

169272

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YER ALTI SU KAYNAKLARININ
“TERRAMETER SAS 300C” CİHAZI İLE TESPİTİ**

Ahmet COŞKUN

Tez Yöneticisi
Yrd. Doç. Dr. Mehmet TUĞAL

YÜKSEK LİSANS TEZİ
YAPI EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

ELAZIĞ, 2005

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YER ALTI SU KAYNAKLARININ
“TERRAMETER SAS 300C” CİHAZI İLE TESPİTİ**

Ahmet COŞKUN

YÜKSEK LİSANS TEZİ
YAPI EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

Bu tez, **02.09.2005** tarihinde aşağıda belirtilen jüri tarafından oybirliği /oyçokluğu ile başarılı / başarısız olarak değerlendirilmiştir.

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Mehmet TUĞAL

Üye: Yrd. Doç. Dr. Salih YAZICIOĞLU

Üye: Doç. Dr. Ahmet BAYLAR

Bu tezin kabulü, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun **07/09/2005** tarih ve **2005/29-S** sayılı kararıyla onaylanmıştır.

TEŐEKKÖR

Bu tezin önerilmesi, yönlendirilmesi ve tamamlanmasında benden her türlü yardımını esirgemeyen danışman hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Mehmet TUĞAL' a, teorik bilgi konusunda yardımlarından dolayı Jeoloji Mühendisliğı hocalarından Sayın Prof. Dr. Erkan TANYOLU' na, gerek ölçüm alma gerekse verilerin yorumlanması hususlarında yardımcı olan Jeofizik Mühendisi Sayın Ercan ZENGİN' e ve çalışmalarım süresince desteğini eksik etmeyen Teknik Eğitim Faköltesi Yapı Eğitimi Bölümü araştırma görevlilerinden Sayın Harun TANYILDIZI' na teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim.



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
İÇİNDEKİLER	I
ŞEKİLLER LİSTESİ	III
TABLolar LİSTESİ	V
SİMGELER LİSTESİ	VI
KISALTMALAR LİSTESİ	VIII
ÖZET	IX
ABSTRACT	X
1. GİRİŞ	1
2. ELEKTRİK ÖZDİRENÇ YÖNTEMİ	2
2.1. Özdirenç İçin Temel Kavramlar	2
2.2. Kayaç Özdirencinin Değişimi	4
2.2.1. İletimin Normal Yolu	4
2.2.1.1. Rezistivite ve Porozite	4
2.2.1.2. Rezistivite ve Suya Doygunluk	5
2.2.1.3. Rezistivite ve Geçirgenlik	6
2.2.1.4. Tuzluluğun Etkisi	6
2.2.1.5. Sıcaklığın Etkisi	6
2.2.1.6. Bir Numune Üzerinde Porozite ve Kayaç Yapısının Etkileri	7
2.2.1.7. Kayaç Tipinin Etkisi	8
2.2.1.8. Jeolojik Olayların Etkisi	8
2.2.1.9. Kil Minerallerinin Etkisi	9
2.3. Homojen ve İzotrop Ortamda Potansiyel Dağılımı	11
2.4. Elektrot Açılımları	12
2.4.1. Wenner Metodu	16
2.4.2. Schlumberger Metodu	16
2.4.3. Üç Nokta Metodu	17
2.4.4. Dipole-Dipole Metodu	18
2.4.5. Lee Metodu	18
2.5. Özdirenç Yöntemi Arazi Uygulamaları	19
2.5.1. Düşey Elektrik Sondajı (DES)	19
2.5.1.1. D.E.S. Eğrilerinin İsimlendirilmesi	20

2.5.2. Yatay Özdirenç Profili	22
2.5.3. Birleşik Sondaj Profil	23
2.6. Modelleme ve Ters Çözüm	23
2.6.1. D.E.S. Eğrilerinin Değerlendirilmesi	24
2.6.1.1. Ardışık Yaklaşım Yorum Yöntemleri	24
2.7. Özdirenç Verilerinin Yorumu	25
2.7.1. DAÖ Verilerinin 1-B Yorumlanması	26
2.7.2. DAÖ Verilerinin 2-B Yorumlanması	27
2.7.3. Görünür Özdirenç Andıran Kesitleri	29
2.7.4. Görünür Özdirenç Haritaları	29
2.7.5. Yer Elektrik Kesit	30
 3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	 31
3.1. Kullanılan Ekipman	31
3.1.1. Terrameter SAS 300C Cihazı	31
3.1.2. Terrameter SAS 2000 Booster	33
3.2. Ölçümde Kullanılan Metotlar	33
3.3. Yapılan Uygulamalar	34
3.3.1. P 101 No' lu Profilde Alınan Ölçümler	34
3.3.2. P 102 No' lu Profilde Alınan Ölçümler	36
3.3.3. P 103 No' lu Profilde Alınan Ölçümler	38
3.3.4. P 104 No' lu Profilde Alınan Ölçümler	40
3.3.5. P 105 No' lu Profilde Alınan Ölçümler	42
3.3.6. P 106 No' lu Profilde Alınan Ölçümler	44
3.3.7. P 107 No' lu Profilde Alınan Ölçümler	46
3.3.8. P 108 No' lu Profilde Alınan Ölçümler	49
3.3.9. P 109 No' lu Profilde Alınan Ölçümler	52
3.3.10. P 110 - P111 - P112 - P113 No' lu Profillerde Alınan Ölçümler	55
 4. SONUÇ ve ÖNERİLER	 61
 KAYNAKLAR	 63
 ÖZGEÇMİŞ	 66

ŞEKİLLER LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1	Akım hatlarının dağılımı2
Şekil 2.2	Yer ortamının homojen olmaması durumunda akım dağılımının değişimi3
Şekil 2.3	Çeşitli kayaç yapıları7
Şekil 2.4	Toprak ve kayaç çeşitleri için tipik rezistivite değişimleri8
Şekil 2.5	Kil taneciği üzerinde absorbe edilen iyonların şematik gösterimi10
Şekil 2.6	Wenner metodu16
Şekil 2.7	Schlumberger metodu16
Şekil 2.8	Üç nokta metodu17
Şekil 2.9	Dipole-dipole metodu18
Şekil 2.10	Lee metodu18
Şekil 2.11	İki katmanlı bir yer modeli için artan ve azalan eğriler20
Şekil 2.12	Üç katmanlı bir yer modeli için D.E.S. eğrilerinin isimlendirilmesi20
Şekil 2.13	Dört katmanlı bir yer modeli için D.E.S. eğrilerinin isimlendirilmesi21
Şekil 2.14	Gömülü bir küre üzerinde yatay öz direnç profilleri22
Şekil 2.15	GÖ DES eğrisi ve 1-B ters çözüm sonucu elde edilen 1-B öz direnç modeli ...26
Şekil 2.16	Tabakalı ortam ve örtü tabakasına gömülü öz direnci yüksek, küçük bir cismin olması durumunda hesaplanan GÖ DES eğrileri ve 2-B model28
Şekil 2.17	Andıran kesit29
Şekil 3.1	Terrameter SAS 300C31
Şekil 3.2	SAS 2000 Booster33
Şekil 3.3	P 101 profili arazi eğrisi35
Şekil 3.4	P101 profili kesiti36
Şekil 3.5	P 102 profili arazi eğrisi37
Şekil 3.6	P102 profili kesiti38
Şekil 3.7	P 103 profili arazi eğrisi39
Şekil 3.8	P103 profili kesiti40
Şekil 3.9	P 104 profili arazi eğrisi41
Şekil 3.10	P104 profili kesiti42
Şekil 3.11	P 105 profili arazi eğrisi43
Şekil 3.12	P105 profili kesiti44
Şekil 3.13	P 106 profili arazi eğrisi45
Şekil 3.14	P106 profili kesiti46

Şekil 3.15	P107 profili kesiti	48
Şekil 3.16	P108 profili kesiti	51
Şekil 3.17	P109 profili kesiti	54
Şekil 3.18	P110 – P111 – P112 – P113 profilleri kesiti	60
Şekil 4.1	Kuyu bilgi formu	62



TABLÖLAR LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1	Rezistivite üzerinde çeşitli jeolojik olayların etkisi9
Tablo 2.2	Rezistivite açılım değerlendirme si15
Tablo 3.1	Ölçüm yapılan yerler ve profil no' ları34
Tablo 3.2	P101 Profilinde ölçülen öz direnç değ erleri35
Tablo 3.3	P102 Profilinde ölçülen öz direnç değ erleri37
Tablo 3.4	P103 Profilinde ölçülen öz direnç değ erleri39
Tablo 3.5	P104 Profilinde ölçülen öz direnç değ erleri41
Tablo 3.6	P105 Profilinde ölçülen öz direnç değ erleri42
Tablo 3.7	P106 Profilinde ölçülen öz direnç değ erleri45
Tablo 3.8	P107 Profilinde ölçülen öz direnç değ erleri47
Tablo 3.9	P108 Profilinde ölçülen öz direnç değ erleri50
Tablo 3.10	P109 Profilinde ölçülen öz direnç değ erleri53
Tablo 3.11	P110 Profilinde ölçülen öz direnç değ erleri56
Tablo 3.12	P111 Profilinde ölçülen öz direnç değ erleri57
Tablo 3.13	P112 Profilinde ölçülen öz direnç değ erleri58
Tablo 3.14	P113 Profilinde ölçülen öz direnç değ erleri59

SİMGELER LİSTESİ

σ_r	: Bir kayacın toplam iletkenliği
θ	: Birim hacim vasıtası ile değişen kapasitede kil katyonları
σ_s	: Kum yüzey iletkenliği
σ_n	: Normal kayaç iletkenliği
Φ	: Porozite
ΔV	: İki nokta arasındaki potansiyel fark
2L	: Schlumberger metodunda akım elektrotları arasındaki mesafe
2l	: Schlumberger metodunda potansiyel elektrotları arasındaki mesafe
A	: İletkenin kesit alanı
a	: Özdirence ait sıcaklık katsayısı
AB/2	: Akım elektrotları arası mesafenin yarısı
B	: Toplanan gözenek suyu üzerinde değişen katyonların değışkenciklerine bağı olarak hesaplanan bir faktör
C	: İntegral sabiti
C ₁	: 1. Akım elektrotu
C ₂	: 2. Akım elektrotu
D	: Elektrot mesafesi
d ₁	: Elektrot dizilişinde 1. akım elektrotu ile 1. potansiyel elektrotu arasındaki mesafe
D ₁	: Elektrot dizilişinde 1. akım elektrotu ile 2. potansiyel elektrotu arasındaki mesafe
D ₂	: Elektrot dizilişinde 2. potansiyel elektrotu ile 2. akım elektrotu arasındaki mesafe
d ₂	: Elektrot dizilişinde 1. potansiyel elektrotu ile 2. akım elektrotu arasındaki mesafe
E	: Elektrik alan
F	: Formasyon faktörü
F _t	: Kilin etkilerinin ihmal edildiğı yerlerde çok yüksek yoğunlaşmalarda bir formasyon faktörü
I	: İki nokta arasındaki iletkenin akım miktarı
J	: Elektriksel akım yoğunluğu
K	: Akışkan permeabilitesi
N	: Potansiyel ölçümündeki okuma sayısı
na	: Dipole-dipole metodunda 2. akım elektrotu ile 1. potansiyel elektrotu arasındaki mesafe
P	: Elektrik potansiyeli

P_0	: Lee metodunda P_1 ve P_2 potansiyel elektroların merkezindeki potansiyel elektrot
P_1	: 1. Potansiyel elektrotu
P_2	: 2. Potansiyel elektrotu
R	: İki nokta arasındaki iletkenin direnci
S_w	: Yüzde doymuş su
S_{wi}	: Azaltılamaz doymuş su
t	: Mutlak sıcaklık
V	: Potansiyel
V	: Toplam hacim
V_{P1}	: Akım ve potansiyel elektrotları arasındaki potansiyel değer
V_{P2}	: Akım ve potansiyel elektrotları arasındaki potansiyel değer
V_p	: Gözeneklerin hacmi
x	: Schlumberger metodunda akım ve potansiyel elektrotların merkezleri arasındaki mesafe
ρ	: Özdirenç
ρ_{18}	: 18°C'deki özdirenç
ρ_a	: Görünür özdirenç
ρ_e	: Kayaç gözeneklerindeki eriyiğin özdirenci
ρ_{hava}	: Havanın özdirenci
ρ_r	: Kayacın özdirenci
ρ_t	: t sıcaklığındaki özdirenç
ρ_w	: Gözenek suyunun özdirenci

KISALTMALAR LİSTESİ

- D.C. : Doğru akım
D.E.S. : Düşey elektrik sondajı
D.Ö. : Dönüşük öz direnç
G.Ö. : Görünür öz direnç
D.A.Ö. : Doğru akım öz direnç



ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

YER ALTI SU KAYNAKLARININ “TERRAMETER SAS 300C” CİHAZI İLE TESPİTİ

Ahmet COŞKUN

Fırat Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Yapı Eğitimi Anabilim Dalı

2005, sayfa: 66

Bu çalışmada Elazığ Fırat Üniversitesinde ve Elazığ – Malatya Yolu üzerinde bulunan arazilerin hidrojeoloji amaçlı yer elektrik özellikleri D.C. (Doğru Akım) özdirenç yöntemi, D.E.S. (Düşey Elektrik Sondajı) çalışma tekniği, Schlumberger ve Dipole – Dipole açılımları kullanılarak araştırılmıştır.

Her bir D.E.S. verisi Res 2 Dinv veya Ipi 2 Win yazılımı ile değerlendirilmiş, yer elektrik kesitler elde edilmiş ve yer altı yapısı belirlenmeye çalışılmıştır. Araştırma alanlarından birindeki sondaj kuyusunun jeolojik kesiti ile yer elektrik kesitin ilişkisi araştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Yer Elektrik Özellikler, Düşey Elektrik Sondajı, Schlumberger Açılımı.

ABSTRACT

Master Thesis

DETERMINATION WITH “TERRAMETER SAS 300C” INSTRUMENT OF UNDERGROUND WATER

Ahmet COŞKUN

Firat University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Construction Education

2005, Page: 66

In this study, the geo-electrical characteristics of the lands of Firat University and Elazig- Malatya highway are searched for hydro geological. The methods of the direct current resistivity as vertical electrical sounding technique, Schlumberger and Dipole-dipole array are used to determine these characteristics.

The layer parameters are obtained by interpretation of the every curve of vertical electrical sounding with Res 2 Dinv or Ipi 2 Win software. The geological structure of the land is tried to determine by this sections. One of Bores in Firat University is compare the relationship between geo-electrical sections and geological sections of bore.

Key Words: Geo-Electrical Characteristics, Vertical Electrical Sounding, Schlumberger Array.

1. GİRİŞ

19. YY' a kadar var olan kaynak ve yüzey suları ihtiyacı karşılamaya yeterliyken özellikle 1850' li yıllardan sonra yeni sanayi devrimi ile beraber, hem sanayinin yoğun su ihtiyacı hem de sanayileşme nedeni ile kentlerin artan nüfusu içme ve kullanma suyunun yetersiz kalmasına neden olmuştur. Diğer taraftan sanayi kentlerinde yaşayan insanlara daha fazla ve çeşitli tarım ürünü sunabilmek için tarım alanlarında da su ihtiyacı artmıştır. Dolayısıyla su ile ilgili bilim dalları da bu aşamada ortaya çıkmıştır.

Hidrojeoloji su ile ilgili jeoloji dalı olup çok geniş kapsamlı bir bilim dalıdır. Yer altı sularının araştırılmasından kimyasına kadar bir çok konu bu kapsamdadır. Bu geniş kapsam hidrojeolojinin bir çok farklı bilim dalı ile işbirliği yapmasını gerektirmektedir. İşte jeofizik, olayın en başında yani akiferin varlığını, derinliğini ve sınırlarını ortaya koymada hidrojeolojiye yardımcı olmaktadır.

Yer altı suyu jeofiziği, en geniş tanımıyla hidrojeolojik problemlerin çözümü için uygulamalı jeofizik yöntemlerin (özellikle yer elektrik yöntemler) uygulanması olarak tanımlanabilir. Bilindiği gibi uygulamalı jeofizik, jeolojiye harita yapımında derinlik boyutunu ekleyerek üç boyutlu haritaya katkıda bulunur. Bu anlamda yapılacak bir mekanik sondaj için kuyu yeri ve derinliğinin jeofizikle ortaya konması hidrojeolojik çalışmaya maksimum ekonomi sağlamaktadır.

Yer altı suyu jeofiziğinin amacı sadece yer altı sularının derinlik ve sınırlarını ortaya koymak değildir. Pratikte çok daha geniş bir kapsamı vardır. Yani mühendislik çalışmalarında zeminde varolan yer altı suyunun belirlenmesi, maden jeofiziğinde maden ocağını basabilecek suyun belirlenip ortamdaki uzaklaştırılması, çevre jeofiziği kapsamında kıyılardaki tuzlu su girişiminin belirlenmesi ve göl, baraj gibi yüzey sularının kaçak yapabileceği karstik boşlukların belirlenmesi, karstik ortamdaki yer altı sularının birbirleriyle ilişkilerinin araştırılması da yer altı suyu jeofiziğinin kapsamındadır. Diğer taraftan yeraltındaki jeotermal su ve buharın belirlenmesi de bu kapsamdadır.

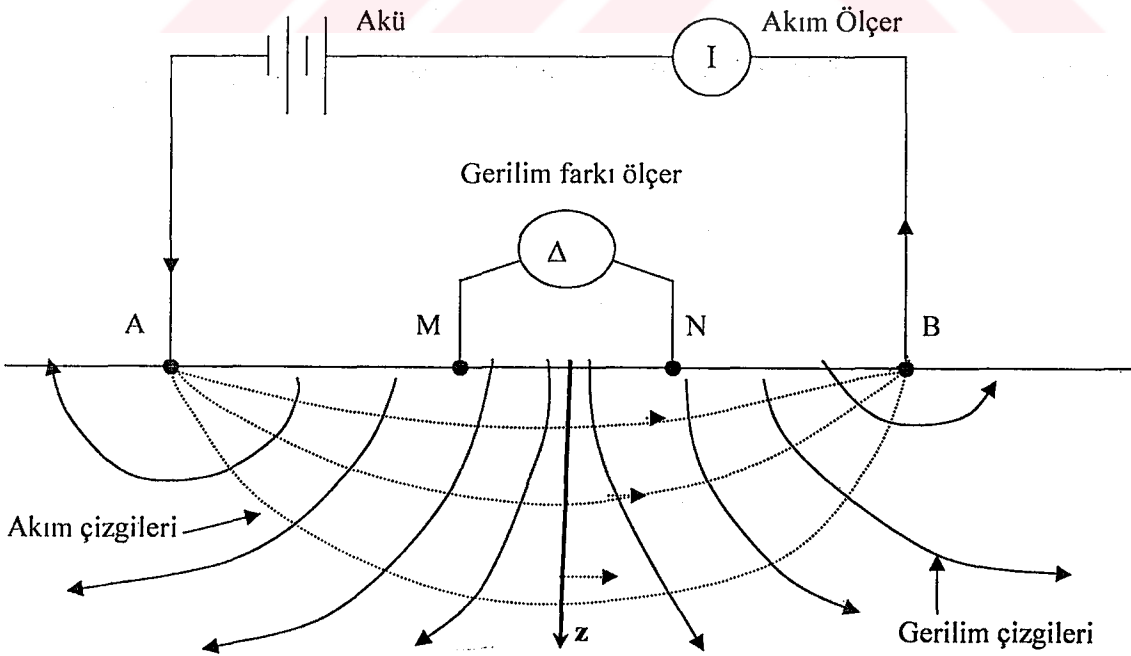
Uygulamalı jeofizik yöntemlerden yer elektrik yöntemler, yer altı suyu jeofiziğinin en yaygın kullandığı yöntemlerdir. Bu bağlamda yer altı sularının araştırılması, Türkiye' de gerek DSİ gibi kamu kuruluşları gerekse özel sektör tarafından D.C. Özdirenç Yöntemleri ile başarılı bir şekilde yürütülmektedir [1].

2. ELEKTRİK ÖZDİRENÇ YÖNTEMİ

2.1. Öz direnç için Temel Kavramlar

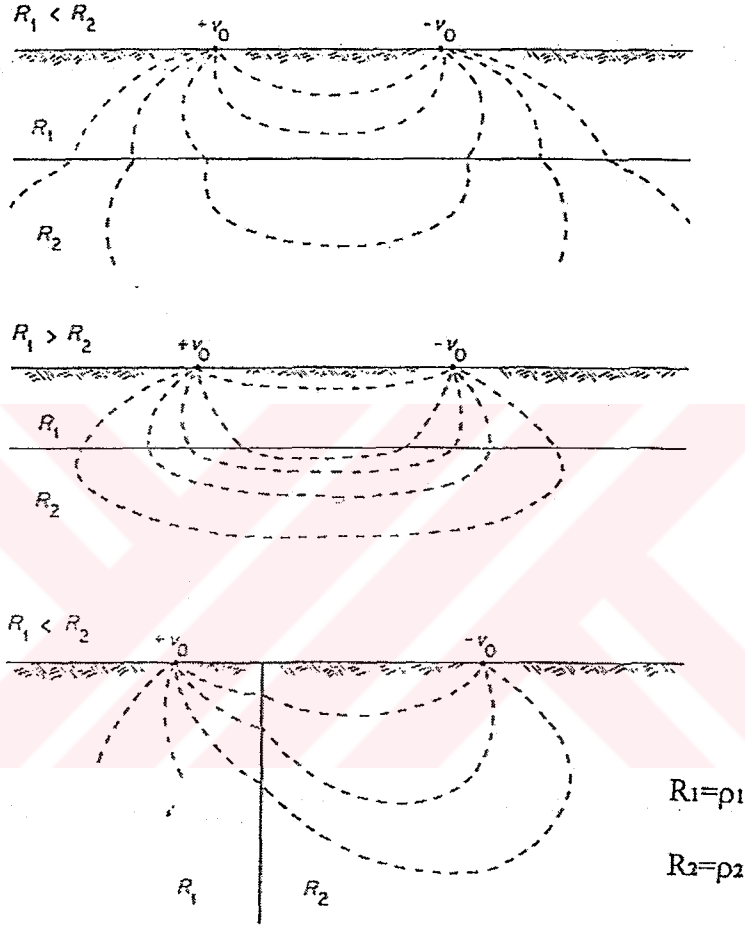
Bir bölgenin birkaç yüz metre derinlikli yer altı yapısını araştırmak için en sık kullanılan yöntem, sismik olsa da iki elektrotla yer içine akım göndermek ve hassas bir voltmetreye bağlı diğer bir çift elektrotla da bu akımın oluşturduğu potansiyel dağılımını ölçmektir. Bu uygulamaya öz direnç yöntemi denir. Ayrıca akiferi izleme amaçlı çalışmalarda sismik değil öz direnç yöntemi kullanılmaktadır.

