ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

S. Ü. ALÂEDDİN KEYKUBAT KAMPÜS İÇİ SU BİRİKTİRME HAVUZU TABAN TABAKALARININ ELEKTRİKSEL DİRENÇ ÖLÇÜMLERİ

Arif Emre DURSUN

Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. M. Kemal GÖKAY

2007, 90 sayfa

Jüri:
Prof.Dr. M. Kemal GÖKAY
Yrd.Doç.Dr. İhsan ÖZKAN
Yrd.Doç.Dr. A. Hadi ÖZDENİZ

Son yıllarda oldukça önemli ilerlemeler yaşanan sığ yüzey jeofiziğinde elektrik yöntemlerle yapılan başarılı maden arama ve diğer uygulamaların sayısı artmaktadır. Kolay uygulanabilirliği, hızlı ve ucuz olması bakımından elektriksel yer direnci ölçüm yöntemleri oldukça sık tercih edilen jeofizik yöntemlerindendir.

Elektriksel yer direnci ölçüm yöntemleri olan, doğru akım özdirenç ölçümleri, yapay uçlaşma ve doğal potansiyel ölçüm yöntemleri farklı mühendislik dallarında ihtiyaç hissedilen bilgilerin bir kısmının sağlanması için çözümler üretmektedirler.

Doğru akım özdirenç yöntemi; yeraltı suyu aramaları, yeraltındaki tabaka kalınlıklarının ve konumlarının belirlenmesinde; mühendislik yapıları için yer seçimi ve bu yapı temellerinin iyileştirilmesinde; su girişinin ve girişiminin belirlenmesinde,

yüzeye yakın ve zayıf ayrışma bölgelerinin belirlenmesi vb. çalışmalarda sıkça kullanılmaktadır.

Maden yataklarının aranmasında daha çok yapay uçlaşma ve doğal potansiyel ölçüm yöntemleri kullanılır. Yapılan modelleme çalışmalarıyla, değişik mühendislik problemlerinin çözümünde ilgili ölçüm yöntemlerinin katkı sağlama durumu ve başarısı farklı çalışmalarla test edilmektedir. Bu iki yöntemden birisi olan doğal potansiyel yöntemi, hidrojeolojik koşulların belirlenmesi, baraj yapılarındaki sızıntı noktalarının belirlenmesi, drenaj yapılarının bulunması, heyelan gibi durağan olmayan toprak kütlelerindeki su hareketi, kayaç içerisindeki su kirliliğinin belirlenmesi vb. araştırmalarda kullanılmaktadır. Yapay uçlaşma yöntemi ise, yeraltı suyu aramalarında, mühendislik yapılarının yapılacağı alanlardaki killi bölgelerin belirlenmesinde kullanılmaktadır.

Bu araştırma çalışmasında terkedilmiş küçük bir yapay gölet tabanındaki kayaçların su içerikleri araştırılmıştır. Taban taşındaki su yayılımı incelenerek, gölet taban lokasyonundan itibaren ne kadar yanal ve dikey yayılma gösterdiği incelenmiştir. Bu araştırmanın sağlayacağı pratik kazanımların madencilik alanında kullanım seviyesi konusunda yorum yapılabilmesi için işlemin maden sahalarında görülebilecek problemlere benzerlikleri araştırılmıştır. Maden galerilerinden akan veya yan kayaçlardan maden galerilerine yönelen yeraltı sularının galeri yan kayaçları içindeki yayılımlarının benzerlik beklentileri yorumlanmıştır. Elektriksel direnç ölçümlerinin madencilik çalışmalarına katkısı bu araştırmadan elde edilen bilgilerle değerlendirilmiştir.

ANAHTAR KELİMELER: Elektrik yerdirenci ölçümü, yapay uçlaşma, taban kayaç su içeriği, maden yan kayaçlarında su dağılımı.

ABSTRACT

MS Thesis

FIELD ELECTRICAL RESISTANCE MEASUREMENTS AT WATER RESERVOIR OF S.U. ALAEDDIN KEYKUBAT CAMPUS

Arif Emre DURSUN

Selçuk University Institute of the Natural and Applied Sciences
Department of Mining Engineering

Supervisor: Prof. Dr. M. Kemal GÖKAY

2007, 90 Pages
Jury:
Prof.Dr. M. Kemal GÖKAY
Assist. Prof.Dr. İhsan ÖZKAN
Assist. Prof.Dr. A. Hadi ÖZDENİZ

The number of successful applications in electrical methods, which are related to near surface geophysics are increasing in recent years. Electrical methods are often preferred in geophysical methods because of their easy applicability, speed and economic facts.

Electrical methods like Direct Current Resistivity (DCR), Induced Polarization (IP) and Self Potential (SP) produce suitable solutions for different problems of engineering geophysics.

Preceding studies about groundwater exploration, determination of thickness and situation of the layers, selecting locations of engineering structures and recovery of their grounds, designation of water interference surfaces, researching of the

weathering zone, etc., are frequently studied subjects especially DCR methods in the world.

IP and SP methods are used mostly in mining exploration. Accomplishment of these methods is tested by modeling studies on different problems. SP methods are used to determine the hydrogeological conditions, drainage constructions, water motion in unstable soil mass like landslide, searching the seepage areas over the dam structures, prevention of water pollution etc. and IP methods are used for groundwater exploration and imaging clay formations of construction areas for engineering structures.

In this thesis study the water content of the base rocks of abandoned waste water (small scale)dam in Selcuk University campus. Water localization in the base rocks, its distribution in vertical and lateral directions were analyzed through electrical resistivity measurements. Similarities between this field tests and mining applications were also researched and many field implications were found in this industry branch. Country rocks around mine galleries, tunnels, open pit slopes and benches are all application site for electrical resistivity methods to control the rock masses beyond the visible part of them. Water content, discontinuity localizations, fault lines, disturbed zones, stressed zone around the pillars and galleries are all potential application sites for this methods. Measurements performed in this thesis field applications are mostly similar to the application of electrical resistivity test to mining sites. Therefore, baserock water content research which is part of rock mechanics subjects and mining engineering application can also be the further information and practical support for detail operations in open pits and underground mines.

KEYWORDS: Electrical earth resistance measurement, induced polarization, self potential, water content of baserock, water in mine’s country rocks.

ÖNSÖZ

Bu çalışmanın hazırlanmasında kıymetli görüş ve bilgilerini esirgemeyen ve cihaz temininde büyük yardımları olan hocam Sayın Prof. Dr. M. Kemal GÖKAY' a ve her türlü konuda gerek arazi çalışmalarında gerek düzeneğin hazırlanışında ve gerekse kaynak temininde yardımlarını esirgemeyen Sayın Arş. Gör. Kemal DOĞAN' a çok teşekkür ederim. Ayrıca bu tezin gerçekleşmesi sırasında, tez çalışmalarına maddi destek sağlayan Selçuk Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri, BAP, koordinatörlüğüne teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca bu çalışmanın hazırlanmasında benden maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen çok değerli aileme teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET ..... **i**
ABSTRACT ..... **iii**
İÇİNDEKİLER ..... **vi**
ŞEKİLLER DİZİNİ ..... **viii**
ÇİZELGELER DİZİNİ ..... **xi**
1 GİRİŞ **1**
1.1. Problemin Tanımı 1
1.2. Çalışmanın Amacı 5
1.3. Çalışmanın İçeriği 5
2. ELEKTRİKSEL YERDİRENCİ ÖLÇÜMLERİNDE KULLANILAN YÖNTEMLER **6**
2.1. Elektriksel Özdirenç Yöntemi 6
2.2. Ölçülen Büyüklük – Görünür Özdirenç Kavramı 6
2.3. Doğadaki Kayaçların Özdirenç Değerleri 7
2.4. Özdirenç Ölçüm Yöntemi 10
2.4.1. Ölçü sistemi 10
2.4.2. Elektrot dizilimleri 11
2.4.3. Çok-elektrotlu ölçü sistemi ve iki-yönlü üç-elektrot dizilimi 13
2.5. Farklı Elektrot Dizilimleri İçin Sinyal Katkı Kesiti 15
2.5.1. Schlumberger elektrot dizilimi sinyal katkı kesiti 19
2.5.2. Wenner ve yarım-Wenner elektrot dizilimi sinyal katkı kesiti 19
2.5.3. Dipole-dipole elektrot dizilimi sinyal katkı kesiti 20
2.5.4. İki-yönlü üç elektrot dizilimi sinyal katkı kesiti 21
2.6. Ölçü Alım Sistemleri 24
2.6.1. Yer elektrik sondajı 24
2.6.2. Profil ölçüsü 25
2.6.3. Sondaj-profil ölçüsü 26
2.6.4. Görünür özdirenç seviye haritası 28
2.7. Veri Yorumu 29
2.7.1. Doğru akım özdirenç verilerinin 1-Boyutlu yorumlanması 30

2.7.2. Doğru akım özdirenç verilerinin 2-Boyutlu yorumlanması.....33
2.7.3. Doğru akım özdirenç verilerinin 3-Boyutlu yorumlanması.....35
2.7.4. Çok-Elektrotlu ölçü sistemleri 35
2.8. Elektriksel Özdirenç Ölçümlerinin Ülkemizdeki Uygulamaları **.....36**
3. ELEKTRİKSEL YERDİRENCİ ÖLÇÜM HAZIRLIKLARI VE ÖLÇÜMLERİN YAPILIŞI.....46
3.1. Ölçüm Düzeneği 46
3.2. Arazinin ve ölçüm düzeneğinin hazırlanması.....47
3.3. Arazi ölçümleri 52
4. ELEKTRİKSEL YERDİRENCİ ÖLÇÜM SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ 59
4.1. Çalışma Sahasının Sağ Tarafı Boyunca Elde Edilen Direnç Değişim Kesitleri.....60
4.2. Çalışma Sahasının Sol Tarafı Boyunca Elde Edilen Direnç Değişim Kesitleri 62
4.3. Çalışma Sahasında Dere Yatağı İçinden Elde Edilen Direnç Değişim Kesitleri....64
4.4. Çalışma Sahasının Karşı Tarafından Elde Edilen Direnç Değişim Kesitleri ..66
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....71
7. KAYNAKLAR.....74
EK-1 79
EK-2 82
EK-3 85
EK-4 88

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1 Çok kanallı ölçü sistemi ve ölçüm aşamaları (Griffiths vd., 1990) 3
Şekil 1.2 Atık su biriktirme havuzunun kampüs alanı içindeki lokasyonu.....4
Şekil 2.1. Arazide elektriksel özdirenç ölçü sistemi. (VanNostran & Cook, 1966)...10
Şekil 2.2. Genel bir elektrot diziliminde yer alan A ve B akım, M ve N gerilim elektrotlarının pozisyonları (Candansayar & Başokur, 2001).....11
Şekil 2.3. Farklı mühendislik işlerinde yaygın olarak kullanılan özel elektrot dizilimleri (Candansayar & Başokur, 2001).....12
Şekil 2.4. Sinyal katkı kesiti; a) Wenner elektrot dizilimi, b) Schlumberger elektrot dizilimi, c) Dipole-dipole elektrot dizilimi, d) Pole-dipole elektrot dizilimi (Barker 1979).....17
Şekil 2.5. Yarım-Wenner elektrot diziliminde; AB/3, 10 ve 15 m değerleri için AMN sinyal katkı kesiti (a), (b), (c) (Barker,1979).....18
Şekil 2.6. İki-yönlü üç elektrot diziliminde; a=5 m ve n=1,2,3 ve 4 değerleri için AMN sinyal katkı kesiti (a), (b), (c), (d) (Barker, 1981).....21
Şekil 2.7. İki-yönlü üç elektrot dizilimi için; AMN(a1), MNB(a2) ve AMNB(a3) profil eğrisi iki yönlü yarım-Wenner için; AMN(b1), MNB(b2), Wenner dizilimi (AMNB) (b3) görünür özdirenç profil eğrileri ve 2-B model (c) (Pozitif Katkı Bölgesi) (Barker, 1981).....22
Şekil 2.8. İki-yönlü üç elektrot dizilimi için; AMN(a1), MNB(a2) ve AMNB(a3) profil eğrisi. İki yönlü yarım-Wenner dizilimi için; AMN(b1), MNB(b2), Wenner dizilimi (AMNB) (b3) görünür özdirenç profil eğrileri ve 2-B model (c) (Negatif Katkı Bölgesi). (Barker, 1981).....23
Şekil 2.9. Schlumberger elektrot dizilimi için düşey elektrik sondajı eğrisi. (Bhattacharya & Patra, 1968) 24
Şekil 2.10. İki-yönlü üç elektrot dizilimi ve AMNB görünür özdirenç profil eğrileri ve görünür özdirenç değerlerinin hesaplandığı 2-B modeli. (Bhattacharya & Patra, 1968).....26
Şekil 2.11. Profil 12 için sırasıyla, AMN(a), MNB(b) ve AMNB(c) yapma kesitleri (Candansayar v.d., 1999).....27

Şekil 2.12. AB/2=7 metre için İki-yönlü üç-elektrot dizilimi AMN, MNB ve AMNB görünür özdirenç seviye haritaları, (Candansayar v.d., 1999).....29
Şekil 2.13. görünür özdirenç düşey elektrik sondajı eğrisi ve 1-B ters çözüm sonucu elde edilen 1-B özdirenç modeli (Başokur, 1999) 30
Şekil 2.14. Tabakalı ortam (1-B) (sürekli eğri) ve örtü tabakasına gömülü özdirenci yüksek küçük bir cisim olması durumunda (2-B) (yuvarlak sembol'lü eğri) hesaplanan görünür özdirenç düşey elektrik sondajı eğrileri ve 2-B modeli (Candansayar & Başokur 2001).....32
Şekil 2.15. Alacahöyük, profil 14 için iki yönlü üç elektrot dizilimi görünür özdirenç yapma kesitleri ve 2-B ters çözüm sonucu elde edilen modeller (Candansayar v.d. 1999).....34
Şekil 2.16. İsviçre'deki Mont Terri kaya mekaniği araştırma laboratuar pozisyonu ve Transjurane A-16 otoyol tüneli, (Kruschwitz & Yaramancı, 2004). 43
Şekil 2.17. Mont Terri kaya mekaniği araştırma laboratuarında açılan galerinin içine yerleştirilen boyuna ve çevresel elektriksel direnç elektrot lokasyonları, (Kruschwitz & Yaramancı, 2004).....43
Şekil 2.18. Araştırma galerisi çevresinde, temmuz ve eylül aylarındaki direnç değişim grafiği, (Kruschwitz &Yaramancı, 2004). 44
Şekil 2.19. Araştırma galerisi çevresinde gözlenen Opalinus kilinin iç yapısı, (Kruschwitz & Yaramancı, 2004).....45
Şekil 3.1. ARES-G4 yerdirenci ölçüm cihazı.....46
Şekil 3.2. ARES-G4 cihazının a) ölçüm kablosu, b) düşey elektrik sondajı bağlantı aparatı, c) Yüksek akım ek kablo seti, d) cihaz akü ve AC bağlantıları 47
Şekil 3.3. Selçuk Üniversitesi kampüs atık su gölet lokasyonunun Google-Earth programından alınan uydu görüntüsü.....48
Şekil 3.4. Çalışma alanının görünümü; Fotoğraf içine yerleştirilen ok su akış yönünü göstermektedir. 49
Şekil 3.5. Ölçümlere hazırlanmış ARES-G4 elektrotu. 51
Şekil 3.6. ARES-G4 cihazının ölçüm anı 52
Şekil 3.7. Ölçüm için seçilen gölet lokasyonunda tasarımı yapılan elektriksel yerdirenci ölçüm hatları.....53

Şekil 3.8. a) Çalışma arazisinin sağ tarafındaki boyuna ölçüm hattının araziye uygulanışı, b) Combine pole-dipole diziliminden elde edilen direnç haritası 55
Şekil 3.9. a) Çalışma arazisinin sol tarafındaki ölçüm hatlarının araziye uygulanışı, b) Combine pole-dipole diziliminden elde edilen direnç haritası.....56
Şekil 3.10. a) Çalışma arazisi dere yatağı ölçüm hatlarının araziye uygulanışı, b) Combine pole-dipole diziliminden elde edilen direnç haritası.....57
Şekil 3.11. a) Çalışma arazisinin karşı tarafı ölçüm hatlarının araziye uygulanışı, b) Combine pole-dipole diziliminden elde edilen direnç haritası.....58
Şekil 4.1. Üzerinde inceleme yapılan gölet'in sağ tarafı boyunca, gölet boyuna serilen elektrotlardan R1-1 ölüm hattından alınan direnç değişim kesitleri, a) pole-pole dizilimi, b)Pole-dipole dizilimi, c) Combine pole-dipole elektrot dizilimi.....61
Şekil 4.2 Göletin sol taraf boyunca boyuna serilen elektrotlardan L1-1 ölçüm hattından elde edilen direnç değişim kesitleri, a) Pole-pole dizilimi, b) Pole-dipole dizilimi c) Combine pole-dipole dizilimi. 63
Şekil 4.3 Gölet tabanıda, dere içinde enine serilen elektrotlardan elde edilen direnç değişim kesitleri,a) pole-pole dizilimi, b) pole-dipole, c) combine pole-dipole elektrot dizilimi 65
Şekil 4.4. Ölçüm yapılan arazide gölet alt bölgesinde bulunan asfalt yolun GD bölümü (karşı taraf olarak adlandırılan bölge) 66
Şekil 4.5. "Karşı taraf" olarak adlandırılan bölgedeki kireçtaşı mostraları 67
Şekil 4.6. Karşı bölgede enine serilen elektrotlardan elde edilen direnç değişim kesitleri, a) pole-pole dizilimi, b) pole-dipole yöntemi, c) combine pole-dipole elektrot dizilimi 68
Şekil 4.7. Karşı bölgede boyuna serilen elektrotlardan alınan direnç değişim kesitleri, a) Pole-pole dizilimi, b) pole-dipole dizilimi, c) combine pole-dipole dizilimi.....69

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Bazı doğal malzemelerin elektrik özdirençleri (Çağlar, 2006).....8
Çizelge 2.2. Bazı minerallerin elektrik özdirençleri (Çağlar, 2006).....8
Çizelge 2.3. Bazı malzemelerin elektrik özdirençleri (Çağlar, 2006) 9
Çizelge 3.1 Arazide kullanılan ölçüm ekipmanları 46

1 GİRİŞ

1.1. Problemin Tanımı

Kayaç ve minerallerin elektrik özdirençleri; yoğunluk, sismik hız vb. birçok jeofizik özelliklerin tersine birbirinden çok farklı değerler gösterir. Bunun için bir kayaç su içeriğine, ortam sıcaklığına bağlı olarak çok farklı özdirenç değerleri gösterebilmektedir. Elektrik özdirenç yöntemlerinde akımın etken bir şekilde nüfuz edebileceği derinlik; elektrotlar arasındaki uzaklığa, yeraltındaki tabakaların bağıl kalınlığına veya yeraltı cisimlerinin şekillerine, büyüklüklerine ve özdirençlerine bağlıdır (Candansayar & Başokur, 2001).

Elektrik özdirençleri doğada kısa mesafeler içinde hızla değişebilen değerler olduğundan elektrik yöntemleri cevherli bölgeleri, yatay veya düşey süreksizlikleri, su içeren katmanların ve yeraltındaki boşlukların yerinin belirlenmesinde yaygın biçimde kullanılmaktadır. Elektrik özdirenç yönteminde; farklılığın belirlenmesinde yapının fiziksel özelliklerinin yanı sıra, kullanılan elektrot dizilimlerinin de büyük önemi vardır. Herhangi bir yer modeli için hesaplanan veya ölçülen özdirenç değerleri farklı elektrot dizilimlerine göre değişik sonuçlar verir. Bu nedenle, çalışmanın amacına uygun elektrot dizilimlerinin karmaşık yeraltı yapıları için vereceği farklılıkların analitik yöntemlerle hesaplanması olanaklı değildir (Candansayar & Başokur, 2001).

Analitik hesaplama, genelde basit geometrik cisimler ve yeryüzünden başlayan modeller üzerinde yapılmaktadır (Parasnis, 1965; Van Nostrand & Cook 1966; Telford vd. 1976). Yüzey altında prizmatik biçimli gömülü cisimlerin gö değerlerinin belirlenmesinde, 1970'li yıllarda yapılan deneysel tank çalışmaları büyük önem taşır (Brizzolari & Bernabini, 1979; Roy & Apparao, 1971). Ancak, daha hızlı bilgisayar işlemcilerinin ortaya çıkışı ile başlayan bilgisayar teknolojisindeki gelişme yerdirenci ölçümlerinde de yeni modellerin kullanılmasını sağlamıştır. Bunlar arasında bulunan; sonlu elemanlar (Rijo, 1977; Pridmore vd. 1981), sonlu farklar (Mufti, 1976; Dey ve Morrison, 1979 a ve 1979 b; Scriba, 1981) ve integral denklemi (Meyer, 1977; Okabe, 1981; Parasnis, 1965) gibi sayısal

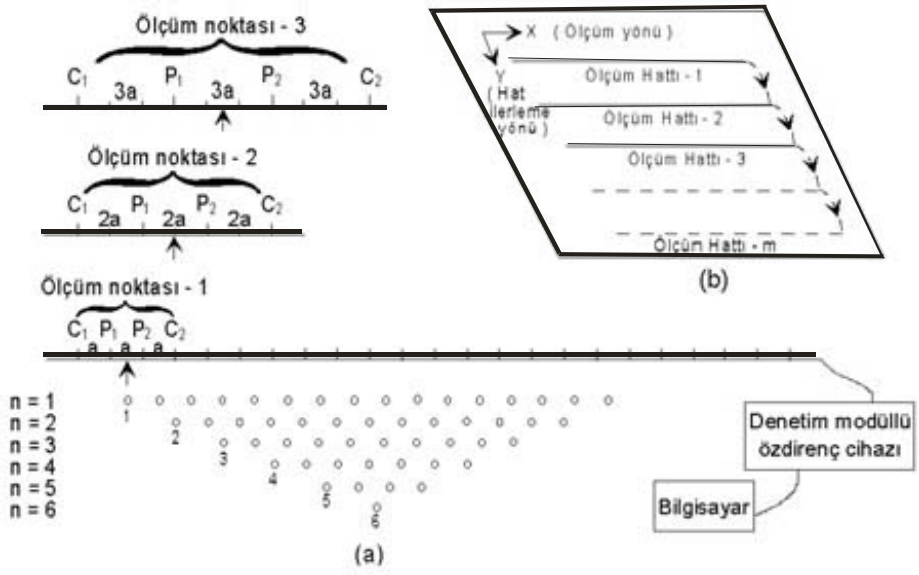
yöntemler daha gerçekçi modellerin kurulmasına olanak sağlamıştır. Son yıllarda yüksek duyarlıklı ve hızlı veri toplayabilen elektriksel özdirenç ölçüm aletlerinin geliştirilmesi, daha ayrıntılı yorum yapma olanağını da vermiştir. Bu gelişimde sonlu farklar ve sonlu elemanlar gibi sayısal hesaplama tekniklerinin önemi büyüktür. Çözüm tekniklerindeki bu gelişme, birçok farklı elektrot dizilimi için karmaşık yeraltı yapılarının iki ve üç boyutlu, düz ve ters çözüm (Candansayar & Başokur, 2001; Berge, 2002; Kurtulmuş, 2003; Dahlin, 2001) modellemesinin etkili bir biçimde yapılmasını olanaklı kılmıştır. Düz çözüm çalışmalarında elde edilen değer, götür. Bu değer, ortamın özdirenç zıtlığına, dizilim geometrisine ve derinliğe bağlı olarak değişir ve doğal olarak ortamın gerçek elektriksel yeraltı modelini yansıtmaz. Diğer bir deyişle, belirtilen parametrelere bağlı olarak oluşan görünür değişimi yansıtır. Bu nedenle, gerçek yeraltı modelini elde etmek için mutlaka ters çözüm çalışmaları yapılmalıdır. Son yıllarda, sığ ortamları modellemek için uygulanan iki ve üç boyutlu ters çözüm işlemleriyle birçok sığ alan inceleme altına alınmıştır (Candansayar & Başokur, 1999; Başokur, 1999; Dahlin, 2001).

Sığ yapıların araştırılmasında genellikle, yanal özdirenç taraması olarak adlandırılan profilleme ölçüm tekniği kullanılır. Bu teknikte; seçilen elektrot dizilimine bağlı olarak, değişik görünür derinlik düzeyleri için, yeraltının görünür özdirenç yapma kesitleri elde edilir. Son yıllarda, kısa sürede duyarlı veri elde etmeyi sağlayan çok-kanallı ölçüm cihazları, sığ yapıların araştırılmasında yaygın olarak kullanılmaya başlamıştır (Dahlin, 2001).

Özdirenç yönteminde bilgisayar denetimli veri toplama sistemleri son 15 yıl içinde oldukça gelişmiştir. Bu tür sistemler; özdirenç ölçüm aleti, bilgisayar, ölçüm elektrotlarını denetleyen bir anahtar devresi, elektrot kabloları, bunların bağlantıları ve elektrotlardan oluşur (Van Overmeeren ve Ritsema, 1988; Griffiths vd., 1990; Barker, 1981; Dahlin, 1996). Bu tür bir cihaz ve gerekli yazılım yardımıyla; dizilim türleri, akım ve potansiyel elektrotları ile ölçülecek noktalar arası uzaklıklar adreslenebilmektedir. Bu sistemlerin en önemli işlevsel bölümlerinden biri de, elektrotları denetleyen anahtar devresidir. Bazı cihazlarda bunlar doğrudan her bir elektrotta bulunurken, genelde merkezi bir anahtar devreyle denetlenen cihazlar daha yaygındır. Bu tür cihazlarda elektrot kanal sayısı 25 veya daha fazladır, genelde 32

veya 64 kanallı cihazlar yaygın olarak kullanılmaktadır. Elektrot aralıkları da araştırmacının gereksinimine bağlı olarak istenilen aralıklarda düzenlenebilmektedir. Genellikle 1 ile 25 metrelik aralıklar birçok araştırmada yeterliyken, daha geniş aralıklı düzen kurma olanağı da vardır.

Çalışmalar sırasında elektrotların bağlandığı kablolar çalışma alanına serildikten sonra, elektrotlar yere çakılır ve kablolar elektrotlara bağlanarak sistem ölçüme hazır duruma getirilir. Veri toplamadan önce her bir elektrotun temas durumları ve diğer taramaları otomatik olarak yapılır. Bunlarda bir sorun çıkmazsa, ölçümler istenilen dizilim türleri için kısa süre içinde gerçekleştirilir ve ölçüm hattı bir sonraki hatta kaydırılır. Böyle bir sistemi oluşturan ana elemanlar ve ölçüm sistemi Şekil 1.1' de verilmiştir.



Şekil 1.1 Çok kanallı ölçü sistemi ve ölçüm aşamaları (Griffiths vd., 1990).

Bu araştırma çalışmasında; Selçuk Üniversitesi, Alâeddin Keykubat Kampüsü içinde (Şekil 1.2) yapılan fakat daha sonra ortaya çıkan tabandan su sızması problemi nedeniyle işlevi sona erdirilen kampus de kullanılan sularının tekrar değerlendirmesi için hazırlanan havuzun taban tabakaları; içlerindeki su yayılma boyutları açısından incelenmiştir. Bu çalışma sırasında ilgili havuz taban alanının yerdirenci ARES-G4 cihazıyla ölçülmüştür. Ölçümlerde ilgili cihazın elverdiği üç farklı elektrot dizilimi kullanılmıştır (Combine Pole-Dipole, Pole-pole, Pole-dipole). Daha sonra elde edilen yerdirenci ölçüm sonuçları RES2DINV yerdirenci modelleme yazılımıyla grafiklendirilmiş ve yorumlanmıştır. Bu çalışmada terk edilen havuz tabanındaki nemin varlığı, varsa su derinliği tespit edilmeye çalışılmıştır. Bu araştırmalar sırasında taban tabakalarının arasına sızan suların yayılım yönleri, havuz tabanındaki kayaç yapısıyla karşılaştırılmıştır. Bu çalışmanın gölet taban kayaçlarının incelenmesi yönünden, kayaçların su içerme özelliklerini anlamaya yönelik katkısı ayrıca değerlendirilmiştir. Çalışma öncesi belirlenen bu hedeflere ulaşmak amacıyla terk edilen su biriktirme havuzu tabanında, havuzun uzun ekseni boyunca toplam 11 çizgisel hatta havuzun kısa boyutunda da toplam 6 çizgisel hat boyunca toplam 17 hatta ölçüm yapılmıştır. Her bir çizgisel hat 35 metre uzunluğundadır. Bu hatlar ard arda gelecek Şekilde konumlandırılan 3 sıradan oluşmuştur. Böylece seçilen hatlar boyunca incelenen toplam uzunluk 105 metre olarak gerçekleşmiştir.



Şekil 1.2 Atık su biriktirme havuzunun kampüs alanı içindeki lokasyonu.

1.2. Çalışmanın Amacı

Bu çalışmada amaç mühendislik yapısı kurulacak lokasyonda bu tür bir araştırma yapmanın önemini vurgulamaktır. Herhangi bir kayaç ve toprak tabakası üzerinde veya içinde yapılması planlanan çalışmalarda, ilgili kayaçlarla veya toprak tabakalarının ne kadar uyumlu olacağının önceden belirlenmesi, yapılacak en doğru işlemdir. Bu amaçla daha önce su sızdırması sonucu ortaya çıkan olumsuz etkilerinden dolayı terk edilen kampüs atık su biriktirme havuzunun taban durumu incelenmek istenmiştir. Su biriktirme işleminde su sızdırarak başarısız olan ilgili gölet zemininin durumu burada bulunan kayaç tabakalarının su içeriklerinin incelenmesi hedeflenmiştir .Yerdirenci ölçümleriyle zeminin elektriksel direnç değişiminin ne anlama geldiği bu değişimlerin farklı madencilik uygulamalarında da ölçülmesi durumunda ne anlamlara gelebileceği kapsamlı bir şekilde incelenmeye alınmıştır. Elektriksel yerdirenci ölçüm yöntemleri maden, mineral, jeotermal enerji kaynağı ve petrol aramaları ile hidrojeoloji ve mühendislik projesi problemlerinin çözümünde kullanıldığından, bu ölçümlerin etkinliği uygulamalı olarak analiz edilerek, açık ocak ve yeraltı maden ocaklarındaki pratik uygulamaları için nasıl çalışmalar yapılabileceği gösterilmiştir.

1.3. Çalışmanın İçeriği

Bu araştırma çalışmasında, madencilik çalışmalarında pratik uygulaması fazla bulunmayan elektriksel ölçüm yöntemleri hakkında bilgiler aktarılmıştır. Daha sonra günümüzde bu yöntemin kullanılış amacı ve lokasyonları anlatılmıştır. Bilgisayar ve elektronik teknolojisine bağlı olarak gelişen elektriksel yerdirenci ölçüm yöntemleri, çok elektrotlu (multi-elektrote) ölçü düzeneklerinin gelişimi bu düzeneklerin farklı mühendislik dallarında uygulama alanları ve ilgili düzenekler hakkında literatür taraması yapılmış ve en son gelişmelerin hangi seviyede olduğu aktarılmıştır. Bu araştırma sırasında uygulamalı ölçüm alanı olarak seçilen gölette yapılan ölçümler, ölçüm metodolojisi açıklanarak anlatılmış ve elde edilen yerdirenci değerleri direnç değişim grafikleri olarak sunulmuştur.

2. ELEKTRİKSEL YERDİRENCİ ÖLÇÜMLERİNDE KULLANILAN YÖNTEMLER

Elektrik-rezistivite (özdirenç) yöntemi bu çalışmanın teorik alt yapısını oluşturmaktadır. Bu yöntemin madencilik alanında uygulanabilirliği ve sağlayacağı faydalar düşünüldüğünde yöntemin detayları konusunda yapılan araştırmaların gözden geçirilerek değerlendirilmesinin önemi daha iyi anlaşılmaktadır.

2.1. Elektriksel Özdirenç Yöntemi

Elektriksel özdirenç, bir materyalin elektrik iletkenliğini gösteren öziletkenliğin tersidir. Elektrik özdirenci "ρ" olan bir yarı ortama bir noktadan "I" akımı uygulandığında "r" uzaklıktaki bir noktada oluşturacağı "V" gerilim bağıntısı ile verilir.

$$V=(I\cdot\rho)/(2\cdot\Pi\cdot r) \qquad (2.1)$$

Yeryüzünde iki noktadan verilecek akım ile iki başka noktadaki elektrotlar arasında ölçülecek gerilim farkının, uygulanan akım şiddetine oranından hareketle yeraltındaki kayaçların öziletkenlik (σ) veya özdirenci (ρ=1/σ) saptanabilir (Candansayar & Başokur, 2001).

