T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MADEN VE YAPI SEKTÖRÜNDE , ELEKTRİKSEL YERDİRENCİ ÖLÇÜM SİSTEMLERİNİN UYGULAMA İMKANLARININ ARAŞTIRILMASI

Kemal DOĞAN
DOKTORA TEZİ
MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
KONYA-2009

ÖZET

Doktora Tezi

MADEN VE YAPI SEKTÖRÜNDE, ELEKTRİKSEL YERDİRENCİ ÖLÇÜM SİSTEMLERİNİN UYGULAMA İMKANLARININ ARAŞTIRILMASI

Kemal DOĞAN

Selçuk Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Maden Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. M. Kemal GÖKAY
2009, 175 sayfa

Jüri: Prof. Dr. M. Kemal GÖKAY
Prof. Dr. Bülent ERDEM
Prof. Dr. Veysel ZEDEF
Yrd. Doç. Dr. İhsan ÖZKAN
Yrd. Doç. Dr. Murat ÜNAL

Yeraltında açılan kazı boşluklarının, galerilerin etrafında veya yeryüzünde açılan açık maden ocaklarında yüzeyden görülemeyen; bozuklukların, boşlukların, fayların, yeraltı suyu durumunun ve benzeri maden tasarımını etkileyen faktörlerin maden planlaması aşamasında ve maden işletilirken belirli aralıklarla belirlenerek, gerekli ise tedbirlerin oluşturulması maden mühendisliği uygulamaları içinde yer alır. Maden ocaklarında, planlanan ocağın stabilitesini etkileyecek çatlakların varlığını, oluşum ve ilerleme durumlarını madenin mekanik dayanımına zarar vermeden, hasarsız olarak belirlenmesinin önemi büyüktür.

Yeraltı galerileri, tüneller, yeraltı depoları (katı atık veya nükleer atık depoları v.b.) ve diğer yeraltında açılan boşlukların etrafında bulunan çatlaklar bu maden boşluklarının tahkimatlarının planlanmasını etkileyecek, bazı durumlarda bunların lokasyonlarının değiştirilmesini gerektirecek durumlar oluşturabilir. Açılan boşluklar civarında gelişen yeni çatlaklar ve bunların sayılarındaki artışlar maden mühendisinin yeni tedbirler tasarlamasını gerektirebilir. Benzer şekilde şevlerin stabilitesini etkileyen şev içi çatlakların, yüzeyden görünenler ve şev içinde kalıpta görünmeyenler dahil izlenmesi şevi oluşturan kaya kütlesinin mekanik yenilmelere açık olup olmadığını sergileyecektir. Özellikle yeraltı depolarının sızdırmazlığı

düşünüldüğünde deponun içinde bulunduğu kayacın çatlaklılık durumunun izlenmesi kaçınılmaz bir mühendislik hizmeti olarak rutin işler içinde düşünülmesi gerekir.

Yeraltında veya açık ocaklarda, bu çatlak durumu izleme işlemlerinin hasarsız olarak, üzerinde çalışma yapılan galeri veya şevin stabilitesini bozmadan uygulanabilmesinin bir yolu elektriksel rezistivite yöntemidir.

Bu doktora tezi kapsamında daha önce madencilik alanında çok fazla kullanılmayan elektriksel rezistivite yönteminin uygulanabilirliği araştırılmıştır. Bu uygulamanın kullanışlılığı ve sonuçların maden mühendislerince paylaşılabilecek formatta olmasının önemi büyüktür. Böylece maden mühendisleri çalıştıkları maden ocağının rezervi, mineralizasyon yönelimi, galeri çevre kayacının stabilitesi ve dolaylı olarak maden açıklıklarında çalışan maden işçilerinin güvenliğini ilgilendiren önemli kaya yapısı sorunları hakkında bilgi edinebilecekler ve gerekiyorsa ilgili tedbirleri önceden alabileceklerdir.

Bu amaçlara ulaşabilmek için elektriksel direnç yönteminin fiziksel ve arazi uygulamasını içeren konu başlıkları araştırılarak bu çalışmanın literatür inceleme bölümlerinde özetlenmiştir. Elektriksel yerdirenci ölçüm sistemiyle daha önce farklı araştırmacıların yaptığı örnek çalışmalar incelenerek yöntemin madencilik sahalarında uygulama çalışmalarında denenebileceği kanaati oluşmuştur. Maden mühendislerinin karşılaştığı farklı mühendislik problemleri için yapılan arazi ve laboratuar çalışmalarıyla elektriksel yerdirenci ölçümlerinin oldukça gerçekçi olarak uygulanabilirliği bu tez çalışması kapsamında yapılan ölçümlerle gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Elektriksel rezisitive, açık ocak madenciliği, şev stabilitesi, yeraltı boşluklarının incelenmesi

ABSTRACT

PhD Thesis

INVESTIGATION ON ECONOMIC APPLICATION OF ELECTRICAL GROUND RESISTIVITY MEASURING SYSTEMS AT MINING AND CIVIL ENGINEERING PROJECTS

Kemal DOĞAN

Selçuk University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mining Engineering

Supervisor: Prof. Dr. M. Kemal GÖKAY
2009, 175 pages

Jury: Prof. Dr. M. Kemal GÖKAY
Prof. Dr. Bülent ERDEM
Prof. Dr. Veysel ZEDEF
Yrd. Doç. Dr. İhsan ÖZKAN
Yrd. Doç. Dr. Murat ÜNAL

Determination of weakness zones, cavities, faults, folds, groundwater localizations and similar features in rock masses which could not be realized easily from the ground level are in fact the subjects which the mining engineers should obtain information and take the necessary precautions for safer working conditions in mines. Information related with rock mass conditions around ore reserves or mining galleries deeply affect the mine planning. Verification of rock conditions including stability related discontinuities and their zonal locations through unharmful rock testing methods therefore are very important for mine operations.

Since one of the main aims of the design engineers in mining engineering works is determination of the underground conditions, including disturbances, stopes, cavities, faults, underground water situations, fault planes. Electrical resistivity measuring systems supply necessary information before and during the mining operations to mine engineers. Non-destructive methods which include electrical resistivity method are used for determination of discontinuities in the rock

mass which contains mine galleries and stopes. Discontinuity initiation and development around mine openings or slopes influence the design of them. In some cases due to discontinuities, their localization on mine plan might be changed as well. Especially when underground waste disposals are in consideration discontinuities around them should be analyzed as a routine engineering operation.

In this PhD thesis; application of electrical resistivity measuring systems in mining sites is selected as a main aim. It is important to obtain earth resistivity measurement results in common format which all mine engineers can understand without difficulties. The results of earth resistivity measurements supply information about mine ore reserve and its extensions, mineralization differences, weakness zones around the mine galleries. This knowledge improves the mine working conditions due to their mine plan modifications based on safe, productive and profitable mining operations. Sensitivity and sustainability of the test results obtained from resistivity measurements are compared with actual site conditions and the data verifications were performed according to known drilling information wherever possible.

In order to apprehend the proposed aim; theoretical background related with electrical resistivity has been searched and it was given in literature section of this thesis. The researches which had been performed by different researchers in different engineering activities have been analyzed and it was decided that electrical resistivity methods could be well suited in mining engineering subjects. After performing field studies in the content of this research it has been reached that earth resistivity used for several other engineering activities can be used in mining engineering applications during mine planning, mine operation or even after the mine closure.

Key Words:. Electrical resistivity, open pit coal mining, slope monitoring,research on underground excavations

TEŞEKKÜRLER

Bu tez çalışmasının her safhasında beni destekleyip yönlendiren, teşvik eden daima en iyinin ve doğrunun olması için çalışan ve benim yetişmem için emeğini esirgemeyen danışmanım Prof. Dr. M. Kemal GÖKAY'a sonsuz teşekkürlerimi ve saygılarımı sunuyorum.

Bütün çalışmam sürecinde manevi desteklerini bir an bile olsun esirgemeyen eşim Sevil DOĞAN ve biricik kızımız Sudenaz DOĞAN'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖZET		i
ABSTRACT		iii
TEŞEKKÜR		v
İÇİNDEKİLER		vi
TABLOLAR DİZİNİ		viii
ŞEKİLLER DİZİNİ		ix
BÖLÜM I	GİRİŞ	1
1.1	Problemin Tanımı	1
1.2	Çalışmanın Amacı	7
1.3	Çalışmanın İçeriği	9
BÖLÜM II	ELEKTRİKSEL YERDİRENCİ ARAŞTIRMALARI	10
2.1	Genel	10
2.2	Rezistivite Yöntemleri	18
2.2.1	Genel elektrot dizilimi	18
2.2.2	Özel elektrot dizilimleri	19
2.3	Elektrot Dizilimlerinin Avantaj ve Dezavantajları	21
2.3.1	Schlumberger dizilimi	22
2.3.2	Wenner dizilimi	22
2.3.3	Dipole-Dipole dizilimi	23
2.3.4	Pole-Dipole elektrot dizilimi	23
2.4	Farklı Jeofiziksel Ölçümlerin Uygulanma Hedefleri	24
BÖLÜM III	LABORATUARDA YAPILAN FİZİKSEL MODEL UYGULAMALARI	27
3.1	Genel	27
3.2	Materyal Metot	28
3.3	Laboratuar Deneyleri	30
3.3.1	Homojen yapay ortam modellemesi ve elektriksel rezistivite ölçümleri	30
3.3.2	Alçı Plakalarla yapılan model çalışmaları	35
3.3.2.1	Alçı-Beton plaka modellerini uygulama amacı	41
3.3.2.2	Numunelerin hazırlanışı	42
3.3.2.3	Alçı model numunelerin üzerinde deneylerin yapılışı	47
3.3.2.4	Beton numune üzerinde deneylerin yapılışı	59
BÖLÜM IV	ÖNARAZİ ÇALIŞMALARI	66
4.1	Genel	66
4.2	Materyal Metot	67
4.3	Elektriksel Yerdirenci Uygulaması Yapılan Ön Arazi Lokasyonları	69
4.3.1	Selçuk Üniversitesi, Alaeddin Keykubat Kampüs alanı kanalizasyon kanalı ölçümleri	71
4.3.2	Selçuk Üniversitesi Alaeddin Keykubat Kampus alanı Mühendislik Mimarlık Fakültesi Önü	73

4.3.3	S.Ü.Alaeddin Keykubat Kampus alanı terkedilmiş atıksu göleti civarı	74
4.3.4	Selçuk Üniversitesi Güzel Sanatlar Fakültesi civarı	78
4.3.5	Konya Çimento Fabrikası Kireçtaşı Ocağı	80
4.3.6	Konya Binkonutlar semtinde inşaat temeli incelemeleri	84
4.4	Önarazi Çalışmalarının Değerlendirilmesi	86
BÖLÜM V	AÇIK MADEN SAHALARINDA YERDİRENCİ ÖLÇÜMLERİ	87
5.1	Genel	87
5.2	GLİ Ilgın Gölyaka Linyit Ocağı Ölçümleri	88
5.2.1	GLİ Ilgın Gölyaka linyit ocağında yerdirenci ölçüm lokasyonları	92
5.2.2	Maden Yolları için yapılan arazi yerdirenci ölçümleri	95
5.3	Garp Linyitleri İşletmesi Ilgın Gölyaka Linyit Ocağı Şev Durumu İncelemesi	101
5.3.1	GLİ-Ilgın Gölyaka linyit ocağındaki şevlerde heyelanın izlenmesi	103
5.3.2	GLİ-Ilgın Gölyaka linyit ocağında şev kaymasının izlenmesine yönelik yerdirenci ölçüm sonuçları	106
5.4	Karaman–Ermenek Bölgesi Mermer Sahası İncelemesi	114
5.5	Konya-Yükselen Traverten Sahası İncelemesi	123
5.5.1	Konya-Yükselen traverten sahasında yapılan yerdirenci ölçüm sonuçları	124
5.6	Konya Çimento Fabrikası Kireçtaşı Ocağında, Patlatma Etkisinin Yerdirenci Değişimleriyle İzlenmesi	128
5.6.1	Konya Çimento kireçtaşı ocağında patlatma öncesi ve sonrası elde edilen yerdirenci grafikleri	131
BÖLÜM VI	YERALTI AÇIKLIĞI ÇEVRESİNDE YERDİRENCİ ÖLÇÜMLERİ	137
6.1	Genel	137
6.2	Bozdağ Tünel Projesinin Amacı	137
6.3	Bozdağ Tüneli Üzerinde Yapılan Elektriksel Yerdirenci Ölçümleri	141
BÖLÜM VII	SONUÇLAR	158
Kaynaklar		163
EK-A	ARAZİ ÇALIŞMASI ORJİNAL VERİLER	167

TABLOLAR DİZİNİ

No		Sayfa
2.1	Özel elektrot dizilimleri	19
2.2	Kayaçlar ve elektriksel rezistiviteleri	20
2.3	Bazı minerallerin elektriksel rezistiviteleri	20
2.4	Farklı suların elektriksel rezistiviteleri	21
2.5	Bazı kayaçların elektrik rezistiviteleri	21
2.6	Hasarsız ölçüm yöntemlerinin jeolojik problemlere göre uygulama alanları.	25
2.7	Hasarsız ölçüm yöntemlerinin hidrojeolojik şartlara göre uygulama alanları.	25
2.8	Hasarsız ölçüm yöntemlerinin çevre şartlarına göre uygulama alanları	25
2.9	Hasarsız ölçüm yöntemlerinin mühendislik şartlarına göre uygulama alanları.	26
3.1	Değişik tür taze kayalar için izin verilebilir taşıma basınçları	41
3.2	Fiziksel model uygulamalarında kullanılan malzeme ve ekipmanlar	42
3.3	Hazırlanan model numunelerin boyutları ve sayıları	47
3.4	Laboratuarda yapılan deneyler sonrası elde edilen sonuçlar	58
5.1	Test lokasyonu-1 yakınında bulunan 85/44 numaralı sondaj logu	93
6.1	Konya-Ankara hızlı tren projesini önemli parametreleri.	139
7.1	Kayaçlara ait elektriksel rezistivite değerleri	160
7.2	Çalışmalar sonrasında elde edilen bazı elektriksel yerdirenci değerleri	161
7.3	. Bazı minerallere ait elektriksel yerdirenci değerleri	161
7.4	Bazı malzemeler, sular ve kömürlere ait elektriksel rezistivite değerleri	162

ŞEKİLLER DİZİNİ

NO		Sayfa
1.1	Elektriksel yerdirenci ölçme ekipmanlarının görünüşü, (Gisco Equipment, arazi test çalışmaları)	6
1.2	Elektriksel yerdirenci ölçüm çalışmalarında toprak altında kaya yüzeyinin algılanmasına yönelik yapılan ilk uygulamaların yapıldığı arazi lokasyonlardan birisi, (Binkonut-Konya). Bu bölgede kayaç yüzeyi 5-30 metre derilikte yer almaktadır	7
2.1	Asse tuz madeni yeraltı boşluklarının yan duvarından elde edilen, 2-boyutlu elektriksel rezistivite değişim grafiği	12
2.2	Genel elektrot dizilimi	18
2.3	Schlumberger elektrot dizilimi	22
2.4	Wenner elektrot dizilimi	23
2.5	Dipol-dipol diziliminin özel bir konumu	23
2.6	Pole-dipol elektrot dizilimi	24
3.1	Homojen sedimenter zeminlerin modellenmesi amacıyla hazırlanan prizmatik cam hacim düzeneği, ölçüme hazır elektrot kabloları ve SEW 6212A-IN direnç ölçer.	29
3.2	Yeraltında açılan galeri çevresindeki elektriksel dağılımın incelenmesi amacıyla hazırlanmakta olan alçı modeller	30
3.3	Yapay zemin modelinin sıkışma öncesi Düşey Elektrik Sondaj (DES) ölçüm sonuçları	33
3.4	Yapay zemin modelinde yüzeyden verilen suyun etkisinin belirlenmesi	33
3.5	Yapay zemin modelinde yüzeyden verilen mazot kontaminasyonunun etkisi.	33
3.6	Yapay zemin modeli içinde temsil edilen tünel etrafında malzeme sıkışmasına bağlı elektriksel rezistivite değişimi	35
3.7	Yapay zemin modeli içinde temsil edilen tünel etrafında su içeriği farklılığına göre elektriksel rezistivite değişimi	35
3.8	a) Temeller, b) Tüneller ve kuyular, c) Geniş yeraltı boşlukları	36
3.9	a) Yeraltı madencilik uygulamaları, b) Jeotermal enerji üretimi, c) Radyoaktif atıkların depolanması	37
3.10	Kazı boyutlarının artışıyla kaya kütlesi kavramının önem kazanmasını gösteren şematik kesit	38
3.11	Aşırı sökülmeyle ilgili at nalı ve dairesel kesitli tünellerden örnekler	38
3.12	Yatay tabakalı sedimanter kayaçlarda galeri üstü davranışlarını gösteren fiziksel model çalışmaları; a) Galerinin tavanındaki ince tabakanın aşağıya sarkması ve çatlaması, b) Galerinin hemencecik tavanında kalın bir tabakanın bulunması halinde sarkma ve yenilme şartları, c) Yatay tabakalı kayacın çatlamalar sonundaki yenilme anı	40
3.13	Kalıplar içine dökülmüş dikdörtgen galeri içeren alçı model	44
3.14	Hazırlanan alçı modellere yük uygulanırken kullanılan üstü açık kutu şeklindeki can düzenek.	44

3.15	Alçı plaka modeller; a) Daire kesitli galeri içeren model, b) Kare kesitli galeri içeren model, c) Dikdörtgen kesitli galeri içeren model, d) Galeri açılmamış alçı plaka model, e) Tabaka şeklinde hazırlanan model numuneler, f) Alçı model numunelerin toplu görünüşü	46
3.16	Yatay tabakalı arazi yapısının cam düzenek içinde modellenmesi	49
3.17	Yatay tabakalı ardalanmalı arazi modeli; a) Kırılmaların oluşmaya başladığı ilk anlar, b) Yenilme sonunda oluşan görüntü, sıkışan kum katmanlar ve üzerinde bulunan kırılmış gevrek alçı tabakalar	49
3.18	Dairesel kesitli galeri içeren arazi modeli, a) Hidrolik presle yük uygulanma anı, b) Uygulanan yükten dolayı model galeri çevresinde oluşan çatlaklar	51
3.19	Dairesel kesitli galeri modeli içeren numunelerin yük altında çatladıktan sonraki görüntüleri	51
3.20	Kare galeri kesitli arazi modellemesi.Hidrolik presin uygulandığı an	53
3.21	Kare kesitli galeri modeli içeren arazi modelleri. a) Kırılmaların oluşmaya başladığı ilk anlar, b) Galeri çevresinde oluşan kırılmalar	53
3.22	Kare galeri kesitli numuneler üzerinde yapılan model deneylerden örnekler	53
3.23	Kare kesitli galeri modeli içeren numuneler üzerinde yapılan deneyler	54
3.24	Dikdörtgen kesitli galeri modelinin hidrolik preste yüklenmesi	55
3.25	Dikdörtgen kesitli alçı galeri modeli, a) Kırılmaların oluşmaya başladığı ilk anlar, b) Galeri çevresinde oluşan kırılmalar	55
3.26	Dikdörtgen kesitli galeri içeren alçı model numuneler	56
3.27	Dikdörtgen galeri kesitli numuneler	57
3.28	Boşluksuz alçı model numuneler	57
3.29	Boşluksuz alçı numunelerin yük altında çatlatılma sonrası durumları	58
3.30	İçerisinde kare boşluk oluşturulmuş beton numunenin; kırılma öncesi (a) ve kırılma sonrası (b) görünümü	60
3.31	İçerisinde kare boşluk oluşturulmuş beton numunenin kırılma öncesi ve sonrası rezistivite değişim grafikleri (c-d merkez okumaları)	60
3.32	İçerisinde üçgen boşluk oluşturulmuş beton numunenin; kırılma öncesi (a) ve kırılma sonrası (b) görünümü	61
3.33	İçerisinde üçgen boşluk oluşturulmuş beton numunenin kırılma öncesi ve sonrası rezistivite değişim grafikleri (c-d merkez okumaları)	61
3.34	İçerisinde daire boşluk oluşturulmuş beton numunenin; kırılma öncesi (a) ve kırılma sonrası (b) görünümü	62
3.35	İçerisinde daire boşluk oluşturulmuş beton numunenin kırılma öncesi ve sonrası rezistivite değişim grafikleri (c-d merkez okumaları)	62

3.36	İçerisinde dikdörtgen boşluk oluşturulmuş beton numunenin; kırılma öncesi (a) ve kırılma sonrası (b) görünümü	63
3.37	İçerisinde dikdörtgen boşluk oluşturulmuş beton numunenin kırılma öncesi ve sonrası rezistivite değişim grafikleri (c-d merkez okumaları)	63
3.38	İçerisinde atnalı boşluk oluşturulmuş beton numunenin; kırılma öncesi (a) ve kırılma sonrası (b) görünümü	64
3.39	İçerisinde atnalı boşluk oluşturulmuş beton numunenin kırılma öncesi ve sonrası rezistivite değişim grafikleri (c-d merkez okumaları)	64
3.40	İçerisinde boşluk oluşturulmamış beton numunenin; kırılma öncesi (a) ve kırılma sonrası (b) görünümü	65
3.41	İçerisinde boşluk oluşturulmamış beton numunenin kırılma öncesi ve sonrası rezistivite değişim grafikleri (c-d merkez okumaları)	65
4.1	ARES elektriksel yerdirenci ölçüm cihazı ve parçaları; a) bilgisayar bağlantısı-1, b) bilgisayar bağlantısı-2, c) Güç kaynağı bağlantısı, d) T-bölme parçası, e) VES-adaptör parçası, f) ARES cihazı ve güç kaynağı bağlantısı, e) çoklu elektrot kablosunda yer alan bir rezistivite algılayıcı ve çelik elektrot bağlantısı	69
4.2	Selçuk Üniversitesi, Alaeddin Keykubat Kampüsü içinde yeraltında bulunan fakat kampus kapısı civarında yüzeylenen beton kanalizasyon kanalları	71
4.3	S.Ü. Alaeddin Keykubat kampusü,ana giriş kapısı yakınındaki yeratı beton kanalizasyon kanallarının çevresi	72
4.4	Mühendislik-Mimarlık Fakültesi önündeki kanalizasyon hattının belirlenmesi	73
4.5	S.Ü.Hukuk Fakültesi binası arkasında elektriksel yerdirenci ölçümlerinin yapıldığı lokasyon ve ölçüm hatları	75
4.6	Hukuk Fakültesi binasının K tarafında bulunan bahçede yapılan elektriksel yerdirenci ölçüm sonucu	76
4.7	Atıksu göletinin görünüşü, (Güneyden Kuzeye doğru görünüş).	77
4.8	Gölet civarı okuma hatlarına bir örnek	77
4.9	Güzel Sanatlar Fakültesi civarı okuma hatları	79
4.10	Güzel Sanatlar Fakültesi binası G kısmında yapılan yerdirenci ölçüm sonucu (combine elektrot dizilim sonucu).	79
4.11	Güzel Sanatlar Fakültesi binası GB yönünde 50 m uzakta yapılan Pole-Dipole elektrot dizilimiyle ölçülen yerdirenci sonuçları	80
4.12	Konya Çimento Fabrikası kireçtaşı ocağı taban kotunda yapılan yerdirenci ölçüm sonuçları	82
4.13	Konya Çimento Fabrikası kireçtaşı ocağında bulunan gölet yakınında yapılan yerdirenci ölçüm sonucu	83
4.14	Konya-Binkonutlar semtindeki yerdirenci ölçümleri	84
4.15	Konya-Binkonutlar semtinde üzerinde ölçüm yapılan inşaat temelinin kazılmış hali, kazı derinliği 5m dir	84

4.16	Konya-Binkonutlar semtinde açılmış olan inşaat temeli yanında yapılan yerdirenci ölçüm sonuçları	85
5.1	Kenya'da yapılan bir yol dolgusu içindeki nem değişimi	91
5.2	Ilgın Gölyaka linyit ocağının G,GB bölgelerinin son durum haritası ve yerdirenci yapılan şevlerin bulunduğu kısımlar	92
5.3	Test lokasyonu-1'de bulunan ulaşım yolunun görüntüleri ve ölçüm çizgileri	93
5.4	Test lokasyonu-2'de bulunan pekişmiş yolun görüntüsü ve yerdirenci ölçüm hatları	94
5.5	Test lokasyonu-2'nin zemini konusunda fikir verebilecek, yol kenarı su kanalı kazı görüntüsü ve yol yakınındaki yarmada yol tabanının kesit görüntü örneği	95
5.6a	Test lokasyonu-1'de yol boyunca yapılan ölçümlerden elde edilen derinlemesine elektriksel yerdirenci değişim grafikleri (Pole-pole elektrot dizilimi)	96
5.6b	Test lokasyonu-1'de yol boyunca yapılan ölçümlerden elde edilen derinlemesine elektriksel yerdirenci değişim grafikleri (Pole-dipole elektrot dizilimi)	97
5.7a	Test lokasyonu-1'de yol enine serilen elektrotlardan elde edilen derinlemesine elektriksel yerdirenci değişim kesiti (Combine elektrot dizilimi)	97
5.7b	Test lokasyonu-1'de yol enine serilen elektrotlardan elde edilen derinlemesine elektriksel yerdirenci değişim kesiti (Pole-dipole elektrot dizilimi)	98
5.8	Test lokasyonu-2''de yol boyunca elde edilen derinlemesine elektriksel yerdirenci değişim grafiği (Combine elektrot dizilimi)	98
5.9	Test lokasyonu-2'de yol eninde yapılan ölçümlerden elde edilen derinlemesine elektriksel yerdirenci değişim grafiği (Pole-dipole elektrot dizilimi)	99
5.10	Bozuşmuş killi kireçtaşları	102
5.11	Şev kaymasının izlendiği Ilgın Gölyaka linyit ocağı şevlerinin pozisyonu	103
5.12	a) GLI-Ilgın linyit ocağı tabanında biriken yeraltı suyu, b) ölçüm yapılan heyelanlı şevleri ocak tabanına bağlayan en alt şev basamağı	104
5.13	Ölçüm yapılan heyelanlı bölgenin genel görü	104
5.14	Ilgın Gölyaka linyit ocağının G-GD şevlerinde oluşan şev kaymasını izlemek üzere oluşturulan elektriksel yerdirenci ölçüm hatl	105
5.15	Heyelan çatlağının heyelan sahasındaki yol boyunca yapılan yerdirenci ölçümlerinde ki görüntüsü (2.test seansı)	107
5.16	Heyelan olan maden bölgesinde bulunan maden yolundaki 20-40 cm'lik kayma	108
5.17	Heyelan bölgesinin yanından (çatlağın G-GD tarafından), heyelan ekseni boyunca maden yoluna dik olarak alınmış elektriksel yerdirenci grafikleri, (2.test seansı)	109

5.18	Heyelan bölgesinin içinde (çatlağın K-KB tarafından), heyelan ekseni boyunca maden yoluna dik olarak alınmış elektriksel yerdirenci grafikleri, (2.test seansı)	109
5.19	Heyelan olan maden sahasında gelişen heyelan kademe çatlakları	110
5.20	Heyelan bölgesindeki maden yolu boyunca yapılan yerdirenci ölçümleri, (3.test seansı)	111
5.21	Hızlı heyelan bölgesinin dışında heyelan ekseni boyunca maden yoluna dik olarak alınmış elektriksel yerdirenci grafiği (3.test seansı)	112
5.22	Heyelan bölgesinin içinde heyelan ekseni boyunca maden yoluna dik olarak alınmış elektriksel yerdirenci profilleri, (3.test seansı)	113
5.23	Karaman-Ermenek bölgesinde bulunan mermer sahası	114
5.24	Mermer sahasındaki 1.ölçüm hattından Schlumberger yöntemi ile elde edilen yerdirenci grafiği	116
5.25	Mermer sahasındaki 1.ölçüm hattından Wenner-alpha yöntemi ile elde edilen yerdirenci grafiği	116
5.26	Mermer sahasındaki 1.ölçüm hattından Combine Pole-dipole yöntemi ile elde edilen yerdirenci grafiği	117
5.27	Mermer sahasındaki 1.ölçüm hattından Pole-pole yöntemi ile elde edilen yerdirenci grafiği	117
5.28	Mermer sahasındaki 2.ölçüm hattından Schlumberger yöntemi ile elde edilen yerdirenci grafiği	118
5.29	Mermer sahasındaki 2.ölçüm hattından Pole-pole yöntemi ile elde edilen yerdirenci grafiği	119
5.30	Mermer sahasındaki 2.ölçüm hattından komine Pole Dipole yöntemi ile elde edilen yerdirenci grafiği	119
5.31	Mermer sahasındaki 3.ölçüm hattından Wenner Alpha yöntemi ile elde edilen yerdirenci grafiği	121
5.32	Mermer sahasındaki 3.ölçüm hattından Schlumberger yöntemi ile elde edilen yerdirenci grafiği	121
5.33	Mermer sahasındaki 3.ölçüm hattından combine pole-dipole yöntemi ile elde edilen yerdirenci grafiği	122
5.34	Mermer sahasındaki 3.ölçüm hattından Pole-dipole yöntemi ile elde edilen yerdirenci grafiği	122
5.35	Traverten sahasında hat-1 için ölçülen yerdirenci sonuçları (Pole-pole dizilimi sonuçları)	124
5.36	Traverten sahasında hat-1 için ölçülen yerdirenci sonuçları (Schlumberger dizilimi sonuçları)	125
5.37	Traverten sahasında hat-1 için ölçülen yerdirenci sonuçları (wenner-beta dizilimi sonuçları)	125
5.38	Traverten sahasında hat-2 için ölçülen yerdirenci sonuçları (Pole-pole dizilimi sonuçları)	127
5.39	Traverten sahasında hat-2 için ölçülen yerdirenci sonuçları (Schlumberger dizilimi sonuçları)	127

5.40	Traverten sahasında hat-2 için ölçülen yerdirenci sonuçları (wenner-beta dizilimi sonuçları)	128
5.41	Konya Çimento Fabrikası Kireçtaşı Ocağının Doğusunda bulunan basamakta patlatma deliği hazırlıkları	129
5.42	Elektriksel yerdirenci ölçümleriyle etkilerinin izlenmesi planlanan ocak atımları	130
5.43	Düzenlenen BG-1 atımı yapılmadan önce basamak tabanının Schlumberger elektrot diziliminden elde edilen yerdirenci değişim grafiği	132
5.44	Düzenlenen BG-1 atımı yapılmadan önce basamak tabanının Wenner-beta elektrot diziliminden elde edilen yerdirenci değişim grafiği	133
5.45	Düzenlenen BG-1 atımı yapıldıktan sonra, basamak tabanının Schlumberger elektrot diziliminden elde edilen yerdirenci değişim grafiği	133
5.46	Düzenlenen BG-1 atımı yapıldıktan sonra, basamak tabanının Wenner-beta elektrot diziliminden elde edilen yerdirenci değişim grafiği	134
5.47	BG-1 atımı sonucu parçalanmış kireçtaşı yığını	135
6.1	Ankara-Konya hızlı tren projesinin geçiş güzergahı	139
6.2	Konya-Ankara hızlı tren projesinden görüntüler	140
6.3	. Bozdağ eski tüneli güzergahında yerdirenci ölçüm hatları	142
6.4a	Bozdağ mevkiindeki eski trenyolu tüneli için yapılan hat-1 yerdirenci ölçüm (Wenner-alfa dizilimi) sonucu. Bu lokasyonda tünel yeryüzüne çok yakın derinliktedir.	143
6.4b	Bozdağ mevkiindeki eski trenyolu tüneli için yapılan hat-1 yerdirenci ölçüm (Wenner-alfa dizilimi) sonucunun yüzey topografyası işlenmiş hali.	143
6.5a	Bozdağ mevkiindeki eski trenyolu tüneli için yapılan hat-1 yerdirenci ölçüm (Wenner-beta dizilimi) sonucu	144
6.5b	Bozdağ mevkiindeki eski trenyolu tüneli için yapılan hat-1 yerdirenci ölçüm (Wenner-beta dizilimi) sonucunun yüzey topografyası işlenmiş hali.	144
6.6a	Bozdağ mevkiindeki eski trenyolu tüneli için yapılan hat-4 yerdirenci ölçüm (Wenner-alfa dizilimi) sonucu	146
6.6b	mevkiindeki eski trenyolu tüneli için yapılan hat-4 yerdirenci ölçüm (Wenner-alfa dizilimi) sonucunun yüzey topografyası işlenmiş hali	146
6.7	Bozdağ mevkiindeki eski trenyolu tüneli için yapılan hat-5 yerdirenci ölçüm (Wenner-alfa dizilimi) sonucu.	147
6.8a	Bozdağ mevkiindeki eski trenyolu tüneli için yapılan hat-6 yerdirenci ölçüm (Wenner-alfa dizilimi) sonucu	147
6.8b	Bozdağ mevkiindeki eski trenyolu tüneli için yapılan hat-6 yerdirenci ölçüm (Wenner-alfa dizilimi) sonucunun yüzey topografyası işlenmiş hali	148
6.9a	Bozdağ mevkiindeki eski trenyolu tüneli için yapılan hat-6 yerdirenci ölçüm (Wenner-gama) sonucu	148

6.9b	Bozdağ mevkiindeki eski trenyolu tüneli için yapılan hat-6 yerdirenci ölçüm (Wenner-gama dizilimi) sonucunun yüzey topografyası işlenmiş hali.	148
6.10a	Bozdağ mevkiindeki eski trenyolu tüneli için yapılan hat-7 yerdirenci ölçüm (Wenner-alfa) sonucu	149
6.10b	Bozdağ mevkiindeki eski trenyolu tüneli için yapılan hat-7 yerdirenci ölçüm (Wenner-alfa dizilimi) sonucunun yüzey topografyası işlenmiş hali	149
6.11	Bozdağ mevkiinde bulunan eski tüzel üzerindeki yeni bir hat üzerinde, kombine pole-dipole elektrot dizilimiyle elde edilmiş rezistivite dağılımları	150
6.12	Bozdağ mevkiinde bulunan eski tüzel üzerindeki yeni bir hat üzerinde, Schlumberger elektrot dizilimiyle elde edilmiş rezistivite dağılımları	151
6.13	Bozdağ mevkiinde bulunan eski tüzel üzerindeki yeni bir hat üzerinde, Pole-pole elektrot dizilimiyle elde edilmiş rezistivite dağılımları	151
6.14	Bozdağ tünellerinin her ikisinin de incelemeye alındığı yerdirenci ölçümü	152
6.15	Bozdağ tünelleri üzerinde yapılan arazi yerdirenci ölçüm çalışmalarından bir görünüş.	153
6.16	. Bozdağ mevkiinde bulunan eski tünel içinde yapılan yerdirenci ölçüm lokasyonu	153
6.17	Bozdağ mevkiinde bulunan eski tünelinin, Afyon dan Konya yönüne gidiş istikametindeki oblik gösterimi ve tünel cidarındaki ölçüm hatlarının pozisyonu	154
6.18	Bozdağ mevkiindeki eski tünelinin Afyon'dan Konya yönüne gidiş istikametinde tünelin sol duvarında, tünel zemininden 102 cm yukardan alınan ölçüm sonuçları	155
6.19	Bozdağ mevkiindeki eski tünelinin Afyon'dan Konya yönüne gidiş istikametinde tünelin sol duvarında, tünel zemininden 227 cm yukardan alınan ölçüm sonuçları	156
6.20	Bozdağ mevkiindeki eski tünelinin Afyon'dan Konya yönüne gidiş istikametinde tünelin sağ duvarında, tünel zemininden 102 cm yukardan alınan ölçüm sonuçları	156

BÖLÜM I

GİRİŞ

1.1 Problemin Tanımı

Doğal ortamların veya doğal malzemelerden elde edilen materyallerin mekanik özellikleri belirlenmek istendiğinde yapılabilecek mekanik deneyler vardır. İlgili mekanik deneylerin gerçekleştirilmesi için gerekli olan numunelerinin alınması birçok durumda üretimi süren madenlerin genel stabilitesini etkileyecektir. Maden galerilerinde ve farklı amaçlar için açılan tünellerin tavan, taban ve yan kayaçlarından test numunesi alınmak istendiğinde orijinal kayacın delinmesi veya bir bölümünün parçalanması gerekecektir. Alınması gereken numunelerin sayısı ve toplam rahatsız edilen kaya kütlesi hacmi fazlalaştığı zaman, maden ocaklarında istenmeyen stabilite durumlarının oluşmaması için bazen maden mühendisleri numune alım işlemini istemeyebilirler. Özellikle kayaç içi çatlak durumunun merak edildiği durumlarda alınan numunelerin büyüklüğü düşünüldüğünde maden mühendisinin karar vermesindeki risklerin büyüklüğü hemen anlaşılacaktır. Kayaç içi çatlaklılık durumunun merak edildiği durumlarda hasarsız ölçüm yöntemlerinin kullanılmasının önemi bu nedenlerden dolayı büyüktür.

İnşaat, jeofizik mühendisliği uygulama alanlarında farklı ve pratik uygulama alanları bulan, hasarsız ölçme tekniklerinin madencilikte uygulanması; kayaç tabakalarının kalınlıklarının, eğimlerinin, içerdikleri çatlakların ve su içerikleri gibi bazı özelliklerinin mümkün olduğunca ekonomik bir yolla elde edilmesi tasarım yapan veya pratik vardiya mühendisliği yapan maden mühendisleri için çok önemlidir. Bu amaçla kullanılan hasarsız ölçüm yöntemlerinden birisi elektriksel rezistivite ölçümleridir. Derinlemesine kesitler halinde elde edilen direnç farklılığı haritaları sayesinde hedeflenen mühendislik yapısının altında bulunan toprak ve kayaç tabakaları yorumlanarak bunların içindeki zayıf zonları ve çatlaklılık durumu izlenebilmektedir.

Özellikle yeraltında açılan galerilerin etrafındaki tabaka türlerinin, kalınlıklarının, süreksizlik yerlerinin belirlenmesi, ilgili kayacın galeri etrafındaki

statik yük dağılımına karşı dayanımı konusunda yürütülecek ön analizlere ışık tutacaktır. Benzer şekilde farklı risklerden dolayı, kayaç içinde (yeraltı maden ocakları) veya üzerinde (kayaç-zeminlerde) yapılmaya çalışılan bina, baraj gövdesi, viyadük-köprü temeli, açık maden ocağı şevi, karayolu şevi vb. yeryüzü mühendislik uygulamaları üzerlerindeki statik ve dinamik (deprem) yüklere karşı yapılacak ön incelemelerin tamamında kayaç özelliklerinin belirlenmesi gerekecektir. İncelenecek ortamı rahatsız etmeden onun katmanları, zayıf zonları konusunda fikir veren hasarsız ölçüm ve değerlendirme yöntemlerinden başlıcaları; gravite, manyetik alan, sismik ve elektriksel rezistivite değer ölçüm yöntemleridir.

Elektriksel rezistivite ve elektriksel geçirgenlik deneyleri bu doktora tez çalışmasının temelini oluşturan hasarsız ölçüm sistemi olarak seçilmiştir. Kayaç içi çatlakların izlenmesi için galeri içinden yapılacak ölçümlerde ve açık ocaklarda şev içi çatlak belirleme çalışmalarında 30 metre kaya içi uzaklığı detaylı algılayabilecek bir elektriksel rezistivite ölçümü yeterli olmaktadır. Bunun yanında yeryüzünden yapılacak ölçümlerle yeraltı maden ocağı civarındaki yeraltı su kaynaklarının tespiti, yeraltı depoları etrafındaki kayaçları yüzeyden izleyebilmek için, açılacak yeni galeri lokasyonları civarındaki kayaçları ve içindeki zayıf zonlar yeryüzünden gözlemleyebilmek için 100 metre ve fazlası derinliği algılayabilecek yetenekte elektriksel rezistivite ölçüm sistemi kullanılarak çalışmalar yapılmıştır. Bu amaçla öncelikle elektriksel yerdirenci ölçme işlemlerinde, farklı elektrot dizilimlerinin kullanılmasına izin vererek bu dizilimlerin farklı avantajlarına erişimi sağlayan pratik bir ölçüm ekipmanıyla bu doktora tez çalışmasının amaçlarına ulaşılması hedeflenmiştir. Ölçümlerin istenen lokasyonlarda 2-D direnç dağılım grafiklerinin elde edilerek analizlerinin yapılması, bu lokasyonlarda kayaç kesitinin belirli oranda elde edilmesini sağlayacaktır. Bu kesit grafiklerin doğruluğu konusunda değerlendirmelerin yapılabiliyor olması, maden ocaklarında farlı kayaç içeriklerinin formasyon olarak belirlenebilmesi, sağlam ve bozuşmuş kayaç zonlarının olup olmadığının incelenen bölgede olup olmadığının incelenebilmesi üretiminde düşüş olmasını istemeyen maden mühendislerine kolaylıklar sağlayacaktır.

Kayaçlar ve mühendislikteki yeri

Birçok doğal malzemeye göre kayaçlar daha katı ve sağlamdırlar. Bununla birlikte oluşumlarındaki farklılıklardan dolayı çok değişik kompozisyonda olabildikleri gibi çatlaksız olmaları da genellikle hiç beklenmez. Çatlaksız kaya kütleleri ancak kalın kil, kum, tuz tabakalarında veya özel şartlarda oluşmuş magmatik kayaçlarda görülmektedir. Genellikle boyutları en fazla 3 metre olan çatlaksız kübik bir kayaç kütlesini bulmak oldukça zordur. Kayaçların mekanik özelliklerinden birçoğu birbirinden farklıdır. Kayaçların birçok türü olması dolayısıyla, kayaçlar arasında da yük taşıma kapasitelerinin farklılaşması doğaldır. Tek eksenli basma dayanımına göre bir sınıflandırma yapılırsa, en fazla yük taşıma kapasitesinin bazalt gibi çok dayanıklı kayaçlara ait olduğunu söylemek yanıltıcı olmaz. Tek eksenli basma dayanımına göre kayaçların sınıflandırılmasına 1950'li yıllardan beri öneriler getiren kaya mekaniği araştırmacıları, birbirinden farklı sistemler önermişlerdir (Bieniawski, 1989). Bu sistemlerde adı geçen "zayıf kayaç" veya sağlam kayaç" deyimleri önerilen sistemin sınırlamaları dikkate alındığında anlam kazanmakta ve mühendisler arasında dayanım sıfatlarının kullanımında ortak davranılması sağlanmış olmaktadır.

Yeraltında açılan galerilerin açılma nedeni (ulaşım, havalandırma, taşıma, güvenlik v.b.) farklı olabildiği gibi, bu galeriler çok farklı amaçlar için kullanılabilmektedir. Bunların bir kısmı aşağıdaki gibi sıralanabilir

- maden üretimi,
- madenlerde su depolama,
- madenlerde ekipman deposu,
- atık boşluğu,
- nükleer atık deposu,
- yeraltı doğalgaz ve petrol deposu,
- askeri amaçlı depolar,
- yeraltı enerji santral boşlukları,
- soğuk hava deposu,
- şehir merkezlerinde ticari depolar,
- çöl veya kutup ortamında yeraltı yaşam ortamları,

- yeraltı spor salonu,
- Nevşehir'de olduğu gibi güvenlik amaçlı yeraltı şehirleri, vd.

Yeraltı boşlukları hangi amaçla açılırsa açılsın bunların taban, tavan ve yan kayaçlarının mekanik dayanımları çok önemlidir. Çatlaklı ve boşluklu kayaçların normal şartlarda ve yeraltı su içeriğinin yüksek olduğu madenlerde ne tür bir mekanik davranış göstereceği, maden mühendisinin işletme şartlarına göre sonradan plan üzerinde yapacağı yeni düzenlemelerin (yeni galeri ve topuk tasarımı v.b.) yeni şartlara göre stabilitelerinin değişmesi ve çevrelerinde çatlakların oluşmaya başlaması istenmeyen durumlardır. Bu nedenle çatlaklı kayaç zonların belirli zaman aralıklarıyla izlenmesi maden ocağındaki stabilitenin durumunu gösterecektir.

İster yeraltı, ister açık maden ocağı işletmesi olsun farklı mühendislik uygulamalarında görülen kaya kütlesi yüzeyinin, derinliklerinde kayaç türlerinin, kaya tabakalarının, çatlak ve boşlukların nasıl değiştiğinin bilinmesinin önemi tartışılmayacak kadar önemlidir. Bu araştırmada, yeryüzünden yapılan ölçümlerle ilgili yüzeyin iç kısımları hakkında fikir veren elektriksel rezistivite ölçüm yöntemlerinin, öncelikle sınırlı ölçekte kullanarak sistemin inceliklerinin test edilmesi, daha sonra merak edilen derinlik kayaçları veya katmanları konusunda bilgi sağlanması amaç edinilmiştir. Kayaç zeminler, toprak zeminlere göre daha fazla yük taşıma kapasitesine sahiptir. Bu nedenle tamamı toprak türlerinden oluşan yamaç ve şevlerin durumlarına göre stabilitelerinin daha yüksek olması beklenir. Mekanik özellikleri düşünüldüğünde toprağa göre daha katı ve plastik özellikler açısından daha düşük değerler taşırlar (Goodman, 1980). Madenlerde tasarlanan, maden topukları, galeri ve boşlukların tavan tabakaları ve taban taşları içinde oluşan gerilme konsantrasyonlarına kaya kütleleri çoğunlukla toprağa göre daha fazla dayanırken (kayaçlar arasındaki dayanım farklılığı unutulmamalıdır) farklı yönlerden gelen dış etkilere (sismik, yeraltı suyu vb.) daha farklı davranabilmektedirler. Özellikle kayaçların kendi aralarındaki elastik modülü farklılıkları, farklı kayaçların farklı statik veya dinamik yük etkilerinde daha değişik yerdeğiştirmeler vereceklerini belirtmektedir. Bununla birlikte kayaçların büyük bir kısmının masif yapıda olmadığı, boşluklar (su dolu/boş), tabaka yüzeyleri, çatlaklar, faylar, fisürler gibi süreksizlikler içerdiğini ve bunların uygulanan yüke göre oryantasyonlarından,

dolgularından, pürüzlülüklerinden, kısa veya uzun olmalarından, su içeriklerinden, (*RMR Kaya sınıflandırma sisteminde belirtilen bütün özellikler, Bieniawski, 1989)* dolayı, dayanımlarının değiştiği kaya mekaniğinde bilinen konular arasındadır.

Madencilikte elektriksel rezistivite ölçüm sistemleri genellikle cevher yatağının ilk araştırmaları (maden yatağı arama çalışmaları) sırasında kullanılmaktadır. Maden işletmelerinde bu uygulamalar dışında, diğer farklı hedefler için elektriksel rezistivite ölçüm yönteminin kullanılması çok yaygınlaşmamıştır. Fakat son zamanlarda özel amaçlar için açılan araştırma galerilerinde, özellikle atık depolamasına yönelik açılan galerilerin sızdırmazlık araştırmalarında, bu yöntem sıklıkla kullanılmaktadır. Ülkemizde ilgili hasarsız ölçüm yönteminin maden civarındaki fayların ve zayıf zonların araştırılmasında kullanılmaması, ilgili ölçüm yönteminin madenin işletilmesi sırasında da kullanılabileceğinin fazlaca vurgulanmamasından olabilir. Bu nedenle elektriksel ölçüm yöntemiyle sağlanan değerlendirmelerin maden mühendislerine sağlayacağı fayda, onlara pratik olarak uygulanarak gösterilmelidir. Maden kazısı için açılan boşluklarının etrafındaki zayıf zonların durumunun elektriksel rezistivite yöntemiyle belirlenmesini amaçlayan bu tez çalışması, ülkemizde yapılan benzer öncü araştırmalar arasında yer alacaktır. Bu nedenle bu tez çalışması ülkemiz madenciliği açısından öncü görevle üstlenmiş durumdadır. Bu yöntemin madencilikte özellikle kaya mekaniği uygulamalarında kullanılmaya başlaması, bu sistemin kullanılmasını isteyen maden ocaklarımızın zayıf zonların etkileyen gerilmeler açısından durumlarının takip edilebilmesini sağlayacak ve sayısız pratik uygulama araştırmalarıyla güvenli ve verimli bir maden işletmesi sağlanması yolunda yeni bilgilerin elde edilmesinde kullanılabilecektir.

Bu doktora tez projesi kapsamında uygulanması planlanan elektriksel rezistivite ölçümlerini sağlayan çok farklı ölçme ekipmanları mevcuttur. Bu ekipmanlar elektriksel rezistivite ölçümlerinde kullanılan Wenner-alfa, Wenner-beta, Wenner-gama, Pole-pole, Dipole-dipole, Pole-dipole, Wenner-Schlumberger, Ekvatoral dipole-dipole yöntemlerine göre otomatik ölçme sistemleriyle üretilirken, aynı zamanda IP (Inductive potantial) değerlerine göre de ölüm yaparak, kayacın iç derinliklerindeki yapısal durum hakkında ön bilgiler sağlamaktadırlar. Yeryüzüne, bir çizgi boyunca yerleştirilen elektrotlar sayesinde ölçüm yapan bu sistemlerin birisine ait arazi ölçüm anı Şekil 1.1'de görülmektedir.

Bu doktora tez çalışması kapsamında daha sonraki uygulamalarımıza ışık tutması amacıyla, Selçuk Üniversitesi Araştırma Fonu kaynaklarıyla elde edilen düşük kapasiteli elektriksel toprak yerdirenci ölçüm ekipmanıyla (Geotest 2016), Konya civarında merak edilen lokasyonlar için kum-kil direnç ölçüm çalışmaları yapılmıştır (Şekil 1.2). Özellikle yüzeyden en fazla 6 m derinliğe kadar kum ve kil katmanlarının ayrımının yapılıp yapılamayacağı araştırılmış ve toprak-zemin altındaki ana kayaç derinliğinin bulunması konusunda farklı lokasyonlarda ölçümler yapılmıştır. Bu ölçümlerde kullanılan ölçü ekipmanının kapasitesine bağlı olmakla birlikte, yüzeyin altındaki görülemeyen toprak iç yapısı hakkında bilgilerin elde edilebileceğinin ve bu bilgilerin özellikle toprak şevlerinde, gerilim çatlakları bulunan ocaklarda ne kadar önemli olduğunun anlaşılması bu ölçümlerin ilk sonuçları arasındadır. Toprak altındaki ana kayaç yüzeyinin başlama sınırının tespiti için yapılan ön çalışmalarda (Konya KB tarafındaki Binkonut semtinde yüzeyden 2-6 m derinlikte bulunan kireçtaşı yüzeylerinin tespiti) istenilen değerler ilgili ölçü ekipmanının kapasitesiyle sınırlı olsa da elde edilmiştir. Bu arazi deneyleri, tez araştırmasının arazi çalışmalarını içeren ilk günlerinde, elektriksel ölçüm yönteminin kaya ve toprak mekaniği konularında kullanılmasıyla sağlanacak bilgilerin öneminin anlaşılmasına yönelik ilk çalışmalar arasında yer almıştır.



Şekil 1.1. Elektriksel yerdirenci ölçme ekipmanının görünüşü, (Gisco Equipment, arazi test çalışmaları).



Şekil 1.2. Elektriksel yerdirenci ölçüm çalışmalarında toprak altında kaya yüzeyinin algılanmasına yönelik yapılan ilk uygulamaların yapıldığı arazi lokasyonlardan birisi, (Binkonut-Konya). Bu bölgede kayaç yüzeyi 5-30 metre derilikte yer almaktadır.

Ön çalışmalar sonunda elektriksel rezistivite ölçüm sistemlerinde kum-kil katmanları ve kayaç içeriklerine göre ölçüm kapasitesinin neler olabileceği konusunda ön bilgiler elde edilmiştir. Ölçülmesi hedeflenen derinlik, ölçülecek kayaç direnç değerlerinin sınırları konusunda da ek bilgiler toplandıktan sonra Selçuk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) tarafından desteklenen tez projesi kapsamında GF-Instrument firmasının ürettiği ARES-G4 elektriksel rezistivite ölçüm ekipmanı ve ilgili yazılımı alınmış ve bu tez çalışması kapsamında kullanılmaya hazır hale getirilmiştir.

1.2 Çalışmanın Amacı

Madencilik çalışmaları günümüzde oldukça önem kazanmıştır. Toplum tarafından madencilik sadece kömür, altın, bakır, mermer gibi madenlerin çıkarılmasından ibaret olarak görülmesine rağmen, unutulmaması gereken bir gerçek de şu an mevcut, açılmakta olan veya açılmış birçok tünelde de madencilerin rolü oldukça büyüktür. Yeraltı madencilik çalışmalarında galerilerin oluşturulması madenciler tarafından başarılı bir şekilde yapılmaktadır. Aynı mantık doğrultusunda açılan tünellerinde bir maden mühendisi tarafından yapılması, yeraltı çalışma koşulları konusunda gerekli bilgiye sahip olmaları nedeniyle daha güvenlidir. Çalışmakta olan bir yeraltı maden ocağında yeryüzünde işletme için gerekli tesisler hariç (idari bina, işçi lokali, tamir atölyeleri, depolar) bütün çalışma yeraltında

yapılmaktadır. Bunun anlamı herhangi bir yer altı maden ocağının yaklaşık % 70-80 oranındaki çalışması yeraltında yapılmaktadır. Bu ocaklarda mevcut olan üretim amaçlı galerilerin, üretim panolarının, işçilerin dinlenmeleri veya makine teçhizat bakım-onarım odalarının (galerileri) genel hedefi verimli bir işletmecilik yapılarak ocakta bulunan cevherin veya kömürün yeryüzüne çıkartılmasıdır. Galeri konusunda tecrübeye ulaşmış bir madencinin farklı ulaşım amaçları için açılan tünellerin yapımında da yer alması kaçınılmaz hale gelmiştir. Ülkemizde halen mevcut 162 adet karayolu tüneli mevcut olup toplam uzunlukları 83 867 metredir. Hava taşımacılığının farklı nedenlerden dolayı az geliştiği ülkelerde kara taşımacılığı oldukça önem kazanmaktadır. Bahsi geçen bu tünel ve galerilerin yapılması kara taşımacılığının önemli parçalarını oluşturmaktadır fakat bunların ulaşımda kullanılmaya başlanması yalnız başına yeterli değildir. Bu yapılar yapıldıktan sonra, uzun yıllar ayakta kalması gerekmektedir (benzer durum yeraltı maden ocaklarındaki ana galeriler için de geçerlidir. Bu galeriler ocak çalışması devam ettiği sürece, belki 50-60 yıl, ayakta kalmak zorundadır).

Zaman içerisinde mevcut galeri ve tüneller çeşitli sebeplerden dolayı zarar görebilir. Bu olumsuzlukların bazıları doğal, bazıları ise dış etkenler sebebiyle meydana gelmektedir. Yıllar içerisinde oluşan depremler ve ikincil gerilme unsurları galeri veya tünel civarında deformasyonlara neden olabilmektedir. Eğer maden ocağı seviyesinde yer altı suyu mevcutsa, deforme olmuş yan kayaçların içine, boşluklarına bu suyun sızması sonucu yan kayaç galeri içine doğru daha fazla hareket edecektir. Çünkü galeri etrafındaki bozulmuş kayaç zonunun büyümesi galeri stabilitesini etkileyecektir. Zaman içinde, çevresel etkilerin kombine etkileşmesinden dolayı galeri ve tünellerin tabanlarında çökmeler (veya kabarmalar), tavanlarında göçükler oluşabilir. Maden galerilerinin veya tünellerin açılması sırasında fark edilemeyen çevre kayaçlardaki olumsuzluklarda, açılmış olan galeri veya tüneli daha sonra negatif yönde etkileyecektir.

Galeri ve tüneller hedeflendikleri amaçlar doğrultusunda kullanılmaya başlandıktan sonra, içlerinde stabilitelerini etkileyen faktörlerin belirlenmesine yönelik arazi deneyi yapılması, belirli büyüklük ve sayıdan fazla numunenin yan kayaçlarından alınmasına güvenlik açısından imkan vermeyebilirler. Bu sebepten bu ve benzeri yapılarda hasarsız ölçüm yöntemlerinin kullanılması en akılcı yöntemdir.

Bu doktora tez çalışmasında; kaya formasyonlarının elektriksel rezistivite yöntemiyle incelenmesi sonucu elde edilen faydaların maden mühendislerine sağlayacağı faydalar görülmeye çalışılacaktır. Bu kapsamda arazi çalışma lokasyonları seçilirken, maden planları ve zemin etütleri yapan maden mühendislerine faydalı olabilecek çalışmalara öncelik verilmiştir. Bunun için açık ocak kömür madeni, mermer ocağı, inşaat zemini, tünel yan kayacı incelemesi gibi farklı uygulamalara yönelik örnek çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmaların ayrıntıları ileriki bölümlerde detaylı olarak anlatılmıştır.

1.3. Çalışmanın İçeriği

Bu tez çalışmasında laboratuarda gerçekleştirmiş olduğumuz deneylerden ve arazide yapmış olduğumuz deneylerden elde edilen sonuçlar rapor edilmiştir. Tezin birinci bölümünde seçilen tez konusunun amacı açıklanırken 2. bölümde konuyla ilgili farklı araştırmacıların yaptığı çalışmalar literatür taraması kapsamında aktarılmıştır. Tezin 3. bölümünde laboratuarda yapılan deneylerden elde edilen veriler analiz edilmiştir. Tezin 4. bölümünde laboratuarda yapılan örnek tünel (galeri) modeli üzerinde yapılmış olan çalışma sonrası elde edilen veriler ayrıntılı bir şekilde incelenmiştir. Çalışmanın 5. bölümde arazi çalışmalarına geçiş yapılmıştır. Örnek teşkil etmesi amacıyla yapılan çalışmalardan birincisi olan açık maden ocağı uygulaması GLİ Ilgın Linyitleri Kömür ocağında yapılmış ve elde edilen direnç grafikleri, maden işletmesine katkısı ayrıntılı olarak anlatılmıştır. Tezin 6. bölümünde yeraltı galerisi çevresinde oluşan bozuşmalar örneklendirilmiştir. Bu amaçla Konya–Ankara arası yapılmakta olan hızlı tren çalışması kapsamındaki Bozdağ tünellerinde (eski ve yeni tünel) yapılan elektriksel rezistivite ölçüm uygulamaları ayrıntılı bir şekilde sunulmuştur. Bu tez raporunun 7. bölümde farklı madencilik dallarında, maden mühendislerinin kararlarını etkilemesi beklenen elektriksel rezistivite ölçüm çalışmalarının sonuçları incelenmiştir. Bu bölümde ayrıca arazi ölçüm sonuçlarının ilgili madencilik faaliyetine göre, sektöre sağlayacağı faydalar ve elde edilen direnç grafiklerinin yorumlanması sırasında ortaya çıkan problemler tartışılmıştır.

BÖLÜM II
ELEKTRİKSEL YERDİRENCİ ARAŞTIRMALARI

2.1 Genel

Hasarsız ölçüm yöntemi olarak bilinen elektriksel rezistivite ölçüm yöntemi günümüze kadar birçok araştırmacı tarafından incelenmiştir. Bu yöntemin kullanıldığı çalışma alanları oldukça farklılık göstermektedir. Bu yöntemin kullanıldığı çalışma alanlarının başlıcaları incelendiğinde, bu yöntemin yaygın olarak arkeolojik çalışmalarda yeraltında saklı kalmış olan tarihi eserlerin antik mezar ve şehirlerin yeryüzüne çıkartılmasında etkin olarak kullanıldığı görülmektedir. Bu yöntem, yeraltı sularının lokalizasyon çalışmalarında, yeraltı kayaç yapısının incelenmesinde, maden rezerv tespit çalışmalarında, galeri ve tünel çevre kayacının yapısal bozuşma takibinde, petrol aramalarında kullanılan bir yöntemdir. Bu tez çalışması kapsamı içinde incelenen yayınlarda madencilik alanında, maden işletmeciği sırasında yapılan detaylı uygulamalara rastlanılmamıştır. Bu tez çalışmasının konu seçimi yapılırken bu husus göz önüne alınmış ve çalışmalar madencilik konusuna ağırlık verilerek yürütülmüştür.

Elektriksel rezistivite ölçümleri son 30 yıldır, aşamalı olarak madencilikte, yeraltı maden yatakları aramalarında, hidrolojik incelemelerde ve arkeolojide kullanılan bir yöntemdir. Katı maddelerin elektriksel direncini değiştiren faktörlere paralel olarak, farklı kayaç ve toprak (kil) katmanlarının elektriksel direnci de ortamda bulunan yeraltı suyuna, kayaç porozitesine, kayacı oluşturan mineral içeriklere bağlı olarak değişecektir. Farklı minerallerin ve bunların birisinin veya birkaçının birlikte oluşturduğu kayaç katmanlarının elektriksel rezistiviteleri de farklı farklı olacaktır. Günümüz teknolojik gelişmelerine bağlı olarak, ilgili farklılıklar yeryüzeyi altındaki derinliklere göre ölçülerek ilgilendiğimiz derinliklerdeki elektriksel rezistivite farklılaşmasının dağılım grafikleri çizilebilmektedir. Bu grafikler yardımıyla, derinliklerde bulunan su, mineral (cevher) yatağı, kayaç içi çatlaklılık durumu (süreksizlik zonları) veya fayların ortaya çıkarılması, elektriksel yerdirenci ölçüm yöntemlerinin kullanılabilirliğinin zaman içinde artmasına neden olmuştur. Son yıllarda yapılan ilgili ölçüm çalışmalarının bir bölümü incelendiğinde,

elektriksel yerdirenci ölçüm sisteminin odaklandığı uygulama alanlarının en önemlileri aşağıdaki özetlenmiştir.

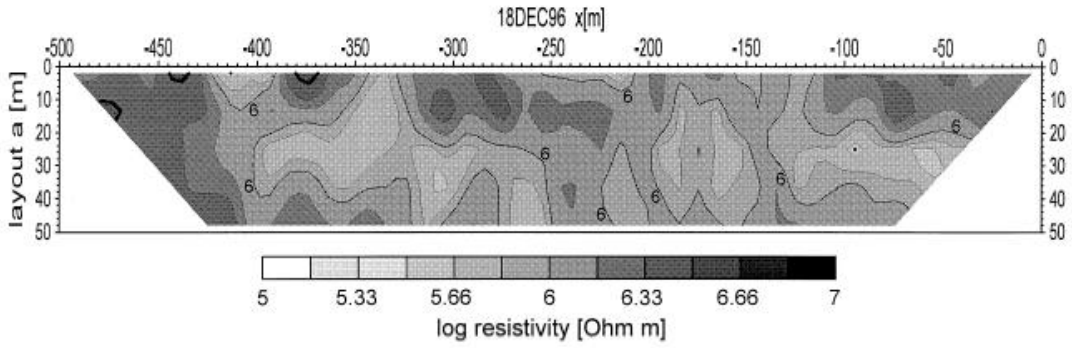
Abledu ve Laird (1992) kayaçların elektrik akımlarına karşı gösterdikleri rezistiviteler üzerinde çalışmalar yapmışlardır. Kayaçların içindeki nem oranına göre elektriksel rezistivite değişimlerini incelemişler ve sonuçta elektrik kaçaklarına karşı yere serilen kırmataş, agrega ve benzeri taş sergilerinde kaçak elektrik akımının geçmesini sağlayanın agregalar arasındaki suyun veya agrega yüzeylerine tutunan su filmleri olduğunu vurgulamışlardır.

Yaday, vd. 1997'de Hindistan'ın Utra-Pradeş eyaletindeki Sonebhadra bölgesinde yaptıkları bir araştırmada; yerdirenci ölçmelerini yeraltısuyunu araştırmakta kullanmışlardır. Araştırma yerinde uyguladıkları ölçmelerde Schlumberger yöntemi ve kendi uyguladıkları özel bir ölçüm düzeneğini denemişlerdir. Ölçümlerinde, yeraltındaki kayaçların farklı litolojik tabakalarını tanımlamaya (kalınlık ve pozisyon) ve yeraltısuyunun lokalizasyonlarının tespitine çalışmışlardır.

Tabbagh, vd. (1997) elektriksel rezistivite ölçüm sistemini zirai uygulamalarda, tarım amaçlı kullanılan toprak özelliklerini belirlemek için uygulamışlardır. Sismik yöntemlerle elde edilemeyen toprak özelliklerine ait verilerin toplanması amacıyla elektriksel rezistivite yöntemini tercih etmişlerdir.

Yaramancı (2000), Almanya'da radyoaktif atıkların depolanması için aday lokasyonlardan olan Asse tuz madenindeki yeraltı boşluklarının çevresinde bulunabilecek zayıf zonu ve tuzlu su akışını sağlayan herhangi bir süreksizlik olup olmadığını elektriksel rezistivite yöntemi kullanarak taramış ve sonuçlarını aktarmıştır. Bu işlem sırasında yeraltında ilgili tuz madeni içinde açılan büyük boşlukların çevresinde tuzlu su öbeklerinin taraması IRIS firmasının Syscal-R2 elektrik direnci ölçme ekipmanıyla yapılmıştır. Bu çalışmada yeraltı boşluklarının yan duvarlarına yerleştirilen elektrotlar yardımıyla yan duvarın 20 m iç derinliğine kadar zayıf zon taraması yapılmıştır. İlgili makalede verilen 2-boyutlu elektriksel rezistivite dağılım grafikleri (Şekil 2.1) ilgilenilen maden lokasyonunda 500 m uzunluğundaki yanduvarın içindeki elektriksel rezistivite değişimini göstermektedir. Elektriksel direncin başlangıç elektrotundan 300 m uzaklıkta artışlar gösterdiği, yankayaç içinde belirli düşük direnç öbeklerinin varlığı Şekil 2.1'den

izlenebilmektedir. Yaramancı (2000) bu değişiklikleri makalesinde, yan duvar içindeki gerilme değişimlerine bağlı olarak gelişen porozite farklılıklarına bağlamıştır.



Şekil 2.1. Asse tuz madeni yeraltı boşluklarının yan duvarından elde edilen, 2-boyutlu elektriksel rezistivite değişim grafiği (Yaramancı, 2000).

Bernstone vd. (2000) farklı jeolojik zamanlarda oluşmuş iki lokasyon üzerinde iki boyutlu elektriksel rezistivite ölçümleri yapmışlardır. Deneyler sonucu toplanan verilerden elde ettikleri 2-boyutlu kesitlerden, incelenen arazilerdeki dolgu bölgeleri belirlenerek incelenmiştir. Dolgu bölgelerinden alınan örneklerin nem içerikleriyle, elektriksel rezistivite değerlerinin karşılaştırılmasını yapmışlardır. Sonuçta dolguyu oluşturan farklı kayaç ve toprak türlerine ait nem içeriklerinin dolgu içerisindeki elektriksel rezistivite dağılımı üzerinde baskın etkisi olduğunu gözlemişlerdir.

Zhou, vd. (2000) derin karstik bölgelerde obruk oluşumlarını araştırmışlardır. Özellikle içinde boşluk olan kayaçların (Konya-Karapınar civarında bulunan obruklar gibi) ve ilgili karstik yapıların anlaşılmasına yardımcı olacak bu çalışmada, üzeri farklı katmanlarla kaplanmış karstik yapıların ayrışmış ve kayaç yapısı zayıflamış yerlerinde obrukların oluştuğu belirtilmektedir. Yeraltı suyu akışı derinliklerde bulunan karstik boşlukların yan kayaçlarında erozyonlara neden olmakta ortaya çıkan ek süreksizlik yapılarından dolayı ilgili boşlukların tavanında çökmeler görülebilmektedir. Bu çökmeler nedeniyle karstik yeraltı boşluklarının üzeri yeryüzüne kadar açılabilmektedir. Benzeri obruklar Konya-Karaman ve Konya-Ereğli civarında görülmektedir. Böylesi yapıların bulunma olasılığının fazla olduğu yerlerde tavan kayac tabakalarının göçme tehlikesinden dolayı sondaj yapmanın tehlikeli olduğunu belirten yazarlar, obruk oluşumunun boyutlarını detaylı olarak

belirleyebilmek için sismik ve elektriksel rezistivite ölçümleri gibi hasarsız ölçme tekniklerinin kullanılma gerekliliğini vurgulamışlardır.

Delaney, vd. (2001) elektriksel rezistivite ölçüm yöntemini petrol sızıntısı olan bölgelerde, sızıntı yayılımını haritalamak amacıyla kullanmışlardır. Petrol ve benzeri kirletici dış etkilerle kirlenmiş kayaç ve toprak zeminlerdeki negatif ve pozitif direnç anomalilerini belirleyerek etkinin genişliği konusunda yorumlar yapmışlardır. İlgili araştırmacılar, pozitif anomalinin azalan su içeriğini, zeminde artan hidrokarbon içeriğini ve zeminin dış etkiyle yüzeyden derinlere doğru donmasını ifade ettiğini vurgulamışlardır. Uzun yıllar boyunca kullanılmış yeraltı veya yüzey petrol tanklarının civarında yaptıkları elektriksel rezistivite ölçümleriyle buralarda bulunan ince taneli zemin malzemesi içindeki elektriksel rezistivite değişimlerini haritalamışlardır. Bu çalışmalarıyla yeraltına yerleştirilecek ve çevresinde sızıntı şüphesi bulunan bütün depoların sızıntılarının araştırılması konusunda fikirler vermişlerdir.

Ramirez ve Daily (2001) boyutları 3x3x4,5 metre olan, birbirine iyi tutunmuş ve yoğun bir tüfit kayaç numunesini orijinalliğini bozmadan ana kayaç kütlesinden kesmişler ve alt bölümüne yakın bir yerine yatay ısıtıcılar yerleştirmişlerdir. Bu araştırmacıların amacı termal ve hidrolojik özelliklerin karşılaştırmalı öğrenilmesidir. Deney numunesinin 13 ay boyunca ısıtılmasında ve 6 ay boyunca soğutulmasında elektriksel rezistivite, nem, sıcaklık vb. gibi veriler alınmış ve poroz bir kayaç örneği olan tüfit içindeki nem ve ısı ilişkilerinin haritası çıkarılmıştır. Bu araştırmada 2-boyutlu direnç değişim kesit haritaları istenilen analizler için en önemli bilgileri sunmuştur.

Chouker (2001), Suriye'de Fırat nehri kenarında bulunan arkeolojik Tel-Halawi kalıntılarında elektriksel rezistivite ölçümüyle kalıntıların toprak altındaki dağılımlarını incelemiştir. Toprak altındaki kalıntıların derinlikleri ve aralarındaki uzaklıklar belirlenmiştir. Bu araştırmada elektriksel rezistivite yöntemi, hasarsız olarak yeraltındaki farklılıkların belirlenmesinde kullanılmış ve istenen amaca uygun olarak kalıntıların lokasyonlarının belirlenmesinde etkili olmuştur.

Elektriksel yerdirencinin kullanıldığı kayaç-tomografisi çalışmalarının bir örneğini Batayneh ve Al-Diabat (2002) Ürdün'de Amman-Ölü Deniz otoyolu üzerinde bulunan kayaç şevlerindeki heyelan incelemesinde kullanmışlardır. İlgili

heyelan yolun kapanmasına neden olacak kadar etkili olmuştur. Şiddetli yağışlar sonrası, karayolunun marn ve kireçtaşı tabakalarının bulunduğu bölgesi, özellikle bu kayaçları çatlaklı, kırıklı ve eğimli şevlere sahip bölgesi heyelan zonu olarak kaymıştır. Araştırmacılar ilgili karayolunun heyelan riski taşıyan diğer eğimli bölgelerinde elektriksel tomografi profili çıkararak, elde ettikleri sonuçları 2-boyutlu arazi kesit profili elde etmekte kullanmışlardır. Araştırmacılar sonuçlarını irdelerken, özellikle tabakalı kayaçların bulunduğu lokasyonlarda elektriksel özdirencin düşük çıktığını ve heyelanlara neden olan kırılmaların katmanlı ve masif kireçtaşı tabakaları arasında oluştuğunu bu yöntem yardımıyla belirlemişlerdir.

Thacker ve Ellwood (2002) elektriksel rezistivite ölçüm tekniğini arkeolojik araştırmalarında kullanmışlar ve paleolitik yerleşim bölgelerinde, o çağlardaki insanların aktif kullanım alanlarının belirlenmesine çalışmışlardır. Portekiz'de Vale De Ou Bidos da açık bir bölgede kurulan paleolitik kamp alanının sistematik arkeolojik değerlendirilmesi, yerdirenci ölçümlerinin detaylı olarak haritalanmaları sayesinde daha da kolaylaşmıştır.