Öz direnç yönteminin en basit uygulaması yere iki noktadan akım verip, bu akımın oluşturacağı ΔV gerilim farkını diğer iki nokta arasından ölçmektir. Yöntemin daha kolay anlaşılabilmesi için varsayılan yer modeli, homojen ve izotrop bir ortamdır. Böyle bir ortama yeryüzündeki iki noktadan akım verildiği zaman, akım hatlarının dağılımı küresel olacaktır. Bu akımın oluşturduğu potansiyel hatları da (eş potansiyeller) akım hatlarına dik olup tam simetri merkezinde potansiyel sıfırdır. Bu tam küresel dağılımı bozan, yerin hava ile sınırlandırılmasıdır. Yani $P_{\text{hava}} = \infty$ olduğu için akım hatlarının dağılımı küre şeklinde değil, bir yarım küre şeklindedir (Şekil 2.1). Eğer homojen bir ortamda yeterli bir derinliğe nokta kaynak konularak akım verilir ise tam küresel akım dağılımı elde edilmektedir. Fakat kuyu logları dışında uygulama % 100'e yakın oranda akımın yeryüzünden verilmesi şeklinde olduğu için dağılım yarım küre şeklindedir.



Şekil 2.1 Akım hatlarının dağılımı [2]

Yer ortamı, bu ilk yaklaşımda olduğu gibi homojen ve izotrop değildir. Yerin homojenliği düşey veya yanal süreksizliklerle bozulduğundan ortam çoğu zaman heterojendir. Hatta her bir katmanın kendi içindeki değişimi nedeniyle yön bağımlılık da (anizotropi) vardır. İşte bu heterojen yapı küresel akım dağılımını bozar. Yeraltındaki yapı değişimine bağlı olarak küresel değil, başka dağılımlar ortaya çıkar (Şekil 2.2).



Şekil 2.2 Yer ortamının homojen olmaması durumunda akım dağılımının değişimi [3]

Şekil 2.2'deki ilk gösterim $\rho_2 > \rho_1$ durumudur. İzlendiği gibi akım hatları ρ_1 öz dirençli ortamda toplanmış ve ρ_2 öz dirence sahip dirençli ortama girerken o ortamdan kaçmak istercesine normale yaklaşmaktadır.

Şekil 2.2'deki ikinci durumda ise $\rho_1 > \rho_2$ 'dir. Dirençli olan (ρ_1 öz dirençli) birinci katmanda akım dağılımı hemen hemen yok iken ρ_2 öz dirençli, iletken ikinci katmanda yığılarak küresel akım dağılımını bozmaktadır. Yani akım hatları normalden uzaklaşmaktadır.

Şekil 2.2’de üçüncü durumda gösterilen yanal süreksizlik (fay) durumunda ρ_1 özdirençli iletken ortamdan, ρ_2 özdirençli dirençli ortama girerken akım hatlarının arası açılmaya başlamaktadır. İşte yatay veya düşey katmanlı ortamda oluşan akım dağılımındaki bozulma, yeryüzünde ölçülen potansiyeli, dolayısıyla ρ_a ’yı (görünür özdirenç) etkileyerek belirtiye neden olmaktadır. Jeofizikte aranan bu belirti yeraltındaki katman dağılımının ortaya konmasını sağlamaktadır. Yeryüzünde ölçülen görünür özdirencin büyüklüğüne etki eden birçok etken bulunmaktadır. Bu kayaç ortamında akımın iletilmesi ile yakından ilgilidir [1].

2.2. Kayaç Özdirencinin Değişimi

2.2.1. İletimin Normal Yolu

Gözenekli yapılarda, tane sınırları boyunca, fay kırıklarında ve kesme zonlarında yüzeye yakın kayaçların iletimi elektrolitiktir. Tuzlar su içinde çözüldüğü zaman iyonlar meydana gelir. Ondan sonra her bir iyon, yükün sadece sınırlı bir miktarını taşıyabilir. Daha büyük bir erimede, daha çok iyonlar yük taşıyabilecektir. Bundan dolayı iyon artışı ile iletkenlik daha yüksek olacaktır. Genel olarak, belirli bir porozite için gözenekleri içerisinde tuzlu su bulunan bir kayaç, suyun tuzluluk miktarı yüksek olduğu zaman yüksek bir iletkenliğe sahiptir. Tuzluluk miktarı düşük olduğu zaman ise düşük bir iletkenliğe sahiptir. Tuzluluk miktarı bir kayacın rezistivitesinin belirlenmesinde büyük bir faktördür [4].

2.2.1.1. Rezistivite ve Porozite

Sedimanter ortamlarda iyonik iletim vardır. Yani yeraltı suyu olmalıdır. Su ne kadar fazla ise iletim o kadar yüksektir. Gözeneklilik ne kadar çok ve bağlantılı ise iletim o kadar iyi olur. Dolayısıyla özdirenci etkileyen etkenlerden biri porozite yani gözenekliliktir.

Archie’ e göre;

$$F = \rho_r / \rho_e = \Phi^{-m} \quad (1)$$

olarak bulunur [5].

Burada; F formasyon faktörü, ρ_r kayacın rezistivitesi, ρ_e kayaç gözeneklerindeki eriyiğin rezistivitesi, Φ porozite, a ve m kayaç çeşitlerine ilişkin sabitlerdir. Sabit olan m her zaman çimentolanma faktörü olarak verilir. Sabit olan a ise, doyma katsayısı olarak verilir. a için sayısal değerler genellikle 0.6-1 arasında, m için ise, 1.4-2.20 arasındadır. m’ nin daha yüksek değerinde çimentolarının derecesi daha yüksektir [4].

Gözenekli bir kayaç parçasının gözenekliliği, bu kayaç parçasının boşlukları hacminin toplam hacme oranı olup

$$\Phi = V_p / V \quad (2)$$

dir. Burada; V_p , gözeneklerin hacmi; V , toplam hacimdir.

Porozite boyutsuz bir büyüklüktür. Bir kayaç parçasının toplam hacmi katı kısmının hacmi ile gözenekli kısmının hacminin toplamına eşittir ve

$$V = V_k + V_p \quad (3)$$

bağıntısı ile verilir.

$$\Phi = (V - V_k) / V \quad (4)$$

olarak bulunur.

Kayaçların toplam poroziteden başka bir de etkin porozitesi vardır. Bu yalnız birbirine bağlı olan gözenekleri içerir. Ve toplam poroziteden küçüktür.

Sedimanter kayaçların porozitesi çok değişiktir. Kireçtaşları ve Anhidrit gözenekli bir yapıya sahip değildir. Yani porozitesi yoktur. Çok sağlam kumtaşları %10-15 porozite, gevşek kumlar %30'a kadar porozite, marn ve killerin porozitesi %40'a kadar çıkmaktadır. Killerin porozitesi fazla olmasına rağmen yapıları çok ince dokuda olduğundan geçirgenliğe sahip değildir [6].

Kayaç gözenğinde su varsa yani gözeneklilik fazla ve su da fazla ise iletkenlik maksimum, özdirenç düşüktür. Gözeneklilik çok değil ise iletkenlik düşük, özdirenç yüksek olur. Gözeneklilik çok ama su yoksa yada az varsa boşluktan dolayı özdirenç yüksek olur.

2.2.1.2. Rezistivite ve Suyu Doygunluk

Yüzde doymuş su,

$$S_w = \text{Gözeneklerdeki suyun hacmi} / \text{Gözeneklerin toplam hacmi} \quad (5)$$

şeklinde tanımlanmaktadır.

Bir formasyonun suya doygunluğu %100 doygunluktan daha küçük değerlere kadar değişebilir. Fakat hiçbir zaman sıfır olmaz. Bazı durumlarda petrol ve gaz yönünden zengin olan bir formasyonda da bir miktar su yine de bulunur. Yüzde doymuş su artar ise kayacın rezistivitesi azalır [6].

2.2.1.3. Rezistivite ve Geçirgenlik

ρ (rezistivite) ve k (akışkan permeabilitesi), iyonların taşınması ve akışkanın taşınması ile ilgilidir. Petrol amaçlı kuyu logunda Timur, denklemini ara sıra kullanılır [7];

$$k = 0.136 \cdot \Phi^{44} / S_{wi}^2 \quad (6)$$

Burada; k akışkan permeabilitesi, Φ porozite kısmı, S_{wi} azaltılamaz doymuş sudur [4].

Gözeneklilik (Permeabilite), gözenekli bir ortamın bir akışkanı geçirebilme özelliğidir. Formasyonun geçirimli olabilmesi için ince kılcal damarlarla gözeneklerin birbirleriyle bağlantılı olması gerekir. Çoğu kez yüksek poroziteler yüksek permeabiliteye karşılık gelir. Fakat bu kural her zaman doğru değildir. Örneğin killi yüksek poroziteye sahip olmasına rağmen gözenekli değildir [6].

2.2.1.4. Tuzluluğun Etkisi

Yeraltı suları geçtikleri ortamları çözerler. Suyun her zaman bir çözme özelliği vardır. Yeraltı suları ile hem gözeneklilik hem de sudaki iyon miktarı artar. Dolayısıyla iletkenlik de artar.

Söz konusu su miktarı, saturasyon (doymuşluk) ile eş anlamlıdır. İyon açısından zengin sular eşdeğer tuzluluk ile tuzlanma kavramı içinde yer alabilirler. Tuzluluk her zaman özdirenci düşüren, azaltan bir etkidir. Tuzluluk belirli bir değere kadar özdirenci düşürür. Ama tuzluluğun çok arttığı durumlarda kıvamlılığın artması ile özdirenci de yükselebilir [1].

2.2.1.5. Sıcaklığın Etkisi

Sıcaklıkta özdirenci etkileyen etkenlerden biridir. Sıcaklık arttıkça iyon hareketi hızlanır ve iletkenlik yükselerek özdirenci düşer. Sıcaklık her zaman özdirenci düşürür. Ortamın 18°C'den 90-95°C'ye çıkması durumunda özdirenci birkaç kat düşer. Isının çok yükselmesiyle de kıvamlılık artar. Dolayısıyla bu tür durumlarda özdirencin azaldığını değil bazen arttığını söylemekte mümkündür.

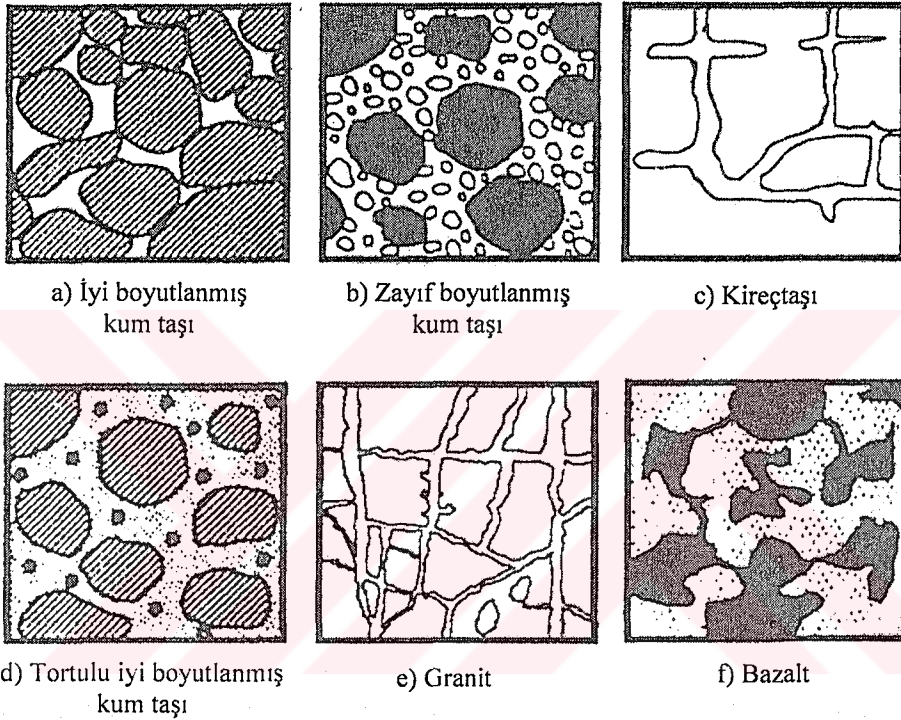
Özdirenci ile sıcaklığın değişimi formülü Keller ve Frischnecht denklemi aşağıda verilmiştir [8].

$$\rho_t = \rho_{18} / (1 + a \cdot (t - 18)) \quad (7)$$

Burada; α rezistiviteye ait sıcaklık katsayısı (yaklaşık olarak 0.025), t mutlak sıcaklık, ρ_t t sıcaklığındaki rezistivite, ρ_{18} 18°C'deki rezistivitedir [4].

2.2.1.6. Bir Numune Üzerinde Porozite ve Kayaç Yapısının Etkileri

Bir kayacın yapısı, bir numune üzerinde onun rezistivitesi ile anlaşılır. Şekil 2.3' de verilen aşağıdaki sonuçları buluruz.



Şekil 2.3 Çeşitli kayaç yapıları [4]

a- İyi boyutlanmış bir kumtaşı geniş, boş aralıklara sahiptir ve bu sebepten dolayı düşük rezistivite gösterir.

b- Zayıf boyutlanmış bir kumtaşı çok düşük poroziteye sahip olacak ve bu sebepten dolayı daha yüksek rezistivite gösterecektir.

c- Bir kireçtaşında kırıklar boyunca erime poroziteyi artıracak ve bu sebepten rezistivite düşecektir.

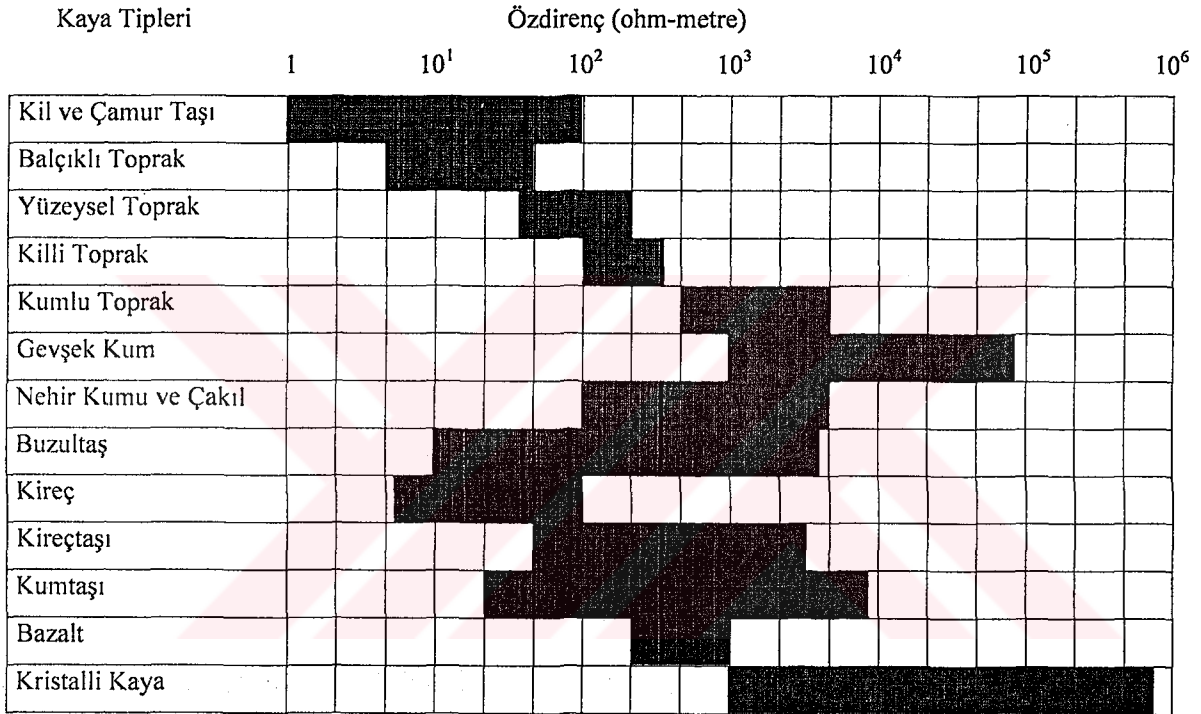
d- İyi boyutlanmış bir kumtaşındaki bazı minerallerin tortusu poroziteyi azaltacak ve bu sebepten dolayı rezistivite artacaktır.

e- Granit cinsinden yapıli bir kayaç, köşeli tane sınırları boyunca ve çatlaklarda elektriği iletecek ve porozite düşecektir. Böylece rezistivite yüksek olacaktır.

f- Bir bazalt çok fazla birbirine bağlı veya ölü gözenek aralığına sahip ise permeabilite düşüktür. Böylece yüksek poroziteli bir bazalt bile yüksek rezistivite gösterebilir [4].

2.2.1.7. Kayaç Tipinin Etkisi

Şekil 2.4' de toprak ve kayaç çeşitleri için tipik rezistivite değişimleri gösterilmiştir. Bu değişimler önceden söylenen yapı çeşitlerini aksettirmektedir [4].



Şekil 2.4 Toprak ve kayaç çeşitleri için tipik rezistivite değişimleri [4]

2.2.1.8. Jeolojik Olayların Etkisi

Tablo 2.1, bir kayaca ait rezistivite üzerinde, çeşitli jeolojik olay değişimlerinin etkisini gösterir. Genellikle jeolojik olaylar bir kayacın rezistivitesini azaltır, fakat istisnalar vardır.

Tablo 2.1 Rezistivite üzerinde çeşitli jeolojik olayların etkisi [4]

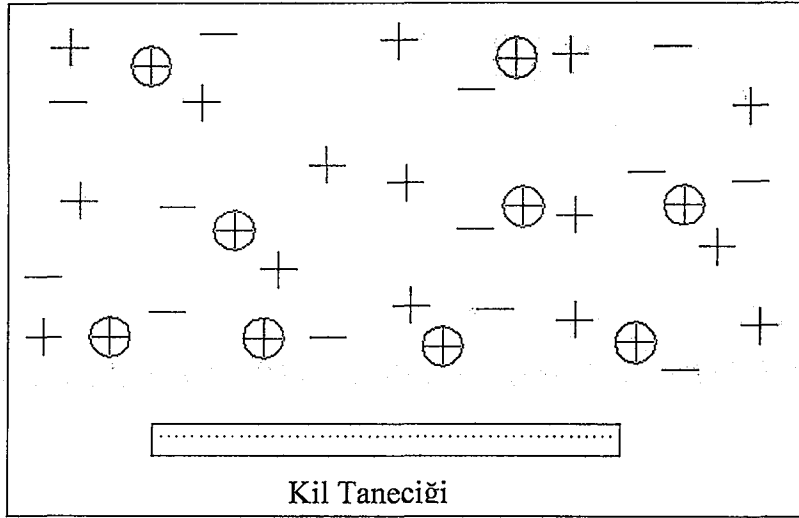
Rezistiviteyi Artıranlar	Rezistiviteyi Azaltanlar	Rezistiviteyi Artıran veya Azaltanlar
Katılaşma Karbonat Çökelmesi Silisleşme	Kil alterasyonu Erime Faylanma Tuzla su intrüzyonu Kesme Yüzeysel etki	Metamorfizma

Granit de hidrotermal alterasyon veya yüzeysel etki sebebiyle meydana gelen değişiklik ve sütunsu yapılı bazaltın çatlakları şekil 2.4’de gösterildiği gibi onların rezistivitesini düşürür.

Erime, faylanma, kesme ve yüzeysel etki her zaman porozite ve akışkan permeabilitesini yükseltir. Bu sebepten dolayı rezistivite düşer. Kalsiyum karbonat çökelmesi ve silis poroziteyi azaltır, bu sebepten akışkan permeabilitesi azalır ve rezistivite artar. Yoğun katılaşma veya metamorfizma, porozite ve permeabiliteyi azaltacak, böylece rezistivite artacaktır. Tuzlu su girişimi daha çok iyon verir ve bu yüzden rezistivite azalır [4].

2.2.1.9. Kil Minerallerinin Etkisi

Bir kil taneciği, elektrot yoluna ilaveten bir ayrı iletim yolunun vazifesini yapar. Bu ilave edilen yolun direnci düşüktür. Bu anormal yüksek kil minerali iletkenliğinin kökeni Şekil 2.5’de gösterildiği gibi yerini alan katyonların iki tabakada durmasıdır. Katyonların bağlarının kırılması ve kristal kafes içinde olması nedeniyle denge yüke gereksinim vardır. Katyonların sınırlı hacmi bir tek tabakaya ait formasyonu engeller. Bir çift tabaka biçimlendirilir. Çift tabaka kil yüzeyine doğrudan doğruya bitişik (komşu) bir sabit tabaka ve sabit tabakadan belirli mesafeye doğru azalan bir yayınlık tabakadan meydana gelir.



Absorbe edilen katyonlar

(+) Normal katyonlar

(-) Normal anyonlar

Şekil 2.5 Kil taneciği üzerinde absorbe edilen iyonların şematik gösterimi [4]

Yayınık tabaka, sabit tabakadan farklı olarak, uygulanan elektrik alanının nüfusu altında hareket ettirilerek serbest bırakılır. Yayınık tabakaya ait katyonlar yoğunlaşan normal iyonla eklenir ve böylece taşınan yükün yoğunluğu artar. Net sonuç yüzey iletkenliğini artırır. Kil mineralleri onların geniş iyon değişim kapasitesinden dolayı yüksek derecede bu özelliği gösterir. Zeolitler bu özelliği gösterir fakat daha küçük derecelerdedir.

Bir kayacın toplam iletkenliği σ_r , normal kayaç iletkenliği σ_n ve kum yüzey iletkenliği σ_s 'nin toplamıdır.

$$\sigma_r = \sigma_n + \sigma_s \quad (8)$$

$$\sigma_r = (\sigma_e / F) + \sigma_s \quad (9)$$

$$F = \rho_n / \rho_e = \sigma_e / \sigma_n \quad (10)$$

formasyon faktörünü verir.

