

## JEOTERMAL ÇALIŞMALARDA UYGULANAN DOĞRU AKIM YÖNTEMLERİ

Hayrettin KARZAOĞLU\*

Jeotermal kaynakların ülke ekonomisine kazandırılmasında jeolojik ve jeofizik verilerin birlikte değerlendirilmesinin daha olumlu sonuç vereceği kaçınılmaz bir gerçektir. Bilindiği üzere yer kabuğunu oluşturan kayaçların fiziksel özellikleri bulunduğu ortam ve jeolojik oluşumuna göre farklılık göstermektedir. Kayaçların elektriksel anlamdaki öz direnç özellikleri de bu manada geniş bir aralıkta değişim gösterir. Öz direnç değeri baz alınarak bir kayacın adlandırılması her jeotermal saha için farklılık gösterir. Öz direnç eğri modellerinin bu temel kriter dikkate alınarak değerlendirilmesi gerekmektedir. Öz direnç değerlerini jeotermal sahalarda etkileyen tek olumsuzluk kayacın fiziksel özellikleri değildir. Sahanın genel tektonik yapısı da açılımın fonksiyonu olan DES (Düşey Elektrik Sondaj) çalışmalarını olumsuz bir şekilde etkilemektedir. Bilindiği üzere jeotermal bir sistem hazne kayaç, örtü kayaç ve fay sistemleri ile bağlantılı olarak modellenmektedir.

### DOĞRU AKIM YÖNTEMLERİ

Konu ile alakalı olarak ülkemiz genelinde uygulanan jeotermal amaçlı jeofizik çalışmalar ve bu çalışmalar ile konuya örnek teşkil eden öz direnç yöntemi hakkında bilgi verilmiştir.

Öz direnç yöntemlerinde yanal yönde süreksizlik oluşturan yapılar (fay, dayk) genellikle iki elektrot veya yarım-Schlumberger elektrot dizilimi kullanılarak profil ölçümleri şeklinde yapılır. Jeotermal çalış-

malarda DES (Düşey Elektrik Sondaj) yöntemi sıklıkla uygulanmaktadır. DES yöntemiyle tespit edilen fayların doğrultu ve eğimini bulmak adına bu yöntemle sıklıkla başvurulur. İki seviyede yapılan ölçümler fayın eğimini, birbirine paralel iki profil boyunca alınan ölçümlerde fayın doğrultusunu verecektir.

Bilindiği üzere; jeotermal bir sistem tektonik yapıdan bağımsız olarak gelişmez. Termal akışkanı yüzeye ya da yerin belirli derinliklerine taşıyan fay birimleri arasında sürekliliği bozan bir özellik arz eder. Bu süreksizlikler; birimler arasında faya bağlı olarak derinlik değişimi şeklinde karşımıza çıktığı gibi; termal akışkanın kırık ve fay boyunca oluşturmuş olduğu bozuşma zonları da (mineralizasyon, alterasyon) ölçtüğümüz görünür öz direnç değerlerinde değişime neden olmaktadır. Bu değişim sıcaklık nedeniyle düşük öz direnç olarak ölçümlere yansıdığı gibi; termal akışkanın derin dolaşımı nedeniyle kayaçların bünyesinden söküp getirdiği karbonat ve silis nedeniyle yüksek öz direnç olarak da DES eğrilerine yansiyabilir. Bu nedenle jeotermal sahalarda hedef direk düşük öz direnç kapanımları olmamalıdır. Düşük öz direnç kapanımları genellikle litolojik kapanımlardır. Dolayısıyla jeotermal bir sahada asıl belirleyici unsur saha genelinde sürekliliği bozan yapının tespiti olmalıdır. Genellikle süreksizliği bozan yapılar tektonik hareketler ile bağlantılıdır.

Jeotermal bir sahada düşey değişimi tespit etmek için yapılan bir DES çalışmasında elde edilen eğri bünyesinde yalnızca düşey değişimi taşımamaktadır. Doğru akım yöntemleri açılımın fonksiyonu olarak derinlik bilgisi taşırlar. Jeotermal sahalarda kırıklı ve faylı yapıdadır. Gerek topoğrafya gerekse tektonik yapılar is-

\* Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Jeofizik Etütleri Dairesi - ANKARA

tenilen şekilde ölçüm alınmasına müsaade etmezler. Bu nedenden DES eğrisinde aşağıda örnekleri verilen eğrilerde tektonik etki görülür. Bu tektonik etkinin yanal yönde açılımdan kaynaklı bir etki mi yoksa derinde kesilen bir fayın etkisi mi? sorusuna arazi çalışmaları sırasında karar verilmelidir. Etki düşey yönde kesilen bir fayın etkisi ise sorun yoktur. Bu etki açılımdan kaynaklı (yanal süreksizlik) yani akım elektrotlarının fayı kesmesinden kaynaklı ve arazi çalışmaları sırasında buna karar verilebilmiş ise fayın yeri yine tespit edilmiş olacaktır. DES eğrisine yansıyan bu tektonik etki hangi derinliğe ait ise bu yanal yönde o derinliğe ait mesafe kadar olacaktır. Bu mesafe DES noktasının bu süreksizliğe yaklaşarak belirli aralıklar ile nokta seçimi yapılarak fayın yerinin tespiti mümkün olacaktır.

Fayın DES ile tespitinden sonra PS (Doğal Potansiyel) yöntemi ile bu fayın yeri netleştirilir. Yöntemin esası kırık ve fay sistemleri boyunca hareket eden termal akışkanın bünyesinde taşımış olduğu mineralize suların akışa bağlı olarak ek bir potansiyel alana neden olması şeklinde düşünülür. Bu etki fayın yüzeylemesine bağlı olarak artacaktır. Bilindiği üzere bir fayın genç olması yani yüzeyi etkilemesi termal açıdan olumlu bir gelişmedir. Jeotermal çalışmalar göstermiştir ki; bir fay yaşlı olsa da jeolojik zaman döneminde belli aralıklarla tekrar aktif konuma geçebilmektedir. Bu durumda fayın yaşlı birimleri etkileme miktarı 1000 m olurken genç birimlerde bu atım miktarı 100 m nin altına düşebilmektedir.

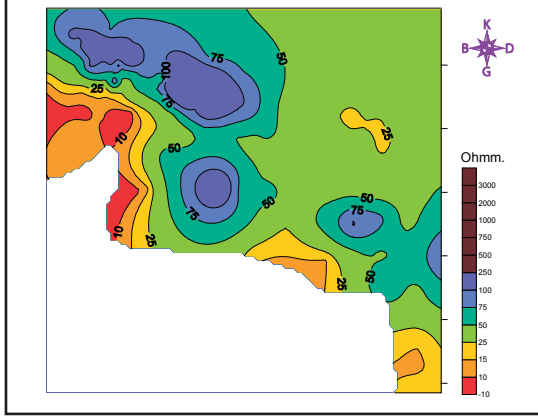
Jeotermal bir sistemde fayın yalnız düşey yönde etkilemiş olduğu alanın yanında yanal yönde de belirli bir alanı etkilediği görülmüştür. Özellikle doğrultu atımlı faylar boyunca bu etki yanal yönde düşey atımlı faylara göre oldukça fazladır. Bilindiği üzere doğrultu atımlı faylar derin tektonik izler taşır. Isıtıcı kayalarla olan bağlantıyı bu faylar sağlar. Doğrultu atımlı bu fayları açan graben faylar akışkan

hareketini kolaylaştırır. Batı Anadolu'da açılan jeotermal amaçlı sondajların olumsuz olmasının en büyük nedeni sondajın doğrultu atımlı faylar boyunca yapılmasıdır. Nitekim kuyuların sıcak ancak akışkan yönünden fakir olmasının nedeni de budur. Jeofizik çalışmalarda doğrultu atımlı fayların net olarak tespitini sağlayan önemli yöntemlerden birisi de 3 nokta yöntemidir. Gerek DES çalışmaları sonucunda elde edilen taban topoğrafyası, topoğrafya boyunca çıkarılan seviye haritalarında kırık ve faylar boyunca oluşan öz direnç düşüm ya da yükselimleri profil çalışmasının nerede yapılacağına işaret eder.

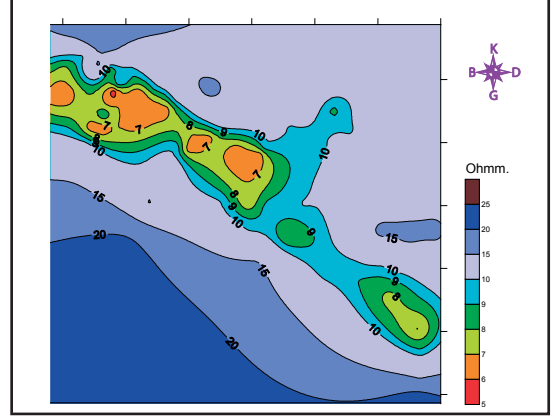
### ARAZİ ÇALIŞMALARI

Aşağıdaki şekilde bir sahaya ait görünür eş öz direnç seviye haritaları vardır. 250 m-1250 m arasında değişik seviyelere ait görünür öz direnç (Ohmm) dağılımı görülmektedir. Görünür konturlardaki çizgisel kapanımlar fayın doğrultusuna işaret etmektedir (Şekil 1,2,3,4,5,6). Jeotermal sistemi kontrol eden fay KB-GD doğrultuludur. Dolayısıyla burada amaç bu fayı kesecek şekilde PS ve 3 Nokta Yöntemi'nin profil doğrultularını belirlemektir.

