

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ALABANDA ANTİK KENTİNDE REZİSTİVİTE
YÖNTEMİ İLE GÖMÜLÜ ARKEOLOJİK
KALINTILARIN TESPİT EDİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Suat DEMİR

Enstitü Anabilim Dalı : JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ

Tez Danışmanı : Dr. Öğr. Üyesi Günay BEYHAN

Ekim 2021

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ALABANDA ANTİK KENTİNDE REZİSTİVİTE
YÖNTEMİ İLE GÖMÜLÜ ARKEOLOJİK
KALINTILARIN TESPİT EDİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Suat DEMİR

Enstitü Anabilim Dalı : JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ

**Bu tez tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu
ile kabul edilmiştir.**

Jüri Başkanı

Üye

Üye

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Suat DEMİR
26.10.2021

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmamı oluşturma, sunum ve bitirmemde çok yardımcı olan, değerli büyüğüm ve hocam Dr. Öğr. Üyesi Günay BEYHAN'a, bu çalışmayı yaparken gerek sahada gerek ofiste uzun mesailer sonucu benimle tüm bilgisini esirgemedenden paylaşan, kazandığım tecrübelerin öğreticisi değerli hocam emekli Dr. Öğr. Üyesi Can KARAVUL'a, bölüm araştırma görevlilerinden olan Arş. Gör. Dr. Hasan KARAASLAN hocama teőekkürler ederim.

Bana her konuda yardımcı olan arkadaşlarım Semih YILMAZ ve Ömer Faruk YÜCE'ye çok teşekkür ederim.

Beni bugünlere getiren, hep yanımda olan aileme ve en önemlisi desteğini en iyi şekilde her zaman hissettiren çok değerli eşim Betül DEMİR'e sonsuz teőekkürler ederim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	iv
ŞEKİLLER LİSTESİ	v
TABLolar LİSTESİ.....	vii
ÖZET.....	viii
SUMMARY	ix
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2.	
BÖLGE JEOLojİSİ.....	4
2.1. Genel Jeoloji.....	4
BÖLÜM 3.	
ARKEOJEOfİZİK VE KULLANILAN YÖNTEMLER.....	6
3.1. Arkeojeofizik Çalışmaların Geçmişi	6
3.2. Arkeojeofizik Yöntemler	8
3.2.1. Manyetik yöntem.....	9
3.2.2. Elektromanyetik yöntem.....	10
3.2.3. Jeoradar (yer radarı yöntemi).....	11
3.2.4. Gravite yöntemi	12
3.2.5. Elektrik öz direnç yöntemi.....	13

BÖLÜM 4.

ELEKTRİK ÖZDİRENÇ YÖNTEMİ.....	14
4.1. Toprağın Elektriksel Özellikleri	15
4.1.1. Isı	15
4.1.2. Geçirgenlik (Hidrolik)	15
4.1.3. İyon içeriği.....	16
4.1.4. Toprağın nem içeriği	16
4.2. Ölçümleri Etkileyen Faktörler	16
4.2.1. Doğal akımlar	16
4.2.2. Yapay akımlar.....	17
4.2.3. Değme direnci.....	17
4.2.4. Değme gerilimleri.....	17
4.2.5. Elektrot uçlaşması	18
4.3. Dizilim Çeşitleri.....	18
4.3.1. Wenner elektrot dizilimi.....	19
4.3.2. Schlumberger elektrot dizilimi	20
4.3.3. Dipol-dipol elektrot dizilimi.....	22
4.3.4. Pol-pol elektrot dizilimi.....	23
4.4. Özdirenç Yönteminde Veri Toplama.....	25

BÖLÜM 5.

REZİSTİVİTE YÖNTEMİNİN ARAZİDE UYGULANMASI.....	3
5.1. Çalışma Alanının Tanıtılması	3
5.1.1. Kilise alt kısım.....	6
5.1.2. Kilise üst kısım	13

BÖLÜM 6.

SONUÇ VE ÖNERİLER	0
KAYNAKLAR	0
EKLER.....	0
ÖZGEÇMİŞ	0

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

a	: Elektrotlar arası mesafe
b	: Elektrotlar arası mesafe
C	: Akım elektrotu
cm	: Santimetre
ERT	: Elektrik rezistivite tomografisi
I	: Akım
k	: Geometrik faktör
m	: Metre
M.Ö.	: Milattan önce
Ohm.m	: Özdirenç birimi (Ohm.metre)
P	: Potansiyel elektrotu
RMS	: Karesel hata değeri
vb.	: Ve benzeri
ve diğ.	: Ve diğerleri
ρ	: Özdirenç
ΔV	: Potansiyel fark
0C	: Santigrad derece
α	: Alfa
β	: Beta
γ	: Gama
∞	: Sonsuz
%	: Yüzde
2B	: 2 Boyut
3B	: 3 Boyut