2.2. Ölçülen Büyüklük – Görünür Özdirenç Kavramı

Özdirenç yöntemi olarak da bilinen, doğru akım özdirenç yönteminde ölçülen büyüklük gerilim farkıdır. Fakat veri yorumunda fiziksel bir büyüklüğe ihtiyaç vardır. Bu fiziksel büyüklük özdirenç'tir. Ölçülen gerilim farkı'ndan "ΔV" (volt olarak) özdirenç aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\rho = k (\Delta V / I) \qquad (2.2)$$

Burada ;

k = Geometrik faktör (elektrot dizilim tekniğine göre değişir),

ΔV = Ölçülen potansiyel fark (mV),

I = Yere verilen akım (mA),

ρ = görünür özdirenç (ohm.m)

Geometrik katsayı olarak bilinen k elektrotlar arası uzaklığa bağlıdır. “k” değeri aşağıdaki eşitlik ile hesaplanır.

$$k = \frac{2\pi}{\left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN}\right)} \qquad (2.3)$$

Eşitlik (2.3), Ohm-kanunu ve statik elektrik alan integralinin, yoldan bağımsız (konservatif) olması özelliklerinden yararlanarak çıkarılmıştır (Dizioğlu & Keçeli, 1981; Başokur, 1999; Candansayar, 1997).

Burada özdirenç bağıntısı tekdüze (homogen) ve izotrop bir ortam için verilmiştir. Fakat gerçekte yerkürede bulunan kayaçlar tekdüze değildir ve arazide ölçülen gerilim farkı (ΔV) kullanılarak, (2.2) eşitliğinden hesaplanan özdirenç; **görünür özdirenç** olarak adlandırılır.Görünür özdirenç yerkabuğu içindeki kayaç yapısına, bu yapının özdirencine ve kullanılan elektrot dizilimine bağlıdır.

Görünür Özdirenç, tanımlamasında; ortam tekdüze ve yarısonsuz ise ölçülen görünür özdirenç ortamın özdirencine eşit olmalıdır. Tabakalı bir ortamda görünür özdirenç eğrisi akım elektrotları arasındaki uzaklığın yarısı olan AB/2'nin küçük değerleri için birinci tabakanın özdirencine, büyük değerleri için son tabakanın özdirencine yakınsamalıdır. Ayrıca görünür özdirenç, AB/2'nin ara değerlerinde de ara tabakaların özdirencine yakın olmalıdır (Spies & Eggers, 1986; Başokur, 1994). Arazide ölçülen gerilim farkları, tekdüze ve izotrop ortama ait olmadığından, eşitlik (2.2) ile hesaplanan özdirenç görünür özdirenç olarak adlandırılmıştır (Dizioğlu & Keçeli, 1981; Başokur, 1999; Candansayar, 1997).

2.3. Doğadaki Kayaçların Özdirenç Değerleri

Çizelge 2.1, 2.2, 2.3’de bazı doğal malzemelerin ve minerallerin elektriksel özdirenç aralıkları görünür özdirenç görülmektedir. Bu çizelgeden de anlaşılacağı gibi çoğu kayaç ve mineral cinsinin özdirençleri hemen hemen aynı özdirenç aralıklarına girmektedir. Bu durum araştırmacıları çok önemli bir değerlendirmeye ulaştırmıştır. Doğru akım özdirenç yöntemi ile yapılan araştırma sonucu elde edilen

ölçüm sonuçlarının yorumlanmasında, ters çözüm yöntemine görünür özdirençle hesaplanan elektriksel özdirenç değerleri ölçüm yapılan kayaç veya minerallerin ne tip bir kayaç olduğunu yazmak pek de doğru bir iş değildir. Bunu yapmadan önce, o araziye ait varsa jeolojik harita ve raporlar, sondaj bilgileri incelenmelidir. İmkân varsa, arazi incelemesi yapılarak üzerinde çalışılan kayaç türleri ilgili lokasyonda verdikleri mostralardan görünür özdirenç izlenmelidir. Daha sonra doğru akım özdirenç verisinin yorumu yapılabilir ve arazide bulunan kayaç formasyonlarının ne olabileceği konusunda yorumlamaya geçilebilir.

Çizelge 2.1. Bazı doğal malzemelerin elektrik özdirençleri (Çağlar, 2006)

Kayaç-Malzeme	**Elektrik özdirenç(Ω-m)**
Islak aşırı killi toprak	1–10
Islak aşırı siltli toprak ve siltli kil	≤ 10
Islak siltli ve kumlu toprak	10–100
Silt ardalanmalı kum ve çakıl	≤ 1000
Kaba kuru kum ve çakıl depozitleri	≥ 1000
Çatlakları ıslak toprakla dolmuş çok kırıklı kayaç	100
Çatlakları kuru kumla dolmuş az çatlaklı kayaç	≤ 1000
Masif ve sağlam olarak oluşmuş kayaç	≥ 1000

Çizelge 2.2. Bazı minerallerin elektrik özdirençleri (Çağlar, 2006)

Mineral	**Elektrik özdirenç(Ω-m)**	**Mineral**	**Elektrik özdirenç(Ω-m)**
Kalkopirit	$4x10^{-3}$	Kromit	$1x10^{6}$
Pirit	$3x10^{-1}$	Wolframit	$10x10^{5}$
Pirotit	$1x10^{-4}$	Hematit	$3.5x10^{-3}$-10^{7}
Galenit	$2x10^{-3}$	Magnetit	$5x10^{-5}$-$5.7x10^{3}$
Sfalerit	$2x10^{2}$	Manganez	10^{-2}-0.3
Zinober	$2x10^{7}$	Kuvars	$4x10^{10}$-$2x10^{14}$
Boksit	$2x10^{8}$-$6x10^{3}$	Kalsit	$2x10^{12}$
Kalkosit	$1x10^{-4}$	Kaya tuzu	30-10^{13}

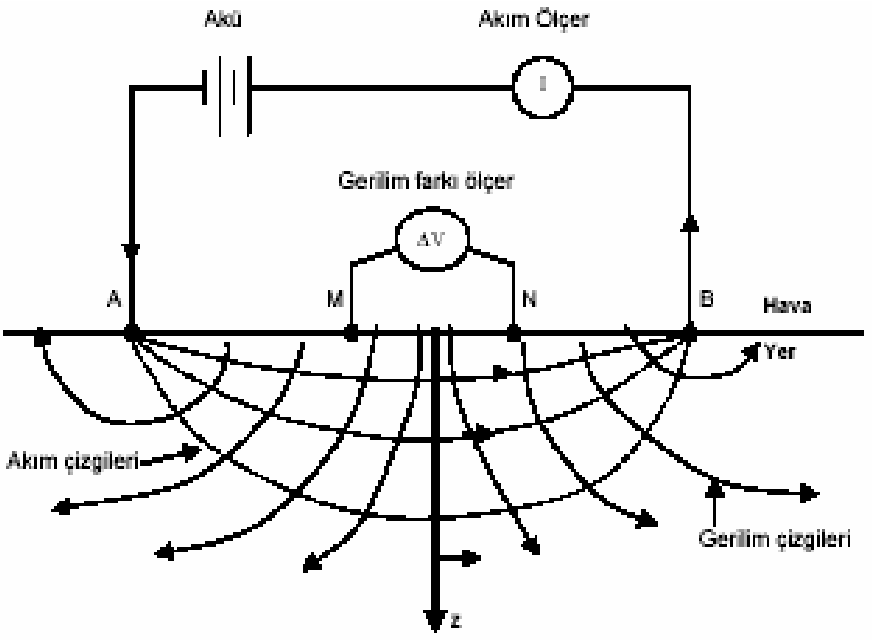
Çizelge 2.3. Bazı malzemelerin elektrik özdirençleri (Çağlar, 2006)

Sular	**Elektrik özdirenç (Ω-m)**
Yüzey suları (mağmatik)	$0.1\text{-}3x10^{3}$
Meteorik yüzey suyu	$30\text{-}10^{3}$
Yüzey suları (çökellerde)	$10\text{ -}10^{2}$
Toprak suları	100
Doğal sular (mağmatik kayaçlarda)	9
Doğal sular (çökellerde)	3
Tuzlu sular %3	0.15
Kömürler	**Elektrik özdirenç (Ω-m)**
Çeşitli kömürler	$10\text{-}10^{11}$
Linyit	9–200
Kayaçlar	**Elektrik özdirenç (Ω-m)**
Konglomeralar	$2x10^{3}\text{-}10^{4}$
Kumtaşları	$1 - 6.4x10^{8}$
Kireçtaşları	$50\text{-}10^{7}$
Dolomit	$3.5x10^{2}\text{ -}5x10^{3}$
Marn	3–70
Killer	1–100
Alüvyon ve kumlar	10–800
Petrol kumları	4–800
Granit	$3x10^{2}\text{ -}10^{6}$
Diyorit	$10^{2}\text{ -}10^{6}$
Andezit	$20\text{ -}5x10^{7}$
Diyabaz	$20\text{ -}5x10^{7}$
Gabro	$10^{3}\text{ -}10^{6}$
Bazalt	$10\text{ -}10^{7}$
Gnays	$7x10^{4}\text{ -}3x10^{6}$
Mermer	$10^{2}\text{ -}2.5x10^{8}$
Kuvarsit	$10\text{-}2x10^{8}$
Şeyl	$20\text{ -}2x10^{3}$

2.4. Özdirenç Ölçüm Yöntemi

2.4.1. Ölçü sistemi

Doğru akım özdirenç ölçü düzeneği Şekil 2.1'deki gibi gösterilebilir. Bu düzenekte, bir doğru akım güç kaynağı (akümülatör), bir akımölçer (ampermetre) ve bir gerilim farkı ölçer (voltmetre) gereklidir. Bu ölçü sisteminde iki noktada yere çakılmış elektrotlar yardımı ile doğru akım istenilen lokasyona uygulanır (A ve B akım elektrotları (Şekil 2.1)). Bu akım elektrotlarından farklı olarak istenilen iki farklı noktaya çakılmış elektrotlar yardımıyla, bu iki elektrot arasında oluşan gerilim farkı ölçülür (M ve N gerilim elektrotları (Şekil 2.1)). Kullanılan elektrotlar genelde paslanmaz çelikten yapılmıştır. Yaklaşık birkaç yıl öncesine kadar ölçü sisteminin hassasiyeti için gerilim elektrotları bakır-sülfat çözeltili fincanlardan (pot'lar) yapılırken, günümüzde imal edilen ölçü aletleri, doğal kutuplaşma (self-potential) etkisini giderecek şekilde imal edildiğinden gerilim elektrotu için de çelik'ten yapılmış elektrotlar kullanılmaktadır.

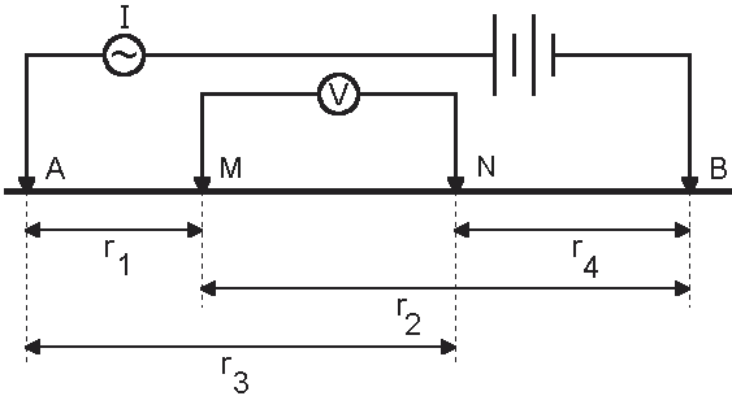


Şekil 2.1. Arazide elektriksel özdirenç ölçü sistemi. (VanNostran & Cook, 1966).

Şekil 2.1'de belirtilen A' dan (Source) yere verilen akım, yer içinden geçer ve B' ye (Sink) ulaşır. Bu akımdan dolayı, M ve N elektrotlarının arasında oluşan gerilim farkı ölçülür. Ölçülen bu gerilim farkı, tüm elektrotlar arasındaki uzaklığa ve ortamın yapısına bağlıdır. Örneğin, akım elektrotları, iki taş arasına sıkıştırılırsa, akım geçmez ve M ve N arasında gerilim farkı oluşmaz (Candansayar & Başokur, 2001).

2.4.2. Elektrot dizilimleri

Elektriksel yerdirenci ölçümlerinde A, B akım ve M, N gerilim elektrotlarının farklı konumlarına göre farklı elektrot dizilimleri önerilmiştir. Bu dizilimlerin üzerinde yapılan uygulamalarda bunların birbirlerine göre farklı kayaç yapılarında üstünlükleri olduğu vurgulanmaktadır. Bu ölçü değerleri ve kullanılan elektrot diziliminin **k** geometrik faktörü (dizilim katsayısı) kullanılarak bu ölçü konumu için görünür özdirenç (ohm.m biriminde) hesaplanır. Genel bir elektrot diziliminde yer alan 4-elektrot (**A, B** akım ve **M**, **N** ise gerilim elektrotları) Şekil 2.2'de verilmektedir. Aynı yer için farklı elektrot dizilimi ile ölçülen gerilim farkları ve dolayısı ile görünür özdirenç değerleri de farklı olmaktadır. Geleneksel elektrot dizilimleri, elektrotların belirli bir simetri merkezine göre, çizgi boyunca dizilmesinden elde edilen; Schlumberger, Wenner, dipole-dipole ve pole-dipole dizilimleridir.



Şekil 2.2. Genel bir elektrot diziliminde yer alan A ve B akım, M ve N gerilim elektrotlarının pozisyonları (Candansayar & Başokur, 2001).

Bu dizilimlerin yanı sıra, kullanılan çok-elektrotlu ölçü sistemlerine uygun ve uygulamada etkili olan farklı dizilimler de önerilmektedir. Şekil 2.3'de bu elektrot dizilimleri gösterilmektedir. Yer direnci ölçümlerinde yukarıda gösterilen genel dizilimler yerine disipline edilmiş "standart" ve "özel dizilimler" tercih edilir. En yaygın kullanılan elektrot dizilim türleri Şekil 2.3'de gösterilmiştir. Bu dizilimler amaca yönelik seçilmektedir. Schlumberger ve Wenner dizilimi derin amaçlı araştırmalarda kullanılmaktadır. Yanal süreksizliklerin belirlenmesinde ise "pole-dipole" dizilimi iyi sonuç vermektedir. Maden aramalarında daha çok dipole-dipole ve "Gradient" dizilimleri kullanılmaktadır.

Elektrod Dizilimi	*Geometrisi*	*K*	*Ölçülen*
(a) Schlumberger	$\overline{AB} \geq 5\overline{MN}$ (veya $n \geq 3$ olmalıdır)	Genel olarak $K = \frac{\pi}{4}\overline{MN}\left[\left(\frac{\overline{AB}}{\overline{MN}}\right)^2 - 1\right]$ dir. Eğer, MN=a ve AM=NB=na alınırsa $\pi n(n+1)a$	$\rho_a(AMNB)$
(b) Wenner		$2\pi a$	$\rho_a(AMNB)$
(c) Dipol-dipol		$\pi n(n+1)(n+2)a$	$\rho_a(ABMN)$
(d) "Pole-dipol" sol (AMN)		$2\pi n(n+1)a$	$\rho_a(AMN)$
(e) "Pole-dipol" sağ (MNB)		$2\pi n(n+1)a$	$\rho_a(MNB)$
(f) İki-Yönlü Üç-Elektrod (İYÜE) dizilimi	$\overline{CO} \geq 10\overline{AO}$	$2\pi n(n+1)a$	$\rho_a(AMN)$ ve $\rho_a(MNB)$

Şekil 2.3. Farklı mühendislik işlerinde yaygın olarak kullanılan özel elektrot dizilimleri (Candansayar & Başokur, 2001).

Arkeolojik amaçlı çalışmalarda ise yarım-Wenner, yarım-Schlumberger, twin probe (Aspinal & Lynam, 1970), Gradient (Schlutz, 1985), odaklanmış (focused) dizilimler (Grandinetti, 1967), üç gerilim elektrotlu sistemler (Wenner-α, Wenner-β ve Wenner-γ) (Carpenter & Haberjam, 1956), iki-yönlü üç-elektrot (Candansayar v.d., 1999; Candansayar & Başokur, 2001) dizilimleri kullanılmaktadır. Bu dizilimlerin birçoğu, araştırmacılar tarafından incelenmiş ve arkeolojik araştırmalarda geleneksel dizilimlerden daha iyi sonuç verdiği gözlenmiştir (Brizzollari & Bernabini 1979, Orlando v.d., 1987).

Bu tez çalışmasında seçilen arazi ölçüm lokasyonu terk edilmiş bir gölet olduğu için çalışmanın amacına yönelik olarak (gölet tabanındaki tabakaları ve burada bulunması beklenen su derinliğinin ve yayılımının tespit edilmesi) arazi çalışmalarında 3 farklı elektrot dizilimi kullanılmıştır. Bu dizilimler pole-pole, pole-dipole ve combine pole-dipole elektrot dizilimleridir.

2.4.3. Çok-elektrotlu ölçü sistemi ve iki-yönlü üç-elektrot dizilimi

Doğru akım özdirenç yöntemini arazide uygulamak zahmetli ve pahalı olduğundan, bu yöntemin uygulandığı ilk zamanlarda amaca yönelik, profil ölçüsü veya düşey elektrik sondajı verisi toplanırdı. Günümüzde geliştirilen çok-elektrotlu (multi-electrod) düzenekler sayesinde ölçü alımı kolay ve hızlı hale getirildiğinden (VanOvermeeren & Ritsema, 1988; Griffiths vd., 1990; Dahlin, 1996) sondaj-profil ölçüleri alınabilmekte ve ölçüler 2-Boyutlu olarak değerlendirilmektedir.

Çok-elektrotlu ölçü aletleri için iki-yönlü üç-elektrot (iki yönlü üç elektrot) dizilimi kullanışlıdır (Şekil 2.3 f). Bu dizilim ile alınan verilerin 2-boyutlu ters çözümünün, klasik elektrot dizilimleri (dört elektrot dizilimleri olan Wenner ve Schlumberger ile pole-dipole ve dipole-dipole) ile ölçülmüş verilerin ters çözümünden daha iyi sonuç verdiği daha önceki çalışmalarda üzerinde çalışılan konular arasındadır (Candansayar v.d., 1999; Candansayar & Başokur, 2001). Araştırmacılar, iki-yönlü üç elektrot diziliminin özellikle arkeolojik araştırmalarda diğer elektrot dizilimlerine göre daha kullanışlı olduğunu göstermişlerdir.

İki-yönlü üç elektrot diziliminin uygulanmasında, A ve C noktalarından akım uygulanır ve M, N arasındaki potansiyel fark ölçülür, daha sonra da B ve C noktaları için ölçü alımı tekrarlanır (Şekil 2.3f). n=2 için aynı işlemler uygulanır. n sayısı araştırılmak istenen araştırma derinliğine göre belirlenir. Ölçüler iki yönden de ayrı ayrı akım verilerek alındığından iki yönlü olarak adlandırılır. A ve B noktalarındaki elektrotların nokta akım kaynağı gibi davranabilmesi için $CO \geq 5AO = 5BO$ olmalıdır (Şekil 2.1f). C elektrotu profil doğrultusuna dik uzak bir noktaya yerleştirilirse bir profil ölçüsü boyunca yerinde sabit tutulabilir. Bu dizilimle bir noktada "Düşey Elektrik Sondajı" yapmak için sadece A (veya B) elektrotu her ölçü alımı sonucu 'a' mesafesi kadar kaydırılır. Profil ölçüsü alabilmek için her ölçüm sonunda A,B,M ve N noktalarındaki elektrotlar 'a' mesafesi kadar profil doğrultusu boyunca kaydırılır. C elektrotu profil doğrultusuna dik ve kullanılacak en büyük AB/2 değerinde en az on kat uzak bir noktaya konursa, bütün profil ölçüsü boyunca yerinde sabit kalabilir (Candansayar & Başokur, 2001).

İki-yönlü üç elektrot dizilimi için geometrik katsayı ve görünür özdirenç hesabı izleyen Şekilde yapılabilir. A ve C noktasından yere akım uygulandığında eşitlik (2.2) bağıntısından özdirenç , ρ_A (AMN); ve geometrik katsayı k_A;

$$\rho_A = k_A (\Delta V/I) \qquad k_A = 2 \cdot x \cdot a \cdot n(n+1), \; n= 1,2,3, \ldots \tag{2.4}$$

olarak bulunur. Benzer Şekilde B ve C elektrotları ile yere akım uygulandığında ρ_{MNB}(MNB) ve k_B;

$$\rho_B = k_B(\Delta V/I) \quad k_B = 2 \cdot x \cdot a \cdot n(n+1), \qquad n=1,2,3,\ldots \tag{2.5}$$

olarak bulunur. Eğer A ve B verilirse görünür özdirenç ve k değerleri;

$$\rho_{AB} = k_{AB}(\Delta V/I) \quad k_{AB} = x \cdot a \cdot n(n+1), \qquad n=1,2,3, \ldots \tag{2.6}$$

şeklinde bulunur. Burada k_A ve k_B birbirine eşit ve k_{AB} ile;

$$k_A = k_B = 2\, k_{AB} \tag{2.7}$$

ilişkisi bulunmaktadır. Ayrıca süperpozisyon ilkesine göre;

$$\rho_{AB}=(\rho_A+\rho_B)/2 \tag{2.8}$$

şeklinde hesaplanabilir (Karous & Pernu 1985). n≥3 olması durumunda yukarıdaki elektrot dizilimi "İki Yönlü Yarım-Schlumberger Dizilimi" olarak isimlendirilebilir (Van Overmeeren & Ritsema, 1988; Griffiths v.d., 1990; Dahlin, 1996).

2.5. Farklı Elektrot Dizilimleri İçin Sinyal Katkı Kesiti

Yeryüzünde herhangi bir elektrot dizilimi için ölçülen toplam gerilim farkı (ΔV) tekdüze (izotrop), yarısonsuz (homogen) ortam için yarım küre hacmi içindeki tüm noktaların gerilim farklarının toplamıdır. Roy ve Apparao (1971), yarısonsuz tekdüze bir ortamda ölçülen toplam gerilim farklarına (ΔV) katkısı olan yarım küre hacmi içindeki herhangi bir noktanın gerilim farklarının ΔV(x,y,z) ;

$$\Delta V(x,y,z)=\frac{\rho I}{2\pi}\left[\frac{x(x-a)+y^2+z^2}{(x^2+y^2+z^2)^{3/2}\left[(x-a)^2+y^2+z^2\right]^{3/2}}-\frac{(x-a)(x-a-b-c)+y^2+z^2}{\left[(x-a)^2+y^2+z^2\right]^{3/2}\left[(x-a-b-c)^2+y^2+z^2\right]^{3/2}}\right.$$
$$\left.-\frac{x(x-a-b)+y^2+z^2}{(x^2+y^2+z^2)^{3/2}\left[(x-a-b)^2+y^2+z^2\right]^{3/2}}+\frac{(x-a-b)(x-a-b-c)+y^2+z^2}{\left[(x-a-b)^2+y^2+z^2\right]^{3/2}\left[(x-a-b-c)^2+y^2+z^2\right]^{3/2}}\right]dxdydz \tag{2.9}$$

bağıntısı ile hesaplanacağını göstermişlerdir. Burada "ρ" yarısonsuz ortamın özdirenci ve "*I*" yere uygulanan akımdır. Bu bağıntı (x,y,z) kartezyen koordinatlarda yazılmıştır. Burada (x,y) yeryüzü düzlemini ve z-ekseni ise yer içi doğrultusunu göstermektedir. Elektrotlar x-doğrultusu boyunca dizilmiş olsun. Bu durumda A, B akım elektrotu ve M, N gerilim elektrotu olmak üzere; A elektrotu (0,0,0) noktasında, M elektrotu (a,0,0) noktasında, N elektrotu (a+b,0,0) noktasında, B elektrotu ise (a+b+c,0,0) noktasındadır. (x,y,z) noktalarındaki ΔV (x,y,z) larını istenen elektrot diziliminde hesaplamak için a,b ve c katsayılarını değiştirmek yeterlidir (Roy & Apparao, 1971).

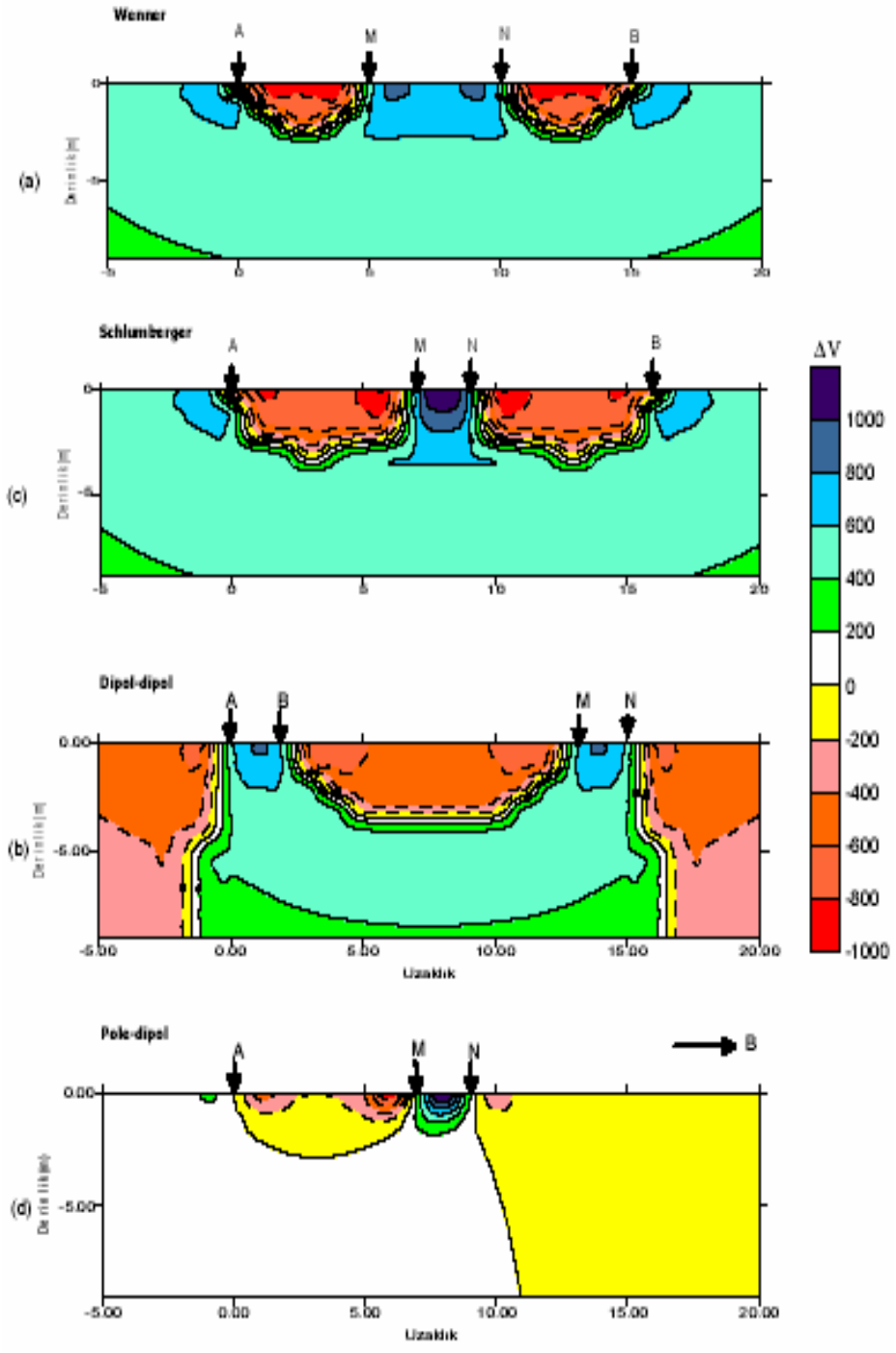
.

Örneğin a=b=c alınırsa, ΔV(x,y,z) ları Wenner elektrot dizilimi için hesaplanır. Eşitlik (2.4) ile herhangi bir (x,y,z) noktasında hesaplanan ΔV(x,y,z) yarısonsuz ortamın cevabı olan toplam gerilim farkına bölünür (Roy & Apparao, 1971).

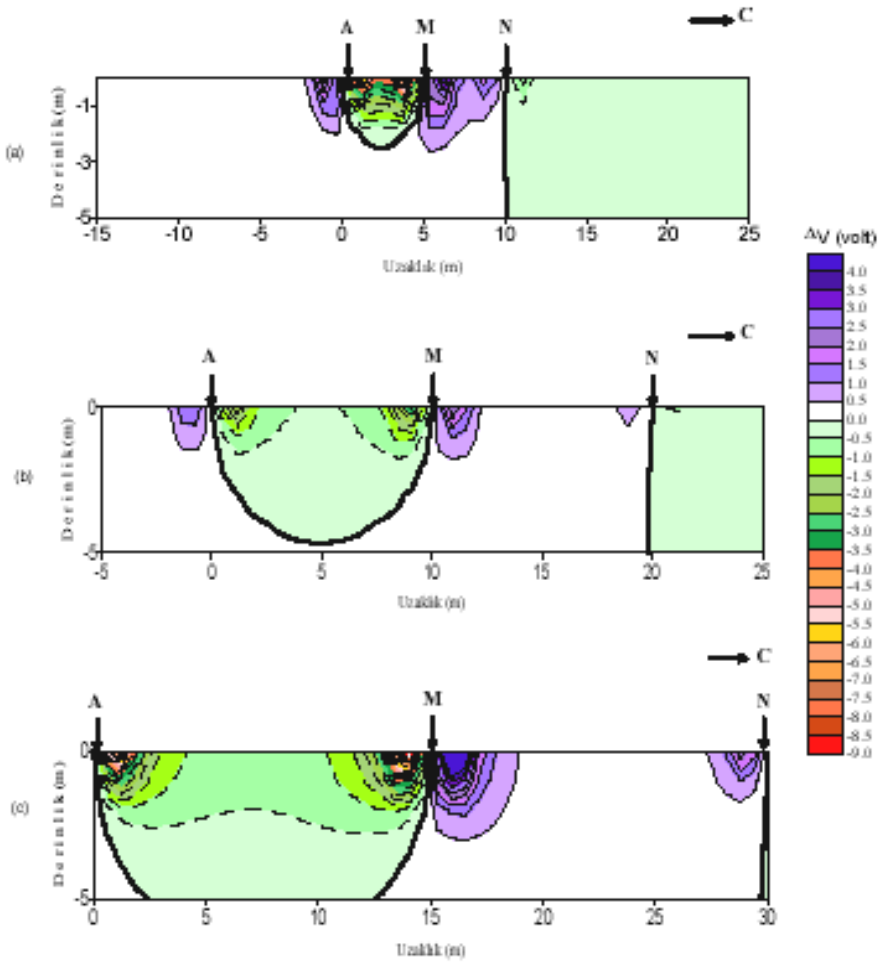
Barker (1979) Eşitlik (3.4) kullanarak x-z düzlemi üzerinde yeryüzünde ölçülen toplam ΔV'na katkısı olan noktaların ΔV(x,y,z)'nı hesaplayarak Schlumberger, Wenner, dipole-dipole ve üç gerilim elektrot dizilimleri (Wenner-α, Wenner-β ve Wenner-γ) için eşdeğer eğri (contour) haritası çizmiştir. Çizdiği bu haritalarına genel olarak **''Sinyal Katkı Kesiti ''** (Signal Contribution Section) demiştir. Sinyal katkı kesiti, elektrotların belli bir konumunda, ölçülen toplam gerilim farkına (ΔV) katkısı olan bütün noktalardaki gerilim farklarının ΔV(x,y,z) elektrot dizilimi doğrultusuna dik düşey yönde bir düzlem üzerinde işaretlenerek çizilen kontur haritalarıdır.

Wenner, Schlumberger, dipole-dipole ve pole-dipole elektrot dizilimleri için sinyal katkı kesiti Şekil 2.4'de, Şekil 2.5'de yarım-Wenner ve İki yönlü üç elektrot dizilimi için olanı Şekil 2.6'da görülmektedir. Elektrot dizilimleri için çizilen bütün sinyal katkı kesitlerinde, akım ve gerilim elektrotları arasında kalan bölgede ΔV(x,y,z) değerleri negatif değerli, gerilim elektroları arasında kalan bölgede ΔV(x,y,z) ise pozitif değerli hesaplanmıştır. Bu durum şu Şekilde açıklanabilir. Özdirenci "ρ" olan tekdüze bir ortamda, 0 (sıfır) "ρ" özdirençli bir cisim düşünelim. Burada iki durum söz konusudur. Birinci durum, gömülü cisim bir akım ve gerilim elektrotu arasında kalıyor ise, kendi özdirencinin tersi yönünde ölçülen özdirenci değiştirir. Örneğin $\rho 0 > \rho$ ise, ölçülen görünür özdirenç $\rho_a < \rho$ olur. Tersi durumda, yani $\rho_0 < \rho$ ise, ölçülen görünür özdirenç $\rho_a > \rho$ olur.

İkinci durum ise gömülü cismin iki gerilim veya dipole-dipole elektrot dizilimi için özel durum olan iki akım elektrotu arasında kalmasıdır. Bu durumda gömülü cisim, ölçülen özdirenç değerini kendi yönünde değiştirir. Örneğin $\rho_0 > \rho$ ise, ölçülen görünür özdirenç $\rho_a > \rho$ olur. Tersi durumda, yani $\rho_0 < \rho$ ise, ölçülen görünür özdirenç $\rho_a < \rho$ olur. Bu nedenle birbirine yakın bir akım ve bir gerilim elektrotu arasında kalan bölge **''Negatif Katkı Bölgesi''** (Şekil 2.8) iki gerilim veya iki akım elektrotu arasında kalan bölge ise **''Pozitif Katkı Bölgesi''** (Şekil 2.7) olarak isimlendirilebilir (Barker, 1979).