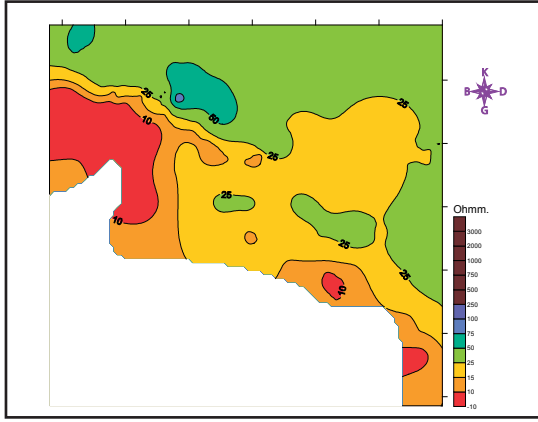
Görünür eş öz direnç kesitleri DES noktalarında okunan görünür değerlerin belli bir profil boyunca derinliğin fonksiyonu olarak dökülmesi sonucu oluşturulur. Öz direnç konturları jeolojik birimin ne olduğu hakkında bilgi taşımaktadır. Bu öz direnç değerlerinin ne tür bir jeolojik birim ya da birimlere karşılık geldiği elektrik yapı kesitlerinde ortaya konulmaktadır. 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 sondaj derinliği açısından önemlidir.



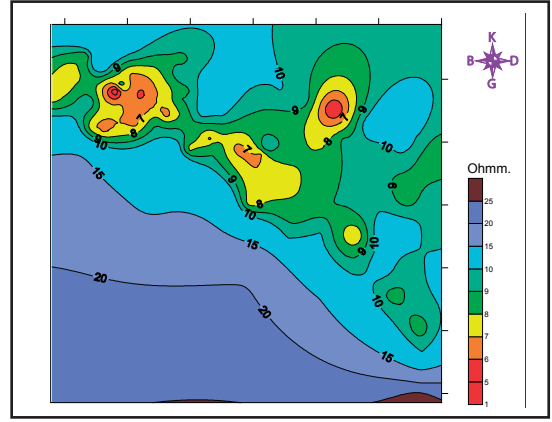
Şekil 1- 250 m görünür eş öz direnç seviye haritası (Ohmm)



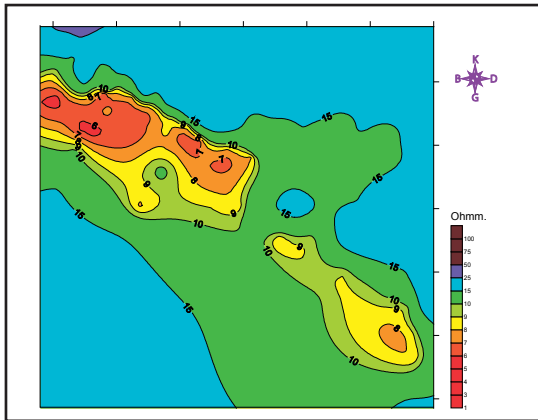
Şekil 4- 1000 m görünür eş öz direnç seviye haritası (Ohmm)



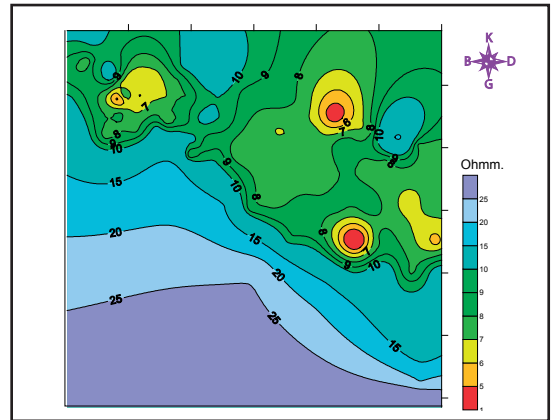
Şekil 2- 500 m görünür eş öz direnç seviye haritası (Ohmm)