Lolcama,vd. (2002) de yaptıkları araştırmada karstik yamaçlarda çalışan bir taş ocağının artezyen su çıkışı riskine karşı nasıl tedbir alması gerektiğini incelemişlerdir. Bu tür kayaçlarda su getiren süreksizlikler ana kayaç içinde yüzlerce metre kayaç içine doğru bağlantı sağlayabilirler. Bazı durumlarda kayaç içi çatlaklarla karstik su haznesine bağlantı sağlayan ve taş ocağı şevlerinde mostra veren çatlaklardan çıkan su miktarının 180000 lt/dak. seviyelerine çıktığını yazmışlardır. Bu tür işletmelerde su sızıntısı veya az miktarda su çıkışı olduğu zaman bile maden ocağında taş üretimi için gerekli patlatmaların yapılması ve kaya bloklarının ana kireçtaşından koparılıp parçalanması gerekecektir. Her patlatma atımında varsa ana kayacın alt (veya arka) kısımlardaki su rezervine biraz daha yaklaşılmakta veya ilgili rezerve bağlantısı olan ek süreksizliklere ulaşma riski artmaktadır. Bu atımlar sırasında ortaya çıkacak bir veya birkaç kanal yapılı süreksizlik takımı (süreksizlik yüzeyleri arasından çok su geçişine uygun olanlar) ocağın tamamının belki de ekipmanları bile kurtaramadan suyla dolmasını sağlayabilir. Su basması tehlikelerine karşı, taş ocağında kazılacak karstik kireçtaşlarının yapısı ve su kaynaklarının lokalizasyonu konusunda bilgi toplanması gereklidir. Bu bilgi toplama işlemi, özellikle su rezerv bölgelerinde sondajlarla

yapılmamalıdır. Buralarda istenen bilgiler mutlaka hasarsız ölçüm teknikleri yardımıyla öğrenilmelidir. Çünkü sondaj delikleri su rezervinin kayaç içindeki süreksizliklere bağlantılarını artırabileceği için istenmeyen sonuçlar doğurabilecektir.

Benzeri durumlarda işletmecilik yapan maden mühendisleri çalıştıkları yeraltı veya açık ocakların yakınlarında bulunan su rezerv sahalarından, bazen eskiden kullanılmış, terk edilmiş ve içi su dolu bir maden ocağından kendi çalıştıkları maden ocağını korumak için, veya tam ters durumlarda kayaç içindeki su rezervine ulaşmak isteyen ve suya ihtiyaç duyan insanlar için suyun yerini ve geçmesi muhtemel çatlak yapılarını kayaç içinde tespit edebilmek çok önemlidir. Bu ihtiyaç elektriksel yerdirenci ölçüm sistemlerinin kullanımını zaman içinde artıracaktır.

Van Schoor (2002), Güney Afrika Cumhuriyeti, Pretoria civarında yeryüzünde yeraltı suları nedeniyle oluşan obruk göçmeleri yakınında yerdirenci ölçümleri yaparak yeraltındaki obruk pozisyonunu ve büyüklüğünü belirlemeye çalışmıştır. Dolomitler içinde bulunan obrukları RESTOM direnç-tomografi yöntemiyle inceledikten sonra ilgili yöntemin benzer uygulamalar için kullanışlı olduğunu yazmıştır.

Chung (2003) araştırmasında elektriksel rezistivite yöntemiyle çimentolu materyallerde duraylılık izlemesi yapmıştır. Gerçek zamanlı izleme yöntemleri üzerinde çalışarak beton numunelerde gerilme altında yenilmenin nasıl ve nereden başladığını izlemiştir. Elektriksel rezistivite analizleri sayesinde çok küçük mikroskobik çatlakların bile oluştuğu zaman gözlenmesi sağlanmıştır. Bu yöntem sayesinde betonda başlayan yenilme belirtilerinin ilk olarak beton-çelik çubuklar ve eski beton-yeni beton arasındaki birleşim yüzeylerinde oluşmaya başladığını rapor etmiştir.

Gowd, 2004'de yaptığı çalışmasında akiferlerdeki yeraltı suyu potansiyelini tarif etmek için dikey elektriksel rezistivite değerlerini kullanmıştır. Bu çalışmada incelenen akifer sahasındaki ana litolojik katmanlar; kuvarsit, kireçtaşı, ve şeyl kayaçları ve alüvyondur. İnceleme alanında toplam 99 adet düşey elektriksel rezistivite kesiti çıkarılmıştır. Elde edilen direnç verilerinin SURFER yazılımı kullanılarak haritalandırılması sonucu, yüzey altındaki zayıf kayaç kütlelerinin derinliklerini tespit etmiştir. Elektriksel rezistivite sonuçları daha sonra ilgili litolojik yapılarla ilişkilendirilmiştir.

Osakuni ve Abam (2004) Nijer Deltasında bulunan bir boru hattı civarındaki yüzey topraklarının elektriksel direncindeki değişimleri incelemişlerdir. Bu çalışmada Schlumberger elektrot düzeneği kullanılmıştır. Yerdirenci değişimindeki ana nedenler; topografik farklar, su seviyesinin derinliği, toprak türü ve su kalitesi olarak belirlenmiştir.

Elektriksel rezistivite ölçüm sisteminin kulanım farklılığını ortaya koyması açısından Çetin, vd.'nin (2004) 1999-Kocaeli depremiyle Değirmendere Burnu'nda harekete geçen heyelanın sismik yöntemlerle yapılan analizi ile Batayneh ve Al-Diabat'ın (2002) yaptıkları heyelan analizleri karşılaştırılabilir. Önceden izlenmekte olan Değirmendere Burnu heyelan bölgesinde 1999-Kocaeli depreminden sonra yeraltı deformasyonları ve deplasmanları gözlenmiştir. Arazide yerinde yapılan indeks deneyleriyle gözlenen heyelanın mekanizması analiz edilmiş ve bölgedeki zemin sıvılaşması incelenmiştir.

Kuzey-Anadolu fayının kırılmış kollarının yakınında ve derin alüvyon bir tabana yerleşmiş olan Adapazarı, 1999'daki 7,4 büyüklüğündeki Kocaeli-Depreminden oldukça fazla zarar görmüştür. 2800'den fazla çökmüş ve ağır zarar görmüş bina yanında, bina temellerinde çok sayıda çeşitli form ve seviyede deplasman olayları görülmüştür. Yılmaz, vd. (2004) bölgede sıklıkla karşılaştıkları silt-kil karışımlarının makaslama ve deformasyon davranışlarını belirlemek için testler yapmışlar ve bu formasyonların deformasyon özelliklerini araştırmışlardır. Bu ve benzeri laboratuar çalışmalarıyla belirlenen toprak ve kayaç zemin özellikleri daha sonra aynı bölgede yapılacak hasarsız ölçüm yöntemlerinden belirlenen verilerin değerlendirilmesinde kullanılacak temel veri kaynaklarını oluşturmaktadır.

Similox-Tohon, vd. (2004) 2-boyutlu elektriksel rezistivite ile yeraltının görüntülenmesi yöntemini üzerinde çalıştıkları tarihi Sagalassos (Isparta'nın güneyinde) şehrinin kalıntılarının incelenmesi amacıyla kullanmışlardır. Bu kentin Bizans zamanında meydana gelen şiddetli depremler nedeniyle MS 7.Yüzyılda tamamen boşaldığı tespit edilmiştir. Bu etkiyi oluşturan faylanmanın şehir civarındaki kayaçlar içinde aranması için kullanılan yerdirenci analizleri sonucu, ana kayaç olarak belirlenen kireçtaşı ve ofiyolitik melanj üstünde aşınmadan dolayı oluşan alüvyon katman seviyeleri bulunmuştur. Sagalassos'a kuzeyden bakan kireçtaşı yükseltisi, yarı bozuşmuş bir fay yüzeyidir. Sagalassos bu fayın yükselen

kısmında hemen fayın üstünde kurulduğu için, bu fayın içinde bulunduğu depremsel hareketlerden şiddetli şekilde etkilenmiştir. İlgili araştırmacılar 2-boyutlu direnç görüntüleme yönteminin arkeolojik-kayaç özellikleri belirlenmesinde de çok etkili bir yöntem olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

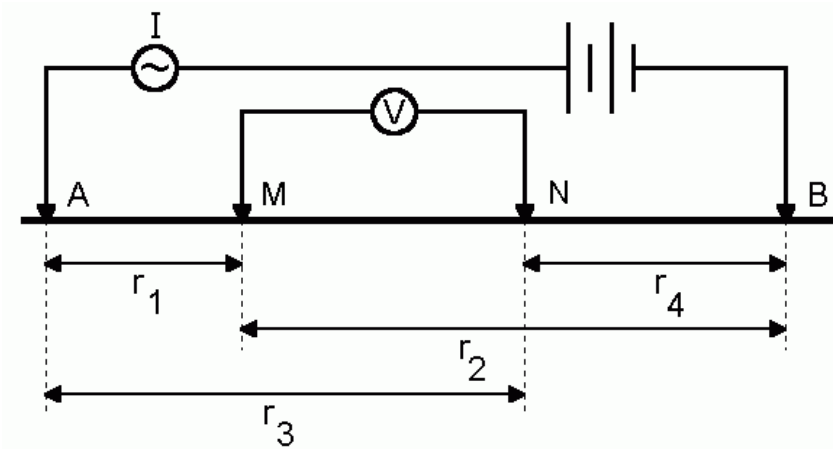
Waltham ve Swift (2004) Nottingham (İngiltere) şehri için yaptıkları araştırmalarında şehir merkezi altındaki zayıf kumtaşları içinde yüzlerce maden galerisi ve boşlukları olduğunu vurgulamışlardır. Yerel imar (bina) şartnamesine göre sağlam olduğuna karar verilen bir boşluğun üzerinde en az 3-4 metre kaya tabakası bulunması halinde yapılaşmaya izin verilmektedir. Çalışma bölgesindeki bazı noktalarda bulunan sağlam ve dayanıklı kayaçlar (karstik kireçtaşları) üzerinde bulunan kazı boşluğunun üzerinde, boşluk genişliğinin %70 kadar kayaç tabaka kalınlığı bulunması yeterli görülmektedir. Üst şehir yapılaşmasının izin verilebilmesi için, eski maden galerilerinin lokasyonlarının eski maden haritalarından bulunmaları zorunludur. Bazen haritaya işlenmeyen kazı boşluklarının da olabileceği gözden kaçmayacak bir unsur olduğuna göre bu ve benzeri yerlerde yapı temellerinin altında dolgu veya eski maden ocağı çalışmaları sırasında açılmış boşluklar veya galerilerin olup olmadığının araması gereklidir. Bu işlem için de ilgili araştırmacıların kullandıkları elektriksel rezistivite yöntemi kullanılabilecek etkili ölçüm sistemleri arasındadır.

Kruschwitz ve Yaramancı, (2004) Elektriksel rezistivitele ilgili çalışmalarını İsviçre'de Basel şehrinin 100 km GB'sındaki Mont-Terri Kaya Mekaniği Araştırma Laboratuarında yapmışlardır. Bu araştırma, farklı jeolojik formasyonlardan geçen Transjurane A-16 otoyol tünelinin açılması sırasında, yeraltındaki kil formasyonları içinde tünele ek olarak inşa edilen kaya mekaniği laboratuarı kapsamında yapılan çalışmalardan bir bölümünü içermektedir. Yeryüzünden 300 m derinlikte Opalinus kil tabakalarının içinde yer alan bu araştırma tünelinde yapılan elektriksel rezistivite ölçümlerinin nasıl yapıldığı ve çıkan sonuçların aktarıldığı bu makalede ayrıca; ilgili galerinin etrafında bulunan kil tabakalarının, galerinin açılmasıyla nasıl bozulmaya başladığı ve bozulmaların nerelerde olduğu direnç eğrilerinden bulunarak gösterilmiştir.

2.2.Rezistivite Yöntemleri

2.2.1. Genel elektrot dizilimi

Elektriksel rezistivite çalışmalarında uygulanan akımın birimi Amper (miliamper) ve ölçülen gerilimin birimi ise Volt (çoğunlukla milivolt) olarak bilinir. Bu ölçü değerleri ve kullanılan elektrot diziliminin K geometrik faktörü (dizilim katsayısı-array factor) kullanılarak bu ölçü konumu için görünür direnç (ohm-m biriminde) hesaplanır. Genel bir elektrot diziliminde yer alan 4-elektrot (**A** ile **B** akım ve **M** ile **N** ise gerilim elektrotları) alttaki şekilde verilmektedir. Yeryüzünde yayılan bu elektrot dizilimi çalışılarak ölçülen I-akımı (miliamper-mA) ve V-elektriksel gerilimi (milivolt-mV) değerleri altta verilen bağıntıda yerlerine konulup hesaplama yapıldığında bu ölçü konumu için elektriksel yerdirenci (ρ_a : Ω-m) elde edilir.



Şekil 2.2. Genel elektrot dizilimi (Çağlar, 2005).

$$\rho_a = \frac{\Delta V}{I} \frac{2\pi}{\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right) - \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4}\right)}$$

Hesaplanan değer elektrot dizilim sisteminin orta noktasının altına atanır. Jeo-elektrik yöntemlerde yukarıda gösterilen genel dizilim yerine disipline edilmiş "standart" veya "özel dizilimler" yeğlenir. En yaygın kullanılan elektrot dizilim türleri alttaki şekilde gösterilmiştir.

2.2.2. Özel Elektrot Dizilimleri

Elektriksel rezistivite yöntemi normal standart dizilim haricinde bazı araştırmacılar tarafından farklı dizilim şekillerinde uygulama alanları bulmuştur. Bu dizilimler çalışılacak bölgenin derinliğine, yapısına ve amaca yönelik farklılık göstermekte ve daha etkin sonuçlar elde edilmektedir.

Bu elektrot dizilimlerine ait görünüm ve (K) katsayıları aşağıda Tablo 2.1'de verildiği şekildedir.

Tablo 2.1. Özel elektrot dizilimleri.

Wenner Alfa C1 P1 P2 C2 •←a→•←a→•←a→• $K = 2\pi a$	**Wenner Beta** C2 C1 P1 P2 •←a→•←a→•←a→• $K = 6\pi a$
Wenner Gamma C1 P1 C2 P2 •←a→•←a→•←a→• $K = 1.5\pi a$	**Pol - Pol** C1 P1 •←a→• $K = 2\pi a$
Dipol - Dipol C2 C1 P1 P2 •←a→•←na→•←a→• $K = \pi n(n+1)(n+2)a$	**Pol - Dipol** C1 P1 P2 •←na→•←a→• $K = 2\pi n(n+1)a$
Wenner - Schlumberger C1 P1 P2 C2 •←na→•←a→•←na→• $K = \pi n(n+1)a$	**Dipol Dizilimler** Pe1 •←b→• Pe2 Pa1 • • Pr2 a, b, a Pr1 • • Pa2 θ C1 •←b→• C2 Pa1 Pa2 Azimutal Pr1 Pr2 Radyal Pe1-Pe2 Ekvatoriyel $K_r = \pi a^3/b^2 \cos\theta$ $K_e = 2\pi a^3/b^2$ $K_a = 2\pi a^3/b^2 \sin\theta$
NOT: K= dizilim katsayısı C = akım P = gerilim a = aralık ; n = tam sayı=1,2,3	

Wenner ve Schlumberger gibi simetrik dizilimler Düşey Elektrik Sondaj (DES) tekniğinin uygulanmasında yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Yukarıda verilen bu dizilimler aynı zamanda Elektriksel Kaydırma (electrical profilling) tekniğinin uygulanması için tercih edilirler. Tablo 2.2'de literatür çalışmalarından elde edilmiş olan bazı kayaçlara ait elektriksel rezistivite değerleri verilmiştir. Tablo 2.3 incelendiği zamanda bazı minerallere ait elektriksel rezistivite değerleri görülmektedir.

Doğada bulunan bütün kayaç ve mineraller çok geniş elektriksel rezistivite değer aralığına sahiptir. Bunun sebebi bulunduğu bölgedeki jeolojik farklılıklar, çevre kayaç farklılıkları, ortamın nem içeriği, özellikle kayaçlar için içerisindeki minerallerin tenör oranları gibi bazı özellikler sayılabilir.

Tablo 2.2. Kayaçlar ve elektriksel rezistiviteleri.

Toprak-Kayaç Türü	**Elektriksel rezistivite, (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 oluşmuş kayaç	>1000

Tablo 2.3. Bazı minerallerin elektriksel rezistiviteleri.

Mineral	**Rezistivite (Ω-m)**	**Mineral**	**Rezistivite (Ω-m)**
Kalkopirit	$4x10^{-3}$	Kromit	$1\text{-}1x10^{6}$
Pirit	$3x10^{-1}$	Wolframit	$10x10^{5}$
Pirotit	$1x10^{-4}$	Hematit	$3.5x10^{-3}\text{-}10^{7}$
Galenit	$2x10^{-3}$	Magnetit	$5xl0^{-5}\text{-}5.7x10^{3}$
Sfalerit	$2x10^{2}$	Manganez	$10^{-2}\text{-}3x\ 10^{-1}$
Zinobar	$2x10^{7}$	Kuvarts	$4x10^{10}\text{-}2x10^{14}$
Boksit	$6x10^{3}$-2x108	Kalsit	$2x10^{12}$
Kalkosit	$1x10^{-4}$	Kayatuzu	$3x10\text{-}10^{13}$

Tablo2.4. Farklı suların elektriksel rezistiviteleri .

Sular	Rezistivite (Ω-m)
Yüzey suları (magmatik)	$1x10^{-1}$-$3x10^{3}$
Meteorik yüzey suyu	3x10-10^{3}
Yüzey suları (çökellerde)	10 -10^{2}
Toprak suları	10^{2}
Doğal sular (magmatik kayaçlarda)	9
Doğal sular (çökellerde)	3
Tuzlu sular %3	$15x10^{-2}$

Tablo 2.5. Bazı kayaçların elektrik rezistiviteleri.

Kayaçlar	**Elektrik Rezistivite (Ω-m)**	**Kayaçlar**	**Elektrik Rezistivite (Ω-m)**
Konglomeralar	2 $x10^{3}$ -10^{4}	Andezit	2x10-5$x10^{7}$
Kumtaşları	1-6.4$x10^{8}$	Diyabaz	2x10-5$x10^{7}$
Kireçtaşları	5x10-10^{7}	Gabro	10^{3}-10^{6}
Dolomit	3.5$x10^{2}$ – 5$x10^{3}$	Bazalt	10-10^{7}
Marn	3-7x10	Gnays	7$x10^{4}$ – 3$x10^{6}$
Killer	1-10^{2}	Mermer	10^{2}-2.5$x10^{8}$
Alüvyon ve kumlar	10-8$x10^{2}$	Kuvarsit	10-2$x10^{8}$
Petrol kumları	4-8$x10^{2}$	Şeyl	2x10-2$x10^{3}$
Granit	3$x10^{2}$-10^{6}	Anhidrit	10^{9}
Diyorit	10^{2}-10^{6}		

2.3. Elektrot Dizilimlerinin Avantaj ve Dezavantajları

Düşey Elektrik Sondajı (DES) ölçüm çalışmalarında asıl olan akım ve gerilim elektrot aralıklarının sürekli olarak arttırılmasıdır. Bu nedenle arazi çalışmalarında elektrotlar sık sık yer değiştirilip yeniden toprağa yerleştirilir. Genel olarak elektrot dizilim türlerine göre aşağıdaki irdelemeler yapılabilmektedir. Bu kriterlere dayalı olarak elektrot dizilim türü istenen amaca göre seçilir ve kullanılır.

Bu yöntem düşey yönde oldukça iyi çözünürlük sağlar, hem sığ hem de derin okumalarda kullanılabilir ve farklı uygulamalar için farklı elektrot dizilimleri sayesinde çalışma imkanı sağlar. Bu avantajlarına karşın yeraltındaki gömülü metalik cisimlerden, kablolardan ve borulardan etkilenir, çok düşük rezistivite

değerlerinde etki azalır, yüzey özdirenci çok yüksek olan bölgeler için uygun değildir.

2.3.1. Schlumberger dizilimi

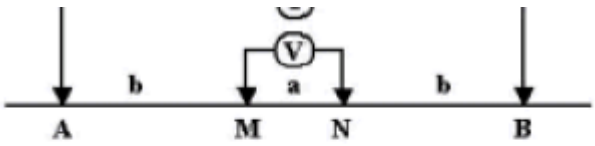
Akım elektrotları (A ve B) birbirlerinden 2b kadar bir uzaklığa yerleştirilmiştir. Gerilim elektrotları (M ve N) ise 2b>5a olacak şekilde yerleştirilmişlerdir(Şekil 2.3). Ortadaki O noktasına göre simetrik dizilim.

Avantajları:

- DES çalışmasında yeni bir okuma için tüm elektrotların yer değiştirmesine daha az gereksinim duyulur,
- Bu nedenle daha az işçilik gerekir.

Dezavantajları:

- Verinin ilk değerlendirmesi yapılmalıdır.



$$\rho_A = \frac{V}{I}\pi\frac{b\,(b+a)}{a} \approx \frac{V}{I}\pi\frac{b^2}{a} \qquad a \ll b$$

Şekil 2.3. Schlumberger elektrot dizilimi.

2.3.2. Wenner dizilim

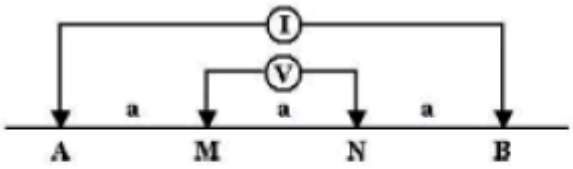
Bütün elektrotlar eşit aralıklarla dizilmiştir (Şekil 2.4). Ortadaki O noktasına göre simetrik dizilim söz konusudur.

Avantajları:

- Eşit elektrot aralığı nedeni ile K dizilim katsayısı kolaylıkla hesaplanır,
- Ölçüm duyarlılığına daha az gereksinim duyulur,
- Veri doğrudan değerlendirilebilir.

Dezavantajları:

- Yüzeye yakın yanal elektriksel süreksizliklere daha duyarlı,
- DES ölçümlerinde yeni bir okuma için tüm elektrotlar yer değiştirmelidir, bu nedenle işçilik artar.



$$\rho_A = 2\pi a \frac{V}{I}$$

Şekil 2.4. Wenner elektrot dizilimi.

2.3.3. Dipol-Dipol dizilimi

Akım ve gerilim elektrot çiftleri birbirlerinden ayrı olarak arazide yerleştirilir. Her iki çiftin aralarında n çarpanı (n=1, 2, 3 gibi tamsayı) kadar (n x elektrot aralığı) bir uzaklık vardır (Şekil 2.5). Bu dizilim türü daha çok yapay polarizayon (IP) uygulamalarında tercih edilir.

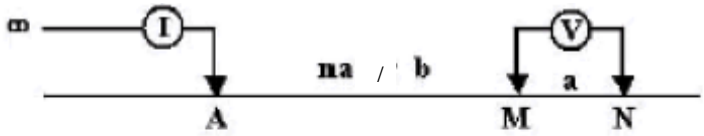


$$\rho_A = \frac{V}{I} \pi a\, n(n+1)(n+2).$$

Şekil 2.5. Dipol-dipol diziliminin özel bir konumu.

2.3.4. Pole-Dipole elektrot dizilimi

Bu dizilimde akım elektrotlarından biri, AM mesafesine göre sonsuz sayılabilecek bir mesafeye, arazinin durumuna göre profil doğrultusunda veya profile dik olacak şekilde yerleştirilir. Bazı dizilim yöntemlerine ait avantaj ve dezavantajdan bahsedilmesi oldukça zordur. Bu yöntemler çok yoğun kullanılan yöntemler değildirler.



$$\rho_A = 2\pi \frac{(a+b)}{b} \frac{V}{I}$$

Şekil 2.6. Pole-dipol elektrot dizilimi.

2.4. Farklı Jeofiziksel Ölçümlerin Uygulanma Hedefleri

Yıllar içinde yapılan arazi ölçümlerinden elde edilen değerler farklı jeofiziksel ölçüm yöntemlerinin farklı amaçlar için daha uygun olduğu sonuçları belirmiştir. Bu farklı yöntemlerin bazen kendi özelliklerinden dolayı ortaya çıkmakta bazen de uygulama lokasyonundaki arazi yapısıyla ilgilendirilmektedir. Aşağıda tablolarda hasarsız ölçüm yöntemlerinin hangi arazi şartları için daha iyi sonuç verdiği gösterilmektedir.

Tablo 2.6- ve 2.9 da gösterilen veriler literatür çalışmaları sırasında karşılaşılan standart bilgiler olarak liste halinde aşağıda verilmiştir. Hasarsız ölçüm yöntemlerinin jeolojik problemlere, hidrojeolojik şartlara, çevre şartlarına ve mühendislik şartlarına göre uygulama alanları ayrıntılı bir şekilde gösterilmiştir.

Tablo 2.6. Hasarsız ölçüm yöntemlerinin jeolojik problemlere göre uygulama alanları.

Jeolojik problem	Yeraltı radarı	Elektro manyetik	Doğal polarizasyon (SP)	Kuyu jeofiziği	DC rezistivite	Yapay polarizasyon (IP)
Killi katman haritalama	1	2	2	-	2	3
Kırıklar ve faylar	2	1	3	1	1	2
Karstik sahalar	1	2	2	1	2	3
Litolojik korelâsyonu	1	2	-	2	2	2
Maden ve taşocağı yerleşimi	2	2	-	2	3	1
Boşluklar-çukur oluşumlar	1	2	1	2	2	3
Kayaç üst sınırları	2	-	-	1	2	1

Elde edilen çözüm: en iyi:3, iyi:2, orta:1

Tablo 2.7. Hasarsız ölçüm yöntemlerinin hidrojeolojik şartlara göre uygulama alanları.

Hidrojeoloji	Yeraltı radarı	Elektro manyetik	Doğal polarizasyon (SP)	Kuyu jeofiziği	DC elektrik rezistivite	Yapay polarizasyon (IP)
Akifer kalınlığı	2	3	-	1	2	2
Yeraltısuyu akış yönü	-	2	3	-	3	-
Tuzlusu girişimi	-	1	2	1	3	1
Yeralısuyu tablası haritalama	1	-	-	3	3	2
Sondaj kuyusu lokasyonu	1	1	2	2	3	2

Elde edilen çözüm: en iyi:3, iyi:2, orta:1

Tablo 2.8. Hasarsız ölçüm yöntemlerinin çevre şartlarına göre uygulama alanları.

Çevre	Yeraltı radarı	Elektro manyetik	Doğal polarizasyon (SP)	Kuyu jeofiziği	DC elektrik rezistivite	Yapay polarizasyon (IP)
Arazi dolgusu ve gömülü yıkıntılar	1	1	2	-	3	3
Toprak/yeraltı suyu kirliliği	2	1	3	3	2	2

Elde edilen çözüm: en iyi:3, iyi:2, orta:1

Tablo 2.9. Hasarsız ölçüm yöntemlerinin mühendislik şartlarına göre uygulama alanları.

Mühendislik	**Yeraltı radarı**	**Elektro manyetik**	**Doğal polarizasyon (SP)**	**Kuyu jeofiziği**	**DC elektrik rezistivite**	**Yapay polarizasyon (IP)**
Köprü ayağı yerleşimi	1	-	-	-	1	2
Elektrik topraklama	-	3	1	1	1	-
Kazı-hafriyat planlama	2	-	-	1	2	2
Yapı zemin-temel etüdü	1	-	-	1	3	2
Kara yolu güzergâh secimi	1	2	1	-	2	3
Kayaç-toprak müh. Özellikleri	-	3	-	1	3	1
Yerleşim alan secimi	1	1	1	-	3	2
Toprak kayması etüdü	-	1	1	-	3	3

Elde edilen çözüm: en iyi:3, iyi:2, orta:1

BÖLÜM III

LABORATUARDA YAPILAN FİZİKSEL MODEL UYGULAMALARI

3.1. Genel

Arazi çalışmalarında kullanılan hasarsız ölçüm yöntemi olarak da bilinen elektriksel rezistivite yöntemi bu tez çalışmasının ana hatlarını oluşturmakla beraber, tezin arazi çalışmaları başlamadan önce elektriksel direncin özel hazırlanmış numuneler içindeki boşluklar konusunda özel laboratuar uygulamaları yapılmıştır. Özellikle yeraltı galerileri etrafındaki bozuklukların tanımlanması konusunda fiziksel modeller yapılarak, farklı şartlar altında denemeleri yapılmıştır. Bu çalışmalarda arazide karşılaşılacak jeolojik şartların modellenmesi yapılarak, farklı fiziksel şartların elektrik direncini etkilemesi incelenmiştir. Laboratuarda yapılan deney düzenekleri kurulurken maden işletmeciliği konusunda arazide karşılaşabileceğimiz önemli yapısal jeolojik şartların göz önüne alınması, elektriksel direncin numuneler içinde oluşma derinliğinin gözlenmesini sağlamıştır. Laboratuarda elde edilen deneyimlerin daha sonra arazi şartlarında uygulanması, elektriksel yerdirenci ölçüm çalışmalarından elde edilen grafiklerin yorumlanmasında yardımcı olmuştur.

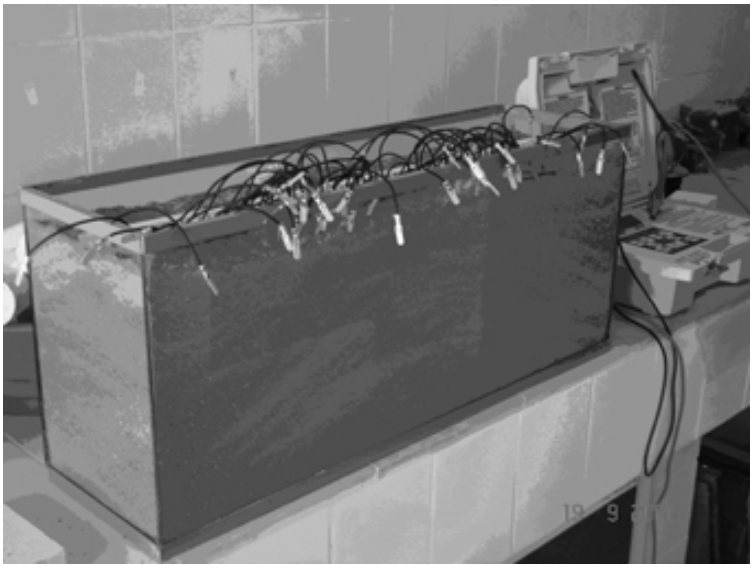
Laboratuar ortamında gerçekleştirilen deneysel çalışmalar için iki farklı model grubunda incelemek mümkündür. Model çalışmalarından birincisi dikdörtgen prizması şeklinde cam bir hacim oluşturulmasını içermektedir. Bu hacim içine sonradan özel olarak konulan toprak (silt, kum ve kil) tabakalarıyla oluşturulan yapay yeryüzü katmanı deney model düzeneğinin ana yapısını oluşturmuştur (Şekil 3.1). İkinci tip model çalışmasında ise, laboratuarda hazırlanan alçı ve beton plakalar kullanılmıştır. Bu fiziksel model uygulamalarında, modeller içine yerleştirilen maden galerilerinin yan kayaçları, fiziksel model üzerine uygulanan tavan yüklerinden dolayı mikro-ölçekte çatlatılmış ve bu çatlamanın modelin elektriksel direncini nasıl etkilediği ölçülmüştür. İki farklı model üzerinde gerçekleştirilen deneysel çalışmalar takip eden bölümlere sunulmuştur.

3.2. Materyal Metot

Laboratuar ölçekli elektriksel rezistivite ölçümlerinde yüksek direnç ölçme kapasitesine sahip SEW 6212A-IN cihazı kullanılmıştır. Bu ekipman malzeme direncini "meger" ölçüm prensibine elektronik olarak ölçmektedir. Ölçüm yaptığı örnek malzemeden elektrik geçirebilmek için ilgili ekipman, 10000 Volt seviyesinde elektriksel potansiyel oluşturabilme yeteneğine sahiptir. Örneğe verilecek voltaj kullanıcı tarafından göreceli olarak artırılarak ölçümler gerçekleştirilebilmektedir.

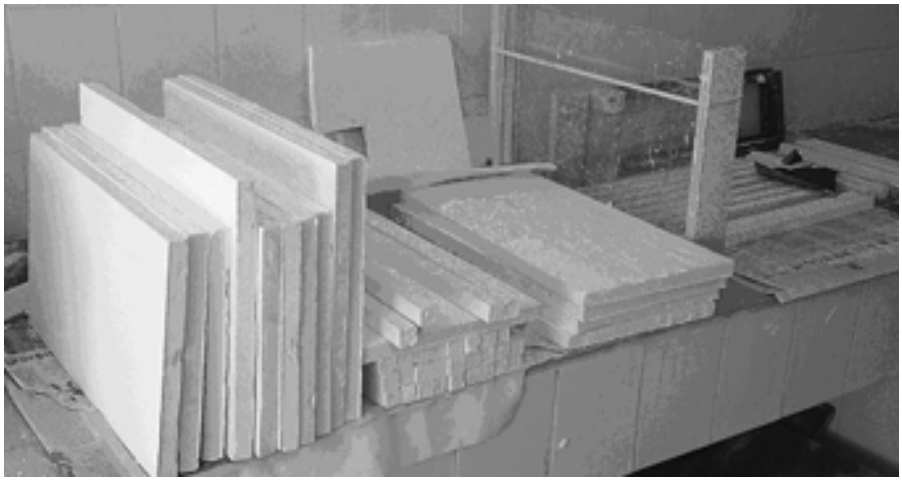
Laboratuarda hazırlanan cam hacim içine yerleştirilen yapay ortamdaki direnç değişimi ilgili hacim üzerine yerleştirilen bir ölçüm skalası boyunca yapılmış ve hazırlanan cam hacimde düşey elektriksel sondaj (DES) çalışması yapılmıştır. Bu modelleme uygulamasında, içindeki malzemenin düşey ve yanal dağılımını gösteren 30x100x70 cm boyutlarında üstü açık cam bir hacim hazırlanmıştır (Şekil 3.1).

Şekil 3.1'de görüldüğü gibi ölçüme hazırlanan yapay modelin üstüne üzerinde tek bir sıra halinde bir cm aralıklarla yerleştirilmiş çelik elektrotlar bulunan okuma çubuğu yerleştirilmiştir. Okuma çubuğunun altında 1 cm uzantıları bulunan elektrotlar yapay malzeme üzerine yerleştirilirken, ilgili malzemenin içine saplanmaktadır. Okuma çubuğunun ölçümler sırasında hareket ederek elektrotların hazırlanan yapay ortamla temas problemi yaşamamaları için her elektrot ilave kablolar yardımıyla okumaya hazır hale getirilmiştir (Şekil 3.1). Hazırlanan bu cam hacim yatay tabakalar oluşturacak şekilde yapay ortam oluşturulmasında kullanıldığı gibi, yatay tabakaların farklı dirençte hazırlanmasıyla sedimenter kömür arazilerini temsil edecek modeller halinde de hazırlanmıştır. Hazırlanan bu ortamın belirli noktasından ortama verilen suyun cam hacim içindeki yayılımı elektriksel rezistivite değişim grafikleriyle izlenmiştir. Böylece sedimenter homojen yapıların laboratuar ortamında belirli özellikleriyle modellemesi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.1. Homojen sedimenter zeminlerin modellenmesi amacıyla hazırlanan prizmatik cam hacim düzeneği, ölçüme hazır elektrot kabloları ve SEW 6212A-IN direnç ölçer.

Laboratuarda yapılan ikinci model çalışması olan alçı ve beton plakalar özel hazırlanmış kalıplar içine kartonpiyer alçısının veya çok ince inşaat kumuyla hazırlanmış beton malzemenin homojen bir şekilde dökülmesiyle hazırlanmıştır (Şekil 3.2). Plakalar hazırlanırken homojen ortamda açılmış farklı galeri şekilleri modellenmiştir. Bu plakalar yeterince kuruduktan sonra üzerlerine yük uygulanarak çatlatılmıştır. Bu işlem sırasında Selçuk Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölüm laboratuarlarında özel olarak hazırlanmış hidrolik bir yükleme düzeneği kullanılmıştır. Hazırlanan numuneler üzerine 5 ton kapasiteli kriko ile yüklemeler gerçekleştirilmiştir. Yükleme manuel olarak eşit zaman aralıklı ve eşit kuvvet uygulaması şeklinde yapılmıştır.



Şekil 3.2. Yeraltında açılan galeri çevresindeki elektriksel dağılımın incelenmesi amacıyla hazırlanmış olan alçı modeller (Gökay, 2009) .

Bu model çalışmasında beton plakaların elektriksel rezistivite seviyeleri plakaların yük altında mikro-ölçekte çatlatılmasından önce ve sonra her numune için elde edilmiştir. Elektriksel rezistivite seviyelerindeki farklılaşmanın nedenleri daha sonra çatlaklık durumuna göre yorumlanmıştır.

Her iki laboratuar ölçekli model çalışmasının nasıl oluşturulduğu, düzeneklerin nasıl kurulduğu, ölçüm çalışmalarının nasıl yapıldığı, ölçüm sonuçlarının yorumlanma aşamaları bu bölümün alt başlıklarında ayrı ayrı verilmiştir.

3.3. Laboratuar Deneyleri

3.3.1. Homojen Yapay Ortam modellemesi ve Elektriksel Rezistivite Ölçümleri

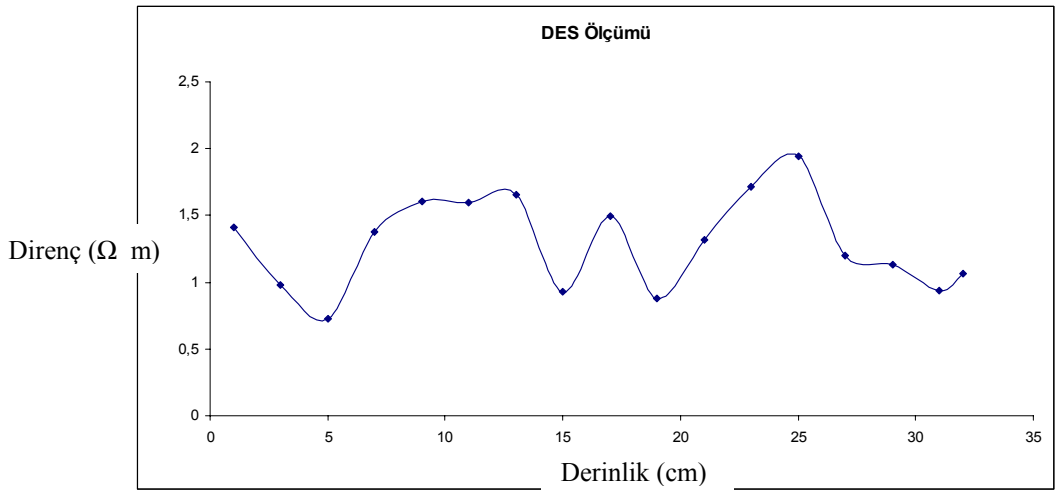
Homojen olarak karıştırılmış bir ortamın cam bir dikdörtgenler prizması içinde hazırlanması, model olarak homojen sedimenter katmanların durumunu göstermesi açısından ilginç olmuştur. Şekil 3.1'de verilen deney düzeneğinde de görüldüğü gibi cam hacim içerisine aynı boyut özelliklerine sahip aynı kaynaktan inşaat kumu konulmuştur. Bu düzeneğin hazırlanmasındaki prensip amaç, arazide elektriksel yerdirenci ölçümleri sırasında karşımıza çıkabilecek homojen bir zemin ortamının elektriksel rezistivite davranışı konusunda deneyim kazanmaktır. Yapay olarak

hazırlanan ortam içindeki nem oranı değiştirilerek ortaya çıkan elektriksel rezistivite farklılıkları incelenmiştir.

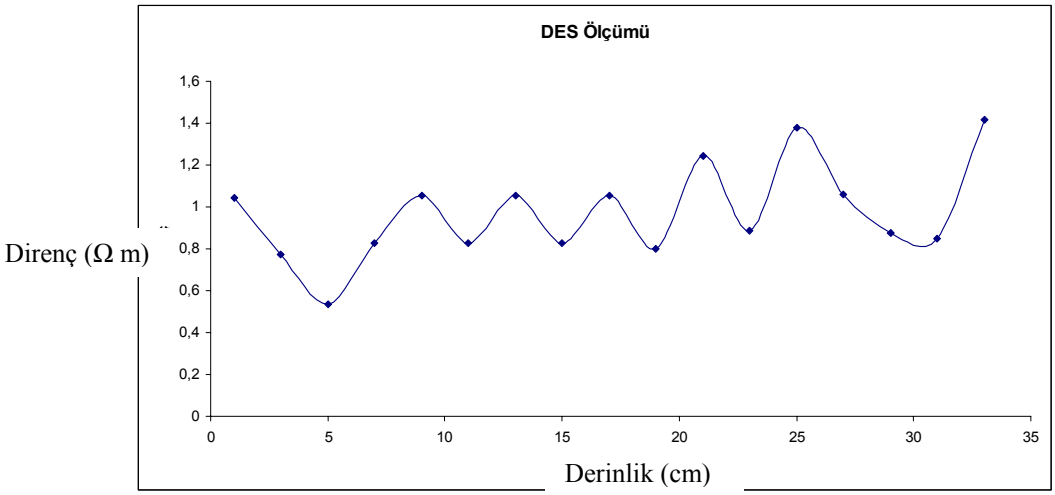
Hazırlanan cam hacimde oluşturulan ilk ortam ince toprak malzemeden oluşturulmuştur. Ortamın hazırlanması tamamlandıktan sonra, yapay olarak hazırlanan bu ortama sıkıştırılma işlemi yapılmadan, modelin DES okumaları alınmıştır. Daha sonra ortamın sıkıştırılma işlemi gerçekleştirilmekte ve sonuçta model üzerinde yapılacak DES ölçümleri, homojen yapay ortamların sıkışma işlemi öncesi ve sonrasında elektriksel rezistivite değişimi olup olmadığı görülmüştür (Şekil 3.3).

Bu model çalışmasının diğer aşamalarında da sıkıştırılmış zemin içerisine eşit zaman aralıklarıyla eşit miktarlarda su veriler, suyun ne kadar derinlere kadar ilerlediği okumalarla tespit edilmiştir (Şekil 3.4). deney uygulaması yapılırken deney düzeneği üzerine su tam merkezden eşit miktar ve eşit zamanlarda verilmiştir. Her yarım saat aralıklarla bir çay bardağı su sisteme beslenmiş ve okumalar gerçekleştirilmiştir. Su ilavesi sonrası direnç değerlerinde düşüş meydana gelmiştir. Çünkü nemlilik elektriksel rezistivite değerlerini etkileyen en önemli faktörlerden birisidir.

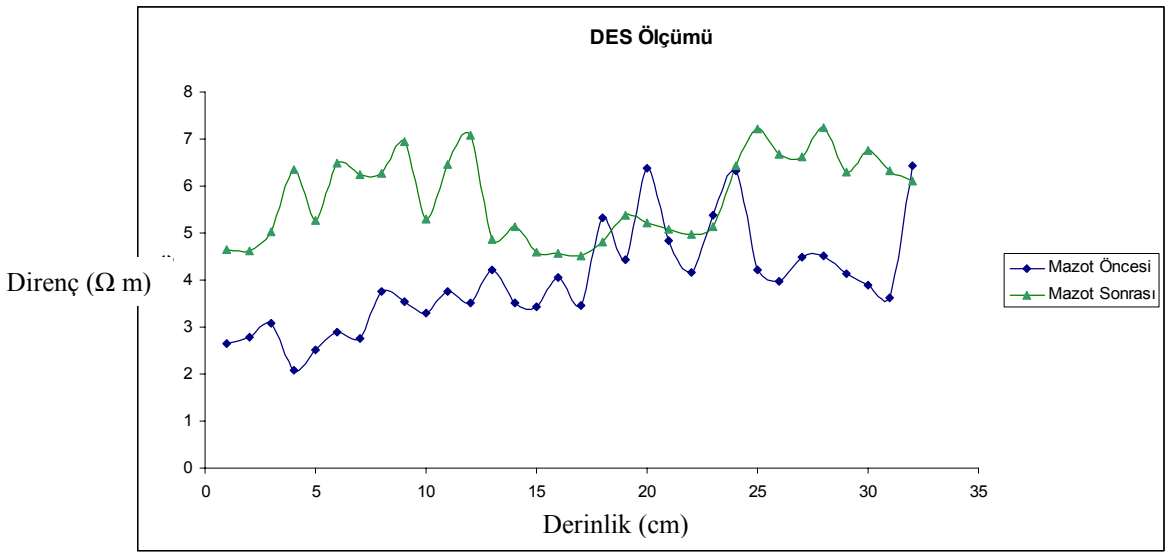
Yapay ortam model çalışması sırasında uygulanan bir diğer test, kontaminasyon deneyidir. Bu model uygulamasında hazırlanan yapay ortam içine modelin orta noktasından su yerine mazot akıtılmıştır. Mazot deney modeli içine aynı su deneylerinde olduğu gibi eşit zaman aralıklarında, eşit miktarlarda verilmiştir. Amaç sudan farklı bir yoğunluk ve hidrokarbon yapıya sahip olan mazotun, yapay ortam modelinin elektriksel rezistivite değişimini nasıl etkilediğinin tespitidir. Yapılan çalışmalar sonucu elde edilen veriler mazotun model içinde derinliklere göre yayılımının izlenebildiğini göstermektedir (Şekil 3.5). Deney düzeneği üzerine mazot su beslemesinde olduğu gibi yarım saat aralıklarla yapılmıştır. Deney düzeneği üzerine her seferinde merkezden 100 cc mazot ilavesi gerçekleştirilmiştir. Mazot beslemesi sonucu su beslemesinin aksine direnç değerlerinde yükseliş gözlemlenmiştir. Bunun sebebi hidrokarbon yapılarının farklı olması ve mazot içerisindeki hidrokarbon yapısının direnç değerini artırması olmuştur.



Şekil 3.3. Yapay zemin modelinin sıkışma öncesi Düşey Elektrik Sondaj (DES) ölçüm sonuçları.



Şekil 3.4. Yapay zemin modelinde yüzeyden verilen suyun etkisinin belirlenmesi.



Şekil 3.5. Yapay zemin modelinde yüzeyden verilen mazot kontaminasyonunun etkisi.

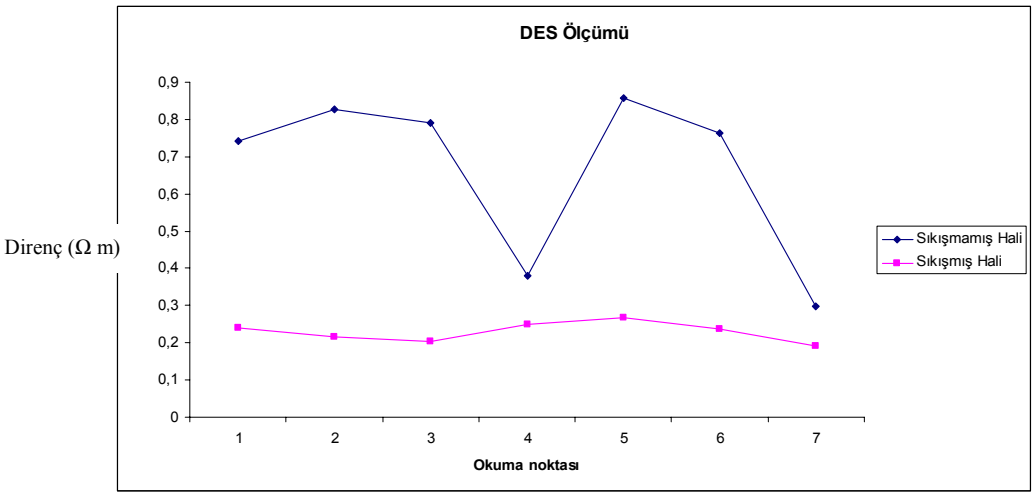
Laboratuar ortamında gerçekleştirmiş olduğumuz elektriksel rezistivite ölçümleri SEW 6212A IN cihazıyla yapılmıştır. Bu cihazın iki farklı okuma ucu arasındaki rezistivite cihazın bu iki elektrotundan elektrik geçirmesine dayanmaktadır. Cihaz elektronik olarak en geçerli sonuca ulaşana kadar direnç ölçme işlemini tekrarlamakta ve sonuçta okuduğu elektriksel rezistivite değerini ekranında göstermektedir.

Yukarıda bahsedilen yapay zemin model çalışmalarından sonra, cam hacim içerisine yeraltında açılan tünelleri temsil etmek üzere dairesel tünel modeli yerleştirilmiştir. Yerleştirilen tünel düzeneği okuma hattına dik gelecek şekilde deney düzeneğinin alt kısımlarına yerleştirilmiş ve üzeri tekrar aynı malzeme ile beslenmiştir. Amaç yeraltında oluşturulmuş olan bir maden galerisinin, ulaşım amaçlı açılmış bir karayolu tünelinin, tıbbi atık veya özel depo amaçlı kullanılan yeraltı boşluklarının etrafında oluşan elektriksel rezistivite değişimlerinin fiziksel model üzerinde denenmesidir. Kartondan yapılan 10 cm çapındaki tünel modeli içine, dairesel olarak elektrotlar yerleştirilmiştir. Eşit aralıklarla tünel içinden dışarıya doğru uzanan çelik elektrotlar model malzeme içine saplanmıştır. Bu elektrotlardan can hacim dışına uzanan kablolar sayesinde, elektrotlar arasındaki dirençler ölçülmeye hazır hale getirilmiştir. Oluşturulan bu tünel yapay zemin modeline yerleştirildikten sonra üzeri can hacim dolana kadar yapay ortam yapıcı

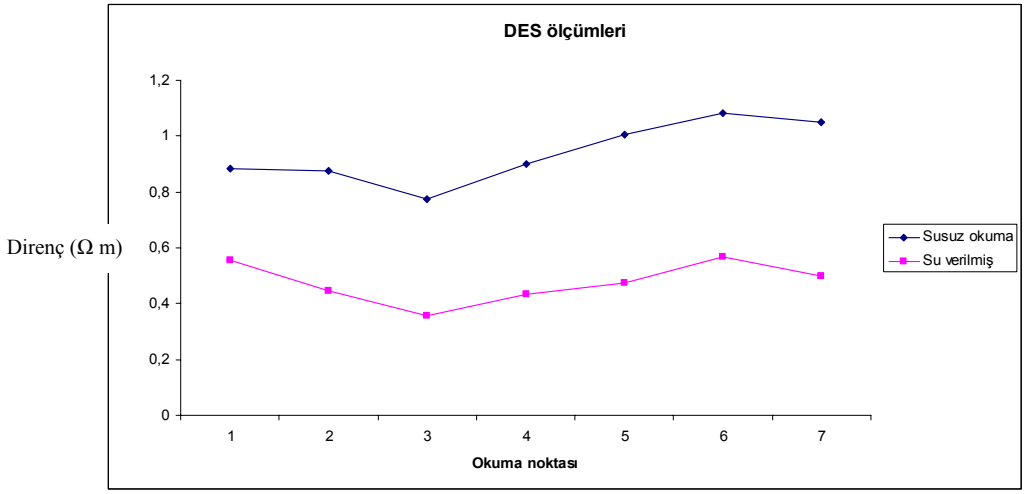
malzemeyle (toprak) doldurulmuştur. İlk rezistivite okumaları modelin normal oluşturulmasından sonra yapılmıştır. Daha sonra yapay zemin biraz sıkıştırılarak temsili tünel üzerine baskı oluşturması sağlanmıştır. Bu sıkışma sırasında ortamın boşlukları da azalarak ortamı oluşturan tanelerin birbirine daha iyi teması da sağlanmıştır. Bu işlemlerin uygulanmasında ki amaç; yeraltı boşlukları çevresindeki ortam özelliklerinin (çevresel kayaç veya zemin malzeme özellikleri sabit kalmak şartıyla) değişimi acaba ölçülen elektriksel rezistivite değerlerini değiştirecek midir sorusuna cevap aranmasıdır (Şekil 3.6). Sıkışma sonrası direnç değerlerinde düşüşler meydana gelmiştir. Bunun sebebi sıkışma sonrası mevcut hava boşlukları dolmuş ve deney düzeneği daha kompakt bir hal almıştır.

Bir önceki model çalışmasında olduğu gibi tünelli yapay model üzerine orta noktadan su verilerek (eşit zaman aralıklarında eşit miktarlarda su verilmiştir), tünel etrafındaki elektriksel rezistivite değişimi tünel içerisine yerleştirilen elektrotlar yardımıyla ölçülmüştür (Şekil 3.7). Su ilavesi direnç değerlerini düşürmüş ve net bir görünüm elde edilmiştir.

Bu model çalışmaları elektriksel rezistivite ölçümünün çok etkili bir algılama tekniği olduğunu vurgulamıştır. Yapay modeller üzerinde ölçülen dirençler, yatay ortamın malzeme özelliği değişikliklerine göre, ortama eklenen su ve hidrokarbon gibi sıvılarla değişime uğramıştır. Doğal arazi çalışmalarında yüzey altındaki malzemelerin farklılığı, bunların doğal nem içeriklerindeki farklılıklar elektriksel rezistivite ölçümlerinde farklılıklara neden olacağı açıktır. Fakat bu model çalışmalarından sonra, kayaçlar ve zemini oluşturan sedimanlar ele alındığında bu farklılıkların yorumlanabileceği kanaatine varılmıştır.



Şekil 3.6. Yapay zemin modeli içinde temsil edilen tünel etrafında malzeme sıkışmasına bağlı elektriksel rezistivite değişimi.



Şekil 3.7. Yapay zemin modeli içinde temsil edilen tünel etrafında su içeriği farklılığına göre elektriksel rezistivite değişimi.

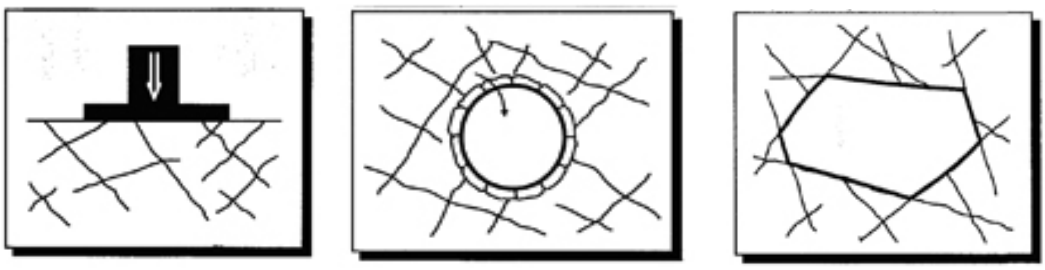
3.3.2 Alçı plakalarla yapılan model çalışmaları

Yeraltı açıklıkları çevresinde oluşan gerilmeler birincil gerilmelere ve açıklığın geometrisine bağlıdır. Bu nedenle birincil gerilmeler özellikle masif elastik kaya içinde açılan yeraltı açıklıklarının duraylılığını etkileyen faktörler arasındadır. Kayaçlar, mühendislik yapıları (yol, köprü, galeri, tünel, bina vd.) için en uygun temel zeminlerdir. Ancak, yüzeye yakın derinliklerde süreksizlikler tarafından

bölündükleri için, kayaçların yapıların güvenliği açısından izin verilebilir deformasyon veya oturma sınırları içinde üzerlerine uygulanan yükleri taşıyabilecek özelliklere sahip olmaları gerekir. Dolayısıyla kaya kütlesinin içerdiği süreksizliklerin sayısı ve sıklığı arttıkça, yapıdan kayaca aktarılan yükler nedeniyle oturma, aşırı deformasyon ve göçme gibi sorunlarla karşılaşılmaktadır (Şekil 3.8a).

Tünellerin ve kuyuların duraylılığı; kaya kütlesinin kalitesine, kaya kütlesine etkiyen gerilmelere, ana süreksizlik setlerine ve uygulanan kazı tekniğine bağlıdır. Bu tür yeraltı açıklıklarının duraylılığını değerlendirilmesinde mekaniğin temel ilkeleri önemli bir rehber olarak kullanılır. Kaya kütlelerinin önemli bir elemanı olan süreksizliklerin tür, konum ve özellikleri, yeraltı açıklığının çevresinde değişik boyutlarda blokların oluşmasına ve bunların kazı boşluğuna doğru hareketine neden olabilmektedir (Şekil 3.8b).

Süreksiz aralıkların geniş olduğu kaya kütlelerinde spor tesisi, yüzme havuzu, radyoaktif atık depolanması, sığınak, arşiv vb. amaçlı ve diğer yeraltı yapılarına oranla daha geniş ve genellikle yeraltı odaları adı verilen açıklıklar oluşturulabilmektedir. Bu tür yapıların tasarımında ve inşasında süreksizliklerin, dolayısıyla kaya kütlesinin özellikleri etkin bir rol oynamaktadır (Şekil 3.8c).



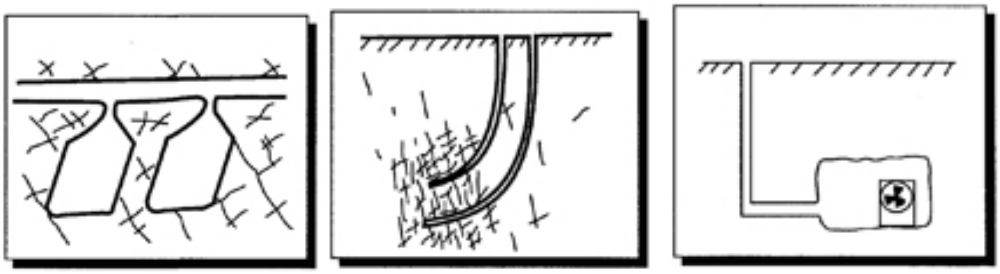
a) b) c)

Şekil 3.8. a) Temeller, b) Tüneller ve kuyular, c) Geniş yeraltı boşlukları (Hudson, 1989).

Yüzeyden oldukça derinde yer alan ve ekonomik anlamada açık işletme yöntemiyle üretilemeyen cevherlerin çıkarılması amacıyla gerçekleştirilen yeraltı maden işletmeciliği uygulamalarında; geometrisi oldukça değişken, tünellere oranla daha karmaşık gerilim koşullarının egemen olduğu ve galeriler yere almaktadır (Şekil 3.9a). Bu tür açıklıklar, güvenliği ön planda tutarak ekonomiklik koşulunu sağlayabilecek şekilde tasarımlanır ve yine kaya kütlesi ile özellikle içerdiği süreksizlikler tasarımda önem taşır.

Jeotermal enerjinin üretilmesi, bir sondaj kuyusundan gönderilen soğuk suyun rezervuardaki süreksizliklerden geçerek ikinci bir kuyuya girmesi esasına dayanır (Şekil 3.9b). Üretim sisteminin verimli ve ekonomik olması; kaya kütlesinin içerdiği süreksizliklerin birbiriyle bağıntılı olmasına, arazi gerilimlerine, su akışına, sıcaklığa ve zamana bağlıdır.

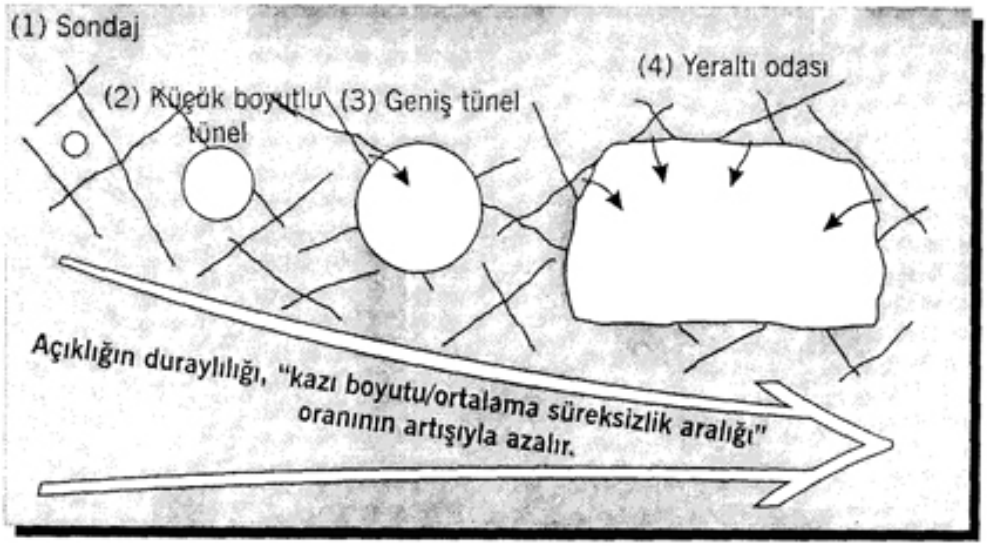
Kaya kütleleri içinde yapımı planlanan bir diğer mühendislik yapısı da atık depolarıdır. Bu tür projelerde amaç, atıkların özellikle radyoaktif atıklardaki radyoaktif maddenin biyosfere geri dönmemesi için süreksizliği ve su geçirgenliği sınırlı olan kalın kayaç katmanları içinde izole edilmesidir (Şekil 3.9c). Depolanmanın yapılacağı kaya kütlesi ortamından tehlikeli maddelerin sızması için en önemli geçiş yolu süreksizler olup, bu tür uygulamalarda da kaya kütlesinin süreksizlik içerip içermediğinin anlaşılması ön plana çıkmaktadır.



a) b) c)

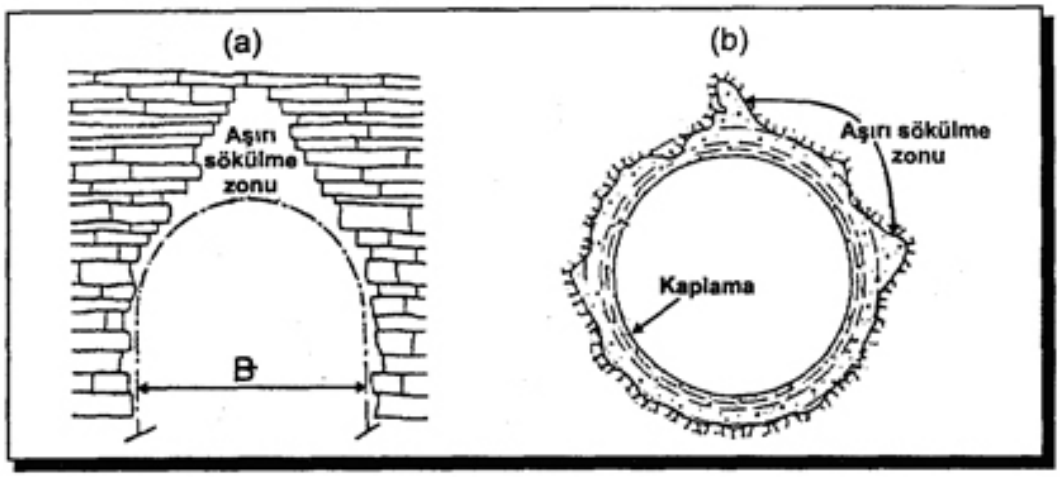
Şekil 3.9 a) Yeraltı madencilik uygulamaları, b) Jeotermal enerji üretimi, c) Radyoaktif atıkların depolanması (Hudson, 1989).

Kaya kütlelerinin belirli bir gerilim altındaki davranışı, genellikle kayaç malzemesine ait bloklar ile süreksizlikler arasındaki etkileşim tarafından denetlenir. Dolayısıyla kayaç malzemesi, kendisiyle birlikte süreksizlikleri ve bozunma profilini de içine alan kaya kütlesi kavramından farklı olup bu kavramla karıştırılmamalıdır. Şekil 3.10'da görüldüğü gibi, eklemli kaya kütlesi ortamında yeraltı açıklığının boyutu arttıkça, boyut kaya malzemesini temsil eden bloklardan daha büyük olacağı için (4 no'lu açıklık), burada açıklığın davranışı tek başına kayaç malzemesi veya süreksizlikler tarafından değil, her iki elemanı da içeren kaya kütlesinin davranışıyla denetlenmektedir. Dolayısıyla bu örnek, tasarım parametrelerinin seçiminde ne denli dikkatli olunması gerektiğini göstermektedir.



Şekil 3.10. Kazı boyutlarının artışıyla kaya kütlesi kavramının önem kazanmasını gösteren şematik kesit (Hudson, 1989)

Süreksizlik seti sayısı yeraltı açıklıkları açısından değerlendirildiğinde; üç veya daha fazla sayıda ve nispeten sık aralıklı süreksizlik setlerini içeren kaya kütleleri, daha az sayıda süreksizlik setiyle bölünmüş kaya kütlelerine oranla daha kolay serbest kalabilecek ve deformasyona uğrayabilecek bloklu bir yapıya sahiptirler. Yeraltı açıklıklarında karşılaşılan aşırı sökülme davranışı da, yine süreksizlik seti sayısı ile yakından ilişkilidir (Şekil 3.11).

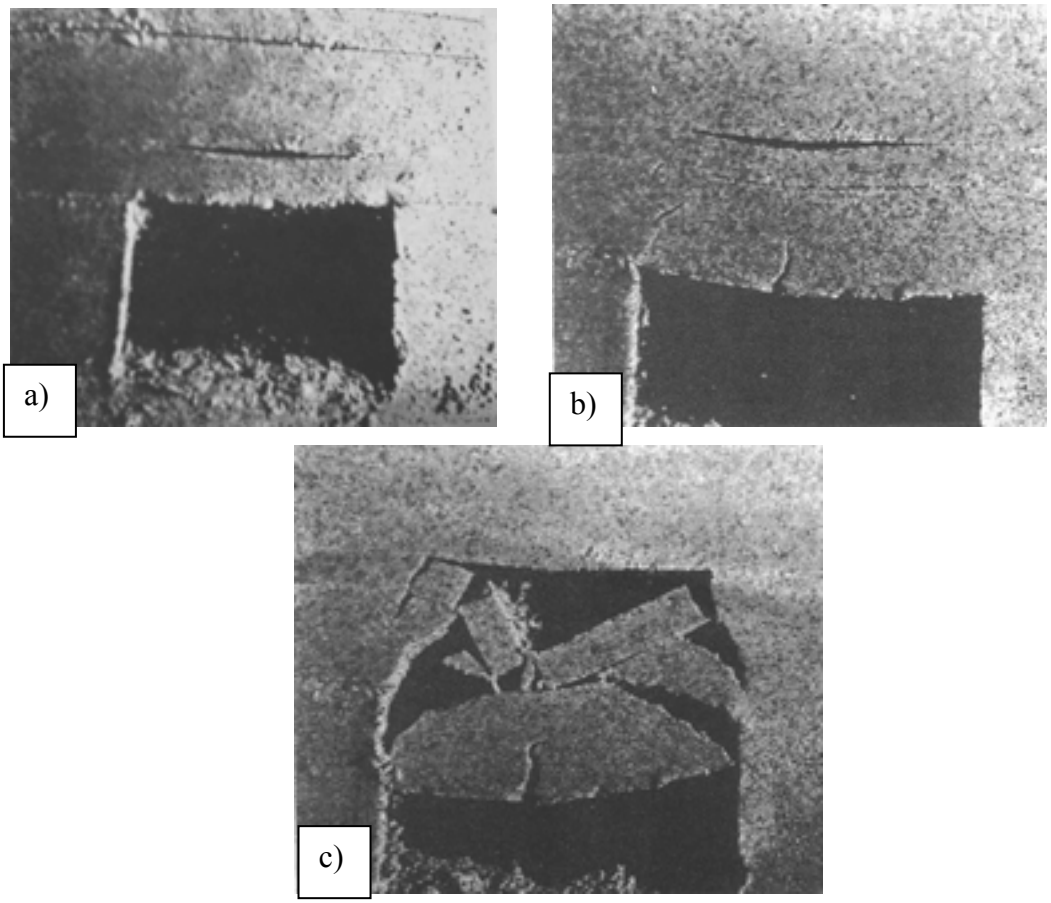


Şekil 3.11. Aşırı sökülmeyle ilgili at nalı ve dairesel kesitli tünellerden örnekler (Krynine ve Judd, 1957).

Tavanın üstünde yatay tabaklı kaya bulunduğu zaman, açıklık yakınındaki daha ince tabakalar ana kaya kütlesinden ayrılarak kiriş oluşturma eğilimindedir. Yatay

gerilmenin mevcut olması ve kiriş uzunluğu/katman kalınlığı oranının da oldukça küçük olması halinde böyle kirişler son derece stabildir. Açıklığı hemen üzerinde yer alan ince tabakalar, ankraj ve benzeri yöntemlerle anında desteklenmedikleri zaman aşağı düşmeleri kaçınılmazdır. Şekil 3.12'de yatay tabakalı kaya modelinde açıklığın tavanında gelişen yenilmenin aşamaları görülmektedir. İlk aşamada, tavanın hemen üstünde bulunan ince kiriş yukarıdaki kayadan ayrılarak aşağı doğru bükülür ve kirişin üst kısmında iki uçta; alt kısmında da ortada çatlamalar meydana gelir. Uç çatlakları önce oluşsa da yeraltında görülmeleri zordur. Kirişin uç kısımlarındaki eğimli gerilme akıları çatlak yayılmasını genişlemeye zorlar. Birinci kirişin göçmesiyle geride kalan ankastre parça üstteki kirişe dayanak tahkimat vazifesini görmeye davam eder. Tavan seviyesinin üstünde yukarıya doğru kiriş uzunluğu giderek daralır. Kirişlerin devamlı yenilerek düşmesi sonunda trapezoid şekilli ve stabil bir şekil oluşturur. Maden galerilerinin içinde açıldığı kayaç türlerinin yük taşıma kapasiteleri Tablo 3.1'de verilmiştir.

Üzerlerine gelen tavan yükünden veya galeri etrafındaki süreksizliklerin yol açtığı deformasyonlarda dolayı galerilerin açıldıkları boyutlarında oluşan değişimler maden mühendislerinin tahkimat tasarımlarını planlayabilmeleri için istendiğinde hassas bir şekilde (mikron seviyesinde) distansometreler aracılığıyla ölçülebilmektedir. Bu galerilerdeki boyut daralmasının gözle tespit edilmesi galeri yan kayaçlarındaki deformasyonların ileri safhalara geçmesinin bir belirtisidir.



Şekil 3.12 Yatay tabakalı sedimanter kayaçlarda galeri üstü davranışlarını gösteren fiziksel model çalışmaları; a) Galerinin tavanındaki ince tabakanın aşağıya sarkması ve çatlaması, b) Galerinin hemencecik tavanında kalın bir tabakanın bulunması halinde sarkma ve yenilme şartları, c) Yatay tabakalı kayacın çatlamalar sonundaki yenilme anı (Goodman, 1980).

Tablo 3.1 Değişik tür bozuşmamış kayaçlar için izin verilebilir taşıma basınçları.

Kaya Türü	Jeolojik dönem	Yer	İzin Verilebilir Taşıma Basıncı (MPa)
Masif tabakalı kireçtaşı	--	İngiltere	3.8
Dolomit	A.Paleoz	Chicago	4.8
Dolomit	A.Paleoz	Detroit	1.0 – 9.6
Kireçtaşı	Ü.Paleoz	Kansas City	0.5 – 5.8
Kireçtaşı	Ü.Paleoz	St. Louis	2.4 – 4.8
Mikaşist	Prekamb.	Washington	0.5 – 1.0
Mikaşist	Prekamb.	Philadelphia	2.9 – 3.8
Manhattan şisti	Prekamb.	New York	5.8
Fordham gnaysı	Prekamb.	New York	5.8
Şist ve sleyt	--	İngiltere	0.5 – 1.2
Arjillit	Prekamb.	Cambridge, MA	0.5 – 1.2
Newark şeyli	Triyas	Philadelphia	0.5 – 1.2
Sert, çimentolu şeyl	--	İngiltere	1.9
Eagleford şeyli	Kretase	Dallas	0.6 – 1.9
Piere şeyli	Kretase	Denver	1.0 – 2.9
Fox Hills kumtaşı	Tesiyer	Denver	1.0 – 2.9
Katı tebeşirtaşı	Kretase	İngiltere	0.6
Austin tebeşirtaşı	Kretase	Dallas	1.4 – 4.8
Ufalanabilir kumtaşı ve Kiltaşı	Tersiyer	Oakland	0.4 – 1.0
Ufalanabilir kumtaşı (Pico formasyonu)	Kuvaterner	Los Angeles	0.5 – 1.0

3.3.2.1 Alçı-Beton plaka modellerini uygulama amacı

Laboratuarda yapılan modelleme çalışmasının içeriğinde plaka numuneler alçı ve betondan hazırlanmıştır. Bu iki malzemesinin kullanılmasındaki ana amaç her iki malzemenin homojen bir şekilde karıştırılıp kalıplara istenen şekiller verilerek dökülebilme özelliğine sahip olmasıdır. Maden galerisi amacıyla veya başka amaçla açılmış olan bir maden açıklığının üzerine gelen tavan yükü, yapay olarak laboratuar ortamında hazırlanan plaka modellerine uygulanmıştır. Tavan yükü laboratuar

ortamında plakalar homojen olarak özel hazırlanmış hidrolik pres yardımıyla verilmiştir. Bu uygulamadan sonra plaka modeller üzerinde oluşan mikro çatlakların oluşum şekilleri belirlenerek bunların gerçek arazi şartlarında nasıl bulunabileceği konusunda izlenimler edinilmiştir. Bu model çalışmalarında beton model galeriler çevresinde oluşturulacak mikro çatlakların modelin genel elektriksel direncini etkileme durumları rezistivite ölçümleriyle test edilmiştir.