Şekil 2.4. Sinyal katkı kesiti; a) Wenner elektrot dizilimi, b) Schlumberger elektrot dizilimi, c) Dipole-dipole elektrot dizilimi, d) Pole-dipole elektrot dizilimi (Barker 1979).



Şekil 2.5. Yarım-Wenner elektrot diziliminde; AB/3, 10 ve 15 m değerleri için AMN sinyal katkı kesiti (a), (b), (c) (Barker,1979).

Bu kavramları daha açık anlatmak için Şekil 2.7 c'deki gibi bir model ele alabiliriz. Burada ρ=100ohm.m özdirencinde tekdüze bir ortam içinde yeryüzünden 0.25 m. derinlikte 0.5x0.75 m boyutunda ve ρ_a=10ohm.m özdirençli bir cisim konsun. Bu model için Wenner, yarım-Wenner ve İki yönlü üç elektrot dizilimine göre 2-B modelleme yapıldığında görünür özdirenç profil eğrilerinde cisim negatif katkı bölgesinde iken ortamdaki özdirençten büyük görünür özdirenç'lerin hesaplandığı, pozitif katkı bölgesinde iken ortamdaki özdirençten küçük özdirenç değerinin hesaplandığı görülmektedir (Şekil 2.7). Yine aynı model için tekdüze ortamın özdirenci ρ=10ohm.m ve cismin özdirenci ρ=100ohm.m alındığında ise bu

olayın tam tersi gözlenmektedir (Şekil 2.7). Bu modele göre elektrotlar arasındaki mesafeden küçük ve yüzeye yakın bir kütlenin, negatif veya pozitif katkı bölgesinde olmasına göre ölçülen gerilim farklarını artıracak veya azaltacak yönde bir etkisi olur (Barker, 1979).

Dogru akım özdirenç yönteminin başlıca sorunu elektrotlar ile çevre kayaçlar arasındaki kontak sorunudur. Bu sorun Şekil 2.4 deki sinyal katkı kesitinde görülmektedir. Burada, ölçülen toplam ΔV' na en çok elektrotların yakınındaki noktaların katkısı olmaktadır. Bu nedenle yüzeye yakın ve küçük cisimler eğer elektrotlara yakın ise ölçülen toplam ΔV' na büyük oranda bu cismin katkısı olacaktır. Eğer amaç derin araştırmalar ise yüzeye yakın gömülü kütlelerin sinyale katkısı gürültü olarak değerlendirilecektir ve bu etki giderilmeye çalışılacaktır. Bu gürültüyü gidermek için (Barker, 1981) offset-Wenner elektrot dizilimini önermiştir. Fakat arkeolojik amaçlı jeofizik çalışmalarda amaç daha çok yüzeye yakın gömülü kütlelerin araştırılması olduğundan, bu kütlelerin ölçülen toplam ΔV' na katkısı sinyal olarak değerlendirilir. Bu nedenle bu kütleyi en iyi temsil eden belirtiyi verecek elektrot dizilimi araştırılmalıdır (Barker, 1981).

2.5.1. Schlumberger elektrot dizilimi sinyal katkı kesiti

Bu dizilim için sinyal katkı kesiti, Şekil 2.4' de görülmektedir. Burada, pozitif katkı bölgesi olan M ve N elektrotları arası, sinyale katkısı en çok olan bölgedir. Küçük ölçekli bir cisim bu bölge arasında olursa, ölçülen sinyal büyük oranda bu cisimden etkilenecektir. Eğer Düşey elektrik sondajı yöntemi ile veri ölçülüyor ise, bu etki yüzünden veri çok yanlış yorumlanabilir. Yanal süreksizliklerin belirlenmesinde, bu yöntem yerine yarım-Schlumberger ve iki yönlü üç-elektrot dizilimleri önerilebilir (Barker, 1979).

2.5.2. Wenner ve yarım-Wenner elektrot dizilimi sinyal katkı kesiti

Şekil 2.4' de Wenner ve Şekil 2.5' de yarım-Wenner elektrot dizilimi sinyal katkı kesitleri görülmektedir. Burada sinyale en çok elektrotlara yakın noktaların katkısı vardır. Pozitif katkı bölgesi ve negatif katkı bölgeleri ise eşit hacimli ve

yaklaşık eşit değerlerde sinyale katkısı vardır. Şekil 2.7.c' de görülen model için Wenner elektrot dizilimine göre 2-B modelleme yapıldığında, cisim negatif ve pozitif katkı bölgesinde iken, genel olarak bütün AB/3 seviyelerinde ortamın özdirencinden küçük görünür özdirenç değerleri hesaplanmıştır (Şekil 2.7.b3). Yarım-Wenner dizilimi için ise cisim negatif katkı bölgesinde iken ortamın özdirencinden biraz büyük görünür özdirenç değerleri hesaplanmış (Şekil 2.8). Cisim pozitif katkı bölgesinde iken ise, ortamın özdirencinden biraz küçük görünür özdirenç değerleri hesaplanmıştır (Şekil 2.7.b1, b2). Genel olarak görünür özdirenç seviye eğrilerinde cisimden dolayı ani bir sıçrama görülmemektedir. Cismin etkisi tüm eğrilerde; genel bir azalma veya artma şeklinde görülmektedir. Buna göre, Wenner ve yarım-Wenner elektrot dizilimi ile yanal ayrımlılığın iyi incelenemeyeceği söylenebilir. Tabakalı bir ortamda ise bu dizilimin düşey ayrımlılığı büyüktür (Barker, 1981).

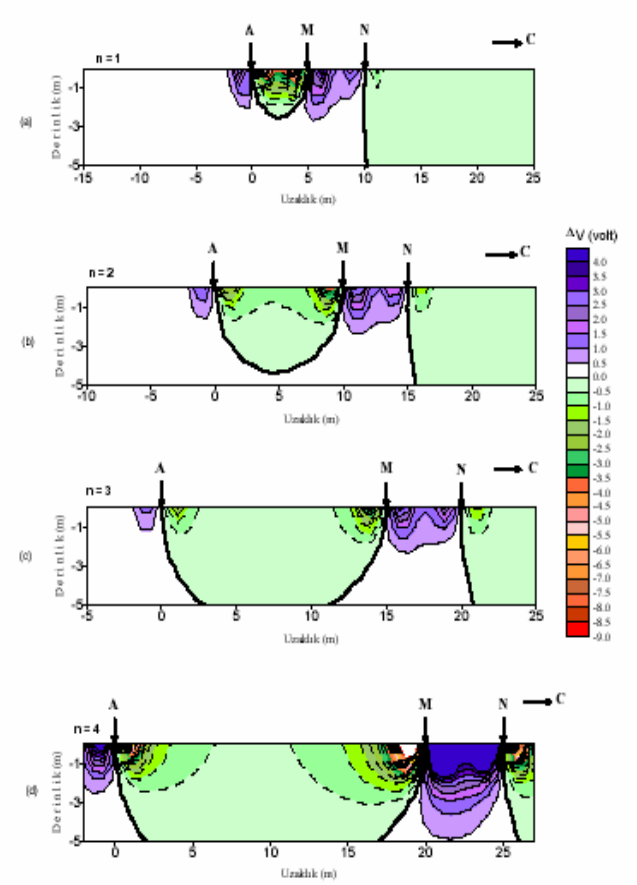
2.5.3. Dipole-dipole elektrot dizilimi sinyal katkı kesiti

Bu dizilimde akım elektrotları ve gerilim elektrotları arasındaki bölgeler pozitif katkı bölgesidir (Şekil 2.4). Sinyale en çok bu bölgelerin katkısı olmaktadır. Eğer, bu dizilim ile düşey elektrik sondajı ölçüsü alınmıyor ise, akım veya gerilim elektrotları arasındaki gömülü bir cismin sinyale katkısı büyük olacaktır. Amaç, yer içinin 1-Boyutlu özdirenç yapısını incelemek ise, bu cismin etkisi gürültü olacaktır ve yanlış yorumlara sebep olacaktır.

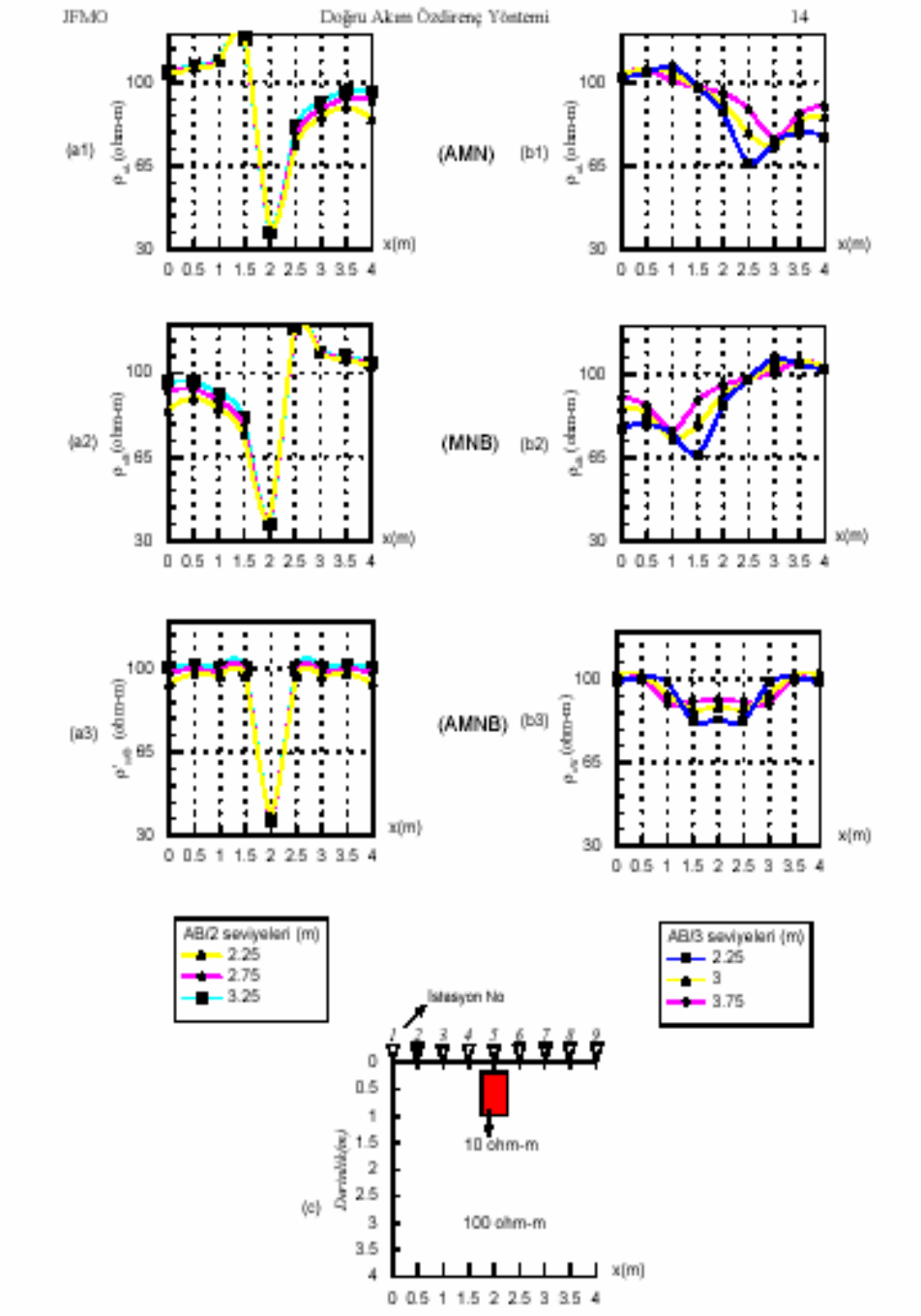
Dipole-dipole elektrot dizilimi ile ölçülen görünür özdirenç değerleri, AB-akım ve MN-gerilim elektrotu çiftlerinin orta noktasından, 45 derece açı ile inilen doğruların kesim noktasına konur. Bu nokta N ve B elektrotları arasında bir noktadır. Eğer yanal yöndeki süreksizlikler inceleniyor ise, en fazla pozitif katkı bölgesindeki cisimlerin, sinyale katkısı olacaktır. Ancak ölçülen görünür özdirenç, B ve N arasına yazıldığından, cismin yeri doğru bulunamayacaktır. Bu açıklamalara göre, dipole-dipole elektrot diziliminin pek kullanışlı olduğu söylenemez (Barker, 1981).

2.5.4. İki-yönlü üç elektrot dizilimi sinyal katkı kesiti

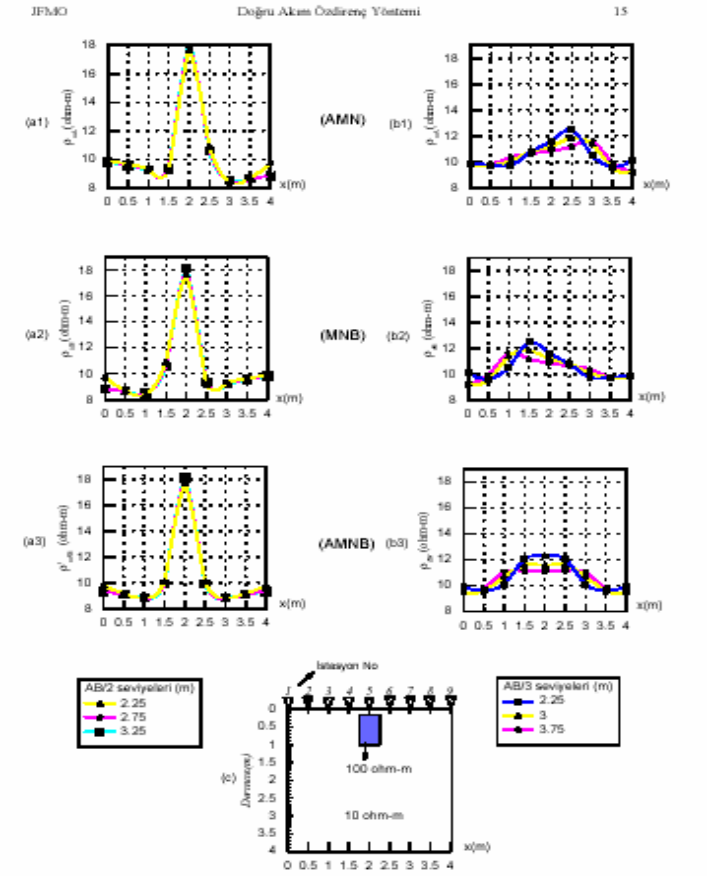
İki yönlü üç elektrot dizilimi için sinyal katkı kesiti Şekil 2.6'da görülmektedir. Burada, sinyale en çok pozitif katkı bölgesindeki noktaların katkısı olduğu görülmektedir. Derin amaçlı Düşey elektrik sondajı ölçüsü alınıyorsa pozitif katkı bölgesindeki yüzeye yakın gömülü bir kütlenin sinyale katkısı çok büyük (veya küçük) değerli gürültü olacaktır (Şekil 2.7.a1,a2). Fakat yüzeye yakın gömülü kütlelerin araştırılması amaçlı profil ölçüsü alınıyorsa, aynı cisim negatif katkı bölgesinde ise sinyale katkısı az görülecektir (Şekil 2.8). Cisim pozitif katkı bölgesinde iken ise sinyale katkısı çok büyük olacaktır.



Şekil 2.6. İki-yönlü üç elektrot diziliminde; a=5 m ve n=1,2,3 ve 4 değerleri için AMN sinyal katkı kesiti (a), (b), (c), (d) (Barker, 1981).



Şekil 2.7. İki-yönlü üç elektrot dizilimi için; AMN(a1), MNB(a2) ve AMNB(a3) profil eğrisi iki yönlü yarım-Wenner için; AMN(b1), MNB(b2), Wenner dizilimi (AMNB) (b3) görünür özdirenç profil eğrileri ve 2-B model (c) (Pozitif Katkı Bölgesi) (Barker, 1981).



Şekil 2.8. İki-yönlü üç elektrot dizilimi için; AMN(a1), MNB(a2) ve AMNB(a3) profil eğrisi. İki yönlü yarım-Wenner dizilimi için; AMN(b1), MNB(b2), Wenner dizilimi (AMNB) (b3) görünür özdirenç profil eğrileri ve 2-B model (c) (Negatif Katkı Bölgesi). (Barker, 1981).

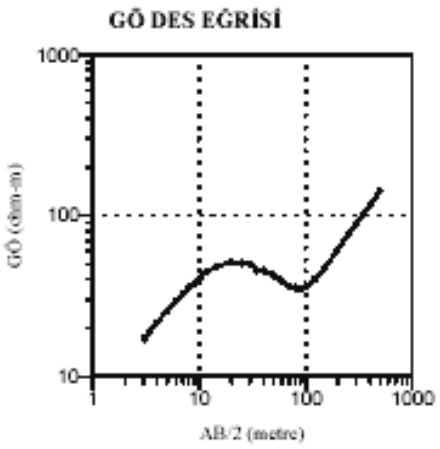
İki yönlü üç elektrot diziliminde ölçülen görünür özdirenç değeri M ve N elektrotlarının orta noktasının altına yerleştirilmektedir. Buna göre pozitif katkı bölgesindeki bir cismin yeri doğru olarak belirlenmiş olacaktır. Ayrıca cisim negatif katkı bölgesinde iken sinyale katkısı az olmaktadır ve bu etki iki yönlü üç elektrot dizilimi ile ölçülen görünür özdirenç değerlerine uygulanan iki-yönlü gradyen dönüşümü (Barker, 1981) ile giderilebilir (Şekil 2.8).

2.6. Ölçü Alım Sistemleri

2.6.1. Yer elektrik sondajı

Yer elektrik sondajında (geoelectric sounding) sabit bir nokta simetri merkezi olacak Şekilde, her ölçüm sonucunda bu noktanın iki tarafında elektrotların bir çizgi boyunca açılmasıyla uygulanır Bu ölçü tekniğinin uygulanışında arazide bir simetrik elektrot dizilimi (Wenner veya Schlumberger) daha yaygın kullanılır. Böylece yer içinde düşey yöndeki özdirenç değişimi incelenmeye çalışılır. Bu nedenle yöntem, "Düşey Elektrik Sondajı" (düşey elektrik sondajı) (vertical electrical sounding) olarak da isimlendirilmektedir (Bhattacharya ve Patra, 1968).

Bu Şekilde ölçülen veri, x-ekseni AB/2 ve y-ekseni ölçülen görünür özdirenç (ρ_a) değerleri olacak Şekilde çizilir (Şekil 2.9). Elde edilen eğri, **"düşey elektrik sondajı eğrisi"** olarak adlandırılır. AB/2 ve ölçülen görünür özdirenç değerlerinin çok geniş aralıkta değişmesinden dolayı, genel olarak düşey elektrik sondajı eğrisinde her iki eksen' de logaritmiktir. düşey elektrik sondajı ölçüleri, yeraltı suyu, ana kaya üstündeki örtü kalınlığının bulunması vb. amaçlar için kullanılır.



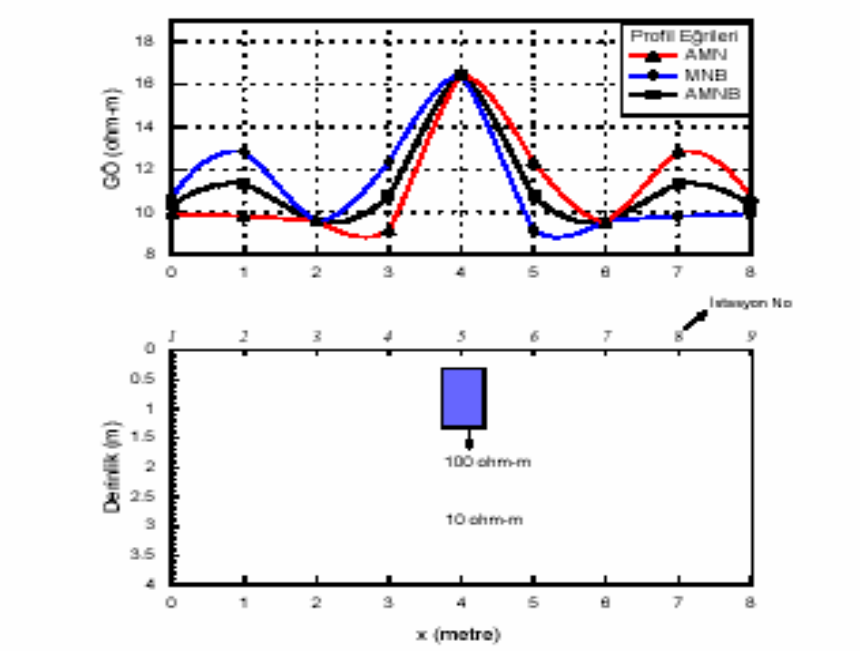
Şekil 2.9. Schlumberger elektrot dizilimi için düşey elektrik sondajı eğrisi. (Bhattacharya & Patra, 1968).

Düşey elektrik sondajı verilerinin nicel yorumunu yapmak için bu verilere ters çözüm uygulanmalıdır. düşey elektrik sondajı verileri, yer içinin 1-B olduğu kabul edilerek, 1-B ters çözüm yapılır. Ters çözüm sonunda, tabakalı ortama ait özdirenç ve kalınlıklar hesaplanır.

2.6.2. Profil ölçüsü

Yer içinde yanal süreksizlikleri belirlemek amacı ile profil ölçüsü alınır. Bunun için, elektrot dizilimine bağlı olarak elektrotlar arası uzaklık araştırılmak istenen derinliğe göre sabit tutulur (geometrik katsayı sabit). Bu Şekilde, bir doğru boyunca her ölçü sonucu elektrotlar belli örnekleme aralıklarında kaydırılır. Burada AB/2 uzaklığı, araştırılmak istenen derinliğe bağlı olarak seçilir. Örneğin, 2 metre eninde ve 1 metre derinlikteki tarihi bir sur duvarı araştırılmak isteniyorsa, iki-yönlü üç elektrot dizilimi için MN aralığı 2 metre ve AB/2 mesafesi 3, 5, 7 metre seviyeleri için profil ölçüsü alınmalıdır. Fakat bazı şartlarda, örtü tabakasının yüksek özdirençli olması durumunda, bu mesafe yetersiz olabilir ve AB/2 mesafesi artırılmak zorunda kalınabilir (Bhattacharya & Patra, 1968).

Profil ölçüsü verileri, x-ekseni ölçü noktalarının koordinatı (veya istasyon noktalarının numarası) ve y-ekseni ölçülen görünür özdirenç değerleri olacak Şekilde bir eğri olarak sunulur. Bu eğri, **"profil eğrisi"** olarak adlandırılır (Şekil 2.10). Klasik elektrot dizilimlerinde, akım ve potansiyel elektrotları bir doğru boyunca bakışım merkezine göre dizilmekteydi. Bu bakışım merkezleri "İstasyon noktaları" olarak isimlendirilmektedir. Ölçülen görünür özdirenç değerleri bu noktanın altına yazılmaktadır.



Şekil 2.10. İki-yönlü üç elektrot dizilimi ve AMNB görünür özdirenç profil eğrileri ve görünür özdirenç değerlerinin hesaplandığı 2-B modeli. (Bhattacharya & Patra, 1968).

Profil ölçüsü verilerine çeşitli süzgeçler (Brizollari v.d., 1989) ve dönüşümler (Candansayar, 1997) uygulanarak, yanal süreksizliklerin daha net görülmesi sağlanmaya çalışılabilir. Ayrıca, eğer araştırılan yapı biliniyorsa, bu yapıya benzer iki boyutlu modeller oluşturularak düz çözüm yapılır. Düz çözüm sonucu hesaplanan profil eğrileri ve arazide ölçülen profil eğrileri karşılaştırılarak, yanal süreksizliği oluşturan yapı belirlenmeye çalışılır.

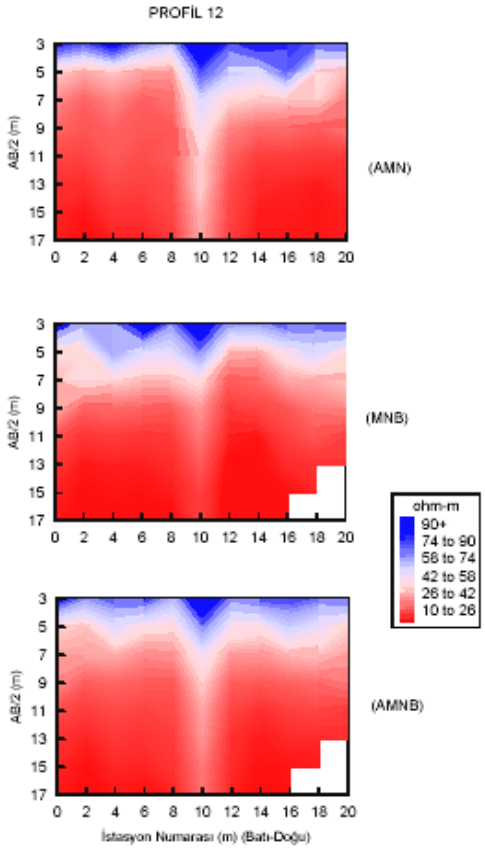
Bu ölçü tekniği daha çok baraj yeri seçimlerinde, ana kaya da kırık ve çatlakların belirlenmesi, arkeolojik yapıların bulunması, fay yapılarının uzanım ve doğrultularının bulunması amacı ile kullanılır.

2.6.3. Sondaj-profil ölçüsü

Bu ölçü tekniği, sondaj ve profil ölçü tekniklerinin bir arada kullanılmasıdır. Bir çizgi boyunca, belirlenen noktalarda (istasyonlarda) ölçülen düşey elektrik

sondajı verilerinin bir araya getirilmesi ile elde edilir. Burada, tüm istasyonlarda farklı AB/2 değerleri için ölçü alımında elektrotların doğrultusu aynı olmalıdır. Aksi durumda, ölçü değerleri anizotropiden etkilenir ve bu Şekilde ölçülen verinin 2-B ters çözümü yapılamaz (Bhattacharya ve Patra, 1968). Ölçülen verilerden, her farklı AB/2 seviyesi için profil eğrisi ve her istasyon için sondaj eğrisi elde edilebilir. Ayrıca, tüm veriler kullanılarak yapma-kesit (Pseudo-section) elde edilir (Şekil 2.11).

Günümüzde çok-elektrotlu ölçü aygıtları sayesinde, ölçü alımı hızlı ve kolay olmaktadır. Bu nedenle, sondaj-profil ölçüsü, yaygın ölçü tekniği olmuştur. Bu yöntem ile ölçülen verilerden yer içindeki hem düşey hem de yatay yöndeki özdirenç yapısı hakkında bilgi edinilebilir. Yöntem düşey elektrik sondajı ve profil ölçüsü tekniklerinin faydalarını kapsamaktadır (VanOvermeeren & Ritsema, 1988; Griffiths,vd. 1990; Dahlin, 1996).

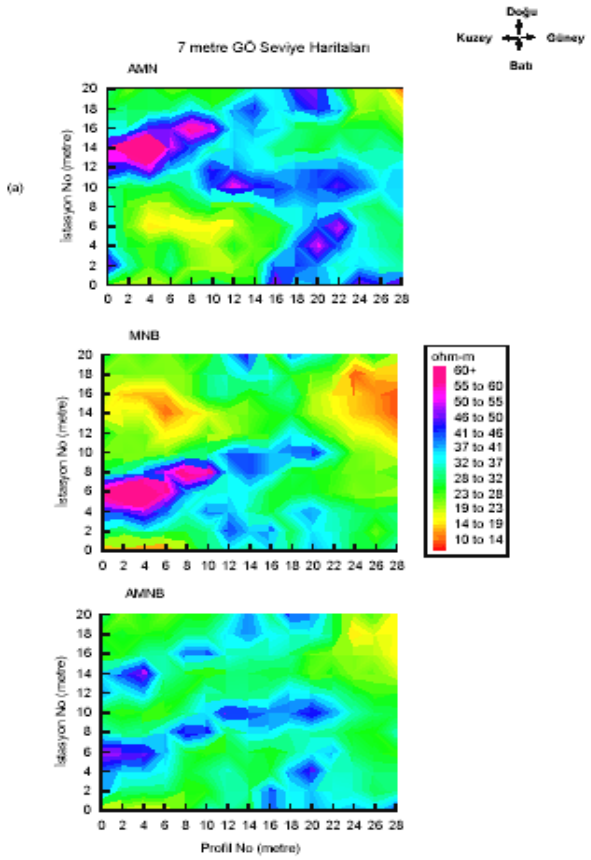


Şekil 2.11. Profil 12 için sırasıyla, AMN(a), MNB(b) ve AMNB(c) yapma kesitleri (Candansayar v.d., 1999).

2.6.4. Görünür özdirenç seviye haritası

x-y düzlemi üzerinde, birbirine paralel çizgiler boyunca, sabit bir AB/2 seviyesi için ölçülmüş profil ölçüsü verileri olsun. Ölçü istasyonlarının bu x-y düzlemi üzerinde işaretlenmesi ve her istasyonda ölçülmüş tüm görünür özdirenç verileri ile çizilen kontur haritalarına görünür özdirenç seviye haritası denilmektedir. Seviye haritaları, belirli bir seviyede, x- ve y yönündeki yerin özdirenç yapısı hakkında bilgi verir. Bu tip haritalar, arkeolojik amaçlı araştırmalarda çok kullanılmaktadır. Örneğin, Şekil 2.12 de, Alaca Höyük arkeolojik sahasında AB/2=7 metre seviyesi için görünür özdirenç seviye haritası görülmektedir.

Günümüzde çok-elektrotlu ölçü aygıtları sayesinde, ölçü alımı hızlı ve kolay olmaktadır. Bu nedenle, sondaj-profil ölçüsü, yaygın ölçü tekniği olmuştur. Bu yöntem ile ölçülen verilerden yer içindeki hem düşey hem de yatay yöndeki özdirenç yapısı hakkında bilgi edinilebilir. Yöntem düşey elektrik sondajı ve profil ölçüsü tekniklerinin faydalarını kapsamaktadır (Van Overmeeren & Ritsema, 1988; Griffiths,vd. 1990; Dahlin, 1996). Örneğin, Şekil 2.12 de, Alacahöyük arkeolojik sahasında AB/2=7 metre seviyesi için görünür özdirenç seviye haritası görülmektedir.



Şekil 2.12. AB/2=7 metre için İki-yönlü üç-elektrot dizilimi AMN, MNB ve AMNB görünür özdirenç seviye haritaları, (Candansayar v.d., 1999).

2.7. Veri Yorumu

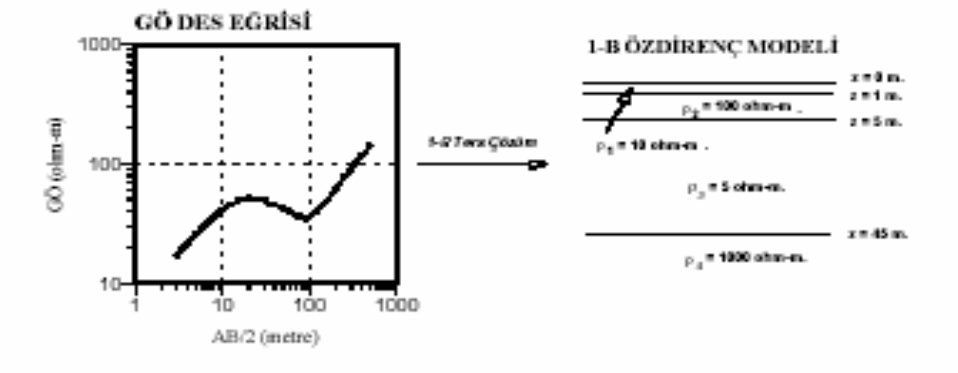
Doğru akım özdirenç yönteminde veriler, 1, 2 ve 3-Boyutlu olarak yorumlanabilir. Veriler nitel ve nicel olarak iki farklı şekilde yorumlanır. Nitel yorum, doğrudan jeofizik veri üzerinden yapılan yorumdur. Doğru akım özdirenç yönteminde, jeofizik veri ölçülmüş görünür özdirenç değerleridir. Bu tip yorum yüzeyde bulunan kayaç yapısı hakkında kabaca bir bilgi verir. Doğru akım özdirenç yönteminin ilk uygulanmaya başladığı 1910' ların başında benzer makro seviyeli detaylı olmayan yorumlar yapılmıştır. Nicel yorum ise jeofizik verilerin (görünür özdirenç), bir matematiksel işlemden geçirildikten sonra elde edilen yer elektrik parametreleri (özdirenç) ile yapılan yorumdur.