Şekil 5- 1250 m görünür eş öz direnç seviye haritası (Ohmm)



Şekil 3- 750 m görünür eş öz direnç seviye haritası (Ohmm)



Şekil 6- 1500 m görünür eş öz direnç seviye haritası (Ohmm)

Görünür eş öz direnç konturlarındaki uzanım doğrultusu ile taban topoğrafyasında görülen kontur dağılımı (Paleozoyik temele giriş) uyum içerisinde (Şekil 7). KB-GD doğrultusu boyunca uzanan fay graben bir faydır. Sorun bu fayın açmış olduğu doğrultu atımlı fayın yerini bulmak olmalıdır.

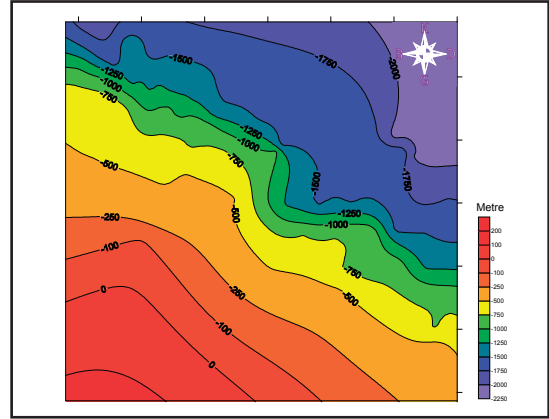
Saha geneli için hâkim en düşük eş öz direnç konturu 8 Ohmm'lik kontur olup; süreklilik arz etmektedir. K07-K09 DES noktaları arasında 6 Ohmm'lik kapanım doğrultu atımlı fayın etkisiyle oluşmuştur (Şekil 8).

K07-K09 DES noktaları arasındaki düşey atım elektrik yapı kesitinde görülmektedir (Şekil 9). Gediz formasyonu ile Alaşehir formasyonuna ait akarsu ve göl ortamına ait birimler profil boyunca çökeldikleri görülmektedir. Görünür eş öz direnç konturları fay boyunca hareket eden termal akışkanın sıcak suyu bu çökel birimler içerisine dağıttığı görülmektedir. Jeotermal bir çalışmada asıl amaç; sondaj lokasyonunun düşen blok ve temel içerisinde fayı kesmesidir. Sağlıklı bir üretim ve formasyon basıncının kaybolmaması için ideal bir durumdur.

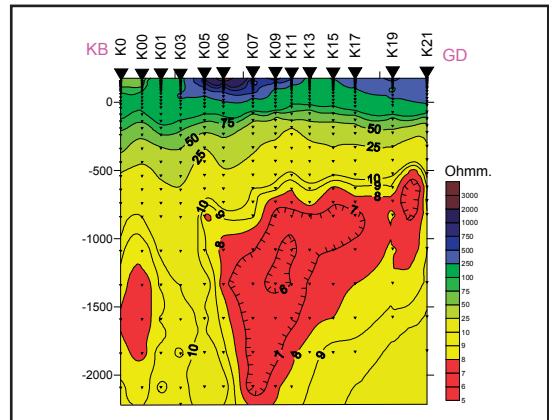
Jeotermal bir sahada alınan bir DES ölçüsünde anomali temele giriş noktasında kendisini gösterir. Termal akışkan örtü birim içerisinde maksimum etkiyi bu derinlikte gösterir (Şekil 10). Arazi çalışmaları sırasında bu etkinin açılımdan mı yoksa derinde kesilen fayın etkisi ile oluşmuş olduğu tespit edilmelidir.

## DOĞAL GERİLİM YÖNTEMİ (SP)

Bir çift elektrot, bir multimetre ve yeteri kadar kablodan oluşan ekipmandan ibarettir. Uygulamalı jeofiziğin jeoelektrik yöntemlerinde, yer içine akım göndermeden işleyen, doğal elektrokimyasal, elektrofiltrasyon gibi olayların oluşturduğu yer içi akım



