

## KISIM I

### JEOELEKTRİK METODLARINA GİRİŞ

#### 1. YERALTI ARAŞTIRMALARINDA JEOELEKTRİK METODLARI

Bu eserin gayesi, tabakalı yapılar üzerinde yapılan jeoelektrik saha ölçülerinin kıy-  
metlendirilmesinde yardımcı olan tablo ve eğrilerin takdimidir. Neticeler çoğrudan doğ-  
ruya veya küçük değişikliklerle en çok kullanılan beş çeşit elektrot diziminde tatbik edi-  
lebilir ki bunlar; Schlumberger, Wenner, üç-elektrotlu Schlumberger, üç-elektrotlu Wen-  
ner ve azimutal-dipol (ekvatoryal-dipol da dahil) sayılabilir. Neticeler aynı zamanda az  
kullanılan Lee elektrot dizim sistemi ile de kullanılabilir.

II. Kısımda tablo ve eğrilerin tarifleri ve eğrilerin tarifleri verilirken III. Kısımda  
değerlendirme işlemleri hakkında fikir ve tavsiyeler yer almıştır.

Elektrik metotları jeofiziğin dört ana araştırma metotlarından biridir. Diğer üç  
metot; sismik, gravimetrik ve manyetikdir. Gravimetrik ve manyetik metotlar tabii bir  
fiziksel alana bağlı olduklarından, bu metotların diğer iki metoda nazaran tatbikat im-  
kânları ve problemi çözüm güçleri zayıftır. Sismik ve elektrik metotların çoğu suni bir  
kaynağa bağlı olduğundan, kaynağın durumunda ve karakterinde yapılacak değişiklik-  
ler önemli avantajlar doğurur. Dört metottan her biri, yeraltını meydana getiren ma-  
terya.lerin farklı fiziksel sabitlerinin tesislerinin ölçümüne dayandığından, her metot  
kendi arazi tatbikatına sahiptir ve çoğu kez birden fazla metotların aynı yerde tatbikatı  
caha tesirli olmaktadır.

Jeofizik araştırmalarında elektrik metotları, tabii ve suni kaynakların hasil ettikleri  
tesirlerin incelenmesini içine alan çeşitli teknikleri kapsar. Suni kaynaklar kullanılarak  
elektrik metotları ile tatbikat yapılması daha yaygındır. Suni kaynak tatbikatını gerek-  
tiren elektrik metotlarını iki grupta toplamak mümkündür. İndüktif metotlar diye  
isimlendirilen grupta, bir kaç bin frekanslı akımların kullanılması neticesi, indüklenme  
yolu ile meydana gelen yer akımlarının hasil ettiği elektromanyetik sahanın ölçülmesi  
esas iştir. Kondüktif metotlar olarak, ikinci grubu meydana getiren teknikler ise doğru  
akım ile düşük frekanslı alternatif akımların kullanılmasını gerektirir. Bu grupta da  
elektrik sahası incelenir (Grant ve West, 1965).

Burada kondüktif metotlardan olup elektriki rezistivite veya jeoelektrik metodu ola-  
rak bilinen ve doğru akım kaynaklarının kullanılmasını gerektiren metottan bahsedile-  
cektir. Daha çok tabakalı yapılarda tatbikatını bulan düşey elektrik sondajından söz  
edilecektir. Düşey elektrik sondajının gayesi yüzey ölçülerinden, jeolojik yapıyı meydana  
getiren tabakaların derinliklerinin rezistivite değerleri ile bulunmasıdır.

Sabit elektrot aralığı ile jeoelektrik profillerin kullanılması daha az tatbikat sahası  
bulmuştur. Jeoelektrik profilleri, elektriki rezistivitenin yatay değişmelerini tesbit et-  
meği hedef alır.