Elektriksel özdirenç ölçümleri yardımıyla elde edilen verilerden, ölçüm yapılan lokasyonun jeolojik parametrelerinig elde edilmesi işlemine **"Ters Çözüm"** (inversion) denmektedir

Jeofizik bilim dalında ters çözüm konusunda Tarantola (1987), Menke (1989), Parker (1994) ve Meju (1994)' nun araştırmaları ve yayınları diğer araştırmacılara yardımcı olmaktadır. Ters çözüm, günümüzde kullanılan tüm jeofizik yöntemlerinde temel veri işlem tekniğidir. doğru akım özdirenç yönteminde de verilerin nicel yorumunu yapabilmek için, ters çözüm veri işlemi standart olmuştur. doğru akım özdirenç yönteminde, eldeki veriye göre 1, 2 ve 3-Boyutlu ters çözüm yapılmaktadır (Barker, 1981).

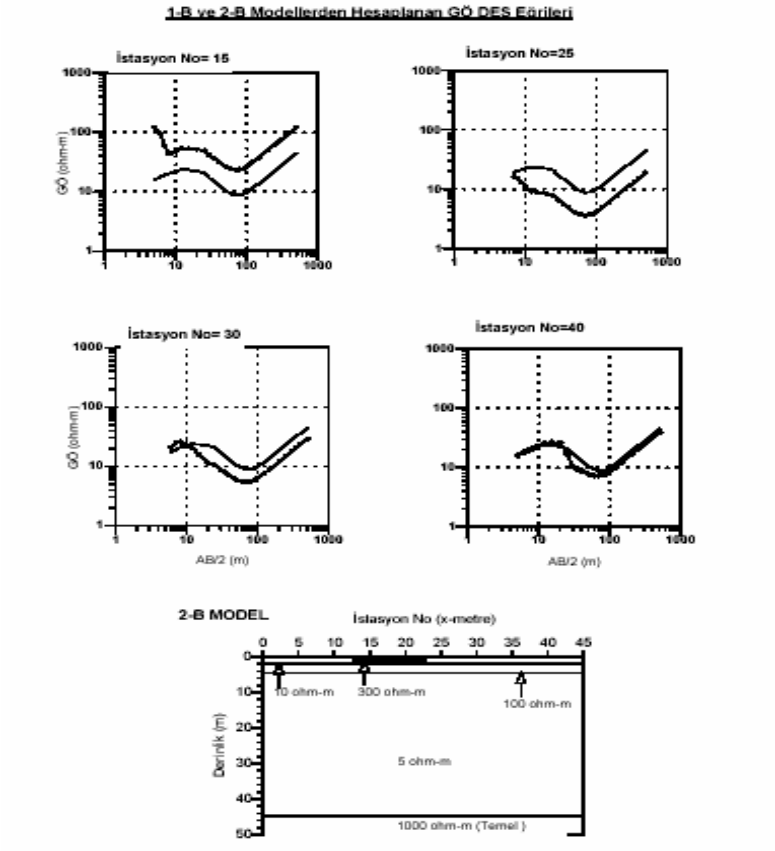
2.7.1. Doğru akım özdirenç verilerinin 1-Boyutlu yorumlanması

Bir noktada ölçülmüş düşey elektrik sondajı verisi bize düşey yönde özdirenç değişimi hakkında bilgiler verir. Bu nedenle düşey elektrik sondajı verilerinin yorumu bir çeşit 1-Boyutlu incelemedir. Bu verilerin nicel yorumunun yapılabilmesi için, verilere 1-Boyutlu ters çözüm uygulanmalıdır. düşey elektrik sondajı verilerinin 1-Boyutlu ters çözümünde, yer içinin özdirencine göre kendi içinde homojen ve izotrop katmanlardan oluştuğu varsayılır. Bu varsayıma göre düşey elektrik sondajı, görünür özdirenç verilerine uygulanan ters çözüm sonucu bu tabakalara ait özdirenç ve kalınlıklar hesaplanır (Şekil 2.13). (Başokur, 1984, 1994, 1999).



Şekil 2.13. Görünür özdirenç düşey elektrik sondajı eğrisi ve 1-B ters çözüm sonucu elde edilen 1-B özdirenç modeli (Başokur, 1999).

Mühendislik işlerinde yapılan 1-Boyutlu yorumlarda, yüzeye yakın küçük ölçekli 2 ve 3-Boyutlu yapıların etkisi düşünülmelidir. İletkenliği çevresine göre çok küçük veya büyük olan bu tip yapılar, ölçülen görünür özdirenç düşey elektrik sondajı verilerini büyük oranda değiştirirler. Bu yapıların etkisinden dolayı, düşey elektrik sondajı eğrilerinin 1-Boyutlu yorumlanması sırasında ortamda olmayan ince tabakalar bulunabilir. Bir başka sonuç da tabakaların özdirenç değerleri olduğundan çok büyük veya küçük hesaplanabilir. Bu durum, uygulamacıların çok karşılaştıkları ve 1-Boyutlu yorumda hata yapmalarına sebep olan önemli bir konudur (Candansayar & Başokur, 2001). Bu problemi daha açık anlatmak için Şekil 2.14'deki modeli ele alalım. Burada, tabakalı ortamda, yüzeye yakın küçük ölçekli bir yapı görülmektedir. Cismin eni 5 metre, boyu ise 2 metre'dir. Cismin özdirenci ile tabakaların kalınlıkları ve özdirençleri ise Şekil üzerinde yazılmıştır. Önce bu cismin olmadığı tabakalı durum (1-Boyutlu) için Schlumberger elektrot dizilimine göre düşey elektrik sondajı görünür özdirenç değerleri hesaplanmıştır. Bu cismin olması durumunda (2-Boyutlu) ise 15., 20., 30. ve 40. metrelerde yine aynı dizilim için görünür özdirenç düşey elektrik sondajı değerleri hesaplanmıştır (Candansayar & Başokur, 2000,2001).



Şekil 2.14. Tabakalı ortam (1-B) (sürekli eğri) ve örtü tabakasına gömülü özdirenci yüksek küçük bir cisim olması durumunda (2-B) (yuvarlak sembol'lü eğri) hesaplanan görünür özdirenç düşey elektrik sondajı eğrileri ve 2-B modeli (Candansayar & Başokur 2001).

Şekil 2.13'de gösterilen eğriler; 1-Boyutlu model için hesaplanan görünür özdirenç degeri, düşey elektrik sondajı eğrisi düz çizgi ve cismin olması durumu için hesaplanan düşey elektrik sondajı eğrileri ise yuvarlak işaretli eğrilerdir. Tabakalı ortam için çizilen düşey elektrik sondajı eğrisinin 4-tabakalı modeli temsil ettiği görülmektedir. Fakat cismin olması durumunda çizilen düşey elektrik sondajı eğrilerine bakıldığında, özellikle cisme yaklaştıkça saçılmalar görülmektedir. Bu cismin varlığından habersiz olunduğunda, bu eğriler tabakalı olarak değerlendirilebilirler. Ayrıca tam cismin üstünde (15 no' lu istasyon)(Şekil 2.14), 2-Boyutlu model için hesaplanan düşey elektrik sondajı eğrisinin, diğer eğriye paralel olarak yukarı doğru kaydığı görülmektedir. Bu etki, manyetotellürik yönteminde

olduğu gibi dogru akım özdirenç yönteminde de kayma etkisinin (Shift effect) olduğunu göstermektedir (Candansayar & Başokur, 2001).

Bu etkinin sebebi "sinyal katkı kesitindeki" negatif ve pozitif katkı bölgesi kavramları kullanılarak açıklanabilir. 15 no'lu istasyonun (şekil 2.14) tam altında özdirenci, çevresine göre yüksek olan bir yapı vardır. Bu yapı gerilim elektrotları arasında kalmaktadır ve ölçülen görünür özdirenç değerlerini kendi özdirenci doğrultusunda artırmıştır. Bütün AB/2 değerleri için alınan ölçülerde, bu cisim gerilim elektrotları arasında kaldığından tüm düşey elektrik sondajı eğrisi yukarı doğru sıçramıştır. 20 no' lu istasyonda (Şekil 2.14) ise cisim A akım elektrotunun solunda, yani pozitif katkı bölgesinde kaldığından ve bu az da olsa ölçülen değeri artırmıştır. Diğer tüm AB/2 değerleri için ise, cisim A-akım ve M-gerilim elektrotu arasında, yani negatif katkı bölgesinde kalmıştır. Bu nedenle de, ölçülen görünür özdirenç değeri, bu cismin özdirencinin tersi yönünde değişmiştir. Sonuç olarak tüm eğride aşağı doğru bir kayma görülmüştür.(Candansayar & Başokur 2001).

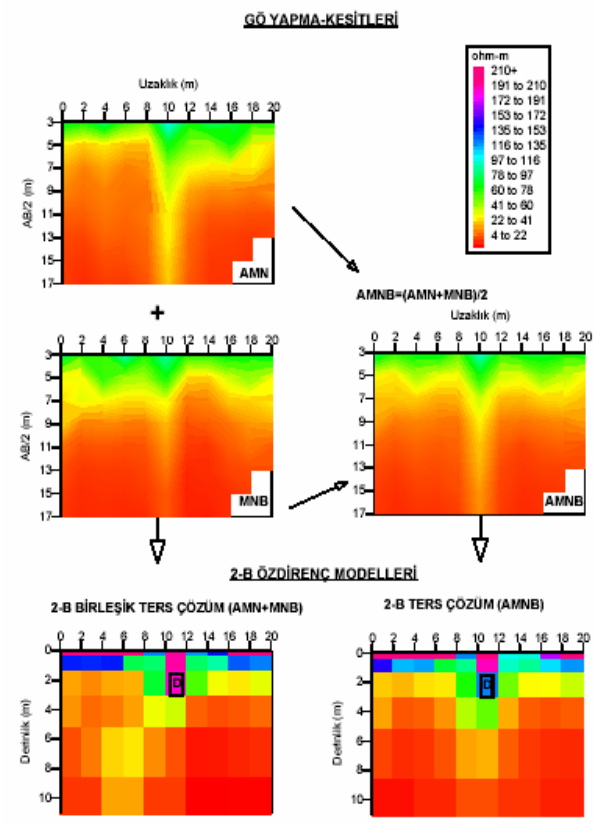
Şekil 2.14'de gösterilen 20 no'lu istasyondaki kaymış veriye 1-Boyutlu ters çözüm yapılması durumunda, tabakaların kalınlıkları ve özdirençleri, gerçek değerinden çok farklı hesaplanacaktır. Özellikle 1-Boyutlu yorum yapan uygulamacıların bu konuya önem vermeleri gerekmektedir. Yine doğru akım özdirenç yönteminde, bir doğru boyunca farklı istasyonlarda ölçülmüş görünür özdirenç profil verileri de bize yaklaşık bir derinlikteki yanal süreksizlik hakkında bilgi vermektedir. Bu verilerin yorumu da 1-Boyutlu bir yorumdur. Profil verilerinin 1-Boyutlu yorumunda ölçülen görünür özdirenç verilerine, çeşitli süzgeçler ve dönüşümler uygulanmaktadır.

2.7.2. Doğru akım özdirenç verilerinin 2-Boyutlu yorumlanması

Sondaj-profil ölçü tekniği ile elde edilmiş veriler, hem yanal hem de düşey yönde yer içinin 2-Boyutlu özdirenç yapısı hakkında bilgi verirler. Bu yöntem ile ölçülmüş görünür özdirenç değerleri ile yapma-kesit (pseudo section) çizilebilir. Çizilen bu veriler üzerinden nitel yorum yapılabilir. Nicel yorum için ise görünür özdirenç yapma-kesit verilerinin 2-Boyutlu ters çözümünün yapılması gerekmektedir. 2-Boyutlu ters çözümde yer içinin, özdirenci x ve z yönünde değişen,

y yönünde ise sabit kalan bloklardan oluştuğu varsayılır. Bu kabule göre yapılan 2-Boyutlu ters çözüm sonucunda, ölçülen görünür özdirenç değerlerinden tanımlanan ilgili bloklara ait özdirenç değerleri hesaplanır. Hesaplanan bu görünür özdirenç değerleri ile 2-Boyutlu özdirenç modeli elde edilir (Uchida, 1991; Loke & Barker,1995; Candansayar & Başokur, 2001).

Şekil 2.15'de Alacahöyük arkeolojik sahasında, iki-yönlü üç-elektrot dizilimi ile bir doğru boyunca ölçülen sondaj-profil verilerinin 2-Boyutlu ters çözümü görülmektedir (Candansayar v.d., 1999). Burada AMN, MNB ve AMNB yapma kesitler ve AMN ve MNB verilerinin 2-Boyutlu birleşik ters çözümü (joint inversion) ile AMNB verilerinin 2-Boyutlu ters çözümü sonucu bulunan 2-Boyutlu modeller görülmektedir. Günümüzde veriler çok-elektrotlu ölçü aletleri sayesinde sondaj-profil ölçüsü şeklinde ölçülmektedir. Bu verilerin yorumunda ise 2-Boyutlu ters çözüm bütün dünyada standart veri işlem tekniği olmuştur.



Şekil 2.15. Alacahöyük, profil 14 için iki yönlü üç elektrot dizilimi görünür özdirenç yapma kesitleri ve 2-B ters çözüm sonucu elde edilen modeller (Candansayar v.d. 1999).

2.7.3. Doğru akım özdirenç verilerinin 3-Boyutlu yorumlanması

Birbirine paralel doğrultular boyunca ölçülmüş sondaj-profil verisi, bize yer içinin 3-Boyutlu özdirenç dağılımı hakkında genel bir bilgi verir. Bu verilerin sunumu, genelde bütün doğrultular için yapma-kesitlerin alt alta çizilmesi yada, bütün AB/2 değerleri için elde edilen seviye haritalarının bir arada çizilmesi şeklinde olur. Son yıllarda bazı grafik yazılımları sayesinde (MATLAB vb.) bu veriler ile hareketli Şekiller hazırlanmakta ve istenilen derinlik veya kesitler hareketli olarak izlenmektedir. Eldeki bu 3-Boyutlu veriyi tek bir şekil ile görmek mümkün değildir. 3-Boyutlu verinin nicel yorumunu yapmak için, görünür özdirenç verilerine 3-Boyutlu ters çözüm uygulamak gerekmektedir (Ellis&Oldenburg,1994; Spitzer, 1995). Günümüzde, 3-Boyutlu veri toplamak mümkündür. Fakat bu verilerin 3-Boyutlu ters çözümü çok yavaş olmaktadır. Bu konuda arazide uygulama örnekleri az olmasına rağmen bilgisayar teknolojisindeki gelişmelere bağlı olarak giderek artmaktadır.

2.7.4. Çok-Elektrotlu ölçü sistemleri

Çok-elektrotlu (multi-electrod) ölçü sistemleri konusunda ilk çalışma Van Overmeeren & Ritsema (1988) tarafından yapılmıştır. Daha sonra Griffiths v.d.'nin (1990) ve Dahlin'nin (1996) çalışmaları vardır. Son 4–5 yıldır ise bu sistemler geniş kapsamlı olarak uygulamacılar tarafından kullanılmaktadır. Bu sistemlerde ölçü alımı çok kolay ve hızlıdır. Çok-elektrot'lu ölçü sistemlerinde, elektrotlar bir çizgi boyunca belli aralıklarda çakılırlar. Bu elektrotların sayısı değişebilir. Üreticiler genel olarak 20, 30 ve 50 elektrotlu düzenekler üretmektedirler. Bu elektrotları ölçü aygıtına bağlamak için özel üretilmiş bir kablo kullanılır. Bu kablo sistemin en pahalı gereçlerindendir. Örneğin 20 elektrotlu ve her elektrot arası 5 metre olacak şekildeki bir düzenek için kullanılan kablo 9–10 bin dolar civarındadır. Yer ile teması sağlayan elektrot ise, eski düzeneklerde de kullanılan paslanmaz çelik elektrotlardır.

Çok-elektrotlu sistemlerde, ölçü aygıtı bilgisayar kontrollüdür. Tüm elektrotlar tek kablo ile ölçü aygıtına bağlandıktan sonra, istenilen elektrot dizilimi için sıralı olarak tüm noktalarda ölçü alınır. Sonuçta, belli istasyonlarda ve belli

AB/2 değerleri için ölçüm yapılmış olur ve doğrudan sondaj-profil ölçüsü alınmış olur. Bu veriler ile yapma-kesit elde edilir. Bu ölçü sistemi ile bir kişi tek başına arazide ölçü alabilir. Çok-elektrotlu sistemler günümüzde 3-Boyutlu veri elde etmek için de kullanılmaktadır. Bu amaç için, birbirine paralel doğrular boyunca belli aralıkta elektrotlar çakılır ve tüm elektrotlar tek kablo aracılığı ile alete bağlanır. Daha sonra istenilen elektrot dizilimi için ölçüler bilgisayar kontrollü alınır. Böylece 3-Boyutlu veri elde edilir. 3-Boyutlu verilerin ölçümünde genellikle pole-pole elektrot dizilimi kullanılır. Bu dizilimde, akım ve gerilim elektrotlarından birer tanesi sonsuz kabul edilecek uzak noktalara konur. Günümüzde ve ilerdeki yıllarda, dogru akım özdirenç yöntemi artık 3-Boyutlu veri toplama ve 3-Boyutlu yorum yönünde gelişecektir. 3-Boyutlu yorum için ise 3-Boyutlu ters çözüm programlarına ihtiyaç vardır (VanOvermeeren & Ritsema, 1988; Griffiths, 1990; Dahlin, 1996).

2.8. Elektriksel Özdirenç Ölçümlerinin Ülkemizdeki Uygulamaları

Elektriksel özdirenç ölçümleri yerkürenin sığ ve derin yerlerindeki tabakaların incelenmesi amacıyla ölçüm sistemleri olarak geliştirilmiştir. Ölçüm yapılan ortamı fiziksel olarak bozmayan bu ölçüm yöntemi, bu özelliği sayesinde çok daha fazla uygulama alanı bulmuştur. Maden arama faaliyetlerinin ülkemizde çoğunlukla Maden Tetkik Arama (MTA) kurumuna bırakılması, madencilikle uğraşan kamu kuruluşlarının sondaj çalışmaları dışında daha başka bir arama geliştirme çalışması yapmaması, elektriksel özdirenç ölçümlerinin maden mühendislerince kullanılmasını uzunca bir süre engellemiş gibi görünmektedir. Bu yöntem çok önceki yıllarda maden mühendisleri tarafından kullanılsaydı, günümüzde farklı maden mühendisliği alanlarında da pratik olarak kullanılıyor olacağından emin olunabilirdi. Fakat beklentiler ancak günümüzde yapılan çalışmalarla yeni başlatılmıştır.

Elektriksel özdirençler kayaç içindeki kısa mesafelerde hızla değişebilen değerler olduğundan, elektriksel ölçüm yöntemleri cevherli bölgelerin, yatay ve düşey süreksizliklerin, temel kaya derinliğinin, su içeren katmanların, yeraltı boşluklarının, jeotermal enerji kaynaklarının tespiti ve arkeolojik araştırmalarda

gömülü yapıların bulunması gibi birçok alanda yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir.

Elektriksel ölçüm yöntemleri ile yapılan çalışmalara verilebilecek ilk örnek MTA tarafından yürütülen jeotermal enerji arama projeleri olabilir. Denizli'de yer alan jeotermal sahalarda sıcak su kaynağının rezerv durumunun araştırılmasında elektriksel özdirenç ve gravite ölçüm yöntemlerinin katkısı unutulmamalıdır. Çalışma alanı Gediz ve Menderes grabenlerinin kenarlarında yer alan Tekke Hamam, Kızıldere, Tosunlar, Bölgekaya, Yenice, gölemezli, Karahayıt ve Pamukkale jeotermal sahalarını içerir. Bu sahalarda termal etkinlik 34°-98°C arasında değişen sıcak su kaynakları, fümeroller, hidrotermal çökeller ve termal alterasyonlar şeklinde görülür. Gravite etüdü jeotermal kaynakların aranmasında ön prospeksiyon amaçlı yapılmıştır. Özdirenç etüdü, maksimum elektrot açıklığı 2000–6000 metre olmak üzere Schlumberger elektrot dizilimiyle yapılmıştır. Toplam olarak 500'ü aşkın noktada yapılan elektrik sondaj ölçüleriyle yaklaşık 500 km²'lik bir alan incelenmiştir. Model-eğri albümleri ve bilgisayar yardımıyla değerlendirilen saha verilerinden, jeotermal alanlara işaret eden anomalilerin konum ve uzanımlarıyla ilgili bilgiler elde edilmiştir. Kızıldere, Tosunlar, Bölmekaya, Yenice, Gölemezli, Karahayıt ve Pamukkale sahalarında saptanan bu anomaliler üzerinde, yörede jeotermal enerjinin bilimsel ve endüstriyel ölçeklerde belirlenebilmesi amacıyla sondajlar önerilmiştir. Bu çalışma neticesinde Denizli jeotermal alanlarında yapılan jeofizik çalışmalar jeotermal akiferin durumunu ve boyutlarıyla ilgili olarak önemli bilgilerin elde edilmesini sağlamıştır (Özgüler v.d., 1986).

Ülkemizde gerçekleştirilen bir başka elektriksel yerdirenci ölçüm çalışması ise metalik maden atıkları taşıyan nakil boru hattı civarının incelenmesi konusunda yapılan bir araştırmadır. Bu çalışmada Çayeli-Rize bölgesinde bulunan bir bakır madeninin atıklarını taşıyan boru hattının etrafındaki zemin, elektrik özdirenç yöntemi ile araştırılmıştır. Çayeli Bakır İşletmesinin (ÇBİ) atıkları, karışım tankında deniz suyu ile karıştırılarak bir boru hattıyla Karadeniz'e 350 m derinlikteki oksijensiz ortama bırakılmaktadır. Tanktan çıkarak atık malzemeyi denize taşıyan boru hattının güzergâh projesi ve uzanımı ise bilinmemektedir. Bu aşamada, Samsun'dan Gürcistan'a uzanan Karadeniz sahil yolu projesi kapsamında, söz konusu karışım tankının yanından geçen yeni bir köprü projesi nedeniyle, kazı

yapmaksızın boru hattının güzergâhının bulunması gündeme gelmiştir. Çalışma için uygun özdirenç elektrot diziliminin saptanması amacıyla, bir dizi analog modelleme çalışması yapılmıştır. Uygun dizilim olarak dipole-dipole seçilmiş ve birleşik sondaj-profil özdirenç ölçüm tekniği kullanılarak, dört ayrı profil üzerinde özdirenç ölçümleri yapılmıştır. Elde edilen görünür özdirenç kesitlerine 2 boyutlu en küçük kareler ters çözümü uygulanarak, yer içinin özdirenç dağılımı ortaya çıkarılmıştır. İlgili boru hattının uzanımı ve olası derinliği bu çalışma sonucunda belirlenmiştir, (Dondurur & Sarı, 2003).

Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu (TKİ) Genel Müdürlüğü Etüt Proje ve Tesis Daire Başkanlığı tarafından elektriksel özdirenç yöntemiyle TKİ-GLİ Eskihisar ocağında ortaya çıkan antik yapıların yerlerinin belirlenmesi çalışmalarında bulunulmuştur. Bu çalışmalarda Ergüder (2004), ilgili kömür madeninin açık ocağında madencilik faaliyetleri sırasında ortaya çıkan antik mezarların devamlılığını araştırmak amacıyla yapılan elektriksel özdirenç çalışmalarını rapor etmektedir. Bu çalışmada ocak sahasında rezistivite (özdirenç) ve jeoradar (yer radarı) yöntemleri uygulanarak mezar, duvar gibi antik yapıların yerleri belirlenmiştir. Çok elektrotlu otomatik rezistivite cihazı ile etüt alanı içerisinde 2–3 metre aralıklarla oluşturulan 48–72 metre uzunluklu toplam 152 adet profil (kesit) üzerinde pole-dipole elektrot dizilimi kullanılarak 15848 adet elektriksel özdirenç profil ölçüsü alınmıştır. TKİ'ye bağlı Güney Ege Linyitleri İşletmesi'nin (GELİ) Muğla ili Yatağan ilçesi Eskihisar ocağında rastlanan antik mezarlarının devamlılığını araştırmak için yapılan ilgili çalışma 2003 yılının mart-mayıs ayları arasında yapılmıştır. Bu çalışmada uygulanan ölçümler maden ocağında kömür üretimi devam ederken yapılmıştır. Ölçüm sonuçlarına göre ilgili lokasyonlarda yapılan arkeolojik kazılar ülkemiz kültürel zenginliklerine yeni arkeolojik değerler katmıştır, (Ergüder, 2004).

Dokuz Eylül Üniversitesi Jeofizik Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyeleri 2004 yılında, dört farklı elektrot dizilimine göre 3-boyutlu sığ yeraltı yapılarının görünür özdirenç modellemesi üzerinde çalışmışlardır. Bu çalışmada ilgili araştırmacılar sonlu-farklar algoritması yardımıyla elektriksel özdirenç yönteminde yaygın olarak kullanılan Schlumberger, Wenner, pole-pole, dipole-dipole elektrot dizilimlerinin bazı 3-boyutlu sığ yeraltı modelleri için bilgisayar ortamı benzetimlerini yapmışlardır. Bu çalışmada üzerinde çalışılan modellerle, sığ jeofizik

araştırmalarda sıklıkla karşılaşılan çevresel, hidrojeolojik ve karstik sorunlar araştırılmak istenmiştir. Benzetimler, çok kanallı veri toplama tekniği temel alınarak, görünür özdirenç kesitleri ve haritalarının hesaplanmasını içermiş ve bunlar birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Yüzeye yakın iletken veya dirençli yapıların varlığı, hedef yapıların derinliklerindeki artış ve modellerin karmaşıklaşması dizilimlerin ürettiği anomalilerdeki ayrımlılığı önemli oranda etkilemiştir. Yapılan bu çalışmada; Loke&Barker (1995) tarafından geliştirilen ve üç boyutlu yapılar için uygulanan sonlu farklar hesaplama tekniği kullanılmış olup, dört ayrı elektrot dizilimi (Schlumberger, Wenner, pole-pole, dipole-dipole) için tasarlanan model yapıların görünür özdirençleri RES3DMOD (Loke, 2001b) bilgisayar programı kullanılarak hesaplanmıştır.

Bu model yapılar değişik hidrojeolojik ortamları ve çevresel sorunları tanımlayabilecek biçimde oluşturulmuştur. Böylece; modellerde kullanılan yapıların boyutları, gömülü derinlikleri ve özdirençlerine bağlı olarak oluşturacakları görünür özdirenç anomalileri hesaplanmıştır. Bu çalışmada kullanılan modeller şunlardır; kuramsal modeller (hidrojeolojik ve çevresel amaçlı sığ araştırmalarda kullanılır), karmaşık modeller (sığ amaçlı aramalarda karmaşık yeraltı durumlarında kullanılır), çevresel ve sızıntı amaçlı tasarımlanan modeller (sıvı atıkların yeraltındaki yayılımının izlenmesinde kullanılır), gömülü bir paleo-kanal modeli (yeraltısuyu tablasının belirlenmesinde kullanılır) ve karstik boşluk modelleri (karstik yapılar ve mühendislik uygulamalarında kullanılır). Bu çalışmada üç boyutlu modelleme çalışması yapılarak doğaya uygun karmaşık modellerin ve kullanılan yöntemler yardımıyla yapılar üzerindeki özdirenç yanıtlarının kısa sürede oluşturulabileceği ortaya koymuştur. Model yapının karmaşıklaşması ve özellikle aranan hedef yapının üzerinde dirençli ya da iletken başka yapıların bulunması durumunda oldukça farklı sonuçlar elde edilmiştir. Çalışmalar sırasında; anomaliye en büyük katkıyı genelde sığ derinlikte bulunan yapılar vermektedir. Böylece yeraltındaki hedef yapıların sığlaşmasıyla görünür özdirenç haritalarından yorum yapmanın, dizilime bağlı olarak değişmekle birlikte, genelde kolaylaştığı; yapıların derinleştiği durumda ise, hem yapma kesitlerin, hem de görünür özdirenç haritalarının daha da karmaşık bir durum aldığı saptanmıştır. Ayrıca; modellerin karmaşıklaşması, özdirenç değerleri arasındaki zıtlığın artması ve yapıların farklı derinliklerde gömülü olma durumu

yapıların belirlenebilirliğini doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle; bu çalışma sığ elektriksel yerdirenci ölçüm araştırmalarında, üç boyutlu çalışma yapılmaz ise, görünür özdirenç değerleri yardımıyla yorum yapmanın önemli sakıncalar içereceğini ortaya koymuştur (Drahor, v.d., 2004).

Boybeyi, (1994) tünel güzergâhlarında elektriksel özdirenç ölçüm yöntemiyle yeraltında bulunan kayaç yapısının çıkarılması üzerinde bir araştırma yapmıştır. Bu PhD çalışmasında, Atatürk barajı civarında önemli bir doğal yapı olan Bozova fayı ve civarı hakkında, özellikle çalışma sahasından geçirilmesi düşünülen su tüneli için elektrik özdirenç yöntemi kullanılarak bölgenin yeraltı yapısı hakkında bilgi elde edilmiştir. Bu çalışmanın iki amacı vardır. Birincisi bölgeden geçirilmesi düşünülen su tüneli için uygun bir yer seçimidir. İkincisi ise bölgede yer alan Yaylak ovasının kot farkından dolayı su baskınına uğrama ihtimali olup olmadığının araştırılmasıdır. Bu sebeplerden dolayı ilgili araştırmada elektrik özdirenç yöntemi kullanılarak bölgenin jeolojisi hakkında bilgiler elde edilmiştir. Bu çalışmada schlumberger elektrot dizilimi kullanılarak 4 hat boyunca 40 adet lokasyonda 173 adet ölçüm noktası ihtiva eden özdirenç profil ölçümleri elde edilmiştir. Ölçüm sonuçlarında elde edilen veriler birkaç farklı metot kullanılarak değerlendirilmiştir. Bu değerlendirme metotları; Yarım Nokta Metodu, Model Eğri Metodu, Bilgisayar ile Değerlendirme Metodu, İteratif Metot ve Direkt Değerlendirme Metodudur. Bütün bu çalışmalar sonucunda elde edilen özdirenç kesitlerine göre bölgede bazı faylar tespit edilmiş ve bu fayların geçirilmesi düşünülen su tüneli için ileride oluşturacağı riskler araştırılıp bazı önlemler alınmıştır. Ayrıca Yaylak ovasının su baskınına uğrama tehlikesinin olmadığı da tespit edilmiştir (Boybeyi, 1994).

Yeraltı suyu araştırmalarında satıh rezistivite ve sismik kırılma yöntemlerinin Milas ovasına uygulanması Kiremitçioğlu (1994) tarafından çalışılmıştır. Bu araştırma; yeraltı suyu kullanılarak sulanması istenen Milas ovasında jeolojik, hidrojeolojik ve su kimyası ile ilgili problemlerin çözümünde satıh rezistivite ve sismik kırılma yöntemlerinin birlikte uygulanmasını kapsamaktadır. Bu çalışmanın satıh rezistivite yöntemiyle yapılması dikkat çekicidir. Bu çalışmada satıh rezistivite yöntemleriyle tuzluluğun yanal ve düşey yönde değişimi izlenirken her iki yöntemin belirlenen lokasyonlarda birlikte uygulanmasıyla yeraltındaki formasyonların derinlik ve kalınlıkları tespit edilerek bu formasyonlardaki tuzluluk mevcudiyeti

belirlenmiştir. Rezistivite ve sismik ölçmelerden elde edilen sonuçlar eş rezistivite haritaları ve kesitleri halinde değerlendirilmiştir. Milas ovasındaki bu çalışmada simetrik Schlumberger ve Wenner elektrot dizilimleri uygulanmış olup düşey elektrik sondaj ölçüleri alınmıştır. Değerlendirme Basic bilgisayar programlama dilinde geliştirilmiş GHOSH (1971) standart eğri hazırlama bilgisayar programı ile yapılarak tabaka parametreleri kontrol edilmiştir. Sonuç olarak rezistivite yöntemiyle bölgedeki tuzluluk oranı, tabakalar ve şarjlı kütle yöntemiyle de yeraltı suyunun akış istikameti araştırılmıştır (Kiremitçioğlu, 1994).