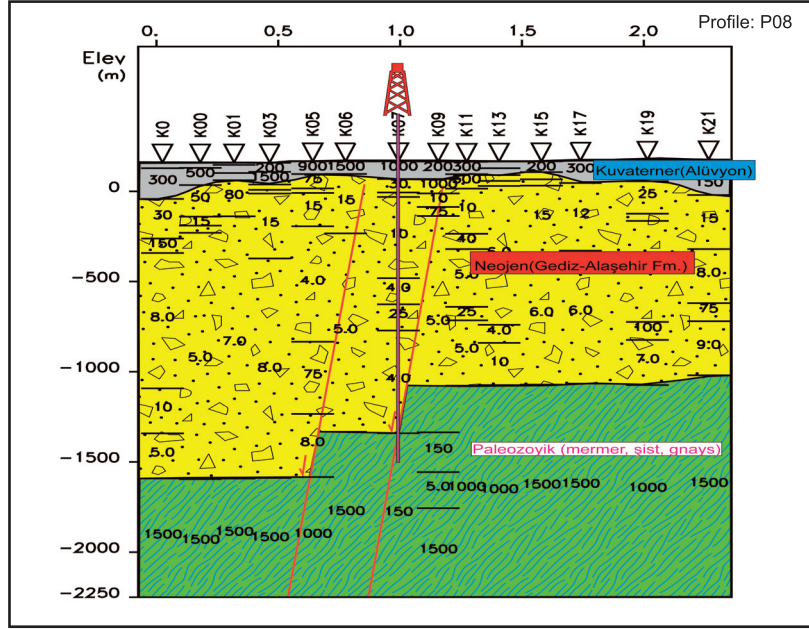
Şekil 7- Taban kontur haritası (metre)



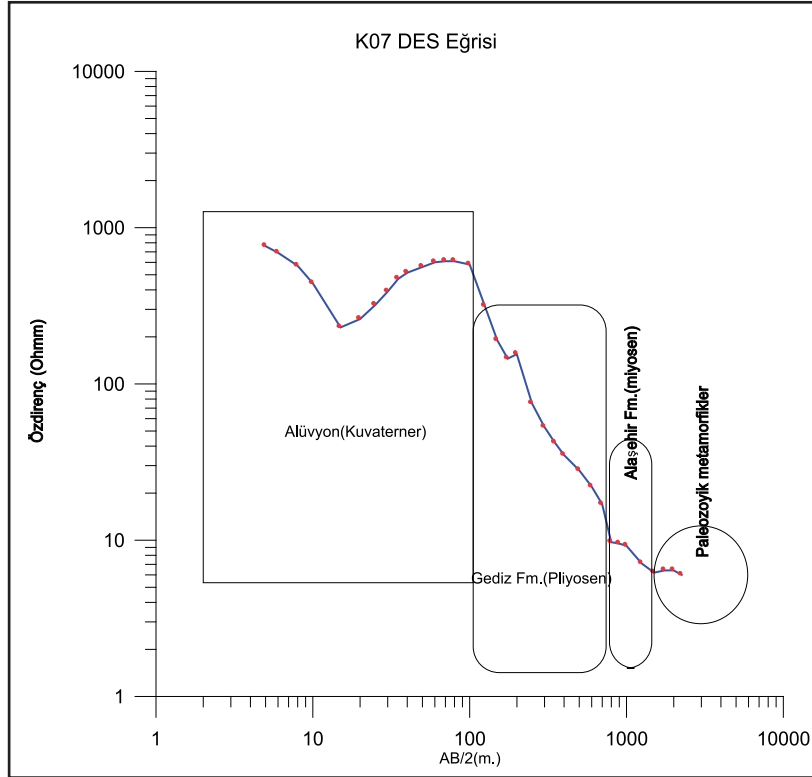
Şekil 8- K profili görünür eş öz direnç kesiti

akışının doğal alanını ölçen yöntemdir. Sığ madenlerin aranmasında, zemin ve sıcak su etütlerinde, fay ve kırık kuşaklarının belirlenmesinde kullanılır.

PS yöntemi fay düzlemi boyunca hareket eden akışkanın beraberinde bünyesine aldığı minerallerin bu hareket sonucunda potansiyel bir elektriksel alan 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.