3.3.2.2. Numunelerin hazırlanışı

Yeraltı maden ocaklarında ve ulaşım amaçlı açılan tüneller civarındaki kaya formasyonları heterojen yapıya sahiptir. Laboratuar ortamında hazırlanan plaka model uygulamaları ise homojen kayaç yapısını ele almaktadır. Bunun başlıca nedeni homojen ortamla model oluşturmanın daha az karmaşık olmasıdır. Heterojenlik ele alındığında her maden ocağının özel şartlara sahip olması, aynı kayaç türü için farklı heterojenlik tanımlamalarının yapılabileceği düşünüldüğünde heterojen modellerin yapılmasının zorluğu ortaya çıkacaktır. Laboratuar ortamında hazırlanan alçı ve beton modeller Selçuk Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü laboratuarlarında hazırlanmıştır. Model çalışmalarında kullanılan malzeme ve ekipmanlar düzenekleri Tablo 3.2'de verilmiştir.

Tablo 3.2. Fiziksel model uygulamalarında kullanılan malzeme ve ekipmanlar.

Malzeme ve ekipmanlar	**Özellikleri**
Alçı	Kartonpiyer Alçısı
Beton	İnce inşaat kumu, çimento, su
Kalıplar	Kalınlık: 2 cm, en 25-30 cm, uzunluk 46 cm
Cam düzenek	46 x 33 x 2 cm

Plaka model hazırlanması sırasında ilgili beton plakalar üzerinden Düşey Elektrik Sondaj (DES) ölçümlerinin yapılması planlandığı için modeller düşey arazi kesitlerini gösterecek şekilde hazırlanmıştır. Alçı ve beton plaka modellerin yapılması sırasında izlenen yol aşağıda verilmiştir;

1. Model çalışmasına uygun olarak seçilen model boyutuna göre yatay bir zemin üzerinde pratik açılıp kapanabilen kalıpların Konya sanayinde hazırlanmıştır.
2. Hazırlanan plaka modellerin ve daha farklı yatay tabakalı yeraltı kayaç modelleri oluşturup test etmek amacıyla içi görünecek şekilde hazırlanmış tabanı katı, kenarları camdan hazırlanmış cam düzenek yapılmıştır (Şekil 3.14). Bu düzenek plaka modellerin çatladıkları zaman parçalanıp hidrolik presten düşmelerini önlemektedir. Herhangi bir olumsuz durumda düzeneğin yük taşıma işlemine katılması durumunda camlar kırılıp test iptal edildiği için yükleme sırasında numuneleri yerinde tutmaktan başka işlevi olmadığından da emin olunmaktadır.
3. Plaka modellerin kuruduktan sonra kalıptan kolay çıkması amacıyla kalıpların fırça kullanılarak yağlanmıştır.
4. Büyük boyutlu numuneler için alçı kalıplar hazırlanmıştır. Numuneler için kullanılan malzemelerin miktarı en iyi şekilde kalite elde edilene kadar deneme yanılma yöntemiyle bulunmuştur. Karışım içerisinde 3000 gr alçı ve 1100 gr su; küçük boyutlu numuneler için ise 400 gr alçı ve 220 gr su plastik karıştırma kaplarına boşaltılarak uygun kıvama gelinceye kadar karıştırılmıştır. Beton karışımı ise standartlara uygun C20 beton karışım oranına uygun olarak hazırlanmıştır. Her bir beton plaka modeli için 3000 gr ince inşaat kumu, 850 gr portland çimentosu ve 650 gr su iyice karıştırılarak harç haline getirilmiştir.
5. İlgili alçı ve beton karışımlar daha sonra hazırlanan kalıplara dökülmüş ve kalıplara tam yerleşmenin sağlanması için kalıplar sarsılmıştır (Şekil 3.13).
6. Yaklaşık 10-15 dakika sonra alçı modeller belirli bir katılığa ulaşınca, kalıplardan herhangi bir çatlamaya neden olmadan özenle çıkartılmıştır. Bu işlemler sırasında içinde mikro-çatlak oluşan veya işlemler sırasında hasar gören modeller testlerde kullanılmamıştır. Beton numuneler gerekli ıslatma işlemlerinden ve 7 günlük frizleşme süresinden sonra, kalıplara dökülmelerini takip eden 8. günde kalıplardan çıkartılmışlardır.

7. Numunelerin uzunluk ve enlerindeki düzensizlikler giderilerek, üzerlerine yük uygulama sırasında kullanılan cam düzeneğin (Şekil 3.14) içine girecek şekilde hazırlanmışlardır.



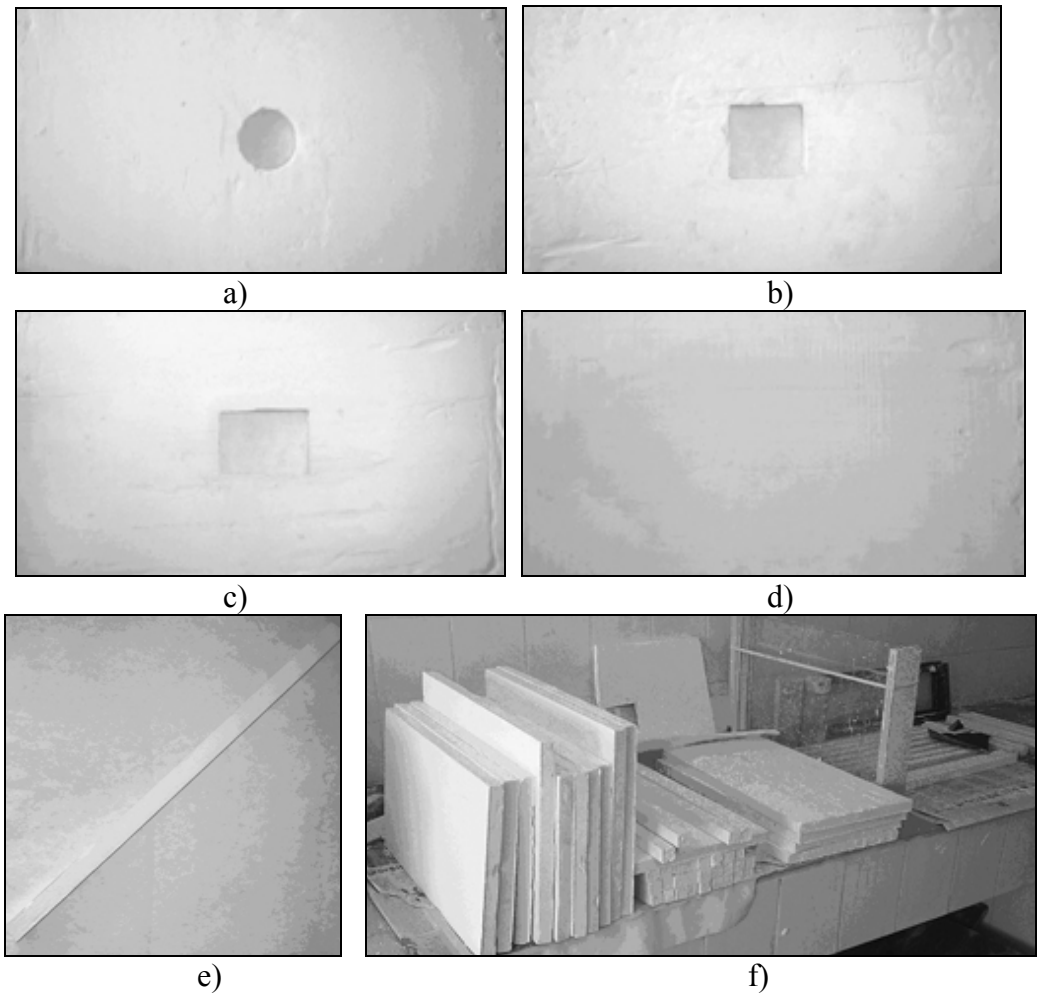
Şekil 3.13. Kalıplar içine dökülmüş dikdörtgen galeri içeren alçı model.



Şekil 3.14. Hazırlanan alçı modellere yük uygulanırken kullanılan üstü açık kutu şeklindeki can düzenek.

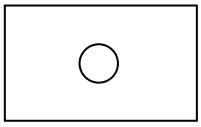
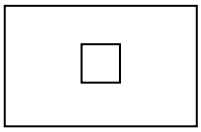
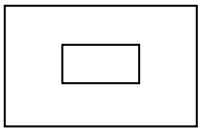
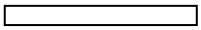
Yukarıda verilen fiziksel model hazırlama işlemleri izlenerek toplam 59 model parçası hazırlanmış ve test edilmiştir. Hazırlanan alçı plaka modellerin boyutları Tablo 3.3'de verilmiştir. Bu model numuneler farklı galeri şeklinde veya farklı tabakalaşma ortamlarını modellemek için gruplandırılmıştır. Bu gruplamalara göre numunelerin sayıları aşağıda sıralanmıştır;

- Daire kesitli galeri içeren (Şekil 3.15a) fiziksel modeller (4 adet; model eni 25 cm, boyu 46 cm ve model kalınlığı 2.1 cm);
- Kare kesitli galeri içeren (Şekil 3.15b) modeller (5 adet; model eni 25 cm, boyu 46 cm ve kalınlığı 2.1 cm).
- Dikdörtgen kesitli galeri içeren (Şekil 3.15c) fiziksel modeller (5 adet; model eni 25 cm, boyu 46 cm ve kalınlığı 2.1 cm).
- İçinde galeri olmayan (Şekil 3.15de) fiziksel modeller (3 adet; model eni 25 cm, boyu 46 cm ve kalınlığı 2.1 cm).
- Cam düzenek içinde farklı tabakalı ortamları modellemek için hazırlanan alçı tabaka plakaları (42 adet; model eni 2 cm, boyu 46 cm ve kalınlığı 2.1 cm) (Şekil 15f).



Şekil 3.15. Alçı plaka modeller; a) Daire kesitli galeri içeren model, b) Kare kesitli galeri içeren model, c) Dikdörtgen kesitli galeri içeren model, d) Galeri açılmamış alçı plaka model, e) Tabaka şeklinde hazırlanan model numuneler, f) Alçı model numunelerin toplu görünüşü

Tablo 3.3 Hazırlanan model numunelerin boyutları ve sayıları.

Hazırlanan Numune	Şematik Şekli	Çap / İç ebatlar (cm)	En (cm)	Boy (cm)	Kalınlık (cm)	Adet
Normal		---	25.0	46.0	2.1	3
Dairesel Galeri Kesitli		5.0	25.0	46.0	2.1	4
Kare Galeri Kesitli		5.8	25.0	46.0	2.1	5
Dikdörtgen Galeri Kesitli		5.9 x 8.0	25.0	46.0	2.1	5
Tabaka Kesitli		---	2.0	46.0	2.1	42

Hazırlanan numuneler her biri eşit en, boy ve kalınlıkta olma üzere 3 adet normal numune, 4 adet dairesel kesitli numune, 5 adet kare galeri kesitli numune ve 5 adet dikdörtgen galeri kesitli olmak üzere toplamda 17 numune hazırlanmıştır. Bunlara ilave olarak 2 cm eninde 46 cm boyunda ve 2.1 cm kalınlığında 42 adet tabaka kesitli plakalar hazırlanmıştır.

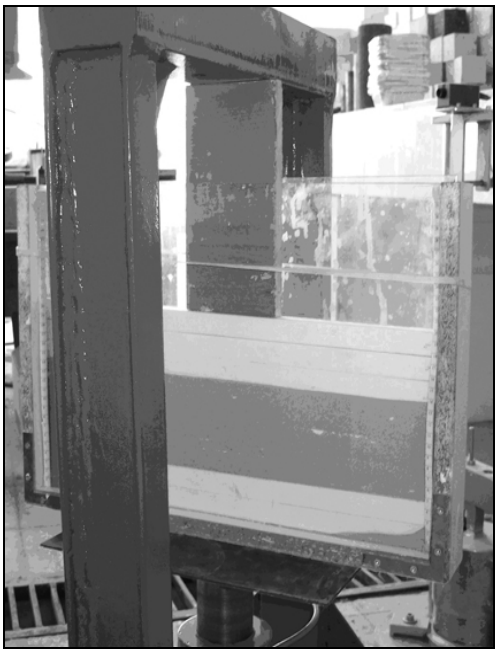
3.3.2.3 Alçı model numunelerin üzerinde deneylerin yapılışı

Laboratuar çalışmaları kapsamında hazırlanan alçı fiziksel modeller Selçuk Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü Laboratuarında özel hazırlanmış hidrolik presle yüklenerek içlerinde mikro-çatlaklar oluşturulmuştur. Bu çatlakların bazıları aniden kırılarak modellerin iki veya çok parçalara ayrılmasına neden olmuştur. Deneyler sırasında kullanılan cam muhafaza sayesinde numuneler mümkün

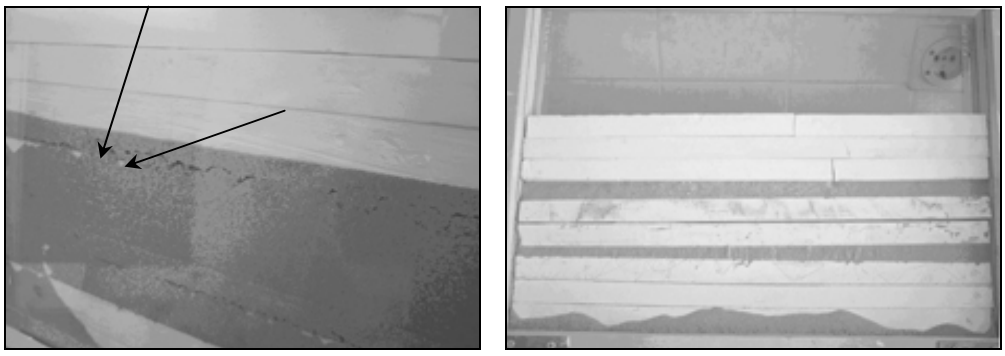
olduğunca bir bütün halinde çatlatılmaya çalışılmıştır. Daha önce hazırlanan 59 model numune üzerinde gerçekleştirilen bu deneylerin birkaçı örnek olarak aşağıda detaylarıyla anlatılmıştır. Bu deneylerde arazide karşılaşılabilecek bazı farklılıkları (galeri şekli, tabaka farklılıkları gibi) tanımlamak amacı ile farklı uygulamalar yapılmıştır. Uygulanan bu farklı deneylerden örnek olarak seçilenler aşağıda sırayla verilmiştir.

a) **Model test grubu-1**

Bu grup test kapsamında laboratuar ortamında daha önce hazırlanan model alçı tabakalar cam düzeneğin içine yerleştirilmiştir (Şekil 3.16). Bu yerleştirme işleminde yeraltındaki tabakalaşma istenildiği şekilde tasarlanabilmektedir. Kırılgan gevrek tabakaları modelleyen alçı tabakalar ister üst üste aralarında hiçbir malzeme konulmadan cam düzeneğin içerisine yerleştirilerek kırılgan tabakalar içeren sedimenter bir arazi yapısı modellenmiştir veya alçı tabakalar arasına ince toprak katmanları konularak, daha elastik (pekişmeye müsait) tabakalar üzerine ardalanmalı olarak yerleşmiş kırılgan sedimenter kayaçlar modellenmek istenmiştir. Farklı düzenlemelerle yapılan testlere burada gösterilmek istenen örnek (Şekil 3.16) şu katmanlardan oluşturulmuştur. Hazırlanan bu modelde en alt katmanlar kırılgan 3 alçı tabakasıdır (her bir tabaka 2 cm kalınlığındadır, toplam 6 cm kalınlığında). Bu tabakaların üzerinde 2 cm kalınlığında ince toprak tabakası oluşturulmuştur. Bu katmanın üzerine konulan 2 adet alcı tabakası (2x2=4 cm kalınlığında) nispeten sıkışabilen sedimenter tabakaların üzerine yerleşen kırılgan sedimenter katmanları temsil etmektedir. Bunların üzerine tekrar serilen 2 cm kadar ince kum katmanı ve en üst katmanları oluşturmak üzere konulan üç tabaka alçı numunesini (2x3=6 cm kalınlığında) deney model düzeneğini tamamlamıştır. Daha sonra bu düzenek Şekil 3.16'da görüldüğü gibi hidrolik pres altına herhangi ani bir deformasyon elde edilene kadar yüklenmiştir. Pres altında yüklemelerin homojen yapılması amacıyla demir plakalar yerleştirilmiş ve manuel olarak eşit zamanlı ve her seferinde 2 kN'luk yükleme yapılmıştır.



Şekil 3.16. Yatay tabakalı arazi yapısının cam düzenek içinde modellenmesi.



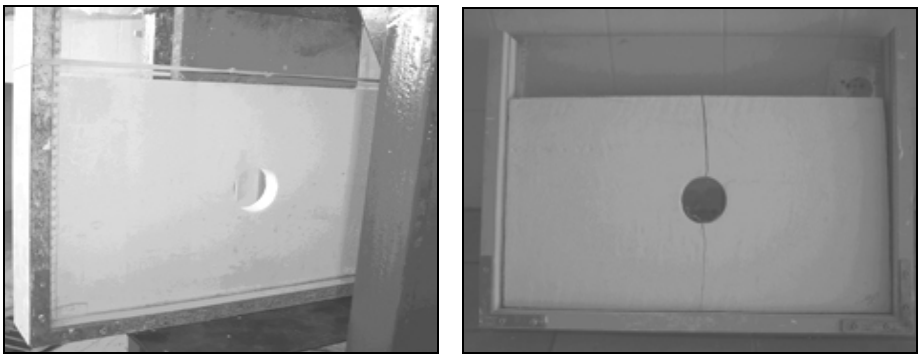
Şekil 3.17 Yatay tabakalı ardalanmalı arazi modeli; a) Kırılmaların oluşmaya başladığı ilk anlar, b) Yenilme sonunda oluşan görüntü, sıkışan kum katmanlar ve üzerinde bulunan kırılmış gevrek alçı tabakalar.

Bu deney sonucunda elde edilen yenilmiş model görüntüleri Şekil 3.17'de gösterilene benzer şekildedir. Bu modellerde yenilme, uygulanan yükün yol açtığı deformasyonun odaklandığı noktalardan başlamaktadır. İlgili deney modelinde kumlu tabakaların sıkışması düşey deformasyonu oluşturmuştur. Bu deformasyonun deney modeli boyunca farklı derecelerde olması üst katmanları oluşturan alçı tabakalarının kırılmasına neden olmuştur. Bu grup testler sedimenter ortamdaki tabaka dayanım farklılıklarının deformasyona etkisini daha iyi gözlemlemek amacıyla yapılmıştır. Kömür havzalarındaki benzer kiltaşı, marn, kömür,

konglomera, şeyl, kireçtaşı ardalanmalarında jeolojik zaman içinde tabakaların sıkışması sırasında, nispeten yumuşak tabakaların pekişirken alt ve üstte bulunan gevrek tabakaların nasıl kırılarak yer değiştirdiği bu modellerden daha iyi anlaşılmıştır. Arazi şartlarında benzer durumların elektriksel rezistivite ölçümleri ve test sondajlarıyla tespit edilmesi durumunda üstte bulunan gevrek tabakaların süreksizlik içeriğinin fazla olacağı ve bu süreksizliklerin civarda bulunabilecek mühendislik yapılarını etkileyebileceği unutulmamalıdır. Alçı numuneler üzerinde elektriksel rezistivite çalışmaları numunelerin yükleme sonrası dağılması sebebiyle yapılamamıştır. Her numune için okuma alınamaması yüzünden kıyaslama imkanı olmayacağı sebebiyle bu tez kapsamında alçı numunelere ait elektriksel rezistivite değerleri verilmemiştir.

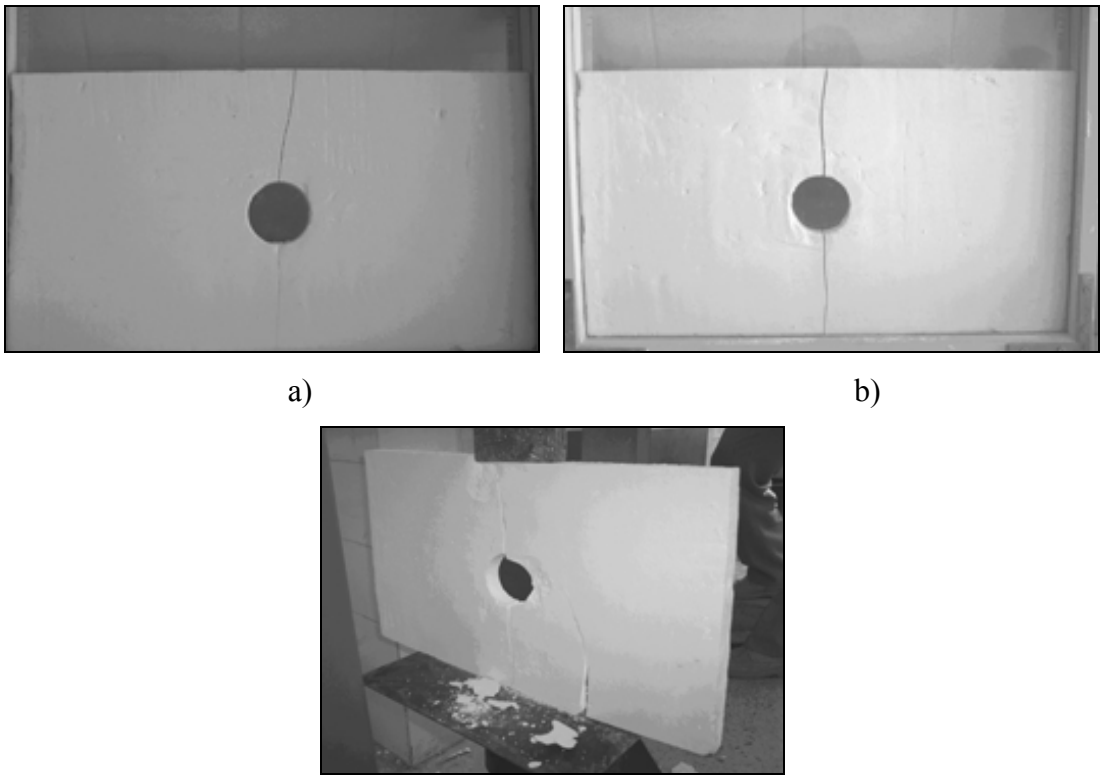
b) **Model test grubu-2**

Bu deney düzeneğinde model olarak hazırlanmış olan dairesel kesitli galeri modeli içeren numuneler kullanılmıştır. Bu model numuneler daha önce tarif edildiği şekilde hazırlandıktan sonra cam düzenek içine yerleştirilmiştir. Şekil 3.18a'da görüldüğü gibi daha sonra cam düzenek, özel hazırlanmış hidrolik pres içine yerleştirilmiştir. Cam düzeneğin üst bölümüne cam düzenek boyunca yerleştirilen sert ahşaptan ve demirden yapılan plakalarla hidrolik presten modele uygulanan yükün model üzerine homojen dağılmasını sağlamıştır. Elle kumanda edilen hidrolik presin yükü yavaş yavaş artırılarak modelin mümkün olduğunca mikro ölçekte çatlatılması sağlanmıştır. Alçının malzeme özelliğinden dolayı çatlakların aniden gelişmesi nedeniyle bazı numuneler parçalanmış ve bu testler iptal edilerek tekrarlanmıştır.



a) b)

Şekil 3.18. Dairesel kesitli galeri içeren arazi modeli, a) Hidrolik presle yük uygulanma anı, b) Uygulanan yükten dolayı model galeri çevresinde oluşan çatlaklar.



a) b)

c)

Şekil 3.19. Dairesel kesitli galeri modeli içeren numunelerin yük altında çatladıktan sonraki görüntüleri.

Şekil 3.19a da görülen model yüklemesinde çatlakların düşey yönde olduğu gözlenmektedir. Burada ilk yenilmenin 16.3 kN'luk yükleme sonucunda oluştuğu gözlenmiştir (Model numune dayanımı 16.3 kN/ (0.021m x 0.46m) = 1687.37 KN/m^2 dir). Numune üzerine toplam 25.0 kN yük verildikten sonra deney sona erdirilmiştir.

Şekil 3.19b de görülen çalışmada ise yük uygulanması sonucu kırılmaların düşey ve yanal yönde olduğu gözlenmiştir. İlk kırılmalar 13.4 kN'luk yükleme sonucunda oluştuğu gözlenmiştir (Model numune dayanımı 1387.16 kN/m^2 dir). 25.0 kN'luk baskı sonucunda ise modele uygulanan plakaların ortasından yenildiği gözlenmiştir.

Şekil 3.19c de ise yükleme sırasında alçı numune farklı mesnet yerlerinden yüklenmiştir. İlk yenilme 12.1 kN'luk, yükleme sonrası oluşmuştur (Model numune dayanımı 1252.59 kN/m^2 dir). 24.0 kN'da ise yapının parçalanmaya başladığı gözlenmiştir. 35.0 kN'luk yüklemeye ulaşıldığında ise deney numunesinin tamamen parçalandığı gözlenmiştir.

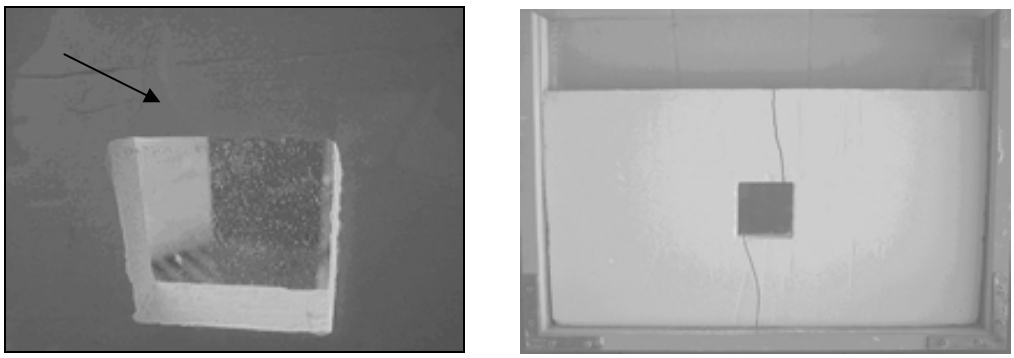
c) **Model test grubu-3**

Bu model test grubunda, alçıdan hazırlanmış kare kesitli galeri modeli içeren plakalar test edilmiştir (Şekil 3.20). Bu deney sonrası elde edilen çatlaklı model görünümleri incelendiğinde, madenlerde kare kesitli galeriler çevresinde oluşan bozuşmalar ve çatlaklar daha iyi anlaşılacaktır. Aşağıda verilen görüntüler (Şekil 3.20-3.23) incelendiği zaman, yeraltında kare kesitli bir maden kazısı yapılmasını izleyen zaman diliminde, bu boşluğun üzerine yük gelmeye başladığında kırılmaların köşelerden ve galeri boşluğunun orta noktalarından başlayacağı açıkça görülmektedir (Şekil 3.21 ve 3.22).

Şekil 3.22a'da görüldüğü gibi yükleme sonrası çatlakların, düşey ve yanal yönde olduğu izlenebilmektedir. İlk kırılmalar 11.2 kN'luk yük altında oluştuğu gözlenmiştir. Uygulanan yük 22.5 kN'a ulaştığında, plakalarda oluşan çatlakların temas noktalarına doğru ilerlediği gözlenmiştir.

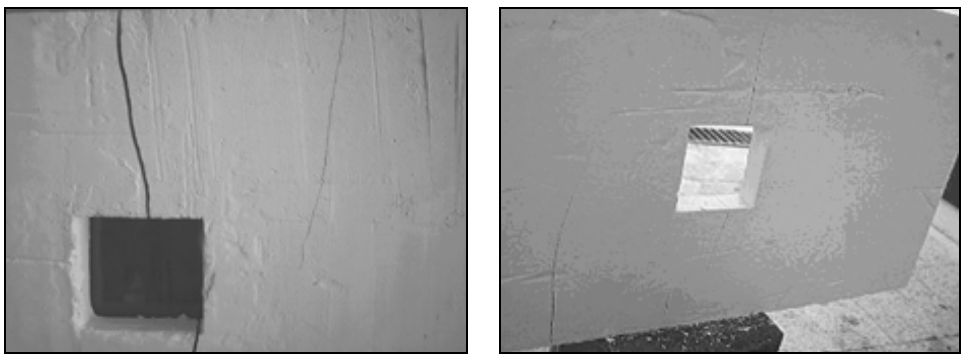


Şekil 3.20. Kare galeri kesitli arazi modellemesi. Hidrolik presin uygulandığı an.



a) b)

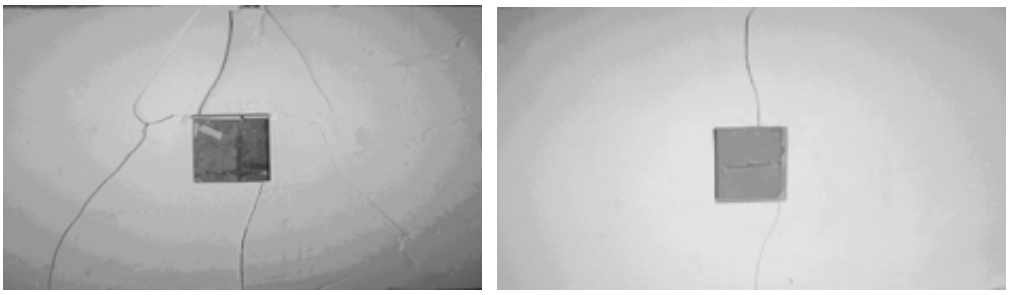
Şekil 3.21. Kare kesitli galeri modeli içeren arazi modelleri. a) Kırılmaların oluşmaya başladığı ilk anlar, b) Galeri çevresinde oluşan kırılmalar.



a) b)

Şekil 3.22. Kare galeri kesitli numuneler üzerinde yapılan model deneylerden örnekler.

Şekil 3.22b'de alçı model üzerine uygulanan yük sonucunda ilk kırılmaların 13.4 kN da başladığı gözlenmiştir. Modele uygulanan yük 15.1 kN civarındayken alçı modelde küçük çıtırtılar oluşmuş, 22.5 kN da galeri üzerinde ve altında dilim dilim çatlamalar gözlemiştir. Yük 25.0 kN'a ulaştığında model tamamen parçalanmıştır.



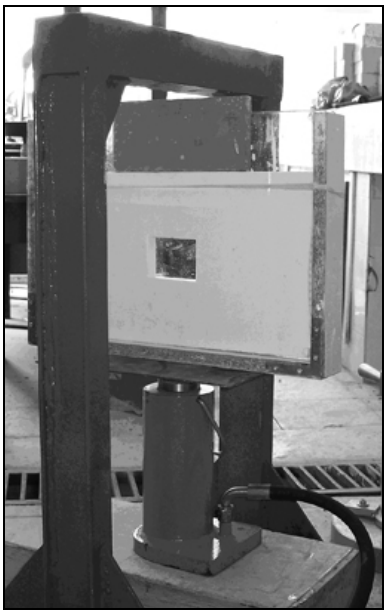
a) b)

Şekil 3.23. Kare kesitli galeri modeli içeren numuneler üzerinde yapılan deneyler.

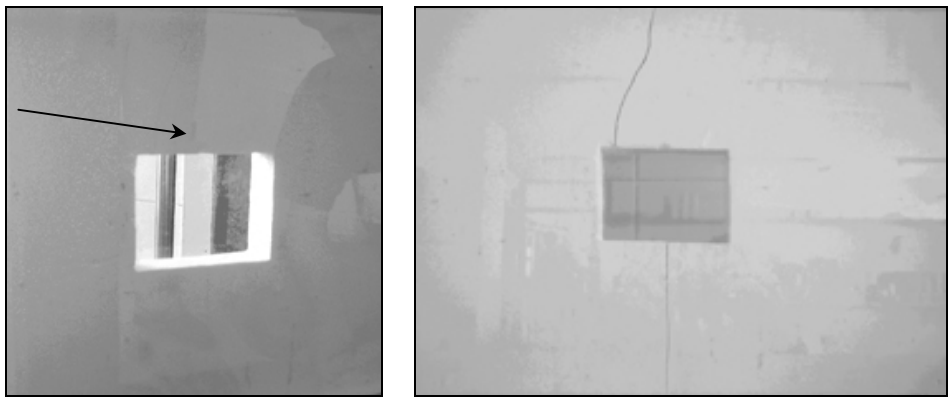
Şekil 3.23a kare kesitli alçı modele 11.0 kN'luk baskı uygulandığında modelin tamamen kırıldığı gözlemlenmiştir. Şekil 3.23b'de görülen çatlaklar model üzerine uygulanan 20.0 kN'luk yükleme sonucunda elde edilmiştir.

d) **Model test grubu-4**

Bu deney düzeneğinde model olarak hazırlanmış olan dikdörtgen galeri kesitli numune kullanılmıştır (Şekil 3.24). Aşağıda verilen Şekil 3.25'de görüldüğü gibi; hazırlanan modellerin yüklenmesinden sonra, dikdörtgen kesitli galerinin sol üst tarafında ve galerinin alt bölgesinde yaklaşık olarak orta kısımdan yenilmeler ve çatlakların oluştuğu gözlemlenmiştir.



Şekil 3.24. Dikdörtgen kesitli galeri modelinin hidrolik preste yüklenmesi.



a) b)

Şekil 3.25. Dikdörtgen kesitli alçı galeri modeli, a) Kırılmaların oluşmaya başladığı ilk anlar, b) Galeri çevresinde oluşan kırılmalar.



a) b)



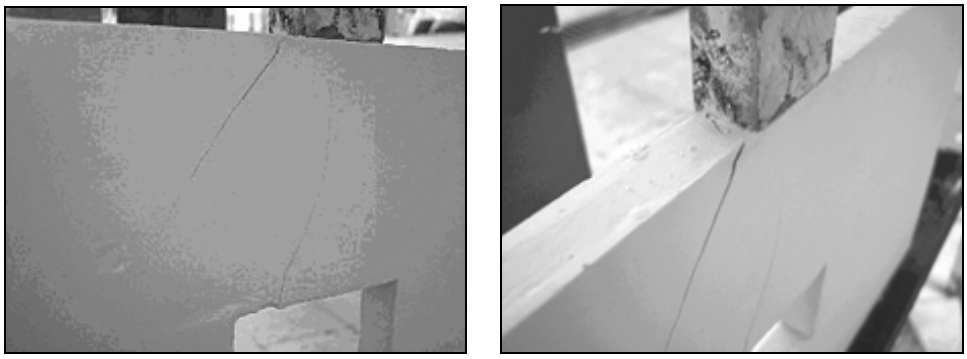
c)

Şekil 3.26. Dikdörtgen kesitli galeri içeren alçı model numuneler.

Şekil 3.26a numunesi üzerine yapılan yükleme sonrası kırılmaların düşey ve yanal yönde olduğu gözlenmektedir. Burada ilk kırılmalar 11.5 kN'luk yükleme sonucunda oluşmuştur. 18.1 kN'luk yükleme sonucunda ise numunenin yan kısımlarında küçük atmalar olduğu gözlenmiştir. Bu deneyde 20.0 kN'luk yükten sonra numunenin tamamen parçalandığı gözlenmiştir.

Şekil 3.26b numunesi üzerine uygulanan yükleme sonucunda ilk kırılmalar 5.9 kN'da başladığı gözlenmiştir. Daha sonra uygulanan yükün 6.5 kN'a ulaştığında model galeri üzerinde üçgen bir şeklin meydana geldiği ve yapının tamamen kırıldığı gözlenmiştir.

Şekil 3.26c model numunesi üzerinde yapılan deney sonucunda 14.0 kN'luk baskı sonucunda tamamen kırıldığı gözlenmiştir.

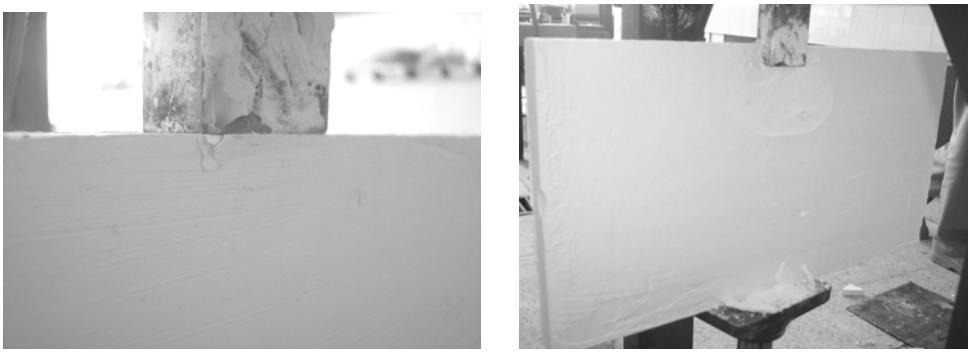


Şekil 3. 27 Dikdörtgen galeri kesitli numuneler

Şekil 3.27'de görülen numuneler üzerine yapılan yükleme sonucunda 10.1 kN'luk baskı sonucunda ilk çatlama meydana geldiği, 12.6 kN'da ise galeri üzerinde ilk kırılmalar gözlenmiştir.

e) **Model test grubu-5**

Bu deney düzeneğinde alçı model olarak hazırlanmış olan ve içerisinde herhangi bir galeri açılmamış numuneler kullanılmıştır (Şekil 3.28). Şekil 3.29'da çatlamaların oluşmaya başladığı ilk andan itibaren yapılan yüklemeler çatlakların ilerlemesine sebep olmuş ve yüklemenin devamında çatlaklar birleşerek numuneyi tamamen kaplamaya başlamıştır. Numuneye 10.1 kN'luk yük uyguladığında ilk çatlama sonucu yüzeyde deformasyon oluşmuştur. Yükleme 11.4 kN'a ulaştığında deformasyon artarak yükleme yapılan plakanın model numune içine doğru gömüldüğü gözlemlenmiştir.



Şekil 3.28. Boşluksuz alçı model numuneler.



Şekil 3.29. Boşluksuz alçı numunelerin yük altında çatlatılma sonrası durumları.

Tablo 3.4 Laboratuarda yapılan deneyler sonrası elde edilen sonuçlar.

Deney No	**Kesit içine Açılan Boşluk Şekli**	**Uygulanış Şekli**	**Uygulanan Kuvvet (kN) İlk Kırılma Anı**
1	Tabaka	Tahta plaka	--
2	Dairesel	Tahta plaka	--
	Dairesel	Tahta plaka (ince)	16.3
	Dairesel	Tahta plaka	13.4
	Dairesel	Demir plaka (büyük)	12.1
3	Kare	Tahta plaka	--
	Kare	Tahta plaka	11.2
	Kare	Demir plaka (büyük)	13.4
	Kare	Demir plaka	11.0
	Kare	Demir plaka	20.0
4	Dikdörtgen	Tahta plaka	---
	Dikdörtgen	Tahta plaka	11.5
	Dikdörtgen	Tahta plaka (ince)	5.9
	Dikdörtgen	Demir plaka	14.0
	Dikdörtgen	Demir plaka	10.1
5	Tam	Demir plaka	10.1
	Tam	Demir plaka	16.0
	Tam	Demir plaka	17.5

İçinde galeri olmadan hazırlanan alçı model numunelerin birisi, Şekil 3.29a'da gösterildiği gibi 16.0 kN'luk yük altında ilk çatlama belirtilerini göstermiştir. Şekil 3.29b'de ise 17.5 kN'luk yük altında ilk çatlamalarını gösteren alçı model numune görülmektedir.

3.3.2.4 Beton numune üzerinde deneylerin yapılışı

Alçı model numuneler yanında farklı malzemeden homojen fiziksel modeller yapılarak yeraltı galerileri etrafındaki çatlama durumları farklı homojen bir malzemeyle tekrar denenmiştir. Selçuk Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölüm laboratuarlarında hazırlanan kare, üçgen, daire, dikdörtgen ve atnalı şeklindeki galeri boşluklarına sahip beton numuneler aynı alçı numuneler gibi yükleme öncesi ve sonrası elektriksel rezistivite ölçümlerinden geçirilmiştir. Açılan temsili boşlukların boyutları alçı numunelerle birebir aynı yapılmıştır.Ayrıca homojen bir bölgede çalışma yapılması durumuna karşı, içinde galeri olmayan yekpare beton plaka modeller de hazırlanmıştır. Alçı numunelere alternatif olması amacıyla hazırlanan bu numuneler doğada karşılaşılabilecek homojen bir yapıya sahip sağlam kayaçlar içerisinde açılmış olan boşlukların yük altında yenilmelerinden sonra modellerin içindeki elektriksel rezistivite değişimleri ölçülmüştür.

Yapılan deneylerde yükleme öncesi ve yükleme sonrası elektriksel rezistivite okumaları yapılmıştır. Buradaki amaç mevcut tünel, galeri, boşluk gibi yapıların zaman içerisinde çevresinde oluşan bozulmaların yeryüzünden tespitinin hasarsız ölçüm yöntemi olan elektriksel rezistivite yöntemi ile tespitinin mümkün olduğunun gösterilmesi ve rezistivite değerlerinin elde edilmesidir. Beton numuneler alçı numuneler gibi aynı boyutta hazırlanmışlardır. Beton malzemenin yapısı gereği 7 günlük firizlenme sonunda testler uygulanmaya başlanmıştır, beton numunelerin genel görüntüsü Şekil 3.30'da gösterildiği şekildedir. Elektriksel rezistivite ölçüm sonuçlarından elde edilen grafik örnekleri Şekil 3.31-3.41 arasında gösterilmektedir.

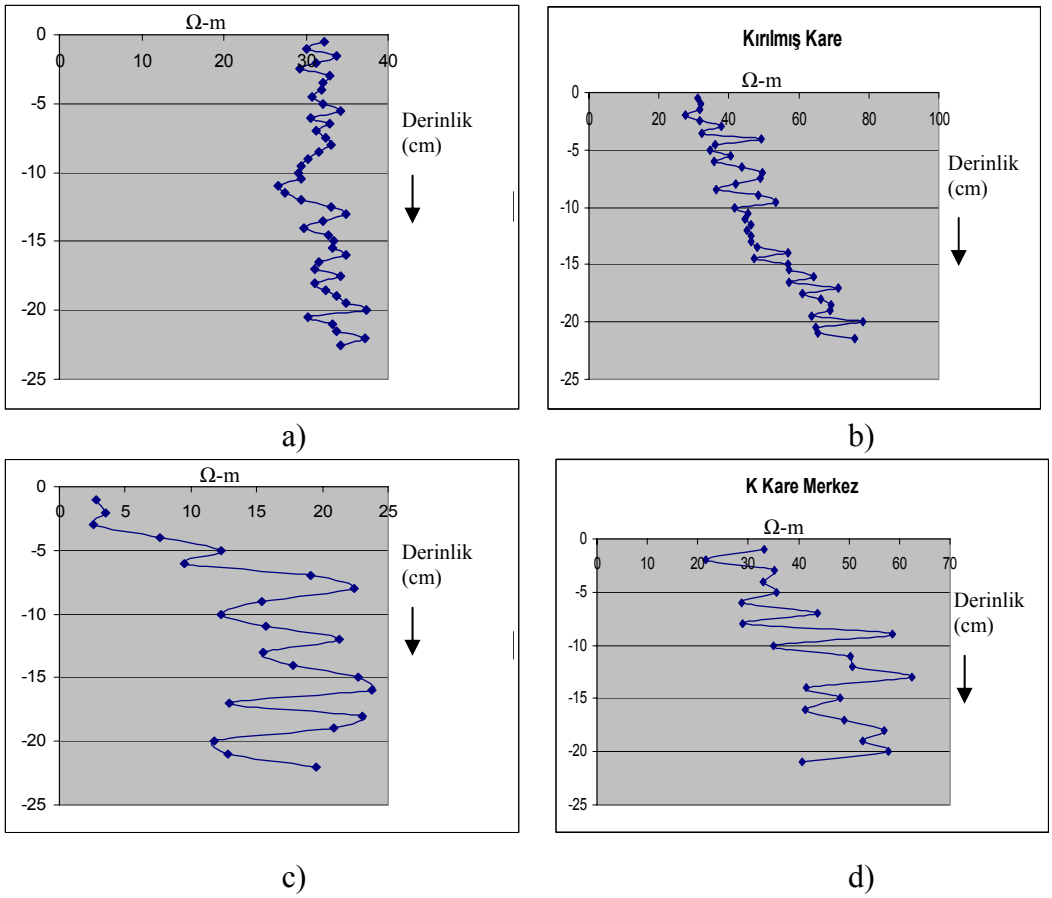
Beton numuneler üzerine yapılan elektriksel rezistivite çalışmaları sonrası elde edilen grafikler aşağıda her bir numune görünümünden sonra ayrı ayrı verilmiştir. İçerisinde kare şeklinde boşluk oluşturulmuş olan deneylerde yük altında yenilme sonucu oluşan çatlak sistemi ile okumalarda ilk duruma göre belirgin değişimler gözlemlenmiştir. Yükleme öncesi derinlemesine inildikçe büyük direnç değişimleri gözlenmezken yükleme sonrası alt bölgelerdeki direnç değişimi 60-80 Ω-m gibi değerlere yükselmiştir. Bu durum diğer numuneler üzerindeki çalışma sonrası elde edilen grafikler incelendiğinde de açıkça görülmektedir. Bunun sebebi ilk başlangıçta içerisindeki mevcut açıklık harici homojen olan deney numunesinin, yenilme sonrası

içerisinde oluşan pekişmeler ve çatlaklar sebebiyle direnç değerlerinde artış gözlemlenmiştir(Şekil 3.30-3.41).



a) b)

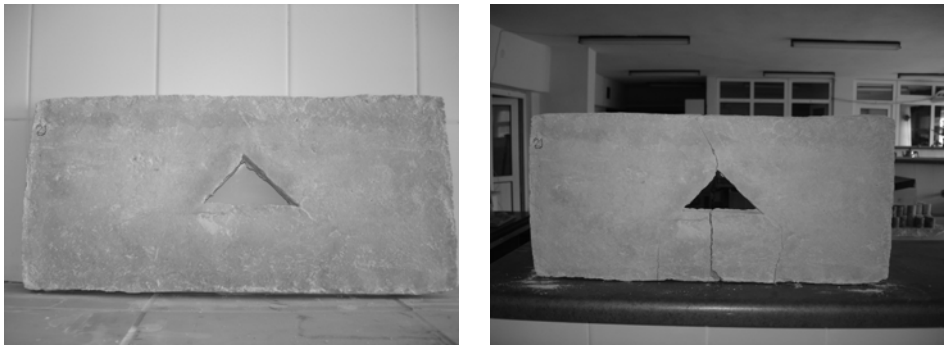
Şekil 3.30 İçerisinde kare boşluk oluşturulmuş beton numunenin; kırılma öncesi (a) ve kırılma sonrası (b) görünümü.



a) b)

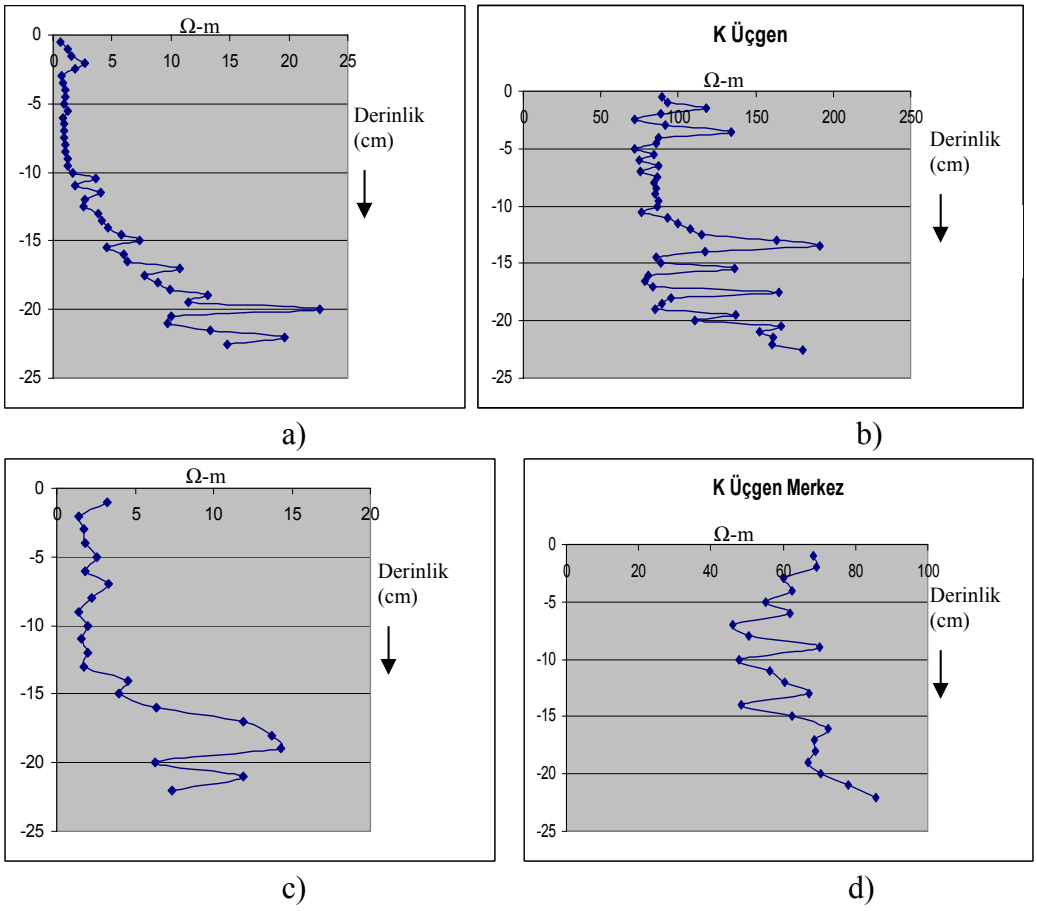
c) d)

Şekil 3.31. İçerisinde kare boşluk oluşturulmuş beton numunenin kırılma öncesi ve sonrası rezistivite değişim grafikleri (c-d merkez okumaları).

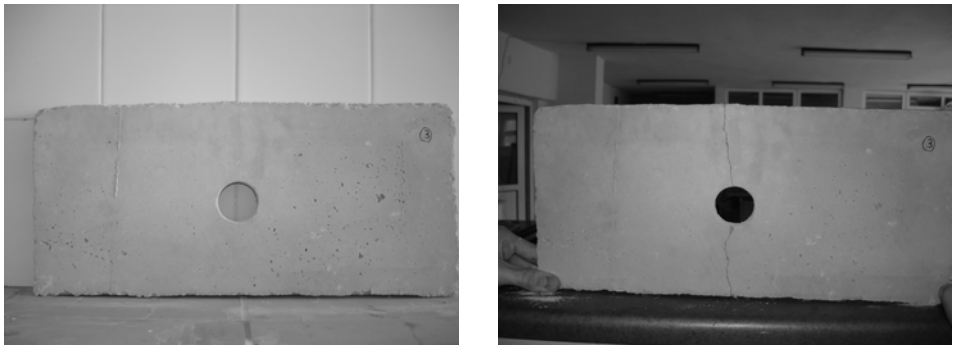


a) b)

Şekil 3.32. İçerisinde üçgen boşluk oluşturulmuş beton numunenin; kırılma öncesi (a) ve kırılma sonrası (b) görünümü.

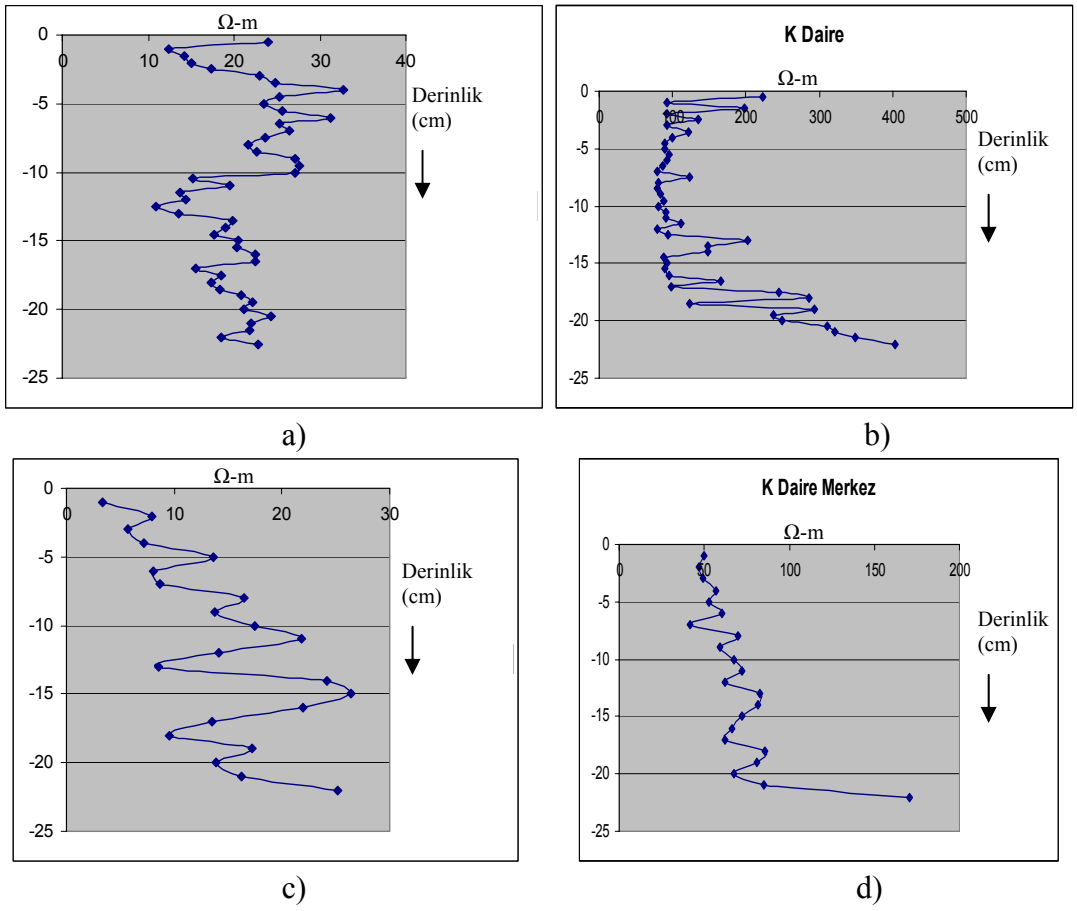


Şekil 3.33. İçerisinde üçgen boşluk oluşturulmuş beton numunenin kırılma öncesi ve sonrası rezistivite değişim grafikleri (c-d merkez okumaları).



a) b)

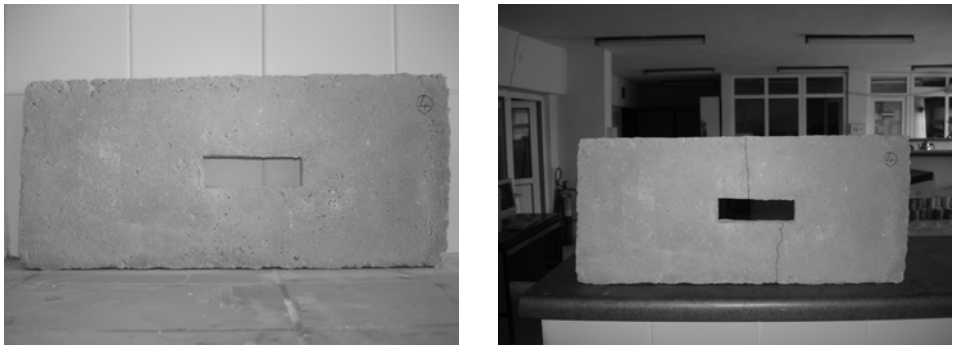
Şekil 3.34. İçerisinde daire boşluk oluşturulmuş beton numunenin; kırılma öncesi (a) ve kırılma sonrası (b) görünümü.



a) b)

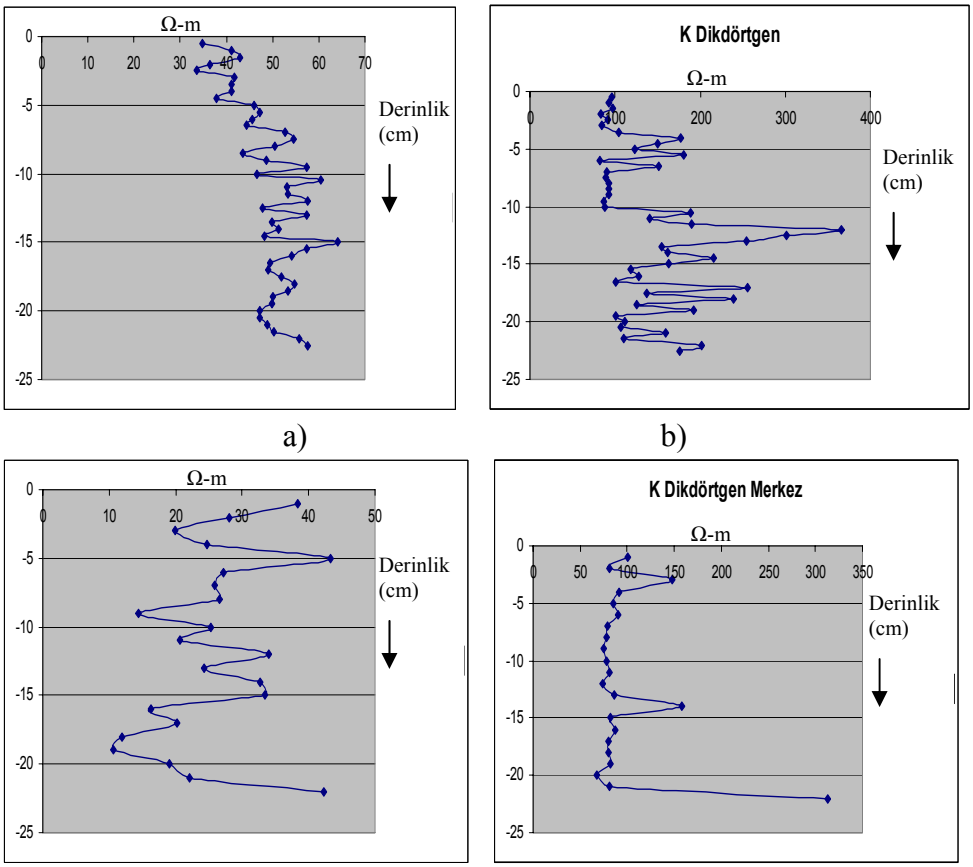
c) d)

Şekil 3.35. İçerisinde daire boşluk oluşturulmuş beton numunenin kırılma öncesi ve sonrası rezistivite değişim grafikleri (c-d merkez okumaları).



a) b)

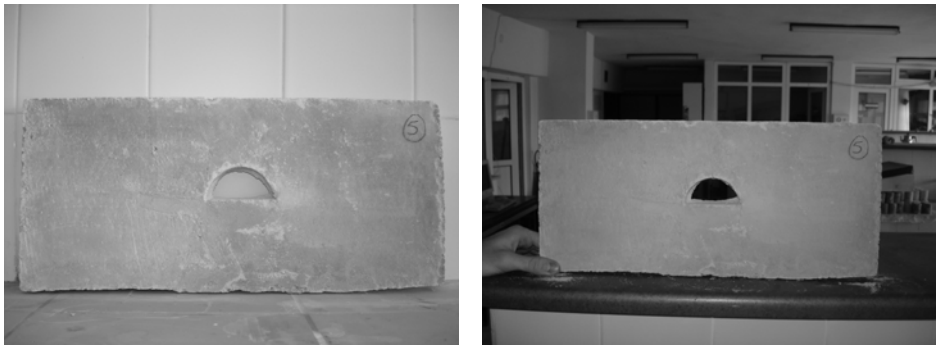
Şekil 3.36. İçerisinde dikdörtgen boşluk oluşturulmuş beton numunenin; kırılma öncesi (a) ve kırılma sonrası (b) görünümü.



a) b)

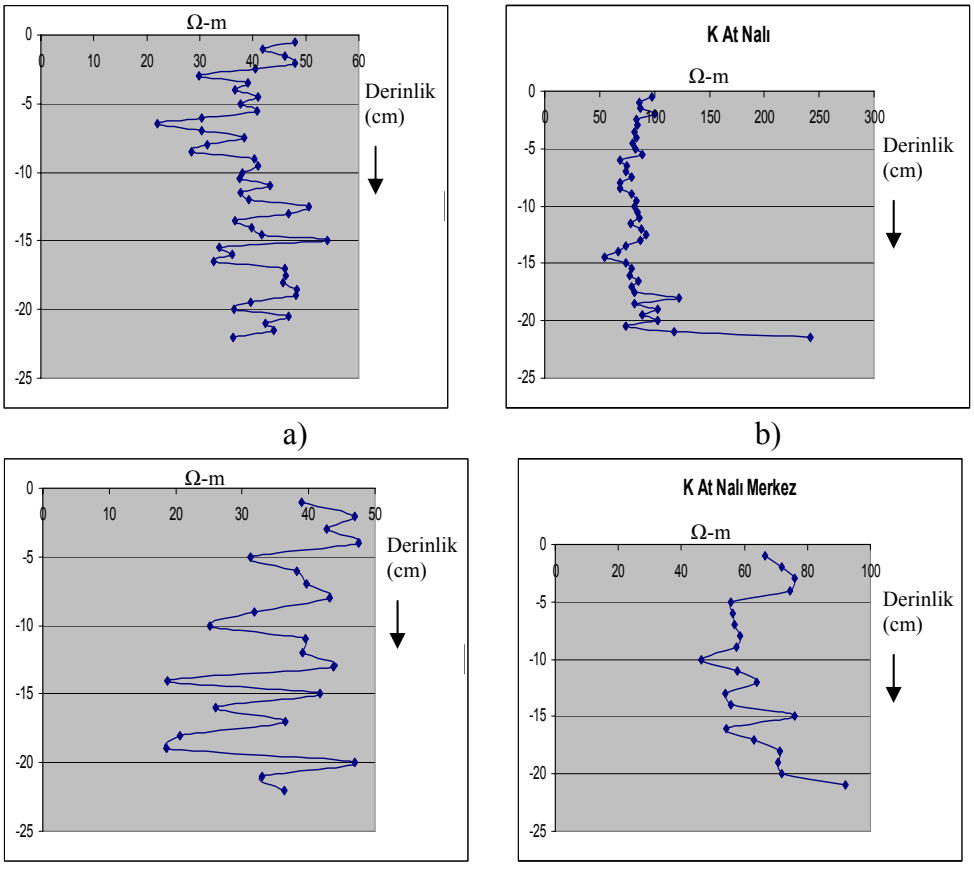
c) d)

Şekil 3.37. İçerisinde dikdörtgen boşluk oluşturulmuş beton numunenin kırılma öncesi ve sonrası rezistivite değişim grafikleri (c-d merkez okumaları).



a) b)

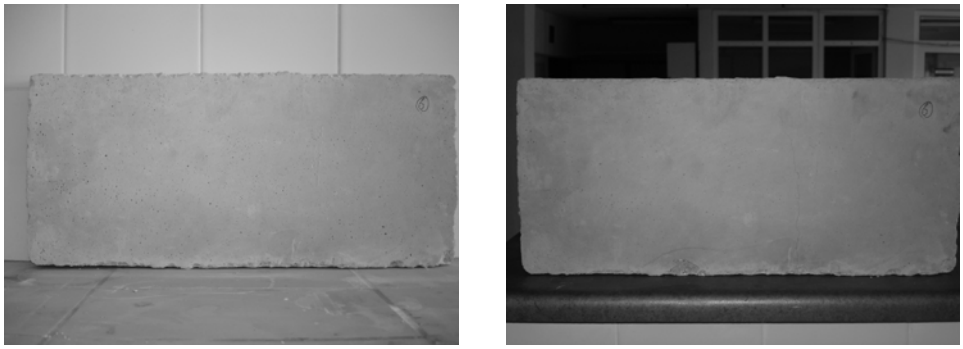
Şekil 3.38. İçerisinde atnalı boşluk oluşturulmuş beton numunenin; kırılma öncesi (a) ve kırılma sonrası (b) görünümü.



a) b)

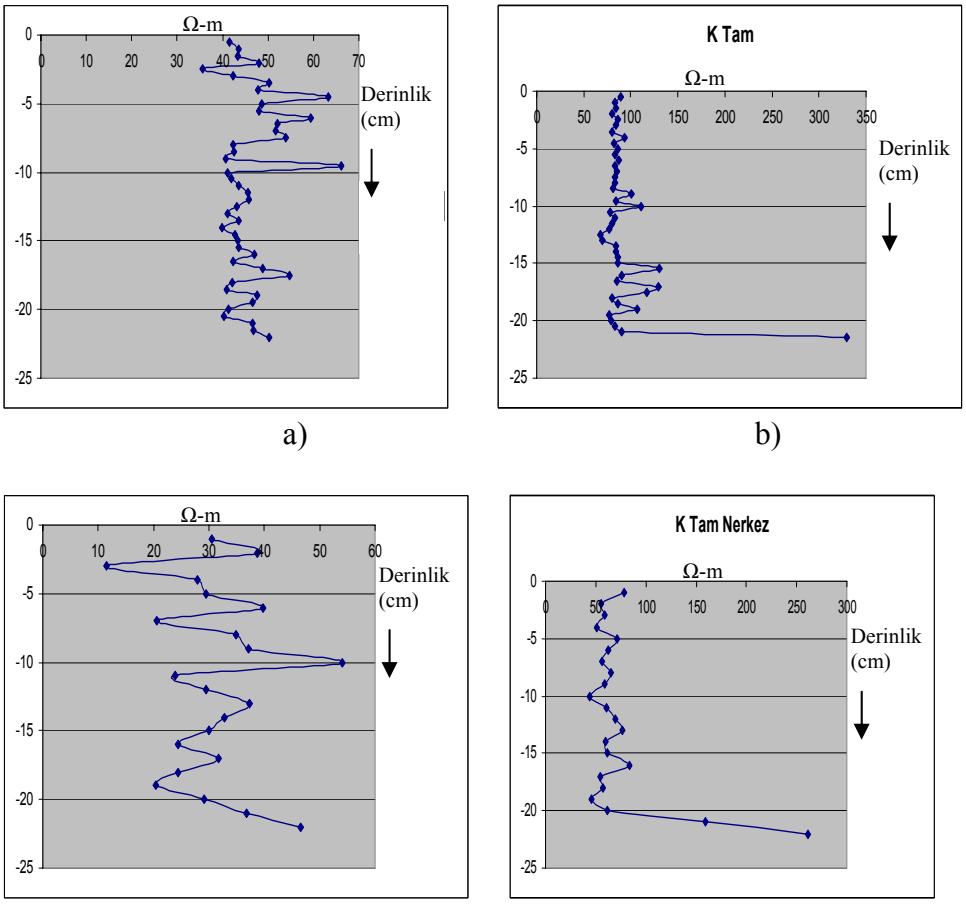
c) d)

Şekil 3.39. İçerisinde atnalı boşluk oluşturulmuş beton numunenin kırılma öncesi ve sonrası rezistivite değişim grafikleri (c-d merkez okumaları).



a) b)

Şekil 3.40. İçerisinde boşluk oluşturulmamış beton numunenin; kırılma öncesi (a) ve kırılma sonrası (b) görünümü.



a) b)

c) d)

Şekil 3.41. İçerisinde boşluk oluşturulmamış beton numunenin kırılma öncesi ve sonrası rezistivite değişim grafikleri (c-d merkez okumaları).

BÖLÜM 4

ÖNARAZİ ÇALIŞMALARI

4.1. Genel

Doktora tez çalışması kapsamında laboratuar çalışmaları sonucunda, elektriksel rezistivite farklılıklarının madencilik sektöründe laboratuar amaçlı testlerde kullanılabileceği ortaya konulmuştur. Bu değerlendirmelerden sonra elektriksel rezistivite ölçümlerinin arazi uygulamalarına geçilmiştir. Bu bölümde hasarsız ölçüm yöntemi olarak da bilinen elektriksel yerdirenci ölçüm ekipmanları kullanılmıştır.

Elektriksel yerdirenci ölçümlerinin yüzey altındaki katmanları göstermesini kapsayan araştırmalar incelendikten sonra, ilgili ölçüm sisteminin maden mühendisliğini içeren işlerde kullanılabilirliği ve hassasiyeti laboratuar model çalışmalarından sonra merak edilen konular arasında olmuştur. Önceki bölümde aktarılan fiziksel model çalışmalarıyla zemin içinde elektriksel rezistivite değişimi gözlenmiş, bu değişime etki eden su ve diğer etmenlerin direnç grafiklerini nasıl etkiledikleri gözlenmiştir. Plaka model çalışmalarında ise, yeraltında açılmış olan farklı galeri şekilleri çevresindeki çatlamaların, çevresel kayacın ezilme bölgelerinin gözlenmesi sağlanmıştır. Böylece yeraltı maden galerisi veya ulaşım tünelleri civarında beklenen bozulmaların nerelerden başlayabileceği teorik olarak bilinmesine karşın, pratik olarak homojen ortamlar için birkez de pratik olarak gözlemsel olarak ortaya konulmuştur. Beton plaka modellerde yapılan elektriksel rezistivite ölçümleri, galeriler etrafındaki mikro veya makro ölçekteki çatlakların, fissürleri çevre kayacın elektriksel direncini değiştirebileceğini göstermiştir. İlgili laboratuar çalışmalarının bir başka sonucu da, yeraltında bulunan suyun çatlamalarla bozuşmuş zonlara sızması sonucu bu bölgelerin elektriksel direncini belirli ölçüde değiştirebileceğinin gözlenmesidir.

Laboratuarda gözlemlenen bu deneyimlere ilave olarak, seçilen yerdirenci ölçme ekipmanıyla düşey kesiti konusunda bilgiye sahip olunan arazi noktalarında önarazi ölçümleri yapılmıştır. Bu ölçümlerin değerlendirilmesi sonucunda elektriksel rezistivite ölçüm sisteminin yeraltını mühendislerin özellikle zemin yapılarını

araştıranlar ve maden cevheri potansiyelini ortaya çıkarmaya çalışan mühendislere ne kadar faydalı olabileceği konusunda kararlar verilecektir. Daha önce yapılan farklı alanlardaki elektriksel rezistivite ölçümlerinden edinilen izlenim, elektriksel rezistivite ölçmelerinin maden mühendislerinin kendi maden planlamaları için de kullanabilecekleri doğrultusundadır. Bunun pratik olarak gözlenmesinin önemi büyüktür. Bu nedenle önarazi işlemlerinin gerçekleştirildiği lokasyonlar açık ocak ve yeraltı maden işletmelerinde karşılaşılabilecek problemlere göre seçilmiştir. Bu araştırma tezinin aşağıda verilen bölümünde elektriksel yerdirenci araştırma çalışmalarından elde edinilen deneyimler ve ölçüm sonuçları aktarılacaktır.

