailto:ayhank@sakarya.edu.tr)

### ÖZ

Çalışma sahasında; Budağan kireçtaşı, Simav Metamorfiklerine ait mermerler, Taşbaşı Formasyonu'nun kaba kırıntılı seviyeleri, Naşa Bazaltı, Toklar gölü-Eynal Formasyonu'nun çakıllı kumlu düzeyleri ile fay zonlarında geçirimsizlik kazanmış birimlerin, jeotermal sistemin rezervuar kayalarını oluşturmaktadır. Ayrıca sahada Paleozoyik öncesi, Paleozoyik, Mesozoyik ve Senozoyik yaşlı birimler mevcuttur. Sahanın topografyası bölgenin horst-graben sisteminin sonucu oluşan morfolojik özelliklere sahiptir.

Bu çalışmada, Kütahya-Simav jeotermal sahasında sıcak su hazne kayacını tespit etmek amacıyla rezistivite yöntemi ile elde edilen eş rezistivite haritaları değerlendirilerek yorumlanmıştır. Bu eş rezistivite haritalarında, 15 ohm-m - 10 ohm-m ve daha düşük konturlarla sınırlanan alanlar tespit edilmiştir. Ayrıca önceki yıllarda bölgede MTA'nın açmış olduğu sondaj çalışmalarından da yararlanılmıştır.

### 1. GİRİŞ

Jeotermal alanların jeofizik yöntemler kullanılarak araştırılmasında özellikle jeoelektrik yöntemler, dünyanın birçok yerinde başarı ile kullanılmaktadır. Bu amaçla ilk çalışmalar 1950'li yıllarda İtalya'da başlanmıştır. Bu çalışmalarda düşük öz dirençli örtü kayası ve altındaki yüksek öz dirençli hazne kayası için öz direnç haritaları çıkartılmıştır. Haritaların yorumlanması ile kireçtaşı hazne kayasındaki faylar ve doğal buhar zonları büyük bir yakınlıkla bulunmuştur. Yeni Zelanda'da Taupo volkanik zonunda jeotermal alanların sınırı Wenner elektrik sondajlarından yararlanılarak çizilmiştir. Türkiye'de Tezcan (1971) ve Demirören (1971) Schlumberger metodu ile yapılan düşey elektrik sondajlarından yararlanarak jeotermal alanları haritalanmıştır. Zohdy (1978) ise Mud Volcano jeotermal alanında öz direnç, doğal gerilim (SP) ve etkisel kutuplaşma (IP) yöntemleri yardımıyla buhar zonlarını tespit etmişlerdir.

Jeotermal sistemler genelde iki tip olarak görülür. Bunlardan ilki sıcak su sistemleri ikincisi ise buharın hakim olduğu sistemdir. Geysir, Kaliforniya; Larderello, İtalya; Mud Volcano, Yellowstone National Park, Amerika ve Buharkent, Denizli buharın hakim olduğu sistemlere örnektir. Jeokimyasal olarak, buharın hakim olduğu yakın kuyu ve kaynaklardan alınan örnekler sülfat anyonlarının yüksek konsantrasyonu ve kloritin alçak konsantrasyonu (<20 ppm) ile karakterize edilir. Sülfatı zengin kaynak sularının pH değeri düşüktür. İnceleme alanındaki sıcak

suların birçoğu sodyumlu, potasyumlu, bikarbonatlı, sülfatlı sular sınıfına girmektedir.

Çalışma alanı Ege Bölgesinin İç Ege bölümünün kuzey kesiminde Kütahya ili sınırları içerisinde yer almakta olup, bu çalışma Özen (1998) tarafından Simav ve çevresinde ölçülen rezistivite ölçülerinin değerlendirilmesi ve yorumlaması şeklinde yapılmıştır. Burada amaç arazide ölçülen rezistivite haritaları yardımıyla bölgede yer alan graben sisteminin derinliklerini ve örtü kaya kalınlığının saptanması, jeotermal sistemin ve rezervuar kayanın yerini ve yayılımını belirlenmesidir.

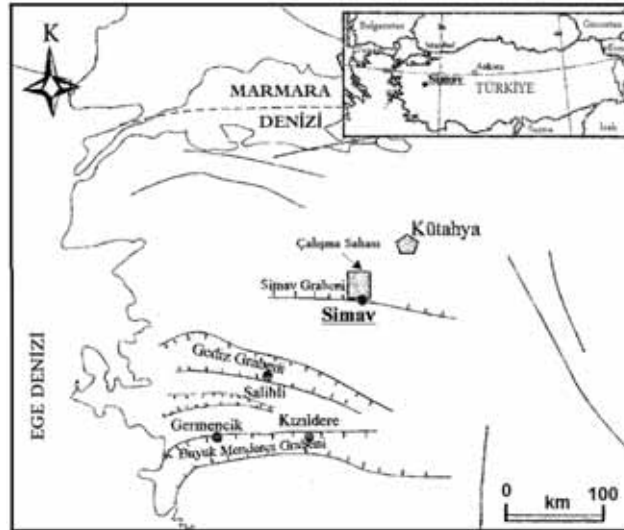
55 km<sup>2</sup>'lik alanda Schlumberger elektrot dizilimiyle yapılan ve grabene ilişkin olarak elde edilen eş rezistivite haritalarında, 15 ohm-m-10 ohm-m ve daha düşük konturlarla sınırlanan alanlar bulunmuştur.

Önceki yıllarda Simav Grabeni içerisinde Eynal Jeotermal alanında MTA tarafından 11, Çitgöl Jeotermal alanında 1, Naşa Jeotermal alanında 2 adet sondaj açılmıştır. Ayrıca Naşa jeotermal alanın kuzeyinde de D.S.İ. tarafından derinlikleri 60 m. ile 120 m. olan iki adet sıcak su sondajı açılmıştır.

Çalışma sahasında Paleozoyik öncesi, Paleozoyik, Mesozoyik ve Senozoyik yaşlı birimler yer almaktadır.

## 2. JEOLojİ

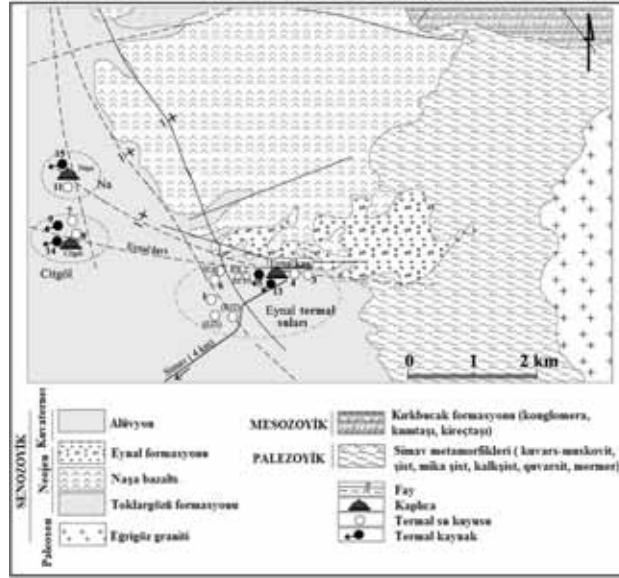
Çalışma sahasında yaygın ve oldukça kalın bir sedimantasyonun bulunması; hazne kaya, örtü kaya ve ısıtıcı kaya olabilecek seviyelerin varlığı ve sahanın yapısal konumu; 98°C'ye varan sıcak su kaynaklarının bulunması bölgeyi jeotermal enerji açısından olumlu kıldığından geçmiş yıllardan beri, Simav jeotermal alanında değişik araştırmalar yapılmıştır. Batı Anadolu'nun Tektonik Haritası ve çalışma sahasının lokasyonu Şekil-1'de, bölgenin jeolojik haritası ise Şekil-2'de gösterilmiştir. Ayrıca Şekil-3'te de çalışma sahasının çevresinden alınmış bir jeolojik kesit gösterilmektedir.



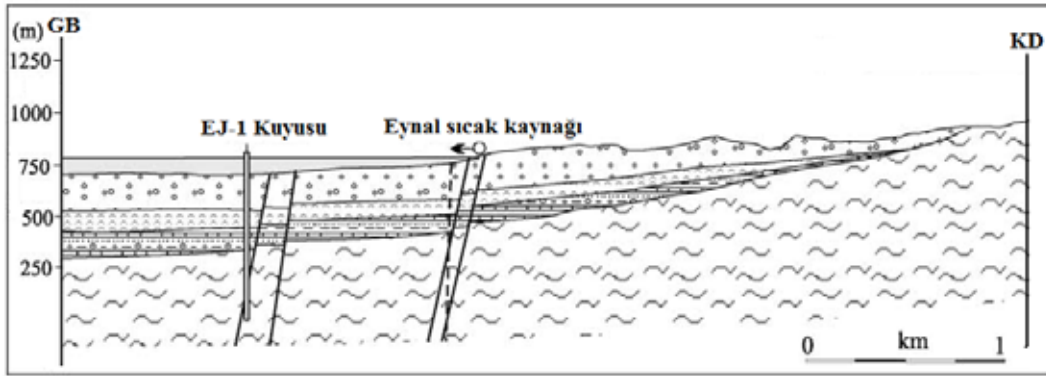
Şekil-1. Batı Anadolu'nun Tektonik Haritası ve Çalışma sahasının lokasyonu (Gemici ve Tarcan, 2002'den değiştirilerek)



Menderes masifinin çekirdeği olarak kabul edilen kayalar Prekambriyen'de çökelmiş killi, pelitik sedimanlar olup Hersiniyen öncesi bir metamorfizma ile migmatitleşmişlerdir. Almandin-amfibolit fasiyesindeki bu çekirdek kayalarını olası bir aşınma düzlemiyle üzerleyen yeşil şist fasiyesindeki, örtü şistleri aynı derecede metamorfizma etkileri taşıyan bazik ve ultrabazik kayaları merceksel olarak bulundurlar. Yeşil şist fasiyesindeki metamorfizmanın yaşı Hersiniyendir (Akdeniz ve Konak, 1979).



Şekil-2. Bölgenin jeolojik haritası (MTA,1996'dan değiştirilerek)



Şekil-3. Çalışma alanının çevresinden alınmış bir jeolojik kesit (MTA,1996'dan değiştirilerek)

Metamorfik seriler üzerine açılmal bir uyumsuzlukla gelen Mesozoyik, Triyas'tan Üst Kretase'ye kadar transgressif aşma gösteren komprehensif bir seridir ve Triyas ile Alt Jura'da detritik karbonat yanal geçişi, Üst Jura-Alt Kretase'de karbonat ile temsil edilir. İnceleme alanı ve çevresinde Üst Kretase üç farklı fasiyeste kaya birimleri kapsar. Şelf, miyojeosenklinal

ve öjeosenklinal fasiyeslerindeki kaya birimleri birbirlerini tektonik dokanaklarla üstlerler. Laromiyen orojenezi ile Permiyen ve Üst Triyas yaşında kireçtaşı blokları içeren İmranlar formasyonu (jeotermal alanda yüzeylememektedir) melanjlle birlikte güneye doğru itilerek Budağan kireçtaşı üzerine sürüklenmiştir. Melanjın çalışma sahasındaki yerleşimi Maestrihtiyen-Eosen arasında tamamlanmıştır.

Tersiyer başlarında bölgede granit yükselimleri olmuş, güneydeki Menderes masifinin yükselmesi sonucu Simav grabeninin kırık sistemi yerleşmiştir. Geniş temel dağ kütleleri ile birbirlerinden ayrılmış veya sınırlı ilişkili topografya ve yapı çukurlarında karasal Neojen çökelleri depolanmıştır. Miyosen'de gelişen volkanizma çökellerle yanal geçişlidir.

Kuvaterner'de bugünkü morfolojisini kazanmaya başlayan çalışma sahasında masifin yükselimi devam etmiş, yer değiştiren nehirlerin eski yataklarında kaba klastikler birikmiş, graben fayları boyunca yükselen bazaltik lavlar bu klastikler üzerine yayılmıştır. Miyosen öncesi başlayan epirojenik hareketle eylemlerini günümüzde de sürdürmektedirler. Çalışma alanında Paleozoyik, Mesozoyik ve Senozoyik yaşlı birimler mevcuttur.

## 2.1. PALEOZOYİK ÖNCESİ VE PALEOZOYİK

Çalışma sahasında geniş yayılım gösteren metamorfik kayalar yeşil şist ve almandin-amfibolit fasiyesindedirler.

Bölgede Kalkan formasyonu; koyu ve açık renkli minerallerin ayrışması sonucu oluşmuş bantlı, damarlı, kıvrımcıklı görünümdeki migmatitler ve bunlarla geçişli biyotit gnays, bantlı-gözlü gnayslar içermektedir. Kalkan formasyonu Eğrigöz granitinin güney sınırında, Simav grabeninin güneyindeki Simav Dağında, Demirci batısında ve Kayranlı Tepe'de, Kalkan Köyü dolayında, çalışma alanının güneyinde geniş yayılımlar gösterir. Formasyon; koyu ve açık renkli minerallerin ayrışması sonucu oluşmuş bantlı, damarlı, kıvrımcıklı görünümdeki migmatitler ve bunlarla geçişli biyotit gnays, bantlı-gözlü gnayslar içermektedir.

Simav metamorfite; grimsi kahverengi kuvarsit, kuvars-muskovit şist, kuvars-muskovit-klorit şist, biyotitli granat şistlerden oluşan Simav metamorfite yanal ve düşey, geçişler sunarlar. Birimin tabanını oluşturan kuvars-muskovit şistler, kirli beyaz-sarımsı renkte, iki yönde gelişmiş eklemli, kaba yapraklanmak olup büyük muskovit pulları içermektedir. Namazlar Tepe güneyinde biyotit-muskovit-klorit şistler gözlenmektedir.

Balıkbaşı formasyonunda; kireçtaşı; sert, kırılabilir, yer yer dolomitleşmiştir. Kırıldığında çürük yumurta kokusu çıkaran iki yönde gelişmiş eklemli, laminalanmaya paralel yarılmalıdır. Yersel kuvvetli gelişmiş kaya dilimleri gösterir. Orta-kalın katlanmalı, çoğun kıvrımcıklıdır. Ölçülebilen kıvrımcıklar K-G eksenlidir ve Madentekkesi Tepe'de doğuya devriktirler. Kireçtaşı Esederede detritik kökenli ince şist mercikleri içerir.

Sarıcasu formasyonunda ise Kuvarsit, kuvars-albit serisit şistlerden oluşan mercikler halinde kristalize kireçtaşı bantları da yer almaktadır. Birimde dilimlenme oldukça iyi gelişmiş olup bu kesimler yer yer bazik tüf ve lav katkıları ile doldurulmuştur.

Arıkaya formasyonu; beyaz, kirli beyaz, gri renkli; eklemli, kalın katmanlı, breşik dokulu, kristalize nitelikli kireçtaşlarından oluşan formasyon, Simav Dağı yükselimi üzerinde, Damkırı Tepe, Dumlu Tepe ve Kurt Tepe'de izlenmektedir. Karstik boşluklar içermesi ve topografyası ile tipiktir. İki yönde gelişmiş eklem sistemi ile kırıklı yapıdadır.

## 2.2. MESOZOYİK

Metamorfik seriler üzerine açılmal bir uyumsuzlukla gelen Mesozoyik, Triyas'tan Üst Kretase'ye kadar transgressif aşma gösteren komprehensif bir seridir ve Triyas ile Alt Jura'da detritik karbonat yanıl geçişi, Üst Jura-Alt Kretase'de karbonat ile temsil edilir. İnceleme alanında Üst Kretase üç farklı fasiyeste kaya birimleri kapsar. Şelf, miyojeosenklinal ve öjeosenklinal fasiyeslerindeki kaya birimleri birbirlerini tektonik dokanaklarla üstlerler.

Laramiyen orojenezi ile Permiyen ve Üst Triyas yaşında kireçtaşı blokları içeren çalışma sahasının dışında Budağan Dağı kuzeydoğusunda mostra veren İmranlar formasyonu melanjla birlikte güneye doğru itilerek Budağan kireçtaşı üzerine sürüklenmiştir. Melanjın çalışma sahasındaki yerleşimi Maestrihtiyen-Eosen arasında tamamlanmıştır.

## 2.3. SENOZOYİK

Çalışma alanındaki Tersiyer kayaları; Eğriğöz graniti, Neojen yaşındaki çökel kayalar ve volkanik kayalardır. Karasal, fasiyesler de gözlenen Neojen çökelleri geniş temel dağ kütleleri ile birbirinden ayrılmış veya sınırlı ilişkili Neojen öncesi topografya ve yapısal çukurluklarda çökelmişlerdir. Küçük çökelim çanaklarının uzanımı temel dağ kütlelerinin uzanımına bağlıdır. Yersel fasiyes farklılıkları gösteren Neojen-Miyosen yaşındaki konglomera-kumtaşı (Taşbaşı formasyonu), marn-killi kireçtaşı ardalanması (Kızılbük formasyonu), tuf-aglomera (Civandağ tüfleri), volkanik kayalarından (Akdağ volkanitleri) oluşur.

## 2.4. METAMORFİZMA

Yeşil Şist Fasiyesi, Bölgesel metamorfizmanın düşük sıcaklıkta oluşan kısmıdır. Yükselen sıcaklık koşulları altında yeşil şist fasiyesindeki pelitik kayalarda üç alt fasiyes oluşur.

1. Kuvars-albit-muskovit-klorit alt fasiyesi;
2. Kuvars-albit-epidot-biyotit alt fasiyesi;
3. Kuvars-albit-epidot-almandin alt fasiyesi.

Çalışma sahasında Kırkbudak formasyonu dışındaki Tersiyer öncesi formasyonların tümü ile dokanakta olan Eğriğöz graniti bu formasyonlarda dokanak metamorfizması etkileri yapmışsa da devamlılık gösteren dokanak metamorfizma zonları oluşturmamıştır.

## 2.5. YAPISAL JEOLJİ

Çeşitli evrelerde gelişen yapısal deformasyonların listelenmesi, bunlara karşın farklı davranış gösteren litolojilerin bulunması, çalışma sahasında karışık bir yapının oluşmasına neden olmuştur. En az üç orojenik hareketin etkisinde kaldığı var sayılan Menderes masifi son yapısal deformasyonlar karşısında rijid olduğu için kıvrımlanamamış, jeodinamik dengeyi sağlayan epirojenik hareketlerle birçok yerinden kırılarak parçalanmıştır. Laramiyen'de gelişen sıkıştırma kuvvetlerinin neden olduğu hacimsel daralma ile kapanan öjeosenklinalin çökelleri üzerine bindirerek kıvrımlı, ekaylı yapılar kazanmışlardır. Şiddetli kıvrımlanmalar granitik intrüzyonların yerleşimini sağlarken masifin kırılmasıyla oluşan faylarda volkanizmanın yaygınlığını etkilemiştir (Akdeniz ve Konak, 1979).

## 2.6. JEOMORFOLOJİ

Simav Grabeninde genç tektoniğe bağlı morfolojik gelişmeler, özellikle dört ayrı dönemde oluştuğu aşınım yüzeyleriyle temsil edilmektedir. Kuvaterner içi tektonik hareketlerin

varlığı, görsel ve akarsu sekilerinin şekillenmesiyle açıklanmıştır. Daha genç morfolojik birimler, alüvyon yelpazeleri, birikinti konileri, yamaç molozları, düşey tektonik hareketlerin etkin olduğunu gösteren yer şekilleridir.

### 3. SONDAJ ÇALIŞMALARI

Önceki yıllarda Simav Grabeni içerisinde Eynal Jeotermal alanında MTA tarafından 11, Çitgöl Jeotermal alanında 1, Naşa Jeotermal alanında 2 adet sondaj açılmıştır. Naşa jeotermal alanın kuzeyinde D.S.İ. tarafından derinlikleri 60 m. ile 120 m. olan iki adet sıcak su sondajı da açılmıştır.

Çitgöl ve Naşa kaplıcaları civarında özel şahıslar tarafından açılan kuyuların sıcaklıkları 55°C-87°C arasında değişmektedir.

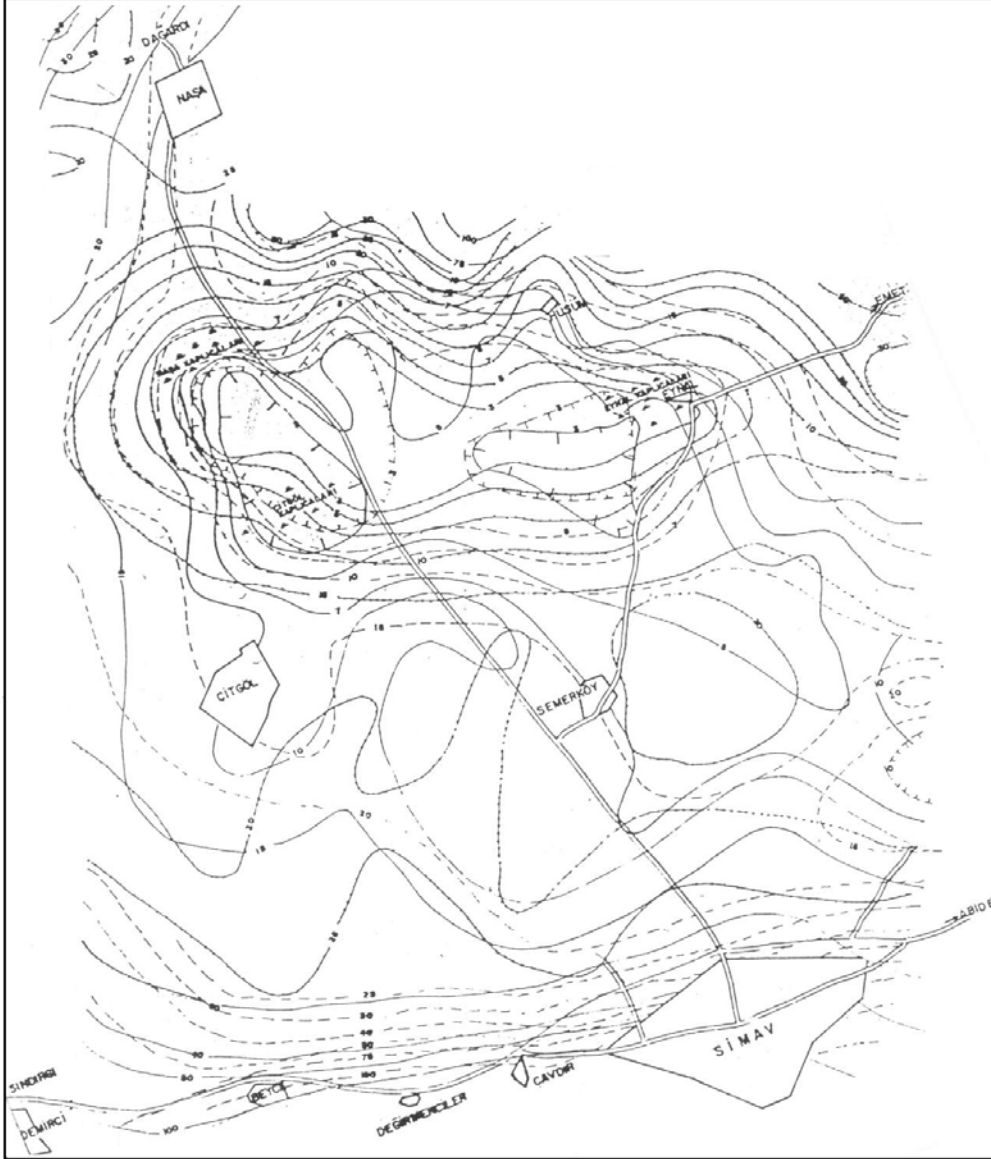
### 4. JEOFİZİK ÇALIŞMALAR VE ÖLÇÜLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu çalışma; graben derinliklerindeki yapıyı ortaya çıkarmak, örtü kalınlığını saptamak, jeotermal sistemin ve rezervuar kayanın yerini ve yayılımını belirlemek amacıyla yapılmıştır. 55 km<sup>2</sup> lik alanda Schlumberger elektrot dizilimiyle yapılan ve grabene ilişkin olarak elde edilen eş rezistivite haritalarında, 15 ohm-m-10 ohm-m ve daha düşük konturlarla sınırlanan alanların bulunması dikkat çekicidir.

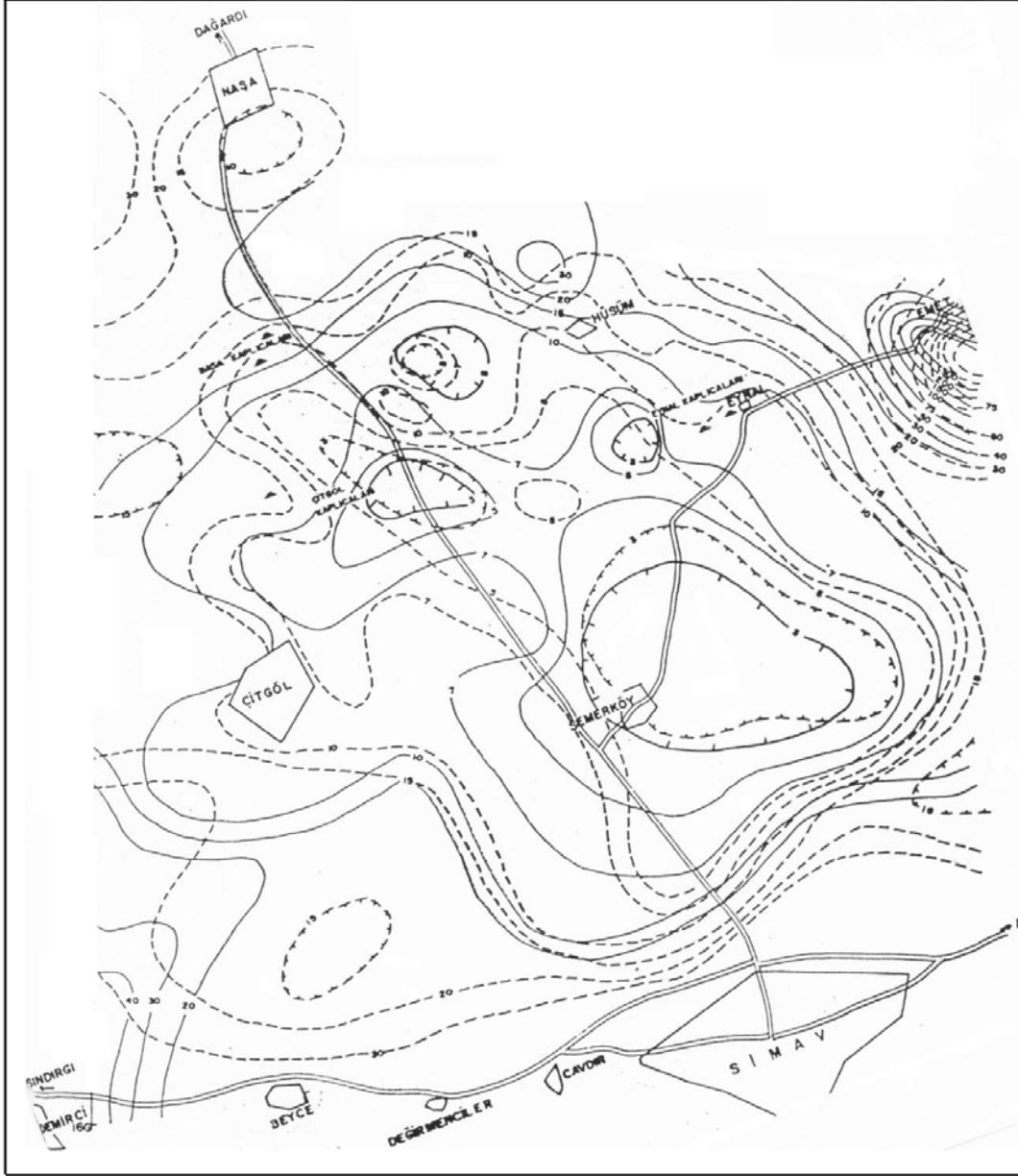
AB/2=200 m haritasında 10 ohm-m ve daha düşük değerli konturlar Eynal-Çitgöl ve Naşa jeotermal alanlarını kapsayacak şekilde geniş bir yayılım göstermekte, AB/2-300 m eş rezistivite haritasında 3 ohm-m konturu Eynal jeotermal iki ayrı kapanım yapmaktadır (Şekil-4). AB/2-500 m haritasında 3 ohm-m, 5 ohm-m; 7 ohm-m, 10 ohm-m konturları güneye doğru kaymakta, Yeşilova yakınlarına kadar uzanmaktadır. /2-750 m ve AB/2-1000 m haritalarında güneye ve batıya doğru genişleme devam etmektedir (Şekil-5).

Taban derinlik haritasına göre Paleozoyik öncesi yaşlı metamorfiklerle (Kalkan Formasyonu) karşılaştırılması gereken taban kayacın derinliği graben güneyinde, Yeşilova dolaylarında artmaktadır. Temel kayanın en yüksek ve en derin seviyeleri arasındaki farkın 1000 m dolayında olduğu belirtilmektedir (Şekil-6).

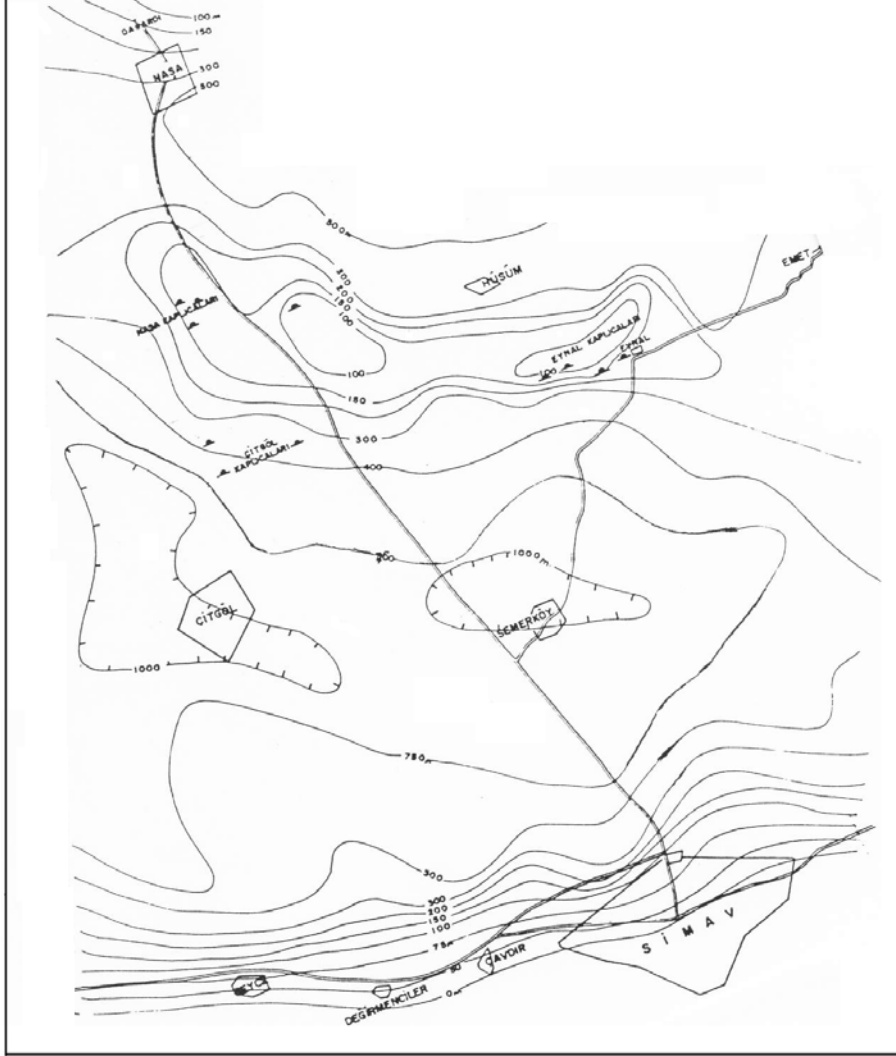
Burada jeotermal rezervuar kayanın göstergesi olabilecek 10 ohm-m, 15 ohm- m'den daha düşük rezistiviteli zonlar açık bir şekilde göze çarpmakta ve yaklaşık 12 km<sup>2</sup> lik alanı kapladığı görülmektedir. Bu düşük rezistivite değerine sahip anomaliler, yeraltında depolanmış jeotermal akışkandan kaynaklanmakta olup horst-graben fay sistemleriyle de yakından ilgili olduğu anlaşılmaktadır. Bütün bu bulgular jeotermal sahanın varlığını ve yeraltındaki durumlarını bize yansıtmaktadır.



Şekil-4. Simav–Eynal–Çitgöl–Naşa jeotermal alanları rezistivite haritası (AB/2=200m., AB/2=300m., AB/2=500m. için eş rezistivite haritaları) (Özen, 1988’den değiştirilerek).



Şekil-5. Simav-Eynal-Çitgöl-Naşa jeotermal alanları rezistivite haritası ( $AB/2=750m.$ , ve  $AB/2=1000m.$  için eş rezistivite haritaları) (Özen, 1988'den değiştirilerek).



Şekil-6. Simav-Eynal-Çitgöl-Naşa jeotermal alanları taban derinlik haritası (Özen, 1988'den değiştirilerek).

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Simav Jeotermal Alanı; sıcaklıkları 98°C'ye varan sıcak su kaynakları, MTA tarafından açılan jeotermal araştırma ve üretim sondajları, genç volkanik faaliyetler ile hazne kaya, örtü kaya ve yapısal konum ilişkileri yönünden Türkiye'nin en önemli jeotermal alanlarından biridir.

İnceleme alanında Paleozoyik öncesi, Paleozoyik, Mesozoyik ve Senozoyik yaşlı birimler mevcuttur.

Bölgede Budağan kireçtaşı, Simav Metamorfitlerine ait mermerler, Taşbaşı Formasyonu'nun kaba kırıntılı seviyeleri, Naşa Bazaltı, Toklargözü-Eynal Formasyonu'nun çakıllı kumlu düzeyleri ile fay zonlarında geçirimsizlik kazanmış birimlerin, jeotermal sistemin rezervuar kayalarını oluşturmakta olup rezervuar nitelikli birimlerin, faylarla dokanak halindedir.

Metamorfitleerin şistli seviyeleri, Kızılbük Formasyonu'nun killi seviyeleri, Civanadağ tüfleri ile Toklargoğlu-Eynal Formasyonu'nun göl fasiyesli killi birimlerinin, jeotermal sistemin örtü kayalarını oluşturduğu görülmüştür.

İnceleme alanında sıcak su kaynaklarının varlığı ve genç volkanik faaliyetlerin bulunması, ısıtıcı varlığını da ortaya koymaktadır.

Derinlere inen faylar nedeniyle graben sistemi, ısının jeotermal akışkanlar yoluyla rezervuarlara taşınmasını sağlayan önemli faktördür.

Bölgede Paleosen sokulum yaşlı Eğrigöz graniti ile başlayıp, Orta-Üst Miyosen yaşlı Civanadağ tüfleri ve Akdağ volkanitleri ile devam eden, Naşa bazaltlarıyla son bulan, uzun bir jeolojik zaman periyodunda etkinlik göstermiştir. Geniş yayımlı, büyük hacimli magmatizma ve volkanizmanın, jeotermal sistemin ısıtıcı odağı olabilecek bir magma stokuna sahip olduğu düşünülmektedir.

Simav-Eynal-Çitgöl-Naşa jeotermal alanında sistem doğudan batıya doğru soğumakta olup, soğuyan kısımdan jeotermal potansiyel beklenmemelidir. Yeni potansiyel alanlar olarak Yeşilova-Çitköy-Çitgöl kaplıcaları arasında kalan kısım jeotermal açılarından olumlu görülmektedir.

Jeotermal sahanın sınırlarının belirlenebilmesi için rezistivite ölçümleri ve değerlendirilmesi olumlu sonuçlar vermiştir ancak sahanın batısında ve güneyinde araştırma sondajları yapılmalıdır. Jeotermal sahaların potansiyelinin net olarak ortaya konulabilmesi ancak üretim sondajları açıldıktan sonra gerekli testlerin yapılmasıyla sonuçlanır.

Bütün bu çalışmalar, görünür özdirenç haritalarının sıcak su aramalarının daha sağlıklı, hızlı ve çok ucuz, başarılı bir biçimde yapılabileceğini ve gereksiz yatırımlardan kaçınılabileceğini ortaya koymuştur.

Jeotermal sahaların tespitine yönelik kullanılan jeofizik yöntemlerden diğer elektrik yöntemler yani IP ve SP ölçmeleri bölgede yaygınlaştırılmalıdır. Ayrıca çalışmalar geniş alanları kapsayacak ise mutlaka manyetik ölçülerden de faydalanılmalıdır. Jeotermal sahaların etüdünde uygulanacak jeofizik yöntemlerin çeşitliliği, değerlendirme ve yorumlama aşamalarında çok daha faydalı olacaktır.

#### **KAYNAKLAR**

- Akdeniz, N. ve Konak, N. 1979, Simav-Emet-Tavşanlı-Dursunbey-Demirci Yörelerinin Jeolojisi. MTA Rap. 6574, Ankara.
- Demirören, M. 1971, Çanakkale-Ayvacık-Tuzla Jeotermik Enerji Sahası Rezistivite Etüdü. 1. Jeotermal Enerji Sempozyumu, Ankara.
- Gemici, Ü. and Tarcan, G. 2002, Hydrogeochemistry of the Simav geothermal Field, western Anatolia, Turkey Journal of Volcanology and Geothermal Research 116, 215-233.
- MTA. 1996, Türkiye Jeotermal Envanteri, MTA Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Özen, N. 1988, Kütahya-Simav-Çitgöl-Naşa-Hüsüm-Eynal Alanları Jeotermal Enerji Aramaları Rezistivite Etüdü, MTA Rap. 8524, Ankara.
- Tezcan, A. K. 1971, Sarayköy – Kızıldere Jeotermal Enerji Sahasının Kuru Buhar Üretme İmkânı. Türkiye 1. Jeotermal Enerji Sempozyumu, Ankara.
- Zohdy, A.A.R. 1978, Total-field resistivity mapping and sounding over horizontally layered media (bipole-dipole geothermal) Geophysics 43, 748-766.



## **Menderes Grabeninde Jeofizik - Rezistivite Yöntemiyle Jeotermal Enerji Aramaları**

Altan İÇERLER<sup>(1)</sup>, Remzi BİLGİN<sup>(1)</sup>, Belgin ÇİRKİN<sup>(1)</sup>, Hamza KARAMAN<sup>(1)</sup>,  
Alper KIYAK<sup>(1)</sup>, Çetin KARAHAN<sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup> MTA Genel Müdürlüğü Jeofizik Etütleri Daire Başkanlığı

<sup>(2)</sup> MTA Genel Müdürlüğü Ege Bölge Müdürlüğü

[altan@mta.gov.tr](mailto:altan@mta.gov.tr)

### **ÖZ**

Menderes Grabeni alanı içinde doğu-batı yönlü uzanan fay sistemindeki jeotermal aktivitenin yerini, derinliğini ve haznekaya-temelkaya (elektriki temel) topografyasını belirlemek amacıyla Jeofizik-Jeoelektrik (rezistivite) etüdü yapılmıştır(şekil 1,2).

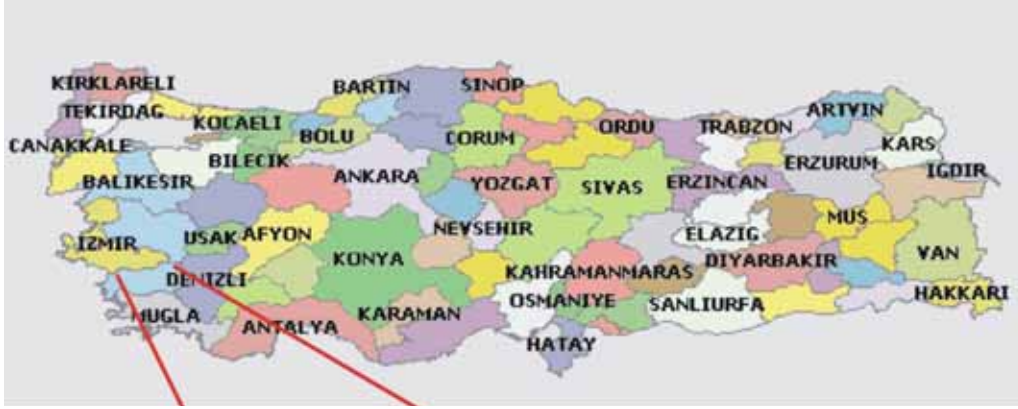
Önce, grabenin kuzey kanadı çalışılmış ve sıcak akışkandan olabileceğini düşündüğümüz DES (Düşey Elektrik Sondaj) eğrileri elde edilmiştir. Sahada 1250-1600m. derinliklerde yapılan mekanik sondajlardan 140-160 °C arasında değişen sıcak su rezervuarlarına rastlanılmıştır. Grabenin kuzey kanadında sıcak su kaynakları ve hidrotermal alterasyon verileri bulunmasına karşın, ortalama 8 km. güney kanadında ise, saha tamamen alüvyonla kaplı ve örtülüdür. Bu nedenle Jeotermal aktivite ile ilgili yüzey verileri elde edilememiştir. Bu zonda, daha sonra jeofizik-rezistivite etütleri yapılmış ve kuzey kanadındaki benzer karakterde DES eğrileri elde edilmiştir. Bu eğrilerin, Menderes grabeninin oluşumunda kuzey kanattan güneye doğru devam eden basamak fay sisteminin, diğer ifade ile Antitetik faylanmanın etkisiyle olabileceği düşünülmüştür. Grabenin güney kanadındaki sahada henüz mekanik sondaj yapılmadan ruhsat sahası özel bir şirkete ihale yolu ile devredilmiştir. Bu nedenle jeotermal ile ilgili kesin sonuçlar bilinmemektedir.

### **GİRİŞ**

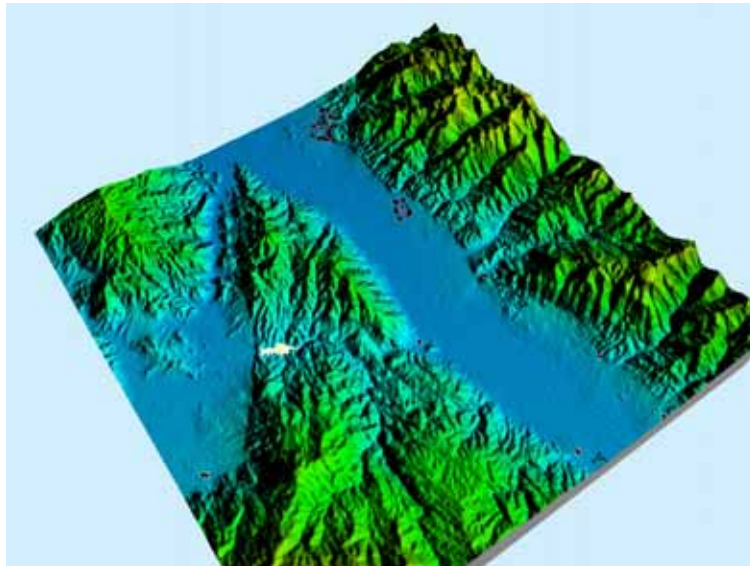
Ülkemizde jeotermal enerji aramalarına yönelik Jeoloji-Jeofizik-Sondaj gibi yöntemlerle araştırmalar yapılmıştır. Bu araştırmalardan çok olumlu sonuçlar alınarak enerji ihtiyacımıza katkı sağlanmıştır. Yenilenebilir enerji olması nedeniyle çok önemli olan bu kaynaktan, sıcaklığının derecesine göre elektrik enerjisi elde etmede, termal kaplıca oluşumunda, sera yapımında, kent ısıtmacılığında, tarımcılık gibi çeşitli alanlarda da yararlanılmaktadır. Bu nedenlerle de araştırmaların modern teknolojik donanımlı cihazlarla, planlı ve hızlı bir şekilde yapılmasında büyük yarar görülmektedir.

Bu sunumun amacı; grabenin kuzey kanadındaki jeotermal aktivitenin, jeofizik - rezistivite yöntemini uygulayarak, antitetik faylanma zonu olan güney kanadında da olabilirliğini araştırmaktır. Her iki kanadın havza aralığı tamamen alüvyonlarla kaplı, örtülü, geniş ve derindir (Karahan ve Bülbül, 2008). Aynı zamanda grabenin güney kanadında sıcak su

kaynakları ve hidrotermal alterasyon verileri olmaması nedeniyle jeofizik araştırması daha da çok önem kazanmıştır. Jeofizik - rezistivite veriler şekil 1’de belirtilen alanlarda toplanmıştır.



Şekil 1. Yer Bulduru Haritası ve Rezistivite Çalışma Alanları



Şekil 2. Çalışma Alanındaki Grabenin Uzaydan Görünümü

## JEOTERMAL ENERJİ

Jeofizik çalışmalarını anlatmadan önce jeotermal enerji ve sistemine değinmekte yarar vardır.

Jeotermal enerji, yer kabuğunun çeşitli derinliklerinde olağan dışı birikmiş ısının oluşturduğu bir enerji türüdür. Bu ısı yeryüzünde doğal olarak veya mekanik sondajlarla, sıcak su ve buhar şeklinde ulaşılır. Söz konusu jeotermal enerjinin varlığı dört ana etkene bağlı olduğu bilinmektedir.

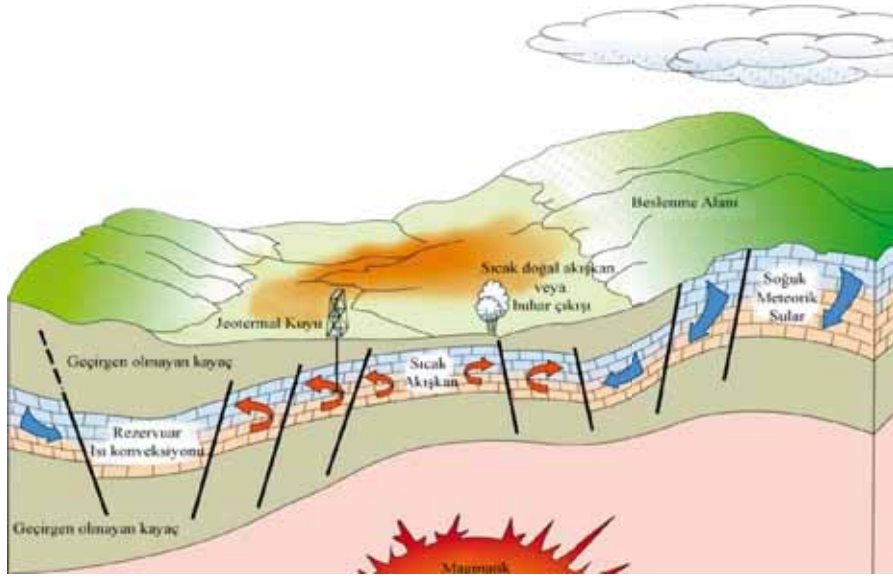
1-ISITICI (HEATER) :Magmatik kökenlidir. Çalıştığımız zonların bol kuvarslı silislerin olması bize ısıtıcının varlığını göstermektedir.

2- HAZNE KAYA (REZERVUAR):Bol Poroziteli ve Permabiliteye sahip jeotermal devamlılığı bulunan ve belli kalınlıktaki kayalardır. Kuvarsit,Gnays,Mermer vs bunun göstergesi olup çalışma sahamızda mevcuttur.

3-ÖRTÜ KAYA(CAP ROCK):En az ısı iletkenliği bulunan minimum porozite ve permabiliteye sahip ve en az 100m kalınlıktaki litolojilerdir. Pliyosen çökelleri olan çakıltaşı, kumtaşı, kiltası çökelleridir. Metamorfikler içindeki mikaşistlerde örtü kaya oluşturabilirler ve çalışma alanımızda mevcuttur.

4-BESLENME(FEEDİNG):Meteorik sular ve juvenil su katkılarıdır. Çalışılan jeotermal alanların düşük kotta olması önemli etkindir.

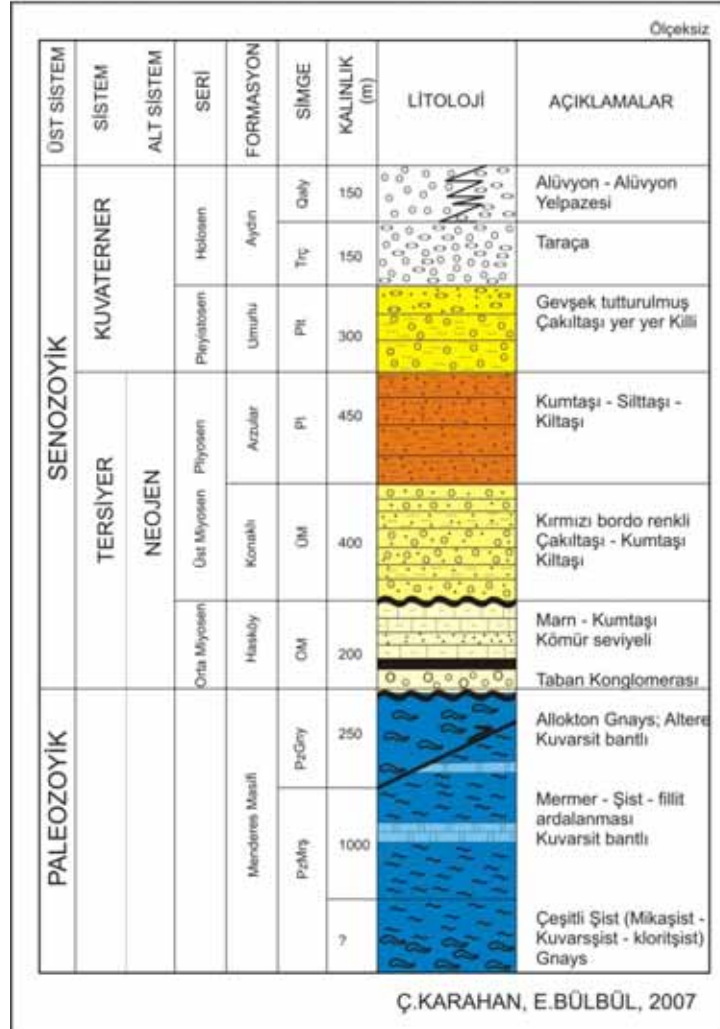
Çalışılan sahalarda yukarıda açıkladığımız koşulların mevcut olduğu görülmüş ve DES eğrilerinin değerlendirilmesi bu sisteme göre yapılmıştır.



Şekil 3. Jeotermal Enerji Oluşumunun Şematik Gösterilişi

## JEOLOJİ

Jeolojik yapı olarak en altta paleozoik yaşlı Menderes Masifi filit, gnays, şist, mermer,onun üzerinde Neojen yaşlı Miyosen, Pliyosen çökelleri (Kireçtaşları marn,kumtaşı, kil, siliktaşı, çakıltaşı) ve en üstte kuvaterner yaşlı alüvyonlar ve yamaç molozları gelmektedir (Karahan ve Bülbül, 2008).



Şekil 4. Çalışma Alanındaki Grabenin Jeolojik Kesiti

### JEOFİZİK-REZİSTİVİTE ÇALIŞMASI

Söz konusu sahadaki grabenin kuzey kanadında daha önce yapılan jeofizik - rezistivite etüdü sonucunda, sıcak aktiviteden ileri gelen karakteristik rezistivite (DES) eğrisi şekil 4 de görülmektedir (İçerler, 2008). Eğri, yüzeyde 800 ohm.m lik rezistivite değerinden itibaren 700m.ye kadar ortalama 30-40 ohm.m rezistivite değerli miyosen-pliosen olan örtü kayayı göstermektedir. Daha sonra, 750-800m. civarında fay zonunu göstermektedir. Bu zon, aynı zamanda temel kaya-hazne kayadır. Fay zonunun oluşturduğu ezik alterasyon nedeniyle ve sıcak akışkanlığın da etkisi ile rezistivite değeri, 1150- 1200m. civarında tekrar düşmekte (ortalama=15-20 ohm.m) ve 1200metreden sonra rezistivite değeri yükselerek (100-150 ohm.m) mermer şist, gnays, kuvarşist, kloritşist, mikaşist kayaçlarını içeren paleozoik yaşlı formasyon

ile deneştirdiğimiz elektriki temeli göstermektedir. Eğriden elde edilen verilerin, jeolojik bilgilerle beraber oluşturulan yorumlar sonucunda önerilen S1 ve S2 mekanik sondajları yapılmıştır. Sondajlarla ilgili bilgiler aşağıda belirtilmiştir (Karahan ve Bülbül, 2008).

S1 sondajında;

Temel kaya-hazne kaya =750-800m.(rezistivite eğrisine göre esas temel değildir).

Taban sıcaklık =145 °C

Debi =20 litre/saniye

Sondaj, esas temel derinliği olan1250m. ye kadar devam etmiştir.

S2 sondajında;

Temel kaya =950-1000m.

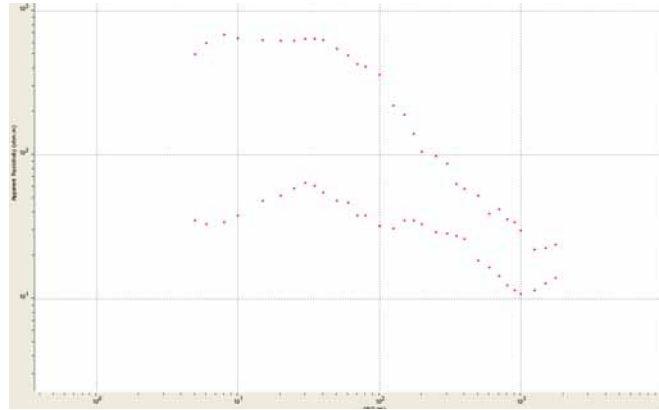
Taban sıcaklık =150 °C

Debi =25 litre/saniye

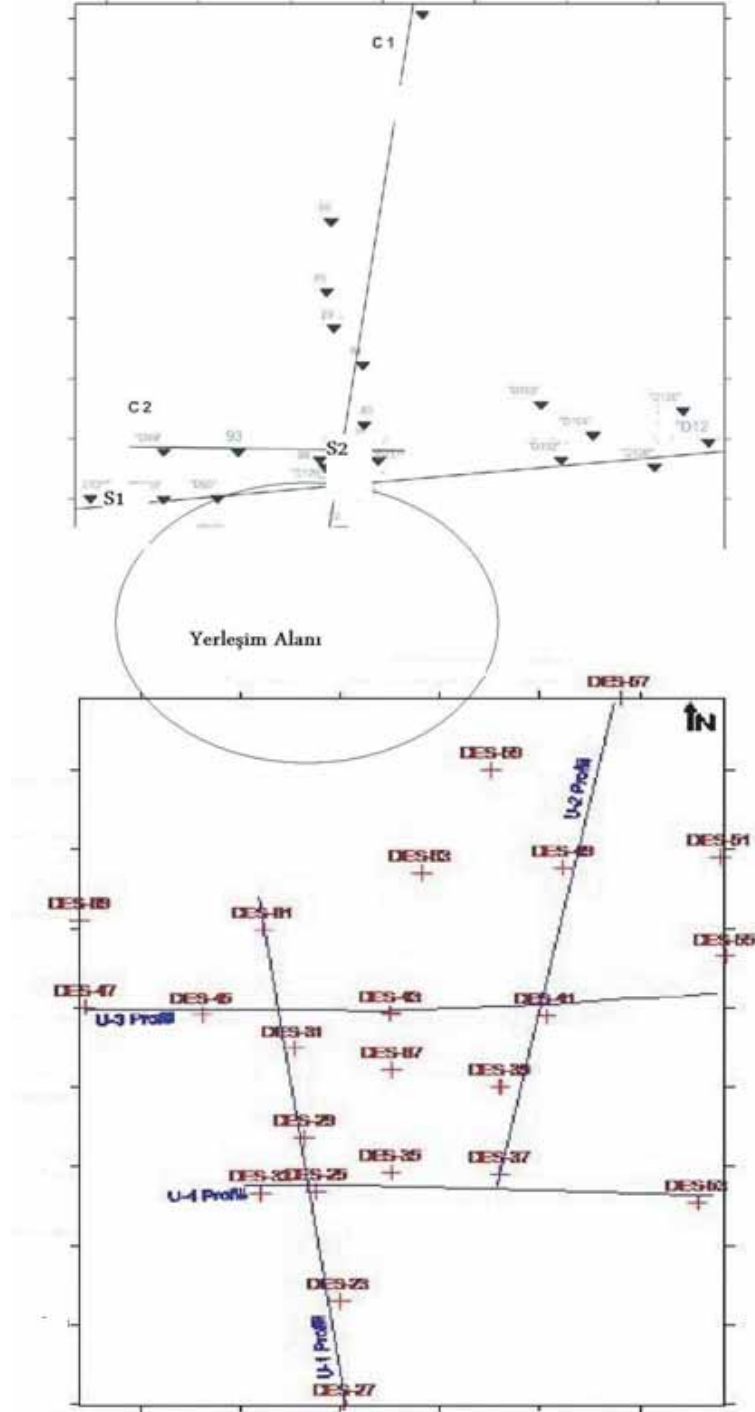
Sondaj 1600 m.ye kadar devam etmiştir.

Bu duruma göre; rezistivite eğrisinden yapılan yorumla, sondaj verilerinin uyum içerisinde olduğu görülmektedir.

Giriş bölümünde de belirttiğimiz gibi her iki kanadın havza aralığı geniş, derin ve alüvyonlarla örtülüdür (Karahan ve Bülbül, 2008). Grabenin kuzey kanadında görülen sıcak su kaynakları ve hidrotermal alterasyon, ortalama 8 km. güney kanadında görülmemektedir. Bu bilgiler ışığında, kuzeydeki çalışmalardan bir yıl sonra, grabenin güney kanadında yapılan jeofizik-rezistivite etüdünden elde edilen DES eğrisinin karakteri bir yıl önceki kuzey kanattaki DES eğrisine benzemektedir (Şekil 5). Her iki eğrinin üst üste çakıştırılmış biçimi de 200m.derinlikten sonra birbirine çok benzemektedir (Şekil 5). Kuzey kanattaki rezistivite eğrisinin hazne kaya-temel kaya bölümündeki düşük (30-40 ohm.m) rezistivite değerleri sıcak akışkanlıktan ileri gelmektedir.(Mekanik sondaj verilerine göre) Grabenin güney kanadındaki hazne kaya-temel kaya bölümündeki düşük (10-15 ohm.m.) rezistivite değerlerinin de sıcak akışkanlıktan olabileceğini söyleyebiliriz. Sıcak aktivitenin nedenini ise, Menderes grabeninin oluşumunda kuzey kanattan güneye doğru devam eden basamak fay sistemi olan antitetik faylanmanın etkisinden ileri geldiğini düşünmekteyiz. Her iki kanadın jeofizik profilleri ve önerilen S1 ve S2 mekanik sondaj lokasyonları koordinatsız olarak Şekil 3 de gösterilmiş ve ayrıca bu sondajların yakınında alınan rezistivite eğrileri Şekil 5 de verilmiştir.

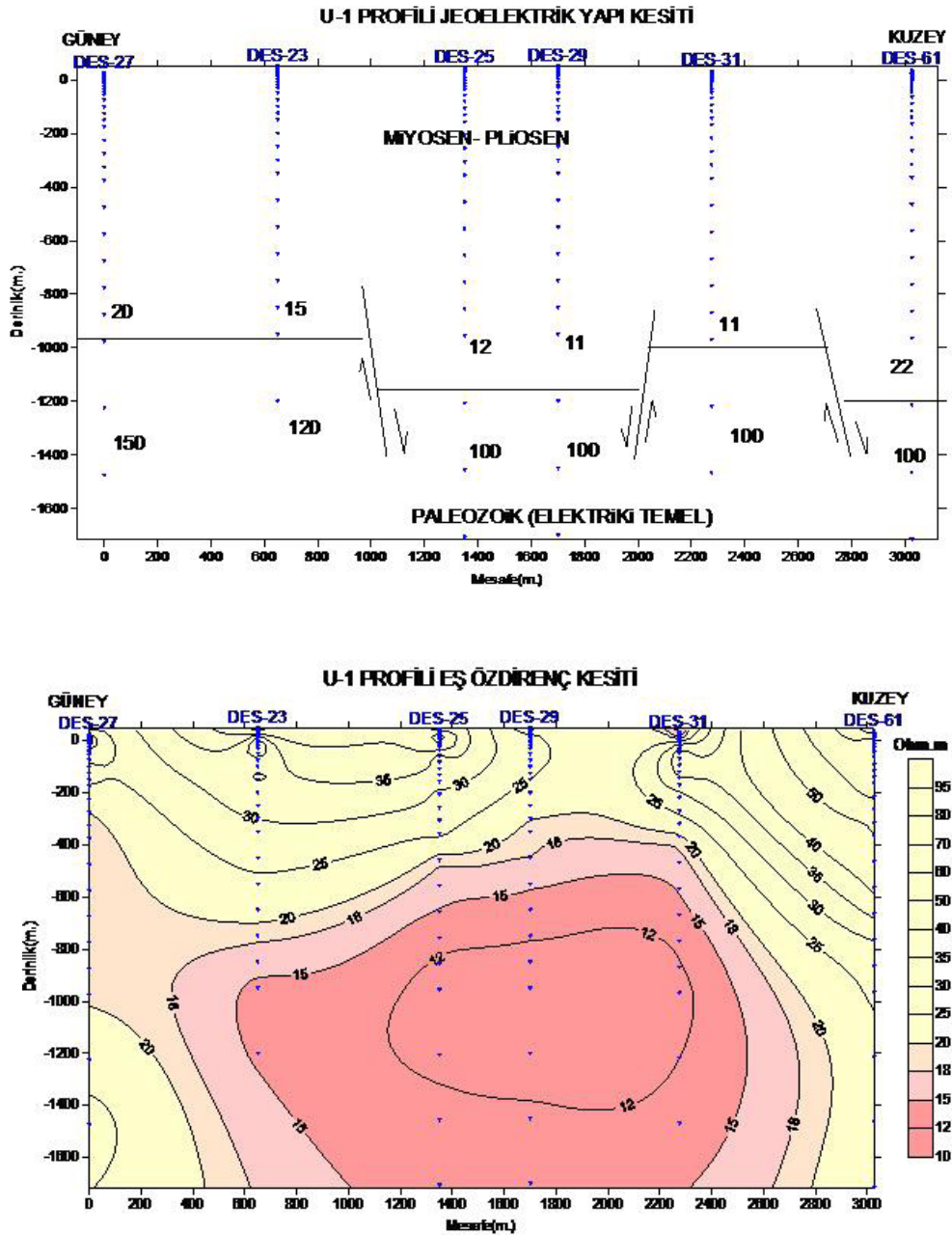


Şekil 5. S2 ve S1 mekanik sondajı yakınında alınan rezistivite eğrileri

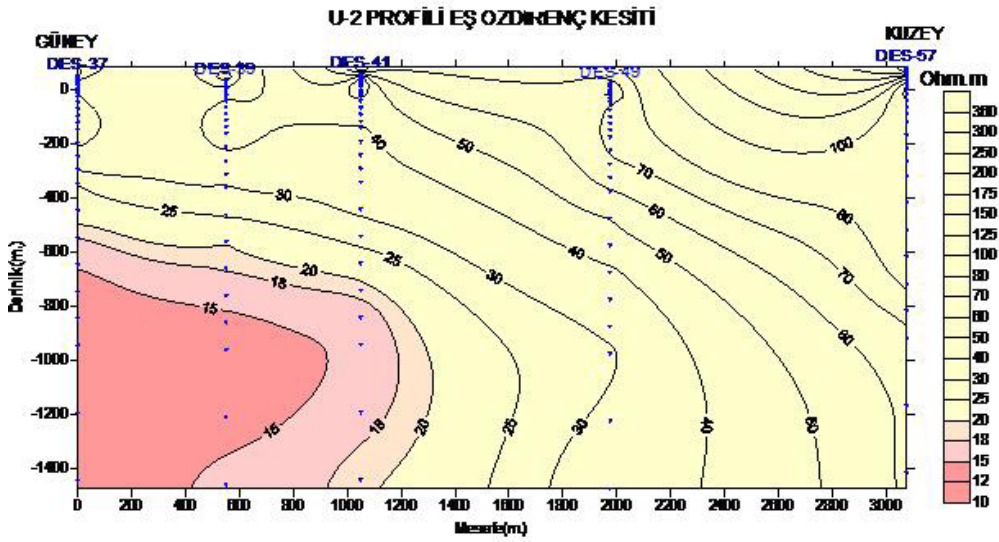
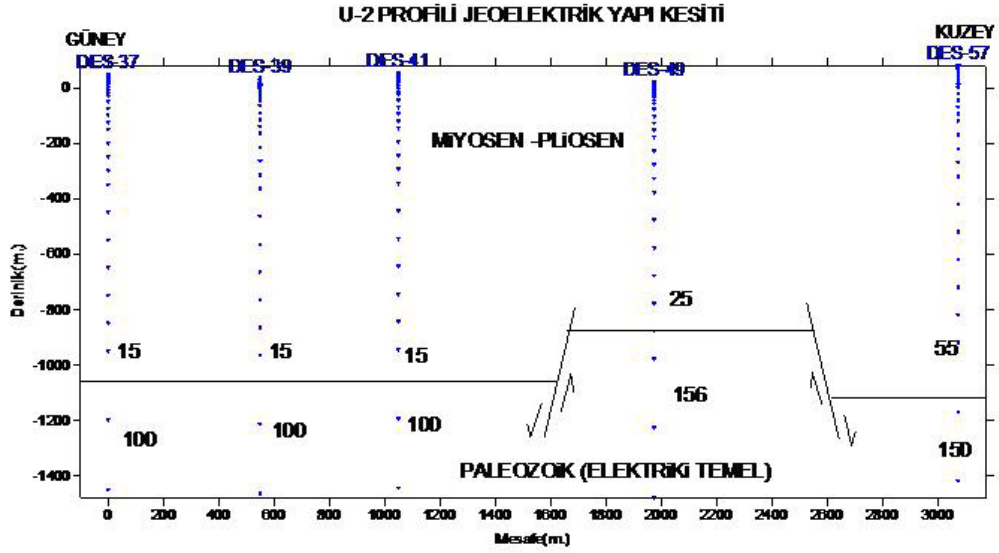


Şekil 6. 2007 ve 2008 Tarihinde Yapılan Jeofizik Etüt Sahalarının Profil ve Noktaları

Grabenin güney kanadındaki çalışmalar sonucunda elde edilen verilerden oluşturulan U1,U2,U3,U4 profillerindeki eşrezistivite ve yapı kesitleri ise Şekil=7,8,9,10 de gösterilmiştir (İçerler, 2008).

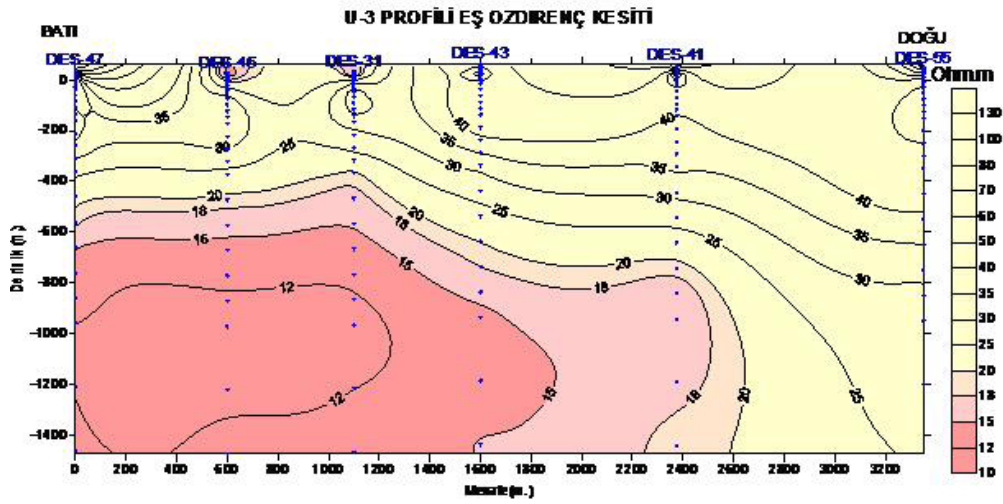
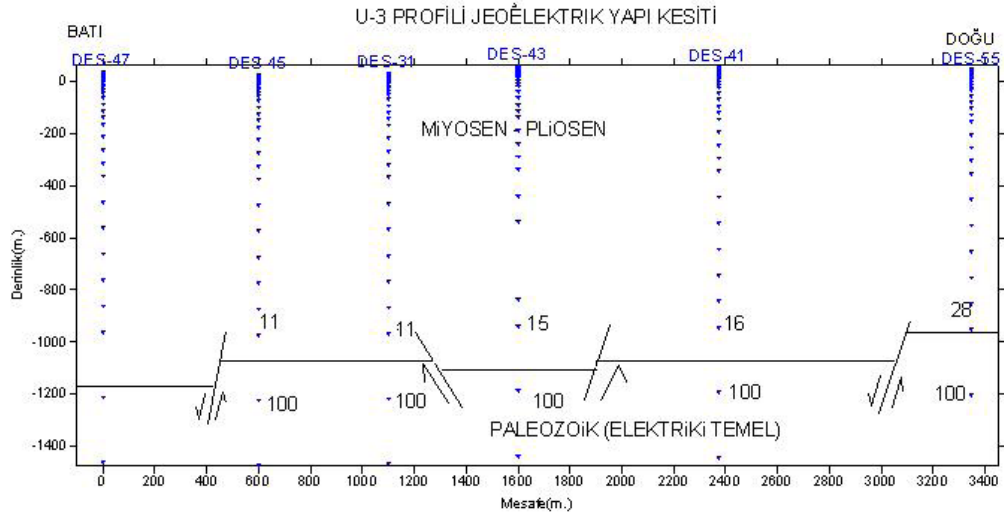


Şekil 7. U1 Profili Jeoelektrik Yapı ve Eş Rezistivite Kesiti

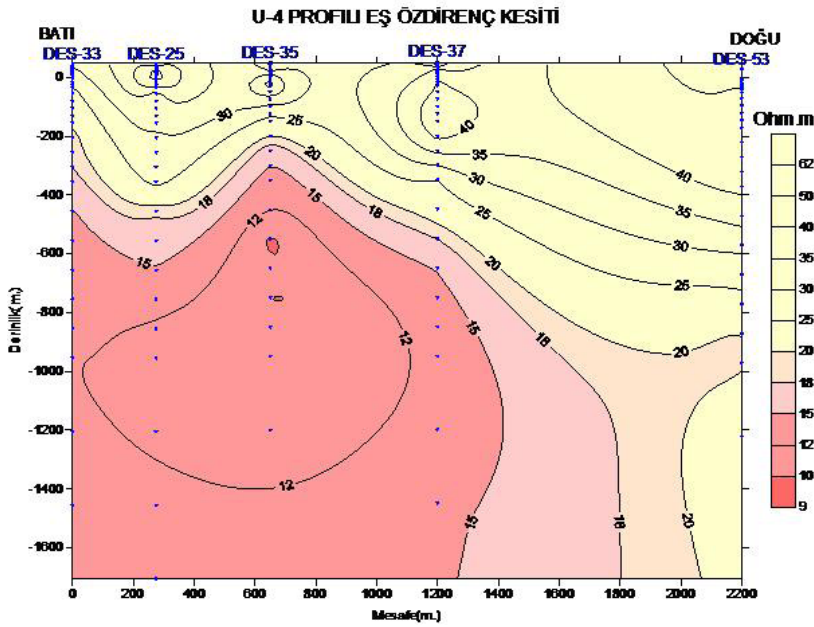
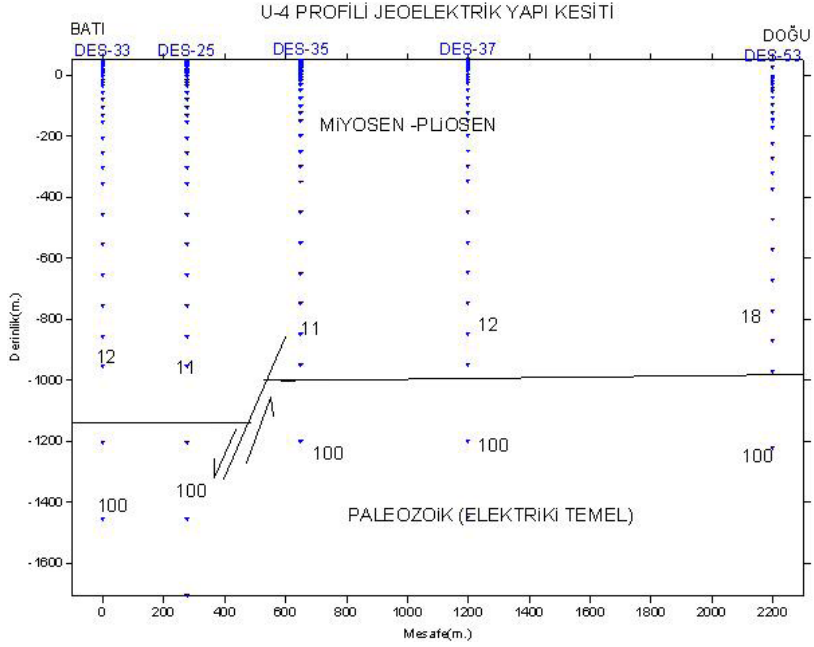


Şekil 8. U2 Profili Jeoelektrik Yapı Ve Eş Rezistivite Kesiti





Şekil 9 . U3 Profili Jeoelektrik Yapı Ve Eş Rezistivite Kesiti



Şekil 10 . U4 Profili Jeoelektrik Yapı ve Eş Rezistivite Kesiti

## SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan jeofizik-rezistivite çalışmalarından sonra:

- a) Menderes grabeninin kuzey kanadındaki jeotermal aktivitenin güney kanadında da olabileceği düşünülmüştür.
- b) Temel kaya-haznekaya ile paleozoik yaşlı formasyon ile deneştirdiğimiz elektriki temel derinliği ve konumu belirlenmiştir.
- c) Paleozoik yaşlı temel derinliği ile beraber örtü kaya çökellerinin kalınlığı, düşey ve yanal konumu belirtilmiştir.
- d) Alterasyon ve sıcak kaynak belirtisi olmayan menderes grabeninin güney kanatlarında bu tür jeofizik yöntemlerin, jeoloji ile beraber ayrıntılı, bilimsel ve bilinçli çalışılarak jeotermal aktivite ile ilgili yeni sahaların planlanmasının önü açılmıştır.
- e) Pliyosen-Miyosen kalınlığı ile beraber örtü kayaların permeabilitesi ve porozitesi hakkında bilgiler elde edilmiştir.
- f) Permeabil ve porozlu hazne kayaların ve fayların durumu tespit edilmeye çalışılmıştır.
- g) Fayların ve kırık hatların tesbiti sonucu, düşen ve yükselen blokların veya horst-graben sisteminin konumu tespit edilmeye çalışılmıştır.
- 1) Çalışılan sahanın jeotermal aktivite açısından, yüksek entalpilli saha olması nedeniyle, kent ısıtmacılığı, kaplıca, rehabilitasyon, sera, tarım gibi alanlarda kullanılması yanında, elektrik enerjisi elde edilmesinden de yararlanılması hedeflenmiştir.

## KAYNAKLAR

- İçerler, A., 2007, Güneybatı Anadolu jeotermal sahaları geliştirme ve ısı kaynağı aramaları projesi Aydın ve Çevresi jeofizik - jeoelektrik etüt raporu. MTA Derleme, Ankara.
- Karahan, Ç. ve Bülbül, E., 2008, Aydın ve çevresi jeotermal Enerji Aramaları Jeoloji ve Sondaj Raporu(Yayınlanmamış).



## Afyon – Erkmen Sahasının Jeofizik Özdirenç Yöntemi ile Araştırılması

\*Kürşad BEKAR, \*\*Adnan USLU

\*MTA Bölge Müdürlüğü, Trabzon

\*\*MTA Bölge Müdürlüğü, Adana

[kursadbekar@gmail.com](mailto:kursadbekar@gmail.com),

### ÖZ

MTA Genel Müdürlüğü'nün "Afyon-Erkmen Jeotermal Enerji Aramaları Projesi" kapsamında yeni üretim sondajlarına yönelik lokasyonların belirlenmesi amacıyla yaklaşık 14 km<sup>2</sup>'lik bir alan içerisinde jeolojik ve jeofizik etütler gerçekleştirilmiştir. Jeofizik etüt kapsamında 50 noktada Düşey Elektrik Sondajı (DES), 2 km uzunluğunda Doğal Potansiyel (DP) ve 1 km uzunluğunda 4 seviyede Wenner yatay kaydırma ölçüsü alınmıştır.

Alınan ölçüler ışığında veriler değerlendirilerek sahanın özdirenç dağılımı belirlenmiş olup elektrik yapı kesitleri ile Wenner ve DP profilleri karşılaştırılarak olası süreksizlikler ortaya konulmuştur. Bu çalışma sonucunda elde edilen veriler yorumlanarak iki adet sondaj yeri önerilmiştir. Bunlardan AS1 kuyusu yapılarak 35.0 lt/s debide ve 52,7°C sıcaklığında jeotermal akışkan elde edilmiştir.

### 1. Giriş

Afyon (Sadıkbey) Jeotermal Sahasında sıcak akışkan üretimine dönük sondaj yerlerinin belirlenebilmesi açısından planlanan jeofizik etüt kapsamında detaylı ölçüler alınarak rezervuarı temsil eden Paleozoyik yaşlı Afyon Metamorfitlelerinin derinliğinin belirlenmesine çalışılmıştır.

Sistemin asıl akifer kayacını, Paşadağı Mermerleri ve Çiçeklikaya Formasyonu oluşturmaktadır. Yine Afyon Metamorfitlelerine ait kalkıştiller de rezervuar kayaç oluşturlar. Ayrıca alüvyon örtüdeki konglomera ve kumtaşı seviyeleri de az ısınmış suların akifer kayacıdır.

Orta-Üst Miyosen yaşlı Gebeciler Formasyonu'nun ve alüvyonun killi siltli seviyeleri sistemin örtü kayacını oluşturlar. Bu kayaçlar sayesinde jeotermal sistem ısını muhafaza etmekte ve artezyen basıncını kazanmaktadır.

Ömer-Gecek sahasında bazı doğrultular üzerinde yapılmış olan sondajlardan düzenlenerek hazırlanmış jeolojik kesitlerde temelin ova ortalarına doğru derinleştiği, dolayısı ile örtü kalınlığının da arttığı saptanmıştır (Öktü vd., 1997).

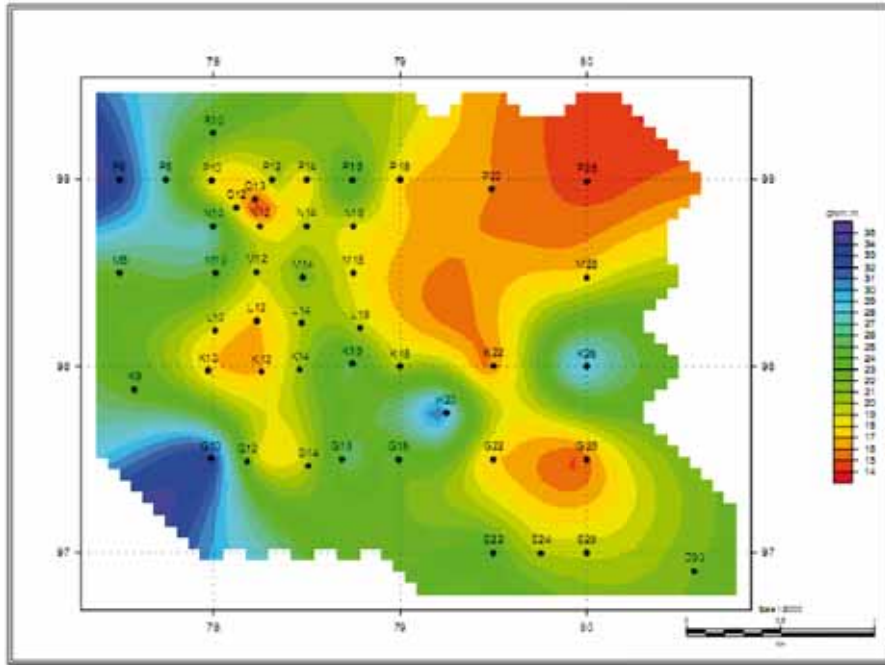
### 2. Etüt Çalışması

İnceleme alanı içerisinde, 50 noktada DES, 2 km uzunluğunda Doğal Potansiyel ölçümleri ve 1 km uzunluğunda 4 seviyede Wenner yatay kaydırma ölçüsü alınmıştır. Bu çalışmada, yeraltının fiziksel parametreleri ile ilgili veriler üretilerek, eş özdirenç kesitleri ile seviye haritaları çıkartılmış ve jeolojik birimlerle korelasyonu gerçekleştirilmiştir. Değişik

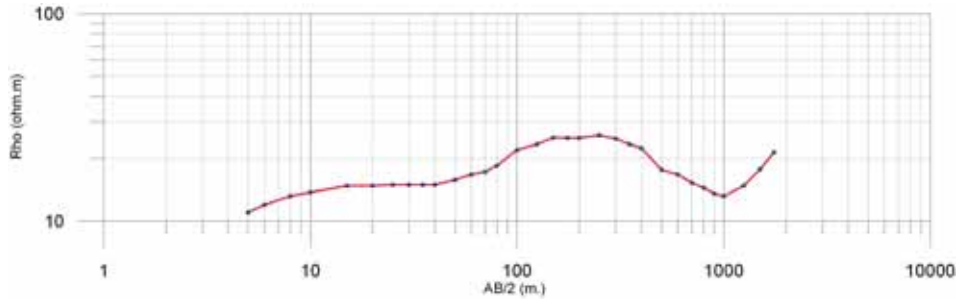
derinliklere ait özdirenç seviye haritaları hazırlanarak derine doğru özdirenç değişimleri ortaya konmuştur. Alınan DES ölçüleri AB/2=1250-1750 m ler arasındadır.

DES ölçüleri çalışma sahasında yer yer 250 – 500 m. aralıklarla alınan profiller üzerinde karelej şeklinde alınmıştır. Ayrıca bu profiller üzerinde kırık hatlarının araştırılmasına dönük olarak doğal potansiyel ölçüleri ile yanal özdirenç değişimlerinin araştırılması için Wenner profil ölçüsü alınmıştır.

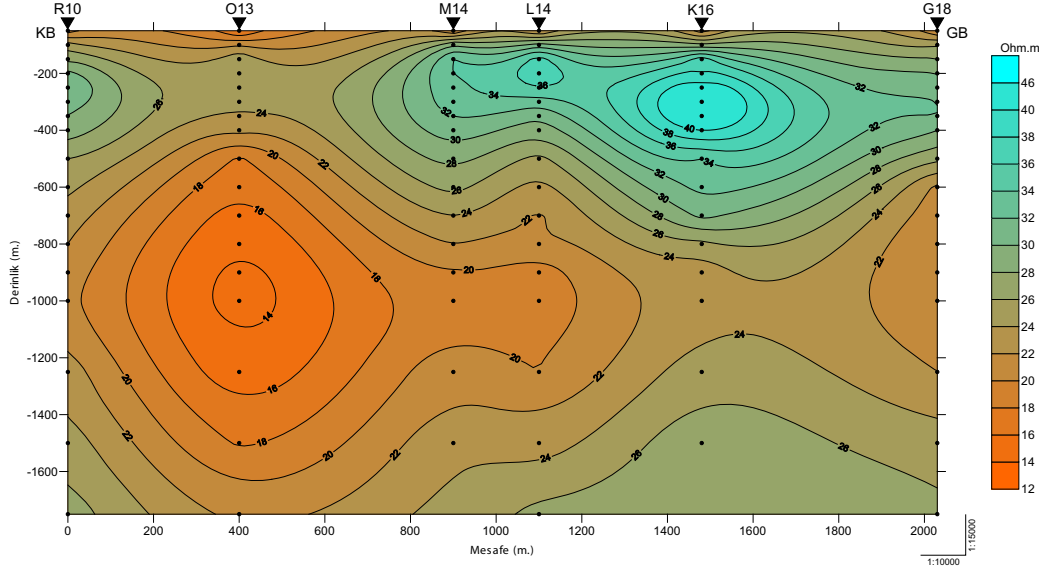
DES ölçülerinden çeşitli derinliklerde seviye haritaları oluşturulmuş olup, jeolojik birimlerle ilişkili olan özdirenç değerlerinin farklı derinliklerde tüm sahada takip edilebilmesi amaçlanmıştır (Şekil 1). Etüt sahasında sondaj önerilen noktayı karakterize eden DES ölçüsü ise Şekil 2’de verilmektedir. Önerilen sondaj noktası üzerinden geçen AB profili eşöz direnç ve elektrik yarı kesitleri ise Şekil 3 ve 4’de yer almaktadır.



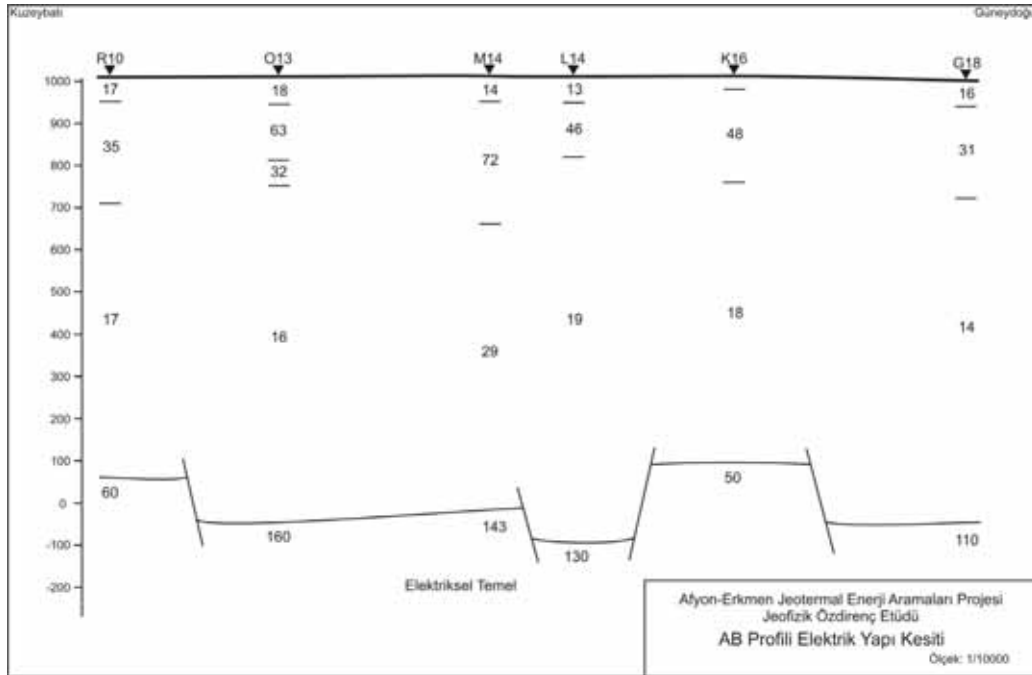
Şekil 1. 1250 m. görünür özdirenç seviye haritası



Şekil 2. O13 DES ölçüsü

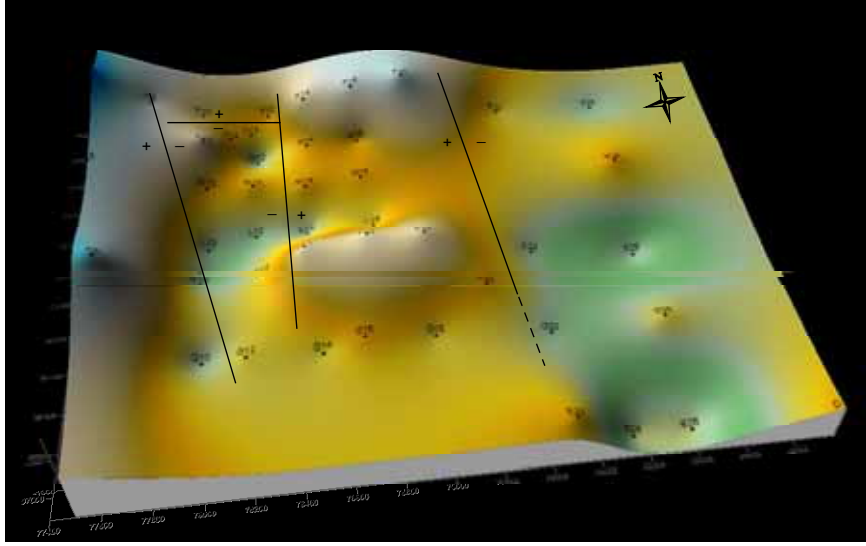


Şekil 3. AB profili eşözdirenc kesiti



Şekil 4. AB profili elektrik yapı kesiti

Sahada elde edilen tüm verilerin değerlendirilmesiyle belirlenen süreksizlikler taban topografya haritası (Şekil 5) üzerinde gösterilmektedir.