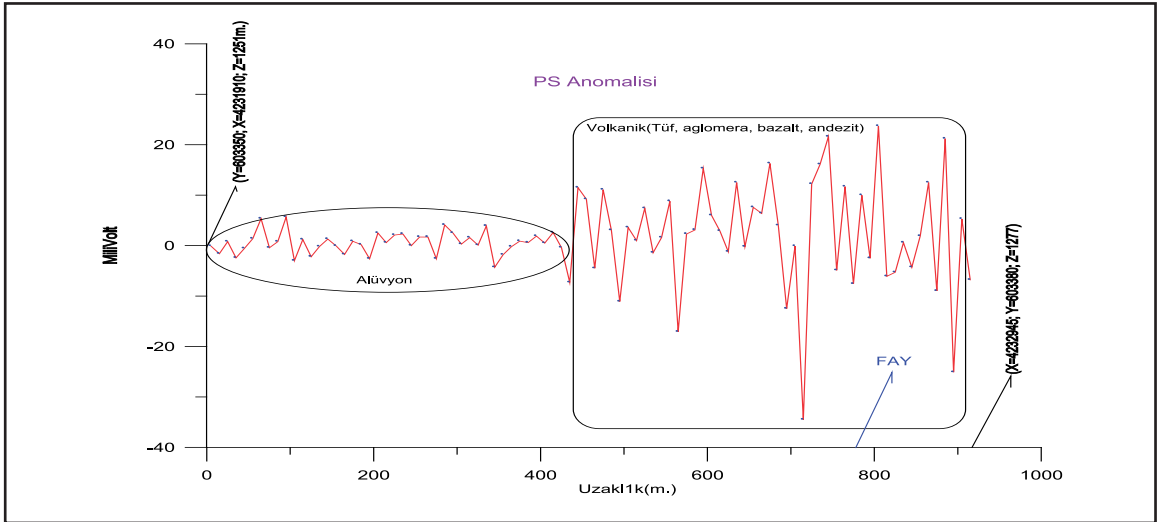
Şekil 9- K profili elektrik yapı kesiti



Şekil 10- K07 DES eğrisi

Bilindiği üzere jeotermal akışkanın kırık ve fay düzlemleri boyunca oluşturmuş olduğu gerilim fay düzlemi boyunca yüksek gerilim okunmasına neden olur (MiliVolt). PS kesitleri faya dik atılmalıdır. Birbirine paralel bir hat boyunca ölçülen PS anomali kesitleri fayın doğrultusunu verecektir. Yukarıda örneği verilen PS çalışması yanal süreksizliğin ölçülen gerilimle olan bağlantısı verilmiştir (Şekil 11). Unutulmamalıdır

ki; Neojen çökel bir ortamda oluşan doğal potansiyel alanla volkanik bir alanda oluşan potansiyel alan yani gerilim farklıdır. Bu durum esasında kayaçların elektriksel özelliklerinin farklı olmasından kaynaklanmaktadır. Bu bakımdan jeotermal bir çalışmada elde edilen verilerin formasyon farklılığından mı yoksa akışkan hareketinden mi kaynaklandığı sorusu gözlemsel jeoloji ile beraber yorumlanmalıdır.



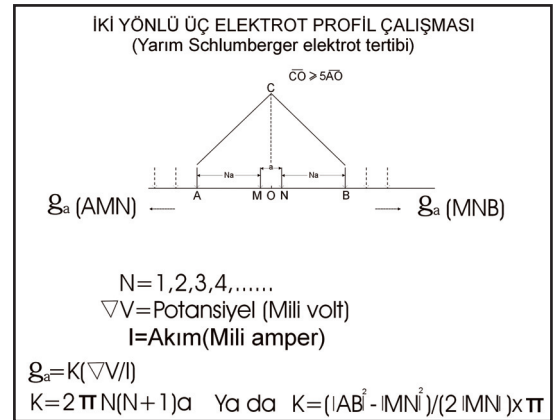
Şekil 11- PS (Doğal Potansiyel) çalışması

### 3 NOKTA YÖNTEMİ

Aşağıda örneği verilen bir sahada 3 nokta yönteminin yerinin tespitinin nasıl yapıldığı örneklemeli verilmiştir.

Yandaki şekilde gidiş-dönüş şeklinde uygulanan 3 Nokta yöntemine ait elektrot tertibi, K katsayısının hesabı ve öz direnç formülü bulunmaktadır (Şekil 12). Burada CO mesafesi 5AO mesafesinden büyük ya da eşit olmaktadır. Akım aynı anda 3 elektrot kullanılarak herhangi bir seviyeye ait ölçüm gidiş- dönüş olarak alınabilir. Öncelikle akım AC'den verilir. Dönüş ölçümü de BC'den akım verilerek okunur. Bu tek sevi-

yeye ait gidiş dönüş ölçüsüdür. Elektrotlar profil boyunca kaydırılarak fayın kesilmesi