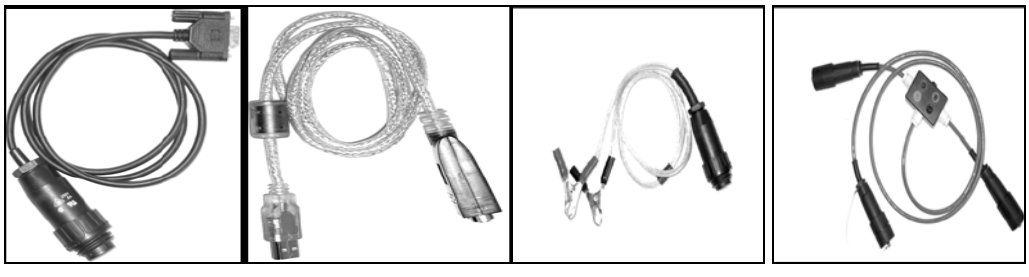
4.2. Materyal Metot

Arazi çalışmalarının gerçekleştirilmesi birkaç aşamayı kapsamaktadır. Öncelikli olarak ölçüm yapılacak lokasyonun görülmesi ve ölçüm yerinde elektriksel ölçüm yapılacağı için herhangi bir zarara yol açmamak için çevrenin güvenlik çemberine alınması gerekmektedir. Güvenlik ve ölçüm için gerekli açıklığın yeterli bulunması durumunda yerdirencini ölçmekte kullanılan ekipmanın ölçüm lokasyonuna ulaştırılması gerekmektedir. Eğer ölçüm yeri ulaşım araçlarının gidebileceği en son noktadan daha uzakta ise, ölçüm ekipmanları ilgili ölçme yerine herhangi bir zarar görmeden ulaştırılmalıdır. Daha sonra ölçüm ekipmanı ölçüm işlemi için ilgili lokasyona serilmektedir.

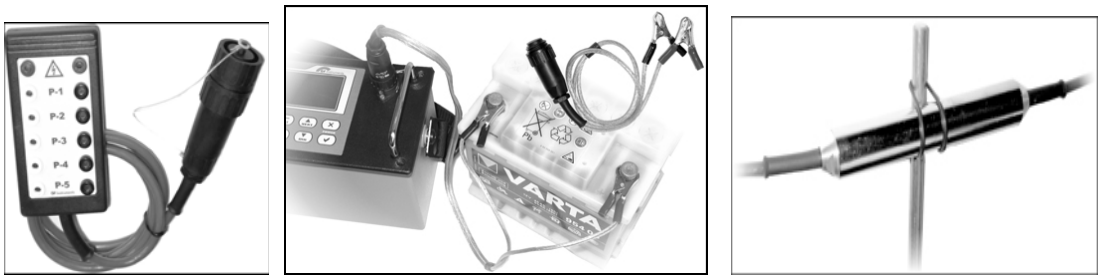
Arazi ölçümlerinde ARES elektriksel yerdirenci ölçme ekipmanı kullanılmıştır. Bu cihaz Selçuk Üniversitesi, Bilimsel Araştırmalar Koordinatörlüğü'nün (BAP) bu tez çalışması için bölümümüze kazandırdığı bir ekipmandır. Birkaç farklı parçadan oluşmaktadır. Ölçme sisteminin kapasitesinin eklenen ek parçalarla artırılabilmesi sayesinde, başlangıçta ölçme kapasite derinliği 30 metre olan ölçme sistemi tezin asıl arazi çalışmaları başladığında 250 metreye ulaştırılmıştır. Bir başka deyişle ölçme cihazı farklı parçaların birbirine eklenmesi ile okuma alabilen bir yerdirenci ölçüm cihazıdır. Bütün ölçüm sistemi ele alındığında, yerdirenci ölçümü için sağlanan ekipman parçaları (Şekil 4.1) sıralanacak olursa; yerdirencini ölçen ARES anacihazı, okuma yapılacak alanın uzunluğuna bağlı olarak her biri 8 elektrota sahip çoklu-elektrot kablosu, ana cihazın yapabileceği farklı elektrot dizilimleri için gerekli T-

bölme parçası, cihaza düşey elektrik sondaj (DES) (vertical electric sounding, VES) kapasitesi sağlama amaçlı VES adaptörü, ölçümlerde kullanılan iki farklı bobin olarak hazırlanan ve uzunluğu birkaç km'yi bulabilen yüksek akım geçirme kapasiteli elektrik kablosu, cihazın güç kaynağı, elektrotları zemine bağlamak için gerekli özel alaşımlı çelik elektrotlar, cihazın sağladığı ölçümleri bilgisayara aktaran özel yazılım ve ölçümlerin değerlendirilmesini sağlayan yazılım.

Ölçme işlemleri sırasında, merak edilen lokasyonda elektriksel kesit alınmak istenen yüzey boyunca çoklu elektrotlar birbirine eklenerek uzatılmaktadır. Seçilen bu çizgisel uzunluğun doğru yerde seçilmesinin önemi büyüktür. Elektriksel kesit grafikleri bu çizgisel hat boyunca elde edilen elektriksel rezistivite analizi sonucu çizileceği için bu hattın istenilen başka bir deyişle merak edilen hat boyunca serilmesi gerekmektedir. Araştırma konusu yeraltında herhangi bir mühendislik yapısını lokalize etmekse, bu yapıya ait bilgilerin daha önceden elde edilmesi gerekecektir. Eğer yerdirenci ölçümleri yeraltında jeolojik formasyonların ortaya konulması ise, bu durumda ilgilenilen lokasyonun genel jeolojik yapılanması konusunda yerel ve bölgesel bilgilerin önceden toplanmasının önemi büyüktür. Maden mühendisleri için daha önce hiç bilgi bulunmayan lokasyonlarda ölçümler yapılıyorsa bu durumda elektriksel rezistivite sonuçlarının yorumlanması için, lokasyon konusunda içinde maden, jeofizik ve jeoloji mühendislerinin grup olarak ortak çalışmalar yapması gerekecektir.



a) b) c) d)



e) f) g)

Şekil 4.1 ARES elektriksel yerdirenci ölçüm cihazı ve parçaları; a) bilgisayar bağlantısı-1, b) bilgisayar bağlantısı-2, c) Güç kaynağı bağlantısı, d) T-bölme parçası, e) VES-adaptör parçası, f) ARES cihazı ve güç kaynağı bağlantısı, e) çoklu elektrot kablosunda yer alan bir direnç algılayıcı ve çelik elektrot bağlantısı.

4.3. Elektriksel Yerdirenci Uygulaması Yapılan Önarazi Lokasyonları

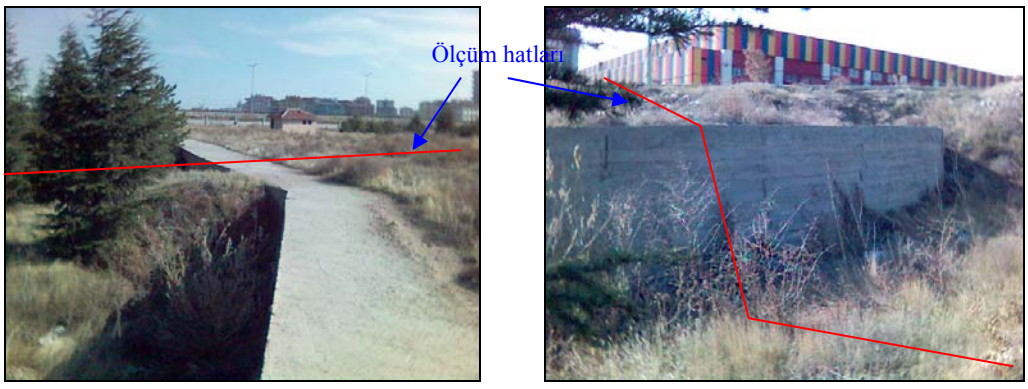
Bu tez kapsamında gerçekleştirilen ön arazi çalışmaları için 15 farklı lokasyonda birbirinden farklı amaçlar için yerdirenci ölçümleri yapılmıştır. Ölçüm lokasyonlarının farklı konuları içermesi, yerdirenci ölçme sisteminin kontrolü için önemli olduğu için lokasyonlar; açık maden işletmelerinden, inşaat temellerinden, yeraltı boşluklarından, karayolu temel yapısından, gölet tabanı sedimanlarından seçilmiştir. Bu amaçla seçilen elektriksel yerdirenci ölçüm lokasyonları aşağıda liste halinde verilmiştir. Mevcut okuma bölgelerinin bazılarına bu tez kapsamında yer verilmemiştir. Bazı bölgelerde ilerleyen bölümlerde anlatılacağı gibi asıl arazi uygulamalarının yapıldığı bölgeler olarak bu tez içerisinde yer almıştır.

1. Selçuk Üniversitesi, Alaeddin Keykubat Kampüs alanı içi, Isı Santrali dehlizleri,
2. Selçuk Üniversitesi, Alaeddin Keykubat Kampüs alanı içi, kanalizasyon geçiş yeri tespiti,
3. Selçuk Üniversitesi Alaeddin Keykubat Kampüs alanı, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Maden Mühendisliği Laboratuarı önü, zemin yapısı,
4. Selçuk Üniversitesi Alaeddin Keykubat Kampus alanı, terkedilmiş atıksu gölet civarı,
5. Selçuk Üniversitesi, Güzel Sanatlar Fakültesi civarı,
6. Konya Çimento Fabrikası, Kireçtaşı açık maden ocağı basamaklar,
7. Konya-Yükselen kasabası karayolu Fillit taban yapısı,
8. Konya-Binkonutlar semti civarı, inşaat temeli incelemeleri,
9. TKI-Garp Linyitleri İşletmesi, Ilgın Kömür Ocakları,
10. Karaman–Ermenek Bölgesi, Mermer rezerv tespiti,
11. Konya-Yükselen Bölgesi Mermer rezerv tespiti,
12. Karaman Pınarbaşı Köyü su rezerv araştırması,
13. Afyon – Emirdağ bölgesi traverten ocakları,
14. Konya–Ankara arası hızlı tren inşaatı güzergahında bulunan Bozdağ tünelleri,
15. Selçuk Üniversitesi, Hukuk Fakültesi binası civarı.

Arazi çalışmalarının planlamasını yapılırken elektriksel yerdirenci ölçümleri öncelikle yeraltı kayaç yapısı bilinen yerler, şev ve kayaç kesmelerinde gözle görülebilen lokasyonlarda yapılmıştır. Bu ölçümlerden elde edilen ön bilgiler, yerdirenci ölçme sisteminin kapasitesi ve özellikleri belirlenmiştir. Bu ölçüm lokasyonlarında ölçüm cihazının kalibresi yapılarak daha sonra durumu bilinmeyen lokasyonlardaki ölçümlerin yorumlanabilmesine ön bilgiler sağlanmıştır. Yukarıda listesi verilen lokasyonlarda yapılan önarazi çalışmalarından örnek teşkil edecek olanlar, elektriksel yerdirenci ölçümlerinin verdiği bilgileri örneklendirmek amacıyla aşağıda detaylandırılarak aktarılmıştır.

4.3.1. Selçuk Üniversitesi, Alaeddin Keykubat Kampüs alanı kanalizasyon kanalı ölçümleri

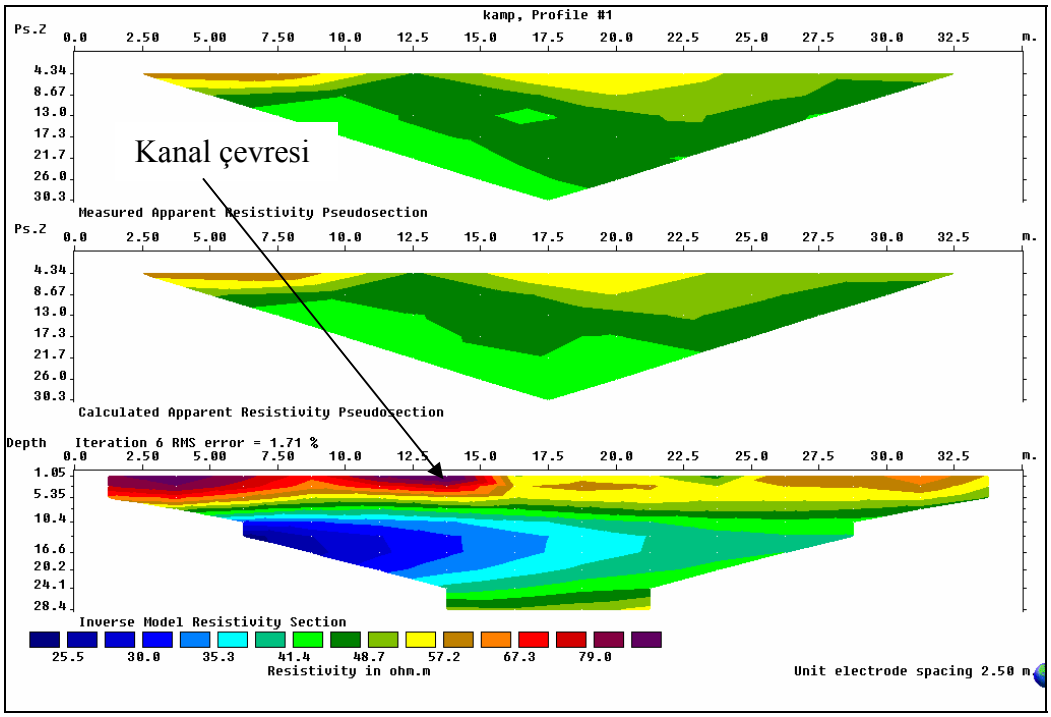
Tez çalışmasının önarazi elektriksel yerdirenci ölçümlerinden birisi Selçuk Üniversitesi, Alaeddin Keykubat Kampüs alanı içerisinde, kampüs ana giriş kapısı civarında, bir kısmı arazi yüzeyinde de görülebilen kanalizasyon hattının zemin içinde gömülü olduğu bölümünün algılanması amacıyla yapılmıştır. Bu lokasyonda (Şekil 4.2) bulunan kanalizasyon hattından, kampüs içinde toplana atık sular 2x2,5 m kesit alanına sahip kapalı beton bir kanal yoluyla Selçuk Üniversitesi kampüs alanını terk etmekte ve Konya kanalizasyon şebekesine bağlanmaktadır. Bu kanalizasyon hattı nispeten düşük kotlu olan ana giriş kapısı civarında yüzeylenmektedir. Hattın kampus içindeki derinliği değişimler göstermekle beraber 2-4 metre civarındadır. Elektriksel yerdirenci ölçümü kullanılarak yeraltında yüzeye çok yakın bulunan bir boşluğun tespiti amaçlı bu ölçüm çalışmalarından elde edilen direnç değişim grafikleri Şekil 4.3 ve 4.4'de verilmektedir. Bu grafiklerin yorumlanması sonucu edinilen yeraltı katmanlarının elektriksel rezistivite dağılımları, ölçüm hattı olarak seçilen lokasyonun zemini konusunda bilgiler aktarmıştır. Bu bilgilerin fazlalığı daha sonra incelenmesi planlanan Konya- Ankara arası hızlı tren hattı üzerinde bulunan Bozdağ tünel ölçümleri konusunda yerdirenci ölçmelerinin kullanılabilirliği konusunda yeterli ön düşüncelerin oluşmasına yardımcı olmuştur.



Şekil 4.2. Selçuk Üniversitesi, Alaeddin Keykubat Kampüsü içinde yeraltında bulunan fakat kampus kapısı civarında yüzeylenen beton kanalizasyon kanalları.

Bu çalışma sırasında elde edilen direnç grafikleri (Şekil 4.3) incelendiğinde, yeraltından geçen beton kanalizasyon hattına dik (90^o) olarak serilen yerdirenci ölçüm hattının altındaki direnç değişimlerinin 30,3 metreye kadar ölçüldüğü

görülecektir. Şekilde verilen grafiklerde x ekseni yere serilen ölçüm hattı boyunca uzunluğu, y eksenine yüzeyden derinliği göstermektedir. Grafikler ölçülen yerdirenci değerlerinin bilgisayar ortamına aktarılmasından sonra, RES2DINV yazılımıyla modellenmesi sonucu elde edilmektedir. Bu yazılım ölçülen yerdirenci değerlerinden elde ettiği ölçülen-değer grafiğini birinci sırada gösterirken daha sonra kullandığı yaklaşımlara göre hesapladığı değerlerden ikinci grafiği en son olarak da model sonucunda elde ettiği grafiği üçüncü sıraya koymaktadır. Hesaplanan ve modellenen grafiklerin yeraltı yapısından farklı olduğu düşünülürse, ölçümlerin ekipmanda opsiyonu verilen diğer elektrot dizilimleriyle tekrarlanması gerekmektedir.



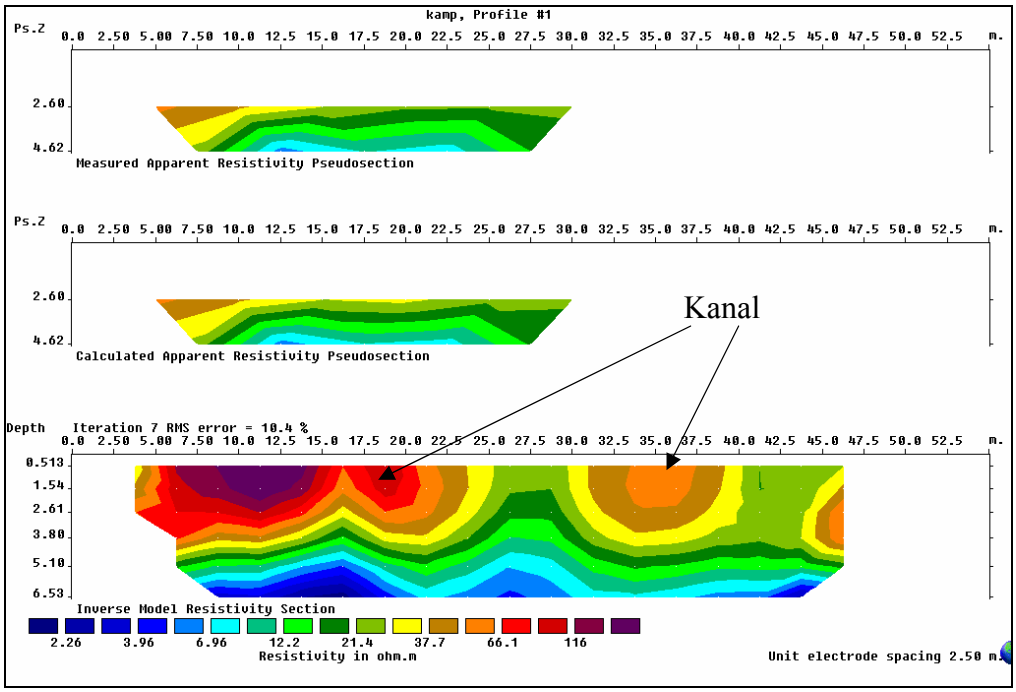
Şekil 4.3. S.Ü. Alaeddin Keykubat kampüsü, ana giriş kapısı yakınındaki yeraltı beton kanalizasyon kanallarının çevresi.

Bu test sırasında elde edilen yerdirenci grafiğinden de görüleceği gibi ölçüm hattının 12 ile 15. metreleri arasında, yüzeyden 5,5 m derinliğe kadar uzanan dirençli bir yapı mevcuttur. Ölçüm hattı altında beton kanalın nereden geçtiği bilindiği için, ilgili şekilde okla gösterilen direnç bölgesinin beton kanal olduğu aşikardır. Bu yerdirenci dağılım grafiğindeki direnç değişimleri grafikte verilen skaladan Ω-.m birimiyle öğrenilebilmektedir. Bu direnç seviyesi ilgili lokasyonun 1 metresinin kaç ohm dirence sahip olduğunu göstermektedir. İlgili yerdirenci dağılım grafiği ölçüm

hattı altında yaklaşık 9m derinliğe kadar direnci yüksek bir katmanın bulunduğunu, bu seviyeden sonra direncin göreceli olarak daha düşük seviyelerde olduğunu göstermektedir.

4.3.2. Selçuk Üniversitesi Alaeddin Keykubat Kampus alanı Mühendislik Mimarlık Fakültesi önü

Bu bölümde yapılan çalışmadaki amaç, yüzeyde hiçbir şekilde görünmeyen fakat geçiş hattı tahmin edilebilen küçük boyutlu kanalizasyon borularının yerinin tespitidir. Bu denemeden elde edilen tecrübeyle, şehir kanal şebekelerinin yerinin tespit çalışmaları örneklenmiştir. Bu örneklemenin bir başka hedefi, daha derin boyutta uygulanması halinde terk edilmiş veya çalışılmakta olan maden ocaklarının galerilerinin istenilen üst seviyelerden tespit edilebilmesini araştırılmasıdır. Bu çalışma sonucunda ulaşılan yerdirenci dağılım grafiği Şekil 4.4'de verilmiştir.

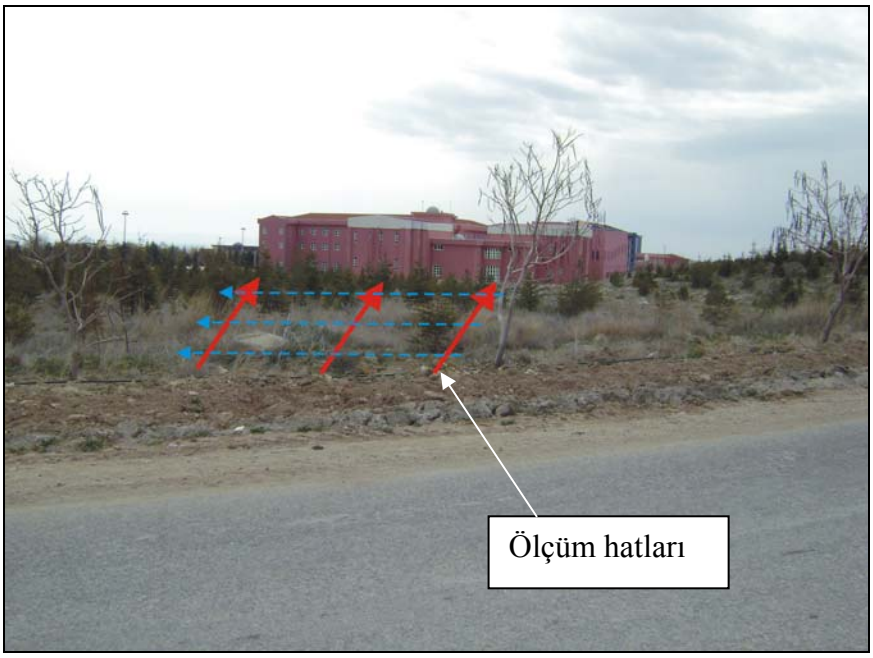


Şekil 4.4. Mühendislik-Mimarlık Fakültesi önündeki kanalizasyon hattının belirlenmesi.

Şekil 4.4 incelenecek olursa kanalizasyon hatlarının geçtiği lokasyonlar anlaşılacaktır. Oklarla gösterilen yerler mevcut kanalizasyon hatlarının yerini göstermektedir. Sol tarafta görünen koyu renklere sahip dirençli bölge yüzeyden de görünen bağımsız kaya kütlesine aittir. Kanalizasyon hatlarının doğruluğu elde edilen grafiklerin incelenmesi ve ölçüm lokasyonlarındaki kanalizasyon lagar kapaklarının dizilişiyle ve kanalizasyon planıyla da doğrulanmıştır. Mevcut şeklin sağ alt köşesine doğru kanalizasyon hattı direnç değerlerine benzeyen bir görünüm elde edilmiştir. Bu görünüme ait yüzeyde herhangi bir belirti olmaması ve bu okuma esnasında yüksek deneyim sahibi olunmaması sebebiyle ayrıntılı bir yorum yapılması söz konusu değildir. Şekil 4.4 incelendiğinde ölçüm hattının 55 m uzunluğunda olduğu ve ölçüm derinliğinin 7 m civarında gerçekleştiği anlaşılmaktadır. Bu ölçümde daha derin yerlerden bilgi edinilmesine gerek olmadığı için daha kısa ölçüm hattı kullanılmıştır. Elektriksel yerdirenci ölçümlerinde ölçüm hattı uzun tutuldukça izlenebilen derinlik artmaktadır. Bu konu ilgili literatür (Dahlin, 2001) kaynaklarında detaylı olarak aktarılmıştır. İlgili grafikte mavi renk ile ifade edilen yerlerin direnç değerleri 2 ile 6 Ω-m arasında değişmektedir. Bu değerler su içeren killi formasyonların yerdirenci değerleridir. Bahar ayında (Nisan 2006) yapılan bu deneyden, zemin yüzeyinin daha kuru fakat yüzeyin 5m altının daha nemli olduğu kolayca anlaşılabilmektedir.

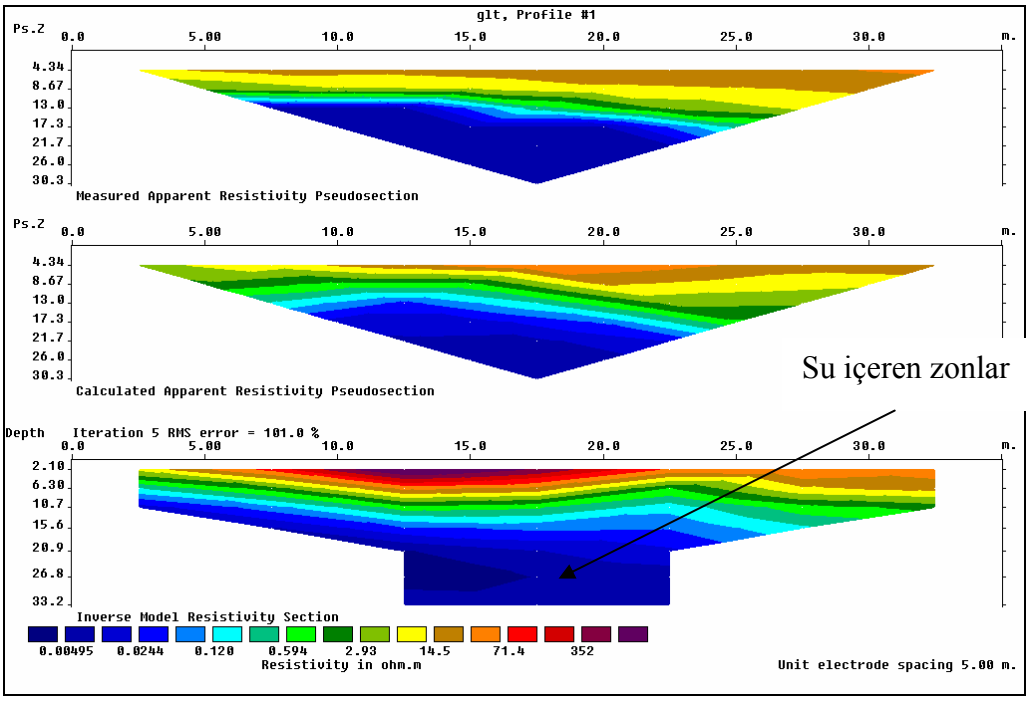
4.3.3. S.Ü.Alaeddin Keykubat Kampus alanı terkedilmiş atıksu göleti civarı

Nemli zemin ortamında elektriksel yerdirenci ölçümlerinin nasıl sonuçlar vereceğinin örneklenmesi, Selçuk Üniversitesi Alaeddin Keykubat Kampüsü'nün KB konumunda yer alan terkedilmiş atıksu barajı yakınlarında yapılmıştır. Bu ölçüm lokasyonunun seçiminde etkin olan bir diğer faktör, ilgili göletin yer aldığı kuru dere yatağının daha düşük seviyelerinde (Şekil 4.5), gölete 2 km uzaklıkta bulunan S.Ü. Hukuk Fakültesi binasının temelinde oluşan bazı oturmaların nedenini anlamaya yönelik çalışmaların yapılmasıdır. Bu ön çalışmada tezin araştırma konuları içine alınan bu test lokasyonunun elektriksel yerdirenci çalışmalarıyla mevcut zemin yapısının incelenip incelenemeyeceğinin araştırılmasıdır.



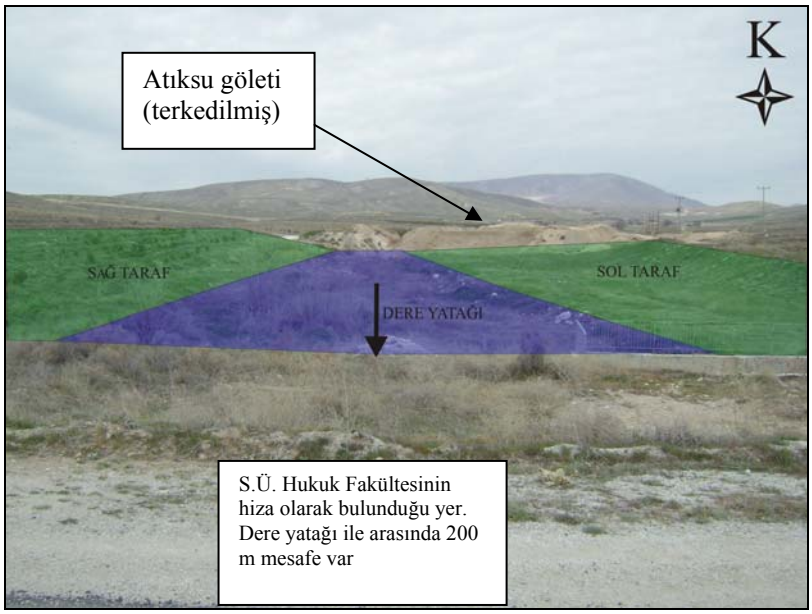
Şekil 4.5. S.Ü.Hukuk Fakültesi binası arkasında elektriksel yerdirenci ölçümlerinin yapıldığı lokasyon ve ölçüm hatları (Dursun, 2009).

Bu önarazi ölçümlerinden elde edilen sonuçlar incelendiği zaman, terkedilmiş göletin hemen önünde kuru dere yatağının tabanında bulunan sedimanlar içinde su direncinde bölgelere rastlanılmıştır. Bunun anlamı kuru dere yatağından aşağıya doğru, dere yatağının derinliklerinden su akıntısı mevcuttur. Bu su akışı Hukuk Fakültesi binasının kuzey tarafından geçerek ilerlemektedir. Bu lokasyondan elde edilen yerdirenci grafikleri aşağıda verilmiştir, bu grafiklerde direnci 0 "sıfır" Ω-.m değerine yakın olan derinliklerde su olduğu beklenilmektedir.

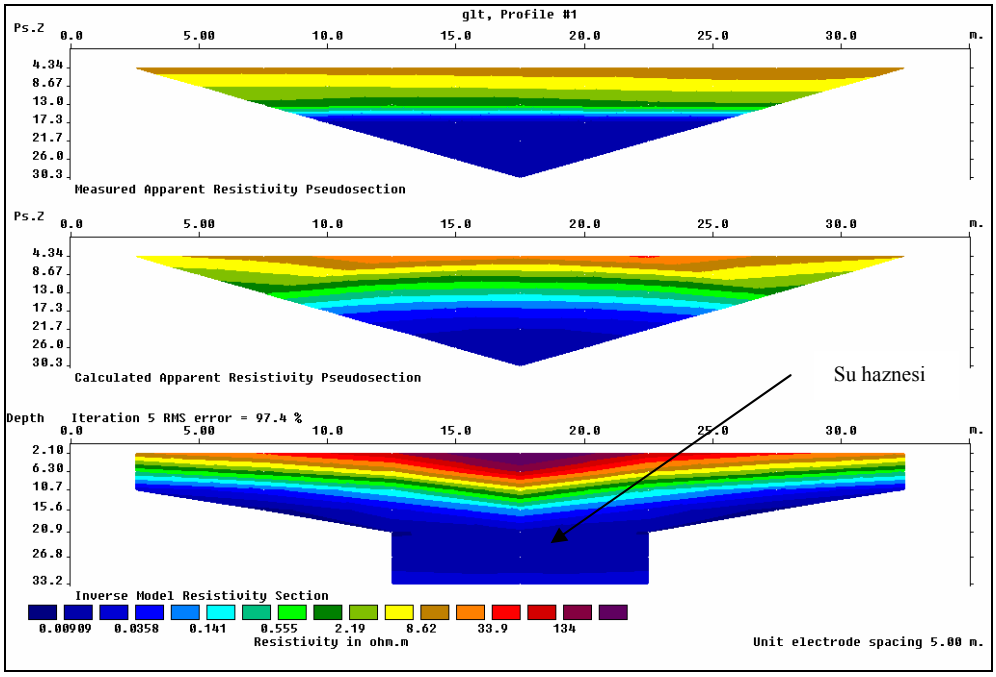


Şekil 4.6. Hukuk Fakültesi binasının kuzey tarafında bulunan bahçede yapılan elektriksel yerdirenci ölçüm sonucu.

Şekil 4.6 incelendiğinde, elektriksel yerdirenci sonucunun 33 m derinliğe kadar indiği gözlenmiştir. Yaklaşık 10 m derinlikten sonra mavi renkli düşük direnç seviyeli zonlar elde edilmiştir. Mavi renkli bölgelerin direnci 0-0,5 arasında değişim göstermektedir. Önceki çalışmalarımızdan elde ettiğimiz tecrübeler doğrultusunda bu bölgede su bulunduğu görüşü oluşmuştur. Bu lokasyonda uygulanan ölçüm hattı boyunca yapılan incelemeler görünen bu su rezervinin Hukuk Fakültesi binasına kuru dere yatağı boyunca üst bölgelerden beslendiği düşünülmektedir (Şekil 4.7).



Şekil 4.7. Atıksu göletinin görünüşü, (Güneyden Kuzeye doğru görünüş).



Şekil 4.8. Gölet civarı okuma hatlarına bir örnek.

Terkedilmiş atıksu barajının ön tarafındaki kuru dere yatağında gerçekleştirilen önarazi çalışmaları daha sonra detaylandırılarak bölge su rezervi için incelenmiştir. Şekil 4.7'de gösterilen kuru dere yatağında yapılan elektriksel yerdirenci ölçüm sonuçlarından bir tanesi Şekil 4.8'de gösterilmektedir. Bu lokasyonda yapılan ölçümlerde de bir önceki bölgede olduğu gibi Hukuk Fakültesi binasının yanında

olduğu gibi zemin altında yaklaşık 26 metre derinlikten sonra su içeren sedimanlar bulunmaktadır. Kuru dere yatağının tabanında 25 metre kuru ve dirençli dere dolgusu bulunurken daha derinden su sızıntısı olduğu bir gerçek olarak ortaya çıkmaktadır. Araştırmaların bu safhasında elde bulunan ekipman kapasitesinin verdiği imkanlar zorlanarak dere yatağının tabanı 34 metreye kadar görüntülenmiştir. Elektriksel yerdirenci ölçümlerinin su araştırmalarında, su sızıntısının tespitinde etkili olarak kullanılabileceği ortaya çıkmıştır. Maden ocaklarında su rezervlerinden mümkün olduğunca uzakta çalışmak istenir. Bir başka açıdan bakıldığında madene gelen yeraltı sularının kaynağının belirlenmesinin önemi büyüktür. Maden sahalarında su rezerv lokasyonunun bulunması madencilik çalışmalarına ne kadar su sızabileceği konusunda yorum yapılmasını da kolaylaştıracaktır. Bu nedenle su lokalizasyonu maden mühendisleri için önemli bir konu başlığı olduğu için bu çalışma ön arazi çalışmaları içine alınarak incelemesi yapılmıştır.

4.3.4. Selçuk Üniversitesi Güzel Sanatlar Fakültesi civarı

Selçuk Üniversitesi, Güzel Sanatlar Fakültesi binasının Bölüm 4.3.3'de bahsi geçen terkedilmiş gölet lokasyonuna ve kuru dere yatağına yakın tarafında ölçümler alınmıştır. Bu ölçümlerdeki amaç kuru dere yatağının altında tespit edilen su akışının Güzel Sanatlar Fakültesi Binasını etkileyip etkilemediğinin belirlenmesidir.

Bu lokasyonda yapılan çalışmalarda laboratuarda hazır halde bulunan mevcut çoklu kablo uzunluğunun artırılması (toplam 155m) nedeniyle gözlenebilen derinliğin daha fazla olması beklenilmiştir. Ölçümler sonucu yaklaşık 50 m derinliğe ulaşan görüntüleme kapasitesi daha önceki sonuçlardan yaklaşık 20 metre daha fazladır. Bu lokasyondaki elektriksel yerdirenci ölçümleri sırasında, ölçü sisteminin izin verdiği kombine ve Pole–Dipole elektrot dizilim yöntemleri kullanılmıştır.

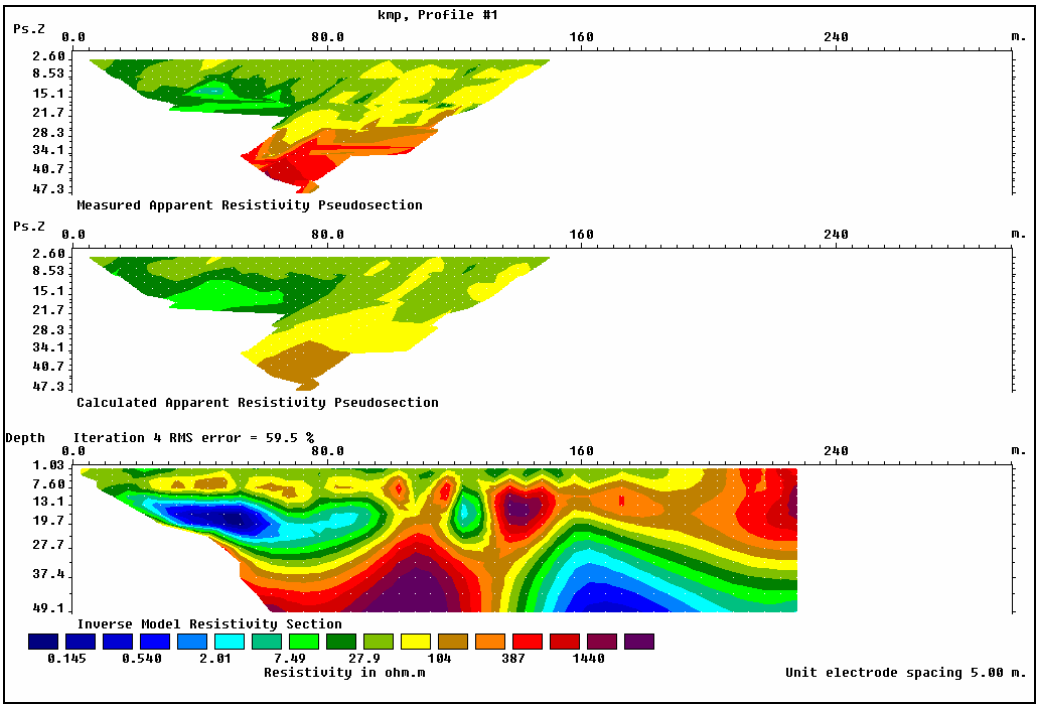
Ölçüm sonuçlarının verildiği Şekil 4.10 ve 4.11 incelendiği zaman çalışma yapılan lokasyonun altında neler olduğu konusunda genel bir bilgi elde etmek mümkün olmaktadır. Şekil 4.10'da verilen grafik Güzel Sanatlar Fakültesinin ön tarafında yapılan tek okumaya aittir. Şekil 4.11' de verilen grafik ise Güzel Sanatlar Fakültesinin sol tarafında yapılan ilk hatta aittir. Bu lokasyonda yapılan iki farklı ölçümden Şekeli 4.10'da verilen grafik kombine elektrot dizilimiyle ölçülen

yerdirenci değerlerinden çizilmiştir. Şekil 4.11'de gösterilen grafik ise Pole-Dipole elektrot dizilimi kullanılarak elde edilmiştir.

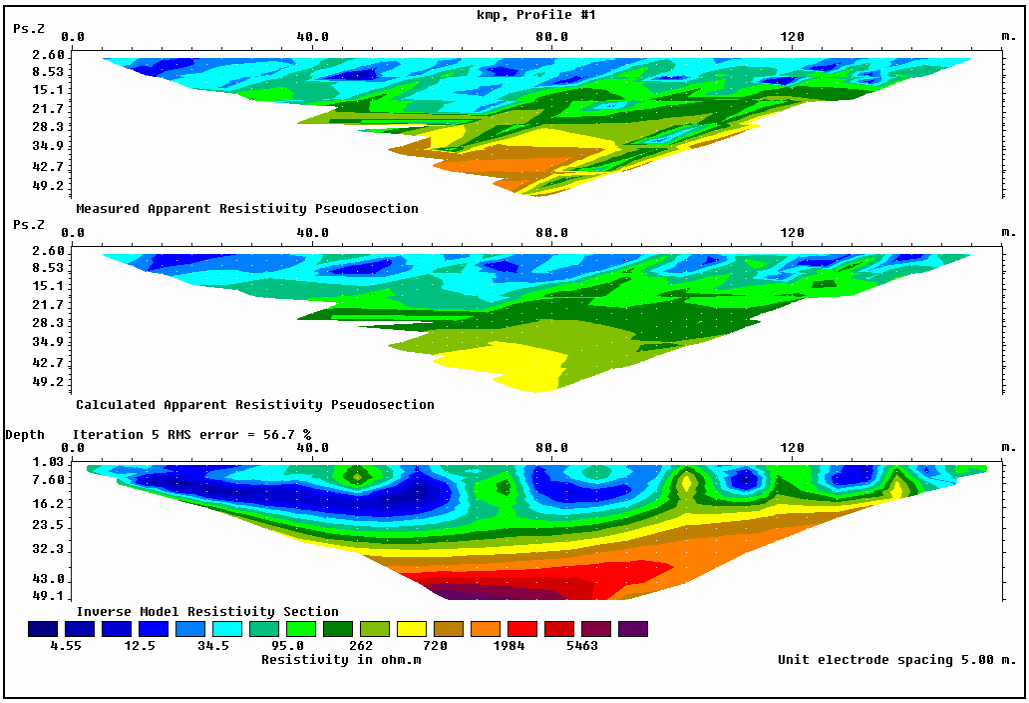
Birinci okumalar daha sağlam yapı gösteren, Güzel Sanatlar Fakülte binası güney kısmına yakın bir lokasyondan alınmıştır. Burada yüzey altında dirençli kayaçların bulunduğu hemen fark edilebilir durumdadır. Lokasyonda bulunan dirençli kayacın toprak içindeki dağılımı düzenli değildir. Bu jeolojik zaman içinde aşınmış kireçtaşlarını göstermektedir.



Şekil 4.9. Güzel Sanatlar Fakültesi civarı okuma hatları



Şekil 4.10. Güzel Sanatlar Fakültesi binası güney kısmında yapılan yerdirenci ölçüm sonucu (combine elektrot dizilim sonucu).



Şekil 4.11. Güzel Sanatlar Fakültesi binası GB yönünde 50 m uzakta yapılan Pole-Dipole elektrot dizilimiyle ölçülen yerdirenci sonuçları.

İncelenen lokasyona 200 metre G kısımda bulunan kireçtaşı mostraları, ölçüm hattının altında yüzeyden yaklaşık 6-8 m derinde yer almaktadır. İlgilenilen lokasyon altında su direncine yakın zonların olması, bu zonların ayrışmış killi yapılarla kaplandığını düşündürmektedir. Bu çalışmada yapılan ikinci yerdirenci ölçmesi, yüzeyi biraz daha zayıf olan ve kuru dere yatağına daha yakın bir noktadan başlayıp kuru dere yatağını çapraz geçen bir hat boyunca yapılmıştır. Okuma sonrası elde edilen yerdirenci dağılım grafiği incelendiğinde, kuru dere yatağının 24m altına doğru nemlilik içeren zonlar vardır. Ölçüm yapılan lokasyonun 35m derinliğinde direnci taban kayacı başlamaktadır. Bu kayaç derinliklere doğru uzanmaktadır ve bu lokasyondaki sediman topluluğunu alttan kuşattığı için su içeren katmanları üstünde tutmaktadır.

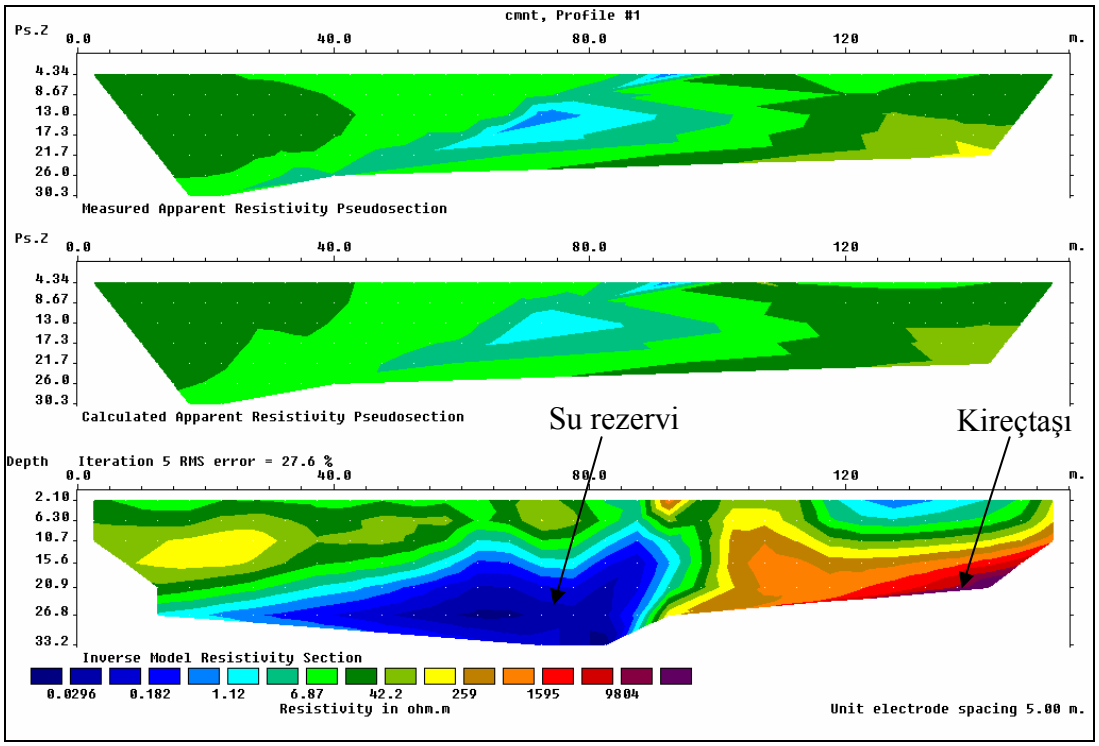
4.3.5. Konya Çimento Fabrikası Kireçtaşı Ocağı

Selçuk Üniversitesi Kampus alanı içerisinde yapılan çalışmalardan sonra Konya şehrine yakın olan Konya Çimento Fabrikasının kireçtaşı ocağında çalışmalar sürdürülmüştür. Bu çalışmanın önarazi ölçümleri arasına katılmasının nedeni,

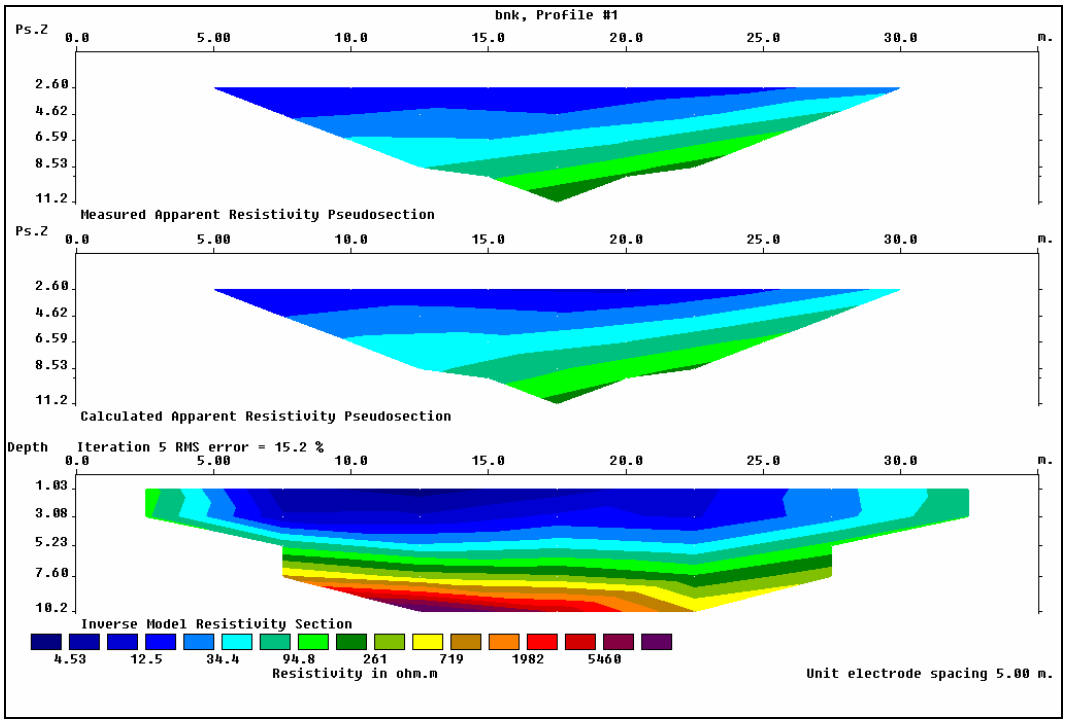
kireçtaşı ocağının taban kotunda bulunan yeraltında suyunun ölçüm sırasında işletilen mevcut basmakların altında da olup olmadığının öğrenilmesine yöneliktir. Bu bilgi ilgili kireçtaşı işletmesi için çok önemlidir. Bu kireçtaşı sahasında kireçtaşı kalınlığının fazla olduğu yapılan sondajlardan da anlaşılmıştır. Fakat yüzeyden 30-35 m derinlikte bulunan yer altı suyu ocağın bu derinlikten daha aşağı derinliklere doğru işletilmesi su pompalama masraflarını da ortaya çıkaracaktır. Bu işlem ise çimento fabrikasına satılan kireçtaşının fiyatını artıracaktır. Bu nedenle yer altı suyunun bütün ocak sahası altına doğru yayılıp yayılmadığının öğrenilmesi ilgili ocağın maden mühendisi için çok hassas bir karar bilgisidir. Çünkü ilgili ocağın düşük kotlarını yer altı suyu basmış ve küçük bir gölet oluşturmuş durumdadır.

Elektriksel yerdirenci ölçüm çalışmaları bu kireçtaşı ocağında iki farklı lokasyonda yapılmıştır. Birinci ölçüm hattı ocağın kireçtaşı üretilen en taban kotunda, yeraltı suyunun ne kadar derinde olabileceğini anlamak için yapılmıştır. Şekil 4.12, bu ölçüm sonucu elde edilen direnç dağılım grafiğini göstermektedir. Bu grafikte su rezervi lokasyonu ok işaretiyle gösterilen mavi renkli zonlardır. Bu suyun seviyesi ocakta bulunan göletin seviyesiyle aynıdır. Bu ölçümün sağladığı en önemli sonuçlarından birisi su rezervinin ocak tabanında yatay olarak bulunmadığının öğrenilmesidir. Ölçüm hattının sonuna doğru kireçtaşının direncinin arttığı gözlenmiştir. Bunun nedeni bu bölgedeki kireçtaşlarının içinde su olmaması olarak yorumlanmıştır. Bu sonuç, ocak altında su geçirmeyen kireçtaşlarının bulunduğu bölgelerin bulunduğunu ortaya çıkarmıştır. Bu yerdirenci ölçüm sonucunun kireçtaşı ocak işletmesi için önemi büyüktür.





Şekil 4.12. Konya Çimento Fabrikası kireçtaşı ocağı taban kotunda yapılan yerdirenci ölçüm sonuçları.



Şekil 4.13. Konya Çimento Fabrikası kireçtaşı ocağında bulunan gölet yakınında yapılan yerdirenci ölçüm sonucu.

Ocak işletmecisinin yer altı suyunun ocak altında yayılımını bilerek, suyun bulunmadığı kayaç zonlarının haritasını elde etmek istemesi beklenebilecek bir davranış olacaktır. Yapılan bu yerdirenci çalışmalarındaki asıl amaç, görünen bölgelerdeki direnç grafiklerinden yola çıkarak, yeraltında bulunan kayaçlar hakkında bilgi toplamaktır. Konya Çimento Fabrikası kireçtaşı ocağında yapılan bir diğer yerdirenci ölçüm çalışması, ocak içerisindeki gölete yakın bir lokasyonda yapılmıştır. Bu çalışmanın yapılmasındaki amaç, mevcut kireçtaşının içindeki su dağılımın daha net bir şekilde görülmesini sağlamaktır. Ölçüm yapılan bu lokasyonda yüzeyden 7m derinlikten sonra dirençli kireçtaşının varlığı tespit edilmiştir. Şekil 4.13'de görüldüğü gibi yüzeyden derinlere doğru inildikçe direnç artmaktadır. Bu ölçüm sonucunda yüzeye yakın bölgelerin direnci mavi olarak (3-12 Ω-.m direncinde) görünmektedir. Bu kayaç zonlarının nemli kireçtaşları olduğu sonucuna varmak yanıltıcı olmayacaktır. Ölçüm yapılan bu ikinci lokasyonda kireçtaşları yüzeye yakın yerlerde aşırı nemli halde bulunmaktadır. Kireçtaşının zayıflık zonlarındaki killeşmiş bölgelerde suyun nem olarak tutulması daha kolay olmaktadır. Bu çalışmada uygulanan yerdirenci ölçüm sonuçları, kireçtaşı ocaklarında taş üretiminin kaliteli olarak nerelerde yapılabileceğinin öğrenilmesini

sağlamaktadır. Ocak tabanında yeraltı su seviyesinin tespit edilmesi bu çalışmanın önemli sonuçlarındandır.

4.3.6. Konya Binkonutlar semtinde inşaat temeli incelemeleri

Önarazi çalışmalarına Konya–Afyon karayolu üzerinde bulunan Binkonutlar semtinde anayola yaklaşık 100 metre uzaklıkta açılmış olan bir inşaat temelinde ölçüm yapılarak devam edilmiştir. Bu çalışmanın amacı, yeryüzüne yakın derinliklerdeki yapısal farklılıkları inşaat temeli (zemin-etüdü) açısından detaylandırılıp bilgilendirilme yapılmasıdır. Üzerinde yerdirenci yapılan arazi Şekil 4.14 ve 4.15'de görülmektedir.

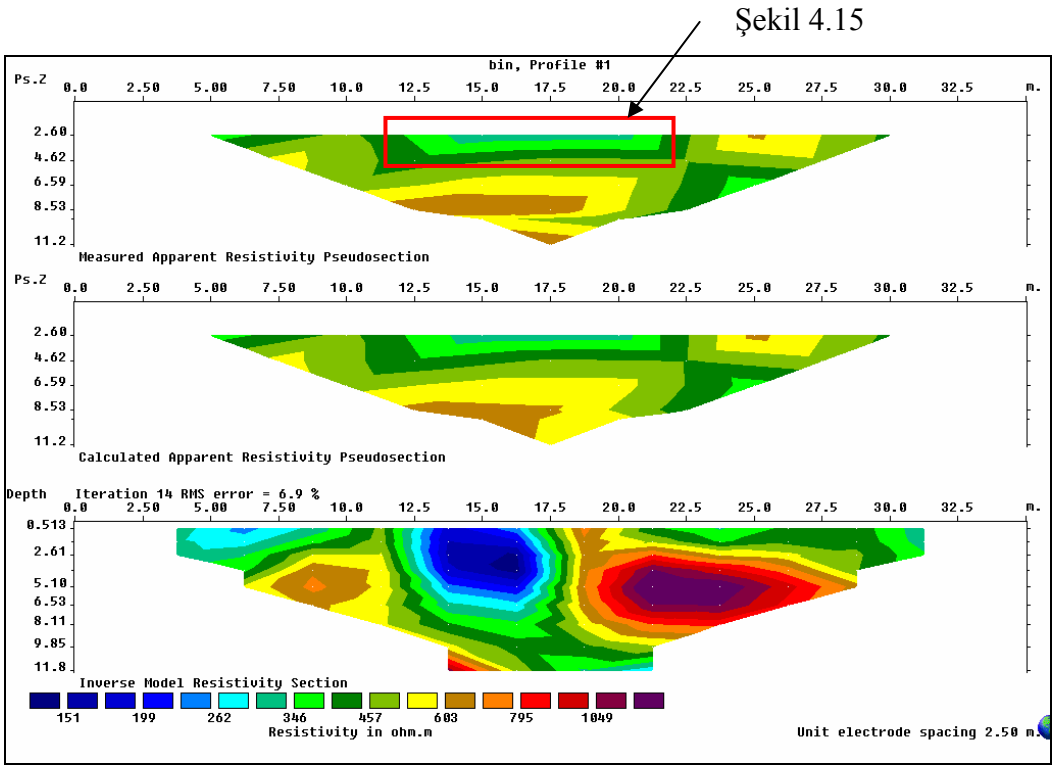


Şekil 4.14. Konya-Binkonutlar semtindeki yerdirenci ölçümleri.



Şekil 4.15. Konya-Binkonutlar semtinde üzerinde ölçüm yapılan inşaat temelinin kazılmış hali, kazı derinliği 5m dir.

Bu lokasyonda yapılan yerdirenci ölçüm sonuçlarından bir tanesi Şekil 4.16'da verilmiştir. Bu grafik yüzeyde 12 m derinliğe kadar direnç değişim grafiğini göstermektedir. İlgili yerdirenci dağılım grafiklerinin ilki incelendiğinde yüzeyden başlayarak 8-9 m derinliğe kadar tabakalı bir geçiş gözlenebilmektedir. Bu derinlikten sonra tabakalaşmanın görülmemesi Şekil 4.15'de görülen taban kil tabakasının altında daha başka ince (2-3 m kalınlığında) tabakanın bulunmadığı şeklinde yorumlanmıştır.



Şekil 4.16. Konya-Binkonutlar semtinde açılmış olan inşaat temeli yanında yapılan yerdirenci ölçüm sonuçları.

İlgili direnç grafiğinin model üçüncüsü olan modellenmiş yerdirenci dağılım grafiği incelendiğinde, ilgili lokasyondaki direnç farklılıklarının zonlaşmalara neden olacak şekilde öbekler oluşturduğu gözlenmiştir. Ölçüm hattının başlangıçlarında (15.metrede) bulunan yerdirenci 140–150 Ω-m olan daha çok killi bir zeminin yanında, ölçüm hattının 23.metresinde yerdirenci 1100–1200 Ω.-m seviyelerine çıkan başka bir zon bulunmaktadır.

Şekil 4.15'da kesiti inşaat kazısı içinden görülebilen bu lokasyonda bu direnç değişim miktarlarının yüzey altında yaklaşık 3m'lik yüzey kil tabakası altında bulunan konglomera-kil tabakası içindeki farklı malzeme ve nem

konsantrasyonlarına bağlı olduğuna karar verilmiştir. Bu ölçüm tabakalar içinde tabakaları oluşturan kayaç maddelerinin içeriğinin ve tabaka içindeki nem oranının yerdirencinde farklılıklara neden olduğunun önemli bir örneği olmuştur. Yüzeyden alt yapısı sondaj veya kesit kazısı şeklinde görülemeyen lokasyonlar için bu çalışmada belirlenen yerdirenci farklılıkları farklı açılardan da değerlendirilebileceği açıktır. Yerdirenci ölçümlerinin bu özelliği ölçümlerin grafiklerde görüldüğü şekliyle hemen yorumlanmasında problemlere yol açabileceğini görmemiz açısından bu önarazi çalışmasının tez kapsamındaki önemi büyüktür.

4.4. Önarazi Çalışmalarının Değerlendirilmesi

Elektriksel yerdirenci ölçümlerinin maden mühendislerinin çalışma alanlarında kullanılabilirliğinin değerlendirilmesi konusunda yapılan laboratuar model deneyleri ve bu bölümde verilen önarazi çalışmalarından edinilen tecrübelere göre; maden mühendislerinin ilgilendikleri sahalardan alacakları örnek elektriksel yerdirenci değişim grafikleri, pratik anlamda maden mühendislerinin kullanabileceği sonuçlar içerebilecektir.

Maden mühendisleri sadece ön maden aramasında maden rezervinin sınırlarını belirlemek amacıyla değil, yeraltı maden galerilerinin çevresindeki bozuşmaları, maden mühendislerinin ilgi alanına giren kayaç temellerin zemin-etüt çalışmalarında, terkedilmiş ocaklarda plana işlenmemiş galerilerin lokalizasyonunda vb. yerdirenci ölçüm sistemlerini kullanabileceklerdir. Bu ölçüm sisteminin, metal maden ocaklarında (herhangi bir gaz patlama tehlikesi olmayan ocaklar), galerilerinin içinde kullanılması ayrıca ek avantajlar sağlayacaktır. Böylece galerilerin çevre kayacı daha yakından incelenmiş olacak ve sağlayacağı bilgiler, tezin 3. ve 4.Bölümünden edinilen tecrübelere göre iyi yorumlanması halinde çok değerli olacaktır.

BÖLÜM 5

AÇIK MADEN SAHALARINDA YERDİRENCİ ÖLÇÜMLERİ

5.1. Genel

Önceki bölümlerde elektriksel yerdirenci çalışmalarının laboratuar ve önarazi çalışmaları yapılarak, elektriksel rezistivite ölçüm sisteminin kapasitesi konusunda tecrübeler elde edilmiştir. Bu tez çalışması kapsamındaki önarazi çalışmaları mevcut ARES cihazının etkin bir şekilde kullanılabilmesi ve elde edilen sonuçların bilinen lokasyonlar için değerlendirilmesini içermektedir. Tezin bu bölümüne kadar olan bölümlerinde; laboratuar ölçekli ilk ön etütlerden sonra önarazi çalışmalarına geçilmiş ve yer altı tabakaları nispeten bilinen lokasyonlarda uygulamalar yapılmıştır. Elde edilen bilgi ve tecrübeler kullanılarak bu bölümde incelenen madencilik problemleri açıklığa kavuşturulmaya çalışılmıştır.

Elektriksel yerdirenci ölçümlerini kapsayan tezin bu bölümünde; açık maden ocak işletmeciliğine yönelik örnek çalışmalar yer almaktadır. Her örnek çalışmada yapılan ölçümler aktarılırken, bu ölçümlerin sonucunda ilgili maden işletmecilerine sağlanan yararlar değerlendirilmiştir. Bu amaçla yapılan ilk uygulama, TKİ-Garp Linyitleri İşletmesi Bölge Müdürlüğü'ne bağlı Ilgın Linyitleri İşletmesindeki yerdirenci ölçüm çalışmalarıdır. İkinci uygulama lokasyonu Karaman-Ermenek'te ön araştırması yapılan mermer sahasının rezerv durumunun tespitine yönelik yapılmıştır. Arazi çalışmalarının yoğun bir şekilde anlatıldığı bu bölümde seçilen uygulama lokasyonları açık işletme yöntemiyle madenciliği yapılması planlanan sahalardır. Bu inceleme lokasyonlarına ilave olarak Yükselen-Konya'da bulunan bir traverten sahasındaki traverten içi yerdirenci değişimi, bir andezit ocağında bulunan andezit kayaçlar içindeki yerdirenci değişimi ve son olarak tabakalı yapılaşma içinde yer alan bir başka traverten ocağının genel elektriksel rezistivite dağılım grafikleri incelenecektir.

5.2 GLİ Ilgın Gölyaka Linyit Ocağı Ölçümleri

Garp Linyitleri İşletmesi, Ilgın Bölgesi Gölyaka linyit ocaklarında yapılan çalışmalar oldukça kapsamlı ve uzun süreli (yaklaşık 1,5 yıl) olmuştur. Yapılan çalışmalarda; mevcut maden yollarının incelenmesi, linyit damarı saçaklanmasından kalan rezerv durumunun öğrenilmesi ve ocağın GB kesiminde bulunan mevcut şevde oluşan kaymanın takibi önem kazanmıştır. Bu işletmede yapılan elektriksel yerdirenci ölçümlerinin işletmeye kazandırdığı faydalar (Arslan, 2009) düşünüldüğünde ilgili ölçümlerin diğer işletmeler için ne kadar önemli olduğu ortaya çıkmıştır. Ilgın Gölyaka Linyit işletmesinde yapılan arazi çalışmalarında ocağın ilgili kısmında 1 metre kalınlığında linyit rezervi tespit edilmiştir. İşletmecilik açısından kazanımı ekonomik olduğundan ilgili lokasyondan 2007 yılında 10000 ton linyit üretimi 100000 TL masraf yapılarak üretilmiştir. Üretilen kömürün satışından elde edilen gelir de 350000 TL olmuştur. Böylece ilgili kömür damarının terk edilecek Gölyaka açık işletmesinde rekültivasyon düzenlemeleri altında kalması önlenerek ülkemize enerji kaynağı olarak katkı sağlanmıştır, (Arslan, 2009).

Dekapaj kazısının veya üretim işleminin sürdürülebilirliği düşünüldüğünde Açık işletmelerde yol bağlantılarının kısalığı ve bunları kullanan maden makinelerinin görevlerini mümkün olan en düşük maliyetlerle yapması Maden Mühendisinin ulaşmak istediği hedefler arasındadır. Açık ocak içindeki yolların durumu; üretimi yapılmakta olan cevherin taşınmasında ve cevher üzerinde yer alan formasyonların pasa sahasına aktarımı sırasında ilgili maden ocağında sürdürülen madencilik çalışmaları için vazgeçilmez ve bakımı mutlaka sağlanması gereken ana konular arasındadır. Zaman içinde, iklim şartlarının da etkisiyle, maden kamyonlarının uyguladığı yüke dayanım azaldığından yol yüzeyinde ve alt tabakalarında sıkışmalar ve deformasyonlar oluşabilmektedir. Açık işletmelerde bulunan kazıcı makinelerin (ekskavatörlerin) taşıyıcı unsurları olan maden kamyonları yüklerini aldıktan sonra güvenli ve ekonomik bir yol güzergâhından pasa yığın sahasına veya ürün depolama sahasına ulaşmaları gereklidir. Bu aşamada cevher veya örtü tabakasındaki kazı çalışmaları önemle aşağıdaki faktörlere bağlıdır;

- Kazıcı ve kamyonların faal olması,
- İlgili makinelerin çalışabilmesi için gerekli enerjinin sağlanması,

- Bu makineler için gerekli uzman personelin temini,
- Kazıyı etkileyecek her türlü olumsuzluğun bertaraf edilmesi (kazı sahasındaki kaymalar, su geliri, v.b),
- Yüklü maden kamyonlarının üzerinden geçtiği ocak içi yolların sağlamlığının sağlanması,

GLİ-Ilgın Gölyaka Linyit Ocağında sürdürülen bu çalışma kapsamında, ocak içi ulaşım yollarının pekişme durumu incelemeye alınmıştır. Maden yolları altındaki kayaç formasyonlarının durumu bu yolların davranışını etkileyen en önemli parametredir. Maden yolunun maden içindeki pozisyonu da yolun duraylılığını etkilemektedir. Önemli maden üretim faaliyetlerinden uzakta kalan yollar sadece kendi zemin durumlarından etkilenirken, üretim sahalarına yakın olan yolların; ocak içi patlatmalardan, şevlere yakın olup olmamalarına bağlı olarak şev problemleriyle karşı karşıya gelmeleri beklenilmektedir. Maden içi ulaşım yollarının maden araçları için kullanılamaz duruma gelmesinde en önemli etken yolun önem derecesidir. Eğer yol önemli faaliyetlerin sürdürüldüğü maden içi üretim bölgelerinin ana ulaşım yoluysa, bakımı ve kontrolü her zaman yapılacaktır. Bu gibi yolların özellikle alternatiflerinin olmaması durumunda, duraylılıklarının önemi büyüktür. Eğer maden içi herhangi bir yol artık kullanılmıyorsa, bu yolların bakımı azalacak ve yol bozulmaya başlayacaktır. Bu etkiye ilave olarak, iklimsel değişimlerin açık ocaklarda yolları bozması da bilinen unsurlar arasındadır. Maden içi yolların bozulmasında önemli bir faktör de yol altındaki tabakaların durumlarıdır. Ocak içi yolların bozulmasında ve kullanılmaz hale gelmesinde etkili olan parametreler incelendiğinde;

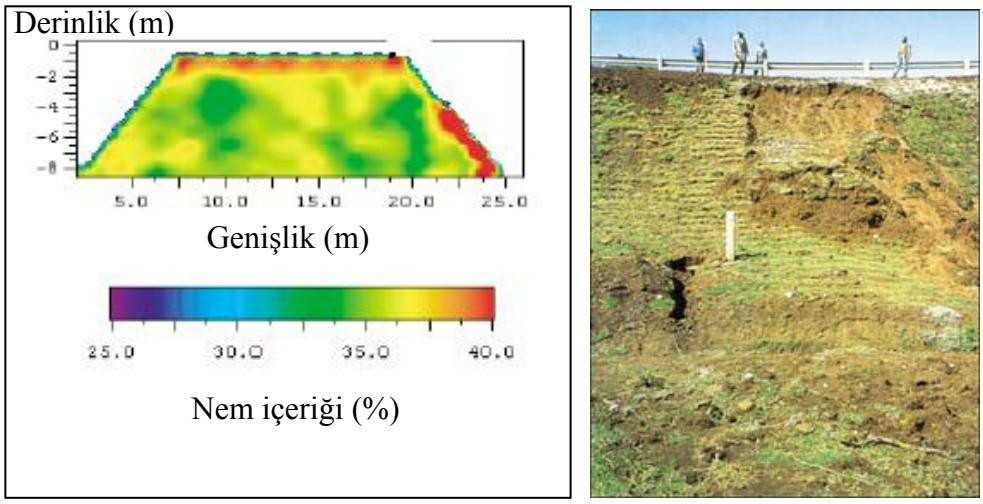
- Yolun kayması (düşük kotlara doğru hareket),
- Yolun oturması (pekişme veya yanlara doğru zeminin hareketi),
- Yolun kabarması,

gibi şartlarla çok karşılaşıldığı bilinmektedir. Ulaşım yollarının şevlerde açılması, şevler arası rampalarla üst şevlerden alt şevlere doğru bağlantıların sağlanmak zorunda olunması, ilgili açık ocak içi yolların bozulmasına neden olacak birçok koşulun oluşmasını sağlamaktadır. Bu şartların sağlandığı durumlarda, yolların zemine oturması veya zeminin yük altında ezilerek yol kenarlarına hareketi

beklenilen yol davranışlarındandır. Bu çalışmada ocak içi yol zeminlerinin altında yer alan katmanlar incelenerek ulaşım yollarının geçmiş ve gelecekteki davranışı konusunda yorumlar yapılacaktır. Bu kapsamda uygulama alanı olarak seçilen GLİ-Ilgın Linyit İşletmeleri ocak içi yollarından seçilen iki ayrı yol noktası inceleme konusunu örneklemek için test lokasyonu olarak seçilmiştir.

Açık ocak içi yol zeminlerinin durumu, araziye götürülen elektriksel rezistivite ölçüm cihazı sayesinde, yola hasar vermeden yol yüzeyine yerleştirilen elektrotlardan elde edilen verilerle incelenmiştir.

Elektriksel yerdirenci ölçümleri son 30 yıldır, aşamalı olarak madencilikte, yeraltı maden yatakları aramalarında ve hidrolojik incelemelerde kullanılan bir yöntemdir. Katı maddelerin elektriksel direncini değiştiren faktörlere paralel olarak, farklı kayaç ve toprak (kil) katmanlarının elektriksel direnci de ortamda bulunan yeraltı suyuna, kayaç porozitesine, kayacı oluşturan mineral içeriklere bağlı olarak değişmektedir. Farklı minerallerin ve bunların birisinin veya birkaçının birlikte oluşturduğu kayaç katmanlarının elektriksel rezistiviteleri de farklı farklı olmaktadır. İlgili farklılıklar yer yüzeyi altındaki derinliklere göre ölçülerek ilgilendiğimiz derinliklerdeki elektriksel rezistivite farklılaşmasının dağılımı çizilebilmektedir. Bu grafikler yardımıyla, derinliklerde bulunan su, maden yatağı, kayaç içi çatlaklılık durumu veya fayların ortaya çıkarılması, elektriksel yerdirenci ölçüm yöntemlerinin kullanılabilirliğinin zaman içinde artmasına neden olmuştur. Son yıllarda yapılan ilgili ölçüm çalışmalardan birisi de Jackson, vd. tarafından (2002) Kenya da dolgu yapılarak bağlantısı yapılan şehirlerarası bir yolda zaman içinde heyelan oluşmasının incelenmesidir. Dolgu içindeki elektriksel yerdirenci değişimlerini inceleyen ilgili araştırmacılar, dolgunun nem içeriğinin haritasını çıkarmışlardır (Şekil 5.1). Bu çalışma elektriksel yerdirenci ölçümlerinin, üzerinde araştırma yapılan lokasyonlarda, derinlemesine direnç değişimi haritalarının çıkarılması için kullanılabilirliğini göstermektedir. Bu direnç değişim grafiklerinin pratik anlamda mühendislere verdiği bilgiler onların ekonomik ve güvenli bir şekilde çözmeleri gereken problemlerin çözümü konusunda çok yararlı olmaktadır.