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Yer bulduru haritası ve çalışma alanı	3
Şekil 2.1. Alabanda antik kenti ve çevresinin jeoloji haritası	4
Şekil 2.2. Çalışma alanının genelleştirilmiş stratigrafik kesiti.....	5
Şekil 3.1. Arkeojeofizik yöntemler	9
Şekil 4.1. Elektrik özdirenç yönteminin uygulanması (gerilim-akım çizgilerinin yer altındaki yayılımı)	15
Şekil 4.2. Wenner elektrot dizilimi.....	20
Şekil 4.3. Schlumberger elektrot dizilimi	21
Şekil 4.4. Dipol - dipol elektrot dizilimi	23
Şekil 4.5. Pol - pol elektrot dizilimi	24
Şekil 4.6. a) Düşey elektrik sondaj, b) ve c) sırasıyla 2B ve 3B boyutlu özdirenç çalışmalarında yer altının yorumlanması	25
Şekil 4.7. Düşey elektrik sondaj (DES) ölçüm sistemi (üç katmanlı yer altı modeli ve görünür özdirenç eğrisi)	26
Şekil 4.8. Wenner elektrot dizilimi ile profil ölçümü planı.....	27
Şekil 4.9. a) iki boyutlu özdirenç çalışması b) üç boyutlu özdirenç çalışması	28
Şekil 4.10. Ters çözüm işlemi genel akış şeması	1
Şekil 5.1. Alabanda şehir planı ve çalışma alanı	3
Şekil 5.2. Kilise bölgesi alt ve üst kısım çalışma alanı	4
Şekil 5.3. Kilise alanının değişik cephelerden görüntüleri (kuzey ve güney).....	5
Şekil 5.4. Ölçü noktaları için gridlenmiş çalışma alanı kilise alt kısım.....	7
Şekil 5.5. Kilise alt kısım Wenner elektrot dizilimi (yukarıdan aşağı 1. ve 2. Profillere ait ham veriler)	9
Şekil 5.6. Kilise alt kısım Wenner elektrot dizilimi (yukarıdan aşağı 3. ve 4. Profillere ait ham veriler)	10

Şekil 5.7. Kilise alt kısım Wenner elektrot dizilimi (yukarıdan aşağı 5. ve 6. Profillere ait ham veriler)	11
Şekil 5.8. Kilise alt kısım Wenner elektrot dizilimi (yukarıdan aşağı 3., 4. ve 5. Profillere ait ters çözüm)	12
Şekil 5.9. Alabanda antik kenti – kilise üst kısım çalışma alanı	14
Şekil 5.10. Kilise alt kısım Wenner elektrot dizilimi (yukarıdan aşağı 1. ve 2. Profillere ait ham veriler)	16
Şekil 5.11. Kilise alt kısım Wenner elektrot dizilimi (yukarıdan aşağı 3. ve 4. Profillere ait ham veriler)	17
Şekil 5.12. Kilise alt kısım Wenner elektrot dizilimi (yukarıdan aşağı 5. ve 6. Profillere ait ham veriler)	18
Şekil 5.13. Kilise alt kısım Wenner elektrot dizilimi (yukarıdan aşağı 7. ve 8. Profillere ait ham veriler)	19
Şekil 5.14. Kilise üst kısım Wenner elektrot dizilimi (yukarıdan aşağı 3., 4. ve 7. profiller)	20
Şekil 5.15. Genel çalışma alanı	21
Şekil 5.16. Genel çalışma alanı	22
Şekil 5.17. Genel çalışma alanı	22
Şekil 6.1. Ölçü noktaları için gridlenmiş çalışma alanı kilise alt kısım.....	1
Şekil 6.2. Kilise alt kısım Wenner elektrot dizilimi yukarıdan aşağı 3. profil	3
Şekil 6.3. Kilise alt kısım wenner elektrot dizilimi yukarıdan aşağı 4. profil	3
Şekil 6.4. Kilise alt kısım Wenner elektrot dizilimi yukarıdan aşağı 5. profil	3
Şekil 6.5. Kilise alt çalışma alanı derinlik kesiti	5
Şekil 6.6. Kilise alt 3B derinlik kesiti (A duvar).....	7
Şekil 6.7. Ölçü noktaları için gridlenmiş çalışma alanı kilise üst kısım	9
Şekil 6.8. Kilise üst kısım Wenner elektrot dizilimi yukarıdan aşağı 3. profil	11
Şekil 6.9. Kilise üst kısım Wenner elektrot dizilimi yukarıdan aşağı 4. profil	11
Şekil 6.10. Kilise üst kısım Wenner elektrot dizilimi yukarıdan aşağı 7. profil	11
Şekil 6.11. Kilise üst çalışma alanı 3B derinlik kesiti.....	13
Şekil 6.12. Kilise üst 3B derinlik kesiti (B ve C duvar).....	15

TABLULAR LİSTESİ

Tablo 3.1. Arkeojeofizik çalışmalar ve bu çalışmalara ait kullanılan yöntemler....	8
--	---

ÖZET

Anahtar kelimeler: Alabanda, Kilise, Elektrik Rezistivite Yöntemi, Arkeojeofizik, RES2DINV, RES3DINV

Çalışılan bölge, Aydın iline bağlı olan Çine ilçe merkezine ortalama 8 kilometre mesafede Alabanda içerisinde olan ve kilise olduğu tahmin edilen bölgede bulunmaktadır. Adnan Menderes Üniversitesi'nin Arkeoloji Bölümü önderliğinde yürütülmektedir. Kentin yerleşim birimlerini çıkarma çalışmaları da günümüzde devam etmekte ve yapılar gün yüzüne çıkartılmaya çalışılmaktadır. Bu doğrultuda, kiliseye ait olduğu düşünülen yeraltındaki yapıların varlığını ve kalıntı durumlarını belirtmek için jeofizik çalışmalardan Elektrik Rezistivite Tomografi (ERT) yöntemi kullanılarak ölçümler alınmıştır.