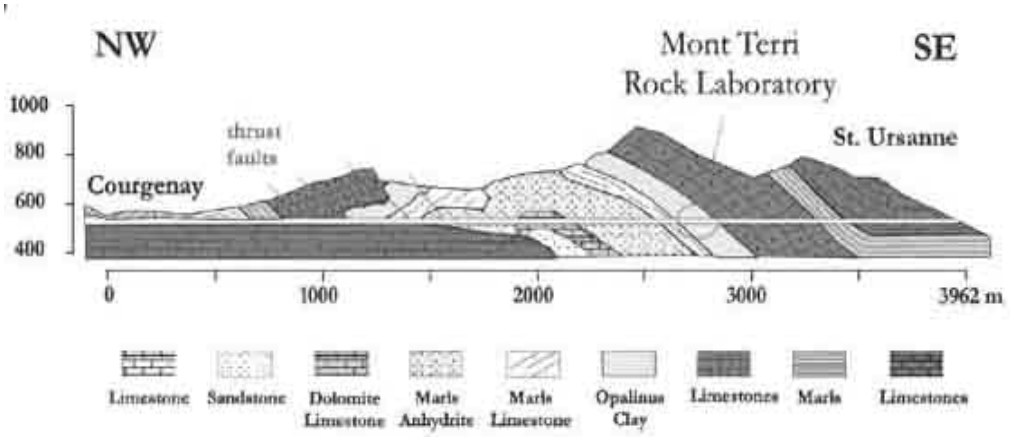
Özdirenç yöntemi ile fay ve dayk türü süreksizliklerin belirlenmesi çalışmaları, arkeolojik araştırmalara da uygulanmıştır. Altuncu'nun (2001) Tarsus Cumhuriyet alanında yaptığı elektriksel özdirenç ölçüm çalışması ülkemiz arkeolojik kazı çalışmalarına bir katkı olmuştur. Bu çalışmada yeraltındaki duvarlar jeolojik olarak dayka benzetilmiştir. Yani yanal olarak bir süreksizlik vardır. Wenner elektrot dizilimi kullanılıp elektrot aralığı 1 m, kaydırma miktarı 0,5 m alınmıştır. Daha sonra veri işlem aşamasında yer modelleri kurularak kuramsal verilere ulaşılmıştır. İlgili arazi çalışmasında ölçülen görünür özdirenç değerleri de kullanılarak dekonvolüsyon yoluyla süzgeç katsayıları bulunmuştur. Böylece uygulama alanı için gürültüleri bastırıp yeraltındaki duvarların belirlenmesini sağlayacak veriye ulaşılmıştır. Bu çalışmada sonuç olarak şunlar elde edilmiştir; Tarsus Cumhuriyet alanında karbonatlı kil taşları ana mimaride kullanılmış belirli seviyelerde çok büyük bloklar halinde olmasına karşılık araştırma alanında çok büyük olmayan farklı boyutlarda yer almıştır. Mimariyi saran moloz yapısı içinde bu duvarlar tek tek belirlenememiş fakat duvar olabilecek alanlar çok geniş belirtiler şeklinde kendini göstermiştir. Mimaride yer alan duvarları daha belirginleştirmek amacıyla bu araştırmada veri işlem tekniklerine başvurulmuştur (Altuncu, 2001).

Hatay-Samandağı'da rezistivite yöntemiyle, bir yapı-kooperatifi inşaat sahasındaki tatlı-tuzlu su girişiminin tespiti yapılmıştır (Ertürk, 1970). Bu çalışmada inceleme mekanı olarak seçilen Hatay-Samandağı kooperatif alanının bazı kesimlerinde su kalitesi bozuk (tuzlu) olup, tuzluluğun anılan sahadaki düşey ve yanal yayılım problemi kullanılan jeokimyasal yöntemlerle ve açılan sondaj kuyularıyla çözümlenememiştir. Elektriksel resistivite ölçüm yöntemleri bu tür problemlerin çözümünde sıkça kullanılan yöntemlerden olduğundan, bu çalışmada da

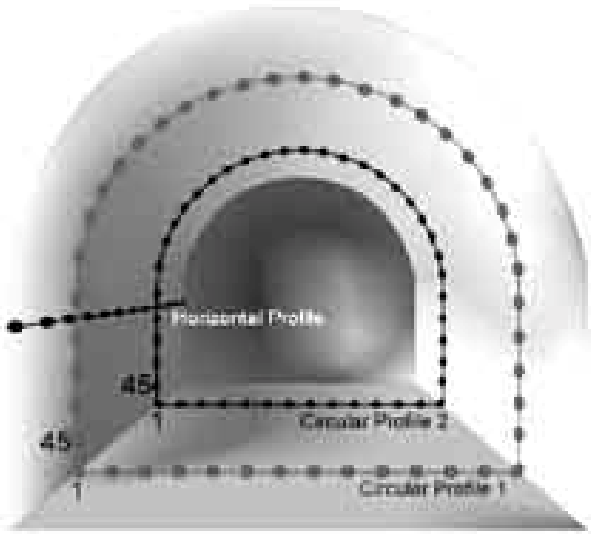
kullanılarak problem çözümlüne katkı sağlanmıştır. Bu çalışmada Wenner elektrot dizilimi kullanılarak sahada su taşıyan formasyonların yayılımı ve geometrisi, tuzlu akifer kısımlarının tespiti ve tuzluluğun sebepleri araştırılmıştır. Araştırmalar neticesinde yer yer killi akifer seviyelerine, yer yer tuzlu killi seviyelere rastlanmıştır. Bölgede tuzlu suyun bulunduğu yerlerde direncin düştüğü tespit edilerek bölgeye tuzlu su girişinin olduğu formasyonlar bulunmuştur. Tuzluluğun denize yakın bölgelerde arttığı rezistivite ölçümleri neticesinde tespit edilerek, tatlı ve tuzlu su girişiminin olduğu noktalar elektriksel özdirenç yöntemiyle tespit edilmiştir (Ertürk, 1970).

Bu konudaki benzer bir yurtdışı çalışmasına burada örnek verilirse konu daha da açıklığa kavuşacaktır. Örnek çalışma İsviçre'de Basel şehrinin 100 km GB'sındaki Mont Terri Kaya Mekaniği Araştırma Laboratuarında yapılmıştır (Kruschwitz & Yaramancı, 2004). Farklı jeolojik formasyonlardan geçen Transjurane A–16 otoyol tünelinin açılması sırasında tünelle ek olarak bir yeraltı kaya laboratuarı inşa edilmiştir. Bu laboratuar yeryüzünden 300 m derinlikte Opalinus kil tabakalarının içinde yer almaktadır (Şekil 2.16). Bu araştırma laboratuarı kapsamında, kil içinde açılan özel bir deney galerisinde Kruschwitz ve Yaramancı'nın (2004) elde ettiği elektriksel direnç ölçüm sonuçları, galeri içine yerleştirilen direnç elektrot düzenleriyle birlikte Şekil 2.17 ve 2.18'de gösterilmektedir.

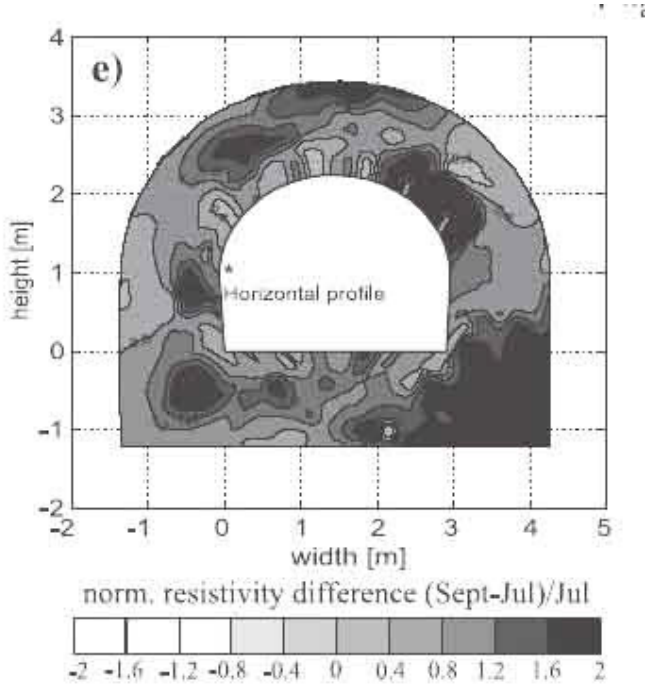
İlgili araştırmada Opalinus kilinin elektriksel direnci 8 ohm.m civarındadır. Araştırma galerisinin açılmasından sonra direnç ölçümleri gerilmelerin yan duvarları fazla etkilemediği gösterirken, galeri tavanında 16–60 ohm.m direnç değerlerinin ölçüldüğü yüksek direnç alanları gözlenmiştir. İlgili araştırmacıların yorumlarına göre bu yüksek direnç bölgesinin nedeni kayacın parçalanması ve kayaç içindeki suyun kaybolmasıdır. Galeri etrafındaki kil anizotropisine bağlı olarak (Şekil 2.19) galeri sağ üst tarafında kil tabakalarında galeri içine doğru ayrışmalar olmuştur. Bunun sonucu da kayaç içinde, bu bölgelerde elektriksel direnç artışına neden olan parçalanmalar gerçekleşmiştir. Şekil 2.18'de görülen düşük ve yüksek direnç bölgeleri, kayaç içindeki parçalanmış bölgelerin dağılımını göstermektedir. Bu Şekilden de anlaşılacağı gibi galeri etrafındaki kayaç içindeki yapısal durumu galeri çeperinden 2 m derinliklere kadar izlenebilmektedir.



Şekil 2.16. İsviçre'deki Mont Terri kaya mekaniği araştırma laboratuar pozisyonu ve Transjurane A-16 otoyol tüneli, (Kruschwitz & Yaramancı, 2004).

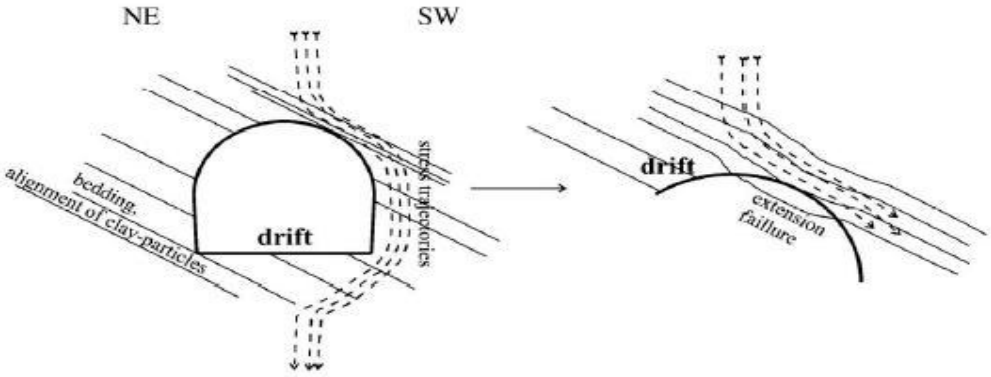


Şekil 2.17. Mont Terri kaya mekaniği araştırma laboratuarında açılan galerinin içine yerleştirilen boyuna ve çevresel elektriksel direnç elektrot lokasyonları, (Kruschwitz & Yaramancı, 2004).



Şekil 2.18. Araştırma galerisi çevresinde, temmuz ve eylül aylarındaki direnç değişim grafiği, (Kruschwitz &Yaramancı, 2004).

Bu örnek araştırmanın sonuçları incelendiğinde araştırma galerisi çevresinden elde edilen direnç değişim grafiklerinin benzerlerinin gerçek maden ocağı galerilerinde de elde edilebileceği düşünülebilir. Eğer yeraltı ve açık ocaklarda özellikle üzerinde durulan galeri ve şevlerin etrafındaki dirençlerin elde edilmesi sağlanırsa Şekil 2.18'de ilgili kaya mekaniği laboratuarı uygulamasında olduğu gibi maden ocaklarında da yapısal bozuklukların yerleri ve lokasyonları belirlenebilecektir. Bu bilgilerin önceden düzenli yapılan ölçümler sonucu elde edilmesi ise, göçük tehlikesiyle çalışılan maden galeri ve tünellerinde paha biçilmez değerde olacağı kesindir.



Şekil 2.19. Araştırma galerisi çevresinde gözlenen Opalinus kilinin iç yapısı, (Kruschwitz & Yaramancı, 2004).

Bu yeraltı araştırmasında da görüldüğü gibi ortam ve deneyin elektrot dizilimi farklı olsa da incelenen ortam kaya kütlesi olduğu sürece, elektriksel yerdirenci ölçümünün benzeştiği ilk göze çarpan konudur. Burada önemli olan elektriksel dirençlerin dağılım haritasının elde edildikten sonra, ilgili dağılımların anlamlarının sorgulanmasıdır. Yukarıda verilen örnekte farklı zaman aralığında yapılan ölçümlerden elde edilen grafiğin (Şekil 2.18) madende çalışan tasarım mühendisine sunduğu bilgi, zayıflayan tavan kayacının derinliği ve ikince boyuttaki yayılımı çok önemlidir. Bu bilgiler mühendise yapacağı ek tahkimat veya diğer madencilik operasyonları hakkında fikirler ve daha da önemlisi sayısal ön veriler verecektir.

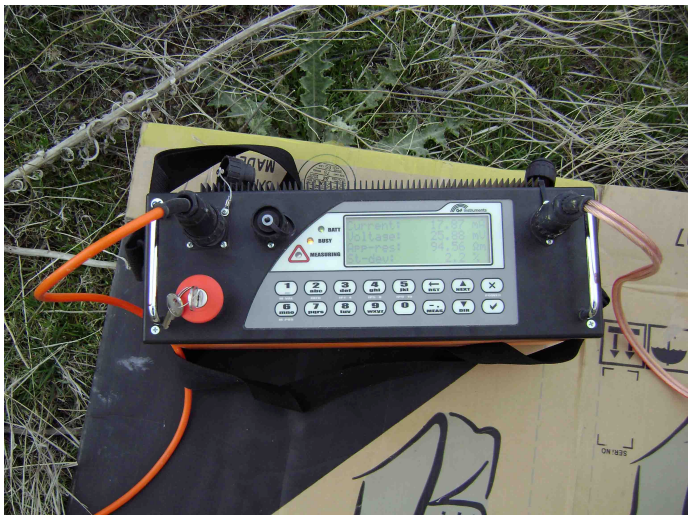
3. ELEKTRİKSEL YERDİRENCİ ÖLÇÜM HAZIRLIKLARI VE ÖLÇÜMLERİN YAPILIŞI

3.1. Ölçüm Düzeneği

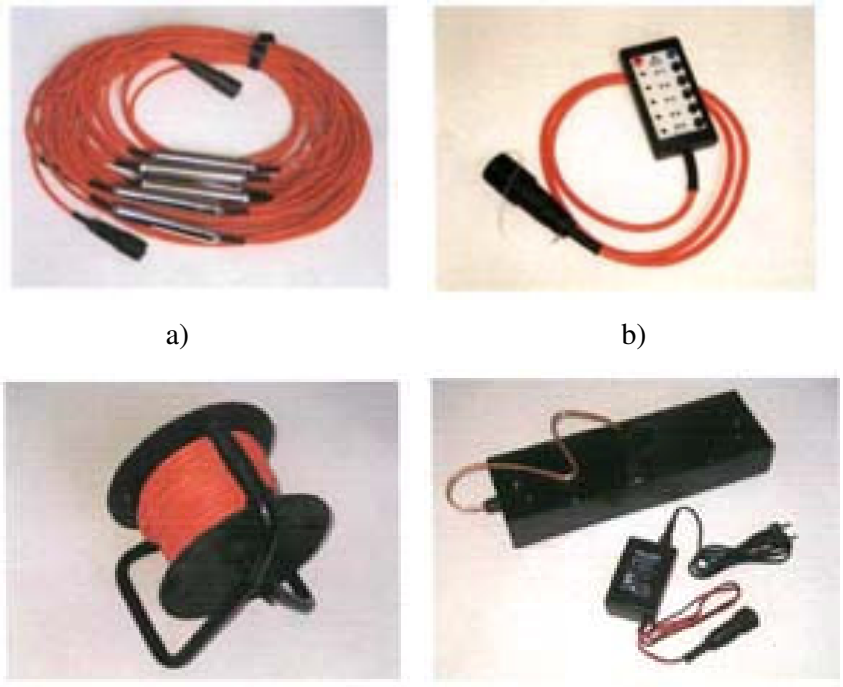
Bu tez çalışması için seçilen terk edilmiş gölet tabanındaki ölçümlerde, Selçuk Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Maden İşletme laboratuarına ait ARES-G4 yerdirenci ölçüm düzeneği kullanılmıştır. ARES-G4 cihazı (Şekil 3.1 ve 3.2); akümülatör, ölçüm kabloları ve ölçüm elektrotlarından oluşmaktadır. Arazi çalışmaları sırasında kullanılan başlıca araç ve gereçler Çizelge 3.1 de verilmektedir.

Çizelge 3.1 Arazide kullanılan ölçüm ekipmanları

ARES-G4 yerdirenci ölçüm cihazı
Akümülatör (12V, 90A)
8 adet çelik elektrot
35 m uzunluğunda ölçüm kablosu
8 adet plastik oring
1 adet çekiç
30'ar metre uzunluğunda 4 makara kablo, yüksek akım kablosu ve 2 adet özel yer temas elektrotu.



Şekil 3.1. ARES-G4 yerdirenci ölçüm cihazı.



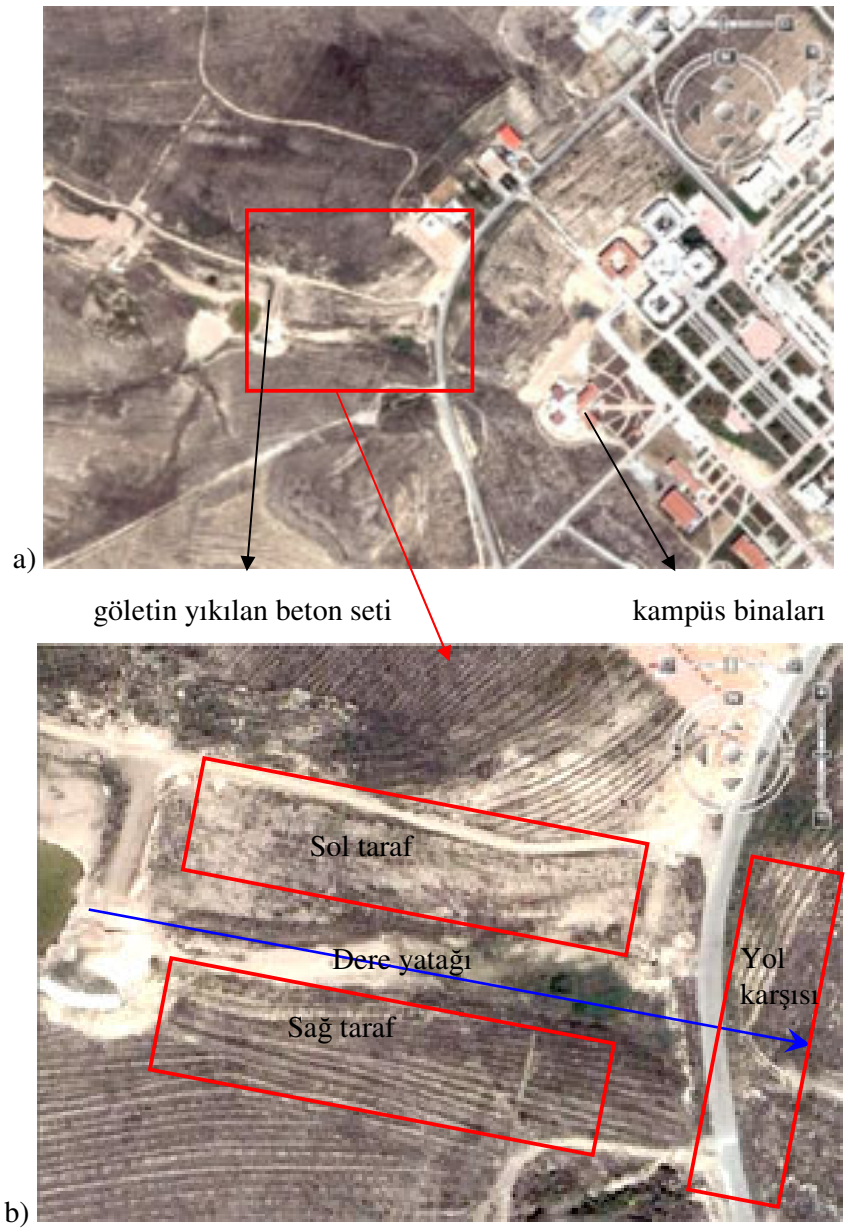
a) b)

c) d)

Şekil 3.2. ARES-G4 cihazının a) ölçüm kablosu, b) düşey elektrik sondajı bağlantı aparatı, c) Yüksek akım ek kablo seti, d) cihaz akü ve AC bağlantıları.

3.2. Arazinin ve ölçüm düzeneğinin hazırlanması

Elektriksel yerdirenci ölçümlerinin uygulama alanı olarak, Selçuk Üniversitesi, Alaeddin Keykubat kampüsünün KB sınırına yakın bölümünde bulunan (Şekil 1.2) dere yatağı ve terk edilen atık su gölet yatağı seçilmiştir. Bu lokasyon Üniversite kampüs sahasına doğru akımı olan bir sel deresini içermektedir. Kış ve erken bahar aylarında KB yükseltilerden beslenerek gelen çok az su akışı kampüs içine doğru gelmektedir (Şekil 3.3). Bu dere yatağı 2005 yılında, kampüse yakın kısmında önüne yapılan beton set ile gölet durumuna getirilmiştir. Bu çalışma, Selçuk Üniversitesi kampüsünün kanalizasyon sularının arıtılarak, suların kazanılmasına ve bu suların ağaçlandırmada kullanılmasına yönelik olarak yapılmıştır. Bu proje çalışması, atık suların kazanılmasından sonra hazırlanan gölette toplanması şeklinde başlamıştır.



Şekil 3.3. Selçuk Üniversitesi kampüs atık su gölet lokasyonunun Google-Earth programından alınan uydu görüntüsü.

Fakat daha sonra su tutulması planlanan gölet zemininin su sızdırması, sızan suların sel yatağının alt bölümlerine yerleştirilen fakülte binalarına zarar vermesi sonucu, gölet boşaltılmış ve ilgili proje terk edilmiştir. Yaklaşık iki yıldır atık su tutulmayan bu lokasyonda sel yatağı dere sedimanları içinden sızan suların gölet taban kayaçları

içinde nasıl bir nemlilik yayılımı gösterdiği araştırılarak gölet taban kayaçlarının su geçirgenliğinin yayılımı bu tez çalışması kapsamında incelenmiştir.

Elektriksel direnç ölçümü yapmak için seçilen çalışma alanı öncelikle 4 ana bölüme ayrılmıştır. Çalışma alanının bölümlere ayırmanın nedeni, ölçümlerin değerlendirilmesi sırasında gölet lokasyonuna göre yorumların yapılabilmesini sağlamaktır. Ölçüm yapılan bölümler Şekil 3.3b ve 3.4 'de gösterildiği gibi sel yatağı akış yönüne göre isimlendirilmiştir. Bu bölümler; dere yatağının tabanı (DT), dere yatağının akış yönüne göre sağ tarafı (DSĞ), dere yatağının sol tarafı (DSL) ve dere yatağını dik kesen yolun karşı tarafı (KT) olarak isimlendirilmiştir. Bu bölge ayırımı dere içinde sedimanlar içinde sızan suların dere tabanı bölgesinde (DT) olması nedeniyle elde edilen elektriksel direnç değerlerinin yorumlanmasında kolaylıklar getirmiştir. Ölçümler 2006 Aralık ve 2007 Nisan aylarında 15 gün olmak üzere toplam 30 gün içinde araziye gidilerek yapılmıştır .günde ortalama 3 çizgisel hat ölçümü yapılmıştır. Seçilen bölümlerde dere boyuna paralel yerleştirilen ölçüm kablosuyla yer dirençleri yüzeyden en fazla 35 metre derinliğe kadar algılanmıştır. Bu durumun madencilik uygulamaları açısından benzer tarafı, madencilik açısından önemli olduğu düşünülen taban kayaçlarının herhangi bir uzaklık boyunca (açık işletme basamak boyunca veya yeraltı galeri boyunca) ölçülmesine benzemesidir.



Şekil 3.4. Çalışma alanının görünümü; Fotoğraf içine yerleştirilen ok su akış yönünü göstermektedir.

Elektriksel ölçme düzeneğinin arazi ölçümlerine hazırlanışında yapılan çalışma aşamaları şunlardır. Öncelikle ölçüm yapılacak arazi boyutlarının kavranabilmesi amacıyla araştırma alanı gezilmiştir. Çalışma alanında bulunan kayaç mostraları, nemli bölgeler, dolgulu veya doğal olmayan başka bir Şekilde yüzey morfolojisi değiştirilmiş bölgeler elde edilen haritalar üzerine işaretlenmiştir. Bu işlemden sonra çalışma alanında yapılacak elektriksel ölçüm hatlarının yerleştirme düzenlemesi yapılmıştır. Yukarıda aktarılan düzenlemeyle 4 ana bölüme ayrılan gölet civarı, bu bölümler çerçevesinde sırayla ölçülmeye alınmıştır (Şekil 3.3 ve Şekil 3.4).

Arazide elektriksel yerdirenci yöntemini uygularken dere yatağı temel alınarak ölçüm hatları (çizgileri) oluşturulmuştur. Üzerinde çalışma yapılan alanda ölçüm hatları dere akış yönüne göre enine hatlar ve boyuna hatlar olarak uygulanmış ve ölçümler bu hatlar doğrultusunda yapılmıştır. Şekil 3.7'de verilen kroki ölçüm hatlarının çalışma arazisine uygulanmasını göstermektedir. Tabakaların ve nem oranının tespiti için ölçümlerin enine ve boyuna hat ölçümleri olarak yapılması daha da faydalı olmuştur. Dere yatağı içerisinde enine hat, derenin sağ ve sol kenarlarında ise boyuna hat ölçümleri yapılmıştır. Her bir ölçüm hattı, çalışma sahasının boyutları ve ölçüm kablosunun boyutu göz önüne alınarak (ölçüm kablosunun uzunluğu 35 m) tasarlanmıştır. Boyuna hatlarda birbiri ardınca 3 kez yere serilen ölçüm kablosu toplam 105 metre uzunluğunda bir çizgisel hattı elektriksel direnç ölçümü için taranmıştır. Enine hatların uzunluğu ise dere yatağının genişliğinin sınırlı olmasından dolayı 35 metre olarak belirlenmiş ve uygulanmıştır.

Arazi ölçüm lokasyonuna araçla ulaştırılan ölçü ekipmanı ve gereçleri kontrol edildikten sonra, öncelikle arazi elektriksel yerdirenci ölçümü yapılacak bölge civarında ölçüm ekibi dışında insan ve hayvan bulunmamasına dikkat edilmiştir. Bu kontrolün yapılmasından sonra, ölçüm elektrotları çizgisel bir hat olarak yere serilen ölçüm kablosunun gerekli yerlerine gelecek Şekilde yere çakılmıştır. Şekil 3.5 ölçüme hazırlanmış bir çelik elektrotun, ölçüm kablosunun bağlantı noktasına oring ile tutturuluşunu göstermektedir. Bu bağlantının ölçüm kablosu üzerinde bulunan 8 elektrot içinde yapılmasından sonra, 35 metre uzunluğundaki ölçüm hattı yerdirenci ölçümüne hazır hale gelmektedir. Bu hazırlıktan sonra her ölçüm hattı için ayrı ayrı olmak üzere, ölçüm hattına yaklaşık 30–60 metre mesafede iki farklı elektrot da uzaktaki (sonsuz noktadaki) elektrot gibi davranacak şekilde hazırlanmaktadır.



Şekil 3.5. Ölçümlere hazırlanmış ARES-G4 elektrotu.

Bu elektrot pozisyonları ölçüm hattının ilk elektrotuna göre kartezyen koordinat sistemine göre (x-y değerleri verilerek) konumlandırmaktadır. Her ölçüm hattı için sistemin, ölçü ekipmanı ARES-G4'e bağlanılacak duruma getirilmesi ölçüm yapılacak lokasyon özelliklerine (engebeli arazi şartları v.b. nedenler) bağlı olmakla beraber yaklaşık 20–30 dakika sürmektedir.

Daha sonra ARES-G4 ölçüm cihazı gerekli bağlantıların yapılması sonrasında çalıştırılarak ölçüler alınmaya başlanır (Şekil 3.6). ARES-G4 cihazıyla ölçüme başlarken bazı ön ayarlamalar yapılmıştır. Bunlar; ölçme zaman aralığı, sonsuz-nokta koordinatı (x-y mesafe değerleri), ölçüm yöntemi, ölçüm tarihi, ölçüme verilen isim, ölçme hata payları v.b. gibi ayarlamalardır. Bu ayarlamalar kullanılan ölçü cihazının tipine göre değişiklikler göstereceği kuşkusuzdur. Fakat bunun yanında yukarıda sayılan temel seçim parametreleri her ölçü cihazı tarafından sorularak kullanıcı mühendislere ayarlatılması gereken konular arasındadır. Bu çalışmada kullanılan ARES-G4 ölçüme başlamadan önce her elektrotun direncini kontrol ederek, elektrotların kayaçlara temas direnç değerlerinin normal sınırlar arasında kalıp kalmadığını analiz eder. Eğer elektrotlarda bir hata varsa cihaz hata sinyali verir ve bu sinyalle hangi elektrotta hata olduğu tespit edilir. Daha sonra ölçümü yapan mühendisler hatalı temasa sahip elektrotun yerini değiştirerek cihazın verdiği hatanın giderilmesine çalışırlar. Bu hata ortadan kaldırıldıktan sonra ölçüm cihazı ölçüme hazır hale geldiğinden ölçme işlemi başlatılır.



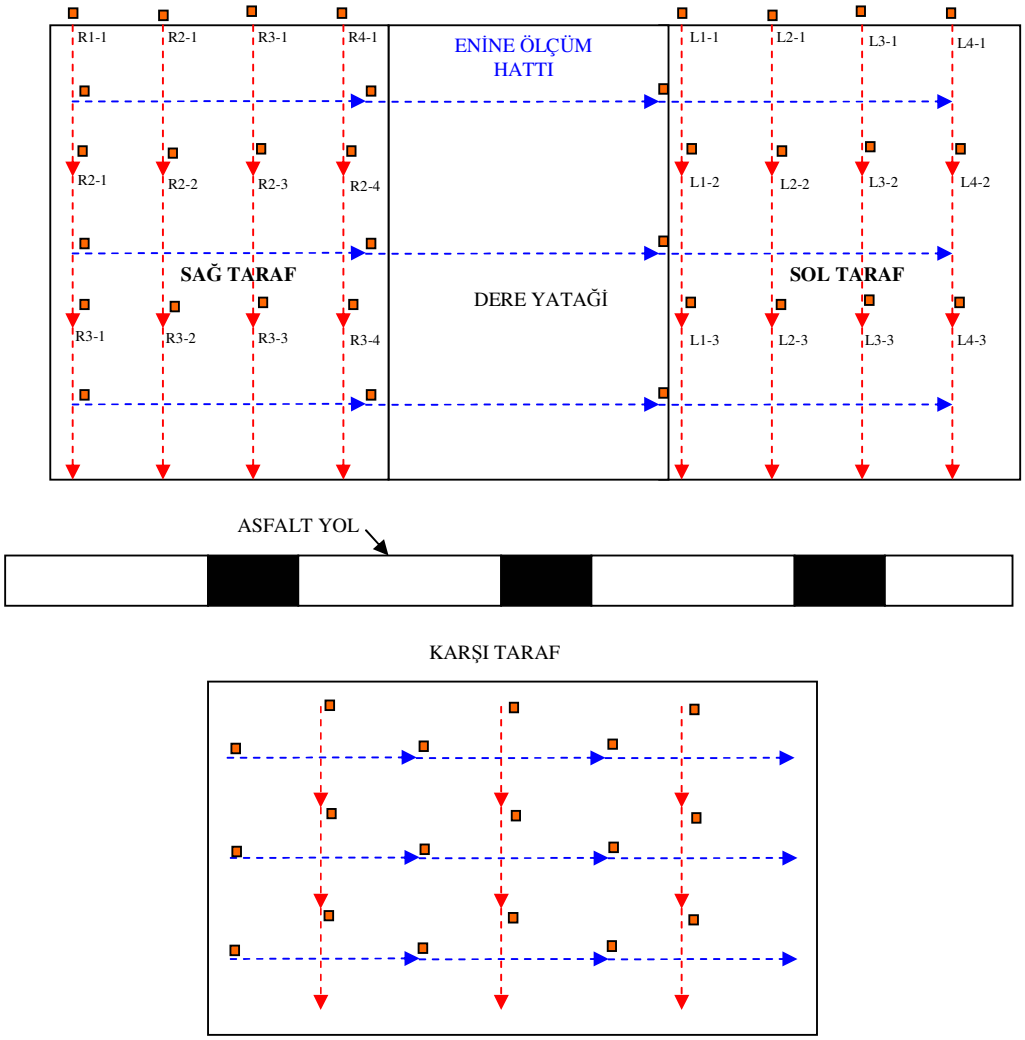
Şekil 3.6. ARES-G4 cihazının ölçüm anı.

ARES-G4 ölçüm düzeneği yere akım vererek elektrotlar arasında oluşan gerilim farkını ölçer. Şekil 3.6'da ARES-G4 ölçüm düzeneğinin ölçüm anı verilmektedir. Bu sistemde seçilen ölçüm düzeneğine göre değişen bir ölçüm süresi olmaktadır. Bu süre yaklaşık 20 ile 40 dakika arasındadır. Bu ölçüm süresi seçilen ölçüm algılama yöntemine göre değişmektedir. Örneğin combine pole-dipole yönteminde bu süre 40 dakikaya kadar ulaşırken pole-pole yönteminde 30 dakika sürmektedir. Bu süre farkının nedeni ise combine pole-dipole yönteminde okunan direnç değer sayısının daha fazla olmasındandır. Cihaz pole-pole yönteminde yaklaşık 60–75 okuma yaparken, combine pole-dipole yönteminde bu okuma sayısı 150–180 değer sayısına kadar çıkmaktadır.