Şekil 5.1. Kenya'da yapılan bir yol dolgusu içindeki nem değişimi (Jackson, vd., 2002).

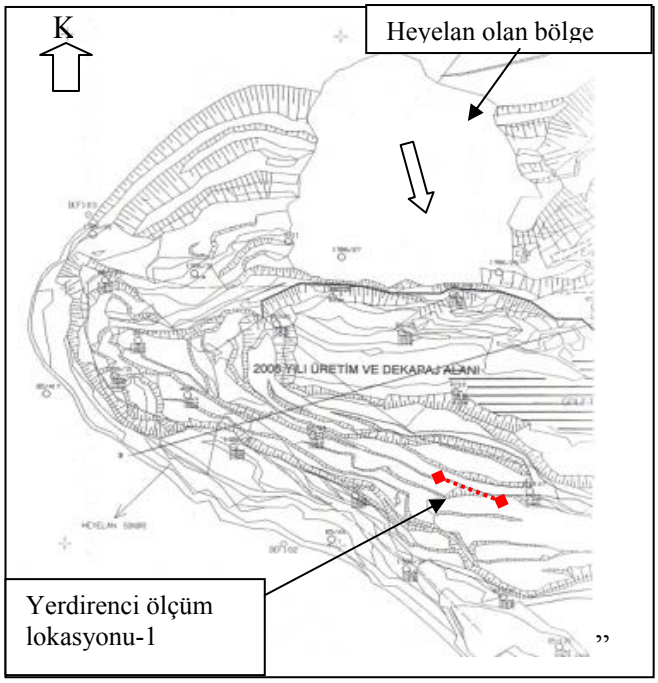
İlgili yol için ölçülen yerdirenci dağılım grafiğinden yola çıkılarak elde edilen nem içeriği grafikleri incelendiği zaman, ölçüm hattının sonuna doğru yol dolgu şevinde nem içeriğinin % 40 değerlerine kadar arttığı izlenmektedir. Bu elektriksel yerdirenci ölçüm çalışmasında nemliliğin yüksek olduğu lokasyonlar yolun üst seviyesi ve heyelanın olduğu yamaçtır. Bu grafikten heyelanın yol dolgusunu, dolgu içine doğru ne kadar etkilediği (2.5-3 m) nem içeriğinin (kırmızı renklerin) yayılımından anlaşılmaktadır.

Tezin bu bölümünde, daha önce maden işletmelerinde neredeyse hiç kullanılmayan elektriksel yerdirenci ölçüm sistemi kullanılarak açık maden ocaklarında ortaya çıkabilecek problemler incelenmiştir. Bu bölümde öncelikle açık ocaklarda kullanılan ana nakliyat yollarının zemininde bulunan ve farklı rezistivitelerine sahip formasyonların belirlenmesine yönelik çalışmalar yapılmıştır. Böylece seçilen maden yollarının altında bulunan tabakaların durumları hakkında bilgi edinilmeye çalışılarak bu yolları kullanan maden makinelerinin güvenli ulaşımları konusunda analizler yapılmıştır.

5.2.1 TKİ-GLİ Ilgın Gölyaka linyit ocağında yerdirenci ölçüm lokasyonları

Açık maden ocaklarında, ocak içi yol zeminin ne gibi farklılıklar gösterebileceği konusu GLİ–Ilgın Gölyaka Linyit Ocağında örneklenmiştir. Deneyler için 2 farklı maden yolu seçilmiştir. Birinci deney lokasyonu; yeni açılan bir ulaşım yolunun durumunu, ikinci deney lokasyonu ise yıllarca kullanılmış ve pekişmiş bir ulaşım yolunun durumunu göstermesi için özel olarak seçilmiştir.

GLİ-Ilgın Gölyaka Linyit Ocağı normal üretim faaliyetlerini tamamlamış bir maden ocağıdır. Ocakta ölçüm çalışmalarının yapıldığı 2006 ve 2007 yılları içinde ocakta bulunan ve alınması ekonomik değer taşıyan son kömür damar parçalarının üretimi için faaliyet gösterilmektedir. Son kömür üretim çalışmaları için ulaşım yolları Kasım 2006'da açılmaya başlanmış ve ocağın G-GD bölümünde yer alan üretim bölgesine üretim ekipmanlarının taşınması 2007 yılı bahar aylarında tamamlanmıştır. İlgili kömür üretim bölümlerine ulaşım için açılmış bu çalışmalar sırasında açılan yolun lokasyonu ve durumu Şekil 5.2 ve 5.3'de gösterilmektedir.



Şekil 5.2. Ilgın Gölyaka linyit ocağının G,GB bölgelerinin son durum haritası ve yerdirenci yapılan şevlerin bulunduğu kısımlar.



Şekil 5.3. Test lokasyonu-1'de bulunan ulaşım yolunun görüntüleri ve ölçüm çizgileri (Doğan, 2007).

Tablo 5.1 Test lokasyonu-1 yakınında bulunan 85/44 numaralı sondaj logu.

Derinlik (m)	Formasyonlar (Tabakalar)
1,00	Toprak örtü
9,65	Kumlu killi kireçtaşı
10,75	Bej renkli kireçtaşı
12,50	Bej renkli kumlu killi kireçtaşı
13,80	Sarı bej renkli kil
16,85	Killi kireçtaşı kil bandlı
19,90	Kil bandlı çakıllı silisli krçtş.
21,15	Mor renkli plastik kil
	Mor altere şist

Yukarıda verilen Şekil 5.2'den de anlaşılacağı gibi, yerdirenci ölçüm lokasyonu-1'de yolu oluşturan zemin tamamen bozulmuş kömür üstü formasyonlardan oluşmaktadır. Yolun düzeltilmesinde herhangi bir patlayıcı kullanımına gerek kalmadan ilgili killi ve kumlu-killi malzeme düzeltilerek yol yapılmıştır.

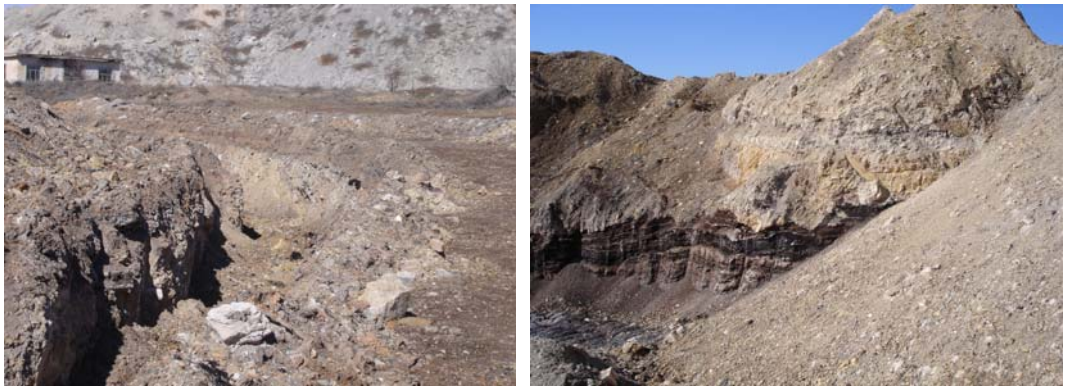
Bu lokasyonda (lokasyon-1) yeni açılan yol zemininde bulunan kayaç tabakaları, yola en yakın yerde açılan sondaj logunun incelenmesi sonucu (Tablo 5.1) çözümlenmiştir. Birinci test lokasyonu yeni yapılmış maden yolu üzerinde seçildiği için yumuşak zemin henüz pekişmemiş bir yol durumuna örnek teşkil etmektedir. Bu yol, yapımı sırasında dozerin düzeltmeleriyle şekillenirken yine aynı dozerin ağırlığı ile biraz pekişmiştir. Bunun dışında bu yoldan henüz linyit üretiminde kullanılan hiçbir kamyon gelip geçmeye başlamamıştır.

Test lokasyonu–2 ise üretilen kömürlerin stoklandığı döküm sahasının yakınlarından seçilmiştir. Bu lokasyon yıllardan beri ağır kamyonların (15-35 ton) sayısızca gelip geçtiği en önemli maden içi yol güzergahında yer almaktadır. Bu yolun zemininde yer alan yapısal unsurlar Tablo 5.1 de test lokasyonu-1 için verilen sondaj loguna benzemektedir. Bu test lokasyonunun görüntüleri Şekil 5.4'de verilmektedir. Test lokasyonu-2'nin zemini konusunda daha fazla bilgi toplamak için, ölçüm yapılan yolun kenarında açılan yaklaşık 2 metre derinliğindeki su kanalı ve yolun hemen yanında (Şekil 5.5) yer alan sedimenter katmanlar incelenmiştir. Bu kanalda yol stabilitesi için serilmiş agrega ve kumlu molozlar görülmüştür. Şekil 5.5'de alımı tamamlanmış bir kömür panosunun uç kısımları da görülmektedir. Yol güzergahında serilen dolgunun altında kömür oluşumu sırasında tabakalaşmış killi formasyonların olduğu bu görüntüden de anlaşılabilmektedir.



Şekil 5.4. Test lokasyonu-2'de bulunan pekişmiş yolun görüntüsü ve yerdirenci ölçüm hatları (Doğan, vd., 2007).

Test lokasyonlarının görüntülerinde (Şekil 5.3 ve 5.4) gösterilen noktalı çizgiler, bu çalışmada yapılan ölçüm hatlarını göstermektedir. Ölçümler seçilen yol lokasyonlarında yol boyunca ve yolun eni doğrultusunda iki farklı yönde yapılarak, yol durumu mümkün olduğunca 3 boyut etkileşimi dikkate alınarak incelenmiştir.



Şekil 5.5. Test lokasyonu-2'nin zemini konusunda fikir verebilecek, yol kenarı su kanalı kazı görüntüsü ve yol yakınındaki yarmada yol tabanının kesit görüntü örneği.

5.2.2 Maden Yolları için yapılan arazi yerdirenci ölçümleri

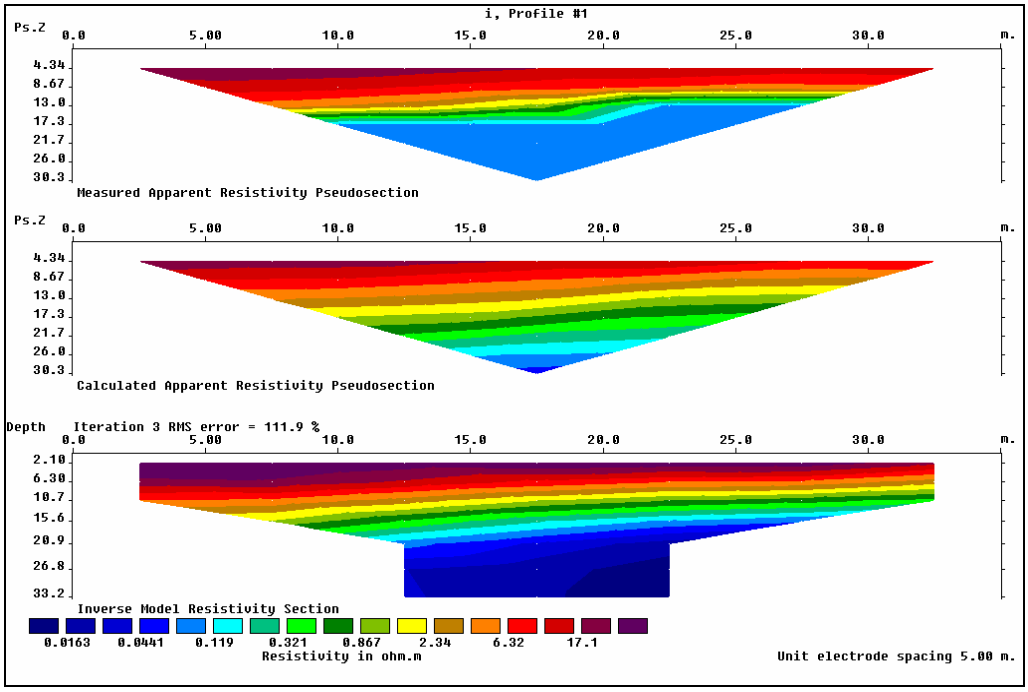
Maden içindeki yolların zemin durumlarını örneklemek amacıyla bu çalışmada elektriksel yerdirenci ölçüm düzeneği (ARES ölçüm ekipmanı) kullanılmıştır. Ölçümlerin yapıldığı lokasyonlar herhangi bir ön şart gözetilmeksizin, rastgele olarak seçilmiştir. Test lokasyonu-1'de, elektriksel yerdirenci ölçümleri 3 farklı yöntemle yapılmıştır. Bunlar pole-dipole, pole-pole ve combine pole–dipole elektriksel yerdirenci algılama ve analiz yöntemleridir. Bu lokasyonda ayrıca ölçü ekipmanının ölçme zaman aralığı 0.4 ve 1.0 saniye olmak üzere iki farklı ölçüm setiyle, ölçümler iki kez tekrarlanarak belirlenmiştir. Bu ölçme setlerine ilave olarak ARES ekipmanının ölçüm elektrot aralıkları 50 metre ve 3.0 metre olarak farklılaştırılarak yol zemininin daha ayrıntılı direnç haritalaması yapılmıştır. Test lokasyonu-1 için, bu ölçümlerden elde edilen derinlemesine direnç değişim grafikleri Şekil 5.6 ve 5.7'de verilmektedir.

Test lokasyonu-2'de yapılan elektriksel yerdirenci ölçümleri 1.0 saniye okuma aralıklı olarak ölçülmüştür. Bu lokasyonda yapılan boyuna ve enine ölçümlerde 5.0 metre elektrot aralığı uygulanmıştır. Test lokasyonu-2'den elde edilen ölçüm sonuçları Şekil 5.8 ve Şekil 5.9'de verilmektedir.

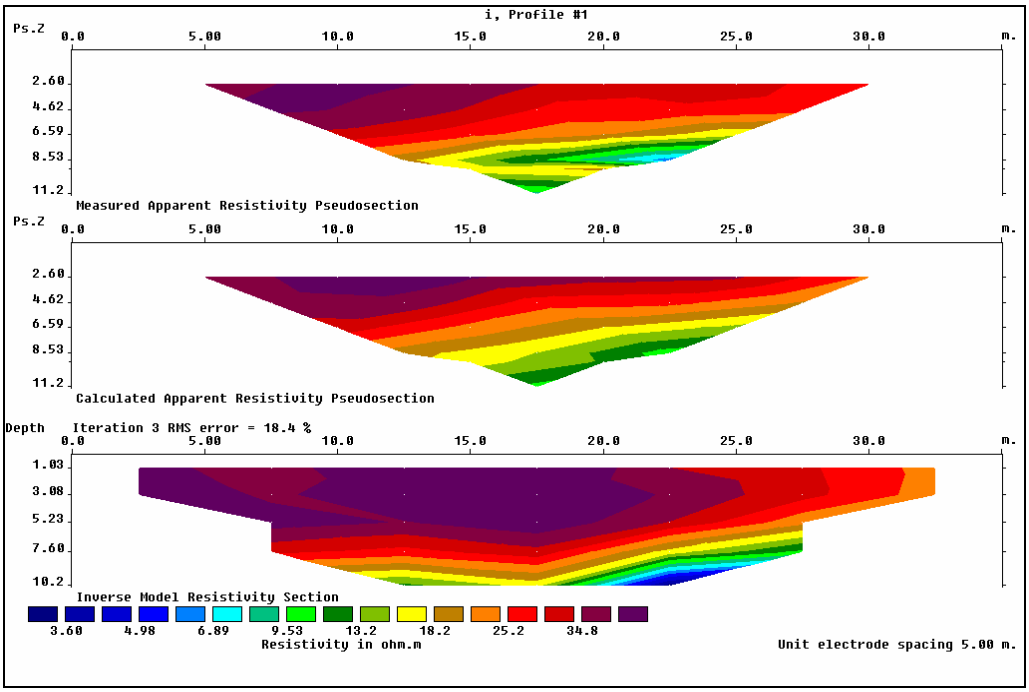
Elektriksel yerdirenci kesitleri her ölçüm için ayrı ayrı elde edildikten sonra ilgili kesit altındaki direnç değişimlerinin nedenleri orada bulunabilecek tabakalar ve onlar içinde bulunabilecek nem içeriğine göre incelenmiştir. Şekil 5.3 ve 5.4'de gösterilen her ölçüm çizgisi için en az 4 direnç ölçüm seansı düzenlenmiştir. Her

ölçüm seansı ARES ekipmanıyla yaklaşık 30-45 dakika sürmüştür. İlgili her seans için elde edilen ölçüm verileri RES2DINV yazılım programıyla grafiklere dökülmüştür. Elde edilen 25 farklı derinlemesine yerdirenci dağılım setinden seçilen 6 tanesi Şekil 5.6- Şekil 5.9 arasında gösterilmektedir.

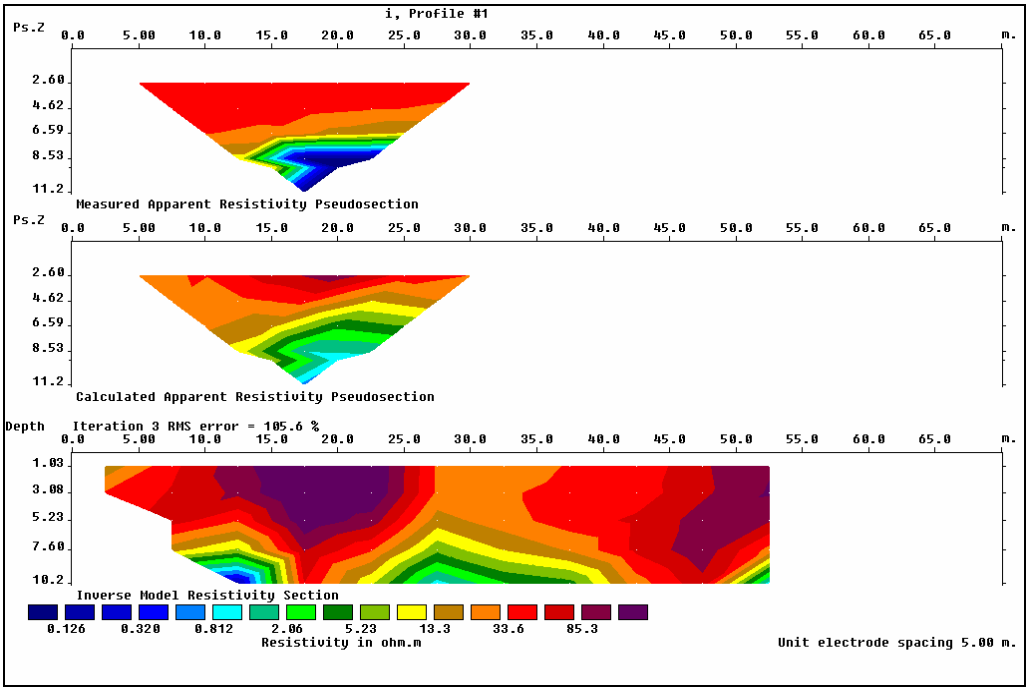
Bu çalışmada elde edilen her yerdirenci dağılım grafiği 3 farklı grafik içermektedir. Her kesit görüntü; ölçüm yapılan lokasyonda, ölçülen uzunluğu (5 m elektrot aralıkları için toplam 35 m; 3 m elektrot aralıkları için toplam 21 m) yatay eksende, yüzeyden başlayarak derinliği de düşey eksende metre cinsinden göstermektedir. RES2DINV programı sonuçlarını her set için gösterirken üsteki kesit görüntüde "ölçülen direnç değerlerini", ortadaki kesit görüntüde farklı yaklaşımlarla "hesaplanan direnç değerlerini" ve alttaki kesit görüntüde de "inversion" tekniğine göre "modellenen direnç dağılım haritasını (kesit görüntülerini) çizerek göstermektedir.



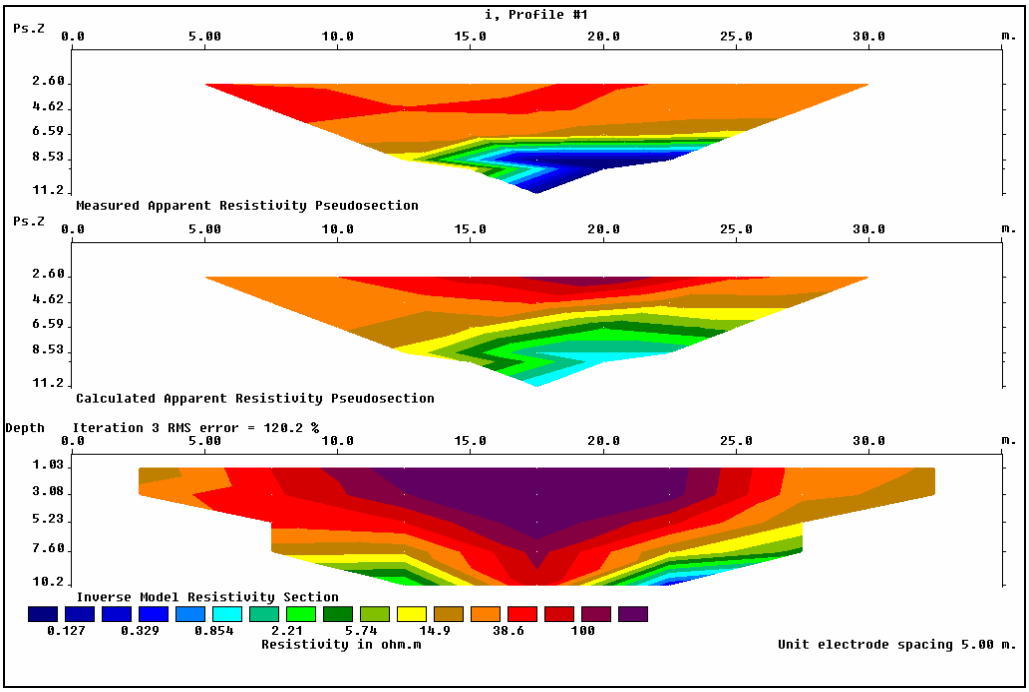
Şekil 5.6a. Test lokasyonu-1'de yol boyunca yapılan ölçümlerden elde edilen derinlemesine elektriksel yerdirenci değişim grafikleri (Pole-pole elektrot dizilimi).



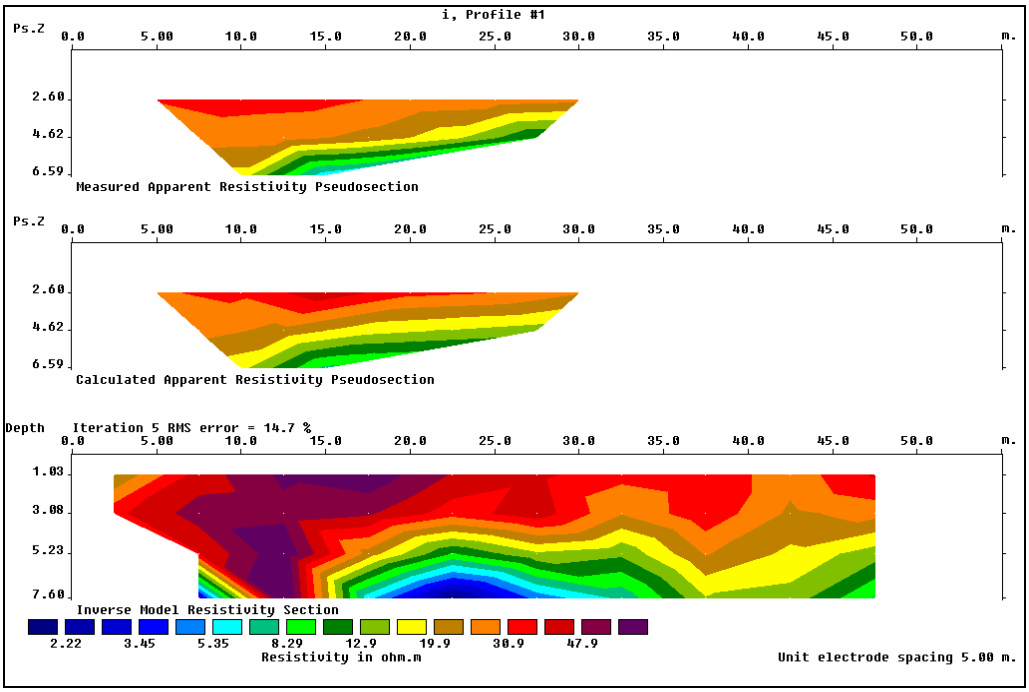
Şekil 5.6b. Test lokasyonu-1'de yol boyunca yapılan ölçümlerden elde edilen derinlemesine elektriksel yerdirenci değişim grafikleri (Pole-dipole elektrot dizilimi).



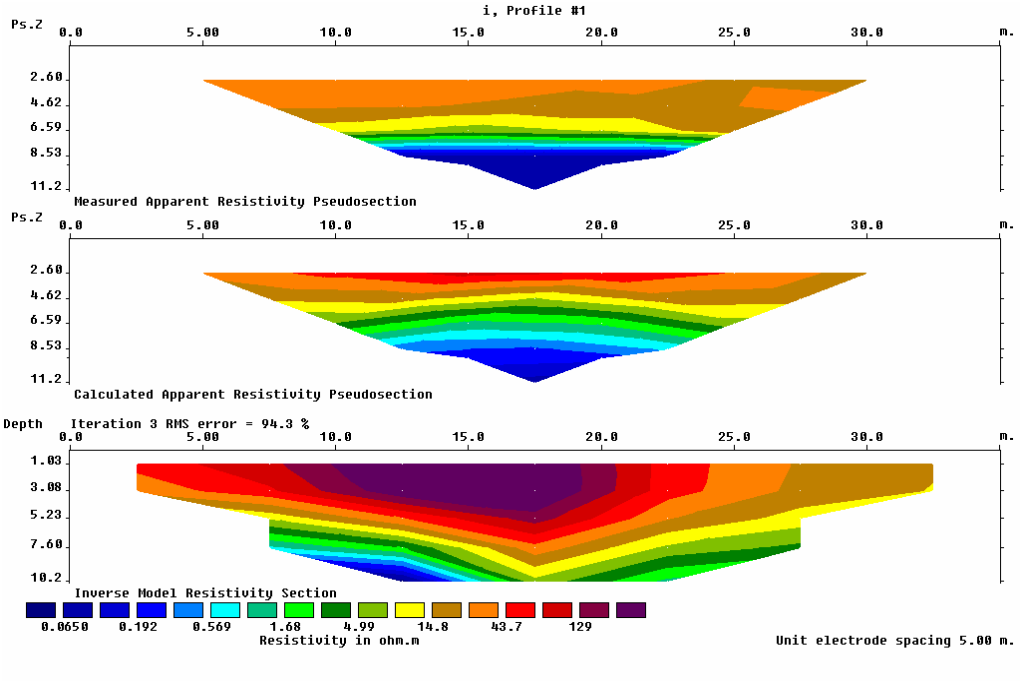
Şekil 5.7a. Test lokasyonu-1'de yol enine serilen elektrotlardan elde edilen derinlemesine elektriksel yerdirenci değişim kesiti (Combine elektrot dizilimi).



Şekil 5.7b. Test lokasyonu-1'de yol enine serilen elektrotlardan elde edilen derinlemesine elektriksel yerdirenci değişim kesiti (Pole-dipole elektrot dizilimi).



Şekil 5.8. Test lokasyonu-2''de yol boyunca elde edilen derinlemesine elektriksel yerdirenci değişim grafiği (Combine elektrot dizilimi).



Şekil 5.9. Test lokasyonu-2'de yol eninde yapılan ölçümlerden elde edilen derinlemesine elektriksel yerdirenci değişim grafiği (Pole-dipole elektrot dizilimi).

Test lokasyonu-1 için elde edilen kesit görüntüler seçilen lokasyon altındaki tabakaların yatay olarak yerleştiği yaklaşık 30 metre derinliğe kadar elde edilen direnç dağılım kesitlerinde de görülmektedir. Bu lokasyonda ölçüm hattının (çizgisinin) 0-17 metre yatay uzunluğu altında 2-6.5 metre derinlik arasında göreceli olarak daha dirençli bir formasyonun bulunduğu görülebilmektedir. Bu direncin nedeni yol altında bulunan kömür damarı olarak yorumlanmıştır. Böylece ilgili lokasyonda kömür damarının ne kadar derinlikte bulunduğu da görülebilmiştir.

Tabakaların farklı farklı dirençlere sahip olarak alt alta yerleştiği Şekil 5.6'da gösterilen yerdirenci kesit grafiklerinde açıkça görülebilmektedir. Test lokasyonu-1 için elde edilen enine yerdirenci ölçümlerin de, ölçüm hattının başlangıç noktasına göre 10. ve 25. metreleri altında (yeni açılan bu yolun, üzerinden araçların geçmesi beklenen asıl kullanılacak olan bölümü) yüksek dirençli bölgeler algılanmıştır. Bu ölçümlerde de dirençli bölge (linyit damarı) 7.5 derinliğe kadar ilerlemekte fakat çok fazla bir yayılım göstermemektedir. Bu ölçümler henüz kullanıma tam başlanmayan pekişmemiş maden yolunun altındaki formasyonları ilgili maden işletme mühendislerine göstermiştir. Kömürün üzerindeki bu yol kömür alındıkça kazılacağı için uzun ömürlü olmayacaktır. Maden mühendislerinin bu ocakta yıllar içinde elde

ettikleri bir başka gözleme (tecrübeye) göre ise kömürün hemen üzerindeki killi formasyonlar, üzerlerine yük aldıkça hareket ederek kayma göstereceklerdir. Bu hareket düşük seviyeli şevlere doğru (ocağın alt kotlarına doğru) olmaktadır. Bu anlamda ilgili maden üretim yolunun stabilitesi çok fazla iyi görünmediği açıktır. Ayrıca bu maden yolunun açıldığı şevlerin daha batısında görülen heyelan tehlikesi (haftada 10-25 cm hareketle), ölçüm yapılan lokasyona (lokasyon-1) 100-150 metre uzaklıkta devam ettiğinden bu yolun kısa zamanda bozulmaya başlayacağı unutulmamalıdır. Yoldaki killi dolgular ve nem oranının yüksek olması aşırı tonajlı maden kamyonları için yolun emniyetli olmadığı yorumunu getirmektedir. Bu yolu kullanarak yapılacak kömür üretimi nispeten daha az tonajlı kömür kazı makineleri ve kamyonlarıyla yapılması gerektiği açıktır.

Test lokasyonu-2'den elde edilen yerdirenci kesitleri Şekil 5.8 ve Şekil 5.9'da görüldüğü gibidir. Bu lokasyonda yolun eninde yapılan ölçümlerde, yolun asıl kullanılan ve pekişmiş kısmı, ölçüm yatay uzunluğunun 5. ve 20. metreleri arasında olduğu, yerdirenci grafiklerinden (kesitlerinden) net bir şekilde görülebilmektedir. Yol altında 4 metreye kadar derinliğe kadar yüksek direnç elde edilmesi yolun pekişen bölümünü göstermektedir. Bu yüksek direncin nedeni test lokasyonu-1'de olduğu gibi kömür damarı değildir. Çünkü Şekil 5.5'de verilen kanal kazı görüntülerinde de görüldüğü gibi yolun 2 metre derinliği pekişmiş yol malzemesinden oluşmaktadır. Bu pekişme sınırlarının yol altındaki dağılımı Şekil 5.9'da açıkça görülebilmektedir. Bu durum test lokasyonu-1'de elde edilen kesitlerden farklılık göstermektedir ve yolun pekişmesinin direncini artırdığını belgelemektedir. Test lokasyonu-2'de yol boyunca yapılan ölçümlerde direncin yol içinde farklılıklar göstermesi, yol pekişmesinin farklılıklar gösterdiğini bildirmektedir. Ölçümlerin başlama noktasında yüksek direnç (pekişme) gösteren yol, ölçüm yatay uzunluğunda yerdirencinde düşmeler göstermiştir. Bu kesitler yolun altındaki pekişmenin varlığını belirtirken, bu pekişmenin her yerde eşit olmadığını belgelemektedir. Ayrıca ölçüm yapılan lokasyonunun yatay uzunlukta 25. ve 35. metreleri arası, yol altında daha fazla nem içeren bir zonun bulunma ihtimalinin artırmaktadır. Lokasyon-2 yerdirenci ölçümlerinde yolun kömür taşıyan kamyonların geçtiği orta bölümlerinin daha fazla pekiştiğinden daha yüksek dirençli çıkması, yol

kenarlarında direncin daha az ölçülmesi, elektriksel yerdirenci ölçümleri sayesinde yol tabanının mantıklı olarak yorumlanabilmesini kolaylaştırmıştır.

5.3. Garp Linyitleri İşletmesi Ilgın Gölyaka Linyit Ocağı Şev Durumu İncelemesi

Açık maden ocaklarında şevlerin duraylılığı, ekipmanların ve işçilerin güvenliği için önemlidir. Dekapajın ve maden cevheri üretiminin planlandığı şekilde yapılabilmesi için ocak şevlerinin stabilitesinden emin olunmalıdır. İşletilen maden cevherinin cinsine ve bu cevherin içinde bulunduğu jeolojik formasyon yapılaşmasına bağlı olarak şevleri oluşturan kayaçlar değişecektir. Şevlerdeki kayaçların mekanik özellikleri genel kaya mekaniği kurallarında da belirtildiği gibi, ortaya çıkacak şev problemlerinin türünü yönlendirecektir (Brady R. Brown, 1985). Kaya maddelerinin dayanıklı olması durumunda şevi oluşturan ilgili kayaçların mekanik zayıflıkları kendi masif kısımlarının mekanik davranışlarının önüne geçecek; düzlemsel kayma, devrilme veya kaya düşmesi problemleri üzerinde yoğunlaşmak gerekecektir. Böylesi arazi şartlarında şevlerde oluşan heyelanlardan bahsetmek mümkün olmayabilir.

Eğer kaya maddesi dayanım özellikleri iyi değilse ortaya çıkacak şev problemleri, kaya içi çatlakların yol açtığı problemlere ilave olarak kaya maddesi bozulmalarının da incelenmesini gerektirecektir. Bu bozulmalar şevlerde gelişen gerilmelerin etkisiyle kayaç içlerinin yenilmesinden olabileceği gibi kaya maddelerinin dekapaj ile iklim şartlarına açık hale getirilmesiyle kimyasal ve fiziksel bozunma ve bozuşmalarda ilgili olabilir.

Tez çalışmasının bu aşamasında inceleme alanı olarak tespit edilen GLİ–Ilgın Gölyaka Linyit işletmelerinde, kömür yaklaşık 60-70 m derinlikte yer almaktadır. Kömür üstünde yer alan kayaç tabakaları kil, kiltaşı, kumlu kiltaşı, killi kireçtaşı gibi formasyonlardır. Açık ocakta yatay veya çok az eğimle (10^o-15^o) kömür üzerine yerleşen bu kayaçlar Ilgın Gölyaka'da bulunan linyit ocağının şevlerini oluşturmaktadır. Bu kayaçların iklim şartlarında zaman içinde nasıl bozuştuğu Şekil 5.10' da verilmiştir. Bu özelliklerinden dolayı bu ocaktaki kayaçlara kısa zamanda

kil yığınlarına dönüşen çimentosu çok zayıf sedimanter kayaçlar da denilebilir (Doğan, 2008).

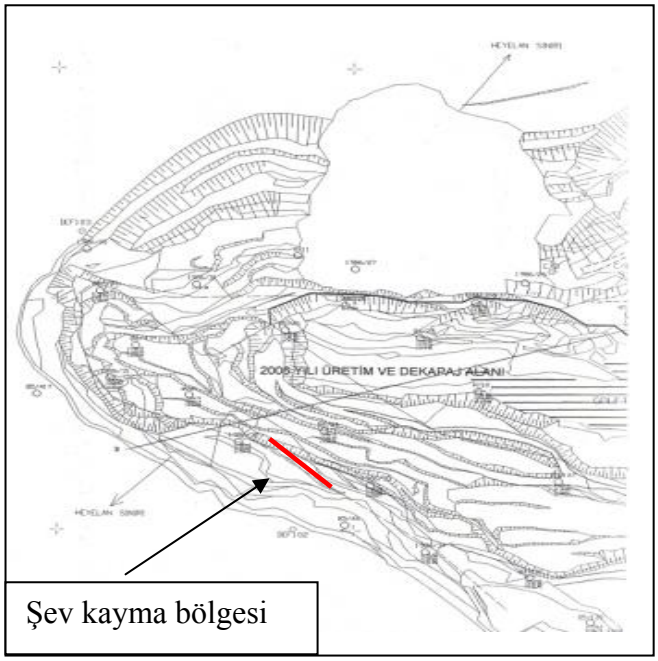


Şekil 5.10. Bozuşmuş killi kireçtaşları.

Bu özelliklerinden dolayı ilgili formasyonlar sağlam toprak, zayıf kayaç (hard soil-soft rock) sınıfında da incelemeye tabii tutulabilir. GLİ–Ilgın Gölyaka linyit ocağı, kömür rezervinin sonuna gelmesi nedeniyle artık madencilik faaliyetleri durma aşamasına gelen bir işletmedir. Kömür üretiminin tekrar belirli bir tonajın üzerinde olabilmesi için; günümüzde çalışılmakta olan Gölyaka işletmesine 10 km uzaklıkta bulunan yeni bir linyit rezervinin (Çavuşcugöl ocağı) işletilmeye alınmasıyla tekrar mümkün olacaktır. Bu yeni üretim lokasyonunda da benzer jeolojik şartların olması, eski ocak şev şartlarının araştırılmasının yararlı olacağı kanaatini doğurmaktadır. Bu nedenle son madencilik aşamalarının yapıldığı kömür ocağında bulunan şevlerin durumları incelenmiş, bu şevlerde görülen duraylılık problemleri anlaşılmaya çalışılmıştır. Kaya maddesi mukavemet değerlerinin çok düşük olması ve iklim şartlarıyla şevlerin killi toprak şevlerine dönüşmesi, buralarda toprak zemin veya bozuşmuş kil tabakalarına bağlı heyelan tehlikesini doğurmaktadır. Açık ocaklarda bulunan şevlerde kayaç yapısının incelenmesi sismik çalışmalarla olabileceği (Çetin vd.,2004) gibi elektriksel yerdirenci ölçümleriyle de (Zhou vd. 2000) yapılabilmektedir.

Üzerinde çalışılan Gölyaka linyit ocağında, şev problemi görülen bölümlerden birisi bu tez çalışmasına örnek uygulama olarak seçilmiştir. Bu bölge ilgili ocağın G-

GB bölümünde, Şekil 5.10 ve 5.12'de gösterilen şevlerdir. Burada bulunan şev akması (heyelan) 2006 ve 2007 yıllarında elektriksel yerdirenci ölçümleriyle izlemeye alınmıştır. İlgili şevdeki hareketliliğin takip edilebilmesi için Gölyaka linyit ocağının ilgili kısmında 15 günde bir yerdirenci ölçümleri yapılarak, ilgilenilen şevlerin altındaki 2. ve 15. m derinlikleri arasında oluşmakta olan şev kayması izlenmiştir.



Şekil 5.11. Şev kaymasının izlendiği Ilgın Gölyaka linyit ocağı şevlerinin pozisyonu.

5.3.1 GLİ-Ilgın Gölyaka linyit ocağındaki şevlerde heyelanın izlenmesi

Ilgında bulunan Gölyaka linyit ocağında kömür damarının uzun ekseni KBB-GDD doğrultusundadır. Ocakta bulunan son kömür blokları da 2007 yılı sonlarına doğru çıkartılmış olacaktır. Ocağın KKB yamaçlarından sızan yeraltı suları nedeniyle ocak merkezinde küçük bir gölet oluşmuştur (Şekil 5.12a). Ocağın KKB tarafında suyun da etkisiyle ayakta durabilen bir şev basamak yapısı kalmamış ve yamaç genel toprak akması (heyelan) şeklinde aşağı doğru hareket etmektedir (Şekil 5.2 ve 5.11).

Ocağın güney yamaçları ocak taban kotundan 10-15 metre yükseklikteki ilk basamaktan başlayarak sıralanmaktadır (Şekil 5.12b). Ocağın bu bölümünde

tabandan itibaren oluşturulan bu ilk basamak içinde görülen kömür damarı kalınlığı 0.5-2.0 metredir. Kömür damarının üzerinde bulunan killi kumlu, killi kireçtaşı tabakaları ocağın sınırına kadar 30^{o} ila 40^{o}'lik şev eğimleriyle, ocağın 90^{o} son basamağına doğru yükselmektedir. Bu bölümün yatay genişliği 100 metreden fazladır. Bu kısımda bulunan şev basamak yapısı heyelan hareketleri nedeniyle tamamen bozulmuştur (Şekil 5.13).



a) **b)**

Şekil 5.12. a) GLI-Ilgın linyit ocağı tabanında biriken yeraltı suyu, b) ölçüm yapılan heyelanlı şevleri ocak tabanına bağlayan en alt şev basamağı.

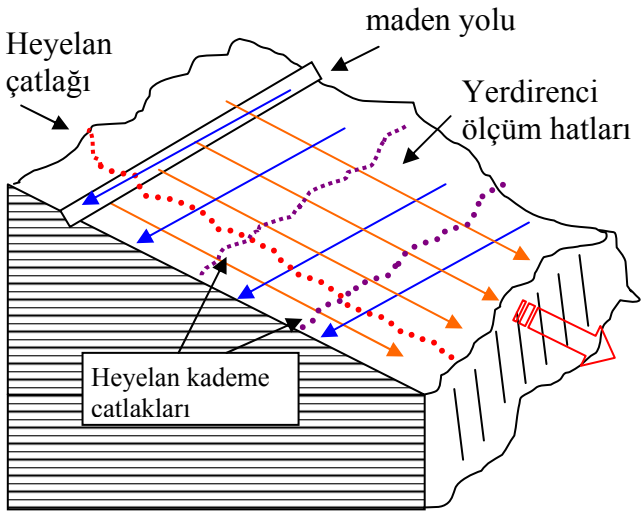


Şekil 5.13. Ölçüm yapılan heyelanlı bölgenin genel görüntüsü.

Araştırma için seçilen saha Şekil 5.13'de daha yakından görülebilmektedir. Burada bulunan şevlerin ortak özelliği, şevi oluşturan kayaçların hemen bozuşması ve toprak gibi davranmasıdır. Ocağın en üst basamağında görülen kayaç yapısı ocak içinde genel toprağımsı yapıya dönüşmektedir. Böylesi bir kayaç davranışında ocak içinde açılan yollar ve oluşturulan şevlerin alt kotlara doğru akması üretim için açılan yolların 1-2 ay içinde kullanılamaz hale gelmesine neden olmaktadır. Bu yolları

kullanacak maden makinelerinin ve ilgili sahada çalışacak kazıcı ekipmanların güvenliği heyelan hızının aniden artışa geçmemesiyle ilgilidir. Madenlerde çalıştırılan makinelerin performansı bulundukları şevlerin stabilitesiyle yakından ilgilidir. Heyelan olan sahalarda işletmeci mühendis, heyelan oluşturan kayaçları uzaklaştırmak isteyebilir. Heyelanın alt kayma zonunun üzerindeki yükün azaltılması kaymayı biraz azaltacaktır. Bunun yanında kaymayı yavaşlatan veya durdurmaya çalışan (varsa) blokların alınması ise devam etmekte olan heyelanı hızlandıracaktır. Bu nedenle üzerinde çalışılan ocakta, ilgilenilen şev kaymasının (heyelan) derinlemesine ne kadar bir bölgeyi etkilediğinin araştırılması için elektriksel yerdirenci ölçümleri kullanılmıştır. Bu ölçümlerle heyelanın kaç metre derinliğe kadar etkili olduğu öğrenilmek istenmiştir.

Elektriksel yerdirenci ölçüm yöntemini seçilen ocak sahasında (Şekil 5.13) uygulamak için, ocağın bu kısmında yeni açılan üretim yolu baz alınarak ölçüm hatları (çizgileri) oluşturulmuştur. Şekil 5.14'de verilen kroki ölçüm yapılan hatların heyelan bölgesi olan sahadaki durumlarını göstermektedir.



Şekil 5.14. Ilgın Gölyaka linyit ocağının G-GD şevlerinde oluşan şev kaymasını izlemek üzere oluşturulan elektriksel yerdirenci ölçüm hatları (Doğan, 2007).

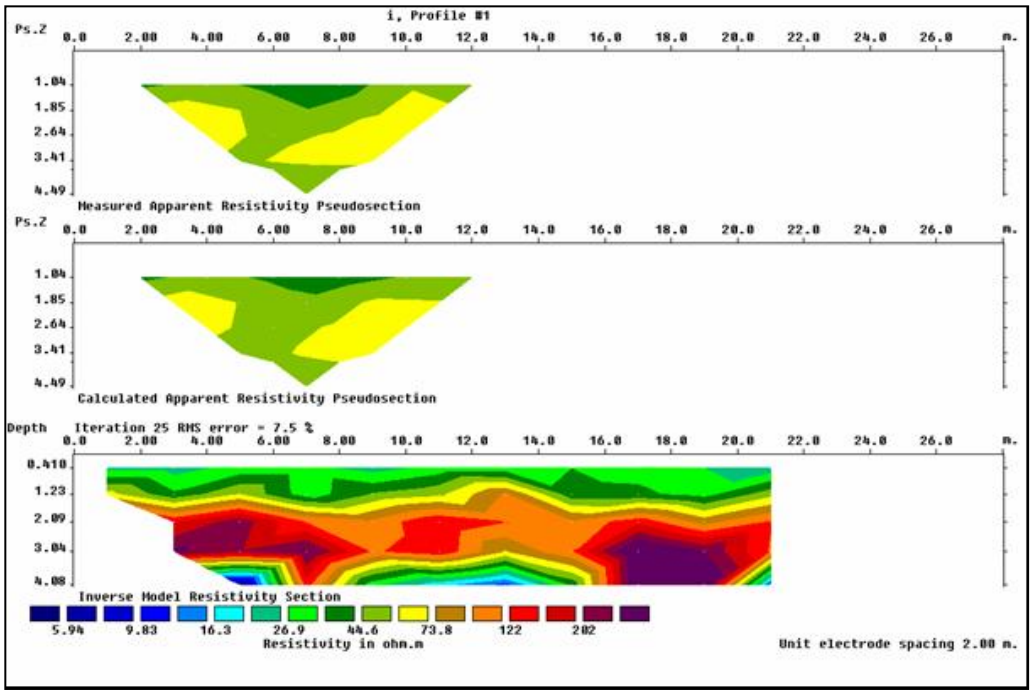
Üzerinde araştırma yapılan maden bölgesinde; heyelanın akma doğrultusuna paralel 4 farklı hatta, heyelan akış eksenine dik olarak da 3 farklı hatta (çizgide) elektriksel yerdirenci ölçümleri alınmıştır. Arazi yerdirenci ölçümlerinde zamanın etkisini de gözlemleyebilmek için, ölçümler 4 farklı zaman diliminde elde edilmiştir. İlk ölçüm ile son ölçüm zamanı arasında 5 haftalık bir zaman farkı mevcuttur.

Ölçümlerin başladığı 2007 Ocak ayının son haftasından sonra, 2007 Şubat ayı içinde yapılan 2. ve 3. ölçüm günleri arasında araştırma yapılan bölgede bulunan maden yolundaki deformasyonun 30-40 cm boyutuna vardığı gözlenmiştir. Şekil 5.14'de pozisyonu gösterilen heyelan çatlağı heyelanı sınırlandırmaktadır. Bu çatlağın üst bölümü ölçüm yapılan Şubat 2007'de bir hafta içinde 30-40 cm hızla alt kotlara doğru kayarak ilerlemiştir. Aktif heyelanlarla kaplı Ilgın Gölyaka linyit ocağının bazı kısımlarında artık üretim yapılmayacağından şevler doğal heyelan akışına bırakılmışlardır. Bu kısımlarda ölçüm yapmak tehlikeli olduğu için ocağın G-GB bölümünde bulunan son kömür üretim alanlarının üzerindeki sahalarda yerdirenci ölçümleri yapılmıştır.

5.3.2. GLİ-Ilgın Gölyaka linyit ocağında şev kaymasının izlenmesine yönelik yerdirenci ölçüm sonuçları

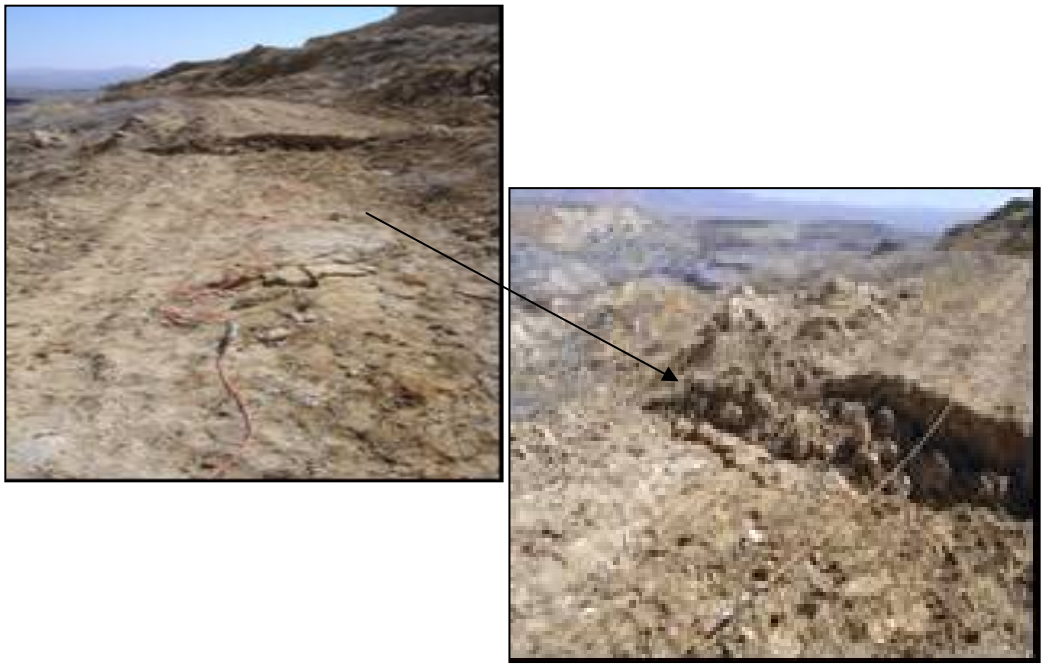
GLİ-Ilgın Kömür Ocağında yapılan elektriksel yerdirenci ölçümlerinden elde edilen derinlemesine direnç değişimleri incelenerek, hedef olarak seçilen heyelan bölgesinde hareket eden kitle tabanının bulunmasına çalışılmıştır. İlgili bölgenin jeolojik durumu (Tablo 5.1) bilinerek yapılan bu ölçümler sayesinde elektriksel yerdirenci ölçümlerinin gösterdiği sonuçların ocak mühendislerine herhangi ek bir bilgi sunup sunmadığı özellikle üzerinde durulan bir konu olmuştur.

Şekil 5.15'de verilen elektriksel yerdirenci dağılım grafikleri heyelanın G-GD sınırını oluşturan çatlak üzerinden ölçülmüş elektriksel rezistivite verilerinden çizilen grafiklerdir. Bu grafikler incelendiğinde araştırma bölgesinde bulunan çatlağın heyelan içine doğru (KKB yönüne doğru) yönlendiği kolayca görülebilmektedir.



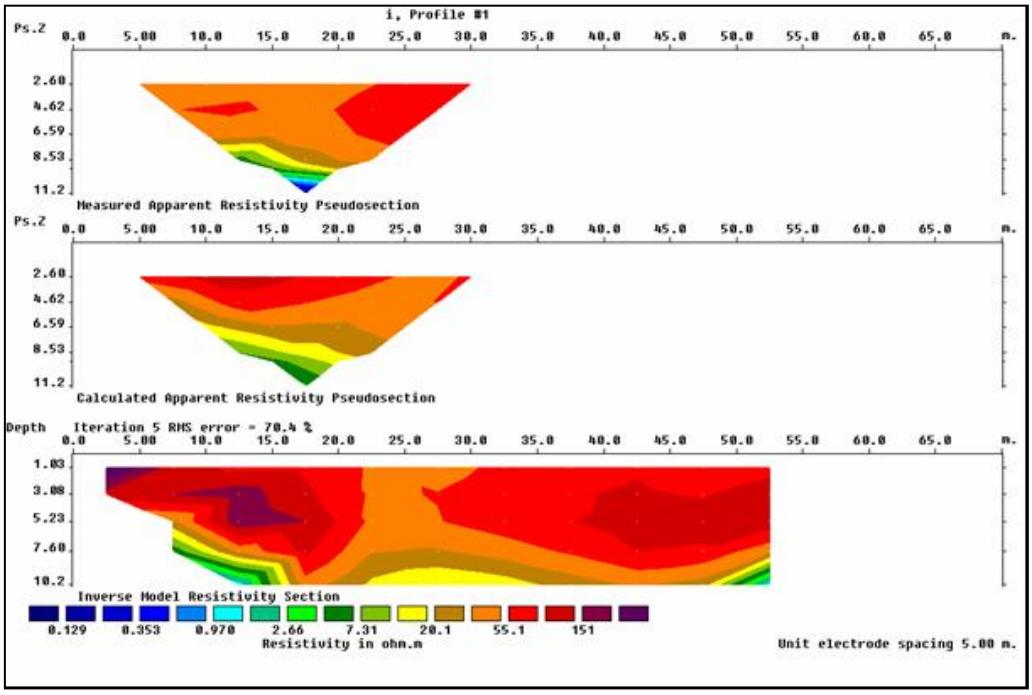
Şekil 5.15. Heyelan çatlağının heyelan sahasındaki yol boyunca yapılan yerdirenci ölçümlerinde ki görüntüsü (2.test seansı).

Ayrıca ilgili sahadaki yol boyunca ölçülen bu derinlemesine direnç değerleri, maden yolunun 2-3 metre altında diğerlerine göre daha dirençli bir tabakanın bulunduğuna işaret etmektedir. Şekil 5.15'de daha dirençli (kırmızı, koyu kırmızı) olarak görünen bu tabakanın ilgili maden kısmındaki alınmamış kömür damarı parçalarına ait olduğu belirlenmiştir. Bu karar verilirken, ilgili ocakta görevli maden işletme mühendislerin deneyiminden ve kayma bölgesine yakın yerde açılan sondaj loglarından yararlanılmıştır. Bu sahada yüzeydeki killi, kumlu killi malzeme altında bulunan kömür damarı, buradaki heyelanın tabanda kömür damarıyla sınırlandığı izlenimini vermiştir. Şekil 5.14'de verilen krokide gösterilen heyelan çatlağının heyelanı sınırlayıp sınırlamadığı, o bölgede yapılan gözlemlerle belirlenmekle birlikte (Şekil 5.16), ilgili çatlağın heyelan bölgesi dışında bıraktığı sahada da elektriksel yerdirenci ölçümü yapılarak sonuçlar karşılaştırılmıştır.

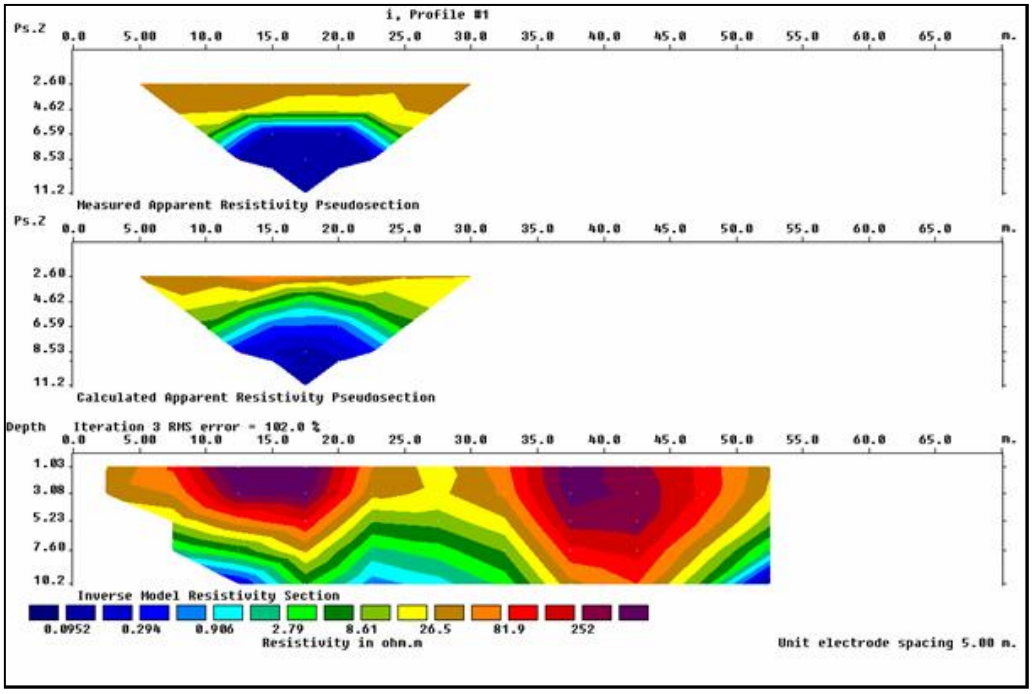


Şekil 5.16. Heyelan olan maden bölgesinde bulunan maden yolundaki 20-40 cm'lik kayma.

Şekil 5.17'de verilen yerdirenci dağılım grafikleri heyelan bölgesinin yanından (ilgili çatlağın G-GD tarafından), heyelan ekseni boyunca maden yoluna dik olarak alınmıştır. Burada diğer tarafa göre hızı çok yavaş olan bir heyelandan söz edilebilir. Böylece heyelan hızının fazla olduğu bölgeyle (Şekil 5.18) hemen yanında bulunan fakat heyelan hızı göreceli olarak daha da az olan bölgenin profil farklılığı hemen gözlenebilmektedir. Bu farklılığın nedenleri arasında heyelan hızının fazla olduğu sahanın jeolojik olarak daha fazla yapısal bozukluklara sahip olması ve maden ocak taban kotunda heyelana engel olacak kaya kütlelerinin bu bölgede biraz daha kazılması (şev topuğu tahribatı) sayılabilir.



Şekil 5.17. Heyelan bölgesinin yanından (çatlağın G-GD tarafından), heyelan ekseni boyunca maden yoluna dik olarak alınmış elektriksel yerdirenci grafikleri, (2.test seansı).



Şekil 5.18. Heyelan bölgesinin içinde (çatlağın K-KB tarafından), heyelan ekseni boyunca maden yoluna dik olarak alınmış elektriksel yerdirenci grafikleri, (2.test seansı).

Şekil 5.18'de verilen direnç dağılım grafiklerinde yer alan yüksek dirençli bölgelerin neden oluştuğu araştırıldığında, soldaki yüksek direnç lokasyonuyla, heyelan sahasında tespit edilen heyelan kademe çatlaklarının (Şekil 5.19) örtüştüğü görülmüştür. Aynı profilde sağda yer alan yüksek direnç lokasyonunun nedeni burada bulunan ve yüzeyden 5-6 metre derinliğe kadar uzanan kömür damar parçası olduğu belirlenmiştir.



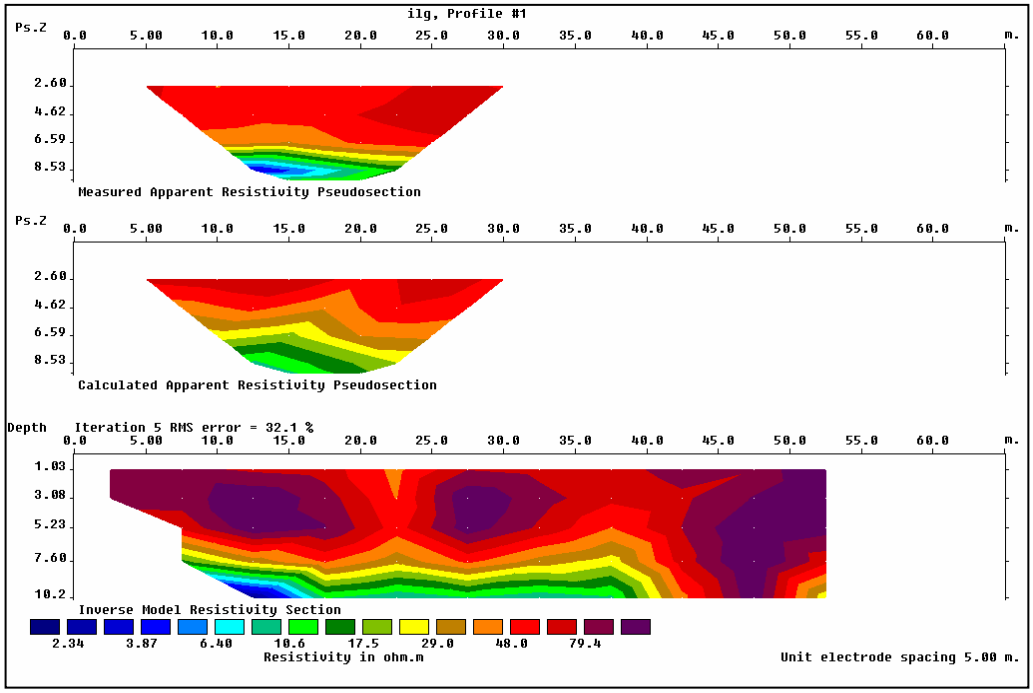
Şekil 5.19. Heyelan olan maden sahasında gelişen heyelan kademe çatlakları.

Farklı zamanlarda yapılan yerdirenci ölçümleri ilgilenilen heyelan bölgesinde yerdirencinin nasıl farklılaştığını göstermesi açısından önemlidir. Şekil 5.20'de verilen direnç dağılım grafikleri, Şekil 5.15'de verilen yerdirenci grafiklerinin elde edildiği testlerden bir hafta sonra yapılan yerdirenci ölçümlerinden elde edilmiştir. Şekil 5.20'den de görüldüğü gibi yüksek direnç okumaları oldukça fazlalaşmıştır. Bir hafta süre içerisinde çok belirgin bir şekilde şev kayması meydana gelmiş ve yüzeyde görülen çatlaklar artmıştır (Şekil 5.16). Bu çatlaklardan ölçülen yerdirenci değerlerindeki artışlar hemen dikkat çekmektedir.

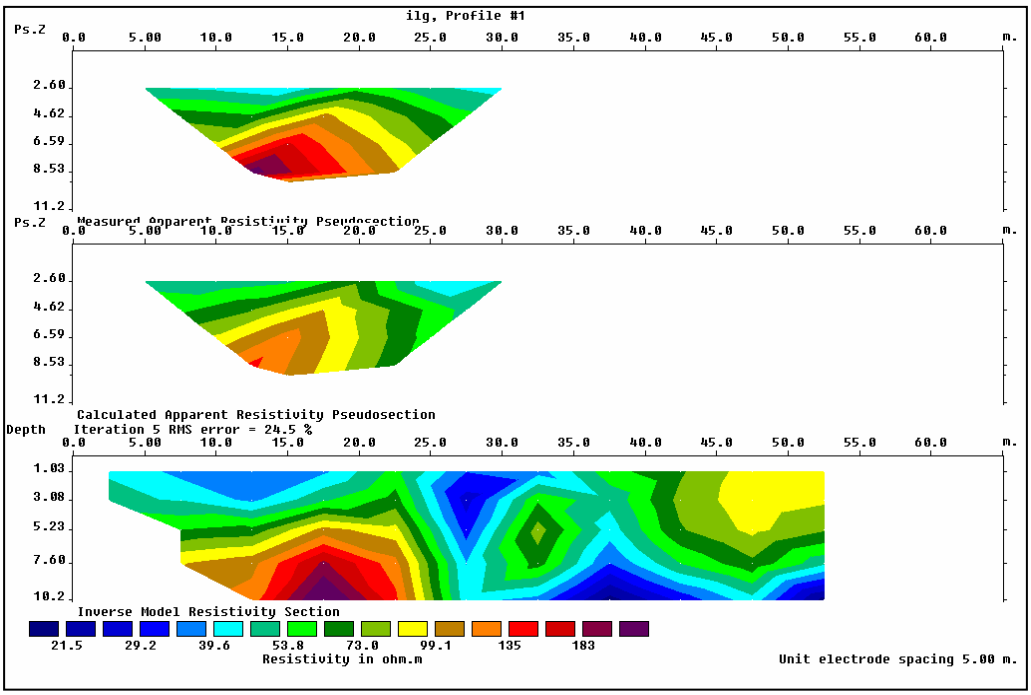
Benzer şekilde hızlı heyelan bölgesi dışında kalan sahadan elde edilen yerdirenci ölçümleri tekrarlanmış (Şekil 5.21) ve önceki ölçümlerle (Şekil 5.17) karşılaştırılmıştır.

Bu karşılaştırma sırasında ele alınan Şekil 5.21'deki yerdirenci dağılım grafiği Şekil 5.17'de verilen yerdirenci profillerine göre büyük değişim göstermiştir.

Öncelikle zaman içinde ölçüm sahasının genel direncinde artışlar olmuştur. Yüzey altındaki killi malzemeler içinde heyelana bağlı olarak direnç farklılıkları daha belirgin hale gelmiştir. İkinci ölçüm seansında bu lokasyonda ölçülen en büyük direnç 150-160 Ohm.m iken, Üçüncü ölçüm seansında ölçülen değerler 200 Ohm.m değerini geçmiştir. Bu farklılaşmanın nedenini ölçüm lokasyonu altında meydana gelen ayrışmalara bağlamak mümkündür.

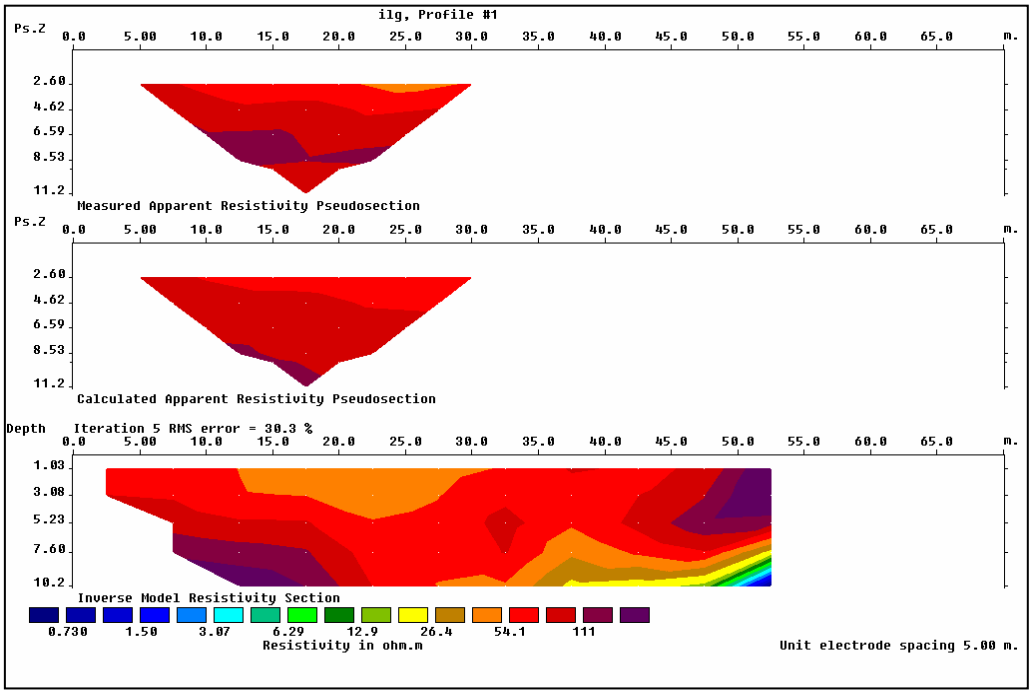


Şekil 5.20. Heyelan bölgesindeki maden yolu boyunca yapılan yerdirenci ölçümleri, (3.test seansı).



Şekil 5.21. Hızlı heyelan bölgesinin dışında heyelan ekseni boyunca maden yoluna dik olarak alınmış elektriksel yerdirenci grafiği (3.test seansı).

Şekil 5.22'de verilen yerdirenci dağılım profili hızlı heyelan bölgesi içinden alınan bir ölçümdür. Bu ölçümün alındığı hat Şekil 5.18'de verilen profillerin ölçüm yeriyle aynıdır. İki ölçüm arasında bir haftalık bir ölçüm zaman aralığı mevcuttur. Daha önce heyelan kademe çatlaklarından dolayı ilgili lokasyona gelen yerlerde yüksek direnç değerleri gösteren ölçüm hattında üçüncü ziyaret sırasında çok belirgin direnç farklılıkları görülememiştir. Bunun yerine ilgili kademelere rastlayan yerlerde direnci düşük zonlar belirlenmiştir. Bunun nedeni ikinci ve üçüncü test ziyaretleri arasında bölgenin yağış alması olarak yorumlanmıştır. Şekil 5.21'de görülen direnç dağılım farklılaşmasının bir nedeninin de bu olabileceği düşünülmüştür.



Şekil 5.22. Heyelan bölgesinin içinde heyelan ekseni boyunca maden yoluna dik olarak alınmış elektriksel yerdirenci profilleri, (3.test seansı).

Sonuç olarak elektriksel yerdirenci ölçümlerinin şev problemleri için kullanımı bu uygulama çalışmasından edinilen tecrübeye göre değerlendirilirse; bu ölçümlerin şev kayması incelemelerinde mühendislik kararları verebilmek için çok yararlı olduğu sonucu çıkarılabilir. Ölçümler yeryüzü altındaki tabakaları gösterdiği için buralarda olan katmanlar hakkında bilgiler edinilebilmektedir. Sonuçların jeolojik sondaj logları sonuçlarıyla ve işletme tecrübesiyle birleştirilmesi halinde maden işletmelerinde daha değerli hale geldiği unutulmamalıdır. Açık maden ocaklarında kullanılan makinelerin şev kayması nedeniyle kaybedilmemesi için riskli bölgeleri belirlenmesi, riskli kayma bölge sınırlarının takibi işletmeler için önemlidir. Bu araştırmada yapılan ölçümler, heyelan olan maden bölgelerinde yerdirencinin nasıl değiştiğinin örneklenmesi için yapılmıştır. Yerdirencinin zaman içinde ve yerde bulunan çatlaklılık seviyesine göre değiştiği açıkça görülmüştür. Ayrıca iklimsel yağış sonucu suyun sızdığı zemin veya kayaç derinliklerinde yerdirencinin değiştiği, ölçümlerde mevsimsel yağış miktarının değişmediği zamanların seçilmesine dikkat edilmesi gerektiği ortaya çıkmıştır.

5.4. Karaman–Ermenek Bölgesi Mermer Sahası İncelemesi

Doktora tez çalışmasının maden rezerv sınırlarının belirlenmesine yönelik araştırmasında Karaman–Ermenek bölgesinde bulunan bir mermer sahasında elektriksel yerdirenci ölçümleri yapılmıştır. Çalışma yapılan bu bölgede mermerin varlığı görülmekle beraber mermer kütlesinin araziyi kaplayan orman toprağı altında ne kadar yayılım gösterdiği öğrenilmek istenmiştir. Bu şekliyle bu alanda yapılan arazi çalışmaları yerdirenci ölçümlerinin cevher arama işlerinde kullanılabilirliğinin test edilmesine yönelik olmuştur. Bu çalışmayı yapmaktaki amaçların birisi mevcut sahanın mermer işletmeciliği için uygunluğunun tespitidir. Bölgeye ait fotoğraflar Şekil 5.23 de verilmiştir.

Üzerinde araştırma yapılan mermer sahasında elektriksel yerdirenci ölçümleri için farklı elektrot dizilimleri kullanılmıştır. Ölçümlerden elde edilen yerdirenci dağılım grafikleri kullanılan elektrot dizilimlerine göre aşağıda verilmiştir.