Waxman ve Smits, bir kil yatağının rezistivitesi için aşağıdaki ifadeyi verir [9];

$$\rho_r = (\rho_w \cdot F_t) / (1 + (\rho_w \cdot B \cdot \theta)) \quad (11)$$

Burada; ρ_w gözenek suyunun rezistivitesi, B toplanan gözenek suyu üzerinde değişen katyonların değişkenciklerine bağlı olarak hesap edilen bir faktör, θ birim hacim vasıtası ile

değişen kapasitede kil katyonları, F_t kilin etkilerinin ihmal edildiği yerlerde çok yüksek yoğunlaşmalarda bir formasyon faktörüdür.

Daha kolay anlaşılır formasyon faktörü (10) denkleminde

$$F_a = \rho_r / \rho_w = F_t / (1 + (\rho_w \cdot B \cdot \theta)) \quad (12)$$

şeklinde yazılabilir [4].

2.3. Homojen ve İzotrop Ortamda Potansiyel Dağılımı

Özdirenci ρ olan, tekdüze ve sonsuz izotrop bir yer ortamına bir noktadan akım uygulanırsa, akımın uygulandığı noktadan R kadar mesafede, akım yoğunluğu ohm kanununa göre;

$$J = E / \rho \quad (13)$$

olarak verilir. Diğer taraftan,

$$E = -\text{grad } V = -\partial V / \partial R \quad (14)$$

olduğu bilindiğine göre,

$$J = (1/\rho) \cdot (-\partial V / \partial R) \quad (15)$$

yazılabilir. Burada; J elektriksel akım yoğunluğu, E elektrik alan, V potansiyeldir. Akım yoğunluğu akımın, geçtiği kesit alana oranı olduğu için,

$$J = I / A \text{ (Amper / m}^2 \text{)} \quad (16)$$

olur. A, küre yüzeyinin alanı olup $A = 4 \cdot \pi \cdot R^2$ dir. (14) bağıntısı ile (15) bağıntısı birbirine eşitlenebilir.

$$I / A = (1/\rho) \cdot (-\partial V / \partial R) \quad (17)$$

$$I / (4 \cdot \pi \cdot R^2) = -1/\rho \cdot \partial V \quad (18)$$

(18) denklemini potansiyel için düzenlersek,

$$\partial V = ((\rho \cdot I) / (4 \cdot \pi \cdot R^2)) \cdot \partial R \quad (19)$$

elde edilir. Her iki tarafın integrasyonu ile nokta akım kaynağının izotrop ortam için kendisinden R uzaklığında oluşturduğu potansiyel bulunabilir. Burada gerekli işlemler sonucunda potansiyel,

$$V = (\rho \cdot I) / (4 \cdot \pi \cdot R) + C \quad (20)$$

elde edilir. Burada C integral sabiti olup, kaynaktan çok uzak noktalarda sıfırdır. Diğer taraftan yer, tam sonsuz bir ortam değil hava ile sınırlı olup,

$$V = (\rho \cdot I) / (2 \cdot \pi \cdot R) \quad (21)$$

bağıntısı yarı sonsuz, homojen, izotrop bir ortam için potansiyel bağıntısı olarak elde edilir [10].

Homojen ortam için elde edilen bu bağıntı, homojen ortamda gerçek özdirenci verirken, katmanlı ortamda gerçek özdirenç ve kalınlıkları bulmak için görünür özdirençlerin hesaplanmasında kullanılır. Yani,

$$\rho_a = (\Delta V / I) \cdot 2 \cdot \pi \cdot R \quad (22)$$

bağıntısı, katmanlı ortamda görünür özdirenci hesaplamada kullanılmaktadır. Burada,

$$K = 2 \cdot \pi \cdot R \quad (23)$$

geometrik faktör olarak tanımlanır. (23) bağıntısı (22)'de yerine konularak,

$$\rho_a = (\Delta V / I) \cdot K \quad (24)$$

şeklinde görünür özdirenç bağıntısı tekrar yazılabilir.

2.4. Elektrot Açılımları

Yeryüzünde, akım ve potansiyel elektrotları farklı farklı yerleştirilerek ölçü alma teknikleri geliştirilmiştir. Bunlara elektrot açılımı denir. Özdirençte de pek çok sayıda elektrot açılımı kullanılmakla beraber sıklıkla kullanılanlar belli sayıdadır. Aynı doğrultuda yer almış bir dizilim kullanılması koşul olmamakla birlikte, sonuçların değerlendirilmesi ve arazi çalışması kolaylığı açısından tercih edilmektedir.

Elektrotların birbirine göre yeri ve aralarındaki uzaklık değişik şekillerde olabilir. Genellikle akım ve potansiyel elektrotlarının bir noktaya göre simetrik olması hesapları kolaylaştırmak bakımından yararlıdır. Akım elektrotlarının birbirine yakın olması, akımın fazla

derinlere inmesini önler. Potansiyel elektrotu akım elektrotuna yakın olunca da yanal cisimlerin etkileri fazla olur. Jeolojik probleme göre en uygun açılımı seçmek gerekir [11].

Rezistivite ölçümlerinde en çok kullanılan açılımlar iki elektrot, Dipol-dipol, Polar-dipol, Gradyent, Schlumberger ve Wenner açılımlarıdır. Eğer IP ölçümü yapılacak ise Dipol-dipol veya Polar-dipol açılımları elektromanyetik kuplajı mümkün olduğu kadar azaltmak için kullanılır. Bununla birlikte IP ölçümlerinde petrol ve gaz depolarının ortaya çıkarılmasında Schlumberger açılımı kullanılabilir. Düşey elektrik sondajı uygulamaları için Schlumberger açılımı Wenner açılımına göre tercih edilir. Çünkü Schlumberger açılımı düşey rezistivite değişimlerinde daha fazla hassastır. İletken çevrelerde Dipol-dipol açılımı Polar-dipol açılımının yerine geçer. Çünkü o daha az elektromanyetik kuplaj etkisi gösterir. Gradyent açılımı düşey rezistivite değişimlerini nispeten hissetmez. Fakat araştırmaya ait geniş potansiyel derinliğine sahiptir.

Tablo 2.2 'de bir elektrot açılımının seçimi için faktörler verilmiştir. Bunlar, sinyal/gürültü oranı, elektromanyetik kuplaj, yanal etki, dik gömülü yapıların çözümü, yatay tabakaların çözümü, araştırma derinliği, derinliğe göre duyarlılık, dalmaya göre duyarlılık, sondajdaki homojen olmayan yüzeylere göre duyarlılık, yatay kaydırmadaki homojen olmayan yüzeylere göre duyarlılık, temel kaya topografyasına göre duyarlılık, yanal etkilere göre duyarlılık, kalkan etkisi ve topografyaya göre duyarlılıktır [4].

İki nokta elektrot açılımı hem fazla araştırma derinliğine sahip olması, hem de ölçü tekrarlarını gerektirmeyişinden daha hızlı ve ekonomiktir. Fakat, sonsuzda bulunduğu varsayılan elektrotlar açılım uzaklığını sınırlar ve ancak sığ açılımlara izin verir. L uzaklığı, AB ve MN uzaklığının on katı olduğunda görecel hata %5'den fazla olmaz. Ancak bu oran azalırsa yanılğı miktarı artar ve derin açılımlar için yöntem pratik olmaktan çıkar [12].

Wenner ve Schlumberger açılımlarında ise, her iki elektrot dizilimi de aynı akım penetrasyonuna sahip olduğu halde, araştırma derinliğinin Schlumbergerde fazla olduğu görülür. Aynı açılım uzaklığı için, Wennerde potansiyel elektrotları arasının daha büyük olması voltaj ölçümünün daha duyarlı olmasını sağlar. Fakat ölçü duyarlılığından da önemli olan, Schlumbergerin yanal heterojenitelere karşı daha az hassas olmasıdır. Bu özellik açısından en avantajlı açılım türüdür. Bu avantaj, bir seri ölçüm sırasında potansiyel elektrotlarının yer değiştirmemesinden dolayı oluşur.

Dipol açılımında, akım ve potansiyel elektrotları birer çift oluşturduklarından yalnız Dipol boyları kadar kablo gerekir. Diğer açılımlarda, kabloları büyük uzaklıklar çekmekten dolayı yüksek voltajdan doğan akım sızıntısı artabilir. Dipol alan uzaklığın küpüyle ters orantılı olarak azalır. Bu ise, Dipol açılımının kullanılması durumunda çok duyarlı potansiyel ölçümünü gerektirir. Dipol açılımının en büyük avantajı ise, diğer açılımlarda elektrotların bir doğru

boyunca dizilmeleri gerektiği halde, ormanlık ve sarp arazilerde Dipol sondajın bükümlü çizgiler boyunca yürütülebilmesidir. En zayıf yanı yanal öz direnç değişimlerine ve eğimli katmanlara karşı çok duyarlı olmasıdır. Bu karşılaştırmalar ışığında genel olarak sığ araştırmalar için iki nokta elektrot ve Wenner, derin araştırmalar için Dipol açılımının kullanılabileceği söylenebilir. Schlumberger sığ ve derin araştırmalarda kullanılabilir [10].

Tablo 2.2 Rezistivite açılım değerlendirilmesi [4]

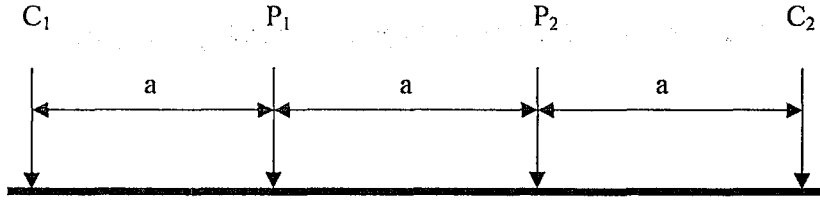
Elektrot Açılımı	S/N Oranı	EM Kuplajı	Yanal Etki	Dik Gömülü Yapıların Çözümü	Yatay Tabakaların Çözümü	Değerlendirme			Sondajdaki Homojen Olmayan Yüzeylere Göre Duyarlılık	Yatay Kaydırmadaki Homojen Olmayan Yüzeylere Göre Duyarlılık	Temel Kaya Topografyasına Göre Duyarlılık	Yanal Etkilere Göre Duyarlılık	Kalkan Etkisi	Topografya'ya Göre Duyarlılık
						Araştırma Derinliği	Derinliğe Göre Duyarlılık	Dalmaya Göre Duyarlılık						
Gradyent	3	3	1	1	5	+	5	1	3*	5	5	+	1	+
Dipol-Dipol	5	1	2	4	2	+	2	4	4	2	1	+	1	+
Polar-Dipol	4	2	3	5	2	+	3	5	3	1	2	+	1	+
Schlumberger	2	4	4	2*	1	+	1	2	1	3	3*	+	1	+
Wenner	1	5	5	3*	1	+	1	2	2	3	3*	+	1	+

1 = En İyi 2 = İkinci En İyi 3 = Orta 4 = Zayıf 5 = En Kötü

3* = Kesin Olamayan Tahmin + = Hiç Kessin Olmayan Tahmin

2.4.1. Wenner Metodu

Wenner metodu çok yaygın bir kullanıma sahiptir ve elektrotlar, her bir komşu elektrot arasında eşit aralık olacak şekilde düzenlenir. Aralıklar “a” ile gösterilirse o zaman bu düzen için k faktörü uygun mesafeler yerleştirmekle kolayca ispat edilebileceği gibi a’ ya eşit olduğu görülür (Şekil 2.6) [13].



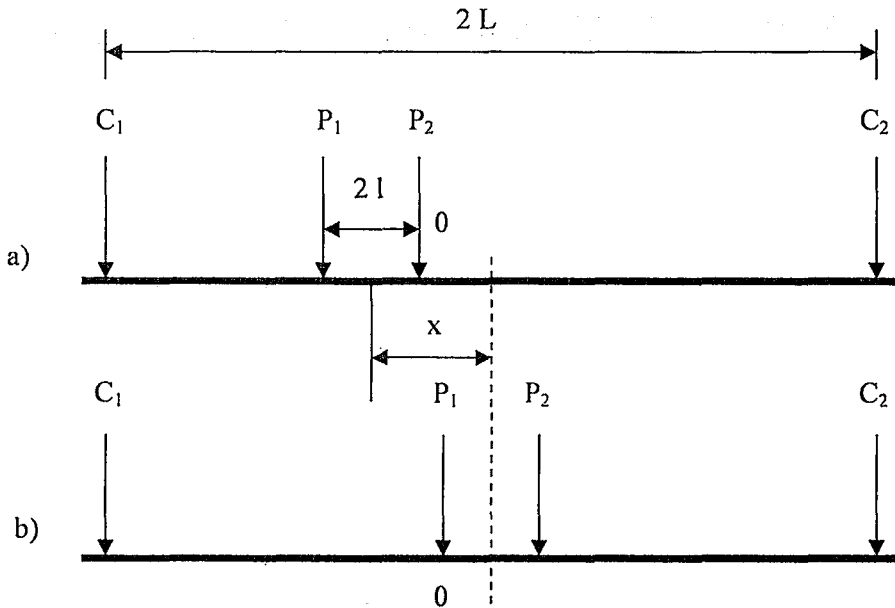
Şekil 2.6 Wenner metodu

Burada Wenner düzeni için görünen öz direnç:

$$\rho_a = 2\pi a (\Delta V / I) \quad (25)$$

2.4.2. Schlumberger Metodu

Schlumberger metodunda akım elektrotları arasındaki 2L mesafesi potansiyel elektrotları arasındaki 2l mesafesinden büyüktür (Şekil 2.7) [13].



Şekil 2.7 Schlumberger metodu

Şayet şekil 2.7.a' yı göz önüne alırsak ve sondaların diğer akım elektrotundan oldukça uzak olduğunu (potansiyel elektrotlar arasında en az 10 kat mesafe) varsayarsak görünen özdirenç:

$$\rho_a = (\pi / 2l) ((L^2 - x^2)^2 / (L^2 + x^2)) (\Delta V / I) \quad (26)$$

Bu formülde x; akım elektrotları ile merkezinden potansiyel elektrotların merkezleri arasındaki mesafedir. Şekil 2.7.b' de gösterilen özel durumda, potansiyel elektrotlar x=0 da yerleştirildiğinde formül:

$$\rho_a = (\pi / 2l) (L^2 - l^2) (\Delta V / I) \quad (27)$$

ve şayet $L \geq 10.l$ ise formül yaklaşık olarak:

$$\rho_a = (\pi / 2l) . L^2 . (\Delta V / I) \quad (28)$$

2.4.3. Üç Nokta Metodu

Üç nokta metodunda üç elektrot bir aradadır, bunlardan uzakta ise bir akım elektrotu sabitlenir (Şekil 2.8).



Şekil 2.8 Üç nokta metodu

Buradan şekil 2.8' deki C_1 elektrotunun mesafesi sonsuz olarak kabul edilir ve diğer üç elektrot da eşit "a" mesafesiyle dizilir. C_1 den dolayı potansiyel sondalarda etki yaklaşık sıfır iken sistem esas olarak diğer üç elektrottur. Pratikte bu, bir akım elektrotunun yüzeyde tutulduğu deliklerdeki özdirenç ölçümü için sıklıkla kullanılır [13].

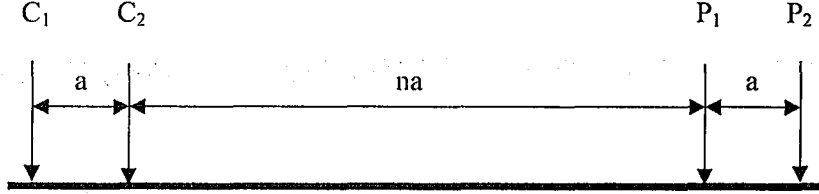
O zaman özdirenç:

$$\rho_a = 4\pi a (\Delta V / I) \quad (29)$$

olur.

2.4.4. Dipole-Dipole Metodu

Dipole-dipole metodu aynı a aralığına sahip olan birer çift akım elektrotu ve potansiyel elektrotundan oluşturulur (Şekil 2.9). Şayet iki grup arasındaki mesafe büyük ise akım kaynağı bir elektrik dipole olarak işleminden geçirilebilir [13].



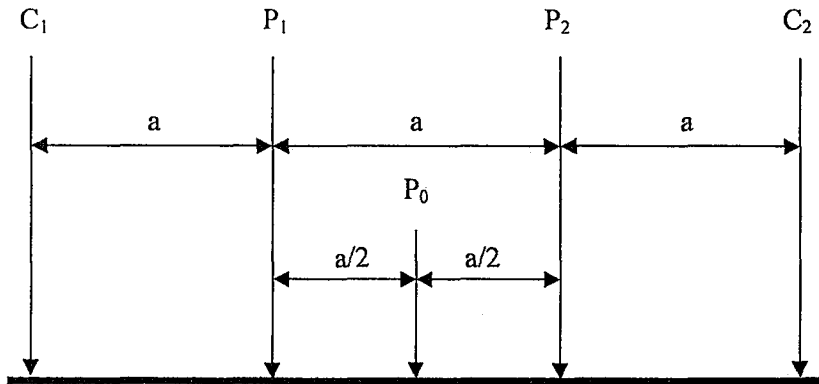
Şekil 2.9 Dipole-dipole metodu

Bu düzende görünen öz direnç aşağıdaki denkleme indirgenir:

$$\rho_a = \pi \cdot n(n+1)(n+2) \cdot a \cdot (\Delta V / I) \quad (30)$$

2.4.5. Lee Metodu

Lee metodunda şekil 2.10' da gösterildiği gibi 5 elektrottan faydalanılarak yapılması itibariyle diğerlerinden farklıdır. Fakat onun temeli Wenner düzenine dayanır: P_1 ve P_2 arasındaki potansiyel farkın bir tek ölçümü yerine, P_0 elektrotu ve iki potansiyel elektrotun her biri arasındaki potansiyel fark alınır. Ve böylece görünen öz direncin iki değeri ölçülür.



Şekil 2.10 Lee metodu

Bunlar:

$$\rho_{a1} = 4\pi a(\Delta V_1 / I) , \rho_{a2} = 4\pi a(\Delta V_2 / I) \quad (31)$$

Bu dizilimin amacı, alt yüzey durumlarında yatay ve düşey değişimler arasındaki farkı ortaya koymaktır [13].

2.5. Özdirenç Yöntemi Arazi Uygulamaları

Elektrik özdirenç yönteminde, yeraltının özdirenç dağılımı temel parametre olarak kullanılmaktadır. Yer içinin özdirencinin hesaplanması için çok çeşitli elektrot dizilimleri geliştirilmiştir. Özdirenç ölçümleri genellikle, jeotermal, madencilik, yeraltı suyu ve mühendislik amaçlı çalışmalarda kullanılmaktadır. Petrol ve gaz amaçlı çalışmalarda da, yaygın olmamakla birlikte bu yöntem kullanılır.

Temelde; yatay, düşey ve bunların kombinasyonu şeklinde her iki yönde özdirenç değişiminin incelenmesi olmak üzere 3 tür arazi ölçme yöntemi mevcut olup, aşağıda bunların her biri kısaca anlatılacaktır [14].

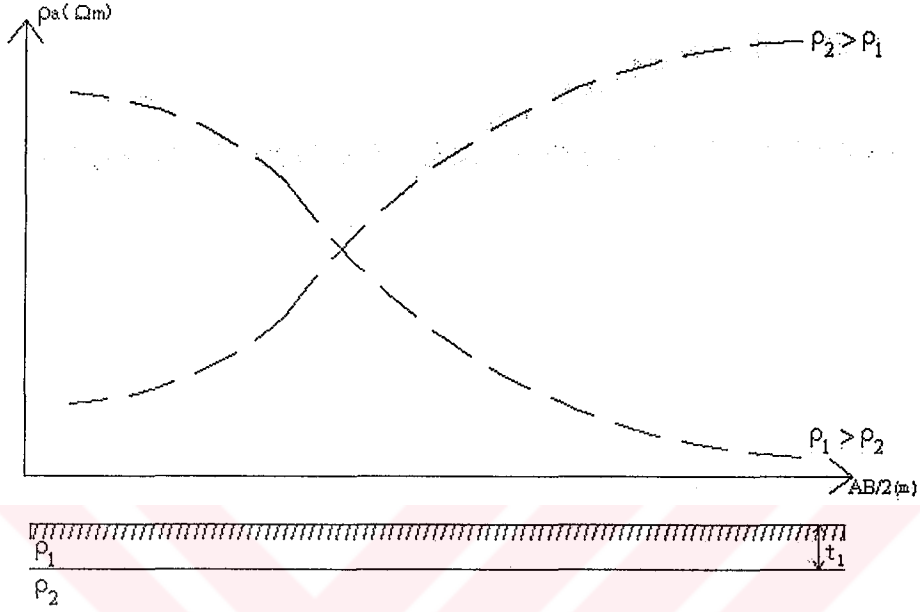
2.5.1. Düşey Elektrik Sondajı (DES)

Adından da anlaşılacağı üzere, düşey yöndeki özdirenç dağılımının incelenmesinde kullanılır. Yere verilen akımın etki derinliği yeraltının özdirencine, akımın frekansına ve akım elektrotları arasındaki mesafeye bağlıdır. Bunlardan ilk ikisi sabit kabul edilirse, akım elektrotları ara mesafesi açılarak daha derinlerden bilgi almak mümkündür.

Bu şekilde akım elektrotları, küçük bir mesafeden başlanıp gittikçe açılarak ve her defasında ρ_a görünür özdirenci hesaplanarak, düşey elektrik sondajı eğrileri elde edilebilir. Bu eğrilerin yorumlanarak yer altı parametrelerinin hesaplanması için bilgisayar destekli birçok sayısal yöntem önerilmekle birlikte abak karşılaştırma yöntemi de, kolaylığı ve arazide uygulanabilirliği açısından sıkça kullanılmaktadır. Temelinde düşey değişimlerin saptanması bulunduğu için, kullanılan elektrot diziliminin yanal değişimlerden en az etkilenmesi istenir. Schlumberger dizilimi, potansiyel elektrotların yerinden fazla oynatılmaması nedeniyle bu koşulu iyi bir şekilde sağlamakta ve DES ölçümlerinde tercih edilmektedir [14].