Bu hedefe yönelik olarak, kilisenin olduğu düşünülen yapıların içinde her bir tanesi 23 metre olan kilise alt bölgesine ait 6 profil, kilise üst bölgesine ait 8 profil oluşturuldu ve Wenner dizilimi kullanılarak elektrik ölçümler alındı. Profil ve elektrotlar arası mesafe 1'er metre olacak şekilde karelaşlandı ve ölçümler alındı. Profil uzunluğu arazi koşullarından dolayı 23 metre seçildi. Ölçüler ARES GF markalı çok kanal özelliğine sahip rezistivite cihazı ile ölçüldü ve kayıt altına alındı. Elde edilen veriler RES2DINV / RES3DINV yazılımları kullanılarak 2B ve 3B kesit verileri oluşturulmuştur.

Bu kesitlere dayanarak kiliseye ait kalıntıların veya varsayılan yapıların varlığı tespit edilmeye çalışılmıştır. Bu kalıntıların kilisenin hangi kısımlarına denk geldiği, ne olduğu Jeofizik yöntemler ile Arkeolojide uygulanan yöntemler dikkate alınarak yorumlanmaya çalışıldı. Kilise etrafında devam eden ve planlanan kazı çalışmaları Jeofizik yorumların öngördüğü biçimde, Arkeolojik kurallarına uygun şekilde yapılmaktadır.

DETECTION OF BURIED ARCHAEOLOGICAL RELICS BY RESISTIVITY METHOD IN THE ANCIENT CITY OF ALABANDA

SUMMARY

Keywords: Alabanda, Church, Electrical Resistivity Method, Archaeogeophysics, RES2DINV, RES3DINV

The study area is Church of the Alabanda Ancient City, located 8 km West of Çine town of Aydın province, in western Turkey. Field studies carried out by Archeology Department of Aydın Adnan Menderes University to map city plan of the Alabanda is still in progress. In order to determine presence and conditions of the buried structures, geophysical investigations by means of electrical resistivity tomography (ERT) were carried out in the Church.

For this purpose, inside the walls of the Church, total 14 electrical profiles, which are 23 m in length were formed to measure electrical resistivity using the Wenner arrays. Both the profile separation and the distance between the electrodes were taken as 1 m. Measurements were taken with ARES GF multichannel resistivity instrument. 2D and 3D sections have been obtained from using RES2DINV and RES3DINV computer programs with robust inversion, respectively.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Jeofizik disiplinine ait metotların günümüzde arkeoloji çalışmalarında kullanılması, yapılan arkeolojik araştırmalara yeni bir yaklaşım, değer ve boyut kazandırmıştır. Jeofizik yöntemlerinin uygulanma hızı, basit oluşu, ucuzluğu ve kesinliği bu durumu fazlaca arttırmıştır. Bu yöntemin başka bir faydası da bütün jeofizik yöntemlerin çalışma alanı yüzeyinde uygulanabilirliği ve arkeolojik yapılara hiçbir zarar vermeden ortaya çıkmasına yardımcı olmaktır. Bu parametreleri dikkate aldığımızda, yakın zamanda jeofizik yöntemlerin arkeolojik araştırmalarda tercih edilip sıklıkla kullanılması önümüze örnek olarak çıkmakta ve büyük başarılar elde edilmektedir [1, 2, 3, 4, 5].

Önemli uygulamalı jeofizik yöntemlerden biri olan rezistivite yönteminin başarı durumu yeraltındaki yapının ve çevresindeki toprağın arasındaki özdirenç farkına dayanır. Bu metot sayesinde duvarın, yapının temelini, mağara ve benzeri açıklıkların, kalıntıların ve diğer arkeolojik yapıların tespit edilmesinde bir hayli başarılı metot olduğu bilinmektedir.

Bu yöntemi kullanmadaki gaye, arazide belirlediğimiz ve kullanılan elektrot dizilimleri (Dipol-dipol, Schlumberger, Wenner, vb.) biçiminden dolayı çalışılan alanda sürekli olarak yer altının görüntüsünü ortaya çıkarmaktır. Teknolojik gelişmelerle birlikte de ters çözüm teknikleri yardımıyla ulaşılan ve elde edilen elektrik rezistivite (özdirenç) verilerinin yorumlanma tekniği, içinde bulunduğumuz zaman diliminde epey fazla güvenilir bir düzeye ulaşmış ve gelişmiştir [6, 7, 8, 9].

Elektrik prospeksiyon yönteminde sıklıkla tercih edilen ters çözüm tekniği, bloklu (L1 normu- robust) ve en küçük kareler düzgünlük-kısıtlı (smoothness-constrained) tekniğidir. Robust ters çözüm tekniği köşesi olan yapıların, smoothness-constrained

prosedürüne istinaden daha net ve iyi sonuçlar elde edilmektedir [10, 11]. Arkeolojik yapı araştırmalarında aranılan veya karşılaşılan kalıntıların da bu şekilde köşeye sahip yapı olmasından dolayı, bu ve buna benzer çalışmalarda genel olarak robust ters çözüm yöntemi tercih edilmektedir [12, 13,].

Tonkov ve diğ. [14], Bulgaristan şehirlerinden Kazanlak kentindeki Thracian Kralları Vadisi'nde bulunan tümülüste elektrik yöntemi ile çalışmışlar. Bu yöntemi kullanmalarının nedeni de elektrik yöntemin tümülüsün altındaki gömük kalmış yapıların tespitinde çok etkin ve iyi bir metot olduğudur.