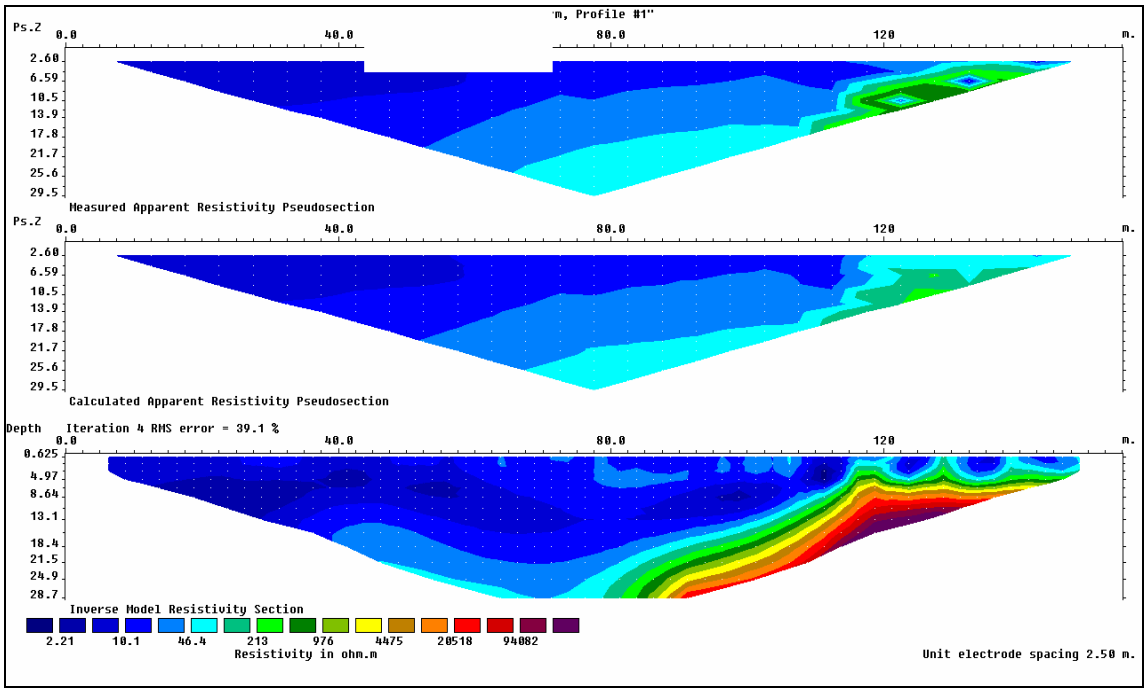


Şekil 5.23. Karaman-Ermenek bölgesinde bulunan mermer sahası.

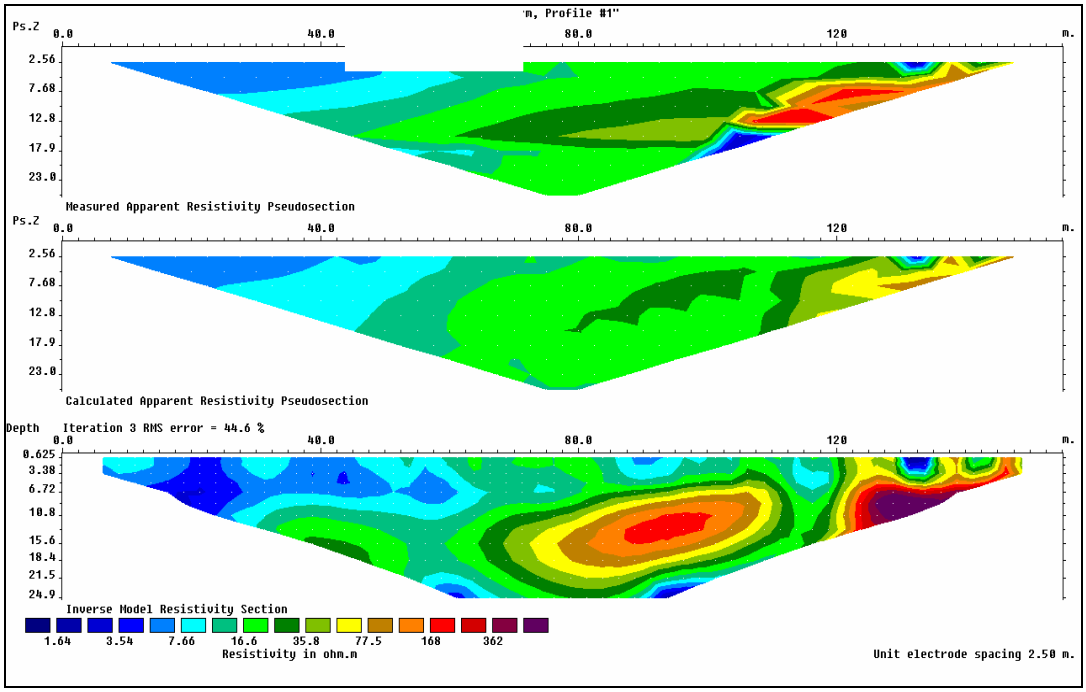
Bölgede yapılan ilk elektriksel yerdirenci ölçüm hattı boyunca Schlumberger, Wenner alpha, Combine pole–dipole ve Pole–pole yöntemleri uygulanmıştır. Her bir yöntemin etkin olduğu (gösterdiği) derinlik ve elektrot okuma sıralaması birbirinden farklıdır. İlk ölçüm hattına ait Schlumberger elektrot dizilimi elektriksel yerdirenci dağılım grafiği Şekil 5.24'de görülmektedir. Bu yöntemle inceleme yapılan sahada yüzeydeki mostralar incelenerek değerlendirilmiş ve orman toprağı üstüne serilen ölçüm hattının altında bulunan mermer tabakasının sınırları tespit edilmiştir.

Elde edilen ilk sonuç Schlumberger elektrot dizilimi sonucudur. Şekil 5.24'de gösterilen yerdirenci dağılımında görüldüğü gibi, ölçüm hattının başlangıçtan itibaren incelenen yüzeyin altının direnci düşüktür (mavi renkli alan). Bu zonun kil içerikli olduğu ve nispeten nemli olduğu sonucuna, diğer araştırmacıların bulduğu farklı kil direnci değerleri incelenerek karar verilmiştir. Bu hat boyunca mermer tabakası sınırı kırmızı renge geçişte gösterilen ve yerdirenci 4000 ohm.m'den fazla olan bölgelerdir. Bu zon hattın başlangıcından 120 m ileride yüzeye en yakın (5 metre derinlikte) yerdedir. Mermer bu noktadan hat başlangıcına doğru dalışa geçmekte, hattın başlangıcına 80 m uzaklıkta 26 m derinliğe ulaşmaktadır. Mermer sahası incelendiği zaman bu sonuçla uyumlu jeolojik bir yapıyla karşılaşılmıştır.

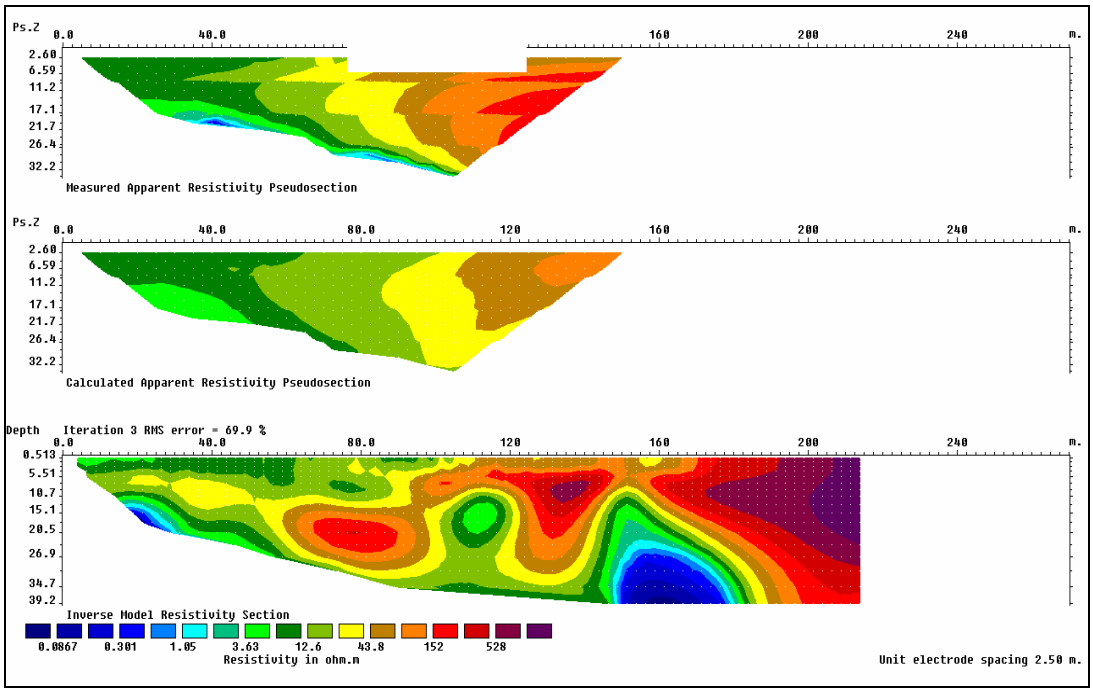
Aynı hat boyunca yapılan ikinci okuma Wenner-alpha yöntemi kullanılarak yapılmıştır Şekil 5.25. Bu yöntemde yeryüzüne yakın derinlik biraz daha ayrıntılı olarak yerdirenci farklılıklarına ayrılır. Yüzeye yakın yerlerdeki farklı direnç zonları bu elektrot diziliminde daha iyi ortaya çıkmaktadır. Bu ölçümde Schlumberger ölçümümde olduğu gibi, hattın başlangıcına yakın bölgelerde yerdirenci düşük çıkarken, hattın sona doğru direncin öbeklenerek yükseldiği gözlenmektedir. Hattın sonundaki mermer yapısının içinde yerdirenci farklılığı olduğu görülebilmektedir. Bu mermer kütlesinin homojenliği konusunda şüphelerin oluşmasına neden olmuştur. Bu şüpheden dolayı hat yerinden sökülmeden, aynı hat üzerinde combine pole–dipole ölçüm sistemiyle de ölçüm alınmıştır. Bu elektrot diziliminde çok sayıda okuma alındığı için ölçümler daha detaylı grafik halinde sunulabilmektedir. Bu sistemin dezavantajı ölçümün çok uzun sürmesidir. Hat uzunluğu 200 metre olan bir uygulamada toplam ölçüm zamanı bu sistem için 5 saati bulabilmektedir. Şekil 5.26 combine yöntemin sonucunu göstermektedir. Bu sonuç grafiğinde de görüldüğü gibi mermer kütlesinin sınırları daha önce belirtildiği gibi ölçüm hattının başlangıcına göre 120. metrede yüzeye yakın duruma gelmekte ve buradan başlangıç tarafa doğru dalışa geçmektedir. Mermer kütlesinin iç yapısında direnç değişim değerleri bulunduğu için ölçümlerde ortaya çıkan bu mermer kütlesinin zayıflık zonları içeren, farklı kısımlardan oluşmuş bir mermer olarak tanımlaması yapılmıştır.



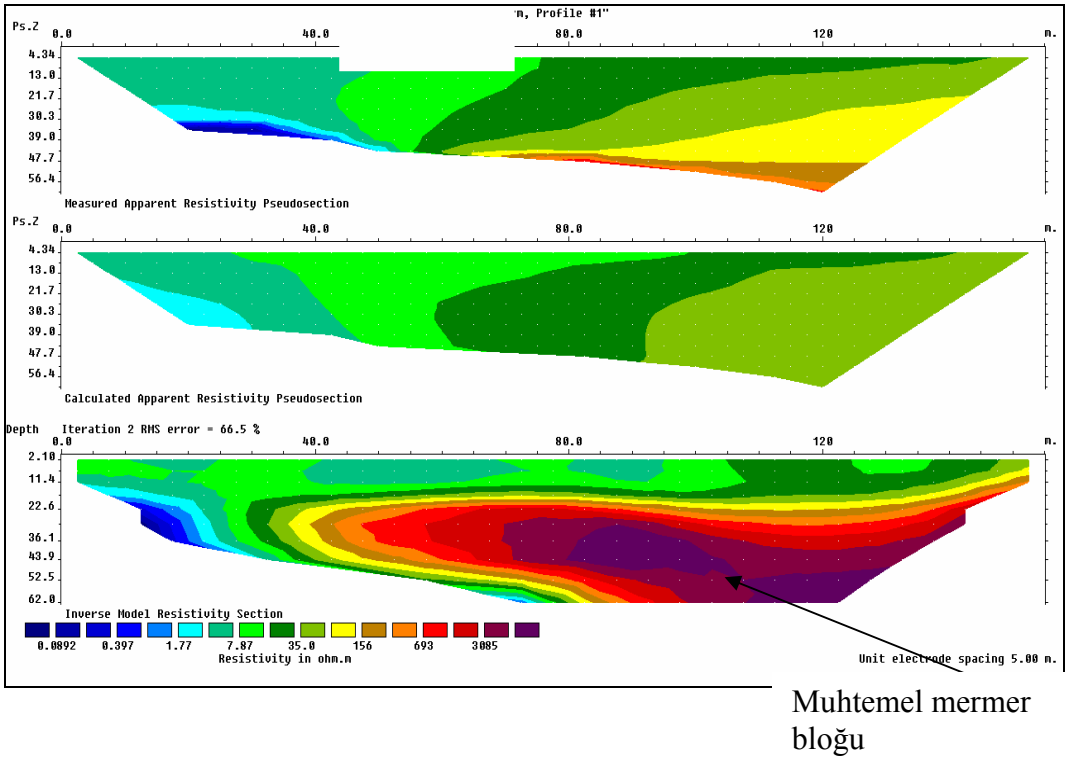
Şekil 5.24. Mermer sahasındaki 1.ölçüm hattından Schlumberger yöntemi ile elde edilen yerdirenci grafiği.



Şekil 5.25. Mermer sahasındaki 1.ölçüm hattından Wenner-alpha yöntemi ile elde edilen yerdirenci grafiği.



Şekil 5.26. Mermer sahasındaki 1.ölçüm hattından Combine Pole-dipole yöntemi ile elde edilen yerdirenci grafiği.

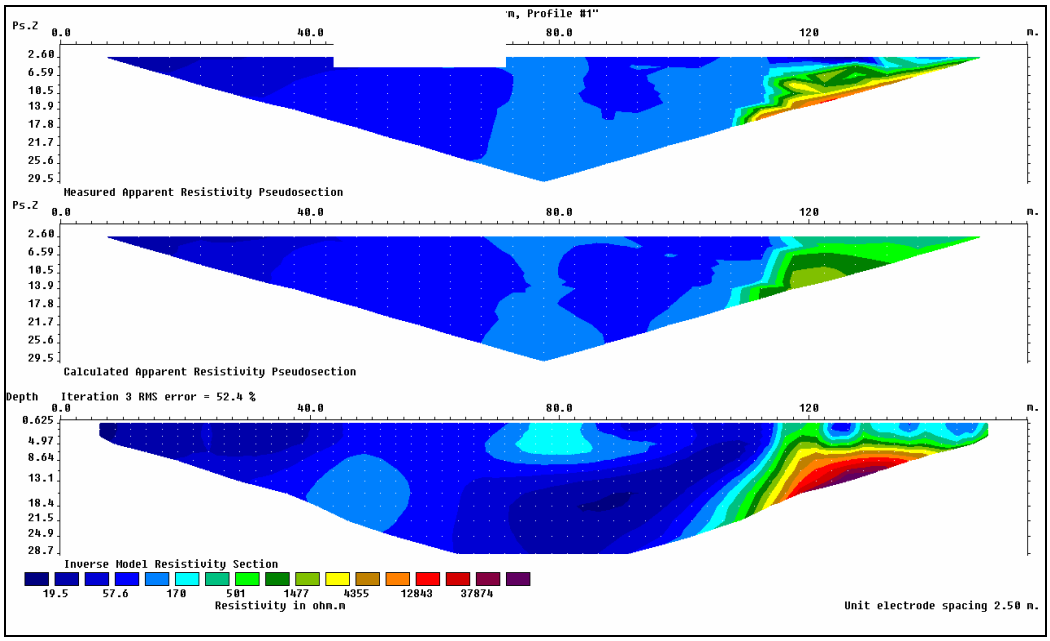


Muhtemel mermer bloğu

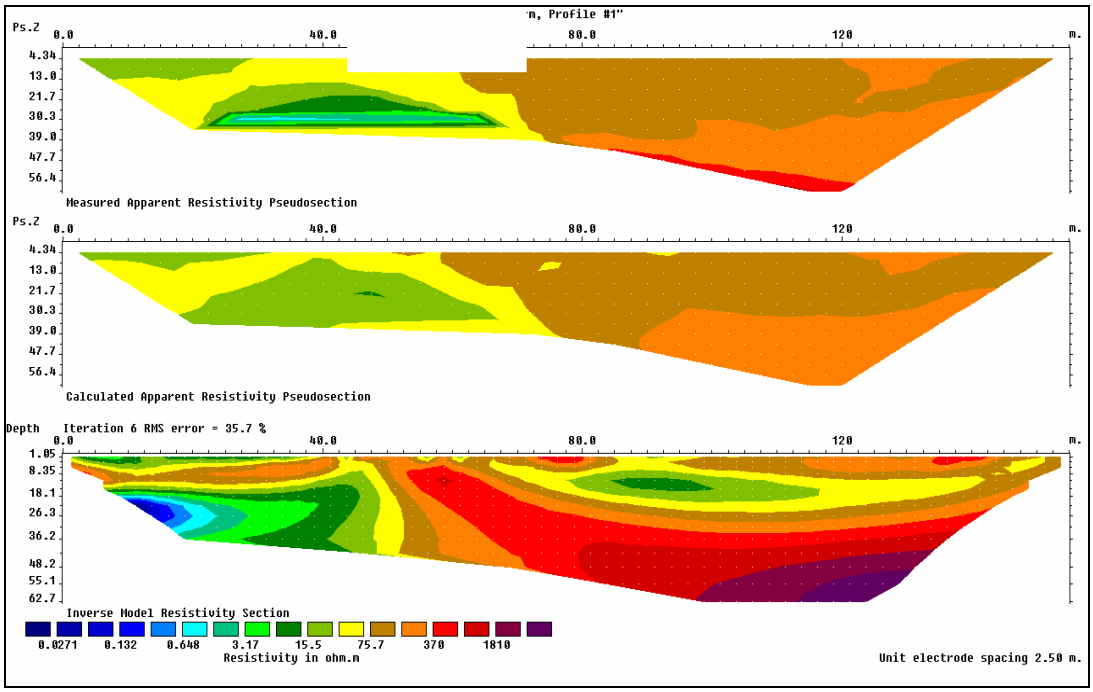
Şekil 5.27. Mermer sahasındaki 1.ölçüm hattından Pole-pole yöntemi ile elde edilen yerdirenci grafiği.

Yeryüzüne yakın bölgeleri incelenen hat-1'in altında, daha derinde ne olabileceği sorusunun yanıtı, aynı hat üzerinde yapılan pole–pole elektrot dizilimiyle yapılan ölçümlerden alınmıştır. Bu ölçüm sonucu yaklaşık 63 m derinliğe kadar görüntü alınmasını sağlamıştır. Şekil 5.27'de verilen yerdirenci dağılım grafiğinden de görüleceği gibi ölçüm hattının sonundan başlangıç tarafa doğru uzanan bir mermer kütlesi mevcuttur. Bu kütle yüzeyde yaklaşık 23 metre derinliktedir. Bu yöntemin daha derini göstermek için yerdirencini daha homojen yaparak modelleme yaptığı unutulmadan grafik incelenirse mermer kütlesinin genel sınırlarının hat-1 altında nasıl olduğu görülecektir.

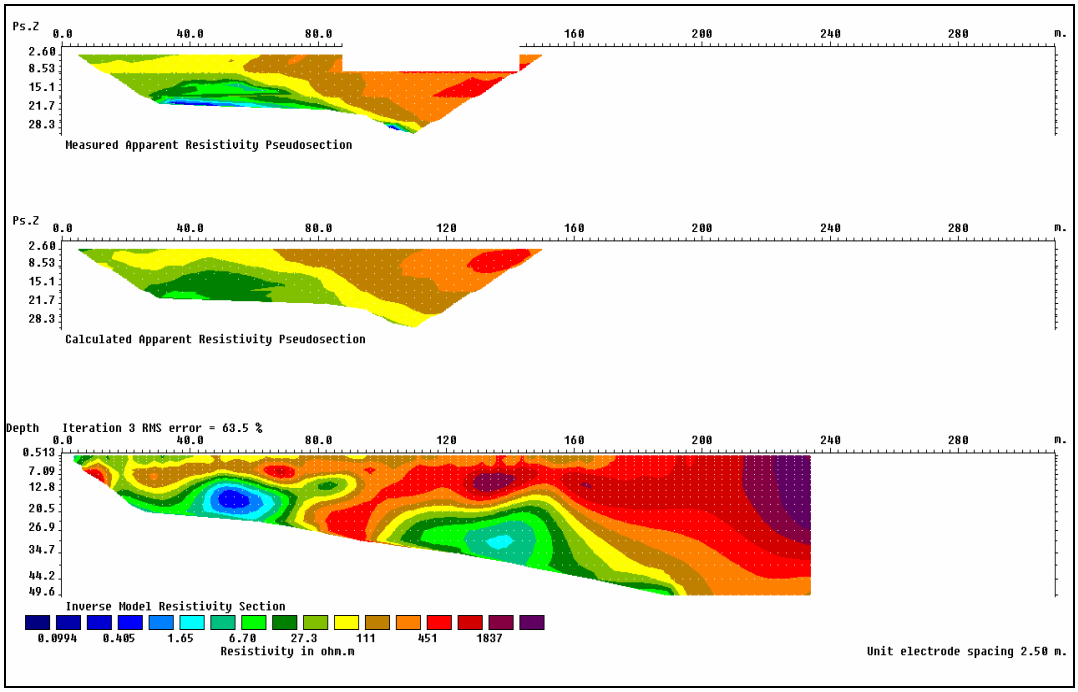
Aynı araştırma bölgesinde yapılan ikinci ölçüm hattında (hat-2) birinci hattan farklı olarak wenner alpha yöntemi kullanılmamıştır. Bu ölçüm hattından elde edilen elektriksel yerdirenci grafikleri Şekil 5.28, 5.29, ve 5.30 da verildiği gibidir. Hat-2'de yapılan Schlumberger elektrot dizilimi okumalarının sonuçları Şekil 5.28'de verilmiştir. Bu şekil incelendiğinde, ölçüm hattı başlangıcında bulunan kayaç formasyonları, hattın sonuna doğru bulunan formasyonlara göre daha düşük dirence sahiptir. Daha derini görüntülemek için yapılan pole pole dizilimli ölçümlerin sonucu Şekil 5.29'da verilmiştir. Bu grafik hat-2'nin 50. metresinden sonra yerdirencinin arttığını göstermektedir. Bunun anlamı hat-2 altında yüzeye yakın yerleri killi katmanlarla kaplı bir mermer kütlesinin mevcut olduğudur.



Şekil 5.28. Mermer sahasındaki 2.ölçüm hattından Schlumberger yöntemi ile elde edilen yerdirenci grafiği.



Şekil 5.29. Mermer sahasındaki 2.ölçüm hattından Pole-pole yöntemi ile elde edilen yerdirenci grafiği.



Şekil 5.30. Mermer sahasındaki 2.ölçüm hattından komine Pole Dipole yöntemi ile elde edilen yerdirenci grafiği.

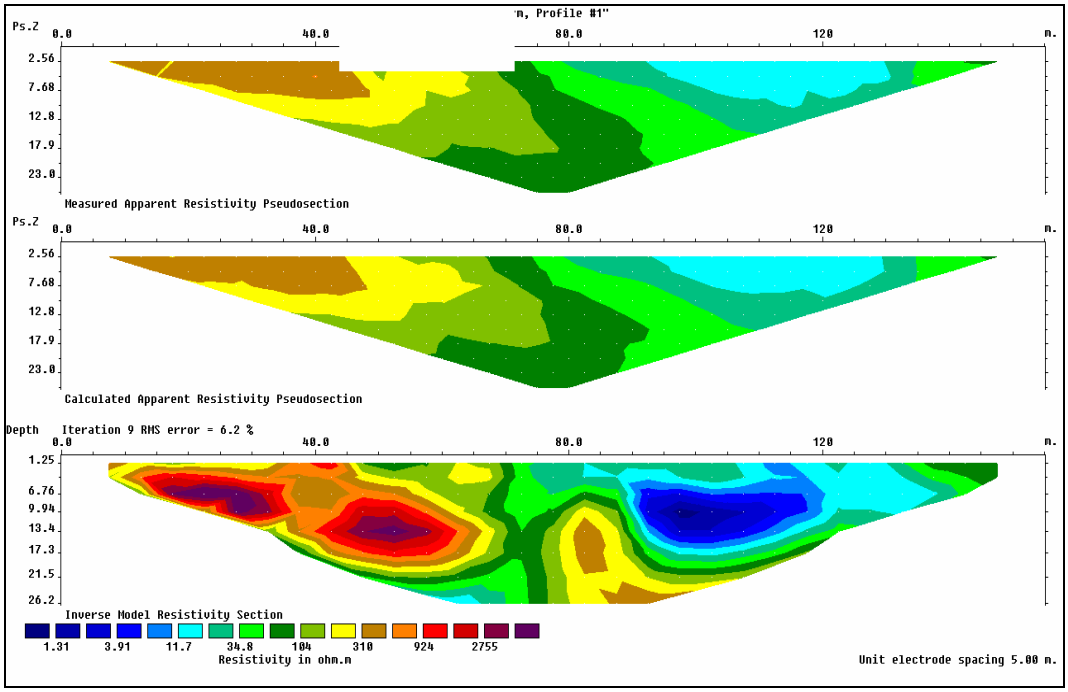
Elektriksel direncin hat-2'nin sonuna doğru derinliklere (60 metre) daldıkça artış gösterdiği görülebilmektedir. Bu sonucun direnç dağılımını detaylandırmadan sunan pole-pole diziliminden geldiği unutulmamalıdır. Şekil 5.30'daki grafik hat-2 üzerinde yapılan combine pole–dipole yerdirenci ölçüm sonucuna aittir. Bu okumadan elde edilen sonuç; hat altındaki mermerin iç yapısında farklı direnç değerlerine sahip bölgelerin olduğudur. Bu işletmecilik açısından riskli sonuçlar doğurabilecek bir yapıdır. Bu nedenle direnci yüksek ve düşük çıkan bölgeler (derinlik kayaçlarının) sondaj yoluyla kontrol edilmesinin yararı büyüktür. Bu görüntülerden ve araştırma sahasının genel jeolojik yapısından inceleme sahasındaki mermerin oluşum bozuklukları içerdiği kararı verilmiştir.

Araştırma sahasında bir başka hatta (3. hat) elektriksel yerdirenci ölçümlerinden 4 farklı dağılım grafiği elde edilmiştir. Şekil 5.31 hat-3'de Wenner alpha yöntemi ile yapılan ölçüm sonuçlarını içermektedir. Bu grafik incelendiğinde hattın başlangıç noktasından yaklaşık olarak 60 metre uzaklığa kadar bir mermer tabakasının hat altında varlığından söz etmek mümkündür. Bu mermer 22 metre derinliğe kadar uzanmakla beraber içindeki direnç öbeklenmesiyle dikkat çekmektedir. Bu sebepten kaliteli bir mermer oluşumundan bahsetmek mümkün değildir. Şekil 5.32 aynı hattın Schlumberger elektrot dizilimiyle elde edilen verilerden çizilmiş grafiğini içermektedir. Bu grafik aynı hat üzerinden elde edilen Wenner alpha grafiğiyle neredeyse bire bir uyumlu bir görüntü sergilemektedir.

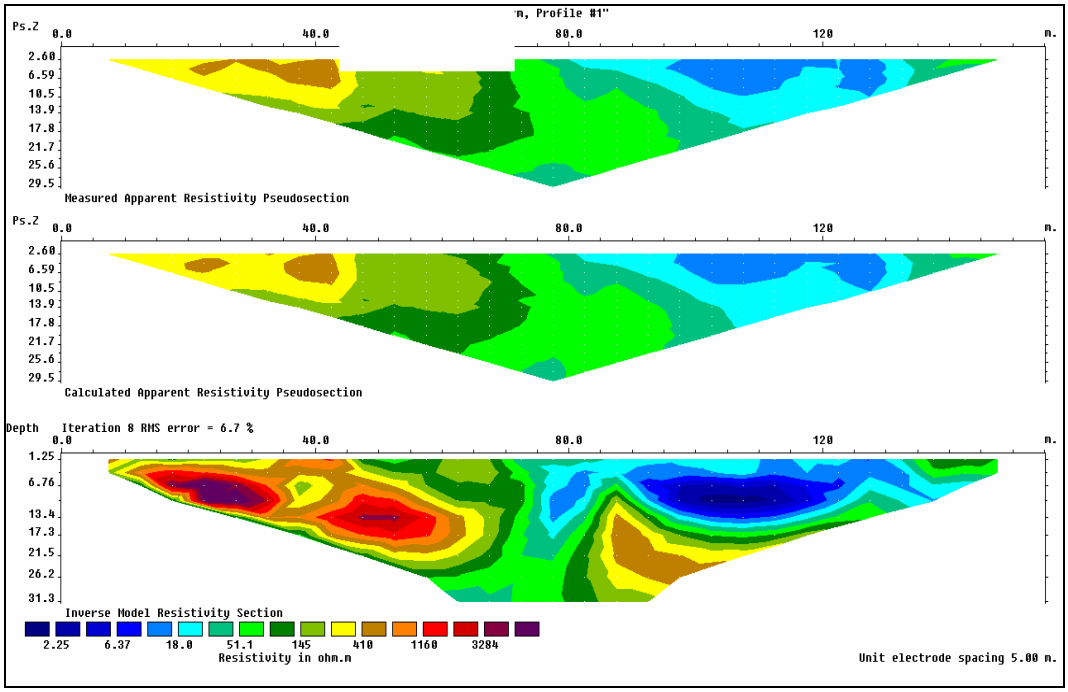
Şekil 5.33 ise combine pole–dipole yöntemiyle elde edile yerdirenci grafiğini göstermektedir. Bu grafikte görüleceği gibi Wenner-alpha ve Schlumberger yöntemlerinde gözlenen dirençli yapılaşmanın, hat başlangıç noktasından 80 metre uzaklık ve 20 metre derinlikten sonra daha yüksek yerdirenci vererek hattın sonuna doğru daha derinlere doğru gittiği gözlenmiştir.

Şekil 5.34 hat-3 altında Pole–pole yönteminin sağladığı elektriksel yerdirenci dağılım grafiğini göstermektedir. Bu grafik incelendiğinde yüzeyden yaklaşık olarak 20 metre derinlikten sonra dirençli bir kütlenin ölçüm hattı altını kuşattığı görülecektir. Pole-pole yöntemi bu hat altında 53 metre derinliğe kadar görüntü sağlamıştır. Bu yöntemde yerdirenci yüksek çıkan zonun diğer yöntemlerde direnç öbeklenmeleriyle ölçülmüş olması düşündürücüdür. Yerdirenci değerlerinin çok yüksek olmaması, karbonat içerikli bir mermer sahası için olumlu bir sonuç gibi

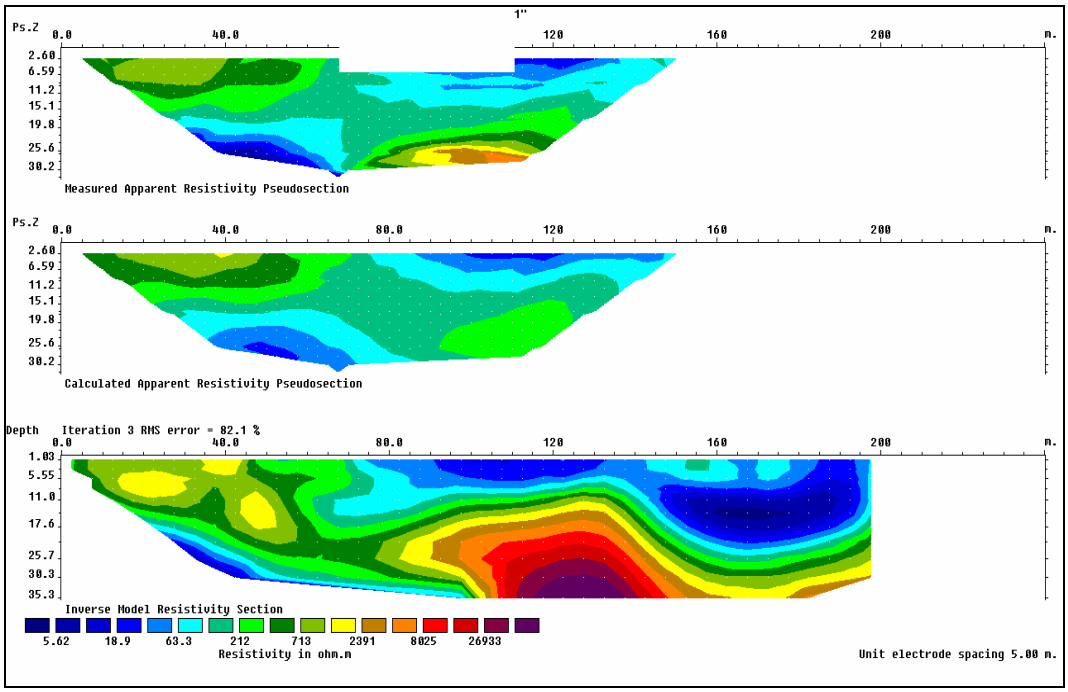
görülmemektedir. Mermer kütlesinin varlığı ve sınırları belirlenmesine karşın, mermer kalitesi konusunda şüphelerin oluştuğu kesindir.



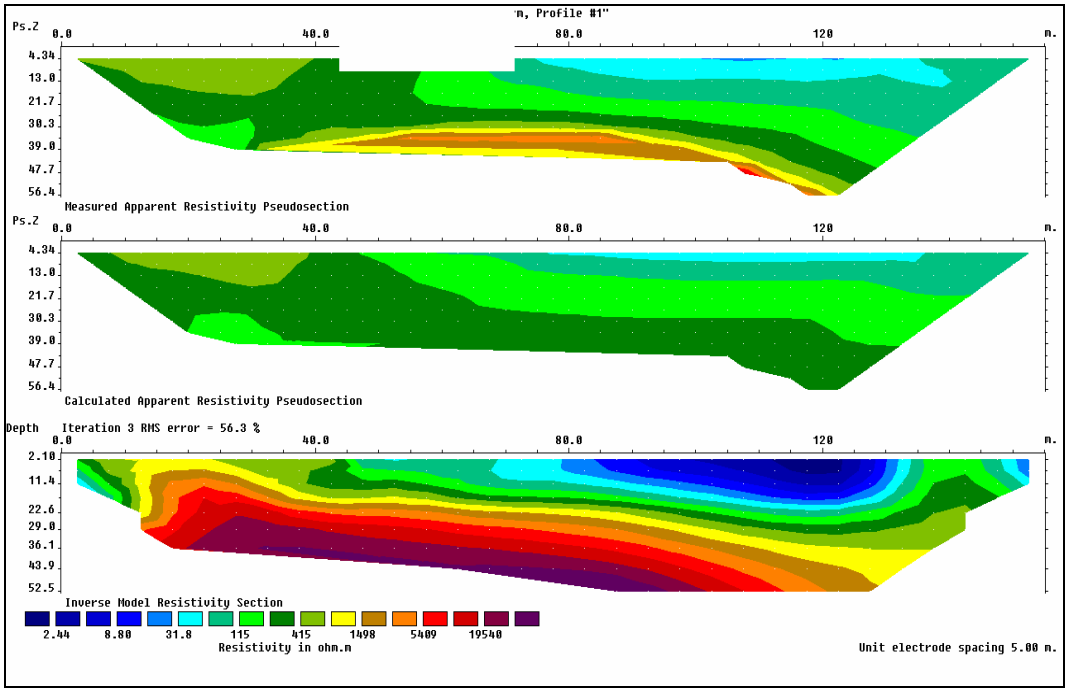
Şekil 5.31. Mermer sahasındaki 3.ölçüm hattından Wenner Alpha yöntemi ile elde edilen yerdirenci grafiği.



Şekil 5.32. Mermer sahasındaki 3.ölçüm hattından Schlumberger yöntemi ile elde edilen yerdirenci grafiği.



Şekil 5.33. Mermer sahasındaki 3.ölçüm hattından combine pole-dipole yöntemi ile elde edilen yerdirenci grafiği.



Şekil 5.34. Mermer sahasındaki 3.ölçüm hattından Pole-dipole yöntemi ile elde edilen yerdirenci grafiği.

5.5. Konya-Yükselen Traverten Sahası İncelemesi

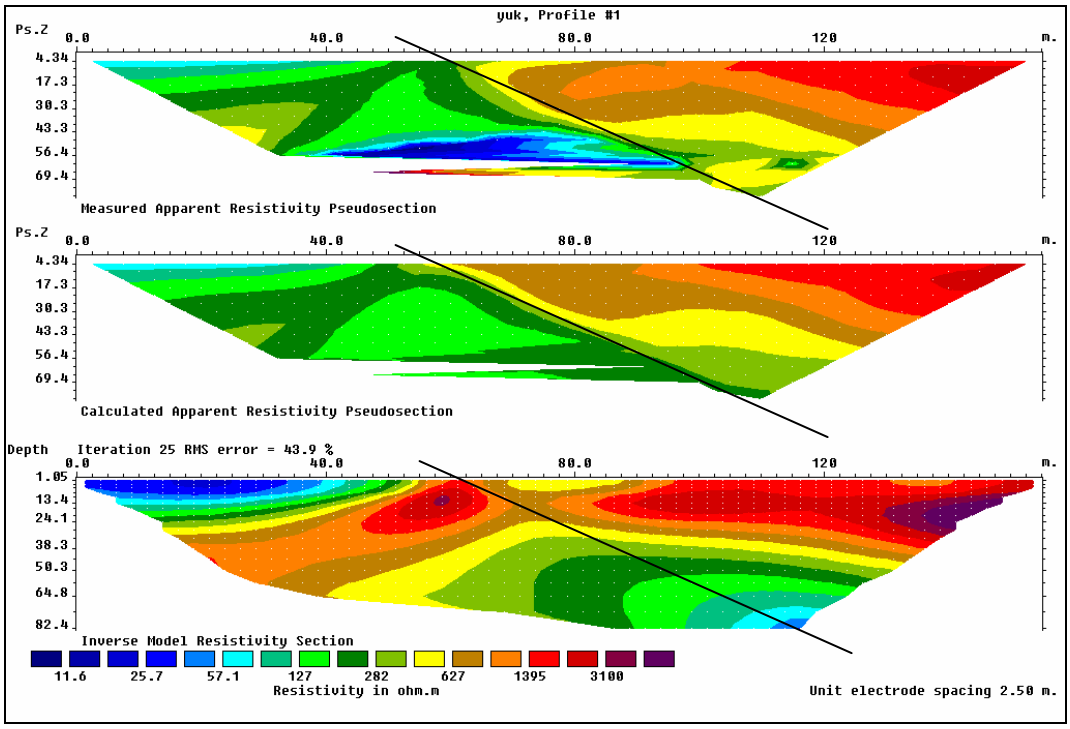
Açık ocak işletmecilik şartlarında fakat mermer işletmeciliği bazında çalıştırılması planlanan bir traverten sahası incelemesi de Konya'nın Yükselen Kasabasında yapılmıştır. Bu sahada rezerv boyutları itibarıyla gözle görülebilecek detaylara sahiptir. Bu nedenle bu sahanın incelemesi sahanın rezerv sınırlarının tayinine yönelik yapılmamıştır. Bu sahada inceleme traverten sahası içinde, yerdirenci farklılığı olup olmadığının belirlenmesidir. Daha sonra bu farklılaşmanın nedeni sondaj yapılarak araştırılmıştır. Böylece elektriksel yerdirenci ölçümlerinin mermer-traverten ocaklarında kalite bazında maden mühendisinin vereceği kararları etkileyecek seviyede bilgiler sunup sunamayacağı incelenmiştir.

Ölçüm yapılan arazi normal (15^o-20^o) eğimli bir yapıya sahiptir. Traverten kaya kütlesinin K, KD ve KB'sı derin (70-80 m) bir fayla kesildiği için bu kısımdan traverten kayaçların kalınlığı görülebilmektedir. Kütlenin G ve GB tarafında kuru dere yatağı boyunca küçük bir sel dere düzlüğü bulunmaktadır. Traverten tabakasının görülen mostralarında ince tabakalı olduğu görülmekle beraber kütlenin orta yerinde veya daha derin lokasyonlarda tabaka kalınlıklarının kalın olup olmadığının öğrenilmesi bu lokasyona yatırım yapmayı düşünen bir madenci için önemli noktalardır. Bu amaçla 2000 x 1000 metre boyutundaki bir sahanın traverten ocağının ağız olarak açılabilecek noktası civarında, birbirine dik iki hat boyunca elektriksel yerdirenci ölçümleri alınmıştır.

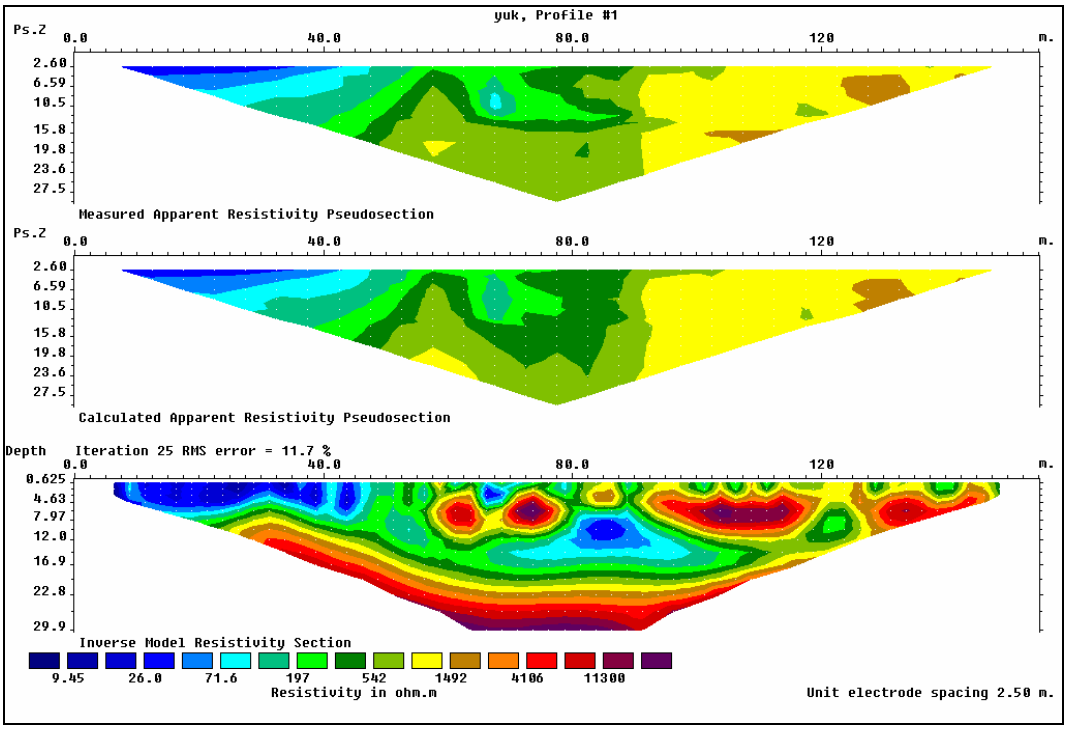
Bu ölçümlerden elde edilen grafikler Şekil 5.35-5.40 arasında verilmiştir. Ölçüm yapılan 1.hat traverten sahasında G-K doğrultulu olarak yapılmıştır. Sahadaki 2.hat da GB-KD doğrultusundadır. Ölçüm lokasyonu olarak seçilen bölge traverten sahasının, traverten beklentisi en çok olan lokasyonudur. Bu ölçüm hatları altında traverten kütlelerinin belirlenmesi veya belirlenmemesi maden mühendisi olarak sahanın işletmeye alınıp alınmaması konusunda verilecek kararı doğrudan etkileyecektir.

5.5.1. Konya-Yükselen traverten sahasında yapılan yerdirenci ölçüm sonuçları

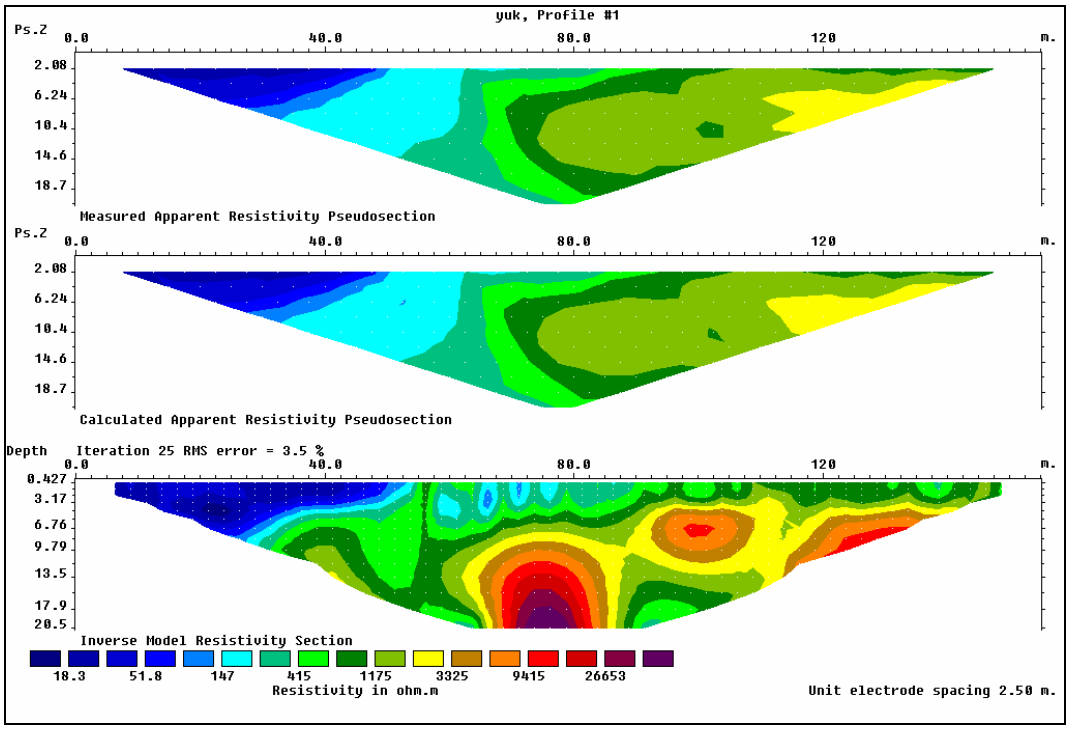
Traverten sahasında yapılan ölçümlerde, sahanı derinlemesine incelemesini yapmak için Pole-pole elektrot diziliminden faydalanılırken, traverten kütlesinin durumunu belgelemek için Schlumberger ve Wenner-beta elektrot dizilimi kullanılmıştır. Arazide uygulanan birinci hattaki (G-K doğrultulu) ölçümlerden elde edilen Pole-pole dizilimi sonuçları Şekil 5.35'de verilmiştir. Bu grafik ilgilenilen sahadaki direnci kaya kütlesinin 64 m derinliğine kadar tabakalanmıştır. Kütlenin hat-1 başlangıç noktasından 50 m sonra yüzeylendiği açıkça görülmektedir.



Şekil 5.35. Traverten sahasında hat-1 için ölçülen yerdirenci sonuçları (Pole-pole dizilimi sonuçları).



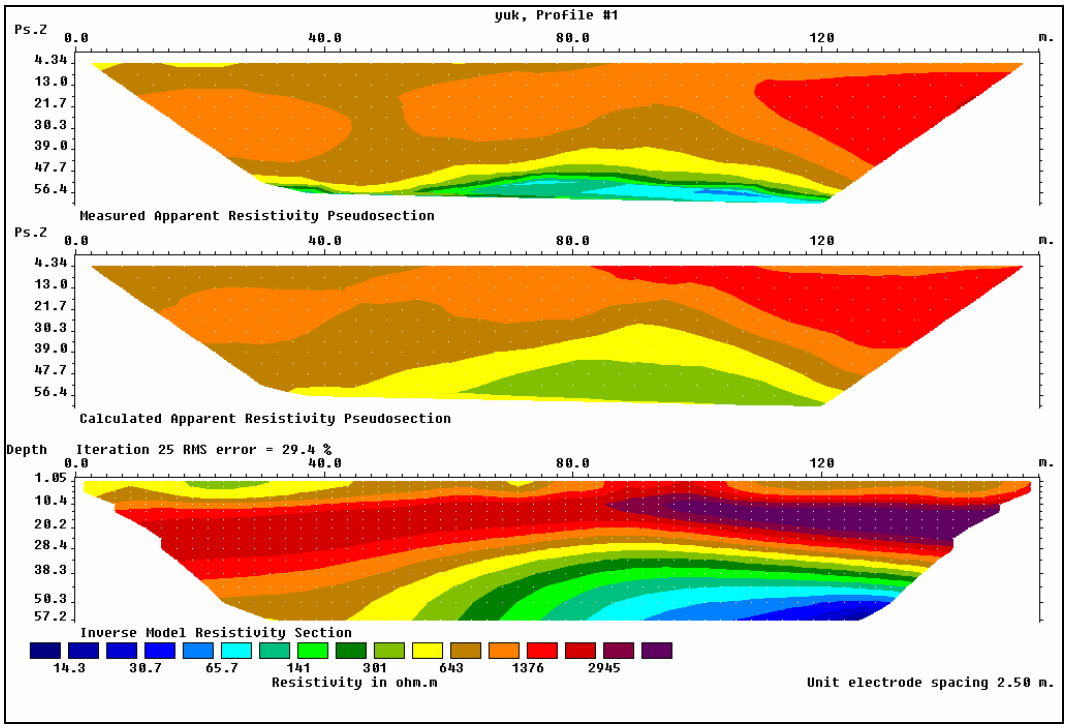
Şekil 5.36. Traverten sahasında hat-1 için ölçülen yerdirenci sonuçları (Schlumberger dizilimi sonuçları).



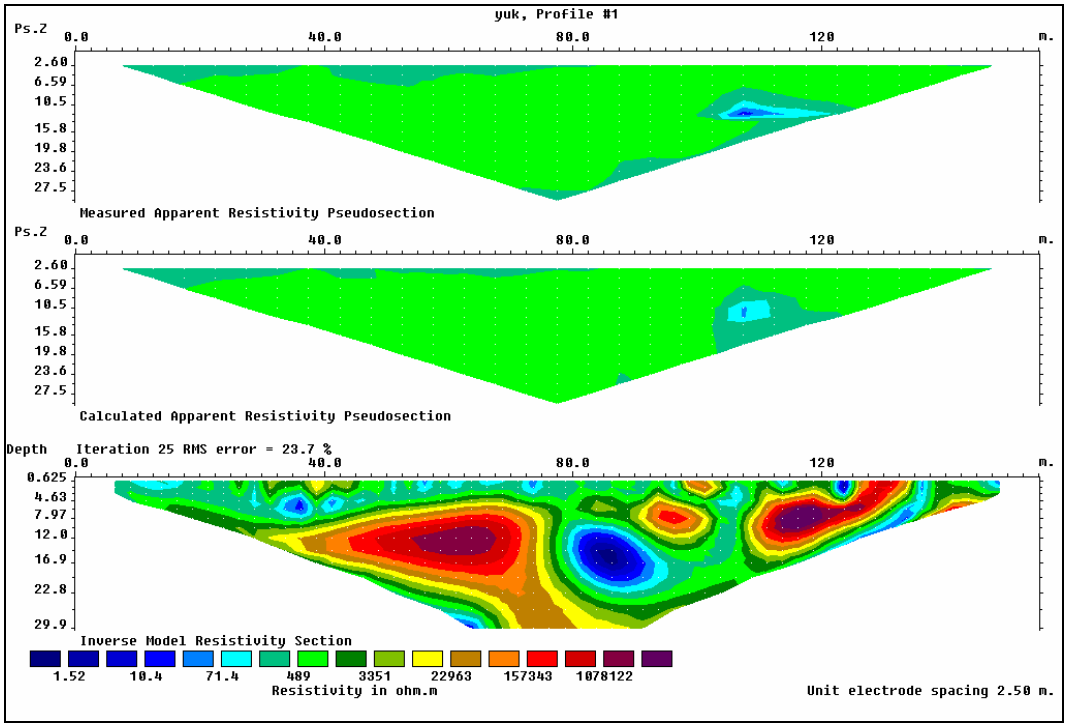
Şekil 5.37. Traverten sahasında hat-1 için ölçülen yerdirenci sonuçları (wenner-beta dizilimi sonuçları).

Traverten olarak belirlenen bu kaya kütlesinin içindeki direnç değerlerinin farklı öbekleşme göstermesi saha hakkındaki karar vermeden önce dikkatli olunması gerektiğini göstermektedir. Şekil 5.35 üzerinde gösterilen sınır yüzeyi incelenmesi gereken önemli tasarım faktörü olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu sınırın yüzeylendiği yeryüzü noktalarında herhangi bir fay belirtisi bulunmadığı için, bu sınır yüzeyinin travertenin yan kayaçla temas yüzeyini oluşturduğu düşünülmüştür. Şekil 5.36 ve 5.37'de verilen grafiklerde de Pole-pole grafiğinde fark edilen traverten kütlesi gözlenmiştir. Gözlemlenen traverten kaya kütlesinin içindeki direnç değişiminin çok fazla olması traverten içindeki oluşumların düzensiz olma olasılığını akla getirmektedir.

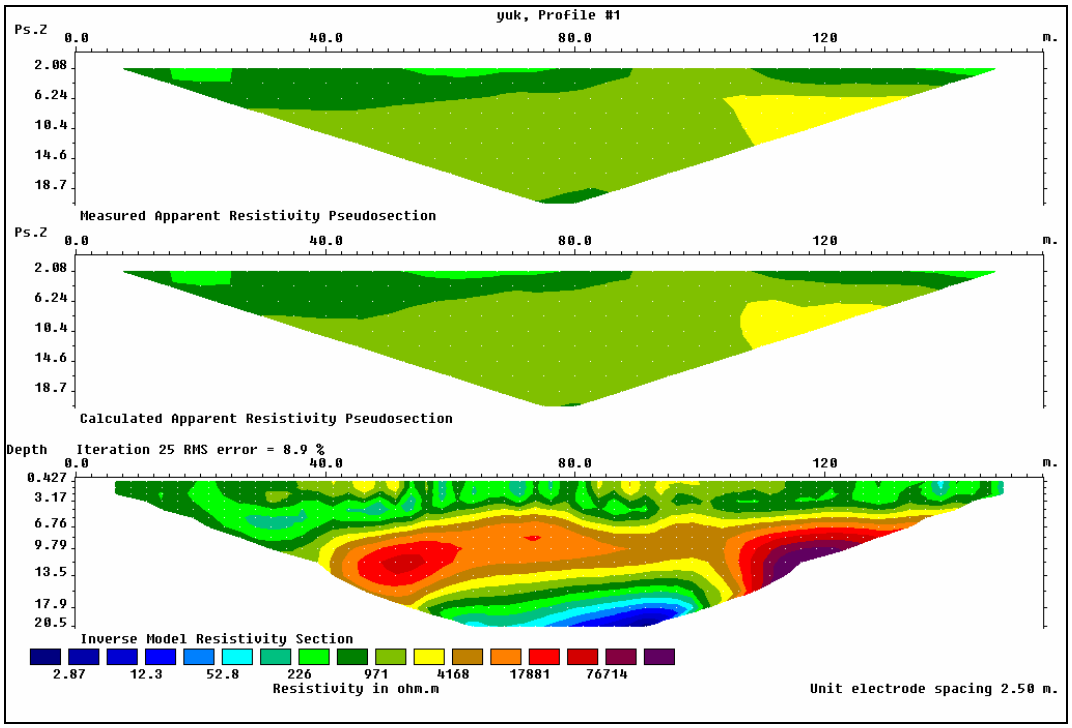
Bu sahada ölçüm yapılan 2. hattan elde edilen yerdirenci dağılımları Şekil 5.38 ile 5.40 arasında verilmektedir. Bu ölçüm hattı 1. ölçüm hattını orta noktasından kesen bir ölçüm hattı olmuştur. Ölçüm hattından elde edilen pole-pole elektrot dizilimi sonucu Şekil 5.38'de verilmektedir. Bu şekilden traverten kütlesinin 56 m derinliğe kadar tabakalı olarak sahanın altına yerleştiği gözlenebilmektedir. Şekil 5.39 ve 5.40 de gözlenen yerdirenci değişimleri ise traverten tabakasının çok fazla karmaşık bir şekilde farklı direnç zonlarına bölündüğünü göstermektedir. Schlumberger diziliminde bu zonlar arası yerdirenci farklılığı 1.0 ohm.m değerini geçmiştir. Bu değerlerden yola çıkılarak ilgili traverten sahası hakkında şu bilgiler söylenebilir; Bu sahada gözlemlenen traverten sahası 60-70 metre derinliğe kadar yayılmaktadır. Bu bilgi sahanın kuzeyinde görülen derin faydan görülen traverten kalınlığıyla uyuşmaktadır. Traverten sahasının altında Schlumberger ve Wenner-beta elektrot dizilimleriyle yapılan ölçümlerden elde edilen öbeklenmiş direnç zonlarının fazlalığı traverten kalite olarak çok fazla farklılık gösterdiğiyle ilişkilendirilmiştir. Bu traverten içinde bozuk zonların fazlalığı sahanın işletilebilirliğini azaltmaktadır. Bu sahada daha sonra yapılan iki sondaj traverten kütlesinin varlığını doğrularken, travertenin karot veremeyecek kadar bozuk zonların olduğu ortaya çıkmıştır.



Şekil 5.38. Traverten sahasında hat-2 için ölçülen yerdirenci sonuçları (Pole-pole dizilimi sonuçları).



Şekil 5.39. Traverten sahasında hat-2 için ölçülen yerdirenci sonuçları (Schlumberger dizilimi sonuçları).



Şekil 5.40. Traverten sahasında hat-2 için ölçülen yerdirenci sonuçları (wenner-beta dizilimi sonuçları).

Sonuçta iki adet 25'er metre derinliğindeki sondajla örneklenen saha, elde edilen yerdirenci grafikleriyle de birleştirilerek değerlendirilmiş ve sahanın işletmeye alınmamasına karar verilmiştir. Yerdirenci en fazla gözlenen lokasyondan ve göreceli olarak yerdirenci daha az olan lokasyonlardan yapılan iki sondaj yerinde de düşük direnci bölgelerin kırılmış travertenler ve kil zonları olduğu ortaya çıkarken dirençli zonlarında içindeki karbonat oranı fazla, traverten tabakaları olduğu görülmüştür. Yapılan sondajlarda dirençli zonların ince tabakalı (2-20 cm) travertenlerden oluşması, üzerinde araştırma yapılan bu sahanın işletilemeyeceği düşüncesi oluşmuştur.

5.6. Konya Çimento Fabrikası Kireçtaşı Ocağında, Patlatma Etkisinin Yerdirenci Değişimleriyle İzlenmesi

Elektriksel yerdirenci ölçümlerinin ölçüm hattı altındaki kayaç direncine göre grafikler üretmesi, açık işletmelerde yapılan kontrollü patlatmaların, patlatma arkasındaki kayaç içinde oluşturduğu etkinin ortaya konması için bir araç olarak kullanılabileceğini ortaya çıkarmıştır. Bu amaçla daha önce önarazi yerdirenci

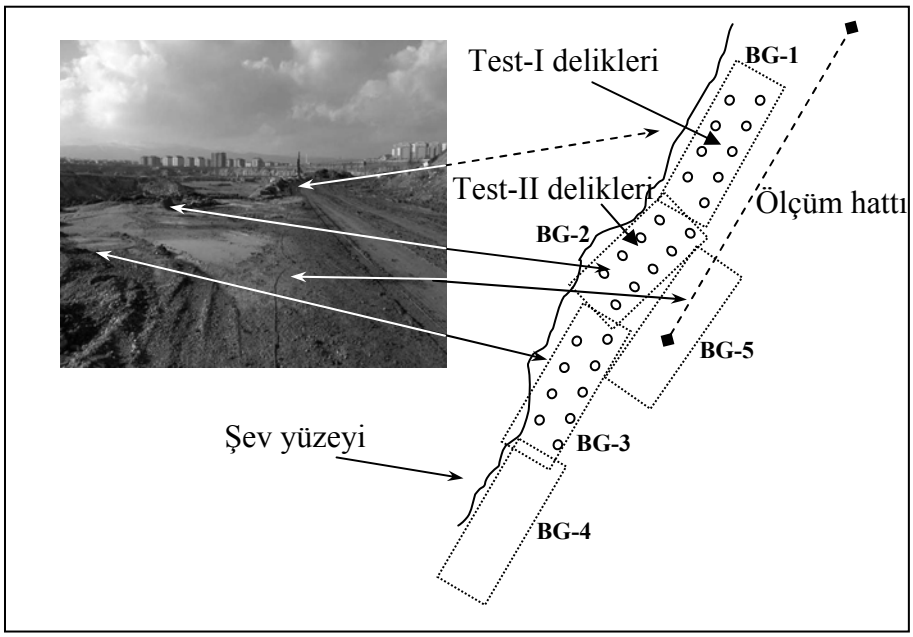
ölçümlerinin (Bölüm 4.3.5) yapıldığı, Konya Çimento Fabrikası Kireçtaşı ocağında patlatmalar takibe alınarak, yerdirenci ölçümleri için uygun basamak durumu ortaya çıktığı bir pozisyonda yerdirenci ölçümleriyle patlatma etkileri incelemeye alınmıştır. İlgilenilen kireçtaşı ocağında bulunan 0.5 ila 1.5 metre arasında kalınlıkları bulunan kireçtaşı tabakaları jeolojik zaman içinde düşey olarak kırılmış ve bazı kırık boşluklarının içine kırmızı kil dolmuştur. Bu ocağın tabanı geniş ve düz bir alan olarak (genişlik WE doğrultusunda 190 m) hazırlanmaktadır. Bu ocak tabanından itibaren ocağın kuzey bölgelerinde, her biri 13 m yüksekliğinde olan 3 basamak bulunmaktadır. Benzer basamaklardan, ocağın güney yönünde 2, ocağın doğusunda ise (Şekil 5.41) 1 basamak bulunmaktadır (Gökay, vd. 2009).



Şekil 5.41. Konya Çimento Fabrikası Kireçtaşı Ocağının Doğusunda bulunan basamakta patlatma deliği hazırlıkları.

Bu işletmede Çimento Fabrikasının Kireçtaşı ihtiyacını karşılamak için her hafta iki patlatma yapılarak kireçtaşı üretimi sürdürülmektedir. Ocakta her patlatma atımında 8 veya 10 delik patlatılmaktadır. Patlatma delikleri 89 mm çapında 13 derinliğinde delinmektedirler. Basamak şevi 90^{o} eğimli olduğu için deliklerde dik (90^{o}) olarak açılmaktadır. Patlatma sırasında her delik ayrı zamsan diliminde patlatılmaktadır. Bir başka deyişle deliklerin tamamı veya bir grubunun aynı anda patlamasına izin verilmemektedir. Kontrollü patlatma tekniği kullanılan kireçtaşı ocağında delikler arasında 500 milisaniyelik özel gecikme kapsülleri kullanılmaktadır. Her deliğe konulan 50 kg ORİCA-ANFO'yu ateşleyerek patlatmak için 500 gr jelatin dinamit kullanılmaktadır.

Patlatma işleminden sonra patlatılan deliklerin önünde bulunan kireçtaşı kütlesi parçalanarak bir aşağıdaki basamağa yığılmaktadır. Patlatma işleminin doğası gereği yakınında açık yüzeyler bulunan patlatma delikleri, patlatma sırasında ortaya çıkan şok etkisinden bu serbest yüzeyler doğrultusunda kırılarak parçalanmaktadırlar. Patlatmalarda serbest yüzeyler patlatmaların verimini etkileyen en önemli unsurlardır. Bu tez kapsamında bu kireçtaşında yapılan yerdirenci araştırması, Konya Çimento Fabrikası, Kireçtaşı ocağında yapılan ortalama bir üretim atımından sonra, patlatılan basamağın içindeki elektriksel yerdirenci değişimlerinin elde edilmesine yöneliktir. Bu çalışma ocakta yapılan patlatmaların, patlatma deliklerinin bulunduğu hizanın arkasını ne kadar etkilediğini ortaya çıkaracaktır. Bu amacı gerçekleştirmek için ilgili ocağın doğusunda, üretim çalışmaları yapılan bir basamak örnek lokasyon olarak seçilmiştir. Bu lokasyonda planlanan BG-1 atımı için patlatma delikleri delinirken, basamak içinde patlatma deliklerinin 4 metre arkasında basamak şevine paralel bir hat boyunca yerdirenci ölçümü alınmıştır (Şekil 5.42). BG-1 koduyla değerlendirmeye alınan ve 9 delikten oluşan ocak atım hazırlıkları yukarıda özellikleri verilen patlatma deliği boyutları ve patlayıcı miktarlarıyla atıma hazır hale getirilince, her gecikme arasında patlayacak patlayıcı miktarı 50 kg ANFO+500 gr dinamit olarak ortaya çıkmaktadır. BG-1 kotlu atımda toplam harcanacak patlayıcı miktarı ise 450 kg ORİCA-ANFO ve 4.5 kg dinamit olacaktır.



Şekil 5.42. Elektriksel yerdirenci ölçümleriyle etkilerinin izlenmesi planlanan ocak atımları.

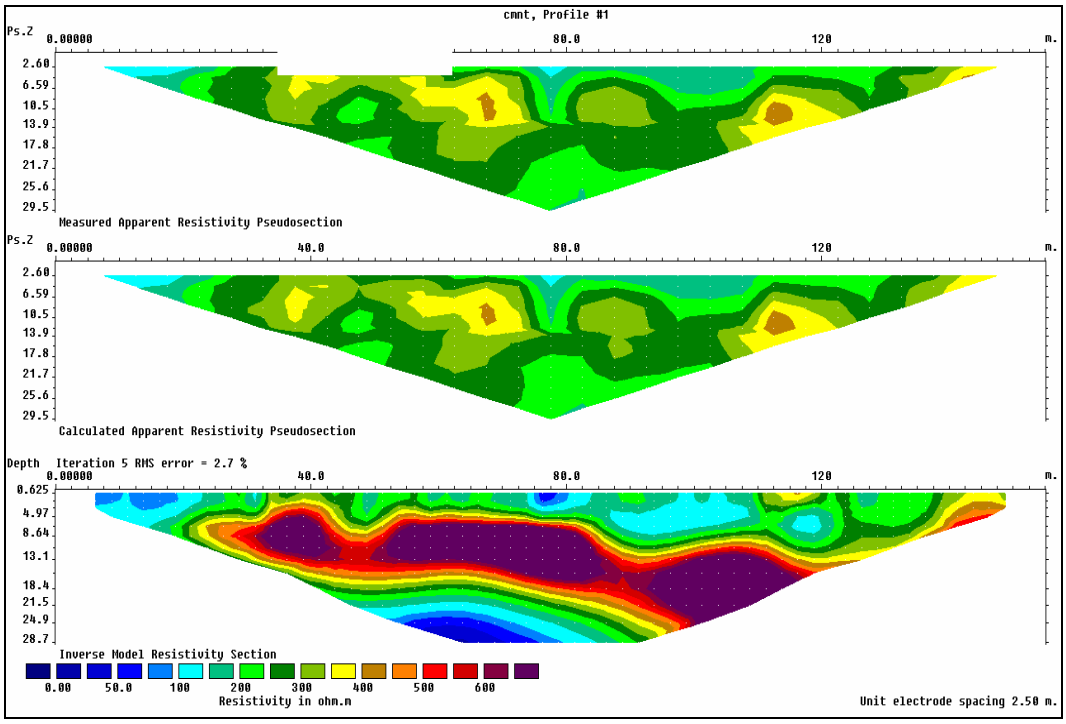
Şekil 5.42'de verilen BG-1 atım patlatma delik düzeni incelenirse, iki sıra deliğin şeşbeş düzeninde delindiği görülecektir. Şeve yakın pozisyondaki deliklerin sayısı 4, arka sıradakilerin sayısı ise 5 dir. Ocakta görev yapan maden mühendisi patlatma delikleri arası uzaklığı 3 metre olarak düzenlemiştir. Şevle birinci sıra arası ve her iki sıra arasındaki uzaklıklar da 3 er metredir. Ocakta yapılan çok sayıdaki patlatma sonucunda elde edilen bu patlatma delik paterniyle yapılacak atımda beklenen sonuç, iyi parçalanmış kireçtaşı ve seviyesi az olan patlatma kaynaklı yer sarsıntısıdır. Şehir içinde kalan bir kireçtaşı ocağı için her iki parametrenin de elde edilmesinin önemi büyüktür.

5.6.1 Konya Çimento kireçtaşı ocağında patlatma öncesi ve sonrası elde edilen yerdirenci grafikleri

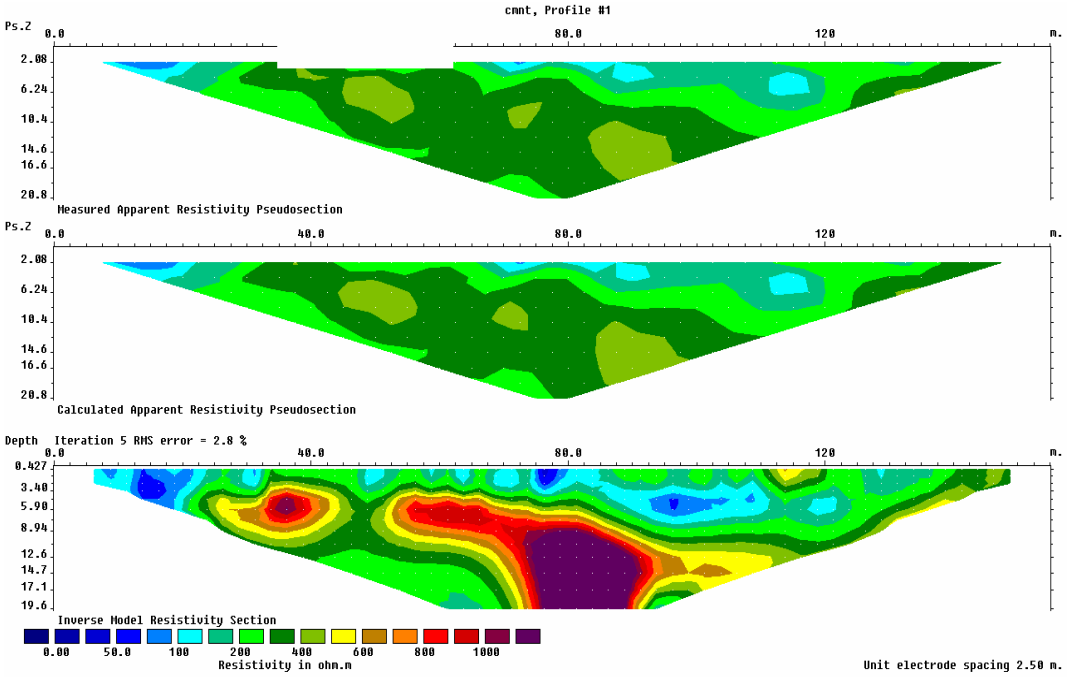
Patlatma etkilerinin araştırılmasına yönelik çalışmalar incelendiğinde, patlatmaların yol açtığı sarsıntıların ölçüldüğü ve yerel kayaç yapısına göre bu sonuçların değerlendirildiği görülecektir. Bu tez çalışmasında yerdirenci ölçümleriyle patlatmanın çevre kayaçta kalıcı olarak bıraktığı izler öğrenilmeye çalışılmıştır. Eğer patlatmanın etkisiyle patlatma hizasının arkasında kalan kayaç çatlıyorsa mutlaka direnci değişecektir. Bu direnç değişikliliğinin bulunması durumunda, direnç farklılığının patlatma kaynaklı nedenlerinin bulunması planlanmıştır.