3.3. Arazi ölçümleri

Selçuk Üniversitesi, Alâeddin Keykubat kampüs içi su biriktirme havuzu taban tabakalarının incelenmesi ve nem oranının tespiti amacıyla bu çalışmada elektriksel yerdirenci ölçüm düzeneği (ARES-G4 cihazı) kullanılmıştır. Ölçümlerin yapıldığı alanda dere yatağı ve su akış yönü temel alınarak ölçüm hatları oluşturulmuştur. Bu çalışmada elektriksel yerdirenci ölçümleri 3 farklı yöntemle yapılmıştır. Bu yöntemler pole-pole, pole-dipole ve combine pole-dipole elektriksel yerdirenci algılama yöntemleridir. ARES-G4 ölçüm düzeneğinin elektrot aralığı 5 metre olup ölçü ekipmanının ölçme zaman aralığı 2 saniye olarak ölçümler

yapılmıştır. Her bir sıra ölçüm yaklaşık 40 dakika sürmüştür. Boyuna tasarlanan bir ölçüm hattında birbiri ardınca yapılan 3 çizgisel ölçüm yaklaşık 120 dakika sürmüştür.

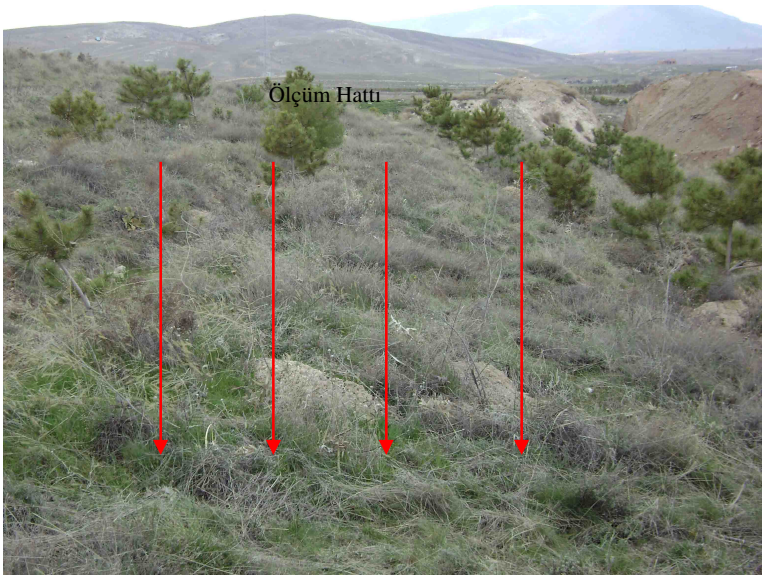


▫ → Cihazın kurulum yeri

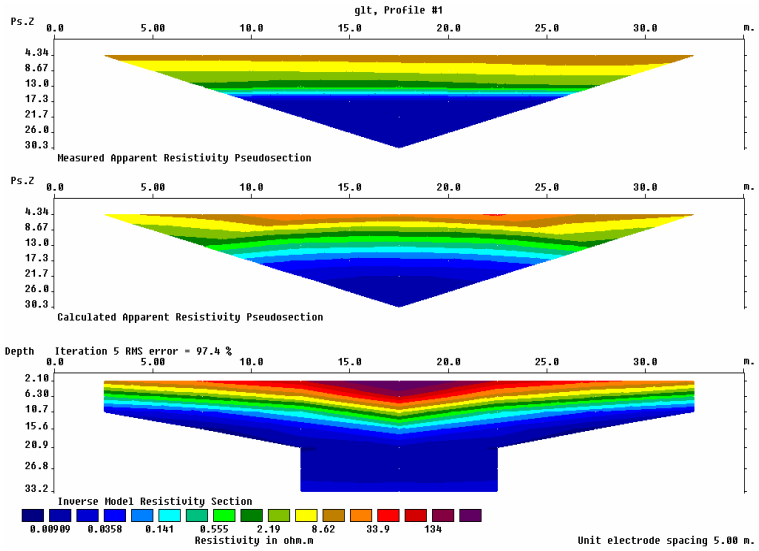
Şekil 3.7. Ölçüm için seçilen gölet lokasyonunda tasarımı yapılan elektriksel yerdirenci ölçüm hatları.

Araziden elde edilen yerdirenci değerleri farklı her ölçüm hattı için farklı isimde ölçü cihazının hafızasına kaydedildiği için bu değerlerin anında bilgisayar ortamına aktarılması gerekmemektedir. Cihazın hafıza kapasitesi dolduğunda veya bir ölçüm gün sonunda arazi verilerinin yedeklenmesi ve saklanması amacıyla bilgisayara aktarımı yapılmıştır. Veriler iki farklı manyetik ortamda (bilgisayar sabit diski ve CD diskler) saklanarak bilgi saklama güvenliği sağlanmıştır. Ham arazi verilerinin grafik haline dönüştürülmesi ve ters işlem sonucunda ilgili arazinin pseudo modellerinin hazırlanması işlemi farklı yollardan yapılabilmektedir. Bu tez çalışmasında, ARES-G4 cihazına bağlı olarak çalışan RES2DINV yazılım programı kullanılarak pseudo-modeller elde edilmiştir. Bu program her ölçüm için 3 farklı grafik hazırlayarak kullanıcı mühendislere sunmaktadır. Bu grafiklerin birincisi ölçülmüş verilerin grafiği, ikincisi bu verilerden hesaplanarak elde edilen grafik ve üçüncü grafikte pseudo model grafiğidir.

Bu çalışma sırasında ilgili gölet çalışma alanından sel yatağındaki su akış ekseninin enine ve boyuna hazırlanan bütün ölçüm hatlarından toplam 141 adet derinlemesine direnç değişim grafikleri ve pseudo modeller elde edilmiştir. Elde edilen bu direnç kesit grafiklerine ait tipik birer örnek aşağıda verilmiştir.ölçümler sonucu elde ettiğimiz diğer direnç değişim kesitleri ise (EK 1/2/3/4) de verilmiştir. Bu grafikler bölümlere göre şu şekilde numaralandırılmıştır; dere yatağının sağ tarafından ölçüm hattı R1-3 (Şekil 3.7)' den alınan kesit Şekil 3.8'de, sol tarafta ölçüm hattı L1-3 (Şekil 3.7)'den alınan kesit Şekil 3.9'da, dere yatağı tabanında enine ölçüm hattından alınan kesit Şekil 3.10 da ve dere yatağını sınırlayan asfalt yolun karşı tarafında boyuna ölçüm hattından alınan direnç değişim kesiti Şekil 3.11 de verilmiştir. Bu şekillerde ölçüm yapılan ilgili lokasyon fotoğrafları ve ölçümlerin yapıldığı arazi ölçüm hatlarının arazideki görünüşü fotoğraflar üzerinde işaretlenerek verilmektedir.

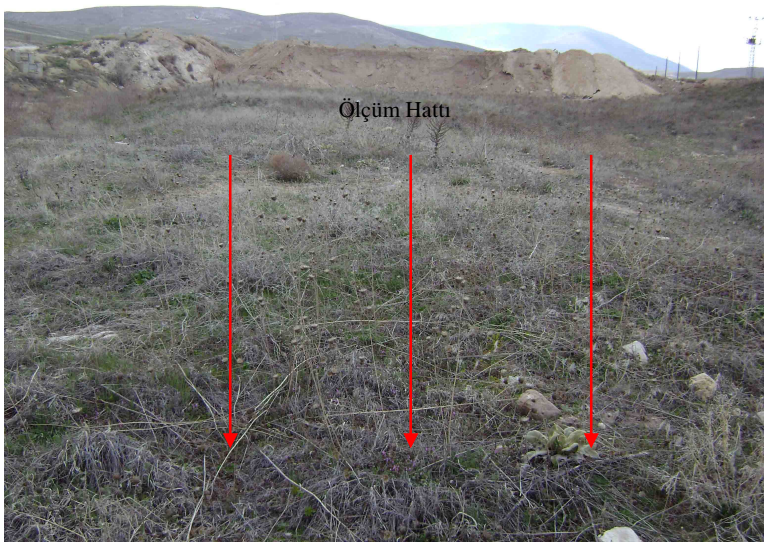


(a)

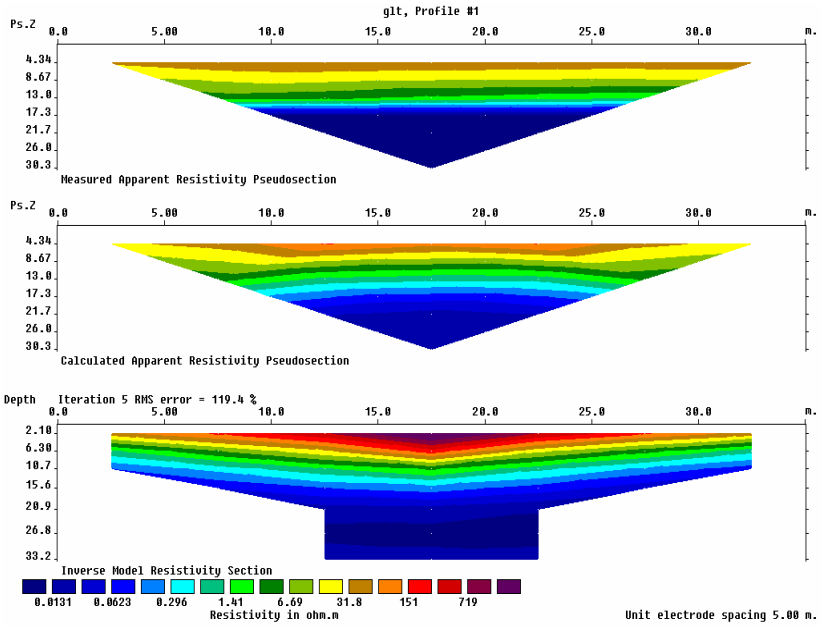


(b)

Şekil 3.8. a) Çalışma arazisinin sağ tarafındaki boyuna ölçüm hattının araziye uygulanışı, b) Combine pole-dipole diziliminden elde edilen direnç haritası.

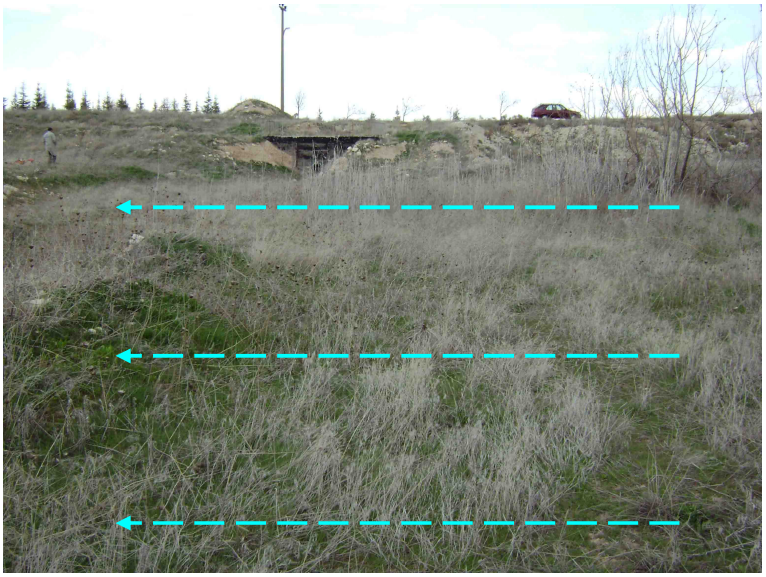


(a)

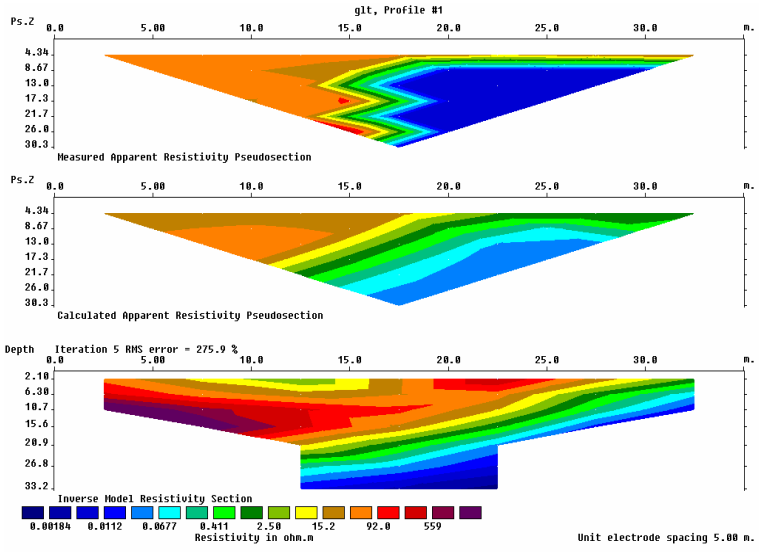


(b)

Şekil 3.9. a) Çalışma arazisinin sol tarafındaki ölçüm hatlarının araziye uygulanışı, b) Combine pole-dipole diziliminden elde edilen direnç haritası.



(a)

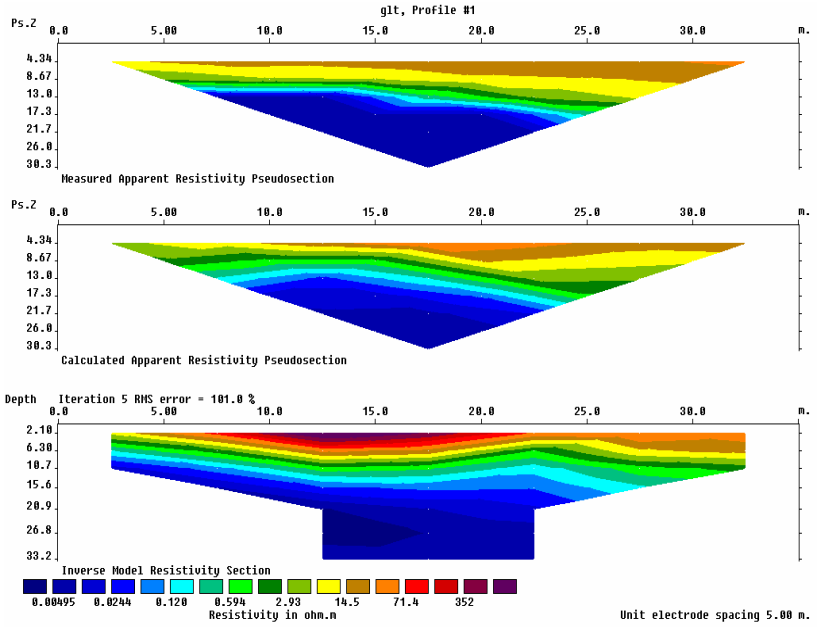


(b)

Şekil 3.10. a) Çalışma arazisi dere yatağı ölçüm hatlarının araziye uygulanışı,
b) Combine pole-dipole diziliminden elde edilen direnç haritası.



(a)



(b)

Şekil 3.11. a) Çalışma arazisinin karşı tarafı ölçüm hatlarının araziye uygulanışı, b) Combine pole-dipole diziliminden elde edilen direnç haritası.

4. ELEKTRİKSEL YERDİRENCİ ÖLÇÜM SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

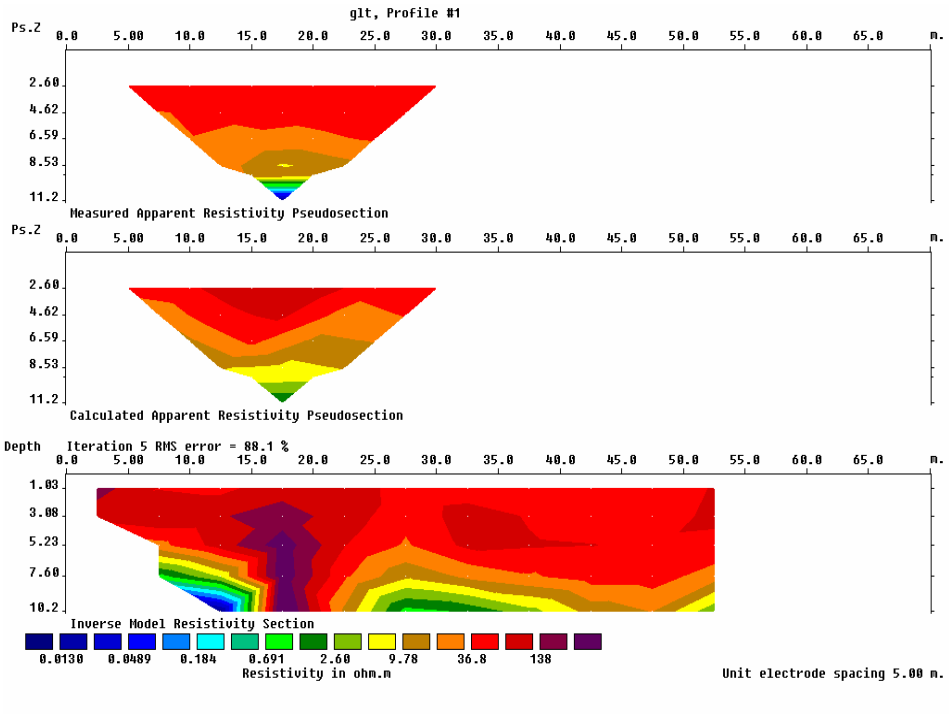
Selçuk Üniversitesi Alâeddin Keykubat kampüs içi atık su biriktirme havuzunda yapılan elektriksel yerdirenci ölçümleri sonucunda elde edilen yer direnci dağılım haritaları sayesinde çalışma alanı altında bulunan kayaçlar içindeki elektriksel direnç farklılıkları ortaya çıkarılmıştır. Bu direnç değişiminde etkili olan nemliliğin kayaç tabakaları arasındaki yayılımı incelenir hale geldiği için bu bölümde değerlendirmeye alınmıştır. Bölüm 3'de de belirtildiği gibi ölçüm çalışmasının yapıldığı gölet içi ve çevresinde 141 adet direnç dağılım grafiği elde edilmiştir.Elde edilen direnç değişim grafiklerinin bazıları çalışma alanımızın bölümlerine göre EK-1/2/3/4 ayrı ayrı ve kullanmış olduğumuz üç farklı elektrot dizilimine göre elde ettiğimiz kesitler bu ekler bölümünde daha detaylı bir şekilde verilmiştir. Bu grafiklerin ayrı ayrı değerlendirilmesi yapılarak gölet tabanı 30 metre derinliğe kadar incelenmiştir.

Arazi ölçümü sırasında elde edilen 141 elektriksel yerdirenci değişim kesitlerinden R1-1 ölçüm hattından (şekil 3.7) alınan bir tanesi Şekil 4.1' de gösterilmektedir. Bu şekilde de görüleceği gibi her ölçüm sonucu 3 farklı direnç değişim grafiği olarak elde edilmektedir. Her kesit görüntü ölçüm yapılan alanda, 35 metre yüzey çizgi uzunluğu için derinlemesine direnç değişim haritalanmasını aktarmaktadır.

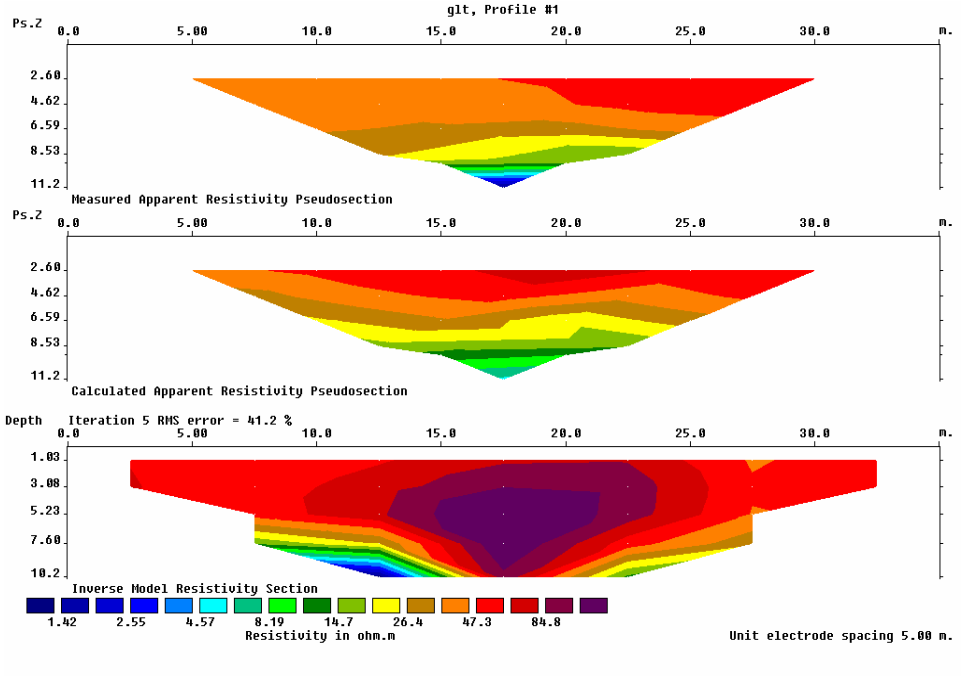
Daha öncede belirtildiği gibi ölçülen değerlerin grafiklendirilmesi için RES2DINV bilgisayar programı kullanılmaktadır. Bu program grafiksel sonuçları her set için gösterirken üstteki grafiksel çizimde "ölçülen direnç değerlerini", ortadaki kesit görüntüde farklı yaklaşımlarla "hesaplanan direnç değerlerini" ve alttaki kesit görüntüde de "inversion" tekniğine göre modellenen direnç dağılım kesit görüntülerini göstermektedir (Şekil 4.1). RES2DINV programının, herhangi bir elektriksel yerdirenci değişim kesitini elde edebilmesi için en az 20 adet direnç okumasına ihtiyaç duymaktadır. Aksi durumlarda direnç değişim haritaları oluşturulamadığı için yerdirenci ölçüm işlemlerinin tekrarlanması gerekmektedir.

4.1. Çalışma Sahasının Sağ Tarafı Boyunca Elde Edilen Direnç Değişim Kesitleri

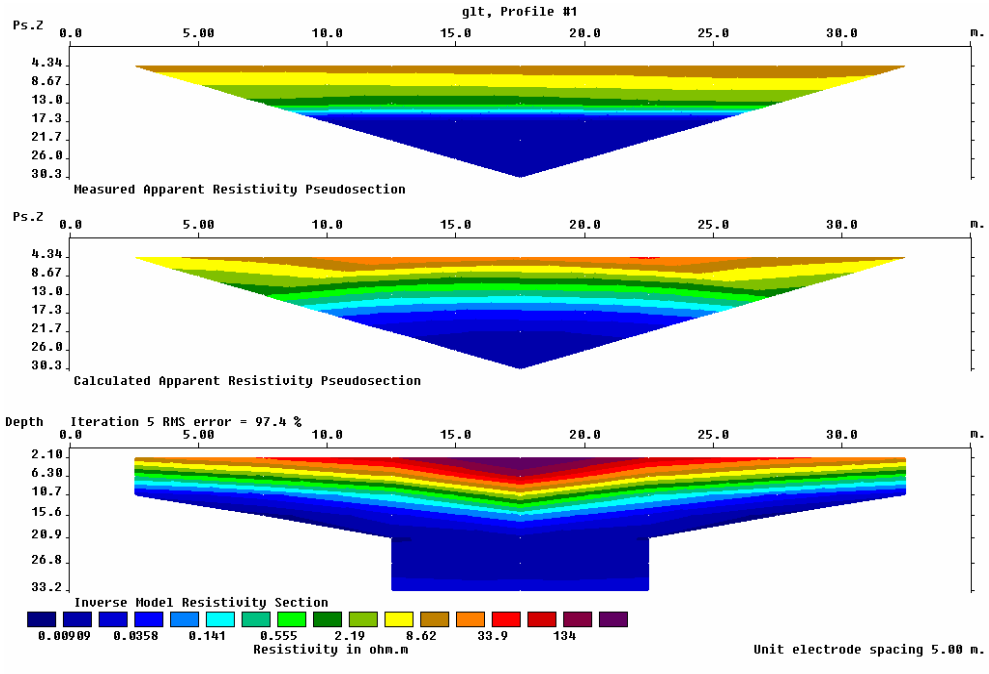
Şekil 3.7'de verilen plana göre kuru sel yatağının sağ tarafından elde edilen, direnç dağılım kesit görüntüleri Şekil 4.1'de verilmektedir. Bu kesitler dere yatağına 5 metre uzaklıkta yapılan ölçümün sonuçlarını göstermektedir. Farklı ölçüm düzenleme sonuçlarının gösterildiği bu şekilde, Pole-pole, Pole-dipole ve Combine pole-dipole yöntemlerine göre ölçülen sonuçlarda yerdirenci dağılımlarının farklılaştığı gözden kaçmamıştır. Bu farklılaşmaya rağmen her üç grafikte de yüksek dirençli bölgenin lokasyonunun benzer derinliklerde elde edilmesi dikkat çekicidir. Şekil 4.1a'da görülen Pole-pole elektrot dizilim sonuçları incelenirse; birinci grafikte görülen ölçülen direnç değerlerinin 11,2 metre derinliğe kadar algılandığı görülecektir. Bu ilk grafik direnç dağılımını, yüzeydeki ölçü referans noktalarından 5 ile 30 metredeki elektrotlar arasında göstermiştir.



(a)



(b)



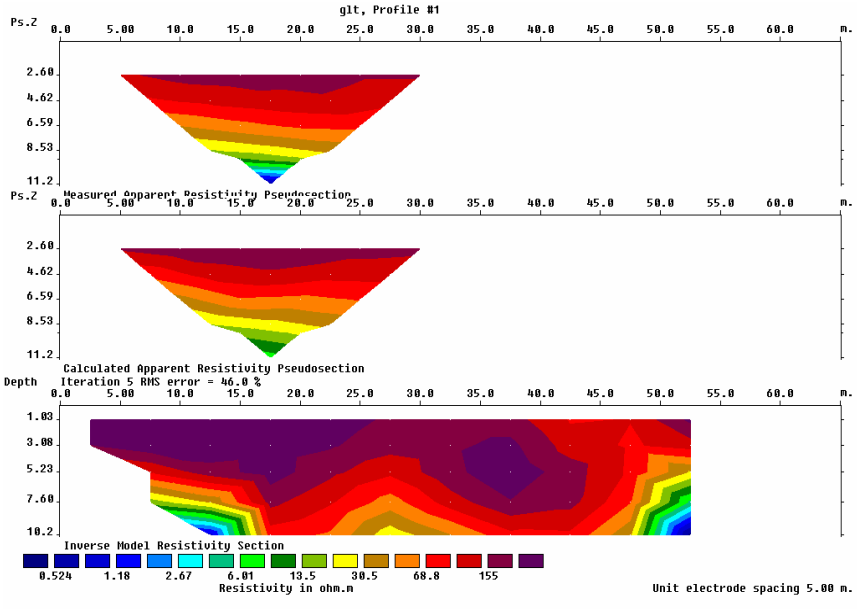
(c)

Şekil 4.1. Üzerinde inceleme yapılan gölet'in sağ tarafı boyunca, gölet boyuna serilen elektrotlardan R1-1 ölüm hattından alınan direnç değişim kesitleri, a) pole-pole dizilimi, b)Pole-dipole dizilimi, c) Combine pole-dipole elektrot dizilimi.

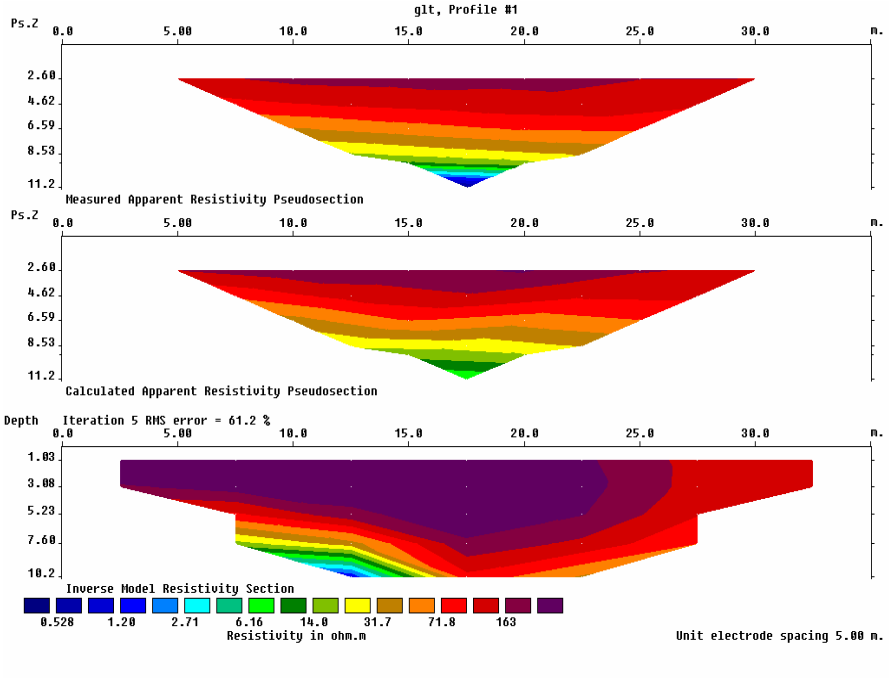
Şekil 4.1c'de verilen grafiklerde ters modellemelerde direnç dağılım haritalarının 33,2 metreye kadar gösterildiği izlenmektedir. Bu grafiklerde 5–10 metre derinlik aralığında ölçüm yapılan ortamın diğer lokasyonlarına göre göreceli olarak daha dirençli bir formasyonun olduğu görülmektedir. Bu direncin nedeni seçilen alan altında bulunan dirençli kayaçların varlığı olarak yorumlanmıştır. Aynı kesitte yaklaşık 18 metre derinlikten sonra yerdirencinin düştüğü (150 ohm.m civarından 0,01 ohm.m civarına) görülmektedir. Bu direnç düşüşünün nedeni ilgili derinlikte bulunan suyun varlığı olarak yorumlanmıştır.

4.2. Çalışma Sahasının Sol Tarafı Boyunca Elde Edilen Direnç Değişim Kesitleri

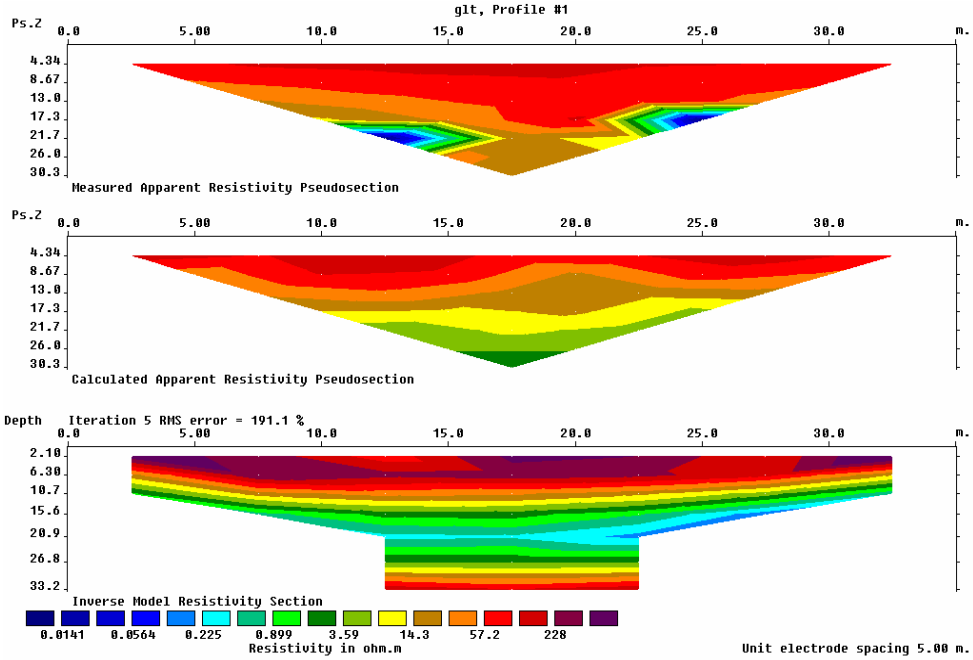
Şekil 4.2'de görüldüğü üzere incelemeye alınan göletin sol tarafından elde edilen kesit görüntüleri göletin sağ tarafına göre farklıdır. Bu grafikler de dere yatağından 5 metre uzakta, L1-1 ölçüm hattında (Şekil 3.7) dere boyunca yapılan yer direnci ölçümlerinden elde edilmiştir. Şekilde gösterilen direnç dağılım grafiklerinde yüzeyden yaklaşık 1–4 metre derinlikler arasında göreceli olarak daha dirençli bir formasyonun olduğu görülmektedir.