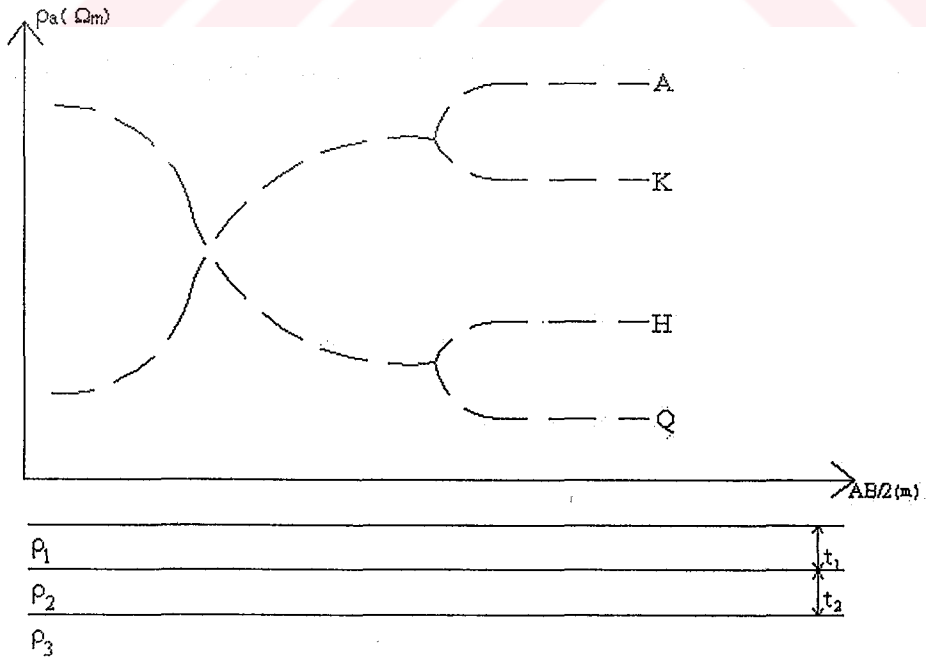
2.5.1.1. D.E.S. Eğrilerinin İsimlendirilmesi

İki katmanlı bir yer modeli için iki tür eğri vardır; ya artan ya da azalan eğriler (Şekil 2.11).



Şekil 2.11 İki katmanlı bir yer modeli için artan ve azalan eğriler [11]

Eğer ortam, iki katmanlıdan fazla ise, her bir eğrinin de aşağıdaki gibi iki durumu vardır (Şekil 2.12).



Şekil 2.12 Üç katmanlı bir yer modeli için D.E.S. eğrilerinin isimlendirilmesi [11]

Bu eğriler; A, K, H, Q olarak isimlendirilmektedir. Bu eğrilerin öz direnç değerlerinin sıralanışı;

A tipi eğri için: $\rho_3 > \rho_2 > \rho_1$

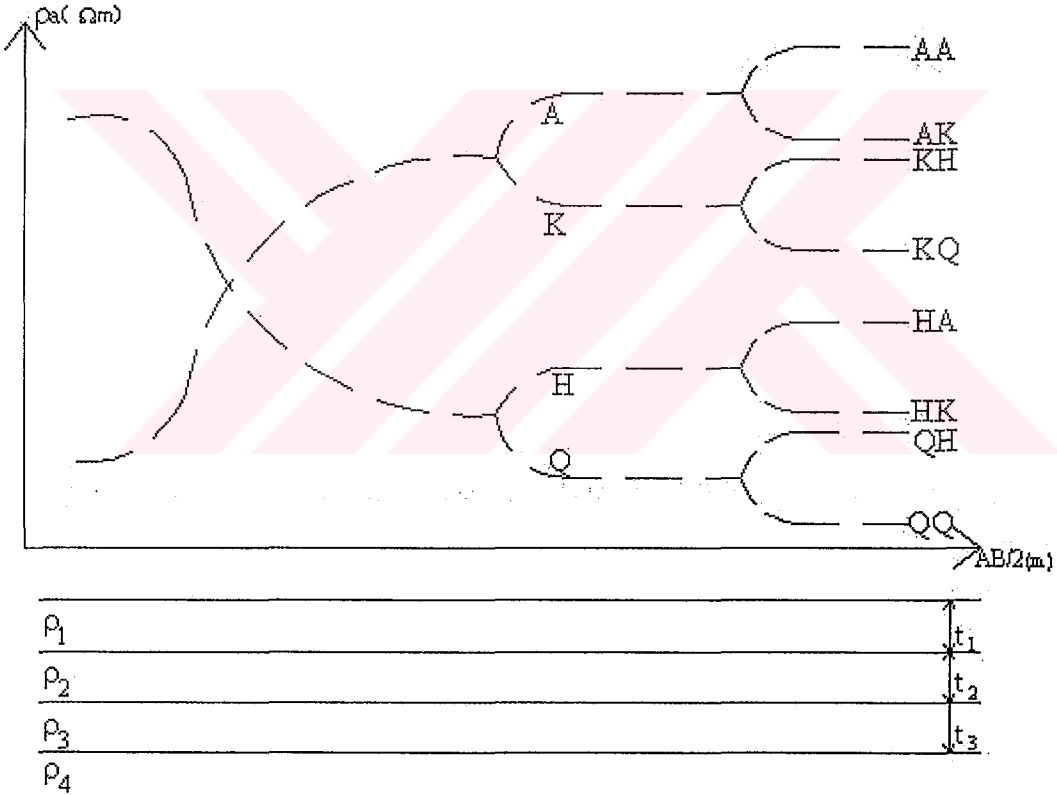
K tipi eğri için: $\rho_3 < \rho_2 < \rho_1$

H tipi eğri için: $\rho_3 > \rho_2 < \rho_1$

Q tipi eğri için: $\rho_3 > \rho_2 < \rho_1$

Şeklindedir.

Katman sayısının artmasıyla, eğri sayısı da artacağından artan eğri sayısının isimleri, bu harflerin yan yana gelmesi ile isimlendirilmektedir. Yer modeline dördüncü katmanın eklenmesi durumunda; A, K, H, Q eğrileri de artar, ya da azalırlar. Her bir eğri tipinin iki olasılığı vardır. Bu iki olasılık Şekil 2.13’ de gösterilmiştir [11].



Şekil 2.13 Dört katmanlı bir yer modeli için D.E.S. eğrilerinin isimlendirilmesi [11]

İsimlendirmede, eğrinin en son parçası kapatılarak ilk üç katmanı temsil eden kısma bakılır. Bu üç eğriden birisine göre isimlendirilir. Daha sonra eğrinin en soldaki parçası kapatılıp, sağda kalan ismi de yazılır ve isimlendirme:

Profil ölçümlerinde, herhangi bir dizilim kullanılabileceği gibi, genellikle Wenner ve hızlı olmaları nedeniyle Gradyent, Pol-pol (iki elektrot) veya Pol-dipol (üç elektrot) dizilimleri kullanılmaktadır.

Ölçüler herhangi bir dizilim şekli seçilerek yapının uzanımına dik doğrultu boyunca, gerilim ve akım uçlarının göreceli uzaklıkları bozulmaksızın dizilim orta noktasının her adımında DX interval aralığı kaydırılarak alınır. Okunan gerilim;

$$\rho_a = (\Delta V / I) \quad (32)$$

olur.

2.5.3. Birleşik Sondaj Profil

Hem yatay hem de düşey yöndeki öz direnç değişimleri aynı anda bir harita üzerinde gösterilebilir. Bu tür haritalarda yeraltının iki boyutlu (2-B) görünümü ortaya konulmaya çalışılır. Ancak elde edilen öz direnç değerleri görünür, derinlikler ve öz direnci hesaplanan noktalar göreceli olduğu için, yer altı bu kesitlerde görüldüğü gibi olmayabilir ve bu nedenle bu tür kesitlere “görünür öz direnç kesitleri” veya “andıran kesitler” adı verilmektedir.

Bileşik sondaj profil ölçümlerinde de birçok dizilim kullanılabileceği gibi, yaygın olarak Dipol-dipol, Pol-pol, Gradyent dizilimleri uygulanır. Bunlara ek olarak, yanal aramalarda Wenner dizilimi de tercih edildiği için, bu çalışmada Wenner kesitleri üzerinde de durulacaktır. Bununla birlikte, çok basit şekilli cisimlerin bile, farklı elektrot dizilimleri kullanılarak çıkarılan, andıran kesitlerinin de farklı olduğunu Barker and Loke [15] ortaya koymuştur.

2.6. Modelleme ve Ters Çözüm

Jeofizik problemlerin çözümünde genel amaç, yer içini ya da jeofizik belirtiye neden olan kaynağı ortaya koymaya çalışmaktır. Jeofiziğin yer ile ilişkisi doğal kaynaklı veya yapay kaynaklı yöntemlerin uygulanmasıyla yerde oluşan tepkinin ölçülmesi şeklindedir. İster doğal kaynaklı, ister yapay kaynaklı uygulama olsun, problem çözümlerinin çeşitli aşamalarında değişik modellemelerin yapılması gerekmektedir. Bunlar jeolojik yapının belirlenmesi, fiziksel benzeşimin kurulması, matematiksel modelin oluşturulması, doğrusal dizge modellemesi, kaynağın modellenmesi, uyarı sinyalinin modellenmesi gibi birbirinden farklı yaklaşımlarla elde edilebilen modelleme türleridir.

Jeofizikte modellemede problem çözümü iki yönlüdür. Bunlarda birincisi model tepkisi olarak da isimlendirilebilir. Modellemede jeolojik bir modelin vereceği jeofizik belirti hesaplanmaya çalışılır. Bu yaklaşım düz çözüm olarak da bilinir.

İkinci yaklaşım ise bunun tersi olan yaklaşımdır. Burada ise jeofizik belirtiden jeolojik modelin parametreleri bulunmaya çalışılır. Bu yaklaşım ise ters çözüm ya da “parametre kestirme yaklaşımı” olarak adlandırılır [16].

Bu çalışmada ters çözüm yöntemi uygulanarak modelleme çalışması yapılmıştır.

2.6.1. D.E.S. Eğrilerinin Değerlendirilmesi

Değerlendirme, görünür öz direnç D.E.S. eğrilerinden katman parametrelerinin elde edilmesidir. Değerlendirme teknikleri;

A- Ardışık Yaklaşım Yorum Yöntemleri

B- Asimptotik Değerlendirme

C- Yaklaşık Değerlendirme Teknikleri

1- Model Eğrilerle Değerlendirme

a- İki katman model eğrileri ile değerlendirme

b- Üç katman model eğrileri ile değerlendirme

c- Yardımcı nokta kartları ile değerlendirme

D- Doğrudan Yorum Yöntemleri

dir.

Bunlardan A, çok az kullanılırken B, bilgisayarlar gelişinceye kadar uygulanmış günümüzde ise bilgisayarların yoğun kullanımı nedeniyle eski önemini yitirmiştir[17].

2.6.1.1. Ardışık Yaklaşım Yorum Yöntemleri

Düşey elektrik sondajı çok yaygın kullanılan bir çalışma tekniğidir, Yöntemin ilk geliştirildiği yıllarda, yorum belirli katman parametreleri için önceden hazırlanmış model eğrilerin, ölçülen eğrilerle karşılaştırılması şeklindedir. 1970 yılına kadar model eğriler (abaklar) ve yardımcı nokta kartları kullanılmıştır. Bu teknikte veri değerleri saydam kağıt üzerine işaretlenir. Yorumcunun kişisel deneyimi ile abaklara ve yardımcı nokta kartlarına karşılaştırılmaktadır. Yardımcı nokta kartlarıyla değerlendirildikten sonra bulunan parametrelerin, yeri ne kadar temsil ettiğini kestirmek ya da yapılan hatanın hesabını yapacak bir matematiksel işlem yoktur. Yardımcı nokta kartları tümüyle deneysel bir yöntem olup, eskiden kullanımının ana sebebi bilgisayarların olmadığı bir dönemde yorum için başkaca bir yolun bulunmamasıdır.

Bu gün ise çok zorunlu durumlarda ya da bilgisayar ile değerlendirmede ilk katman parametrelerini bilgisayara vermek açısından bu çakıştırma işlemi yapılabilir.

Bilgisayar kullanımı, olası bir çok jeolojik modelin kısa sürede denenmesini sağlamanın yanında, parametrelerin birbirleriyle olan ilişkilerinin ve güvenilirlik oranlarının da bulunmasına yardım eder. 1970'li yıllardan sonra model eğrilerin doğrusal süzgeç kuramı ile bilgisayarda hızlı bir şekilde hesaplama olanağı vermesiyle yeni bir dönem başlamıştır. Bilgisayar ekranında görüntülenen, ölçülen (G.Ö.) görünür öz direnç değerlerine çakışan bir model eğri, yorumcu tarafından deneme-yanılma yoluyla bulunmaya çalışılmaktadır. Bu dönemin arkasından bu gün gelinen aşamada başlıca iki yöntem kullanılmaktadır.

Bu iki yöntemden biri parametreler için bir ön kestirimin bilgisayara giriş olarak verilmesinden sonra, bu ön kestirim değerinden başlayarak model eğriyi adım adım ölçülen eğriye yaklaştıran yöntemdir. Ardışık yaklaşma ya da ters çözüm olarak adlandırılmaktadır.

Diğer yöntem ise doğrudan yorum adıyla anılmakta olup, (D.Ö.) dönüşük öz direnç fonksiyonundan katman parametrelerinin bir ön kestirime gerek olmadan saptanmasıdır. İlk adım olarak arazide ölçülen G.Ö. değerleri, D.Ö. fonksiyonuna dönüştürülür [17].

$$T_i = \rho_i \cdot \tanh \cdot (\operatorname{arctanh} (T_{i-1}(u) / \rho_i(u)) + t_i / u) ; T_{i-1}(u) < \rho_i(u) \quad (33)$$

$$T_i = \rho_i / \tanh \cdot (\operatorname{arctanh} (\rho_i(u) / T_{i+1}(u)) + t_i / u) ; T_{i+1}(u) > \rho_i(u) \quad (34)$$

2.7. Öz direnç Verilerinin Yorumu

DAÖ yönteminde veriler, 1-B, 2-B ve 3-B olarak yorumlanabilir. Veriler nitel ve nicel olarak iki farklı şekilde yorumlanır. Nitel yorum, doğrudan Jeofizik veri üzerinden yapılan yorumdur. DAÖ yönteminde, jeofizik veri ölçülmüş GÖ değerleridir. Bu tip yorum jeolojik yapı hakkında kabaca bir bilgi verir. DAÖ yönteminin ilk uygulanmaya başladığı 1910' ların başında bu tip yorum yapıldı.

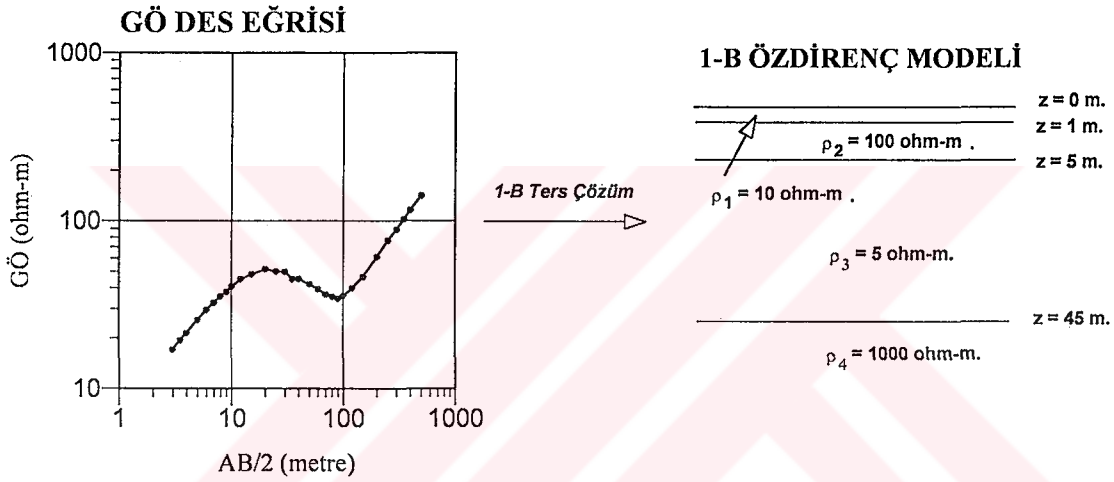
Nicel yorum ise jeofizik verilerin (görünür öz direnç), bir matematiksel işlemle geçirildikten sonra elde edilen yerelektrik parametreler (öz direnç) ile yapılan yorumdur. Jeofizik veriden, jeolojik parametrelerin elde edilmesi işlemine "ters Çözüm" denmektedir [18, 19, 20, 21].

Ters çözüm, günümüzde kullanılan tüm jeofizik yöntemlerinde temel veri işlem tekniğidir. DAÖ yönteminde de verilerin nicel yorumunu yapabilmek için, ters çözüm veri işlemi standart olmuştur. DAÖ yönteminde, elde edilen veriye göre 1-B, 2-B ve 3-B ters çözüm yapılmaktadır.

2.7.1. DAÖ Verilerinin 1-B Yorumlanması

Bir noktada ölçülmüş DES verisi bize düşey yönde öz direnç değişimi hakkında bilgi verir. Bu nedenle DES verilerinin yorumu 1-B yorumdur. Bu verilerin nicel yorumunun yapılabilmesi için, verilere 1-B ters çözüm uygulanmalıdır.

DES verilerinin 1-B ters çözümünde, yerinin öz direnç'e göre kendi içinde homojen ve izotrop katmanlardan oluştuğu varsayılır. Bu varsayım'a göre DES GÖ verilerine uygulanan ters çözüm sonucu bu tabakalara ait öz direnç ve kalınlıklar hesaplanır [22, 23]. Şekil 2.15' de 1-B ters çözüm sonucu elde edilen 1-B öz direnç modeli gösterilmiştir.



Şekil 2.15 GÖ DES eğrisi ve 1-B ters çözüm sonucu elde edilen 1-B öz direnç modeli.

1-B yorumda yüzeye yakın küçük ölçekli 2-B ve 3-B lu yapıların etkisi düşünülmelidir. İletkenliği çevresine göre çok küçük veya büyük olan bu tip yapılar, ölçülen GÖ DES verilerini büyük oranda değiştirirler. Bu yapıların etkisinden dolayı, DES eğrilerinin 1-B yorumlanması sırasında ortamda olmayan ince tabakalar bulunabilir. Yada tabakaların öz direnç değerleri olduğundan çok büyük yada küçük hesaplanabilir. Bu durum, uygulamacıların çok karşılaştıkları ve 1-B yorumda hata yapmalarına sebep olan önemli bir konudur.

Bu problemi daha açık anlatmak için Şekil 2.16 daki modeli ele alalım. Burada, tabakalı ortamda, yüzeye yakın küçük ölçekli bir yapı görülmektedir. Cismin eni 5 ve boyu ise 2 metre'dir. Cismin öz direnci ile tabakaların kalınlıkları ve öz dirençleri ise şekil üzerinde yazılmıştır. Önce bu cismin olmadığı tabakalı durum (1-B) için Schlumberger elektrod dizilimine göre DES GÖ değerleri hesaplanmıştır. Bu cismin olması durumunda (2-B) ise 15, 20, 30 ve 40 metrelerde yine aynı dizilim için GÖ DES değerleri hesaplanmıştır.

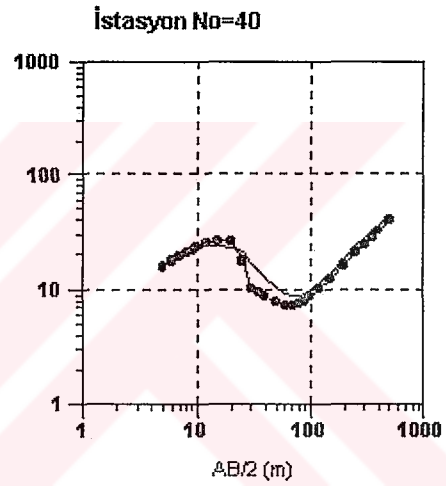
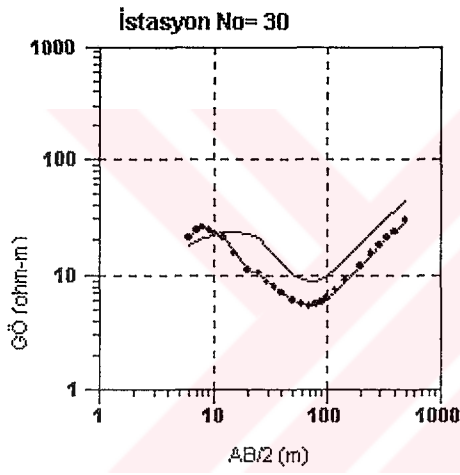
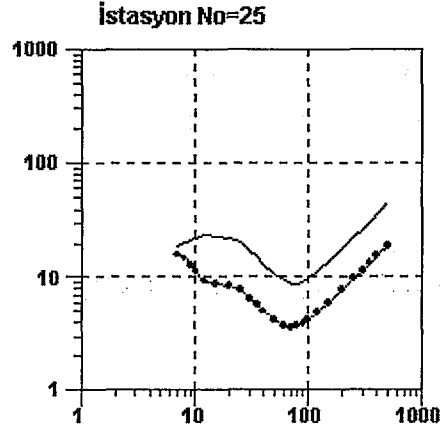
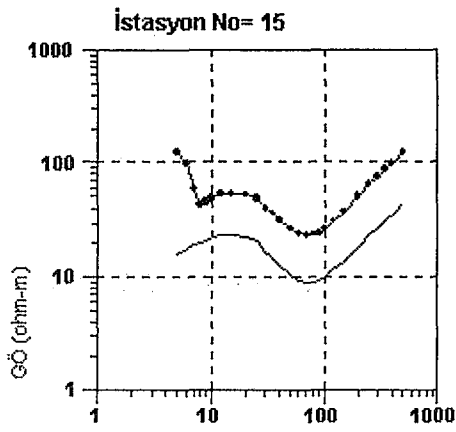
1-B model için hesaplanan GÖ DES eğrisi düz çizgi ve cismin olması durumu için hesaplanan DES eğrileri ise yuvarlak işaretli eğrilerdir. Tabakalı ortam için çizilen DES eğrisinin 4-tabakalı modeli temsil ettiği görülmektedir. Fakat cismin olması durumunda çizilen DES eğrilerine bakıldığında, özellikle cisme yaklaştıkça saçılmalar görülmektedir. Bu cismin varlığından habersiz olunduğunda, bu eğriler 5-tabakalı olarak değerlendirilebilirler. Ayrıca tam cismin üstünde (15 no' lu istasyon), 2-B model için hesaplanan DES eğrisinin, diğer eğriye olduğunu göstermektedir.

Yine DAÖ yönteminde, bir doğru boyunca farklı istasyonlarda ölçülmüş GÖ profil verileri' de bize yaklaşık bir derinlikteki yanıl süreksizlik hakkında bilgi vermektedir. Bu verilerin yorumu da 1-B bir yorumdur. Profil verilerinin 1-B yorumunda ölçülen GÖ verilerine çeşitli süzgeçler ve dönüşümler uygulanmaktadır.