Şekil 5. Taban topoğrafya haritası

### 3. Sonuçlar

Sahanın kuzeyinde bulunan Ömer – Gecek jeotermal sahası ile çalışma alanı, ana tektonik yapısı itibari ile KB – GD yönlü horst – graben sisteminin kanadında yer almaktadır. Ömer – Gecek bölgesindeki jeotermal potansiyelin varlığı yapılan çok sayıdaki sondaj ile ortaya konulmuştur. Sondaj logları incelendiğinde jeotermal sistemin rezervuar kayacını oluşturan Afyon metamorfitlelerinin güneye doğru derinleştiği görülmektedir.

Çalışma alanında bu birimler mostra vermemekte, sadece Gebeciler formasyonunun üyeleri olan Seydiler volkanik tüfü ve Kocatepe trakiti gözlenmektedir. Tektonik hatları oluşturan KB – GD yönlü ve bunlara yaklaşık dik faylar arazide bazı kısımlarda izlenmekte olup örtülü alan altındaki gözle takip edilemeyen olası faylar jeofizik ölçümler neticesinde belirlenmiştir. Çalışma alanının büyük bir kısmını teşkil eden alüvyon altındaki yapılar jeofizik çalışmalar ile belirlenmiştir.

Yapılan değerlendirmeler sonucunda O13 - N12, N12 – K12 noktaları arasında düşük öz dirençli anomaliler belirlenmiştir. O13 ve L12 noktalarına sondaj önerilmiş olup ilerleyen zamanlarda fayların kesişim yerine yakın olan O13 noktasındaki öneri gerçekleştirilmiştir. Sondaj sonucu belirlenen Afyon metamorfitlelerinin derinliği ile jeofizik bulgular tam bir uyum içindedir. Sondaj sonucu kuyu bitirme raporuna göre 35.0 lt/s debide ve 52,7 °C’de jeotermal akışkan elde edilmiştir.

### KAYNAKLAR

- Öktü, G., Kara, İ., Önder, İ., 1997, Afyon İlinde Yer Alan Ömer-Gecek-Uyuz Hamamı-Alaplı-Kızık Hamamı ve Gazlıgöl Jeotermal Enerji Sahalarının Detay Etüdü, MTA Der No: 10027, 41 s., Ankara.
- Turalı, Ü ve diğ., 2007, Afyon Erkmen AS-1 Sıcaksu Sondajı Kuyu Bitirme Raporu



## **Manyetotellürik ve Doğru Akım Özdirenç Verilerinin İki-Boyutlu Birleşik Ters Çözümü ile Jeotermal Alanların Araştırılması: Model Çalışması**

M. Emin CANDANSAYAR<sup>1</sup>, Cemal KAYA<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Ankara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Müh. Bölümü, 06100, Beşevler-Ankara

<sup>2</sup>KAYEN Enerji, Koza Sokak No:37/6 GOP Çankaya- Ankara

[candansa@eng.ankara.edu.tr](mailto:candansa@eng.ankara.edu.tr)

### **ÖZ**

Özdirenç yöntemi mühendislik jeofiziğinde ve arama jeofiziğinde kullanılan en eski yöntemlerdendir. Yöntem, kırık çatlak yapıların aranması, yeraltı suyu aramaları, arkeolojik yapı aramaları, maden aramaları ve jeotermal alanların araştırılmasında uzun yıllardır kullanılmaktadır. MT yöntemi ise 1950' li yıllardan itibaren tektonik yapıların aranmasında, derin yapıların araştırılmasında, kabuk ve manto arasındaki ilişkinin incelenmesinde kullanılmaktadır. Özellikle son yıllarda yöntem karada ve denizde petrol ve jeotermal alanların araştırılmasında yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayrıca petrol ve jeotermal alan araştırılmalarında sıkça kullanılmaktadır. Bu çalışma kapsamında, özellikle Ege bölgesinde graben yapıların kenarında olası jeotermal alanları temsil eden 2B özdirenç modeli tasarlanmıştır. Bu modelin DAÖ ve MT tepkileri hesaplanarak arazi verisi olarak kullanılmıştır. Bu verilerin ayrı ayrı Candansayar(2008a ve 2008b) ve birleşik ters çözümleri (Candansayar 2008c) yapılmış ve sonuçlar tartışılmıştır.

### **Giriş**

Özdirenç yöntemi mühendislik jeofiziğinde ve arama jeofiziğinde kullanılan en eski yöntemlerdendir. Yöntem, kırık çatlak yapıların aranması, yeraltı suyu aramaları, arkeolojik yapı aramaları, maden aramaları ve jeotermal alanların araştırılmasında uzun yıllardır kullanılmaktadır. Yine MT yöntemi ise 1950' li yıllardan itibaren tektonik yapıların aranmasında, derin yapıların araştırılmasında, kabuk ve manto arasındaki ilişkinin incelenmesinde kullanılmaktadır. Özellikle son yıllarda yöntem karada ve denizde petrol ve jeotermal alanların araştırılmasında yaygın olarak kullanılmaktadır. Türkiye'de yapılan jeotermal araştırmaların büyük bir bölümü DAÖ yöntemi kullanılarak yapılmaktadır. Ülkemizde MT yöntemi ile ısıtıcıya yönelik yapılan birkaç çalışma vardır (Burçak ve diğ., 2005; Kaya ve Başokur, 2007; Kılıç vd., 2009). Bu çalışma kapsamında, özellikle Ege bölgesinde graben yapıların kenarında olası jeotermal alanları temsil eden 2B özdirenç modeli tasarlanmıştır. Bu modelin DAÖ ve MT tepkileri hesaplanarak arazi verisi olarak kullanılmıştır. Bu verilerin ayrı ayrı Candansayar(2008a ve 2008b) ve birleşik ters çözümleri (Candansayar 2008c) yapılmış ve sonuçlar tartışılmıştır.

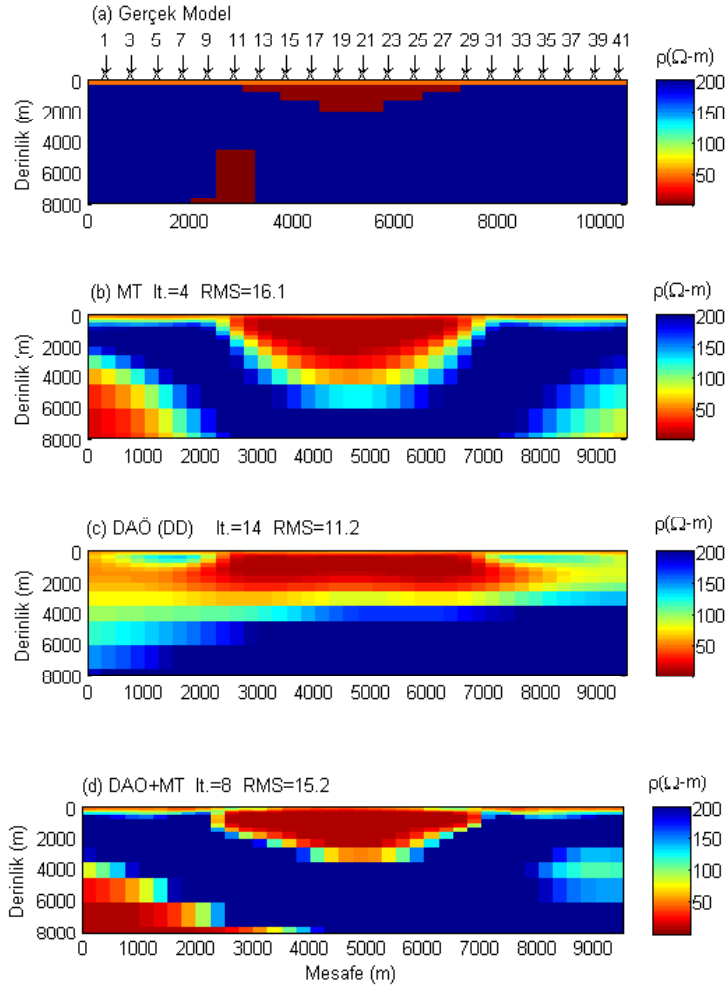
### **Jeotermal Model**

Türkiye' de jeotermal sahaların çoğunluğu Ege bölgesindedir. Özellikle graben yapıların kenarında olası jeotermal alanların yerleri jeofizik yöntemlerle araştırılmaktadır. Şekil 1a' de 2B özdirenç modeli görülmektedir. Modelin 250m derine kadar 50 ohm-m özdirençli iletken örtü birimi ve altında 250 ohm-m özdirençli temel bulunmaktadır. Modelin ortasında 5 ohm-m özdirençli bir

graben yapısı görülmektedir. Bu grabenin taban derinliği yaklaşık 2 km'dir. Graben'in sol kenarında ise yaklaşık 5 km derinde 1 ohm-m özdirneçli ısıtıcıyı temsil eden bir dayk yapısı bulunmaktadır.

### DAÖ ve MT Yönteminde 2B Modelleme

Şekil 1' de verilen özdirneç modelinin DAÖ cevabı, Schlumberger ve dipol-dipol dizilimleri için  $a=250$  metre aralıklı 41 elektrotlu sistem için 16 seviyede ve MT model cevabı ise 500 metre aralıklı toplam 21 istasyonda 10kHz - 0.01Hz frekans aralığında 19 frekans için TE- ve TM-modlarında görünür özdirneç ve empedans fazı şeklinde hesaplanmıştır. Hesaplamalarda, DAÖ ve MT için Candansayar (2008a ve 2008b) tarafından geliştirilen 2B sonlu farklar algoritmaları kullanılmıştır. Hesaplanan verilere %5 "Gaussian" gürültü eklenerek ters çözüm işleminde arazi verisi olarak kullanılmıştır.



Şekil 1. (a) 2B Özdirneç Modeli, (b) MT Verilerinin 2B ters çözüm sonucu, (c) DAÖ dipol-dipol verilerinin 2B ters çözümü, (d) MT ve DAÖ verilerinin birleşik ters çözümü

### **DAÖ ve MT Verilerinin 2B Ters Çözümü**

MT verilerinin ters çözüm sonucu Şekil 1b' de görülmektedir. Bu modelde ise graben yapısı daha iyi çözülmüştür. Isıtıcı olarak tanımlanan derindeki iletken yapının yeri ise kabaca bulunabilmiştir. DAÖ verilerinin ters çözüm sonucu Şekil 1c' de görülmektedir. Burada, dipol-dipol ve Schlumberger dizilimi verileri birlikte ters çözüme sokulmuştur. Gerçek model ile karşılaştırıldığında, derindeki ısıtıcının çözülemediği görülmektedir. Graben yapısı ise kısmen çözülmüştür. Şekil 1d' de ise MT ve DAÖ verilerinin birleşik ters çözüm sonucu görülmektedir. Bu modelin diğer iki modelden daha iyi gerçek modele benzediği görülmektedir.

### **Sonuçlar**

Jeotermal alanlarda yapılacak jeofizik çalışmaların planlaması için 2B modelleme ve ters çözüm algoritmaları birer araç olarak kullanılabilir. Araştırma derinliği DAÖ yöntemi için akım ve potansiyel elektrodlarının yerine ve yerindeki yapıların özdirençlerine bağlı iken, MT yönteminde yerin özdirençine ve frekansa bağlıdır. Bu etkenler içinde en önemlisi yerindeki farklı özdirenç yapılarıdır.

Bu çalışmada görüldüğü gibi DAÖ yönteminde araştırma derinliği sadece elektrod açıklıklarına bağlı değildir. Ayrıca ortamın özdirenç yapısında bağlıdır. DAÖ verilerinin ters çözüm sonucuna göre derindeki ısıtıcının yeri bulunamamıştır. Graben yapısının sınırı ise yaklaşık olarak görülmektedir. MT verilerinin ters çözüm sonucunda ise ısıtıcının yeri kabaca bulunabilmiştir. Graben yapısı, DAÖ verilerinin ters çözümünden daha iyi bulunmuştur. Aslında jeotermal alanlarda belirti olarak tanımlanan, ısıtıcı, fay zonu gibi yapılar iletkenlerdir. Elektromanyetik yöntemlerin iletken yapılara, DAÖ yönteminin ise dirençli yapılara daha duyarlı olduğu bilinmektedir. Dolayısıyla bu model çalışmasında iletken yapıların MT yöntemi ile daha belirgin bulunmasında doğaldır. Diğer taraftan aynı doğrultu boyunca MT ve DAÖ ölçülerinin alınması durumunda bu verilerin 2B birleşik ters çözümü yapılarak daha gerçekçi modeller elde edilebilir.

### **KAYNAKLAR**

- Burçak , M., Kaya, C., Kılıç AR. and Akdoğan N. 2005: Exploration of the Heat Source and Geothermal Possibilities of the Aksaray Region, Central Anatolia, Turkey: Proceedings World Geothermal Congress 2005 Antalya, Turkey, 24-29 April 2005
- Candansayar M.E., 2008a, “ Two-dimensional individual and joint inversion of three- and four-electrode array dc resistivity data”, J. Geophys. Eng. 5, 290–300.
- Candansayar, M.E., 2008b, “Two-dimensional inversion of magnetotelluric data with consecutive use of conjugate gradient and least-squares solution with singular value decomposition algorithms”, *Geophysical Prospecting*, 56, 141–157.
- Candansayar, M.E., and Tezkan, B., 2008c, “Two-dimensional joint inversion of radio-magnetotelluric and direct current resistivity data”, *Geophysical Prospecting*, 2008, 56, 737–749.
- Kaya, C., Basokur A.T., 2007 : Aliğa **Jeotermal** Sahasının Manyetotellürik Yöntemle Araştırılması. TMMOB Jeotermal Kongresi Bildiriler Kitabı.



## **Jeofizik Yöntemlerin Jeotermal Enerji Arama Yatırımlarındaki Önemi**

A.Uğur GÖNÜLALAN<sup>1</sup>, Hakan ÇAVAŞ<sup>2</sup>, Orhan GÜRELİ<sup>3</sup>, Seyfullah TUFAN<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Jeofizik Yüksek Mühendisi, Mert Enerji A.Ş., Ankara TÜRKİYE

<sup>2</sup>Jeofizik Yüksek Mühendisi, Jeofizik Servisi ve İleri Teknolojiler Ltd. Şti. Ankara TÜRKİYE

<sup>3</sup>Jeofizik Mühendisi, NAGECO, Tripoli LİBYA

<sup>4</sup>Jeofizik Yüksek Mühendisi, Jeofizik Servisi ve İleri Teknolojiler Ltd. Şti. Ankara TÜRKİYE

***Bu bildiri, Türkiye’de Jeotermal Enerjinin gelişmesine öncülük etmiş olan Jeofizik Mühendislerinden rahmetli Aytaç GÜLAY ve Hüdavendigar ŞAHİN’in anılarına atfedilmiştir.***

### **ÖZ**

Jeotermal enerji üretiminde, dünya lideri olan İzlanda’nın jeotermal enerji sayesinde elektrik enerjisi iki kat artmıştır ve bugün 500MW’ın üzerine çıkmıştır. Benzer şekilde Almanya’da jeotermal enerji sayesinde 100MW’ın üzerinde enerji seviyesine ulaşmıştır.

Türkiye’nin sahip olduğu genç tektonik yapılar ve volkanik alanlar, ülkemizde geniş bir jeotermal enerji potansiyeli yaratmıştır. Yenilenebilir bir enerji kaynağı olan jeotermal enerji alanında Türkiye, Avrupa’da birinci, dünyada yedinci büyük potansiyele sahip ülke konumundadır. Yer altında ve yer üstünde meydana gelen jeotermal anomaliler; çeşitli Jeofizik yöntemlerle belirlenen değişkenlerin değerlendirilmesi, haritalanması ve yorumlanması ile saptanır. Bu bağlamda jeotermal kaynakların keşfedilip çıkarılması ve değerlendirilmesi sırasında sahalarn jeolojik ve topografik yapısına, büyüklüğüne ve amaca göre çok sayıda jeofizik araştırma yöntemi kullanılır.

Jeofizik çalışma ve araştırmaların tarihi ülkemizde de çok eskilere dayanır. Jeotermal enerji potansiyelini ortaya çıkarmak için uluslararası standartta yapılan ön değerlendirme, jeolojik, hidrolojik, jeokimyasal çalışmalarını takiben; jeofizik araştırma yöntemleri sonucunda belirlenecek anomalilerin varlığının ortaya çıkarılması için kuyu (sondaj) önerileri yapılmaktadır. Ancak ülkemizdeki jeofizik araştırma yöntemleri, modern uygulamalardan uzak bir görüntü vermektedir. Sadece jeofizik metotların bir yöntemi ile değil, jeotermal alanlarda uygulanabilecek ve başarılı olabilecek diğer jeofizik yöntemlerin uygulanması ile yeraltının karmaşık yapısı, kuyu sayısının azaltılması ve üç boyutlu alansal modelin ortaya çıkarılması birden fazla jeofizik yöntemin entegre yorumlarıyla mümkün olmaktadır.

Ülkemizde uygulanmaya konulan Jeotermal Kanunu ve Uygulama Yönetmeliği öncesi ile sonrasında ihaleye çıkarılan sahalarda dahil olmak üzere, arama faaliyet döneminde yapılan ve yapılacak jeofizik yatırımlar, arama yatırımları içinde küçük bir kısmını (%20) teşkil etmektedir. Ancak sahalarn jeotermal potansiyelini ortaya çıkaracak jeofizik yatırımların katkısının ne kadar büyük olduğunu da örneklerle gösterilmiştir.

Bugün artık jeofizik yöntemlerin, bir bölgenin jeotermal enerji potansiyelinin ortaya

çıkartılmasında dünyada en yaygın kullanılan metotlar olduğu bilinmekte ve kayaçların fiziksel parametrelerinin belirlenmesi ile yer altı modellemesi ortaya konulabilmektedir. Türkiye’de jeotermal enerji alanındaki faaliyetlere bakıldığında jeofizik yöntemlerin kullanılma durumlarının maalesef yeterli olmadığı da görölmektedir.

Bu bildiriye, ölkemizin çeşitli sahalarında uygulanan jeofizik yöntemlerle toplanan veri yanında ölkemizde örneği çok az olan ancak Doğu Kaliforniya’da COSO jeotermal alanında uygulanan sismik yansıma yöntemi ve yorumlama tekniklerinin örnekleri verilmeye çalışılmıştır.

## 1-GİRİŞ

Jeotermal enerji yerin derinliklerindeki sıcak bölgelerden yeryüzüne doğru yayılan yerküre iç ısısı olarak tariflenir. Bir jeotermal modelde aşağıda verilen önemli unsurların bir arada bulunması gerekir:

- 1- Isı kaynağı (soğumakta olan mağma),
- 2- Isıyı yeraltından yüzeye taşıyan akışkan ve dolaşımını sağlayacak ölçüde geçirimsiz kayaç,
- 3- Akışkanın yerleşebileceği gözenekli bir rezervuar (hazne) kaya,
- 4- Rezervuarda depolanan ısı ve akışkanın enerjisini yani rezervuarın korunmasını sağlayan geçirimsiz örtü kaya.

Jeotermal enerjinin doğası ve dağılımı ile ilgili üç temel terim vardır;

- 1-Jeotermal gradyan,
- 2-Isı akısı
- 3-Jeotermal anomali.

Jeotermal gradyan dünya yüzeyinden derinlere doğru inildikçe sıcaklığın artmasından kaynaklanır. Normal olarak yerin altına inildikçe her 33 metre’de sıcaklık 1°C yükselir. Isı enerjisi, kayalardan iletim yoluyla geçerek, mağmanın hareketi ile veya jeotermal suyun hareketi ile dünya yüzeyine ulaşır. Isı enerjisinin iletim yoluyla düşey olarak yukarı doğru hareket etmesine ısı akısı denir. Bazı jeotermal alanlarda, bazı derinliklerde sıcaklıklar, komşu alandaki sıcaklıklardan farklılıklar gösterirler. Bu düzensizliğe jeotermal anomali denir.

Gerek sıcaklık ve gerekse sıcak su dolaşımının kayaçların karakteristik fiziksel özelliklerini değiştirmesi nedeniyle jeotermal aramalarda ve sondaj yerlerinin belirlenmesinde jeofizik yöntemler başarılı ve isabetli sonuçları ortaya koyar.

Jeotermal akışkanların yeryüzüne çıktığı noktalarda doğal sıcak su kaynakları oluşur. Bu gibi yerler insanlık tarihi boyunca sağlık ve diğer amaçlar için kullanılmıştır. Yeraltından çıkışların olmadığı yerlerde termal sulara ulaşmak için sondaj yapmak gerekir. Bu pahalı bir işlem olduğundan sondaj yerinin bilimsel veriler ışığında doğru olarak belirlenmesi gerekir.

Bir Avrupa Birliği projesi kapsamında yedi Avrupa devletinin dahil olduğu çalışmada Almanya Yer Bilimleri Araştırma Merkezi’nden Dr. Ernst Huenges, “Jeofizik yöntemler, geleceğin jeotermal projeleri için uygun alan seçiminde çok önemli katkılar sağlayacaktır” ifadesini kullanmıştır. Bu sayede oldukça pahalıya mal olan ve herhangi bir sonuç elde edilemeyen sondajların sayısı da azalmış olacaktır [7].

Fosil yakıtlara göre daha ucuz, temiz ve sürdürülebilir bir enerji türü olan jeotermal enerjinin sera etkisi yaratmaması, geniş kullanım alanı ve öz kaynağımız olması bu enerjinin önemini daha çok artırmaktadır.

## 2- TÜRKİYE'DE VAR OLAN JEOTERMAL ENERJİ POTANSİYELİ

Dünyada jeotermal elektrik kurulu gücü bugün için 8912 MWe, doğrudan kullanım ise 27 824,8 MWt dir.

Alp-Himalaya orojenik kuşağı üzerinde olması nedeniyle genç tektonizma ve volkanizmanın yoğun olduğu ülkemiz, jeotermal enerji teorik potansiyel açısından dünya sıralamasında yedinci uygulamalar açısından dünyada beşinci ve Avrupa'da ise birinci durumdadır.



Şekil-1. Türkiye'nin genç tektoniği-volkanik etkinliği ve jeotermal alanların (sıcak ve mineralli su (maden suyu)) dağılımı [Şimşek 2001, 5, 10]

Ülkemizde jeotermal sahalar büyük bir çoğunlukla orta ve düşük sıcaklıklı sahalardır ve bilinen jeotermal kaynakların %95'i ısıtmaya uygun sıcaklıkta olup çoğunlukla Batı, Kuzeybatı ve Orta Anadolu'da bulunmaktadır[12].

Türkiye'de yüzey sıcaklığı 40°C'nin üzerinde olan 184 adet jeotermal saha vardır. Bunlardan elektrik üretimine uygun potansiyel içeren 13 adeti Batı Anadolu'da yer almaktadır. Denizli-Kızıldere (242 °C), Aydın-Germencik (232 °C), Manisa-Salihli-Göbekli (182 °C), Çanakkale-Tuzla (174 °C), Aydın-Salavatlı (171 °C), Kütahya-Simav (162 °C), İzmir-Seferihisar (153 °C), Manisa-Salihli- Caferbey (150 °C), Aydın-Yılmazköy (142 °C), Aydın-Sultanhisar (145 °C), İzmir-Balçova (137 °C), İzmir-Dikili (130 °C), Manisa-Alaşehir-Kavaklıdere (213 °C) sahaları. Bu sahaların görünür hale getirilmiş kapasitesi 105 MWe'dir. Tüm sahaların geliştirme çalışmaları yapıldığında bu kapasitenin 550 MWe'e çıkacağı düşünülmektedir [1,5,6] .

Tüm jeotermal kaynaklarımız değerlendirildiğinde milli ekonomiye yılda yaklaşık 20 milyar \$'lık net katkı yapacaktır. Haziran 2007 itibariyle jeotermal kaynak potansiyelimizin ancak %7'si değerlendirilmektedir [13].

Türkiye'de jeotermal enerji, elektrik üretimi, konut-sera ısıtıcılığı, kimyasal madde üretimi, deri işleme ve sağlık turizmi gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Türkiye'deki jeotermal enerji tüketiminin %87'si ısıtma amaçlıdır [5].

### **3-JEOTERMAL ENERJİ ARAMA SİSTEMATİĞİ VE YÖNTEMLERİ İÇİNDE JEOFİZİK ÇALIŞMALAR**

Arama sistematığı akış şemasında, jeotermal enerji kaynak aramacılığı, kaynağın bulunması ve üretilmesi işlemleri birbirini takip eden birer süreçtir. Bu düzenli süreçlerden ya da halkalardan birinin zayıf ya da yetersiz olması sonucun verimliliğini ve başarısını olumsuz etkilemektedir.

Jeoloji, jeofizik, sondaj ve üretim çalışmaları ile ilgili standartlar potansiyel alanların ortaya çıkarılmasına uygun olarak yapıldığı maalesef söylenemez. Uluslar arası standartlara ve bilimsel ölçekte yapılan çalışmaların akış şeması aşağıdaki uygulamalara benzerdir.

#### **3.1. ARAMA SİSTEMATİĞİ AKIŞ ŞEMASI**

Önceki Çalışmaların Değerlendirilmesi

- 3.1.1. Uzaktan Algılama Çalışmaları
- 3.1.2. Jeolojik Çalışmalar
  - 3.1.2.1. Saha Jeolojisi ve Haritalama
  - 3.1.2.2. Jeokimyasal Çalışmalar
  - 3.1.2.3. Hidrojeolojik Çalışmalar
- 3.1.3. Jeofizik Çalışmalar
  - 3.1.3.1. Gravite (Gravity) Yöntemi ile Veri Toplanması ve Yorumlanması
  - 3.1.3.2. Manyetik (Magnetic) Yöntemi ile Veri Toplanması ve Yorumlanması
  - 3.1.3.3. Elektrik Özdirenç (Resistivity) Yöntemi ile Veri Toplanması ve Yorumlanması
  - 3.1.3.4. Doğal Gerilim (Self Potential, SP) Yöntemi ile Veri Toplanması ve Yorumlanması
  - 3.1.3.5. Etkisel Kutuplaştırma (Induced Polarization - IP) Yöntemi ile Veri Toplanması ve Yorumlanması
  - 3.1.3.6. Elektromanyetik (EM) Yöntem ile Veri Toplanması ve Yorumlanması
  - 3.1.3.7. Sismik Yöntemle Verilerin Toplanması, İşlenmesi ve Yorumlanması
  - 3.1.3.8. Kuyu Jeofiziği
- 3.1.4. Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) ve Durum Değerlendirmesi
- 3.1.5. Sondaj Çalışması
- 3.1.6. Üretim Çalışması
  - 3.1.6.1. Elektrik enerjisi üretimi
  - 3.1.6.2. Isı enerjisi üretimi

Sahaların çevresinde daha önce yapılmış çalışmalar, uzaktan algılama, saha jeolojisi, jeokimya analizleri ve hidrojeoloji çalışmalarından elde edilen verilerin değerlendirilmesi sonucunda belirlenen hedef alanda jeofizik çalışmalar yapılır.

Bu bildiriye; jeofizik yöntemlerin jeotermal enerji arama yatırımlarındaki öneminin vurgulanması nedeni ile arama sistematığındeki diğer konuların detayına girilmemiştir.

#### **3.2. JEOFİZİK ÇALIŞMALAR**

Jeofizik yöntemler, geleceğin jeotermal projeleri için uygun alanların seçimi konusundaki



kararlara önemli ölçüde katkı sağlamaktadır. Bu sayede oldukça pahalıya mal olan ve herhangi bir sonuç elde edilemeyen sondajların sayısı da azalmış olacaktır.

Jeotermal enerji aramalarında önceleri klasik olarak jeofizik elektrik (rezistivite) yöntemi kullanılırken, günümüzde gelişen ileri teknolojik cihazlar sayesinde elektrik (rezistivite), gravite, manyetik, elektromanyetik ve sismik yöntemlerin entegre kullanımı söz konusudur.

### **3.2.1. Gravite (Gravity) yöntemi ile veri toplanması ve yorumlanması:**

Yeraltında bulunan kayaçların yoğunluk farklılığından yararlanarak yeraltı yapısını ortaya koymayı amaçlamaktadır. Eğer kayaçlar arasında bir yoğunluk ve şekil farklılığı var ise bunların yeryüzünde oluşturacağı gravite (yerçekim) etkisi gravite ölçümlerinde bir belirti (anomali) şeklinde ortaya çıkmasının tespiti ve yorumlanmasıdır.

### **3.2.2. Manyetik (Magnetic) yöntemi ile veri toplanması ve yorumlanması:**

Yöntem, yeraltındaki kayaçların farklı-farklı mıknatıslanma duyarlılığına (susceptibility) sahip olmaları özelliğinden yararlanarak, yüksek mıknatıslanma duyarlılığı kayaçları belirleyebilmektedir.

### **3.2.3. Elektrik özdirenç (resistivity) yöntemi ile veri toplanması ve yorumlanması:**

Bir kaynak yardımıyla yere iki noktadan elektrik akımı verilmesi ve diğer iki nokta arasındaki gerilim farkının ölçülmesi ilkesine dayanmaktadır. Yeraltı yapılarının elektrik akımını farklı iletmeleri özdirençte farklılıklara neden olmakta ve böylece yeraltı yapısı yorumlanmaktadır.

### **3.2.4. Doğal gerilim (Self Potential, SP) yöntemi ile veri toplanması ve yorumlanması:**

Bu metotta; yere herhangi bir elektrik alan uygulanmadan yerde var olan doğal gerilimlerin ölçülmesi ilkesine dayanmaktadır.

### **3.2.5. Etkisel kutuplaştırma (Induced Polarization, IP) ile veri toplanması ve yorumlanması:**

Yöntem, etkisel kutuplaştırma olup bir elektrik alan içinde ölçülen gerilimin zaman ve frekansla değişiminin incelenmesi ve yeraltının yorumlanmasıdır.

### **3.2.6. Elektromanyetik (EM) yöntem ile veri toplanması ve yorumlanması:**

Özellikle iletken yapıların araştırılmasında kullanılmaktadır. İlke olarak, bir kablodan dalgalı akım (AC) geçirilmesi ile bu kabloya dik doğrultuda oluşan manyetik alan (Hp) ve bunun yeraltında bir iletkeni etkilemesine dayanmaktadır. En büyük araştırma derinliğini sağlayan yöntem olarak yer içinin modellenmesidir.

### **3.2.7. Sismik Verilerin Toplanması, İşlenmesi, Yorumlanması:**

Hidrokarbon aramalarında; en güvenli, kuyu delmeye göre daha ucuz ve riski azaltması ile vazgeçilmez olan sismik yöntem, özellikle II. Dünya Savaşından sonra daha da gelişmiştir. Sismik yöntem; elastik dalgaların, arz içerisinde yayılması ile ilgili fizik prensiplerine dayanır.

Sismik yöntemler aktif ve pasif olmak üzere iki şekilde uygulanmaktadır. Aktif fayları belirleme amacıyla pasif sismik yöntemlerden biri olan mikro deprem yöntemi de uygulanabilir. Jeotermal enerji aramalarında yaygın olarak kullanılmaktadır [14].

Uygulamalı sismikte, dalgaları üreten bir enerji kaynağı, yeraltındaki kayaçların (litoloji ve porozitesinin farklı olması durumlarında) farklı hızlarda iletmeleri ilkesi ile yeraltı yapısını ortaya koymaktadır. Bir kaynak yardımıyla oluşturulan yapay elastik dalgaların, yeraltındaki kayaç tabaka sınırlarından kırılarak (refraction) veya yansiyarak (reflection) yeryüzünde bulunan algılayıcılar (jeofon) tarafından algılanması ve sismografa iletilmesi olan temel prensip, enerji kaynağından yayılan ve alıcılara gelen dalgaların zamana karşın amplitüdlerinin kaydedilmesidir.

Sismik yansıma yöntemi, çevre kayaçlara göre yeterli akustik empedans farkı yaratan ortamlarda başarılı bir şekilde uygulanmaktadır. Bu yöntem, jeotermal üretim planlamasında ve saha sınırlarının belirlenmesinde etkili olan fayların yeri, atımı ve kıvrımların tespitinde de detaylı bilgiler verir.

### **3.2.8. Kuyu Jeofiziği:**

Sondaj yerinin belirlenmesi ile derinliğe bağlı değişen sıcaklık ve kuyu içi formasyonların durumu ve özellikleri için kuyularda log alımı, kuyu muhafaza işleminden önce yapılır. Silindirik biçimli sonda cihazları kablo ile kuyu içerisine sarkıtılır ve istenen derinliklerde gerekli ölçümler kaydedilir. Log alımı ve yorumu özel bir uzmanlık dalıdır.

Sadece arama kuyularında değil, işletme safhasında, üretim ve enjeksiyon kuyularında da, kuyu içi jeofizik yapılmaktadır.

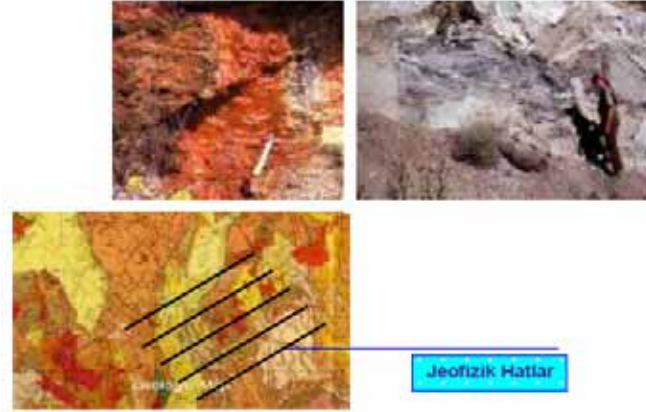
## **4. JEOFİZİK YÖNTEMLERİN DÜNYADA VE TÜRKİYE'DEKİ UYGULAMALARI**

Jeotermal kaynakların aranmasında jeofizik metotların kullanılması günümüze kadar devam etmiş ve düzenli olarak yabancı araştırmacılar tarafından değerlendirilmiştir [8].

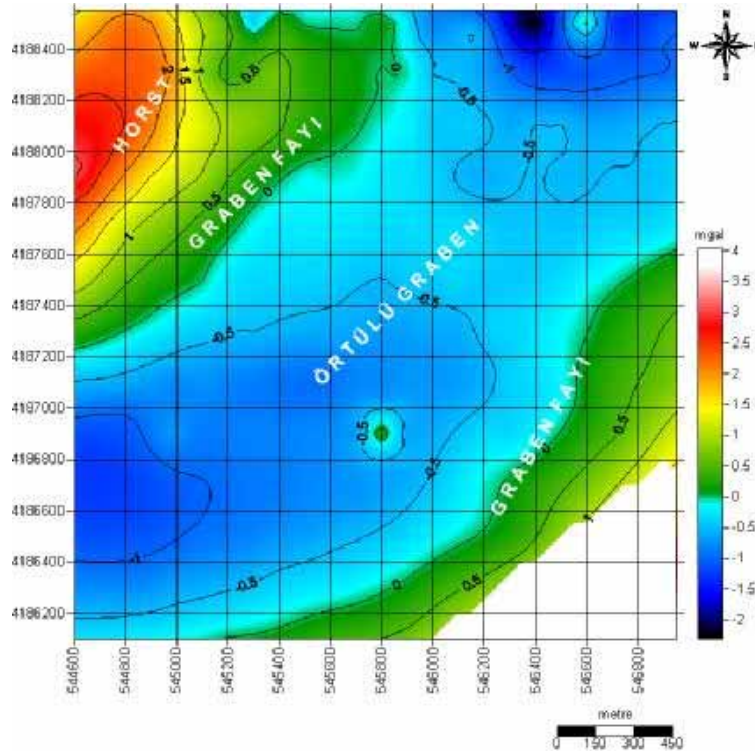
Jeofizik metotların bazılarının (termal, elektriksel direnç, çekim, sismik kırılma ve kuyu loglaması gibi) ülkemizde ve dünyada çeşitli jeotermal bazlı arama ve araştırma projelerinde başarılı olarak kullanılmış olduğu bugün bilinen bir gerçektir. Halen yer içi yapılarının daha iyi anlaşılabilmesi için günümüzde jeofizik yöntemler tüm dünyada başarıyla uygulanmaktadır. Bu bağlamda kontrollü kaynak elektromanyetik (CSAMT), magnetotelürik (MT), doğal potansiyelli (SP), sismik yansıma ve radyometrik teknikler kullanan diğer metotlar geliştirilmekte ve test edilmektedir. Ancak uygulanan jeofizik yöntemler, araştırılan her jeotermal kaynağa özeldir.

Olası jeotermal arama alanı (geothermal prospect) ile ilgili jeofiziksel anormallikler genelde, rezervuarın içinde ya da yakınındaki veya dışındaki kaya ve sıvıların fiziksel özellikleri arasındaki zıtlıktan kaynaklanır. Jeofiziksel araştırmalarda en önemli ortak fiziksel özellikler; ısı, direnç, yoğunluk, geçirgenlik, manyetik hassasiyet ve sismik hızdır. Bir olası jeotermal alana uygulanacak olan teknik genelde jeoloji ve tektonik yapı, hidrotermal sistemin tipi ve alanın hidrolojik özellikleri göz önüne alınarak seçilir, genelde rezervuar kayalarının ve içlerindeki sıvının ısı ve fiziksel ve kimyasal özelliklerine göre belirlenir.

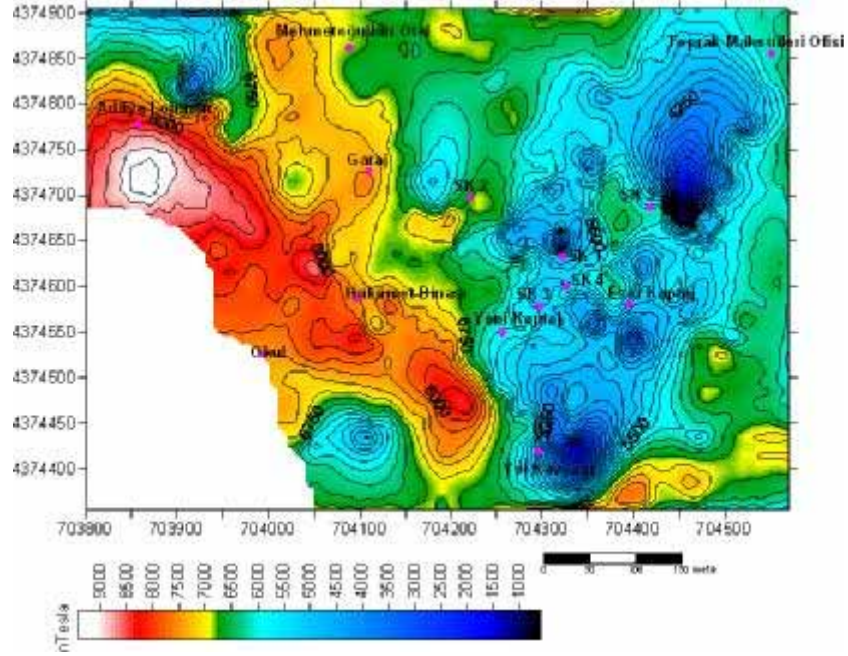
Ülkemizde yapılan bazı uygulamalara bakıldığında jeofizik yöntemlerin başarılı sonuçlar veren örnekleri mevcuttur.



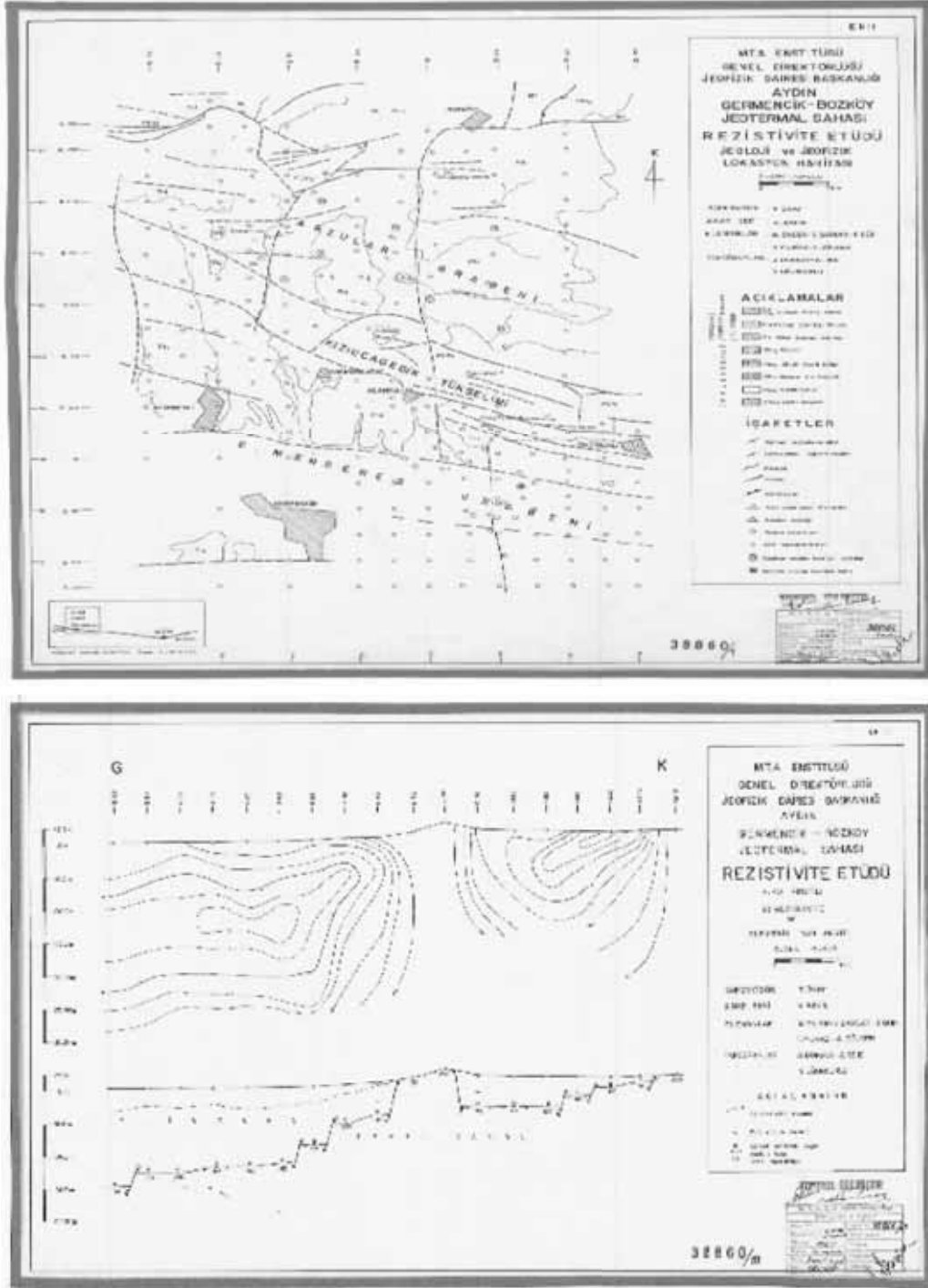
Şekil-2. Jeofizik saha çalışması için, belirlenen Jeotermal alanın, fiziksel modelini çıkarmak için saha planlaması yapılır.



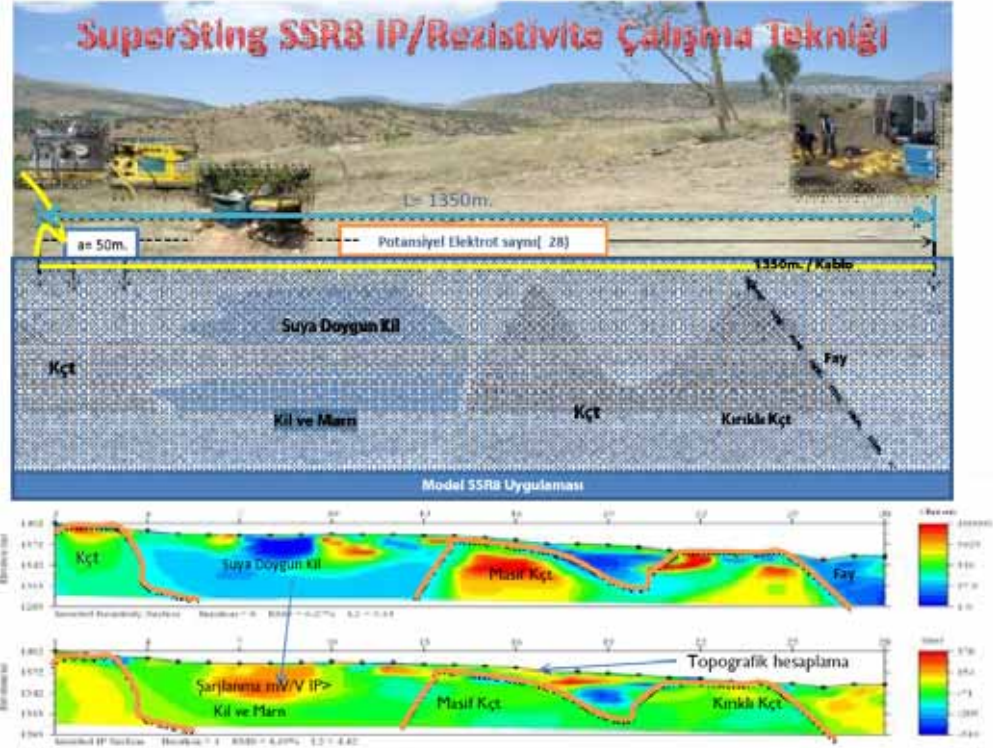
Şekil-3. Rezidüel gravite anomali haritası; Şekil incelendiğinde, kuzeydoğu-güneybatı doğrultusunda, kenarlarında graben faylarının yer aldığı, örtülü bir graben belirlenmiştir. Bu grabenin kuzeybatısında bir horst yapısı yer almaktadır. Jeotermal sistemle yakından ilgili olan bu graben-horst yapısı ve graben fayları jeotermal enerji açısından önem arz etmektedir.



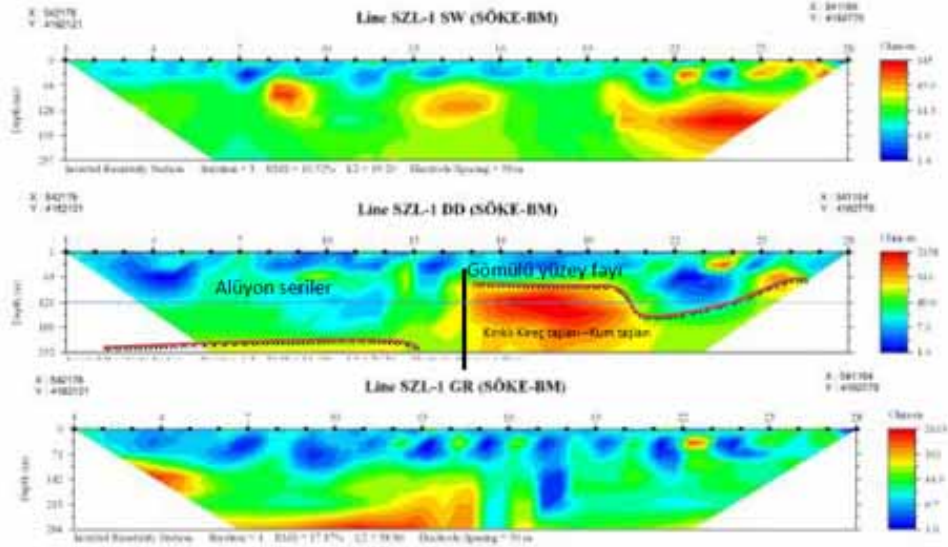
Şekil-4. Yozgat Sarıkaya sahasına ait kutba indirgenmiş manyetik anomali haritası. Şekil yorumlandığında, çalışma alanında pozitif anomali olarak yaklaşık kuzey-batı, güney-doğu (kısmen altere olmuş nümmilitli kireçtaşlarından oluşan horst) ve negatif anomali olarak ise kuzey-doğu, güney-batı doğrultusunda iki ana yapısal hattın yer aldığı gözlenmektedir. Açılan sıcak su kuyuları manyetik anomali haritalarında negatif anomaliler üzerinde yer alması ilginçtir.



Şekil-5. Batı Anadolu jeotermal enerji potansiyel alanlarında yapılan öz direnç yöntem ölçülerine örnek.

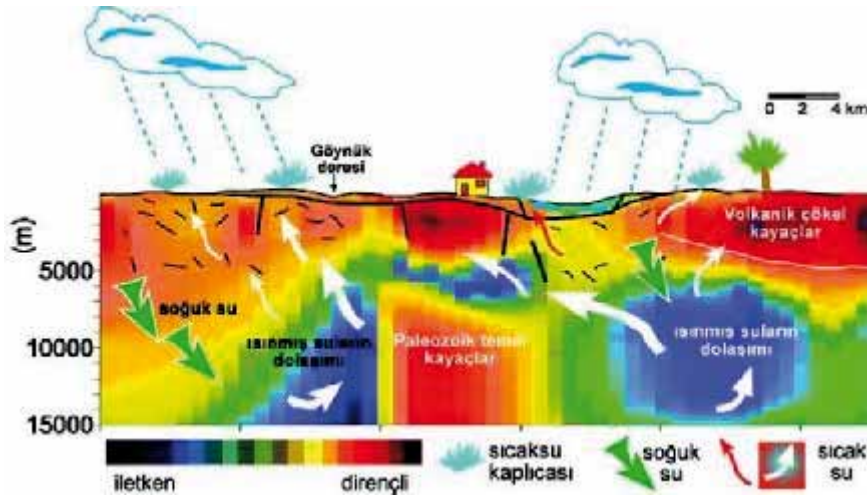


IP/Rezistivite Szl 1 Schlumberger-Wenner/ Dipol-Dipol/Gradient 2D Yapı Kesitleri (Ohm.m)

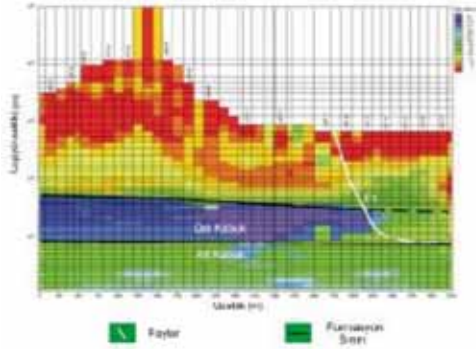


Şekil-6. IP-REZ 2-B (1350 m, a=50 m aralıklı SSR8 IP/RES uygulaması 350 m. derinlikli yerin bir çok bilinmeyenini keşfedebilir) çalışmalarına örnek

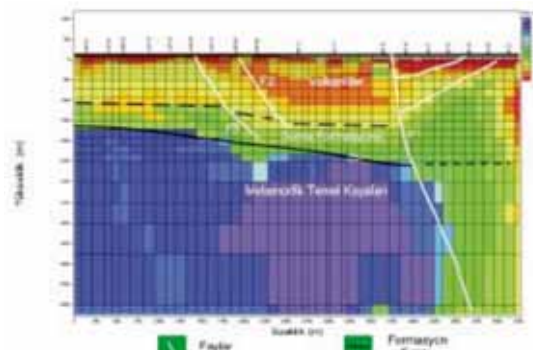
Gerek sıcaklık ve gerekse sıcak su dolaşımının kayaların elektriksel özelliğini değiştirmesi nedeniyle jeotermal aramalarında sondaj yerlerinin belirlenmesinde jeofiziğin elektrik-elektromanyetik yöntemleri başarılı ve isabetli sonuçları ortaya koyar. Bilecik civarındaki Göynük bölgesinde yapılan bir Manyetotellürik araştırmada yerinde sıcak suyun dolaşım gösterdiği ortam ve jeotermal model çıkarılmıştır (Şekil 7). Yer içi kesidinde mavi olan kısımlardaki kayaların elektriksel öz direnci sıcak suların dolaşımı nedeniyle düşük olarak elde edilmiştir [4].



Şekil-7. Jeofizik yöntemler kullanılarak elde edilen bir jeotermal yapısı örneği.



Şekil-8. Aliğa jeotermal sahasında kabuk yapısına yönelik, iki boyutlu ters-çözüm sonucu elde edilen gerçek öz direnç dağılımı ve jeolojik yorum (derinlik 60 km-logaritmik ölçek) [11].



Şekil-9. Aliğa jeotermal sahasında yakın yüzey iki boyutlu ters-çözüm sonucu elde edilen gerçek öz direnç dağılımı ve jeolojik yorum (derinlik 6 km- doğrusal ölçek) [11].

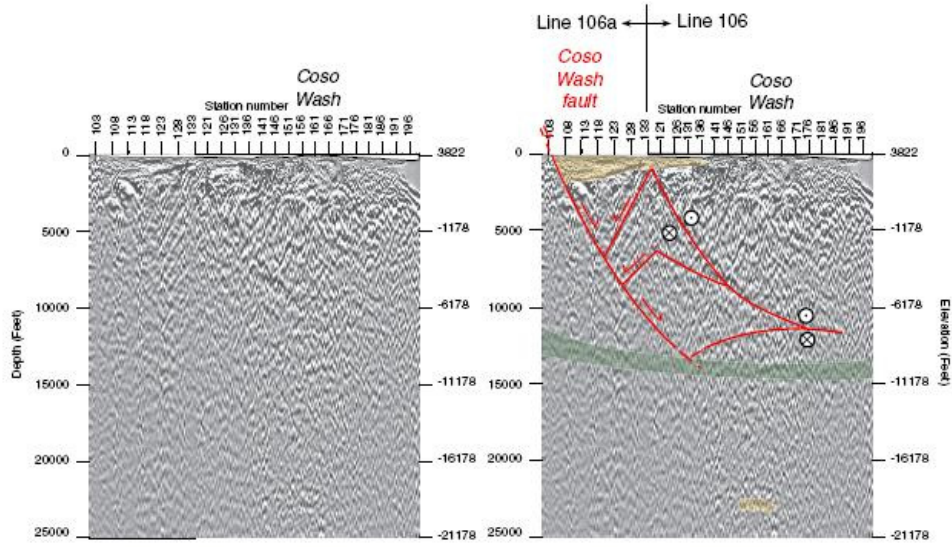
Hidrokarbon aramak amacıyla geliştirilen pek çok yöntem, jeotermal sahalarda da başarılı bir şekilde uygulanabilmektedir.

Sismik yansıma yöntemi de, çevre kayalara göre yeterli akustik empedans farkı

yaratılan ortamlarda başarılı bir şekilde hem iki boyutlu hemde üç boyutlu sismik yansıma parametrelerinden olan sismik attribute'ler jeotermal sahalarda çok olumlu sonuçlar vermektedir. Ülkemizde özellikle sismik 2-B ve

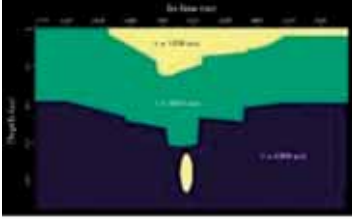
3-B veri toplama örnekleri maalesef yok denecek kadar azdır. Var olan veri ise; jeotermal enerji potansiyelinin arama faaliyetleri kapsamında toplanmış ve işlenmiş veriler değildir. Oysaki jeotermal potansiyelin ortaya çıkarılmasında dünya örneklerinde çok başarılı sonuçlar, mevcuttur [9].

Bu amaçla sentetik rezervuar için hazırlanmış bir modelden ve COSO Jeotermal sahasından (Doğu Kaliforniya) örneklerde gösterilmiştir [9].

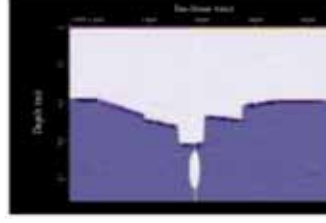


Şekil-10'da Coso Wash Fayı boyunca oluşturulan derinlik göç işlemi (PSDM) yapılmış bir kompozit sismik kesit verilmektedir. Kesit, 106 ve 106a isimli hatların birleşiminden oluşmaktadır. Coso Wash Fayına doğru biten antitetik fayların 3 boyutlu geometrileri ve 6-7 km (20000-23000 ft) aralığında belirlenen yansıma yüzeylerinin devamsızlığı kesitte görülmektedir.

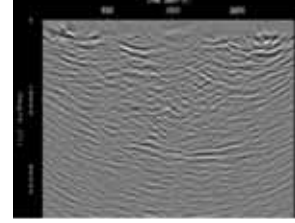




Şekil-11. Tipik bir jeotermal rezervuarın hız yapı modeli, Modelin merkezinde 1000 m derinlikte çok düşük hızlı bir kırık zon konulmuştur (Kaelin v.d., 2006).



Şekil-12. Yığma öncesi derinlik migrasyon kesiti (Kaelin v.d., 2006). Görüldüğü gibi yer içinin görüntüsü sismik yöntemle tespit edilebilmektedir. Sismik yöntem sayesinde jeotermal sahaların genişliği ve bulunduğu alan tahmin edilebilmektedir.



Şekil-13. Coso jeotermal sahasında yapılan verinin yığma öncesi derinlik göç işlemi sonucu elde edilen sismik kesitin görüntüsü (Kaelin v.d., 2006) Şekil incelendiğinde 16000 feet (.....m) derinliğinde büyük genlikli bir yapı görülmektedir. Genliğin büyük olması, düşük hızlı ve sıvı veya gaz olma ihtimali olan bölgeleri göstermektedir.

Örneklerdeki gibi yer içinin görüntüsü sismik yöntemle çözünürlüğü daha iyi tespit edilebilmektedir. Böylece sismik yöntem sayesinde jeotermal sahaların genişliği ve bulunduğu alan daha doğruya yakın tahmin edilebilmektedir.

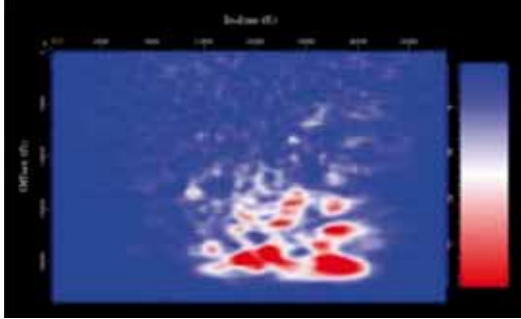
Düşük hızlı ve sıvı içeren yerlerde sismik P dalga hızı ve S dalga hızı ilişkisi daha doğru sonuçlar vermektedir (P ve S dalga hızlarının oranı kesiti, basınç kesiti ve bunlarla birlikte elastik parametreler hesaplanabilmektedir).

#### **Sismik attribute'ler (nitelikler)**

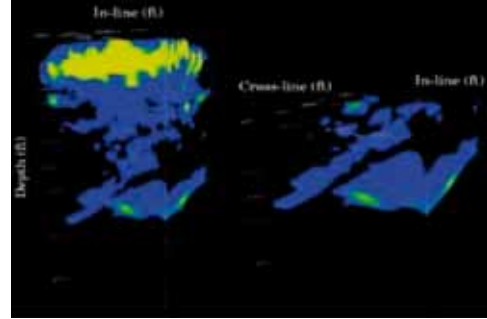
Sismik attribute'ler (nitelikler) sismik veriden elde edilen ve yerin içi ile bilgi veren bir özelliktir. Bu attribute'lerin fiziksel büyüklüğü özellikle hidrokarbon ve son yıllarda jeotermal araştırması ve rezervuar izlemede yaygın olarak kullanılmaktadır. Amaç, belirli bir alan için karakteristik özelliklerini bulmaktır. Bu özelliklerden biride enerjidir. Enerji sismik verinin genliğinden hesaplanır ve yeni enerji kesiti elde edilir.

Bunlara ilave olarak; sismik kesitten frekans spektrumu, Soğrulma, Q faktörü,  $V_p/V_s$  kesiti, basınç kesiti gibi kesitlerde elde etmek mümkündür.

Entegre bir çalışma sonucunda açılan sondajda kuyu içi jeofizik ölçümlerine bir örnek.



Şekil-14. Coso jeotermal sahasındaki sismik kesitten elde edilen enerjinin iki boyutlu kesitin görüntüsü (kırmızı renkli kısımlar enerjinin büyük olduğu yerlerdir) (Kaelin v.d., 2006).



Şekil-15. Coso jeotermal sahasındaki sismik kesitten elde edilen enerjinin üç boyutlu kesitin görünüşü (sarı renkli kısımlar enerjinin büyük olduğu yerlerdir) (Kaelin v.d., 2006).



Şekil-16. Sondaj yerinin belirlenmesi ile, derinliğe bağlı değişen ısı akısı ve kuyu içi formasyonların takibi.

## 5. JEOTERMAL ENERJİ ARAMA PROJESİ FAALİYET PROGRAMI VE YATIRIMLARIN İÇİNDE JEOFİZİK ÇALIŞMALARIN DAĞILIM YÜZDESİ

Jeofizik araştırmalar, sondaj dışında yer altı özelliklerinin şeklini çıkarabilecek tek ve en önemli yoldur.

Sondajla karşılaştırıldığında kısa sürede büyük alanları çok daha düşük maliyetle araştırabilirler. Hem sığ, hem de derin olmak üzere temel yapısal özelliklere ek olarak, jeotermal araştırmalarla ilgili diğer önemli parametrelerin tespitine yönelik sorularda da yardımcı olurlar. Bu nedenle jeofizik araştırmalar, jeolojik, hidrolojik ve jeokimyasal araştırmalarla birlikte her türlü arama programının çok önemli bir parçasını oluşturmaktadır.

Yurt içi ve yurt dışı arama yatırım bütçeleri incelendiğinde aşağıda verilen Tablo-1’de görüleceği gibi, toplam arama sistematığının bütçesindeki kalemler içinde jeofizik yatırım tutarı ortalama olarak yaklaşık % 20’sini teşkil etmektedir. Bu miktardaki bir yatırım tutarı entegre bir çalışma ve bir projelendirme içinde ülkemizde jeofizik araştırmalara ihtiyaç duyulmamakta, karar mekanizmalarında dikkate alınmamaktadır. Bunun nedenleri; Meslek taraftarlığı (tutuculuğu), bilgi eksikliği ve güncellenmemiş bilgiler ve birlikte (entegre) çalışma (proje kavramı) anlayışının benimsenmeyişi olabilir [3].

	<b>FAALİYETLER</b>	<b>YATIRIM BEDELİNİN YÜZDESİ</b>
1	Önceki Çalışmaların Değerlendirilmesi	0.3%
2	Uzaktan Algılama Çalışmalar	1.0%
	<b>TOPLAM</b>	<b>1.3%</b>
3	Jeolojik Çalışmalar	2.4%
	<b>TOPLAM</b>	<b>2.4%</b>
4	Jeofizik Çalışmalar	19.9%
	<b>TOPLAM</b>	<b>19.9%</b>
5	Arama Faaliyet Döneminin Raporlaması	1.1%
6	CBS ve Durum Değerlendirmesi	0.7%
	<b>TOPLAM</b>	<b>1.8%</b>
7	SONDAJ (1500 m)	66.6%
	<b>TOPLAM</b>	<b>66.6%</b>
8	ÜRETİM	7.9%
	<b>GENEL TOPLAM</b>	<b>100.0%</b>

Tablo-1. Arama Faaliyetleri Yatırım Miktarları % Dağılımı

## 6-SONUÇLAR

1- Türkiye’de enerji ve doğal kaynak rezerv potansiyelinin daha çok olabileceği hakkındaki görüşlere rağmen, potansiyelin belirlenmesi amacıyla jeofizik yöntemler ve bu yöntemlerdeki teknolojik gelişmeler yeterince kullanılmamıştır.

2-Jeotermal enerji kaynak aramalarında, jeofizik yöntemler ve teknolojik gelişmeler kullanılmadan aramacılığın olmazsa olmazı olarak hala sondaj yöntemi kabul edilmektedir.

3- Jeofizik yöntemlerden sismik metotlar, jeotermal enerji aramalarında dünyada yaygın olarak kullanılmasına rağmen ülkemizde 2-B ve/veya 3-B sismik veri toplaması uygulanmamaktadır.

4-Jeotermal enerji kaynağı potansiyelinin ortaya çıkarılmasında, varlığın büyüklüğüne göre çok küçük olan, jeofizik (verinin toplanma, işleme ve yorumlanma) yatırımlarının

(% 20) katkısı büyük olacaktır.

5-Jeoloji, jeofizik, sondaj ve üretim çalışmaları ile ilgili standartlar potansiyel alanların ortaya çıkarılmasına uygun olarak yapılmalıdır.

Yukarıda verilmeye çalışılan veya olumsuz gibi görünen sonuçların nedenleri;

- Meslek taraftarlığı (tutuculuğu) olabilir,
- Bilgi eksikliği ve güncellenmemiş bilgiler olabilir,
- Birlikte (entegre) çalışma (proje kavramı) anlayışının benimsenmeyişi olabilir.

## 7-ÖNERİLER

1-Jeoloji, jeofizik, sondaj ve üretim çalışmaları standartları potansiyel alanların ortaya çıkarılmasına uygun olarak yapılmalıdır.

2-Jeotermal aramalar için diğer sektörlerde kullanılan, özellikle Petrol Kanunu kapsamında yurtdışından alınan ekip ve ekipmanların kullanımının sağlanmalıdır.

3-Jeotermal kaynaklar ile ilgili araştırmaların nasıl yapılacağı ve denetleneceği konularında belirsizlikler mevcuttur. Bu durum için yeni düzenlemeler getirilmelidir.

4-Belirlenen jeotermal sahaların yeni araştırma etütleri ve sondajlarıyla geliştirilmesi çalışmaları

stratejik amaçlar arasında yer almalıdır.

**SON SÖZ;**

**Kendisi bir jeolog olan E. Arğan şöyle der: “Gelecek jeofiziktir.”**

**(Aktaran, Şengör, 1983).**

**A. Wegener (1966) ise “ İnanıyorum ki bu problemlerin çözümü sadece jeofizikten gelecektir.” demiştir.**

## KAYNAKLAR

T.C.DPT IX. Kalkınma Planı (2007–2013), Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu, Enerji Hammaddeleri Alt Komisyonu, Jeotermal Enerji Çalışma Grubu, 2006.

Akkuş, İ., Akıllı, H., Ceyhan, S., Dilemre, Ayşe., Tekin, Z., MTA-2005; Türkiye Jeotermal

Kaynakları Envanteri.

A.Uğur GÖNÜLALAN “Jeotermal Kaynaklar ve Mineralli Sular Kanunu'nun”, Diğer Doğal Kaynaklar Kanunları ile Karşılaştırılması ve Jeotermal Kaynak Aramacılığının Boyutları, “TMMOB Jeotermal Kongresi” Ankara, 21-24 Kasım 2007

Prof. Dr. İlyas Çağlar, Prof. Dr. Tuncay Taymaz, Arş. Gör. Seda Yolsal, Arş. Gör. Ümit Avşar, “Aktif Tektoniğin İkrarı SIFIR ZARARLI JEOTERMAL ENERJİ”, BİLİM TEKNİK Temmuz 2006

DEK-TMK ÇALIŞMA GRUPLARI RAPORLARI 2007 Cilt 1 Jeotermal Enerji Alt Çalışma Grubu

EİE Jeotermal Enerji Çalışmaları (eie.gov.tr)

Bilim ve Teknik Dergisi Mayıs 2009 Yıl 42, Sayı 498 JEOTERMAL ENERJİ (Çeviri: Pınar

Dündar) [http://www.eurekalert.org/pub\\_releases/2009-02/haogiou022709.php](http://www.eurekalert.org/pub_releases/2009-02/haogiou022709.php)

Geothermal Energy An Alternative Resource For The 21 St Century, Harsh GUPTA And

- Sukanta ROY, Chapter 5, 2007 Elsevier
- Kaelin, B., Fliedner, M., M., and Bevc, D., 2006, Seismic Attributes In Geothermal Fields, PROCEEDINGS, Thirty-First Workshop on Geothermal Reservoir Engineering Stanford University, Stanford, California, January 30-February 1, 2006 SGP-TR-179
- Prof. Dr. Şakir ŞİMŞEK, NEW WIDE DEVELOPMENT OF GEOTHERMAL POWER PRODUCTION IN TURKEY, INTERNATIONAL CONFERENCE OF NATIONAL DEVELOPMENT ON GEOTHERMAL ENERGY USE, May 26-29 2009 Casta Papiernicka-Slovakia
- Aliğa Jeotermal Sahasının Manyetotellürük Yöntem ile Araştırılması, Prof.Dr.A.Tuğrul Başokur v.d., Mayıs 2001
- Elektrik İşleri Etüt İdaresi Web Sayfası (eie.gov.tr, yenilenebilir enerji kaynakları, jeotermal)
- Türkiye Jeotermal Derneği Web Sayfası ([www.jeotermaldernegi.org.tr](http://www.jeotermaldernegi.org.tr))
- Jeotermal Enerji Arama Teknikleri, Jeotermal Enerji Seminerleri Ders Notu, Dr. Ümran Serpen 2003

#### **TEŞEKKÜR**

Katkıları için destekleri ve bilgilerini paylaşan tüm meslektaşlarımıza ve özellikle

- 1- MERTY ENERJİ A.Ş.'ye
- 2- JEOFİZİK SERVİSİ VE İLERİ TEKNOLOJİLER LTD.ŞTİ,' ye
- 3- NAGECO'ya
- 4- MTA'ya

Bu bildirimizi kabul eden Kongre Kurullarına teşekkürü bir borç biliriz.



## **Afyon Ömer - Gecek Jeotermal Alanında Yapılan İlk Jeofizik Çalışma**

Mehmet Ali DANIŞMAN

*Dokuz Eylül Üni., Müh. Fakültesi, Jeofizik Müh. Bölümü, Tınaztepe Kampüsü, Buca 35160*

*İZMİR*

*[ali.danisman@deu.edu.tr](mailto:ali.danisman@deu.edu.tr)*

### **ÖNSÖZ**

Bu sunum, Ülkemiz Yerbilimlerine Jeofizik Mühendisliği Dalında hizmet etmiş merhum **Aytaç GÜLAY**'ın 1969 / 70 yıllarında Afyonkarahisar Ömer-Gecek jeotermal alanında yapmış olduğu jeofizik çalışmalarının bir tekrarıdır. 1973 yılında yayınlanan bildirinin orijinaline sadık kalınarak tanım ve deyimler değiştirilmeden aynı şekilde kullanılmıştır. Aynı çalışmaya mahalli işçi kadrosu ile emek vermiş olmam benim için ayrı bir gurur kaynağıdır.

Sayın oda başkanımıza ve yönetim kurulu üyelerimize, geçmişte mesleğimize katkı vermiş, aramızdan sonsuza kadar ayrılmış meslektaşlarımızın yaptıkları ile hatırlanması amacıyla böyle sunumlarla anılması konusunda yaptıkları uygulama için siz konukların huzurunda teşekkür etmeyi bir borç sayıyorum ve kendilerini kutluyorum.

### **1. ÖZET**

Yerelektrik yöntemlerin uygulanması sırasında, yere uygulanan akımın yayınındaki etkenlerden biri de yeriçi ısındaki değişikliklerdir. Jeofizik arama yöntemleri Jeotermal alanlara uygulandığında yer içindeki sıcak akışkanın ortam özdirencini düşürdüğü göz önünde tutulur.

Afyon Ömer-Gecek jeotermal alanında Düşey elektrik Sondaj(DES) çalışması 50-100m aralıklarla karelej şeklinde çalışma yapılmıştır. Çalışmalara doğal sıcak su çıkışlarının olduğu noktalarda başlanılmış ve bu noktalarda elde edilen özdirenç değerleri baz alınarak tüm çalışmalar buna göre değerlendirilmiştir.

Düşey Elektrik Sondaj değerleri abaklarla değerlendirilerek görünür özdirençten gerçek özdirence geçilmeye çalışılmıştır. Elde edilen olası sıcak su anomalileri sonucunda kat (derinlik) haritaları hazırlanarak bölge bir bütün olarak değerlendirilmiştir. AB/2 değeri 900 ila 1000 metre olarak (Wenner) açılım gerçekleştirilmiştir.

Elde edilen düşük özdirençli anomalilerin, tamamen ortamın termal akışkanla sature olmasından kaynaklandığı sonucuna varılmıştır. DES noktalarından bazılarının çift logaritmik çizimleri de şekillerde verilmiştir. Örtü kayaç olarak tanımlanan neojen yaşlı kayaçların özdirenci 8-40 Ohmm, taban kabul edilen metamorfiklerin özdirençleri ise 70-100 Ohmm arasında hesaplanmıştır.

## 2. ÇALIŞMA ALANININ COĞRAFİ KONUMU



Şekil 1. Ömer - Gecek Jeotermal Alanının Uydu görüntüsü ve Sondaj Lokasyonları

Türkiye'nin önemli jeotermal alanlarından biri olan Ömer-Gecek jeotermal alanı Afyon-Kütahya karayolu üzerinde Afyon'a yaklaşık 15 km uzaklıktadır. Yaklaşık 16 km<sup>2</sup>'lik bir alan kaplayan inceleme alanı, Afyon K24-b3 paftasında yer almaktadır. İnceleme alanına ait yer buldum haritası Şekil T de yer almaktadır. İnceleme alanında yer alan yerleşim merkezleri; kuzeyde Bayramgazi, batıda Köprülü, güneyde Demirçevre, Sadıkbey, doğuda Saraydüzü, Fethibey, İsmailköy, merkezde Ömer ve Gecek kaplıcalarıdır. Önemli yükseltiler ise; Oyuklu Tepe (1214 m), Başçakmak Tepe (1148 m) ve Çalıldüzü Tepe (1129 m)'dir.

## 3. ÇALIŞMA ALANININ GENEL JEOLJİSİ

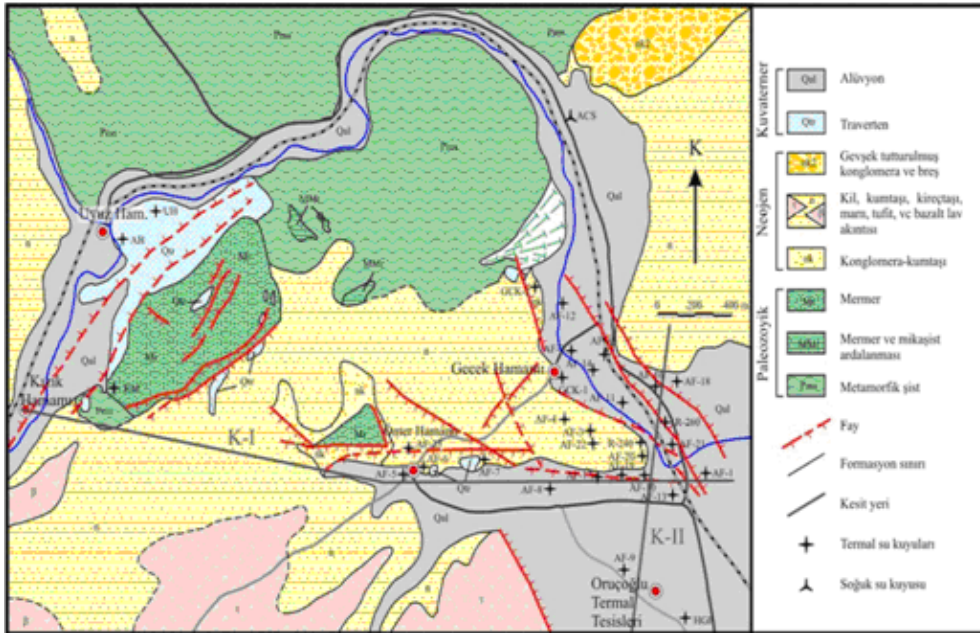
İnceleme alanında, Erişen (1972), Karamaneresi (1972), Tatlı (1973), bu bildirinin yayınlanmasından sonraki dönemlerde de Metin vd. (1987) ve Erkan vd. (1996) tarafından ayrıntılı jeolojik incelemeler yapılmıştır. Bu bölümde, Afyon Ömer-Gecek ve yakın çevresinin jeolojisi bu çalışmalardan yararlanılarak özetlenmiştir. İnceleme alanına ait jeoloji haritası Şekil 2'de sunulmuştur. Afyon Ömer-Gecek alanında Paleozoyik yaşlı Afyon metamorfitelemi temeli oluşturmaktadır.

Afyon Ömer-Gecek alanında sıcak suların akifer kayacını Paleozoyik yaşlı Afyon



Metamorfite (mermer ve şist), örtü kayacını ise Neojen yaşlı birimler Paleozoyik yaşlı kayalar üzerinde uyumsuz olarak (Miyosen yaşlı konglomera ve marn üyesi ile Pliyosen yaşlı marn, konglomera, kireçtaşı ve üst marn üyesi) yer almaktadırlar.

Jeotermal sistemin ısı kaynağını jeotermal gradyan ve volkanik kayaları oluşturan magma cepleri oluşturmaktadır. Sıcak suların beslenmesi, yüksek kısımlarda yüzeylenen Paleozoyik yaşlı Afyon metamorfite ile bu birimin örtülü olduğu kısımlarda ise örtü kayacın geçirimli kısımlarından ve fay hatları aracılığı ile yan havzalardan gerçekleşmektedir (Akan, B. 2002).

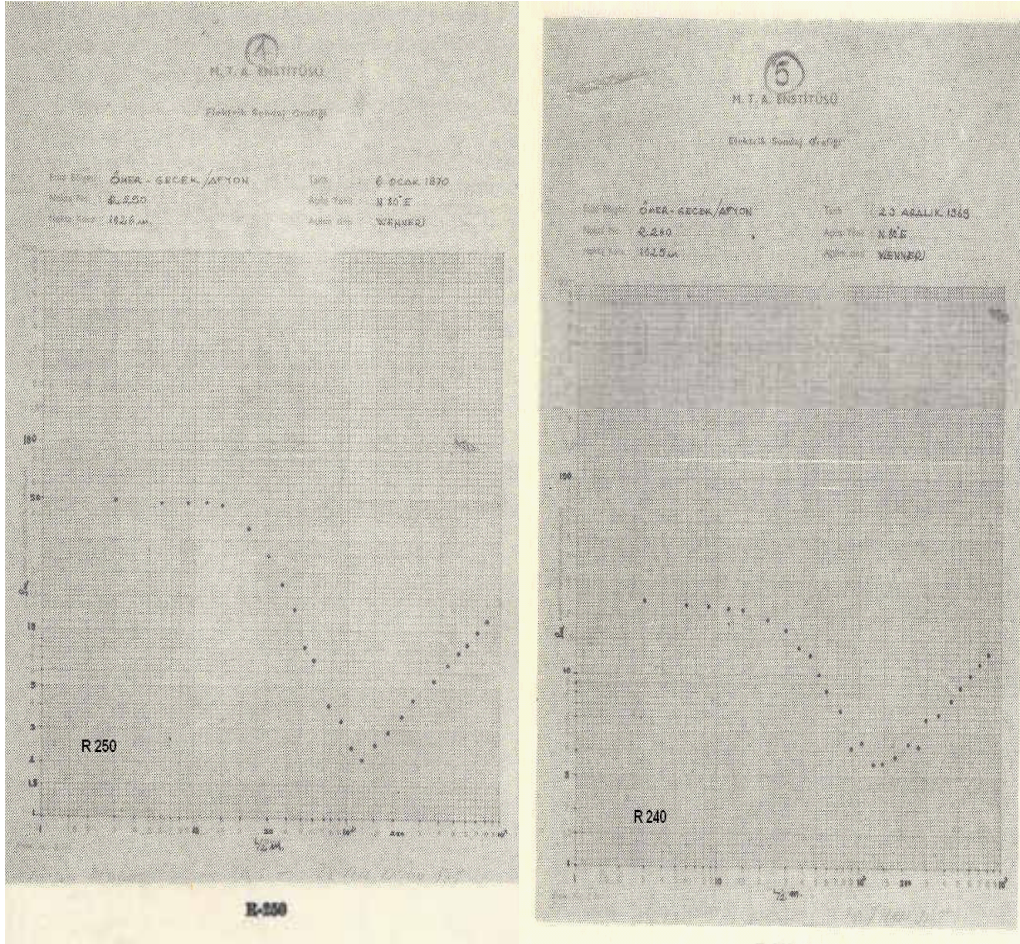


Şekil 2. Afyon Ömer-Gecek Jeotermal Alanının jeoloji haritası (Satman vd. 2005) (Onur, M. vd. 2008)

#### 4. JEOFİZİK ÇALIŞMALAR VE YORUMLAR

Bu çalışma, Merhum Aytaç Gülay'ın 1973 yılında "Türkiye Birinci Jeofizik Bilimsel ve Teknik Kongresi"nde sunulmuş olan "Muhtelif Ortamlarda Temperatur-Rezistivite İlişkileri" adlı tebliğin bir uygulaması olarak sunulmuştur.

Yazara göre; Jeotermik enerji arama amaçlı yapılan çalışmalarda uygulanan Özdirenç yöntemi doğrudan doğruya kayaların akım- temperatur ilişkileri ile ilgilidir. Akımın yer içindeki yayılmasını etkileyen faktörlerden birisi olarak tanımlanan temperatur, bazı çalışmalarda önemsenmesi gereken bir değişken olarak alınması gereklidir.



Şekil 3. R-240 ve R-250 DES Noktalarının Çift Logaritmik Orijinalleri

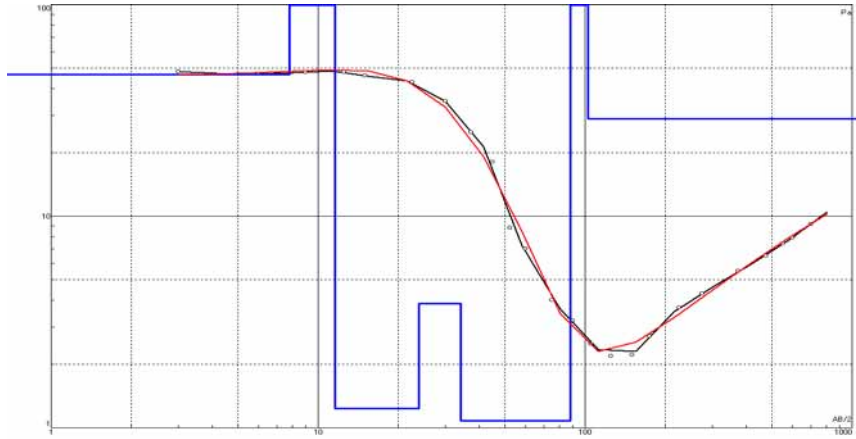
Afyon Ömer-Gecek jeotermal alanında Düşey elektrik Sondaj(DES) çalışması 50-100m aralıklarla karelej şeklinde noktalar düzenlenerek ölçüler alınmıştır. Çalışmalara doğal sıcak su çıkışlarının olduğu noktalarda başlanılmış ve bu noktalarda yapılan düşey elektrik sondajlarından hesaplanarak elde edilen özdirenç değerleri baz alınarak tüm çalışmalar buna göre değerlendirilmiştir.

Düşey Elektrik Sondaj ölçüleri abaklarla değerlendirilerek görünür özdirençten gerçek özdirence geçilmeye çalışılmıştır. Elde edilen olası sıcak su anomalileri sonucunda kat (derinlik) haritaları hazırlanarak bölge bir bütün olarak değerlendirilmiştir.  $AB/2$  değeri arazi yapısı da göz önünde bulundurularak 900m ile 1000m olarak (Wenner) açılım gerçekleştirilmiştir.

Yapılan bu jeofizik etüdün sonucunda elde edilen anomalilere göre 6 farklı noktada ( R-240 (SJ-1), R-250(SJ-2), R-260 (SJ-3) , T-230( SJ-4) O-260(SJ-5) ve V-220( SJ-6) sıcak su sondajı yapılması teklif edilmiştir.

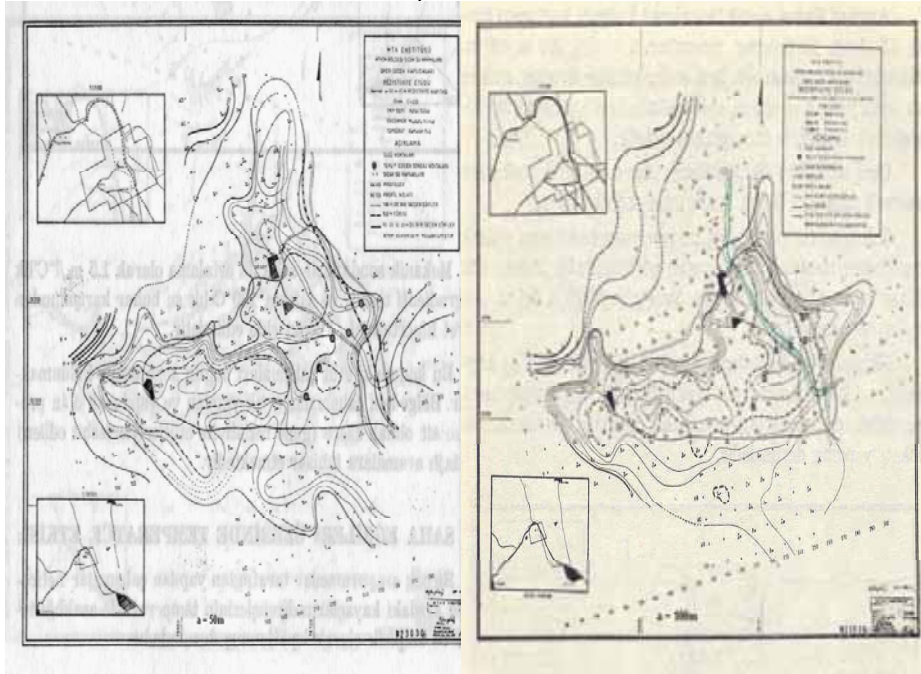
Elde edilen düşük özdirençli anomalilerin, tamamen ortamın termal akışkanla satire

olmasından kaynaklandığı sonucuna varılmıştır. DES noktalarından bazılarının çift logaritmik çizimleri de Şekil 3'de verilmiştir. Örtü kayaç olarak tanımlanan neojen yaşlı kayaçların özdirenci 8-40 Ohmm, taban kabul edilen metamorfiklerin özdirençleri ise 70- 100 Ohmm arasında hesaplanmıştır.