(a)



(b)



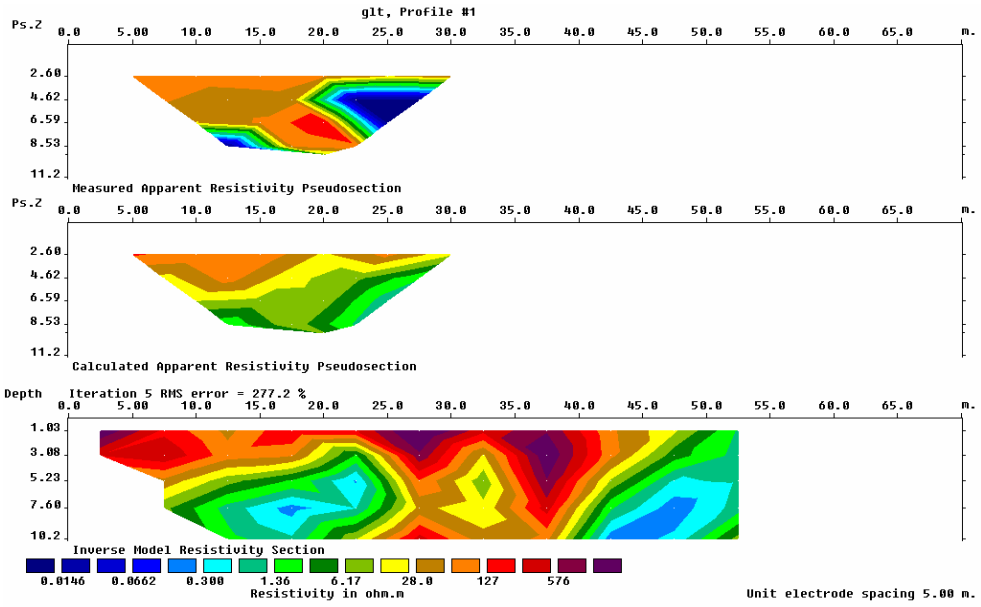
(c)

Şekil 4.2 Göletin sol taraf boyunca boyuna serilen elektrotlardan L1-1 ölçüm hattından elde edilen direnç değişim kesitleri, a) Pole-pole dizilimi, b) Pole-dipole dizilimi c) Combine pole-dipole dizilimi.

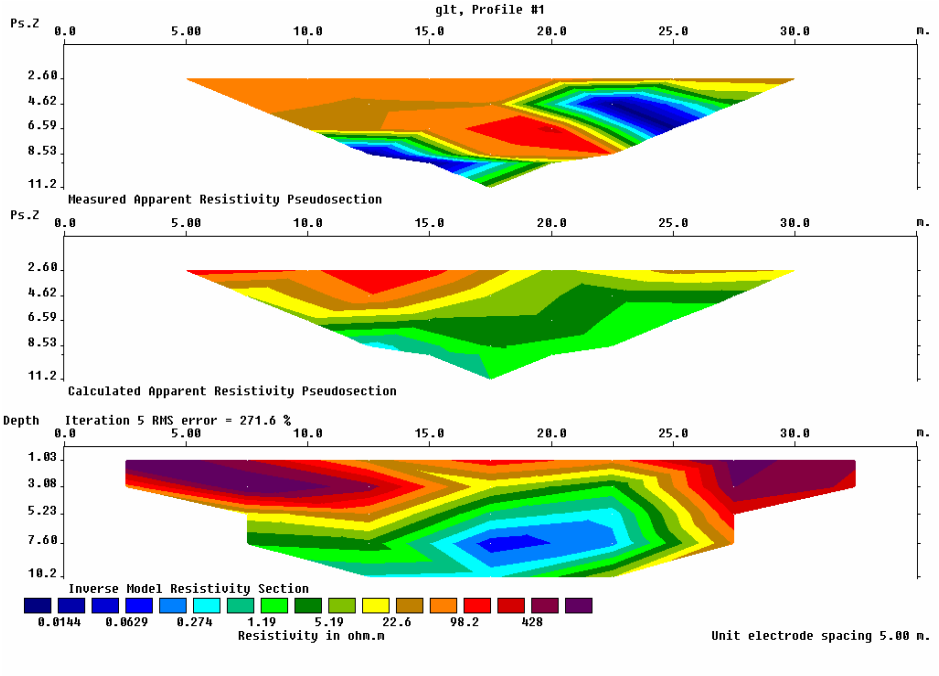
Bu direncin nedeni seçilen alan altındaki dirençli kaya formasyonudur. Aynı lokasyondan elde edilen ters modellemede, yaklaşık 15–20 metre aralığında yerdirencinin göreceli olarak az olduğu kolayca izlenebilmektedir. Bu direnç farklılaşmasının nedeni suyun varlığı olarak yorumlanmıştır.

4.3. Çalışma Sahasında Dere Yatağı İçinden Elde Edilen Direnç Değişim Kesitleri

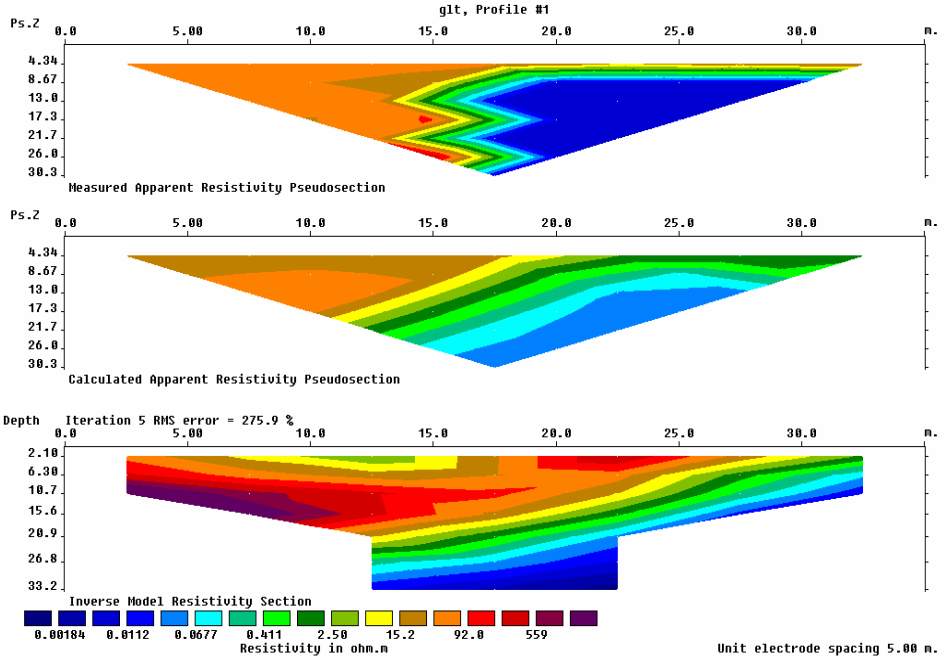
Ölçüm yapılan sel yatağı dere içinde yapılan ve sonra terk edilen gölet tabanında (dere içinde), gölet kısa eksenine (enine) serilen elektrotlardan elde edilen direnç değişim kesitleri Şekil 4.3'de verilmektedir. Farklı yerdirenci ölçüm dizilimlerine göre elde edilen bu grafikler, göletin alt kısmından geçen kampüs içi ulaşımı için kullanılan asfalt yola 10 metre uzaklıkta yapılan ölçümlerden elde edilmiştir (Şekil 3.7). Bu derinlemesine elektriksel direnç değişim kesitlerinden de anlaşılacağı üzere kış aylarında dere içinden geçmeye çalışan suyun varlığı, gölet tabanına suyun sızmasını sağlamış ve bu nemlilik ölçüm yapılan lokasyonda taban kayaçların daha nemli, düşük dirençli ölçülmesine neden olmuştur.



(a)



(b)



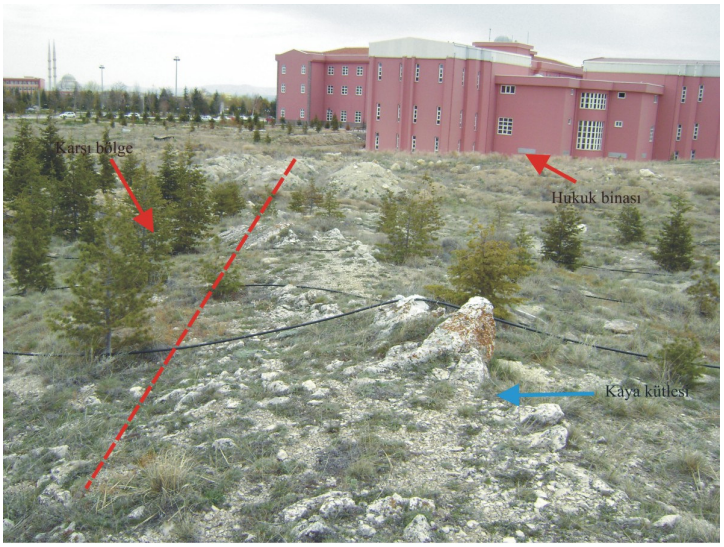
(c)

Şekil 4.3 Gölet tabanıda, dere içinde enine serilen elektrotlardan elde edilen direnç değişim kesitleri,a) pole-pole dizilimi, b) pole-dipole, c) combine pole-dipole elektrot dizilimi.

Bu grafiklerden de anlaşılacağı gibi gölet tabanındaki nemlilik dere akış merkezine yakın yerlerde lokalize olurken, yatağın kenarlarına doğru nemlilik azaldığı için kayaçların kendi nemsiz dirençleri ortaya çıkmaya başladığı için daha yüksek dirençler ölçülmüştür. Dere yatağı içindeki direnç farklılıkları nemliliğin yüzeyde kaybolmasından dolayı dere yatağı yüzeyinde de dere içi sedimanların dirençlerinin ölçüldüğü izlenilmektedir. Dere altındaki nemlilik yaklaşık 5–7 metre derinlikten sonraki kayaçlar içinde görülmektedir.

4.4. Çalışma Sahasının Karşı Tarafından Elde Edilen Direnç Değişim Kesitleri

Çalışma alanının karşı tarafı olarak ifade edilen bölge Selçuk Üniversitesi, Hukuk Fakültesi binası ile çalışma yaptığımız kampüs içi su biriktirme havuzu arasında kalan bölgedir (Şekil 1.2 ve 3.3). Bu alanın detaylı fotoğrafına (Şekil 4.4) bakıldığında çalışma bölgesinde kireçtaşı mostraları açıkça görülebilmektedir (Şekil 4.5). Şekil 3.7 de görüldüğü gibi bu bölgede yapılandan sonra her iki yöndeki yerdirenci ölçümlerinde (Şekil 4.6-4.7) tabanda bulunan kayaç kütlesinin yayılımı gözlenebilmiştir. Yüksek dirençli kayaçlar bölgenin yaklaşık 10 metre derinliğine kadar devam etmektedir. Bu alanın yaklaşık 20–21 metre derinliğinden daha derinlere doğru düşük dirençli bir formasyon mevcuttur.

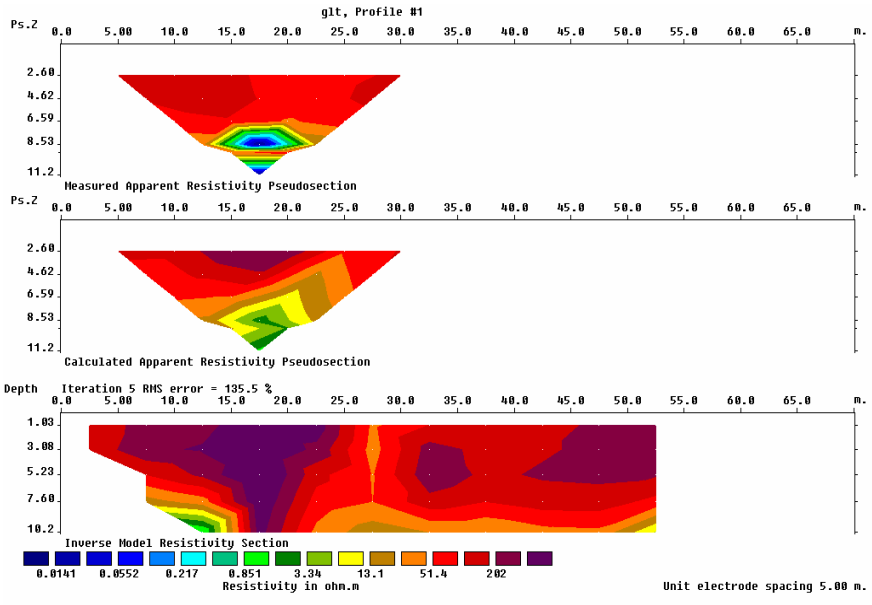


Şekil 4.4. Ölçüm yapılan arazide gölet alt bölgesinde bulunan asfalt yolun GD bölümü (karşı taraf olarak adlandırılan bölge).

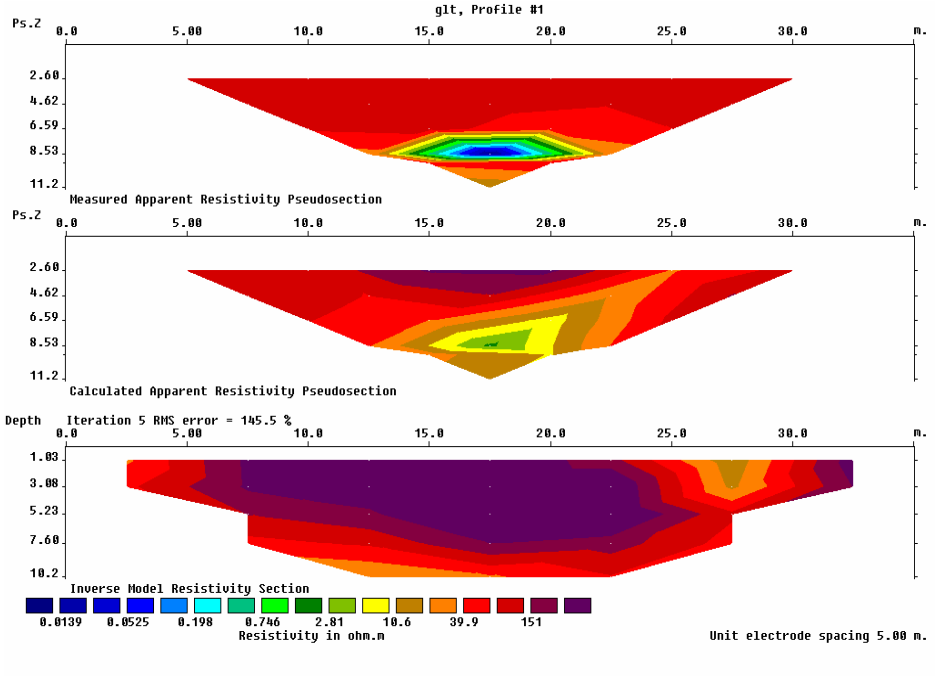


Şekil 4.5. "Karşı taraf" olarak adlandırılan bölgedeki kireçtaşı mostraları.

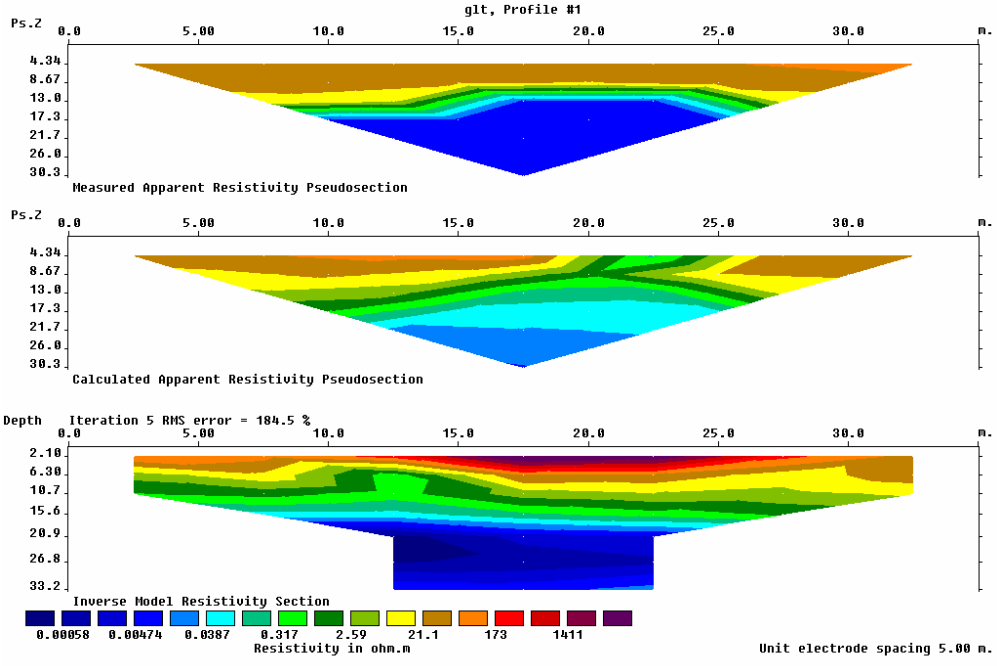
Bu bölgedeki düşük direncin nedeni daha yüksek seviyede bulunan gölet bölgesinden tabana sızan suların yol açtığı nemliliğin olabileceğine karar verilmiştir. Bu alandaki farklı seviyedeki yüksek dirençlerin nedeni de burada mevcut bulunan değişik yapıdaki ve farklı bozunumdaki kaya kütleleridir.



(a)

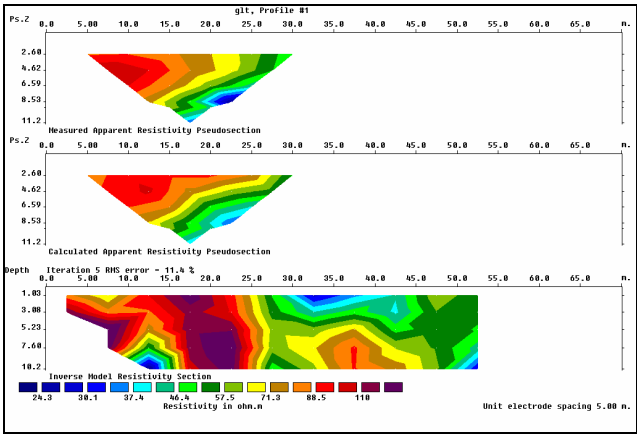


(b)

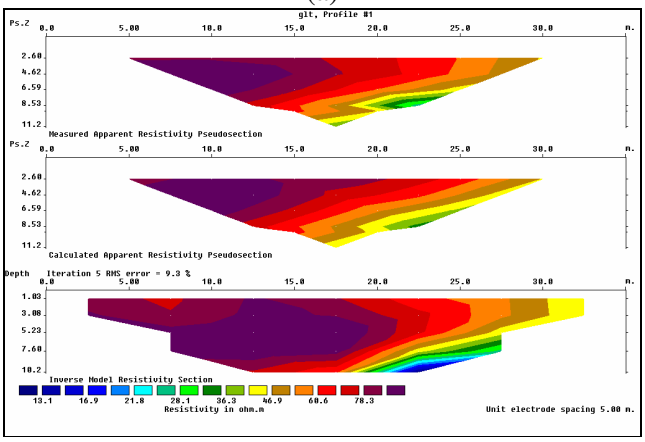


(c)

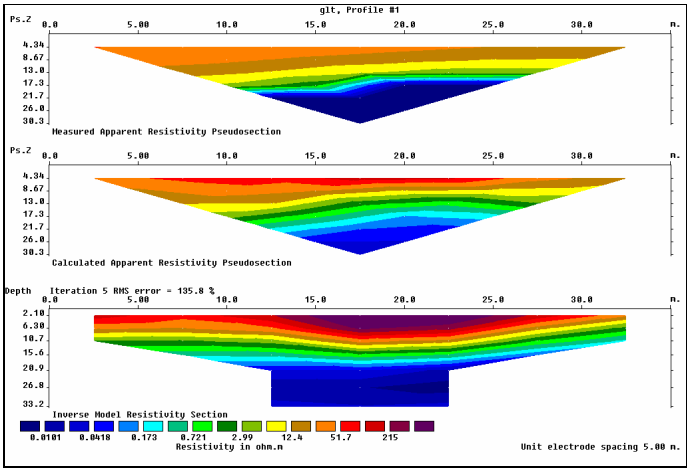
Şekil 4.6. Karşı bölgede enine serilen elektrotlardan elde edilen direnç değişim kesitleri, a) pole-pole dizilimi, b) pole-dipole yöntemi, c) combine pole-dipole elektrot dizilimi.



(a)



(b)



(c)

Şekil 4.7. Karşı bölgede boyuna serilen elektrotlardan alınan direnç değişim kesitleri, a) Pole-pole dizilimi, b) pole-dipole dizilimi, c) combine pole-dipole dizilimi.

Bölgede enine serilen elektrotlardan elde edilen direnç değişim kesitleri Şekil 4.6'da verilmektedir. Bu Şekilde gösterilen yerdirenci grafiklerinde bölgede yer alan yüksek dirençli formasyon açıkça görülmektedir. Aynı direnç yüksekliği boyuna serilen elektrotlardan elde edilen direnç değişim kesitlerinde de görülmektedir. Şekil 4.7'de boyuna serilen elektrotlardan elde edilen direnç değişim kesitleri gösterilmiştir. Şekil 4.6c ve 4.7c grafikleri incelenirse bölgenin yaklaşık 33 metre derinliğe kadar incelendiği görülecektir. Her iki şekildeki yerdirenci dağılımları yaklaşık 20 metre derinlikten sonra yerdirencinin 300-1400 ohm.m seviyelerinden 0.00001 ohm.m seviyelerine kadar düştüğünü göstermektedir. Bu derinlikte bulunan kayaç tabakalarının su içeriğinin dirençteki bu farklılaşmaya neden olduğu düşünülmektedir. Bu direnç düşmesinin bu bölge için başka bir açıklamasının olduğu beklenilmemektedir. Bölgede bulunan kireçtaşı formasyonun Selçuk Üniversitesi Alâeddin Keykubat kampüsünün bu bölgesini (kampüs KB sı) kapladığı düşünülürse, aşınma ve bozuşma seviyelerine göre yüzey toprağı altında engebeli bir yapı oluşturarak bulunduğu direnç dağılım haritalarındaki grafiklerden anlaşılmaktadır. Bu formasyonun üzerinde bulunan toprak tabakasının kalınlığının değiştiği, dere yatağında taşınmış kumlu sedimanların bulunduğu ayrıca gözlenen konular arasındadır.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Selçuk Üniversitesi Alâeddin Keykubat kampüs içi atık su biriktirme havuzu civarında farklı 4 ana bölgede yapılan yerdirenci ölçümleri sonunda elde edilen direnç değerlerine göre iki boyutlu (2-B) ters çözüm bilgisayar programları kullanılarak özdirenç dağılım haritaları elde edilmiştir. Elde edilen bu kesitlerden yola çıkarak gölet civarındaki tabakaların elektrik direnci özellikleri hakkında bilgi edinilmiştir. Ayrıca alanda mevcut kaya kütlesi ve tabakaların su içeriği ile ilgili yorumlara ulaşılmıştır.

Elektriksel yerdirenci ölçümleri sonunda, ölçüm yapılan gölet tabanında sağ ve sol yamaçların altına doğru düşük dirençli lokasyonların olduğu tespit edilmiştir. göletin GD bölümü sınırlayan asfalt yolun GD'sunda (karşı taraf olarak isimlendirilen bölüm) 20 metre derinliğe kadar yerdirencinin fazla çıkması, bu derinliklerden sonra direncin düşmesi, gölet lokasyonunda bekletilen suyun önüne çıkan yıkılmış beton gölet kemeri altından tabana sızarak, ilgili lokasyonda bulunan kireçtaşının alt kısmından (20 metre derinlikten) kampüs içlerine doğru hareket ettiği sonucunu çıkarmaktadır. Bu kuru dere yatağında yaz aylarında yüzeyde su görünmemesine rağmen nemlilik veya su akış hareketi yüzeyin 5 metre altında yerçekimine göre daha düşük seviyelere doğru devam etmektedir. Bu özellik gölet yapılacak her lokasyonda görülebileceği için çok önemlidir. Ayrıca yeraltındaki suyun hareketi açık ocak ve yeraltı madenciliği içinde takip edilmesi gereken bir faktör olduğu için, bu çalışmayla pratiğinin yapılmış olması madencilik uygulamalarına önemli bir katkı olarak görülmüştür.

5.2 Öneriler

Son yıllarda sektörel ve teknolojik alanlarda yaşanan gelişmeler, sığ maden yatağı aramalarında önemli ilerlemelere neden olmuştur. Bilgisayar alanındaki gelişmelerle de daha hızlı ve kullanışlı bilgisayar donanımlarının üretilmesi, elektriksel direnç ölçümlerinde kolaylık sağlamış, özellikle sayısal analizleri hızla yapabilen sistemlerle ters (invers) yerdirenci modellemesi yapılması kolaylaşmıştır.

Madencilik dalında bu yeni yerdirenci ölçüm ürünlerinin kullanılması yeni ufuklar açacaktır. Daha önce uygulanması çok zor ve teknik olarak imkânsız olabilen yerdirenci ölçümleri galerilerde, tünellerde, açık ocak şevlerinde kullanılarak farklı bilgilerin ön araştırmaları yapılabilecektir. Bu gelişmeler metalik madenlerin, kömürlerin, endüstriyel hammaddelerin, jeotermal enerji kaynaklarının aranmasında, işletilmesinde pratik kazançlar getirmiştir. Son zamanlarda önem kazanan su kaynaklarının aranması ve geliştirilmesinde de elektriksel yerdirenci ölçümlerinin katkısı küçümsenemeyecek seviyelerdedir.

Özdirenç grafikleri yeraltındaki kayaçların yanal değişimlerini belirlemek için yapılır. Bunun için yeraltındaki metalik maden ocağı ana katlarında, ölçümlerin yapıldığı düşünülürse, her kat galerisinin altında, yan kayaçları içinde veya tavanında kayaç içi bozukluklar dâhil olmak üzere birçok bilgi elde edilebilecektir. Örneğin galeriler etrafındaki kayaçlarda bulunan su içeriği bize bu kayaçların bozuşma tehlikesi hakkında fikirler verecektir. Galeriler etrafında oluşan ikincil gerilmelerin zamanla buralarda bulunan kayaçların mukavemetini yenmeye başlaması bu kayaçların içinde yeni çatlakların, süreksizliklerin oluşmasına neden olacağı için kayaç direncini değiştirecektir. Bu farklılığı zaman içinde ölçerek belgelenmesi durumunda, kayaç bozuşmasının derecesi konusunda yorumlar yapılabilecektir.

Eğer bu ölçümler, çalışmakta olan bir açık ocak maden ocağının basamağından alınmış gibi düşünülürse; açık ocakta duraylılığa en hassas olan şev yapıları hakkında, şeve sızan yeraltı suları hakkında, şevin altında bulunan zayıflık zonları hakkında, şevde bulunabilecek çatlakların şev içindeki uzantıları hakkında bilgiler edinilmiş olacaktır. Bu bilgiler de, ileri zamanlarda çalışılan madende oluşabilecek risklere karşı önlem almak amacıyla kullanılabilinecektir. Böylelikle, madende çalışan iş makinelerine ve insanlara güvenli bir çalışma ortamı oluşturma yönünde daha olumlu adımlar atılabilecektir. Ayrıca açık ocak madenciliğinde maliyetin büyük bir bölümünü oluşturan örtü tabakasının kalınlığını bu yöntemle istenilen lokasyonlar için daha pratik ve ekonomik bir Şekilde tespit edilerek, işletmeciye örtü tabakası hakkında ön bilgiler verilebilir.

Bu çalışma sırasında pratik uygulaması görülen elektriksel ölçümlerin ayrıca traverten ve mermer ocaklarının büyük sorunları haline gelen, yeraltı boşluklarının (mağara) ve istenmeyen killi veya daha farklı kayaç damarlarının tespitinde

kullanılmasının mümkün olduğu açıkça görülmüştür. Bu sayede traverten ve mermer ocaklarında oluşturulan basamakların yüksekliği, bulunabilecek boşlukların ve diğer kayaç damarlarının varlığına göre ayarlanarak büyük ekonomik kazançlar sağlanabilecektir.

Pratik uygulaması kampüs içindeki ilgili gölet civarında yapılan elektriksel direnç ölçümlerini, maden yatağı aramaları ve zemin incelemeleri gibi farklı çalışma alanlarında da kullanabiliriz. Örneğin bir açık ocak kömür madenciliğinde önceden tespit edilmemiş kömür damarı varlığından şüphelenilen bir bölgede elektriksel özdirenç yöntemi kullanılarak o bölgedeki kömür damarının olup olmadığı daha kesin bir Şekilde tespit edilebilir. Böylelikle elektriksel özdirenç yöntemiyle elde ettiğimiz bilgileri kullanarak eğer o bölgede bir kömür damarı yoksa boş yere yapılacak sondaj maliyetlerinin önüne geçilebilir. Bu ve benzeri uygulamalar birçok farklı maden yatağında kullanılabilir.

Bu tez çalışması sırasında ölçümlerin yüzey altındaki farklı direnç gösteren bölgelerin taranması şeklinde yapıldığı göz önüne alınırsa, herhangi bir lokasyonda yapılacak bir yapının (köprü, baraj kemeri, bina, gökdelen, kule, havaalanı, karayolu v.b.) temelini oluşturacak ortamında (kayaç veya topraklı yapılar) benzer Şekilde derinlemesine araştırılabileceği ortadadır. Böylece zemin hakkında daha fazla bilgi toplanmasından sonra başlayacak inşaat çalışmaları ilgili bilgilere göre donatılacağı için daha mühendisçe olacaktır. Bu bilgilerin sağlandığı ilgili mühendisler yapının sağlam olabilmesi için yapılması gerekenleri kendi profesyonel tercihlerine göre tasarlayacaklardır. Eğer bu işlem yapılsaydı, örneğin ölçüm yapılan lokasyondaki gölet zemini konusunda önceden tedbirler alınır, burada su sızıntısına engel olunacak tedbirler alınarak gölet yapılırdı. Sonuçta, bugün kullanılan bir atık su göleti olduğu için de Konya da örnek bir mühendislik işlemi olarak göze çarpardı.

7. KAYNAKLAR

Aspinal, A. and Lynam, J.T. 1970. An induced polarization instrument for the detection of Near surface features. Prospez. Archael., 5, pp67-75.

Altuncu, S. 2001. Özdirenç yöntemi ile fay ve dayk türü süreksizliklerin belirlenmesi ve süzgeçlerin kullanımı (Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Süleyman Demirel Üniversitesi), Isparta.

Barker, R.D. 1979. Signal contribution section and their use in resistivity studies. Geophiys. J.R.Astr. Soc. 59, pp123–129.

Barker, R.D. 1981. The offset system of electrical resistivity sounding and its use with a multicore cable. G.P. 29, pp128–143.

Başokur, A.T. 1984. Düşey elektrik sondajı, TPAO, 261s, Ankara.

Başokur, A.T. 1994. Definitions of apparent resistivity for the presentation of magnetotelluric sounding data. G.P. 42(2), pp141–150.

Başokur, A.T. 1999. Automated 1D interpretation of resistivity soundings by simultaneous use of the direct and iterative methods. G.P. 47(2), pp149–178.

Bhattacharya, P.K. and Patra, H.P. 1968. Direct current geoelectric sounding principles and interpretation. Elsevier Publishing Company (Amsterdam-London-New York).

Boybeyi, M. 1994. Tünel güzergâhlarında özdirenç metodu ile yeraltı jeolojik yapısının çıkartılması (Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Üniversitesi), İstanbul.

Brizzolari, E. and Bernabini, M. 1979. Comparision between Schlumberger electrode arrangement and some focused electrode arrangements in resistivity profiles. G.P. 27, pp233–244.

Brizzolari E., Samir, A., Orlando L. Piro, S. and Versino, L. 1989. Filtering and crosscorrelating of resistivity profiles. Boll. Teor.Appl.16 (123-124): pp245–257.

Candansayar, M.E. 1997. Doğru akım özdirenç yönteminde modelleme ve iki-boyutlu sığ yapıların aranmasında elektrot dizilimlerinin ayrımlılıklarının karşılaştırılması (Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara Üniv.).

Candansayar, M.E., Basokur, A.T. and Peksen E. 1999**.** Detecting small-scale targets by the two-sided gradient transformation. Journal of the Balkan Geophysical Society, Vol. 2, No. 4, pp100–111.

Candansayar, M. E. and Basokur, A.T. 2000. Comparison of the resolution of the electrode configurations for the investigation of two-dimensional shallow structures (in Turkish). 75th Mining Congress of The Republic of Turkey, General Directorate of Mineral Research and Exploration Institute, Ankara.

Candansayar, M.E. and Basokur, A.T. 2001. Detecting small-scale targets by the 2D inversion of two-sided three-electrode data: application to an archaeological survey. Geophysical Prospecting, Vol. 49, No: 1, pp40 – 53.

Carpenter, E.W. and Habberjam, G.M. 1956**.** A tri-potential method of resistivity prospecting. G. 21(2), pp153–169.

Çağlar, İ., 2006. Jeoelektrik Yöntemler.(www.jeop.itu.edu.tr web adresinden alındı).

Dahlin, T. 1996**.** 2D resistivity surveying for environmental and engineering applications. First Break, Vol.14 (7), pp275–283.

Dahlin, T., 2001. The development of DC resistivity imaging techniques. Department of Geotechnolog, Lund University, Box 118, S-221 00 Lund, Sweden.

Dizioğlu M.Y. ve Keçeli A.D. 1981**.** Elektrik ve elektromanyetik prospeksiyon yöntemleri. T.C. İstanbul Üniversitesi yayınları, İstanbul.

Dondurur, D., Sarı, Ç. 2003. Metalik maden atığı taşıyan gömülü boru hattının özdirenç yöntemiyle araştırılması. D.E.Ü Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik dergisi cilt:5 sayı 3 sh. ss99–110, Ekim 2003, İzmir.