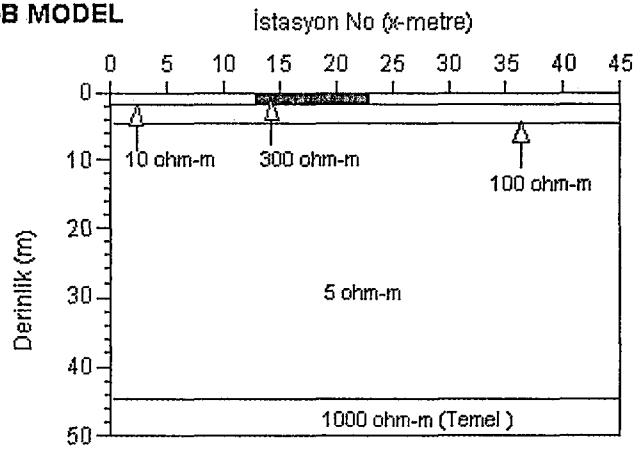
2.7.2. DAÖ Verilerinin 2-B Yorumlanması

Sondaj-profil ölçü tekniği ile elde edilmiş veriler, hem yanıl hemde düşey yönde yer içinin 2-B özdirenç yapısı hakkında bilgi verirler. Bu yöntem ile ölçülmüş GÖ değerleri ile yapma-kesit (pseudo section) çizilebilir. Çizilen bu veriler üzerinden nitel yorum yapılabilir. Nicel yorum için ise GÖ yapma-kesit verilerinin 2-B ters çözümünün yapılması gerekmektedir.

2-B ters çözümde yer içinin, özdirenç x - ve z - yönünde değişen, y -yönünde ise sabit kalan bloklardan oluştuğu varsayılır. Bu kabul' e göre yapılan 2-B ters çözüm sonucunda, ölçülen GÖ değerlerinden tanımlanan bu bloklara ait özdirenç değerleri hesaplanır. Hesaplanan bu GÖ değerleri ile 2-B özdirenç modeli elde edilir [24, 25].



2-B MODEL

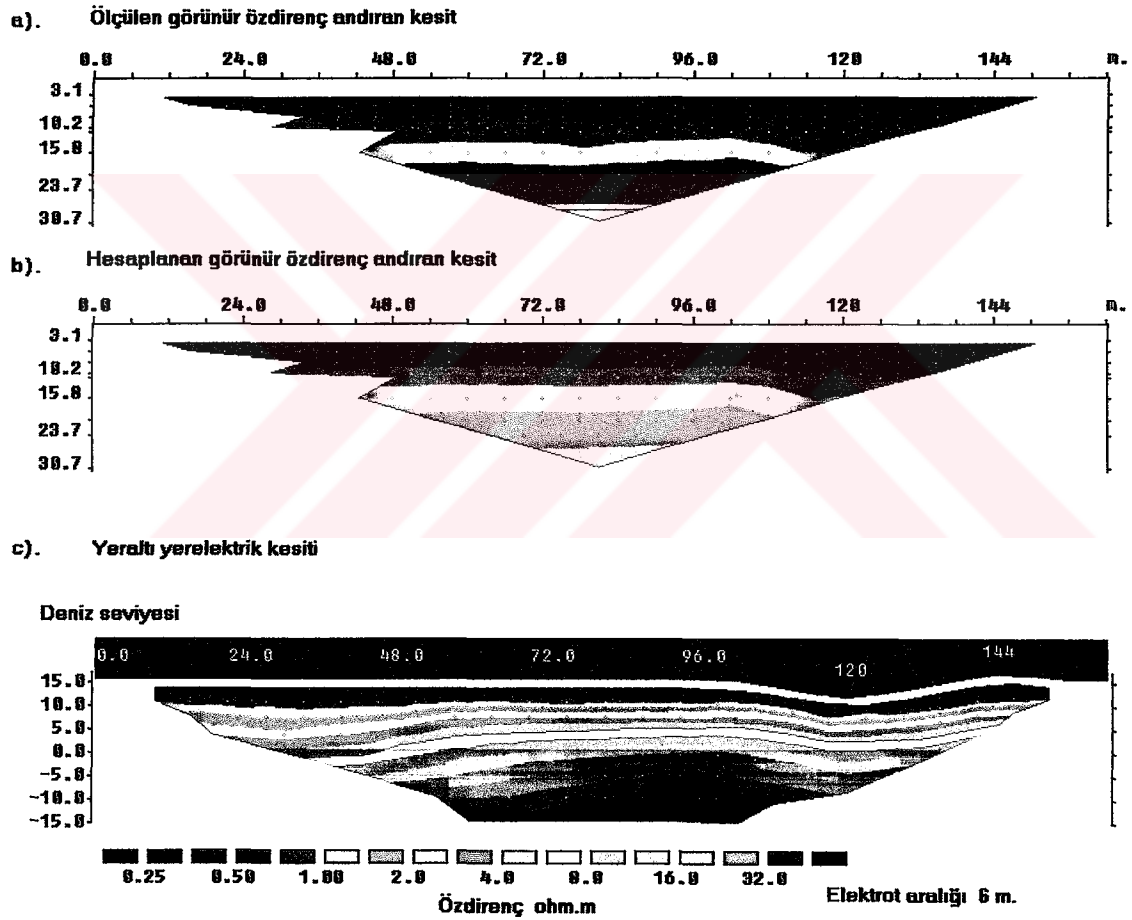


Şekil 2.16 Tabakalı ortam (1-B) (sürekli eğri) ve örtü tabakasına gömülü öz direnci yüksek küçük bir cismin olması durumunda (2-B) (yuvarlak sembolü eğri) hesaplanan GÖ DES eğrileri ve 2-B model

2.7.3. Görünür Özdirenç Andıran Kesitleri

Amaç; bir özdirenç profili boyunca, yeri dikey yönde derine doğru keserek yeryüzünden derinlere doğru jeolojik yapılanmayı yaklaşık olarak görmek ve yerin elektriksel özelliklerini göreceli olarak öğrenmektir.

Düşey eksen AB/2 ve yatay eksen bir profil boyunca ölçü alınan D.E.S noktalarını göstermektedir. Düşey eksen AB / 2 değerleri her bir D.E.S. noktasında işaretlenerek her bir AB/2 değeri için ölçülen ρ_a değeri bu noktalara yazılır. Optimum aralık belirlenerek eş özdirenç eğrileri geçirilerek andıran kesit elde edilir [11]. Şekil 2.17 de bir andıran kesit örneği gösterilmiştir.



Şekil 2.17 Andıran kesit [26]

2.7.4. Görünür Özdirenç Haritaları

Amaç; belirli bir açılım değeri için o açılıma karşılık gelen jeolojik yapının bütün sahanın altındaki elektriksel özelliklerini görünür olarak öğrenmektir. Söz konusu olan bir profil değil sahanın tamamıdır. Burada bir tek AB/2 değeri için görünür özdirenç değeri D.E.S. noktalarına konularak eş özdirenç haritası çizilir. Kontur sıklaşması diğer bütün haritalarda olduğu gibi burada da süreksizliği gösterir [11].

2.7.5. Yer Elektrik Kesit

Bir profil boyunca yeraltının derinlere doğru değişimi incelenir. Görünür özdirenç yapma kesitlerden farklı olarak ρ_a ve AB/2 değerleri değil, gerçek özdirenç ve kalınlıklar kullanılır. Burada düşey eksen gerçek kalınlıkları, yatay eksen ise D.E.S. noktalarının olduğu bir profili göstermektedir. Her bir D.E.S. noktasının gerçek parametreleri işaretlenir. Yer elektrik kesiti oluşturulurken konturlama olayı yoktur. Burada söz konusu aynı özdirenç sahip ortamları aynı katman olarak görmektir. Çizim sırasında da düşey kesit haritalarından yararlanılabilir [11]. Yer elektrik kesitleri yorumlarken ortamın jeolojik özelliklerinden yararlanılır. Yer elektrik kesit çiziminde yatay ve düşey ölçek arasında mümkünse fark olmaması gerekir.

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

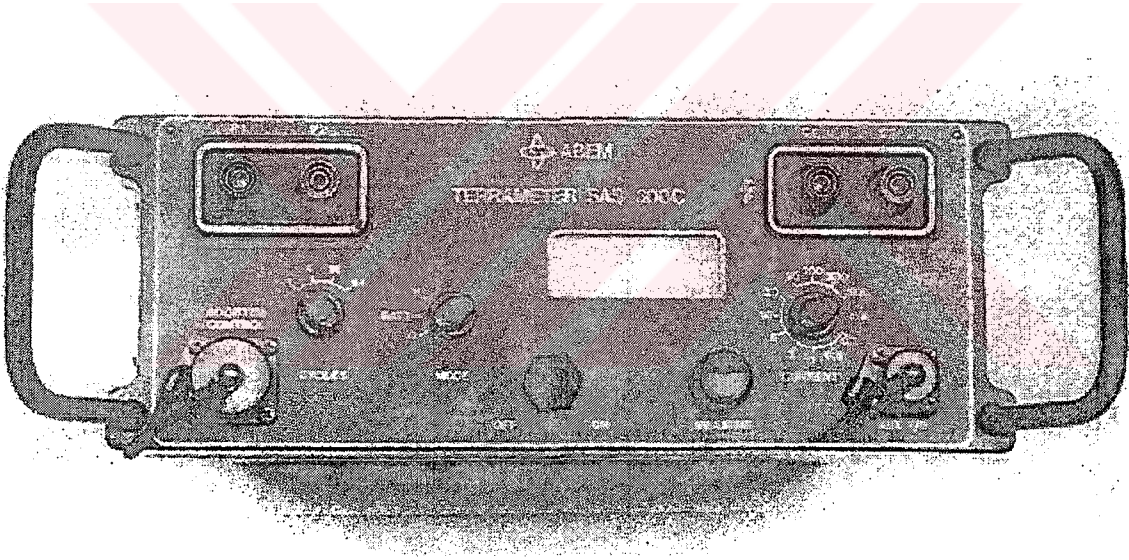
3.1. Kullanılan Ekipman

Bu deneysel çalışmada kullanılan ekipmanlar şunlardır;

- Terrameter SAS 300C cihazı,
- Terrameter SAS 2000 Booster cihazı,
- Bağlantı kabloları, elektrotlar, “Res 2 Dinv” ve “İpi 2 Win” bilgisayar programları.

3.1.1. Terrameter SAS 300C Cihazı

Terrameter SAS 300C zemin etüdü, maden yataklarının belirlenmesi, petrol ve yer altı su rezervlerinin tespitinde kullanılan bir alettir (Şekil 3.1) .



Şekil 3.1 Terrameter SAS 300C [27]

Etüdü yapılacak yerde aletin kurulması için uygun bir nokta belirlenir. Aletin kurulacağı yerin (arazinin) yüzeysel durumu ve bitki örtüsü açısından uygun olması gereklidir.

Ölçüm yapılacağı zaman, bu aletle sadece düşey yöndeki bir kesitte veri alınabileceği unutulmamalıdır. Yatayda direkt ölçüm yapılamaz. Fakat belirli aralıklarla çıkartılan düşey kesit verilerinden yararlanılarak belli bir alanın en kesitleri de çıkartılabilir.

Ölçüm yapılacağı zaman aletin, ses, titreşim ve ısıya karşı hassas olduğu göz önüne alınmalıdır. Özellikle ses ve titreşimden etkilenecek verilerin tutarsız çıkmamasına dikkat edilmelidir. Uygun şartlar altında ve tam ekipmanla çalışılıp, elde edilen verilerin değerlendirilmesiyle çok geniş ve garantili kullanım alanına sahiptir.

Ekipmanın ana cihazıdır. Terrameter 2000 Booster bağlantısı olmaksızın ölçümler yapabilir. Bütün ayar düğmeleri ve çoğu bağlantı siviçi bunun üzerindedir. Dış yapısı itibariyle zemin çalışmalarında, aşınmaya ve yıpranmaya karşı dayanıklı olarak imal edilmiştir. Her ne kadar dış şartlara karşı dayanıklı ise de özellikle dijital göstergesi, ayar butonları ve devrelerinin zarar görmemesi için;

- Bir yere nakledilirken aşırı sallanılmamalı, temiz yere bırakılmalıdır.
- Aşırı ısıcağa maruz bırakılmaktan kaçınılmalı, sıcak havalarda güneş ışığına bırakılmamalı.
- Alet uzun periyotlu yağmurlara maruz kalmamalı.
- Aletler kuru ortamda saklanmalı. Şayet aletler uzun süre aşırı neme maruz kalırlarsa, güneşte veya ısıtıcı yardımıyla yavaş yavaş kurutulmalıdır.

Terrameter SAS 300C iki modda çalıştırılabilir;

- Dirençli ölçme modunda, uygun ölçüm şartları altında ek batarya gücü ile verilen akımla 2000 mt derinliğe kadar bilgisayar çıktıli penetrasyon ölçümü yapabilir. İsteğe göre devre ve programlamalar DC voltaj veya bataryaları ile ayrı ayrı çalıştırılabilir. V/I kilo ohm, ohm veya mili ohm'lar şeklinde ekranda görüntülenebilir ve otomatik olarak hesaplanabilir. Kapsamlı değerler 0,05 mili ohm'dan 1999 kilo ohm'a kadar sıralanabilir.

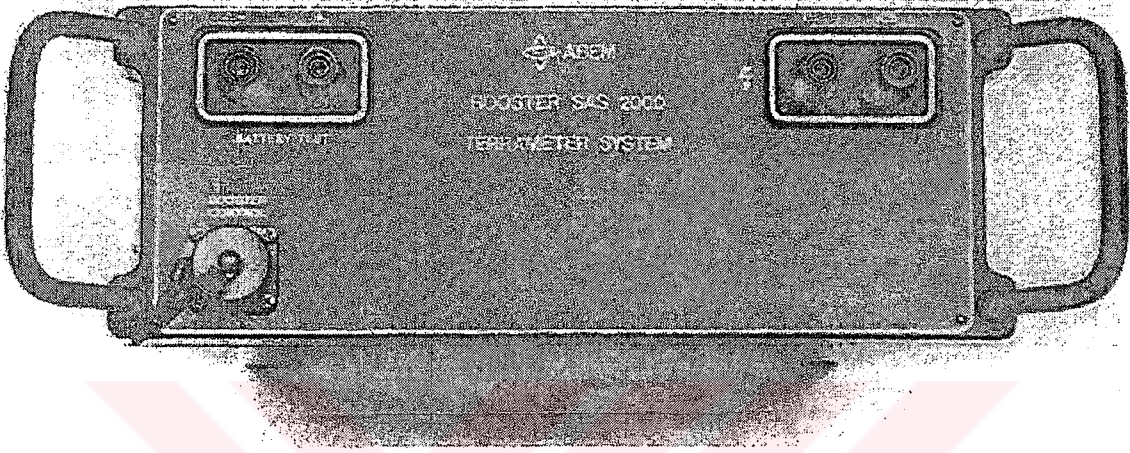
- Voltaj ölçüm modunda, SAS 300C kendine has potansiyel DC kısmından oluşur. Sonuç V veya μ V olarak görüntülenir. 1 μ V dan 500 V'a kadar sıralanabilir. Polarize olmamış elektrotlarla ölçüm değerleri elde edilir.

Terrameter SAS 300C üç ana ünite içerir; bir çerçeve içindeki bütün, verici (iletici) ünite, alıcı ünite ve mikroişlemci. Verici elektriksel olarak ileticiden sinyal akımlarını gönderir. Alıcı, sesleri ayırır ve ölçülen voltajlar vericiden gelen akım ile korelasyon sağlar ayrıca eşit farklılıkta ve sınırlar dışındaki sesi korelasyon yapılmamış DC potansiyellerle ölçer. Mikroişlemci, monitörle işlem ve hesaplama sonuçlarını kontrol eder.

Jeofiziksel ölçümlerde, SAS 300C normal veya yoğun sinyallerle penetrasyon ölçümü, düşük güç tüketimi ile yapabilir. Bundan başka, etkili sinyal/ses ayırımı gerekli olduğunda kapsamlı bir şekilde aplikasyonlarda kullanılabilir. Güç düzlemi ve doğrusu boyunca yeryüzü düzenlemesinde yüzsel direncin belirlenmesinde ve gerekli durumda ohm metre olarak da kullanılabilir. Endüstriyel aplikasyonlarda, ısı, gerilme, basınç v.b. yüksek ses çevresindeki kullanılan standart transistörlerle (enerjiyi bir sistemden diğerine ileten) ölçülebilir [27].

3.1.2. Terrameter SAS 2000 Booster

Terrameter SAS 300C' nin gücünün yetmediği veya derin ölçümlerde, bağlantı yapılarak kullanılır (Şekil 3.2). Terrameter SAS 300C ile Terrameter SAS 2000 Booster beraber kullanıldığında uygun şartlar altında 2000 m derinliğe kadar ölçüm yapılabilir [27].



Şekil 3.2 SAS 2000 Booster [27]

3.2. Ölçümde Kullanılan Metotlar

Terrameter SAS 300C rezistivite cihazı ile muhtelif yerlerde D.E.S. uygulaması ile ölçümler yapılmıştır. Yapılan ölçümlerin birinde Dipole-Dipole, diğerlerinde Schlumberger metodu kullanılmıştır. Bu ölçümler Elazığ Fırat Üniversitesi Kampüs alanı içersinde ve Elazığ – Malatya karayolu üzerinde olmak üzere toplam 13 adettir. Ölçüm yerleri, ölçüm yerlerine verilen profil no' ları, ölçüm metotları ve verilerin yorumlanmasında kullanılan bilgisayar programları tablo 3.1' de verilmiştir.

Tablo 3.1 Ölçüm yapılan yerler ve profil no' ları

Profil No	Ölçüm Yapılan Yer	Kullanılan Metot	Veri Yorumunda Kullanılan Program
P 101	Elazığ - Malatya Yolu 15. km	Schlumberger	Ipi 2 win
P 102	Elazığ - Malatya Yolu 15. km	Schlumberger	Ipi 2 win
P 103	Elazığ - Malatya Yolu 15. km	Schlumberger	Ipi 2 win
P 104	Elazığ - Malatya Yolu 15. km	Schlumberger	Ipi 2 win
P 105	Elazığ - Malatya Yolu 15. km	Schlumberger	Ipi 2 win
P 106	Elazığ - Malatya Yolu 15. km	Schlumberger	Ipi 2 win
P 107	Elazığ - Malatya Yolu 4. km	Schlumberger	Res 2 Dinv
P 108	Elazığ Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi arka tarafı	Dipole-Dipole	Res 2 Dinv
P 109	Elazığ Fırat Üniversitesi öğrenci yurtları arkası	Schlumberger	Res 2 Dinv
P 110	Elazığ Fırat Üniversitesi Rektörlük Lojmanları arkası	Schlumberger	Res 2 Dinv
P 111	Elazığ Fırat Üniversitesi Rektörlük Lojmanları arkası	Schlumberger	Res 2 Dinv
P 112	Elazığ Fırat Üniversitesi Rektörlük Lojmanları arkası	Schlumberger	Res 2 Dinv
P 113	Elazığ Fırat Üniversitesi Rektörlük Lojmanları arkası	Schlumberger	Res 2 Dinv

3.3. Yapılan Uygulamalar

3.3.1. P 101 No' lu Profilde Alınan Ölçümler

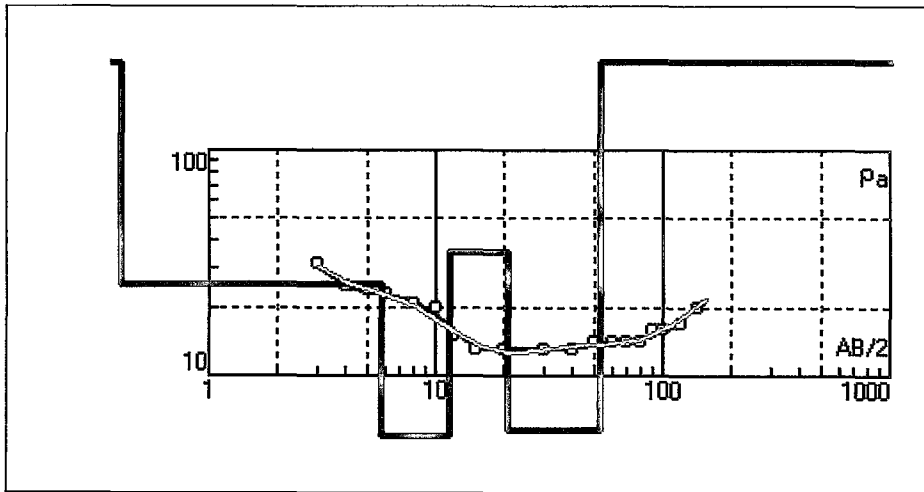
P 101 no' lu profilde, Terrameter SAS 300C rezistivite aleti ile farklı lokasyon ve yönlerde Düşey Elektrik Sondaj yöntemi (DES) ve Schlumberger ölçü sistemi kullanılarak ölçümler alınmıştır. Ölçüm sonucu alınan değerler tablo olarak gösterilmiş (Tablo 3.1), arazi eğrisi grafiklendirilmiş (Şekil 3.3), Ipi 2 Win programı ile yeraltının düşey yöndeki rezistivite kesiti çıkarılmaya çalışılmıştır (Şekil 3.4). Arazi eğrisi ve teorik eğri çakışma işleminde, tam çakışma gözlenmiştir. Çok küçük bir hata miktarı vardır fakat bu sonucu etkilemeyecektir. Ters çözüm işlemi sonunda elde edilen rezistivite kesitine göre $H=21$ m' den itibaren öz direnci

3-10 Ω m olan, su olması muhtemel bir formasyon 54 metreye kadar devam etmektedir. Bu derinlikten sonra ise tekrar katı ve sert bir birimin devam ettiği gözlenmiştir.