Batayneh ve diğ. [15], Ürdün'de bulunan Umm er-Rasas arkeoloji bölgesinde, Bizans kilisesinin altında gömülü yapılar ile ilgili bilgiler edinebilmek amaçlı manyetik, elektrik ve mikrogravite yöntemlerini uygulamışlar. Manyetik ve Mikrogravite ölçülerinden elde edilmiş verilerden, kilise zeminin (mozaik) altındaki odaların, temellerin ve duvarların geride kalan kısımlarını tespit etmişlerdir. Elektrik yöntemle ulaştığımız 2B modellerde, kilisenin zemini altındaki suyun, yağmur suyunun sızıntısı olduğu tespit edilmiştir.

Tsokas ve diğ. [16], Atina'da Kapnikarea Kilisesi'nin çevresinde ve içerisindeki yapıların var olup olmadığını tespit etmek için elektrik yöntemi kullanmışlardır. Kilisenin yüzeyi tamamen tahribatsız olmasından dolayı, tabanı düz elektrotlar kullanılmış, çok iyi çıktılara ulaşılmıştır. Bu yöntemle ulaşılan veriler, yeraltındaki kuyu vb. yapıların hasar görmeden günümüze kadar ulaştığı ve kilisenin zemininde de el yapımı yapılarında olduğu belirlenmiştir.

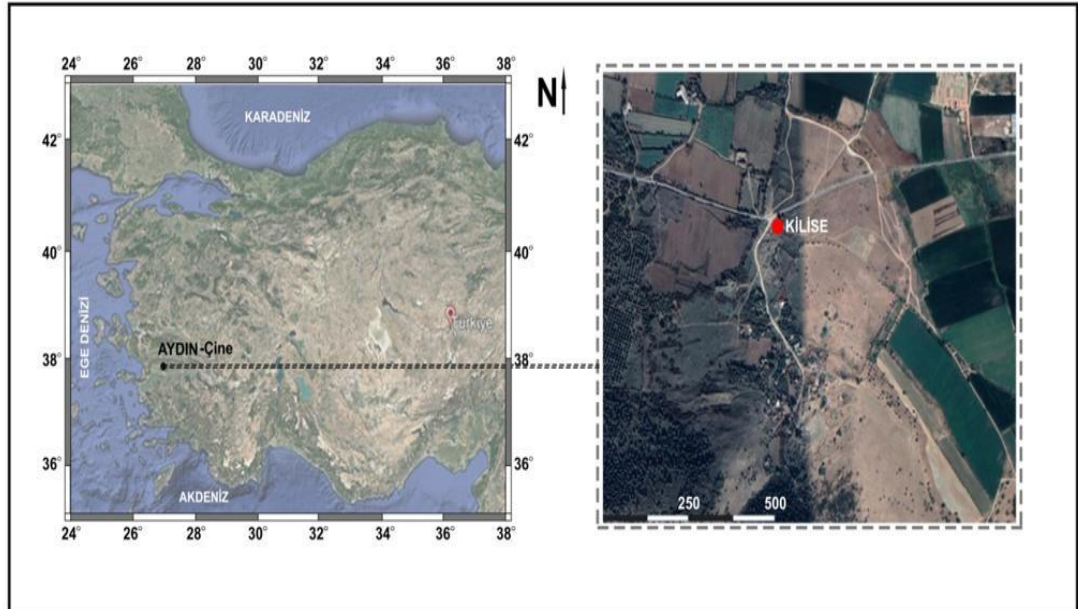
Tsokas ve diğ. [17], Yunanistan'ın kuzey kısmında Holy Dağları'nda yer alan Prataton Kilisesi çevresinde yer altındaki kalıntıların var olup olmadığını incelemek amaçlı elektrik yöntemini kullanmışlardır. Ölçümler sonucu ulaştığımız tomografi haritalarından kilise çevresinde arkeolojik kalıntıların varlığı belirlenmiş ve çalışma bölgesinin jeolojik yapısı ile ilgili bilgilere ulaşılmıştır.

Bölgede yakın geçmişte arkeoloji alanındaki araştırmalarda, amfi tiyatro ve meclis binası araştırmaları yapılmıştır. [5, 18, 19, 20]. Bu çalışmalar sonrası kazı, ayağa kaldırma ve restorasyon çalışmaları, arkeojeofizik uygulama çalışmalarının önemini artırmaktadır.

Alabanda Antik Kenti'nde yapılmış olan arazi çalışmasının az olması sebebiyle, ulusal ve uluslararası bilgi, deneyim ise oldukça kısıtlı olduğu bilinmektedir.

Bu çalışma Ege Bölgesi'nin tarihsel ve kültürel açıdan önde illerinden olan Aydın'a bağlıdır. Çine ilçesinin batısında ve 8 km. uzağında bulunan, Doğanyurt köyünün (eski adı Araphisar) bulunduğu yerde konumlanmıştır. Alabanda Antik Kenti kazı alanında kilise olduğu tahmin edilen bir bölgede, 2B ve 3B elektrik öz direnç prosedürüyle yapılmış olan arazi çalışmasını ve sonuç çıktılarını içermektedir.

Yer bulduru haritası ve çalışma bölgesi Şekil 1.1.'de verilmiştir. Yapılan bu çalışmanın amacı, kilise olduğu tahmin edilen bölgenin alt ve üst kısımlarında barındırdığı yapıların geometrisi, kilise konumu ortaya çıkarmaktır..