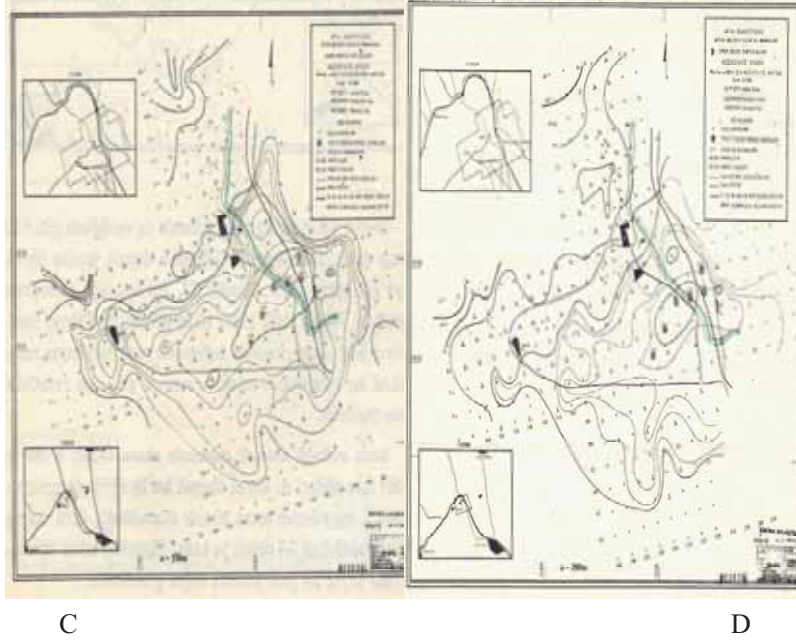
Şekil 4. R-250 DES Noktasına ait IPI2 win Yazılımı ile yapılmış değerlendirme (Ortamın tamamen satüre olma durumu)

#### ÖZDİRENÇ KAT HARİTALARI



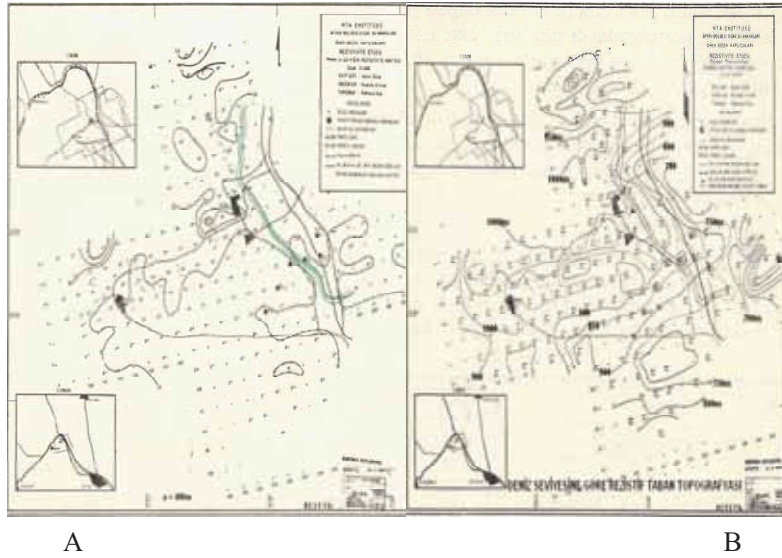
A

B



Şekil 4.1. Elde edilen Eş Özdirenç kat haritaları (A= 50m, B=100m, C=150m, D=200m)

Mekanik sondaj teklif edilen noktalardan en uygun **R-240 (SJ-1)** ve **R-260 (SD-3)** numaralı DES ölçü noktalarında mekanik sondajlar gerçekleştirilerek yaklaşık 120m derinlikte 100° C sıcak akışkan elde edilmiştir. R-240 (SJ 1) Kuyusu Blow-out yapmış ve kontrolsüz kalarak Akarçay' a yıllarca boşalım yapmıştır. Kuyu etrafında, kontrolsüz yüksek basınçlı akışkan çıkışı nedeniyle büyük bir çukur oluşmuş ve bu çukur ancak yüzlerce kamyon kaya parçalarıyla doldurulabilmiştir.



Şekil 4.2. Eşözdirenç kat haritası ( a=400m,A) ve Özdirenç Taban topografya Haritası(B)

Şekil 4.1 ve Şekil 4.2 ye bakıldığında sıcak akışkan içeren zonlar gittikçe derinleşmekte fakat a=400m'deki eş öz direnç haritasından da görüleceği gibi düşük rezistiviteli saha genişlemektedir.

Şekil 4.2 B deki taban kontur haritasında ise olası rezervuarı teşkil eden yüksek rezistiviteli metamorfiklerin yapısı (geometrik) görülmektedir. Metamorfik taban kayalar Afyon istikametine doğru derinleşerek uzanmaktadır.

**“Bu konudaki etüd çalışmalarını bu gün sona ermiş bulunmaktadır. Bölgedeki çalışmalar artık yapılan ve yapılacak olan projelere ait olmak üzere (gene rezistivite etüdüleriyle tesbit edilen) sondajlı aramalara inhisar etmektedir.”**

## 5. GÜNÜMÜZDE ÖMER – GECEK JEOTERMAL ALANI

Günümüzde bölgede MTA ve özel kuruluşlar tarafından açılmış çok sayıda sıcak su kuyusu bulunmaktadır. Bu kuyulardan, 48-98 °C sıcaklıkta ve 4-100 l/s debi ile sıcak su elde edilmektedir. Güncel teknolojilerle bölge için yeni modellemelere gidilmiş böylece yeni jeotermal projelerin hayata geçirilmesi sağlanmıştır.

Afyon Demirçevre Köyü sınırları içinde kalan tüm jeotermal alan “Termal Turizm Bölgesi” ilan edilerek şu an için sadece bu alan sınırlarında bile 5 adet 5 yıldızlı Termal otel yatırımı gerçekleştirilerek bölge ekonomisine artı değer katmıştır.

Son 10-15 yılda termal turizm alanında Afyon’da ardı ardına açılan otel ve moteller sayesinde Termal turizm denince akla gelen ilk il Afyonkarahisar olmaktadır. Ömer Thermal Otel, İkbal Termal Hotel, Korel Thermal Resort, Oruçoğlu Thermal Resort, Hayat Termal, Ömer Kaplıcası ve Gecek Kaplıcası şimdilik sayılabilecek yatırımlardır.

Afyon İl Özel İdaresi tarafından oluşturulan **AFJET** (Afyon Jeotermal Isıtma Tesisleri) şirketi, Afyon kentinin jeotermal enerji ile ısıtılması amacıyla bölgedeki sıcak suların yararlanmaktadır. (Tablo 1.)

**Table 1. The list of the wells located in Afyon Ömer-Gecek geothermal field (Tamgaç et al., 2000)**

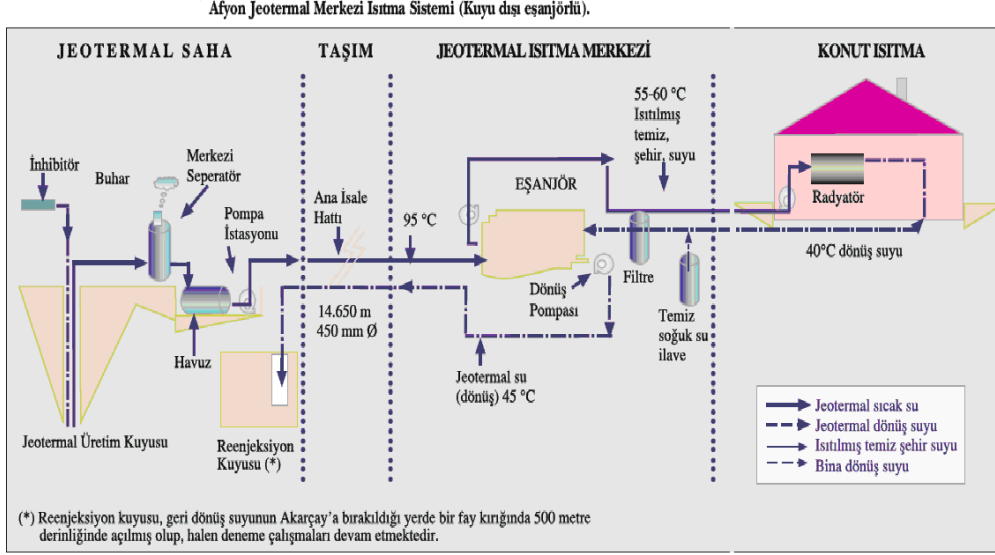
Kuyu Adı	Derinlik (m)	KB Kotu (m)	KB Sıcaklığı (°C)	Dinamik Sıcaklık (°C)	Debi (l/s)	Debi (l/s)	KB basıncı (kg/cm <sup>2</sup> )	Açıldığı tarih
R-260	166.0	1028	92.0	100.28	20	30.0	1.02	1971
AF-01	905.0	1023	97.4	97.00	7-20	-	-	1974
AF-02	56.8	1026	-	-	-	-	-	1996
AF-03	250.0	1065	97.0	-	110	-	-	1975
AF-04	125.7	1051	95.0	-	80	-	-	1982
AF-05	207.4	1048	79.0	-	15	-	-	1982
AF-06	211.4	1044	92.0	-	10	-	-	1982
AF-07	210.0	1041	100.0	-	5-6	-	-	1984
AF-08	250.0	1033	91.0	-	5-10	-	-	1984
AF-09	320.0	1027	51.0	-	66	-	-	1990
AF-10	320.4	1027	98.0	-	100	-	-	1990
AF-11	185.0	1028	98.0	106.32	150	68.3	1.61	1996
AF-12	59.0	1033	88.0	-	15	-	-	1996
AF-13	560.0	1026	81.0	-	4.7	-	-	1996
AF-14	122.0	1039	96.0	104.16	100	51.0	1.02	1996
AF-15	170.7	1030	97.0	106.35	4-5	38.0	1.65	1996
AF-16	218.0	1033	96.0	105.50	100	35.8	2.03	1996
AF-17	260.5	1034	99.0	101.13	80	22.7	0.91	1996
AF-18	363.6	1033	98.0	-	Gayzer	-	0.97	1996
AF-19	305.3	1031	90.0	-	100	54.3	-	1997
AF-20	230.0	1035	90.0	100.55	100	54.3	0.97	1997
AF-21	212.0	1026	91.0	102.24	45	63.4	2.03	1997
AF-22	227.0	1065	95.0	-	50-70	-	-	1997
AF-23	235.8	1045	90.0	-	50	-	-	1997

KB:Kıybaşı

\*: Kuyunun açıldığı tarihte alınan ölçümler

\*\*2000 yılında MTA tarafından yapılan testler sırasında alınan ölçümler

Tablo 1. AFJET için Ömer-Gecek Jeotermal Alanında Açılmış Kuyular (Akan, B.2002)



Şekil 5. Afyonkarahisar (AFJET) Kent Isıtma Projesi Sistemi Genel Şeması

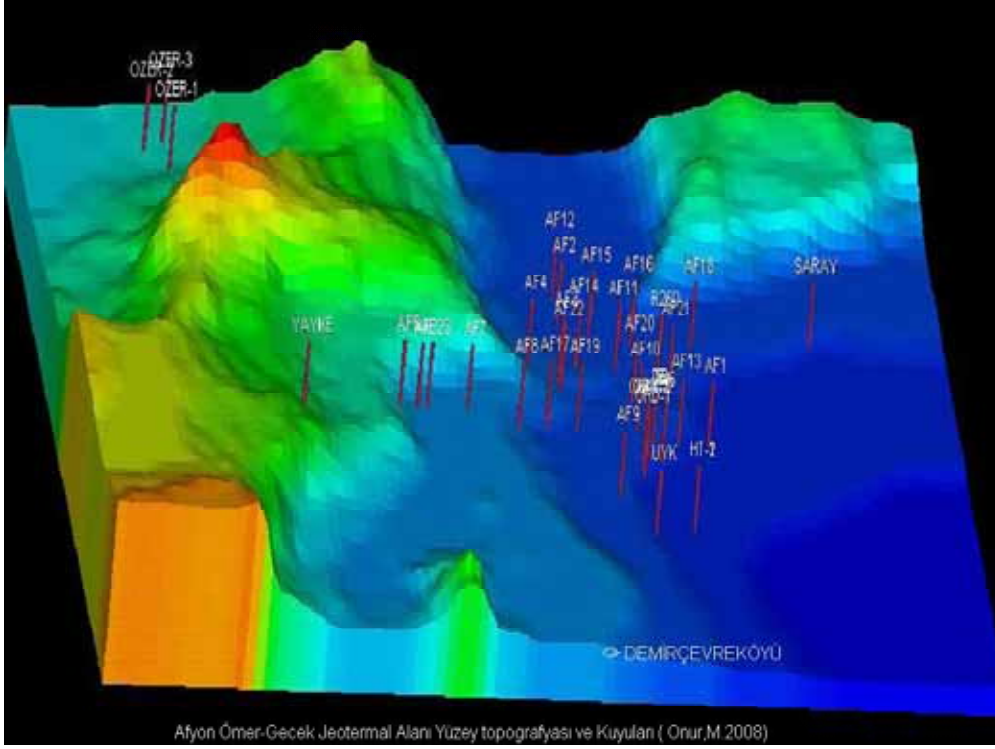
Afyon'u ısıtmak amacıyla jeotermal akışkanın elde edildiği Ömer-Gecek jeotermal sahası, ortalama 95 °C sıcaklıkta, ve yüksek (mevcut durum; 170 l/s, potansiyel; 402 l/s) debide jeotermal akışkan üretimiyle Türkiye'nin önemli sahaları arasında yer almaktadır. Sahadan alınan jeotermal akışkan, fazla ısı kaybına neden olmayan özel borularla, yaklaşık 15 km uzaklıktaki da ısıtma merkezine getirilmektedir. Bu merkezde akışkanın enerjisi şebeke suyuna aktarılmakta ve yaklaşık 60 °C'ye kadar ısınan su, yalıtılmış özel borularla şehir içerisine gönderilmekte ve kullanıma sunulmaktadır.

Afyon İl Merkezi'nde jeotermal enerjiden yararlanılarak ısıtılan konut sayısı Aralık 2002 itibariyle 4700'dür. Bunun için kullanılan jeotermal akışkan miktarı 170 l/s dir. birkaç yıl içinde 12.000 konut jeotermal enerjiyle ısıtılması planlanmaktadır. Bu projenin gerçekleşmesi için ise 95 °C'de ve 600 l/s kesintisiz jeotermal akışkana ihtiyaç vardır. Gerekli üç boyutlu rezervuar ve saha modelleri yapılarak Ömer-Gecek jeotermal alanının kontrollü üretim yapılarak sürdürülebilirliğini sağlamak amacıyla projeler üretilmektedir. (Şekil 6.)

Bölgede sondaj çalışmaları 1971 yılında başlamış günümüzde hala devam etmektedir. MTA tarafından Afyon'da çeşitli tarihlerde toplam 24 adet kuyu açılmıştır. Bu kuyulardan AF-2 ve AF-12'de yeterli kalınlıkta örtü kayaç kesilmediğinden kuyular kontrolsüz üretim yapmış ve bu nedenle kullanım dışı bırakılmışlardır.

Bölgedeki kuyuların 12 tanesi (AF-1, AF-2, AF-3, AF-5, AF-6, AF-7, AF-8, AF-10, AF-12, AF-15, AF-18 ve AF-19) zaman içinde çeşitli nedenlerle kullanım dışı kalmış, geri kalan kuyulardan (AF-4, AF-9, AF-11, AF-13, AF-14, AF-16, AF-17, AF-20, AF-21, AF-22, AF-23) ise kaplıca, otel ve AFJET'in sıcak su ihtiyacı karşılanmaktadır. (Tamgaç vd., 2000)

Yaklaşık 13 yıldır kent ısıtımında kullanılan Ömer-Gecek Jeotermal sahasından üretilen sıcak akışkanın büyük bir bölümü Akarçay'a deşarj edilerek çevre kirliliğine neden olmaktadır. Bu konuda da bir çok araştırmacı (Doğdu, M. 2001, Dr. tezi, Doğdu, M., Bayar, S. 2002, Akan, B. 2002, Tamgaç, Ö. F. vd., 2000, Sabah, E. 1999 vd.) çalışma yapmış ve kirlenmenin inanılmaz boyutlarını gözler önüne sermişlerdir.



Şekil 6. Ömer-Gecek Jeotermal Alanının 3D modellemesi (Onur,M. vd.2008)

## 6. SONUÇLAR

1967 Yılında Maden Tetkik ve Arama Enstitüsünde “Türkiye Enerji Aramaları” olarak başlayan, bilimsel çalışmalarla ivme kazanan yerbilimleri araştırmaları günümüzde inanılmaz enerji ve turizm yatırımlarının Ülkemize kazandırılmasına olanak sağlamıştır. Bu yatırımların ürünlerini Egeden Van’a , Akdenizden Karadenize kadar görmek olasıdır. Bu çalışmalara Ülkemiz bilim insanlarının binlercesi emek üreterek katkıda bulunmuşlardır. Bu bilim insanlarımızdan aramızda olanları şükran, minnetle ve saygıyla anarken, Aytaç Abi gibi aramızdan ayrılanları da rahmetle anarak bir nebze olsun insani görevlerimizi yerine getirmenin mutluluğunu yaşıyor ve yaşamınızı diliyorum.

## KAYNAKLAR

- Akan, B., 2002, Afyon Ömer-Gecek Jeotermal Sisteminin Modellenmesi, Jeoloji Mühendisliği Dergisi , 26(2).  
Doğdu, M. Ş. ve Bayarı, S. C., 2002, Akarçay Havzasında(Afyon) Jeotermal Kökenli Kirlenme-1, Yerbilimleri Dergisi, Sayı 25, Sayfa 21-33, Hacettepe, Ankara.  
Doğdu, M. Ş. ve Bayarı, S. C., 2002, Akarçay Havzasında(Afyon) Jeotermal Kökenli

- Kirlenme-2, Yerbilimleri Dergisi, Sayı 25, Sayfa 35-49, Hacettepe, Ankara.
- Onur, M., 2008, Jeotermal Rezervuarlarında Kuyu Basınç Testleri ve Analizi, Jeotermal Enerji Semineri, Sayfa 167- 204.
- Onur, M. vd., 2008, Düşük Sıcaklıklı Jeotermal Rezervuarların Akışkan ve Isı Üretim Davranışının Tank Modelleriyle Modellenmesi, Proje no: 105M018.
- Sabah, E. ve Çelik, M.Y., 1999, Afyon Jeotermal Merkezi Isıtma Sistemi, Ekonomisi ve Hava Kirliliğinin Önlenmesindeki Katkısı, Madencilik Dergisi, S2-3, C.38, Sayfa 7.



## **Jeotermal Çalışmalarda Kullanılan Doğru Akım Özdirenç Yöntemlerinin (Düşey Elektrik Sondaj, Wenner, 3 Nokta) Sahanın Jeolojisi ve Genel Tektonik Yapı ile Birlikte Değerlendirilmesi**

Hayrettin KARZAOĞLU

*MTA, Batı Karadeniz Bölge Müdürlüğü, ZONGULDAK*

### **ÖZ**

Jeotermal kaynakların ülke ekonomisine kazandırılması jeolojik ve jeofizik verilerin beraberce değerlendirilmesi ile daha olumlu sonuç vereceği kaçınılmaz bir gerçektir. Bilindiği üzere; yer kabuğunu oluşturan kayaların fiziksel özellikleri bulunduğu ortam ve jeolojik oluşumuna göre farklılıklar göstermektedir. Kayaların elektriksel anlamdaki özdirenç özellikleri de bu manada geniş bir aralıkta değişim gösterir. Özdirenç değeri baz alınarak bir kayacın adlandırılması her jeotermal saha için farklılık gösterir. Özdirenç eğri modellerinin bu temel kriter dikkate alınarak değerlendirilmesi gerekmektedir. Özdirenç değerlerini ve bu değerler sonucu elde edilen eğri modellerini, jeotermal sahalarda etkileyen tek olumsuzluk kayacın fiziksel özellikleri de değildir. Sahanın genel tektonik yapısı özdirenç değerlerini açılım doğrultusundan dolayı da etkilemektedir. Genel olarak; jeotermal sahaların engebeli yapısı istenilen açılım doğrultusuna(faya paralel) olanak tanımamaktadır. Bu durumda değerlendirmelerin ne şekilde yapılması ve diğer özdirenç yöntemlerinden nasıl yararlanılacağına bilinmesi gerekmektedir. Jeotermal sistemin açık ya da kapalı bir sistem olması durumunda jeofizik özdirenç çalışmalarının uygulanması da farklılık göstermektedir. Bilindiği üzere jeotermal bir sistem hazne kayaç, örtü kayaç ve fay sistemleri ile bağlantılı olarak modellenir. Bunun yanı sıra kırık ve fay sisteminin ısıtıcı ile olan bağlantısı, gaz ölçümleri ve jeotermal akışkanın jeokimyası da sistemin çözülmesine ışık tutacaktır.

Konu ile alakalı olarak; ülkemiz genelinde uygulanan jeotermal amaçlı jeofizik çalışmalar ve bu çalışmalar ile konuya örnek teşkil eden özdirenç yöntemi hakkında bilgi verilecektir.

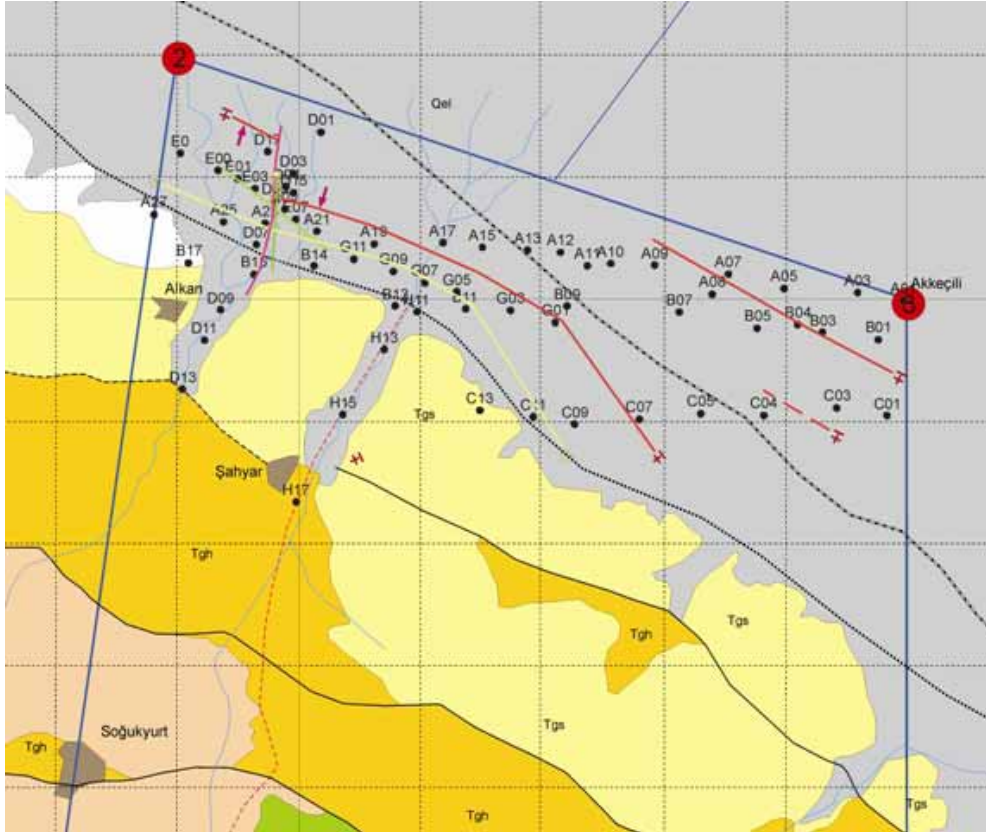
### **DES (Düşey Elektrik Sondaj) EĞRİ MODELLERİNE HAZNE(Rezervuar), ÖRTÜ KAYACIN ÖZDİRENÇ YANSIMASI**

Jeotermal sahalarda jeotermal akışkanı bünyesinde tutan kayaçlar genel olarak poroz ve permaabilitesi yüksek kayaçlardır. Bu kayaçlar kireçtaşı, mermer, kuvarsit, kalkşist, gnays vs. gibi yüksek özdirenç gösteren kayaçlardır.

Kapalı bir jeotermal sistemde örtü kayacı temsil eden jeolojik birimler düşük özdirence sahiptir (kil, silt, mil, tabakalı şist vs.). Dolayısı ile kapalı bir sistemde DES eğri modelleri H tipi bir eğri modeli gösterirler. Örtü kayaç içerisindeki düşük özdirenç kapanımları jeotermal bir sistemin varlığına işaret edebilir. Ancak Neojen havzalarda biriken çökeller tane boyutuna bağlı olarak havzanın ortasına doğru incelmekte ve düşük özdirenç gösteren bir yapı kazanmaktadır. Özdirenç kapanımlarının birimin litolojik özelliğinden mi; yoksa jeotermal bir akışkandan mı, kaynaklandığı sorusuna gerek seviye haritalarından gerekse görünür eş

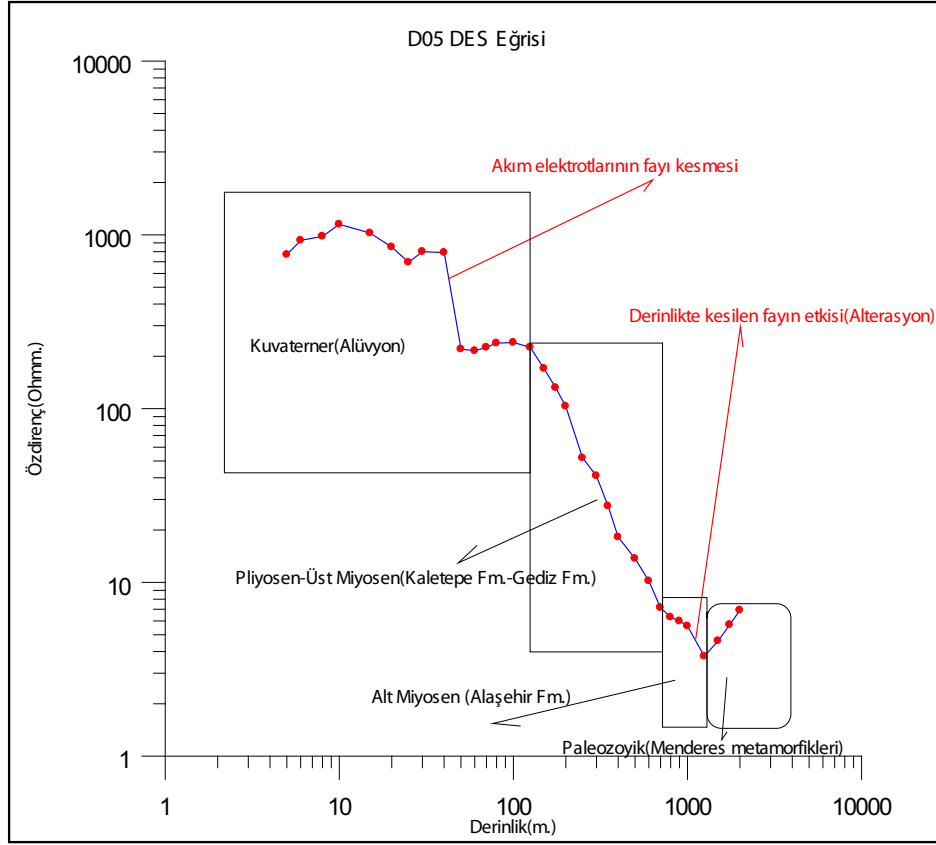
özdirenç kesitlerindeki kontur sıklıklarına(faydan etkilenme) bakılarak yoruma gidilmelidir. Görünür kesitler ve seviye haritalarında kontur sıklığıyla ifade edilemeyecek özdirenç kapanımları litolojik kapanımlardır. Bu kapanımlar jeotermal bir sistemin varlığına işaret etmez. Bunun yanı sıra profil boyunca alınan DES eğri modellerindeki rezervuar kayaca giriş derinliğindeki farklılıkta faya işaret eder. Bu durumda; bu fayın varlığına işaret eden birbirine paralel olarak alınan profillerde görünür eş özdirenç kesitlerinde ve seviye haritalarında devamlılığının görülmesi gerekmektedir.

Açık bir jeotermal sistemde örtü kayaç bulunmadığından ; jeotermal akışkanın kırık ve fay sistemleri boyunca hareketi düşünülmelidir. Jeotermal amaçlı bir sondajında bu kırık ve fay sistemini daha derinde kesmesi hedeflenmelidir. Bu tür bir jeotermal sistem için DES eğri modeli; rezervuar kayaç için yüksek özdirenç gösterir nitelikte olması gerekir. Jeotermal akışkanın, fay zonu boyunca rezervuar kayaç içerisindeki hareketi alterasyon ve mineralizasyon etkisiyle DES eğrisinde düşük özdirenç olarak kendisini gösterir.



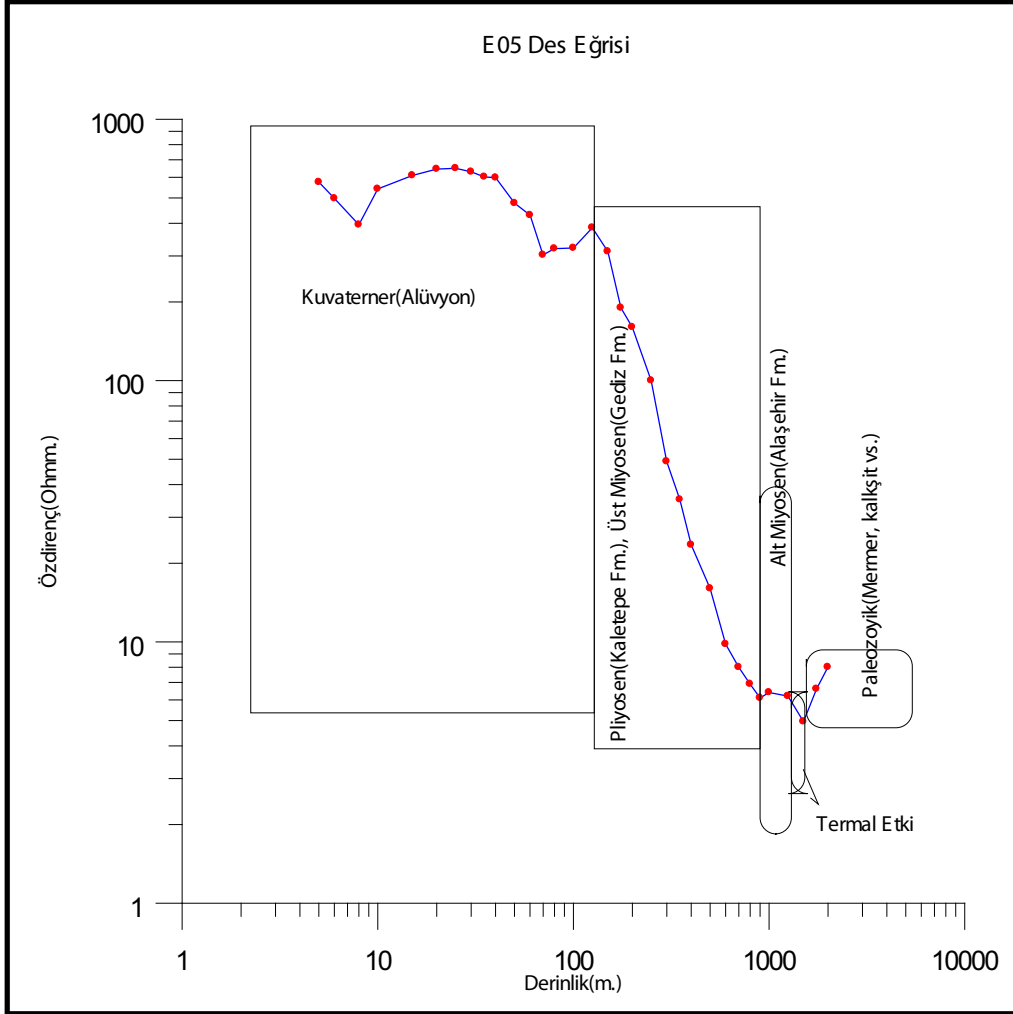
Şekil 1 Altınşehir jeotermal sahası DES lokasyon haritası

Lokasyon haritaları jeotermal sistemin ortaya konulması ve fayların takip edilmesi anlamında mutlak çıkarılmalıdır.

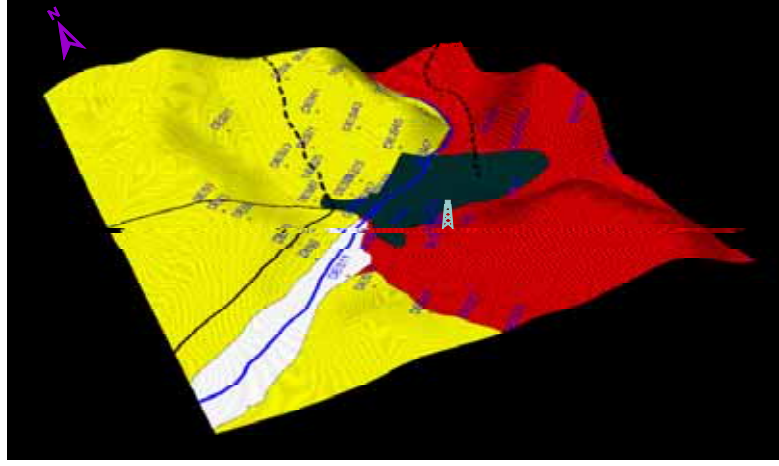


Şekil 2 Altınşehir jeotermal sahası DES eğrisi

DES eğrisinde birbirimin sürekliliğini bozan, olması gerekenden daha düşük özdirenç oluşmasının nedeni faylı bir yapıdır. Bu fayın derinde kesilen bir fay mı yoksa açılım doğrultularının yanarda fay kesmesinden mi kaynaklandığı sorusu farklı açılım doğrultuları seçilerek aynı DES noktası için tespit edilmesi gerekir.



Şekil 3 Alaşehir jeotermal sahası DES eğrisi



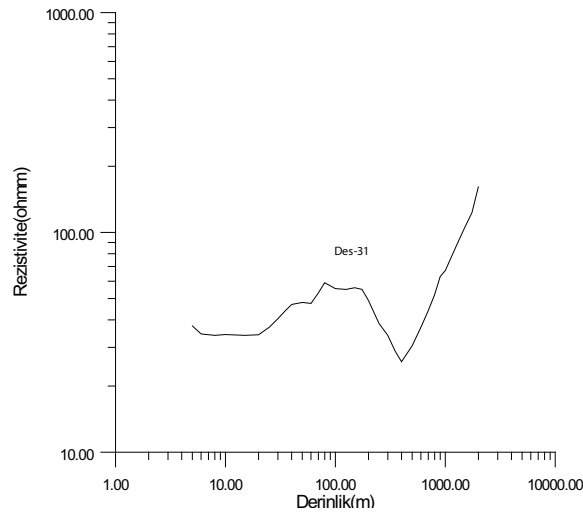
BALIKESİR İLİCA SAHAŞI DES LOKASYON HARİTASI

Şekil 4 Balıkesir-Ilıca jeotermal sahası DES lokasyon haritası

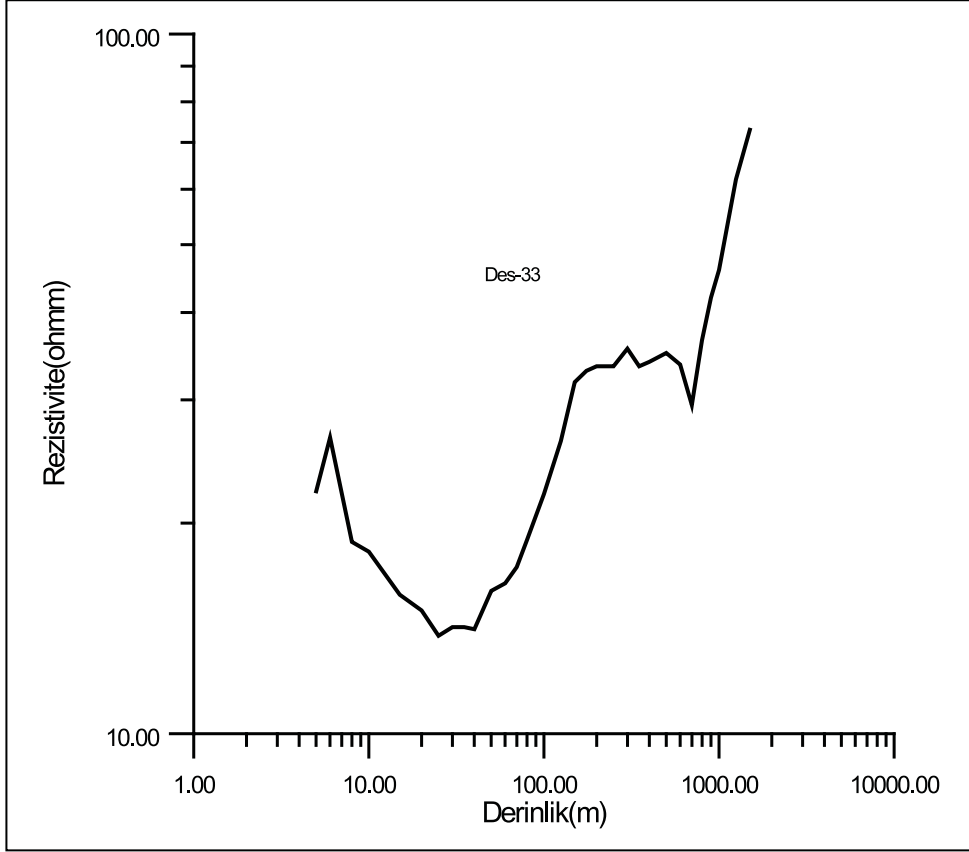
Balıkesir-Ilıca sahasında yukarıda kırmızı ile gösterilen Paleosen yaşlı granit ve sarı renkle gösterilen Neojen birimlerine ait çökeller(kum, kil, silt vs.) gösterilmektedir. Jeotermal sistem dere boyunca gelişen ters fayın etkisi ile oluştuğundan sondaj yükselen blok üzerine verilmiştir.

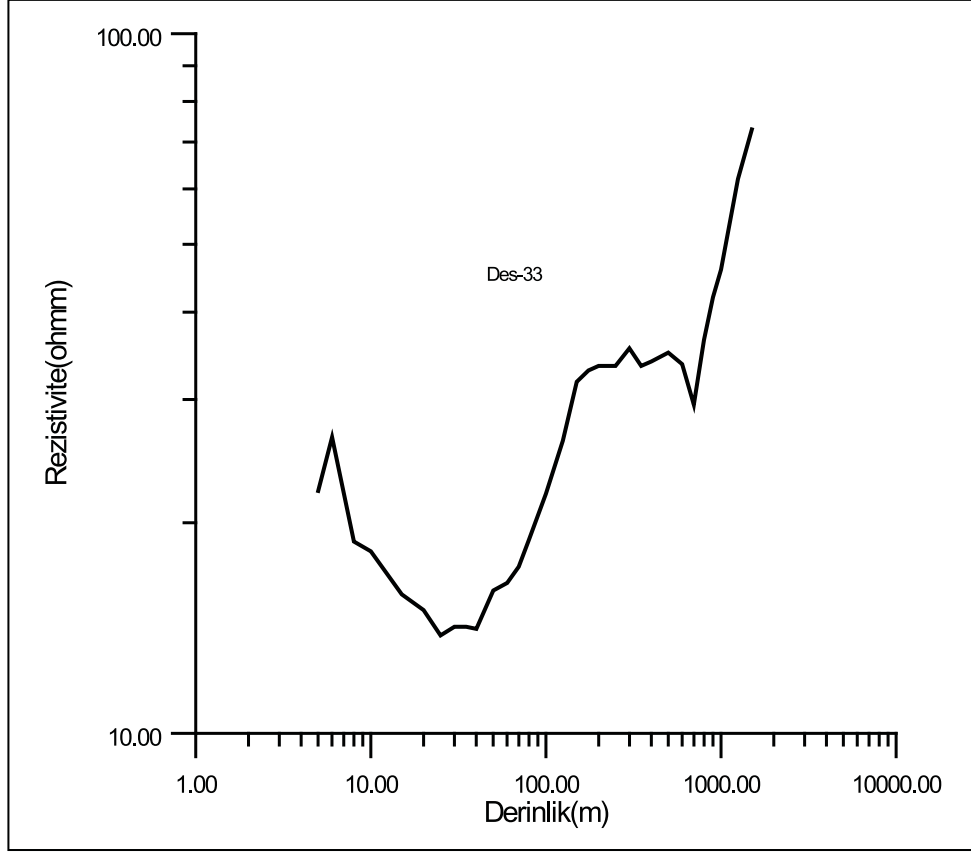
Bilindiği üzere jeotermal bir sondaj lokasyonu düşen blok ve fay düzlemini temel(hazne) birim içerisinde kesilecek şekilde verilmelidir.

Eğrisel anlamda fayın ters fay olduğunun tespiti anlamında DES-31, DES-33 noktaları ılıca deresi fayının ters olduğuna işaret etmektedir. DES-31 noktası Ilıca deresi fayının 200 m. güneyinde, DES-33 noktası 500 m. güneyinde bulunmaktadır. Granit içerisindeki alterasyonun güneye doğru derinleşmesi jeotermal sistem oluşturan Ilıca deresi fayının ters fay olduğunu gösterir.



Şekil 5 Balıkesir-Ilıca sahası DES eğrisi

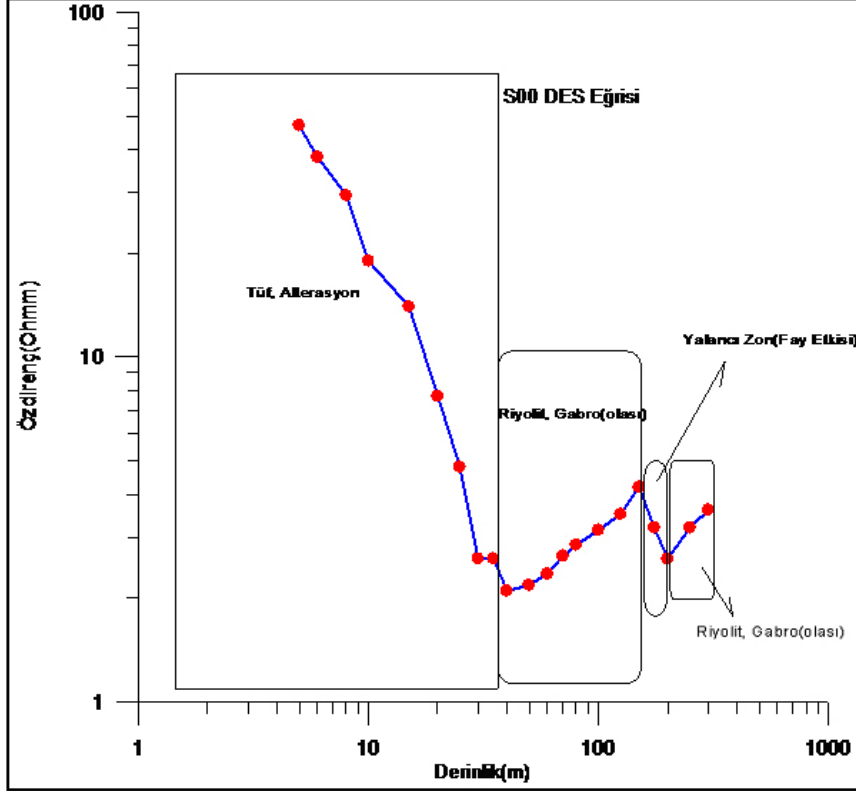




Şekil 6 Balıkesir-Ilıca sahası DES eğrisi

#### **DES EĞRİ MODELLERİNE KIRIK VE FAYLARIN YALANCI ÖZDİRENÇ YANSIMASI**

Jeotermal sahalar kırıklı ve faylıdır. Bu tektonik yapılar sahanın topografyasını da bozmaktadır. DES çalışmalarında derinlik açılımın bir fonksiyonu olduğundan, bu açılımların tektonik yapıdan etkilenmemesi olarak dahilinde değildir. Elde edilen DES eğrilerinin jeolojik yapının düşey yöndeki değişiminden mi; yoksa yanal yöndeki bir faydan mı, kaynaklandığı sorusuna yanıt verilmelidir. DES eğrisinde anomali oluşturan bu fayların hangi derinlikte DES eğrisine yansıdığı tespit edilmesi gerekir. Kırık ve fayları kesen derinliğin fonksiyonu olan açılım doğrultuları DES eğrilerine düşük öz direnç olarak yansımaktadır. Akım elektrotlarının fayı kesmesi nedeniyle olması gerekenden daha düşük gerilim oluşması ve alıcı elektrotlarda akımın fay düzlemi boyunca yayılmasına bağlı olarak daha düşük potansiyel okunmasına neden olmaktadır.



Şekil 7 Niğde-Narköy sahası DES eğrisi

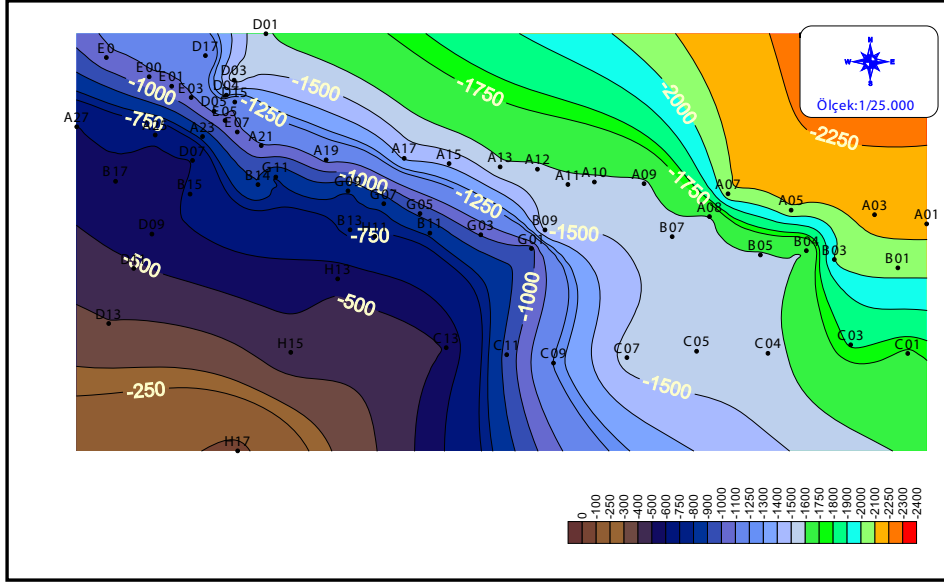
### TABAN TOPOĞRAFYA HARİTASININ VE GÖRÜNÜR SEVİYE HARİTALARININ JEOTERMAL AÇIDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

Taban topografyası haritaları DES eğrilerinden hesaplanan rezervuar kayaca giriş derinliği ile DES eğrisinin elde edildiği noktanın kodu arasındaki fark alınarak hesaplanır. Saha genelinde tüm noktalarda bu hesap yapılarak, hesaplanan rezervuar girişleri DES ölçü noktasına yazılır ve eş derinlik konturları çizilerek haritalanma yapılır.

Taban topografyası haritalarındaki kontur sıklığı fayın işaretidir. Konturların uzanım doğrultuları da fayın doğrultusunu verir. Özdirenç değerlerindeki düşümün taban topografik haritada tespit edilen faylarla ilintili olması gerekmektedir. Bunun aksi durumdaki özdirenç düşümleri kayaçların litolojik özelliklerinden kaynaklanır. Bu anlamda taban topografyası haritalarının oluşturulması sahanın genel tektonik yapısının ortaya konulmasında vazgeçilmez bir özelliktir.

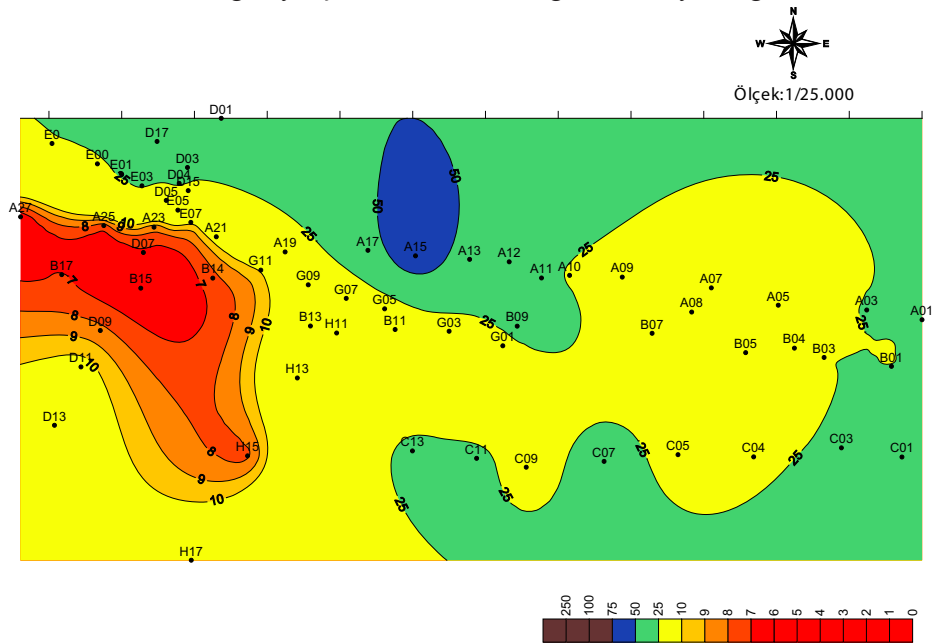
Seviye haritaları jeotermal bir çalışmada akışkan yayılımının derinlikle olan ilişkisini ortaya koyması anlamında önem arz eder. Seviye ve taban topografya haritalarındaki uyum sondaj lokasyon noktasının yerinin tespitinde hatanın minimize edilmesi anlamı taşır. Faya bağlı olarak oluşan özdirenç düşümleri akışkandan kaynaklanır. Saha genelindeki düşük özdirenç kapanımları sahanın evaporitik bir havza olması anlamını taşır. Bu tür sahalardaki tuz(NaCl, NaSO<sub>4</sub>)özdirenç düşümünün ana nedenidir. Yer altı su seviyesine bağlı olarak ortamın iletkenliği 1 Ohmm.'ye kadar düşüm gösterebilir.



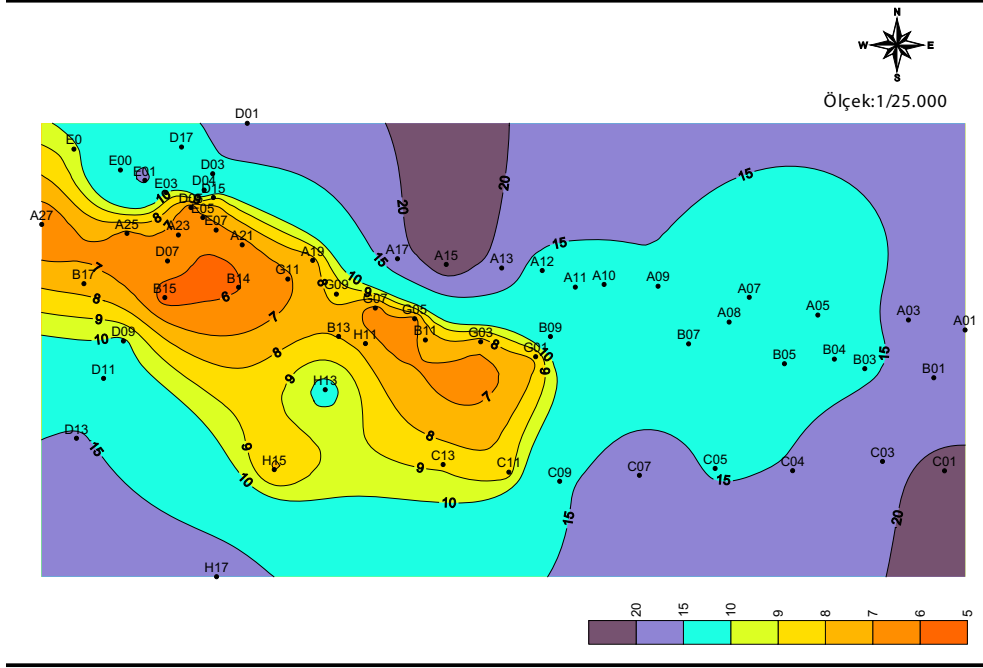


Şekil 8 Altınşehir jeotermal sahası taban topografya haritası

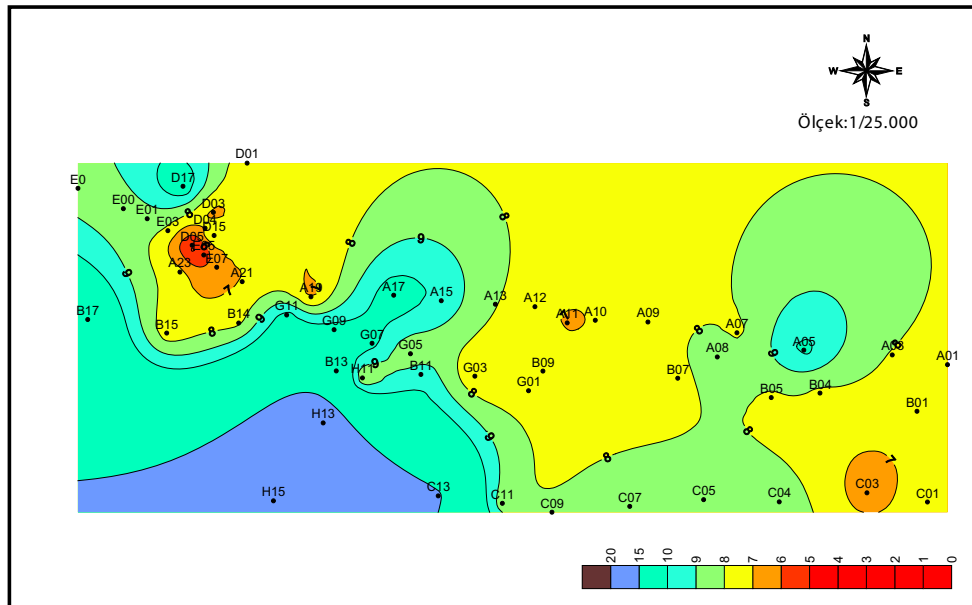
Taban topografyası Paleozoyik yaşlı Menderes metamorfiklerine giriş derinliğini göstermektedir. Haritaya bakılacak olursa kontur dağılımı KB-GD doğrultusunda uzanmaktadır. Bu durum sahanın genel tektonik yapısını oluşturan graben faylarının doğrultusu hakkında bilgi vermektedir. Kontur sıklığı faya işaret eder, kontur dağılımı da fayın doğrultusunu verir.



Şekil 9 Altınşehir jeotermal sahası 500m. görünür eşözdirenç seviye haritası



Şekil 10 Altınşehir jeotermal sahası 750m. görünür eşözdirenç seviye haritası

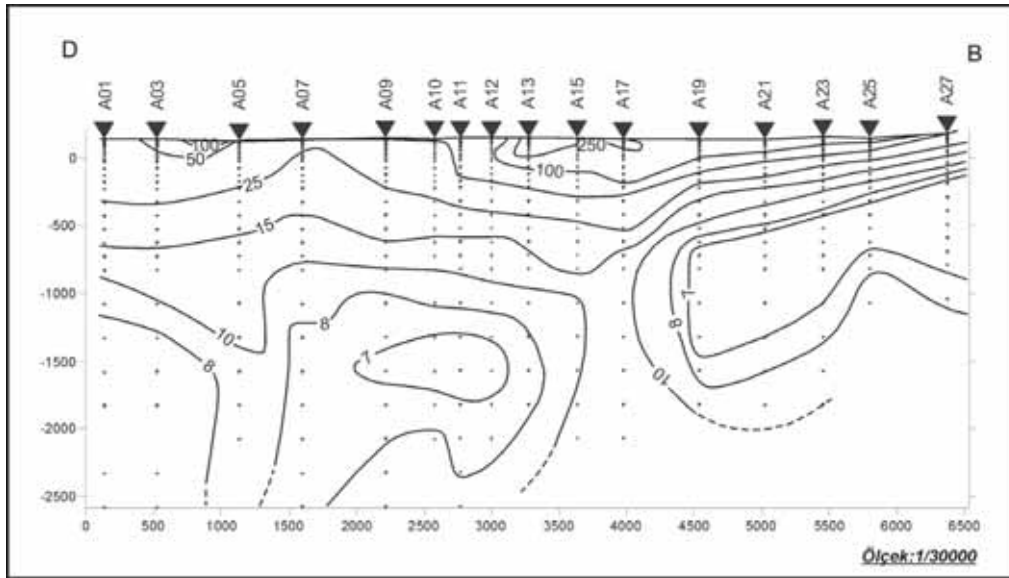


Şekil 11 Altınşehir jeotermal sahası 1000m. görünür eşözdirenç seviye haritası

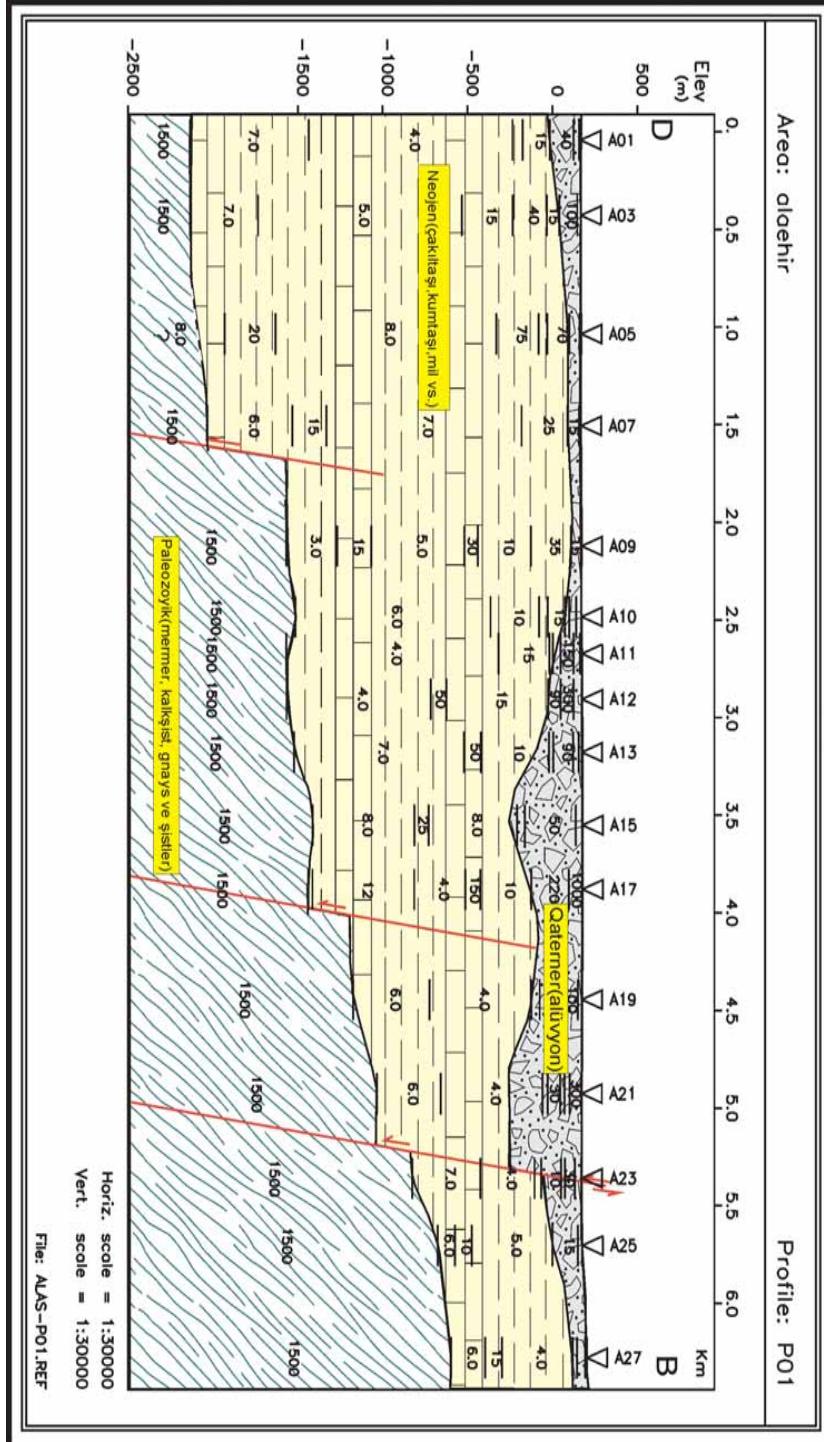
Seviye haritaları öz direnç dağılımının derinlikle değişimi göstermesi nedeniyle, Altınşehir sahasına ait 3 seviyedeki öz direnç dağılımı hakkında örnekleme yapılmıştır. Seviye haritalarındaki 500,750m. seviyelerindeki görünür öz direnç dağılımı taban topografik haritasıyla uyum içerisindedir. Miyosen birimlerinin öz direnç değerlerinin temel birimlerden daha düşük olması gerekir. Oysa saha KD'ya doğru derinleşmesine rağmen öz direnç düşümü sahanın KB' sını da yoğunlaşmıştır. Bu etki faya bağlı aktiviteden kaynaklanmaktadır.

### GÖRÜNÜR EŞÖZDİRENÇ KESİTLERİ-ELEKTRİK YAPI KESİTLERİNİN JEOTERMAL ACIDAN YORUMU

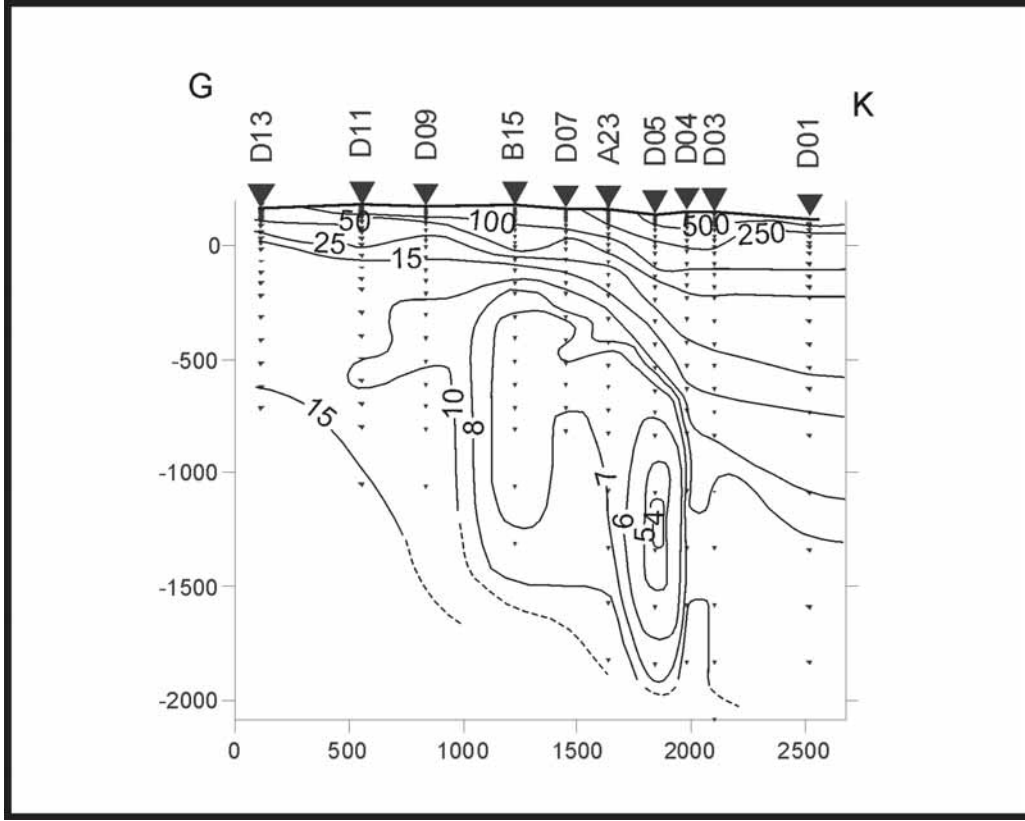
Görünür eş öz direnç kesitleri DES noktalarında okunan görünür değerlerin belli bir profil boyunca derinliğin fonksiyonu olarak dökülmesi sonucu oluşturulur. Öz direnç konturları jeolojik birimin ne olduğu hakkında bilgi taşımaktadır. Bu öz direnç değerlerinin ne tür bir jeolojik birim ya da birimlere karşılık geldiği elektrik yapı kesitlerinde ortaya konulmaktadır. Şekilde A-17, A-19 DES noktaları arasından geçen fay görünür kesitte net olarak görülmektedir. Görünür kesitler ile elektrik yapı kesitleri arasında uyum sağlanmak zorundadır. Görünür kesit yapısal anlamda bir hata yapmamamız için bir kılavuz olarak dikkate alınmalıdır. Elektrik yapı kesitlerindeki derinlik sondaj derinliğini oluşturacağına göre bu durumun hassasiyeti de ortadadır.



Şekil 12 Altınşehir jeotermal sahası Aprofili görünür eş öz direnç kesiti

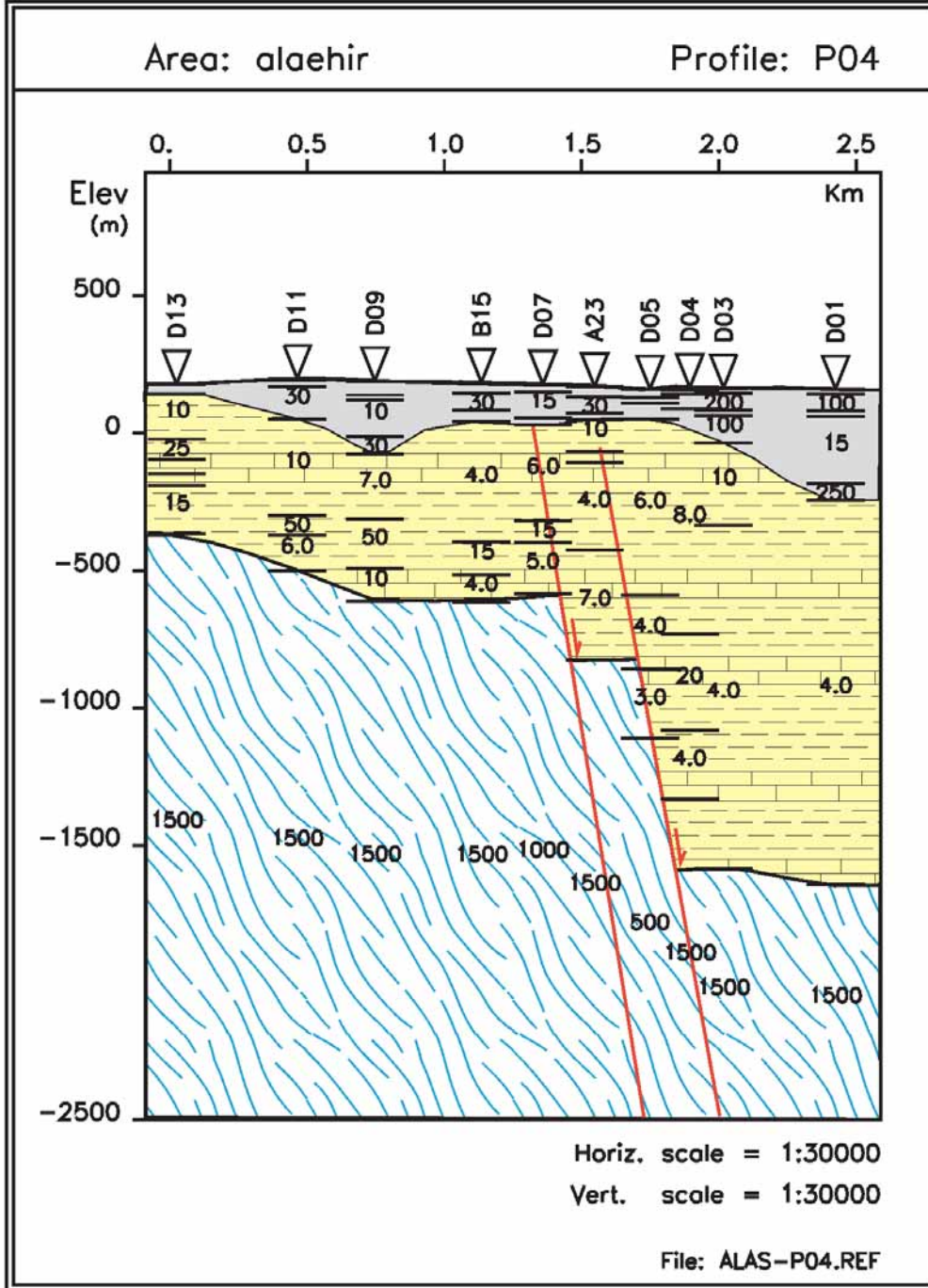


Şekil 13 Altınşehir jeotermal sahası A profili elektrik yapı kesiti

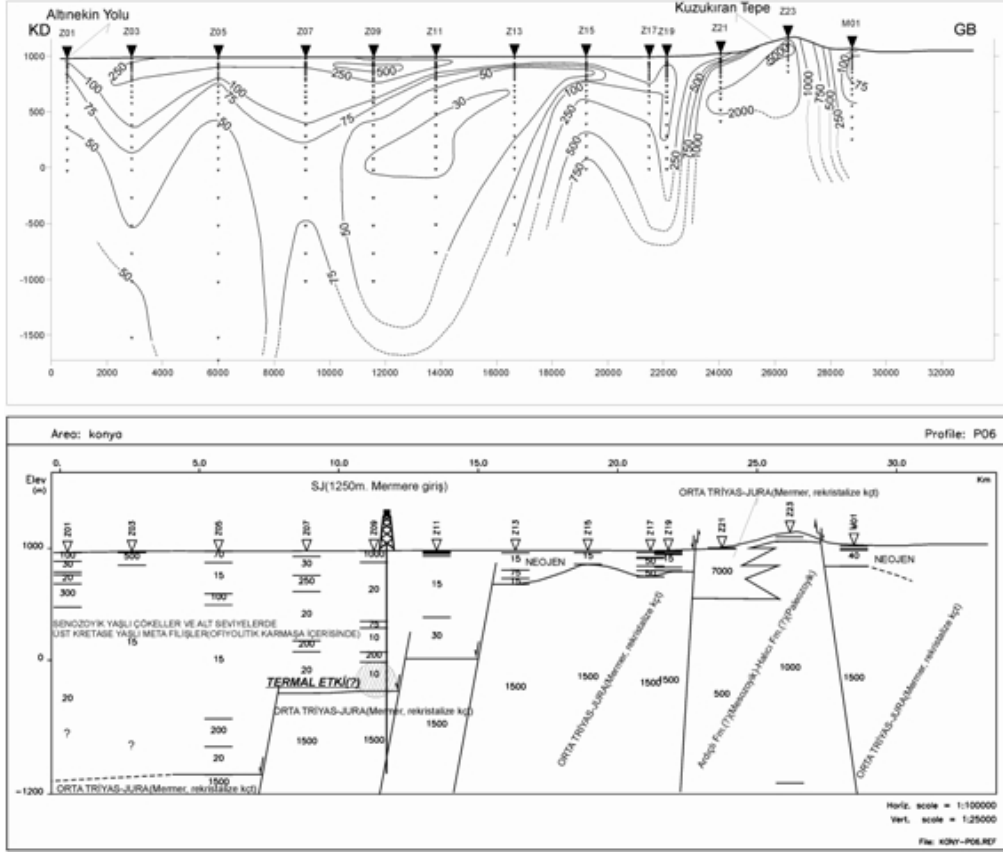


Şekil 14 Altınşehir jeotermal sahası D profili görünür eş özdirenç kesiti

Havza kuzeye doğru derinleşmesi nedeniyle Neojen birimlerinin özdirenç değerleri kuzeye doğru düşüm göstermelidir. Neojen birimleri(kil, kum, silt vs.) gerek litolojik gerekse tane boyutu dikkate alındığında kuzeye doğru görünür özdirenç değerlerinin düşmesi gerekir. Yukarıdaki şekilde bu durumun sürekliliğini bozan D05-D03 des noktaları arasındaki 4 Ohmm.'lik kapanımdır. Bu kapanım bu aralıktan geçen ve jeotermal aktivite taşıyan fayın etkisidir. Bu anomali bu kesite paralel profillerde de görülmesi aktiviteyi taşıyan fayın net olarak ortaya konulmasını sağlar. Yüzeyde görülen 50-500 Ohmm.'lik kapanımlar alüvyonları temsil etmektedir. Şekil 15'de görülen 1500 Ohmm.'lik değerler Paleozoyik yaşlı mermerlerin özdirenç değerleridir. Rezervuar kayaç da bu mermerlerdir.

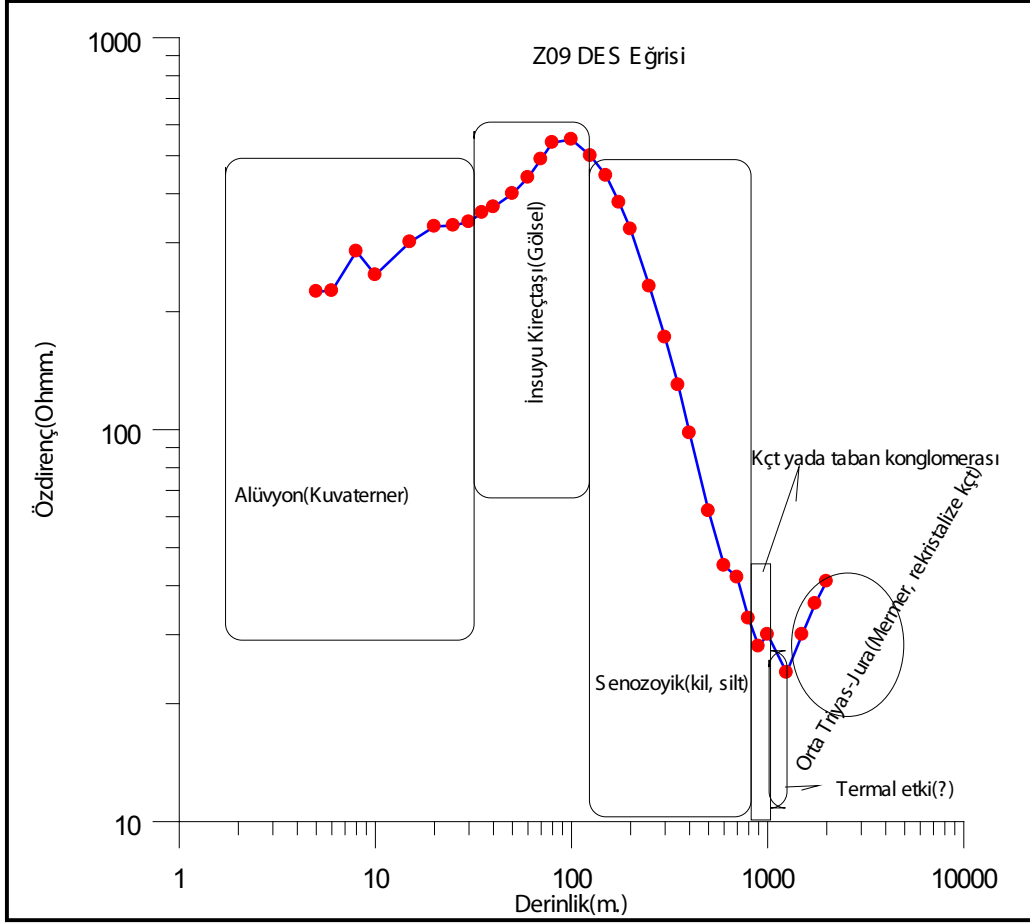


Şekil 15 Altınşehir jeotermal sahası D profili elektrik yapı kesiti



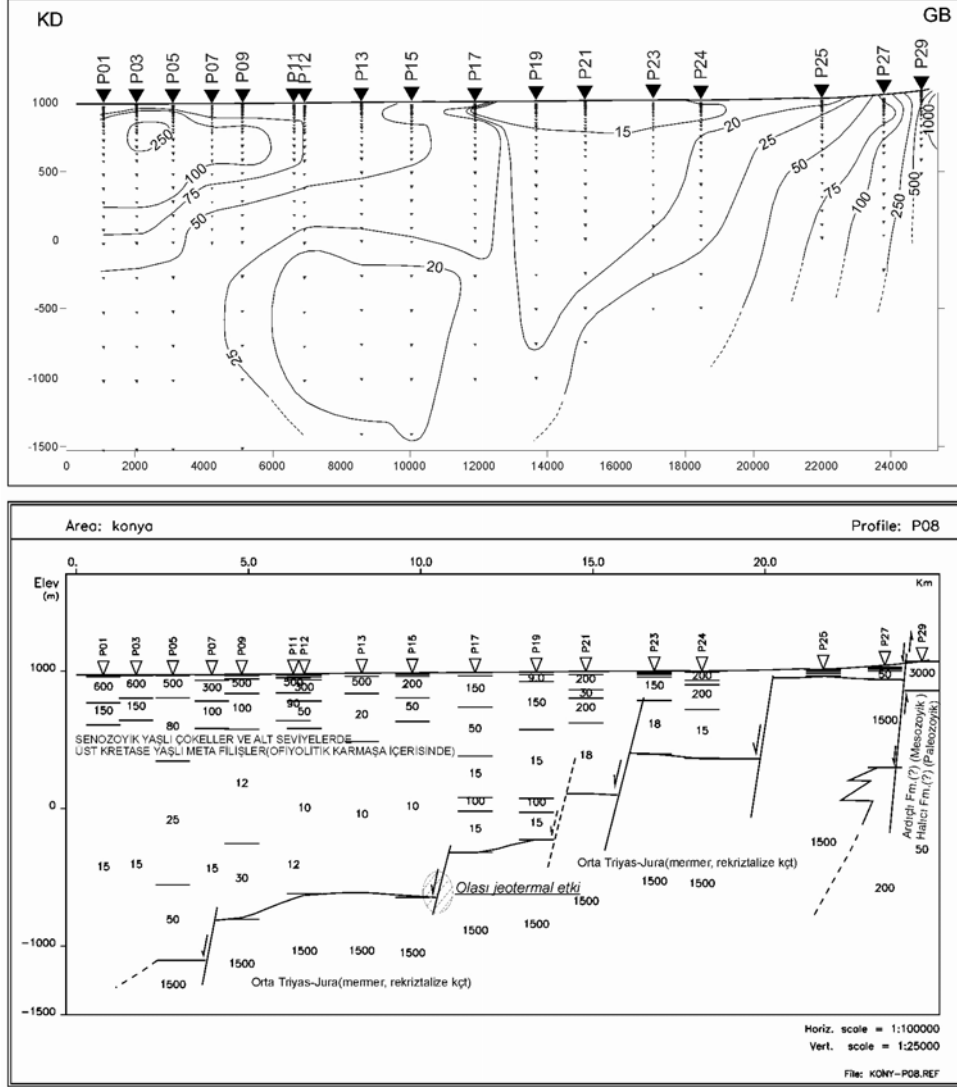
Şekil 16 Konya jeotermal sahası Z profili görünür eş özdirenç-elektrik yapı kesiti

Konya-Altınekin sahasında jeotermal aktivitenin kaynağı olarak düşünülen görünür eş özdirenç kesiti ve bu kesite ait elektrik yapı kesiti görülmektedir. İki farklı özdirenç kapanımı faydan kaynaklıdır. Des eğrisinde temele giriş noktasındaki özdirenç düşümü de jeotermalle alakalıdır(Şekil-17). Sahada birbirine paralel olarak alınan iki kesitte de aynı anomali görülmektedir (Şekil16-18).



Şekil 17 Konya sahası Z09 des eğrisi





Şekil 18 Konya jeotermal sahası P profili görünür eş özdirenç-elektrik yapı kesiti

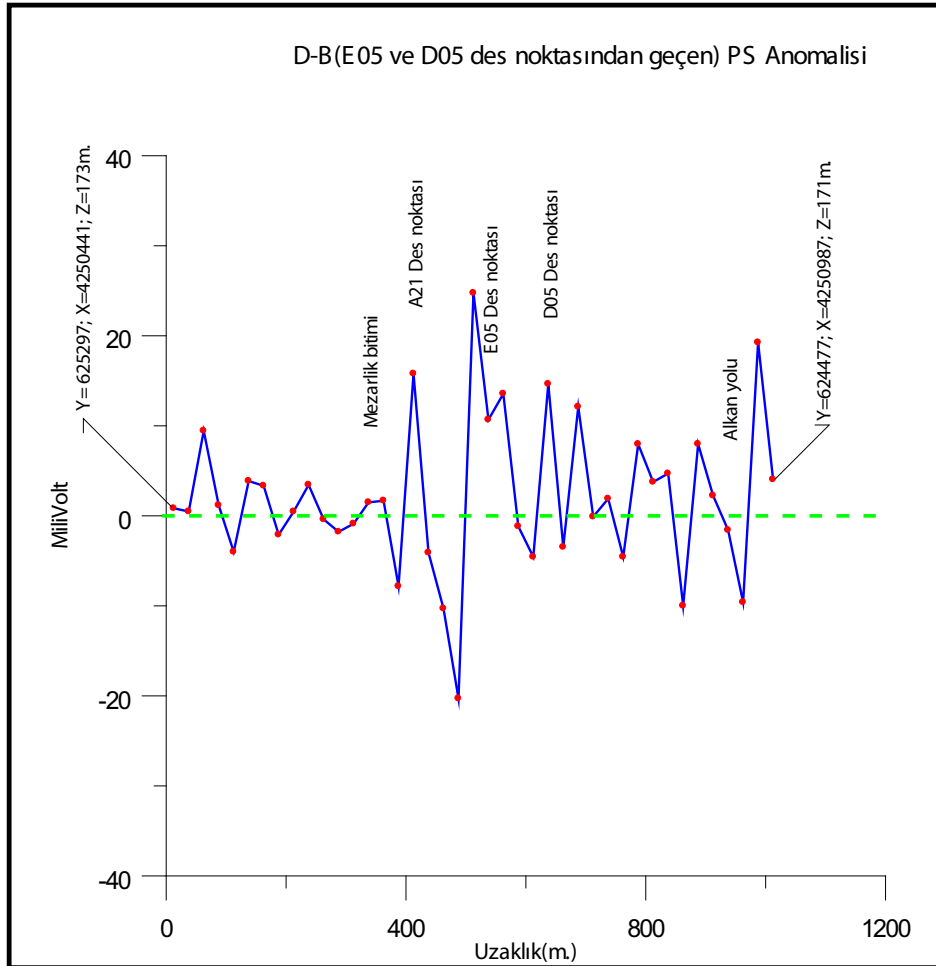
### DES ÖLÇÜMLERİ İLE TESPİT EDİLEN FAYLARIN EĞİM VE DOĞRULTULARININ 3 NOKTA YÖNTEMİ İLE TESPİT EDİLMESİ VE PS(Doğal Potansiyel) ANOMALİLERİ

Faylar DES eğrilerine atım olarak yansılar. Görünür eş özdirenç kesit, görünür eş özdirenç seviye ve taban topografyası haritalarına da kontur sıklığı olarak yansılar. Tespit edilen bu fayların eğimi ve doğrultularının tespit edilmesi içinde 3 nokta yönteminden faydalanır. Bu yöntemin uygulanmasında farklı elektrot tertipleri seçilerek, seçilen bu elektrot tertibinin faydan etkilenmesi amaç edilmelidir. Kırık ve fay düzlemleri boyunca yayılan akım birimin gerçek özdirenç değerini DES eğrisine yansıtmayacaktır. En az farklı iki seviye (derinlik) için

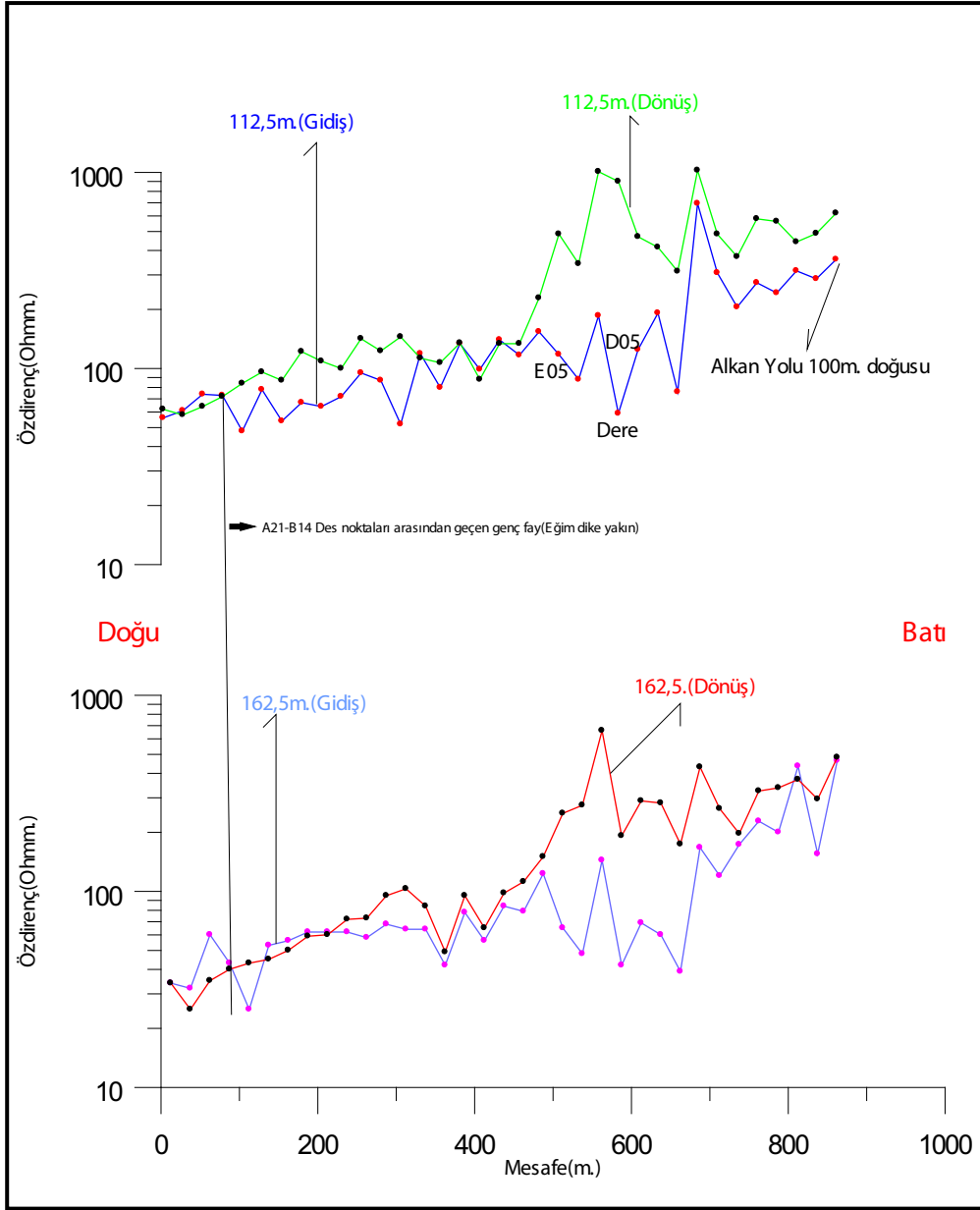
elektrot tertibi seçilerek yöntem uygulanır. Profil çalışması şeklinde uygulanan yöntem termal akışkanı taşıyan fayın geometrisinin şekillendirilmesini sağlayacaktır.

Bu yöntemi teyit etmek için doğal kaynaklı PS yönteminden de faydalanılır. PS yöntemi de fay düzlemi boyunca hareket eden akışkanın beraberinde bünyesine aldığı minerallerin bu hareket sonucunda potansiyel bir elektriksel alanın oluşmasına neden oldukları bilinen bir gerçektir. Kırık ve fay boyunca oluşan elektriksel alan saha geneline göre bir anomali oluşturacaktır. Anomalinin genliği ve birbirine paralel olarak alınan PS kesitleri fayın doğrultusu ve geometrisi hakkında önemli bilgiler taşır.