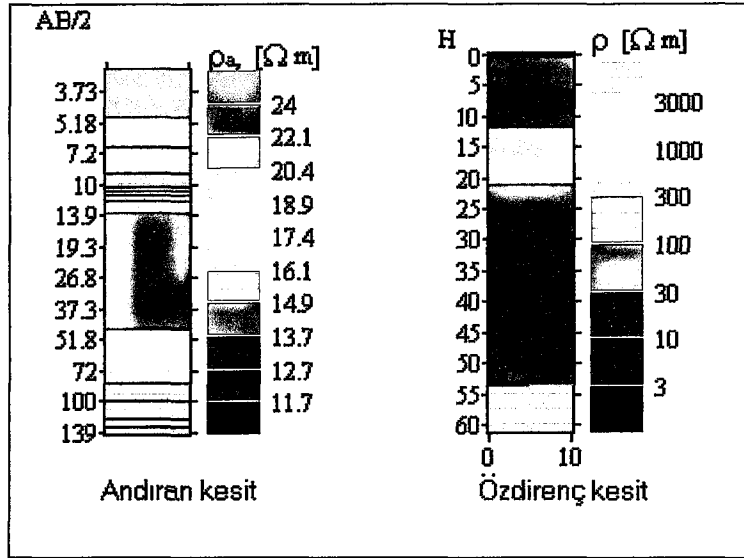
Arazi eğrisi ve teorik eğrinin aniden düşüş gösterdiği yerlerde su olması muhtemel yapıların varlığı düşünülmektedir. Sonuç olarak bu lokasyonda, yer altı su seviye tespiti 21 m olarak düşünülmektedir.

Tablo 3.2 P101 Profilinde ölçülen öz direnç değerleri

Profil no : P 101		Açılım: Schlumberger	
Çalışılan yer : Elazığ-Malatya Yolu 15. km		Yön: -	
AB	AB/2	MN	$\rho(\Omega m)$
6	3	2	31
8	4	2	25
10	5	2	24
12	6	2	23
16	8	2	21
20	10	2	20
24	12	2	15
30	15	2	13
40	20	2	13
60	30	2	13
80	40	2	13
100	50	2	14
120	60	2	14
140	70	2	14
160	80	2	14
180	90	2	16
200	100	2	16
240	120	2	17
280	140	2	20



Şekil 3.3 P 101 profili arazi eğrisi



Şekil 3.4 P101 profili kesiti

3.3.2. P 102 No' lu Profilde Alınan Ölçümler

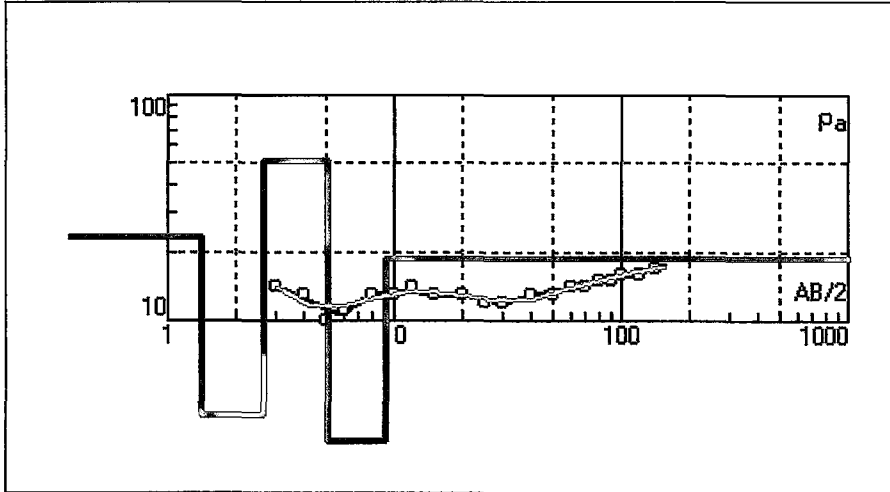
P 102 profilinde ölçülen öz direnç değerleri tablo 3.3' de, bu değerler sonucu elde edilen arazi eğrisi ise şekil 3.5' de verilmiştir. Teorik eğri ile arazi eğrisi çakışma işlemi sağlanmaya çalışılmıştır. Çakışma sağlanıncaya kadar parametre değiştirme işlemi yapılmıştır. Çakışmanın derecesi çok iyi sağlanmış olup, hata miktarı önemsenmeyecek kadar az miktardadır.

Ters çözüm işlemi sonucunda elde edilen öz direnç kesitinde (Şekil 3.6), arazi eğrisine uygun bir durum söz konusudur. Yüzeyde alttaki birimlere nazaran, yaklaşık 1.5 m kalınlığında ve öz direnci daha yüksek olan bir birim mevcuttur. $H=1.5m'$ den itibaren görülen düşük öz direnç ($3-5\Omega m$) 1m kalınlığındadır. $H=2.5m'$ den sonra öz direnç değeri tekrar yükselme göstermiştir ($50-70\Omega m$). Bu durum 2.5m kalınlıkta ve 5m' ye kadar devam etmiştir. $H=5m'$ den itibaren oldukça düşük bir öz direnç ($2-3\Omega m$) gözlenmiş olup 4m kalınlığındadır. Bu derinlikten sonra öz direnç değerleri tekrar yükselme göstermiştir.

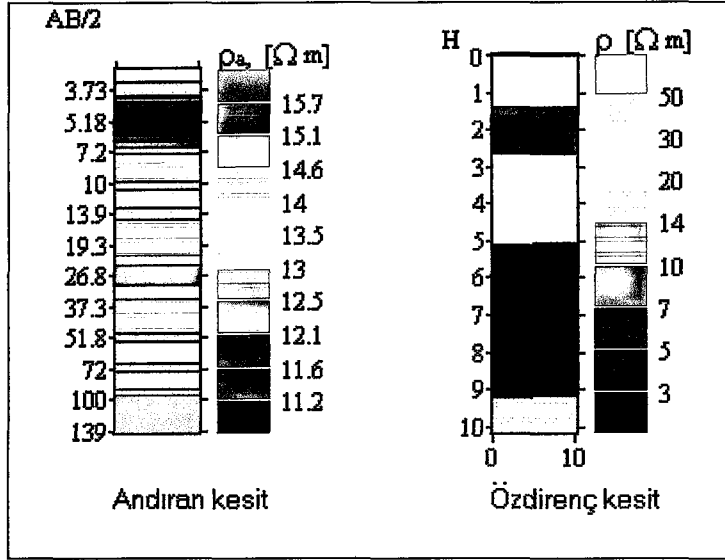
Ters çözüm modeline göre $H=5m'$ den itibaren yer altı su seviyesinin başladığı düşünülmektedir.

Tablo 3.3 P102 Profilinde ölçülen öz direnç değerleri

Profil no : P 102		Açılım: Schlumberger	
Çalışılan yer : Elazığ-Malatya Yolu 15. km		Yön: -	
AB	AB/2	MN	$\rho(\Omega m)$
6	3	2	14
8	4	2	13
10	5	2	10
12	6	2	11
16	8	2	13
20	10	2	13
24	12	2	14
30	15	2	13
40	20	2	13
50	25	2	12
60	30	2	12
80	40	2	13
100	50	2	13
120	60	2	14
140	70	2	14
160	80	2	15
180	90	2	15
200	100	2	16
240	120	2	16
280	140	2	17



Şekil 3.5 P 102 profili arazi eğrisi



Şekil 3.6 P102 profili kesiti

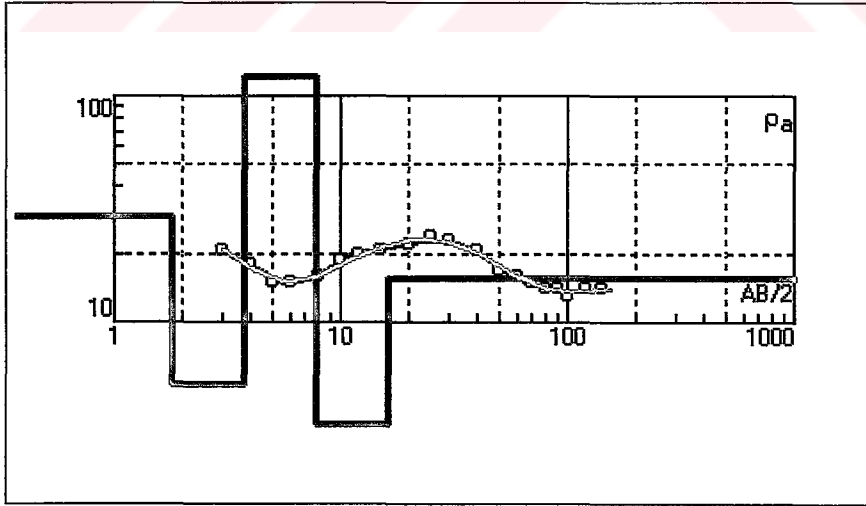
3.3.3. P 103 No' lu Profilde Alınan Ölçümler

P 103 profilinde ölçülen özdirenç değerleri tablo 3.4' de, bu değerler sonucu elde edilen arazi eğrisi ise şekil 3.7' de verilmiştir. Şekildeki eğri 5 tabakalı bir ortamı ifade etmektedir. Teorik eğri ve arazi eğrisi çakışma derecesi çok iyi sağlanmıştır. Çakışma hatası önemsenecek kadar küçüktür.

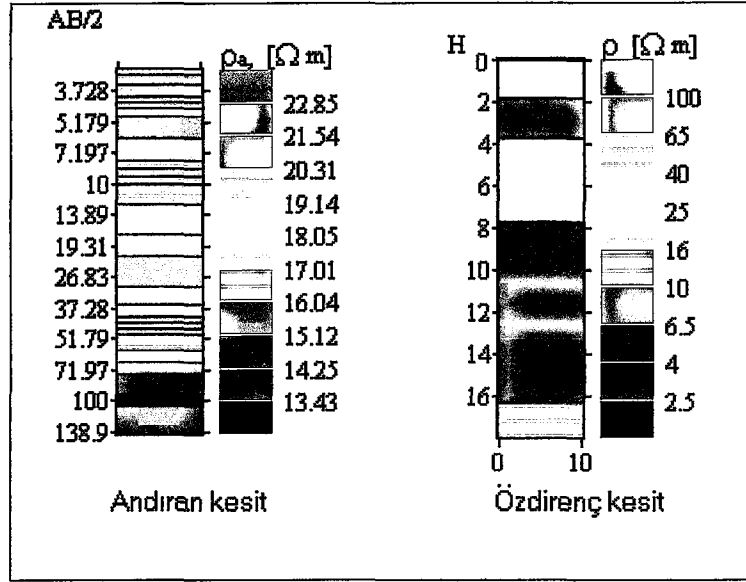
Ters çözüm işlemi ile elde edilen özdirenç kesitine göre yer altı su seviyesinin $H=7.8m'$ den itibaren başladığı ve yaklaşık olarak 8.5m kalınlığında su barındıran bir akiferi gösterdiği düşünülmektedir (Şekil 3.8). söz konusu formasyonun özdirenci ise 2.5-4 Ωm arasındadır.

Tablo 3.4 P103 Profilinde ölçülen öz direnç değerleri

Profil no : P 103		Açılım: Schlumberger	
Çalışılan yer : Elazığ-Malatya Yolu 15. km		Yön: -	
AB	AB/2	MN	$\rho(\Omega m)$
6	3	2	21
8	4	2	18
10	5	2	15
12	6	2	15
16	8	2	16
20	10	2	19
24	12	2	20
30	15	2	21
40	20	2	22
50	25	2	24
60	30	2	23
80	40	2	21
100	50	2	17
120	60	2	16
140	70	2	15
160	80	2	14
180	90	2	14
200	100	2	13
240	120	2	14
280	140	2	14



Şekil 3.7 P 103 profili arazi eğrisi



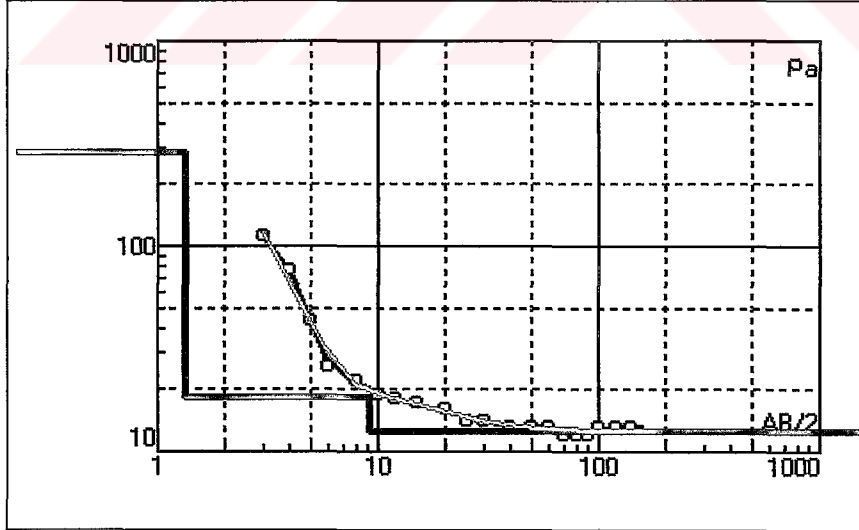
Şekil 3.8 P103 profili kesiti

3.3.4. P 104 No' lu Profilde Alınan Ölçümler

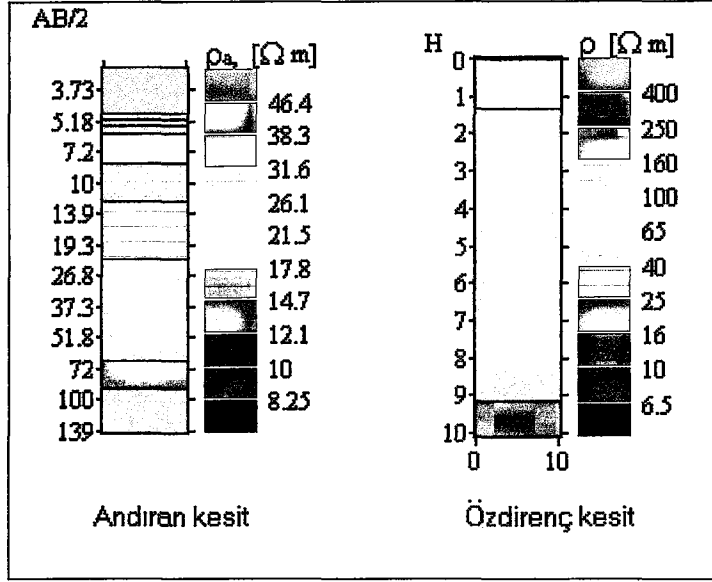
P 104 profilinde ölçülen özdirenç değerleri tablo 3.5' de, bu değerler sonucu elde edilen arazi eğrisi ise şekil 3.9' da verilmiştir. Arazi eğrisinin grafiğinde ani düşüş gözlenmektedir. Bu düşüş süreklilik göstermiştir. Yani derinlere doğru özdirençin azaldığına işaretir. Teorik eğri ile arazi eğrisi çakışma işlemi sağlanmış olup 3 tabakalı bir yer altı modeli tespit edilmiştir (Şekil 3.10). $H=1.5m'$ den itibaren görünen özdirenç düşüşü ($16-25\Omega m$), $H=9m'$ ye kadar devam etmiş olup bu derinlikten sonra daha çok düşüş gözlenmiştir. Ters çözüm rezistivite modeline göre yer altı su seviyesi yaklaşık olarak $H=1.5m'$ den itibaren başlamaktadır. Su barındıran veya toplayan yapılar açısından bol miktarda su olduğu düşünülmektedir.

Tablo 3.5 P104 Profilinde ölçülen öz direnç değerleri

Profil no : P 104		Açılım: Schlumberger	
Çalışılan yer : Elazığ-Malatya Yolu 15. km		Yön: -	
AB	AB/2	MN	$\rho(\Omega m)$
6	3	2	111
8	4	2	76
10	5	2	43
12	6	2	26
16	8	2	22
20	10	2	19
24	12	2	18
30	15	2	17
40	20	2	16
50	25	2	14
60	30	2	14
80	40	2	13
100	50	2	13
120	60	2	13
140	70	2	12
160	80	2	12
180	90	2	12
200	100	2	13
240	120	2	13
280	140	2	13



Şekil 3.9 P 104 profili arazi eğrisi



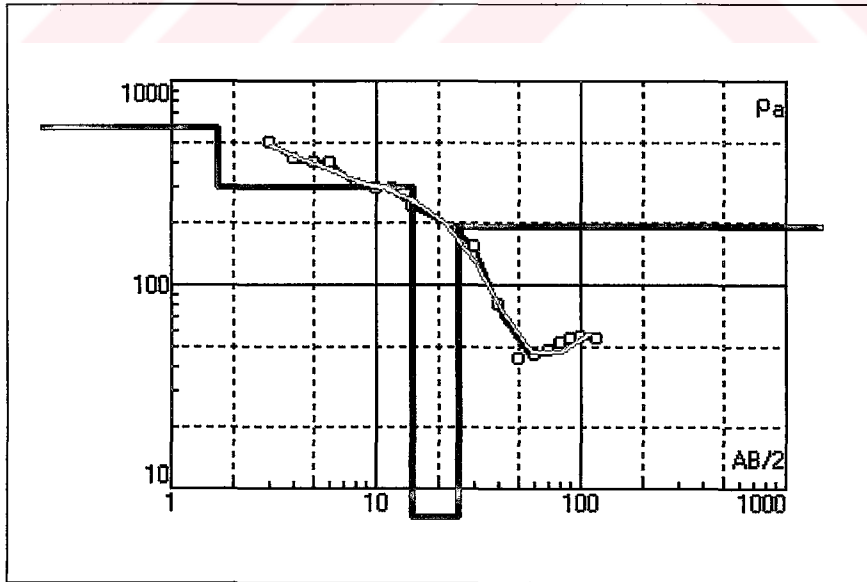
Şekil 3.10 P104 profili kesiti

3.3.5. P 105 No' lu Profilde Alınan Ölçümler

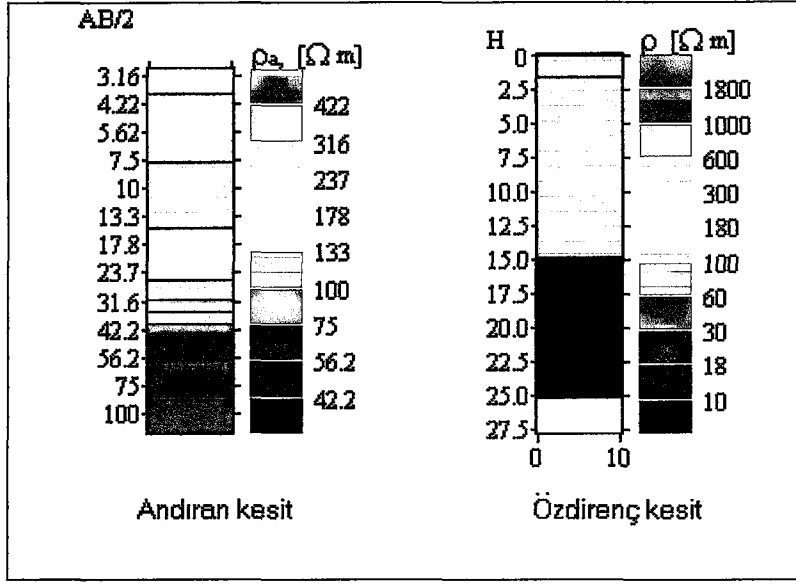
P 105 profilinde ölçülen özdirenç değerleri tablo 3.6' da, bu değerler sonucu elde edilen arazi eğrisi ise şekil 3.11' de verilmiştir. Teorik eğri ve arazi eğrisi karşılaştırma işlemi başarıyla gerçekleştirilmiştir. Ters çözüm işlemine göre yer altı modeli 4 tabakalıdır (Şekil 3.12). yüzeyden itibaren 15m' ye kadar görülen yüksek özdirenç değeri (300-600Ωm), bu derinlikten sonra ani bir düşüş göstermiştir. Bu düşüş 15-25m arasındadır. H=25m' den sonra tekrar yüksek özdirenç söz konusudur. Ters çözüm modeline göre H=15m' den itibaren yer altı su seviyesinin başladığı düşünülmektedir. H=25m' den sonra görülen özdirenç artışı ise bu derinlikte bulunan birimin, katı ve sert olduğunu belirtir.

Tablo 3.6 P105 Profilinde ölçülen öz direnç değerleri

Profil no : P 105		Açılım: Schlumberger	
Çalışılan yer : Elazığ-Malatya Yolu 15. km		Yön: -	
AB	AB/2	MN	$\rho(\Omega m)$
6	3	2	494
8	4	2	415
10	5	2	392
12	6	2	396
16	8	2	312
20	10	2	297
24	12	2	298
30	15	2	239
40	25	2	186
50	30	2	155
60	40	2	80
80	50	2	43
100	60	2	45
120	70	2	47
140	80	2	52
160	90	2	54
180	100	2	56
200	120	2	54



Şekil 3.11 P 105 profili arazi eğrisi



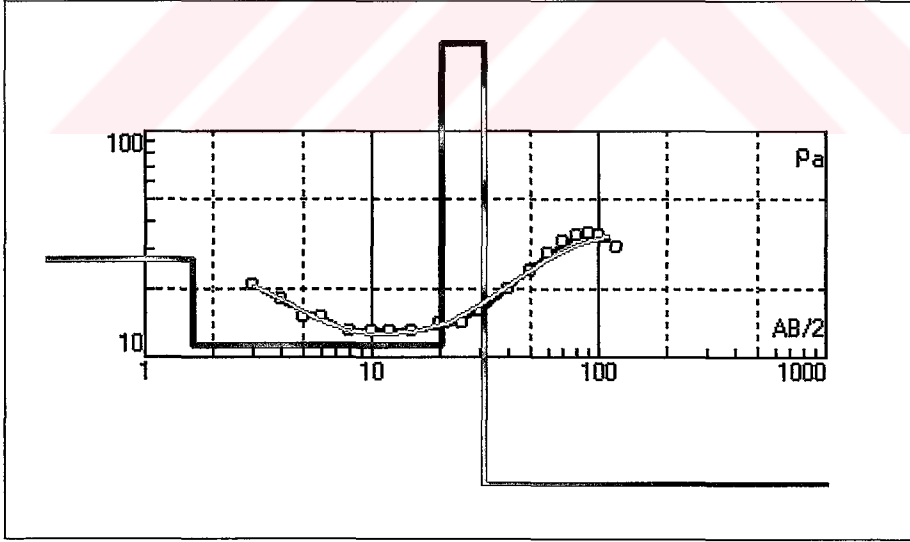
Şekil 3.12 P105 profili kesiti

3.3.6. P 106 No' lu Profilde Alınan Ölçümler

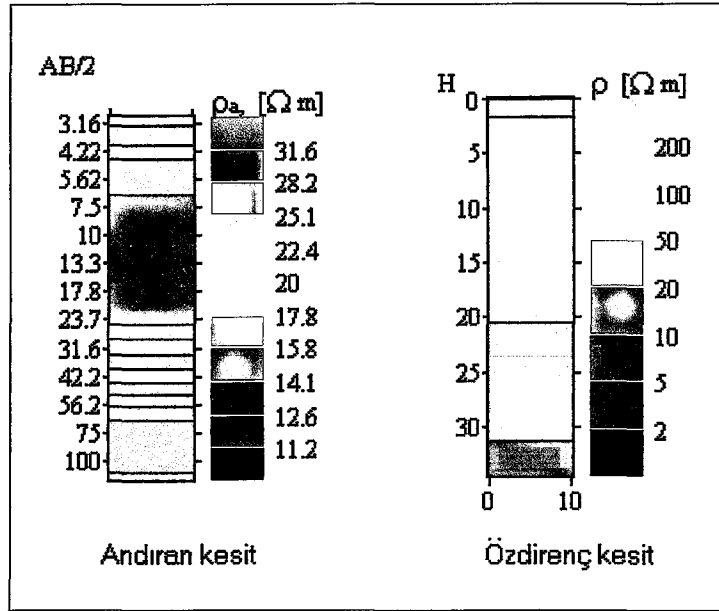
P 106 profilinde ölçülen özdirenç değerleri tablo 3.7' de, bu değerler sonucu elde edilen arazi eğrisi ise şekil 3.13' de verilmiştir. Teorik eğri ve arazi eğrisi çakışması uygunluk göstermiştir. Ters çözüm işlemi ile elde edilen yer altı kesitine göre ortam 4 tabakalıdır (Şekil 3.14). H=32m' den itibaren gözlenen ve düşük başlayan özdirenç değeri derinlere doğru da bu şekilde devam etmiştir. Ters çözüm işlemine göre yer altı su seviyesi yaklaşık olarak 32m' den itibaren başlamaktadır.