Düşey elektrik sondajları, Sovyet Rusya dahil olmak üzere, bir çok memleketlerde ki-  
lometreler mertebesindeki derinliklerin araştırılmasını gerektiren petrol etüdü maksadı-  
na hizmet etmek üzere başarı ile tatbik edilmiştir. Bazı kabuk yapısı çalışmaları olarak,  
onlarca kilometreyi kapsamak üzere Fransa, Amerika ve Rusya'da çalışmalar yapılmıştır.  
Hidrolojik araştırmalarda geniş bir tatbik alanı bulan jeoelektrik metotları bu sahada  
bilhassa İspanya, Fransa ve Almanya da kullanılmıştır denilebilir. Kayaç içerisindeki su

ve tuz miktarının rezistivitede hasil ettiği direkt değişmeden dolayı, jeo elektrik metodu yeraltı suyu araştırmalarına bilhassa tatbik edilir. İnşaat işlerinde; temel kaya derinliği tesbitinde, baraj sahası incelemelerinde, yapı malzeme sahalarının tayininde ve taş ocakları potansiyellerinin bulunmasında düşey elektrik sondajları geniş tatbikat alanları bulmuştur.

## 2. GÖRÜNÜR REZİSTİVİTE KAVRAMI

Jeoelektrik metotlarının hepsi yere çakılan dört elektrodun kullanılmasını gerektirir. Bunlardan bir çift, yere akım naklemeden diğer çift, bu akımın hasil ettiği potansiyel farklarını ölçmeye hizmet eder. Çeşitli teknikler bu elektrot dizim şekillerine göre şekillenmişlerdir.

İlk olarak, homogen ve isotrop bir yarı-sonsuz ortam üzerine dört elektrot yerleştirildiği farz edilebilir. Akım elektrodu olarak A ve B ile gösterilen, potansiyel elektrodu olarak M ve N ile belirlenen elektrotlar vazife görüyor olsun. A ve B elektrotları vasıtası ile yere verilen toplam akım şiddeti I ve ortamın rezistivitesi  $\rho$  olsun (Şekil 1-a).

Uniform bir yarı-sonsuz ortamın üzerinde, tek bir nokta akım kaynağının r uzaklığındaki bir noktada hasil ettiği V potansiyeli aşağıdaki şekilde verilir :

$$\Delta V = \frac{\rho \cdot I}{2\pi r} \quad (1)$$

İki veya daha fazla akım kaynaklarının aynı noktada hasil ettikleri potansiyeller cebirsel olarak toplanabileceğinden, A ve B noktalarındaki akım kaynaklarının M ve N noktalarındaki potansiyel farkı olarak

$$\Delta V = \frac{\rho \cdot I}{2\pi} K'$$

yazılabilir. Burada

$$K' = \frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN} \quad (2)$$

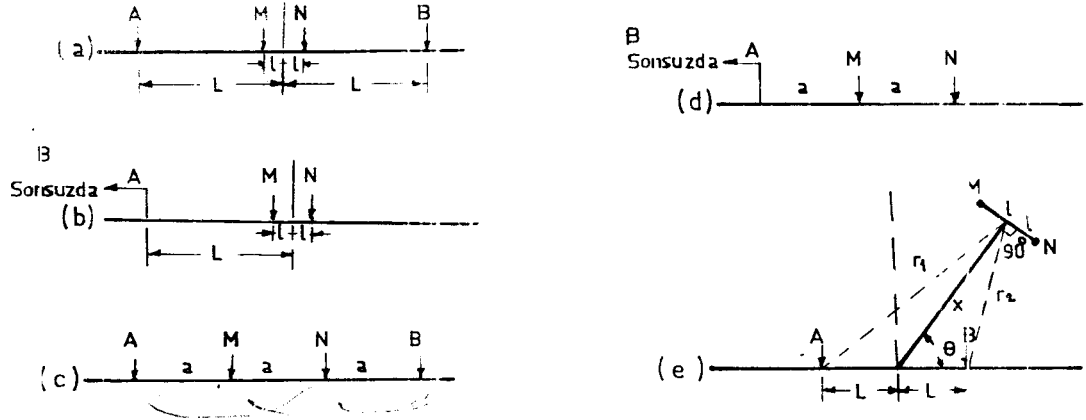
Bu bağıntı rezistiviteyi gösterecek şekilde tanzim edilebilir.

$$\rho = K \frac{\Delta V}{I}, \quad K = \frac{2\pi}{K'} \quad (3)$$

Aynı elektrot dizim sistemi, homogen olmayan bir ortam üzerinde alındığında, ölçülecek potansiyel farkı  $\Delta V$  potansiyel farkını hasil edecek bir homogen ortamın eşdeğer rezistivitesi olarak tarif edilebilir.