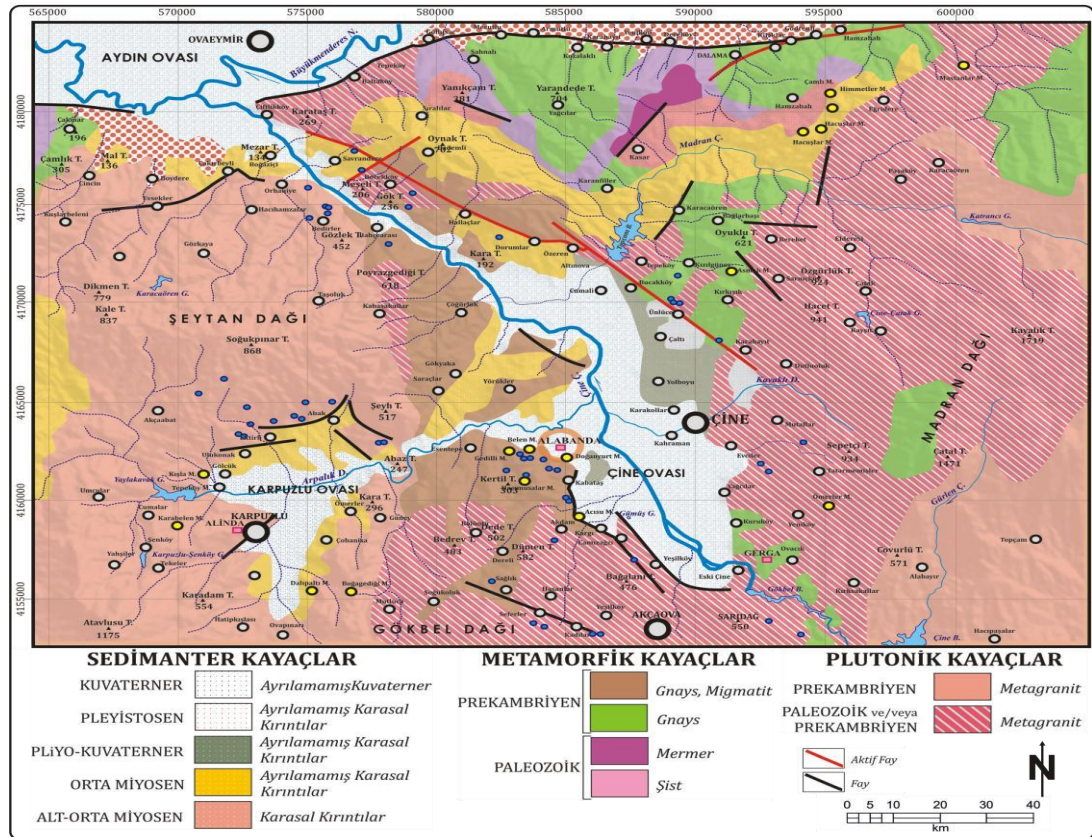


Şekil 1.1. Yer bulduru haritası ve çalışma alanı

BÖLÜM 2. BÖLGE JEOLJİSİ

2.1. Genel Jeoloji

Şekil 2.1.'de Alabanda Antik Kenti ve çevresinin jeoloji haritası görülmektedir [58]. Batı Anadolu'nun en büyük kabuksal segmentlerinden birini oluşturan Menderes Masifi içinde yer alan Çine Asması, çalışma alanının jeolojisini belirleyen temel tektonik ve jeolojik oluşumdur [59]. Çine Çayı'na ait vadi, masifi kuzeyden güneye bölerek parçalı bir görünüm kazandırmıştır. Menderes Masifi ana hatları ile çekirdek olarak nitelendirilen bir Pan-Afrikan temel ile onu üzerini örten Alt Paleozoyik-Paleosen yaşlı örtü serilerinden meydana gelmektedir [60].



Şekil 2.1. Alabanda antik kenti ve çevresinin jeoloji haritası [58]

Çine Asması'ne hâkim olan kayaç türü Menderes Masifi metamorfizmasının ürünü olan metamorfik kayaçlardır. Çine Asması'nın çekirdeğini oluşturan birim, gözlü (metagranit)-granitik gnayslardır. Bunların üzerinde şistler ve kuvarsitler gelmektedir.

Genç tortullar ise tüm bu serileri uyumsuz olarak örterler (Şekil 2.2.). Buna göre çalışma alanına hâkim örtü birimi Kuvaterner yaşlı dilüvyal ve alüvyal birimlerdir. Menderes Masifi metamorfik kayaçlarının Alabanda civarında gnays, koyu renkli gnays, gözlü gnays ve migmatitlerden oluştuğu belirtilmektedir. Yüzeyleyen metamorfik kayaçlar ve onların içinde bulunan granatlar üzerinde mineralojik-petrografik ve jeokimyasal incelemeler yapmış ve içlerinde hematit- manyetit kapanımlarının varlığını tespit etmiştir.

ÜST SİSTEM	SİSTEM	FORMASYON	LİTOLOJİ	AÇIKLAMALAR
SENOZOYİK	NEOJEN	ALÜVYON		Tutturulmamış çakıl, kum, silt, kil İri taneli mikroklin, pentit, kuvars, albit, muskovit kristallerinden oluşmuştur
		DISKORDANS		
PALEOZOYİK	PERMIYEN	GRANAT MIKAŞİST		Düşük dereceli metamorfizma özelliği gösteren metakonglomera, kuvarsit, kuvarşist, mikaşist metabazik ve filitlerden oluşan kayaçlar
	ALT ORDOVİSİYEN	METAVOLKANİT		Gri, açık morumsu, kahverenkli masif yapıya sahip şistozite özelliği gösteren metavolkanikler. Migmatizma
DISKORDANS				
PREKAMBRIYEN	GRANİTİK GNAYS			Birbirine yanıl düşey geçiş gösteren ince taneli gnays, granatlı şist, mikaşist, kuvarşist ardalanması şeklindedir.
	GÖZLÜ GNAYS			1.5 cm. arasında değişen boyutlarda feldispat, kuvars, muskovit, biyotit topluluklarından oluşan gözler, ince taneli kaba taneli doğru değişim göstermektedir.
DISKORDANS				