Tablo 3.7 P106 Profilinde ölçülen öz direnç değerleri

Profil no : P 106		Açılım: Schlumberger	
Çalışılan yer : Elazığ-Malatya Yolu 15. km		Yön: -	
AB	AB/2	MN	$\rho(\Omega m)$
6	3	2	21
8	4	2	18
10	5	2	15
12	6	2	15
16	8	2	13
20	10	2	13
24	12	2	13
30	15	2	13
40	20	2	14
50	25	2	14
60	30	2	16
80	40	2	20
100	50	2	24
120	60	2	29
140	70	2	35
160	80	2	41
180	90	2	34
200	100	2	31
240	120	2	25



Şekil 3.13 P 106 profili arazi eğrisi



Şekil 3.14 P106 profili kesiti

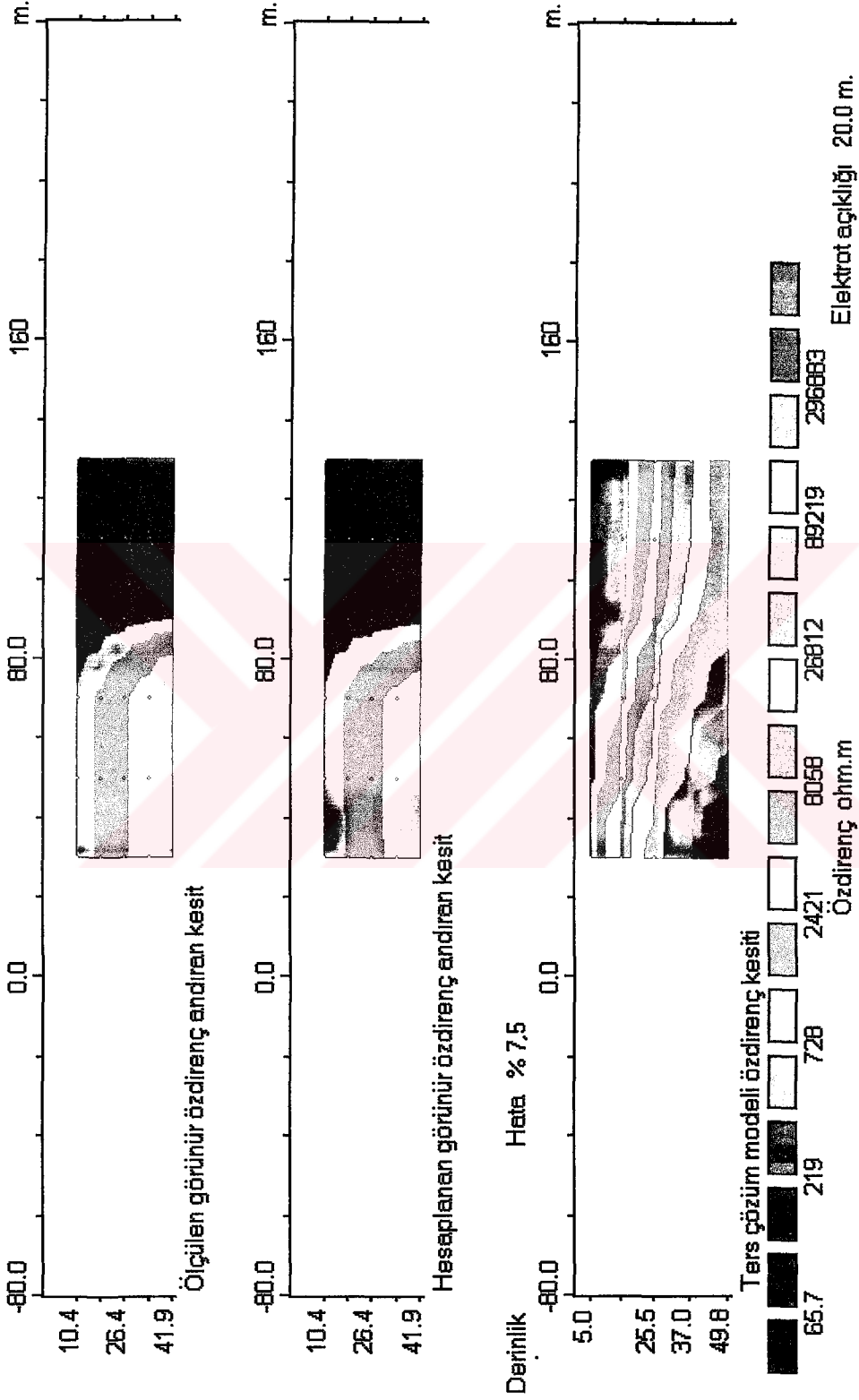
3.3.7. P 107 No' lu Profilde Alınan Ölçümler

P 107 profilinde ölçülen özdirenç değerleri 6 lokasyon halinde alınmış, bu değerler birleştirilerek tablo 3.8' de tek bir tablo halinde gösterilmiştir. Ölçüm sonuçları, Res 2 Diniv bilgisayar programı yardımı ile yorumlanmaya çalışılmıştır. Ters çözüm işlemine göre yüzeyde düşük özdirençle başlayan gevşek malzeme bulunmaktadır (Şekil 3.15). H=7m' den sonra özdirençte yükselme gözlenmiştir. Bir miktar daha devam eden bu seviye 25m' den sonra yükselmeye başlamıştır.

Bu profilde yer altı su seviyesini H=7m olarak belirlemek doğrudur. Çünkü kesitin sağ ve sol tarafındaki özdirenç değerleri bunu göstermektedir.

Tablo 3.8 P107 Profilinde ölçülen öz direnç değerleri

Profil no : P 107				Açılım: Schlumberger	
Çalışılan yer : Elazığ-Malatya Yolu 4. km				Yön: D - B	
I(mA)	a(m)	n	AB/2(x)	AB(C1-C2)	$\rho(\Omega m)$
10	20	1	30	60	841,94683
10	20	1	50	100	841,94683
10	20	1	70	140	841,94683
10	20	1	90	180	132,32388
10	20	1	110	220	132,32388
10	20	1	130	260	132,32388
10	20	2	30	60	1443,876
10	20	2	50	100	1443,876
10	20	2	70	140	1443,876
10	20	2	90	180	250,3221
10	20	2	110	220	250,3221
10	20	2	130	260	250,3221
10	20	3	30	60	2261,9467
10	20	3	50	100	2261,9467
10	20	3	70	140	2261,9467
10	20	3	90	180	389,05483
10	20	3	110	220	389,05483
10	20	3	130	260	389,05483
10	20	4	30	60	3103,8935
10	20	4	50	100	3103,8935
10	20	4	70	140	3103,8935
10	20	4	90	180	556,69022
10	20	4	110	220	556,69022
10	20	4	130	260	556,69022
10	20	5	30	60	4335,3979
10	20	5	50	100	4335,3979
10	20	5	70	140	4335,3979
10	20	5	90	180	680,46897
10	20	5	110	220	680,46897
10	20	5	130	260	680,46897



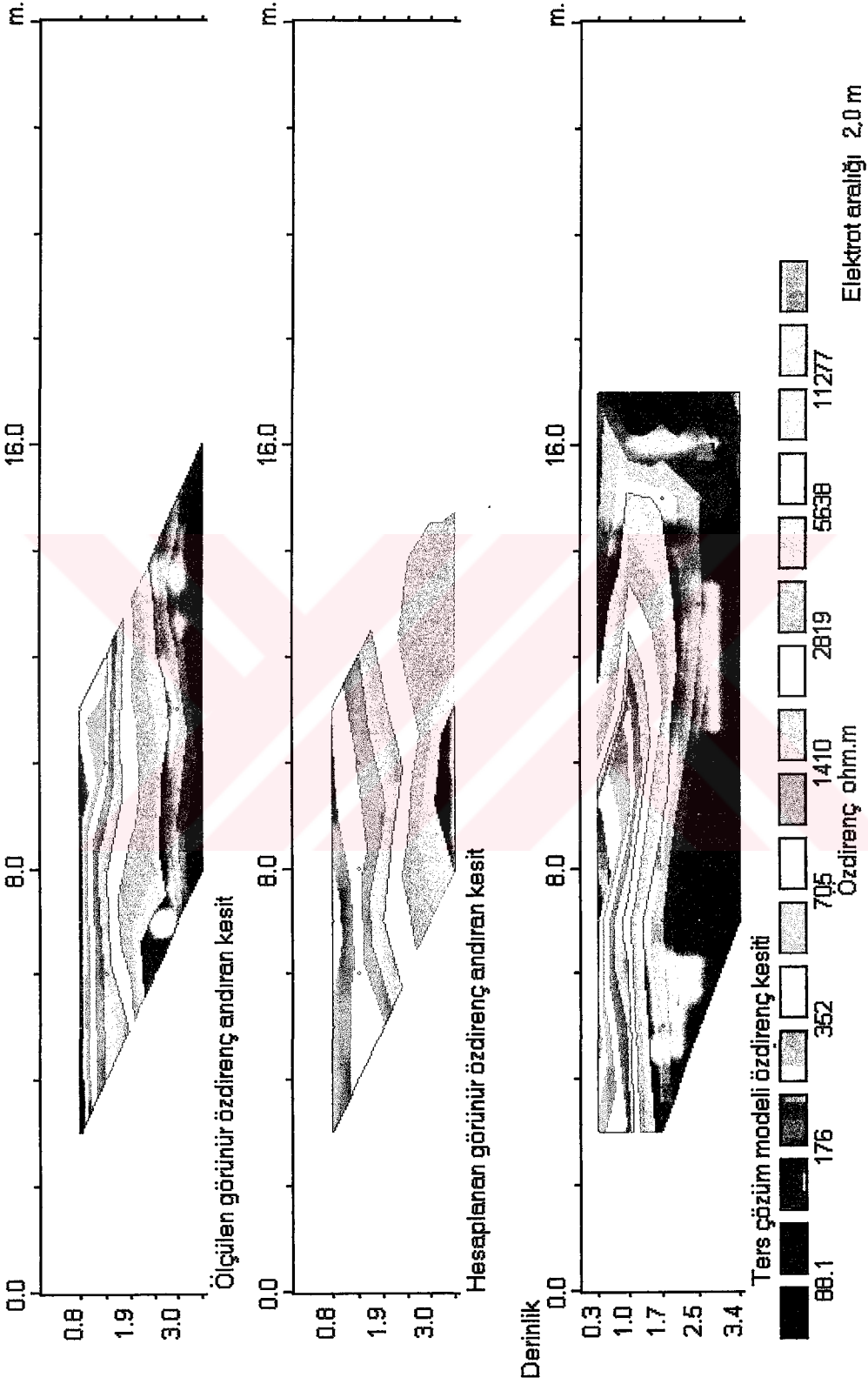
Şekil 3.15 P107 profili kesiti

3.3.8. P 108 No' lu Profilde Alınan Ölçümler

P 108 profilinde diğer profillerden farklı olarak Dipole – Dipole yöntemi kullanılarak ölçüler alınmış ve bu öz direnç değerleri tablo 3.9' da gösterilmiştir. Ölçüm sonuçları, Res 2 Dinv bilgisayar programı yardımı ile yorumlanmaya çalışılmış ve yorum sonucu elde edilen arazi kesiti şekil 3.16' da verilmiştir. Kesitin sol tarafında yüzeyden yaklaşık olarak 2m, sağ tarafında ise yüzeye çok yakın derinlikte yüksek öz direnç değerleri tespit edilmiştir. Bu yüksek değerlerin sebebinin yer altında bulunması muhtemel boru vb. yapılar olabileceği düşünülmüş ve ölçüm işlemine devam edilmemiştir. Daha sonra Fırat Üniversitesi Yapı İşleri Teknik Daire Başkanlığı ve Fırat Üniversitesi Kampus alanında işler yapan Dilek İnşaat Firması yetkilileri ile görüşülmüş, gerçekte ölçüm yapılan alanda ısı kanallarının olduğu öğrenilmiştir.

Tablo 3.9 P108 Profilinde ölçülen öz direnç değerleri

Profil no : P 108				Açılım: Dipole - Dipole	
Çalışılan yer : F.Ü. T.E.F. Arka Tarafı				Yön : K - G	
I(mA)	a(m)	n	AB(C1-C2)	AB/2(x)	$\rho(\Omega m)$
10	2	1	6	3	72,6084894
10	2	1	10	5	218,277858
10	2	1	14	7	130,815918
10	2	1	18	9	136,847776
10	2	1	22	11	445,603502
10	2	2	8	4	1411,45475
10	2	2	12	6	1530,58394
10	2	2	16	8	1821,62108
10	2	2	20	10	671,044191
10	2	2	24	12	410,166337
10	2	3	10	5	2020,67239
10	2	3	14	7	3705,82269
10	2	3	18	9	2555,99978
10	2	3	22	11	2635,16792
10	2	3	26	13	2457,98209
10	2	4	12	6	8399,36212
10	2	4	16	8	3822,68994
10	2	4	20	10	3347,68113
10	2	4	24	12	4765,16774
10	2	4	28	14	6665,20297
10	2	5	14	7	7402,22061
10	2	5	18	9	10832,8398
10	2	5	22	11	6782,07022
10	2	5	26	13	14672,4943
10	2	5	30	15	9500,17618
10	2	6	16	8	24088,2245
10	2	6	20	10	17796,9967
10	2	6	24	12	26241,5978
10	2	6	28	14	23834,8865
10	2	6	32	16	14820,2748



Şekil 3.16 P108 profili kesiti

3.3.9. P 109 No' lu Profilde Alınan Ölçümler

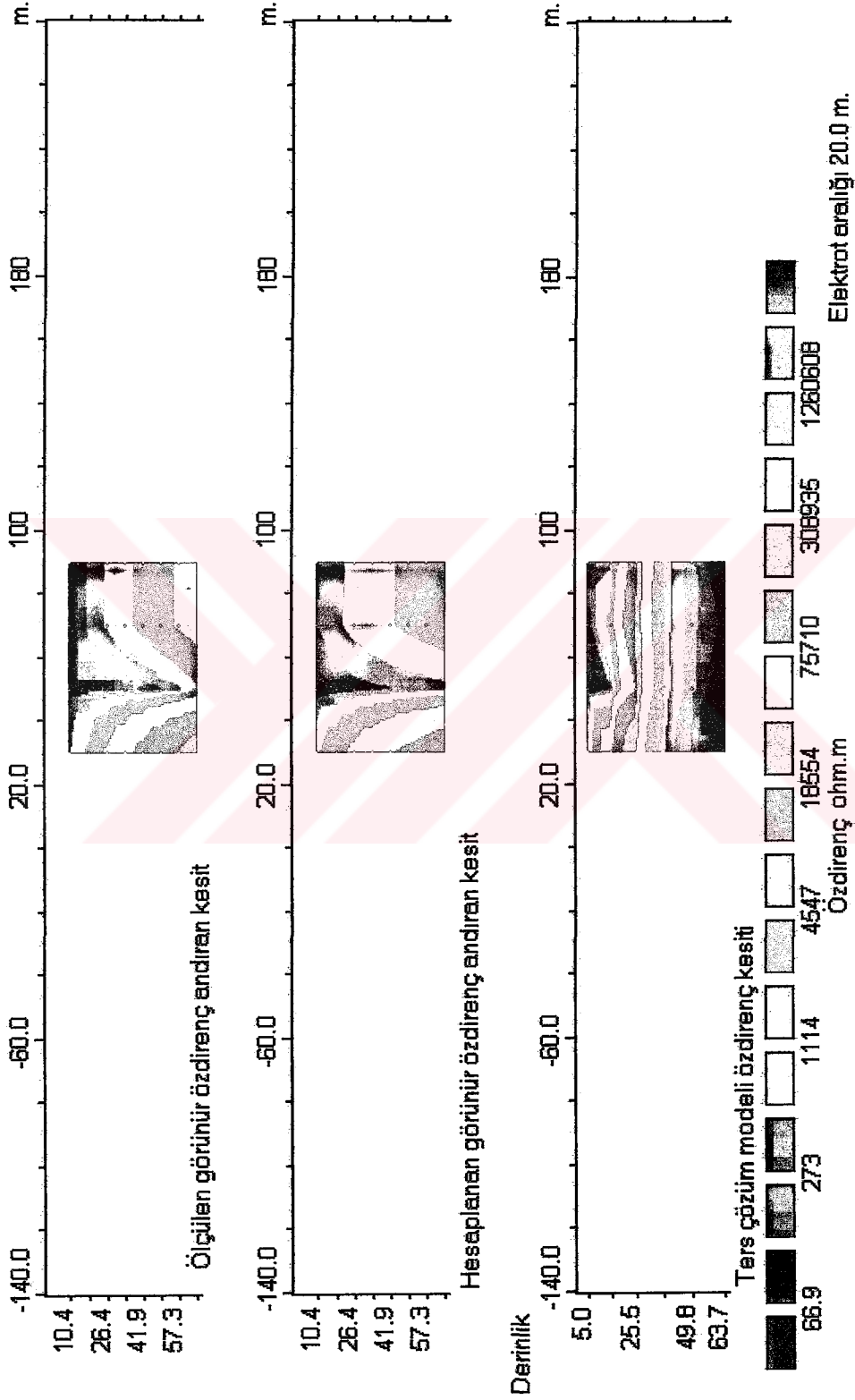
P 109 profilinde ölçülen özdirenç değerleri tablo 3.10' da gösterilmiştir. Ölçüm sonuçları, Res 2 Dinv bilgisayar programı yardımı ile yorumlanmaya çalışılmış ve yorum sonucu oluşan arazi kesiti şekil 3.17' da verilmiştir. Ters çözüm işlemine göre elde edilen kesite göre yüzeyde düşük özdirençli kumlu – kil malzemesi bulunmaktadır. Lokasyonun orta kısmında dere dolgusu olması nedeniyle, düşük özdirenç düşey yönde bir “V” şeklinde devam etmektedir. H=50m' den itibaren görülen yüksek özdirenç, ortamın katı ve sert nitelikte olduğunu ifade etmektedir.

Ters çözüm işlemine göre dere dolgusu ve özdirenç seviyeleri uygunluk göstermiştir. Yani yer altının özdirenci ile yer altı topografyası birbirine uygundur. Bu lokasyonda yer altı su seviyesi için herhangi bir bulgu elde edilememiştir.



Tablo 3.10 P109 Profilinde ölçülen öz direnç değerleri

Profil no : P 109						Açılım : Schlumberger		
Çalışılan yer : F.Ü. Öğrenci Yurdu Arkası						Yön : D-B		
I(mA)	a(m)	n	interval	AB(C1-C2)	AB/2(x)	ΔV (mV)	$\rho(\Omega m)$	K
10	20	1	20	60	30	78,9	991,486641	125,66
10	20	1	20	60	50	21,4	268,920331	125,66
10	20	1	20	60	70	16,47	206,968124	125,66
10	20	2	20	120	90	67	2525,84049	125,66
10	20	2	20	120	110	9,88	372,467225	125,66
10	20	2	20	120	130	15,72	592,630038	125,66
10	20	3	20	180	150	64	4825,48632	125,66
10	20	3	20	180	170	5,82	438,817662	125,66
10	20	3	20	180	190	15,17	1143,79105	125,66
10	20	4	20	240	210	60,9	7652,9197	125,66
10	20	4	20	240	230	3,04	382,017667	125,66
10	20	4	20	240	250	14,69	1845,99984	125,66
10	20	5	20	300	270	58,2	10970,4415	125,66
10	20	5	20	300	290	0,737	138,921227	125,66
10	20	5	20	300	310	14,4	2714,33605	125,66
10	20	6	20	360	330	56,5	14909,9987	125,66
10	20	6	20	360	350	1,689	445,716599	125,66
10	20	6	20	360	370	14,05	3707,70765	125,66
10	20	7	20	420	390	54,7	19246,6532	125,66
10	20	7	20	420	410	2,29	805,755684	125,66
10	20	7	20	420	430	13,44	4728,97659	125,66
10	20	8	20	480	450	53,6	24248,0687	125,66
10	20	8	20	480	470	3,8	1719,0795	125,66
10	20	8	20	480	490	12,6	5700,10571	125,66



Şekil 3.17 P109 profil kesiti

3.3.10. P 110 - P111 - P112 - P113 No' lu Profillerde Alınan Ölçümler

Bu alandaki D.E.S. uygulamalarında, 20 metre ara ile P 110, P 111, P 112, P 113 no' lu 4 ayrı lokasyonda ölçümler yapılmıştır. Ölçülen öz direnç değerleri tablo 3.11, tablo 3.12, tablo 3.13, tablo 3.14' de verilmiştir. Uygulamalarda, Schlumberger ölçü sistemi kullanılmış, gürültü / sinyal oranını değiştirmek için elektrot aralığı (MN) 0,5 metre olarak alınmıştır.