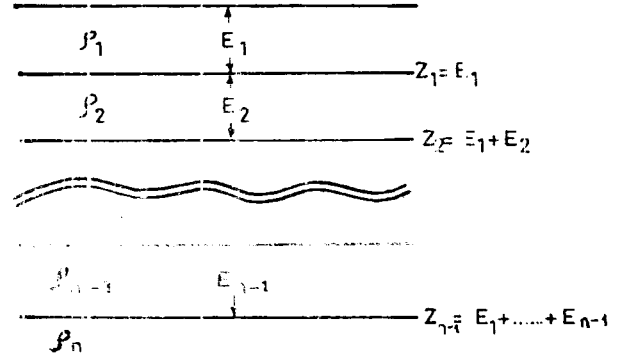
Uniform bir ortam için görünür rezistivite değeri akım şiddetinden, elektrot dizim şekline ve elektrotlar arasındaki aralıktan bağımsızdır. Düşey elektrik sondajı kıymetlendirilmesi, ölçülen görünür rezistivite değerlerinden yeraltının jeolojik değişimlerini ortaya koymayı esas alır.

Hakiki ve görünür rezistivite değerlerinin ikisi birden direnç ve uzunluk boyutlarına sahiptirler. Tercih edilen birim ohm-metre olmasına rağmen ohm-foot'da ara sıra kullanılır.

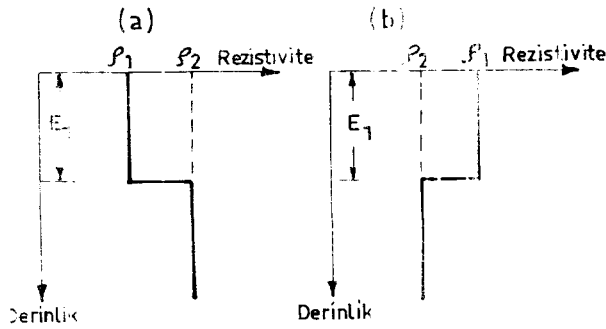


Şekil 1- Elektrik sistemleri

- a) Schlumberger
- b) Üç elektrotlu Schlumberger
- c) Wenner
- d) Üç elektrotlu Wenner
- e) Azimutal dipol



Şekil 2- n Tabakalı bir jeoelektrik kesit



Şekil 3- İki tabaka kesitler

- a)  $\rho_1 < \rho_2$
- b)  $\rho_1 > \rho_2$

### 3. ELEKTROT DİZİMLERİ

Şekil 1'de çok kullanılan beş metot gösterilmiştir. Düşey elektrot sondajı için Schlumberger ve Wenner en önemli iki metottur. Schlumberger metodunun, değersel kıymetlendirme elde etmek için, düşey elektrik sondajı olarak kullanılması yaygındır. Potansiyel elektrotlarının sabit kalmasından dolayı, bilinmeyen yatay yöndeki homojensizliklere hassas olmaması bu metodun Wenner metoduna göre en büyük avantajıdır. Arazi işlemlerinin Wenner'e göre hızlı oluşu ise ayrı bir avantajdır. Wenner metoduna nazaran Schlumberger metodunun dezavantajı daha hassas aletlerin gerekliliği ile bazen bazı ayarlamaların kıymetlendirme için gerekli oluşudur.

Wenner metodu da, değersel kıymetlendirme için, oldukça yaygın olarak kullanılmıştır. Bu methoda yatay yöndeki homojensizliklerin tesirinin nazara alınması özel dikkat isteyen bir iştir. Schlumberger jeo-elektrik profil alımı çok yanlış olmakla beraber, Wenner metodu da bu iş için başarı ile tatbik edilebilir.

Üç-elektrotla kullanılan sistemlerden Schlumberger ve Wenner metodları bazı şartlarda büyük avantajlar veren elektrot dizimleridir, Şekil 1-b ve d.

Azimutal-dipol metodu özellikle petrol araştırmalarını içine alan derin yapı etütlerinde kullanılmaktadır. Bu metot devreler arasındaki elektromanyetik tesirleri minimuma indirdiği gibi, uzun kablo kullanımından ortaya çıkan problemlerden uzaktır. Çalışma şartlarının zor olduğu arazilerde akım elektrotları sabit olarak tesbit edilerek, potansiyel elektrotları çeşitli yönlerde ve uzaklıklarda hareket ettirilerek ölçüler alınabilir. Meselâ bir yol boyunca ölçüler almak mümkündür. Ekvatoryol-dipol metodu azimutal - dipol şeklinin özel bir tatbikatıdır ve bir çok avantajları vardır.