Şekil 2.2. Çalışma alanının genelleştirilmiş stratigrafik kesiti [60]

BÖLÜM 3. ARKEOJEOFİZİK VE KULLANILAN YÖNTEMLER

3.1. Arkeojeofizik Çalışmaların Geçmişi

Geçmiş yıllardan şimdiki zamana süregelen ve varlığının en ufak, küçük bir nişanı olan ipuçlarından yola çıkan, arkeoloji biliminin doğası gereği birçok disiplinle ilişkilidir. Bu, sayede yeniliğe açık bilimsel disiplinlerin doğuşuna, gelişmesine zemin oluşturmuştur. Bu gelişme ve değişim zamanla birçok disiplini içinde tutan “arkeojeofizik” disiplininin oluşmasını da sağlamıştır. Bu disiplinler içinde en önemlilerinden biri de geçmişe ışık tutan ve doğru tahminde bulunan arkeojeofiziktir. Jeofiziğin 1940’lı yıllarda arkeolojiye eşlik etmesiyle birlikte teknolojinin ve bilimsel gelişimin de yardımıyla, kazılardan önce ihtiyaç duyulan araştırmaları içinde ilk sırayı açık ara elinde bulundurmaktadır.

Arkeojeofizik, arkeolojik çalışmalarda tercih edilmesi ve ilk sırayı almasındaki temel sebeplerin ilki jeofizik yöntemlerin çözümleme, yorumlama gücüne olan kabiliyeti ve kesinliğidir. Böylece, arkeolojik alan çalışmaları için jeofiziği vazgeçilmez hale getiren karakteristik özelliği, istenilen bilgiye mümkün mertebe ve en az sürede ulaşmak, bahsi geçen arkeolojik yapıya veya kalıntılara en ufak bir biçimde zarar dahi vermemesidir.

Arkeolojik olarak alan çalışmaların başlangıcı, ilk yer keşfi, sahanın seçimi ve kazı yapılacak alan planının yapılmasıdır. Daha sonraki aşamasında uygulanacak olan jeofizik yöntem çalışmaları, yer altında gömülü vaziyette olan, gizli durumda bulunan kalıntının, geometrik şeklini ve yeryüzeyine olan derinliği hakkında kesine yakın cevap verebilmektedir. Çalışma sonrası, kazılardaki çalışma zamanı önlenecek, kazıdan kaynaklı masraflarda büyük kısmı düşürülecektir.

Jeofiziğin hedeflediği derinliğe göre oldukça yüzeyde, yüzeye yakın, küçük boyutlu, küçük çaplı ve sığ bulunan arkeolojik kalıntıların, yapıların aranarak bulunmaya çalışılması, son yıllardaki teknolojik gelişmelerin getirdiği imkanlarla kolay hale gelmiş, ayrıca güvenilirliğini de arttırmıştır. Arkeolojik çalışma alanlarında uygulanan jeofizik yöntemlerin artmasıyla, beceri, bilgi, tecrübe artmış ve arkeolojik yapı araştırmalarında özel ölçüm aletlerinin yanı sıra ve analiz yapmada hesaplamalar, teknikler gelişmiştir. Bu sayede, “Arkeojeofizik” olarak isimlendirilen güncel ve önemli bir bilim dalı ortaya çıkmıştır.

Arkeolojik alanda yapılan ilk arkeojeofizik çalışma, 1940 sonlarında İngiltere (UK) ve Amerika'nın kuzeyinde başladığı bilinmektedir. Jeofizikte öz direnç yöntemi kullanılarak yapılmış ilk çalışma, İngiltere'de 1946'da Atkinson'un yaptığı biliniyor. Bundan sonra jeofizikte manyetik yöntem kullanılarak yapılan ilk çalışma, 1957'de Belshe tarafından, bir çalışmada uygulamanın yapıldığı kayıtlara geçmiştir.

Bundan sonraki süreçteki araştırmalarda birçok bilim insanı ve araştırmacı farklı yöntemler denemiştir. Daha değişik yöntemler kullanarak veriler elde etmiş ve sonuçlarda etkili olmuştur. 1970'li senelerin başlarında kullanılan yer radarı yöntemi; çok kolay ve çok hızlı kullanım sağlaması ve başarılı sonuçlar elde edilmesi nedeniyle manyetik yöntem ve rezistivite öz direnç yöntemiyle birlikte en çok tercih edilen teknik olarak önemini belirtmiştir.

Arkeolojik alanda yapılan jeofizik çalışmalar, 1968'de Ali Yaramancı'nın önderliğinde Keban Barajı Projesi içinde [21] başladığı kayıtlara geçmiştir. Ülkemizin bulunduğu coğrafya ve arkeolojik yapısı açısından çok büyük bir alanı ve potansiyeli içinde barındırdığı herkes tarafından açıkça öğrenilmiştir. Geçmişten günümüze Türkiye'de gerek yerli ve gerekse de yabancı araştırmacılarla birlikte yürüttüğümüz, ortak olduğumuz pek çok projede, jeofizik yöntemler birden çok başarıyla ve iyi sonuçlar alınarak uygulanmıştır. Ekonomik oluşu, zamandan tasarruf edilmesi ve iş gücü açısından büyük ölçüde faydalı olması da açık açık fark edilmiştir. Arkeolojik alanlardaki uygulanan yöntemlerden en önemlileri Tablo 3.1.'de detaylı olarak

gösterilmiştir. Tabloya baktığımızda en fazla uygulanan yöntemin açık ara elektrik metot olduğu görülmektedir.