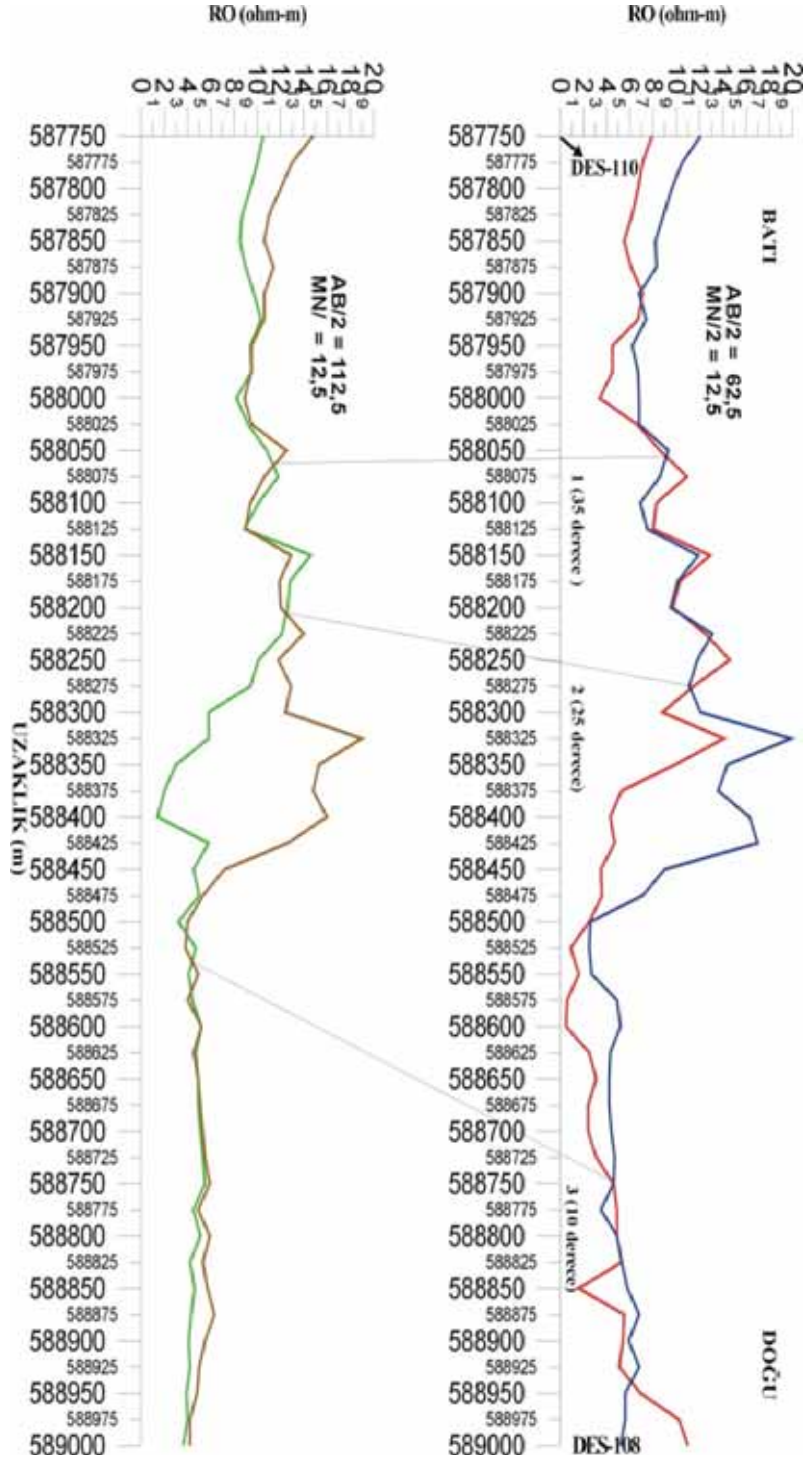
3 nokta yöntemine ait iki örnek şekil-20,21 de verilmiştir. Aynı seviyede gidiş dönüş olarak yapılan profil çalışmasında özdirenç değerlerindeki çakışma fayın o derinlikte kesildiği, diğer seviye içinde aynı şekilde uygulanan profil çalışması fayın 2 seviyede kesim noktasını verir. Bu kesim noktalarına göre fayın eğimi yatay ve düşey pozisyon ölçekli olarak dikkate alınarak hesaplanır.



Şekil 19 Altınşehir jeotermal sahası PS anomalisi



Şekil 20 Altınşehir jeotermal sahası 3nokta (Yarım Schlumberger elektrot tertibi) yöntemi



Şekil 21 Balıkesir jeotermal sahası 3nokta yöntemi

## **Sır Baraj Gölünün Suları Altında Kalan Tarihi Döngel İlcasının Jeofiziksel Geri Kazanım Çalışması**

Uğur KAYNAK

### **ÖZ**

Kahramanmaraş ili sınırları içerisindeki Göksu Irmağı üzerinde kurulan Sır Barajı su tutarken, hiçbir önlem alınmayan Döngel İlcasını da sular altında bırakmıştır. İlica sularının geri kazanımı için yapılan bütün girişimler sonuçsuz kalmış ve yapılan sondajlarda hep soğuk suya ulaşılmıştır. Bu başarısız sonucu doğal karşılamak gerekir. Çünkü çevre kayalarla en yakın fiziksel özellikler ılık sular tarafından oluşturulurlar. Döngel ılıcası suyu çok kaliteli çay demlemeye uygun, düşük elektrolit değerine sahiptir. Diğer bir deyişle soğuk-sıcak-kirli yer altı sularına göre, ılık ve temiz yer altı suyunun arama zorluk derecesi daha yüksektir. Bu çalışmada Döngel “ılık su” çıkışlarının bir faylı dokanak zonu tarafından beslenildiği saptanmıştır. Bu veriden yola çıkılarak çok sayıda; Yüze Sıcaklığı, Self Potansiyel, Schlumberger DES ve Çok Elektrodlu Rezistivite Görüntüleme Yöntemleri uygulanmıştır. Yapılan kombine değerlendirmeler sonucunda, öncelik sırasına göre derin, orta ve sığ sondajlar önerilmiştir. Bu sondajların yer seçimlerinde birincil öncelik, soğuk su karışması olasılığının düşük olduğu akifer yapılarının seçimine verilmiştir. Finans sorunu hallolunca sondajlara başlanılacaktır.

### **TANITIM**

Kaybolan kaplıcanın Durumu.

Ceyhan ırmağının Kahramanmaraş ili sınırları içerisindeki kısmında ve ırmak kenarında en az üç adet ılıca yer almaktadır. Bunlar yukarı çığırdan aşağı doğru sırası ile Zeytin, Döngel ve Haruniye İlicalarıdır. Bunlardan “Döngel İlcası” bu gün için Sır Barajının rezervuar gölü altında kalmıştır. Yaklaşık olarak İlica yakınlarında baraj gölünün derinliği 70-80 metre kadardır. İlica ise en azından 30 metre kadar su düzeyinin altında kalmıştır

Sır Barajı su tutmaya başladığında, ne yazık ki hiçbir önlem alınması akla gelmemiş, fakat sonradan Döngel ekonomisine yapmış olduğu olumlu katkılar ortadan kalkınca hem döngel halkı hem de kamu kuruluşları soğuk suların basıncı ile kaybolan ılık suları tekrar yeryüzüne çıkarma gayretlerine düşmüşlerdir. Bu gayretler jeolojik etüdler ve dört adet derin mekanik sondaj şeklinde uygulanmış fakat bir sonuç alınmamıştır.



Şekil-1. Ilıca'nın sular altında kaldığı yer.

#### **Geçmişte kalanlar**

1. Arazide yapılan ilk gözlemlerde ve alınan sözel bilgilerde varılan sonuca göre Ceyhan ırmağı olasılıkla bir fay vadisinden akmakta ve fay boyunca bu Ilıcalar farklı yerlerden ılık su çıkarmaktalar.

2. Döngüle Ilıcasında dört adet baskın ılık su çıkışı vardı. Bunlar; Kuzeyden güneye doğru sırası ile Kükürtlü, Acısu, Kadınlar ve Erkekler hamamı Gözesi ve daha alt kotlarda nehrin içinden fişkırarak isimsiz en büyük ılık su çıkışlarıydı.

3. Ilıca gözesinde içilecek nitelikte ve çay yapmaya çok iyi yanıt veren bir ılık su çıkışı vardı. Bu suyun çıktığı yerlerde beyaz bir killi tabaka oluşmaktaydı. Bu killi içerik yüzünden Ilıca havuzunda uzun süre kalanlar sabunla yıkanmış gibi temizlenmekteydiler. Ayrıca bu Ilıca havuzunda uzun süre kalanlar diğer ılıca ve kaplıçalarda oluşan türden pek rahatsızlık duymamaktaydı.

#### **Yapılanlar**

4. Kükürtlü ve Acısu çıkışlarının tam sahilinde kalan nispeten kolay (30 derece eğimli) kısımda yaklaşık 1500 noktada SP ölçüsü alınarak yaklaşık 56.000 m<sup>2</sup> alan sistematik olarak taranmıştır.

5. Bu alandan elde edilen SP verilerine, kayan ortalama uygulamasına gerek kalmadan doğrudan doğruya travers bazında düzgülleme uygulanarak veriler aynı büyüklere çekilmiş ve daha sonra polarlanmıştır.

6. Eş büyüklüklü ve polarlanmış verilerle, böylece magnetik verilere uygulanabilen bütün değerlendirme ve yorumlama tekniklerinin uygulanmasına yol açılmıştır.

7. Bu "Magneto-Self Potansiyel" haritasında elde edilen anomalilere derinlik analizleri yapılmıştır.

8. Bu anomali lokasyonlarına “Yüksek çözünürlüklü lineer Schlumberger odaklaması” tekniği ile toplam 14 adet Dikey Elektrik Sondaj (DES’ler) uygulanmıştır. (NOT : Arazi engebeleri olduğundan yapılan açılımın derinlere düşey olarak işlemesi olanaksızdır. Bu nedenle, **Düşey Elektrik Sondaj** yerine **Dikey Elektrik Sondaj** hatırlatması yapılarak bu çalışmada yine DES kısaltması kullanılacaktır.)

9. Her DES’in derinliği yaklaşık olarak 350 metre kadardır.

10. Bu anomali noktalarında beklentimiz olan ılık su izlerine ne yazık ki soğuk suyun karıştığı görülmüştür. (Toriçelli Bileşik Kaplar Kanunu).

11. Bunun üzerine Ulu Derenin güneyindeki ve Batık Ilıcının Batısındaki sarp araziye işlemler kaydırılmıştır.

14. Ulu Derenin karşısında, tam Ilıcının tepesindeki uçurumun üzerine gelindiğinde, Ceyhan’ın karşı sahiline belirli bir açı ile bakılınca karşı sahilde birçok paralel çatlak olduğu görülmüştür. (Şekil-1. Kırmızı çizgiler.)

15. Bu çatlakların uzantısının (GPS ile ölçüldüğünde) bu sarp tepenin arka yüzünde, üzerine SP ile gidilecek olan “kırıkla” aynı doğrultuda oldukları fark edilmiştir. Oysa bunlar, çiplak gözle çok farklı doğrultularda algılanmaktadırlar.

16. İki üç gün sonra, Döngel Belediye Başkanının Köye su veren Kaptajın ve çevre düzenlemesinin açılışına davetli iken, çalışma sahamıza **altı km uzaktan ve yüksekten** GPS ile koordinat ve doğrultu ölçüldüğünde, hem karşıdaki hem de bu yakadaki kırıkların doğrultularının cetvelle çizilmiş gibi kaptaja denk geldiği gözlenmiştir.

17. Bu çok sayıdaki eş doğrultulu tektonik uzanımın arasında kalan iki adet tepenin üzerinde tam bu doğrultulara paralel az ve cılız bir bitki örtüsünün varlığı dikkat çekmektedir.

18. Ekipteki yerel arkadaşlar, bu yörelerde kışın kar örtüsünün de hemen eridiğini söylemişlerdir.

19. Kalın kırı evinin önündeki havuza gelen bir parmak kalınlığındaki köyün en soğuk suyunun, yüksekten bakınca ve 1/25.000’lik haritaya işleyince yine bu doğrultu üzerinde olduğu görülmüştür. Böylece Madde.1 ‘deki sav’ımızın, bir yanıştan başka bir şey olmadığı açığa çıkmış olur!

Ilık su çıkışlarının Ceyhan boyunca BİR ADET faydan çıkması sadece bir yanılsama olup, bu çıkışlar Ceyhan’ı N65W derece açı ile kesen ve birbirine paralel olan çok sayıda faydan oluştuğu görülmektedir. Bu bir fay zonudur. Fay zonları ise güçlü faylar tarafından oluşturulur. Bu fay zonu, haritalarda pek görülmeyen dokanakla özdeşleşmiş bir fay zonudur. Sözü edilen çizgisellik üzerinde gözlemsel jeolojik çalışmalar yapıldığında bu çizgi üzerinde boncuk gibi su çıkışları olduğu görülmüştür. Buna ek olarak Kızılağaç mevkiinde mineralize el numuneleri alınmış ve bu çizgiselliğin kireçtaşı – kumtaşı dokanağını sürdürdüğü görülmüştür. Bu dokanak düşey olup doğrultu atımlı fay görünümünü vermektedir. Buna jeolojik jargonda faylı dokanak denilir.



Şekil-2. Döngelge Ilıcası batığının bulunduğu yerin üstten görünüşü. Batık ılıca burada yaklaşık olarak su yüzeyinin 30 metre kadar altındadır.

#### **ÇALIŞMA SAHASININ JEOLJİSİ**

MTAE tarafından yapılan 1/500.000. 'lik jeolojik harita, sahanın genel jeolojisi için yeterli olabilmektedir. (Şekil-3). Bu haritaya bakıldığında Lübnan – Antilübnan dağları arasındaki ek yerini oluşturan Lut Gölü Fayı'nın (aslında kilitli rift vadisinin) İslahiye'den kuzeye doğru devamı sırasında, genellikle quaterner çökellerin doldurduğu bir geniş çukurluk oluşturarak ilerlediği ve Türkoğlu hizasından itibaren de DAFZ ile özdeşleştiği görülür.



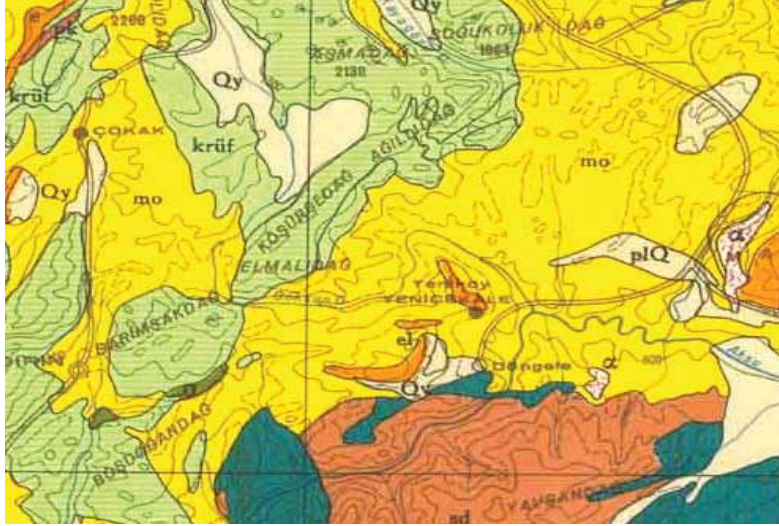
Şekil-3. Ilıcadan yaklaşık bir km kadar batıda yol yarmasında görülen konkordan konglomera-kaolinize laminalı gre dokanağı.



Bu uzun çukurluğun batı yakasını paleozoik çökeller oluşturur. Bu “Bahçe Birliği”nin kuzeyde kesilim sınırı, tam Döngele’nin 2 km güneyinde yer alan Döngele İlçasına denk gelmektedir.

Bu kuzey sınır dokanak olarak gösterilmiştir. Ancak bu dokanağın, 1/500.000’lik haritada “Mc” olarak gösterilen “komprehensif miyosen” içerisinde yerel bir fay olarak ilerlediği ve bu fayın kuzeybatı uzanımında ise başkaca su çıkışlarının olduğu gözlenmiştir. Bu fayın “konik göl”den sonra açıkça takip edilememesi, fakat tam olarak bir dokanak gibi gözlemlenmesi 1/500.000’lik jeolojik haritaya bu ek yerinin dokanak olarak geçmesine neden olmuştur. Bu ek yeri, haritada yaklaşık olarak Döngele noktası ile döngele’nin kuzey batısındaki “el” ile gösterilen Tersiyer Eosen Midyat şahit tepe kireçtaşlarının orta konumuna doğru ilerlemektedir. Yapılan GPS ölçümlerinden yaklaşık doğrultunun Kuzey 65° Batı olduğu ve bu doğrultunun arazide birbirini görmeyen noktalarda da aynı olduğu görülmüştür. (Şekil-3).

Şekil-5’te çalışma sahasının ölçeksiz tektonizması ve kesin olmayan jeolojik dokanak krokisi verilmiştir. Ayrıca bu krokiye Ilıca ile ilgili diğer birimler de yerleştirilmiştir. Bu kroki sahanın tanıtılmasında önemli bir yer tutar. Üzerindeki elemanların tanıtımı:



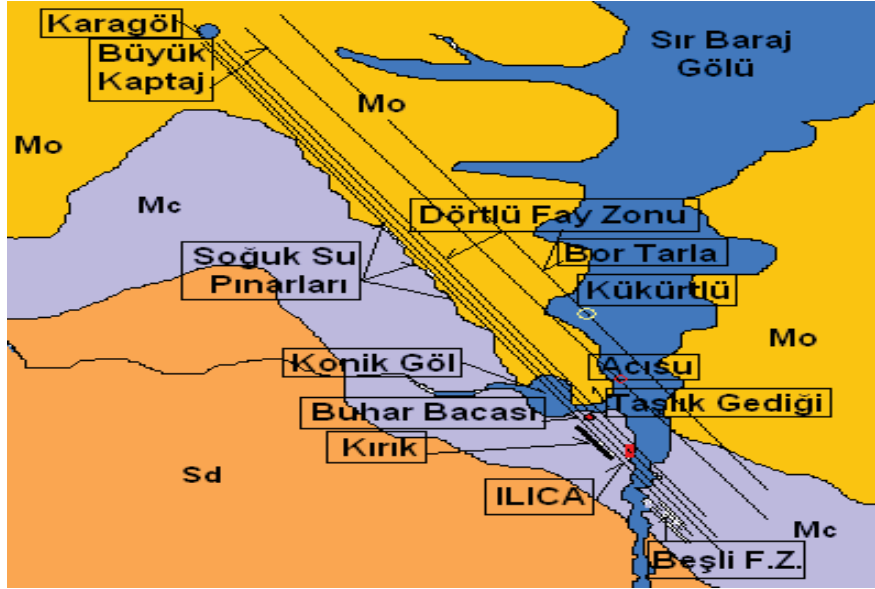
Şekil-4. Kahramanmaraş yöresinin genel jeolojik haritası.

Kara Göl. Tabandan kaynamakta olan bir göze, Döngele Belediyesince ekskavatörle dairesel bir göl haline getirilmiştir. Buradan kasaba su şebekesi beslenilmektedir. Yüksek kotta olduğu için şebekeye katılım cazibe ile oluşmaktadır. Olasılıkla en batıdaki fay zonundan kaynaklanmaktadır.

Büyük Kaptaj. Belediye tarafından hijyenik kaptaj altına alınmış yüksek debili birkaç gözeden oluşmaktadır. Kasaba su şebekesi buradan cazibe ile beslenilmektedir. Olasılıkla batıdan ikinci fay üzerindedir.

Soğuk su pınarları tam olarak doğrultu üzerine denk düşmektedirler. Bu nedenle dikkate değer bulunmuşlardır.

Bor Tarla. Ceyhan yatağının batı kenarından çıkan ve şimdi baraj gölünün suları altında kalan Kükürtlü ılık su çıkışının tam hizasındaki tarla olup üzerinde sistematik self potansiyel uygulanmıştır.



Şekil-5. Ilıca çıkışına yol veren Fay –Dokanak Ekyeri

Acısu. Bor Tarla ile Taşlık Gedigi arasında yer alıp Ceyhan'ın batı yakasından çıkan gazlı bir ılık sudur.

Konik Göl. Uludere'nin sularının ve özellikle de buhar çıkışlarının oluşturduğu erime boşluklarının çökmesi ile oluşmuş bir konik çukurluktur. Halen güney yakasında bir buhar çıkışı yer almaktadır.

Taşlık Gedigi. Komprensif Miyosen (bu yörede Kçt) biriminden farklı (kumtaşı) olduğu ilk bakışta görülen bir yapıya sahip olup, dört adet önemli ılık su çıkışının tam ortasında yer almaktadır

Buhar Bacası. Özellikle kış aylarında buhar çıkışı gözle görülür hale gelmektedir. Derinliklerinde yapay odacıklar ve paleolitik insan iskeletleri bulunduğu söylenilmektedir. Halen yarasalar tarafından yuva mağarası olarak kullanılmaktadır.

Kırık. Batıdan birinci fay üzerinde küçük bir düşey bileşeni olan ve ortalama olarak 20 metre kadar yatay bileşenle çalışmış olan bir faydır. Faya kırık adının verilmesinin nedeni ise kaolinize laminalı greler üzerinde doğu kompartmanın "kaya kayması" yaparak kopup kırılmasıdır.

ILICA. Bu çalışmanın hedefi olan Ilıca.

Beşli Fay Zonu. Ilıcının uçurumundan karşı yakaya bakıldığında fark edilmektedir.

Şekil-4'ten de görüldüğü gibi çalışma sahasında baskın karakterli üç adet petrografik birim yer almaktadır. Bunlar, üstten alta doğru sırası ile,

1.Komprensif Miyosen üyesi Polijenik–Heteromorf Konglomera. Konglomeranın iki farklı tekstürü vardır. Bunlardan matriksi oluşturan kumtaşı, gronodiyoritik arenitin tekrar çimentolanması ile oluşmuştur. Tekrar çimentolayan malzeme ise belki de sahadaki ılık suyun derinlerdeki eski ve sıcak olan silisli solüsyonlarıdır. İkinci doku ise polijenik heteromorf çakıllardan oluşmaktadır. Ancak çimento matriksinin de iki farklı rengi vardır. Bu renk farklılığının topografik aşınma ürünü mü veya ana kayanın farklılaşması sonucu mu

olduğuna ilişkin bir ipucu elde edilememiştir. Çakıl taşları arasında diğer ilginç bir faz geçişi ise mermer çakılları ile bütün diğer çakılları iki ayrı gruba alacak niteliktedir. Neredeyse itiraz kabul etmeyecek biçimde bütün mermer çakılları küresel-elipsoidal biçimli oldukları halde, diğer ofiyolitik, bazaltik, piroksenitik çakılların ve slate-shale çakıllarının hepsi de köşelidirler. Bu durumda önce, (bu gün bile) yüzmekte olan mermerlerin, yüksek eğimli yukarı çığırda kataklastik parçalandıkları, taşınırlarken yuvarlatıldıklarını, daha sonra diğer taban kayalara sıra geldiğinde ise akıntı hızının artık yavaşladığını göstermektedir.

2.Kaolinize arenitik gre. Komprehensif Miyosen üyesi. Kaolin katkısı daha genç olup, yöredeki ılık-ılık su çıkışlarının ne kadar geniş kapsamlı ve etkin olabildiğinin bir göstergesidir. Laminalı Gre, tam anlamı ile Konglomeranın matriksinden oluşmaktadır. Zayıf derecede metamorfize olan kısımlarda laminalı gre tabakaları fonolit kadar güzel tınlamaya sahiptirler.

Oligosen Fliş. Olasılıkla orta oligosen yaşıdır. Sahada çoğunlukla kumtaşı üyeleri yüzeylemektedir. Aralarında kıltaşı ve siltaşı ardalamaları yer almaktadır.



Şekil-6. Arazide tesbit edilen olası doğrultu atımlı fay zonunun 1/25.000'lik topografik harita üzerindeki konumu (kesikli çizgi)

Kumtaşı üyelerinden en fazla kalınlık göstereni ise yer-yer kıvrımlı kırıklı olup, volkanik kül çimentoludurlar.

### **JEOFİZİKSEL ÇALIŞMALAR**

Yapılan jeofiziksel çalışmalar, özellikle sıcak su aramalarında güvenilir sonuçlar veren yöntemlerden oluşmaktadır. Bu yöntemler kombine edilmişlerdir. Sırası ile tek boyutlu Self Potansiyel (SP) profil, İki boyutlu SP Harita ve düzgünleme çalışmaları ve yüzey sıcaklık ölçümleri yapılmıştır. Daha sonra S.P.'nin olumlu bulduğu yerlerde tekil Rezistivite Dikey Elektrik Sondaj (DES) veya iki boyutlu "DES Panel Diyagram" çalışmaları yapılmıştır. Bunların üzerine kapsamlı elektrod açılım sistemleri ve inversion programları ile güçlendirilmiş sekiz kanallı AGI – Super Sting-R8-IP Imaging System ile kombinasyon işlemi tamamlanmıştır.

Bütün bu çalışmaların sonuçları, bilinen ve yeni saptanan tektonizma ile korele edilerek yorumlanmış ve birinci derecede bir adet sondaj lokasyonu ile ikinci derecede bir adet sondaj lokasyonu önerilmiştir. Çalışmaların ayrıntıları alt bölümlerde verilmiştir.

### 1.SP ÇALIŞMALARI

Öncelikle alan taramasına uygun olan Taşlık Gediği mıntıkasında iki boyutlu SP Anomali Haritası harita alımları yapılmıştır. Bu ölçümler “kuru tip kurşun elektrodlarla” gerçekleştirilmiştir. Bakır – bakır sülfatlı elektrodlar arazide daha düşük performansla çalışmaktadırlar. Alınan ham data müellif tarafından geliştirilen bir yazılım yardımı ile (+) veya (-) polarizasyonlu olarak seçilebilen, alan bazında veya travers bazında düzgünlemeye tabi tutularak, bütün bağımsız sahaların yaklaşık olarak aynı büyüklükte ve çift kutuplu veriye dönüştürülmesi sağlanmıştır. Bu düzgünleme uygulandıktan sonradır ki elde edilen veriler artık yermagnetik alanı verileri gibi değerlendirilebilmektedirler. Zira arazide ham data olarak ölçülen elektrik alan gradiyenti, bu kez veriler polarlandığı için magnetik alana dönüştürülmüş olmaktadır. Buna göre elde edilen polarlanmış veriler takip eden paragraflarda verilmiştir.

Takip eden sayfalarda verilen S.P. anomali haritalarının tümü yukarıda verilen yazılım ile düzgünlenmiştir. Düzgünleme işlemi Teford, Geldard, Sheriff and Keys tarafından yazılan Applied Geophysics serisinin Self Potential konusunda sözü edilen fenomen’e dayandırılarak uygulanmıştır. Yazarlar tarafından özetle “Sonuçta S.P. verileri Magnetik Yatay Bileşen Haritaları gibi değerlendirilip yorumlanabilirler” denilmektedir.

Bilindiği gibi bir hareketli iletken sabit bir magnetik alan içerisinde kaldığında veya sabit bir iletken değişken bir magnetik alan içerisinde kaldığında, iletken içerisinde Foucoult ya da Eddie akımları oluşur. Yer altı suları da özellikle iyonca zenginleştiklerinde iletkenlerdir. Bu nedenle elektromagnetik ve rezistivite yöntemleri ile yer altı suyu aranılabilir. Bu iletken kütle harekete geçtiğinde (adsorption potansiyelinin diğer bir söyleniş biçimi olan) akaçlama potansiyeli ürettiği gibi, mahpus yer altı su cepleri de farklı yantaşlarla temas noktalarındaki farklı konsantrasyonlardan dolayı difüzyon potansiyeli üretirler. Aynı zamanda Sato-Mooney teorisine göre galvanik hücre gibi çalışan yer altı suyu, sabit yer magnetik alanı içerisinde sürekli çalışan bir dipol elektrik kaynak gibi durur. Amper Yasasına göre, bu elektrik alana tam dik doğrultuda bir magnetik alan da üretileceği için, bu ikincil magnetik alan genellikle üniform karakterli yer magnetik alanı içerisinde bir magnetik anomali kaynağı olarak çalışır. İşte bu nedenle magnetik yöntemle yer altı suyu aranılabilir ve proton presesyon magnetometrelerinin panelinde “Yer altı Suyu “ seçeneği artık yer almaktadır.

Bu çalışmada kullanılan S.P. yöntemi aslında yer altı suyunun elektrik alan gradiyentini ölçmektedir. Ancak bu ölçümler çok büyük bir çoğunlukla baskın elektrod (Non Polarizable Porous Pot) birikim hatasının etkisinde kalmakta ve sadece artı veya eksi işaretli veriler elde edilmektedir. Bu durum elektrod birikim potansiyelinin baskın çıkmasından kaynaklanır. Bu çalışmada Cu-CuSO4 Islak Potansiyel Elektrodları yetersiz kaldığından, Pb-PbO Kuru Potansiyel Elektrodları kullanılmıştır. Bu elektrodlar çok yüksek duyarlılıklarına karşın bazen 30-40 mV birikim hatası vermektedirler. Ancak bu birikim sistematik hata kaynağı olarak etki ettiğinden dolayı alınan veriler elektrod birikim hatası + galvanik potansiyel + difüzyon potansiyeli + zeta potansiyeli + eğer varsa vejetasyon potansiyeli bileşkesidir.

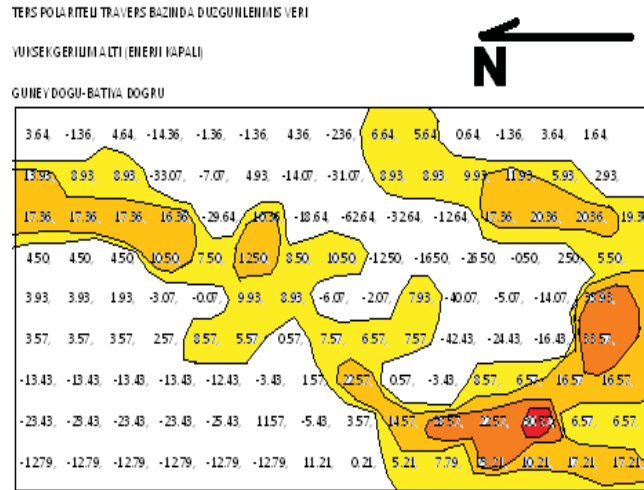
İşte bu noktadan yola çıkıldığında, yapılacak tek şey sistematik hatayı elimine edip rezidüel doğal gerilimi (anomaliyi) elde etmektir. Bu amaca yönelik olarak makale yazarınca geliştirilen ve bu çalışmada tanıtılan Liberty Basic Compiler Code’u yazılımı çalıştırıldığında, profil bazında veya harita bazında olabilecek biçimde verileri toplamakta, veri sayısına bölmekte, elde edilen ortalama sayıyı sıfır seviyesi olarak kabul etmekte, her ölçü noktasındaki sayısal veriyi bu ortalama değerden çıkarmakta ve elde edilen sayıyı o veriye atamaktadır. Doğal olarak elde edilen sayı, artı veya eksi işaretli olacaktır. Böylece adeta bir Regional Trend

üzerine bindirilmiş olan tekdüze S.P. verileri, doğasında olduğu gibi polarlanmış ve sistematik hatadan arınmış olmaktadır. İlk ölçü taşlık gediği tepede alınmıştır. Ölçüler olabildiğince hızlı alınmıştır. Böylece zaman içerisinde özellikle güneşin magnetik alana etki eden günlük değişimi aynen self potansiyel ölçümlere de etki ettiği için hızlı ölçüler alınarak bu etkinin magnitudü düşürülmeye çalışılmıştır. Ancak, sonuçta yapılan düzgünleme sırasında jeofizikçinin seçimi olarak bir abartı katsayısı kullanılabilmekte ve farklı saatlerde veya farklı gönlerde alınan ölçümler, diğer ölçümlerle aynı düzeye getirilebilmektedir

Kısa tarlası sürekli olarak sulandığı halde vejetasyon potansiyeli vermemiştir. Diğer taraftan önemle belirtmek gerekir ki bu raporda yer alan S.P. Anomali haritalarında amaca yönelik olarak salt artı kapanımlar gösterilmiş olduğundan, anomali haritaları daha sade ve daha vurgulu olarak elde edilmiştir. Taşlık Gediği Güney Doğusu özellikle kaçak arkeolojik araştırmalar yapanların rağbet ettikleri bir yerel mevkidir. Bu özelliğinin nedeni ise şu anda sular altında kala tarihi Gene köprüsünün her iki yanında da belirgin noktaların olması ve bu köprünün mitlerinde altın yüklü deve kervanlarının önemli bir yer tutmasıdır. Buna karşılık bu yörede alınan S.P. ölçülerinin ne kadar steril (temiz-boş) olduğu da yukarıda görülmektedir.

Özellikle S.P. Kontrol Profilleri arazinin tanımlanması ve sınıflandırılması amacı ile çok sayıda kullanılmış, fakat sonuca etki etmeyenleri rapora alınmamıştır.

Sel yatağının ortasında bol miktarda çalılık göze çarpmaktadır. Buradaki en çukur bölgede sürekli olarak bir ıslaklığın olduğu söylenilmektedir. Ancak alınan S.P. değerleri sığ örtü katmanını desteklememektedir. Bu durum da en azından bu yörede alınan S.P. ölçümleri ile yeterli derinliklerden yanıtlar alındığını göstermesi bakımından olumludur. Burası tam olarak Ceyhan yatağından çıkan “Kükürtlü Ilıca Suyu” ile “Acısı Ilıca Suyu”nun arasında kalmaktadır.



Şekil-7. Yüksek Gerilim Altı Düzgünlenmiş S.P. Anomali Haritası. Enerji Kapalı.

Diğer taraftan baraj rezervuar gölünün kıyısında ölçü alındığı için bu sözü edilen su çıkışlarına en yakın konumlu yerde bu ölçüler alınmıştır. Böyle iken dikkati çeken bir anomali alınmaması, daha bu çalışmanın başlarında bile ne kadar zorlu bir arama çalışması olacağına habercisi gibidir. Aynı biçimde dutlu tepe altı güney kısım anomali haritası da sakin bir dağılım

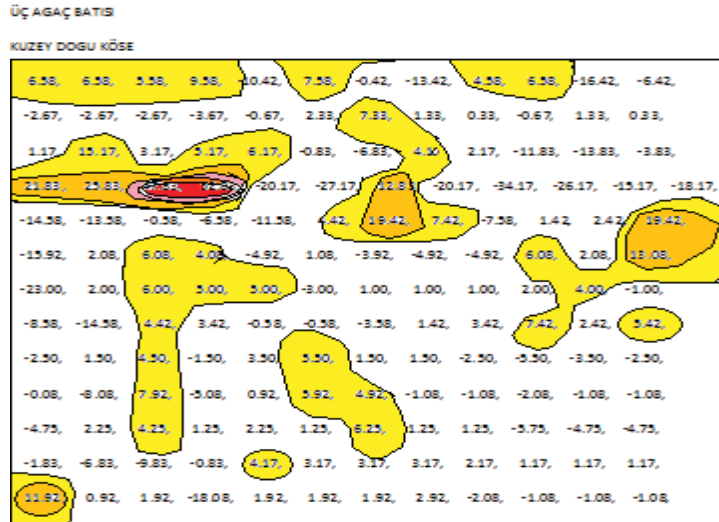
göstermektedir. Taşlık gediğinde elde edilen en dikkat çekici S.P. anomalilerinden birisi de bu ölçüm parçası içerisinde kalmaktadır. Bu anomalinin uzanımı Yüksek Gerilim Altı olarak isimlendirilen parça ile korele edilmiştir. Ayrıca bu iki parça da Taşlık gediği Dutlu tepe anomalisi ile ilişkilendirilir.

Hem enerji kapalı iken hem de Kısa tarlasını sulayan su hendeği çevrilip su borusu vanası kapalı iken bu yukarıdaki S.P. ölçüleri alınmış ve düzgünlenmiş haritası burada sunulmuştur. Görüldüğü gibi anomaliler yüksek gerilim hattından bağımsız olarak da varlıklarını sürdürebilmektedirler. Burada en uygun noktada üçüncü derecede önemli bir sondaj lokasyonu düşünülmektedir. Çalışmanın sonunda bu sondaj lokasyonu için bir "sondaj projesi" verilecektir.

Yukarıdaki S.P. Anomali haritası beklentileri karşılamamaktadır. Birinci traversteki sıra dışı veriler, fincan dinlenme hatasından ve ham yolun basılmış zemininden kaynaklanmaktadır. Aynı yerde ikinci ölçüm yapıldığı gibi ayrıca bir ısı ölçümü de yapılmıştır. Isıl ölçümde elde edilen anomalilerin anlamlı kapanımlar yapması, bu yukarıdaki S.P. anomali haritasının sakin karakteri ve alınan ısı ölçülerin çok yüzeysel olması nedeni ile önemsenmemiştir.

Diğer taraftan ikinci ölçümde alınan köşe anomalisinin, daha önce alınan kısa kuzeyi anomali haritasında da uzantısının olması, Bor Tarla S.P. çalışmalarının en olumlu adımını oluşturmuştur. Bu ortak anomali kapanımı Taşlık gediği Tüm S.P. Anomali Haritasında görülmektedir. Dolayısı ile bu uyumlu kapanım, dördüncü derecede önemli lokasyon olarak raporda yerini almıştır.

Üç ağacın batısındaki tepenin yola bakan sırtlarında bitki örtüsü hemen fark edilecek kadar cılızdır. Bu yöre Çağşan Kaptajından 7-8 km uzaklıkta Ilıca karşısındaki kayalık tepede saptadığımız fay zonunun uzanımı üzerinde yer almaktadır. Bu uzanım N 33° W doğrultuludur. Raporun giriş bölümlerinde bu doğrultunun öneminden ayrıntılı olarak söz edilmiştir. Bu yukarıdaki anomali haritasında yaklaşık kuzey-güney doğrultulu bir S.P. Çizgiselliği (lineation'u) saptanmıştır. Burada da Güney Doğu – Kuzey Batı doğrultulu bir uzanım saptanmıştır. Bu doğrultu karakteristiktir.



Şekil-8. Üç Ağaç Batısı Düzgünlenmiş S.P. Anomali Haritası.

### OĞLAK DAMI SIRTİ

Oğlak Damı Sirtı batık ılıcanın batı yakasında yer alır. Bu sirtın doğu sahilinde eski, derin ve başarılı olamamış bir sondaj platformu vardır. Sahil çizgisinin kuzey köşesinde uçuk burun denilen yerde baraj gölünün su tuttuğu günlerde baraj gölüne doğal bir bent oluşturacak güçte bir heyelan oluşmuştur. Sahil çizgisinin güney köşesinde ise ılıcanın hizasından da ileride çalışma sahamızın güney sınırını oluşturan Arı Kayası mevkiine kadar uzanır. Oğlak damı sirtının sahilinden batıya doğru yaklaşık olarak 200 m uzaklıkta, sirtı kuzey batı – güney doğu doğrultulu olarak kesen bir uçurum vardır. Bu raporda bu uçurum “Kırık” diye anılacaktır. Bu çalışmanın ilk günlerinde Konik Göl tarafında eşleniği görülemediği için bu uçuruma, kaolinli arenitik gre’ler üzerinde meyilli duran konglomera bloklarının kopup kaydığı kırık yeri diyerek kırık adı yakıştırılmıştı. Ancak sonradan yapılan gözlemler ve jeofiziksel çalışmalar sonucunda buranın kaya kayması kırığı değil, sol yanal atımlı bir fay olduğu saptanmıştır. Ancak bu fayın doğu kanadındaki konglomera bloklarının, tabanlarındaki kaolinli arenitik gre’ler üzerinde kaymış olmaları gerçeğini, bu fayın varlığı değiştiremez. Bu saptamada S.P. profil çalışmalarının önemli katkıları olmuştur. Aşağıda Oğlak Damı Sirtı S.P. çalışması dökümü yer almaktadır.



Şekil-9. Oğlak Damı Profil-1.

Oğlak Damına uygulanan iki boyutlu “S.P. Profilleri” ya da diğer bir isimlendirmesi ile “S.P. Panel Diyagramları”, güneyden kuzeye doğru bakacak biçimde hazırlanmıştır. Her ölçü profilinin değerlendirmesinde ve sunumunda üç adet panel görülmektedir. Birinci panelde S.P. Ham Datası, ikincide “**üçlü kayan ortalaması**”, üçüncüde ise tekrar “**üçlü kayan ortalamasının üçlü kayan ortalaması**” yer almaktadır. Burada özellikle üçüncü panelde beşli kayan ortalama yerine iki kademeli kayan ortalama alınarak geniş kapsamlı yuvarlatmalardan kaçınılmış olmaktadır. Bütün ham datada “hemen hemen periyodik” bir profil elde edilirken, birinci üçlü kayan ortalama profilinde yuvarlatılmış eğri karakteristikleri ortaya çıkmakta, fakat buna tekrar üçlü kayan ortalama uygulandığında elde edilen üçüncü profilde ise, tam olarak bir fay profili elde edilmektedir.



Şekil-10. Oğlak Damı Profil-2.

Görüldüğü gibi S.P.-2 nin ham data grafisi tam anlamı ile bir periyodik karakteristik taşımaktayken, iki kademeli kayan ortalama operatörü ile bu grafiden bir fay anomalisi doğmaktadır. Öyleyse iki kademeli üçlü kayan ortalama, hem S.P., hem de magnetik yatay bileşen anomali profilleri için etkin bir yorumlama operatörüdür denilebilir.



Şekil-11. Oğlak Damı Profil-3.

Profil-3'te elde edilen sonuç oldukça çarpıcıdır. Doğal olarak ham data'dan kaynaklanan bu sonuç Vertikal Loop Elektromagnetik düşey filon anomalisi ile tıpa tıpa benzeşmektedir. Omuz çıkıntılarına ve ikinci türev işaret değiştirme noktasının eğimine bakıldığında bu filonun düşeyle yaklaşık  $5^{\circ}$ - $10^{\circ}$  arasında açı yaptığı ve bu filonun dalımının batıya doğru olduğu görülür. Burada filon benzetmesi gereksiz yere kullanılmamıştır. Zira Fay düzlemindeki ıslıklık bir iletken filon gibi davranacaktır.



Şekil-12. Oğlak Damı Profil-4.

Bu profil grafisinde, birinci kayan ortalama ile ikinci kayan ortalama arasındaki kuyruk dönme yeteneği çok dikkat çekicidir. Kaybedilen bir özellik tekrar canlandırılmış gibidir.



Şekil-13. Oğlak Damı Profil-1.

Bu profile bir de günlük değişim trendi veya rejyonal trend düzünlemesi uygulandığında değerleri gibi temiz bir fay anomalisi elde edilecektir.



Şekil-14. Oğlak Damı Profil-1.







Şekil-16. Yardımcı Ekipman. Sıcaklık Ölçer, GPS, Brunton, 15x Lup.

Görüldüğü gibi alınan ölçüler günlük sıcaklıktan bağımsızdır. Bor tarlanın farklı yerlerinde yaklaşık olarak 4°C ila 5°C kadar bir sıcaklık farkı olması önemsenecek bir olgudur. Ancak bu olgunun S.P. ölçüleri ile desteklenmemesi ve anomali kaynağının çok sığda olması dolayısı ile

ikinci derece önemli anomali sınıfına alınmışlardır. Bor Tarla yol üstünün ısı kontrolünde Bor Tarla bir önceki sayfada verilen gövde anomali haritası ile tam bir uyum içerisinde olduğu gözlenmiştir. Her iki haritanın arasındaki ölçüm yönü farkı dikkate alınmalıdır.

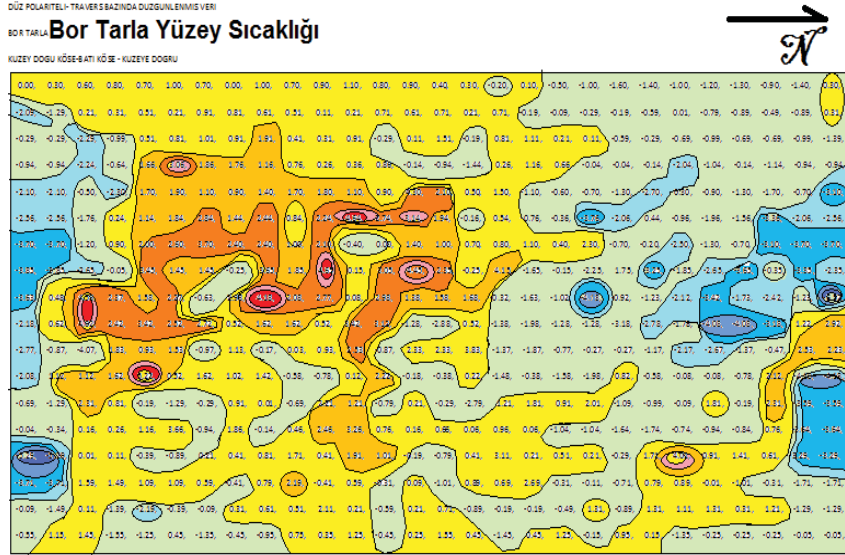
### 3.REZİSTİVİTE ÇALIŞMALARI

Özellikle S.P. çalışmalarından alınan olumlu anomali kapanımları, Doğru Akım Rezistivitesi seti ile “Dikey Elektrik Sondaj”lar yapılarak denenmiştir. Kullanılan alet LG marka yurt dışı yapımı olup 500 metre derinliklere kadar sorunsuz olarak çalışmıştır. Bu çalışmalar sırasında akım elektrodları olarak 404 kalite paslanmaz çelik kazıklar ve potansiyel elektrodu olarak da “Kurşun-Kurşun Oksit” kuru tip kutuplanmayan elektrodlar kullanılmıştır.

Arazi zorluk derecesi yüksek engebeli olduğundan uygulanan elektrik sondajlara Düşey Elektrik Sondaj Yerine **Dikey Elektrik Sondaj** diye tanımlanmıştır. Ancak akronim olarak aralarında fark olmayan **DES** kullanılmış olup, bütün kesitlerde bu topografik etki göz önüne alınmıştır. Örnek olarak Şekil-32.’deki topografik düzgüllemeye bakınız.

Oğlak Damı sırtının kuzey yamacından geçen yol önemli bir çalışma alanı oluşturmuştur. Bu yol aynı zamanda raporda çokca sözü edilen “Kırık” tan da geçer Bu nedenle Kırığın hem doğusunda hem de batısında alınan S.P. anomalilerini gerçeklemek üzere yol üzerinde bir dizi DES planlanıp uygulanmıştır. Bunlar, Kırık merkez olmak üzere,

-85 m, -40 m, -25 m, -10 m, kırık (0 m), +10 m, +20 m, +40 m, +80 m  
Olarak dizilmişlerdir.



Şekil-17. Bor tarla düzgülennmiş (Sıfıra indirgenmiş) Yüze Sıcaklık Dağılımı Anomali Haritası

Bunlardan elde edilen rezistivite değerleri hem lineer olarak Şekil-30'da değerlendirilmiş hem de IPI2 yazılımı ile Şekil-31'de ters çözüm yöntemi uygulanarak HUMMEL derinlikleri elde edilmiştir. Bu rezistivite arazi eğrileri ve derinlikler sayfa 41, 42, 43, 44 ve 45 de verilmiştir.

Şekil-30'dan elde edilen derinlikler temel olarak kabul edildiğinde ilk sıradaki derin sondaj grubu üyesi "SJ-1" adı verilerek +15 m noktasında seçilmiştir. Bu kez Şekil-31'deki panelde bu sondaj noktası kontrol edildiğinde bu kesitte de en uygun yere denk geldiği görülmüştür. Ancak Dikey Elektrik Sondaj ölçümlerinin topografik etkisi de ihmal edilmemiş ve Şekil-32'de gösterildiği gibi lokasyona topografik düzgülennme uygulanmıştır. Buna göre SJ-1 noktası yaklaşık 15 metre kadar güneye kaydırılarak yamaca çıkarılmıştır. Düzgülennmiş Sondaj noktasının koordinatları (batı 0293688 -kuzey 4158385) olarak ölçülmüştür. Ölçümler EURO-50 grid sistemine göre alınmıştır. Raporun sonunda önerilen sondaj noktalarının sondaj projeleri yer alacaktır.

Özellikle bu panelde yer alan derinlik – görünür direnç tablolarına bakıldığında ılık suya denk gelebilecek kadar düşük rezistivite değerlerine rastlanılır. Oysa bütün bu ölçümler Lineer Schlumberger açılımı ile alınmış olup bu arazi eğrileri lineer olarak değerlendirildiğinde bu denli düşük görünür dirençler görülmemektedir. Zaten elde, suları kaybolan bir kaplıca değil bir ılıca gerçeği vardır. Orada ölçülen ılıca suyu sıcaklıkları da yaklaşık 37°C kadardır. Bu durumda ılık su araması yapmak durumundayız. Ancak ne yazık ki 30°C lik ılık suyun bilinen direnci tam da arazide peşinde olduğumuz en uygun yol verebilecek formasyon olan ıslak gre'in direncine çakışmaktadır.

#### DOĞUDAN BATIYA DOĞRU SIRASI İLE KIRIK ÖNÜ DES'LERİ

DES-85: 67 m'de 13  $\Omega$ m . Genel görünüş Belirsiz.

DES-40: 18.1 m'de 13.2  $\Omega$ m, 103 m'de 8.7  $\Omega$ m. Olumlu.

DES-25: 10.6 m'de 8.78  $\Omega$ m, 45.4 m'de 0.053  $\Omega$ m ?, 66.5 m'de 28.1  $\Omega$ m. Derinlerde olumlu.

DES-10: 20.8 m'de 41.2  $\Omega$ m, 110 m'de 0.825  $\Omega$ m. Derinlerde Olumlu.

DES-KIRIK ÖNÜ: 17.1 m'de, 13.6  $\Omega$ m, 29.5 m'de 44.3  $\Omega$ m, 73.5 m'de 2.76  $\Omega$ m.

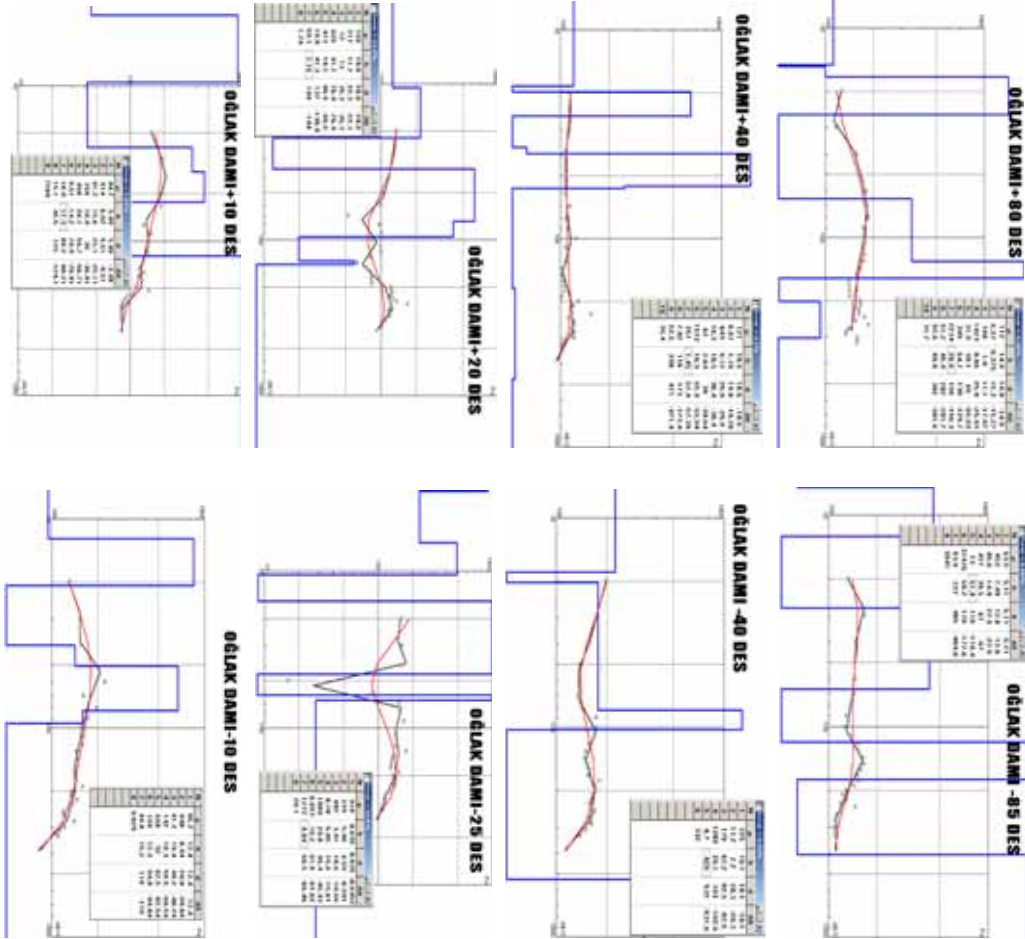
Derinlerde olumlu

DES +10: 55.7 m'de 9.51  $\Omega$ m, 70.9 m'de 10.8  $\Omega$ m, 88.2 m'de 15.1  $\Omega$ m. Derinlerde olumlu.

DES +20: 22.3 m'de 12  $\Omega$ m, 95.5 m'de 19.9  $\Omega$ m, 144 m'de 1.74  $\Omega$ m. Derinlerde olumlu.

DES +40: 39uncu metre dışında tümü düşük resistiviteli. Ya en iyi lokasyon, ya da yüksek satürasyon var.

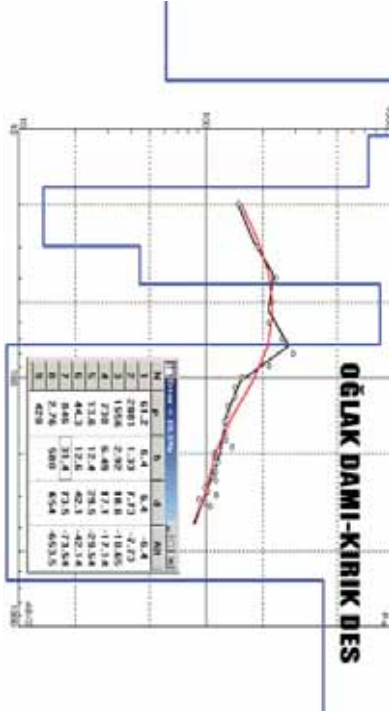
DES +80: 14.9 m'de 6.27  $\Omega$ m, 25.9 m'de 31.9  $\Omega$ m, 156 m'de 51.2  $\Omega$ m, 302 m'de 31.7  $\Omega$ m olmasına karşın eğirinin düşümü az.



Bu panelde alınan değerler genellikle derinlerde ümitli sonuçlar vermiştir. Bu ümitli kısım ise Kırık'ın hemen yakınındaki DES'lerden elde edilmiştir. Şekil-30 ve 31'de verilen Panel diyagramlarda ayrıntılı açıklaması yapılacak ve R8 imajları ile örtüştürülecektir. Başlıklarından lokasyonları kolayca bulunabileceği için, arazi eğirilerine şekil numarası verilmemiştir.

Bundan sonraki arazi eğrileri ve derinlik – görünür direnç tabloları yol üzerinde alınan ve iki boyutlu panel oluşturan grubun dışındadır. Bunlar tekil DES'lerdir. Jeolojik yapının olumlu bulunduğu yerlerde uygulandığı gibi S.P. çalışmalarının sonucunu da gerçeklemek amacını güderler.

Taşlık Gediği DES: Burada S.P. ile olumlu anomaliler alınınca bu kez Kısa tarlasına



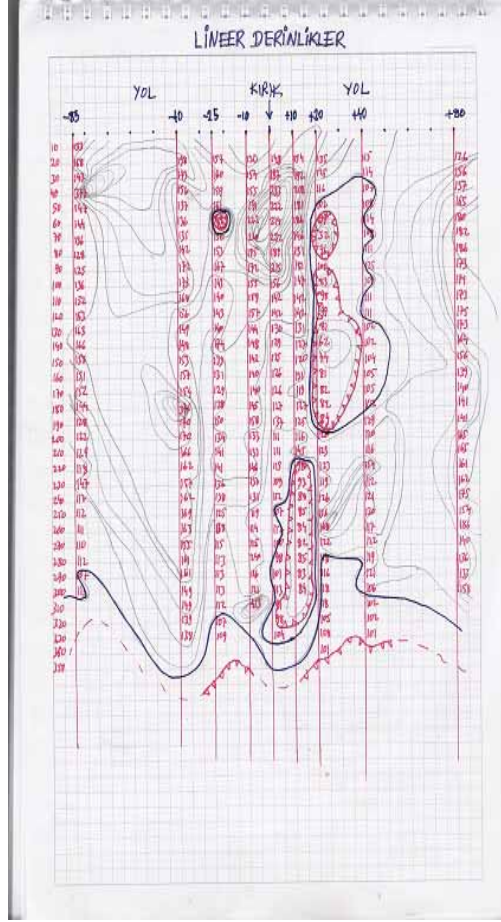
cazibeyle plastik borudan akan su ve yüksek gerilim hattındaki enerji kapattırılarak yeniden S.P. ölçüleri alınmış ve anomalilerde bir değişim olmadığı gözlenince Anomalinin + kapanım noktasına bir DES uygulanmıştır. Kaldı ki bu uygulama noktasının sekiz on metre güneyinde eski bir sıcak su arama sondajı betonu vardır. Bu sondajda yaklaşık 236 metre derinlikte bir aralık sıcak su emaresi alınmış, fakat bir iki dakika içerisinde tekrar soğuk su sirkülasyonu başlamıştır. Bir olasılıkla rotary sondaj delmeye devam ettiği için sıcak su başka bir çatlaktan kaçmış, ya da rapor yazarına göre belki de bu olay bir gaz serbestlenmesinin buharı yüzünden oluşmuş da olabilir. Taşlık Gediği DES'inde üç adet, 20.8 m'de 7.1 Ωm, 84.9 m'de 3.3 Ωm, 380 m'de 3.48 Ωm. Soğuk su baskın bir lokasyon. Üç adet karakteristik sıcak su anomalisi olarak uygun rezistivite düşüşleri alınmış olmasına karşın, arazi eğrisinin trendi yükselen eğri karakterinde olup, soğuk su işareti vermektedir. Bu eğrisel karakteristik de sondajdaki soğuk su karışımını desteklemektedir. Taşlık gediğinde bir sondaj önerilebilir. Ancak bu sondajın önem ve öncelik sıralaması düşük olacaktır.

Bor Tarla Sel Hendeği DES: Bu elektrik Sondaj Yaklaşık olarak Kükürtlü ılık su çıkışının hizasına denk gelmektedir. Rezistivite düşüşleri, 23.9 m'de 4.51 Ωm, 38.9 m'de 1.05 Ωm, 416 m'de 0.389 Ωm . Derinlerde umutli bir lokasyon, olarak dağılmaktadır. Bunlarda 38.9 m derinlikte alınan anomali Kükürtlü çıkışına yorumlanabilir.

Yeğenin Öldüğü Yer DES: Doğru akım rezistivite cihazı ile yapılan en derin (500 m) DES buraya uygulanmıştır. Uygun direnç derinlikleri, 11.4 m'de 11.2 Ωm, 25.9 m'de 24.4 Ωm, 942 m'de 4.39 Ωm , olarak elde edilmişlerdir. Eğrinin karakteristiği derinlerde uygun olarak saptanmıştır.

Üç Ağaç DES: Arazi eğrisi yükselen eğri tipindedir. Bu tipte bir eğri de Taşlık Gediğinde alınmıştır. 376 m derinlikteki 9.42 Ωm lik seviye dikkat çekici olmakla birlikte bu seviye de yükselen eğri içerisinde yani olasılıkla soğuk su içerisinde yer almaktadır.

Ilıcının üzerinde ölçülen DES ise referans (başvuru) niteliğindedir. Ilıca DES : 34 m'de 4.99 Ωm, 55 m'de 17.3 Ωm, 331 m'de 8.22 Ωm . Bu verilen değerler, 34 m derinlikte yaklaşık 5 Ωm değer alınması ılıca gözüne denk gelmekte ve arayacağımız ılık suyun elektriksel direncinin **Rho-a(ılık su) < 10 Ωm** dolayında olması gerektiğini vurgulamaktadır.



Şekil-18. Kırık Önü Lineer Derinlikli Rezistivite Paneli

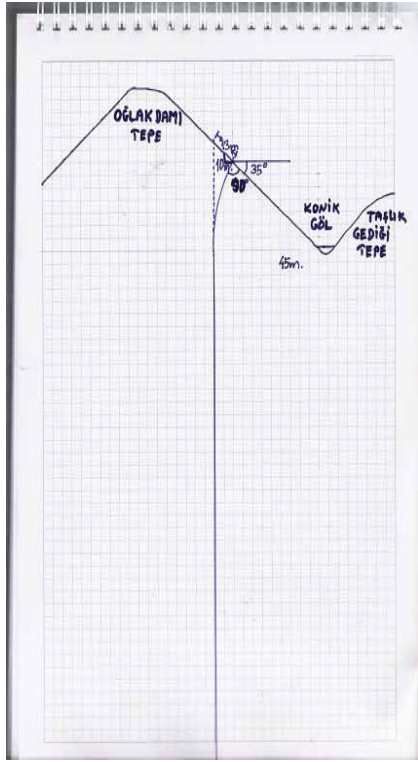
Oğlak Damı yolu üzerinde alınan DES ölçümlerinden yararlanılarak bir Panel Diyagram oluşturulmuştur. Bu panellerden birinde Lineer derinlikler, diğerinde inversiyon derinlikleri kullanılmıştır. Lineer derinliklerde en dikkat çekici özelliklerden biri düşük rezistivite bölgesinin Kırık diye adlandırılan Fay aynasının batısında toplanması ve sakin kısımların ise panelin iki yanına doğru yer almalarıdır. DES +10'da derin bir anomali kapanımı elde edilmesine karşılık, hemen bitişiğindeki DES+20 de daha sığ bir anomali vardır. Her ikisini de kapsamak üzere +15 noktası sondaj lokasyonu olarak düşünülmüştür. Bu olguyu IPI2 inversiyon kesitlerinin de desteklediği görülmektedir. IPI2 panelindeki 788 değer tek nokta okuması olması nedeniyle elimine edilmesi gerektiği düşünülerek derinlerde alınan iki adet bölünmüş anomaliye müdahale edilmiş ve anomaliler birleştirilmiştir. Ayrıca IPI2 panelinde sığ ve yatay uzanan bir düşük dirençli kontur kapanımı yer almıştır. Bu sığ anomali bölgesine ise aynı yerde ölçü alınan AGI-super sting R8-IP Rezistivite Imaging System verilerinde de rastlanılmaktadır.

IPI2 Hummel derinlikleri de yaklaşık olarak aynı kavramı desteklemektedir. Ancak bu noktadan daha önde olması gereken sondaj noktaları olduğu halde Bu kırık önü lokasyonunun ön

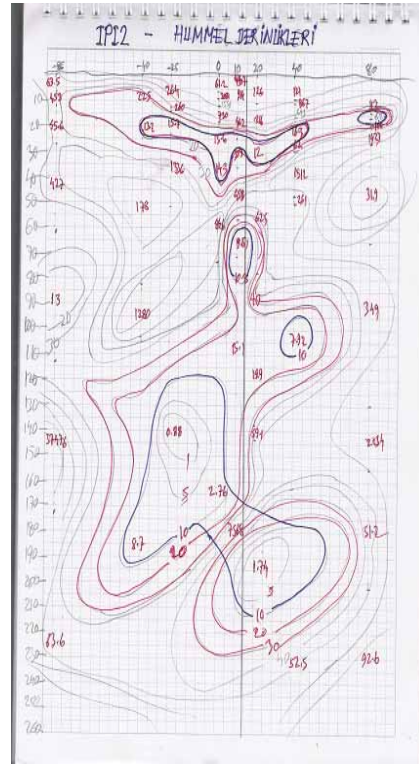
plana çıkmasının nedeni ise R8 görüntülerinde elde edilen bir model anomali ile açıklanacaktır. Aynı model anomali Ahmedin Bağ Evi anomalisinde de yer almıştır.

Diğer taraftan Oğlak Damı S.P. Anomali Haritası da bu görüşü desteklemektedir. Açıkçası R8 görüntülerinde tam kırık bölgesinde bir düşük rezistivite kapanımı alınmaması eğer bir adet dezavantaj ise, buna karşılık jeolojik veriler, Tektonik veriler, Linear Schlumberger Paneli, IPI2 Paneli, S.P. Anomali Haritası ve R8 görüntülerinde elde edilen derin model anomali olarak yedi adet avantaj vardır.

Bu nedenle bu nokta öncelikli sondaj noktası olup DSJ-1 olarak kodlanmıştır. DSJ-1'in yeri, derinliği ve delme ayrıntıları raporun sonundaki sondaj projeleri bölümünde verilecektir.



Şekil-19. Kırık Önü Hummel Temelli Topografik Ters Çözüm Derinlikli Rezistivite Paneli



Şekil-20. Sondaj Lokasyonu Düzgünleme Geometrisi

Şekil-20'de görüldüğü gibi Oğlak Damı yolu üzerinde alınan bütün jeofiziksel ölçülere topografyanın sert meyilli olması etki etmektedir. Bu etkinin özellikle sondaj lokasyonlarında düzgünlenmesi gerekir. Bu düzgünleme yapılmış olup, düzgünleme prensibinin geometrisi Şekil-20'de verilmiştir. Oğlak Damının sırt çizgisi ile konik göl arasında yaklaşık olarak orta yükseklikten geçen yolun konumunun, yukarı doğru 40 metre, aşağı doğru 45 metre devam eden yaklaşık 35° eğimli bir yamacın etkisi altında olduğu görülür. Bu ±45 metre süren 35° lik eğimli yüzeyin etkisi ile lokasyon 13 m kadar eğim yukarı taşınmıştır. Bu nedenle bu arazide

alınan hiçbir elektrik sondaja Düşey Elektrik Sondaj denilmemiş buna karşılık Dikey Elektrik Sondaj olarak nitelendirilmiştir.

Fakat kavram kargaşası olmaması açısından aynı kısaltma, yani DES kullanılmıştır. Burada birçok veriden yararlanıldığı halde göz ardı edilmemesi gereken iki veri sondajın derin uygulanmasını ögütlemektedir. Bunlardan biri Şekil-19'da verilen lineer derinliklerin derinlere doğru olumlu uzanımı, diğeri ise R8 den elde edilen model eğridir. Yapılan düzgünlemenin trigonometrik olarak mantığı şöyledir: 360 m derinlik verilmiştir. Ancak bu derinliğin sadece ilk 45 metrelik kesimi topografyadan etkilenmektedir.

$$\sin \alpha = a / h$$

$$a = h \sin \alpha$$

$$a = 45 \text{ m} \times \sin 35^\circ$$

$$a = 45 \text{ m} \times 0.57358$$

$$a = 25.81 \text{ m}$$

Yamacın yeterince yüksek olmaması dolayısı ile etkinin yarısı alındı. **D = a/2 ≈ 13 m.**

#### 4. SUPER STING R8 ÇALIŞMALARI

Bu çalışmalar için Mersin – Erdemli'de hizmet veren bir firmadan destek alınmıştır. Firma yetkilisi Jeofizik Mühendisi Sayın Dilek Karan, ekibi ile birlikte iki kez Döngelge'ye gelerek istenilen lokasyonlarda ölçüler almış ve sonuçlarını e-posta ile bildirmiştir. Bu çalışmaya yaptığı olumlu katkılardan dolayı kendisine ve zorluk derecesi yüksek bir arazide özveri ile çalışan ekibine teşekkür ederiz.

Serim Kabloları bilateral simetrik 830 + 830 metre gönderilerek, sekiz kanal üzerinden Dipole-Dipole ve Gradient açılımları uygulanmıştır. Böylece bu düşey grid üzerinde Dipole-Dipole ve Gradient'e ilaveten; Wenner, Yarım Wenner, Schlumberger, Yarım Schlumberger, Modified Schlumberger, Pole-Dipole ve Inner Pole-Dipole gibi elektrod konfigürasyonları uygulanabilmektedir. Gradyentin "a-a-a" tertibi ile uygulanması durumunda sistem Rectangle'a dönüşmektedir.



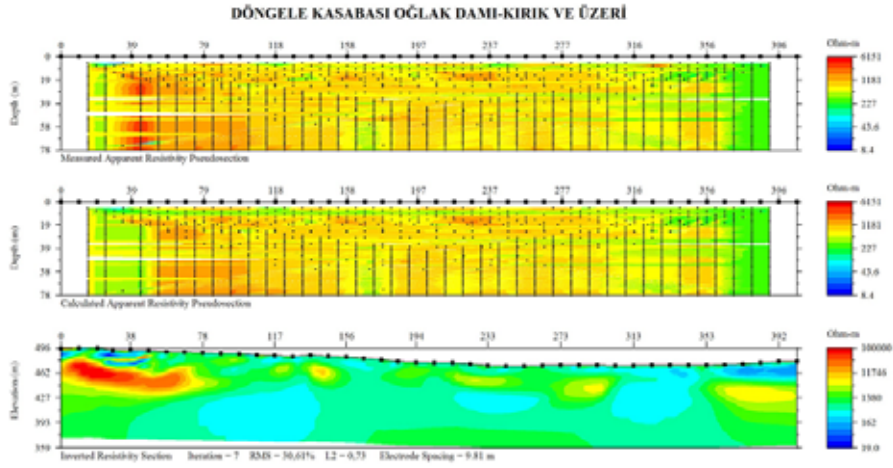
Şekil-34. Super Sting-R8 Panel Görüntüsü.



Topografik arızanın uygun olduğu yerlerde yaklaşık olarak 650 m derinliklerden güvenilir yanıtlar alınmıştır. Sistem çoklu iterasyon uygulayarak ters çözüm yapmakta ve kesitlerini kontur paneli veya renkli panel olarak verebilmektedir. Diğer bir önemli özellik ise bu kesitlerin interaktif olmaları nedeniyle cursor'un bulunduğu noktanın kot, koordinat (dolayısı ile derinlik) ve rezistivite değerini sayısal olarak görme olanağıdır. Alınan rezistivite imajlarının değerlendirilmesinde Gradient'e göre baskın olan Dipole-Dipole göz önüne alınmalıdır. Aksi takdirde bu imajlar birer pseudo section'dan öteye geçemez. Bu durumda Dipole-Dipole "model anomali abakları" edinilmeli ve buna göre değerlendirme ve yorumlama yapılmalıdır. Bu çalışmada Dipole-Dipole Model Anomali Abakları kullanılmıştır.

İmajların başlıklarına göre açılımı, tanıtımı ve değerlendirmesi:

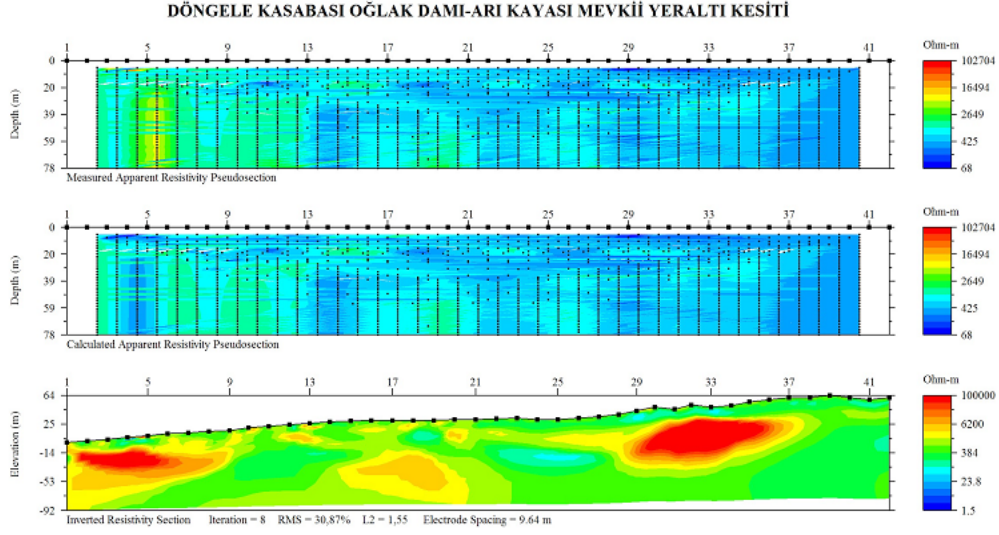
### DÖNGELE KASABASI (MANEVRA-KIRIK ARASI)



Şekil-36. İkinci Gün, Birinci Serim Super Sting-R8 Çıktısı. Bu imajda bir adet Orta Derinlikli lokasyon saptanmıştır.

21 ile 22 Numaralı elektrodların ortası tam olarak kırık'a denk gelir. 23 ise daha önceden saptanan DSJ-1'e denk gelir. Bu kesitte elektrodları sayarken birinci elektroda sıfır denilecektir. Dikkat edilirse 21 ile 22 ortasında bir derin bağlantı ve daha derinlerde ise derin prizmatik anomali kaynağının çekirdeği yer almaktadır. Kesitte 117 ve 313m'lerin altında yer alan mavi boyalı ilginç kapanımlara, Oğlak Damı -85 m ve +80 m DES'lerinde "kenarlarından geçilmiş olsa da" rastlanılmamıştır. Bu durumda bu ilginç kapanımların kanat anomali olduğu "sağlama" yapılmış olmaktadır. Öyleyse DSJ-1'in güvenilir bir lokasyon olduğu, bu imajda çok derin bir anomali olmamasına ve iki yanda daha güçlü kapanımlar olmasına karşın, bir kez daha onaylanmış olmaktadır. Hernekadar burada orta derinlikli görünse de bu sondajın derinliği için Oğlak Damı Panel diyagramı esas alınarak 360 m derinlik verilmiştir. Koordinatı D37293688 - K4158385

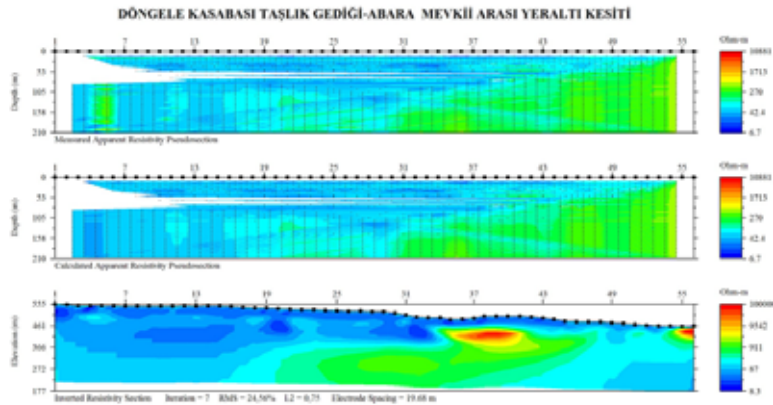
## DÖNGELE KASABASI 2. SERİM YER ALTI KESİTİ (MANEVRA-ARI KAYASI ARASI- ILICA ÜSTÜ)



Şekil-37. İkinci Gün, İkinci Serim Super Sting-R8 Çıktısı. Bu imajda bir adet sığ lokasyon vardır.

+482 m kotlu, D37293941 – K4158226koordinatlı nokta, bu çalışmada elde edilen önemli lokasyonlardan biridir. SSJ-1 diye kodlanan sondaj sığ olup yaklaşık 120 metre derinlikli olarak planlanmıştır. Bu nokta Arı Kayası kesiti üzerinde 18 inci elektroda denk gelir. Ancak diğer model anomalilerden farklı olarak çok derin bir anomali olmayıp sığ derinliklidir. Ilıca ılık su çıkışı burada kanat anomalisi pozisyonundadır.

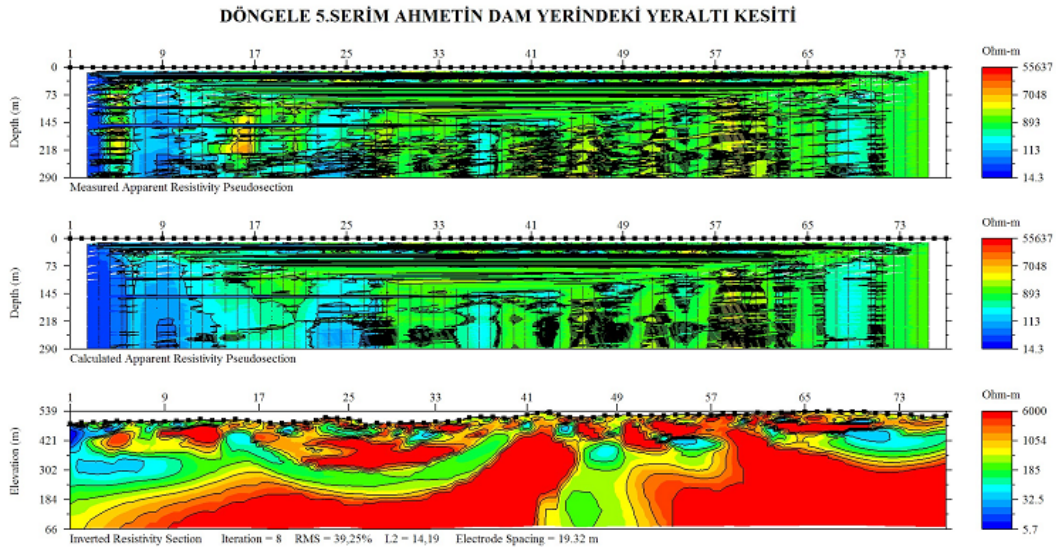
## DÖNGELE KASABASI 3.SERİM YER ALTI KESİTİ (ABARA MEVKİİ)



Şekil-38. İkinci Gün, Üçüncü Serim Super Sting-R8 Çıktısı. Bu imajda iki adet Orta Derinlikli lokasyon teklif edilmiştir.

20 (15  $\Omega$ m) ve 32 (10  $\Omega$ m) Numaralı elektrodların altındaki kapanımlar, bu bölgede bu imajla alınan düşük elektriksel direnç değeri veren iki noktadır. Ancak buna karşılık Killi kumtaşından dolayı bütün imaj boyunca sıvama düşük direnç değerleri alınması çekince doğurmakta ve bu lokasyonlar en son tercih sırasında yer almaktadır. 20 numaralı elektrodaki OSJ-2 'in kotu +353 m olup koordinatı D37293130 – K4158864. 32 Numaralı elektrodaki OSJ-3 'nin kotu +499 m olup koordinatı D37293352 – K4158804 'tür. Her ikisi de 200 metre olarak planlanmıştır.

### DÖNGELE KASABASI 1.SERİM YER ALTI KESİTİ (MERKEZ-AHMETİN DAM YERİ)



Şekil-39. Üçüncü Gün, Birinci Serim Super Sting-R8 Çıktısı. Bu İmajda bir adet Orta , Bir adet Derin lokasyon saptanmıştır.

Bu imajda da ilginç bir lokasyon göze çarpmaktadır. 48 Numaralı elektrodun altında bir derin bağlantı vardır. Bu derin bağlantıyı iki yandaki kanat anomalileri destekler görünmektedir. Ancak asıl destek bu anomali grubunun Düşey Filon Tipi anomali olmasından kaynaklanır. Bu lokasyon, 42 No'le elektrod, yani sıfır noktasından yaklaşık 153 metre doğudadır. Lokasyon 550 metreden fazla derinlik içermekte olup üçüncü sırada derin sondaj sınıfına alınmıştır. Yaklaşık olarak Oğlak Damı yolu üzerinde uygulanan ve 500 metre olarak en derin DES olan "Yeğenin Öldüğü Yer" lokasyonu ile özdeşdir. DSJ-3 adı verilen bu lokasyonun kotu 521 m olup koordinatı D37293471 – K4158344 'tür. 54 No'lu Elektrodun altında 130 m derinlikte 32  $\Omega$ m, 70 -71 arası 150 metre derinlikte 34  $\Omega$ m, 68'in altında 110 m derinlikte 17  $\Omega$ m ölçülmüştür. Bu kesitin sol ucu Birinci gün kesitinin sağ ucuna denk gelmektedir. Burada diğer bir önemli lokasyon da tam Kırık üzerine denk gelmektedir. Bu lokasyon Orta metrajlılar arasında birinci sıraya alınmıştır. 71 No'lu elektrod ile 72 No'lu Elektrod arasında olmasına karşın bu nokta tam fay uçurumuna denk geldiğinden yukarıya 71 No'lu Elektroda alınmıştır. Kotu + 530 m, koordinatı D37293869 K4158342 'dir

### 5. SONDAJLAR

Sekiz adet sondaj önerilmiştir. Toplu olarak Sondaj Lokasyonları: DSJ=Derin sondaj, OSJ=Orta Sondaj, SSJ=Sığ sondaj'dır.

S	O	N	D	A	J
KOD	Kesit Adı	Elektrod No	Ağız Kotu	Koordinatı	Derinliği
DSJ1	Kırık Önü	23 No'lu Elektrod	Yoldan 13 m Güneyde	D37293688 K4158385 Kırık Üzeri	Derinliği 360 m.
DSJ2	Ağa Hocanın Damı – Birinci Serim	62 No'lu Elektrod	Ağız kotu +685m	?D37292584 K4158135 Dereye, Aşağı Kaydırılacak	Derinliği 500 m.
DSJ3	Ahmetin Dam Yeri – Beşinci Serim	48 No'lu Elektrod	Ağız Kotu +521m	D37293471 K4158344	Derinliği 550 m.
OSJ1	Ahmetin Dam Yeri – Beşinci Serim	71 No'lu Elektrod	Ağız Kotu +530m	D37293869 K4158342 Kırık Üzeri	Derinliği 370 m.
OSJ2	Ağa Hocanın Damı Birinci Serim	73 No'lu Elektrod	Ağız kotu +721m	D37292378 K4158076	Derinliği 310 m.
OSJ3	Abara Mevkii	20 No'lu Elektrod	Ağız kotu +535m	D37293130 K4158864	Derinliği 200 m.
OSJ4	Abara Mevkii	32 No'lu Elektrod	Ağız kotu +499m	D37293352 K4158804	Derinliği 200 m.
SSJ1	Ilıca-Arı Kayası	18 No'lu Elektrod	Ağız kotu +482m	D37293941 K4158226	Derinliği 120 m.

**Tablo-1. Önceliklerine Göre Sıralanan Sondaj Lokasyonları Bilgileri.**

Sekiz adet sondaj önerilmesi demek, sekiz adet sondaj yapılacak demek değildir. Tabloda üç farklı sondaj gruplandırılmıştır. Bunlar isimlerinden de görüleceği gibi Derin, Orta ve Sığ'dır. Her grup kendi arasında tabloda yazılış sırasına göre önceliklidir. Bu durumda eğer önce orta derinlikli bir sondaj yapılmak istenilirse, ilkin OSJ-1 yapılmalıdır. Bu seçim, çalışmaya gelen sondaj makinesinin kapasitesine göre zorunlu olarak değerlendirilmelidir. Eğer derin kapasiteli bir makine gelmişse, öncelikle DSJ-1'den delmeye başlanılmalıdır. Hernekadar SSJ-1, en ilginç anomalinin alındığı nokta olmasına ve en sığ sondaj lokasyonu olmasına karşın, Seyhan yatağına çok yakın olması nedeniyle en son olarak denenecek lokasyondur. Bu durum, eğer ilk yapılan sondajdan ılık-ılık su alındığı takdirde diğer sondajlardan belki de bir iki adedinin ileriki tarihlere ertelenmesi veya hiç uygulanmaması anlamına gelebilir.



**Şekil-40. Yeğenin Öldüğü Yer - 500 m derinlikli D.C.-DES lokasyonunun yol yarmasında görülen alterasyon ve konglomera- laminalı gre dokanağı**

#### **SONUÇ**

Bu çalışmada Sır Baraj Gölünün derinliklerinde kalan ve soğuk sular tarafından istila edilerek tesisleri ve dolayısı ile suları kaybolan DÖNGELE ILICASI'nın ılık sularının geri kazanılması için bir jeofiziksel kombine arama projesi geliştirilmiş ve uygulanmıştır. Arazi çalışmalarının ve raporun temelinde, ılık mineralize suların elektriksel dirençlerinin temiz-soğuk suya göre daha düşük olmasından yararlanılmıştır. Çalışmada Self Potansiyel, Yüzey Sıcaklığı, Rezistivite ve Sekiz Kanallı Görüntüleme yöntemleri kombine edilmiştir. Seyhan Nehrinin batı yakasında yer alan birçok ılık su çıkışının tümünün Sır Barajı rezervuar gölü altında kalması ve olasılıkla bu ılık su çıkışlarının çoğunun birbirleri ile derin ya da sığ bağlantılarının olması yüzünden, hepsinin de birleşik kaplar prensipine göre soğuk su tarafından istila edildiği gerçeği ile bundan önce yapılan derin sondajlarda yüz yüze gelinmiştir. Bu nedenle bu çalışmada olabildiğince nehirden uzaklaşılarak derin ve ılık suların varlıkları gerçekleştirilmeye çalışılmıştır. Bu soğuk su istilasının yanında hazne kaya ile ılık su arasındaki elektriksel direnç farkının azlığı da bir sakınca veya aşılması gereken bir engel olarak çalışmayı zorlamış ve çok özenli değerlendirmelerin birleştirmelerin, karşılaştırmaların yapılmasını gerektirmiştir. Sonuçta bu çalışmanın tümünden başarısız olması olasılığı da yok değildir. Bütün bu sakınca ve çekincelerin bilincinde olan işveren, en az masrafla yapılması gerekenleri yapabilmek için bu çalışmaya girişmiştir. Bu açıdan bakıldığında bütün bu çalışmaların meyvesi sadece sondajların başarısına bağlıdır. Bu nedenle hem personel hem de ekipman bakımından sıcak su aramasında deneyimli ve uygun sondaj takımının arazide görev alması sağlanmalıdır. Sondaj aşamalarının seçimi tamamen işverene bırakılmıştır. Yani işveren önce daha sığ ve daha az masraflı sondajlarla delmeye başlayabilir. Ya da doğrudan en derin ve göl havzasına en uzak sondajdan da başlayabilir. Tablo-1'deki sondaj numaralarında bir öncelik sırası gözetilmiştir. Proje müellifi her grubun içerisindeki bu öncelik sırasına uyulmasını önermekte olup, öncelik

sırası seçimi Derin, Orta ve Sığ sondaj grupları arasında geçerli değildir. Örnek olarak eğer önce derin sondajlardan başlanmak istenilmişse, ilkin DSJ-2 değil de DSJ-1 tercih edilmelidir. Ya da sadece bir adet sığ sondaj teklif edildiği için, Sığ grupta bir öncelik söz konusu değildir. Kısacası hangi grup sondajla ise başlanılırsa başlanılsın, önce o grubun bir numaralı sondajı seçilmelidir.

#### **KAYNAKLAR**

- Gülay, A., 1970, Manisa-Salihli - Caferbey-Köseali-Trablı-Kurşunlu-Allahdiyen-Gökköy-Çamur banyoları-Üçtepeler rezistivite raporu: MTA Rap., 4853 (yayımlanmamış), Ankara.
- Gülay, A., 1996, Tuzla İçmeler Ilıca araştırmaları, Yayınlanmamış Rapor.
- Kaynak,U., 2003, Üstmerkez Jeotermik Prospeksiyonu, [www.sismikaktivite.net](http://www.sismikaktivite.net) \ makaleler\

## **Süreksizliklerin Meydana Getirdiği Yapıların Modellenmesi ve Jeotermal Aramalardaki Önemi**

Ebru EFEOĞLU  
[ebru\\_efeoglu@hotmail.com](mailto:ebru_efeoglu@hotmail.com)

### **ÖZ**

Yerkabuğunda bir jeotermal sistemin oluşmasını doğrudan etkileyen olgular yapısal jeoloji olgularıdır. Süreksizlikler sıcak akışkanların içinde dolaşıp birikebilecekleri ortamların oluşmasına olanak sağlaması açısından yapısal süreksizliklerin geometrilerinin ve bu süreksizliklerin oluşturduğu yeraltı yapılarının modellenmesi rezervuar yapısını anlamada önemli bir yer tutmaktadır. Jeofizik yöntemlerinden biri olan öz direnç yöntemi jeotermal aramalarında, hazne kayanın ve fayların yerlerinin belirlenmesinde en çok tercih edilen yöntemler arasında gelmektedir.

Bu bildiri Türkiye'deki jeotermal alanların ortak özellikleri göz önüne alınarak jeotermal arama yapmak için uygun alanın ön seçimine yönelik bir çalışma yapılmıştır. Yapısal süreksizliklerin oluşturduğu çeşitli yeraltı yapıları görüntü kuramı temel alınarak modellenmiştir. Yöntem yapay veriler üzerinde test edildikten sonra İznik bölgesinde uygulanmış ve olumlu sonuçlar alınmıştır. Jeotermal kaynakların bulunmasında araştırma alanlarının tespiti için hızlı ve ucuza başarılı bir şekilde fay yerleri belirlenerek gereksiz harcamalardan ve yatırımlardan kaçınılmalıdır.