Wenner ve Schlumberger metodlarına nazaran azimutal-dipol metodu, jeolojik yapının eğimine ve yatak yöndeki değişimlerine oldukça hassastır.

Her metot için görünür rezistivite formülleri (3) bağıntısından çıkarılabilir

Schlumberger metodunda :

$$\rho_a = \pi \cdot \frac{\Delta V}{I} \left[ \left( \frac{L}{MN} \right)^2 - \frac{1}{4} \right] MN \quad (4)$$
$$\approx \pi \cdot \frac{\Delta V}{I} \cdot \frac{L^2}{MN} \quad (L \gg MN \text{ için})$$

Genel olarak,  $L/MN > 1.5$  alınır ve 50'ye kadar olan değerleri bazı şartlarda tatbik edilebilir.  $L/MN$  büyük alındığında, meselâ 2,5'tan büyük, M ve N noktaları arasındaki elektrik sahası genel olarak üniform kabul edilebilir. Bu halde, yatay tabakalanmış yeraltı yapısı için, geçerli olan tek parametre açılım uzunluğu olan L'dir.

Üç elektrotlu Schlumberger metodu için gerekli bağıntı, (4) denkleminde eşitliğin sağ tarafı iki ile çarpılarak elde edilir.

Wenner metodu için bu değer, dir.

$$\rho_a = 2\pi a \cdot \frac{\Delta V}{I} \quad (5)$$

Üç-elektrotlu Wenner metodu için de (5) bağıntısının sağ tarafı 2 ile çarpılarak  $\rho_a$  elde edilir.

Azimutal-dipol metodunda  $\rho_a$ , aşağıdaki değerlerle (3) numaralı denklemden verilir.

$$\left. \begin{aligned} \frac{\overline{AM}^2}{\overline{AN}^2} \\ \frac{\overline{BM}^2}{\overline{BN}^2} \end{aligned} \right\} = \left( X \pm L \cdot \cos \theta \right)^2 + \left( L \cdot \sin \theta - \overline{MN} \right)^2 \quad (6)$$

Şayet  $(X+L) \gg \overline{MN}$  şartı sağlanmazsa görünür rezistivite aşağıdaki şekli alır :

$$\rho_a \approx 2\pi \cdot \frac{1}{\overline{MN}} \cdot \frac{\Delta V}{I} \cdot \frac{1}{L \cdot \sin \theta} \left[ \frac{1}{r_1^3} + \frac{1}{r_2^3} \right] \quad (7)$$

Özel bir hal olarak ekvatoryal-dipol metodunda  $\theta = 90^\circ$  olduğundan :

$$\rho_a = \pi \cdot \frac{1}{\overline{MN}} \cdot \frac{\Delta V}{I} \cdot \frac{(X^2 + L^2)^{3/2}}{L} \quad (8)$$

Yukarıdaki formüller ölçülen değerlerden görünür rezistiviteye geçişe imkân verirler.

#### 4. DÜŞEY ELEKTRİK SONDAJLARI

Düşey elektrik sondajları, yere ait elektriksel sabitlerin derinlikle gösterdikleri değişmelerin tayini için, özel tatbikat gerektiren bir ölçü tekniğidir. Herhangi bir elektrot dizim tipi ile bu iş yapılabilir. Düşey elektrik sondajları, elektriksel sabitlerin yatay yönden çok düşey yönde değişme gösteren hallerde, yataya yakın tabakalanmaya sahip sahalarda bilhassa faydalıdır. Bu hallerde kıymetlendirme neticesi yapıyı meydana getiren tabakaların derinlik ve rezistiviteyi tayin edilir.