3.2. Arkeojeofizik Yöntemler

Arkeolojik çalışmalarda jeofiziğin ilk olarak tercih edilmesindeki en önemli kriter; kullanılan cihazların hiçbir durumda gömülü, yerin altında olduğunu varsaydığımız yapıya zarar vermemesidir. Jeofizik yöntemlerin sorunsuz, hızlı ve ayrıntılı sonuçta bize ulaştırması ile pratik ve ucuz olması olarak sıralayabiliriz.

Arkeolojide jeofizik, yapının yer altında bulunduğu konumun, yani bulunduğu derinliğini ve büyüklüğünü cm boyutundan, birkaç m büyüklüğe sahip olan yapıların tümüyle ilgilidir.

Bu yapılarımız; Duvarlar, fırınlar, çukurlar, temeller, ocaklar, kale duvarları, tiyatro, sokak, stadyum, tapınak, kilise, meclis binası, cadde, çarşı, büyük binalar, temeller ve evden arta kalan kalıntılar “arkeolojik” temelleri oluşturmaktadır.

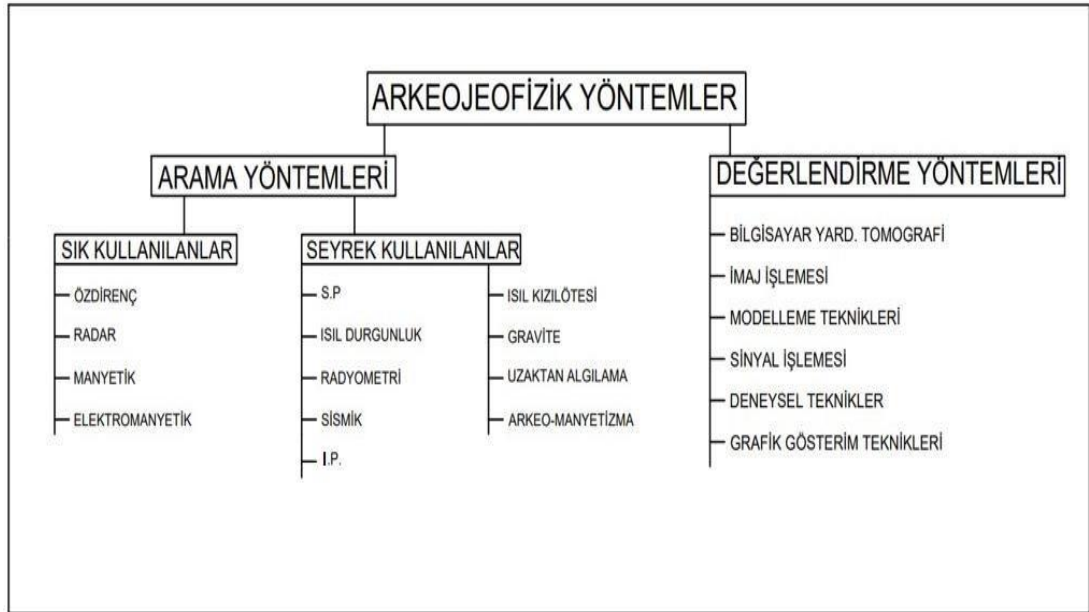
Tablo 3.1. Arkeojeofizik çalışmalar ve bu çalışmalara ait kullanılan yöntemler

Makale	Elektrik	Manyetik	GPR	Sismik	EM
Ekinci, Y.L., ve diğ., 2014	●	●			
Apostolopoulos V. G., 2014	●		●		●
Papadopoulos, N. ve diğ., 2012	●	●	●	●	
Tsourlos, P.I. ve Tsokas N. G., 2011	●				
Drahor, M.G. ve diğ., 2011	●	●	●		
Tsokas, N.G., ve diğ., 2009	●				
Tsokas, N.G., ve diğ., 2008	●				
Drahor, M.G. ve diğ., 2008	●	●			
Tsokas, N.G., ve diğ., 2007	●		●		
Leucci, G., ve diğ., 2007	●			●	
Drahor, M.G., 2006	●	●		●	●
De Domenico, D., ve diğ. 2006	●		●	●	
Tonkov, N., Loke, M. H., 2006	●				
Leucci G., Negri, S., 2006	●		●		

Arkeojeofizik çalışmalarda, araştırma bölgesindeki, çalışmalara başlamadan, çalışma alanının tarihsel geçmişi, arkeolojik yapısının detaylı olarak bilinmesi veya araştırma veya önceden bu alanda arkeolojik olarak yapılmış kazı çalışmalarının ve gün yüzüne çıkmış yapıların incelenmesinin detaylı şekilde yapılması gerekir. Çalışma bölgesi ile

ilgili jeomorfolojik ve jeolojik özelliklerinde belirlenmesi, varsa havadan çekilen fotoğrafların detaylı incelenmesi gerekir. Bu veya yakın köylerde yaşamış, bu bölgenin tarihine tanık olmuş halkın bilgi sahibi olanlarıyla, konunun detaylı olarak görüşülmesi ve dinlenmesinin, yapılacak çalışmadaki önemi çok büyüktür.