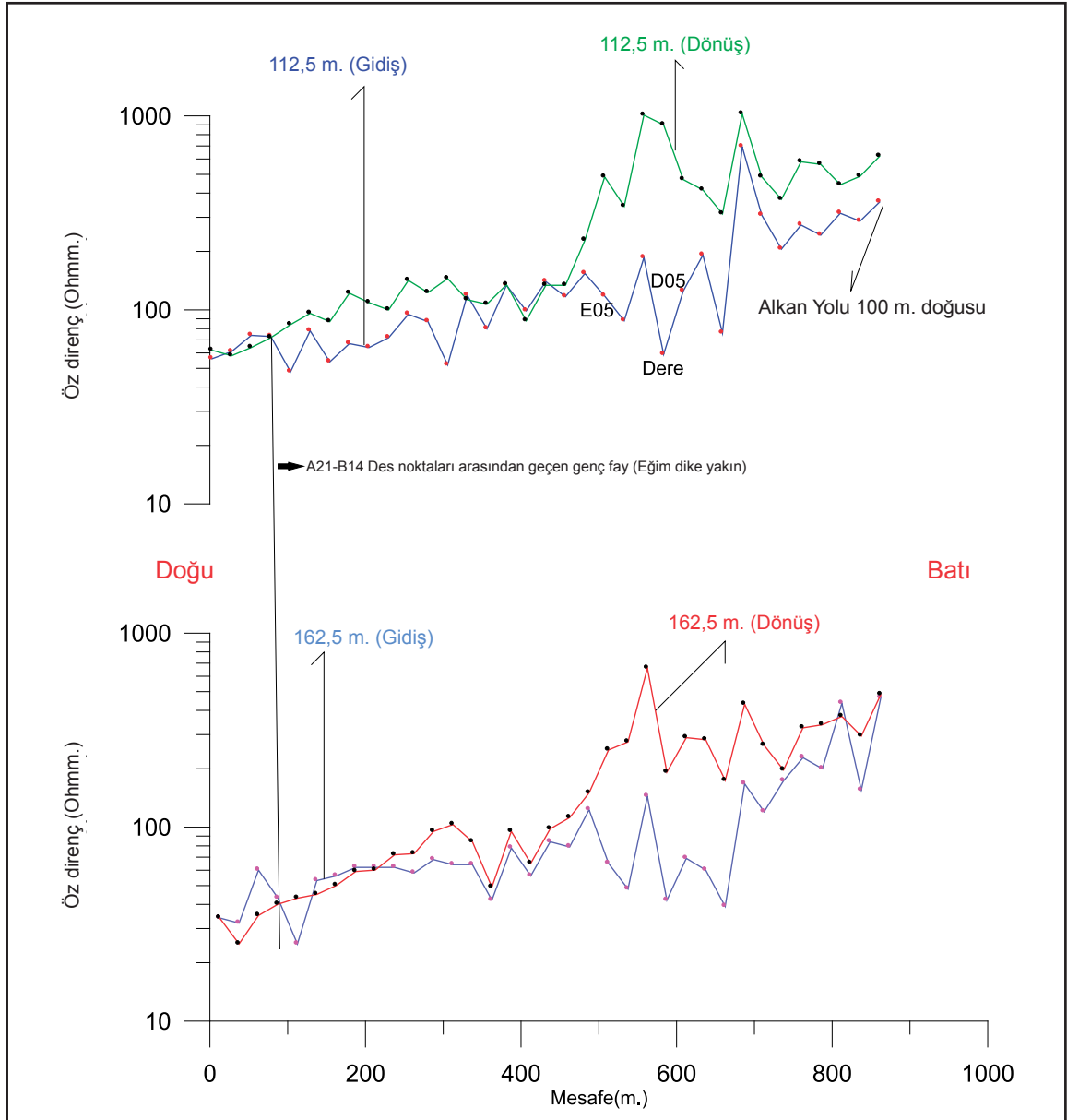


Şekil 12- 3 nokta yöntemi

amaç edinilir. Daha sonra eğim hesabı için a mesafesi artırılarak daha derin bir hedef seçilir. Aynı işlem ikinci seviye içinde tekrarlanır. İki seviyede alınan ölçüler fayın eğimini verecektir. Fayın doğrultusu için ise bu işlem ikinci bir profilde tekrarlanır. Fayın yüzeye yakın olması anomalinin şiddetini

artırır. Özellikle doğrultu atımlı fayların tespitinde oldukça başarılı bir yöntemdir.

Yukarıda yarım-Schlumberger elektrot tertibi uygulanarak 3 Nokta arazi çalışmalarına bir örnek gösterilmiştir (Şekil 13). 112,5 m ve 162,5 m derinliklerine özgü gi-



Şekil 13-3 Nokta Profil Çalışması.