Düşey elektrik sondajlarının arazi tatbikatı elektrot aralıklarını arttırmak suretiyle bir seri ölçü alınmasını gerektirir. Metot, akım ve potansiyel elektrotları arasındaki uzaklık artırılmasının, derinlik artışı verdiği esası üzerine kurulmuştur. Elektrot uzaklığı ile derinlik arasındaki bağıntı oldukça karışıktır. Neticeler elektrot uzaklığına bağlı olarak rezistivite değerlerinin grafik halinde gösterilmesi şeklinde takdim edilebilir. Şekil 1'de bağımsız bir değişken olarak geçerli derinlik a ve b hallerinde «L»; c ve d hallerinde «a» veya e halinde de «x» olarak gösterilmiştir.

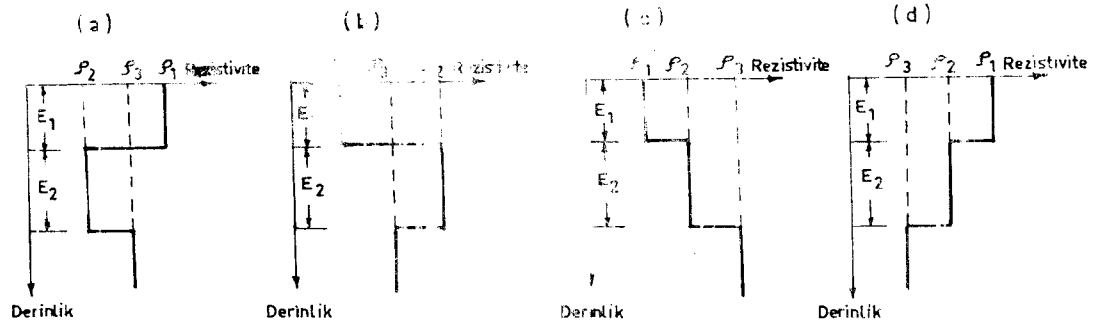
#### 5. JEOLEKTRİKSEL KESİTLER

Yere ait belirli noktadaki düşey rezistivite dağılımının gösterildiği kesitler, jeoelektriksel kesit olarak isimlendirilir. Bir çok gayelere hizmet etmek üzere, yeraltı jeolojisi yatay tabakalardan meydana gelen jeoelektrik kesitler halinde gösterilir. Bu tip bir çalışma için, düşey elektrik sondajı en iyi netice veren bir çalışma tarzıdır.

Şekil 2 iki boyutlu bu tip bir kesiti göstermektedir. Tabakaların kalınlıkları  $E_1, E_2, \dots$  olarak gösterilmiştir. böylece tabakaların derinliği  $E_1 + E_2 + E_3 + \dots$  olarak verilir. Her tabakaya ait hakiki rezistivite değerleri  $\rho_1, \rho_2, \dots$  olarak gösterilmiştir. Sonuncu veya n'inci tabakanın çok kalın olduğu kabul edilir.

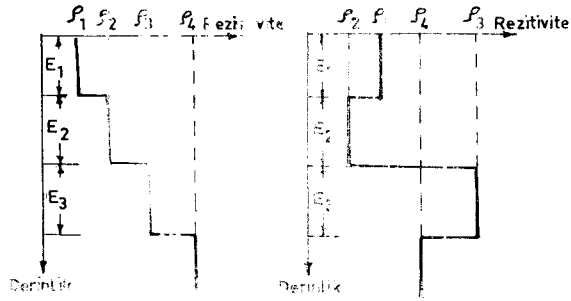
Elektriksel sabitlere göre, grafik olarak böyle bir jeoelektriksel kesit, Şekil 3 - 5 ile verildiği gibi gösterilebilir.

Şekil 2'de gösterildiği gibi olan jeoelektriksel kesitler kolaylık sağlamak bakımından «n» değerlerine bağlı olarak sınıflandırılabilir. Mesela; iki tabakada  $n=2$ , üç-tabakada



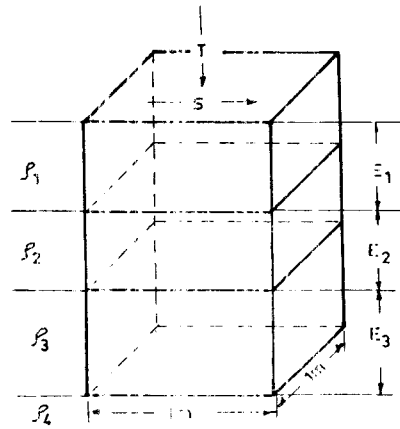
Şekil 4- Üç tabaka kesitleri

- a) Tip H:  $\rho_1 > \rho_2 < \rho_3$
- b) Tip K:  $\rho_1 < \rho_2 > \rho_3$
- c) Tip A:  $\rho_1 < \rho_2 < \rho_3$
- d) Tip Q:  $\rho_1 > \rho_2 > \rho_3$