### **GİRİŞ**

Artan tüketimin nedeni ile enerji açığının meydana gelişi bizi hızla yeni enerji kaynaklarına yöneltmektedir. Diğer enerji kaynaklarına göre önemli avantajlara sahip jeotermal kaynaklara olan ilgi, ülkemizde de giderek artmaktadır.

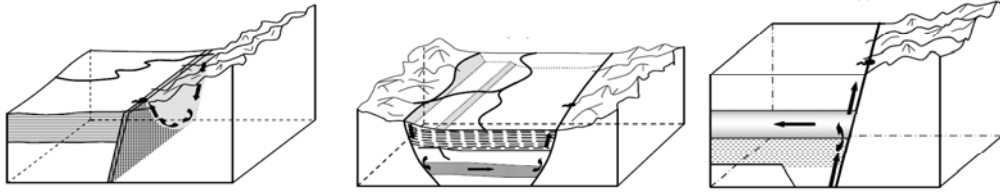
Jeotermal sistemlerin mekanizması yerin derinliklerinde olduğundan yeryüzü gözlemleri ile bu tür sistemlerin tam olarak çözümü mümkün değildir. Yeraltının modellenmesinde, jeofiziğin değişik arama yöntemleri vazgeçilmez olmuştur. Çalışma jeotermal potansiyeli yüksek olan Marmara bölgesinde yapılmıştır. Türkiye tektonik yapısının önemli unsurlarından olan Kuzey Anadolu Fay Hattı jeotermal sistemin gelişiminde önemli rol oynamaktadır. Türkiye'deki Jeotermal Kaynakların Dağılımı ve Tektonizma ile ilişkisi Şekil 1'de gösterilmektedir.



Şekil 1: Türkiye'deki Jeotermal Kaynakların Dağılımı ve Tektonizma ile ilişkisi

Tektonizma ile jeotermal alanlar arasında çok yakın bir ilişki olduğu jeotermal alanların fayların bulunduğu bölgelerde olduğu açıkça görülmektedir.

Jeotermal ısının bir kaynağa dönüşebilmesi için bir aracı gereklidir. Çoğu durumda bu, doğal akışkan yeraltısuyu ve gazdır. Ancak, bir jeotermal sistemin oluşabilmesi için bu akışkanların yer kabuğunun içinde dolaşabilmelidir. Yapısal süreksizlik, fay, düzlem ve zonlarının oluşturduğu birbirini ile ilintili ağlar bu geçirimsizliğe olanak sağlar. Taşımının etken olduğu kaynaklar için basit modeller Şekil 2'de verilmektedir.



Şekil 2: Taşımının Etken Olduğu Kaynaklar İçin Basit Modeller (Satman)

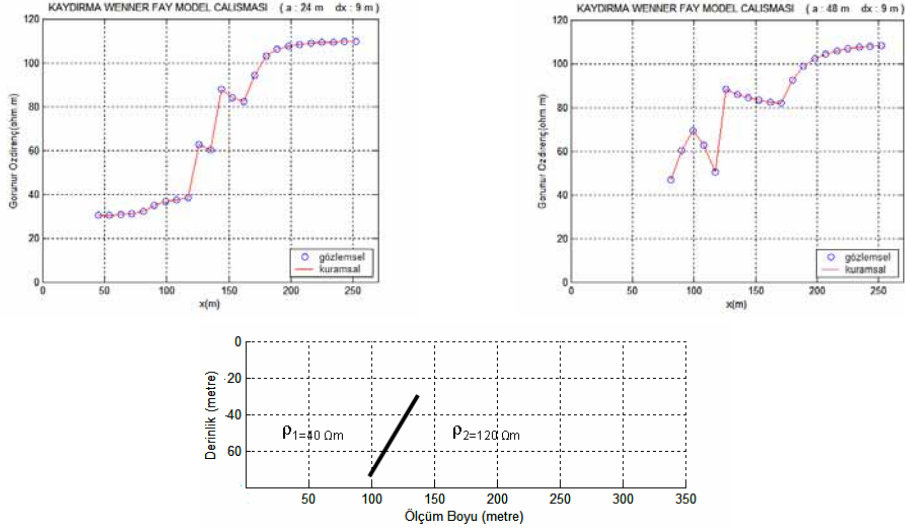
## YÖNTEM

Wenner dizilimi için görüntü kuramı temel alınarak (Telford, W. M. 1976) tarafından geliştirilen bağıntılar kullanılmıştır.

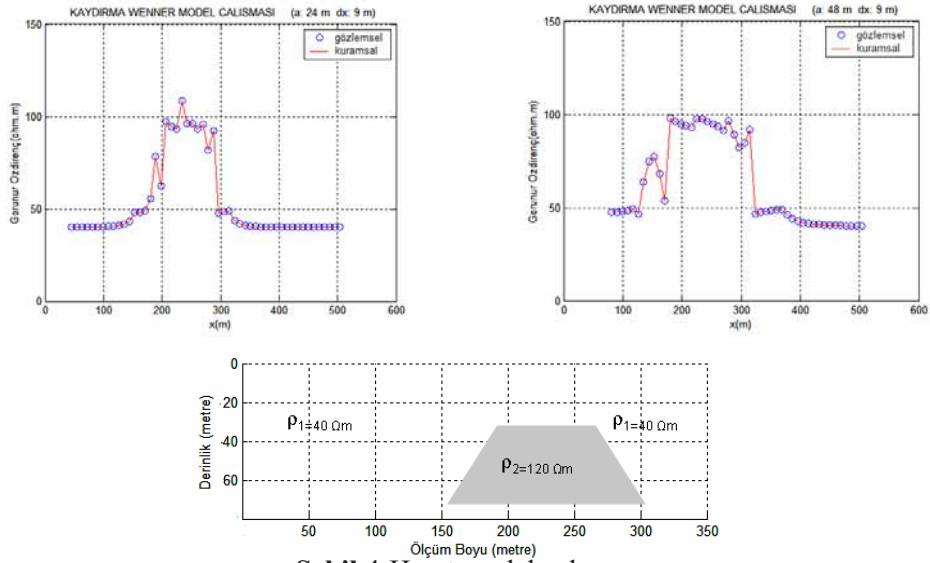
## MODEL ÇALIŞMALARI

Model çalışmalarında 4 tane model belirlenmiş bu modellere ait çözümler ve yer altı kesitleri sırasıyla şekil 3,4,5,6' da verilmiştir. Yeraltı kesitleri ölçü profilinin başlangıç noktasının süreksizliğe olan uzaklığı baz alınarak oluşturulmuştur.

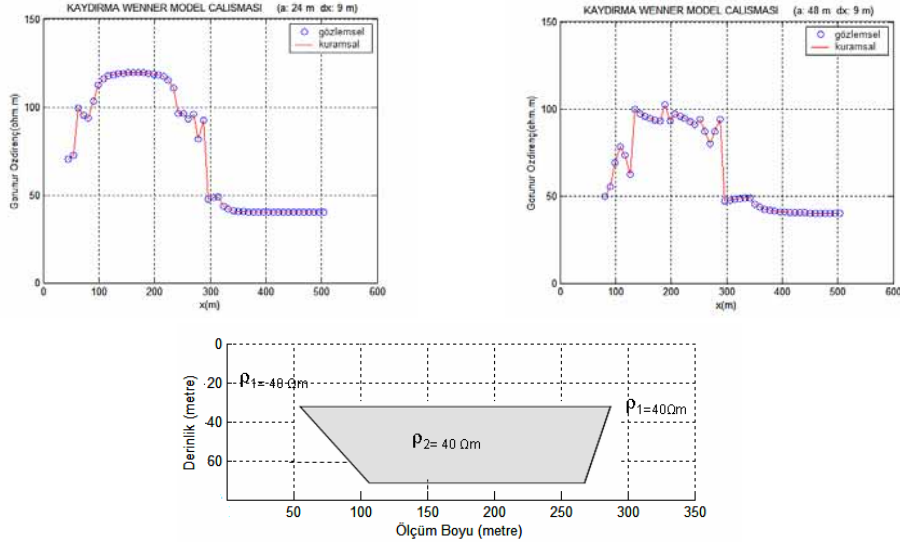




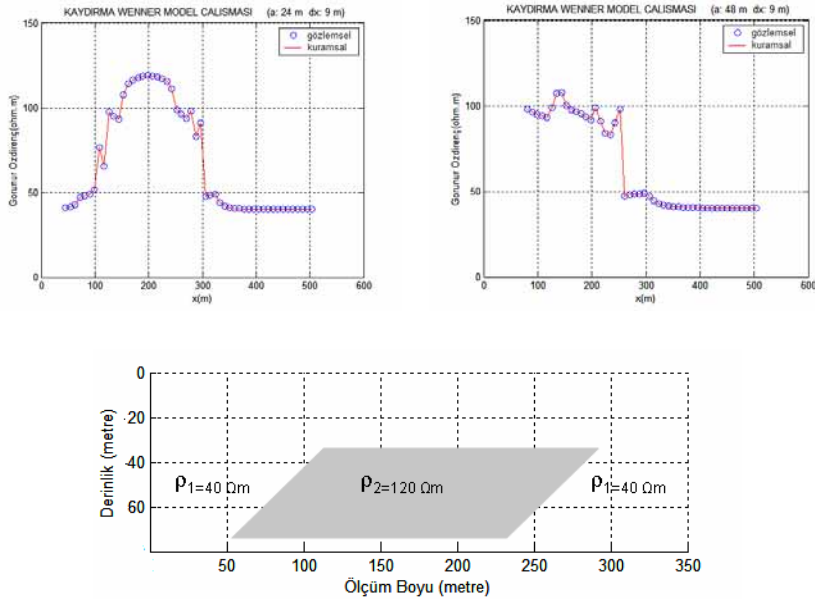
Şekil 3: Fay model çalışması



Şekil 4: Horst model çalışması



Şekil 5: Graben model çalışması



Şekil 6: Eğimli Dayk model çalışması

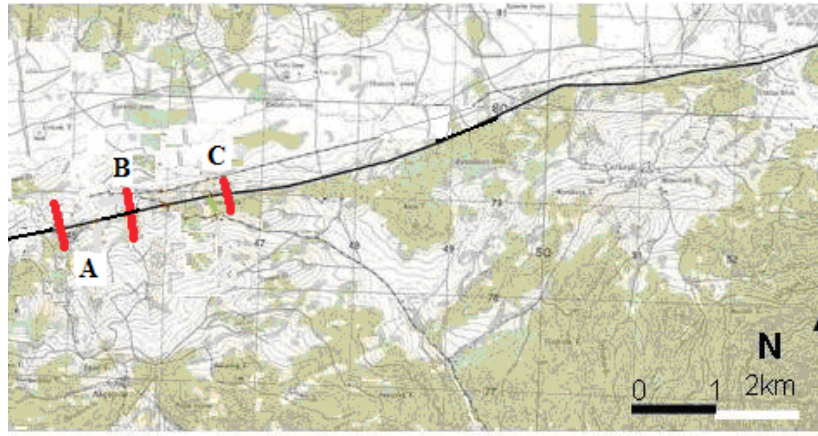
## İNCELEME ALANI JEOLJİSİ

Bölgenin Paleotektonik dönem (KAFS öncesi) birimlerini güneyde; Sakarya kıtasına ait Gölcük Grubu formasyonlarından genellikle kireçtaşlarından oluşan Üst kretase yaşlı Vezirhan formasyonu ile bunu kesen andezit bileşimli Sarısu Volkanikleri (Ts) belirler (Saner 1978; Akartuna 1981; Göncüoğlu vd 1987). Mekece-İznik dar ova alanının kuzey bloğunun kayaçları

ise Armutlu-Ovacık Zonu'na ait olup metamorfik ve meta-sedimanter özelliktedir (Elmas ve Yiğitbaş, 2001; Yiğitbaş, vd 1999).

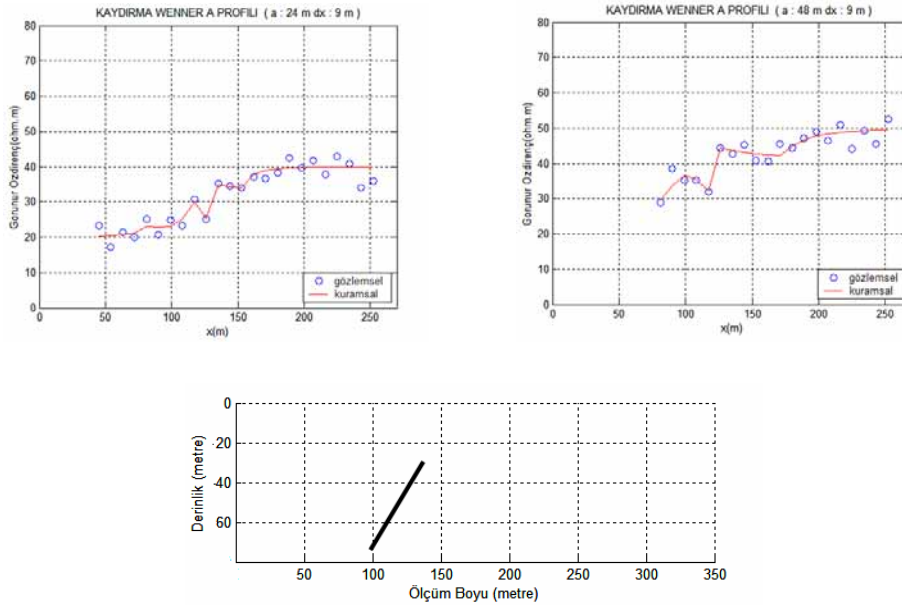
### ARAZİ ÇALIŞMASI

Arazi çalışması İznik havzasında yapılmış bunun için 3 adet profil belirlenmiştir. Her profile gidiş ve dönüş ölçüsü olmak üzere 2 adet kaydırma Wenner ölçüsü alınmıştır. Alınan ölçülerin lokasyonları Şekil 7' de, ölçülerin çözümü ve yeraltı kesitleri ise sırasıyla şekil 8,9,10'da verilmiştir.

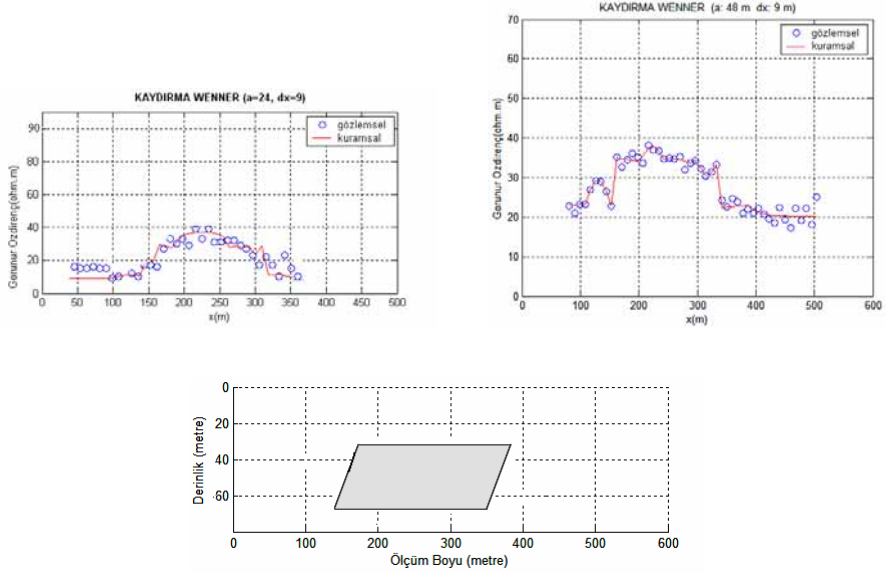


— Özdirenç ölçü profili

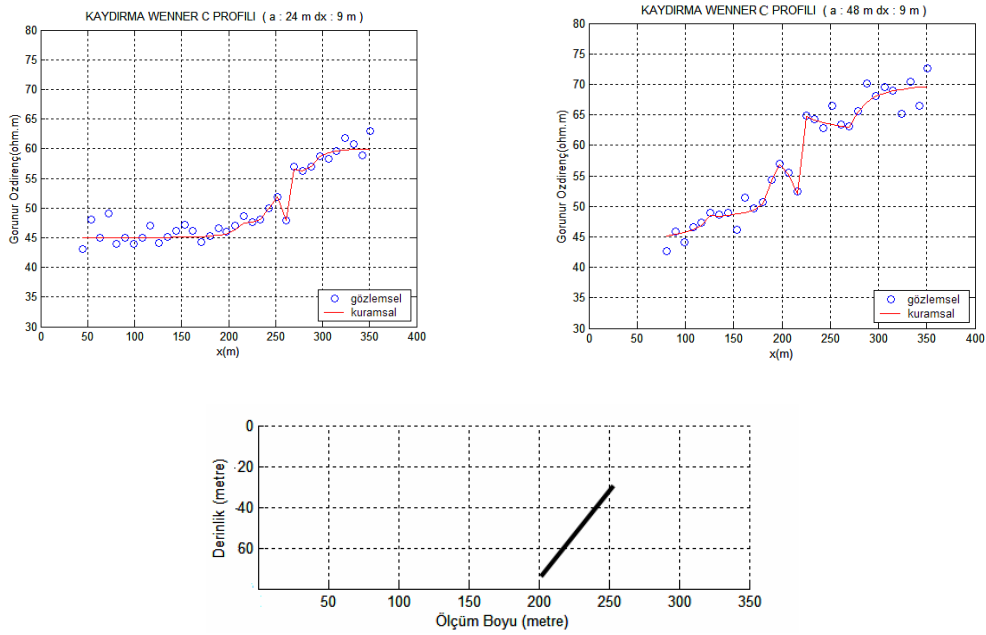
Şekil 7: Özdirenç ölçü lokasyon haritası



Şekil 8: A profili gidiş dönüş ölçüleri ve yeraltı kesiti



Şekil 9: B profili gidiş dönüş ölçüleri ve yeraltı kesiti



Şekil 10: C profili gidiş dönüş ölçüleri ve yeraltı kesiti

## SONUÇLAR

Jeotermal kaynakların bulunmasında araştırma alanlarının tespiti için yörenin genel tektonik yapısı içinde çalışma alanındaki fayların tipleri, yönleri belirlenmeli ve bunlardan hangilerinin jeotermal akışkanların sirkülasyonuna yardımcı olduğu, tespit edilmelidir.

Sığ ölçümler derin sondajlarla kıyaslandığında zaman ve parasal yönden kısmen daha ekonomik olması nedeniyle derin sondajlara geçmeden sığ ölçümler tercih edilmeli gereksiz harcamalardan kaçınılmalıdır. Sığ ölçümlerle araştırma alanları yani jeotermal için umutlu sahalar belirlendikten sonra daha derin jeolojik bilgi elde etmek için birden çok jeofizik yöntemin birlikte kullanılması halinde çok daha sağlıklı sonuçlar elde edilebilir.

Bu bilgiler ışığında birçok uygulamaya elverişli jeotermal saha sınırları belirlenerek havzanın jeotermal enerji olanakları açısından değerlendirilmesi sağlanabilir.

## KAYNAKLAR

- Akartuna, M., ve Atan, O., “Geyve-İkramiye-Fındıksuyu (Sakarya) dolayının jeolojisi”, Selçuk Üniversitesi Fen Fakültesi Yer Bilimleri. 1,( 1981).
- Elmas A, Yigitbas E., “Ophiolite emplacement by strike-slip tectonics between the Pontid Zone and the Sakarya Zone in the northwestern Anatolia”, International Journal of Earth Sciences 90 (2): 257-269, Turkey,(2001).
- Göncüoğlu, M.C., Erendil, M., Tekeli, O., Aksay A., Kuşçu, İ and Ürgün, B.M., “Geology of the Armutlu Peninsula”, Guide book for the field excursion along western Anatolia. M.T.A Publ., 12-18. Turkey, (1987).
- Saner, S.,. “Geology and the Enviroments of Deposition of Geyve-Osmaneli-Gölpazarı-Taraklı Area”, İstanbul Üniv,Fen Fak.Mec.,Seri B, 43: P:63-91,(1978).
- Satman A., Jeotermal Enerjinin Doğası, Jeotermal Enerji Semineri.
- Telford, W. M., Geldard, L. P., Sheriff, R. E., and Keyes, D. A., ,(1976).,Applied Geophysics, Cambridge University Pres.
- Yiğitbaş, E., Elmas, A. & Yılmaz, Y.,. “Pre-Cenozoic tectono-stratigraphic components of the Western Pontides and their geological evolution”, Geological Journal, 34, 55-74,(1999).



## **Sivrihisar-Eskişehir Yöresi Sepiolit Killerinin Sondaj Çamuru Olarak Reoloji Ve Su Kaybı Özellikleri**

Ali Ettehadi OSGOUEİ\*, Eda Ay DİLSİZ\*, Gürşat ALTUN\*,  
Ümran SERPEN\*, Mehmet ÇELİK\*\*

\*Petrol ve Doğal Gaz Mühendisliği Bölümü, İTÜ

\*\*Araştırma Merkezi, TPAO

### **ÖZ**

Jeotermal kuyuların sondajında kullanılan tatlı su – bentonit çamurları yüksek sıcaklıklarda (>175°C) jelleşme nedeniyle bozularak, hem sondajın ilerlemesini engellemekte, hem de çamurun sık sık değiştirilmesini gerektirdiğinden sondaj maliyetini arttırmakla birlikte kuyu içi ölçümlerin (sıcaklık ve log) yapılmasını da engellemektedir. Wyoming bentoniti sondaj sıvılarında kullanılan en yaygın ticari kil olarak bilinmektedir. Suyun tuzluluğu ve ortamın sıcaklığı bentonitin hidratlaşma yeteneğini engellediği için tuzlu ortamlarda fiber (iğne) yapılı bir kil minerali olan attapulgit kullanılmaktadır, ancak yüksek sıcaklıklı ortamlarda örneğin jeotermal sahalarda attapulgit temelli sondaj sıvıları yetersiz performans gösterdikleri için başka killerin araştırılması gerekmektedir. Bu nedenle, fiber yapılı bir magnezyum silikat kil minerali olan sepiolit, yüksek sıcaklık ve yüksek tuzlu ortam için attapulgit yerine önerilmektedir. Her ne kadar sıcaklık etkisi nedeniyle kristal yapısında küçük değişiklikler olsa bile, sepiolit 260 °C sıcaklıklara kadar yapısını korumaktadır. Bununla birlikte, sepiolitın temel yapısının doymuş tuzlu su ortamında değişime uğramadığı da bilinmektedir. Bu nedenle, sepiolit temelli çamurlar özellikle yüksek sıcaklığın çamur üzerine sorun oluşturduğu jeotermal kuyuların sondajı için iyi bir alternatif olarak değerlendirilebilir.

Dünya sepiolit rezervlerine sahip ülkeler arasında Türkiye ilk sırada gösterilmektedir. Jeotermal sondajların yanında, sıcaklık ve tuzluluğun yüksek olduğu derin petrol ve gaz kuyularının ve/veya tuz domlarının sondajında da kullanılabilir nitelikte sepiolit çamurlarının geliştirilmesi, ülkemizde bulunan büyük sepiolit yataklarının değerlendirilmesine yol açarak, ülke ekonomisine de katkıda bulunabilecektir.

Bu çalışmada, ilk aşama olarak Sivrihisar-Eskişehir civarında beş farklı ocaktan elde edilen sepiolitın Amerikan Petrol Enstitüsü (API) standartlarında belirtilen kriterlere göre sondaj çamuru olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Çalışma İstanbul Teknik Üniversitesi (İTÜ) ve Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı (TPAO) Araştırma Merkezi laboratuvarlarında yürütülmüştür. Çalışmada kullanılan sepiolit killeri öğütüldükten sonra, 200 mesh (74 mikron) elekten geçirilmiştir. Sepiolitlerin içerisindeki yabancı maddeler ayıklanmamış ve içerisine hiçbir katkı maddesi katılmamıştır. Çalışma sonucunda dört sepiolit örneğinin standartlarda belirtilen reolojik değerlerden daha iyi sonuç verdiği, dolayısıyla yüksek verimli killer sınıfına girdiği belirlenmiştir.

Çalışmanın ikinci aşamasında, seçilen iki farklı sepiolit kiline oda koşullarında ticari katkı maddeleri eklendikten sonra reolojik ve su kaybı özelliklerindeki değişim incelenmiş ve su kaybı kontrol altına alınmaya çalışılmıştır.

## GİRİŞ

Sepiolit  $\text{Si}_{12}\text{Mg}_8\text{O}_{30}(\text{OH})_4(\text{H}_2\text{O})_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$  formülü ile ifade edilen, fillosilikatler grubuna ait, magnezyum hidrosilikattan ibaret doğal kil mineralidir. Sepiolit tabiatta genellikle iki tip oluşum sergilemektedir. Birinci tip sepiolit oluşumu özellikle Eskişehir ve Konya yörelerinde rastlanan lületaş ( $\alpha$ -sepiolit); diğeri ise sanayi ve tabakalı sepiolit olarak adlandırılan sedimanter ( $\beta$ -sepiolit) sepiolittir. İkinci tip oluşumlar daha çok Eskişehir-Sivrihisar ve Mihalıççık-Yunusemre yörelerinde görülmektedir. Günümüzde sepiolit, yüksek yüzey alanı, lifsi yapısı, porozitesi, kristal morfolojisi ve kompozisyonu, yüzey aktivitesi, düşük konsantrasyonlarda yüksek viskoziteli duraylı süspansiyonlar oluşturması vb. gibi teknolojik uygulamalara baz teşkil eden sorptif, katalitik ve reolojik özelliklerinden dolayı çok geniş kullanım alanına sahiptir. Sepiolitin yapısı ısı işlemlere karşı duyarlıdır. Bu mineral ayrıca asitle muameleye karşı da duyarlı olup, işlem sonucu kristal yapısı hemen tahrip olabilir. Hem ısı hem de asitle muameleleri, sepiolitın yüzey özelliklerini ve porozitesini değiştirebilir. Böylece, mineralin sorptif, katalitik ve reolojik özelliklerini değiştirmek mümkün olabilmektedir. Kaygan görünümlü, ince taneli, toprağımsı bir yapıya sahip tabakalı sepiolit, genellikle beyaz, krem, gri veya pembe renkli olabilmektedir; organik madde içeriğine bağlı olarak, Sivrihisar güneyi Neojen havzasındaki bazı türlerde olduğu gibi, koyu kahverengi ve siyahımsı da olabilir. Sedimanter oluşumlu, uzun lif demetleri şeklinde bulunan  $\beta$ -sepiolitın (tabakalı sepiolit) lif uzunluğu 100 Å –3 ile 5 µm, genişliği 100-300 Å ve kalınlığı 50-100 Å arasında değişebilmektedir. Bununla birlikte bu liflerin uzunlukları standart olmayıp, dünyanın pek çok yerinde farklı uzunluklara sahip sepiolitler bulunmaktadır, (Sabah, E. ve M.S. Çelik, 1998). Şekil 1’de sepiolitın lifli yapısı (web\_1, 2009) ve Şekil 2’de sepiolitın zincir yapısı model olarak verilmektedir, (web\_2, 2008).

Dünya sedimanter sepiolit üretiminin büyük bir kısmı İspanya tarafından karşılanmaktadır. Bu durum, rezervlerinin büyüklüğünden çok, son 30 yıllık araştırma ve geliştirme faaliyetleri sonucunda ortaya koydukları 40’ın üzerinde ürün çeşidi ve pek çok sayıda patentten kaynaklanmaktadır. Yine hiç bir rezervi olmamasına rağmen Japonya’nın sepiolit konusunda 4000’in üzerinde patenti olduğu belirtilmektedir. Maden Tetkik Arama Enstitüsü (M.T.A.)’nün değişik projeler kapsamında yaptığı çalışmalarda, İspanya’dan sonra dünyanın en büyük sepiolit rezervlerinin Türkiye’de olduğu ve üç ayrı kalitede sedimanter kökenli sepiolitın varlığı tespit edilmiştir. Birinci, ikinci ve üçüncü kalite sepiolitların yüzde mineral içerikleri sırasıyla >90, 70-89 ve 50-69’dur. Mineral yüzdesi %50’nin üzerinde olan görünür sepiolit rezervleri 1,5 milyon ton, %50’nin altında “pet litter (hayvan altlığı)” kalite sepiolit rezervleri ise bir kaç milyon ton mertebesindedir. Yine Türk sepiolitının, yüksek kalitesi ve lif boylarının kısa olması (2-5 µ), dolayısıyla kanserojen etkisinin olmaması nedeniyle, emsallerine nazaran daha avantajlı olduğu belirtilmiştir, (Sabah, E. ve M.S. Çelik, 1998). Diğer taraftan, Türkiye’nin dünyanın en büyük sepiolit rezervlerine sahip olduğunu (>150 milyon ton) belirten ve daha yakın zamanda yapılan çalışmalar da literatürde yer almaktadır, (Balcı 1999, Öztürk ve Kavak 2004). Bu çalışmada kullanılan ve Yenidoğan-Sivrihisar yöresinden alınan sepiolitın jeolojik oluşumu ve yapısında başka bir çalışmada araştırılmıştır, (Mefail, 1992).



### **Sepiolitin Kullanım Alanları**

Sepiolit ilaç sanayiinden seramik sektörüne, tarım sektöründen hayvancılık ve besicilik sektörüne, katalitik uygulamalardan lif takviyeli çimento üretimine, kauçuk sanayiinden bioreaktörlere, endüstriyel atık suların arıtılmasından atık baca gazlarının temizlenmesine vb. gibi çok geniş bir yelpazede kullanım alanı bulmuştur.

### **Sepiolitin Reolojik Özellikleri**

Sepiolit ve Paligorskit jel oluşturma özelliğine sahip en önemli iki kil mineralidir. Bunlar diğer killere nazaran görel olarak düşük konsantrasyonlarda, su veya yüksek-düşük polariteye sahip diğer organik çözücüler ile, yüksek viskoziteli ve duraylı süspansiyonlar oluşturabilirler. Sepiolit, polar olmayan çözücülerle de duraylı süspansiyonlar oluşturabilir; ancak, daha önceden sepiolitin hidrofil yüzeyinin yüzey aktif bir madde ile değiştirilmesi gereklidir.

Elektron mikroskopunda yapılan incelemelerde, sepiolitin iğne şeklindeki parçacıklarının aglomera yapıda olduğu ve bunların çalı-ot yığınlarına benzer geniş lif kümeleri oluşturduğu gözlemlenmiştir. Bu lif yığınları, suda veya yüksek-düşük polariteli diğer çözücülerde kolayca dağılarak sıvıyı bünyelerine hapseder ve bu yolla süspansiyonun viskozitesini artırırlar. Bu tür sepiolit süspansiyonları Newton yasasına uymayan (Non-Newtonian) davranış biçimi gösterirler. Bu durum süspansiyonun konsantrasyonu, pH'ı, çekme gerilimi ve elektrolitin bileşimi gibi bir çok parametreye bağlıdır, (Sabah, E. ve M.S. Çelik, 1998).

Sepiolit kili ile hazırlanan ve %1 sodyum ve potasyum tuzu içeren süspansiyonun 800 °F ve 1000 psi basınç aralığındaki reolojik özellikleri, sepiolitin yüksek sıcaklıklardaki yapısal değişimi (Güven vd., 1988) incelenmiştir. Çalışmalarında 700 °F sıcaklıkta sepiolitin %60'ının ve 800 °F'ta ise sepiolitin %80'inin smektite dönüştüğü gözlemlenmiştir. Yapısal değişim sonucunda sepiolit kilinin büyük bir bölümünün semektit, tremolite ve talka (su içeren magnezyum silikat) dönüştüğü belirtilmektedir. Sepiolit minerali yüksek yüzey alanı sayesinde kendisinin 200-250 katı kadar akışkan tutabilmektedir. Bu sayede kendisine hayvancılık, tarım, ilaç sanayii gibi alanlarda kullanım alanı bulmuştur, (Sabah, E. ve M.S. Çelik, 1998).

### **Sepiolitin Termal Özellikleri**

Doğal sepiolit, fiziksel adsorplanmış higroskopik su, kimyasal adsorplanmış zeolitik su, kristal yapıda bulunan bağlı su ve hidroksil suyu olmak üzere dört çeşit su içermektedir. Sepiolite ısı işlem uygulandığında, adı geçen su molekülleri nedeniyle, değişik termal davranışlar göstererek yapısal ve morfolojik değişimlere uğramaktadır, (Sabah, E. ve M.S. Çelik, 1998).

### **SONDAJ ÇAMURU OLARAK SEPIOLİT**

Sepiolit ile hazırlanmış çamurların görevlerini yerine getirebilmesi için belirli özelliklere sahip olması gerekir. Bunlar; jel dayanıklılığı, tiksotropi, viskozite, filtrasyon vs. gibi özelliklerdir. Sondaj çamuru, pompalama geçici olarak durdurulduğunda ve çamur hareketsiz halde kaldığı durumlarda, içerdiği kırıntıların çökmesini geciktirecek tiksotropik özellik ve belirli bir jel direncine sahip olmalıdır. Bunun yanında kolay pompalanabilir özellik taşıması istenir. Ayrıca, derin sondajlarda ortaya çıkan yüksek basınç ve farklı ortamlardaki değişken elektrolit (tuzluluk) konsantrasyonlarından mümkün olduğunca az etkilenmelidir.

Günümüzde sondaj çamuru olarak genellikle kil süspansiyonları kullanılmaktadır. Sepiolit elektrolit varlığına karşı minimum hassasiyet gösterdiğinden, tuzlu ortamlarda,

diğer killere (bentonit vs.) göre daha duraylıdır ve bu özelliği ile, petrol sondajlarında kullanılan sondaj çamurlarında tercih edilen bir kil mineralidir. pH = 8'e kadar faydalı özelliklerini korur; pH = 9 olduğu durumlarda peptizasyon viskozitede ani bir düşüşe neden olur. Böyle hallerde sondaj çamurunun reolojik davranışı Newtonian'dır. Magnezyum oksit, etilenli maleik anhidrit kopolimerleri gibi katkıları kullanılarak su tutma özellikleri ayarlanabilir. Nitekim, özellikle laflinit kilinin (Na-sepiolit) su bağlama özelliklerinin keşfedilmesinden sonra, bunun katkı maddesi olarak filtrasyon yeteneği zayıf olan sepiolit çamurlarına katılması düşünülmüş ve bu bağlamda olumlu sonuçlar alınmıştır. Ayrıca, laflinitin tuz kirlenmesinden de etkilenmediği belirlenmiş ve bu karışımın tuzlu çamur yapımında kullanılabilmesi ortaya konmuştur. Diğer taraftan, doğal maddeler kullanılarak sepiolit çamurların su kayıplarının kontrolünde yeterince başarı günümüze kadar sağlanamamıştır. Polimer kökenli suni su kaybı azaltıcı maddeler ile daha iyi sonuçların elde edildiği bilinmektedir.

Tablo 1, Sivrihisar yöresine ait farklı havzalardan alınan sepiolit numuneleri ile değişik katkı maddeleri kullanılarak hazırlanmış sondaj çamurları ile İTÜ Petrol ve Doğal Gaz Mühendisliği Bölümünde yapılan araştırmalardan alınan sonuçları göstermektedir, (DPT raporu, 1992). Genel olarak çizelge değerlendirildiğinde, sepiolit ile hazırlanan sondaj çamurlarının verimlilikleri oldukça yüksektir ve ticari bentonitten daha iyi sonuçlar vermektedir. Ancak, sepiolit çamurlarının en büyük olumsuz yanı API su kayıplarının çok yüksek olmalarıdır ve sondaj saha kullanımlarına bu halleri ile uygun olmamalarıdır. Sondaj çamurlarında su kaybı azaltıcı olarak düşük ve orta sıcaklarda etkin ve yaygın olarak kullanılan CMC kullanıldığında bile, API su kaybında bir iyileşme görülmesine rağmen, hala API su kaybı kriterlerinin oldukça üzerindedir. Diğer bir deyişle, değişik katkı maddeleri ile API su kayıpları 15 ml/30 dak'nın altına indirilmelidir. Bununla birlikte, tuzlu ve sıcak ortamlarda hem bentonit hem de attapulgit çamurlarından reolojik ve API su kaybı açısından daha iyi performans gösterdikleride bilinen bir gerçektir, (A.T. Bourgoyne vd. 1991).

Sepiolit kili ile hazırlanan katkısız sondaj akışkanlarının 300 °F sıcaklıklara kadar yapılarını korudukları ve aynı koşullara maruz bırakıldıklarında bentonit ve attapulgitte göre daha iyi performans verdikleri yapılan çalışmalarda gösterilmiştir, (Carney ve Güven, 1980). Sepiolit kilinin saponit kili ile birlikte kullanılması durumunda yüksek sıcaklıklarda daha iyi reoloji verdikleri N. Güven vd. (1988) tarafından gösterilmiştir.

Sonuç olarak, sepiolit temelli su bazlı çamurların reolojik ve su kaybı özellikleri değişik katkı maddeleri ile (mümkünse doğal katkı maddeleri olarak) kontrol edilebilirse, yüksek sıcaklık ve yüksek tuzlu ortamlarda iyi bir sondaj akışkanı olabilir. Ayrıca, sepiolit'in sondaj endüstrisinde kullanılması, dünyanın en büyük sepiolit yataklarına sahip ülkemiz (Balcı 1999, Öztürk ve Kavak 2004) adına oldukça önemli ekonomik fırsatlar yaratabilecek ve oluşturacağı katma değer yükselecektir. Bu çalışmada kullanılan ve Yenidoğan-Sivrihisar yöresinden alınan sepiolit'in jeolojik oluşumu ve yapısı da başka bir çalışmada araştırılmıştır (Mefail, 1992). Bununla birlikte, farklı boyutta sepiolit killeri ile hazırlanan çamurların farklı karıştırma süreleri ve karıştırma hızlarında reolojik ve su kaybı olarak çok farklı değer verdikleri daha önce yapılan çalışmada belirlenmiştir, (Altun, G. ve Serpen, U., 2005). Dolayısıyla, sepiolit ile ilgili API standartlarının bentonit ve attapulgit killeriyle göre yeterince tanımlanmamış olduğu açıktır.

### ÇALIŞMADA KULLANILAN SEPIOLİT KİLLERİ

Bu çalışmada kullanılan sepiolit kil örnekleri Sivrihisar-Eskişehir yöresinden temin edilmiştir. Beş farklı sepiolit kili üzerine yapılan deneyler ve elde edilen sonuçları takip eden bölümlerde değerlendirilmiştir. Üç sepiolit kili Sivrihisar'da sepiolit ticareti yapan AEM firmasının kil satışı yapılan fabrikasından temin edilmiştir. Diğer iki sepiolit örneği ise daha önce sepiolit üretimi yapılan ancak halihazırda üretimi ve dolayısıyla ticareti yapılmayan iki farklı sepiolit maden sahasından doğrudan temin edilmiştir. Aşağıda Tablo 2'de bu çalışmada kullanılan sepiolit killerin adları ve temin edildikleri yerler listelenmiştir. Çalışmada AEM firmasının sepiolit killeri için verilen adlar korunmuştur ve tablolarda da bu şekilde listelenmiştir.

Sepiolit killeri İTÜ Maden Fakültesi Cevher Hazırlama Mühendisliği Bölümü laboratuvarlarında büyük kırıcılar kullanılarak daha küçük boyutlara indirgenmiş ve döner değirmende son öğütme yapılarak 74 mikron (200 mesh) boyutun altına indirilmiştir. Öğütülmüş ve elekten geçirilmiş her bir kil örneğinin boyut analizi Cevher Hazırlama Mühendisliği Bölümünde bulunan lazer boyut analizi donanımı ile yapılmıştır. Boyut analizi ölçümleri aynı zamanda ticari bentonit kili için de yapılmış ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılabilir amacıyla verilmiştir. Tüm örnekler için elde edilen boyutların 74 mikrondan oldukça küçük olduğu gözlenmektedir. Tablo 3'te tüm killer için %10, 50 ve 90 boyut değerleri listelenmiştir. Her kümülatif değerde bentonit boyutunun en küçük olması dikkat çekici bir durumdur. Ancak, her bir örneğin frekans dağılımı şekilleri (S şeklinde) birbirine benzerdir.

Sondaj çamurunda kullanılan kilin tane boyutunun ağırlıkça en az %97.5'inin 74 mikrondan küçük boyutta olması API Standardı tarafından istenen bir özelliktir, (API RP13B-1, 2004 ve API SPEC 13A, 2007). Diğer taraftan boyutun istenen nominal değerden daha küçük olması, daha fazla bir öğütme maliyeti ortaya çıkardığında bir gerçektir. Ticari bentonit ile karşılaştırıldığında (sadece boyut gözönüne alınırsa) sepiolit killerin öğütülmesinde de bentonite benzer bir maliyetin çıkması beklenebilir. Bununla birlikte tane boyutunun çok farklı aralıkta olması (örneğin %10 ve %90 değerlerinin farklılığı) homojen bir boyutun sağlanamaması anlamına da gelmektedir. Bu durum kilin birim ağırlığına karşı gelen yüzey alanının çok farklılaşmasına, dolayısıyla su bağlama ve reolojik özelliklerinin değişken olmasına neden olabilir. Homojen boyutta hazırlanmış kil örneklerinin zamana bağlı yüksek sıcaklık yüksek basınç (YSYB) su kaybı ve reolojik özelliklerinin değişimi başka bir çalışma konusu olarak incelenmelidir. Tablo 3'ten çıkarılabilecek bir başka sonuç sepiolit tane boyutunun bentonitinkinden fazla olması nedeniyle birim ağırlıktaki sepiolit örneklerinin yüzey alanının daha düşük olması ve daha az su ile temas etmesi sonucunda verimliliğinin de daha düşük olması beklenmelidir, ancak Tablo 2'de gösterildiği gibi sepiolit çamurlarının verimlerinin referans kil Wyoming bentonitinin veriminden daha yüksek bir değer vermesi çok önemlidir. Diğer bir deyişle, Tablo 2'de verilen sepiolit killeri tane boyutu bentonitinki ile aynı olsaydı, sepiolitlerden elde edilecek verim de biraz daha yüksek olacaktı.

Bu analizin yanında her bir kil örneği öğütülerek, TPAO'nun Araştırma Merkezinde bulunan XRD ve XRF donanımları kullanılıp, X ışınları difraktometresinde tümkaya mineral bileşimleri tespit edilmiştir. Bu örneklere ait mineral bileşimler Tablo 4 ve XRF analiz sonuçları Tablo 5'de verilmektedir. Sepiolit grubu kil minerallerinde falcondolit saptanmıştır. Sadece Kurtşeyh kilinde %3 oranında yabancı madde vardır. Diğer dört örneğin saf sepiolit olması dikkat çekicidir, içlerinde eser miktarda dolomit ve kuvars vardır. Bu sonuç, Türkiye sepiolitlerinin kalitesinin çok yüksek (yüksek saflık konsantrasyonu) olduğunu gösteren çalışmaları doğrular niteliktedir.

### **SEPIOLİT KİLLERİ İLE YAPILAN REOLOJİ VE SU KAYBI DENEYLERİ**

Bu çalışmada, sepiolit killeriyle yapılan deneyler üç farklı grup oluşturmaktadır. Birinci grupta tam doymuş (400 g sodyum klorür/1 lt saf su) sepiolit çamurlarının reolojik ve su kaybı özellikleri incelenmiştir. İkinci grup yarı doymuş (200 g sodyum klorür/1 lt saf su) sepiolit çamurları ve üçüncü grup tatlı su (saf su) çamurları ile yapılan deneyleri içermektedir. Çalışmada bir süreklilik sağlamak amacıyla, API Standardı takip edilmiştir. Standartların oluşmadığı veya standartlarda belirtilmeyen durumlarda TPAO Araştırma Merkezi Dairesi, Sondaj Çamuru ve Çimento Laboratuvarı uygulamaları takip edilmiştir. Reolojik ve su kaybı özellikleri API'da belirtilen sadece örneği hazırlamak için verilen 20 dk değil, aynı zamanda 16 saat, 24 saat ve 48 saat içinde tekrarlanarak, zamana bağlı değişimin etkileride incelenmiştir. Bentonit kilinin aksine, sepiolit kili ile hazırlanan çamurlarda bekletme süresinin özellikle reoloji üzerine farklı bir etkisinin olduğu belirlenmiştir. Bu durum, API standartlarının sepiolit killeri yetersiz tanımladığının bir göstergesidir.

#### **Reoloji Deneyleri**

Bu bölümde tam doymuş, yarı doymuş ve tatlı su ile hazırlanan sepiolit çamurlarının oda koşullarında gösterdikleri reolojik özellik davranış deney sonuçları karşılaştırmalı olarak bütün killer için Şekil 3-10 arasında verilmektedir. Kısaca ifade edilirse, reolojik özellikler kayma hızına karşı çamurların gösterdikleri kayma gerilmelerini yansıtmaktadırlar. Aşağıda sadece elde edilen sonuçların grafiksel olarak gösterimleri yer almaktadır. Reolojik özelliklerdeki değişimler her bir örnek için 20 dak, 16 saat, 24 saat ve 48 saat çamurların yaşlandırılması sonrası elde edilmiştir. Sadece Kurtşeyh kili için bütün yaşlandırma zamanlarında elde edilen sonuçlar Şekil 3-6 arasında verilmektedir. Benzer davranışlar diğer killerde de görülmüştür, ancak diğer killer için sadece 16 saatlik yaşlandırma sonucu elde edilen reolojik davranışların grafikleri bu çalışmada Şekil 7-10 arasında gösterilmektedir. Grafiklerden görülebileceği gibi, doymuş ve yarı doymuş çamurların kayma gerilmeleri birbirlerine yakın, ancak tatlı su ile hazırlanan çamurların kayma gerilmeleri diğerlerinden bariz bir şekilde küçüktür. Diğer bir deyişle sepiolit çamurlarının verimlilikleri (bir ton kil kullanımıyla elde edilen çamur hacmi) tuz konsantrasyonunun artmasıyla azalmaktadır. Ancak, yarı doymuş ve doymuş çamurların birbirlerine yakın değer vermeleri nedeniyle, belli bir tuzluluk değerinden sonra kayma gerilmesi değişiminde bir dengeye ulaşıldığı ve artan tuzluluk miktarıyla kayma gerilmesi değerindeki değişimin (azalmanın) önemsiz olduğu söylenebilir. Reolojik açıdan en iyi sonucu YD-S kili verirken, onu sırasıyla Kurtşeyh, TTB, TD-K ve S kili ile hazırlanan çamurlar vermektedir. Şekillerde de görüleceği gibi, S kili hariç diğer bütün killer API standardını sağlamaktadır. S kili ile hazırlanan çamurun istenen kayma gerilmesini 48 saatlik yaşlandırmaya rağmen göstermediği ilginçtir. Bu durumun nedeni belirlenememiştir, XRD ve XRF tabloları da, S kilinin neden daha düşük reolojik değer verdiğini açıklayamamaktadır. Belki SEM altında yapılacak olan bir inceleme ile bunun nedeni açıklanabilir. S kiline ait değerlerin olumsuz olması nedeniyle, bu kil kullanılarak tam doymuş ve yarı doymuş deneylerin yapılması iptal edilmiştir. Ancak, bu kilden elde edilen reolojik değer standart değerine yakındır ve viskozite yapıcı katkı maddesi ile kullanıldığında olumlu sonuç verebilir. Diğer dört kil için kayma hızının  $1022 \text{ sn}^{-1}$  (viskometrenin 600 rpm hızı) değerlerinde standartta belirtilen minimum 30 kadran okumasından (kayma gerilmesi) daha yüksek değerler vermesi, killerin verimliliklerinin çok yüksek olduğunu göstermektedir ve çok önemlidir.

Her bir kil örneği çamurunun Newtonian olmayan bir reolojik davranış gösterdiği diğer

bir sonuçtur. Kayma gerilmesinin artan yaşlandırmaya bağlı olarak önemli bir oranda artması sepiolit killerin karakteristik bir özelliğidir. Ancak, 24 saatten daha fazla yaşlandırmalarda kayma gerilmesindeki değişimin fazla olmaması veya ihmal edilebilir olması nedeniyle deneylerin daha sonraki aşamalarında 48 saatlik yaşlandırma deneylerinin yapılmaması kararlaştırılmıştır.

### **Su Kaybı Deneyleri**

Bu bölümde tam doymuş, yarı doymuş ve tatlı su ile hazırlanan sepiolit çamurlarının oda koşullarında gösterdikleri API su kaybı davranış deney sonuçları verilmektedir. Herbir kil için su kaybının zamanın kareköküyle değişimi doğrusal olarak grafiklerde verilmektedir, Şekil 11-15.

Grafiklerde verilen API su kayıpları sadece 20 dakika yaşlandırma sonucunda elde edilen deney sonuçlarını göstermektedir. Şekillerden de görüleceği gibi bütün killere yapılan su kayıpları deneylerinden elde edilen sonuç kabul edilemeyecek kadar yüksektir. Ancak, grafikler değerlendirildiğinde tatlı su ve yarı doymuş su ile hazırlanan kil örneklerinin API su kayıpları aynı veya aralarındaki fark çok azken, tam doymuş olarak hazırlanan çamurların API su kayıpları daha küçük değerler göstermektedir. Diğer bir deyişle, tam doymuş olarak hazırlanan çamurların hepsinde su kaybı açısından en iyi su kaybı performansları elde edilmiştir. Su kaybı olarak en iyi performansı YD-K kili verirken, bunu sırasıyla YD-S, TTB, Kurtşeyh ve S kili izlemektedir. Ancak, reolojik özelliklerle birlikte değerlendirildiğinde en iyi performansın önce YD-S daha sonra TTB kilinden elde edildiği gözlenmektedir. Burada da hem reolojik hem de su kaybı açısından en kötü performansı S kili göstermiştir. Diğer yaşlandırma zamanlarında daha önceki bölümlerde açıklandığı gibi, su kaybındaki azalım artan yaşlandırma zamanıyla ters orantılı olarak bir artış göstermektedir. Ancak, su kaybındaki bu azalım 24 saat sonra bir dengeye ulaşmakta ve daha da artan zamanla önemsiz olarak değişmektedir. Sonuç olarak sepiolit killeri ile yapılan çamurlarına en az 24 saat yaşlandırma yapılması gerekmektedir. Bununla birlikte, su kayıpları bütün çamur örnekleri için saha kullanımları açısından kabul edilemeyecek kadar yüksektir ve katkı maddeleri kullanılarak kontrol altına (15 ml/30 dk'dan az) alınmalıdır.

Çamurların API su kayıplarının zamanın karesiyle doğrusal davranış gösterdikleri grafikler incelenirse, bütün çamurların azda olsa bir ani su kaybı verdikleri görülmektedir. Bu durum sepiolit killerin temel özelliğidir. Ayrıca, bu killere yapılan deneylerde elde edilen kek kalınlıklarında oldukça yüksektir (ortalama 6-8 mm) ve su kayıplarının yüksek olmasının diğer bir göstergesidir. Kekler aynı zamanda sert ve kırılğan bir yapı göstermektedir.

### **KATKILI SEPIOLİT KİLLERİ İLE YAPILAN API SU KAYBI DENEYLERİ**

Daha önceki bölümlerde ifade edildiği gibi çalışmada kullanılan sepiolit killerin birisi hariç (S kili) diğerleri API standartlarında sepiolit killeri için verilen reolojik özellik sınır değerini karşılamaktadır. API su kaybı açısından ise bütün killere kabul edilemeyecek yükseklikte değerler vermiştir. Bu nedenle özellikle su kaybı değerlerinin kontrol edilmesi gerekmektedir. Bu amaçla, farklı katkı maddeleri kullanılarak, reoloji ve su kaybı değerlerindeki değişimler incelenmiştir.

Bu bölümdeki deneylerde hem reolojik hem de su kaybı açısından diğerlerine göre daha iyi sonuçlar veren YD-S kili ve TTB kili kullanılmış ve elde edilen sonuçlar tartışılmıştır. Deneyler tatlı su kullanılarak yapılmıştır. Yarı doymuş ve doymuş olarak hazırlanan çamurlardan daha

düşük su kaybı elde edilebileceği beklenmektedir, çünkü artan tuzlulukla sepiolit çamurlarının daha düşük su kaybı verdikleri açıklanarak Şekil 3-10 arasında gösterilmiştir.

Tatlı su bazlı sepiolit çamuru farklı basınç ve sıcaklıklarda su kaybı deneylerine tabii tutulmuştur. Bu deneylerden elde edilen sonuçlar Şekil 16 ve 17'de gösterilmektedir. Deneyler 100 psi basınç altında ve oda sıcaklığında yapılmıştır. Örneklere farklı konsantrasyonlarda katkı maddesi katılmış, ancak burada sadece 3 g/350 ml (3 lb/bbl) konsantrasyonda polimer (su kaybı azaltıcı) katılarak hazırlanan çamurlara ait su kaybı sonuçları grafiksel olarak verilmektedir. Her iki sepiolit kil örneğinde de standartta belirtilen 15 ml/30 dak sınırının altında su kayıpları elde edilmiştir. Artan yaşlandırma ile su kaybı değerlerindeki azalmalar dikkat çekicidir ve önemlidir. TTB kili ile hazırlanan çamurlar daha düşük API su kaybı vermektedirler. Çalışma yüksek sıcaklıklarda tekrarlanmalıdır. Yüksek sıcaklıklarda daha yüksek su kayıplarının elde edileceği beklenmektedir, ancak elde edilen bu sonuçlar umut vericidir ve daha yüksek sıcaklıklarda da saha kullanımına uygun su kaybı değerlerine ulaşılabileceğinin göstergesidir.

### SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada Sivrihisar-Eskişehir yöresinden temin edilen beş farklı sepiolit kili ile yapılan çamurların reolojik ve su kaybı özellikleri incelenerek, sondaj çamuru olarak kullanılabilirlikleri araştırılmış ve aşağıdaki bulgulara ulaşılmıştır:

1. Çalışmada kullanılan killerden Kurtseyh kili hariç diğerleri %100 sepiolittirler (yabancı madde içerikleri eser miktarlardadır). Kurtseyh kili %3 kuvars içermesine rağmen saflığı yüksektir. Türkiye'deki sepiolit killerinin yüksek saflıkta ve kalitede oldukları teyit edilmiştir.
2. Beş farklı sepiolit kilinden dördü API standartları tarafından belirtilen reoloji kriterini sağlamıştır. XRD analizi bu kilin saf olduğunu göstermesine rağmen, sadece S olarak kodlanan sepiolit kili kriteri sağlayamamıştır. S kili hariç, diğer killerin verimlilikleri standartta belirtilen değerlerden daha yüksektir. En iyi reolojiyi YD-S kili vermiştir.
3. Tatlı su ile hazırlanan çamurlar daha yüksek viskoziteler verirken, yarı doymuş çamurların viskoziteleri tatlı su ile elde edilen sonuçlara yakın sonuçlar vermektedir.
4. Bütün killerin su kayıpları çok yüksektir (>80 ml/30 dk) ve bu halleriyle sondaj saha kullanımları için uygun değildir. En düşük su kaybını YD-K kili vermiştir. Su kaybı olarak en düşük performansı S kili göstermektedir.
5. Artan tuzluluk ile su kaybının azaldığı gözlenmektedir. Yarı doymuş örneklerin su kaybı değerleri reolojik davranışın aksine, tam doymuş örneklerin su kayıplarına daha yakındır.
6. Katkılı sepiolit örneklerinden elde edilen su kayıpları, API standartlarında belirtilen üst sınır değerinden (15 ml/30 dk) daha düşüktür ve çok önemlidir. Bu halleriyle, düşük sıcaklıklı ancak yüksek tuz içeren ortamlarda sondaj akışkanı olarak kullanılabilirliğini belirtmektedir.
7. Artan yaşlandırma zamanı ile bütün sepiolit örneklerinin daha yüksek viskozite ve daha düşük su kayıpları değerleri verdiği gözlenmektedir.
8. Katkı maddeleri kullanılarak, YSYB koşullarında da uygun su kaybı ve viskoziteler elde edilebilir. Bu konuda daha fazla araştırmaya ihtiyaç vardır.

#### KAYNAKLAR

- Altun, G. And Serpen, U., (2005), “Investigating Improved Rheological and Fluid Loss Performance of Sepiolite Muds Under Elevated Temperatures” paper presented at the World Geothermal Congress (WGC2005), 24-29 April 2005, Antalya, Turkey.
- API RP13B-1, (2004), Recommended practice for field testing water-based drilling fluids, 3rd edition, July 2004.
- API SPEC 13-A, (2007), Specification for drilling-fluid materials, 17th edition, May 2007.
- Balcı, S.: “Thermal decomposition of sepiolite and variations in pore structure with and without acid pre-treatment”, Journal of Chemical Technology & Biotechnology, **Volume 66 Issue 1, Pages 72 – 78**, Published Online: 26 March 1999.
- Bourgoyen, A.T., Chevenert, M.E., Millheim, K.K., Young F.S., “*Applied Drilling Engineering*” Richardson, Texas, 1991, s. 41-57.
- N. Öztürk ve D. Kavak: “Adsorption of Boron from Aqueous Solutions by Sepiolite: II. Column Studies”, II.Uluslararası Bor Sempozyumu, 23-25 Eylül 2004, Eskişehir, Türkiye.
- DTP Projesi:“Türkiye’deki Sepiolitlerin Jeotermal Sondaj Çamurlarında Kullanımı Projesi”, İTÜ Petrol Mühendisliği Bölümü, İstanbul, 1992.
- Leroy L. Carney and Necip Guven: “Investigation of changes in the structure of clays during hydrothermal study of drilling fluids”, Society of Petroleum Engineers Journal, October 1980, pp. 385-390.
- Mefail Yenyol: “Yenidoğan (Sivrihisar) Sepiolit Yatağının Jeolojisi, Mineralojisi ve Oluşumu”, MTA Dergisi 114, 71-84, 1992.
- N. Guven, D.J. Panfil, and L.L.Carney, SPE paper, “Comparative Rheology of Water-Based Drilling Fluids With Various Clays”, presented at the SPE international Meeting on Petroleum Engineering, held in Tlenjht, China, November 1-4, 1988.
- Sabah, E. ve Çelik M.S. : “*Sepiyolit*”, Afyon, 1998.
- Web\_01: [www.ima-eu.org/fileadmin/downloads/Sepiolite\\_fact\\_sheet.pdf](http://www.ima-eu.org/fileadmin/downloads/Sepiolite_fact_sheet.pdf), 2009.
- Web\_02 : <http://webmineral.com/data/Sepiolite.shtml> , Haziran 2008.

#### TEŞEKKÜR

Bu çalışmaya altyapı olanakları ve maddi destek sağlamanın yanısıra, çalışmada elde edilen sonuçların yayınlanmasına izin veren TPAO Araştırma Merkezi Dairesi Başkanlığına teşekkür ederiz.

---

Tablo 1. Sepiolit Numunelerinin Sondaj Çamuru Katkı Maddesi Olarak Özellikleri, (DPT raporu, 1992).

---

ÖZELLİKLER	Birim	Kahverengi sepiolit	Koyu bej sepiolit	Bej sepiolit	Kahverengi saf sepiolit
VERİM	(bbl/short ton)*	112,6	156,7	157,2	132,7
YOĞUNLUK	(g/cm <sup>3</sup> )	1,04	1,03	1,03	1,04
KUM MİKTARI	(%)	< 0,25	< 0,25	< 0,25	< 0,25
FİLTASYON	(ml)	143	84	100	140
FİLTASYON (%3 CMC ile)	(ml)	70	80	-	-

\* 1bbl = 158,97 litre, 1 short ton = 2000 lbm, 1 lbm = 454 gram

Tablo 2. Çalışmada kullanılan sepiolit killeri.

Kil No	SEPIOLİT ADI	FİRMA	RENK
1	Kurtşeyh	AEM	Kahverengi
2	TTB	AEM	Bej
3	S	AEM	Siyah
4	YD-K	Kil Ocağı	Açık kahverengi
5	YD-S	Kil Ocağı	Koyu kahverengi

Tablo 3. Killerin tane boyutu analizi sonuçları

Olasılık	Tane Boyutu, mikron					
	Bentonit	Kurtşeyh	TTB	S	YD-K	YD-S
10	1.5	3	5	2.5	4	4
50	5	10	18	10	11	11
90	17	21	22	30	21	28

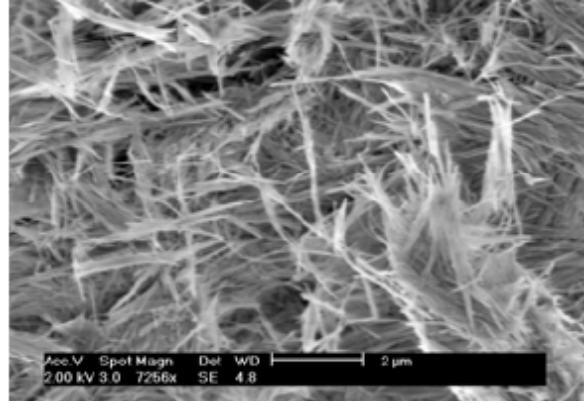
Tablo 4. Sepiolit killerinin tümkaya mineral bileşimleri.

ÖRNEK NO	TÜMKAYA MINERAL BİLEŞİMİ (%3 hacim)									
	Hantit	Ankerit	Hidromanyezite	Brusit	Dolomit	Manyezit	Feldispat Grubu	Kuvars	Ki+Mika	
									Diğer	Sepiolit Grubu
TTB	-	-	-	-	-	-	eser	eser	-	100
KURT ŞEYH	-	-	-	-	eser	-	-	3	-	97
S	-	-	-	-	eser	-	-	eser	-	100
YD-S	-	-	-	-	eser	-	-	eser	-	100
YD-K	-	-	-	-	eser	-	-	eser	-	100

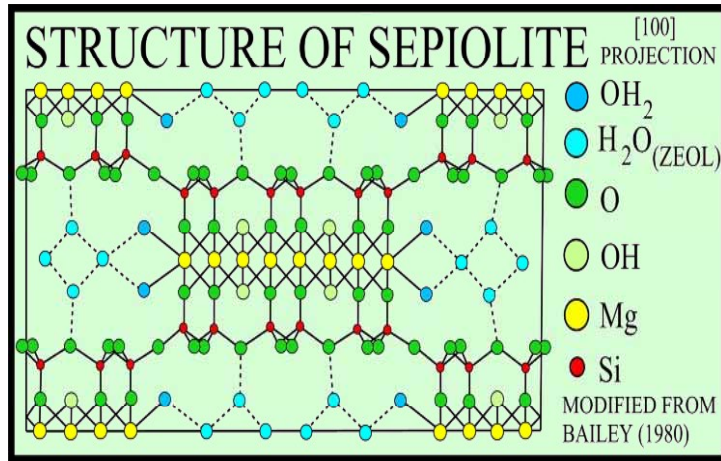
Tablo 5. Sepiolit killere ait XRF analiz sonuçları.



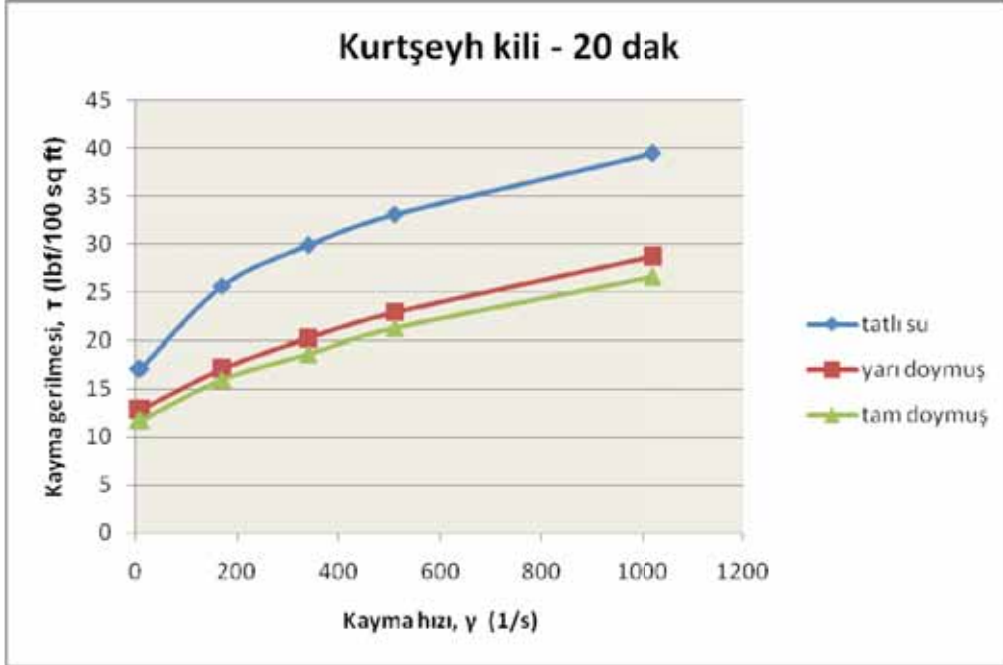
Örnek no	CaO %ağırlık	MgO %ağırlık	SiO <sub>2</sub> %ağırlık	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %ağırlık	K <sub>2</sub> O %ağırlık	Na <sub>2</sub> O %ağırlık	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %ağırlık
TTB	4.37	23.22	52.31	1.23	0.35	<0.01	2.69
KURT ŞEYH	0.75	27.68	62.78	0.48	0.13	<0.01	1.01
S	0.28	23.79	60.12	1.31	0.4	<0.01	2.73
YD-S	0.34	26.38	62.29	0.81	0.21	<0.01	1.67
YD-K	0.18	26.67	62.17	0.68	0.18	<0.01	1.44



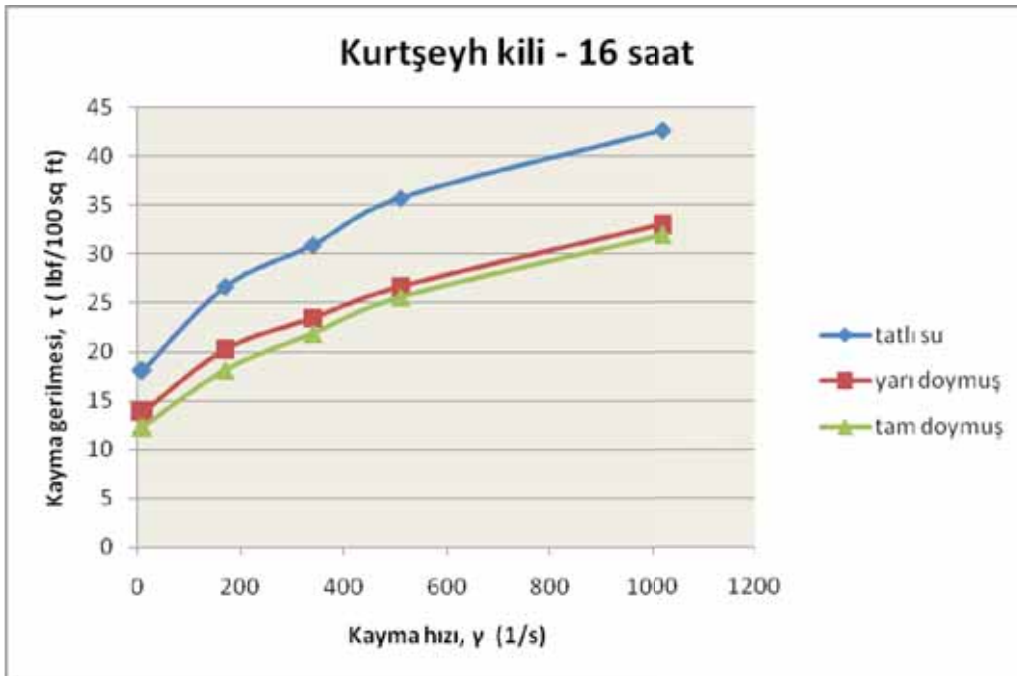
Şekil 1. Sepiolitin lifli yapısı, (web\_01).



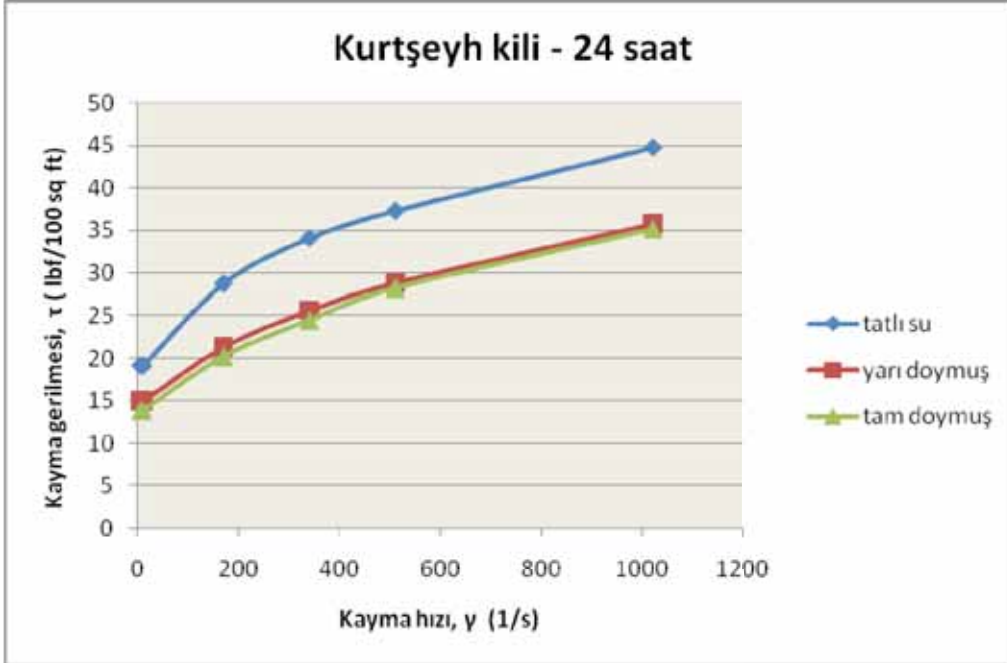
Şekil 2. Sepiolitin zincir yapısı (Web 1).



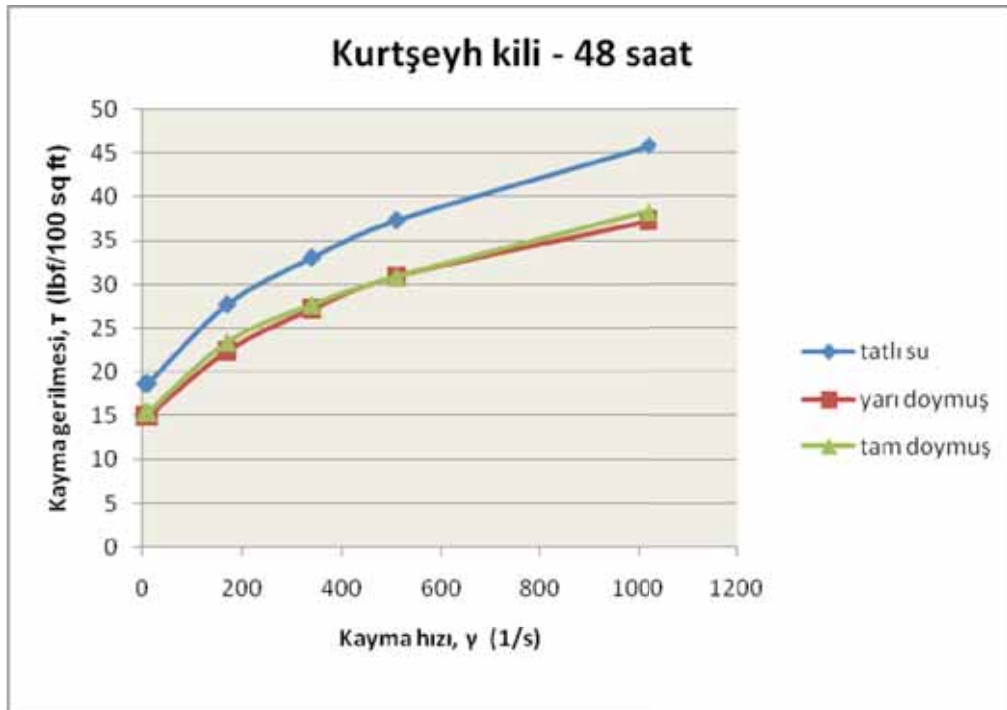
Şekil 3. Kurtşeyh kili ile hazırlanan çamurların kayma gerilmesi değişimi.



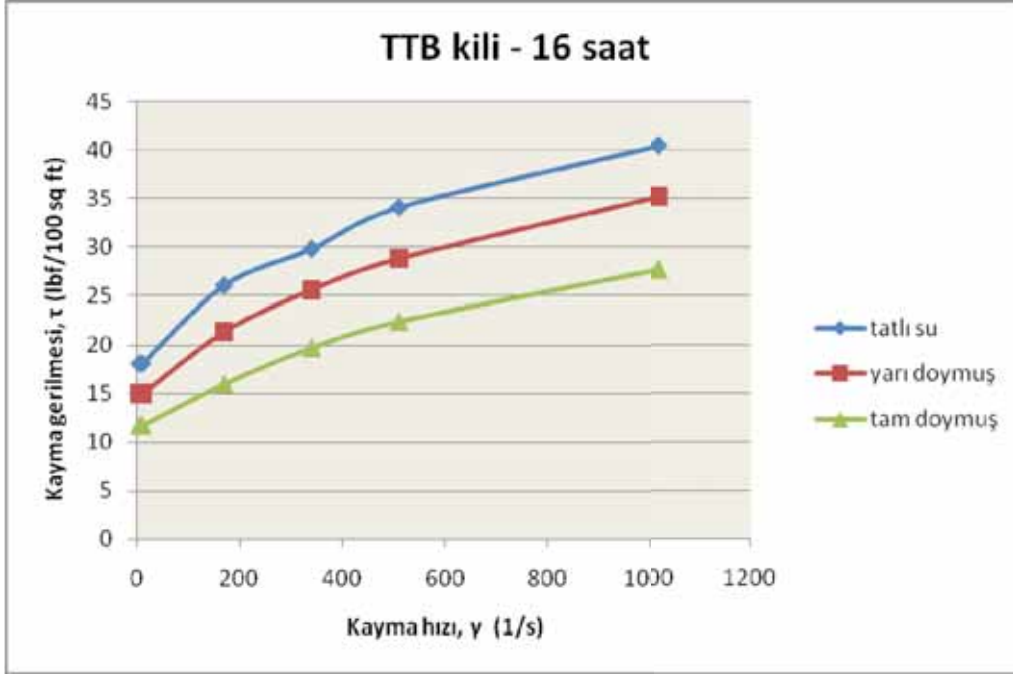
Şekil 4. Kurtşeyh kili ile hazırlanan çamurların kayma gerilmesi değişimi.



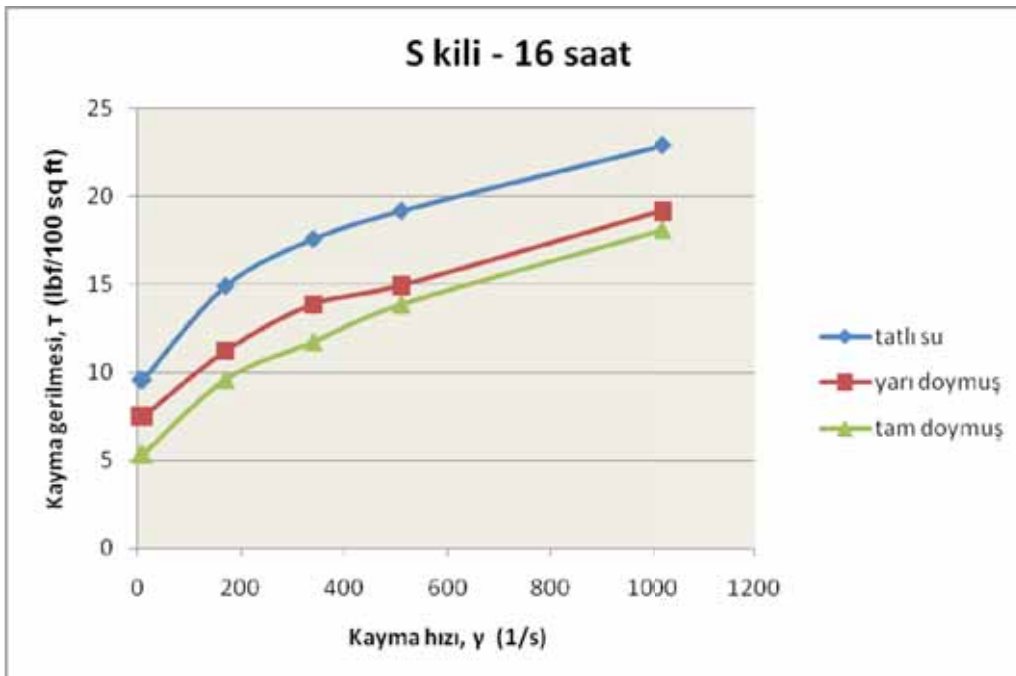
Şekil 5. Kurtşeyh kili ile hazırlanan çamurların kayma gerilmesi değişimi.



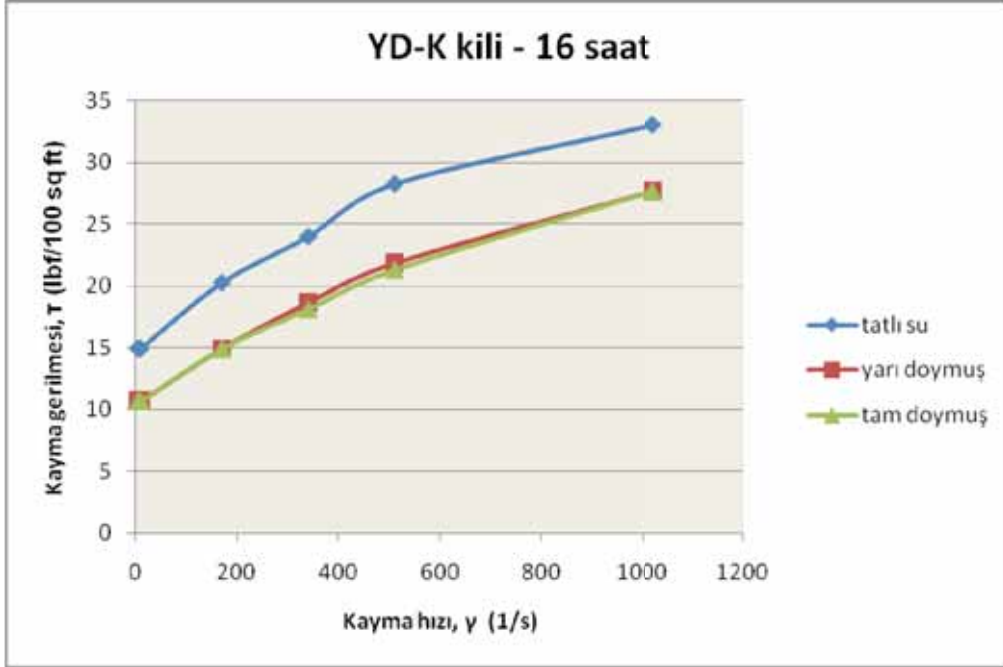
Şekil 6. Kurtşeyh kili ile hazırlanan çamurların kayma gerilmesi değişimi.



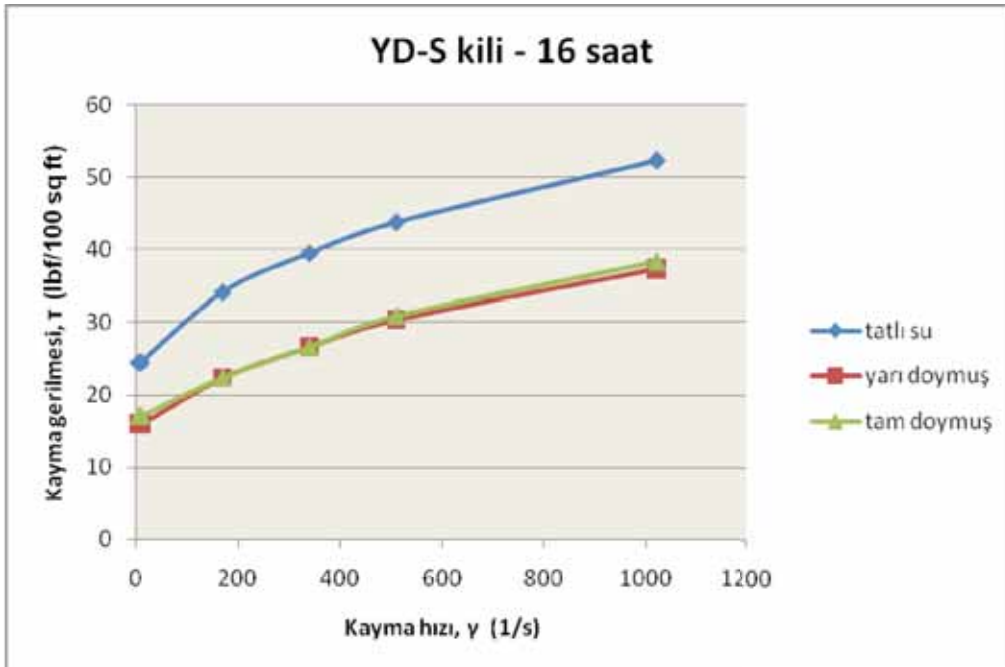
Şekil 7. TTB kili ile hazırlanan çamurların kayma gerilmesi değişimi.



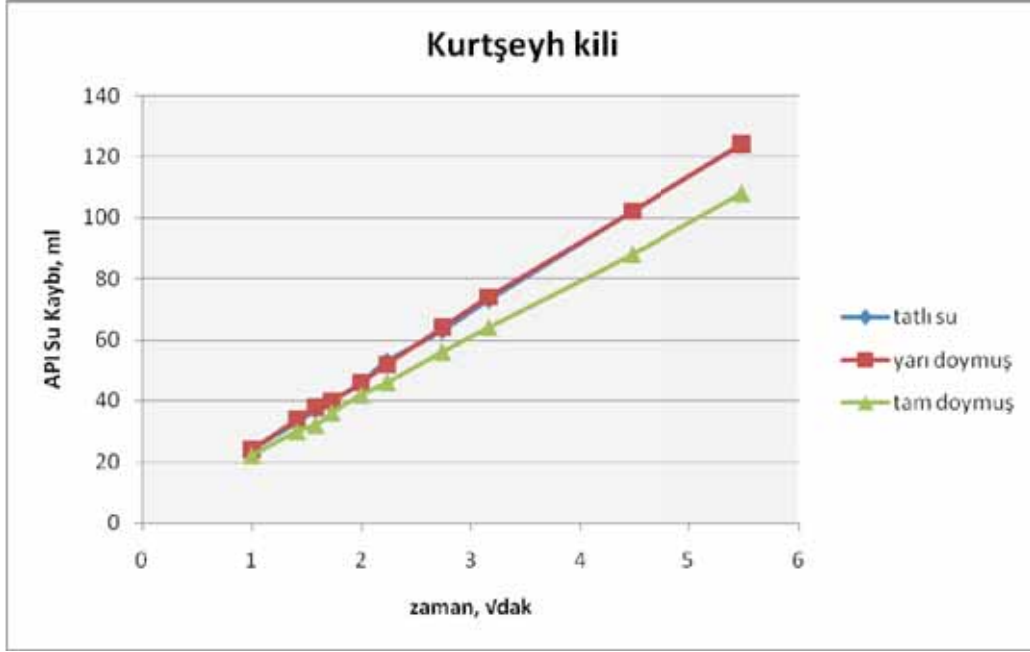
Şekil 8. S kili ile hazırlanan çamurların kayma gerilmesi değişimi.



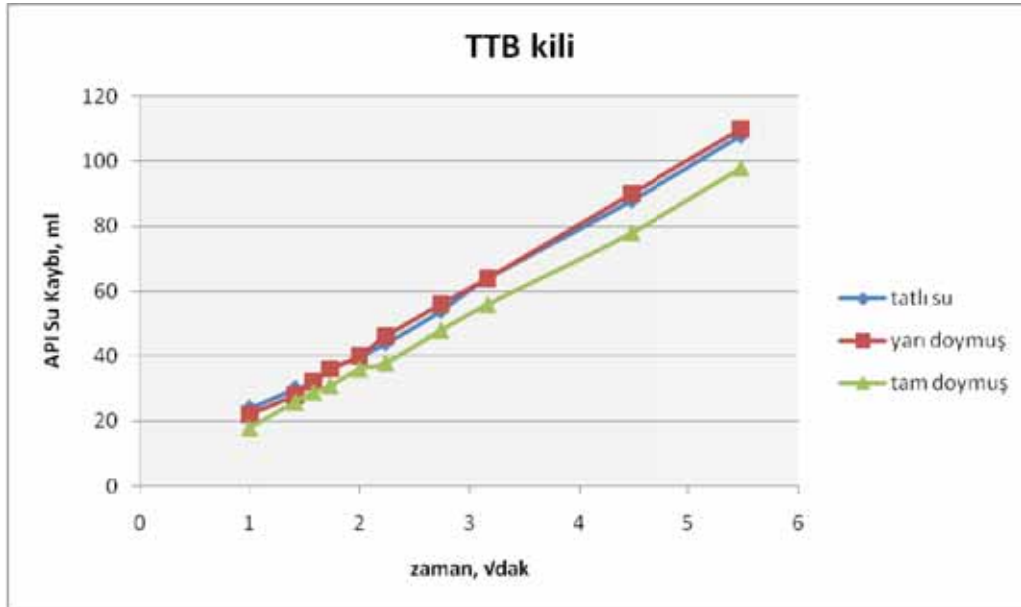
Şekil 9. YD-K kili ile hazırlanan çamurların kayma gerilmesi değişimi.



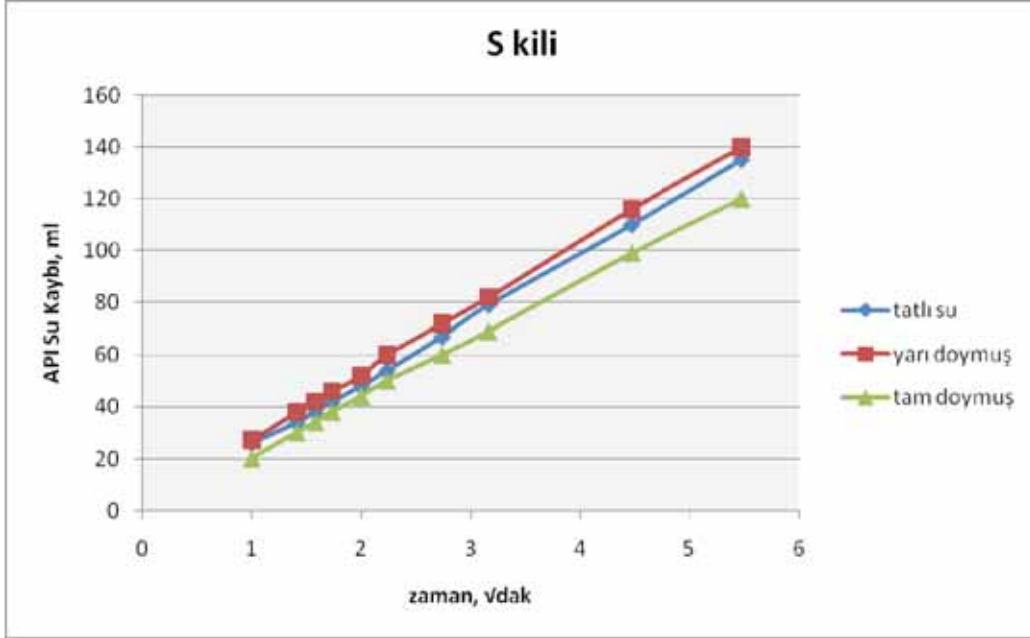
Şekil 10. YD-S kili ile hazırlanan çamurların kayma gerilmesi değişimi.