Drahor, M.G., göktürkler, G., Berge, M.A., Kurtulmuş, T.Ö. 2004. Dört farklı elektrot dizilimine göre bazı üç boyutlu sığ yer altı yapılarının görünür özdirenç modellemesi. Hacettepe Üniversitesi Yer bilimleri uygulama ve araştırma merkezi bülteni, Yerbilimleri, 30(2004) ss115–128, Ankara.

Ellis R.G. and Oldenburg D.W. 1994. The pole-pole 3-D DC-resisstivity inverse problem: a conjugate-gradient approach. Geophys.J.Int., 119, pp187-194.

Ergüder, İ. 2004. TKİ-GELİ Eskihisar ocağında antik yapıların jeofizik yöntemlerle bulunması. Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu Etüt Proje ve Tesis Dairesi Başkanlığı, Ankara.

Ertürk, A., 1970. Hatay-Samandağı Kooperatif sahasında jeofizik metotlarla tatlı-tuzlu su girişimi probleminin çözümlenmesi. DSİ yer altı suları dairesi başkanlığı, Ankara.

Griffiths, D.H., Turnbull, J. and Olayinka, A.I. 1990. Two-dimensional resistivity mapping with a computer-controlled array. First Break 8(4), pp121–129.

Grandinetti, M. 1967. Una nuova disposizione elettrodica per la ricerca di corpi di limitate dimensni. Boll. Geof.Teor.Appl.,9 (35).

Gündoğdu, N.Y. 2003. Mühendislik Jeofiziğinde Elektrik Yöntem Uygulamaları.(Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara Üniv.).

Karous, M. and Pernu, T.K. 1984. Combined sounding profiling resistivity measurements with the three-electrode arrays. Geophysical Prospecting, V33, pp447-459.

Kiremitçioğlu, İ.H. 1994.Yeraltısuyu araştırmalarında satıh rezistivite ve sismik kırılma yöntemlerinin Milas ovasına uygulanması.(Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Üniversitesi), İstanbul.

Kruschwits, S. and Yaramancı, U. (2004) Detection and characterization of disturbed rock zone in clay stone with the complex resistivity methods, *Journal of applied geophysics*, V57, pp63-69.

Loke, M. H. and Barker, R. D. 1995, Least-squares deconvolution of apparent resistivity pseudosection: Geophysics, 60**,** No:06, pp1682–1690.

Loke, M.H., 2001b. Tutorial: 2-D and 3-D electrical imaging surveys. Penang,Malaysia, University Sains Malaysia, umpublished course notes pp121 www.geoelectrical.com.

Menke, W. 1989. Geophysical data analysis: discrete inverse theory. Academic Press, Inc.

Meju M. 1994. Geophysical data analysis: understanding inverse problem theory and practice. SEG publication.

Meyer, W.H., 1977. Computer modelling of electro-magnetic prospecting methods. Ph.D. Thesis, Universıty of California, Berkeley, USA(unpublished).

Muftı, I.R., 1976. Finite difference resistivity modelling for arbitrarily shaped two dimensional structures. Geophysics, 41, pp62-78.

Okabe, M., 1981. Boundary element method for the arbitrarily inhomogenetis problem inelectrical prospecting. Geophysical Prospecting, 29, pp39-59.

Orlando, L. Piro, S. and Versino, V. 1987. Location of sub-surface geoelectric anomalies for archaeological work: a comparison between experimental arrays and interpretation using numerical methods. Geoexploration, V24, pp227–237.

Parasnis, D.S., 1965. Theory and practice of electric potential and resistivity prospecting using linear current electrodes. Geoexploration, 3(1), pp3-69.

Özgüler, M.E., Erdoğan, R., Şener, Ç., 1986. Türkiye'deki jeotermal alanların araştırılmasında jeofizik çalışmalat. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara.

Parker R. 1994. Geophysical Inverse theory. Princeton University Press.

Pridmore, D.F, Hohmann, G.W, Ward, S.H., and Sill, W.R., 1981. An investigation of finite element modeling for electrical and electromagnetic data in three dimensions. Geophysics, 46, pp1009-1024.

Roy, A. and Apparao, A. 1971. Depth of investigation in direct current methods, G. 36: pp943–959.

Rijo, L., 1977. Modelling of electric and electromagnetic data. Ph.D. Thesis, University of Utah , USA(unpublished).

Schulz, R. 1985. Interpretation and depth of investigation of Gradient Measurements in direct current geoelectrics. G.P. 33: pp1240–1253.

Spies, B.R. and Eggers, D.E. 1986. The use and misuse of apparent resistivity in electromagnetic methods. Geophysics, 51, pp1462–1471.

Spitzer, K. 1995. A three dimensional finite-difference algorithm for 3D resistivity modelling using conjugate gradients method. Geophys.J.Int. 123, pp903–914.

Tarantola, A. 1987. Inverse problem theory.Elsevier.

Telford, W.M., Geldart, , L.P., Sheriff, R.E., and Keys, D.A., 1976. Applied Geophysics, Cambrige University Press, Cambrige, 860p.

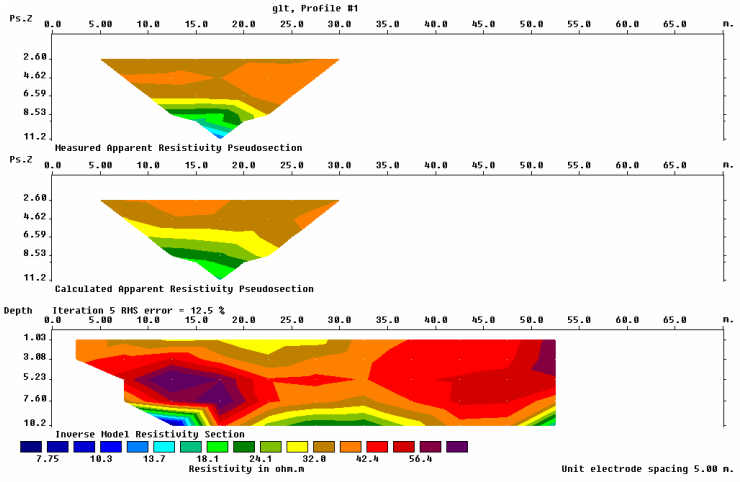
Uchida, T. 1991. Two-dimensional resistivity inversion for Sclumberger sounding, Butsuri- Tansa, 44 (1), pp1–17.

Van Nostrand, R. G. and Cook, K. L. 1966. Interpretation of resistivity data: USGS Prof.,Printing Office, Washington, USA, 449pp.

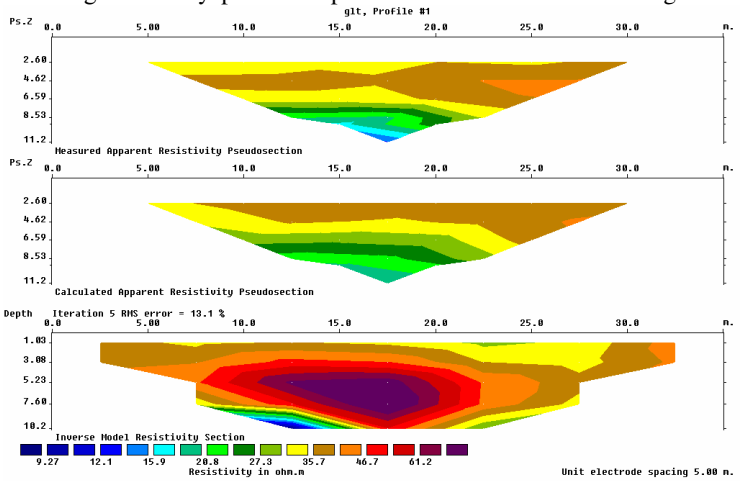
Van Overmeeren, R.A. and Ritsema, I.L. 1988. Continuous vertical electrical sounding. First Break, 6(10), pp313–324.

EK-1

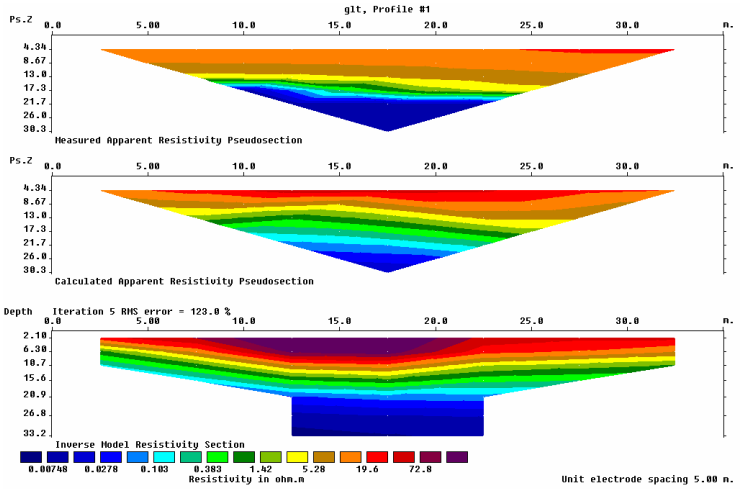
(Çalışma sahasının sağ tarafı boyunca elde edilen direnç değişim kesitleri)



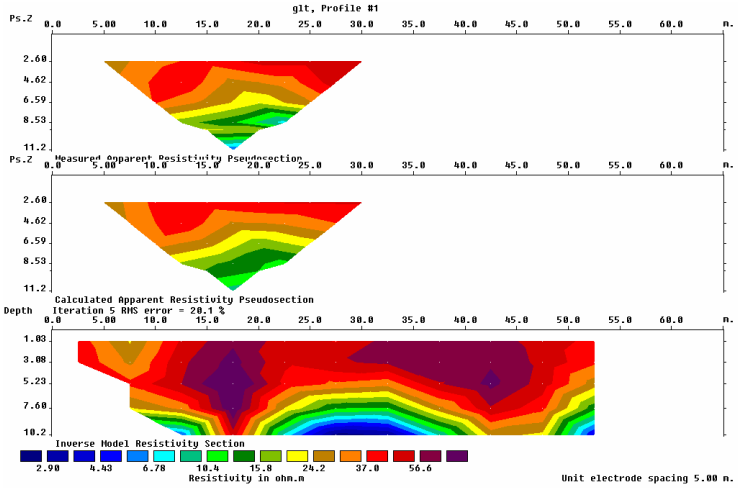
1.Çalışma sahasının sağ tarafında yapılan Pole-pole dizilimi sonucu elde edilen görünüm



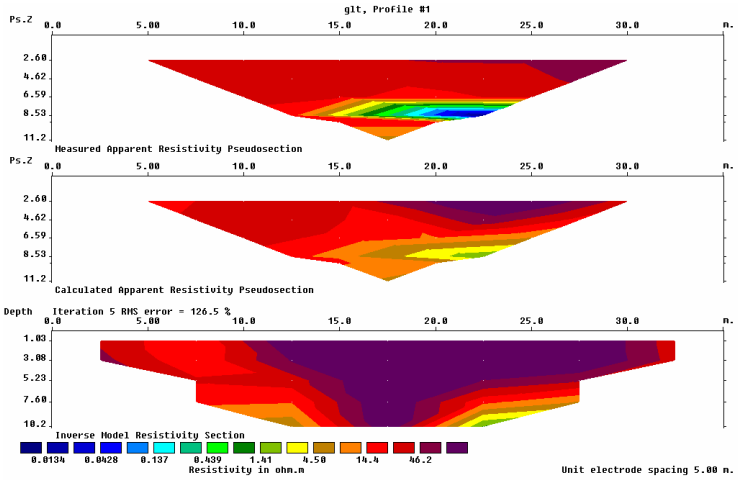
2.Çalışma sahasının sağ tarafında yapılan Pole-dipole dizilimi sonucu elde edilen görünüm



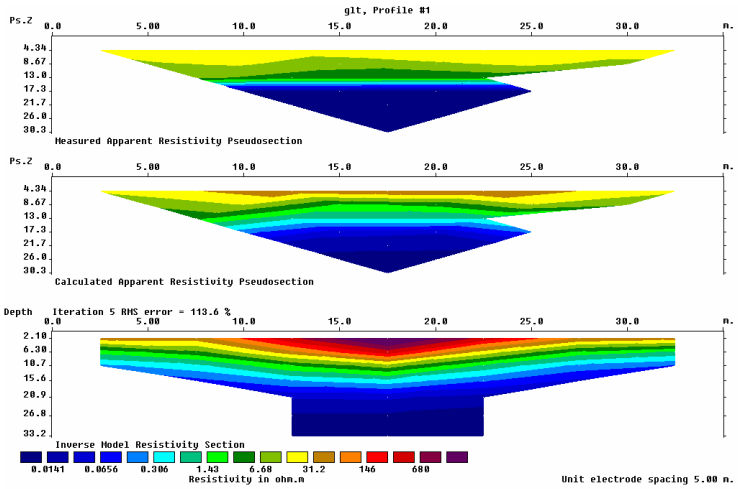
3.Çalışma sahasının sağ tarafında yapılan Combine Pole-dipole dizilimi sonucu elde edilen görünüm



4.Çalışma sahasının sağ tarafında yapılan Pole-pole dizilimi sonucu elde edilen görünüm



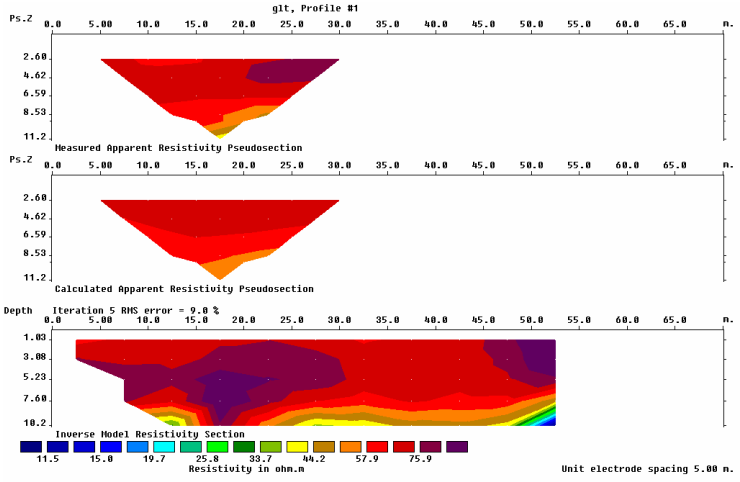
5.Çalışma sahasının sağ tarafında yapılan Pole-dipole dizilimi sonucu elde edilen görünüm



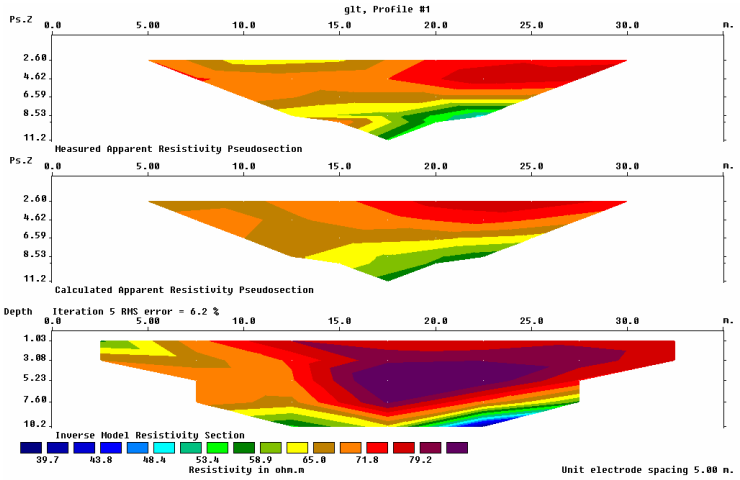
6.Çalışma sahasının sağ tarafında yapılan Combine Pole-dipole dizilimi sonucu elde edilen görünüm

EK-2

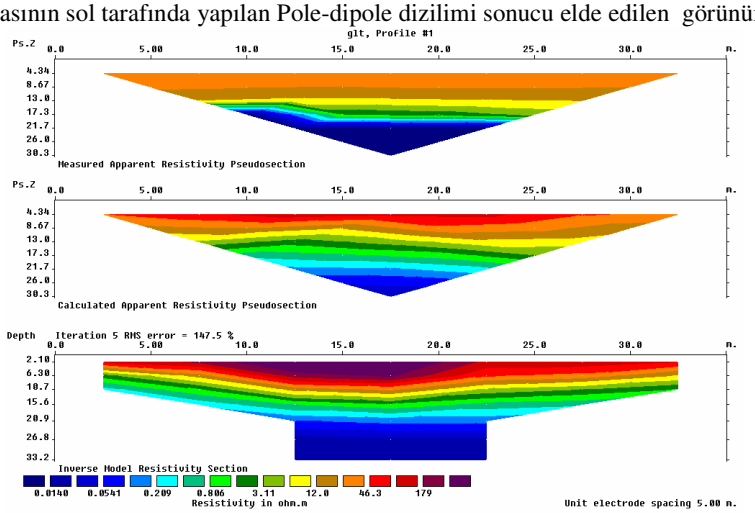
(Çalışma sahasının sol tarafı boyunca elde edilen direnç değişim kesitleri)



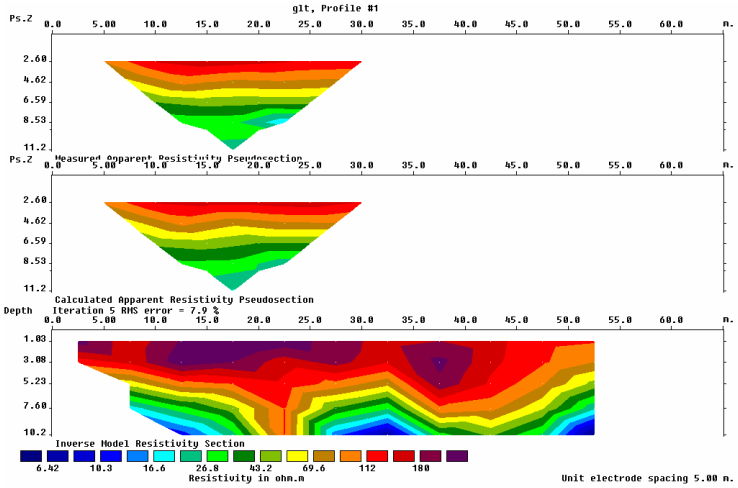
1.Çalışma sahasının sol tarafında yapılan Pole-pole dizilimi sonucu elde edilen görünüm



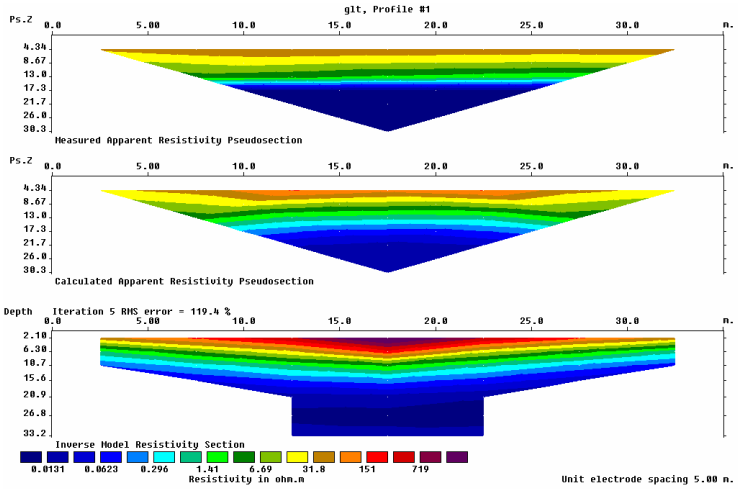
2.Çalışma sahasının sol tarafında yapılan Pole-dipole dizilimi sonucu elde edilen görünüm



3.Çalışma sahasının sol tarafında yapılan Combine Pole-dipole dizilimi sonucu elde edilen görünüm



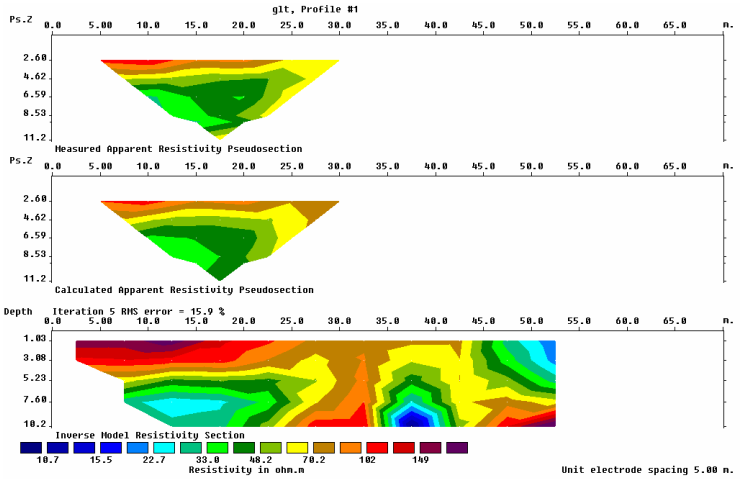
4.Çalışma sahasının sol tarafında yapılan Pole-pole dizilimi sonucu elde edilen görünüm



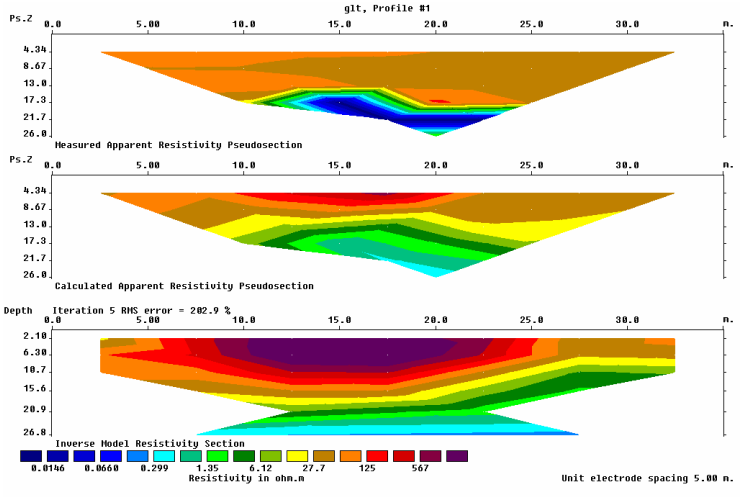
5.Çalışma sahasının sol tarafında yapılan Combine Pole-dipole dizilimi sonucu elde edilen görünüm

EK-3

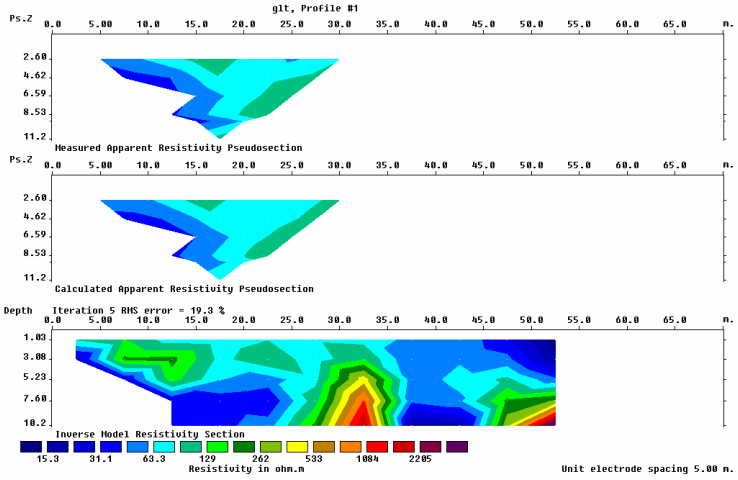
(Çalışma sahasında dere yatağı içinden elde edilen direnç değişim kesitleri)



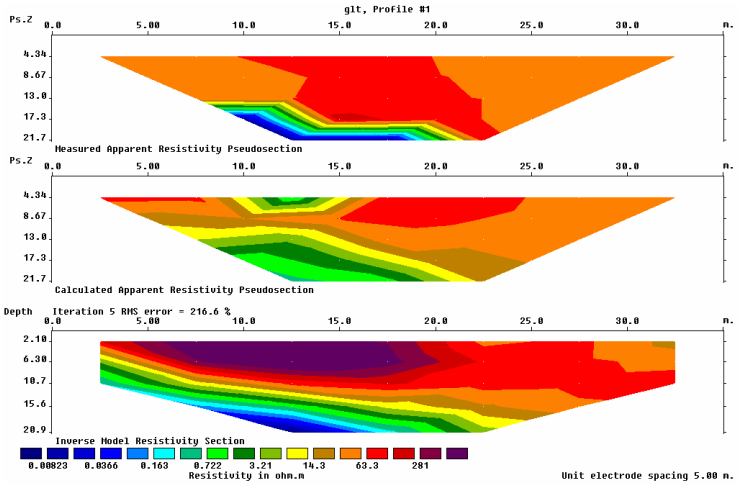
1.Çalışma sahasının dere yatağı içinde yapılan Pole-pole dizilimi sonucu elde edilen görünüm



2.Çalışma sahasının dere yatağı içinde yapılan Combine Pole-dipole dizilimi sonucu elde edilen görünüm



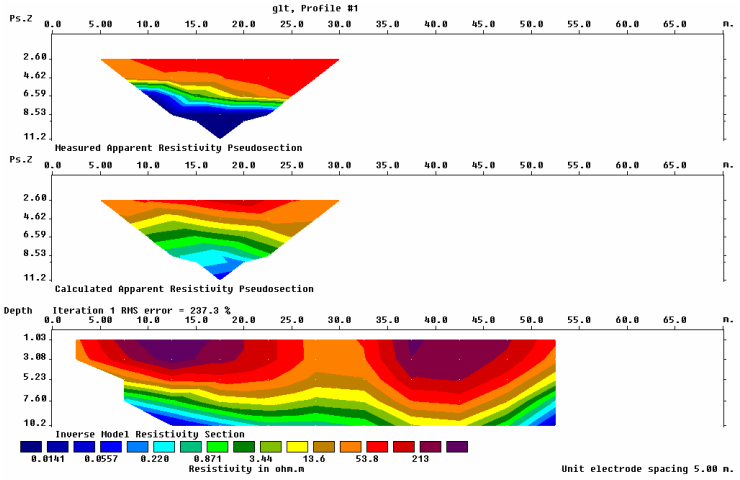
3.Çalışma sahasının dere yatağı içinde yapılan Pole-pole dizilimi sonucu elde edilen görünüm



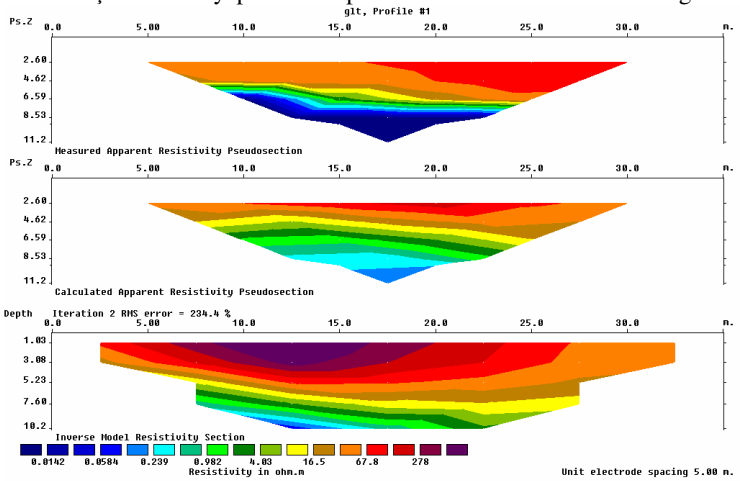
4.Çalışma sahasının dere yatağı içinde yapılan Combine Pole-dipole dizilimi sonucu elde edilen görünüm

EK-4

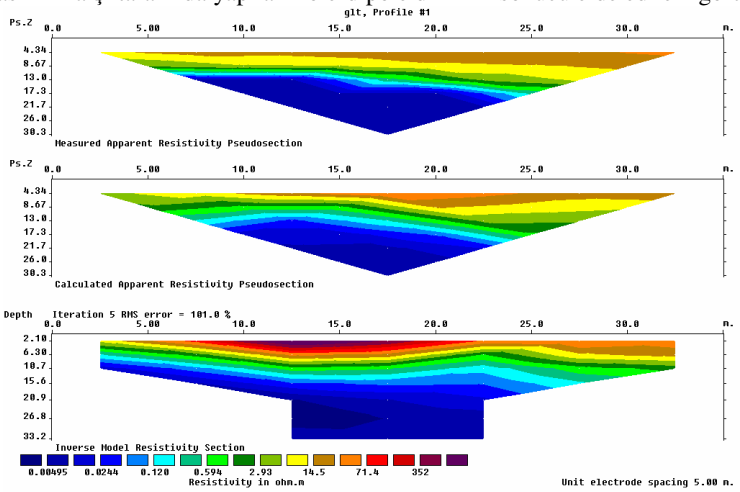
(Çalışma sahasının karşı tarafından elde edilen direnç değişim kesitleri)



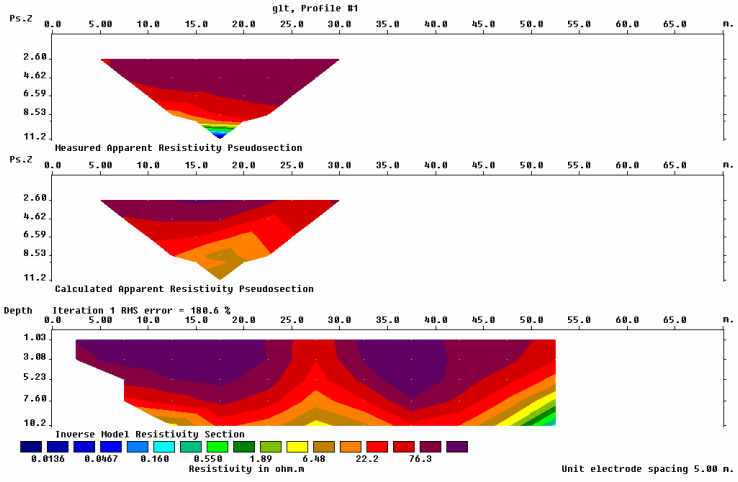
1.Çalışma sahasının karşı tarafında yapılan Pole-pole dizilimi sonucu elde edilen görünüm



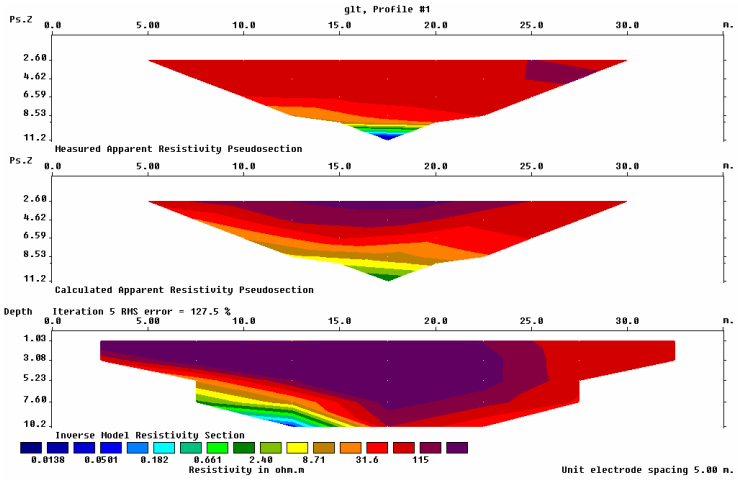
2.Çalışma sahasının karşı tarafında yapılan Pole-dipole dizilimi sonucu elde edilen görünüm



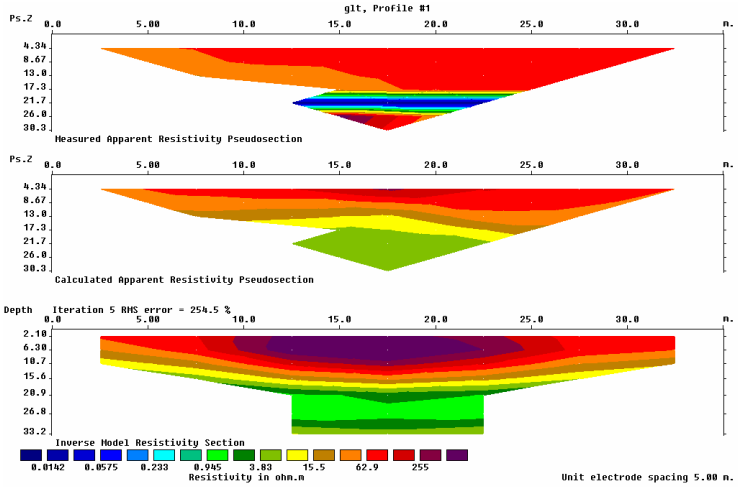
3.Çalışma sahasının karşı tarafında yapılan Combine Pole-dipole dizilimi sonucu elde edilen görünüm



4.Çalışma sahasının karşı tarafında yapılan Pole-pole dizilimi sonucu elde edilen görünüm



5.Çalışma sahasının karşı tarafında yapılan Pole-dipole dizilimi sonucu elde edilen görünüm



6.Çalışma sahasının karşı tarafında yapılan Combine Pole-dipole dizilimi sonucu elde edilen görünüm