Şekil 5 - Dört tabaka kesitlerinin gösterilmesi

- a) Tip 4A:  $\rho_1 < \rho_2 < \rho_3 < \rho_4$
- b) Tip 4K:  $\rho_1 > \rho_2 < \rho_3 > \rho_4$



Şekil 6 T ve S Parametrelerinin anlamı

$n=3$ , dört-tabakada  $n=4$  olduğu gibi. Buna ek olarak, derinlik dikkate alınarak rezistivitenin gösterdiği değişmeye göre de her grup kendi arasında sınıflanmaya tâbi tutulabilir. Bu sınıflama tarzı şekil 3 - 5'te gösterilmiştir.

Şekil 4'te gösterildiği gibi, üç-tabaka kesitleri dört tip halinde gruplandırılmıştır. Rusların kullandıkları gruplama burada esas alınmıştır. Bunlar :

$$\text{H tipi : } \rho_1 > \rho_2 < \rho_3$$

$$\text{K tipi : } \rho_1 < \rho_2 > \rho_3$$

$$\text{A tipi : } \rho_1 < \rho_2 < \rho_3$$

$$\text{Q tipi : } \rho_1 > \rho_2 > \rho_3$$

Şekil 5'te gösterilen dört-tabaka kesitleri sekiz grup olarak gösterilmiştir. Bunlar üç tabaka kesitlerin kombinasyonu olarak verilebilir. Örneğin; AA tipi  $\rho_1 > \rho_2 < \rho_3 > \rho_4$  halini gösterirken, HK tipi de  $\rho_1 < \rho_2 < \rho_3 < \rho_4$  kesitinin karşılığını ifade eder.

Genel olarak,  $n$  tabakalı bir kesit  $2^{n-1}$  grup içinde üç-tabaka sınıflamasının  $n-2$  harfi altında toplanabilir.

## 6. BOYUNA İLETKENLİK S VE ENİNE DİRENÇ T

Daha önce açıklandığı gibi, bir jeoelektrik kesit, o kesite ait kalınlık,  $E$ , ve rezistivite,  $\rho$ , ile tamamen gösterilebilir. Bu parametreler rezistivite saha eğrisi üzerinde değişiklik meydana getirerek sık sık birbirlerine tesir ederler.

Bir alternatif parametre çifti olarak :

$$\begin{aligned} T &= E \cdot \rho \\ S &= E / \rho \end{aligned}$$

şeklinde gösterilebilir. Bu parametreler uygulamalarda geçerli olup, bilhassa, büyük açıklıklarda tesirlerini gösterirler. Şekil 6'da şematik olarak gösterilen  $T$  ve  $S$  parametreleri Dar Zarrouk parametreleri diye bilinir.

$T$ , enine birim direnç olarak isimlendirilir. Tabakalara dik bir akım akması halinde, eksenî tabakalara normal olan, bir birim kare prizmanın direnci olarak tarif edilir.

$S$ , boyuna birim iletkenlik olarak isimlendirilmiş olup, tabakalara paralel bir akım varken, eksenî tabakalara normal olan, bir birim kare prizmanın iletkenliği olarak ifade edilir.

Dar Zarrouk parametreleri kümülatif bir karaktere sahiptir. Belirli bir jeoelektrik kesiti için,  $n$  tabakalı bir kesitte eşdeğer  $T$  ve  $S$  değerleri tabakaların parametrelerinin toplamına eşittir.

$$T = \sum_{i=1}^{n-1} T_i \quad (3) \quad ; \quad S = \sum_{i=1}^{n-1} S_i \quad (10)$$

Dar Zarrouk parametrelerinin gerek teori ve gerekse kıymetlendirmede önemi çok büyüktür. Bölüm III'de bazı tatbikatlar olmakla beraber detaylı bilgi Kalenov (1957), Orellana (1963, 1965), ve Yokubovskii - Liakhov (1964)'e ait neşriyatlarda bulunabilir.