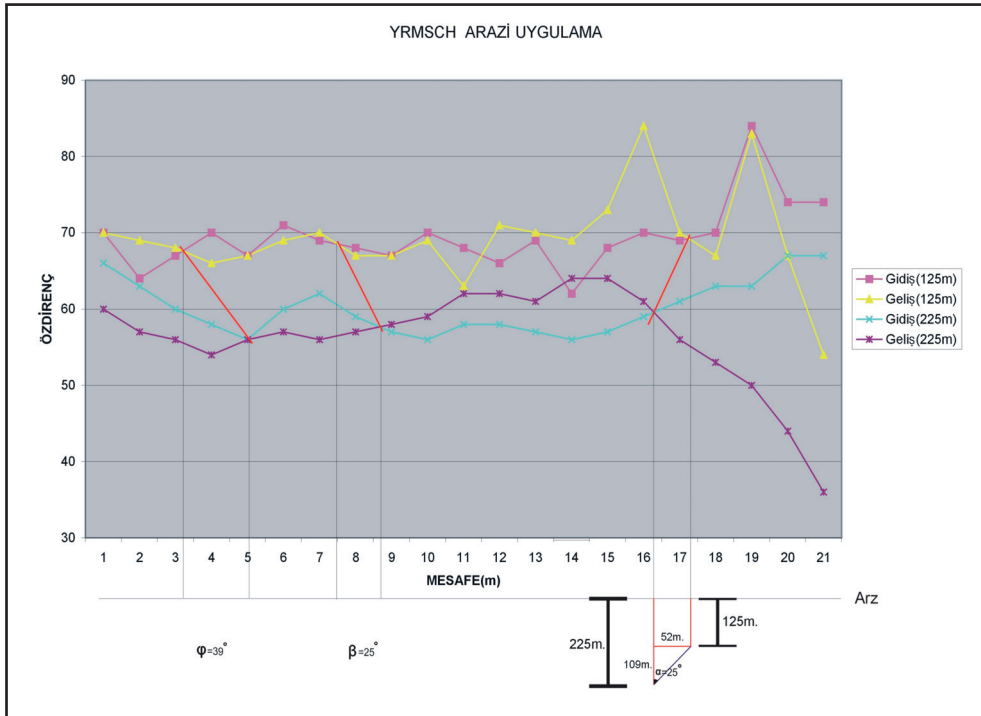


diş dönüş iki seviyeye ait bir profil çalışmasıdır. Yöntemin esası akım elektrotlarının fay düzlemine yaklaşmasıyla yere verilen akımın fay düzleminin diğer tarafına yeterince yayılmamasından yani fay düzlemi boyunca yayılması neticesinde potansiyel elektrotları arasında daha yüksek bir gerilimin oluşmasına neden olur. Bu durum hesaplanan öz direncin yüksek olmasına neden olur. Aynı şekilde fay düzleminin uzaklaştıkça gerilim ve buna bağlı olarak da öz direnç düşüm göstermektedir. İki seviyede alınan ölçümler, öz direnç değişiminin derinlikle olan bağlantısı hakkında bilgi verir. Dolayısıyla fayın eğim yönü hakkında bilgi edinilmiş olunur. Her iki seviye için alınan ölçümlerdeki gidiş-dönüş öz direnç kesim noktaları işaretlenir. İşaretlenen bu noktalardan eksene dikler inilir. Bu keşişim ölçekli olarak her iki seviye için işaretlenir. Bir doğru ile birleştirilir. Doğrunun eğimi fa-

yın düşeyle yapmış olduğu açığı verir. Bu keşişim fayın dik olduğu durumlarda sağlanamaz. Bu durumda fayın doğrultu atımlı bir fay olduğunu söyleyebiliriz. Nitekim yukarıdaki örnekte 500-700 m arasındaki yüksek öz direnç fay zonunun genişliğini işaret etmektedir. İki yönde akım verildiği için bu zonun genişliği 100-125 m dolayındadır.

Yukarıdaki örnekte 1 km lik bir profil boyunca 125 ve 225 m derinliklere ait gidiş-dönüş bir profil (3 Nokta) çalışması yapılmıştır (Şekil 14). Profil boyunca bu sahayı kontrol eden graben faylardan 3 adet kesilmiştir. Fayların eğimleri yukarıdaki örnekte şema ile gösterilmiştir.

Bilindiği üzere jeofizik bir çalışmada esas; ister doğrudan çözüm isterse ters çözüm olsun elde edilen fiziksel parametreler ile jeolojik birimleri uyumlayabilmektir.



Şekil 14- Jeotermal sahada uygulanan 3 nokta yöntemi