Uygulama alanında enerji nakil hatlarının varlığından dolayı, yer içerisinde alternatif akım geçişleri söz konusu olabileceğinden, her ölçüm noktası için farklı zamanlarda, birden fazla ölçüm ve okuma almak sureti ile ölçümler yinelenmiştir. Bu şekilde, ölçümlerin güvenilirliği test edilmek istenmiştir. Bu 4 lokasyonda ölçülen değerler "Res 2 Dinu" bilgisayar programı kullanılarak yorumlanarak tek bir kesit çıkarılmıştır (Şekil 3.18).

Ters çözüm yöntemi sonucu elde edilen kesite göre yüzeyden itibaren yaklaşık olarak 13,8m derinliğe kadar biriken ve öz direnci 46 Ω m civarında olan kumlu - kil malzeme yer almaktadır. Bu derinlikten itibaren ise ters çözüm modeline göre giderek artan rezistivite değerleri ölçülmüştür. Hatta değerlerin 111000 Ω m' ye kadar çıktığı saptanmıştır. Bu durum derinlere doğru, sert ve rijit bir yapı olan andezitin varlığına işaretler. Böylesi yapılar, yer altı suyu aramaları için tavsiye edilmeyen yapılardır.

Tablo 3.11 P110 Profilinde ölçülen öz direnç değerleri

Profil no : P 110						Açılım : Schlumberger		
Çalışılan yer : F.Ü. Rektörlük Lojmanları Arkası						Yön : K-G		
I(mA)	a(m)	n	kayma(m)	AB/2(x)	AB (C1-C2)	K	ΔV (mV)	$\rho(\Omega m)$
10	0,5	3,5	1,75	2	4	24,74004215	6	14,844025
10	0,5	4,5	2,25	2,5	5	38,87720909	5,53	21,499097
10	0,5	5,5	2,75	3	6	56,15596868	6,18	34,704389
10	0,5	7,5	3,75	4	8	100,1382658	6,46	64,68932
10	0,5	9,5	4,75	5	10	156,6869336	6,7	104,98025
10	1	4,5	4,5	5	10	77,75441818	7,04	54,73911
10	0,5	11,5	5,75	6	12	225,801972	7,45	168,22247
10	1	5,5	5,5	6	12	112,3119374	21,4	240,34755
10	1	6,5	6,5	7	14	153,1526419	13,68	209,51281
10	1	7,5	7,5	8	16	200,2765317	12,54	251,14677
10	1	9,5	9,5	10	20	313,3738672	11,84	371,03466
10	1	14,5	14,5	15	30	706,0729489	11,33	799,98065
10	1	19,5	19,5	20	40	1255,851663	10,96	1376,4134
10	1	24,5	24,5	25	50	1962,71001	10,64	2088,3235
10	2	12	24	25	50	980,1769079	20,5	2009,3627
10	1	29,5	29,5	30	60	2826,64799	8,7	2459,1838
10	2	14,5	29	30	60	1412,145898	20,2	2852,5347
10	2	19,5	39	40	80	2511,703327	13,91	3493,7793
10	2	24,5	49	50	100	3925,420021	11,26	4420,0229
100	2	29,5	59	60	120	5653,29598	9,01	509,36197
100	2	34,5	69	70	140	7695,331205	8,07	621,01323
100	2	39,5	79	80	160	10051,5257	7,51	754,86958
100	5	15,5	77,5	80	160	4017,311606	34,4	1381,9552
100	2	44,5	89	90	180	12721,87945	34,8	4427,214
100	5	17,5	87,5	90	180	5085,453108	31,5	1601,9177
100	5	19,5	97,5	100	200	6279,258316	15,63	981,44807
100	5	23,5	117,5	120	240	9043,859852	9,86	891,72458
100	5	29,5	147,5	150	300	14133,23995	6,64	938,44713

Tablo 3.12 P111 Profilinde ölçülen öz direnç değerleri

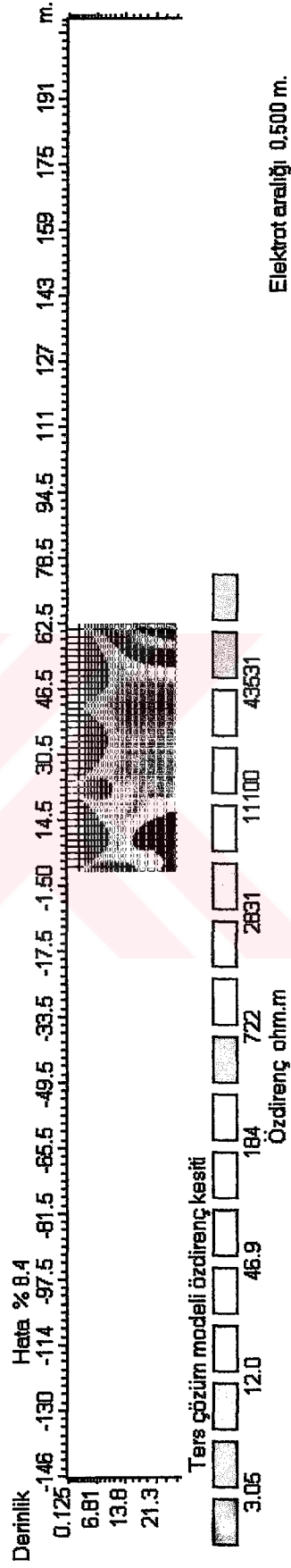
Profil no : P 111						Açılım : Schlumberger		
Çalışılan yer : F.Ü. Rektörlük Lojmanları Arkası						Yön : K-G		
I(mA)	a(m)	n	kayma(m)	AB/2(x)	AB (C1-C2)	K	ΔV (mV)	$\rho(\Omega m)$
20	0,5	3,5	1,75	2	4	24,74004	20,7	25,60594
20	0,5	4,5	2,25	2,5	5	38,87721	14,45	28,08878
20	0,5	5,5	2,75	3	6	56,15597	15	42,11698
20	0,5	7,5	3,75	4	8	100,1383	14,39	72,04948
20	0,5	9,5	4,75	5	10	156,6869	13,4	104,9802
20	1	4,5	4,5	5	10	77,75442	20	77,75442
20	0,5	11,5	5,75	6	12	225,802	27	304,8327
20	1	5,5	5,5	6	12	112,3119	25	140,3899
20	1	6,5	6,5	7	14	153,1526	45,8	350,7195
20	1	7,5	7,5	8	16	200,2765	63,5	635,878
20	1	9,5	9,5	10	20	313,3739	93,5	1465,023
20	1	14,5	14,5	15	30	706,0729	49,2	1736,939
20	1	19,5	19,5	20	40	1255,852	37,6	2361,001
20	1	24,5	24,5	25	50	1962,71	35,5	3483,81
20	2	12	24	25	50	980,1769	90,5	4435,301
20	1	29,5	29,5	30	60	2826,648	14,18	2004,093
20	2	14,5	29	30	60	1412,146	51	3600,972
20	2	19,5	39	40	80	2511,703	23	2888,459
20	2	24,5	49	50	100	3925,42	14,58	2861,631
20	2	29,5	59	60	120	5653,296	11,34	3205,419
20	2	34,5	69	70	140	7695,331	9,96	3832,275
20	2	39,5	79	80	160	10051,53	8,67	4357,336
20	5	15,5	77,5	80	160	4017,312	1196	240235,2
20	2	44,5	89	90	180	12721,88	3,85	2448,962
20	5	17,5	87,5	90	180	5085,453	24,1	6127,971
20	5	19,5	97,5	100	200	6279,258	20	6279,258
20	5	23,5	117,5	120	240	9043,86	17,52	7922,421
20	5	29,5	147,5	150	300	14133,24	16,31	11525,66

Tablo 3.13 P112 Profilinde ölçülen öz direnç değerleri

Profil no : P 112						Açılım : Schlumberger		
Çalışılan yer : F.Ü. Rektörlük Lojmanları Arkası						Yön : K-G		
I(mA)	a(m)	n	kayma(m)	AB/2(x)	AB (C1-C2)	K	ΔV (mV)	ρ(Ωm)
20	0,5	3,5	1,75	2	4	24,74004	13,57	16,78612
20	0,5	4,5	2,25	2,5	5	38,87721	11,16	21,69348
20	0,5	5,5	2,75	3	6	56,15597	9,71	27,26372
20	0,5	7,5	3,75	4	8	100,1383	9,06	45,36263
20	0,5	9,5	4,75	5	10	156,6869	8,55	66,98366
20	1	4,5	4,5	5	10	77,75442	28,6	111,1888
20	0,5	11,5	5,75	6	12	225,802	9,95	112,3365
20	1	5,5	5,5	6	12	112,3119	7,01	39,36533
20	1	6,5	6,5	7	14	153,1526	9,69	74,20245
20	1	7,5	7,5	8	16	200,2765	10,46	104,7446
20	1	9,5	9,5	10	20	313,3739	10,91	170,9454
20	1	14,5	14,5	15	30	706,0729	11,21	395,7539
20	1	19,5	19,5	20	40	1255,852	11,27	707,6724
20	1	24,5	24,5	25	50	1962,71	11,29	1107,95
20	2	12	24	25	50	980,1769	9,27	454,312
20	1	29,5	29,5	30	60	2826,648	6,59	931,3805
20	2	14,5	29	30	60	1412,146	3,62	255,5984
20	2	19,5	39	40	80	2511,703	3,68	462,1534
20	2	24,5	49	50	100	3925,42	3,95	775,2705
20	2	29,5	59	60	120	5653,296	4,26	1204,152
20	2	34,5	69	70	140	7695,331	4,55	1750,688
20	2	39,5	79	80	160	10051,53	4,83	2427,443
20	5	15,5	77,5	80	160	4017,312	16,21	3256,031
20	2	44,5	89	90	180	12721,88	13,64	8676,322
20	5	17,5	87,5	90	180	5085,453	20,5	5212,589
20	5	19,5	97,5	100	200	6279,258	16,05	5039,105
20	5	23,5	117,5	120	240	9043,86	14,41	6516,101
20	5	29,5	147,5	150	300	14133,24	12,05	8515,277
20	5	39,5	197,5	200	400	25128,81	11,3	14197,78

Tablo 3.14 P113 Profilinde ölçülen öz direnç değerleri

Profil no : P 113						Açılım : Schlumberger		
Çalışılan yer : F.Ü. Rektörlük Lojmanları Arkası						Yön : K-G		
I(mA)	a(m)	n	kayma(m)	AB/2(x)	AB (C1-C2)	K	ΔV (mV)	$\rho(\Omega m)$
20	0,5	3,5	1,75	2	4	24,74004	1,753	2,168465
20	0,5	4,5	2,25	2,5	5	38,87721	10,34	20,09952
20	0,5	5,5	2,75	3	6	56,15597	8,44	23,69782
20	0,5	7,5	3,75	4	8	100,1383	8,4	42,05807
20	0,5	9,5	4,75	5	10	156,6869	8,76	68,62888
20	1	4,5	4,5	5	10	77,75442	0,172	0,668688
20	0,5	11,5	5,75	6	12	225,802	62,08	700,8893
20	1	5,5	5,5	6	12	112,3119	22,5	126,3509
20	1	6,5	6,5	7	14	153,1526	11,39	87,22043
20	1	7,5	7,5	8	16	200,2765	9,28	92,92831
20	1	9,5	9,5	10	20	313,3739	8,09	126,7597
20	1	14,5	14,5	15	30	706,0729	7,42	261,9531
20	1	19,5	19,5	20	40	1255,852	7,08	444,5715
20	1	24,5	24,5	25	50	1962,71	7,06	692,8366
20	2	12	24	25	50	980,1769	34,2	1676,103
20	1	29,5	29,5	30	60	2826,648	22,3	3151,713
20	2	14,5	29	30	60	1412,146	18,44	1301,999
20	2	19,5	39	40	80	2511,703	20,3	2549,379
20	2	24,5	49	50	100	3925,42	22,2	4357,216
20	2	29,5	59	60	120	5653,296	22,9	6473,024
20	2	34,5	69	70	140	7695,331	23,2	8926,584
20	2	39,5	79	80	160	10051,53	23,4	11760,29
20	5	15,5	77,5	80	160	4017,312	14,93	2998,923
20	2	44,5	89	90	180	12721,88	35,5	22581,34
20	5	17,5	87,5	90	180	5085,453	43,6	11086,29
20	5	19,5	97,5	100	200	6279,258	31,8	9984,021
20	5	23,5	117,5	120	240	9043,86	26,2	11847,46
20	5	29,5	147,5	150	300	14133,24	24,5	17313,22
20	5	39,5	197,5	200	400	25128,81	23,4	29400,71



Şekil 3.18 P110 – P111 – P112 – P113 profilleri kesiti

4. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu tez çalışması, Terrameter SAS 300C cihazının yer altı su kaynaklarının tespitinde kullanılabilirliğini araştırmak için yapılmıştır. Çalışma süresince Elazığ – Malatya yolu üzerinde ve Elazığ Fırat Üniversitesine ait arazilerde muhtelif doğrultularda birçok öz direnç ölçümü alınmıştır. Bu ölçümlerde D.E.S. (Düşey Elektrik Sondaj) yöntemine göre, Schlumberger ve Dipole – Dipole ölçü sistemleri kullanılmıştır. Ölçümler sonucu elde edilen değerler ters çözüm yöntemine göre “Ipi 2 Win” ve “Res 2 Dinv” bilgisayar programları yardımı ile yorumlanarak arazilere ait kesitler elde edilmiştir. Elde edilen kesitlere göre yeraltındaki yapının özellikleri belirlenmiştir.

Bizim bu tez çalışmasındaki amacımız ölçüm yapılan yerlerden birinde sondaj çalışması yaparak, bilgisayar programında elde edilen kesit ile açılan sondajı karşılaştırmak ve cihazın doğruluğunu ispatlamaktır. Bu doğrultuda yapılan araştırma sonucu Fırat Üniversitesi Yapı İşleri ve Teknik Daire Başkanlığının, Rektörlük Lojmanları arkasındaki arazide bir sondaj çalışması yapacağını öğrendik. Yetkili kişilerle görüşerek sondaj işleminden önce bu arazide ölçüm yapmak için gerekli izni aldık. Bu alanda P 110, P 111, P 112, P 113 no’ lu 4 ayrı lokasyonda yapılan ölçümler sonucu alınan değerlerin, bilgisayar programları yardımı ile yorumlanması sonucu kesitler elde ettik (Şekil 3.18).

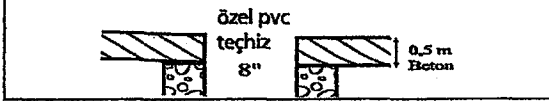
Yapılan bu değerlendirmelerden sonra ölçüm yapılan arazide 152m derinliğe sahip bir kuyu açılmış ve su kaynağına rastlanmamıştır. Sondaj işleminin bitiminde, açılan kuyunun kesiti ve bilgilerini içeren, kuyu bilgi formu temin edilmiştir (Şekil 4.1). Kuyu bilgi formundaki kesit ile daha önce oluşturulan kesit (şekil 3.18) karşılaştırıldığında; her iki kesitte de 0-14m arası kumlu – kil, 14.m den sonra ise andezit bir yapının varlığı saptanmıştır. Böylece kesitlerin birbirine uygunluk sağladığı görülmüştür.

Terrameter SAS 300C cihazı ile yapılan ölçümlerde, cihaz dış sebeplerden (gürültü, enerji nakil hatları, yer altı yapıları vb.) etkilenmediği takdirde, vereceği değerlerin doğru yorumlanması ile yer altı hakkında doğru bilgi edinilebilir. Böylece yer altı su kaynakları da doğru bir şekilde belirlenebilir. Bu cihazla yapılan ölçümlerle yer altı su kaynaklarının haricinde fay, maden yatakları, petrol kaynakları gibi yer altı yapılarının da tespiti mümkündür.

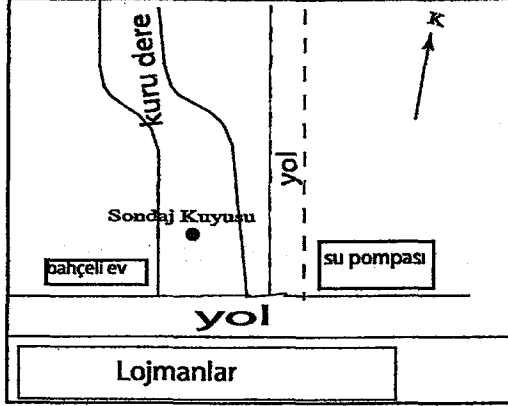
GENEL BİLGİ

İLİ	: Elazığ
İLÇESİ	: Merkez
MEVKİİ	: F.U. Rektörlük lojmanları arkası
KUYU SAHİBİ	: Fırat Üniversitesi
AÇILIŞ GAYESİ	: Sulama - içme - kullanma
KUYU DERİNLİĞİ	: 152m
TEÇHİZ BORUSU	: PVC ÖZEL

KUYU BAŞI KROKİSİ



KUYU YERİ BULDURU KROKİSİ (Ölçeksiz)



KUYU AÇILIŞINDA KARŞILAŞILAN ÖZELLİKLER	DELĞİ ÇAPİ (İnç)	TEÇHİZ ÇAPİ 8 (İnç)	Teçhiz Şeması	LİTOLOJİK KESİT	AÇIKLAMALAR
0-14mt arası alüvyon geçilen birim 22 inç delinip ayrıca sac boru ile teçhiz edilip etrafı betonlanmıştır.	22	14	8"		0-14 m arası kumlu kil
		52	F		
		56	K		
		64	F		
		68	K		
		72	F		
		76	K		
		96	F		
		100	K		
		112	f		
	12 1/2"	116	K		
		128	f		
		136	k		
		152	Kuyu Sonu		14-152 m'ler arası Andezit

Şekil 4:1 Kuyu bilgi formu

KAYNAKLAR

1. Kaya, M.A., 1997. Yeraltı Suyu Jeofiziği. S.D.Ü. Mühendislik Mimarlık Fakültesi Jeofizik Mühendisliği Bölümü, 50 s. Isparta.
2. Van Nostrand, R. G., and Cook, K. L. 1966. Interpretation of resistivity data: USGSP Prof. paper 449, Washington, D.C., U.S. Govt. Printing Office.
3. Robinson, E.S., Çoruh, C., 1988. Basic Exploration Geophysics. Virginia Polytechnic Institute and State University, TN269254 521 p. Newyork.
4. Ward, S.H., (1990), Resistivity and Induced Polarization Methods, Geotechnical and Environmental Geophysics. Ward, S.H., -Ed., 147-151.
5. Archie, G.E., 1942. The Electrical Resistivity Log as an Aid in Determining Some Reservoir Characteristics. Trans. Am. Inst. Min. Metal. and Petr. 54-62.
6. Türker, E., 1997. Kuyu Jeofiziği. S.D.Ü. Mühendislik Mimarlık Fakültesi Jeofizik Mühendisliği Bölümü, 40 s. Isparta.
7. Timur, A., 1968. An Investigation of Permeability, Porosity and Residual Water Saturation Relations for Sandstone Reservoirs. Log Analyst, 8-17.
8. Keller, G. V., Frischnecht F. C., 1966. Electrical Methods in Geophysical Prospecting. Pergamon Press.
9. Waxman, M. H., Smits, L. J. M., 1968. Electrical Conductivities in Oil Bearing Shaley Sand. Trans. Soc. Pet. 107-115, England.
10. Başokur, A. T., 1984. Düşey Elektrik Sondajı. T.P.A.O. Yayınları, No:30, 410 s. Ankara.
11. Kaya, M.A., 1997. Elektrik Prospeksiyon Yöntemleri. S.D.Ü. Mühendislik Mimarlık Fakültesi Jeofizik Mühendisliği Bölümü, 60 s. Isparta.

12. Apparao, A., Roy, A., 1973. Field Results For d.c. Resistivity Profolling with Two Electrode Array. Geoexptoration 17, 41-43.
13. Vingoe, P., Electrical Resistivity Surveying. ABEM Geophysics & Electronics. Abem Printed Matter No: 90019.
14. Sumner, J.S., 1976. Principles of Induced Polarization for Geophysical Exploration, Elsevier.
15. Barker, R.D. and Loke, M.H., (1995), Least Squares Deconvolution of Apparent Resistivity Pseudo-Sections, Geophysics, 1682-1690.
16. Canitez, N., 1997. Jeofizikte Modelleme ve Ters Çözüm. 7(3), 11-13, İstanbul.
17. Başokur, A. T., 1997. Jeofizikte Modellemenin Amaç ve Kapsamı. 22(1), 15-20, Ankara.
18. Tarantola, A. 1987. Inverse problem theory. Elsevier.
19. Menke, W. 1989. Geophysical data analysis: discrete inverse theory. Academic Press, Inc.
20. Parker R., 1994. Geophysical Inverse theory. Princeton University Press.
21. Meju M. 1994. Geophysical data analysis: understanding inverse problem theory and practice. SEG publication.
22. Başokur, A.T. 1984. Düşey elektrik sondajı, TPAO.
23. Başokur, A.T. 1999. Automated 1D interpretation of resistivity soundings by simultaneous use of the direct and iterative methods. G.P., 47(2):149-178.
24. Loke, M. H. and Barker, R. D., 1995, Least-squares deconvolution of apparent resistivity pseudosection: Geophysics, 60, no. 06, 1682-1690.
25. Uchida, T. 1991. Two-dimensional resistivity inversion for Schlumberger sounding, Butsuri-Tansa, 44 (1): 1-17.

26. Loke, M.H., 1999. Time-lapse resistivity imaging inversion. Proceedings of the 5th Meeting of the Environmental and Engineering Geophysical Society European Section, Em1.

27. Terrameter SAS 300C cihazı kullanma kılavuzu. ABEM Firması (1998)

ABEM Instrument AB Hamngatan 27S-172 66 Sundbyberg/Sweden



ÖZGEÇMİŞ

1980 tarihinde Elazığ' da doğdum. İlkokulu Elazığ Fırat İlkokulunda, Ortaokulu Elazığ Mezre Ortaokulunda, liseyi Elazığ Mehmet Akif Ersoy Lisesinde tamamladım. 1998 yılında Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Yapı Eğitimi Bölümü Yapı Ressamlığı Öğretmenliği Bölümüne kayıt yaptırdım. 2002 yılı Haziran ayında mezun oldum. 2002 Eylül ayında Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yapı Eğitimi Anabilim Dalında yüksek lisans eğitimime başladım. Şu anda Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Yapı Eğitimi Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak görev yapmaktayım.