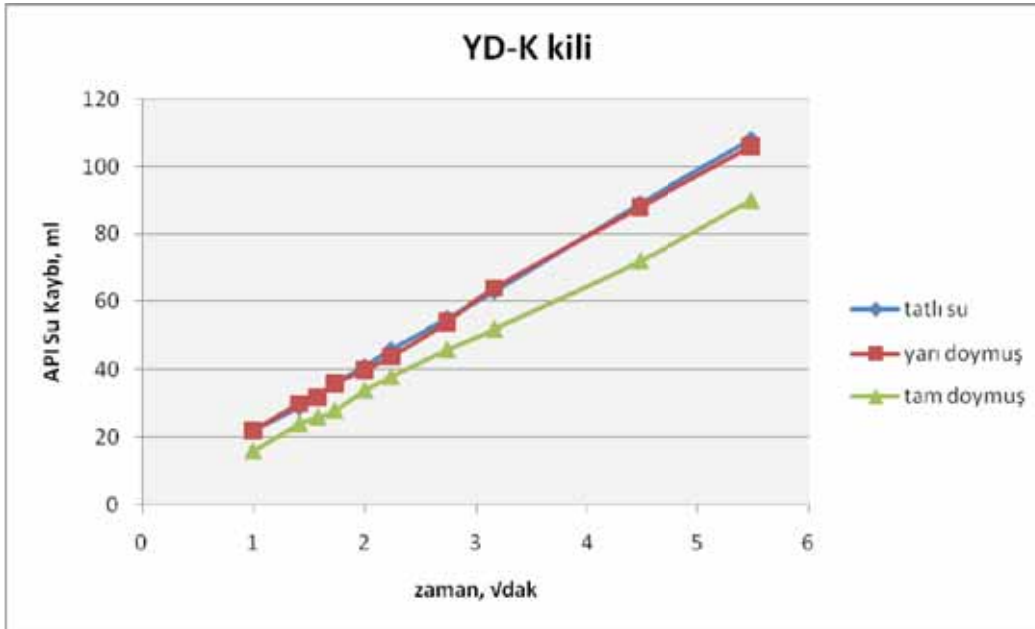
Şekil 11. Kurtşeyh kili çamuru API su kaybının zamanın kareköküyle değişimi – 20 dak.



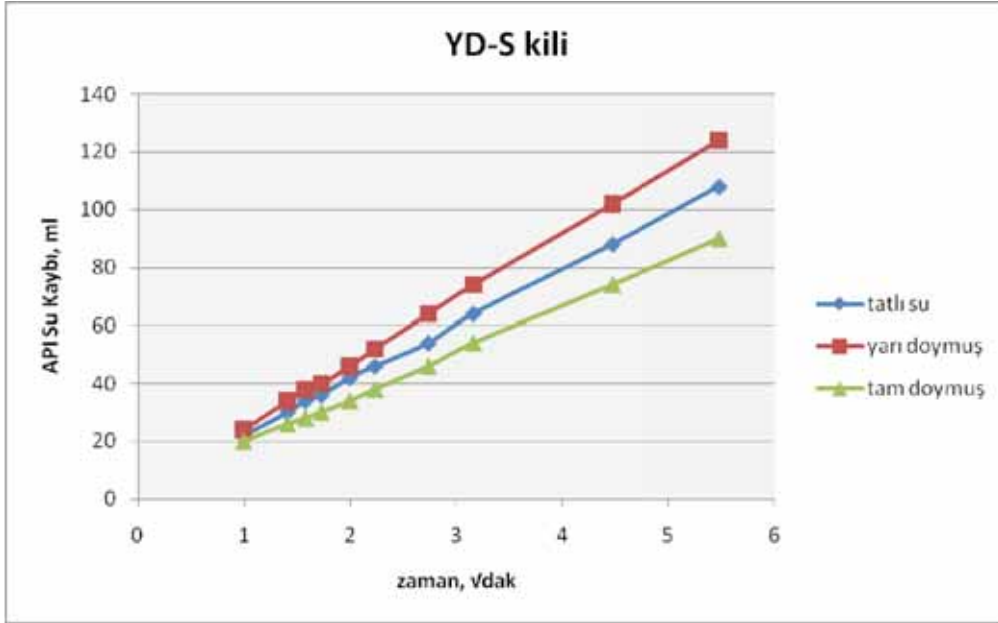
Şekil 12. TTB kili çamuru API su kaybının zamanın kareköküyle değişimi – 20 dak.



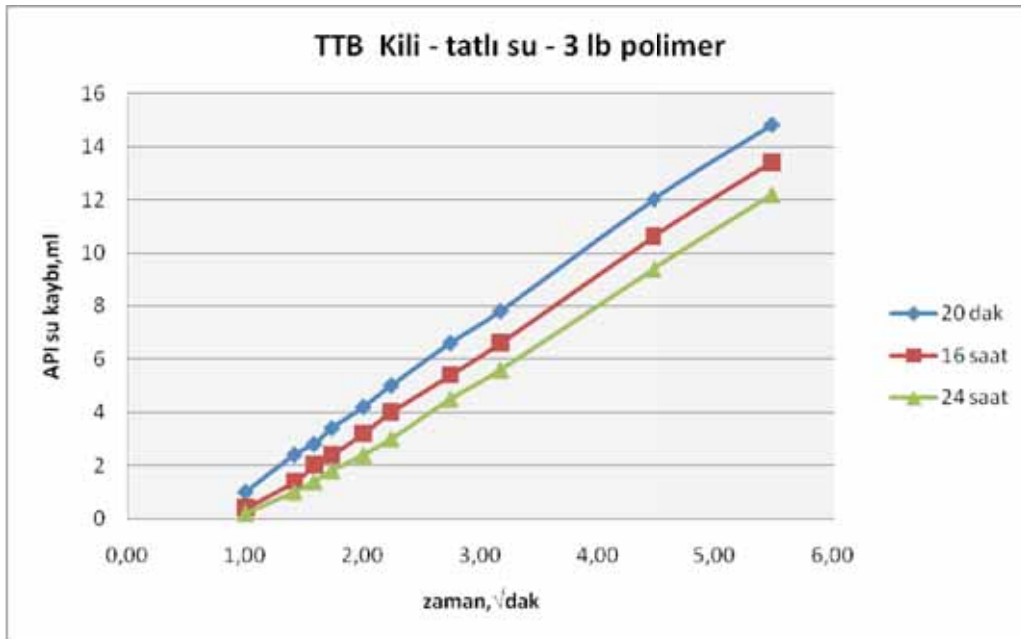
Şekil 13. S kili çamuru API su kaybının zamanın kareköküyle değişimi – 20 dak.



Şekil 14. YD-K kili çamuru API su kaybının zamanın kareköküyle değişimi – 20 dak.

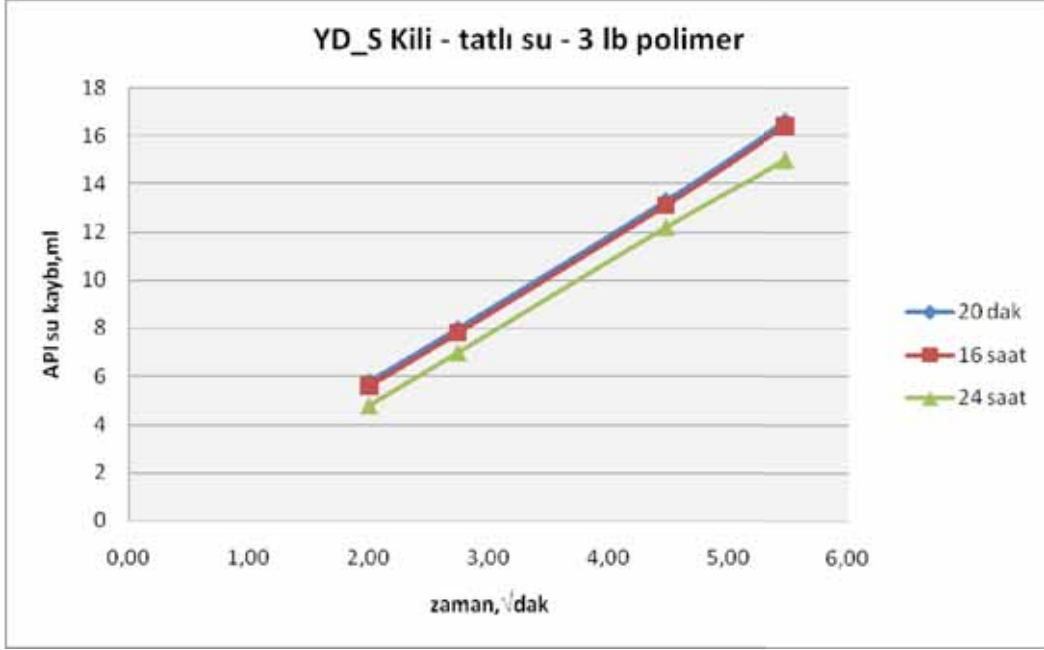


Şekil 15. YD-S kili çamuru API su kaybının zamanın kareköküyle değişimi – 20 dak.



Şekil 16. Katkılı TTB sepiolit çamuru API su kaybı değişimi.





Şekil 17. Katkılı YD-S sepiolit çamuru API su kaybı değişimi.



## **Jeotermal Üretim Kuyularının Sondajında Havalı Akışkanların Kullanılma İlke ve Uygulamaları**

Adil ÖZDEMİR, Okan DOĞAN  
Sondajcılar Birliği Derneği, Ankara  
[adilozdemir2000@yahoo.com](mailto:adilozdemir2000@yahoo.com)

### **ÖZ**

Jeotermal sondajda havalı akışkanlar, sondaj sıvısı ve sondaj kesintilerinin geçirimli formasyonlar delinirken tam olarak dolaşımını sağlar. Özellikle, takım sıkışma ve formasyon hasarı riskini azaltır.

Jeotermal üretim kuyularının çoğunlukla yüksek geçirgenliğe sahip formasyonlarda açılması tercih edilmektedir. Bu formasyonlarının sığ derinliklerde olması sondaj sırasında birçok probleme yol açmaktadır. Düşük formasyon basınçlarıyla beraber yüksek geçirgenlik, sondaj sıvısında önemli kayıplara sebep olur. Bu sorunun üstesinden gelmek ve sondajın klasik sondaj sıvılarıyla (bentonit çamuru gibi) devamını sağlamak için akışkan kaçağı kademeli olarak engellenmelidir.

Havalı sondaj akışkanlarının kullanımı, sondaj sıvısı ve formasyon basıncı arasındaki farkı azaltıp, dengeleyerek sondaj sıvısının dolaşımını ve kırıntıların taşınmasını sağlar. Havalı ve köpüklü sondaj teknikleri, ilk olarak petrol sondajı sektöründe kullanılmıştır. Jeotermal sektöründe ilk olarak Geothermal Energy New Zealand Ltd. Şirketi tarafından 1970 sonlarında jeotermal sondajlarda kullanılmıştır. Yakın zamanlarda, İzlanda jeotermal sondaj operasyonlarında kullanılmış ve başarılı sonuçlar alınmıştır. İzlanda'nın Trolladygja, Hellisheidi ve Reykjanes bölgelerinde 12 kuyu havalı akışkanlar kullanılarak başarıyla delinmiştir.

Bu bildiride, havalı akışkanlarla yapılan jeotermal sondaj çalışmalarının teknik özellikleri tartışılmış ve ülkemizde kullanımının yaygınlaştırılması için altyapı oluşturulmasına katkı koymak amaç edinilmiştir.

### **1. GİRİŞ**

Hava katkılı sondaj, basınçlı havanın sondaj akışkanı dolaşım sistemine uygulanarak kuyu çeperindeki akışkan kolonunun yoğunluğunu azaltılır. Böylece, kuyu çeperindeki hidrodinamik basıncı, jeotermal kuyunun geçirimli kayıp bölgelerindeki formasyon basıncıyla dengeler.

Düşük yoğunluklu sondaj sıvısının kullanımı derin kuyu sondajlarında sıradışı yaklaşımlar ortaya koyar. Formasyon basıncının çamur hidrostatik basıncından büyük olması fişkırmaya (blow out) neden olur. Bu durumu engellemek için formasyon basıncını dengeleyecek kadar yoğunluğa sahip sondaj çamuru kullanılması gerekir.

Jeotermal sondajlarda, sondaj sıvısının dolaşım yapması önemlidir. Bu konu, kuyuda

dolaşan sondaj çamurunun kuyuya formasyondan girebilecek basınçlı akışkanların hidrostatik basınçla kontrol altında tutulması için önemlidir. Jeotermal kuyuların kontrolü petrol kuyularından biraz daha karmaşıktır. Eğer jeotermal kuyu kontrol altında tutulmazsa, çok büyük hacimlerde buhar ve sıcak su tahliye olur ki bu tehlikeli bir durumdur.

## 2. TARİHÇE

Çamur dolaşım sistemine basınçlı hava enjekte etmek petrol sondajında dolaşım kayıplarını azaltmış ve ilk defa Utah'daki Phillips Petroleum adlı şirket tarafından 1941'de uygulanmıştır. Jeotermal sektöründe ilk olarak Geothermal Energy New Zealand Ltd. Şirketi tarafından 1970 sonlarında jeotermal sondajlarda kullanılmıştır. Yakın zamanlarda, İzlanda jeotermal sondaj operasyonlarında kullanılmış ve başarılı sonuçlar alınmıştır. İzlanda'nın Trolladygja, Hellisheidi ve Reykjanes bölgelerinde 12 kuyu havalı akışkanlar kullanılarak başarıyla delinmiştir (Birkisson ve Hole, 2007).

Jeotermal kuyularda havalı sondaj ilk olarak 1978 ile 1982 arasında Geothermal Energy New Zealand Ltd. (GENZL) şirketi tarafından kullanılmıştır (Birkisson ve Hole, 2007). Bu sırada Kenya, Oklaria; Honshu, Japan bölgelerindeki jeotermal alanlarda çalışırken GENZL firması DOS (Disk İşletim Sistemi) bazlı havalı sondaj simülasyon paketini geliştirmiştir.

Jeotermal alanlardaki havalı sondaj uygulamalarının gelişimi şu şekildedir (Birkisson ve Hole, 2007);

### 1982-1987

Kuzeydoğu Oklaria – Kenya  
Aluto-Langano – Etiyopya

### 1987-1992

Nigorikawa, Hokaido – Japonya  
Sumikawa, Honshu – Japan  
Darajat – Endonezya  
Oklaria II ve Eburru – Kenya  
Los Humeros – Mexico

### 1992-1997

Los Humeros – Meksika  
Tres Virgenes – Meksika  
Wayang Windu, Patuha ve Salak – Java – Endonezya  
Ulumbu- Flores - Endonezya

### 1997- Bugün

Oklaria III – Kenya  
Los Azufres \_ Meksika  
Salak – Endonezya  
Ohaaki, Mokai, Rotokawa, Putauaki, Wairakei ve Tauhara – Yeni Zelanda  
Trölladygja - İzlanda  
Hellisheidi- İzlanda  
Reykjanes – İzlanda

### 3. SONDAJ ÇAMURU DOLAŞIM KAYIPLARI

Çoğu jeotermal kuyunun sondajında, yüksek çamur dolaşım kaybı bölgeleri ile karşılaşılır. Düşük basınçlı bu bölgelerin sondajı, genellikle maliyet artışlarına ve zaman kayıplarına sebep olmaktadır. Derinlerde, kuyu üretim çarığının altında yüksek dolaşım kayıpları potansiyel akışkan üretiminin diğer faktörlerle eşit olması açısından bir tetikleyicidir.

İlk önce, kuyunun üretim çarığı derinliğine kadar olan sondajına değinelim: üretim dizisinden önce tipik olarak en az iki takım muhafaza borusu indirilmelidir. Muhafaza borusu ve çevresindeki dairesel boşluğun tamamen yeterli özelliklere sahip çimentoyle (değişik sıcaklık şartlarında kullanılabilen, şiddetli fiziksel ve kimyasal şartlarda yapıları bozulmayan) doldurulması jeotermal koşullarca zorunludur. Aksi halde, üretim formasyonu ile yüzey arasında kontrol dışı akış başlar ki, bu durum kuyunun kaybına ve çevrenin kirlenmesine sebep olur.

Eğer, sondaj sırasında sabit bir kaçak söz konusu ise üç yaklaşım mümkündür. Bunlar;

1. Üretim zonu üst seviyelerindeki ardışıklı kaçak bölgelerinde, ilerleme sırasında karşılaşılabilecek tüm kaçak zonların tıkanması ve daha sonra yeniden delgiye devam edilmesi olarak adlandırılabilir **del ve tıka yaklaşımı** uygulamak. Küçük kaçaklar, uygun kaçak önleyici maddelerle engellenebilir.

2. Muhafaza borusu indirilene kadar karşılaşılmış kaçaklar var ise, önce bu kaçaklar tıpa çimento ile tıkanır ve yeniden delindikten sonra koruma borusu indirilerek çimentolanır.

3. Dolaşım sıvısının yoğunluğu düşürülerek ve 2. maddedeki gibi tıka yapılarak dolaşım sağlanır.

Hangi yöntemin kullanıldığına bakılmaksızın muhafaza borusunun çevresindeki boşluğun doldurulması gerekir. Çoğu jeotermal sahada, sondaj çalışmaları sırasında dolaşım kaybı bölgeleri adım adım tıkanabilmekte ve muhafaza borularının ilk çimentolanması başarıyla tamamlanmaktadır.

Üretim çarığının altındaki bölgelerde dolaşım sıvısı kayıpları tıkanmak yerine geçici olarak önlenir. Sondaj sıvısı özellikleri, ilk büyük kaçağın engellenmesiyle normal olarak değişebilir. Artık sondaj çamuru rezervuarın geçirgen matrisinden geçen jeotermal akışkanların akışını biraz artırır ve suya dönüşüm olasıdır. Sondaj su ile sürdürülürken, kuyu başına akışkan dönüşü olmadan sondajda ve rezervuarda istenilmeyen durumlar oluşabilir. Bunlar;

1. Aralıklı dolaşım kayıpları, matkabın kestiği formasyon kırıntıları matkabın üzerinde ve sondaj dizisi etrafında birikerek sondaj dizisinin sıkıştırmasına sebep olur.

2. Eğer kırıntılar düşük geçirgenliğe sahip üretim seviyelerinde birikmişse rezervuar seviyeleri hasar görür.

### 4. SONDAJ AKIŞKANI

Dolaşım kaybı, kuyu ve formasyon arasındaki herhangi bir noktadaki basınç farkından kaynaklanır. Dolaşım sıvısının yoğunluğunun düşürülmesi akışın sondaj süresince sürdürülmesini sağlar.

'Sondaj akışkanı' terimi hava, gaz, su ve çamur veya orta seviyede bu akışkanların birkaçının kombinasyonu veya hepsinin karışımıdır. Sondaj çamuru, su veya yağ süspansiyonudur ve yoğun akışkanları temsil eder. Genelde su jeotermal sondajlarda kullanılmasına rağmen, çok miktarda çamur kaybının olduğu yerlerde dolaşımı sağlamak için uygun değildir. Hava katkılı sondaj, dolaşımın sürdürülebilmesi için bir çözüm olabilir.

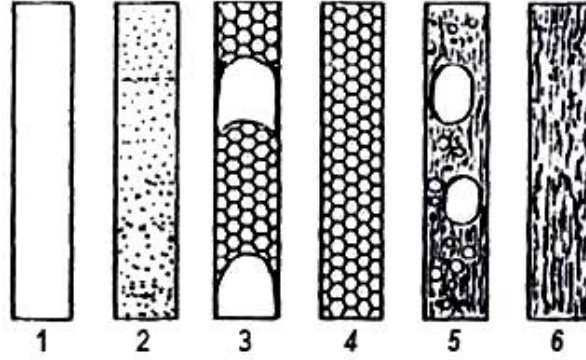
Havalı sondaj tipleri şunlardır (Allen, 1980);

**1. Kuru havalı sondaj:** hava akışına hiçbir madde eklenmez. Yeterli kuyu temizliği için annülüs hızı 12-15 m/sn'dir.

**2. Buğu (mist) ve köpükle sondaj:** Düşük miktarda köpük hava akışına eklenir. Düşük miktardaki bu köpük, formasyon suyunun kuyuya giriş yaptığı durumlarda kullanılır.

**3. Stabil köpük:** Baloncuklu, sıvı ve sürekli fazda, birbirine tamamen karışmış hava ve sıvı. Tipik annülüs hızı 0.5 m/sn'dir.

Şekil 1'de farklı sondaj akışkanlarının kuyu içerisindeki akış tipleri görülmektedir.



Şekil 1. Sondaj akışkanları için altı farklı akış rejimi (Allen, 1980)

(1.Hava akışı 2. Mist akışı 3. Stabil köpük akışı 4. Baloncuklu akış 5. Sıvı akışı 6. Sondaj için uygun olmayan akış)

Farklı havalı sondaj yöntemleri için birçok avantaj ve dezavantajdan söz edilebilir. Bütün bunlara değinmek düşünülmediğinden, son bölümde anlatılanlar dışında, büyük önem arz eden faktörlerin özeti şu şekildedir:

HAVA:

Avantajları

- Yüksek ilerleme hızı
- Düşük matkap maliyeti
- Az su gereksinimi
- Çamur gerektirmemesi
- Su buharı veya sıvı ile karşılaşılmasının belirlenebilmesi

Dezavantajları

- Su girişi varsa zorluklar başlar
- Yüksek annülüs hızına bağlı olarak şiddetli kuyu erozyonu olabilir
- Yüksek annülüs hızına bağlı olarak sondaj dizisi ve muhafaza borusu zarar görebilir
- Kuyu başı donanımları yüksek sıcaklığa maruz kalabilir.

BUĞU (MIST):

Avantajları:

- Kuru havanın sağladığı avantajlar
- Akışkan olarak formasyon suyu kullanılabilir
- Havanın annülüs hızını düşürür

Dezavantajları:

- Köpük katkısı ve yavaşlatıcı maliyeti
- Kuyu başı donanımları yüksek sıcaklığa maruz kalabilir.

**KÖPÜK:**

Avantajları:

- Yüksek ilerleme hızı
- Düşük matkap maliyeti
- Az su ihtiyacı
- Yüksek kırıntı taşıyabilme kapasitesi
- Hava akışı gereksiniminde azaltma
- Düşük annülüs hızı
- Bazı durumlarda kuyu stabilitesini sağlama

Dezavantajları:

- Yüksek köpük maliyeti
- Köpük stabilitesinin sıcaklık artışıyla düşmesi
- Matkap soğutulmaması
- Köpük karışımının çok hassas kontrol edilememesi

Kuru buharlı jeotermal kuyuların delinmesinde bazen hava kullanılmaktadır, köpük ve buğu (mist) bugüne kadar çok sınırlı sayıda kullanılmıştır (Allen, 1980).

## **5. AVANTAJLAR**

### **5.1. Sondaj İşlemleri**

Hava katkılı sondaj uygulamasında öncelikli amaç sondaj sıvısı dolaşımını sağlamak ve buna bağlı olarak sondaj süresince kuyudaki kırıntıları temizlemektir. Bu temizleme işlemi, sondaj sırasında takım sıkışma riskini azaltır.

Jeotermal rezervuar sistemlerinin çoğu, herhangi bir derinlikteki hidrostatik su basıncından daha az formasyon basıncına sahiptir. Basınç altındaki bir sistemde ve geçirgen bir bölgede sondaj yapılıyorsa sondaj sıvısı kaybı olur. Çünkü, sondaj sıvısı yüzeye döndüğünden çok formasyona kaçar. Bu durumda, uygulanan geleneksel yöntem sondaja su ile 'kör' olarak devam etmektedir. Pompalanan suyun hepsi yıkanan kırıntılarla birlikte formasyona kaçar. Bu yöntemde karşılaşılan problem kırıntıların tamamının formasyona girememesidir. Kuyuda kırıntı birikmesinden dolayı takım sıkışır ve kuyu duvarı zarar görür. Bu problemin çözümü sondaj sıvısının yoğunluğunu düşürmektir.

Hava katkılı sondaj sıvısı, akışkan kolonunun yoğunluğunu düşürür. Böylece, kuyu duvarına ve formasyona hidrolik basınç uygulanır. Hava sıkışabilir olduğundan, kolonun yoğunluğu derinlikle değişir. Kuyu tabanında, hidrostatik basıncın en yüksek olduğu yerde hava bileşenleri çok fazla sıkışır ve böylece akışkanın yoğunluğu en yüksek değerine ulaşır. Kuyunun tepesinde hidrostatik basınç ve akışkanın yoğunluğu en düşük seviyededir. Kuyuya pompalanan su ve havanın birbirine oranı ve boşaltma için yapılan geri basınç veya kuyudan tahliye geçirimli bölgelerde kuyu dibi basıncıyla formasyon basıncının dengelenmesini sağlar. Böylece, sondaj sıvısı dolaşımı sağlanmış olur (düşük basınçlı sondaj/under balance drilling).

Önceleri bu teknik, sadece küçük çaplı üretim kuyularında uygulanıyordu. Fakat, üretim bölgesinin üstündeki formasyonun geçirgenliğinin yoğun olduğu bazı sahalarda tıkama (kaçak önleme) ve sondaja devam edebilmek için önemli derece de zaman kaybı olmaktadır. Hava katkılı sondaj bu tür sahalarda başarısını ispatlamıştır.

### 5.2. Formasyon ve Kaynak

Belki de hava katkılı sondajın en önemli yanı kuyunun üretkenliğine olan etkisidir. Kırıntıların geçirgen bölgeye doğru itilmesi yerine yüzeye getirilmesi tıkama potansiyelini azaltır ve kuyu duvarına yakın olan geçirgen kısımları tıkar. Bu etki, kuyu duvarı veya yüzey hasarı olarak bilinir. Nispeten küçük bir miktar formasyon kırıntısının akışa katılması kuyunun üretiminde gözle görülür etkiler yaratır.

Hava katkılı sondajlarda bütün dolaşım sıvısının geri dönmesi ve kırıntıların toplanmasıyla kuyu duvarı hasarı sulu kör sondajdan daha azdır. Buna bağlı olarak daha üretken kuyular elde edilir. Ayrıca, hava katkılı sondajlar bentonit çamuruyla yapılanlardan daha verimlidir.

Kenya da yapılan bir çalışmada (Birkisson ve Hole, 2007), benzer yer ve derinliklerde yapılan sulu kör ve hava katkılı sondajlar karşılaştırıldığında, hava katkılı sondajların verimliliğinin daha yüksek olduğu görülmektedir (Çizelge 1).

**Çizelge 1.** Kenya-Olkarta'da Havalı ve havasız akışkanlarla delinen kuyuların termal verimlerinin karşılaştırılması (Birkisson ve Hole, 2007)

Su ile delinen Kör Kuyular		Havalı akışkanlar ile delinen Kuyular	
Kuyu No	Verim (MWt)	Kuyu No	Verim (MWt)
1	43.31	A-1	37.05
2	12.75	A-2	98.73
4	22.15	A-4	58.86
5 (çamurla delindi)	14.76	A-5	105.49
6	21.38		
		B-1	27.59
		B-3	36.26
		B-7	32.72
		B-9	67.63
<b>Ortalama</b>	<b>22.87 MWt</b>		<b>58.04 MWt</b>

### 5.3. Gelen Kırıntılar

Sondajcılıkta birincil hedef, kullanılan dolaşım sıvısının ve matkap tarafından kesilen kırıntıların yüzeye taşınmasının sağlanmasıdır. Bu dolaşım, ulaşılan her derinlikteki kırıntılardan örnek toplama ve analizi sağlar.

### 5.4. Yüksek İlerleme Hızı

Hava katkılı akışkan kullanılarak kuyu dibi hidrostatik basıncını düşürmek bazı formasyonlarda ilerleme hızının artmasını sağlar. İzlanda'daki jeotermal sahalarda karşılaşılan bazaltik lavlardaki ilerleme hızları geleneksel (çamurlu yöntem) sondaj yapılan aynı formasyondaki ilerleme hızlarının yaklaşık 3 katıdır (Birkisson ve Hole, 2007).

### 5.5. Sondaj Çamuru Bileşenleri ve Katkıları

Hava katkılı çamur kullanımı; bentonit, iyileştirme kimyasallarının, çimento maddelerinin, polimerik maddelerin tüketimini azaltır (çamurun düşük yoğunluğu nedeniyle dolaşım sağlar ve çamur kaçak bölgelere fazla nüfuz edemez). Hava katkılı sondajda neredeyse tam dolaşım sağlanır ve sondaj sıvısı tekrar tekrar kullanılır (Birkisson ve Hole, 2007).



### **5.6. Tahlisiye İşlemi**

Takım sıkışmasının en yaygın sebebi yetersiz kuyu temizliğidir. Kuyunun anülüsü ile dizi arasındaki kırıntıların yüzeye alınamamasıdır. Kayıp bölgesindeki kuyu duvarı genellikle filtre görevi yapar, ufak kırıntıların formasyon içine girmesine izin verir ve büyük parçaların anülüste birikmesini sağlar. Bu koşullar altında, eğer yeni kaçaklar oluyorsa ve bütün sondaj sıvısı kuyu tabanından kaçıyor bu biriken kırıntılar kuyu tabanına çöker ve takımın sıkışmasını ve geri alınamamasına sebep olurlar. Hava katkılı sondaj anülüsteki kırıntı birikimini önler ve yeni kaçaklar bile olsa dolaşımın olmasını sağlar.

Belirgin kaçak bölgesinin ve basınç ayarsızlığının olduğu durumlarda, dolaşım kaybolabilir ve zorlaşan şartlar takımın sıkışmasına yol açabilir. Hava/su oranındaki düzeltmelerle dolaşımın tekrar sağlanması, anülüsün kırıntılardan temizlenmesi ve sondaja tam dolaşım ve kırıntı alımıyla devam edilmesi mümkün olur.

### **5.7. Kuyu Toparlanması**

Sulu kör kuyularda kuyu tamamlamadan sonra kuyu ısınma sürecine girer. Rezervuara kaçan büyük hacimdeki suyun ısınması uzun süre alır. Sondaj sıvısına hava katmak formasyona akışkan kaçağını ve kuyu çevresindeki rezervuarın soğumasını sınırlandırır. Hava katkılı sondajlarda kuyunun toparlanması daha hızlıdır. Isısal toparlanma sulu kör sondajda 2 haftayla 3 ay arası sürebilir. Hava katkılı sondajda ise 2 gün ile 2 hafta arasında bir zaman alır.

## **6. DEZAVANTAJLAR**

Hava katkılı sondajın faydalı yönleri yanı sıra olumsuz yönleri de vardır.

### **6.1. Potansiyel Tehlikeler**

Hava katkılı sondaj çalışmalarında bulunan personel, sıkıştırılmış hava ve sıkıştırılmış yüksek sıcaklıktaki geri dönen akışkanlarla ilgili konularda bilgi sahibi olmalıdır. Bu faktörler, personel için potansiyel tehlikelerdir (iş ve işçi güvenliği açısından) ve personelin daha dikkatli olmasını gerektirir.

Dengeli hava katkılı sondaj koşullarında, jeotermal rezervuarda sondaj yaparken fişkirma-geri tepme (kick) potansiyeli büyük hacimli bir soğuk su kaçağıyla yapılan sondajdan daha fazladır. Hava katkılı sondajlarda fişkirma-geri tepme (kick) yaygındır. Fakat, kırıntı boşaltma (blooie) hattındaki kısma valfi akışın arttığında geri basıncın artmasına sebep olur ki bu otomatik olarak geri tepme (kick) kontrol eder ve azaltır.

### **6.2. Matkap Ömrü**

Hava katkılı sondaj, sondaj sıvısı kaçağını önler. Böylece, formasyon sıvısının soğumasını azaltır. Matkap ve kuyudibi aletleri, yüksek sıcaklıktaki sondaj sıvısına maruz kalırsa matkap ömrü azalır (matkap yatak ve keçesindeki tahribatlar nedeniyle) .

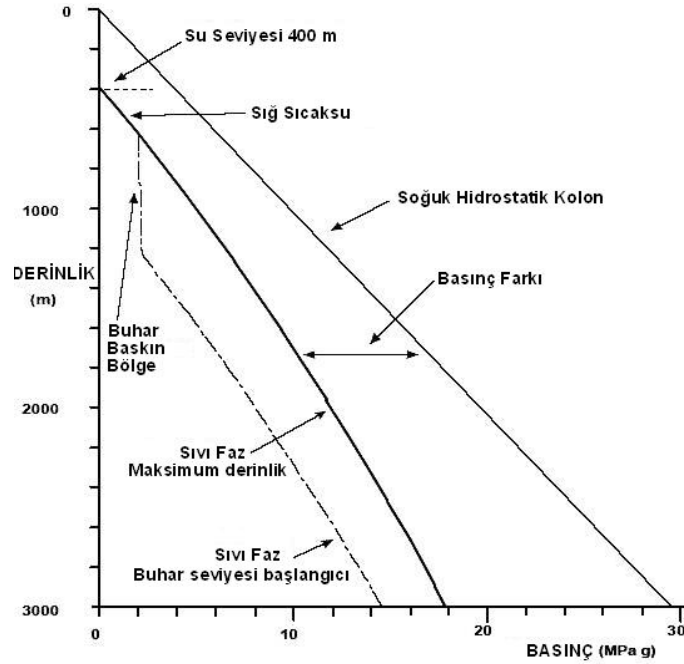
Aletlerin ömürlerinin azalmasına karşın, bu zamana bağlı dezavantajı yüksek ilerleme hızları karşılar. Örnek olarak; İzlanda'daki hava katkılı sondaj uygulamalarında ortalama ilerleme hızları önceden yapılan sondajların neredeyse 2 katıdır (Birkisson ve Hole, 2007).

## **7. İŞLEMLER**

Giriş bölümünde ifade edildiği gibi, geçirgen formasyonları delerken sondaj sıvısı dolaşımını sağlamak için, kuyudaki hidrolik (hidrostatik ve hidrodinamik) basınç formasyon basıncıyla dengelenmelidir. Tipik jeotermal sistemler, hidrostatik su kolonlarının yüzeye yaptığı basınçtan etkilenir. Formasyon basıncıyla kuyudaki basıncı dengelemek için kuyudaki

akışkan yoğunluğu düşürülür. Şekil 2’de yüzeyden gelen soğuk hidrostatik su kolonlarıyla ilişkili bazı tipik jeotermal formasyon basınç rejimlerine değinilmiştir. Durgun su seviyesi 400 metre olarak alınmıştır.

Jeotermal sondajın ilk amacı, geçirgen seviyelere rastlamak ve buna bağlı olarak üretkenlik sağlamaktır. Çünkü, çoğu jeotermal sistemde geçirgenlik sadece rezervuarla sınırlı değildir. Örtü formasyonla da ilişkilidir. Kuyudaki akışkan ile formasyon arasındaki iletişim kaçınılmazdır. Şekil 3’de kuyu içindeki tipik basıncın sondaj sıvısındaki kaynayan su kolonuyla ilişkili olduğuna değinilmiştir.



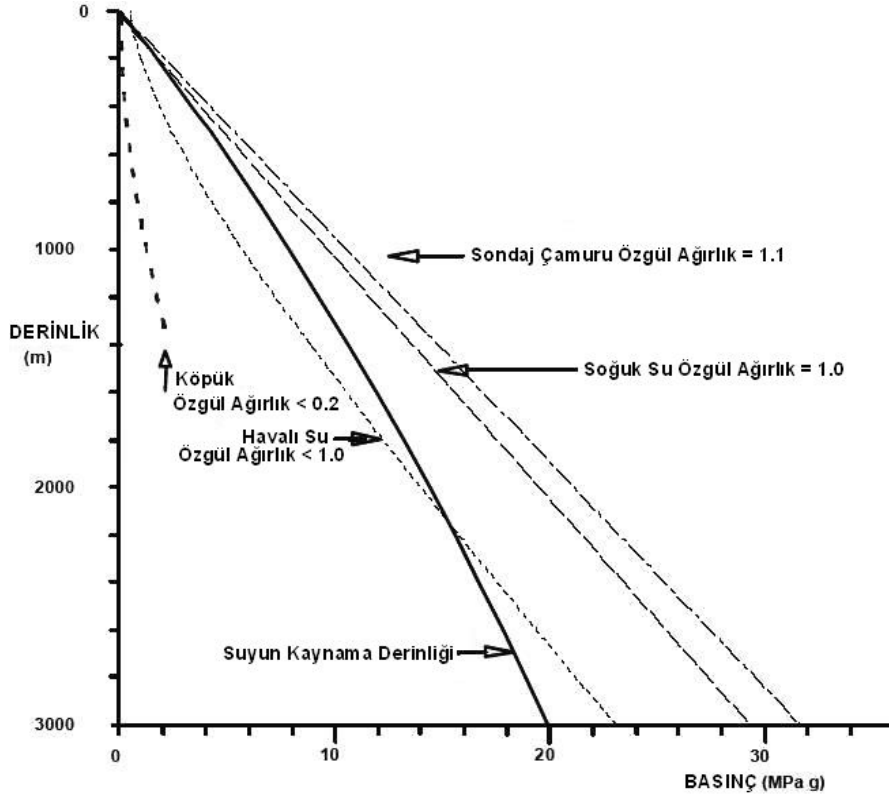
Şekil 2. Tipik formasyon basınçları (Birkisson ve Hole, 2007)

Etkin sondaj sıvısı yoğunluğu, yaklaşık özgül ağırlık aralığı havasız çamur için 1.1, hava için 0.1 aralığındadır ve hava/sıvı oranına bağlı olarak değişir (Çizelge 2).

Çizelge 2. Akışkan tipine göre etkin özgül ağırlıkları (Birkisson ve Hole, 2007)

Akışkan	Etkin özgül ağırlık
Su bazlı bentonit çamuru	1.1
Su	1.0
Petrol bazlı çamur	0.82
Hava içeren bentonit çamuru	0.4-1.1.
Hava içeren su	0.3-1.0
Mist	0.05-0.4
Köpük	0.05-0.25
Hava	0.03-0.05

Basıncılı formasyon şartlarında, kuyudibi akışkan basıncı dolaşımını dengelemek için dolaşım akışkanının yoğunluğu hava eklenerek düşürülmelidir. Sıvı/hava oranı, dolaşım akışkanı çıkışını ayarlamak ve anülüste geri basınç üretmek ve gereken basınç dengesini sağlamak için değişkendir.



Şekil 3. Tipik kuyu basınçları (Birkisson ve Hole, 2007)

Sondaj dolaşım sistemine hava eklemek sıkışabilen bileşenler oluşturur. Birim hacim havanın kuyu içinde belli derinlikte kapladığı hacim, bu derinlikteki akışkan basıncına bağlıdır. Diğer bir ifadeyle, kuyu tabanındaki hava kabarcığı hacimleri aynı hava kabarcıklarının kuyunun üst kısımlarında kapladığı hacimden daha azdır. Akışkan kolonun yoğunluğu derinlikle değişir. Bu durum 'sıvı hacim ayrımı' (LVF) olarak bilinir (Birkisson ve Hole, 2007).

LVF

1.0 - % 100 sıvı

0.0 - % 100 hava

Böylece, sadece kuyu içindeki basınç rejimi değişmekle kalmaz dolaşım akışkanı hacmi de değişir (LVF). Ayrıca, akışkan hızı da kuyu derinliğine bağlı olarak değişir.

Çizelge 3'de GENZL Havallı Sondaj Bilgisayar Simülatorü ile elde edilmiş sonuçlara bakılarak, kuyu dibi basıncıyla beraber tipik hava katkılı kuyu dibi anüler basınç profili, farklılık gösteren basınç (300 m nominal durgun su seviyesinde, kuyu dibi basıncı ile formasyon basıncı arasındaki fark), akış hızı ve sıvı hacim ayrımı (LVF) derinlik fonksiyonu olarak gösterilmiştir.

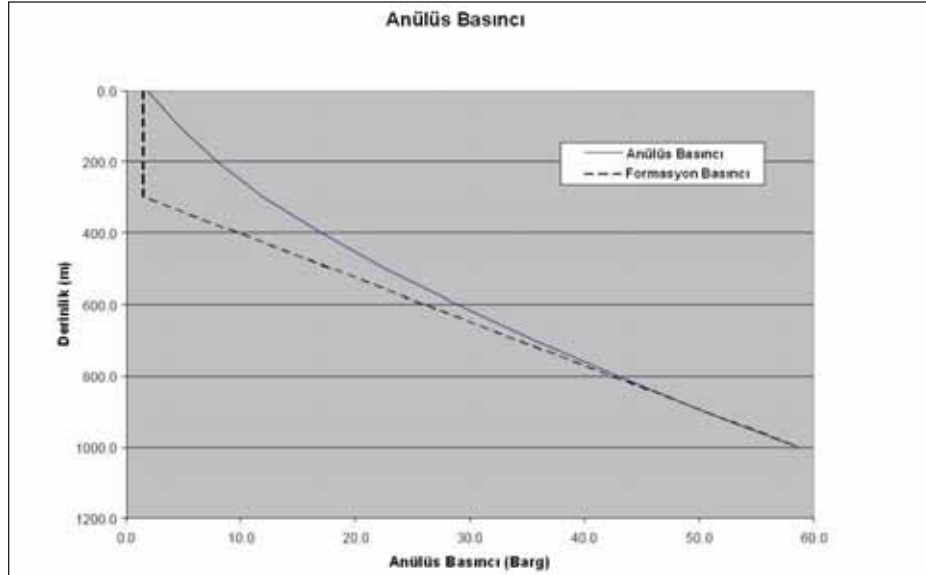
Havallı Sondaj Bilgisayar Simülatoründe, üretim muhafaza borulu 700 m derinlikte bir kuyu ve 100 m kuyu tabanı sondaj takımı (ağırlık borusu) bulunmaktadır. Bu yüzden katsayılar

bu derinliklerde değişmektedir. Çeşitli katsayıların grafikleri Şekil 5, 6, 7 ve 8'de verilmiştir.

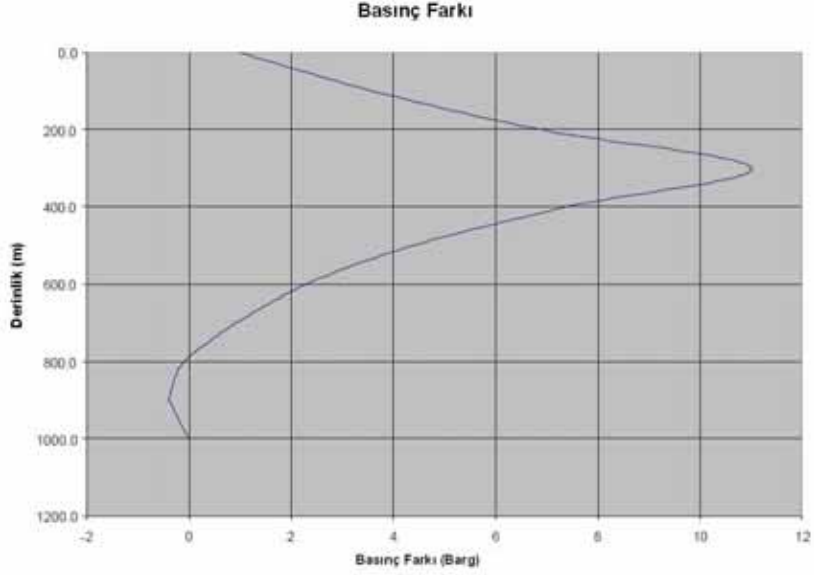
Belki bu verilerle çizilmiş grafiklerde kritik noktaların birçoğunda matkap çevresindeki ve kuyu tabanı takımı çevresindeki akışkan hızları hava eklemesi olmayan sondajınkiyle çok benzerdir. Pompalanması gereken akışkan kuyu tabanı takımının üzerindeki kırıntıları yukarı taşıyabilecek kapasitede olmalıdır. Takımın çapı, ağırlık borusundan ağır tijlere veya tijlere doğru azalma gösterir. Su sondajında tipik olarak en düşük hız 55-60 m/dk'dır (Birkisson ve Hole, 2007). Yoğunluğu azaltıp dengeyi sağlamak veya geçirgen bölgelerde sifıra yakın basınç farkı elde edecek sıvı akış hızı için hava eklenebilir.

**Çizelge 3.** Havalı sondajda kuyudibi şartlarının simülasyonu (Birkisson ve Hole, 2007)

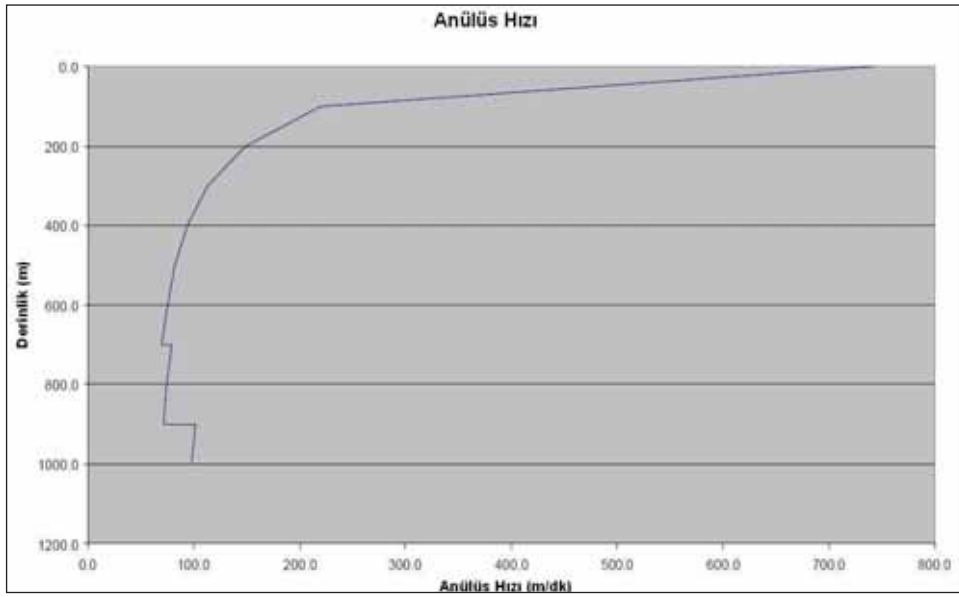
Ölçülen Derinlik (m)	Düşey Derinlik (m)	Anülüs Basıncı (Barg)	Basınç Farkı (Barg)	Hız (m/dk)
Kırıntı Boşaltma Hatı	0.0	1.9	1	742.0
100	100	4.6	3.6	219.6
200	200	7.9	6.9	148.7
300	300	12	11	113.9
400	400	17	7.4	94.5
500	500	22.6	4.4	82.7
600	600	28.9	2.3	75
700	700	35.6	0.9	69.7
700	700	35.6	0.9	78.9
800	800	42.9	-0.1	74.6
900	900	50.4	-0.4	71.4
900	900	50.4	-0.4	101.7



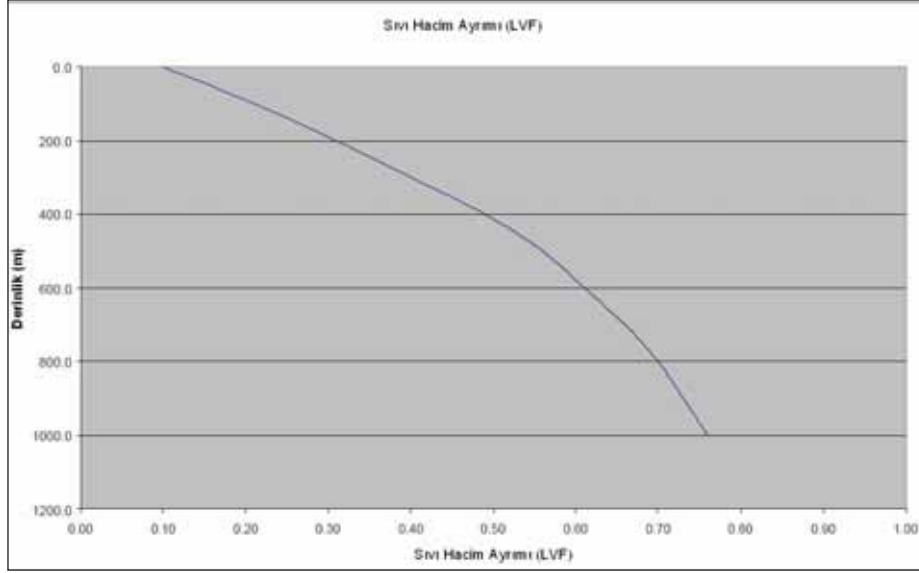
**Şekil 5.** Düşey derinlikte Anülüs Basıncı ve Formasyon Basıncı (Birkisson ve Hole, 2007)



Şekil 6. Düşey derinlikte Basınç Farkı (Birkisson ve Hole, 2007)



Şekil 7. Düşey derinlikte Anülüs Hızı (Birkisson ve Hole, 2007)



Şekil 8. Düşey derinlikte Sıvı Hacim Ayrımı (LVF) (Birkisson ve Hole, 2007)

Jeotermal kuyu programlarında, hava akışkanlı sondaja geleneksel yaklaşımlardan uzaklaşmayı gerektirir. Kuru havalı sondaj birçok sahada uygulanabilir olmasına rağmen burada üzerinde durulan sulu jeotermal sistemlerde havayla köpüğün kullanımındır.

Kenya'nın Olkaria sahasında açılan jeotermal kuyunun 30. metreleri civarında yüksek miktarda dolaşım kaybı olmuştur. Bu sebepten dolayı üretim muhafaza çarığının indirilebilmesinde 'stabil köpük' kullanılmıştır. Yaklaşık 550 metre derinlikte dolaşım sıvısının dönüşü sırasında formasyon suyu girişi ve buhar üretimi "buğu (mist) akışı" olmuştur. Kuyu 8,5 inç'lik çapla 2000 metre derinlikte tamamlanmıştır (Allen, 1980).

## 8. MALZEMELER

Standart donanıma ek olarak hava katkılı sondaj için gereken malzemeler şunlardır;

1. 30 kg/cm<sup>2</sup> basınçlı, 1 m<sup>3</sup>/sn debili kapasiteli hava kompresörü gereklidir normal sondaj için. Derinlerde, kısa zamanlı olarak 65 kg/cm<sup>2</sup> boşaltma basıncı sağlayabilmelidir (Allen, 1980). Daha yüksek basınçlar, tijler birbirine eklendikten sonra veya tekrar kuyuya yerleştirilirken kuyudaki suyu boşaltmak için gereklidir.

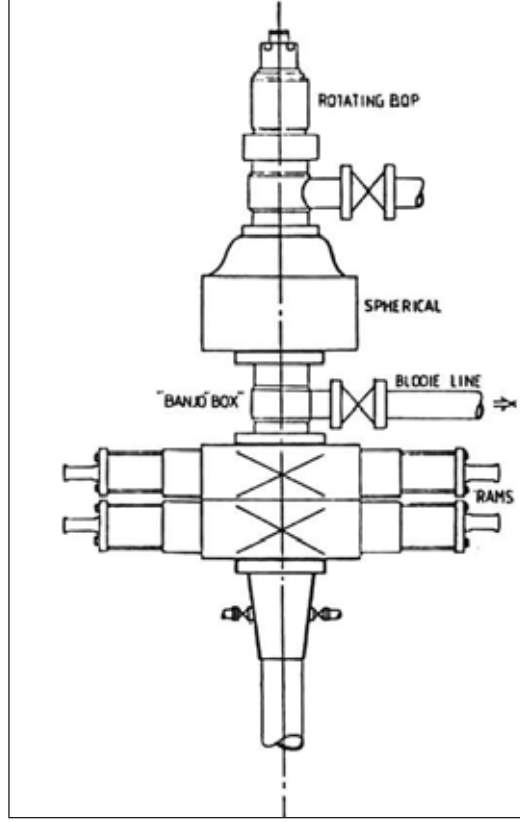
2. Su başlığından geçecek şekilde köpüğü hava yolundan pompalamak için yüksek basınçlı enjeksiyon parçaları gereklidir.

3. Kuyunun açılırkenki davranışını analiz etmek için hava akışı kayıt cihazı gereklidir.

4. Ekstra kuyu başı ekipmanları gereklidir.

Sondaj dizisinin etrafını sarmak ve hızlı akışkan dönüşünü yönlendirmek için kuyu başının en üst kısmında Rotating BOP gereklidir (Şekil 9). Gelen akışkanların tahliyesini sağlamak için orta seviye spool (banjo-box), BOP grubunun ortasına yerleştirilir.

Bütün kuyubaşı donanımları, kuyunun son derinliğine kadar yüksek sıcaklıklara (-/+150 °C) dayanıklı olmalıdır (Allen, 1980).



Şekil 9. Hava katkılı sondaj kuyu başı donanımları (Allen,1980)

5. 'fare deliği (mousehole)' sondaj dizisi bağlantıları için kolaylık sağlar. Bu bağlantı tijlerin birbirine hızla eklenmesi sonucunda köpük kolonlarının çökme olasılığını düşürür ve buna bağlı olarak dolaşım geri dönüşündeki gecikmeleri engeller.

Seçilen akışkan sistemine göre kullanılan malzemeler değişmesine rağmen genel olarak bütün sistemler şu malzemeleri içerir;

### 8.1. Ana Kompresör

2 grupta incelenebilir; pozitif yer değiştirmeli ve dinamik. Pozitif yer değiştirmeli tipi genel olarak havalı sondaj uygulamalarında kullanılır, kompakt ve taşınabilir. Bu tip kompresörlerin en önemli özelliği, herhangi bir basınç değişikliğinde makineye doğru yönlendirilen basıncın akışın hacimsel oranını önemli derecede değiştirebilmesidir. Tahliye sırasında yükselen basınç değerleri, nispeten sabit hacimsel çıktının üretimindeki giren gücün artırılmasıyla dengelenir. Böylece, değişken sondaj koşulları altında sabit koşullar sağlanır. Pozitif yer değişim birimleri pistonlu ve döner tip olarak alt başlıklara ayrılabilir. Sondaj uygulamalarında pozitif yer değiştirmeli tip kullanılmasına rağmen; teknolojik gelişmeler döner tiplerin daha kompakt fakat tahliye basıncı değişimine daha az duyarlı olmasını sağlamıştır. Bu durum onları yüksek yerlerde (çoğu jeotermal kuyunun bulunduğu yerler) kullanıldığında daha etkili kılmıştır. Ana kompresörler tipik olarak yaklaşık 25 bar'a kadar tahliye basıncına sahiptir.

## **8.2. Yükseltici (booster) Kompresör**

Yükselticiler, ana kompresörden tahliyeyi alıp daha yüksek basınçlı hava basan (200 bar'a kadar) pozitif yerdeğiştirmeli kompresörlerdir. Arazi yükselticilerinin genel olarak çıkış basıncı (ve sıcaklığı) sınırlıdır. Bu, giriş basıncı ve kullanmak için gerekli olan hacimsel akış oranına bağlıdır. Yükselticiye doğru olan hacimsel hava akış oranının verilen yükseltici basınç çıkışına göre yükselmesine rağmen yükseltici, beygir gücü kapasitesine ve çıkış basıncındaki yükselmeye bağlı olarak sınırlı hale gelir.

Ana ve yükseltici kompresörlerin ikisi de tahliyenin sıcaklığını düşürmek için kullanılan soğutma sonrası birimlerdir. Ana kompresörden gelen hava yükselticideki güç gereçlerinin soğutulması için soğutulmalıdır. Yükseltici tahliyesi ekipman hasarını önlemek için kule sabit hortumuna (standpipe) girmeden önce soğutulmalıdır. Ayrıca, ara soğutucular çok seviyelilerde seviyeler arası kullanılır.

## **8.3. Akışkan Enjeksiyon Pompaları**

Buğu (mist) veya köpüklü sondaj uygulamalarında, küçük üç pistonlu (triplex) pompalar suyu (ve köpük kimyasallarını) hava kaynağının içine kontrollü bir oranda enjekte etmek için kullanılır. Bu pompalar genellikle 300 lt/dk kapasiteye sahiptir (Özdemir, 2006) .

Piyasada birçok ürün vardır, fakat çoğu yüksek sıcaklıklarda verimsiz çalışmaktadır. Geri dönen köpük tekrar kullanmak için uygun olmadığından havalı akışkanların kullanımı genellikle 'tek kullanımlık' tır. Bu sebepten dolayı köpük tüketimi yüksektir ve çalışmanın ekonomisi ilerleme hızına çok bağlıdır. En çok kırıntı taşıyabilme kapasitesini sağlayabilmek için stabil köpüklerin toplam sıvı içeriği tipik hacim olarak %5'in altında olmalıdır (Allen, 1980).

Sıcak kuyulardaki hava-su-köpük karışımları sondaj ekipmanları için zor şartlar sunar ve köpüğe en az periyodik dozda uygun önleyici eklenmesine önem verilmelidir.

Kompresör ve yükseltici (booster) genellikle bağımsız dizel motorlu, kızağa monteli, sessizleştirilmiş ve yaklaşık 3 x 6 metre oturma alanına sahiptir. Bu ekipman Şekil 10'da gösterilmiştir.

## **8.4. Kule Ekipmanları**

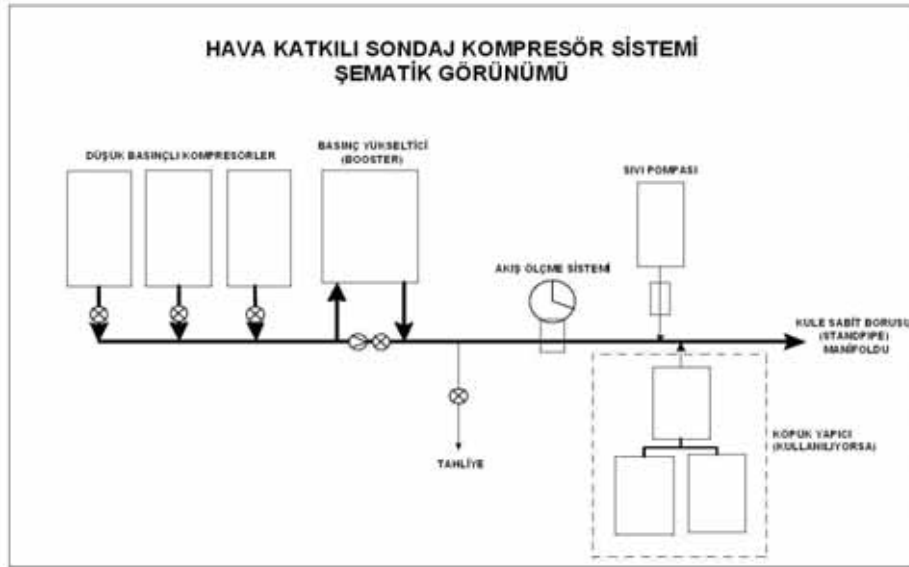
### **8.4.1 Kule Sabit Borusu (Standpipe) Manifoldu**

Kule veya hava tedarik hattından sıkıştırılmış havayı emme ve kırıntı taşıma (blooie) hattına göndermek ile görevlidir. Manifold, genellikle zemin seviyesinde konumlandırılmıştır. Bu konum, sondörlerin hava tedarik hattı ile kule sabit borusunun sevkiyat basıncını ayırmak amacıyla yapılan bağlantılar için en uygun konumdur (Özdemir, 2009). Şekil 11'de tipik bir hava katkılı sondaj manifoldu görülmektedir.

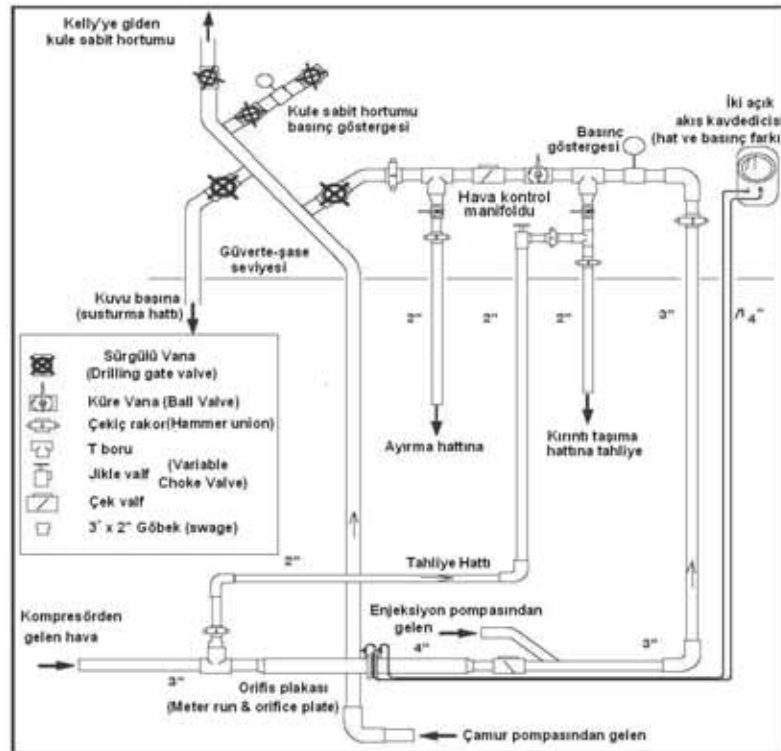
### **8.4.2. Döner Kafa (Rotating Head)**

BOP ünitesinin (kuyu fişırması önleme takımı) tepesinde yer alır ve kapama ünitesi içerir ki bu sondaj dizisiyle beraber döner ve anülüse keçe görevi görür. Bu keçe hava katkılı akışkanla kırıntıları 'boolie' hattı içinde ayırır. Kapama elemanlarının ömrünü uzatmak için sondaj sırasında 'rotating'e soğuk su verilir.





Şekil 10. Hava katkılı sondajda kullanılan hava sıkıştırma ekipmanlarının şematik görünümü (Birkisson ve Hole, 2007)



Şekil 11. Hava katkılı sondaj kule sabit hortumu manifoldu şematik gösterimi (Birkisson ve Hole, 2007)

### 8.4.3. Banjo Kutusu

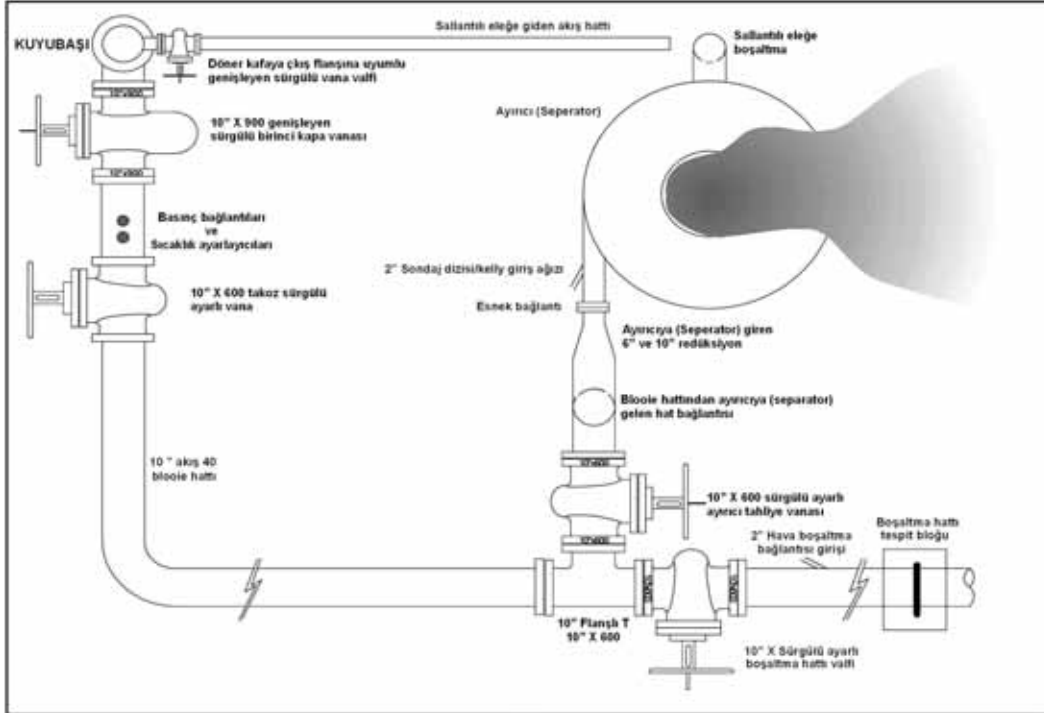
Tipik olarak BOP ünitesinde bulunan Ram girişinin üzerinde ve anüler BOP'un altında yer alan ağır duvarlı geri tepmenin ilk geldiği yerdir (t borusu). Banjo kutusunun kolları izole giriş valfleri bulunur ki bunlar BOP ünitesi değerine eşit basınç değerine sahiptir (API 3000). Basınç spool'u basınca sahiptir ve sıcaklık göstergeleriyle transducer (güç ayarlayıcı) izole valfin aşağı akış yönünde bulunmaktadır. Kısmı ve geri basınç valfine bağlıdır.

### 8.4.4. Blooie (Kıvrıtı Taşıma) Hattı

Havallı sondaj ayırıcısına akışı sağlayan veya çıkan akışı doğrudan sondaj çukuruna taşıyan hattır.

### 8.4.5. Havallı Sondaj Ayırıcısı

Siklon ayırıcısına teğet giriş yapar. Genellikle yükseltilmiş iskelet takoza monte edilir ve yer çekimi yönünde ayrılmış su ve kıvrıtların aşağı ağızdan eleğe akışını sağlar. Şekil 12'de tipik hava katkılı sondajın BOP ünitesi, blooie ve ayırıcısı gösterilmiştir.



Şekil 12. Hava katkılı sondaj kuyubaşı, blooie hattı ve ayırıcısı (separator) şematik gösterimi (Birkisson ve Hole, 2007)

## 8.5. Kuyudibi Ekipmanları

### 8.5.1. Float Valfler

Küçük çaplı dikme veya kanatlı tip valfler içerir. Bunlar, tij veya ağırlık borusunun içine yerleştirilir ve ters hava akışı için kontrol valfi görevi görür. Matkaba yakın olan bir adet float valf matkabin hemen üzerindedir. Takım ekleme (manevra) veya hava akışındaki

duraklama sırasında, kırıntıların takım içerisinde geri akışını engeller. Sıcak akışkanın ve buharın donanım içerisine doğru geri tepmesini engellemek ve hava katkılı karışımı üst float valfin altında tutarak, takım ekleme (manevra) zamanını kısaltmak için tijde birçok float valf kullanılır. Ayrıca, bu valfler tij ekleme yapıldıktan sonra gereken basıncı tekrar sağlamak için geçen süreyi de azaltır ve ekleme yapılırken matkap çevresindeki akışkan akışını sağlar.

### **8.5.2. Kuyudibi Parçaları**

Hava katkılı sondaj için genel olarak tij ve özel kuyudibi malzemeleri standart çamur ve su sondajı uygulamalarınıninkine aynıdır.

Çamurlu sondajlarda matkap sıvı püskürtme hızları ve akışkan kolon basınçlarındaki düşmelerin ilerleme hızı üzerindeki etkisi kontrol edilebilmektedir.

Keçeli ve/veya mil yataklı insert (tungsten karbit dişli) üç konili matkaplar jeotermal operasyonlar ve hava akışkanlı sondajlar için en iyi seçim olmaktadır.

Bahsedildiği gibi, hava akışkanlı sondajın maliyeti ilerleme oranıyla çok sıkı ilişkilidir. Herhangi bir belirli kuyuda, kuyu içerisindeki matkap üzerindeki uygun ağırlık/devir için drill off testleri önerilmektedir.

Çoğu geleneksel kuyudibi aleti, korozyonun söz konusu olduğu ve kuyudibi sıcaklığının rezervuar sıcaklığını kısa sürede ulaştığı kuyularda hava akışkanlı sondajlar için uygundur.

Buhar (mist) sondajı sırasında, yüksek annülüs hızı ve erozyon oldukça önemlidir. Sert bantlı ve düz tool jointli (manşonlu) tijlerin kullanılması önerilir. Muhafaza borusu dizisinin üst kısmındaki hasarı azaltmak için ince kaplama önerilir (tool jointlerin-manşonların koruyucuları genellikle yüksek sıcaklıklardaki operasyonlar için uygun değildir).

Dolaşımın olabildiğince kısa bir gecikmeyle geri kazanımını sağlamak için manevradan veya tij eklemeden sonra sondaj dizisinin orta noktasında 'jet' sub (manşon) bulundurmaya önemlidir. Bu sub, bu noktadan geri dönen akışı engeller, matkap üst kısmından yük boşaltılması gereksinimlerini azaltır. Bu sub, yukarı doğru sivrilmiş küçük çaplı jet içerir ki bu normal olarak kuyu duvarını oymaması için muhafaza borusu çarığının üzerine yerleştirilir.

### **8.5.3. Matkaplar**

Hava katkılı sondaj için özel matkaplar gerekmemektedir. Fakat, yüksek kuyudibi sıcaklıkları matkabın ömrünü genellikle kısaltmaktadır. Yapılacak özel koruma yöntemi, soğutmaya yardımcı olmak için kuyuya yeni matkap indirilirken kuyu içindeki periyodik akışkan dolaşımını sağlamaktır.

Son yıllarda, özel PDC matkapların sıcak kuyu koşullarındaki başarısı kanıtlanmıştır. Yüksek kuyudibi sıcaklıkları yataksız veya elastomerik keçeli yataklı PDC matkapları etkilememektedir.

### **8.5.4. Jet Manşonlar (Subs)**

Kuyu boşaltımına yardım için 1980'lerden 1990'ların başlarına kadar çoğunlukla jet manşonlar kullanılıyordu. Kuyu boşaltma, kuyu içindeki hava katkılı akışkanın hava katkısız olanla yer değiştirmesi, akışkanın yüzeye gelmesini ve sabit bir dolaşımı sağlamaktır. Özellikle düşük statik su seviyesi kaynaklarında bu boşaltım işlemi zaman kaybıdır. Jet manşon (sub) tipik olarak takım içerisine ve üretim muhafazası çarığından yukarı konur. Kısmen az bir hacimde sıkıştırılmış hava jet sub'ın içinden anülüse doğru yollar. Kuyu içinde statik su seviyesine kadar akışkana hava katılmasına, akışkanın soğuk kaplamasının kaldırılmasına ve boşaltma sürecine yardımcı olur.

## **9. MUHAFAZA BORUSU ÇİMENTOLAMA**

Havalı akışkanlı sondajın en önemli avantajı, sondajın muhafaza borusu derinliğine çabuk ulaşabilmesidir. Dolaşım kaybı problemi herhangi bir yaklaşımın kabul edildiği çimentolamanın yapılamamasına sebep olmaz (çamur veya havalı sondaj yapılsa bile). Hangi yöntemin seçileceği jeotermal saha özelliklerini bağlıdır.

## **10. REZERVUAR DEĞERLENDİRMESİ**

Sondaj son derinliklere yaklaştığında akışkan akışı ayarlanır. Böylece kuyuda kısmen tahliye meydana gelir. Bu durum, kuyudaki üretim bölgelerini tanımlamak için önemli bir yardımcıdır. Geri dönen akışın ani sıcaklık yükselmesiyle buharın veya sıcak suyun kaynağını kesmenin önemi anlaşılır. Kuyu artan oranlardaki akışa izin verebilir. Kuyunun derinleştirilmesine rağmen veya dolaşım akışkanındaki su enjeksiyon oranının artırılmasıyla kontrol altına alınabilir. Başka bir yol da, yüzeydeki ölçümlerin kuyudaki durumuyla ilişkilendirilmesi ve gözlenmesidir. Açıkça bu teknik, üretim formasyonunun dengesi (stabilitesi) hakkında ön bilgi gerektirir.

## **11. ÇEVRESEL ETKİLER**

Var olan etkilere artı olarak 2 farklı etkiden daha söz edebiliriz.

### **11.1. Gürültü**

Büyük kompresör ve yükseltici (booster) üniteleri belirgin bir gürültü yaratırlar. Bunların beraber çalıştığı büyük soğutma fanları birincil gürültü kaynaklarıdır. Fakat şimdilerde bu üniteler gürültü emisyon standartları çerçevesinde çalışmaktadır.

### **11.2 Sondaj Sıvısı ve Kırıntı Dönüşü**

Hava katkılı sondaj bütün sondaj sıvısı ve kırıntıların yüzeye geri dönmelerini sağlar. Fakat, sondaj kuyuda geçirgen bir bölüme denk geldiyse üretim sondajı su ile kör olarak yapılır ve sondaj sıvısı veya kırıntı yüzeye gelmez. Hava katkılı sondajda çok miktarda kırıntı sondaj havuzunda birikir.

Yüzey aktif kimyasal veya köpük, su ile havanın birbirinden ayrışmasını önlemek için dolaşım suyuna eklenir. Bu eklenti, çamur tankı ve dinlendirme kuyusunda hissedilir miktarda köpük birikmesini sağlar. Köpük çirkin olmasına rağmen tamamen zararsız ve toprak tarafından emilebilen bir maddedir.

## **12. MALİYET**

Havalı akışkanlı sondaj yüksek dolaşım kaçağı problemlerini ortadan kaldırır. İlerleme çamurlu sondajdakinden daha hızlıdır. Fakat, köpük sadece 'tek kullanımlık' tır. Çamurlu sondajda, çamur tekrar tekrar dolaşım sıvısı olarak kullanılabilir.

Hava akışkanlı sondaj kuyusu, kuyudaki aletleri için aşındırıcı bir ortam oluşturur. Fakat, kuyu tabanı şartları yüzey gözlemlerinden kestirilebilir.

Ekonomik koşullar, özgül saha şartlarının farkına varılmasıyla ilintilidir. Her şeye rağmen jeotermal kuyuların hava akışkanlı yöntemlerle delinmesi hızlı, tatmin edici ve tamamen pratik bir operasyondur.

Sondaj uygulamasının maliyeti, anlaşmaya ve alanın risk durumuna bağlıdır. Maliyet analizi için en kesin durum, anlaşılmalı yapının standart birim zamana oranıdır ki orda mal

sahibi bütün uygulama riskini üstlenir. En yaygın yöntem budur. Bir jeotermal kuyuda hava katkılı sondaj maliyeti toplam maliyetin %6'sı civarındadır (Birkisson and Hole, 2007).

Bir örnek olarak, New Zealand Geothermal sahasında 38 günde açılan 2600 m derinliğindeki güncel bir kuyunun maliyetlerini incelersek. 980 metre derinliğe kadar 9 5/8 inç üretim muhafaza borusu indirilmiştir. Üretim zonu, 8 ½ inç çaplı matkap ve hava katkılı akışkanlarla delinmiştir. Bu kuyunun toplam maliyeti 3 261 182 \$'dır. Hava katkılı sondaj hizmetlerinin bedeli (yakıt dahil), toplam maliyetin % 5,49 (178 964 \$)'udur (Birkisson and Hole, 2007). Çizelge 4 ve Çizelge 5'de kuyu maliyetinin detayları verilmiştir.

**Çizelge 4.** Bir jeotermal kuyunun tipik maliyet kalemleri (Birkisson and Hole, 2007)

<b>Maliyet Tanımı</b>	<b>Maliyet %'si</b>
<b>Sondaj Alanı Hazırlama Maliyetleri</b>	<b>8.23</b>
<b>Donanım Kurma ve Kaldırma</b>	<b>8.48</b>
<b>MALZEMELER</b>	<b>0.00</b>
Muhafaza Boruları	7.51
Muhafaza Borusu Aksesuarları	1.16
Kuyubaşı Ekipmanları	1.12
Sondaj Çamuru Ekipmanları	1
Matkaplar	3.36
Bağlantı Bileşenleri	0.03
Çimentolama Malzemeleri	3.23
Yakıt (hava katkılı akışkan yakıtı hariç) **	4.48
<b>Sondaj Hizmetleri Müteahhiti</b>	<b>24.53</b>
<b>Döner Kafa (Rotating Head)</b>	<b>3.46</b>
<b>Çimentolama Hizmetleri</b>	<b>2.94</b>
<b>Yönlü Sondaj Hizmetleri</b>	<b>2.37</b>
<b>Çamur Log Hizmetleri</b>	<b>1.89</b>
<b>Çamur Mühendisliği Hizmetleri</b>	<b>0.83</b>
<b>Hava Katkılı Sondaj Hizmetleri (Yakıt dahil)</b>	<b>5.49</b>
<b>Sondaj Ekipman Kiralamaları</b>	<b>1.67</b>
<b>Muhtelif Hizmetler</b>	<b>3.07</b>
<b>Tij ve Ağırlık Boruları Muayeneleri ve Onarımları</b>	<b>2.24</b>
<b>Jeotermal Danışmanlık Hizmetleri</b>	<b>3.60</b>
<b>Kuyu Ölçümleri</b>	<b>1.91</b>
<b>Yönetim</b>	<b>7.38</b>
<b>TOPLAM SONDAJ MALİYETİ</b>	<b>100</b>

\* Yakıt maliyeti, özellikle Türkiye gibi yakıtın yüksek vergili olduğu ülkelerde bu kadar düşük değildir (yazarların notu)

**Çizelge 5.** Hava katkılı sondaj hizmetlerinin tipik maliyet kalemleri (Birkisson ve Hole, 2007)

<b>Maliyet Tanımı</b>	<b>Miktar</b>	<b>Maliyet %'si</b>
Mobilizasyon	1	3
Demobilizasyon	1	3
Sondaj Alanı içi Taşıma	1	2
Ekipman Durma Maliyeti	41	32
Ekipman Çalışma Maliyeti	13	20
Personel İşçilik Maliyeti	33	14
Personel Yol Masrafları	1	2
Personel Taşıma Masrafları	2	0
Seyahat İzinleri	3	0
Muhtelif Giderler	1	3
Kauçuk Malzemeler (Stripper Rubbers)	3	2
Köpük Yapıcı	3	1
Hava Sağlayan Ekipmanların Yakıtı	53250	19
<b>TOPLAM</b>		<b>100</b>

### 13. SONUÇ

Jeotermal sondajlarda, sondaj sıvısının dolaşım yapması önemlidir. Bu konu, kuyuda dolaşan sondaj çamurunun kuyuya formasyondan girebilecek basınçlı akışkanların hidrostatik basınçla kontrol altında tutulması için önemlidir. Jeotermal sondajda havalı akışkanlar, sondaj sıvısı ve sondaj kesintilerinin geçirimli formasyonlar delinirken tam olarak dolaşımını sağlar. Özellikle, takım sıkışma ve formasyon hasarı riskini azaltır.

Hava katkılı sondaj uygulamasında öncelikli amaç, sondaj sıvısı dolaşımını sağlamak ve buna bağlı olarak sondaj süresince kuyudaki kırıntıları temizlemektir. Önceleri bu teknik, sadece küçük çaplı üretim kuyularında uygulanmıştır. Fakat, üretim bölgesinin üstündeki formasyonun geçirgenliğinin yoğun olduğu bazı sahalarda tıkama (kaçak önleme) ve sondaja devam edebilmek için önemli derece de zaman kaybı olmaktadır. Hava katkılı sondaj bu tür sahalarda başarısını ispatlamıştır.

Belki de hava katkılı sondajın en önemli yanı kuyunun üretkenliğine olan etkisidir. Kırıntıların geçirgen bölgeye doğru itilmesi yerine yüzeye getirilmesi tıkama potansiyelini azaltır ve kuyu duvarına yakın olan geçirgen kısımları tıkar. Bu etki, kuyu duvarı veya yüzey hasarı olarak bilinir. Nispeten küçük bir miktar formasyon kırıntısının akışa katılması kuyunun üretiminde gözle görülür etkiler yaratır.

Hava katkılı sondajlarda bütün dolaşım sıvısının geri dönmesi ve kırıntıların toplanmasıyla kuyu duvarı hasarı sulu kör sondajdan daha azdır. Buna bağlı olarak daha üretken kuyular elde edilir. Ayrıca, hava katkılı sondajlar bentonit çamuruyla yapılanlardan daha verimlidir.

Sulu kör kuyularda kuyu tamamlamadan sonra kuyu ısınma sürecine girer. Rezervuara kaçan büyük hacimdeki suyun ısınması uzun süre alır. Sondaj sıvısına hava katmak formasyona akışkan kaçığını ve kuyu çevresindeki rezervuarın soğumasını sınırlandırır. Hava katkılı sondajlarda kuyunun toparlanması daha hızlıdır.

Havalı katkılı sondaj tekniklerinin ülkemizin jeotermal sahalarda açılacak üretim kuyularında kullanılması önemli faydalar sağlayacaktır.

### **TEŞEKKÜR**

Yazarlar, bu bildiri metnini incelemek ve öneri yazmak için değerli zamanlarını ayıran ve bildirin son şeklini almasında katkıları olan hakem/hakemlere teşekkür etmeyi borç bilmektedirler.

### **KAYNAKLAR**

- Allen, M.D.,1980. The use of aerated fluids in the drilling of geothermal production wells, New Zealand Geothermal Workshop, 127-131
- Birkisson, S. and Hole, H., 2007. Aerated fluids for drilling of geothermal wells. Proceeding European Geothermal Congress, pp. 1-9
- Özdemir, A., 2006. Jeotermal kuyularda havalı sondaj tekniğinin kullanımı. Jeotermal Enerji ve Yasal Düzenlemeler Sempozyumu, Ankara, 12-15 Ekim 2006, Bildiriler Kitabı, 5-16
- Özdemir, A., 2009. Sondaj Tekniğine Giriş. 2.Baskı. Mattek Matbaası, 73 s.





## Jeotermal Sondajlarda Makina ve Pompa Seçimi

Bülent TOKA<sup>1</sup>, M. Evren ÖZBAYOĞLU<sup>2</sup>

<sup>1</sup>MTA Genel Müdürlüğü, Sondaj Dairesi, ANKARA

<sup>2</sup>The University of Tulsa

### ÖZ

13.06.2007 tarihli 5686 sayılı “Jeotermal Kaynaklar ve Doğal Mineralli Sular Kanunu”nun yürürlüğe girmesiyle ülkemizde jeotermal araştırmalarına yönelik sondaj çalışmaları hız kazanmıştır. Bu kanundan önce jeotermal sondajlar genellikle Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü tarafından yapılırken son yıllarda birçok özel sondaj firması da jeotermal araştırma, üretim ve reenjeksiyon sondajları yapmaya başlamıştır.

Jeotermal kanununa bağlı olarak bir uygulama yönetmeliği çıkartılmış fakat sondaj tekniğine yönelik bir yönetmelik çıkartılmamıştır. Sondaja yönelik bir yönetmeliğin olmaması yeterli makine ve pompa gücene sahip olmayan firmaların yaptığı sondajlarda problemlerin ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Özellikle jeotermal sondajların çok karmaşık doğası (örneğin yüksek sıcak ve basınçlı akışkanın kontrolsüz akışı) çalışanlar açısından can güvenliği riski olduğu gibi jeotermal sistemin bozulmasına ve çevresel felaketlere de neden olabilmektedir. Bu yüzden yapılacak sondajın derinliğine ve çapına bağlı olarak uygun güçte sondaj makinası ve pompa seçimi çalışanların iş güvenliği, jeotermal sistemin korunması ve işin ekonomik olarak yapılabilmesi açısından önem taşımaktadır. Bu çalışmada, jeotermal sektörüne yeni giren firmalara ve kanunların yürütülmesinde görevli olan kamu personeline, jeotermal sondajlarda kullanılacak makinanın motor ve pompa gücünün hesaplanmasına yönelik bilgi verilmiştir.

### 1. GİRİŞ

Bugünkü enerji fiyatları, iklim değişiklikleri ve fosil yakıtların rezervlerinin iyimser tahminleri enerji kaynaklarına yönelik arama çalışmalarını artırmıştır. Global enerji ihtiyacı, petrol, doğal gaz ve kömür gibi rezervleri sınırlı fosil yakıtlar ile birlikte yenilenebilir enerji kaynakları arasında gösterilen jeotermal enerjinin aranmasına yönelik sondaj çalışmalarını da hızlandırmıştır. Enerji fiyatlarının yükselmesi birçok şirketin enerji sektörüne girmesine neden olmuş ve dolayısıyla arama faaliyetleri arttığından sondaj makinalarına olan talebi de artırmıştır.

Ülkemizde 1960'lı yılların başlarında başlayan jeotermal sondajlar uzun yıllar MTA Genel Müdürlüğü tarafından gerçekleştirilmiştir. Fakat son yıllarda artan sondaj çalışmaları nedeniyle özel sektör de jeotermal sondajlara başlamıştır. Jeotermal sondajlarda yüksek sıcaklık ve basıncın yanında sık sık kuyu problemleriyle de (takım sıkışması, kuyu yıkıntısı

gibi) karşılaşılması zaman zaman bu sektöre yeni giren sondaj firmalarını zora sokmaktadır. Bu nedenle sondaj yapacak firmaların jeotermal sondajlarda yeterli deneyime sahip ve eğitim almış personelin yanında kuyu derinliği ve çapına uygun olan makine ve pompa gücüne sahip sondaj makinalarına ihtiyacı vardır.

13.06.2007 kanunlaşan 5686 sayılı “Jeotermal Kaynaklar ve Doğal Mineralli Sular Kanunu”na göre jeotermal enerjinin araştırılması, kullanılması, rezervuardan akışkan üretiminin kontrol altına alınması İl Özel İdareleri’nin sorumluluğu altındadır. Fakat jeotermal sondaja yönelik bir yönetmelik yoktur. Sondajlarda iş sağlığı ve güvenliği yanında jeotermal sistemin korunması için iki güce ihtiyaç vardır; eğitilmiş personel ve makine gücü. Bu nedenle İl Özel İdareleri jeotermal sahalarda çıkabilecek problemleri önlemek amacıyla, eğitilmiş personeli ve yeterli makine ve pompa gücüne sahip olmayan sondaj firmalarına kuyu açma ruhsatı vermemelidir.

Bu çalışmada bu sektöre yeni girmekte olan sondaj firmalarına ve arama ve işletme ruhsatlarını veren kamu yetkililerine yardımcı olmak amacıyla makine ve pompa gücünün belirlenmesinde kullanılan hesaplamalar verilmiştir.

## 2. SONDAJ MAKİNA VE POMPA SEÇİMİ

Jeotermal sondajların başarı ile tamamlanmasında iki güç önemlidir; eğitilmiş insan gücü ve sondaj donanımıdır. Eğitilmiş insan gücü sondaj mühendisleri ile kule personelinin kapsamaktadır. Sondaj mühendisleri, optimum sondaj koşullarını belirlemek, sondaj makinasını seçmek, çamur, çimento, hidrolik, matkap, takım dizisi ve kuyu kontrolü programlarını belirlemekle görevlidir. Sondaj başladıktan sonra günlük işler ikinci grup tarafından takip edilmektedir. Sondajın zor sondaj koşullarında başarılı olarak tamamlanabilmesinde makara sisteminin, güç motorlarının, dinamik kule çekme yükünün ve sondaj pompa gücünün önemi büyüktür.

Jeotermal sondajlar petrol sondajlarına benzer özellikler taşıdığından petrol sondajlarında kullanılan döner masalı (rotary) makinalar bu sektörde de kullanılmaktadır. Fakat jeotermal sondajlarda kuyu çaplarının ve dolayısıyla üretim borusu (casing) çaplarının büyük olması ve yüksek sıcaklık jeotermal sondajların petrol ve doğal gaz sondajlarına göre daha maliyetli ve teknik olarak da daha güç olmasına neden olmaktadır. Özellikle yüksek sıcaklık, tij ve muhafaza borusu gibi kuyu içinde kullanılan ekipmanlarda ekstra gerilim oluşmasına ve çamurun reolojik özelliklerinin sürekli olarak değişmesine neden olmaktadır. Bunların dışında petrol ve doğal gaz sondajlarında uygulanan tüm operasyonlar jeotermal sondajlarda da uygulanmaktadır.

Jeotermal sondajların derinliği jeotermal sistemlere (örnek hidrotermal veya kızgın kuru kaya sistemleri) göre değişmektedir. Hidrotermal sistemlerde sondajlar 4000 metre derinliğe kadar açılırken, kızgın kuru kaya sistemlerinde 5000 metreden daha fazla derinliklere inen sondajlar yapılmaktadır. Bugün denizde ve karada ultra yüksek sıcaklık ve basınca sahip sahalarda 10.000-12.000 metre derinliğe (Prebensen, 2009) kadar petrol ve doğal gaz sondajları yapılabilmektedir.