Bu çalışmada BG-1 atım düzenlemesi patlatılmadan önce, arka sıradaki patlatma deliklerine 4 m mesafede şeve paralel olarak belirlenen hat altında elektriksel yerdirenci ölçümleri alınmıştır. Bu ölçümlerden elde edilen grafikler Şekil 5.43 ve 5.44'de gösterilmektedir. Ölçüm çalışmaları sırasında çelik elektrotların basamağa çakıldığı yerlerin değişmemesi gerekmektedir. Ölçümlerin aynı hat üzerindeki aynı çelik elektrot lokasyonlarından alınmasının önemi büyüktür. Bu çalışmada, patlatma öncesi ve sonrası yerdirenci ölçümleri yapılması planlandığı için, elektriksel rezistivite ölçümlerinin alındığı her çelik elektrotun koordinatı GPS ve çelik metre okumalarıyla belirlenerek kayıt edilmiştir. Çelik elektrot lokasyonları ayrıca özel işaretleme taşlarıyla belirlendikten sonra ölçümler yapılmıştır. Her

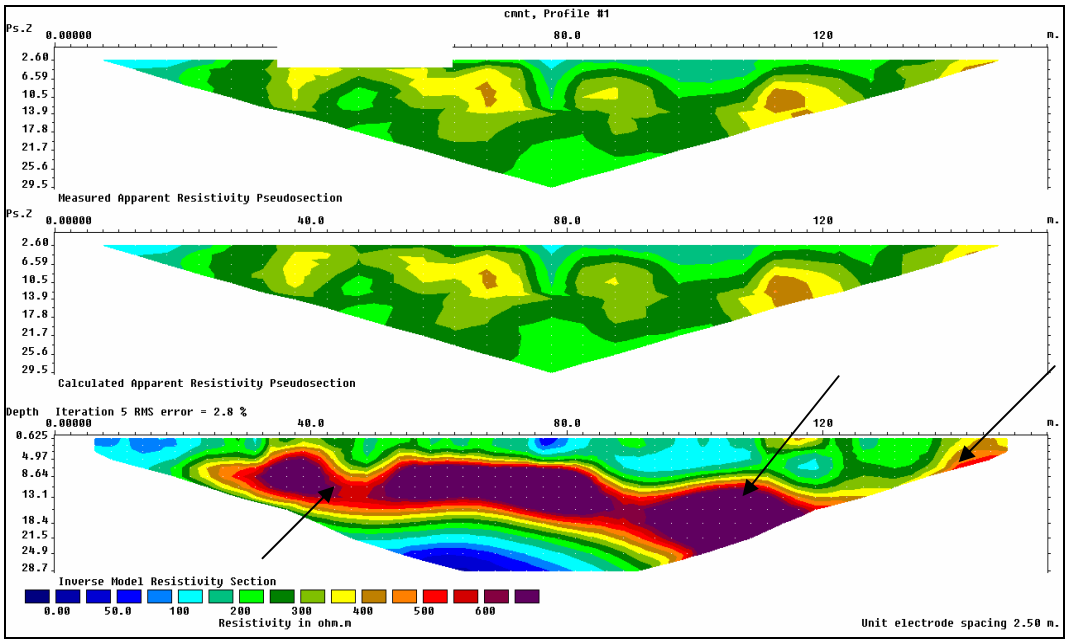
ölçümden sonra patlatmanın yapılabilmesi için sökülen çelik elektrotlar, patlatmadan sonra tekrar aynı yerlere konularak patlatma sonrası elektriksel yerdirenci ölçümlerine geçilmiştir. BG-1 atımı yapıldıktan ve gerekli arazi güvenlik denetlemesi yapıldıktan sonra, aynı hat üzerinden patlatma sonrası elektriksel yerdirenci ölçümleri yapılmıştır. Bu ölçümlerden elde edilen yerdirenci dağılım grafikleri Şekil 5.45 ve 5.46'da gösterilmektedir.



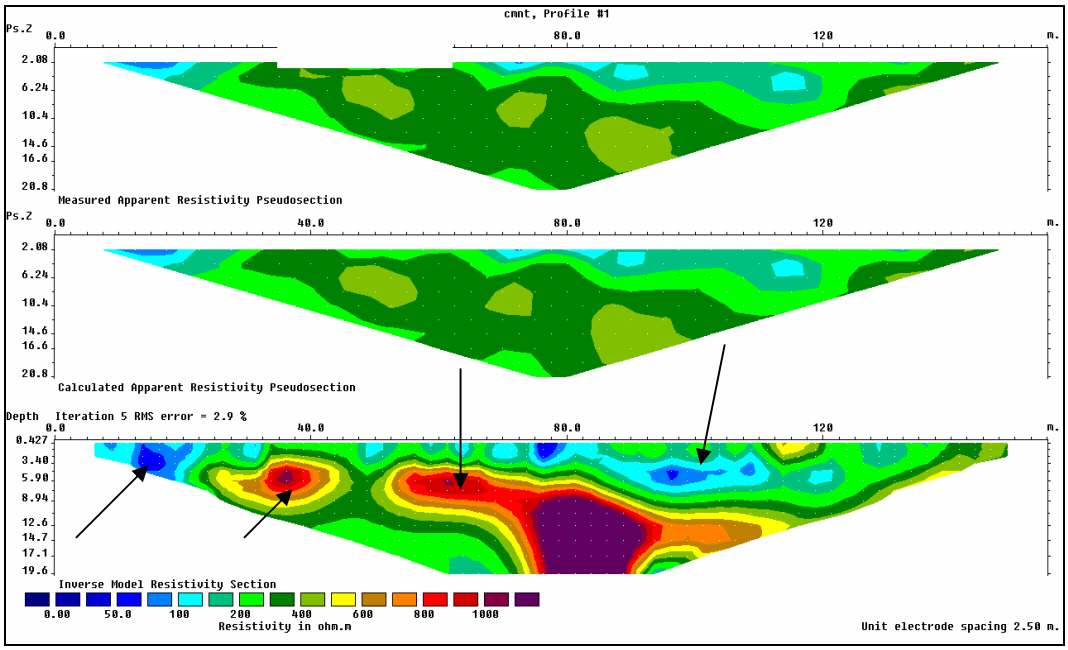
Şekil 5.43. Düzenlenen BG-1 atımı yapılmadan önce basamak tabanının Schlumberger elektrot diziliminden elde edilen yerdirenci değişim grafiği.



Şekil 5.44. Düzenlenen BG-1 atımı yapılmadan önce basamak tabanının Wenner-beta elektrot diziliminden elde edilen yerdirenci değişim grafiği.



Şekil 5.45. Düzenlenen BG-1 atımı yapıldıktan sonra, basamak tabanının Schlumberger elektrot diziliminden elde edilen yerdirenci değişim grafiği.



Şekil 5.46. Düzenlenen BG-1 atımı yapıldıktan sonra, basamak tabanının Wenner-beta elektrot diziliminden elde edilen yerdirenci değişim grafiği.

Açık ocaklarda yapılan basamak patlatmalarında her zaman patlama deliklerinin önündeki kayaç şeve doğru itilerek parçalanır. BG-1 atımından sonra ilgili kireçtaşı ocağında da benzer durum oluşmuş ve şev ucundan basamak içine doğru 7-8 metre eninde, 15 metre şev uzunluğunda bir kireçtaşı kütlesi parçalanarak (Şekil 5.47) alt basamağa yığılmıştır. Patlatma delikleri önündeki kireçtaşı kütlesini bu denli parçalayan BG-1 atımı, patlatma deliklerinin arkasındaki kireçtaşına nasıl bir etki yaptığını öğrenmek için yapılan elektriksel yerdirenci grafikleri Şekil 5.43-5.46 arasında gösterilmiştir.



Şekil 5.47. BG-1 atımı sonucu parçalanmış kireçtaşı yığını.

Konya Çimento kireçtaşı ocağında BG-1 atımında önce yapılan Schlumberger (Şekil 5.43) ve Wenner-beta (Şekil 5.44) dizilimi ölçüm sonuçları, ölçüm yapılan hat altındaki kireçtaşının içinde direnci farklı zonların bulunduğunu göstermektedir. Yüzeyde 5 m derinliğe kadar kireçtaşının direnci daha az çıkarken 5-25 metre derinlik arasında daha direnci bir bölgenin bulunduğu izlenmektedir. Yüzeydeki düşük direnç iklim şartlarıyla nemlenen kireçtaşlarından ve aralara yerleşmiş kil bantlarından olmaktadır. Basamağın altında 25 m derinlikten sonra, bir su katmanının olduğu fark edilmiştir. Bu gözlem daha önce bu işletmede yapılan önarazi ölçümleriyle (Bölüm 4.3.5) benzerlik göstermektedir. Bu tez kapsamında incelenen BG-1 atımı sonrası elde edilen yerdirenci grafikleri de Şekil 5.45 (Schlumberger dizilimi sonucu) ve Şekil 5.46 (Wenner-beta dizilimi sonucu) verilmiştir. Bu grafiklerle patlatma öncesi elde edilen yerdirenci grafikleri karşılaştırıldığı zaman, dizilimler dikkate alınmak şartıyla, yerdirenci grafiklerinin patlatma öncesi ve sonrasında çok büyük değişimlere uğramadığı anlaşılmıştır. Şekil 5.45 ve 5.46'da yerdirenci grafiğinde farklılık gözlenen grafik bölgeleri okla işaretlenmiştir. Bu küçük direnç farklılıkları BG-1 atımı sonucu, patlatma deliklerinin 4 metre gerisindeki kireçtaşı kütlesinde oluşan yapısal değişimlere bağlıdır. Bu değişim BG-1 atımına rağmen çok küçük olmuştur. Burada gösterilen ölçüm sonuçlarına göre 9 patlatma deliğinin sırayla patlatılması sonucu, deliklerin arkasındaki ölçüm hattında neredeyse hiç yerdirenci farklılığına rastlanılmaması, burada patlatmadan dolayı kayaçların aşırı çatlamadığını ve ezilmediğini

göstermiştir. Eğer bu lokasyondaki kayaçlar çatlamış ve ezilmiş olsaydı bu kayaçların rezistivite değerleri büyük ölçüde değişmiş olacaktı. Bu ölçümlerin farklı açık ocaklarda farklı atım lokasyonları için tekrarlanması, açık ocak atımlarının sağlıklı yapılıp yapılmadığının incelenmesini sağlayacaktır.

BÖLÜM VI

YERALTI AÇIKLIĞI ÇEVRESİNDE YERDİRENCİ ÖLÇÜMLERİ

6.1. Genel

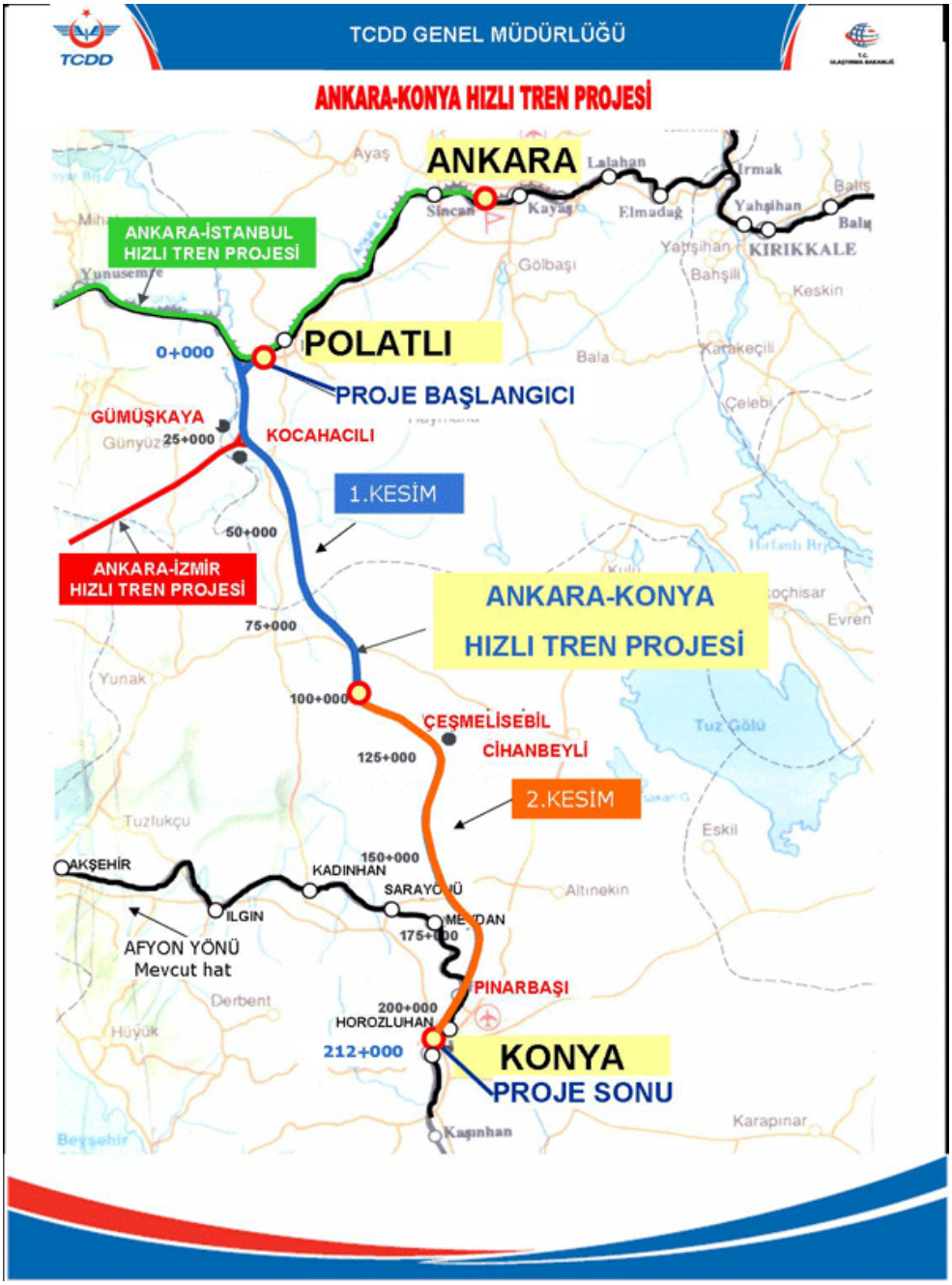
Elektriksel rezistivite ölçümlerinin yeraltı açıklıklarının çevresindeki bozulmaları gözlemlemek için kullanılmaları özellikle yeraltı nükleer atık depolarının tasarımı için önemli görülmüştür. Bu açıklıkların çevresinde oluşacak çatlaklardan su veya başka sıvılardan dolayı radyoaktif sızıntı olabileceği düşünülerek, nükleer atık deposu olacak deneysel galerilerin çevresinde detaylı deformasyon ve bozuşma analizleri yapılmaktadır. Bu tür incelemelerde en çok başvurulan hasarsız ölçüm sistemlerinden birisi Yaramancı'nın da (2000) araştırmalarında kullandığı elektriksel rezistivite ölçümleridir, (Yaramancı, 2000).

Bu araştırmalarda kullanılan sistemlerin maden ve ulaşım galerileri içinde kullanılması, maden mühendislerine üzerinde düşünecekleri yeni veriler sağlayacaktır. Literatür araştırmalarında da görüldüğü gibi yeraltındaki boşlukların, galerilerin ve tünellerin duraylılık analizlerinde bunların çevrelerindeki bozulmaların incelenmesi gerçekleştirilmektedir. Bu tez çalışmasının önceki bölümlerinde elektriksel rezistivite ölçümlerinin farklı amaçlar ve açık ocak uygulamalarında kullanılabilirliği anlatılmıştır. Bu bölümde, rezistivite ölçümlerinin yeraltı boşluklarında sağlayacağı faydaları vurgulamak amacıyla seçilen bir yeraltı boşluğunun etrafındaki bozuşmalar için ölçümler yapılmıştır. Bu kapsamda Konya–Ankara arası hızlı tren güzergahı üzerinde bulunan Bozdağ tünellerinde çalışmalar yürütülmüştür. Bu çalışmanın amacı incelenen ulaşım tünelinden yola çıkarak yeraltı maden galerilerinin de benzer ölçümlerle incelenmesinin mümkün olduğunun gösterilmesidir.

6.2. Bozdağ Tünel Projesinin Amacı

Bozdağ tünelinin ülkemiz ulaşımı açısında önemi oldukça büyüktür. Konya ve Ankara arasındaki yolculuk süresini kısaltarak, ülke ekonomisi ve kalkınması açısından gelişmeler sağlayacaktır. Bu hızlı bağlantı sayesinde Konya-Ankara

Bağlantılı diğer ulaşımlar daha kısa sürede yapılabilecektir. Aslında Bozdağ mevkiinde İstanbul-Hicaz demiryolu hattının açılması sırasında devreye giren eski bir demiryolu tüneli mevcuttur. Bu tünel 100 seneyi aşkın bir süredir Bozdağ kireçtaşlarının içinde, Adana-Konya-İstanbul hattından geçen bütün trenlere hizmet vermektedir. Bu tünelin 50 metre kuzey tarafında açılan hızlı tren tüneli diğerine göre daha geniş olarak inşaa edilmiştir. Bu yeni hattın güzergahı Şekil 6.1'de verilmiştir. Projeyle ilgili detay bilgilerde Tablo 6.1'de verilmektedir. Bu hızlı tren yolu projesini kullanılmaya başlama yılı 2010-2011 yıllarıdır. Bu proje kapsamında Bozdağ tüneli civarında yapılan tünel inşasıyla ilgili görüntüler Şekil 6.2'de verilmiştir. Bu şekiller projenin kapsamını, önemini ve gidişatını göstermek için seçilen görüntülerdir.



Şekil 6.1 Ankara-Konya hızlı tren projesinin geçiş güzergahı.



Şekil 6.2. Konya-Ankara hızlı tren projesinden görüntüler.

Tablo 6.1. Konya-Ankara hızlı tren projesini önemli parametreleri.

Özellik	Değer
Toplam uzunluk	306 km
İnşa edilecek uzunluk	212 km
Hat Sayısı	çift hat, elektrikli,sinyalli
Hız	250 km/sa
Dingil Yükü	22.5 ton
Ekartman	1.435 mm
Minimum Kurp Yarıçapı	6.500 mm
Maksimum Eğim	% 0.16
Düşey gabari	6.72 m
Ray tipi	UIC-60
Ray Boyu	36 m
Kaynaklı Uzunluk	Sürekli kaynak
Ray Kalitesi	900 A
Traversler	Ön-germeli, öngekmeli monoblok B70 tipi beton traversler

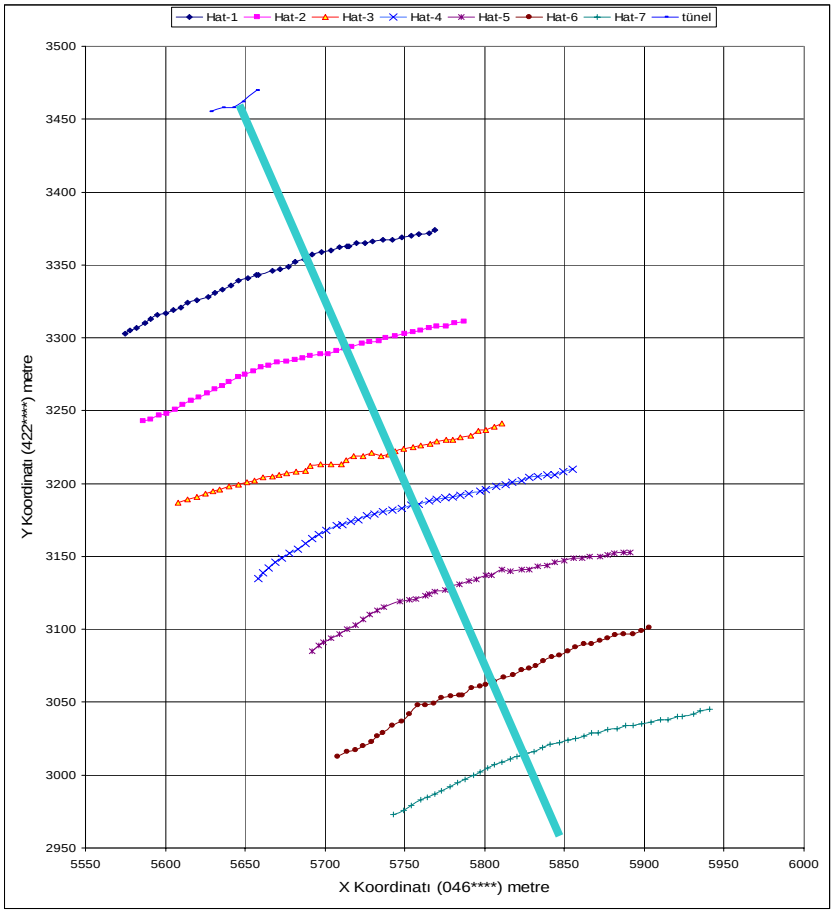
6.3. Bozdağ Tüneli Üzerinde Yapılan Elektriksel Rezistivite Ölçümleri

Konya–Ankara arası hızlı tren projesi kapsamında mevcut tek tünel olacak olan Bozdağ Tüneli bu tez çalışması kapsamında ele alınan bir ölçüm lokasyonu olmuştur. Bozdağ' da bulunan eski ve yeni tünellerin çevresindeki kireçtaşının durumunu incelemek için bu bölgede yüzeyden ve eski tünel içinden rezistivite ölçümleri alınmıştır. Bu direnç ölçümleri sırasında farklı elektrot dizilimleri kullanılarak tünellerin üzerindeki kayaç yapısı ilgili tünellerdeki duraylılığı azaltacak bozuşmalar açısından incelenmiştir.

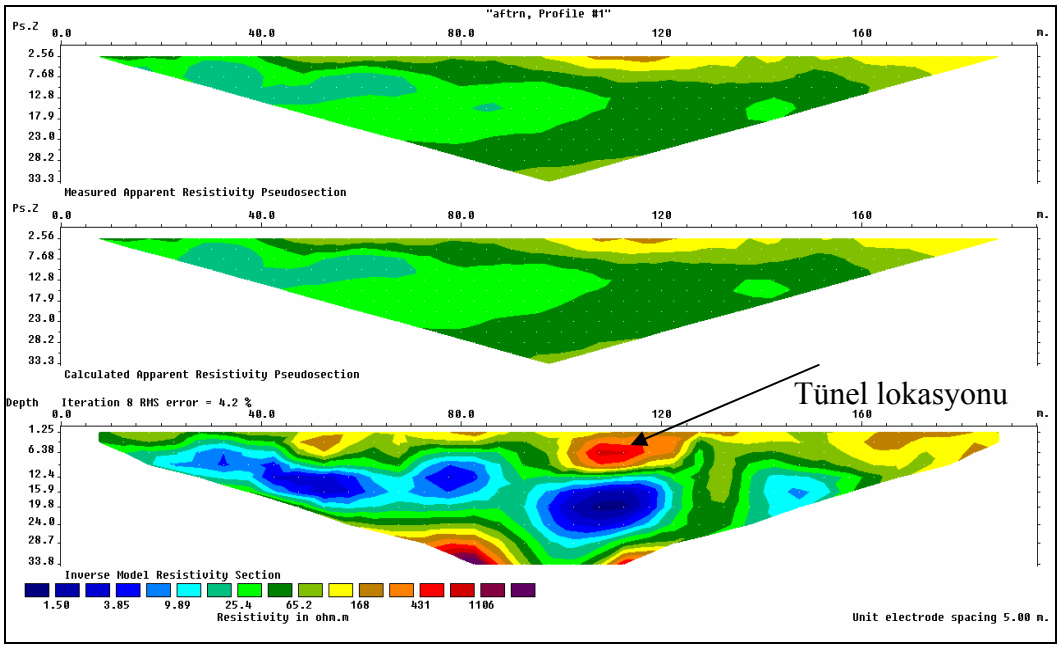
Konya şehir merkezinin 50 km KD yeralan Pınarbaşı köyünün Kuzeyi kireçtaşı tepeleriyle çevrilmiştir. Bu kireçtaşı tepeleri Konya'nın kuzeyini çevreleyerek, Konya'nın KB'sında yeralan yüksek dağlara (Ladik arkasındaki dağlar) kadar uzanır. Konya-İstanbul demiryolu hattı bu kireçtaşı tepelerini Bozdağ mevkiinde tünelle geçmektedir. Bu eski tünel 1950 metre uzunluğunda, 6x9 metre boyularında dikleştirilmiş atnalı kesitli bir tüneldir. Bozdağın KB yamaçlarındaki eğim göreceli olarak GD tarafına göre daha a eğimlidir. Bu nedenle tünelin çevresi konusundaki rezistivite ölçümleri tüneli KB tarafındaki yamaçlarda yapılmıştır. Eski tünel ve yeni tüneli yerüstünden yapılan ölçümlerde görüntüleyebilmek için farklı zamanlarda çok sayıda ölçümler yapılmıştır. Bu ölçümlerden 7 adetinin ölçüm hatları Şekil 6.3'de gösterilmektedir. Ölçüm hatları boyunca veri toplanmasında kullanılan her çelik elektrotun koordinatı GPS yardımıyla kayıt edildiği için, bunların haritalanması sonucu elde edilen test hatlarının genel görüntüsü bu şekilde verilmektedir. Bu şekilde gösterilen tünel güzergahı halen kullanılmakta olan Konya-İstanbul demiryolu güzergahındaki eski tünel güzergahıdır.

Hızlı tren hattı şu an aktif olarak çalışmakta olan mevcut Konya–İstanbul arası tren hattının yaklaşık 50 metre sağ tarafından geçmektedir. Bu sebeple bu bölümde eski tünele ait örnek teşkil etmesi amacıyla verilen ölçüm sonuçları Şekil 6.4 ile Şekil 6.13 arasında verildiği gibidir. Bu grafiklerin bir kısmında yüzey topografya yükseltilerinin de gösterildiği görülmektedir. Bu yükseltilerin grafiklerde gösterimi, her çelik elektrot lokasyonunun ayrı ayrı GPS ile belirlenmesinden sonra bu koordinatların ilgili rezistivite grafik programına tanıtılması sonucu elde edilmektedir. Bu şekiller üzerinde okla gösterilen rezistivite zonları, eski tünelin

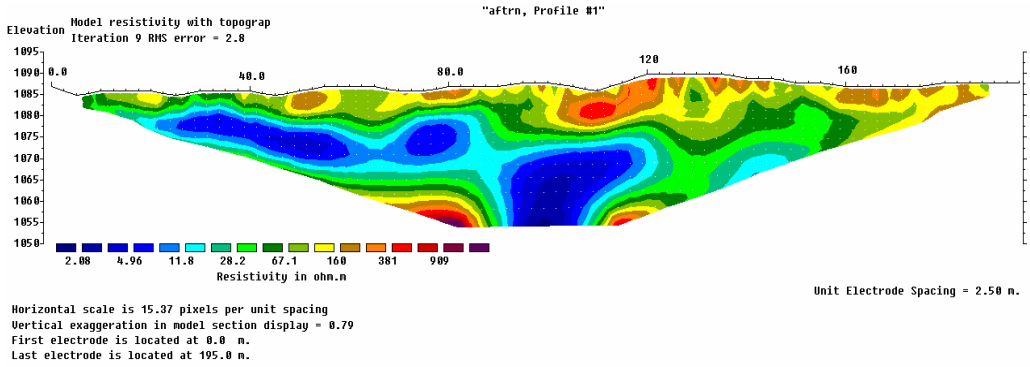
bulunduğu lokasyonlardır. At nalı şeklinde açılmış olan bu tünel etrafındaki bozuşmalar literatür de olduğu gibi bir görünüm sergilemekle beraber, bazı bozuşmaların çok uzak noktalara kadar uzanması bunların kireçtaşı içindeki bir zayıflık zonunun bozuşması olduğu konusunda daha belirgin bir görüşün ortaya çıkmasına neden olmuştur.



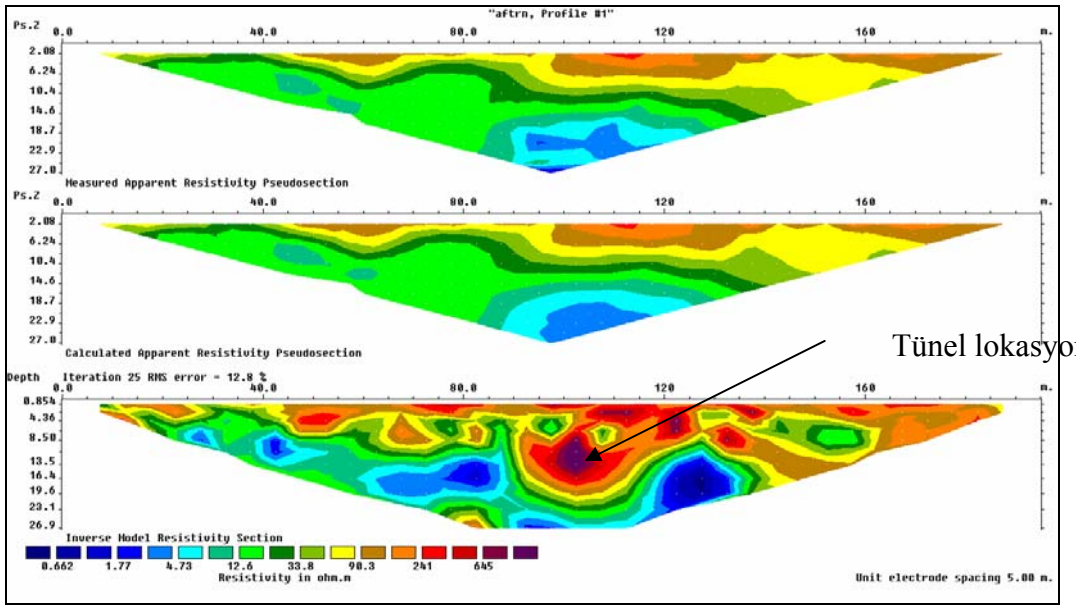
Şekil 6.3. Bozdağ eski tüneli güzergahında rezistivite ölçüm hatları.



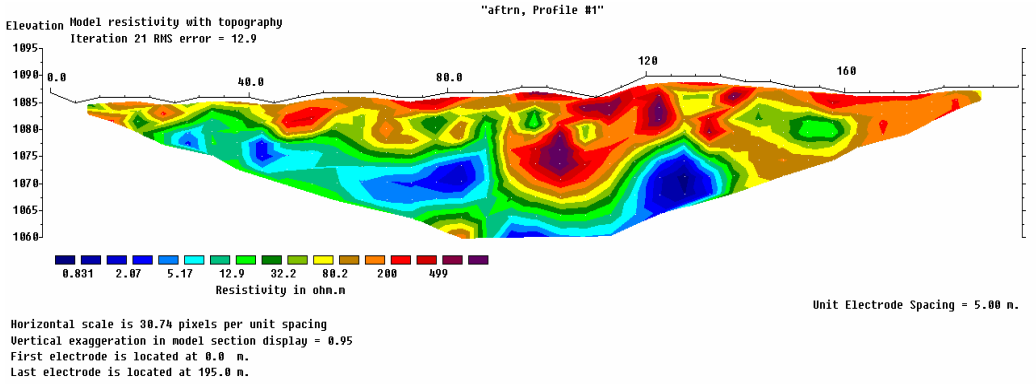
Şekil 6.4a. Bozdağ mevkiindeki eski trenyolu tüneli için yapılan hat-1 rezistivite ölçüm (Wenner-alfa dizilimi) sonucu. Bu lokasyonda tünel yeryüzüne çok yakın derinliktedir.



Şekil 6.4b. Bozdağ mevkiindeki eski trenyolu tüneli için yapılan hat-1 rezistivite ölçüm (Wenner-alfa dizilimi) sonucunun yüzey topografyası işlenmiş hali.



Şekil 6.5a. Bozdağ mevkiindeki eski trenyolu tüneli için yapılan hat-1 rezistivite ölçüm (Wenner-beta dizilimi) sonucu.



Şekil 6.5b. Bozdağ mevkiindeki eski trenyolu tüneli için yapılan hat-1 rezistivite ölçüm (Wenner-beta dizilimi) sonucunun yüzey topografyası işlenmiş hali.

Yapılan hat-1 rezistivite ölçümlerinden elde edilen wenner-alfa ve Wenner-beta elektrot dizilim sonuçlarının incelenmesi ve ilgili lokasyonda fiziksel olarak eski tünelin geçtiği derinliğin bilinmesi neticesinde ilgili grafiklerde tünelin lokasyonu oklarla işaretlenmiştir. Bu grafiklerde eski tünel yüzeyden yaklaşık olarak 10 metre derinlikte tespit edilmiştir. Bu lokasyonda yapılan rezistivite ölçümleri incelendiğinde tünel yerinin yüzeye yakın olması nedeniyle tünel yeri tespitinin her iki elektrot dizilimiyle de (Wenner alpha ve Wenner beta) iyi bir şekilde tespit edildiği gözlenmiştir.

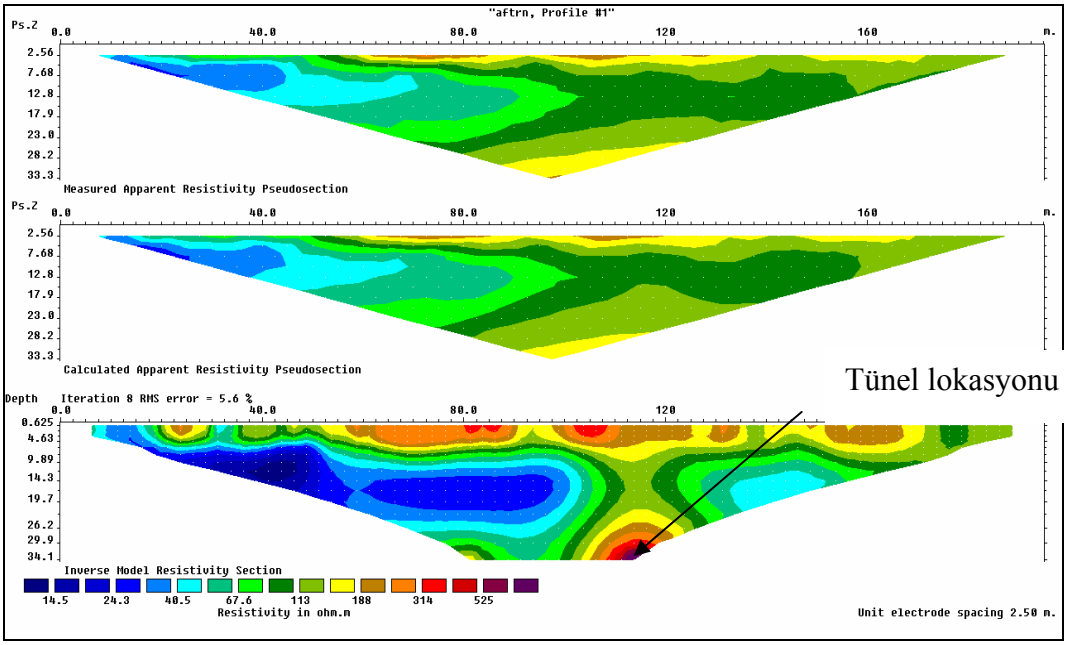
Şekil 6.6'da hat-4'e ait Wenner alfa elektrot dizilimi yoluyla elde edilmiş rezistivite grafikleri yer almaktadır. Bu ölçüm hattının altında eski tünel yaklaşık 30 metre aşağıda tespit edilmiştir. Ölçüm yapılan hatlar tünelin Afyon tarafındaki (Batı tarafı) girişinden uzaklaştıkça topografyadaki eğim sebebiyle rezistivite grafiklerinde tünel tespit derinliği yüzeyden daha derin mesafede çıkmaktadır. Bu ölçüm sonuçlarında da hat-1 sonuçlarında görüldüğü gibi ölçüm hattının başlangıcına yakın lokasyonlarda yüzeyden 7-8 m aşağıda tünele doğru bozuşmuş bir zon yer almaktadır.

Şekil 6.7'de aynı bölge de yapılmış olan hat-5'e ait rezistivite değişim grafikleri yer almaktadır. Bu ölçümde de yüzeyden yaklaşık 32 metre derinliğinde okuma hattına göre de yaklaşık 110 metre mesafede eski tünelin tavanı tespit edilmiştir. Bu ölçümde düşük dirençli bölgelerin öbeklendiği görülmektedir.

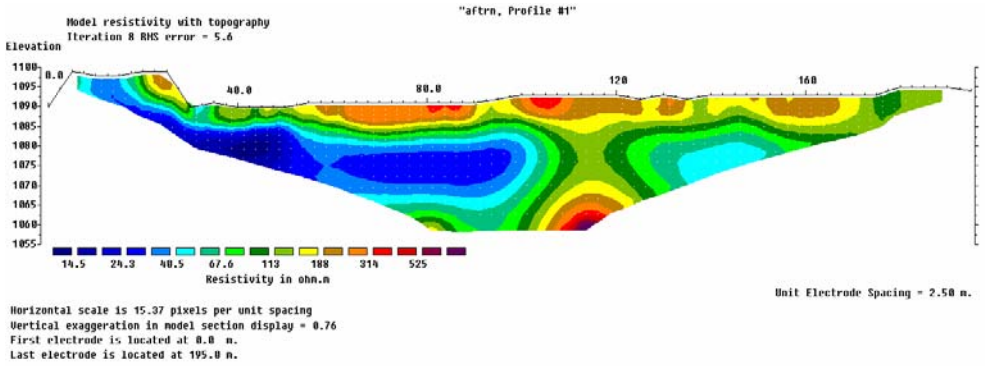
Şekil 6.8a hat-6'ya ait Wenner alpha yöntemi grafiklerini içermektedir. Bu okuma sonucunda tünel yeri ilk okumalara göre daha sola yakın tespit edilmiştir. Bütün yapılan okumalar üst üste incelendiği zaman tünelin yeraltındaki güzergahı tam olarak ortaya çıkmaktadır. Bu hat üzerinde yapılan Wenner gama yöntemine ait grafikler Şekil 6.9'da verildiği gibidir. Bu okuma sonucunda tünelin yerinden çok etki alanı tespit edilmiştir. Tünel bu bölgede de yaklaşık 33 metre derinlikten geçmektedir.

Şekil 6.10 aynı bölge üzerinde yapılan Hat-7'ye ait Wenner alpha elektrot dizilimi sonucu elde edilen grafiklerdir. Bu okuma sonucunda da eski tünelin yaklaşık 34 metre derinlikten geçtiği tespit edilmiştir.

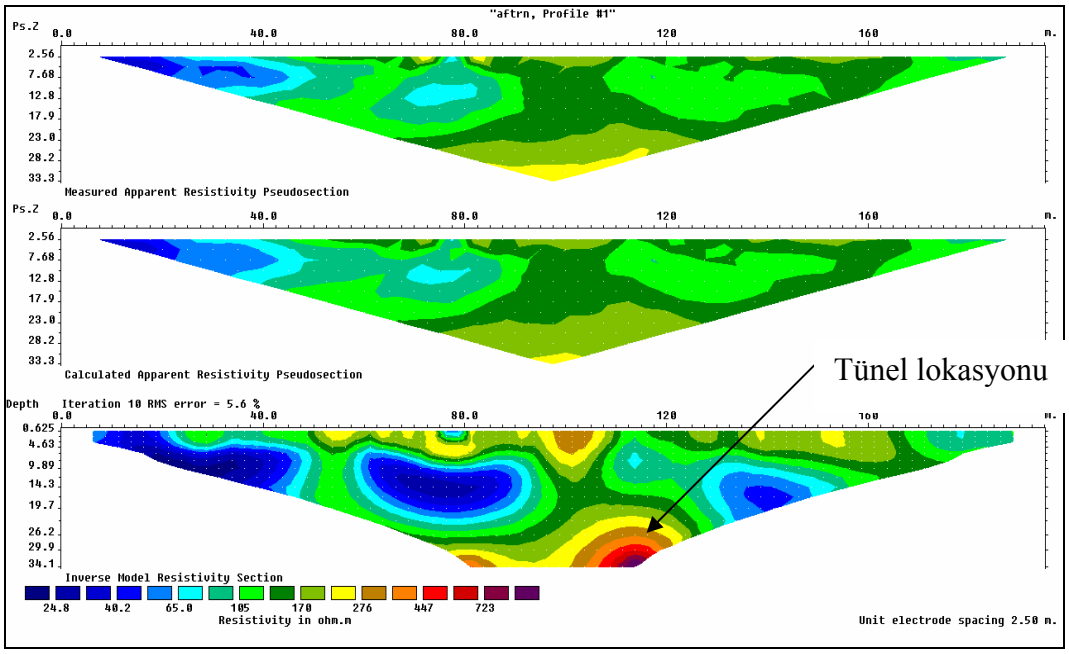
Konya–Ankara arası hızlı tren güzergahı üzeri Bozdağ tüneli etrafında yapılan rezistivite ölçümleri sonucunda mevcut tünel yerinin yeryüzünden tespitinin mümkünlüğü görülmüştür. Ayrıca zaman içerisinde tüneller etrafında oluşabilecek deformasyonlar ve tünel etki alanı net bir şekilde incelenebilecek durumdadır. Bu aşamada eski tünel üzerinde Wenner dizilimleriyle (alfa, beta ve gama) elde edilen rezistivite grafikleri Şekil 6.4 ile Şekil 6.10 arasında verilmiştir. Şekil 6.3'de gösterilen ölçüm hatlarında Wenner dizilimleri dışındaki elektrot dizilimleriyle de (kombine pole-dipole, Pole-pole ve Schlumberger dizilimleri) rezistivite



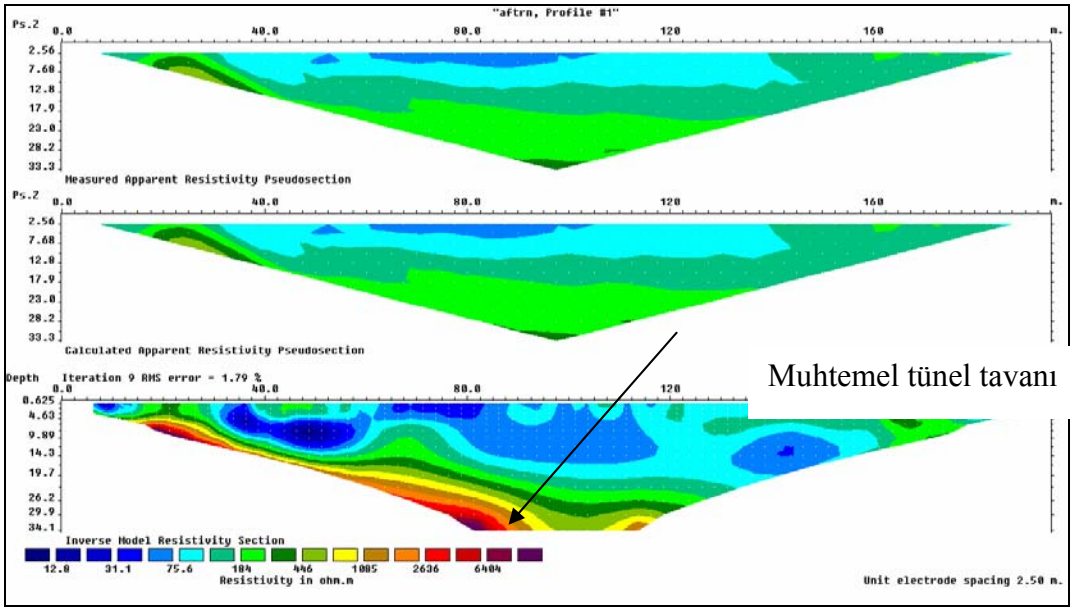
Şekil 6.6a. Bozdağ mevkiindeki eski trenyolu tüneli için yapılan hat-4 rezistivite ölçüm (Wenner-alfa dizilimi) sonucu.



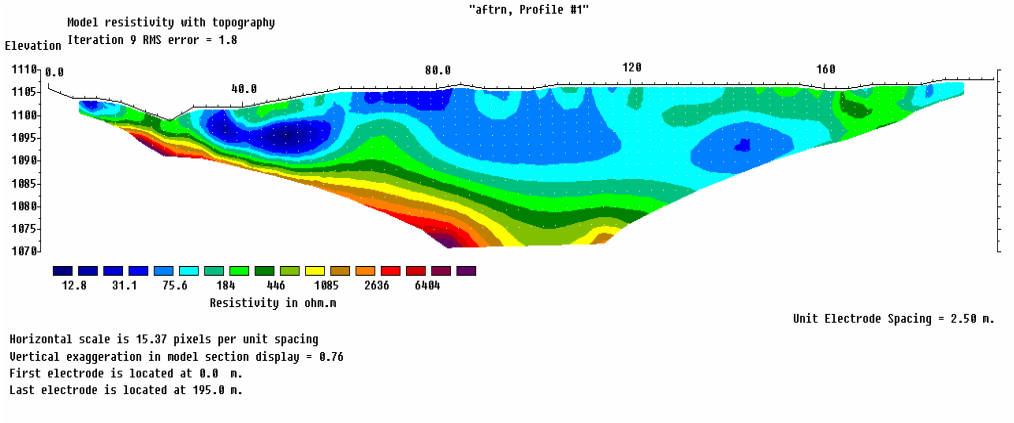
Şekil 6.6b. Bozdağ mevkiindeki eski trenyolu tüneli için yapılan hat-4 rezistivite ölçüm (Wenner-alfa dizilimi) sonucunun yüzey topografyası işlenmiş hali.



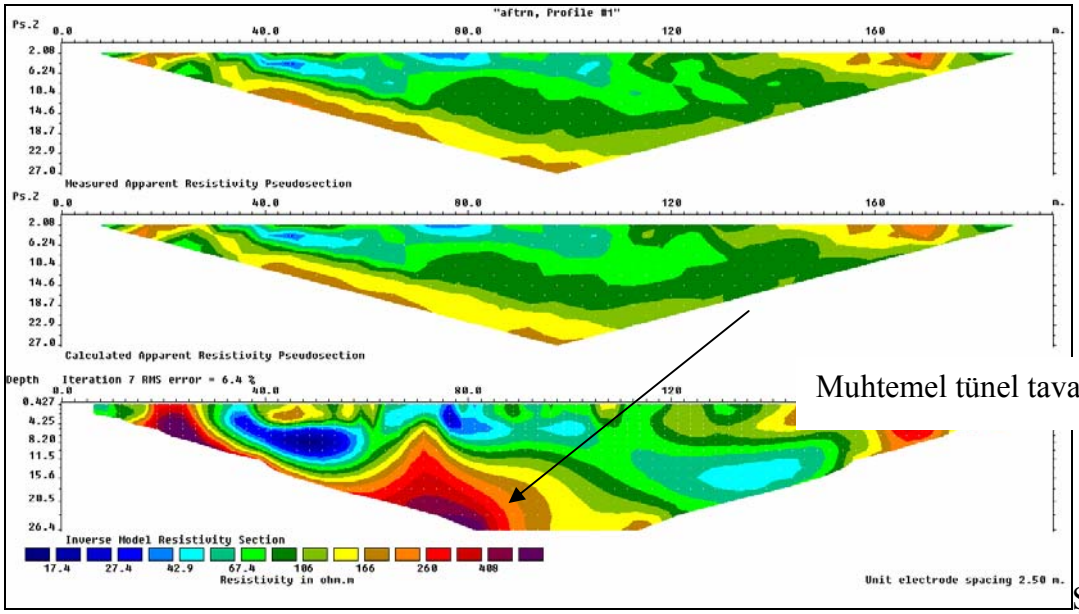
Şekil 6.7. Bozdağ mevkiindeki eski trenyolu tüneli için yapılan hat-5 rezistivite ölçüm (Wenner-alfa dizilimi) sonucu.



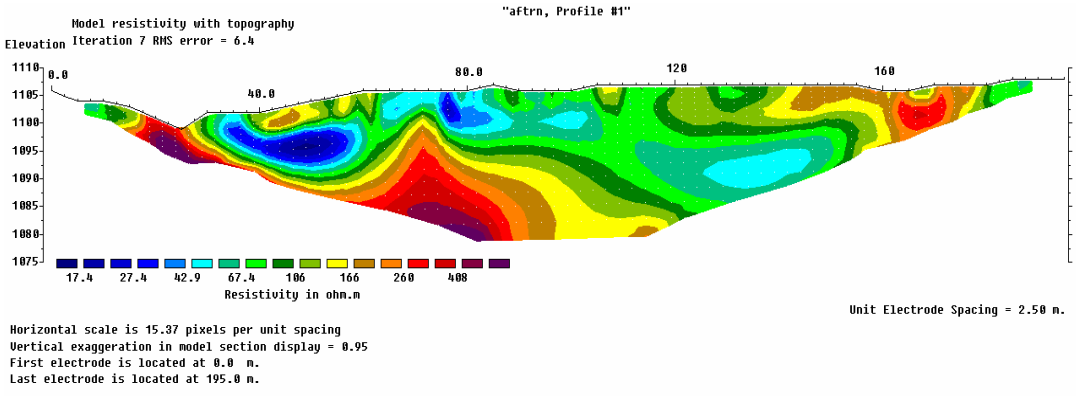
Şekil 6.8a. Bozdağ mevkiindeki eski trenyolu tüneli için yapılan hat-6 rezistivite ölçüm (Wenner-alfa dizilimi) sonucu.



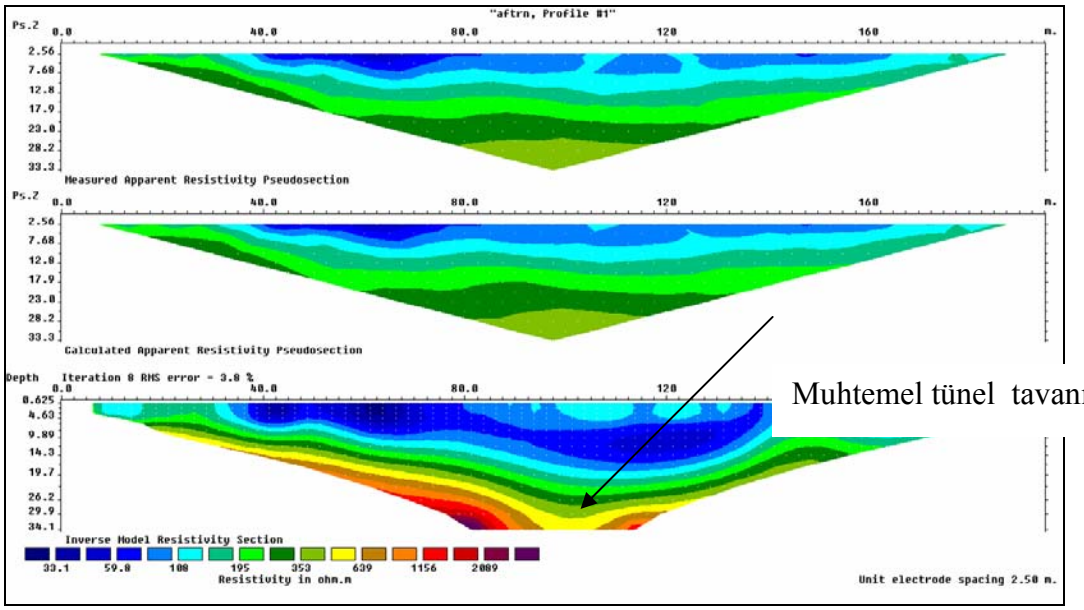
Şekil 6.8b. Bozdağ mevkiindeki eski trenyolu tüneli için yapılan hat-6 rezistivite ölçüm (Wenner-alfa dizilimi) sonucunun yüzey topografyası işlenmiş hali.



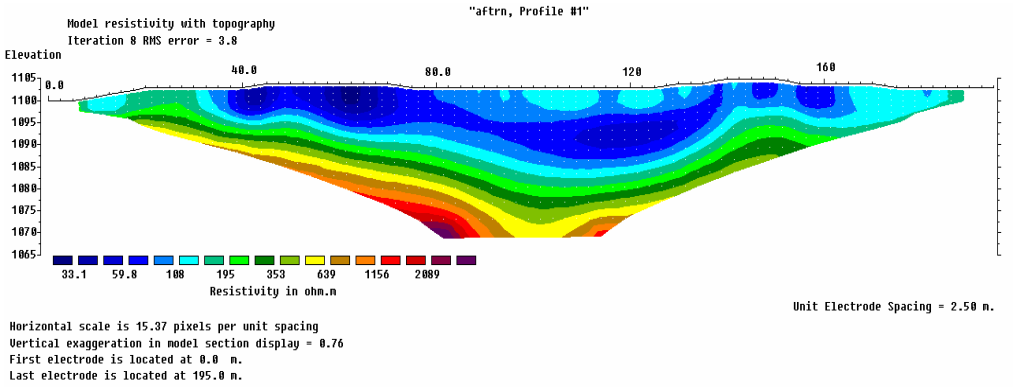
Şekil 6.9a. Bozdağ mevkiindeki eski trenyolu tüneli için yapılan hat-6 rezistivite ölçüm (Wenner-gama) sonucu.



Şekil 6.9b. Bozdağ mevkiindeki eski trenyolu tüneli için yapılan hat-6 rezistivite ölçüm (Wenner-gama dizilimi) sonucunun yüzey topografyası işlenmiş hali.



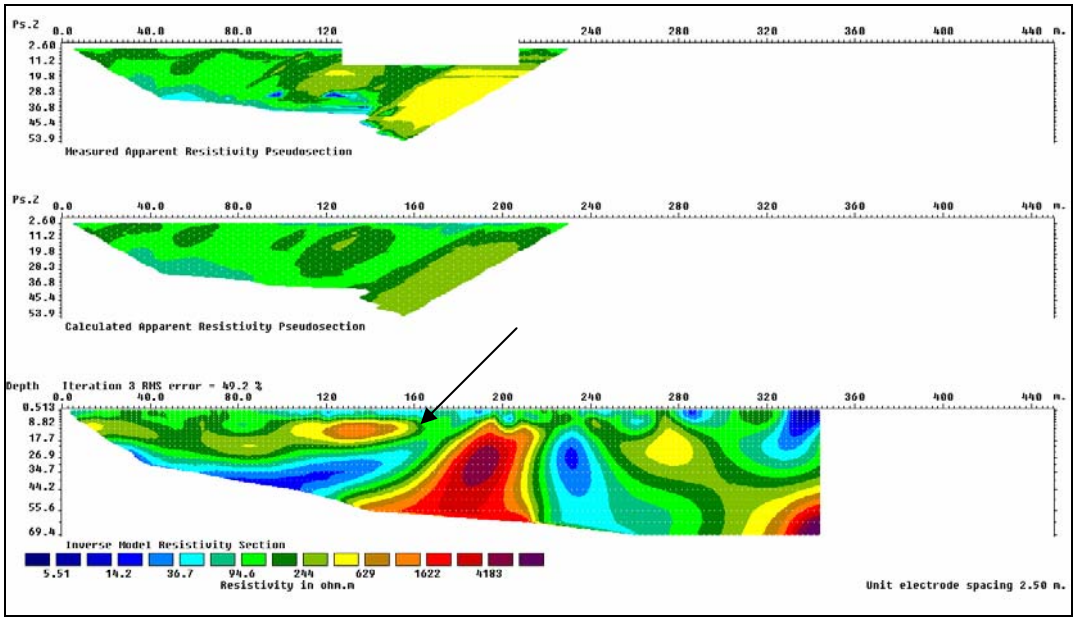
Şekil 6.10a. Bozdağ mevkiindeki eski trenyolu tüneli için yapılan hat-7 rezistivite ölçüm (Wenner-alfa) sonucu.



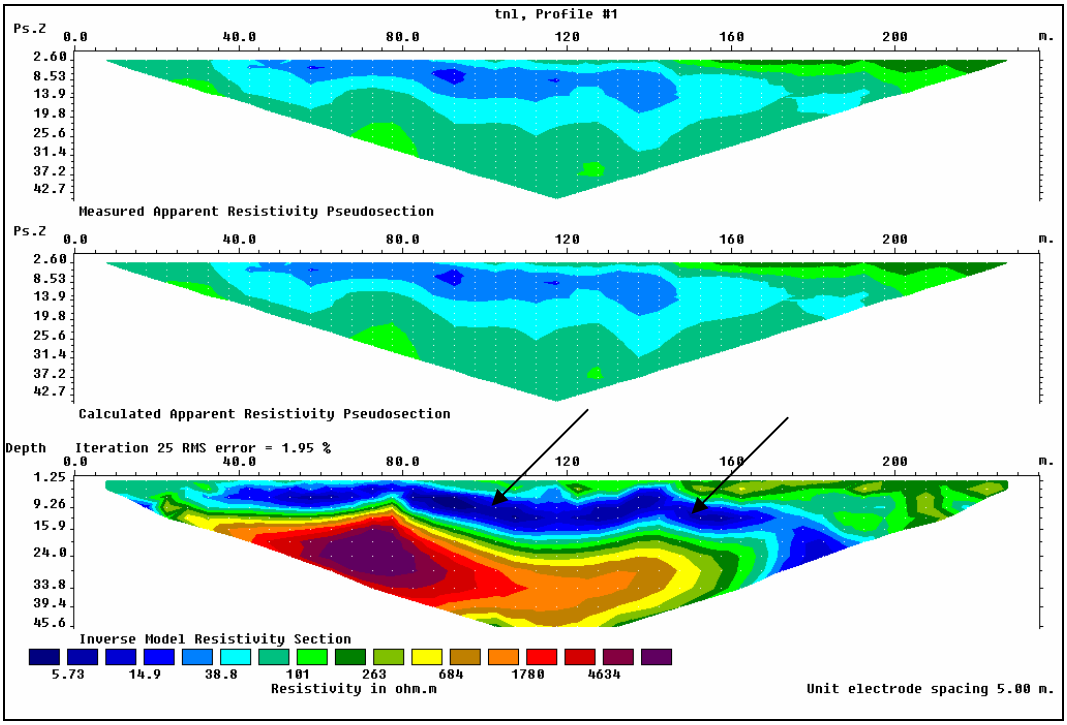
Şekil 6.10b. Bozdağ mevkiindeki eski trenyolu tüneli için yapılan hat-7 rezistivite ölçüm (Wenner-alfa dizilimi) sonucunun yüzey topografyası işlenmiş hali.

ölçümleri alınmıştır. Ölçülen bu rezistivitelerinden bazıları Şekil 6.11 ile Şekil 6.13 arasında verilmiştir. Şekil 6.11 eski tünel üzerinde yapılmış olan ve kombine pole-dipole elektrot dizilimiyle veri toplanmış bir rezistivite ölçüm sonucunu göstermektedir. Şekil incelendiği zaman ölçüm hattının başlangıç noktasından 140 metre ileride yaklaşık 18 metre derinlikte tünelin yeri tespit edilmiştir. Şekil 6.12 ise

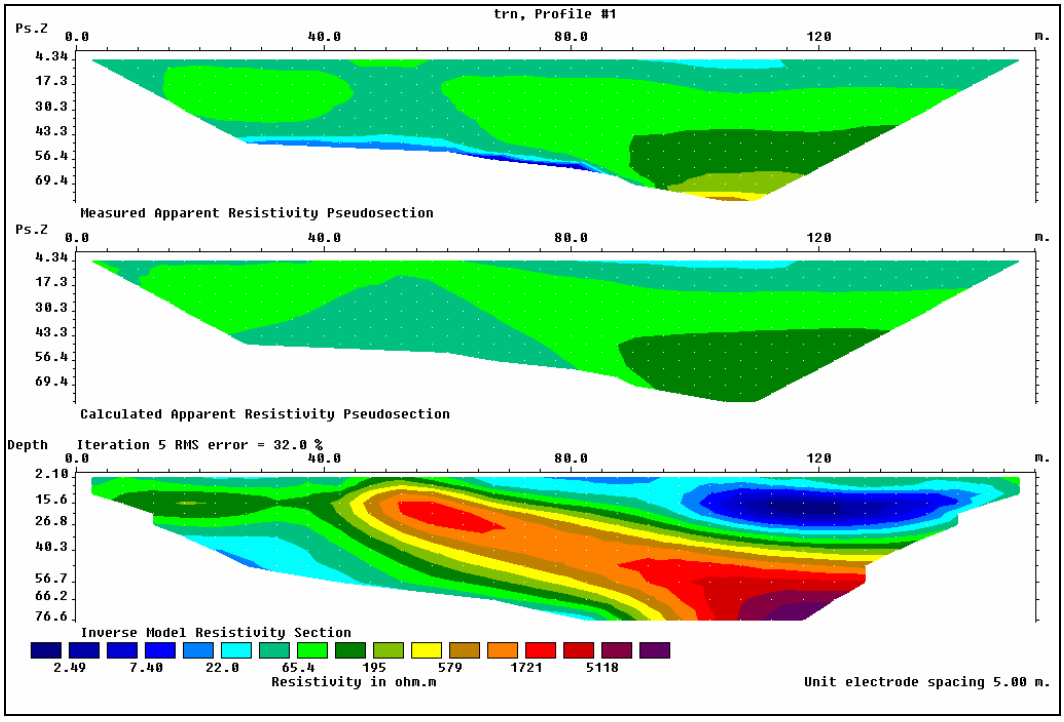
eski ve yeni tünel üzerinde Schlumberger dizilimiyle yapılmış olan bir rezistivite ölçüm sonucunu göstermektedir. Bu şekil incelendiğinde, ölçüm hattının başlangıç noktasından 85. metresinde 9-10 metre derinlikte eski tüneli, 135. metresinde de yeni tüneli (hızlı tren tünelini) gözlemlemek mümkündür. Her iki tünelde çevre kayaçlarındaki direnç değişimleriyle tespit edilebilmiştir. Yapılan bu iki çalışmada da tünel yeri ve çevresinde oluşan etki alanı net bir şekilde gözlemlenmiştir.



Şekil 6.11. Bozdağ mevkiinde bulunan eski tüzel üzerindeki yeni bir hat üzerinde, kombine pole-dipole elektrot dizilimiyle elde edilmiş rezistivite dağılımları.



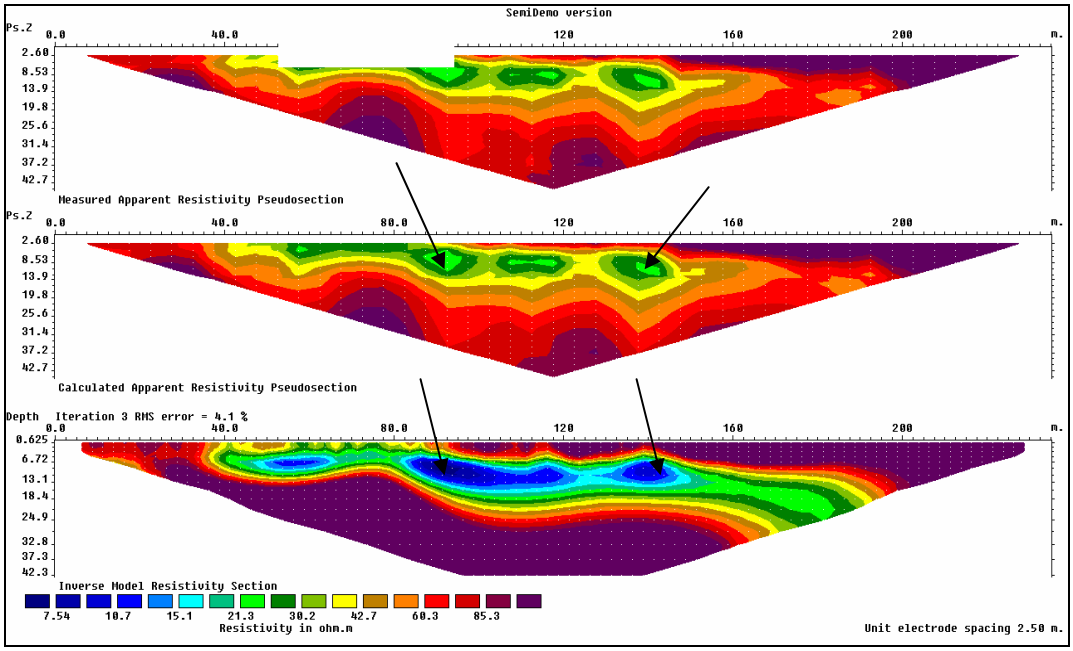
Şekil 6.12. Bozdağ mevkiinde bulunan eski tüzel üzerindeki yeni bir hat üzerinde, Schlumberger elektrot dizilimiyle elde edilmiş rezistivite dağılımları.



Şekil 6.13. Bozdağ mevkiinde bulunan eski tüzel üzerindeki yeni bir hat üzerinde, Pole-pole elektrot dizilimiyle elde edilmiş yerdirençi dağılımları.

Bozdağ kireçtaşlarının yapısını anlamak amacıyla, eski tünelin Afyon tarafındaki girişine 150 metre uzaklıktaki bir hat boyunca (KB-GD doğrultulu) pole-pole dizilimiyle rezistivite ölçümü yapılmıştır. Bu ölçümde Şekil 6.13'de görüldüğü gibi 77 m derinliğe kadar rezistivite dağılımı alınması mümkün olmuştur. Pole-pole dizilimi sonuçlarıyla elde edilen direnç dağılım modellerinin direnç değişimlerini daha az hassas bir şekilde grafiklendirdikleri unutulmadan bu şekil incelenirse, tünelin içinde bulunduğu kireçtaşının ölçüm hattının sonuna doğru dalış yaparak ilerlediği görülmektedir. Bu lokasyonda bulunan tarlanın, toprak derinliğinin yaklaşık 24 m olduğu ve nemlilik içerdiği de gözlenmiştir.

Bozdağ tünellerinin Afyon tarafı girişi üzerinde her iki tünelide kapsayacak şekilde yapılan bir başka rezistivite ölçümünden elde edilen grafik Şekil 6.14'de verilmektedir. Bu rezistivite dağılım grafiğinde Şekil 6.12'de olduğu gibi her iki tünel lokasyonu tespit edilmiştir. Bu grafikte eski tünel çevre kayacın daha fazla deformasyon geçirerek direncinin düştüğü izlenebilmektedir. Şekil 6.12 ve 6.14 Bozdağ tünellerinin bulunduğu seviyede kayaç dirençlerinde düşüş göstermektedir. Bunun nedeni tünel ortamından kayaç içine sızan nemlilik olabileceği de düşünülmüştür.

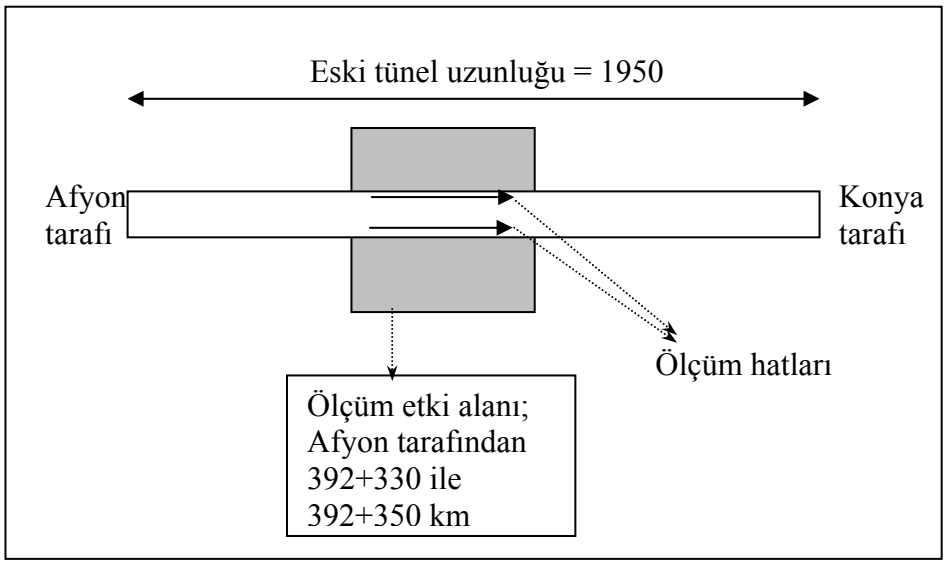


Şekil 6.14. Bozdağ tünellerinin her ikisinin de incelemeye alındığı rezistivite ölçümü.

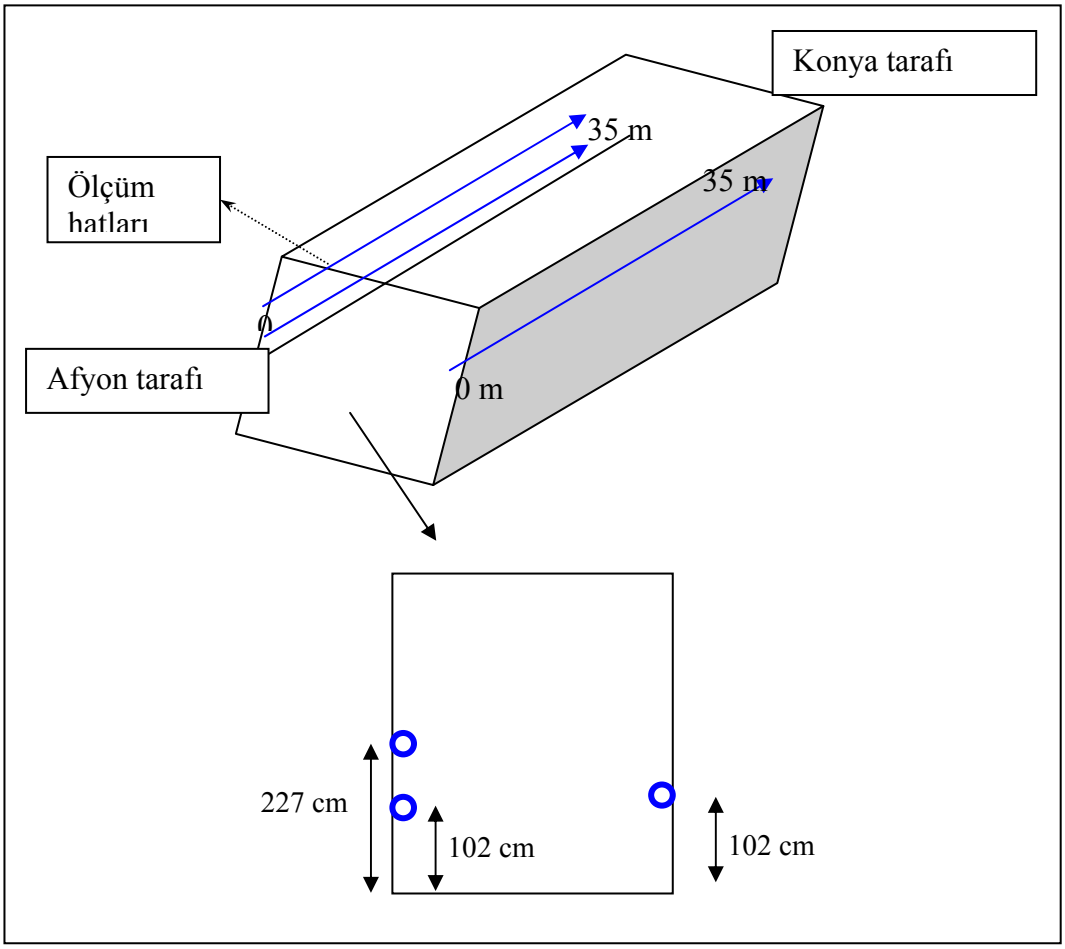
Bozdağ tünelleri üzerinde yeryüzünden yapılan rezistivite ölçümleri (Şekil 6.15) devam ederken eski tünel içinden de üç hat üzerinde ölçüm alınmıştır. Yeni tünelin yapım çalışmaları devam ettiği için bu tünelin içinden ölçüm alınamamıştır. Eski tünelde alınan ölçümlerin lokasyonları Şekil 6.16 ve 6.17'de verilmiştir. Bu rezistivite ölçümleri tünel içindeki beton kaplama tahkimat üzerine matkapla tespit edilen çelik elektrotlar yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Bu ölçümler sırasında 35 m uzunluğunda ölçüm kablosu kullanılmıştır. Ölçüm sırasında tren yolu hat güvenliği alınmıştır.



Şekil 6.15. Bozdağ tünelleri üzerinde yapılan arazi rezistivite ölçüm çalışmalarından bir görünüş.

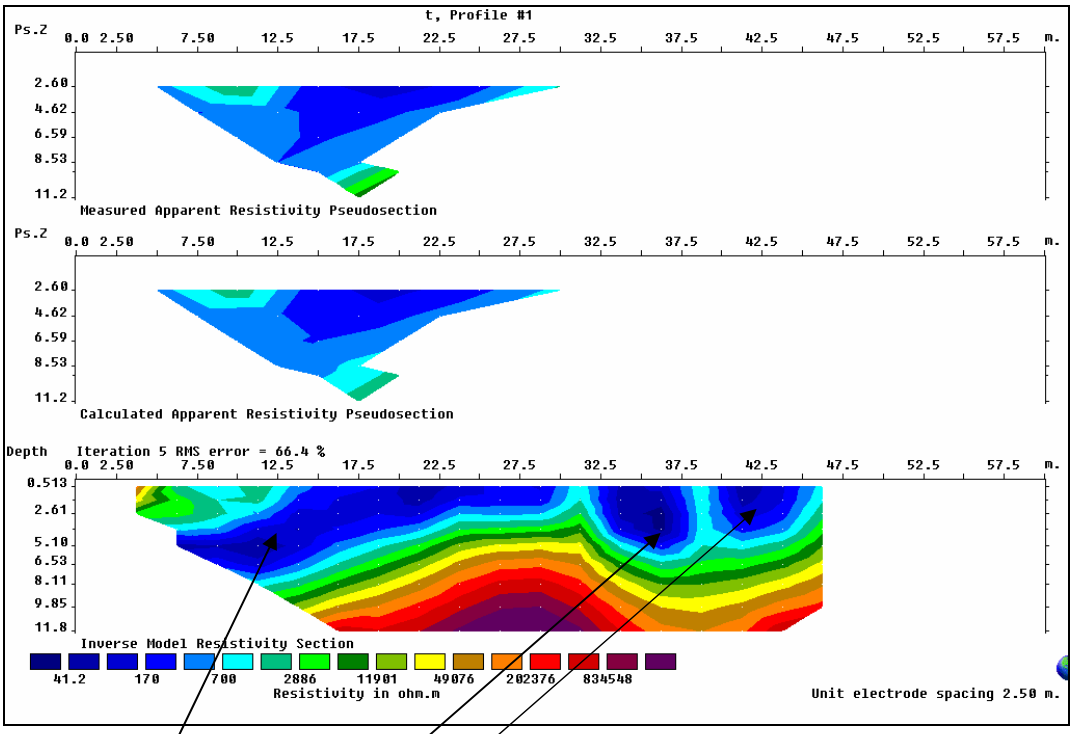


Şekil 6.16. Bozdağ mevkiinde bulunan eski tünel içinde yapılan rezistivite ölçüm lokasyonu.



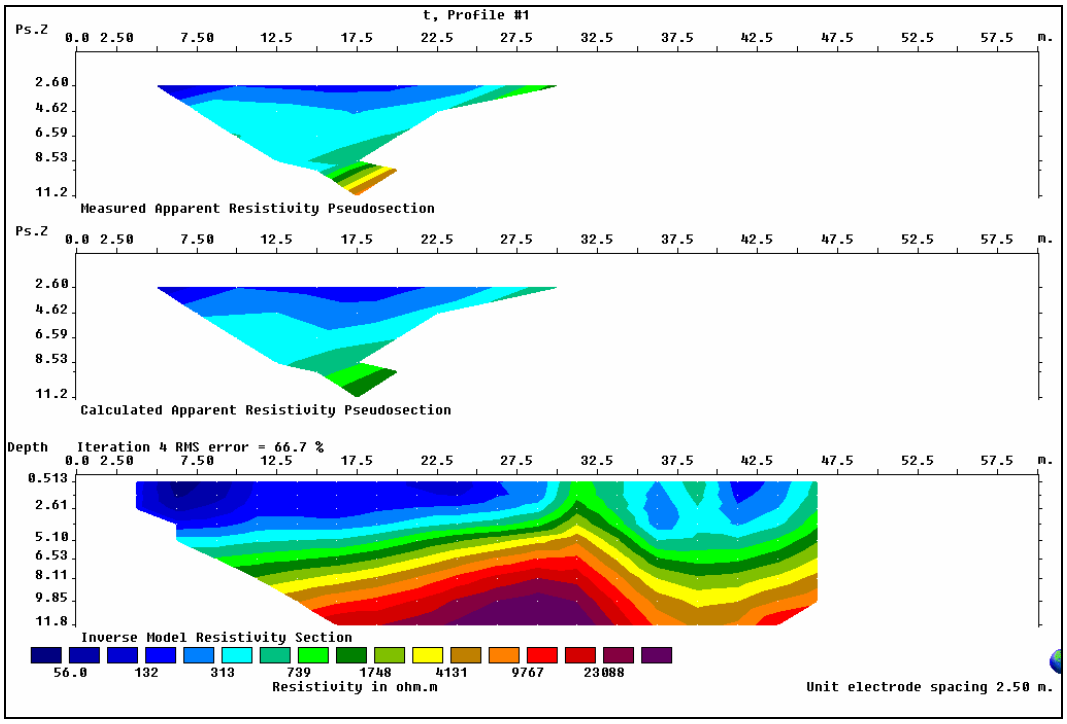
Şekil 6.17. Bozdağ mevkiinde bulunan eski tünelinin, Afyon dan Konya yönüne gidiş istikametindeki oblik gösterimi ve tünel cidarındaki ölçüm hatlarının pozisyonu.

Tünel üzerinden yapılan çalışmalara ilave olarak mevcut, şu an kullanılmakta olan, Konya İstanbul arasındaki tren hattı üzerindeki Bozdağ eski tüneli içinde tünel iç cidarlarının üzerinden elektriksel rezistivite ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Bu bölgede 3 hat üzerinde ölçüm yapılmıştır. Bunların 2 tanesi tünelin Afyon'dan Konya yönüne gidiş istikametinde sol tarafta diğeri ise aynı istikametin sağ tarafında yapılmıştır. Ölçüm hattı toplam uzunluğu 35 metre olarak ayarlanmıştır. Bu ölçümlerden elde edilen rezistivite değişim grafikleri Şekil 6.18 ile 6.20 arasında verilmiştir.

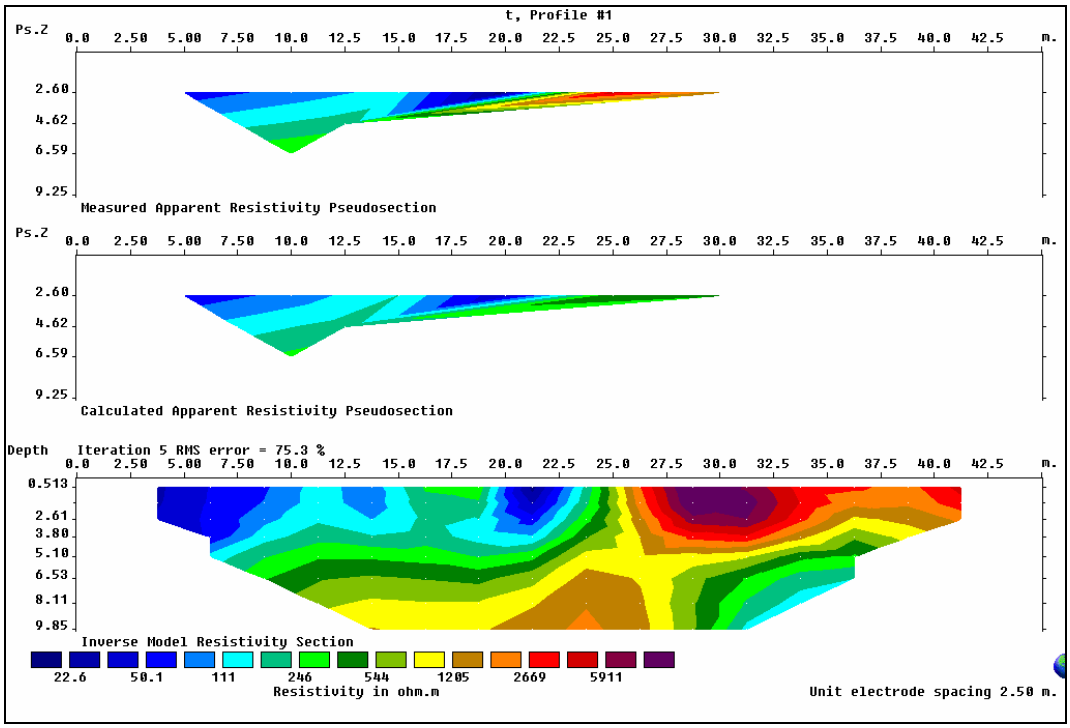


Tünel duvarı içinde ölçüm hattı boyunca; Tünel duvarından kayaç içine doğru direnç değişimi (Ohm.m). Bozulmuş, killi veya su içeriği olan düşük dirençli zonun büyüklüğü. (Ölçüm sol duvar içine doğru 11.8 metre yan kayaç içini göstermektedir).

Şekil 6.18. Bozdağ mevkiindeki eski tünelinin Afyon'dan Konya yönüne gidiş istikametinde tünelin sol duvarında, tünel zemininden 102 cm yukardan alınan ölçüm sonuçları.



Şekil 6.19. Bozdağ mevkiindeki eski tünelinin Afyon'dan Konya yönüne gidiş istikametinde tünelin sol duvarında, tünel zemininden 227 cm yukardan alınan ölçüm sonuçları.



Şekil 6.20. Bozdağ mevkiindeki eski tünelinin Afyon'dan Konya yönüne gidiş istikametinde tünelin sağ duvarında, tünel zemininden 102 cm yukardan alınan ölçüm sonuçları.

Yapılan tünel içi rezistivite ölçümlerinde, betan tahkimat kaplamasının üzerinden rezistivite ölçümü alınabileceği tecrübe edilerek gerçekleştirilmiştir. Rezistivite ölçümlerinde çelik elektrotların beton içine elektrik akımını daha iyi aktarmaları için elektrot-beton temas yüzeylerine su püskürtülmesi ölçüm işlemlerini kolaylaştırmaktadır. Pratik deneyimlerin yanında bu ölçümlerin sağladığı rezistivite grafikleri incelendiği zaman tünelin Afyon'dan Konya'ya gidiş yönüne göre sol tarafta, ölçüm yapılan lokasyonda yan duvardan 6-7 m içeriye doğru düşük dirençli bir zon olduğu tespiti yapılmıştır (Şekil 6.18 ve 6.19). Beton kaplamanın arkasında kalan bu zonun bozulmuş yan kayaçlarda oluşabileceği veya nem içeriği artmış kireçtaşlarından oluştuğuna karar verilmiştir. Tünelin bu bölümünde beton kaplamadaki çatlamaların nedeni de büyük bir olasılıkla bu bozuşmuş zonun varlığıdır. Aynı tünel lokasyonunun sağ tarafında yapılan rezistivite ölçümünün sonucu (Şekil 6.20) incelendiğinde burada direnç seviyelerinin nispeten yüksek olduğu sadece ölçüm hattının başlangıcında tünel duvar içine doğru 3-5 metre içeriye doğru bir bozukluğun olduğu tespiti yapılmıştır. Buradaki direnç farklılaşmasının nedeni, yan kayaçları oluşturan kireçtaşının içindeki killerin nemlenerek çözülmesi, kaya kütlesi içindeki çatlakların pürüzlülülerinin ezilmesi gibi farklı nedenler sayılabilir. Beklide bu lokasyonda galeri yapımı sırasında da fark edilen bir süreksizlik zonu mevcuttu. Bu bilgilerin tünel işletmecisi tarafından düzenlenerek, tünelin bu lokasyonunda tamirat işlemlerine başlaması doğru bir hareket olacaktır. Zaten tünel içi çatlakların hareketliliği izlenmeye alınmış, ani değişimler rapor edilmek üzere beklenilmektedir.

BÖLÜM VII

SONUÇLAR

Hasarsız ölçüm yöntemlerinden biri olan elektriksel yerdirenci ölçüm yönteminin madencilik iş kolunda kullanılabilirliğinin araştırılması bu tezin ana amacını oluşturmuştur. Tez çalışmalarına başlamadan önce, diğer araştırmacıların incelemeleri araştırılmıştır. Hasarsız ölçüm tekniklerinin madencilik dalındaki uygulamalarının genellikle cevher arama ilerinde kullanıldığı görülmüştür. Aslında literatür çalışmalarında bu yöntemin arkeolojik etütlerde, heyelan bölgelerinde, obrukların incelenmesinde, tünellerde ve yeraltı depolarının stabilite analizlerinde uygulama alanı bulduğu görülmüştür. Maden işletmeciliği sırasında kullanımı konusunun, neredeyse hiç ele alınmadığı görülmüştür. Ülkemizde elektriksel yerdirenci ölçüm tekniklerinin madencilikte kullanımı yok denecek kadar azdır. MTA tarafından kullanılan 4 elektrotlu sistemlerin derin cevher ve su yataklarını aramak için kullanıldığı bilinmesine karşın, bu kullanım maden mühendisleri tarafından hiç pratik ve cazip bulunmadığı için işletmelerin günlük tahkimat veya galeri tasarım araştırmalarına girmemiştir. Madencilerin elektriksel yerdirenci ölçmelerini kullandığı lokasyonların en önemlisi TKİ-GELİ, Muğla Yatağan linyit sahasıdır. İlgili ölçmelerin buradaki kullanım amacı, madencilikle ilgili değil, linyit sahasındaki arkeolojik kalıntıların sınırlarını belirlemektir. Jeotermal etütlerde ve petrol aramalarında sıklıkla kullanılan bu yöntemin pratik ölçü ekipmanlarının da gelişmesiyle artık madencilik uygulama alanına girmesi gerekmektedir.

Bu tez içeriğinde, ilgili ölçümler konusuna kapsamlı bir literatür araştırması yapılarak bunlar tezin 2. bölümünde sunulmuştur. Madencilikte yer altı galerilerinin etrafında oluşan çatlakların bozulmaların nasıl oluştuğu konusunda tecrübe kazanmak için, görsel olarak olayları anlayabilmek için üzerinde çalışılan bu doktora programının amaçlarını anlayabilmek için fiziksel alçı plakalarında farklı şekilli galeri modelleri oluşturulmuştur. Bu modelleri homojen düşey yük altında kırarak galeri çevresindeki deformasyonların sonrasında çatlak ve bozulmaların nerelerde başlayabileceği konusunda deneyler yapılmıştır. Bu deneyimler tezin 3. bölümünde aktarılmaktadır. Elektriksel yerdirenci ölçüm çalışmalarını sağlayacağı faydaları cam

hacim içinde yapay zemin modeli oluşturarak denemesi yapılmıştır. Bu testlerin nasıl yapıldığı ve sonuçları tezin 3. bölümünde verilmektedir. Plaka model çalışmaları üzerinde elektriksel rezistivite değişim ölçümleri yapılmış ve model plakaların sağlam oldukları durumda ve yük altında mikro çatlatılmalarından sonra, plaka içeriğinin elektriksel rezistivite değişimleri ölçülerek, yerdirenci yönteminin pratik uygulamaları yapılmıştır. Bu laboratuar ölçümleriyle ilgili sonuçlar da 3.bölümde aktarılmaktadır. Tezin 4.bölümü yerdirenci ölçümleri konusunda mühendislik uygulamalarını içerecek, yerdirenci ölçüm teknikleri konusunda tecrübe artırıcı testleri ve sonuçlarını içermektedir. Bu uygulamalar, bu konuda araştırma yapmayı planlayan araştırmacılara değerli tecrübeler ve bilgiler aktarmaktadır. Açık ocak maden işletmeciliği konusunda yerdirenci ölçümlerinin sağlayabileceği faydalar farklı uygulamalarla detaylı bir şekilde araştırılmıştır. Bu konudaki sonuçlar bu tezin 5. bölümünde yer almaktadır. Tezin 6. bölümü yerdirenci ölçümlerinin yer altı galerileri veya tünellerindeki uygulamalarını içermektedir. Tünel çevresindeki bozuklukların öğrenilmesine yönelik yapılan çalışmalar bu bölümde aktarılmıştır. Bozuşma yayılımını ölçmek için yeraltında kullanılan ekstansometrelerin sağlayacağı ölçüm değerleri, elektriksel yerdirenci ölçüm sonuçlarıyla karşılaştırıldığı zaman daha büyük alanlardaki hareketler konusunda yorum yapılabilme olanağının çıkacağı aşikardır. Çünkü bu ölçüm yöntemiyle galeri veya tünellerin çevresindeki bozuşmaların yayılımı 2-boyutlu olarak öğrenilebilmektedir.

Hasarsız ölçüm yöntemlerinin sağlayacağı yararlar cevher sınırlarının araştırılması konusunda, bulunan mermer veya traverten sahalarının kalitesi konusunda örnekler verilerek açıklanmıştır. Madenciliği ilgilendiren kaya mekaniği araştırma alanında, yerdirenci uygulamalarının neler olabileceği tez içinde verilen şev kayma tabanının bulunması, patlatma etkilerinin izlenmesi, galeri çevresinde sonradan oluşacak deformasyona bağlı bozuşmaların araştırılması gibi konularında verilen uygulamalı örneklerle verilmiştir. Böylece daha önce çok kullanılmayan bu ölçüm tekniğinin maden mühendisliği araştırma konularına katılması gerektiği vurgulanarak bu sistemin getireceği pratik kazanımlar örneklendirilmiştir. Kayaçların yerdirencindeki farklılaşmalar birçok doğal olaya bağlı olduğu için elde edilen yerdirenci değerlerinin yorumlanması gerekecektir. Bu konuda yeterli bilgiye sahip maden, jeoloji ve jeofizik mühendislerinin ortak araştırma yapma gerekliliği bu tez

çalışmasının sonuçları arasındadır. Böylece her mühendislik dalının tecrübeleri, maden üretimine veya stabil bir tünel elde etmeye yoğunlaştırılabilecektir.

Madencilik üzerine yapılan çalışmalardaki amacım; mevcut sahaların rezerv durumlarının incelenmesini ve gözle görünmeyen formasyon bozukluklarının kısa zaman ve düşük maliyetle tespitinin sağlanmasıdır. Bu amaç doğrultusunda önceki bölümlerde anlatılan maden ocaklarında çalışmalar yürütülmüştür. Elde edilen sonuçlar bahsi geçen maden ocaklarındaki yetkili kişilere bildirilmiş, alınan olumlu tepkiler sayesinde madencilik için önemine inanılan bu ölçüm yöntemi konusunda daha fazla uygulama çalışması yapılmıştır. Uygulama ölçümlerinin TKİ-GLİ bölge müdürlüğüne bağlı Ilgın Gölyaka Linyitleri ocağında 10000 ton kömür üretimi konusunda gerekli bilgileri sağlaması, ülke ekonomisine de bir katkı olmuştur. Yapılan çalışmalar sonrası, elde edilen bazı kayaçlara ait direnç değerleri aşağıda (Tablo 7.1-7.4) literatürdeki değerleriyle birlikte verilmiştir. Bu tablolar literatürde direnç değişimleri verilen bazı kayaçların, bu tez kapsamında elde edilen yerdirenci değerlerini içermektedir. Bu değerler benzer konularda çalışma yapacak diğer araştırmacılara büyük fayda sağlayacağı için burada özetlenmiştir.

Tablo 7.1. Kayaçlara ait elektriksel rezistivite değerleri.

Kayaçlar	**Ω-m (Literatür)**	**Deneylerden (Ω-m)**
Konglomera	2000 – 20000 (3000 - 10000)	
Kumtaşları	1 – 640 milyon (10 – 7000)	
Kireçtaşları	500 milyon (80 – 8000)	**400 – 12000**
Dolomit	350 – 5000 (500 - 8000)	
Marn	3 – 70 (5 – 80)	**120 – 2000**
Killer	1 – 100 (1 – 100)	
Alüvyon + kumlar	10 – 800 (10 – 900)	
Petrol kumları	4 – 800 (7 - 900)	
Granit	300 – 1 milyon (7000 – 1 milyon)	
Diyorit	100 – 1 milyon	
Andezit	20 – 50 milyon (70000 – 50 milyon)	**100 – 600**
Diyabaz	20 – 50 milyon	
Gabro	1000 – 1 milyon (1000 – 1 milyon)	
Bazalt	10 – 10 milyon (1000 – 20 milyon)	
Gnays	70000 – 3 milyon	
Mermer	100 – 250 milyon (100 – 300 milyon)	**7000 – 60000**
Kuvarsit	10 – 200 milyon (100 – 200 milyon)	
Şeyl	20 – 2000 (30 - 10000)	
Şist	30 - 10000	

Tablo 7.2.Çalışmalar sonrasında elde edilen bazı elektriksel yerdirenci değerleri.

Çalışma Bölgesi	Direnç Aralığı (Ω-m)
Traverten (Göksu)	**(13000 – 150000) – (10000 – 35000)**
Traverten (Yükselen)	**(3000 - 90000) – (1200 – 5000)**
Traverten (Emirdağ)	**(2000 - 8000) – (3000 – 8000)**
Fillit	**(150 - 700) – (230 – 270)**
Serpantin (Bozuk)	**(10 - 100)**
Dunit	**(280 - 700) – (700 – 8000)**
Serpantin (Kayaç)	**(80 - 5000) – (5 – 7500)**

Tablo 7.3. Bazı minerallere ait elektriksel yerdirenci değerleri.

Mineraller	Ω-m (Literatür)	Deneylerden (Ω-m)
Kalkopirit	0,004	
Pirit	0,3	
Pirolit	0,0001	
Galenit	0,002 – (0,9)	
Sfalerit	200	
Zinober	20 milyon	
Boksit	600 – 200 milyon	
Kalkosit	0,0001	
Kromit	1 milyon	**200 – 600**
Volframit	200 bin	
Hematit	0,0035 – 20 milyon (70 – 9000)	
Manganez	0,01 – 0,3	**0,5 – 40**
Kuvars	40 milyar >dan büyük	
Kalsit	4 trilyon	
Kaya tuzu	30 – 40 trilyon	
Magnetit	(0,1- 1000)	

Tablo 7.4. Bazı malzemeler, sular ve kömürlere ait elektriksel rezistivite değerleri.

Malzeme	**Ω-m (Literatür)**	**Deneylerden (Ω-m)**
Islak aşırı killi toprak	1-10	
Islak aşırı siltli toprak	=< 10	
Islak siltli +kumlu toprak	10 – 100	
Siltli kum + çakıl	=< 1000	
Kaba kuru kum + çakıl	=> 1000	
Çatlakları ıslak toprak dolu kayaç	;; 100	

Sular		
Yüzey suyu (magmatik ortam)	0,1 -3000	**0.1-9**
Yüzey suyu (yağış)	30 – 3000	**40-65**
Yüzey suyu (çakıl içinde)	10 – 100	
Toprak suları	100	
Doğal kaynak (magmatik)	9	**7**
Doğal kaynak (çökel)	3	
Tuzlu su (% 3 derişik)	0,15	
Deniz suyu	(0,2)	
Yer altı suyu (genel)	(10 – 100)	
Kömürler		
Linyit	9 – 200 (10 - 300)	**80 -250**
Çeşitli kömürler	10 – 10 milyar	
Antrasit	(0,001 – 200 bin)	

KAYNAKLAR

Abledu, K.O. and Laird, D.N. (1992) Measurement of substation rock resistivity, transactions on Power Delivery, 7, 1, pp295-301.

Arslan, C. (2009) ÇG-2 Panosu elektiriksel direnç ölçümü gerekliliği, TKİ-Garp Linyitleri İşletmesi Müessesesi, Ilgin İletmesi Müdürlüğü, Yükseklisans semineri, Ekim 2008, Selçuk Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Konya.

Batayneh, A.T. and Al- Diabat, A.A. (2002), Application of a two-dimensional electrical tomography technique for investigating landslides along the Amman Dead Sea Highway, Jordan, Environmental Geology, 42, ss399-403.

Bieniawski,(1989), Rock mass classification

Bernstone,C., Dahlin, T., Ohlsson, T. and Hogland, W. (2000) DC-resistivity mapping of internal landfill structures: Two pre-excavation surveys",

Chouker, F. (2001), Archaeological Site Investigation by Geoelectrical Measurements in Tel-Halawi Northern Syria), Archaeological ProspectionArchaeol. Prospect. **8**, 257–263 ,DOI: 10.1002/arp.164

Chung, D.D.L. (2003) Damage in cement-based materials, studied by electrical resistance measurement, Material Science and Engineering, R-42, pp1-40.

Çaglar, I., 2001. Electrical resistivity structure of the northwestern Anatolia and its tectonic implications for the Sakarya and Bornova zones. Phys. Earth Planet. Int. 125: 95–110.

Çetin, K.O., Isik, N., and Unutmaz, B., (2004) Seismically induced landslide at Degirmendere Nose, Izmit Bay, During Kocaeli (Izmit)-Turkey Earthquake, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, pp149-166.,

Dahlin, Torleif (2001) The development of DC resistivity imaging techniques, Computers and Geosciences, V27, pp1019–1029.

Delaney vd. (2001), Electrical resistivity of frozen and petroleum-contaminated fine-grained soil, Published by Elsevier Science B.V

Doğan, K. ve Gökay, M.K. (2007) Kömür havzalarındaki Şevlerde Elektriksel Direnç Dağılımları (*Electrical resistivity variation in coal bearing strata),* Maden Makineleri Sempozyumu, 10-12 Mayıs 2007, Bildiriler kitabı,ss309-316, Kütahya

Dogan, K. & Gökay, M.K. (2008) Electrical Resistivity Variation In Coal Bearing Strata; Slope Failure Analysis In Coal Measures, SGEM 2008, The 8 th International Scientific Conference, Modern Management Of Mine Producing, Geology And Environmental Protection, Albena, Bulgaria

Doğan, K. , Gökay, M.K., S. Kahveci ve C.Arslan (2007) Açık Ocak Yollarının Elektriksel Direnç Yöntemiyle İncelenmesi, (*Analysis of open pit roads by electrical resistivity methods),* Maden Makineleri Sempozyumu, 10-12 Mayıs 2007, Bildiriler kitabı,ss317-326, Kütahya

Dursun, A.E. and and Gökay, M.K. (2009) Resistivity measurements for water leakage of abandoned small embankment dam. 9th International Multidisciplinary Scientific Geo-Conference & EXPO SGEM 2009: Modern Management of Mine Producing, Geology and Environmental Protection, 14.06.2009-19.06.2009, Congress Centre "Flamingo Grand", Albena Resort, Bulgaria, V1, pp465-472.

Goodman, M., Rabinovich, B., Rabinovich, D., Gilad, I., Schirov,M., (1994). Application of integrated NMR-TDEM method ingroundwater exploration in Israel. Journal of Applied Geophysics,31, 27– 52.

Gowd,S. (2004), Electrical resistivity surveys to delineate groundwater potential aquifers in Peddavanka watershed, Anantapur District, Andhra Pradesh, India, Environmental Geology, Volume 46, Number 1, July 2004 , pp. 118-131(14)

Gökay, M.K. , Doğan, K Özkan, İ.(2006) Elektriksel direnç yöntemiyle model galerilerin çevresindeki çatlaklılık durumunun incelenmesi, *Türkiye 15, Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı,ss27-38, 07-09 Haziran 2006, Zonguldak, Turkey*

Gökay, M.K. and Dogan,K. (2009) Electrical resistivity measurement for country rock disturbance of shallow railway tunnel. 9th International Multidisciplinary Scientific Geo-Conference & EXPO SGEM 2009: Modern Management of Mine Producing, Geology and Environmental Protection, 14.06.2009-19.06.2009, Congress Centre "Flamingo Grand", Albena Resort, Bulgaria, V1, pp405-412

Gökay, M.K., Dogan,K. And Kekeç, B. (2009) Electrical resistivity measurement to analyze the effects of rock blasting. 9th International Multidisciplinary Scientific Geo-Conference & EXPO SGEM 2009: Modern Management of Mine Producing, Geology and Environmental Protection, 14.06.2009-19.06.2009, Congress Centre "Flamingo Grand", Albena Resort, Bulgaria, V1, pp413-420

Hudson J.A., (1989), Rock mechanics principles in engineering practice, Butterworth-Heinemann

Jackson, P.D., Northmore K.J., Meldrum, P.I., Gunn, D.A., Hallam,J.R., Wambura, J., Wangusi,B. ve Ogutu,G., (2002), Non- invasive moisture monitoring within an earth embankment-a precursor to failure, NDT & E International, Elsevier pres, V35, pp107-115.

Kruschwitz,S., ve Yaramancı, U. (2004), Detection and characterization of the disturbed rock zone in claystone with the complex resistivity method,Journal of Applied Geophysics 57, pp63– 79

Lolcama, L., Cohen H.A. and Tonkin M.J. (2002) Deep karst conduits, flooding and sinkholes: lessons fort he aggregates industry, Eng. Geology, 65, pp151-157.

Osakuni, M., Tamunoene, A.(2004), Shallow resistivity measurement for cathodic protection of pipelines in the Niger Delta, Environmental Geology, Volume 45, Number 6, April 2004 , pp. 747-752(6)

Ramirez, A. and Daily, W. (2001) Electrical imaging at the large block test-Yucca Mountain, Nevada, Journal of Applied Geophysics, 46, pp85-100.

Similox – Tohon vd (2004), Two-dimensional resistivity imaging: a tool in archaeoseismology. An example from ancient Sagalassos, Volume 11 Issue 1, Pages 1 - 18

Thacker, P. and Ellwood, B.B., 2002. The magnetic susceptibility of cherts: archaeological and geochemical implications of source variation. Geoarchaeology, 17, 465-482.Tabbagh, A., Dabas, M., Hesse, A. and Panissod, C. (1997) Soil resistivity: A non-invasive tool to map soil structure horizonation, Geoderma, pp393-404.

Van Schoor, M. (2002) Detectionof sinkholes using 2D electrical resistivity imaging, Applied Geophysics, 50, pp393-399.

Waltham, A. C. and Swift, G. M. (2004) “Bearing capacity of rock over mined cavities in Nottingham” Engineering Geology 75 15–31

Yaday G.S., Abolfazli, H., (1998). Geoelectrical soundings and their relationship to hydraulic parameters in semiarid regions of Jalore, northwestern India. J. Appl. Geophys. 39, 35–51. Yaramanci, U., 2000. Geoelectric exploration and monitoring in rock salt for the safety assessment of underground waste disposal sites. J. Appl. Geophys. 44, 181–196.

Yılmaz S., 2004, Tek Katlı Prefabrik Yapıların Deprem Davranışı ve Türk Deprem Yönetmeliğinin Prefabrik Yapılar Açısından Değerlendirilmesi, Pamukkale Üniversitesi, YL Tezi

Zhou, W., Beck, B.F.and Stephenson, J.B. (2000) Reliability of dipole-dipole electrical resistivity tomography for defining depth to bedrock in covered Karst terrains, Environmental Geology, 39, pp760-766.

EK-A
ARAZİ ÇALIŞMASI ORJİNAL VERİLER

Doktora tez çalışmasının bu bölümünde arazide yapılmış olan çalışmalara örnek teşkil etmesi amacıyla bazı örneklere yer verilmiştir. İlerleyen sayfalarda yapılmış olan üç farklı okuma yöntemine ait orijinal değerler sunulmuştur.

Arazi çalışması sonrası elde edilen bu okuma değerleri cihazın hafızasından özel aktarım kabloları aracılığı ile bilgisayara ARES yazılımı ile aktarılmaktadır. Aktarım sonrası sayısal değerlerin RES2DINV yazılımına uygun hale dönüştürmek amacıyla ARES programı içerisinde bazı işlemlere tabi tutulmaktadır. Elde edilen bu tablolar SURFER veri tabanına uygun dönüşüm yapıldıktan sonra kendine ait formatta kayıt edilerek çizimler yapılmakta ve tezin iç kısımlarında elde edilen grafikler çizilmektedir.

Tez içerisinde verilen bazı topografya değerleri girilerek elde edilen çizimler SURFER veri tabanına uygun dosya içerisine eklenerek çizim yeniden yapılmaktadır.

Üç farklı yönteme ait orijinal veri tablosu sunulmuştur. Bunlar Schlumberger, wenner alpha ve wenner beta okumalarına aittir. Tablo içerisinde okuma yapılan bölgeye ait yer bilgileri, çalışmanın yapıldığı tarih, çalışma yöntemi, açılan kablo mesafesi, elektrotlar arası mesafe, inilebilecek maksimum mesafe gibi birçok bilgi mevcuttur. Ayrıca okuma yapılan elektrotların durumları, okunan yere ait ohm.m değerleri, standart hata oranları, ve empedans değerleri verilmektedir. Bu verilerden faydalanarak içerisinde kendine ait hesaplama yöntemleri ile mevcut grafikler elde edilmektedir.

Device: ARES-G4 v4.7, SN: 0609136
Locality: ÖRNEK
Operator: k
Date: 11/23/2007
Note:
Profile: 1
X-loc: 0m
Y-loc: 0m
Direction: 0 (X)
Length: 155m
Distance: 5m
MC-set: Schlumberger N6
S-min: 0m
S-max: 155m
Pulse: 1s
IP-Windows:

C1 [el]	C2 [el]	P1 [el]	P2 [el]	Aray	I [mA]	V [mV]	EP [mV]	AppRes [Ohmm]	St-dev [%]
0	3	1	2	WS	23.35	27.54	-21.32	37.06	0.8
1	4	2	3	WS	20.31	41.32	-53.84	63.92	0.1
2	5	3	4	WS	17.51	57.11	-21.21	102.49	0.1
3	6	4	5	WS	17.7	42.59	-26.14	75.6	0.1
4	7	5	6	WS	18.97	50.16	-7.61	83.05	0
5	8	6	7	WS	13.11	51.5	1.36	123.4	0
6	9	7	8	WS	16.32	88.72	-45.75	170.81	1.3
7	10	8	9	WS	17.86	73.69	5.45	129.64	2
8	11	9	10	WS	15.45	61.01	-19.58	124.08	0
9	12	10	11	WS	16.47	60.68	5.36	115.76	0.2
10	13	11	12	WS	18.03	71.35	7.64	124.34	0.1
11	14	12	13	WS	21.33	87.45	-26.65	128.82	0.3
12	15	13	14	WS	17.53	108.27	28.58	194	0.4
13	16	14	15	WS	25.68	161.2	38.11	197.21	0.2
14	17	15	16	WS	25.1	236.98	76.71	296.57	0.1
15	18	16	17	WS	29.81	374.4	215.13	394.62	0.3
16	19	17	18	WS	20.16	265.43	170.96	413.57	0.2
17	20	18	19	WS	26.2	378.59	392.93	453.91	0.2
18	21	19	20	WS	21.87	375.94	172.67	539.92	0.1
19	22	20	21	WS	17.88	360.71	221.3	633.69	0.3
20	23	21	22	WS	21.04	285.49	194.2	426.29	0.3
21	24	22	23	WS	20.23	221.53	119.81	343.95	0.2
22	25	23	24	WS	13.45	178.02	151.27	415.82	0.4
23	26	24	25	WS	18.22	227.26	143.62	391.8	0.2
24	27	25	26	WS	21.2	271.41	102.68	402.23	0.2
25	28	26	27	WS	18.84	284.06	139.01	473.66	0.2
26	29	27	28	WS	18.15	339.37	176.66	587.48	0.3
27	30	28	29	WS	20.28	394.47	107.98	611.03	0.2
28	31	29	30	WS	17.88	511.84	126.1	899.41	0.2
0	5	2	3	WS	59.94	27.87	-89.28	43.83	0.1
1	6	3	4	WS	52.53	35.07	-12.88	62.92	1
2	7	4	5	WS	48.7	35.73	-93.59	69.16	1.1
3	8	5	6	WS	46.71	34.81	59.01	70.24	1.8
4	9	6	7	WS	50.7	55.59	39.52	103.33	0.4
5	10	7	8	WS	36	29.2	-38.91	76.44	1
6	11	8	9	WS	156.5	22.24	24.97	13.4	0.9
7	12	9	10	WS	48.27	76.48	10.44	149.33	0
8	13	10	11	WS	15.77	37.79	-67.11	225.84	0.9
9	14	11	12	WS	17.14	47.79	96.9	262.71	0.4
10	15	12	13	WS	18.29	42.14	56.55	217.17	0.4
11	16	13	14	WS	20.41	74.91	14.44	346	1.7
12	17	14	15	WS	17.03	65.46	55.94	362.36	0.3
13	18	15	16	WS	25.73	119.09	74.22	436.24	0.2
14	19	16	17	WS	23.2	171.33	121.32	695.89	0.1
15	20	17	18	WS	29.02	217.6	115.43	706.68	0.1
16	21	18	19	WS	20.19	166.18	266.06	775.57	0.1
17	22	19	20	WS	23.7	236.69	163.61	941.38	0
18	23	20	21	WS	21.38	216.06	174.17	952.38	0.1
19	24	21	22	WS	19.05	109.12	144.72	539.93	0
20	25	22	23	WS	21.06	116.73	97.52	522.41	0.1
21	26	23	24	WS	19.42	183.08	89.18	888.52	0
22	27	24	25	WS	13.48	137.99	93.29	964.44	0.1
23	28	25	26	WS	18.34	172.34	73.23	885.82	0
24	29	26	27	WS	21.23	192.24	103.6	853.49	0.1
25	30	27	28	WS	19.59	154.27	101.86	742.36	0.2
26	31	28	29	WS	16.95	236.11	67.97	1312.57	0.1
0	7	3	4	WS	61.76	24.66	-36.22	75.28	0.1
1	8	4	5	WS	50.57	25.58	-37.92	95.36	1.8
2	9	5	6	WS	47.42	24.63	-21.61	97.92	1.6
3	10	6	7	WS	46.7	33.62	-39.85	135.69	0.1
4	11	7	8	WS	178.4	53	-18.04	56	0.2
5	12	8	9	WS	478.04	-178.63	21.53	0	0
6	13	9	10	WS	568.53	-232.27	-25.23	0	0
7	14	10	11	WS	51.66	48.76	-38.33	177.95	0.1
8	15	11	12	WS	43.84	92.76	39.45	398.83	0.3
9	16	12	13	WS	45.78	92.66	-19.54	381.51	1.1
10	17	13	14	WS	17.86	46.25	241.81	488.14	2
11	18	14	15	WS	20.62	52.67	105.36	481.47	0.5

					to2				
12	19	15	16	WS	16.23	62.18	100.99	722.15	0.9
13	20	16	17	WS	25.46	96.4	217	713.87	0.1
14	21	17	18	WS	23.45	124.31	114.77	999.35	0
15	22	18	19	WS	26.23	168.69	200.8	1212.27	0
16	23	19	20	WS	19.77	106.63	128.29	1016.55	0
17	24	20	21	WS	25.77	129.36	154.43	946.27	0
18	25	21	22	WS	21.4	72	151.71	634.24	0
19	26	22	23	WS	18.31	61.56	91.86	633.82	0.1
20	27	23	24	WS	20.96	101.99	70.42	917.29	0.1
21	28	24	25	WS	19.5	157.78	91.48	1525	0.1
22	29	25	26	WS	13.46	115.23	56.77	1613.18	0.2
23	30	26	27	WS	19.03	115.36	91.26	1142.65	0.1
24	31	27	28	WS	19.75	167.11	147.94	1595.12	0.2
0	9	4	5	WS	60.24	24.77	-46.72	129.2	0.1
1	10	5	6	WS	50.7	20.82	-30.11	129	0.3
2	11	6	7	WS	48.3	29.42	-22.22	191.32	1
3	12	7	8	WS	158.04	29.56	-48	58.75	0
4	13	8	9	WS	469.73	-358.39	-56.56	0	0
5	14	9	10	WS	500.34	-299.31	14.32	0	0
6	15	10	11	WS	582.36	-158.72	-21.8	0	0
7	16	11	12	WS	50.53	50.36	5.12	313.14	0.1
8	17	12	13	WS	42.75	68.02	-73.67	499.94	1.6
9	18	13	14	WS	16.83	36.9	204.63	688.76	0.6
10	19	14	15	WS	16.82	33.42	9.25	624.14	2.6
11	20	15	16	WS	20.53	51.63	342.48	790	0.3
12	21	16	17	WS	16.24	54.01	235.73	1045.14	0
13	22	17	18	WS	23.2	86.55	133.09	1172	0
14	23	18	19	WS	22.99	84.02	185.44	1148.32	0
15	24	19	20	WS	29.07	92.84	122.11	1003.23	0
16	25	20	21	WS	19.96	61.18	127.76	962.93	0
17	26	21	22	WS	24.53	43.12	126.22	552.27	0.3
18	27	22	23	WS	21.39	30.92	81.94	454.06	0.6
19	28	23	24	WS	18.4	56	77	956.13	0.2
20	29	24	25	WS	21.04	91.11	103.4	1360.49	0.2
22	31	26	27	WS	12.88	108.22	139.61	2639.73	0.1
0	11	5	6	WS	62.24	22.22	-48.9	168.25	0.1
1	12	6	7	WS	49.61	24.36	-24.23	231.4	1.4
2	13	7	8	WS	441.91	25.78	-55.84	27.49	0.7
3	14	8	9	WS	604.88	-360.14	-10.17	0	0
4	15	9	10	WS	479.16	-320.39	-41.27	0	0
5	16	10	11	WS	493.03	-147.86	-46.31	0	0
6	17	11	12	WS	571.94	-131.21	-21.55	0	0
7	18	12	13	WS	51.3	37.73	-30.29	346.6	0.4
8	19	13	14	WS	40.7	76.16	73.2	881.87	1
9	20	14	15	WS	45.76	74.82	50.04	770.44	1.3
10	21	15	16	WS	17.07	39.94	355.43	1102.94	0.4
11	22	16	17	WS	18.94	53.84	308.72	1339.68	0
12	23	17	18	WS	15.9	38.98	525.06	1155.14	0
13	24	18	19	WS	25.31	43.32	412.78	806.55	0
14	25	19	20	WS	23.07	46.95	226.75	959.01	0
15	26	20	21	WS	27.58	56.79	206.88	970.43	0.1
16	27	21	22	WS	198.42	21.89	128.6	51.98	0.5
17	28	22	23	WS	242.68	27.44	63.03	53.28	1.2
18	29	23	24	WS	61.43	81.2	103.69	622.93	0
19	30	24	25	WS	54.16	95.31	138.24	829.27	0.3
20	31	25	26	WS	19.86	96.28	124.84	2284.76	0
0	13	6	7	WS	64.96	31.83	-40.42	323.29	0
1	14	7	8	WS	478.1	30	-53.06	41.4	0.3
2	15	8	9	WS	450.88	-270.54	-5.46	0	0
3	16	9	10	WS	598.31	-264.79	-45.63	0	0
4	17	10	11	WS	467.27	-170	-29.61	0	0
5	18	11	12	WS	498.09	-151.38	4.5	0	0
6	19	12	13	WS	547.11	10.92	-193.35	13.16	7.6
7	20	13	14	WS	51.16	45.31	75.52	584.24	0.4
8	21	14	15	WS	40.91	57.95	-20.7	934.47	2
9	22	15	16	WS	15.81	37.45	365.62	1562.35	0.1
10	23	16	17	WS	16.56	31.75	252	1264.99	0.1
11	24	17	18	WS	20.33	28.52	386.39	925.56	0.1
12	25	18	19	WS	15.91	21.56	444.89	894.33	0.1
13	26	19	20	WS	24.17	24.94	437.84	680.81	0.1
14	27	20	21	WS	23.07	20.04	295.79	573.17	0.6
15	28	21	22	WS	680.74	-277.65	197.35	0	0
16	29	22	23	WS	515.3	-362.02	117.83	0	0
17	30	23	24	WS	644.24	-320.67	132.71	0	0
18	31	24	25	WS	21.18	50.19	148.84	1563.13	0
0	15	6	9	WS	24.12	23.51	-43.63	275.66	0.3
1	16	7	10	WS	51.77	20.25	-61.93	110.58	0
2	17	8	11	WS	451.36	12.53	-36.65	7.85	1.7
3	18	9	12	WS	608.51	-15.65	-48.4	0	0
4	19	10	13	WS	177.91	46.06	-50.26	73.2	0.5
5	20	11	14	WS	129.31	53.45	-56.9	116.88	0.4
6	21	12	15	WS	45.58	34.27	29.41	212.59	0.3
7	22	13	16	WS	46.94	76.83	124.65	462.75	0
8	23	14	17	WS	14.76	37.11	146.97	710.98	0
9	24	15	18	WS	16.47	34.62	-34.62	594.2	0.1
10	25	16	19	WS	16.56	33.62	61.02	573.98	0.1
11	26	17	20	WS	19.55	36.43	351.17	526.9	0.2

					to2				
12	27	18	21	WS	15.88	25.58	340.67	455.58	0.2
13	28	19	22	WS	24.43	30.94	509.78	358.11	0.3
14	29	20	23	WS	23.16	29.04	513.22	354.59	0.2
15	30	21	24	WS	724.87	-304.26	433.44	0	0
16	31	22	25	WS	56.64	51.19	148.16	255.5	0.1
0	17	7	10	WS	64.7	23.58	-67.26	133.55	0.1
1	18	8	11	WS	469.76	19.35	-35.41	15.1	0.5
2	19	9	12	WS	596.03	-3.18	-47.23	0	0
3	20	10	13	WS	445.01	86.83	-65.68	71.51	0
4	21	11	14	WS	178.27	48.2	-57.64	99.1	0.3
5	22	12	15	WS	120.39	48.47	72.06	147.55	0.7
6	23	13	16	WS	555.57	21.89	123.07	14.44	1
7	24	14	17	WS	51.04	46.34	140.9	332.76	0
8	25	15	18	WS	40.45	70.93	-104.44	642.65	0
9	26	16	19	WS	44.42	73.51	-27.42	606.55	0
10	27	17	20	WS	46.29	58.29	294.88	461.5	0
11	28	18	21	WS	56	54.51	450.23	356.74	0.1
12	29	19	22	WS	46.03	33.33	517.37	265.36	0.2
13	30	20	23	WS	636.87	-98.35	525.7	0	0
14	31	21	24	WS	213.21	66.49	509.56	114.3	0.1
0	19	8	11	WS	536.27	29.56	-31.43	25.4	0
1	20	9	12	WS	464.18	-6.59	-68.9	0	0
2	21	10	13	WS	427.24	69.18	33.66	74.61	0.4
3	22	11	14	WS	405.98	80.03	12.99	90.84	0.4
4	23	12	15	WS	177.67	62.65	-8.49	162.48	0.3
5	24	13	16	WS	492.19	-184.11	-80.64	0	0
6	25	14	17	WS	554.15	-130.4	-30	0	0
7	26	15	18	WS	171.84	92.02	-32.75	246.74	0
8	27	16	19	WS	40.9	51.88	15.52	584.43	0
9	28	17	20	WS	44.75	45.72	230.37	470.75	0
10	29	18	21	WS	46.57	28.55	346.3	282.44	0
11	30	19	22	WS	522.63	-42.42	536.53	0	0
12	31	20	23	WS	161.37	83.87	600.37	239.47	0
0	21	9	12	WS	552.75	15.19	-48.45	15.54	3.3
1	22	10	13	WS	434.27	51.77	-79.65	67.41	0.4
2	23	11	14	WS	424.16	66.84	-169.95	89.11	1.4
3	24	12	15	WS	172.18	53.02	-76.82	174.13	0.3
4	25	13	16	WS	454.02	-185.48	42.95	0	0
5	26	14	17	WS	488.69	-239.3	60.95	0	0
6	27	15	18	WS	555.28	-249.52	8.91	0	0
7	28	16	19	WS	174.09	42.09	37.1	136.73	0
8	29	17	20	WS	140.33	98.01	205.47	394.94	0
9	30	18	21	WS	160.52	25.28	301.6	89.04	0.2
10	31	19	22	WS	153.51	67.39	459.8	248.24	0
0	23	10	13	WS	546.26	58.06	-204.79	72.35	1.6
1	24	11	14	WS	485.3	66.98	-112.5	93.94	0.4
2	25	12	15	WS	170.23	44.01	-45.41	175.98	0.4
3	26	13	16	WS	599.04	-252.91	71.53	0	0
4	27	14	17	WS	451.11	-250.47	76.26	0	0
5	28	15	18	WS	496.21	-322.53	28.55	0	0
6	29	16	19	WS	560.1	-328.52	53.65	0	0
7	30	17	20	WS	452.78	-136.42	199.17	0	0
8	31	18	21	WS	136.69	71.29	280.57	355.01	0
0	25	11	14	WS	217	25.16	-85.05	93.51	0.5
1	26	12	15	WS	178.24	40.13	-41.21	181.53	0.7
2	27	13	16	WS	604.31	-257.77	95.16	0	0
3	28	14	17	WS	598.9	-334.67	82.95	0	0
4	29	15	18	WS	453.95	-312.94	38.2	0	0
5	30	16	19	WS	516.99	-460.49	65.77	0	0
6	31	17	20	WS	537.97	-283.13	196.08	0	0
0	27	12	15	WS	222.16	47.16	-26.32	200.06	0.4
1	28	13	16	WS	466.26	-187.93	105.8	0	0
2	29	14	17	WS	614.36	-337.02	104.84	0	0
3	30	15	18	WS	458.78	-362.64	41.57	0	0
4	31	16	19	WS	603.93	-350.54	62.76	0	0
0	29	13	16	WS	555.06	-216.4	112.61	0	0
1	30	14	17	WS	487.24	-294.32	116.39	0	0
2	31	15	18	WS	593.2	-299.92	50.18	0	0
0	31	14	17	WS	527.17	-202.84	112.86	0	0

Device: ARES-G4 v4.7, SN: 0609136
Locality: ÖRNEK-1
Operator: k
Date: 11/7/2007
Note:
Profile: 1
X-loc: 0m
Y-loc: 0m
Direction: 0 (X)
Length: 155m
Distance: 5m
MC-set: Wenner Alpha
S-min: 0m
S-max: 155m
Pulse: 0.5s
IP-Windows:

C1 [el]	C2 [el]	P1 [el]	P2 [el]	Aray	I [mA]	V [mV]	EP [mV]	AppRes [Ohmm]	St-dev [%]
0	3	1	2	WA	100.02	55.61	2.58	17.47	0
1	4	2	3	WA	86.24	23.94	-49.89	8.72	1.7
2	5	3	4	WA	84.81	32.56	-36.56	12.06	0.7
3	6	4	5	WA	89.96	49.19	-49.42	17.18	0.7
4	7	5	6	WA	40.13	26.3	-85.51	20.59	2
5	8	6	7	WA	73.4	56.21	37.09	24.06	0.4
6	9	7	8	WA	87.94	78.7	-115.52	28.12	0.7
7	10	8	9	WA	56.82	48.28	-145.82	26.69	0.1
8	11	9	10	WA	38.55	29.06	25.45	23.68	1.3
9	12	10	11	WA	56.97	33.87	-67.09	18.68	1.2
10	13	11	12	WA	56.14	30.9	-68.1	17.29	1.4
11	14	12	13	WA	34.89	22.47	-180.74	20.24	1.3
12	15	13	14	WA	55.36	30.07	22.7	17.06	0.4
13	16	14	15	WA	61.84	39.17	-81.68	19.9	2.7
14	17	15	16	WA	47.37	27.92	-95.34	18.52	2.2
15	18	16	17	WA	47.02	26.71	-110.6	17.85	2.3
16	19	17	18	WA	108.27	64.01	-135.26	18.57	0.5
17	20	18	19	WA	101.79	54.23	-101.39	16.74	1.5
18	21	19	20	WA	155.95	78	-141.58	15.71	0.7
19	22	20	21	WA	106.38	56.99	-355.24	16.83	0
20	23	21	22	WA	106.68	61.66	137.5	18.16	1.6
21	24	22	23	WA	105.46	65.1	-325.56	19.39	0.3
22	25	23	24	WA	74.72	52.37	-94.37	22.02	1.1
23	26	24	25	WA	120.78	84.66	23.19	22.02	0.6
24	27	25	26	WA	137.35	86.54	-78.47	19.8	0.6
25	28	26	27	WA	144.61	95.87	18.88	20.83	0.6
26	29	27	28	WA	85.19	53.77	-58.76	19.83	1
27	30	28	29	WA	72.55	46.09	-106.4	19.96	0.9
28	31	29	30	WA	66.82	40.51	-151.95	19.05	0.8
0	6	2	4	WA	361.7	61.08	-54.14	10.61	0.6
1	7	3	5	WA	325.32	72.18	-11.65	13.94	1
2	8	4	6	WA	231.4	70.07	-248.24	19.03	0.5
3	9	5	7	WA	257.99	81.47	-247.68	19.84	0.5
4	10	6	8	WA	133.61	41.26	-61.79	19.4	0.4
5	11	7	9	WA	239.03	84.52	-262.75	22.22	0.2
6	12	8	10	WA	86.74	30.51	-50.05	22.1	0.4
7	13	9	11	WA	205.54	64.35	62.62	19.67	0.4
8	14	10	12	WA	136.68	40.7	-148.85	18.71	0
9	15	11	13	WA	186.38	50.44	-225.4	17.01	0.1
10	16	12	14	WA	164.88	43.41	-138.85	16.54	1.9
11	17	13	15	WA	111.93	31.03	-137.05	17.42	0
12	18	14	16	WA	188.83	55.8	-90.04	18.57	0.5
13	19	15	17	WA	210.32	61.05	202.08	18.24	0.2
14	20	16	18	WA	161.71	45.56	-185.38	17.7	0.4
15	21	17	19	WA	150.11	54.65	-49.32	22.87	0.6
16	22	18	20	WA	103.33	39.46	183.77	23.99	0.7
17	23	19	21	WA	102.65	33.89	-363.86	20.74	1.5
18	24	20	22	WA	157.58	46.88	-79.71	18.69	1.6
19	25	21	23	WA	111.24	34.21	-11.25	19.32	1.1
20	26	22	24	WA	101.63	32.51	-451.06	20.1	0
21	27	23	25	WA	117.23	35.8	-6.43	19.19	0.2
22	28	24	26	WA	77.97	23.97	60.88	19.32	1.3
23	29	25	27	WA	140.08	47.03	27.62	21.1	1.3
24	30	26	28	WA	117.85	39.17	200.29	20.88	0.9
25	31	27	29	WA	136.23	44.38	-307.19	20.47	0.5
0	9	3	6	WA	294.49	47.64	-0.99	15.25	0.2
1	10	4	7	WA	313.54	50.48	-33.3	15.17	0.2
2	11	5	8	WA	221.97	40.46	-46.81	17.18	0.6
3	12	6	9	WA	257.6	49.09	-413.98	17.96	1.6
4	13	7	10	WA	138.52	25.73	-455.58	17.51	0.2
5	14	8	11	WA	262.69	44.55	-272.71	15.98	1
6	15	9	12	WA	280.55	52.33	-56.42	17.58	0.1
7	16	10	13	WA	174.72	30.93	47.23	16.68	0.4
8	17	11	14	WA	126.18	22.94	-214.91	17.13	0.4
9	18	12	15	WA	186.7	37.18	-185.51	18.77	0.6
10	19	13	16	WA	164.92	31.47	-129.48	17.99	0.8
11	20	14	17	WA	111.21	21.85	96.18	18.51	0.7
12	21	15	18	WA	173.32	33.42	54.76	18.17	0.5

13	22	16	19	WA	195.41	39.05	100.1	18.83	0.9
14	23	17	20	WA	164.97	35.64	3.19	20.36	0.9
15	24	18	21	WA	152.74	39.21	-145.49	24.2	2.3
16	25	19	22	WA	108.75	29.91	-165.36	25.92	1.8
17	26	20	23	WA	98.11	23.92	-386.81	22.98	1.4
18	27	21	24	WA	187.16	41.38	-83.22	20.84	0.2
19	28	22	25	WA	119.21	26.94	-254.97	21.3	0.6
20	29	23	26	WA	115.72	24.71	-59.89	20.12	0.9
21	30	24	27	WA	102.41	20.82	-54.85	19.16	2
22	31	25	28	WA	200.32	42.15	-67.21	19.83	0.2
0	12	4	8	WA	731.08	78.67	-99.57	13.52	0.2
1	13	5	9	WA	350.25	43.5	-89.09	15.61	0.2
2	14	6	10	WA	243.34	29.1	-125.12	15.03	0.3
3	15	7	11	WA	244.02	21.68	-122.07	11.17	0.3
4	16	8	12	WA	325.08	32.2	-508.6	12.45	0.3
5	17	9	13	WA	579.36	62.57	-389.39	13.57	1.6
6	18	10	14	WA	709.74	81.61	-276.31	14.45	0.1
7	19	11	15	WA	454.9	56.05	-412.07	15.48	0.1
8	20	12	16	WA	330.2	43.52	6.95	16.56	0.3
9	21	13	17	WA	441.04	60.44	-78.08	17.22	0.8
10	22	14	18	WA	407.73	58.21	-258.58	17.94	0.3
11	23	15	19	WA	313.03	43.31	23.44	17.39	1
12	24	16	20	WA	455.57	61.82	77.28	17.05	1
13	25	17	21	WA	555.09	82.52	-211.88	18.68	0.7
14	26	18	22	WA	403.54	67.13	106.73	20.9	0.9
15	27	19	23	WA	467.79	91.07	-399.38	24.46	0.4
16	28	20	24	WA	313.09	63.33	-467.85	25.42	0.1
17	29	21	25	WA	287.99	55.68	-132.38	24.29	0.3
18	30	22	26	WA	395.8	70.44	-453.05	22.36	1.7
19	31	23	27	WA	294.86	49.88	-45.6	21.26	0.1
0	15	5	10	WA	701.7	53.52	-104.78	11.98	0.5
1	16	6	11	WA	686.94	33.28	-125.63	7.61	0.2
2	17	7	12	WA	552.99	35.29	-136.12	10.02	0
3	18	8	13	WA	624.52	42.21	-82.15	10.62	0.4
4	19	9	14	WA	461.97	24.4	-32.7	8.3	0.9
5	20	10	15	WA	592.87	38.73	-357.73	10.26	1.8
6	21	11	16	WA	640.04	45.78	-441.24	11.23	0.5
7	22	12	17	WA	438.66	36.22	-276.97	12.97	0
8	23	13	18	WA	340.16	32.99	-387.06	15.24	0
9	24	14	19	WA	457.8	47.21	-210.16	16.2	0.5
10	25	15	20	WA	443.44	45.02	-84.56	15.95	1.1
11	26	16	21	WA	301.67	31.02	-280.19	16.15	0.8
12	27	17	22	WA	557.26	52.59	-191.31	14.82	0.9
13	28	18	23	WA	643.58	73.37	-299.86	17.91	0.3
14	29	19	24	WA	489.66	62.71	-468.2	20.12	1.5
15	30	20	25	WA	389.65	59.96	-284.97	24.17	0.2
16	31	21	26	WA	294.56	48.5	-75.39	25.86	1.7
0	18	6	12	WA	710.94	32.53	-107.66	8.62	1
1	19	7	13	WA	690.51	25.7	-86.24	7.02	1.2
2	20	8	14	WA	558.13	17.81	-69.53	6.02	0.6
3	21	9	15	WA	570.27	15.73	-25.91	5.2	0.1
4	22	10	16	WA	448.69	8.69	-45.4	3.65	0.1
5	23	11	17	WA	619.7	19.05	-226.88	5.79	2
6	24	12	18	WA	669.23	36.38	-427.08	10.25	2.6
7	25	13	19	WA	470.07	28.64	-430.24	11.48	1.5
8	26	14	20	WA	326.58	23.34	-476.38	13.47	1
9	27	15	21	WA	553.47	40.06	-586.04	13.64	0.9
10	28	16	22	WA	495.85	31.98	-452.11	12.16	1
11	29	17	23	WA	354.71	28.6	-439.51	15.2	0.8
12	30	18	24	WA	453.77	37.59	-240.43	15.61	0.1
13	31	19	25	WA	586.53	54.37	-305.69	17.47	1.4
0	21	7	14	WA	642.36	11.27	-237.95	3.86	3.2
1	22	8	15	WA	646.36	5.83	-182.67	1.98	1.1
2	23	9	16	WA	583.87	3.93	-157.32	1.48	5
3	24	10	17	WA	591.54	1.61	-221.47	0.6	4
4	25	11	18	WA	481.04	7.08	-423.82	3.24	1.3
5	26	12	19	WA	572.88	12.13	-344.67	4.66	0.1
6	27	13	20	WA	362.04	12.59	-396.18	7.65	1
7	28	14	21	WA	529.41	24.26	-492.55	10.08	1.8
8	29	15	22	WA	531.32	22.68	-421.46	9.39	1
9	30	16	23	WA	452.11	25.51	-523.8	12.41	0.4
10	31	17	24	WA	459.88	27.7	-436.92	13.25	1.7
0	24	8	16	WA	661.66	-4.17	-449.2	0	0
1	25	9	17	WA	725.77	-4.06	-380.88	0	0
2	26	10	18	WA	539.81	-1.03	-439.44	0	0
3	27	11	19	WA	750.53	2.06	-358.92	0.69	4.4
4	28	12	20	WA	523.12	1.97	-321.22	0.95	2.9
5	29	13	21	WA	759.3	10.95	-463.54	3.63	1.2
6	30	14	22	WA	651.73	11.4	-361.36	4.39	1.1
7	31	15	23	WA	500.96	17.44	-444.54	8.75	0.4
0	27	9	18	WA	357.71	0.32	-391.72	0.25	105.3
1	28	10	19	WA	357.1	-2.15	-349.78	0	0
2	29	11	20	WA	701.98	-3.75	-377.81	0	0
3	30	12	21	WA	574.55	-3.37	-383.11	0	0
4	31	13	22	WA	496.66	-6.62	-360.01	0	0
0	30	10	20	WA	643.46	-10.14	-375.58	0	0
1	31	11	21	WA	775.2	-9.55	-459.7	0	0

Device: ARES-G4 v4.7, SN: 0609136
Locality: ÖRNEK-2
Operator: k
Date: 11/9/2007
Note:
Profile: 1
X-loc: 0m
Y-loc: 0m
Direction: 0 (X)
Length: 155m
Distance: 5m
MC-set: Wenner Beta
S-min: 0m
S-max: 155m
Pulse: 0.5s
IP-Windows:

C1 [el]	C2 [el]	P1 [el]	P2 [el]	Aray	I [mA]	V [mV]	EP [mV]	AppRes [Ohmm]	St-dev [%]
1	0	2	3	WB	93.87	22.56	-19.69	22.65	0.2
2	1	3	4	WB	154.82	35.25	13.38	21.46	0.1
3	2	4	5	WB	204.94	37.59	-13.83	17.29	0.6
4	3	5	6	WB	186.99	37.71	-3.62	19	0.4
5	4	6	7	WB	196.95	35.54	17.49	17.01	0.1
6	5	7	8	WB	186.89	31.44	-14.76	15.85	0.6
7	6	8	9	WB	156.33	22.84	-17.88	13.77	0.8
8	7	9	10	WB	184.67	33.24	12.79	16.97	0
9	8	10	11	WB	210.9	29.95	8.65	13.38	0.1
10	9	11	12	WB	178.5	28.32	-29.99	14.95	0.6
11	10	12	13	WB	187.86	29.9	50.36	15	1.1
12	11	13	14	WB	220.05	28.44	-61.21	12.18	1.2
13	12	14	15	WB	167.81	22.59	3.37	12.69	0.2
14	13	15	16	WB	197.3	30.66	15.94	14.64	0.1
15	14	16	17	WB	243.65	35.29	-6.74	13.65	0.4
16	15	17	18	WB	188.45	25.19	-13.1	12.6	0.7
17	16	18	19	WB	251.1	39.94	-3.51	14.99	0.2
18	17	19	20	WB	269.05	37.64	-1.38	13.19	0.2
19	18	20	21	WB	744.55	44.27	-18.02	5.6	0.1
20	19	21	22	WB	491.01	63.37	2.22	12.16	0.2
21	20	22	23	WB	541.71	83.4	-10.57	14.51	0.1
22	21	23	24	WB	200.54	34.53	-8.48	16.23	0.2
23	22	24	25	WB	198.48	32.3	4.6	15.34	0.2
24	23	25	26	WB	378.24	46.21	-10.64	11.51	0.4
25	24	26	27	WB	344.02	69.68	-0.17	19.09	0.2
26	25	27	28	WB	389.88	88.63	-20.05	21.42	0.4
27	26	28	29	WB	339.9	66.61	30.13	18.47	0.3
28	27	29	30	WB	305.04	61.91	30.48	19.13	0.2
29	28	30	31	WB	182.61	51.1	-34.29	26.37	0.1
2	0	4	6	WB	152.97	24.57	-62.21	30.27	1.2
3	1	5	7	WB	156.48	22.97	49.95	27.67	0
4	2	6	8	WB	184.55	20.08	53.98	20.51	1.4
5	3	7	9	WB	207.13	22.09	-108.38	20.11	1.1
6	4	8	10	WB	604.75	60.3	-110.94	18.8	0.2
7	5	9	11	WB	552.22	49.19	41	16.79	1.3
8	6	10	12	WB	668.26	56.14	32.23	15.84	1.1
9	7	11	13	WB	630.46	53.47	43.09	15.99	1.6
10	8	12	14	WB	604.06	51.28	-181.44	16	0.5
11	9	13	15	WB	693.42	58.2	-269.2	15.82	0.6
12	10	14	16	WB	693.13	58.68	194.93	15.96	1.2
13	11	15	17	WB	550.28	43.97	81.46	15.06	0.5
14	12	16	18	WB	788.74	63.39	-215.74	15.15	0.1
15	13	17	19	WB	684.9	80.04	-55.57	22.03	0.5
16	14	18	20	WB	628.27	67.12	120.99	20.14	0.1
17	15	19	21	WB	1008.86	36.43	63.91	6.81	0.1
18	16	20	22	WB	700.92	-29.42	34.82	0	0
19	17	21	23	WB	839.49	45.91	-199.41	10.31	0.1
20	18	22	24	WB	507.19	28.57	-111.13	10.62	0.1
21	19	23	25	WB	638.09	37.06	-13.49	10.95	0.2
22	20	24	26	WB	602.79	32.18	-81.51	10.06	0.9
23	21	25	27	WB	636.2	36.04	131.05	10.68	1.8
24	22	26	28	WB	385.14	28.38	-32.29	13.89	0.4
25	23	27	29	WB	399.59	29.24	169.16	13.79	0.1
26	24	28	30	WB	383.13	30.74	275.45	15.12	0.5
27	25	29	31	WB	329.23	30.09	-74.91	17.23	0.1
3	0	6	9	WB	526.09	58.45	27.21	31.41	0.2
4	1	7	10	WB	492.35	53.12	-72.15	30.51	0.1
5	2	8	11	WB	691.71	59.42	50.04	24.29	1.1
6	3	9	12	WB	634.94	53.82	-82.85	23.96	0.1
7	4	10	13	WB	532.38	47.4	85.79	25.17	0.3
8	5	11	14	WB	707.62	50.65	-220.72	20.24	0.3
9	6	12	15	WB	676.79	50.01	-7.11	20.89	0.2
10	7	13	16	WB	543.75	47.63	-121.78	24.76	1.3
11	8	14	17	WB	691.46	56.75	53.77	23.2	0.7
12	9	15	18	WB	760.03	65.76	86.06	24.46	0.1
13	10	16	19	WB	522.29	57.04	-3.28	30.88	0.3
14	11	17	20	WB	749.97	82.02	120.1	30.92	0.3
15	12	18	21	WB	816.57	63.48	69.7	21.98	0.2

cmt3

16	13	19	22	WB	549.47	4.23	-17.37	2.17	0
17	14	20	23	WB	983.5	-48.23	-158.4	0	0
18	15	21	24	WB	812.05	8.18	-42.61	2.85	0.2
19	16	22	25	WB	662.1	21.11	-21.94	9.02	0.8
20	17	23	26	WB	552.26	28.81	256.46	14.75	0.5
21	18	24	27	WB	657	33.1	186.7	14.24	0.7
22	19	25	28	WB	724.21	31.53	-12.14	12.31	2.7
23	20	26	29	WB	570.6	22.51	-72.31	11.15	1.4
24	21	27	30	WB	371.91	17.31	-108.18	13.16	0.1
25	22	28	31	WB	407.28	25.3	144.99	17.56	0
4	0	8	12	WB	491.87	50.17	-209.61	38.45	0.3
5	1	9	13	WB	532.95	57.57	112.22	40.72	0.2
6	2	10	14	WB	628.15	52.3	-116.53	31.39	0.2
7	3	11	15	WB	551.59	46.14	-187.06	31.54	1
8	4	12	16	WB	673.14	56.59	147.99	31.69	0.2
9	5	13	17	WB	714.48	55.42	-120.64	29.24	1.3
10	6	14	18	WB	577.2	55.04	193.95	35.95	0.8
11	7	15	19	WB	613.69	79.75	46.39	48.99	1.5
12	8	16	20	WB	756.96	94.04	-19.92	46.83	1.3
13	9	17	21	WB	558.69	48.22	72.39	32.54	0.2
14	10	18	22	WB	696.83	28.08	-20.4	15.19	1.9
15	11	19	23	WB	777.6	6.03	307.64	2.93	0.4
16	12	20	24	WB	627.89	-29.7	160.56	0	0
17	13	21	25	WB	798.92	-29.95	182.52	0	0
18	14	22	26	WB	794.93	20.92	140.33	9.92	1.8
19	15	23	27	WB	758.93	30.83	-84.1	15.31	0.8
20	16	24	28	WB	471.5	21.59	-197.68	17.27	0.6
21	17	25	29	WB	729.57	32.07	-139.82	16.57	1.2
22	18	26	30	WB	751.69	23.91	-69.67	11.99	0.9
23	19	27	31	WB	674.54	24.45	-111.51	13.67	0.3
5	0	10	15	WB	531.45	61.92	-21.24	54.9	0.1
6	1	11	16	WB	494.49	57.07	-56.65	54.38	1.3
7	2	12	17	WB	546.47	50.66	-25.04	43.68	1.5
8	3	13	18	WB	703.62	67.59	-144.3	45.26	0.2
9	4	14	19	WB	678.29	83.59	96.52	58.07	0
10	5	15	20	WB	607.44	86.05	409.73	66.75	0
11	6	16	21	WB	657.91	69.55	323.13	49.82	0.6
12	7	17	22	WB	664.71	42.92	464.32	30.43	0.6
13	8	18	23	WB	557.62	19.42	424.64	16.41	1.9
14	9	19	24	WB	763.92	-2.08	293.4	0	0
15	10	20	25	WB	720.53	-61.86	-107.75	0	0
16	11	21	26	WB	603.79	-9.59	-124.4	0	0
17	12	22	27	WB	980.95	11.98	-166.75	5.76	1.2
18	13	23	28	WB	670.52	15.59	-235.14	10.96	1.7
19	14	24	29	WB	743.79	23.47	-99.62	14.87	0.8
20	15	25	30	WB	513.65	18.95	-109.02	17.38	0.1
21	16	26	31	WB	592.81	25.13	-85.99	19.97	1.4
6	0	12	18	WB	492.22	71.47	651.47	82.11	1.2
7	1	13	19	WB	443.2	77.87	478.41	99.35	0.2
8	2	14	20	WB	205.8	31.22	648.52	85.79	1.1
9	3	15	21	WB	211.03	23.51	566.97	62.99	0.9
10	4	16	22	WB	581.15	47.7	369.95	46.41	0.5
11	5	17	23	WB	693.18	37.26	-61.35	30.4	0
12	6	18	24	WB	716.6	16.9	-111.51	13.33	0.2
13	7	19	25	WB	506.79	-16.63	-155.51	0	0
14	8	20	26	WB	760.16	-54.37	-196.25	0	0
15	9	21	27	WB	789.61	-5.5	-160.71	0	0
16	10	22	28	WB	571.47	2.88	-181.58	2.85	2.7
17	11	23	29	WB	922.21	7.72	-166.25	4.73	0.5
18	12	24	30	WB	794.14	21.15	-91.86	15.06	0.3
19	13	25	31	WB	633.25	21.4	-121.71	19.11	1.3
7	0	14	21	WB	440.84	72.3	-97.52	108.2	1.1
8	1	15	22	WB	533.68	54.06	-132.26	66.82	0.4
9	2	16	23	WB	700.44	44.01	-151.84	41.46	0
10	3	17	24	WB	603.08	31.45	-197.18	34.41	0.4
11	4	18	25	WB	658.41	16.24	-220.09	16.27	0.3
12	5	19	26	WB	756.99	-7.78	-257.16	0	0
13	6	20	27	WB	535.03	-49.6	-159.51	0	0
14	7	21	28	WB	666.78	-32.67	-174.31	0	0
15	8	22	29	WB	785.21	5.85	-153.92	4.92	2.6
16	9	23	30	WB	614.72	9.95	-149.4	10.68	0.3
17	10	24	31	WB	844.84	9.53	-113.69	7.44	0.2
8	0	16	24	WB	532.01	25.01	-288.37	35.44	0.7
9	1	17	25	WB	538.95	11.35	-259.95	15.87	0.6
10	2	18	26	WB	598.21	15.32	-183.58	19.31	0.8
11	3	19	27	WB	688.19	-3.82	-200.67	0	0
12	4	20	28	WB	716.09	-64.69	-194.18	0	0
13	5	21	29	WB	557.12	-15.91	-147.33	0	0
14	6	22	30	WB	717.59	-4.61	-147.26	0	0
15	7	23	31	WB	687.23	6.35	-163.41	6.97	10.3
9	0	18	27	WB	535.41	-13.85	-191.15	0	0
10	1	19	28	WB	476.03	-41.5	-250.92	0	0
11	2	20	29	WB	680.05	-58.07	-182.78	0	0
12	3	21	30	WB	752.72	-24.75	-135.71	0	0
13	4	22	31	WB	535.32	-6.3	-154.72	0	0
10	0	20	30	WB	473.93	-94.63	-179.34	0	0
11	1	21	31	WB	526.34	-54.26	-156	0	0