Genelde sondaj maliyetleri ve iş güvenliği sondaj makine seçiminin ana belirleyicisidir. Düşük sondaj maliyeti ve daha güvenli çalışmalar sondaj teknolojisindeki teknik yeniliklerle, ekipmanlarla ve uygulamalarla gerçekleştirilebilir. Araştırma yapılan derinlik artınca sondaj

teknolojileri de gelişmektedir. Gelişmiş sondaj teknolojisi ve ekipmanlar verimliliği artırırken maliyetleri de azaltmaktadır. Bu nedenle çoğu firma otomatik sondaj makinası üretimi ile jeotermal sondajlar için gerekli teknik gereksinimleri karşılayacak makine üretmektedir. Sondaj makinası seçiminde göz önüne alınacak ana unsurlardan bazıları aşağıdaki gibi sıralayabiliriz. Sondajlarının maksimum derinliği ve kuyu dizaynı için gerekli muhafaza borularının çapı,

- (I) Sondajın düşük maliyetli olması,
- (II) Sondaj makinaları için gerekli olan alanın küçük olması ve makine yerleşiminin esnek olması.
- (III) İşçi güvenliği sağlayan (ve işçilik masraflarını azaltan) yarı otomatik veya otomatik makinaların tercih edilmesi
- (IV) Çevresel faktörler (buzul ve çöl ortamları gibi)
- (V) Elektrikli sistemler
- (VI) Ses yalıtım sistemi
- (VII) Sondaj akışkanı tipi

Jeotermal arama, üretim ve reenjeksiyon sondajlarında genellikle döner masalı makine sistemleri tercih edilmektedir. Bu tip makinelerde delme işlemi, dizel motorundan alınan hareketinin döner masa vasıtasıyla takım dizisine iletilmesiyle gerçekleştirilmektedir.

Ülkemizde derin rotari tip sondaj makinaları seri üretimini gerçekleştiren firma yoktur. Bu makinalar yurtdışından ithal edilmektedir. Amerika, İtalya, Romanya ve Çin'de bu makinaların üretimini yapan firmalar bulunmaktadır. Derinliğe bağlı olarak üretilen bu makinalar isteğe bağlı olarak dizayn edilmektedirler.

Bu firmaların ürettikleri makinalar incelendiğinde 3000-4000 mt'ye kadar mobil 4000 metrenin üzerinde ise mobil olamayan (land rig) sondaj makineleri ürettiği görülmektedir. 4000 mt'nin altında sondaj yapabilen mobil makinalar sürücü kabinli ve treyler (çekilen) tip olarak ikiye ayrılmaktadır.

3000 metrenin üzerindeki mobil olan veya olmayan sondaj makinalarında ise sondaj operasyonunu ve çalışma koşullarını kolaylaştıracak, sondajda karşılaşılabilecek sorunları daha aza indirecek mekanizmalar ön plana çıkmaktadır. Bu tür makinalar yarı veya tam otomatik olarak çalıştığından sondajda gereksinim duyulan personel sayısı en aza inmektedir. Bu tip makinelerde elektrikli veya hidrolik sistemler de kullanılmaktadır.

3000 metrenin üzerinde sondaj yapan makinalarda özellikle top-drive (üstten hareketli) sistemler (TDS) tercih edilmektedir. Kelly ve kelly bushing yerine kullanılan TDS sondaj dizisini döndürmek için gerekli olan tork ve dönme hareketini tijlere ileten bir sistemdir. Takım çekilirken veya kuyuya indirilirken kule boyunca dönme hareketini sağlamaktadır. Ayrıca konvensiyonel sondaj makinalarında takım dizisine hareket veren kelly'ye ihtiyaç duyulmadığından 2 veya 3 tij ile manevra yapabilmeye veya ilerleme özelliğine sahiptir. Bu durum özellikle yıkıntı ve şişme özelliğine sahip formasyonların delinmesinde (örneğin, şeyl ve karsitik boşluklu kireçtaşlarında) veya yatay ve yönlü sondajlarda zaman kazanımı konusunda avantaj sağlamaktadır. Fakat bu tip makinalarda hidrolik ve elektronik aksamın

fazla olması nedeniyle arıza anında kuyu başında iyi eğitilmiş mühendis ve teknikerlere ihtiyaç vardır. Top-drive'ların hareketi hidrolik ve elektrik motorları vasıtasıyla karşılanmaktadır. 1968 yıllarından beri olarak kullanılmakta olan hidrolik sistemlerin yerine son yıllarda daha çok elektrikli top-drive sistemleri tercih edilmektedir. Elektrikli sistemlerde önce DC (düz akım) sistemler ve daha sonra AC (alternatif akım) sistemler kullanılmaya başlanmıştır. AC sistemler DC sistemlere göre daha iyi güç, tork ve hız kontrolüne sahiptirler (Greenberg, 2007).

Otomatik sondaj makinalarda kullanılan diğer bir sistem ise Pipe Handling Sistem (PDS)'dir. Pipe Handling sistemler (boru tutucu sistemler) otomatik olup kuleciye gereksinimi yoktur. Bu sistemde yatay olarak depolanan tijler zeminden yukarıda bulunan platform üzerindeki parmaklı raflar arasına alınmakta ve buradan takım dizisine eklenmektedir. PHS sondör barakasından kontrol edildiğinden çevresinde tehlike altında çalışan personel yoktur. Bazı makinaların dizaynında iki adet tij birlikte kullanıldığından sondaj sırasında manevra ve ilerleme hızları artmaktadır.

Bu makinalarda kullanılan diğer bir sistem ise Iron Rougneck'dir. Iron Rougneck tijleri açmak ve birbirine bağlamak için kullanılır. Tijlerin bağlanmasında ve açılmasında işçi gücüne gerek duyulmadığından maksimum verim elde edilir.

Bugünlerde kullanılan ileri otomatik sondaj sistemleriyle sondaj parametrelerini (matkap üzerine verilen yük, ilerleme hızı, tork ve basınç farklılıklarını) sürekli ve eşzamanlı olarak gözlenebilmektedir. Bu sistemle yapılan 7 aylık bir saha çalışmasında diğer konvansiyel otomatik sistemlere göre ilerleme hızında %30'dan daha fazla bir artış ve kullanılan matkap sayısında ise %7 bir azalma sağlandığı görülmüştür (Hesieh, 2009).

Sondaj makine ve ekipmanları dört ana kısımda inceleyebiliriz; (i) sondaj platformu, kule sistemi ve güç ünitesi (ii) pompalar ve sondaj akışkanı sistemi (iii) takım dizisi (iv) yardımcı ekipmanlar (kuyu başı ekipmanları, muhafaza boruları, aydınlatma gibi).

## **2.1 Sondaj Platformu, Kule Sistemi ve Güç ünitesi**

Mobil olan sondaj makinalarında sondaj platformu, kule sistemi ve güç ünitesi treyler üzerine yerleştirilmiştir. Mobil olmayan sondaj makinalarında ise her bir ünite çelik şaseler üzerine yerleştirilerek birleştirilmektedir.

Sondaj platformu rotari masası, sondör kontrol kabini ve sondaj veri toplama ve gözlem sistemlerini içermektedir. Rotari masası ile ilgili standartlar API Spec 7K da verilmiştir.

Kule sistemi drawworks, makara sistemi (taç makara, hareketli makara), kanca, swivels ve elavator, halat ve platformdan oluşmaktadır. Bu ekipmanlarla ilgili standartlar API Spec 4F ve API Spec 8C'de verilmiştir. Kule sisteminin en önemli özelliği sondaj dizisini ve diğer ekipmanları (muhafaza boruları, kuyu içi test aletleri gibi) kuyu içerisine ve dışına almaktır. Sondaj ekipmanların (takım dizisi, muhafaza boruları) kuyu içerisine indirilmesini ve çıkarılmasını ve takım dizisindeki borularının birbirinden ayrılmasını (sökülmesini) sağlayan draw-works (hareketli tanbur) sondajın ana unsurudur. Drawworks seçiminde manevra zamanı, sistemin ağırlığı ve karmaşıklığı, operasyon riski, enerji kullanımı gibi faktörler göz önüne alınmalıdır. Binder (2007), hidrolik silindirli Drawworks'ların iyi bir seçim olduğunu belirtmiştir.

Makara sistemi, bir sondaj kulesinde dizinin yukarı ve aşağı manevrası, muhafaza

borusu indirilmesi, sondaj esnasında matkaba uygulanan ağırlığın ayarlanması sonucunda dizinin kısmen askıya alınması gibi işlevlerin yerine getirilmesini sağlayan palanga sistemidir. Basit makina prensibinden yararlanılarak, halat geriliminin kendi başına yeterli olamayacağı ve kaldırmayacağı ağırlıkların, hareketli makara yardımıyla taşınabilmesi sağlanır. Ayrıca, makara sisteminin bağlandığı ve ağırlığı kaldırabilecek dayanımda bir kule, makarada kullanılan halatın bağlandığı ve yükü çekebilecek bir tanbur – fren sistemi, ayrıca yedek halatın sarıldığı bir depo tanbur da makara sistemini oluşturan diğer parçalardır. Kulenin üst noktasındaki sabit makaraya taç makara adı verilir. Yük, hareketli makara üzerinde bulunan kancaya asılır. Sistemde hem mekanik, hem hidrolik en az iki adet fren mevcuttur.

Güç ünitesi olarak dizel motorlar kullanılmaktadır. Gerekli motor gücü takım dizisini taşıyan drawworks un gücüne göre belirlenmektedir.

## 2.2 Sondaj Akışkanı Sistemi

Sondaj akışkanı sistemi pompalar, tanklar, soğutma kulesi ve çamur temizleyicilerden (elekler, desander, desilter gibi) oluşmaktadır. Ana görevi matkabın kestiği kırıntıları yüzeye taşımak ve kuyu içerisindeki hidrostatik dengeyi sağlamak olan çamur sistemi sondajın kalbini oluşturur. Jeotermal sondajlarda makine gücünün seçimi yanında yüksek basınç ve sıcaklığa sahip akışkanı kontrol altında tutmak için pompanın yeterli güce sahip olması gereklidir. Sondaj maliyeti içerisinde enerji tüketimi oranı %10-30'dur ve enerjinin %80'i pompalar da harcanır (Binder, 2007).

## 2.3 Takım Dizisi

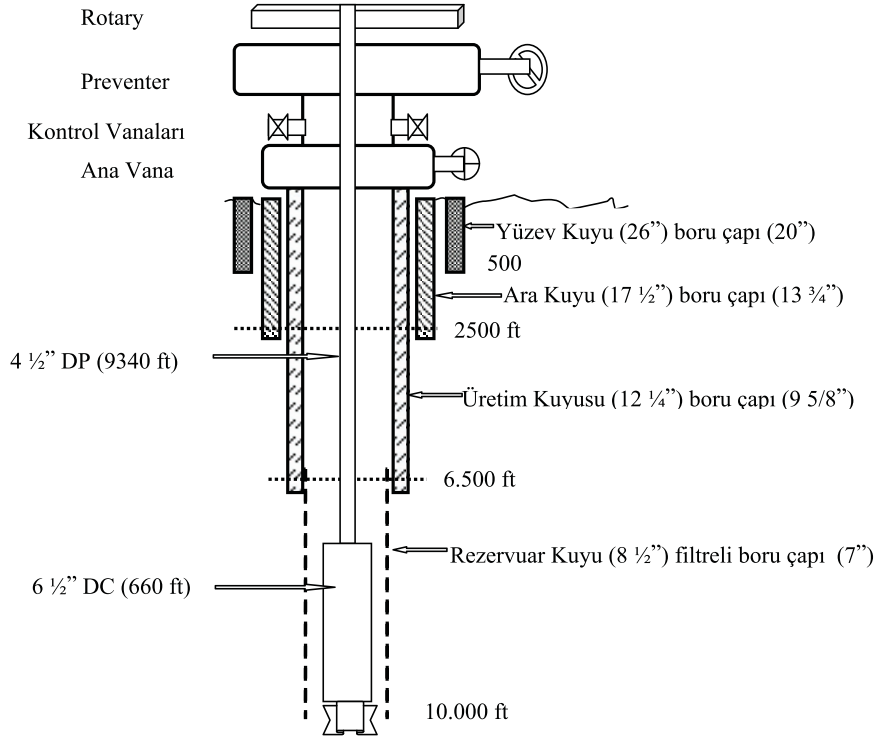
Takım dizisi tijler (Drill pipe), ağırlık boruları (Drill Collar), matkap ve kuyu stabilizasyon ekipmanlarından oluşur. Takım dizisi açılacak kuyunun çapına uygun olarak seçilir. Genellikle ülkemizde açılan kuyu dizaynına örnek Şekil 1'de gösterilmiştir. 12 ¼" matkap ve daha büyük çaptaki matkaplarda 8" DC kullanılırken, 8 ½" matkapların üzerinde ise 6 ¼" veya 6 ½" çapında DC'ler kullanılmaktadır. DC'lerin uzunluğu matkaba verilecek yüke göre seçilmektedir. Matkaba verilecek yükün DP lerin üzerine nötr nokta oluşturmaması için matkaba verilecek yük çamur içindeki DC ağırlığının %85'ni geçmemelidir.

## 2.4 Yardımcı Ekipmanlar

Yardımcı ekipmanlar, kuyu başı ekipmanları, muhafaza boruları, aydınlatma gibi sondaj operasyonları için gerekli olan ekipmanları oluşturmaktadır.

Muhafaza boruları açılacak kuyunun derinliğine uygun olarak dizayn edilmektedir. Ülkemizdeki jeotermal sondajlarda genellikle üretim borusu çapı 9 5/8" olmakta ve kuyu derinliğinin yaklaşık 2/3'sine (formasyona göre değişiklik gösterebilmektedir) bu muhafaza boruları indirilerek boru arkası çimentolanmaktadır. Bu borunun altı rezervuar olarak düşünülmekte ve 8 ½" matkap ile delinmektedir (Şekil 1). Rezervuar kısmı formasyonun özelliğine (sağlam veya yıkıntılı) göre ya çıplak olarak bırakılmakta veya 7" delikli muhafaza boruları üretim borusunun alt kısmından (7" lik boruların üst kısmı üretim borusu içinde kalacak şekilde) itibaren kuyu tabanına asılı (liner) olarak bırakılmaktadır.

Bu makalede diğer sondaj ekipmanlarının seçimi ile ilgili bilgi verilmemiştir.



Şekil 1 Örnek Jeotermal Kuyu Dizayını

### 3. HESAPLAMALAR

10.000 ft derinlikte bir sondaj makinası seçimimde; gerekli takım dizisi, kanca yükü, kule çekme kapasitesi, drawworks gücü ve pompa gücünün hesabını aşağıda verilen örnek kuyuya göre yaparsak;

#### ÖRNEK 1

##### Kuyu Programı

Kuyu derinliği (L): 10000 ft (3048 m)

Son derinlikteki matkap Çapı (Dh): 8 1/2"

DC özellikleri: dış ve iç çap; 6 1/2" OD/2 1/2" ID, ağırlık (Wdc): 96 lb/ft

DP özellikleri: dış ve iç çap; 4 1/2" OD/3.826" ID, ağırlık Wdp: 16.60 lb/ft

9 5/8" muhafaza borusunun özellikleri: K-55 kalite ve 40 lb/ft

9 5/8" muhafaza borularının indirileceği derinlik: 6500 ft (1981 m)

12 1/4" kuyuda Çamur Ağırlığı (ρ): 10 ppg=1.20 gr/cm<sup>3</sup>

8 1/2" kuyuda Çamur Ağırlığı (ρ): 13 ppg =1.60 gr/cm<sup>3</sup>

## A-SONDAJ MAKİNASININ SEÇİMİ

### A-1 Matkap üzerine verilecek azami yükün hesabı

10000 ft derinlikte temel kayacının sert özellikte olduğunu ve matkap üzerine verilecek yükün ortalama 5000 lb/inç olduğunu farzederek;

Matkap üzerine verilecek yük (WOB)=matkap çapı (inç)\*birim çap üzerine tavsiye edilen yük miktarı (lb/inç)

$$WOB = 8 \frac{1}{2} \text{ inç} * 5000 \text{ lb/inç}$$

$$WOB = 42500 \text{ lb}$$

### A-2 Matkap üzerine verilecek yüke göre gerekli olan DC uzunluğunun (Ldc) hesabı

$$Ldc = \frac{WOB}{NP * BF * Wdc}$$

Ldc= DC uzunluğu (ft)

NP= Nötr nokta (güvenlik faktörü). Matkap üzerindeki DC'lerin ağırlıklarının maksimum % kaçının matkap üzerine verileceğini gösterir. Örneğin 0.85 değeri, nötr noktanın matkaptan itibaren DC uzunluğunun (ağırlığının) %85'ine eşit gelir. Bu hesaplamada da nötr nokta 0.85 olarak alınmıştır.

$$BF = \text{Yüzdürme katsayısı} \quad BF = 1 - \frac{\text{pçamur}}{\text{pçelik}} = 1 - \frac{10}{65,5} = 0.847$$

Wdc= DC'nin birim ağırlığı (lb/ft)

$$Ldc = \frac{42500}{0.85 * 0.847 * 96} = 615$$

30 ft uzunlukta DC'ler kullanıldığında toplam **630 ft uzunlukta 21 adet DC** gereklidir.

Not: kuyu da bir sapma olmadığı varsayılmıştır.

### A-3 Gerekli DP uzunluğunun (Ldp) hesabı

$$Ldp = \text{Kuyu derinliği (L)} - \text{DC uzunluğu (Ldc)}$$

$$Ldp = 10000 - 630 = 9370 \text{ ft.}$$

**30 ft uzunluğunda en az 313 adet DP** gereklidir.

### A-4 Kanca yükü (P) ve Çekme Toleransının (MOP) hesabı

Kanca yükü (P) kancaya veya takım dizisinin en üstündeki DP'nin tool joint'ine gelen yükü gösterir. Takım çekme toleransı (MOP) değeri ise zor sondaj koşullarında (takım sıkışması gibi) takım dizisinin ağırlığından daha fazla bir yükü takımı çekerek kurtarmak için gerekli maksimum yükü gösterir.

Takım dizisinin çamurdaki ağırlığı

$$P = (L_{dp} * W_{dp} + L_{dc} + W_{dc}) * BF$$

P= Kancaya gelen yük (veya DP dizisinin en üstündeki tool joint'e gelen yük) (lb)

$$P = (9370 * 16,60 + 630 * 96) * 0,847$$

$$P = 183\ 041\ lb$$

API RP 07'ye göre X95 kalitede (şectiğimiz) DPnin akma mukavemet değerleri

API Birinci sınıf yeni 4 ½" X95 DP'nin akma gerilmesi (Pt): 418 707 lb

API Birinci sınıf kullanılmış 4 ½" X95 DP'nin akma gerilmesi (Pt): 329 542 lb

Sondaj çalışmalarında takım dizileri tablolarda verilen teorik yield-strenght (akma mukavemeti) değerlerinden asla dizayn edilmezler. Tijlerde kalıcı uzamayı engellemek veya plastik deformasyonu önlemek için bu değerlerin %90'ı alınır ve teorik akma değeri Pa =  $Pt * 0.90$  formülüyle hesaplanır (API RP 07G).

$$\text{Yeni tij için } Pa_{\text{yeni}} = Pt * 0,90 = 418707 * 0,90 = 376\ 836\ lb$$

$$\text{Kullanılmış tij için } Pa_{\text{kul.}} = Pt * 0,90 = 329542 * 0,90 = 296\ 587\ lb$$

Takım dizisinin çamurdaki ağırlığına göre takım çekme toleransını (MOP) hesaplırsak;

$$MOP = Pa_{\text{yeni}} - P$$

$$MOP_{\text{yeni}} = 376.836 - 183.041 = 193.794$$

$$MOP = Pa_{\text{kul.}} - P$$

$$MOP_{\text{eski}} = 296.587 - 183.041 = 113.546$$

Normal olarak çekme toleransı (MOP) 50 000-100 000 lb arasındadır (Rabia, 1985). MOP değeri'nin belirlenmesinde tüm sondaj koşulları, kuyu eğimi, kuyu içi yıkıntı veya takım sıkışma riskleri göz önüne alınmalıdır. Jeotermal sahalarda gözlenen yüksek basınç-sıcaklık ve formasyonların çok fazla miktarda alterasyona ve tektonizma uğraması kuyu problemlerini artırmaktadır. Yukarıda hesaplara göre seçilen DP özellikleri çekme toleransına göre daha iyi sonuç verdiğiinden (Yeni DP'ler için MOP 193.794 lb ve kullanılmış DP'ler için MOP 113.546 lb) 10.000 ft derinlikte kuyu açmak için uygun olduğu görülmektedir.



### A-5 Dinamik Kule Yükünün Hesabı

Manevra sırasında hareketli halat (fast line) ve sabit halata (dead line) yük bindiğinden taç markaraya (Crown Blok) binen yükü de artıracaktır. Dinamik taç makara yükü (DCL) aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır.

$$\mathbf{DCL = Hareketli-halat yükü (FL) + kanca yükü (HL) + ölü-halat yükü (DL)}$$

Kanca yükü aşağıdaki formülle hesaplanmaktadır.

$$\mathbf{HL = takım dizisinin çamur içindeki ağırlığı (P) + hareketli makara-kanca ağırlığı}$$

Manevra (takım çekme veya indirme) sırasında hareketli halat ve ölü halata yük binen yükler aşağıdaki formüllere göre hesaplanmaktadır.

$$\mathbf{Hareketli halat yükü: FL = \frac{HL}{N * EF}}$$

$$\mathbf{Sabit Halat yükü: DL = \frac{HL * K^N}{N * EF}}$$

N: Halat sarım sayısı

K: Her bir makara için halat ve makara verimi (0,9615 kabul edilmektedir)

EF: Verim Faktörü. halat ve makara arasındaki sürtünme makara sisteminin verimini düşürmektedir. Manevra sırasında verim faktörü aşağıdaki formülle hesaplanmaktadır.

$$\mathbf{EF = \frac{K * (1 - K^N)}{N * (1 - K)}}$$

Halatın kopma gerilimi biliniyorsa dizayn faktörü (DF) aşağıdaki formülle hesaplanmaktadır.

$$\mathbf{DF = \frac{\text{Halatın kopma gerilimi (lb)}}{\text{hareketli halat yükü (lb)}}$$

Kule yükü kapasitesi ekstra yükleri (rüzgar, takım sıkışması durumunda diziyi geri çekme gibi) karşılayabilmesi için dinamik taç makara yükünden daha fazla olmalıdır. Kule yükü dinamik taç makara yüküne, çekme toleransının (MOP) eklenmesiyle elde edilebilir. Jeotermal sondajlarda sıklıkla kuyu problemleriyle (takım sıkışması gibi) karşılaşıldığından MOP değerinin 100.000 lb olması çalışmalarda daha fazla emniyet sağlayacaktır.

$$\mathbf{Dinamik Kule yükü: DDL = DCL + MOP}$$

Yukarıda verilen makine için 10 sarımlı 1 1/8" halat kullanacağımızı varsayalım. 1 1/8" halatın nominal dayanımı: 130.000 lb (extra improved plough steel).

Kanca (hook) ve hareketli makaranın (travelling block) ağırlığını 23.500 lb olarak kabul edersek kanca yükü hesabı

$$\mathbf{HL = 183.041 + 23.500 = 206.541 \text{ lb.}}$$

$$\text{Hareketli halat yükü: } FL = \frac{206.541}{10 \cdot 0,81} = 25.469 \text{ lb}$$

$$\text{Verim faktörü: } (EF = \frac{0,9615 \cdot (1 - 0,9615^{10})}{10 \cdot (1 - 0,9615)}) = 0,81)$$

$$\text{Sabit Halat Yükü: } DL = \frac{206.541 \cdot (0,9615)^{10}}{10 \cdot 0,81} = 17.199 \text{ lb}$$

$$\text{Dizayn Faktörü: } DF = \frac{130.000}{25469} = 5,10$$

$$\text{Dinamik taç makara yükü (DCL)} = 25.469 + 206.541 + 17.199 = 249.211 \text{ lb}$$

$$\text{Dinamik Kule yükü DDL} = \text{DCL} + \text{MOP} = 249.211 + 100000 = 349.211 \sim 350.000 \text{ lb}$$

**Kule çekme kapasitesinin en az 350.000 lb olan bir makine seçilmesi uygundur.**

Bu seçilen makinanın kule kapasitesinin maksimum derinliğe indirilecek casing için yeterli olup olmadığını hesaplırsak;

9 5/8" muhafaza borusu çamur içinde iken

$$\text{Kanca yükü (CLc)} = Hc \cdot \text{casing'in birim ağırlığı} \cdot BF$$

Hc: Muhafaza borusunun indirileceği derinlik (ft)

9 5/8" muhafaza borusunun birim ağırlığı: 40 lb/ft

$$\text{CLc} = 6500 \cdot 40 \cdot 0,847 = 220.220 \text{ lb}$$

9 5/8" Casing'in için kanca yükü (HLc) = CLc + hareketli makara-kanca ağırlığı

$$\text{HLc} = 220.220 + 23500 = 243.720 \text{ lb}$$

$$\text{9 5/8" Casing için hareketli halat yükü } FLc = \frac{243.720}{10 \cdot 0,81} = 30.054$$

$$\text{9 5/8" Casing için Sabit halat yükü } DLc = \frac{243.720 \cdot (0,9615)^{10}}{10 \cdot 0,81} = 20.295 \text{ lb}$$

$$9 \frac{5}{8}'' \text{ Casing için dizayn faktörü } DFC = \frac{130.000}{30.340} = 4.32$$

$$9 \frac{5}{8}'' \text{ Casing için dinamik taç makara yükü DCL} = 243.720 + 30.054 + 20.295 = 294.070 \text{ lb}$$

Maksimum derinliğe indirilecek muhafaza borusu için kuleye binecek yük (294.070) yukarıda seçilen makinanın kule yüküne (350.000) göre uygundur.

#### **A-6 Sondaj Makinası için Gerekli Drawworks ve Motor Gücünün Hesabı**

Manevra sırasında dinamik taç marka yükünün Drawworks tarafından karşılanması lazımdır. Makine için istenen manevra hızına göre gerekli Drawworks gücü aşağıdaki formüle göre hesaplanmaktadır;

$$\text{Drawworks Gücü} = HP_{dw} = \frac{DCL \cdot Vf}{EF \cdot 33000}$$

DCL= dinamik taç makara yükü

Vf= takım çekme hızı ft/min

EF= halat verim faktörü 0,81

Drawworks'ı çalıştırmak için gerekli olan motor gücünün hesabı;

$$\text{Gerekli motor gücü } HP_m = \frac{HP_{dw}}{\text{Mekanik verim}}$$

Yukarıdaki örnekte hesaplanan dinamik taç makara yükü 249.211 lb ise ve takım çekme (manevra) hızınının 100 ft/dak olmasını istiyorsak gerekli olan drawworks ve motor gücü;

$$\text{Draw-works gücü } HP_{dw} = \frac{249.211 \cdot 100}{0,81 \cdot 33000} = 932 \text{ HP}$$

Draw-work mekanik verimini %85 kabul edersek

$$\text{Gerekli Motor gücü} = HP_m = \frac{932}{0,85} = 1095 \text{ HP olur}$$

Şayet manevra hızını 80 ft/dak olarak kabul edersek.

$$\text{Draw-works gücü; } HP_{dw} = \frac{249.211 \cdot 80}{0,81 \cdot 33000} = 745 \text{ HP}$$

$$\text{Motor gücü; HP} m = \frac{745}{0,85} m = \frac{745}{0,85} = 876 \text{ HP}$$

10000 ft derinlikte 8 ½” çapında bir jeotermal kuyu açmak için **750-1000 HP gücü arasında bir Draw-works** ve Drawworks gücüne uygun olarak **900-1100 HP gücü arasında bir motor** seçilmesi uygun olur. Tablo 1’den da görüleceği üzere farklı firmaların ürettiği 3000 metrelik (10.000 ft) bir sondaj için verilmiş olan kule yükleri ve drawwork veya motor güçleri, yukarıda hesaplanan limitler içerisindedir.

Tablo 1 Bazı Firmaların Ürettikleri 10.000 ft derinlikteki Sondaj Makularının Özellikleri

Şirket Adı Makine Tipi Ülke	Drillmec MR-7000 İtalya	ENPET- ZJ30/1700C Çin	National 7C USA	Sunnda SDR- 750TK USA
Kança Yüğü (lb)	350.000	330691	440000	382.000
Draw-works gücü (HP)	800	750	775	750
Motor Gücü (HP)	450*2	460*2	-	-
Kulu Yüksekliği (ft)	118	118	117	118
Halat çapı (inç)	1 1/8	1 1/8	-	1 1/8

### B- SONDAJ POMPALARININ SEÇİMİ

Jeotermal sondajlar için sondaj çamurunun kırıntıları taşıyabilmesi için minimum anülüs (kuyu çapı ile DP arasındaki alan) hızı aşağıdaki formüle göre hesaplanmaktadır.

$$V = \frac{11800}{Dh * \rho * 60}$$

V: anülüs hızı (ft/saniye)

$\rho$ : çamur ağırlığı (ppg).

Bu anülüs hızını sağlayabilmesi için gerekli olan debi:

$$Q = \frac{(Dh)^2 * (DP)^2 * V}{3,056} * 7,48$$

Q: Pompa debisi (gpm)

Takım dizisindeki toplam basınç kayıplarının hesabı;

Pt: Pdp+Pdc+Padp+Pac+Pb+P<sub>1</sub>

Pdp= DP içindeki toplam basınç kaybı

Pdc= DC içindeki toplam basınç kaybı

Padp= DP anülüsteki toplam basınç kaybı

Pac= DC anülüsteki toplam basınç kaybı

$P_1$  = Yüzey ekipmanlarındaki basınç kaybı

$P_b$  = Matkaptaki basınç kaybı

Genellikle DP ve DC içerisinde laminer akış meydana gelirken, anülüste laminer veya türbülent akış olabilmektedir. Çoğu durumlarda anülüste laminer akış DP anülüste olurken türbülent akış DC anülüste meydana gelmektedir. Bu duruma göre basınç kaybı hesaplamaların formülleri;

DP ve DC boru içindeki türbülent akış olduğundaki basınç kaybı hesabı;

$$P_{dp} = \frac{(\rho)^{0,75} * (V_{dp})^{1,75} * (PV)^{1,75} * L_{dc}}{1800 * (DP_i)^{1,25}}$$

$$V_{dp} = \frac{1,08 * PV + 1,08 * \sqrt{(PV)^2 + 12,34 * \rho * (DP_i)^2 * YP}}{\rho * DP_i}$$

$$P_{dc} = \frac{(\rho)^{0,75} * (V_{dc})^{1,75} * (PV)^{1,75} * L_{dc}}{1800 * (DC_i)^{1,25}}$$

$$V_{dc} = \frac{1,08 * PV + 1,08 * \sqrt{(PV)^2 + 12,3 * \rho * (DC_i)^2 * YP}}{\rho * DC_i}$$

DPi: DP iç çapı (inç)

DCi: DC iç çapı (inç)

DP anülüste laminer ve DC anülüste türbülent akış olduğunu farz ettiğimizde anülüsteki basınç kaybı hesabı;

$$P_{adp} = \frac{PV * L_{dp} * V_{adp}}{1000 * (Dh - DP)^2} + \frac{YP * L_{dp}}{200 * (Dh - DP)}$$

$$V_{adp} = \frac{1,08 * PV + 1,08 * \sqrt{(PV)^2 + 9,26 * (Dh - DP)^2 * \rho * YP}}{\rho * (Dh - DP)}$$

$$P_{adc} = \frac{(\rho)^{0,75} * (V_{adc})^{1,75} * (PV)^{1,75} * L_{dc}}{1800 * (Dh - DC)^{1,25}}$$

$$V_{adc} = \frac{1,08 * PV + 1,08 * \sqrt{(PV)^2 + (9,26 * (Dh - DC)^2 * \rho * YP)}}{\rho * (Dh - DC)}$$

Yüzey donanımlarında basınç kaybı:

$$P_1 = E * \rho^{0,8} * Q^{1,8} * PV^{0,2}$$

E = Yüzey ekipmanlarının tipine bağlı sabit değer

Nozel kullanıldığında matkapta basınç kaybı ise  $P_b = \frac{n}{n+1} * P_t$  olmalıdır

$P_t$ =toplam basınç kaybı

$n=1,8-1.86$  arasındadır.

$n$  değeri 1,86 olarak kabul edildiğinde  $P_b = 0,65 * P_t$  olacaktır

Bu formüle göre matkapta basınç kaybı toplam basınç kaybının yaklaşık 2/3 kadar olmalıdır.

### **Pompanın hidrolik güç ve mekanik gücünün hesabı**

Pompaların volumetrik (hacimsel) verimi tripleks pompalar için %95 dupleks pompalar için ise %90 dir. Çoğu pompanın mekanik verimi ise %85 dir.

$$\text{Pompa hidrolik güç} = H_{hp} = \frac{\text{hesaplanan pompa debisi} \left( \frac{\text{gal}}{\text{dak}} \right) * \text{pompa basıncı (psi)}}{1713.6}$$

$$\text{Pompa mekanik gücü: } M_{hp} = \frac{H_{hp}}{\text{Mekanik verim}}$$

$$\text{Gerekli motor gücü: } \frac{\text{Pompa mekanik gücü}}{\text{Mekanik verim}}$$

### **ÖRNEK 2**

Yukarıda yapılan açıklamalar ve hesaplamalara göre 10.000 ft derinliğinde açılacak kuyunun dizaynı Şekil 1'de verilmiştir. Bu durumda maksimum 500 ft derinliğe 20", 2.500 ft derinliğe 17 1/2", 6560 ft derinliğe ise 12 1/4" muhafaza borusu indirileceğini varsayalım. 10.000 ft derinliğe kadar 8 1/2" matkap ile ilerleyeceğimizi varsayarsak gerekli pompa gücünün hesabı aşağıdaki gibi yapılmaktadır.

#### **B-1 Minimum anülüs hızının hesabı**

$$\text{Anülüs hızı; } V = \frac{11800}{8,5 * 13 * 60} = 1,78 \text{ ft/sn}$$

#### **B-2 Pompa debisi hesabı**

$$\text{Pompa debisi: } Q = \frac{(8,5)^2 * (4,5)^2 * 1,78 * 7,48}{3,056} = 227 \text{ gpm}$$

**DP ve DC içerisinde basınç kaybı hesabı (Türbilans akışta);**

$$P_{dp} = \frac{(13)^{0,75} * (6,20)^{4,75} * (40)^{4,75} * 9370}{1800 * (4,5)^{4,25}} = 422 \text{ psi}$$

$$V_{dp} = \frac{1,08 * 40 + 1,08 * \sqrt{(40)^2 + 12,34 * 13 * 3,826 * (3,826)^2 * 25}}{13 * 3,826} = 6,20 \text{ ft/sn}$$

$$P_{dc} = \frac{(13)^{0,75} * (6,76)^{4,75} * (40)^{4,75} * 630}{1800 * (2,5)^{4,25}} = 214 \text{ psi}$$

$$V_{dc} = \frac{1,08 * 40 + 1,08 * \sqrt{(40)^2 + 12,3 * 13 * (2,5)^2 * 25}}{13 * 2,5} = 6,76 \text{ ft/sn}$$

**DP ve DC için anülüsteki basınç kaybının hesabı (Anülüste laminar akış olduğunu farz edersek);**

$$P_{adp} = \frac{40 * 9370 * 5,46}{1000 * (8,5 - 4,5)^2} + \frac{25 * 9370}{200 * (8,5 - 4,5)} = 334 \text{ psi}$$

$$V_{adp} = \frac{1,08 * 40 + 1,08 * \sqrt{(40)^2 + 9,26 * (8,5 - 4,5)^2 * 13 * 40}}{13 * (8,5 - 4,5)} = 5,46 \text{ ft/sn}$$

$$P_{adc} = \frac{(13)^{0,75} * (6,51)^{4,75} * (40)^{4,75} * 630}{1800 * (8,5 - 6,5)^{4,25}} = 24 \text{ psi}$$

$$V_{adc} = \frac{1,08 * 40 + 1,08 * \sqrt{(40)^2 + (9,26 * (8,5 - 6,5)^2 * 13 * 40)}}{13 * (8,5 - 6,5)} = 6,51 \text{ ft/sn}$$

**Yüzey donanımlarında basınç kaybı;**

$$P_1 = 0,000042 * 1,3^{0,8} * 227^{1,8} * 40^{0,2} = 12$$

$$E = 0,000042 \text{ (Tablolardan bulunan deger)}$$

**Matkapta basınç kaybı;**

Matkap dışındaki takım dizisinin toplam basınç kaybı = 422 + 214 + 334 + 24 + 12 = 1006 psi

$P_b = \frac{2}{3} * P_t$  formülüne göre matkapta basınç kaybı, toplam basınç kaybının 2/3 kadardır. Bu nedenle matkapdaki basınç kaybı matkap dışındaki takım dizisindeki basınç kaybının 2 katı (1006\*2=2004 psi) olmalıdır.

Toplam basınç kaybı=1006+2004= 3012 psi.

### B-3 Pompa Hidrolik Gücünün hesabı

$$\text{Hidrolik güç} = Hhp = \frac{\frac{227 \text{ (gal)}}{0,95 \text{ (dak)}} * 3012 \text{ (psi)}}{1713,6} = 420 \text{ HP}$$

### B-4 Pompa Mekanik Gücünün Hesabı

$$\text{Mekanik gücü: } Mhp = \frac{435}{0,85} = 494 \text{ HP}$$

### B-5 Motor Gücünün hesabı

$$\text{Gerekli motor gücü: } \frac{494}{0,85} = 581 \text{ HP}$$

Çizelge 2 10.000 ft Derinlikte Planlanan Sondaj İçin Gerekli Pompa Gücünün Hesabı

Veriler	Kuyu çapları			
	26"	17 1/2"	12 1/4"	8 1/2"
Derinlik (Ft)	500	2.500	6.560	10.000
DP iç/dış çapı (inç) ve boyu (ft)	-	4,5/3,826-2000	4,5/3,826-6000	4,5/3,826-9370
DC iç/dış çapı (inç) ve boyu (ft)	8/3-500	8/3-500	8/3-500	6,5/2,5-630
Çamur verileri (ρ, PV, YP)	10-25-15	10-25-15	10-25-15	13-40-25
Anülüs hızı (ft/sn)	0,76	1,12	1,61	1,78
Pompa debisi (GPM)	1214	787	510	227
DP içindeki b.k. (psi)	0	581	817	422
DC içindeki b.k. (psi)	986	462	216	214
Dp-Kuyu arası b.k. (psi)	-	12	62	334
DC-Kuyu arası b.k (psi)	2	4	4	24
Yüzey donanım. b. k. (psi)	180	82	38	12
Matkapta basınç kaybı (psi)	27*	11*	2074	2012
Toplam basınç kaybı (psi)	1195	1152	3111	3018
Pompa hidrolik gücü HP	891	556	1072	420
Mekanik gücü HP	1048	655	1262	494
Motor gücü (HP)	1233	770	1484	581

\*regular matkapdaki basınç kaybı tahmini



Jeotermal sondajlarda her zaman 2 adet pompa kullanılmak zorundadır. Pompaların sık sık arıza vermesi (lastik, piston, klepe veya yataklarındaki aşınmalar) nedeniyle bir pompanın bakımı yapılırken diğer pompa ile ilerleme yapılmaktadır.

Yukarıdaki hesaplamalara göre pompa seçimi yaparsak; geniş çaplı kuyuda (26") gerekli debiyi sağlamak için iki pompanın birlikte çalışması gerekmektedir. 12 ¼" matkap için nozel kullandığımızda en az 1262 HP mekanik güce sahip pompa gereklidir (Çizelge 2). Çizelge 3'de seçilen değişik firmaların ürettikleri 1300 HP gücündeki pompalar 3000 metre sondaj için yeterli görülmektedir.

Çizelge 3 Bazı Firmalara Ait Tripleks Pompaların Özellikleri

Pompa Tipi	10-T1300	9-P-130	F-1300	MP-13
En büyük piston çapı (inç)	7	6 ¾	7	7
Debisi (gpm)	699	651	799	720
Basıncı	-	3085	2720	2800
En küçük piston çapı (inç)	4	4	5	5
Debisi (gpm)	-	228	417	367
Basıncı	5000	5000	5000	5000
Mekanik güç (HP)	1300	1300	1300	1300

## SONUÇLAR

1- Sondaj makinalarının seçiminde; kuyu derinliği, kuyu ve muhafaza borularının çapı, sondaj akışkanı tipi, maliyet, sondaj makinasının kapladığı alanın küçük olması ve esnek olması, iş sağlığı ve güvenliği, çalışma koşulları, çevresel faktörler ve ses yalıtım sistemi önemli rol oynamaktadır.

2- Ülkemizde jeotermal sondaj yapan firmaların ve jeotermal arama ve işletme ruhsatı veren kamu görevlilerinin jeotermal sondajların iş güvenliği uygun yapılabilmesi için sondaj yapacak makinaların motor ve pompa güçleri hakkında yeterli bilgiye sahip olmalıdır.

6- Jeotermal sondaj makine ve kuyu açma tekniklerinin uygulanmasına yönelik ivedilikle bir yönetmelik çıkarılmalıdır.

## KAYNAKLAR

- API RP 07, 1998. Recommended Practice for Drill Stem Design Operating Limits.  
Binder, J., 2007. *New Technology Drilling Rig*, Proceedings European Geothermal Congress Unterhaching, Germany, 30 May-1 June 2007  
Greenberg, J., 2007. *Improved Top Drive Systems Boost Reliability, Push Capacity Limits*, Drilling Contractor, September/October.  
Hesieh, L., 2009 *Hands Free Drilling Automation*, Drilling Contractor, September/October.  
Rabia, H., 1995, Drill String Design, Oilwell Drilling Engineering Principles and Practice, s.37-43.



## **Kızıldere Jeotermal Sahasındaki R-1 Üretim Kuyusunun Kalsit Temizliği Sırasındaki Kontrolsüz Üretimi ve Kontrol Altına Alma Çalışmaları**

Hüseyin DÜNYA

*MTA, Ege Bölge Müdürlüğü, Bornova İZMİR*

### **ÖZ**

R-1 jeotermal kuyusu Kızıldere Jeotermal sahasında; gerek sahanın tekrar beslenmesi ve gerekse Menderes Nehrine bırakılan atık suyun çevresel olumsuzluklarını ortadan kaldırmak amacıyla re-enjeksiyon amaçlı 28-07-1997 ile 24-01-1998 tarihleri arasında MTA (Maden Tetkik ve Arama) ekipleri tarafından TEK (Türkiye Elektrik Kurumu) adına ücretli yapılmıştır. 2.261m olan kuyu Türkiye'nin en derin kuyularından biri ve 242°C rezervuar sıcaklığı ile de en sıcak jeotermal kuyusudur (1,2).

Jeotermal akışkanın kimyasal yapısı nedeniyle üretim kuyuları içerisinde  $\text{CaCO}_3$  çökmesi olmakta ve kuyu çapındaki daralmaya bağlı olarak üretim azalmaktadır. Üretimi tekrar arttırabilmek için mekanik temizlik yapılmak suretiyle kuyular temizlenmektedir.

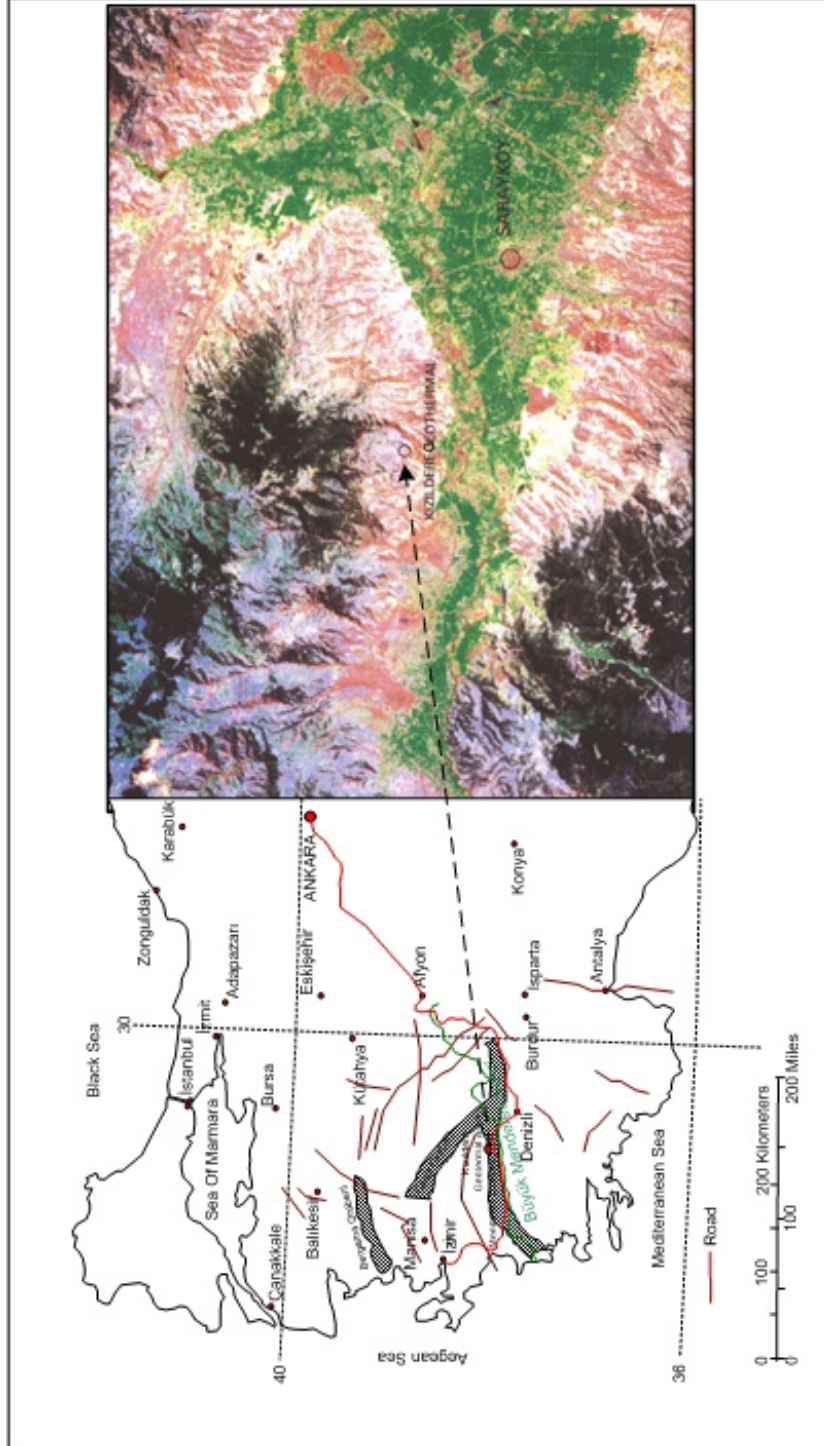
R-1 kuyusunun basınç ve sıcaklığı yüksek olduğundan, kabuklaşma daha yavaş olmaktadır. Böylelikle iki yılda bir Rotating Control Head Preventer (RCHP) kullanılarak üretim halinde iken mekanik kalsit temizliği yapılmaktadır. (2,3)

### **1.GİRİŞ**

Kızıldere Jeotermal sahası; Denizli-Sarayköy ile Aydın-Buharkent arasında, Babadağ Yükseltisi ile Buldan Yükseltisi arasında, Menderes Çöküntüsünde yer almaktadır. Sarayköy ilçesine 12 km mesafededir (Şekil 1). Kızıldere dünya literatüründe Türkiye'nin en çok bilinen jeotermal sahasıdır.

1960'lı yıllardan beri sahada MTA tarafından 108 gradyan ve 25 jeotermal kuyu yapılmıştır. R-1 kuyusunun bitirilmesi ile sahadaki üçüncü rezervuarın (242°C) varlığı kesinlik kazanmıştır.

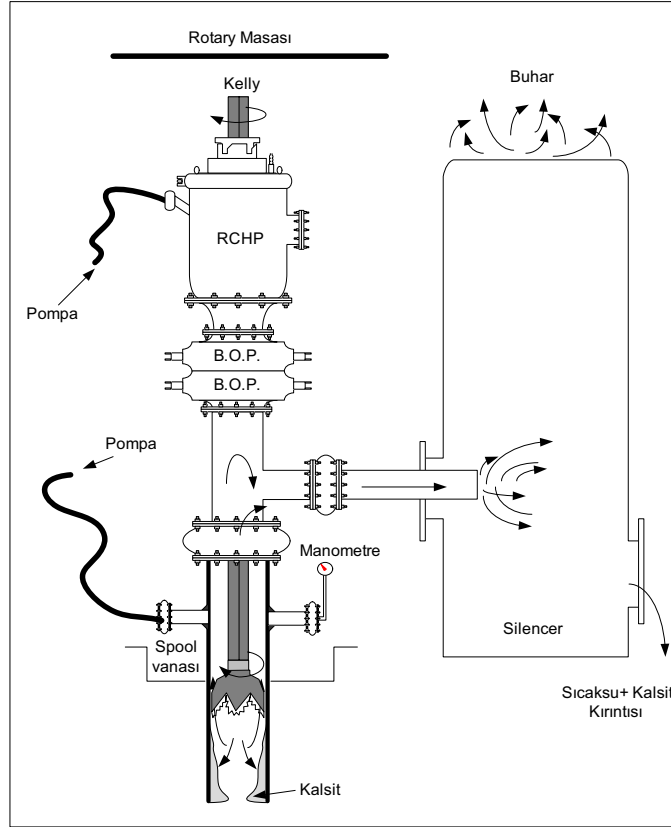
Sahada geçmiş yıllarda inhibitör denemeleri yapılmış, ancak devam ettirilmemiştir. İnhibitör kullanılmadığı için üretim kuyuları zamanla kabuklaşmasından dolayı üretim kayıpları olmaktadır. Üretimi tekrar arttırabilmek için sahadaki 8 üretim kuyusunda yılda bir defa RCHP ile mekanik temizlik yapılmaktadır. Sahadaki R-1 kuyusunda ise 2 yılda bir temizlik yapılmaktadır.



Şekil 1: Kızıldere Jeotermal Sahası ve Yer Bulduru haritası (1)

## 2. R-1 KUYUSUNDA RCHP İLE ÜRETİM HALİNDE TEMİZLİK ÇALIŞMALARI

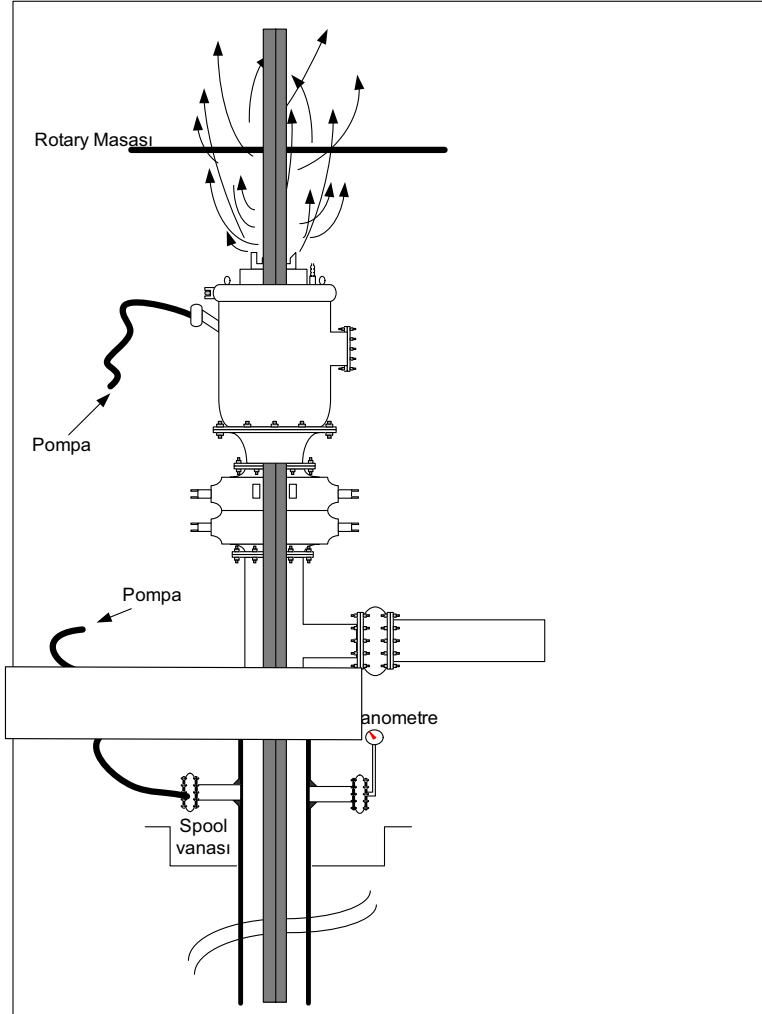
WR-6 sondaj makinesi nakliyat ve montaj çalışmalarının tamamlanması ile 03.02.2009 tarihinde takım dizisine 7<sup>3/8</sup>" matkap bağlanarak, kuyuda su ile 265 m kalsit kesilmiştir. Kesilen kalsitin kuyudan atılabilmesi için 265 metrede kuyu kompresörle yatay üretime alınmış ve üretim halinde 1.041 metreye kadar kalsit kesimi yapılmıştır. Liner üst ucuna kadar matkapla inilip kontrol yapıldıktan sonra takım 18 metre yukarı çekilmiştir.



Şekil 2: R-1 Kuyusunda RCHP İle Üretim Halinde Mekanik Kalsit Temizliği  
(Hüseyin Dünya 2009)

## 3. R-1 KUYUSUNUN KONTROLSÜZ ÜRETİME GEÇMESİ

Takımı tamamen çekmek için 08.02.2009 tarihinde kuyuyu soğuk su ile soğutarak öldürme çalışmalarına başlanmıştır. Preventer kapatılarak 1.062 m de bulunan takım içerisinden ve spool hattından su basılmaya başlandı. Bu işlem devam ederken kuyu başı basıncı (WHP), temizlik sırasında 18-24 bar arasında değişirken bir anda 38 bar'a yükselmiş, preventer ram ve RCHP lastiklerini patlatmıştır. Emniyeti sağlayan preventer ve RCHP lastiğinin patlamasıyla kuyu kontrolsüz bir şekilde dikey üretime geçmiştir. Kontrolsüz üretimden dolayı kuyu civarındaki gürültü seviyesi 130db in üzerinde çıkmış , sondaj kulesi ve çalışma sahasının tamamını sıcak su+buhar kaplamıştır (Şekil 3)





**KAYNAKLAR**

- Dünya H. Yenice H. Scale Cleaning Wells of Kizildere / Turkey Geothermal Field (Journal of Engineering. Vol.2 , No.1 (2008) 81-89 )(1)
- Denya H. Kitiş, Ş. Karışmaz, A. (2009 Yılı R-1 Numaralı Üretim Kuyusu Temizlik ve Test Raporu) (Yayınlanmamış MTA Raporu) (2)
- Durak S. Aksoy, N. Erkan , B. (Kızıldere Jeotermal Sahası'nda Üretim Kuyularının Rotating Control Head Preventer (RCHP) ile Üretim Halinde Temizlenmesi) (Sondaj Sempozyumu'96 , Izmir- 1996 , ISBN 975-395-178-7) (3)



## **TPIC'in Jeotermal Sektöründeki Yeri ve Jeotermal Kuyu Sondajına Genel Bir Bakış**

Sema TEKİN, Ahmet AYSER

*TPIC, Ankara, Türkiye*

### **TPIC'in Jeotermal Sektöründeki Yeri**

TPIC (Turkish Petroleum International Company) arama, geliştirme, sondaj ve kuyu tamamlama servisleri, üretim, taşıma, ham petrol ve petrol ürünleri ticareti ve pazarlaması gibi alanlarda faaliyet göstermek üzere Türkiye'nin Milli Petrol Şirketi olan TPAO'ya (Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı) bağlı bir şirket olarak, 1988 yılında Jersey'de kurulmuştur. Sondaj servisine 1999 yılında başlayan TPIC, her türlü mevsim şartlarında ve yüksek basınç, yüksek sıcaklık, derin kuyu gibi zorlu iş koşullarında çalışarak Irak, Suriye, Azerbaycan, Gürcistan ve Türkmenistan'da önemli projelere imza atmıştır. Halen 13 ekibi ile Kazakistan ve Türkiye'deki sondaj ve kuyu tamamlama servislerini başarıyla sürdürmektedir. Bir IADC (International Association of Drilling Contractors) üyesi olan TPIC, servislerini geniş çapta bakım, teknik destek ve ikmal imkanları ile desteklemektedir. TPIC'in toplam 5 sondaj ve 2 workover kulesi bulunmaktadır. Ayrıca Ana Kuruluşu TPAO'nun da kule ve ekipman envanterine ve hizmetlerine erişimi vardır. TPIC'in gerçekleştirdiği önemli projelerden birkaçı şunlardır: Kazakistan, KTM- Laktibay sahası sondaj, 4800 m; Türkmenistan, Çalık Enerji-yüksek basınçlı 150 lb/ft<sup>3</sup>'lük çamur kullanılan Yolöten sahası sondaj, 3500 m; Irak, NOC-Khurmala sahası 20 kuyu sondaj, 1100 m, 9 ay; Bartın, Hema-Metan gazı yönlü sondajı, 2249 m; Silopi, Perenco&TPAO-Derin kuyu, 4950 m.

TPIC, aynı zamanda Türkiye'nin en önemli jeotermal projelerinin sondaj müteahhitliğini yapmaya devam etmektedir. 47.4 MWe ile Türkiye'nin en büyük jeotermal santralinin yatırımını ve yapımını gerçekleştiren Gürış Grubu'nun sondaj müteahhitliğini TPIC yapmıştır. Bu proje kapsamında TPIC, Aydın Germencik Ömerbeyli sahasındaki 9 kuyunun sondajını F-200 sondaj kulesi ile 11.5 ayda tamamlamış olup, 2432 m ile sahanın en derin jeotermal kuyusunun sondajını da gerçekleştirmiştir. Bununla birlikte Gürış Grubu'na Ideco-5 workover kulesi ile 2 ayda 6 kuyuda kuyu tamamlama servisi vermiştir. Ayrıca BM Holding'in çeşitli sahalarındaki 5 kuyusunun sondajı da TPIC tarafından yapılmıştır. Bunlara ek olarak, Zorlu Enerji Grubu'nun Denizli-Kızıldere sahasındaki jeotermal sondajlarının sondaj müteahhitliği de TPIC tarafından gerçekleştirilmektedir. Sondaj çalışmaları top drive sistemli F-200 kulesi ile ilk kuyuda devam etmektedir. TPIC projelerinde, sondaj ve kuyu tamamlama servislerinin yanı sıra çamur, çimento ve log servisleri de sağlamaktadır. Ayrıca, Zorlu Kızıldere projesindeki yönlü sondaj servisinin de TPIC aracılığı ile verilmesi planlanmaktadır.

### **Jeotermal Sondajdaki Farklılıklar ve Karşılaşılan Problemler**

Jeotermal sondaj ile petrol ve gaz sondajları temelde aynı şekilde yapılmasına rağmen birçok farklılık da içermektedir. Jeotermal sondajda muhafaza borusu programı ve çimentosu büyük önem arz etmektedir. Muhafaza borusu programı ile yüzey suları herhangi bir yeraltı blowout'unu engellemek için iyi izole edilmelidir. Yine rezervuara soğuk yeraltı sularının karışmasını ve bunun kuyunun üretim sıcaklığını düşürmesini engellemek için de iyi bir muhafaza borusu programı gereklidir. Üretim zonundaki muhafaza borusu veya liner deliklidir ve genellikle 7 in çapında olmaktadır. Diğer muhafaza borularının çimentolarının çok iyi yapılması sondajda veya üretim aşamasında kuyunun ısınması veya soğuması sırasında casinglerin uzayıp kısılmasını engellemek açısından çok önemlidir. Bu amaçla çimentonun yüzeye kadar yapılması gereklidir. Dolayısı ile çoğu zaman çatlaklı formasyon yapısı ve yıkıntılar sebebiyle genişleyen açık kuyu hacminin 2-3 katı kadar ve çimentonun yüzeye geldiğini görene kadar çimento hazırlanmakta ve basılmaktadır. Aynı zamanda, kanallaşmanın engellenmesi ve yüksek sıcaklıklarda daha sağlam bir bağ oluşturması için çimentoya diğer katkı malzemelerinin yanısıra SiF (Silika florür) de katılmaktadır.

Jeotermal kuyu sondajında yüksek çamur sıcaklığı sebebi ile sondaj dizisi, matkaplar ve muhafaza boruları daha çabuk yıpranmakta ve çamur özelliklerinde bozulmalar yaşanmaktadır. Bu faktörleri en aza indirmek için çamur soğutma kulesi kullanılmaktadır. Etkili çalıştırıldığında soğutma kulesi çamur sıcaklığında 15 °C'ye kadar düşme sağlayabilmektedir.

Sondajda yüksek sıcaklık yüzünden bozulan çamur özellikleri takım sıkışmasına yol açabileceği gibi, kaçak da bu riski artırmaktadır. Tedirici veya tam kaçağa özellikle üretim zonunda rastlanmaktadır. Saatte 400 bbl'e, kuyu bitiminde de 10.000 bbl'e yaklaşan (200 bbl'lik yaklaşık 50 çamur tankı kadar) tam kaçak durumları ile karşılaşmıştır. Kaçarak sondajda, sondajı su ile yapmak tercih edilebilir. Dunn vd., jeotermal kuyularda karşılaşılan kaçağın daha çok yüksek geçirgenlikli çatlaklı zonlarda gerçekleştiğini, düşük sıcaklıklı ve üretim zonu olmayan yerlerdeki kaçakların su akiferlerinin korunması ve formasyon akışkanına karışmaması için kapatılması gerektiğini, ve bunun çimento operasyonunda da yarar sağlayacağını belirtmiştir. Fabbri vd. (1970) ise kaçak sırasında en çok kullanılan malzemelerin yer fıstığı kabuğu, mika ve selofan olduğunu belirtmiştir. Bunlara ek olarak, fındık kabuğu ve pamuk çekirdeği de düşünülebilir.

Jeotermal sondajda kuyu kontrolünün önemi çok büyüktür. Kuyu kontrol ekipmanlarının yüksek sıcaklığa dayanabilecek özellikte olması ve operasyonlarda duraksama olmaması önemlidir. Kuyu kontrolü genellikle kuyunun sirkülasyona alınıp soğutulması ile gerçekleşir. Ayrıca kulede bulunan Top Drive sistemi ile sondaj dizisi kuyuya indirilirken aynı zamanda sirkülasyon da yapılabildiğinden kuyunun daha çabuk soğutulması sağlanacaktır. Ancak yine de casing indirme ve çimentolanması gibi operasyonlarda kuyuda sıcaklık artışı ve buna bağlı olarak kuyu gelişi olabilmektedir. Burada da jeotermal sondajda deneyimli personelin önemi ortaya çıkmaktadır.

### **Kule Seçimi**

Sondaj kulesinin seçiminde, kuyu programına göre kulenin sondaj yapabileceği maksimum derinlik, kanca yükü ve kaldırma kapasitesi; muhafaza borusu programına göre rotary masası genişliği; sağlıklı kuyu temizliği gerçekleştirebilmesi için pompa kapasiteleri; kuyubaşı dizaynına göre platform yüksekliği, uzaktan kumandalı kapatma sistemli kuyu kontrol ekipmanları (BOP) bulunması ve soğutma kulesinin sirkülasyon sistemine dahil edilebilmesi

gibi faktörler sıralanabilir. Ndirangu (2000) makalesinde, kule seçiminde hangi özelliklere dikkat edilmesi gerektiğini daha ayrıntılı bir biçimde anlatmıştır.

TPIC olarak jeotermal sondajlarda 4 ½” DP (Drill pipe) ile 4000 m sondaj yapma kapasitesine sahip olan Romen Upetrom F-200 kulelerini kullanılmaktayız. Kulelerin bazı özelliklerini şu şekilde sıralayabiliriz: Drawworks (kaldırma) kapasitesi: 1350 HP, Kule kanca yükü: 200 ton, Maksimum tek halat çekme gücü: 25 ton, Kule mast yüksekliği: 137 ft (41.7 m), Masa yüksekliği: 16.4 ft (5 m), Rotary masası genişliği: 27.5 in.

### **Sondaj Kontratları ve TPIC’in Çalışma Şekilleri**

Sondaj kontratları günlük ücret bazlı (day rate/unit time rate), metre başına ücret bazlı (unit meter rate) ve anahtar teslim (turnkey) olarak genellenebilir. Hole (2008)’a göre Yeni Zelanda, Kenya ve Endonezya’daki jeotermal sondajlarda günlük ücret bazlı, İzlanda’da ise metre başına ücret bazlı kontratlar yapılmaktadır. Metre başına ücret bazlı kontratlar Türkiye’de daha çok su kuyusu sondajlarında tercih edilmektedir. Fakat bu çalışmalar, sondajın uzun sürmesi, beklemeelerin fazla olması, kuyunun ısınması ve geliş yaşanması sebepleriyle sıcak su kuyuları için uygun görülmemektedir.

TPIC, günlük ücret bazlı çalışan bir servis şirketidir ve günlük ücretine ön delik ve yan delik sondajı, sondaj dizisi ve tahlisiye ekipmanları, muhafaza borusu indirme ekipmanları ve muhafaza borusu indirilmesi, kuyu kontrol ekipmanları ve kuyubaşı yapımı, soğutma kulesi, vinç ve operatörü, günde 12 saatten 7 gün/24 saat kesintisiz çalışma sağlayacak 2 vardiyalı sondaj ekibi, catering hizmeti, kamp ve hizmetleri, iş güvenliği servisi, Operatör için ofis ve çamur barakası, günlük sondaj raporları ve kuyu bitirme raporları dahildir. Ayrıca TPIC, sondaj servisinin yanısıra çamur, çimento, log, yönlü sondaj, karot alımı ve kuyu tamamlama servislerini de sağlamakta olup, anahtar teslim sondaj hizmeti de vermektedir.

Jeotermal sondajlarda personelin deneyimli ve sıcak su ile çalışmadaki zorlukların ve çözümlerinin bilincinde olması özellikle kuyu kontrolü aşamasında çok önemlidir. TPIC, bu noktada da tecrübesinden faydalanmakla birlikte, personelin kuyu kontrolü, ilkyardım, H<sub>2</sub>S, yangın söndürme ve çeşitli iş güvenliği kursları ile eğitmektedir. Kaliteli malzeme ve ekipman kullanması, deneyimli personeli ve en kaliteli işi en uygun ücretle yapma ilkesi, TPIC’in Türkiye’nin en önemli jeotermal projelerinde tercih edilmesindeki sebeplerin başında gelmektedir.

### **KAYNAKLAR**

- Dunn, J.C., Livesay, B.J., “Geothermal Drilling Technology”, Sandia National Laboratories, SAND--86--2943C, Albuquerque & Livesay Consultants, San Diego.
- Fabbri, F., Vidali, M., “Drilling Mud in Geothermal Wells”, Geothermics. (1970) Special Issue 2, 735-741.
- Ndirangu, E.G., “Selection of a Future Geothermal Drilling Rig for Kenya”, The United Nations University, Reports. (2000) 14, 285-302.
- Augustine, C., Petty, S., Livesay, B., “A Comparison of Geothermal with Oil and Gas Well Drilling Costs”, 7Proceedings of Thirty-First Workshop on Geothermal Reservoir Engineering, Stanford University, Stanford, California. (January 30-February 1, 2006) SGP-TR-179.



## **Jeotermal Sondajların İş Sağlığı ve Güvenliği Yönünden Değerlendirilmesi**

Niyazi KARADENİZ, Muharrem TORALIOĞLU, Bülent TOKA  
*MTA Genel Müdürlüğü, Sondaj Dairesi, Ankara*

### **ÖZ**

Jeotermal sahanın litolojik yapısı (alterasyon, tektonizma) ve jeotermal akışkanın özellikleri veya karşılaşılan sondaj problemleri (yüksek sıcaklık ve basınca sahip akışkanının kontrolsüz akışı) sondaj çalışmalarında iş sağlığı ve güvenliğini tehdit etmektedir.

Jeotermal sondajlarda iş sağlığı ve güvenliğine yönelik yapılacak çalışmalarda üç güç önemlidir; yasa gücü, insan gücü ve makine gücü. Yasal mevzuat jeotermal sondajlarda iş güvenliğini ve emniyetini artırmak için gerekli yönetmelik ve yönergeleri içermelidir. Sondajlarda iş sağlığı ve emniyetini sağlamak için çalışan personelin (teknik eleman, sondör) kuyu kontrolü, kuyu dizaynı, çamur programı ve kuyu başı ekipmanları gibi konularda eğitim almış olması yönetmelik veya yönergelerle zorunluluk haline getirilmelidir. Ayrıca sondajlarda kullanılan makine, pompa gibi ekipmanların gücü, malzemenin özellikleri ve sondaj tekniği gibi konular yönergelerle belirlenmelidir.

### **1. GİRİŞ**

Jeotermal kaynaklar, ısıtma, elektrik üretimi, tıbbi tedavi, kaplıca, seracılık ve gaz üretimi gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Bu kaynakların kullanılmaya almadan önceki aşama arama, araştırma ve saha geliştirme çalışmalarıdır. Bu aşamada yapılan en önemli çalışma sıcak suya ulaşmak üzere yapılan sondaj faaliyetleridir. Sondaj çalışmaları sonrası kuyu testleri yapılarak rezervuar parametreleri (sıcak akışkanın üretim ve sıcaklık değerleri gibi) elde edilmektedir. Elde edilen bu verilere göre jeotermal kaynaklar, sürdürülebilir veya yenilenebilir özellikleri korunarak kullanılmaktadırlar.

Jeotermal sondajlarda kullanılan kuleler fiziki büyüklükleri itibarıyla petrol sondajlarında kullanılan kule ve teçhizatlarına benzemekle birlikte, jeotermal sondajlarda karşılaşılan yüksek basınç ve sıcaklıklı akışkan nedeniyle petrol sondajlarından farklılık göstermektedir. Dolayısıyla jeotermal sondajlarda iş güvenliği ve sağlığı konusunda ilave önlem alınması zorunluluk yaratmakta ve risklere karşıda emniyetli bir çalışma ortamının oluşturulması gerekmektedir.

Sondaj işleri 4857 sayılı yasa ile *sanayi işkolunda* sayılıp, *ağır ve tehlikeli işler sınıfında* yer almaktadır. Fakat sondaj çalışmaları doğal kaynakların özelliklerine göre farklılık göstermektedir. Örneğin jeotermal sondajlar sıcak akışkanın özelliklerinden dolayı farklı sondaj tekniklerini içermektedir ve dolayısıyla bu sondajlarda alınması gereken güvenlik önlemleri, diğer sondajlara göre (maden veya su sondajları), emniyet katsayısı yükseltilmiş önlemler

olmalıdır. Çalışmaların güvenli bir şekilde, kesintisiz sürdürülebilirliğinin sağlanması için alınması gerekli teknik önlemlere ilave olarak çalışanların teknik kapasitesi ve eğitim nitelikleri de önem kazanmaktadır.

Türkiye’de jeotermal amaçlı olarak açılan ilk kuyu, MTA Enstitüsü tarafından 1962 yılında İzmir Balçova’da yapılmıştır. Bu tarihten yasanın çıktığı tarihe kadar MTA Genel Müdürlüğü, jeotermal amaçlı 459 adet kuyuda 205.000 metre sondaj yapmış olup, 187 jeotermal saha ve 1000 dolayında jeotermal kaynağı bularak ülke jeotermal envanterine geçirmiştir (MTA, 2008). MTA Genel Müdürlüğü yaptığı bu çalışmaları, kendi iç organizasyonları içerisinde yönetmelik, iç genelge ve yönergeler ile yürütmüştür. 5686 sayılı Jeotermal Kaynaklar ve Doğal Mineralli Sular Kanunu 13.06.2007 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe girmiştir. Jeotermal Kanunu’nun çıkması ile birlikte; artan enerji ihtiyacı nedeniyle özel sektörün de bu alana girmesiyle çalışmalar hız kazanmıştır.

“5686 sayılı Jeotermal Kaynaklar Ve Doğal Mineralli Sular Kanunu” ve bu Kanuna bağlı olarak yayınlanan “Jeotermal Kaynaklar Ve Doğal Mineralli Sular Kanunu Uygulama Yönetmeliği” incelendiğinde, jeotermal sondajların teknik yönüne ilişkin boşluklar olduğu görülür. Zira jeotermal sondajlar basit bir delme operasyonundan öte çalışmalardır. Kanun; çalışabilecek teknik elemanları tanımlarken “...*arama ve işletme ruhsatı süresince, faaliyetlerin ilgili mühendislik dallarından bir mühendisin sorumluluğunda sürdürülmesi zorunludur* ...” ibaresi kullanarak ilgili mühendislik dallarından diploma almayı yeterli görmüştür. Uygulama yönetmeliği de; “teknik sorumluluk ve faaliyet raporları “ maddesinde Kanun paralelinde davranarak “*faaliyetlerin tümü jeoloji mühendisi veya faaliyetin niteliğine göre diğer ilgili mühendislerden bir mühendisin teknik sorumluluğunda yürütülür....*” diyerek mesleki yeterliliğe önem vermeden sadece diplomayı belirtmiştir. Bu konu amaç, kapsam, yetkinlik, sürdürülebilirlik konuları açısından yeniden değerlendirilmesi gerekli konulardır.

Türkiye’de jeotermal kaynakların aranması, araştırma ve kullanımında 40 yılı aşkın bir geçmişe sahip olmasına rağmen, jeotermal sondajlarda iş sağlığı ve güvenliği konusunda özgün bir mevzuatın olmaması ülkemiz için bir eksikliklerdir. Ancak jeotermal kaynaklara ulaşmada yapılacak sondaj çalışmaları için yetkin mühendis ve sondaj tekniği ve iş sağlığı ve güvenliği konusunda ilgili Bakanlıklar tarafından çıkartılacak yönetmeliklerle yasal konuma kavuşturulmalıdır.

## **2. JEOTERMAL SONDAJLARDA İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİNE ETKİ EDEN FAKTÖRLER**

Dünyada bir çok ülkede jeotermal sondajlar açılmasında takip edilecek yol, alınması gerekli emniyet tedbirleri, iş akışı, kullanılan malzemeler ve standartlar, kuyunun üretime alınması, reenjeksiyon işlemleri konularında çıkarılmış talimat ve yönergeler bulunmaktadır. Türkiye’de ise bu konuda bir mevzuat bulunmamaktadır. Genel olarak iş sağlığı ve güvenliği konusunda genel bir mevzuat olması, sondaj taahhüt işi yapan firmaların kendi iç sirküleri şeklindeki önlemleri, çalışmalarda uygulanacak emniyet tedbirleri işin sağlıklı olarak yürütülmesine olanak tanımamaktadır.

5686 sayılı “Jeotermal Kaynaklar Ve Doğal Mineralli Sular Kanunu” ve bu Kanuna bağlı olarak yayınlanan “Jeotermal Kaynaklar Ve Doğal Mineralli Sular Kanunu Uygulama Yönetmeliği” incelendiğinde, jeotermal sondajların teknik yönüne ilişkin boşluklar olduğu

görülmektedir. Bu konudaki ilgili meslek odaları ve konunun taraflarından oluşacak bir çalışma grubu oluşturulmalı ve eksiklikler en kısa sürede giderilmelidir.

Yenilenebilir kaynaklar içerisinde gösterilen jeotermal kaynaklar ve doğal mineralli sular bugün olduğu gibi gelecekte de önemini koruyacaktır. Bu konuda var olan kaynakların korunması, çevre felaketlerine yol açmaması ve bu alanda çalışanların sağlığının korunması için aranmasından işletilmesi de dahil her aşamada iş sağlığı ve güvenliği önlemlerini kapsayan bir yönetmelik çıkartılmalıdır.

Jeotermal sondajlarda karşılaşılabilecek riskleri üç grupta sınıflandırabiliriz; (i) jeotermal sistemin doğasından kaynaklanan riskler, (ii) sondaj personelinin nitelik ve niceliklerinden kaynaklanan riskler, (iii) Sondaj makine, ekipman ve malzemelerinden kaynaklanan riskler.

## **2.1 JEOTERMAL SİSTEMİN DOĞASINDAN KAYNAKLANAN RİSKLER**

### **2.1.1 Kontrolsüz Kuyu Akışı (Blow-Out)**

Jeotermal enerji yer kabuğunun çeşitli derinliklerinde birikmiş basınç altındaki sıcak akışkan (su, buhar, gaz veya bunların karışımı) ve sıcak kuru kayaçların içerdiği termal enerji olarak tanımlanmaktadır. Jeotermal sahalarda yeryüzünden rezervuara kadar açılan kuyular (sondaj) vasıtasıyla rezervuardaki bu sıvı, farklı üretim oranlarında üretilmektedir.

Jeotermal akışkanın sondajlar vasıtasıyla aranmasında en büyük tehlike rezervuardaki yüksek basınç altında bulunan kaynağa ulaşıldığında, kuyu içerisindeki hidrostatik dengenin bozulmasıyla akışkanın kuyu dışına kontrolsüz akışıdır. Bu tehlike özellikle yeni (bilinmeyen) sahalarda açılan kuyularda önem kazanmaktadır. Sondaj sırasında rezervuardaki akışkanın ani ve kontrolsüz olarak yüzeye gelişini (blow-out) kulede çalışan personele verdiği zarar nedeniyle, tehlike sıralamasında ilk basamağa oturabiliriz. Bu olay yalnızca çalışanları tehlikeye atmakla kalmamakta, kuyu kontrol altına almak için yapılan çalışmalarını da zorlaştırmakta ve çevresel sorunlara da yol açmaktadır. Blow-out tehlikesi yüksek entalpili sahalarda çok daha fazladır.

Blow-out olayının oluşmasına etki eden faktörleri; (i) formasyon özelliğine ve rezervuar basıncına uygun olmayan çamur kullanılması, (ii) sondaj kuyu dizaynının (programının) yanlış yapılması, (iii) Takım dizisinin hızlı manevrası (iv) formasyon kırıntılarının ve çamur tankı seviyelerinin takibinde dikkatsizlik yada gözden kaçırılması gibi sıralayabiliriz.

### **2.1.2 Zehirli Ve Yakıcı Gaz Gelişleri**

Jeotermal akışkanların yüzde 90'ı meteorik kökenli sudur. Su yeraltındaki dolaşımı sırasında temas ettiği formasyondan ve magmadan kaynaklanan elementleri ve gazları bünyesine almaktadır. Magma kökenli karbondioksit (CO<sub>2</sub>) ve hidrojen sülfür (H<sub>2</sub>S) jeotermal sistem içindeki iki önemli zehirleyici gazdır (Toka, vd., 2003).

Hidrojen sülfür gazı havadan ağır olduğu için (1.18 gr/ cm<sup>3</sup>) tabana yakın birikme yapar. Çürük yumurta kokusu ile ayırt edilir. Zehirleyici, yanıcı ve patlayıcı bir gazdır. Ateşlenme sıcaklığı 270 °C'dir. Havadaki konsantrasyonu %4-48 aralığında patlayıcı özelliğe sahiptir. 1 ppm konsantrasyonunda koku hissedilebilir, konsantrasyon yükseldikçe koku hissedilmemektedir. 300-500 ppm değerlerinde birkaç nefeste öldürücü etkiye sahiptir. (Taşyürek, 2007)

Rensiz kokusuz bir gaz olan karbondioksit havadan daha ağır olup 1.98 g/cm<sup>3</sup> yoğunluğa

sahiptir. 26 Aralık 2003 tarihli “ Kimyasal Maddelerle Çalışmalarda Sağlık ve Güvenlik Önlemleri Hakkında Yönetmelik ”, MAK (müsaade edilebilir azami konsantrasyon) değerini 9000 mg/m<sup>3</sup> veya 5000 ppm olarak belirlemiştir. Havadaki oksijen oranı karbondioksit lehine azalır, bilinç kabına ve ölüme neden olmaktadır.

Hem karbondioksit hem de hidrojen sülfür gazı ağır gazlar olduğundan, jeotermal sondajlarda gaz gelişlerini önceden haber veren sesli ve uyarıcı sistemler sondaj alanında muhtelif yerlere monte edilmelidir. Bu gazların düşük bir değerde bile tehlike yaratma potansiyelinin olması, bu gazlara karşı çalışan personelin donanımının ve bilincinin yüksek olmasını gerektirmektedir.

### **2.1.3 Sıcak Su Buharı ve Termal Konfor**

Jeotermal sondajlar denildiğinde; sıcaklığın  $\geq 20^{\circ}\text{C}$  sondajlar akla gelmektedir. Denizli-Kızıldere sahasında rezervuarda ölçülen en yüksek sıcaklığın  $242^{\circ}\text{C}$  olduğunu düşünürsek, sıcaklık kavramının jeotermal sondajlardaki önemini anlarız. Bu kadar yüksek sıcaklıklarda çalışıldığında doğal olarak; sondaj platformunun, sondaj çamurunun, sondaj ekipmanlarının (tij, muhafaza borusu, ağırlık borusu, matkap v.b gibi) geçilen formasyonların ısısını alarak ısınması, ortam ısısına yakın ısıları da bünyelerinde taşımaları doğaldır.

Çalışanların, verimli olabilmeleri için ortamın termal konforunda (havanın ısısı, nemi, hızı, radyant ısısı) sağlanması gerekir. İnsan organizması işlevini  $35^{\circ}\text{C}$  ile  $38^{\circ}\text{C}$  arasında, yani çok dar bir sıcaklık aralığında gerçekleştirir. (Topcu, vd.2007). Vücut ısısı  $35-38^{\circ}\text{C}$  değerlerinin dışına çıktığında organizma işlevini yapmaktan uzaklaşmaya başlar ve sıcaklık artışıyla çalışanlarda bıkkınlıktan başlayarak, yüksek düzeyde yorgunluğa, ısı çarpmasına hatta ölümlere giden durumlar görülür. Aynı zamanda ısı artışı çalışanların performanslarında da düşmelere yol açar (Camkurt, 2007).

Platformda ve çamur tankları üzerinde çalışan ve sondaj ekipmanları ve malzemeleri ile temasta bulunan personelin jeotermal akışkanın ısısından etkilenmesi kaçınılmazdır. Özellikle ortam sıcaklığının çalışmaları olumsuz yönde etkileyen ana parametrelerden sayıldığı jeotermal sondajlarda sağlıklı bir çalışma yapılabilmesi için çevreden gelen sıcaklığın ivedilikle etkisiz hale getirilmesi (sondaj çamurunun soğutulması gibi) ve termal konfor koşullarının sağlanması gerekir. Ayrıca bu sondajlarda iş güvenliği malzemelerinin yeterli ve etkin kullanılmaması sonucu meydana gelen en büyük zarar yanıklar olmaktadır. Çamur tanklarının üzerine ızgaralar yerleştirilmesi ve özellikle çalışanların ısıya dayanıklı eldiven, ayakkabı, baret giymeleri iş emniyetinin artırılması bakımından önemlidir.

5547 sayılı Kanunla onaylanmış bulunan Avrupa Sosyal Şartı'nda belirtilen “tüm çalışanların güvenli ve sağlıklı çalışma koşullarına sahip olma hakkı vardır.” şartına uygun çalışma ortamları sağlanmalıdır. Bu yasal zorunluluk ile çalışanlara kazasız çalışma ortamı yaratılmasının yöntemleri geliştirilmelidir.

## **2.2 SONDAJ PERSONELİNİN NİTELİK VE NİCELİKLERİNDEN KAYNAKLANAN RİSKLER,**

Jeotermal kaynakların arama aşamasındaki en pahalı ve iş güvenliği yönünden en riskli işlem sondaj çalışmalarıdır. Sondajın emniyeti ile sondaj maliyeti arasında doğrudan bir bağlantı vardır. Emniyet faktörünün artırılması istenildiğinde sondaj maliyetleri de



artmakta veya maliyetleri düşürmek istendiğinde emniyet faktörleri azaltılmaktadır. Konuya insan faktörü olarak bakılacak olursa; emniyetli ve en ekonomik sondajlar kuyuları, ancak bu konuda eğitilmiş ve tecrübe kazanmış deneyimli sondaj personeli ile yapılabilir. (Akman, 1993).

Jeotermal Kaynaklar ve Doğal Mineralli Sular Kanunu'nun kabul edilmesi ile birlikte ivme kazanan jeotermal kaynak araştırmaları, sondaj firmalarının yetkin sondaj personeli istihdamı konusuna önemsememeleri; sondaj ilerleme hızlarını düşürmekte, işçi sağlığını ve iş emniyetini tehlikeye atmakta, iş verimini olumsuz etkilemektedir. Bundan dolayı çalışan sondaj personelinin işin niteliğine göre şekillenecek eğitimleri büyük önem kazanmaktadır. Bu nedenle;

- Jeotermal sondajlarda çalışacak sondör ve mühendislere; Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı Uygulamalı Kuyu Kontrolü Eğitim Merkezi tarafından verilen "International Well Control Forum, (IWCF)" eğitim sertifikası alma zorunluluğu getirilmeli,

- TPAO nun dışında da akredite olmuş, uluslararası geçerliliği olan eğitim verebilen kurumlar geliştirilmeli (örneğin altyapısı ve deneyimi daha uygun olduğu için MTA bu konuya yönlendirilebilir),

- Ruhsat vermeye yetkili kurum olan İl Özel İdare Sekreterlikleri, yeterli eğitim almış teknik personel ile güçlendirilmeli,

- Jeotermal sondajlarda çalışan personelin; bu sondajlara özgü tehlikeleri önleyecek iş sağlığı ve güvenliği eğitim sertifikasına sahip olma zorunluluğu getirilmeli,

- Bu sondajlarda çalışacak geçici işçilerin; işin uzmanı tarafından verilecek iş sağlığı ve güvenliği eğitiminden sonra işe başlamaları sağlanmalı.

Jeotermal sondajlarda yapılan çalışmalar; kazı işlemleri, borulama, çimentolama, rezervuar mühendisliği, kuyu kontrolü, iş güvenliği gibi farklı konuları içermektedir. Risk düzeyi bu kadar yüksek olan jeotermal sondajlarda görev alacak sondörler ile yetkili teknik personelde yukarıda sayılan niteliklere sahip olma şartı getirilmelidir. Bu konunun ilgili Kanun'da ve uygulama yönetmeliğinde bulunmaması yasanın eksikliklerindedir.

## **2.3 SONDAJ MAKİNE, EKİPMAN VE MALZEMELERİNDEN KAYNAKLANAN RİSKLER**

### **2.3.1. Sondaj Makina ve Ekipmanlardan Kaynaklanan Riskler**

Çalışmalarda kullanılacak makine ve ekipmanlar işin özelliğine göre seçilir. Her işin özelliğine ait makine ve iş ekipmanları bulunmaktadır. Her tür maden arama ve inşaa işlerinde kullanılan sondaj yöntemleri için de işin tekniğine özgü ekipmanlar kullanılmaktadır. Bu ekipmanlar, sondaj sektöründe kabul edilen API, DIN, BS, JIS ve DCDMA standartlarıdır. Bu konuda ulusal standartlar da mevcut olup, bunlar uluslar arası kabul gören standartların ulusal standartlara uyarlanması şeklinde olmaktadır. Bu standartlar ile sondaj piyasasının ortak bir dil kullanması yanında, kullanılan makine, malzeme, takım dizisi ve ekipmanlarda da standartlaşmaya gidilerek, hem kalitenin artırılması, hem de kullanıcıların korunması yoluna gidilmiştir. Kuyu derinliği, çapına ve zor sondaj koşullarına uygun olarak seçilmeyen sondaj makine ve pompaları kuyu gelişleri veya kuyu yıkıntıları durumunda personelin risk altında çalışmalarına neden olacaktır. Bu nedenle sondajlara uygun makine tipi standardı geliştirilerek, nitelik olarak yetersiz sondaj makinelerinin jeotermal sondajlarda çalışması önlenmelidir.

Jeotermal sondajlarda kuyu kontrolü, kullanılan sondaj sıvısı ile olmaktadır. Ancak çalışma ve kuyu emniyeti açısından kuyu başı emniyet vanaları(BOP) kullanılması zorunludur. Yine yüksek basınç altında üretim yapılması söz konusu olduğu için borulama yapılması gerekli işlemler arasında yer almaktadır. Kuyuya indirilen bu boruların çelik kalitesinin de jeotermal sahadaki basınç dayanımlarını karşılayabilecek uygunlukta olması, kuyunun uzun süre hizmet vermesi ve üretim devamlılığı yönüyle de önemlidir.. Ayrıca önemli bir konu da; muhafaza borularının çimentolama işleminin tekniğe uygun yapılması ve mutlaka çimento loğu (CBL) alınması gerekliliğidir. Uygun yapılmayan çimentolama işlemleri, boruların uygun olmayan formasyonlara indirilerek yandan gelişlerin ortaya çıkması kuyuyu tehlikeye attığı gibi çalışanlarında sağlığını tehdit eder. Ayrıca çimentolama işleminde dikkat edilmesi gerekli en önemli konu; boru ortalayıcılarının kullanılmaması sonucu borunun kuyu cidarında tek tarafa yatık olma durumu çimentolamanın hatalı yapılmasına yol açar. Bunun dışında çimento şerbetinin anülüsde kendisine has bir yol bulması ile tek taraflı bir çimentolama gerçekleşebilmektedir. Bütün bu olumsuzluklar sonucu rezervuardaki akışkanın boru dışından gelişi sonucu bazen çalışmalar imkansız hale gelebilmekte, çalışanların ve işin sağlığı tehlikeye düşebilmekte ve kontrolsüz geliş de çevre felaketine yol açabilmektedir.

Yeterli sondaj makine ve pompa gücüne ve kuyubaşı malzemesine sahip olmayan şirketlere arama ruhsatı verilmemelidir. Dolayısıyla ruhsatı veren kamu görevlilerin bu konuda eğitilmesinde ve sondaj tekniği konusunda yönerge çıkarılmasında fayda vardır.

### **2.3.2. Kimyasal Maddelerden Kaynaklanan Riskler**

Akışkanlığı iyi bir sondaj çamuru denildiğinde; düşük jel mukavemetine, düşük yield mukavemetine, düşük vizkoziteye sahip sondaj çamurları akla gelir (Özbayoğlu, 1983). Jeotermal sondajlarda, istenilen özellikte sondaj çamuruna sahip olmak için formasyondan kaynaklanan veya sıcaklıktan bozulan çamurlara değişik kimyasal maddeler eklenmektedir. Örneğin; lignosülfonatlar, kostik soda (NaOH), sodyum bikarbonat (NaHCO<sub>3</sub>), polimerler (CMC, PAC gibi), bakterisitler, tuz, kireç, jips gibi. Kullanılan bu kimyasal maddeler; özellikle bu maddelere alerjisi olan çalışanları direk olarak etkilemektedir. Ayrıca, kostik soda hazırlanırken, hazırlanan kostik sodanın cilt ile temasında, temas eden yer bu kimyasalca tahriş edilir, göz ile temasta ise körlüğe varan tehlikeler oluşmaktadır.

## **3. SONUÇ**

Jeotermal sondajlarda iş sağlığı ve güvenliğini artırmak için;

a- 5686 sayılı “Jeotermal Kaynaklar Ve Doğal Mineralli Sular Kanunu” ve “Jeotermal Kaynaklar ve Doğal Mineralli Sular Kanunu Uygulama Yönetmeliği”nde jeotermal sondajların teknik yönüne ilişkin boşluklar, kamu görevlileri ve ilgili meslek odaları taraflarından oluşacak bir çalışma grubu ile en kısa sürede düzenlenecek yönerge veya yönetmeliklerle giderilmelidir.

b- Jeotermal sondajlar, konusunda uluslararası veya ulusal sertifika veren kurumlarda ilgili eğitimleri tamamlamış (iş sağlığı ve güvenliği, kuyu kontrolü, sondaj tekniği, çamur ve çimento uzmanlığı) yetkin mühendisler ve sondörler tarafından gerçekleştirilmelidir.

## KAYNAKLAR

- Akman, H, Uygulamalı Kuyu kontrolü,1993 Türkiye petroler A.O.,Eğitim Yayınları No:28
- Cankurt, M. Z, 2007, İşyeri Çalışma Sistemleri ve İşyeri Fiziksel Faktörlerinin İş Kazaları Üzerine Etkisi, TUHİS İş hukuku ve İktisat Dergisi, Mayıs/agustos 2007, Cilt28 Sayı 6, Cilt 21 Sayı 1.
- Güler, B, Jeotermal Kaynaklarımızın Durumu, Arama Politikaları ve Değerlendirilmesi İş Sağlığı ve İş Güvenliği Yönetmeliği, 9 Aralık 2003 Tarih ve 25311 sayılı Resmi Gazete
- MTA, MTA Genel Müdürlüğünün Basın Bildirisi, 18 Agustos 2008.
- Özbayoğlu, Y., 1983, Elmaslı Sondaj Tekniği El kitabı.
- Taşyürek, M., www.isguvenligi.net., Gazlar-İşçi sağlığı yönünden.
- Toka B., Tuğran M., Toralioglu M., 2003, Jeotermal ve Çevre, Sondaj Sempozyumu, TMMOB Maden Mühendisleri Odası, İzmir.
- Topcu, C., Aköz, M., Gürbilek, M., 2007, Küresel İklim Değişikliği ve Çevresel Etütler Konferansı, Ekim 2007



## Disiplinler Arası İşbirliği mi; Sıradanlık mı?

Tahir ÖNGÜR<sup>1</sup>, Ümran SERPEN<sup>2</sup>, Niyazi AKSOY<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Jeoloji Y. Mühendisi, Serbest Danışman

<sup>2</sup> Dr, İTÜ Maden Fakültesi, Petrol ve Doğal Gaz Mühendisliği, ABD

<sup>3</sup> Doç. Dr, Dokuz Eylül Üniversitesi, Torbalı Meslek Yüksek Okulu  
[tahirongur@turk.net](mailto:tahirongur@turk.net)

### ÖZ

Jeotermal kaynaklarla ilgili çalışmalar her aşamasında çok sayıda meslek ve bilim dalının ilgi ve katkısıyla yürütülebilir niteliktedir. Ancak, bu katkılar tekil, birbirinden ayrık, üst üste eklenebilir katkılar değildir. Kaynağın özellikleri gereği, her bir meslekî katkı, ancak bir dizi başka katkıyla bir arada, bir alışım biçiminde verildiğinde anlamlı olabilir.

Tersi durumda jeotermal kaynaklar zarar görmekte, yatırıma harcanan kaynaklar ziyan olmakta ve işletmelerde sorun yaşanmaktadır.

Bunu engellemenin yolu Teknik Sorumlu'luk kavram ve kurumunun yeniden düzenlenmesidir. Bu sorumluluk daha tanımlı olmalıdır.

Bu alanda, meslek odalarına önemli bir sorumluluk düşmektedir. Konuya yalnızca kendi meslek alanlarında daha çok istihdam yaratma doğrultusunda bakılması herkes için yıkım getirir.

### JEOTERMAL KAYNAKLARIN ÖZGÜNLÜĞÜ VE FARKLİLİĞİ

Jeotermal Kaynaklar, bir doğal yer altı kaynağıdır. Özelliklerini daha çok dolaylı yollarla öğrenmeye çalıştığımız ve yararlanma süreçlerini önemli belirsizlikler içinde planlayabildiğimiz kaynaklardır. İşletme aşamasının sonunda bile bilinmeyen yönleri kalan, karmaşık yapıları vardır. Aynı zamanda, yapıları ve özellikleri dinamiktir. Hem doğal ve hem de bizim yatırım müdahalelerimizde olduğu gibi yapay etkenlerle özellikleri sürekli değişir. Değişime en yatkın özellikleri akışkan basınç ve sıcaklıklarıdır. Ama, bunların değişimi bizim yatırımlarımızı da etkiler. Çünkü tesis ve tesisatlarımız bu parametrelere göre hesaplanıp tasarlanmıştır. İşletme verimliliği bu değişimlerden olumsuz etkilenir. Dahası, bu sistemlerin kimyasal içerikleri, çözünmüş katı ve gaz bileşimleri de tesis ve tesisatın tasarımında göz önünde tutulmak zorundadır; ama, bunlar da hem doğal koşullarda ve hem de işletme sırasında değişir. İklimsel değişiklikler ya da bir deprem bu koşulları lehimize ya da aleyhimize değiştirebilir. Yanlış yerlerden, yanlış miktarlarda, yanlış tesislerle akışkan çekersek; artan akışkanı sisteme geri basmaz ya da bunu yanlış yerler ve programlarla yaparsak sistemi yine ve çoğu durumda aleyhimize değiştiririz.

Bu dinamik sistemlerin de bir tarihi vardır. Doğada bunlar ağır ağır oluşup gelişir, dorukta süren bir etkinlikten sonra ağır ağır da yok olurlar. Dünyada çok sayıda fosil jeotermal sistem kalıntısı vardır. Bu süreç yeterince uzun olduğu için bu sistemleri kendi yararlanma takvimimiz içinde yenilenebilir olarak algılamamızda bir sakınca yoktur. Ama, doğal koşulları ve süreçleri değiştirip bozan bir tarzda müdahale ettiğimizde bu yenilenebilirlik tersinir ya da çoğu zaman tersinmez biçimde bozulabilir. Bizim tesislerimiz ve üretimimizin, yatırımımızın da sürdürülebilirliği bundan zarar görür.

Bundan ötürü, jeotermal kaynaklar katkısı zorunlu, gerekli ve yararlı bütün bilim dallarının ve meslek adamlarının katkıları, birbirini tamamlayacak ve zenginleştirecek biçimde ortaklaşa kullanılarak aranmalı, geliştirilmeli ve işletilmelidir.

### **KATKISI GEREKLİ MESLEK VE BİLİM ALANI DİSİPLİNLERİ**

Jeotermal kaynağın nesnesi ısıdır. Bu ısı esas olarak yeraltındaki kayalarda birikmiştir. Bu ısının en kolay taşınımı bir akışkan yardımıyla, doğada su ile olur. Bunun gerçekleşebilmesi için yeraltında uygun kaya birimlerinin ve uygun geçirimli zonların varlığı ve bunun sistemin soğumasına neden olmayacak şekilde yapılması gerekir. Yani, bir jeotermal kaynağı bulabilmek ve geliştirebilmek için öncelikle Jeoloji Mühendisliği bilgi ve deneyimine gereksinim duyulur.

Ancak, yer altı bilgisi dolaylı yollarla, yorum ve kestirimlerle derlenebilen bilgilerdir. Bunların daha zengin, daha duyarlı ve nitelikli olabilmesi için çeşitli fiziksel ilke ve ilişkileri kullanan teknolojilerle araştırılması ve Jeofizik Mühendislerinin katkısı gerekir.

Jeotermal sistemler kimyasal içerikleriyle yüzeydeki su ve kaya kimyasında izler bırakır. Bunların tanınması arama ve işletme aşamalarında yol gösterici olur. Bu nedenle, her aşamada Jeokimya ve Kimya Mühendislerinin katkısı önemlidir.

Jeotermal sisteme ilişkin bilgiler yeterince olgunlaşmışsa kaynağa ulaşmanın yolu sondajdır ve bu işlem sürecin en riskli ve pahalı bölümüdür. Burada uygun teknoloji, iyi örgütlenme, tedbirlilik, deneyim, kesintisiz çalışma ve deneyimli mühendislik katkısı gereklidir. Maden ve Petrol Mühendislerinin katkısı bu aşamada ağırlık taşır. Onlara Jeoloji, Jeofizik ve Kimya Mühendisleri de eşlik etmelidir.

Başarılı kuyular dolaysız yer altı bilgileri ve akışkan ve rezervuarla ilgili doğrudan veriler sağlar. Bunlar uygun yöntemlerle ve yeterli duyarlılıkla değerlendirilmeden rezervuar ve kaynak ile ilgili doğru kararlar verilemez. Bu değerlendirme aşamasında da Test Mühendisleri, Petrol Mühendisleri, Jeoloji Mühendisleri, Kimya Mühendisleri, Jeofizik Mühendisleri ve komşu dallardan mühendislik katkısı yaşamsal olur.

Kaynağın yüzeye çıkarılması, iletilmesi, tesise ulaştırılması, bu arada istenen termodinamik ve fizikokimyasal özelliklerin yitirilmemesi önceliklerin de yardımıyla Isı ve Tesisat Mühendisliği'nin işi olmalıdır.

Sonra, kaynaktan yararlanma hedefine göre Elektrik, Mekanik, Havalandırma ve İklimlendirme, Ziraat, İnşaat Mühendislerinin sorumluluk alanı başlar ve sürer.

İşletme süresince de kaynak yönetimi yaşamsal önem taşır ve Jeoloji, Petrol, Kimya ve Jeofizik Mühendisliği katkılarının sürmesi gerekir.

Bütün bu süreçlerde Çevre Mühendisliği, Ekonomi, Hukuk ve Sağlık uzmanlık dallarından da düzenli katkı alınmadan uygulamalar en uygun biçimde yürütülemez.

## **KATKILARIN BİRLİKTE VERİLMESİ ZORUNLULUĞU**

Bütün bu çalışma aşamaları ve katkılar eş zamanlı, aynı doğal sistemin tanınması ve yönetilmesine yönelik olduğu için birbirinden ayrı, bağımsız olarak bir anlam taşımaz, yarar getirmez. Her aşamada, bir mühendislik dalının ürettiği veri ve bilgi ya da yaptığı bir tercihin, anılan bütün öteki dallardan mühendislerin de değerlendirmesi, yorumu ve tartışmasına açık olması, birinin ötekine yol göstermesi, kararların bütün öteki meslek disiplinleri tarafından eleştirel biçimde gözden geçirilmesi ve bir çok değerlendirme ve kararın birlikte alınması gerekliliğin ötesinde, zorunludur. Burada, kollanması gereken bireysel ya da mesleksel otonomi değil, kaynak ve kaynağın geliştirilmesi için harcanacak toplumsal emek ve olanaklar olmalıdır.

Bu da, birlikte çalışmayı zorunlu kılar.

## **KOLAYCA ZARAR VERİLEN BİR YER ALTI KAYNAĞI OLARAK JEOTERMAL**

Bu temel ilkeler göz ardı edilip kısa erimli kazanç güdülerini ile bu kaynaklara yapılan müdahaleler çok geçmeden olumsuz sonuçlar yaratıyor. Ya kaynak zarar görüyor, basınç ve sıcaklıkları düşüyor, kimyasal bileşimi değişiyor, bu yüzden yapılmış olan yatırımlar kapasitelerine uygun çalışmıyor. Ya da, çevre zarar görüyor, razı olunamaz kirlilikler oluşuyor, zeminde oturmalar ortaya çıkıyor, denetlenemez deşarjlarla karşı karşıya kalınıyor.

Bunun sayısız örneği yaşandı ülkemizde.

Kaplıcalar Kenti Bursa'da bir de değil, iki kez yanlış sondajlar yapıldı ve her ikisinde de sıcak su kaynakları zarar gördü. İkincisinde haftalar boyu kent sokaklarından sıcak ve tuzlu sular aktı. Her ikisinde de gerekli uyarılar yapılmıştı. Ama, hırsların önüne geçilememişti. Aynı hırs, aynı inatla şimdi de sürüyor. Kentte yeniden dayanaksız umutlar dağıtılıp, jeotermal sondajlar yapılıyor.

Jeotermal kent ısıtması projelerinin uygulandığı birçok sahada, yanlış üretim programları ve reenjeksiyonun ihmal edilmesi nedeni ile o sahalardaki jeotermal rezervuarlardaki basınç ve sıcaklık hızla ve kimi yerde kalıcı olarak düşmüştür. İşletmeci ya da yüklenicilerin buna karşı tepkisi durmadan yeni kuyular açmak oldu ve bu da sorunu derinleştirdi. Bir dönem Balçova, Gönen, Sandıklı, Edremit, Kozaklı, ve başka sahalarda hep bu hoyrathıktan nasibini aldı.

Bu tür sorunlar yaşandığı için proje sahibi olan yerel yönetimler kuru ve terk edilmiş sondaj kuyusu zengini oldu. Kamu kaynakları telef edildi. Bu durum sürüyor da.

Böylesi hoyrathıklardan ötürü doğal anıt niteliğindeki sayısız kaynak kurudu, travertenler kararı, fümerollerden eser kalmadı. Denizli'de Kamara, Karahayıt, ve öteki sahalarda bunun en tipik örnekleridir.

Kaynak kapasitesine uymayan sayıda kuyu izinleri verildiğinde düşmeye başlayan kuyu verimlerinden ötürü hızla gelişen jeotermal sera ısıtması projesinde de sorunlar yaşanmaya başlandı.

İlk jeotermal elektrik santrali olan Denizli Kızıldere'de artan akışkan geri basılmadığı için yüksek Bor, Alkali ve başka kimyasalla yüklü akışkan on yıllarca Menderes Nehri'ne döküldü.

Farklı mühendislik disiplinlerinin birlikte bulabileceği mühendislik çözümleri varken Kızıldere'de karbonat kabuklaşmasına çağdaş bir çözüm üretilmedi; akla gelen en ilkel

müdahale ile kuyuların içi her altı ayda bir yeniden taranarak temizlendi; elektrik üretimi düştü ve santral hiçbir zaman kapasitesinde kullanılmadı.

Santral sayısı çoğalmaya başladı. En büyük kapasiteli olanı 8 aydır çalışıyor. Ama, akışkanla birlikte çıkan sera gazı nitelikli önemli miktarda karbondioksit havaya salınıyor. Belirsiz bir süre daha salınacak ta.

Jeotermal kaynakların değerlendirilmesinde alternatif teknolojiler var. Ve bunlar, kaynağın özelliklerince belirleniyor, ona göre seçilmesi gerekli. Örneğin şimdi olduğu gibi, önce santral tipini seçer ve sonra da bunun esiri olup ürettiğiniz elektriğin önemli bir bölümünü, buhar türbine girmeden önce kondanase olmayan gazları ayırabilmek için harcarsanız kaynağı ziyan etmiş olursunuz. Yine örneğin, başka sahalarda elektrik üretilen sıcaklıktaki artık akışkanı nehre atar, bunu reenjeksiyonla yeraltına geri bile basmazsanız yine kaynağı ziyan etmiş olursunuz. Yine örneğin ısıtmadan dönen akışkanı kuyularla yeraltına geri basmak yerine, yağmur suyu deşarj hatlarına dökerseniz uyanıklık etmemiş, kaynağa zarar vermiş olursunuz. Yine örneğin, 20 km öteden getirdiğiniz akışkanla ısıtacağınız kentin bütün tesis ve tesisat yatırımını yapar da, kuyu testlerini yapmayı ondan sonra akıl ederseniz yine kaynağa zarar verirsiniz. Yine örneğin, kuyu açılmadan önce yatırımcı Belediye'ye 40 km boru aldırır, bir de bunun yarısını sahaya yaydırır; sonra da, açılan kuyudan yeterli akışkan gelmezse bu kez yatırıma ayırdığınız kaynağa zarar vermiş olursunuz....

Jeotermal kaynaklara değişik biçimlerde zarar verilebilir. Ondan zarar da görülebilir. Bunu daha şimdiden yaşıyoruz.. Bunların bir bölümü kısa yoldan daha çok kazanç sağlamak olabilir. Ama, bunun önemli bir nedeni de ortaya çıkan soruna farklı disiplinlerden mühendislerin birlikte çalışamamaları, çalıştırılmamaları yüzünden çok disiplinli çözümler üretilmemesidir.

## **TEKNİK SORUMLULUK KAVRAMI**

Bu özgün ve her türlü dış müdahaleye çok duyarlı olan doğal kaynaklar alanında yapılacak bütün çalışmaların çağdaş bilimsel ve teknik ilke ve kurallara uyularak yapılması yaşamsal bir önem taşımaktadır. Bu ise, yeterli eğitim, donanım ve deneyime sahip kadrolardan yararlanılmasını zorunlu kılmaktadır. Yatırımcıların ya da yöneticilerin bu becerilere sahip olması elbette ki olası değildir. Bu nedenle, Yasa da bir "Teknik Sorumlu" kavramı ve kurumunu getirmeyi amaçlamıştır. Yasa'ya göre;

### **"Teknik sorumluluk ve faaliyet raporu**

**MADDE 7 – (1)** Arama ve işletme ruhsatı süresince, faaliyetlerin ilgili mühendislik dallarından bir mühendisin sorumluluğunda sürdürülmesi zorunludur. Teknik sorumlu olmaksızın faaliyette bulunulması halinde, ruhsat teminatı irat kaydedilerek, faaliyetler durdurulur.

(2) Teknik sorumlu; kaynağın aranması, araştırılması, geliştirilmesi ve üretiminde bilimsel ve teknik esasları gözeterek görev ve sorumluluklarını yerine getirir. Ancak doğal mineralli su işletmelerinde ilgili mühendislik fakültesi mezunu herhangi bir kişi teknik sorumlu olarak bulunabilir."

Hepsi bu. İlgili mühendislik dallarından bir mühendis Teknik Sorumlu olacak. Hangi dalların ilgili olduğuna, kim karar verecek belli değildir. Bunca karmaşık konularda, bunca çok meslek katkısının gerektiğinde, bunca birlikte çalışmayı gerektiren bir konuda bu dallardan bir



mühendisle yetinilecektir. Ve yalnızca bir mühendis Teknik Sorumlu olacaktır. Üstelik o kişinin yalnızca bir “Mühendis” olması yetecek, deneyim, birikim, uzmanlık, yetkinlik aranmayacaktır.

“İlgili mühendislik dallarından bir mühendisin sorumluluğunda” yürütülecek hiçbir çalışma ne jeotermal kaynağı, ne buna ayrılan yatırım olanaklarını ve ne de çevre ve insan sağlığını koruma ve kollamaya yarayabilir. Bilmediği konulardan sorumlu da tutulsa o mühendis ancak bir “Günah Keçisi” olabilir.

Teknik sorumluluk geliştirilmelidir. Kategorilere ayrılmalıdır. Arama ve geliştirme aşamasında başka dal(lar)dan (jeoloji, kimya, jeofizik, maden, petrol, yazılım, test, vö), yatırım aşamasında başka dal(lar)dan (petrol, makine, elektrik, ziraat, inşaat, vö), işletme aşamasında başka dal(lar)dan (makine, elektrik, ziraat, çevre, elektronik, vö) mühendisler aynı anda, birbirine koşut olarak teknik sorumlu olmalıdır.

Jeotermal kaynakların arama ve geliştirme çalışmaları işletme aşamasında da sürer. Bu nedenle ilk aşamada görevlendirilen Teknik Sorumlu mühendisler, işletme aşamasında da görevlerini sürdürmeli ve kaynağa ve sahaya zarar verebilecek uygulamalardan sorumlu olmalıdır. Ama, daha ilk geliştirme aşamasında bile sonraki aşamalarda sorumluluk yüklenecek mühendislik dallarından mühendislerin gözetimleri zorunlu olmalıdır.

## JEOTERMAL MÜHENDİSLİĞİNDE MESLEKİ DENETİM

Jeotermal kaynaklar Anayasa ve ilgili yasada dile getirildiği gibi kamu malıdır. İşletmeciler verilen izinlerle ve konan kural ve kısıtlamalara göre davranmak zorundadır. Bunun için çeşitli dallardan mühendislik desteği alır, mühendislik emeği kullanır.

Bu faaliyetler Yasa’ya göre aşağıdaki şekilde denetlenir.

### “Faaliyetlerin denetlenmesi

**MADDE 9 – (1)** Faaliyetler her yıl idare tarafından denetlenir. Gerektiğinde idarece talep edilmesi halinde MTA tarafından da denetim yapılır. Denetimler, 14 üncü maddede belirtilen hususlar ve diğer maddelerde belirtilen ilkeler dikkate alınarak yapılır. Denetimler için ruhsat sahibi tarafından MTA’ya 1000 Türk Lirası ödenir. Bu miktar, MTA tarafından yıllık ÜFE’ye göre artırılır.”

Bu düzenlemeye göre faaliyetin bütünüünün denetimi İl Özel İdareler tarafından durumundadır. İl Özel İdareleri’nin bu konuda yeterli donanım, kadro ve donanımının, hele deneyiminin olmadığı apaçıktır. MTA ise yalnızca bir aramacı kuruluştur. MTA’nın işletme koşullarını denetleyebilmesini beklemekse abestir.

Bu koşullarda TMMOB’ne bağlı meslek odalarının, bu alanda çalışan ya da Teknik Sorumlu olmuş olan mühendisler üzerindeki mesleki denetimi önem kazanmıştır.

Odalar bunu bir yanıyla iyi algılamış ve bu alanda mesleki açısından öne geçmek, başka mühendisler yerine kendi üyesi olan mühendislerin daha çok istihdamını sağlamak için ilgili bürokraside lobcilik, yasa ve yönetmelikte adının anılması için girişimler, kendi sorumluluk alanının dışındaki süreçleri de kapsayan eğitim çalışmaları, iç düzenlemeler, format hazırlamalar, vb konusunda yoğun çalışmalar yürütmektedir.

Henüz hiçbir meslek odası, teknik sorumlulukların ve dolayısıyla mesleki denetimin bütüncül olarak ele alınması gereği üzerinde durmamıştır. Ne yazık ki henüz hiçbir mühendislik odası, süreci TMMOB düzeyinde gündeme getirmemiştir!

Yarın ortaya çıkacak sorunların doğuşunda elbette ki bu konuda duyarsız kalan örgütlerimizin de önemli bir sorumluluğu olmayacak mıdır?



## **Küresel Kapitalizmin Jeotermal Enerji Pazarında Türkiye !**

Tahir ÖNGÜR<sup>1</sup>, Niyazi AKSOY<sup>2</sup>, Ümran SERPEN<sup>3</sup>

<sup>1</sup> *Serbest Danışman*

<sup>2</sup> *Dokuz Eylül Üniversitesi, Torbalı Meslek Yüksek Okulu*

<sup>3</sup> *İTÜ Maden Fakültesi, Petrol ve Doğal Gaz Mühendisliği, ABD*

[tahirongur@turk.net](mailto:tahirongur@turk.net)

### **ÖZ**

Küreselleşen dünya kapitalizmi yatırım, finans ve mühendislik hizmeti araç ve olanaklarını, dünyanın tüm ülkelerine yaymak, kaynakları denetim altına almak ve artı değeri merkez ülkelerdeki çokuluslu dev kuruluşlarına akıtmak için de elinden geleni yapmaktadır. Jeotermal kaynaklar taşınabilir olmadığı için, bu alanda gelişen asıl eğilim yatırım, finans ya da mühendislik ve teknoloji satışı biçiminde gerçekleşmektedir.

Bu yöndeki girişimleri özendirmek, desteklemek ve kollamak için küresel kapitalizmin uluslar arası kurumları da çokça kullanılıyor. DB, Exim Banklar, Bölgesel Kalkınma Ajansları, Banka Konsorsiyumları, Dış Ticaret Müsteşarlıkları, IGA vb STK'lar, akademik kuruluşlar, vb. hep bu doğrultuda çalışmaktadır.

Ancak, bir yanda jeotermal sistemler bulunduğu jeoloji ortamının özgünlüklerince oluşturuluyor ve yerel bilgi son derece önemli iken diğer yandan jeotermal kaynaklar dinamik ve kendi doğal koşullarında yenilenebilir sistemler olarak varlıklarını sürdürmektedir. Kâr güdüsü öne çıktığında hızla yıpranıp tükenebilmektedir. Yabancı yatırımcı ya da mühendislik hizmetlerinin bu konuda titiz davranmalarının bir güvencesi yoktur.

Ülkemizde 60 yıldır sistemli jeotermal mühendisliği çalışmaları yapılmaktadır. İlk yirmi yılda UNDP destekli uluslararası ilişkiler bilgi ve uzmanlık transferi sağlanmaktaydı. Sonradan bu sürmediği gibi sağlıklı bir uluslar arası işbirliği düzeni de kurulamamıştır. Son yıllarda bu kaynaklar özel yatırımlara açıldığından beri önce makine ve donanım, ardından da hizmet pazarı olmaya, finansman sağlayabilmek üzere de kapıları çalınmaya başlandı. Hele Jeotermal Kaynaklar Yasası yürürlüğe girdiğinden beri, bir yandan birkaç Avrupa'lı şirket saha edinip arama ve geliştirme çalışmalarına başlarken; bir yandan, mühendislik hizmeti veren çokuluslu şirketler sektöre yeni girmiş olan yatırımcı şirketlere arama ya da rezervuar değerlendirme ve modelleme hizmeti vermeye; bazı yatırımcılar da uluslar arası banka konsorsiyumlarından kredi kullanmaya başladılar. Giderek, olmayan uzmanlıklarını Türkiye jeotermal dünyasının hizmetine sunduklarını reklam etmeye başlayan cılız şirketler boy ortaya çıkmaktadır. Dünya Bankası fonlarından yararlandırma umudu vererek yatırımcılara olmadık işlere para harcatan yönetim şirketleri, Dünya Bankası fonlarını dağıtmada aracılık yapmaya soyunanlar, küresel krizden en çok etkilenen ülkelerden İzlanda'nın devlet şirketi İsor'un serbest bıraktığı elemanlarının proje yönetimine bel bağlamalar, yüz milyonlarca dolar yatırım umuduyla sürdürülen görüşmeler, ...

Sonuç, şimdiden israf edilen ve boşu boşuna dışarı transfer edilen yatırım kaynakları, boş umutlar, aşırı kapasite öngörüsüyle kurulan tesislerde kaynağın zarar görmeye başlaması, yanlış teknoloji seçimleri, gelişmemiş teknolojilerin pazarlanmaya çalışılması, kaçak çalışan yabancı mühendisler, taşeronlaşan yerli mühendislik kuruluşları, teknisyenleşen yerli mühendisler, yerli ve yabancı mühendisler arasındaki ücret uçurumu, uluslar arası bilgi sızdırma projelerinin Türkiye ayağı olmaya başlayan akademik dünya, vb. görülmeye başlandı.

TMMOB'ne bağlı odalar kendi üyelerini sıkı sıkı denetleyebilmek için kural üstüne kural koyarken yabancılar denetimsiz bir ortamda at koşturmaya başladı.

Bir yandan değerli yer altı kaynakları zarar götürürken, bir yandan da bunları geliştirmeye ve üretime almaya ayrılan kaynakların telef olması, emperyalizmin son derece sıradan ve masum bir manzarasını oluşturuyor.

### **JEOTERMAL KAYNAKLARIN ÖZGÜNLÜĞÜ, TAŞINMAZLIĞI, YERİNDE DEĞERLENDİRME ZORUNLULUĞU**

Jeotermal sistemler statik, duragan ve değişmez değildir. Bir kömür yatağı gibi çıkarıldığı kadar eksilen ve geri kalan bölümündeki özellikleri değişmeyen yer altı kaynakları da değildir. Petrol ve gaz gibi akışkan bir kaynak olsa da, ısı ve akışkanla sürekli olarak hem tükenen ve hem de beslenen bir kaynak ve dinamik bir sistemleri vardır. Bu kaynak ne kömür, ne bakır ve ne de petrol ve gaz gibi çıkarıldığı yerden uzak tüketim yerlerine taşınmamaktadır. Yerinde değerlendirmek ve işlemek zorunludur. Her sistemin akışkan kimyası, sıcaklık ve basınç özellikleri, gaz içeriği, içinden çekilen jeoloji biriminin fiziksel ve kimyasal bileşimi, her şeyi başka yerlerdeki başka sistemlerden farklıdır. Bu yüzden bütün müdahalelerin ve işleme süreçlerinde kullandığınız bütün donanımlar başka yerlerdekinden farklıdır, o yere, o kaynağa özel olmak durumundadır. Bütün bunlardan ötürü de küresel kapitalizm jeotermal kaynaklara el koymaya ilgi duymamaktadır. Bunun yerine, finans sağlayarak kazanmayı, teknoloji satarak kaynak sahibi ülkeleri pazar olarak kullanmayı, hizmet satarak değer aktarmayı yeğlemektedir.

### **JEOTERMAL KAYNAKLARIN DİNAMİK YAPISI, KIRILGANLIĞI, DENGE**

Jeotermal sistemlerin dinamik yapısı son derece kırılmalıdır. Müdahalelere karşı öngörülemeyen şekilde tepki verir. Saha geliştirmenin hangi aşamasında olursanız olun sistem, rezervuar ve alanla ilgili bilgileriniz sınırlı kalmaya mahkumdur. Bu nedenle, kapasite, teknoloji, üretim programı seçerken yapılacak en masum ölçüsüzlükler ve yanlışlardan olumsuz etkilenebilmektedir. Üstelik bu konuda her bir saha bir diğerinden farklıdır. Aynı kuşakta işletilen jeolojisi, jeokimyası ve termodinamik özellikleri çok benzer sahalardan birinde çekip geri bastığınız akışkan yakınındaki kuyuya 1,5 yılda ulaşmamakta; bir başkasında, üretime başladıktan 1 saat sonra 3,5 km uzaktaki kuyuda basınç düşümü rapor edilebilmektedir. Bu sistemler, basınçları ve sıcaklıkları düşerek ya da kimyasal bileşimleri değişerek kaynak yönetimindeki yanlışlara tepki vermektedir. Bundan ötürü jeotermal sahaların adım adım, aşamalı olarak geliştirilmesi ve yenilenebilirliğine uygun bir üretim programı uygulanması gerekmektedir. Ancak, yatırımcılar ve onların isteklerine uymakta beis görmeyen yabancı mühendislik şirketleri de kaynağı kollamak yerine umut satıp, umut almayı

yeğleyebilmektedir. Oysa, dürüst bir mühendislik yaklaşımı önce kaynağın yenilenebilirliğini, sonra işletmenin ekonomik ömrü içindeki sürdürülebilirliğini gözetmek durumundadır. Küresel kapitalizmin merkez ülkelerde kolladığı, koruması yönünde sıkı kurallar konmuş olan jeotermal kaynakları, bizim gibi kenar ülkelerde hatalardan esirgeme doğrultusunda bir şey yapmaya zorlanmadıklarının sayısız örnekleri vardır.

### **JEOTERMAL SEKTÖRÜNDE KAYNAK BİLGİSİNİN ÖNEMİ**

Jeotermal kaynakların, her bir sistemde ötekilerden farklı ve özgün yapısı var. Bu özgünlük, içinde gelişilen jeoloji ortamının, yapısal jeolojinin, yakın dönem tektonik geçmişinin, volkanizmanın, hidrojeolojinin; yani, o jeotermal sistemin etkileşim içinde olduğu bütün yer kabuğu ortamının özellikleri jeotermal sistemi anlamak için çok büyük önemi var. Bu nedenle, kaynak alanı ve sisteme ilişkin bilginin yaşamsal önemi var. Kuşkusuz her ülkenin belli bölgelerinde ortak özellikler var. Ama, hiçbir saha bir başkasının aynısı değildir. Bu nedenle, her ülkenin ve her bölgenin jeolojisine ilişkin bilgiler, bununla ilgili bilgi birikimi, literatür, saha deneyimi, vb'ne daha fazla hakim olan uzmanların jeotermal saha geliştirmede başarı şansı daha yüksektir. Ne yazık ki kısa geçmişte bile yabancı mühendislerin bu donanımına sahip olmalarından kaynaklanan hendikaplarının acısını yatırımcılar çekmektedir. Kötü örnekler yaşanmaktadır.

### **DENEYİM AKTARIMI**

Jeotermal kaynaklar bütün değinilen özgünlüklerine karşın termodinamik, rezervuar mühendisliği, jeokimyasal süreçler, enerji dönüşümü ve benzeri konularda temel ve ortak bazı ilkeler elbette vardır. Bu da saha geliştirme ve işletme deneyimi ile pekiştirilebiliyor. Bu nedenle, dünyanın değişik yerlerinde kazanılmış deneyimin dolaşımı ülkemiz için de değerlidir. Somut sorunlar ve konularda gerçekten uzmanlaşmış kişi ve kuruluşlarla işbirliği yapmanın gereği ve yararı tartışılmaz. Ancak, bu ilişki iyi anlaşılmalı ve tanımlanmış gereksinimlerin ortaya konması ve doğru partnerlerin seçilmesi durumunda başarılı olabilir. Ülkemizdeki jeotermal araştırmaların ilk aşamasında UNDP ile yapılan işbirliği bunun ne kadar verimli olabildiğini de gösterdi. Daha sonra BRGM ya da ENEL ile yapılan bazı işbirlikleri de sahaların daha doğru anlaşılabilmesi için oldukça yararlı oldu. Ancak, son iki yıl boyunca yaşananlar ve yardımı umulan kuruluşların niteliği iç acıtıcıdır.

### **TEKNOLOJİ GEREKSİNİMİ, EDİNME YOLLARI, ERİŞİLEBİLİRLİĞİ**

Bunun yanında jeotermal kaynakların geliştirilebilmesi daha arama aşamasında jeofizik ve jeokimya teknolojilerini, sondaj teknolojilerini, daha sonra test ve ölçüm teknolojilerini, modelleme tekniklerini, enerji dönüştürme teknolojilerini, ve daha bir dizi teknoloji alanından yararlanılmasını gerektiriyor. Üstelik bu alanlarda her gün yenilikler ve gelişmeler oluyor. Ve ülkemizde bu konularda bir ARGE çalışması, araştırmaları destekleyen fonlar, gelişmiş bir endüstri altyapısı yoktur. Zorunlu olarak uluslar arası jeotermal teknolojiye ulaşmak ve onları edinmek gereklidir. Bu da, sonunda küresel kapitalizmin kısa erimli çıkar güdülerinden kaynaklanan yönlendirmelerden kaçınmayı gerektiriyor. Bunu edinmenin en güvenli, en doğru, en ekonomik yolu, saha ve sistemlerle ilgili doğru bir anlayış, jeotermal teknolojiyle ilgili

zengin bir kültür ve pazarı iyi tanımaktır. Yabancı danışmanlıklar, uzman kılığındaki kişi ve kuruluşların her biri artık belli finans, üretim ve ticaret tekellerinin uzantısı durumundadır.

### **DÜNYA JEOTERMAL YATIRIM, FİNANS VE MÜHENDİSLİK HİZMETLERİ PAZARI**

Dünya’da ilk jeotermal üretici (elektrik) ülkeleri İtalya, İzlanda, Japonya, Yeni Zelanda ve ABD olmuştur. Kendi ülkelerinde kazandıkları deneyim bu ülkeleri başka ülkelerde çalışmaya da yöneltmiştir.

Bu açıdan İzlanda, uzun yıllar daha çok dünyanın değişik ülkelerinden gelen farklı disiplinden mühendislere eğitim sağlayarak sahnede kaldı. Güney Amerika ve Orta Avrupa’daki birkaç projede verilen danışmanlığın ötesinde de küresel kapitalist sistemde fazla bir dolaşıma giremedi ve ciddi bir pay alamadılar.

Japonya, mühendislik şirketlerinin bazı Orta Amerika ülkelerindeki az sayıda hizmeti dışında pek uluslar arası pazara açılmadı.

Yeni Zelanda’nın deneyimi de, uzmanlarının dünyanın her yerinde verdikleri danışmanlıklar dışında kendi ülkesinin sınırları içinde kaldı.

Ancak, İtalya ve sonradan kısmen özelleştirilmiş olan devlet kuruluşu ENEL ile onun önyak olmasıyla serpilip gelişen başka şirketleri ile önce Orta ve Güney Amerika ülkelerinde, sonra Güney Asya’da çok sayıda ülkede mühendislik, sondaj, saha geliştirme ve santral tasarımı işleri ile dünya jeotermal sektörünün kurucuları arasında önemli bir yer tuttu.

ABD başından beri devlet destekli özel jeotermal yatırım kuruluşları ve onlara hizmet vermek üzere kurulan mühendislik ve endüstri şirketleri ile güçlü bir sektör geliştirdi. Bu sektör, öncelikle Orta ve Güney Amerika, Meksika, Filipinler ve Endonezya gibi Güneydoğu Asya ülkelerinde pazarda önemli bir yer tuttu.

AB bu alanda, İtalya ve İzlanda dışında geri kaldı. Şimdi şimdi, kendi ülkelerinde doyurucu bir Pazar bulamayan Almanya firmaları Orta ve Doğu Avrupa, Asya, Afrika ülkelerine sözde olmayan teknolojilerini satmaya çalışıyor. İngiltere ve İrlanda bir iki kent ısıtma projesinin bile altından kalkabilmiş değil. Dünya pazarında da adları anılır bir yerleri yok.

Bu pazarda en kazançlı olanlar yine finans sektöründeki şirketler, bankalar. Dünyanın neresinde olursa olsun bir jeotermal yatırım projesi mutlaka onların kapısını çalıyor. Bir dizi aracı, sözde uzman, danışman derken yatırımcılar kârlarının önemli bir bölümünü finans sektörüne kaptırıyor.

Küresel kapitalizmin jeotermal enerji sektöründeki aktörlerinin ayakta kalabilmesi, yayılabilmesi ve güçlenebilmesi için başta Dünya Bankası olmak üzere merkezi ve bölgesel kurumlar da destekleyici ve yönlendirici olarak kullanılıyor. Dünya Bankası, Doğu Avrupa ve Asya’da Pazar açabilmek için oluşturduğu bir fonla, Geofund eli ile bu ülkelerde gelişebilecek pazarı denetlemeye çalışıyor. Çok sayıda işbirlikçi ve bu pazarlara girmeye çalışan firmalar, bir umutla destek bulabileceğini sanan bazı yatırımcılarla buluşturulup, çoğun yanlış yönlendiriliyor.

Gelişmiş kapitalist ülkeler, kendi firmalarına dış Pazar sağlayabilmek üzere kendi eximbankalarını ve ellerindeki fonları harekete geçirmeye çalışıyor. Bunun tipik bir örneği ülkemize yönelik <sup>1</sup>. Bir Idaho firmasına, ülkemizdeki bir jeotermal santralin tasarım ve

*1* <http://www.exim.gov/pressrelease.cfm/7B988651-0E0A-CF0D-2C3B9114B627F581/> ya da <http://www.exim.gov/article.cfm/761B39FE-9F59-3BA4-0E8DDCFADC9F574/>

mühendislik hizmetleri karşılığında ABD Eximbank'ın 15 yıl garantili 4,86 milyon USD'lık desteği söz konusu. POWER Engineers Inc. Ex-Im Bank'ın Başkan Yardımcısı ve Yönetim Kurulu Üyesi Linda Conlin "Ex-Im Bank bu şirketin ve öteki ABD kuruluşlarının bu büyüyen pazarda iş yapışını desteklemekten mutludur." POWER Engineers Başkanı Jack Hand'de "Bu destek, jeotermal mühendislerimizin iş bulması ve iş hayatlarının iyi sürmesini sağlamakta da yararlı olacaktır" diyordu. Üstelik bu firmaya, **Geologica Inc.** ve **Veizades & Associates, Inc.** de taşeron olarak katkıda bulunacaktı. Kanada Toronto'da kurulu **The Toronto-Dominion Bank** ta bu desteğin garantörü olacaktı.

Henüz küresel kapitalizmin başka sektörlerdeki örgütlülüğünü jeotermal enerji sektöründe göremiyoruz. Ancak, son iki on yıldır giderek hareketlenen bir pazar oluşuyor ve yeni ülkelerde yeni işbirlikleri kuruluyor.

### **BU PAZARDA BUGÜNE KADAR ÜLKEMİZ**

Ülkemiz yakın zaman öncesine kadar bu pazarda önemli bir yer tutmadı. 50 yıldır yalnızca aramacılık yaptık. Kamu kesimi bu alana bir ilgi göstermedi. Bir tek jeotermal santralımız vardı. Jeotermal kaynaklarımızı daha çok kent ısıtmacılığında geliştiriyor ve bunu da yerli teknoloji ile kör topal yürütebiliyorduk.

**Son on yıl** içinde özel kesim elektrik üretimi amacıyla yasal eksiklikleri zorlayarak bazı sahalarda yatırıma başladı. Sondaj işlemlerinin gerektirdiği özel ürünlerin dış alımı ile geçen bir süreden sonra iş santral tasarımı ve siparişi ve işletmeye alınması aşamasına geldi. Salavathı sahasında yalnızca makine, malzeme ve donanım alımıyla kurulan dış dünya ilişkileri, santral satıcısının kendi ülkesinden sağladığı eximbank kredisiyle biraz kolaylaştırıldı. Ancak, önce Aydın Germencik Ömerbeyli, sonra Çanakkale Tuzla ve şimdilerde de Denizli Kızıldere sahaslarında yabancı mühendislik firmalarının hizmetleri, sonra da bunların yönlendirmeleri altında teknoloji ve santral alımları ağırlık kazandı.

**Yasa'dan sonra**, Jeotermal Kaynaklar Kanunu ve Yönetmeliği uygulamaya girdikten sonra bir Pazar olarak Türkiye, küresel kapitalizmin yoğunlaşan bir ilgisi ile karşılaştı.

Önce, yasadan yararlanmak üzere bir Alman (Umbach Enerji), bir İrlanda/Alman (GT Enerji) ve bir de İzlanda (Turkisor) şirketi ülkemizde şirketler kurarak bazı ruhsatlar edindi. Bundan hoşnut olmak en doğrusu. Kaynak getirip arama yapacak, belki de yatırım yapıp enerji üreteceklerdi. Ancak, beklenen gibi olmadı. Umbach bir süre boşa zaman geçirip sahayı Türkiyeli bir yatırımcıya devretti. Beklentilerini bulamayan o yatırımcı da sahayı birkaç hafta önce yeniden Umbach Enerji'ye geri verdi. Turkisor önce Manisa'daki sahasında jeofizik araştırmalar yaptırttı. Henüz arkası gelmedi. Tatvan'da Nemrut Kalderası'ndaki sahasına uğramadı bile, henüz. Nevşehir Acıgöl Kalderası'ndaki saha ise süresi dolup düştü ve ihale edildi. Hiçbir jeotermal deneyimi olmayan bir İrlanda firması GT ise, bir Alman ortakla İzmir'de bir firma buldu ve Kula çevresinde elektrik üretmeye elverişli saha aradığını dillendiriyor. Kula türü volkanizmanın olduğu yörelerde buna elverişli entalpili jeotermal sistemler bulmanın olanaklı olup olmadığı bir yana, kamu görevlilerini ziyaretlerinde 1500 m derinde bir akışkan bulamazsak, 2500-3000 m'ye iner kızgın kuru kaya (EGS) projesine döneriz gibi düşsel öyküler anlattıkları söyleniyor. Bu firma, İrlanda Dublin'in bir semtini jeotermal akışkanla ısıtmak için sondajlar yapmış, umut verici bir sıcaklık gradyanı bulunca

da, İrlanda'da yenilenebilir enerji yatırımlarını teşvik etmek için çalışan bir devlet örgütünden teşvik aldığını savlıyor. Ama, o kurumun web sayfasındaki teşvik edilen projeler listesinde GT'nin aldım dediği teşvik yok. Ola ki, şimdi de Türkiye'de bir büyük saha buldum diyerek kendini ülkesinde ya da başka ülkelerde pazarlıyordu.

Yasa'dan sonra ya ruhsat edinerek ya da MTA ihalelerinden saha devir alarak arama ve geliştirme çalışmalarına başlayan oldukça çok yatırımcı var. Bunlar, jeoloji ve jeofizik araştırmalar yaptırıyor. Sondajlara başlayanlar henüz az; ama, gelecek yılın sondaj yoğun geçeceği anlaşılıyor. Şimdi, hangi yabancı kuruluştan o saha için anlamlı olacağı umulan jeofizik inceleme teklifi istense, hemen Söke ve Tire'de düş kırıklığı yaratan MT yöntemi dayatılmaya çalışılıyor.

**Dünya Bankası ve IFC adına yapılanlar:** Dünya Bankası Doğu Avrupa ve Asya'da yenilenebilir enerji kaynaklarının geliştirilmesini destekleme gerekçesi ile bir fon oluşturmuştu: GeoFund. Fon'un kaynağını, DB'nin finans kuruluşu olan IFC sağlıyor. Fon'un kullanılacağı coğrafi alan Doğu Avrupa ve Asya olarak belirlenmiş. Jeotermal Enerji Geliştirme Programı, GeoFund 2006 yılı sonunda Dünya Bankası yönetimi tarafından alınan bir kararla oluşturuldu ve bunun için 25 milyon USD kaynak oluşturuldu.

GeoFund'dan yararlanabilecek ülkeler, Arnavutluk, Ermenistan, Azerbaycan, Beyaz Rusya, Bosna-Hersek, Bulgaristan, Hırvatistan, Gürcistan, Kazakistan, Kırgızistan, Makedonya, Moldova, Karadağ, Romanya, Rusya, Sırbistan, Ukrayna, Tacikistan, Türkiye, Türkmenistan ve Özbekistan olarak seçilmiş.

DB GeoFund'un proje önerme kurallarını anlatan bir yayınına göre "Teknik Yardım" IGA tarafından yürütülecek.

Jeolojik Risk Sigortası ise Dünya Bankası'nca yönetilecek. Bu konuda geçtiğimiz Kasım ayının 11-12'sinde Almanya Karlsruhe'de bir Çalıştay yapıldı. Bu sigorta ile, öngörülemeyen jeolojik nedenlerle başarısız olunması durumunda yatırımcının kayıplarının bir bölümü bu sigorta fonundan karşılanacak. Türkiye'deki sahalarda pompa kullanılmadığından habersiz olan IGA "expert"lerine göre pompa arızası bir jeolojik riskmiş. Yine onlara göre sondaj sırasında blow out olurmuş ve bu da bir riskmiş. Belli ki, ülkemizde bunca jeotermal sondaj yapılıyorken hemen hemen 40 yıldır böyle bir riskin yaşanmadığını da bilmiyorlar. Yasamızı da bilmiyor olmalı ki, izin işlemleri uzarsa bu da risk yaratır diye düşünüyorlar. Olası rezervuar sıcaklıklarını öngörmeye jeokimyasal yöntemleri bilmediğimizi sanıyor olmalı ki, beklenenden az rezervuar sıcaklıklarıyla karşılaşabilirsiniz, sigortaya gereksiniminiz var diyorlar. Bulunan akışkanın yüksek silis içeriğinin risk olduğunu, sahalarımızın sıcaklık aralığından ötürü santrallerimizi binary sistemli yaptığımızı bilmiyor ve bizi akışkanda fazla gaz varsa kondensörden almanın risk olduğuna inandırmaya çalışıyorlar. Yine fazla gazın kabuklaşmaya neden olduğunu söylerken, bizim sahalarımızda çok başarılı inhibitör uygulamaları olduğunu bilmeden konuşuyorlar. Jeotermal akışkanlarımızı asitli sanıyor ve bunu da risk olarak masaya koyuyorlar. Ya şu risklere ne demeli: volkanik püskürme, hidrotermal püskürme, sismik tehlike. Sahalarımızın fay zonlarında yerleştiğini de bilmiyor ve yalnızca Yeni Zelanda Wairakei'de görülen büyük oturmalarla bizi risk altında sanıyorlar. Sahaların matematik rezervuar modellerini oluşturamaz, bizi bu modellere göre doğru yönetemez sanıp sisteme soğuk su girer, sıcaklık düşer sanıyorlar ve bu risklere karşı size sigorta sağlayalım diyorlar. Aslında özellikle, ülkemizdeki temsilcisi olan firmanın bu son süreçleri, geliştirdiği sahalarda bize yaşatmış olmasından ötürü neden böyle düşündüklerini anlamak ta mümkün. Bütün bu saçmalıklar,



DB Avrupa ve Orta Asya Bölgesi Enerji ve Altyapı Birimi “*Önder Çevre Ekonomisti*” Helmut Schreiber’in sunumundan alındı. Buna, Macaristan’daki Othahaza jeotermal alanında çalışan Green Rock Energy Limited yutmuş belli ki ve o sahadaki 3 ve 5 nolu sondaj kuyuları için kendilerine 1,3 milyon dolar sigorta sağlanmış. Herhalde koşulu buydu ki, İzlanda danışmanlık firması Enex hf de kendilerine yer seçimine katkıda bulunmuş! Doğrudan kredi ve fonlar ise IFC tarafından karşılanacak.

Bunlardan yararlanabilmek için DB’nın hazırladığı bir form doldurulup en geç 15 Aralık 2008’e kadar başvurulması gerekiyordu. Başvuru formları IGA’dan sağlanıyordu. O zamanlamaya göre başvuranlar arasından seçilenler 10 Ocak 2009’da ayrıntılı proje teklif vermeye çağırılacak ve Ocak 2009 sonundan önce ayrıntılı başvurular alınacaktı. Ancak, duyurulan Çalıştay’ın Şubat 2009’a ertelendi, başvuru süresi de uzatıldı.

**GeoFund için bugünün hedefi Türkiye olarak belirlenmiş.** Bunun nedenini anlamak güç değil. Türkiye’de jeotermal kaynakların aranıp işletilmesi henüz 1,5 aydır uygulanan bir yasa ile *özelleştirildi*. Yetmedi, ülkenin araştırmacı kamu kuruluşu MTA’nın 45 yıllık çalışmalarının sonunda bulunduğu sahalardan önce 6’sı sonra da 3’ü yapılan ihaleler ile *özelleştirildi*.

Şimdi, Türkiye’de bir jeotermal arama, yatırım ve işletme PİYASASI var. Tam anlamıyla liberalleştirilmiş bir PİYASA. Paylaşılacak bir pasta ortaya çıktı.

DB’na kaynak ayırıp kullanımı ve yönetiminde post kapmış olanlar için öteki hedef ülkelerin hepsinden daha önemli bir **“bugünün hedefi”** Türkiye, kuşkusuz. Bu nedenle, GeoFund’u tanıtmak, benimsetmek ve Türkiye’de işletmek düşüncesi ile bir “Çalıştay” programlandı. Önce Aralık 2008 ortalarında yapılmasına çalışılan Çalıştay, sonra ertelenip Şubat 2009’da yapıldı.

Çalıştay’ın, önce İstanbul Haliç’te Kadir Has Üniversitesi (KHÜ) kampüsünde yapılacağı duyuruldu. Çağrı metninde KHÜ’nin logosu bile vardı. Ama, daha sonra Üniversite yönetimi yeterince bilgilendirilmeden ve izni alınmadan kullanılacağı duyurulan bu katkıyı iptal etti. Sonra, Çalıştay İstanbul Sirkeci’de bir otelde yapıldı. İlk duyuruda Çalıştay sonunda, İsrail’de kurulu bir jeotermal santral yapımcısı kuruluşun Aydın’daki bir jeotermal alana düzenleyeceği bir geziden söz edilmiş iken; sonradan, bu yok ve bunun yerine “*Bursa Jeotermal Alanı*”na bir geziye buyurun dendi. O da olmadı! Çünkü Bursa’daki sıcaksu kültürüne yönelik saldırı başarılı olamadı. Bursa’da o günlerde, Bursa kamuoyunu sarsan tartışmalara neden olan ve Bursa’daki TMMOB örgütlerinin şiddetle karşı çıktığı bir doğa yıkımının, yanlış bir sondaj girişiminin arkasında da, 8 yıldır bu projeyi Bursa’ya zorlamakta olan aynı çevre dolaşıyordu. Çalıştay’ın programında, söz hakkının bütününe yakınına yurt dışından gelecek olan IGA yönetimi ve yakın çevresinin oluşturduğu “*Dünya Jeotermal VIP*”i kullandı. Bu iş zor ve meşakkatlidir, biz bu işi biliriz, size sigorta ve kredi de buluruz, akıl da veririz dediler.

Çalıştay, bu bölgede jeotermal gelişmeyi sağlamak üzere aşağıdaki 3 fazlı, uzun soluklu bir çalışmanın ilk aşaması olarak tanıtıldı. Bu üç aşama şöyle açıklanıyordu,

1) Bir proje nasıl geliştirilir, finans modelleri ve ekonomik modeller nasıl hazırlanır, arama ve sondaj işlemleri için GeoFund’dan yardım almada başarılı olacak öneriler nasıl hazırlanır, uluslararası finans kaynaklarına nasıl ulaşılır gibi konularda teknik destek sağlanacakmış, Çalıştay’da.

2) GeoFund, seçilmiş proje geliştiricilerine düşük maliyetli kredi bulunması, bağışlar bulunması ve proje maliyetlerinin bir bölümünü dışsal yararlarını parasallaştırarak destekleyen krediler bulunması konusunda destekleyecekmiş. Bunun gibi, GeoFund bu kez IFC üzerinden,

var olan jeotermal tesislerin verimlerini iyileştirmek için yardım edecek ve kaynaklar umut verici ise olumlu iş planlarını da destekleyecekmiş.

3) Son olarak GeoFund, proje geliştirici/yatırımcılarını kısa ya da uzun erimli jeolojik risklere karşı sigortalarmış. Bu sigorta jeotermal enerji yatırımlarının önündeki en önemli engel olan arama ve işletme alanında görülecek riskleri karşılamaya yardımcı olacakmış.

Burada önemli bir düğüm noktası Partnership International adlı şirket. **PARTNERSHIP INTERNATIONAL**, ABD Washington’da kurulu bir şirket. Şirket, Dünyanın her yerinde sürdürülebilir alt yapı yatırımları için danışmanlık veriyormuş. Kendilerinin anlatımı ile Fortune 500 şirketleri ve DB, UNDP, ABD Hükümeti ve başka saygın yöneticiler için çalışıyorlarmış; dünya çapında bakanlarla, yardım ajanslarıyla, finans kuruluşlarıyla ve yerel kuruluşlarla **“derin ilişkileri olan uzmanlar”**a sahipmişler.

Müşterileri arasında,

- U.S. Agency for International Development (USAID)
- U.S. Trade and Development Agency (USTDA)
- US Export-Import Bank (Ex-IM Bank)

Proje yönetimlerinde yer alacak isimlerden hiçbiri jeotermal uzmanı değil. Şirketin bugüne değin yaptığı çalışmaların arasında da, bu konu ilk kez yer alıyordu.

İkinci düğüm noktası IGA (International Geothermal Association): IGA İtalya’da kurulu ve dünyanın değişik ülkelerinde üye dernekler var. Yönetimi pek değişmiyor. Yönetim Konseyi’nde 20 ülkeden 31 kişi var. Bunlardan biri de Türkiye’den. IGA uluslararası jeotermal kongrelerini düzenliyor, yayımlar yapıyor ve zengin bir web sayfası var. Bu arada GeoFund’un “Teknik Yardım” işleri de IGA’ya verilmiş. Bu teknik yardım, sağlanacak kredi ve sigortalarla birlikte IGA’nın uzmanlık denetimi altında yürütülecek. Bu uzmanlık öyle herkese açık değil. IGA’nın kayıtlı uzmanları, “*experts*”i var. Bu listeye IGA’nın web sayfasından ulaşılabilir. Şimdi, gelişen DB-IFC-PI-IGA birlikteliği ve onların uzman(!)ları, Türkiye jeotermal kaynak geliştirme sektörüne 3-5 milyon US Doları kredi ve sigorta karşılığında akıl verecek, yön gösterecek.

Ama, Türkiye’nin 45 yılı bulan jeotermal serüveninde yetişmiş ve bugün MTA, İller B., TPAO, ETKB, EPDK, Belediyeler, Özel İdareler, MİGEM, vb kamu kurumlarında; ODTÜ, AÜ, İTÜ, İÜ, ÇOMÜ, DEÜ, DPÜ, SÜ, NÜ ve öteki akademik kurumlarda; serbest danışmanlık ve mühendislik kuruluşlarında; ve çeşitli özel şirketlerde çalışan, Jeoloji, Jeokimya, Petrol, Jeofizik, Makine, Maden, Çevre ve Ziraat Mühendisleri, Ekonomistler, ve başka disiplinlerden birkaç yüz uzman var ülkemizde.

Her yıl çok sayıda bilimsel toplantı, sempozyum, çalıştay, seminer ve kurslar düzenleniyor. Her yıl yurt dışında yapılan bilimsel toplantılara çok sayıda bildiri sunuluyor, uluslararası hakemli dergilerde çok sayıda yayın yapılıyor.

**Son günlerde** halen çarpıcı haberler gelip duruyor. Önce, Bir Alman Firması’nın, MTA tarafından zaten araştırılıp bulunmuş olan önemli bir jeotermal alanımızda 3 boyutlu jeoloji modeli kurmak ve sondaj yerleri belirlemek üzere Türkiye’li yatırımcı ile bir sözleşme imzaladığı haberi dünya elektronik ortamlarında dolaşmaya başladı<sup>2</sup>. Bu haberlerden anlaşıldığı

---

<sup>2</sup> <http://www.mining-reporter.com/index.php/press-releases/180-enro-energie-se/338-enro-energie-se-enro-geothermie-entwicklung-awarded-contract-for-exploration-of-potential-geothermal-energy-site-for-turkish-karadeniz-energy-group>

kadarıyla, yapılan anlaşmayla yeni bir teknoloji, bir finans desteği ya da bir buluştan yararlanma değil, doğrudan doğruya sıradan bir Alman Firması'nın Aydın'daki bu sahanın 3 boyutlu jeoloji yapısını aydınlatması konusunda hizmetinin alınması yoluna gidilmiş.

Bir ülke olarak Almanya dünya jeotermal dünyasında yok denecek denli zayıf bir konumda. Jeotermal kaynakları çok sınırlı olduğundan ötürü bu alanda yetişmiş insan gücü, uzmanlık birikimi, yaratıcılık ve yenilikçilik becerisi de pek gelişmemiş ve birikmemiştir. Dünyada jeotermal elektrik üretiminde Almanya'nın yeri son sıralardadır. Doğrudan jeotermal ısı uygulamalarında da Almanya, Türkiye'yi olsa olsa imrenerek izlemek durumunda.

2005 yılında Antalya'da gerçekleştirilen Dünya Jeotermal Kongresi'nde sunulan ve 5-6 ay sonra Endonezya Bali'de gerçekleştirilecek olan WGC2010'a sunulacak bildiriler incelenecek olursa, hele ülkelerin jeotermal gelişmelerini sergileyen "*country update*" bölümündeki bildiriler incelendiğinde bu durum görülebilir.

Ülkemizde ise, 1964 yılından bu yana sistemli ve örgütlü bir şekilde jeotermal mühendisliği çalışmaları yapılıyor. Bu sayede gerek pratik ve gerekse akademik ortamda güçlü bir kadro yetişti, çok zengin bir bilgi dağarcığı oluştu. Almanya'da bu kadro ve birikimle kıyaslanabilecek bir birikim ve beceri olmadığı çok açık. Olsa idi bile, jeoloji yapısı ve jeotermal sistemlerinin nitelikleri bütünüyle farklı olan ülkemizde başarılı olmalarını sağlayacak bir birikim edinebilmeleri de olanaksızdı.

Ancak, 2007 yılında Jeotermal Kaynaklar ve Mineralli Sular Kanunu yürürlüğe girdiğinden beri ülkemiz, kendi ülkelerinde çalışma olanağı olmayan özellikle AB ülkesi şirketlerinin girmeye heves ettikleri bir Pazar gibi görünmeye başlamıştır. Önümüzdeki ay başında İstanbul'da düzenlenecek bir yenilenebilir enerji teknolojileri toplantısının sloganı bunu çok iyi açıklamaktadır: "**Türkiye Pazarına Girmenin Tam Zamanıdır**".

O zaman bu haberin "German expertise for Turkish geothermal exploration" olarak sunulmasının şaşılacak bir tarafı da yok.

Hemen ardından, 300 kadar ruhsat edinmiş 4 şirketlik bir yatırımcı grubunun İtalyan ENEL Şirketler grubuyla görüşmelerin sonuna geldiği, bu sahalarda yapılacak araştırmalar sonunda toplam 300 MW kapasiteli santraller kurmak üzere 750 milyon dolar yatırım yapacağı haberleri basında yer aldı. Gerçi bu satırlar yazıldığında İtalyan tarafı henüz bir anlaşmanın söz konusu olmadığını söylese de "**Türkiye Pazarına Girmenin Tam Zamanıdır**" anlayışının küresel kapitalist ağda hızla yayıldığı açık.

Jeotermal uzmanı olduklarına ilgili kamuoyunu inandırmaya çabalayan Alman firmaları bir de Türkçe web sayfası oluşturdu. Kuşkusuz bu satırlar yayınlanana kadar başka gelişmeler de olacak, başka haberler de gelecek.

**Gidişin** ülkemiz jeotermal sektörünün mutlak bir pazar durumuna götürülmesi olduğu açık. Yasa, buna elverişli. Yetersiz yabancı mühendislik kuruluşları önünde düğmelerini ilikleyen, onların zırvalarına karşı çıkamayan, kimisi unvanlı zayıf kişiliklerin de yardımıyla sahalamız bu kuruluşların deneme tahtasına dönecek.

Oysa, bu ülkede jeotermal kaynakların değerlendirilmesi alanında çalışan mühendisler TMMOB'ne bağlı çok sayıda mühendis odasına üye ve bu örgütlerin denetiminde hizmet veriyor. Odalar, bu kişilerin çalışma koşullarını belirliyor ve onlara mesleki denetim uyguluyor. Bu doğrultuda mesleki ürünler vize ediliyor, hizmet sözleşmeleri onaylanıyor.

Sanki durum böyle değilmiş, Türkiye bunca bilimsel ve teknik birikime sahip olmayan çok daha az gelişmiş bir ülke, bu akademik ve teknik kadroları yok, bu kurumsal örgütlenmeye sahip değil de, Dünya Bankası'ndan üç kuruluş ayarlayan uluslararası bir ahabplar ekibi gelip

bize yardım edecek. Sanki bu ülkede on yıllar önce bulunan bunca jeotermal alan yok; bunca başarılı kuyu yapılamamış; Kızıldere Jeotermal Santrali bunca yıldır çalışmıyor; özel bir şirket Aydın Salavatlı'da her türlü mühendislik desteği bulup, kredisini oluşturup başarıyla bir santral kurmadı, bir ikincisini kurmaya girişmedi; sanki, bir başka özel firma Aydın Germencik'te on tane başarılı kuyuyu açtırmamış, 45 MW gücünde koskoca santrali kurmamış, işletmeye almak üzere değil; sanki, daha beş altı sahada kamu ya da özel kuruluşlar başarılı sondajlar yapmayı sürdürmüyor. Bunlar olmuyor da, İsviçre'den İtalya'dan İzlanda'dan hele hele Almanya'dan yaşı geçmiş uzmanlar gelip DB'nın yatırımcıya sağlamış görüldüğü kredilerin nasıl harcanacağına ahkâm kesecek.

Her şey belli de sağlanacak kredilerin koşulları belli değil. Her şey belli de sağlanacak sigortanın koşulları neler belli değil. Belli olan tek şey, bu büyük yardımların(!) hiç değilse IGA *expert*'lerinden hizmet alınması koşuluna bağlı olacağı, **TMMOB odalarının vize ve onaylarının değil, İtalya'daki IGA'nın beğenisinin aranacağı.**

Tablo aydınlık. Türkiye'deki jeotermal sektörünün kendileri adına özelleştirildiğine inanmışlar. Niyetlerini sağlama almak üzere DB ve IFC desteğini kullanma yolunu bulmuşlar. Çoktandır birlikte yürüdükleri Türkiye'li dostları da var. Bugünlerde şevkle kapı kapı dolaşıp bunu örgütlemeye çalışıyor. Dostları da bir kenarda uzman uzman, sessiz sessiz bekliyor.

Bu model Azerbaycan'da işleyecek mi, bilinmez. Macaristan'da işin hepsi 2 kuyunun sigortası olduğu için fazla dikkat çekmemişler. Polonya'da işleri yürür mü yürümez mi zaman gösterecek.

Ama, Türkiye'de bu iş zor yürür. Bunca birikimden sonra bu pazarı fethetmeyi çok isterler kuşkusuz. Ama, bu ülkenin de sahipleri var. 45 yıldır sürdürülen çalışmaların birikimi, üç beş uyanığın talan etmesine razı olunamayacak bir zenginlik. Ülkemizin yetişmiş uzman gücü bu tür tezgâhlara fırsat vermeyecek kadar güçlü bir şekilde örgütlü.

Bu noktada, bir yandan özel yatırımlara açılan sahalarda yatırım hazırlıklarına girişen özel firmaların yöneticilerine görev düşüyor. Bu ülkenin donanım ve birikimlerine güvenmeli ve DB-IFC-PI-IGA-TJD saadet zincirinin ya da Alman şirketler lobisinin ya da İzlanda'nın ortada kalmış mühendislerinin bu girişimlerine itibar etmemeli, oradan gelecek 3-4 milyon USD'ye tamah etmemelidir.

Yine bu noktada TMMOB ve bağlı Oda yönetimlerine de büyük bir görev sorumluluğu düşüyor. Bu ülkenin mühendislik hizmetlerini değerlendirmek, yetkilendirmek, belgelendirmek ve tanıtmak yetkisinin sıradan bir sözde uluslar arası STK'na devredilmesine razı olunmaması gerekir. Türkiye'deki mühendislerden küçük bir bölümünün ötekilerin yerine öne çıkarılmasına razı olunmaması gerekir. Yerli ve yenilenebilir jeotermal kaynaklarımızın, üç beş milyon dolarlık destekler için sonucu belli olmayan bir yola sokulmasına razı olunamaz. TMMOB ve ilgili odalar, üyelerini IGA tuzağına düşmemeleri ve DB politikalarının aracı, bu uluslararası tezgâhın yardımcısı olmamaları konusunda uyarmalıdır. TMMOB ve bağlı odalar yetkili ve ilgili kamu yöneticilerini bu girişime karşı uyarmalı ve yetkilerinin korunması doğrultusunda yardım istemelidir.

Daha önemlisi, bunca yıldır ülkemizin bu yer altı kaynaklarının bulunması ve geliştirilmesi doğrultusunda aşamalar sağlayan, kadrolar yetiştiren, yatırım yapan kamu kurumlarının yöneticileri ülkemiz ve jeotermal kaynaklar sektörüne somut hiçbir katkısı olmayacak olan bu uluslararası girişime destek vermemeli, bunu meşrulaştırıcı katılımlardan kaçınmalıdır.

DB kimliği altında gelip konuşan ve bizi şartlandırmaya çalışan olan kişilerin bir bölümü akademik unvana sahip oldukları için ders vermeye kalktıklarında, buna ilk karşı çıkması gerekenler ülkemiz Üniversiteleri'nde bilgi üreten jeotermal uzmanları olmalı idi. Jeotermal kaynakların geliştirilmesi çalışmalarında gerekli ve yaşamsal olan bütün temel bilgi ve verilerle donanmış olan bu ülkenin bilim insanları, “*hariçten gazel okumaya*” kalkanlarla yan yana durmamalı idi. Bu toplantılar birer bilimsel etkinlik değil, bir kredi/sigorta tanıtma ve pazarlama toplantısıdır. Buna katılmak bilimsel bir onur değil, o pazarlama çabasının yandaşı olunması kaydı sağlamaktadır. Bunu sağlamak için KH Üniversitesi'ne oynanan oyun bile, sürecin nereye varacağını anlamak için yeterlidir.

Son olarak, ülkemiz jeotermal kaynaklar çalışmalarında yetişen ve serbest ya da ücretli mühendislik hizmeti veren her daldan mühendis bunca yılın birikimi olan deneyim ve becerilerini teknisyenlik düzeyinde ve taşeron olarak sunmaya mahkûm olmamak için bu girişimlerden uzak durmalıdır.

Dünya Bankası'nın yıkıcı politikalarının yanında, bir de uluslararası finans kaynaklarını üleşme alanı olduğu ortadadır. GeoFund bunun en tipik örneği. Hepi topu 25 milyon dolarlık fondan ülkemize ayrılacak birkaç milyon dolara muhtaç değiliz.

IGA locası, ülkemizin jeolojisini bizim uzmanlarımız kadar bilmiyor, jeotermal kaynak alanlarımızın özgüllüklerinin farkında bile değil, bu sahaların teknik sorunlarına bulunan çözümlerden bile habersizler ve bizim çözdüğümüz sorunları jeolojik risk sayıp bize sigorta satmaya çalışıyorlar.

### **KARMAŞIK JEOLJİ YAPIMIZI BİLMEYENLERİN NEDEN OLABİLECEĞİ YANLIŞLIKLAR**

Bu gidişin sonunda hangi ülkeden gelmiş olurlarsa olsunlar bu uzmanlar daha ülkemizin jeoloji geçmişini anlayamadan proje süreleri dolacak. Ne yazık ki mutlaka yanılacaklar. Sahalarımıza yanlış müdahaleler yapacaklar.

Sahalarımızın çoğu Menderes Masifi'nde ve bu masifin yakın dönem jeoloji geçmişi çok özgün. Çok değişik. Bu geçmişin kalıtı, ne başka ülkelerdeki gibi birer kıtasal rift ne de başka ülkelerdeki simetrik grabenlere benzemeyen grabenlerimizde bugün yararlandığımız jeotermal sistemler. Bu Masifin yüksek ısı akılı oluşu da buraya özgü nedenlerden. Yine burada Miyosen yaşlı eski grabenlerle, güncel grabenler birbirini kesiyor. Bunu algılayamayanın doğru yerde bir sondaj kararı vermesi çok zor. Bu özgünlüklerden ötürü bu bölgedeki jeotermal rezervuarlar yüksek karbon dioksit içeriğine sahip. Bu hem sondaj projesini, hem üretim düzenini ve hem de santral tipi seçimini etkiliyor. Ama, bu sayede de bizim saharımızda kuyu içi pompa kullanılmıyor. Akışkanın gaz içeriğini azaltacak müdahaleler uzun erimde üretimin fizibilitesini bozmaya da neden olabilir. Rezervuardaki akışkanın gaz içeriğinin yüksek olması, geri basmayı, reenjeksiyonu da zor ve özel kılıyor. Sahalarımızın bunlar gibi ve daha bir dizi farklı özelliklerini burada öğrenecek yabancı mühendislerin saharımıza verecekleri zararlar ise yıkıcı ve kalıcı olacak. Bazılarının ilk sonuçlarına yukarıda değinildi.

### **DENEME TAHTASI KILINMAMIZ**

Kısıtlı bilgi ve deneyimi olan yabancı mühendislerin verebilecekleri zararların dışında kasıtlı biçimde deneme tahtası kılınmaya çalışılması da ayrı bir sorun. Şimdiden, ülkemizde

her jeotermal sistemin MT ile tanınabileceğine inanılmaya başlandı. Çok özgül sorunların ya da akademik olguların araştırılması, örneğin kabuğun yapısı ya da Kuzey Anadolu Fayı'nın incelenmesi için MT tekniği ne kadar başarılı oluyorsa, Söke ve Tire'deki gibi jeotermal saha araştırmalarında da o kadar hüsrana yaratıyor. Ama, şimdiden 2 yerli özel MT firmamız oldu bile. Ülkemiz jeotermal sahaları MT cihazlarının deneme tahtası oldu.

Denemenin dayatıldığı başka bir konu da EGS teknolojisi ile ilgili olarak gündemde. Dışarıdan her gelen, bize EGS dayatmaya çalışıyor. Almanya'da böyle bir santralımız var diyenlerin sözlerinin gerçek olmadığını farkında olan çok az.

Jeotermal sondajları ergitici matkaplarla, kayayı ergiterek, su-çamur-köpük kullanmadan yaptıklarını yayan Alman firmaları da burada müşteri ya da temsilci arıyor.

Kuyularda karbondioksit ayrıldığında kireç kabuklanması olmasın diye uygulanan inhibitör kimyasalları için Çin'den Almanya'ya kadar pek çok firma en uygun kimyasalı(?) bize dayatmaya çalışıyor.

### **YERLİ UZMANLIĞIN KENARA ATILMASI**

Bugüne değin doğru dürüst bir eğitim programı, kapsamlı bir lisans üstü eğitimi veren akademik kuruluşumuz olmadı. Sıradan saha çalışmaları bir çoğumuzun Doktora'lı olmamızı sağladı. Tez hocalarımız da jeotermalle bu vesileyle tanıştı; ama, o iş orada kaldı. Yasa nerede ise 10 yılda hazırlandı da, bu süre içinde yasa sonrasında ortaya çıkacak gereksinimler için bir eğitim programı uygulanmadı. Değişik mühendislik dallarında jeotermal uzmanlık eğitimi olmadı gibi. Varsa yoksa jeoloji, jeofizik, jeokimya ve rezervuar modelleme dendi. Bütüncül bir jeotermal uzmanlık alanı oluşturulamadı. Ara insan gücü hemen hemen hiç yok. Şimdi, alaylılar yetişiyor.

Ama, yine de sahalarımızda deneye yanıla yetişmiş, deneyim kazanmış, uzmanlaşmış çok sayıda mühendisimiz var. Gençler ya da bu konuya yeni ilgi duyanların inanılmaz bir eğitim talebi var.

Her şeye karşın, arama ve geliştirme projelerini yürütüp yönetebilecek kadrolarımız var. Yetersizler; ama, sahalarımızla yabancı sözde uzmanlardan çok daha fazla haşır neşir oldular.

Uluslararası hakemli dergilerde Türkiye'li uzmanların sayısız yayını yayımlanıyor, uluslararası jeotermal kongre ve sempozyumlarında dizi dizi bildirimleri yer alıyor, WGC'ye en çok bildiri götüren 3. ülkeyiz.

Şimdi, bu kadro ya kimliğini reddedip yetersiz yabancı uzmanların önünde eğilip yanında dolaşacak, ya taşeronlaşacak ya da işsiz kalacak. Kadrolarımız gelişip güçlenecek yerde, cılızlaşma tehdidi altında.

Mühendis olmanın yanında yurtseverlik duygu ve bilincinin tükenmesi, başa gelebilecek en kötü şey olur.

### **YERLİ VE YABANCI MÜHENDİSLER ARASINDA YARATILAN EKONOMİK FARK**

Elbette, yerli ve yabancı mühendisler arasında ücretler arasında uçurumlar olacak ve olmaya da başladı. Yukarıda verilen örneklerin bazılarında anılan bedeller bile bunu açıkça ortaya koyabilir. Yabancı, ABD'li bir mühendislik şirketi iseniz bir sahanın test verilerini değerlendirip santral tasarımının genel ilkelerini belirlerseniz 4 milyon dolardan fazla para

alırsınız. Bunu kendi ülkeniz için yapan bir mühendis iseniz size ödenenle bir apartman dairesi alamazsınız!

Bunun yatırımcıya olan yükü, projenin fizibilitesini bozucu yanı, artan maliyetlerin yabancı finans gruplarının kârına kâr katması da cabası.

### **YABANCILARIN DENETİMSİZ ÇALIŞABİLMESİ**

Bu ülkede jeotermal kaynakların değerlendirilmesi alanında çalışan mühendisler TMMOB'ne bağlı çok sayıda mühendis odasına üye ve bu örgütlerin denetiminde hizmet veriyor. Odalar, bu kişilerin çalışma koşullarını belirliyor ve onlara mesleki denetim uyguluyor. Bu doğrultuda mesleki ürünler vize ediliyor, hizmet sözleşmeleri onaylanıyor. Raporların hangi formatta hazırlanacağına katı kurallar getiriliyor.

Denetim yalnızca meslek odalarınca değil, İl Özel İdareleri, MTA ve başka ilgili kamu kurumlarınca da yapılıyor. Birçok yabancı firma sahalarımızda cirit atıyor, bu firmaların hangi hizmeti bu denetleme süreçlerinden geçti. Bunların hangi mühendisi yasal olarak bildirimde bulundu ve çalışma izni aldı?

Zaten küresel kapitalizm her girdiği ülkede olduğu gibi ülkemizde de önlemini önceden almıştı. 06 Mart 2003 tarihinde yayınlanan 4817 sayılı Yabancıların Çalışma İzinleri Hakkında Kanun ile TMMOB Kanunu'nun ilgili maddesi de değiştirilerek izinler yumuşatılmıştı. Ancak, 24.04.2004'te çıkarılan bu kanunun uygulama yönetmeliği hakkında TMMOB tarafından yürütmeyi durdurma ve iptal istemi ile ilgili olarak açılan davada Danıştay 10. Dairesi 13.9.2005 tarihinde, "Görüldüğü gibi 4817 sayılı Yasanın 22. maddesinde çalışma izninden muaf tutulacak yabancılara ilişkin usul ve esasların yönetmelikle düzenleneceği belirtilmekle birlikte; çalışma izninden muaf tutulacaklar aynı Yasanın, 6235 sayılı Yasayı değiştiren 26 ve 27 nci maddeleriyle sınırlandırılmış; yabancı uzman, mühendis, yüksek mühendis, mimar, yüksek mimarlar muafiyet kapsamı dışında bırakılmıştır.

Esasen 6235 sayılı Yasanın 33 üncü maddesinde, "Türkiye'de mühendislik ve mimarlık meslekleri mensuplarının mesleklerinin icrasını iktiza ettiren işlerle meşgul olabilmeleri ve mesleki tedrisat yapabilmeleri için ihtisasına uygun bir odaya kaydolmak ve azalık vasfını muhafaza etmek mecburiyetindedirler.", 36 inci maddesinde; "34 ve 35 inci maddeler gereğince gelen yabancı meslek mensupları Türkiye'de bir aydan fazla kaldıkları takdirde ihtisaslarına en yakın odaya müracaatla geçici aza olarak kaydolunurlar."; 30 inci maddesinde de; "Bu kanunun 33 ve 34 üncü maddelerinde yazılı vecibeleri yerine getirmeyen yüksek mühendis, yüksek mimar, mühendis ve mimarlar Türkiye'de mesleki faaliyetten menedilirler." hükümlerine yer verilerek konu yeterince açıklığa kavuşturulmuştur.

Bu haliyle 6235 sayılı Yasayla yapılan düzenlemeye açıkça aykırı bulunan dava konusu yönetmelik hükümlerinde hukuka aykırılık bulunmamaktadır.

Açıklanan nedenlerle, "Yabancıların Çalışma İzinleri Hakkında Kanunun Uygulama Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik" in 55. maddesine eklenen (1) bendi ile 2. fıkrası hukuka aykırı olup, uygulanması halinde giderilmesi güç zararlara yol açacağından, anılan maddenin belirtilen kısımlarının yürütülmesinin durdurulmasına, oybirliğiyle" karar verildi.

Yine Danıştay 10. Dairesi, TMMOB'nin açtığı davayı 6.3.2007 tarihinde oybirliği ile ve "Görüldüğü gibi 4817 sayılı Yasanın 22. maddesinde çalışma izninden muaf tutulacak yabancılara ilişkin usul ve esasların yönetmelikle düzenleneceği belirtilmekle birlikte;

çalışma izninden muaf tutulacaklar aynı Yasanın, 6235 sayılı Yasayı değiştiren 26 ve 27'nci maddeleriyle sınırlandırılmış; yabancı uzman, mühendis, yüksek mühendis, mimar, yüksek mimarlar muafiyet kapsamı dışında bırakılmıştır.

Esasen 6235 sayılı Yasanın 33'üncü maddesinde, "Türkiye'de mühendislik ve mimarlık meslekleri mensuplarının mesleklerinin icrasını iktiza ettiren işlerle meşgul olabilmeleri ve mesleki tedrisat yapabilmeleri için ihtisasına uygun bir odaya kaydolmak ve azalık vasfını muhafaza etmek mecburiyetindedirler.", 36'nci maddesinde; "34 ve 35'inci maddeler gereğince gelen yabancı meslek mensupları Türkiye'de bir aydan fazla kaldıkları takdirde ihtisaslarına en yakın odaya müracaatla geçici aza olarak kaydolunurlar."; 38'inci maddesinde de; "Bu kanunun 33 ve 34'üncü maddelerinde yazılı vecibeleri yerine getirmeyen yüksek mühendis, yüksek mimar, mühendis ve mimarlar Türkiye'de mesleki faaliyetten menedilirler." hükümlerine yer verilerek konu yeterince açıklığa kavuşturulmuştur.

Bu itibarla; mühendislik ve mimarlık mesleklerini Türkiye'de icra etmek isteyen yabancıların, Türkiye'de çalışabilmelerinin koşullarını belirleyen 6235 sayılı Yasanın yukarıda aktarılan hükümleri gözönüne alınmaksızın, anılan meslek mensuplarını da kapsayacak biçimde, Türkiye'nin taraf olduğu ikili ya da çok taraflı sözleşmeler gereğince veya konsorsiyumlar tarafından yürütülecek ulusal, uluslararası projelerde veya uluslararası kuruluşlarda çalışacak yabancıların tümünün çalışma izninden muaf tutulmasını öngören dava konusu Yönetmeliğin 55. maddesinin 1. fıkrasının (1) bendinde ve mesleki hizmetler kapsamında olup, Türkiye'de çalışan yabancı mimar, mühendis ve şehir plancılarının, Türkiye'de ki hizmet sürelerinin bir ayı aşması durumunda, ihtisaslarına en yakın odaya kaydolma ve gerekli çalışma izinleri alma yükümlülüğünü, yukarıda aktarılan (1) bendi kapsamındaki işlerde çalışanlar yönünden bir yıl olarak genişleten, aynı maddenin 2. fıkrasındaki "...(1) bendi kapsamındakilerin bir yılı aşması..." ibaresinde 6235 sayılı Yasa hükümlerine uyarlık bulunmamaktadır. " gerekçesiyle Yönetmeliğin ilgili maddesi iptal edilmiştir.

Ancak, bu yargı kararları aşılmalı idi ki küresel kapitalizmin istediği olsun, ellerini kollarını sallaya sallaya ülkemize girebilsinler. Bu kez, Danıştay kararı kesinleşir kesinleştikten 2,5 ay sonra, 23.05.2007 tarihinde kanun yeniden değiştirildi. 5665 sayılı Kanun ile bu yoldaki eksiklikler de tamamlanmış oldu.

**Odaların yaklaşımı:** Ne yazık ki, ülkemiz jeotermal kaynaklarına yönelik olarak küresel kapitalizmin unsurlarının ve kurumlarının şiddetlenen müdahalesine karşı TMMOB ve bağlı odalardan bu ana kadar bir tepki gelmedi.

Jeotermal Kaynaklar Kanunu'nda meslekler arası dengenin oluşturulamamış olması karşı dava açan odalar, Uygulama Yönetmeliği'nde kendi mesleğinin öteki mesleklere göre daha avantajlı kılınabilmesi için çabalayan odalar, İl Özel İdarelerine yazılar yazıp kendi üyelerinin yetkilendirilmesi ve kendi hazırladıkları formların kullanılmasını isteyen odalar Dünya Bankası-Geofund girişimlerine karşı henüz kamuoyuna ulaşan bir tepki yükselmedi.

Geofund'un yürütücüsü olan IGA uzman listesinde yer alan, üyesi oldukları odaların denetim yetkilerini IGA üzerinden kendilerine kaydıran birkaç mühendis te üyesi oldukları odalarınca ne uyarıldı ne de soruşturuldu.

Yine odalarımızın hiçbiri henüz ülkemize girmeye çalışan yetersiz ve birikimsiz yabancı mühendislik şirketlerine karşı kamuoyunu ve üyelerini uyarımadı.

**Kaynak kaybı:** Bu gidiş bugüne değin örneklerini gördüğümüz şekilde, jeotermal kaynakların arama ve geliştirilmesine özkaynaklarından ya da borçlanarak ayırdıkları yatırım



kaynaklarını ziyan eden yatırımcıların bu işi sürdürmelerini riske sokmakta. Elbette bu örnekler başka pek çok yatırımcıyı da bu alana girmekten caydırabilecek.

Yine bu hatalardan ötürü birim enerji maliyeti arttığında bu tüketiciye ve üreticiye birlikte zarar verecek.

**Kaynaklara zarar verilmesi:** Basınç ve sıcaklıkları düşmeye başlayan işletme konusu rezervuarlar hepimizin kaybı olacak. Daha kötüsü işletmeye alınan jeotermal sistemlerin zarar görmesi olur. Kurulu kapasitelerini kullanamayan tesisler hepimizin kaybı olacak.

Buna razı olunamaz.