Araştırılacak bölgede, jeofizik yöntemlerden hangisinin kullanılması gerektiği fikri için, bölgede olma ihtimali bulunan yer altındaki örtülü yapı özellikleri (pişmiş toprak, taş duvar, bina temeli, yapılar, su yapısı) hakkında bilgi edinilmelidir. Yapılan ön çalışmalar sonrası hazırlanmış olan jeofiziksel araştırma planı, doğru yöntemler ve uygun çalışma sahasının belli olması gerekir. Arkeolojik çalışma alanlarında kullanılmakta olan jeofizik yöntemler başlıca Şekil 3.1.'de şematik bir biçimde gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Arkeojeofizik yöntemler [22]

3.2.1. Manyetik yöntem

Jeofizik yöntemlerden olan manyetik yöntem kullanılarak yapıldığı bilinen ilk çalışma, 1957'de Belshe tarafından gerçekleştirilmiştir. Arkeolojik olarak yapılan çalışmalarda, yöntem olarak yapının manyetik duyarlılığı üzerine yapılan birinci çalışma ise E. Leborgne'nun 1955'te Britanya'da yapmış olduğu çalışmadır.

Eski dediğimiz arkeolojik kalıntıların genellikle içinde pişmiş kil bulunduran çömlek parçaları, çanak, tuğla, kiremit vb. parçalar olduğu bilinmektedir. Bu malzemelerin pişirilmeleri esnasında malzemenin içindeki manyetik dipollerin soğumasıyla birlikte soğudukları zaman arasındaki manyetik alanına göre etrafındaki kalıntı ve yapılardan farklı olan manyetik bir özelliğe sahip olurlar.

Ayrıca arkeolojik sayılan kalıntı ve eser oluşturulurken yapımı esnasında kullanılan malzemenin manyetik özelliği ve malzemeyi saran, çevreleyen toprağın manyetik özelliği de aynı olmayabilir.

Bu yöntem sayesinde, yer altında gömülü olarak bulunan, farklı birimlerin farklı mıknatıslanma özelliğinden yararlanılarak, duyarlılığı yüksek mıknatıslanmaya sahip cisimler belirlenebilmektedir.

Yerleşim alanımızı çevreleyen birimler üzerinde bulunan manyetik duyarlılığın olduğu bilinmektedir. Bu duyarlılığın ölçülmesiyle yerleşim alanındaki, çeşitli yapılara ait, girişler, çıkışlar, kapılar, gömülü yollar, duvarlar, anıtlar ve temeller de bulunabilir. [22]. Yöntem arkeolojik yapı bulunan bölgelerde rahatlıkla uygulanabilir olmasına rağmen, şehir oluşmuş bölgelerde ferromanyetik gereçlerin varlığından, yerleşim alanının ve içinde bulundurduğu yapıların manyetik gürültüsünden, karmaşası sebebiyle tercih edilmemektedir [4].

3.2.2. Elektromanyetik yöntem

Elektromanyetik yöntemler, yapay ve doğal kaynaklı olmak üzere iki şekilde uygulanabilmektedir. Temel ilke, kablodan verilen dalgalı akımın (AC) geçirilmesi ile kabloya dik doğrultuda oluşturduğu manyetik alana (H_p) ve bunun yer altında bulunan bir iletkeni de etkilemesine dayanır. Oluş ilkesi gereğince, elektromanyetik yöntem, yer altındaki her türlü iletken yapılara duyarlıdır. Bu sebeple yakın geçmişteki 30 yılı aşkın süredir arkeojeofizikte oldukça yaygın olarak kullanıldığı bilinmektedir.

Arkeoloji ile ilgili alanlardaki yapılan çalışmalarda elektromanyetik; genel olarak yüzey toprağındaki sertlik, kuruluk ya da ortamın makilik, kayalık olduğu bölgeler için kolay kullanılabilen bir yöntemdir. Elektromanyetik yöntem ile yapılan aramalarda, özellikle yeniden dolan boşluklu yapılar alanlarla (su kuyusu, mezarlar vb.) tepe kalıntıları bulunması için çok iyi sonuçlar elde edilmektedir. Elektromanyetik yöntem, ana kayanın üzerinde bulunan toprağın miktarını, kalınlığını belirlemek gibi durumlarda da kullanılabilir. Bu ve buna benzer ölçümler genelde yeryüzü materyallerinin görünür iletkenliğı ölçülür.

Elektromanyetik yöntem ile, arkeolojik çalışma alanlarına uyarlamada ilk senelerde iki adet prosedür uygulanmıştır. Birincisi sürekli iletimi sağlayan Slingram, ikincisi ise Geçici yöntemdir (Frekans ve zaman ortamı yöntemler). Bu iki prosedür metalik özelliğe sahip olan nesnelere kolayca saptamaktadır [22].

3.2.3. Jeoradar (yer radarı yöntemi)

Jeoradar yöntemi, bir anten (verici) tarafından yerin içine doğru yollanan yüksek frekansa sahip elektromanyetik dalgalar göndermektedir. Bu dalgalar yer içindeki farklı yapıya ve elektriksel özelliğe sahip olan yapılardan geri yansıyor anten (alıcı) tarafından kaydetme ilkesine dayanmaktadır. Yer içinde gömülü vaziyette bulunan ve her iki yanı farklı dielektrik özelliğe sahip kayaktan oluşmuş bir ara yüzeyi var ise, elektromanyetik dalga bu ara yüzey üzerinde iletim ve yansımaya uğrayacaktır. Üst düzey kalitede bir çözünürlüğe sahip olan bir yöntemdir. Jeoradar yani yer radarı yöntemi yer altında bulunan ve yüzeye yakın sığ kesimlerdeki yapıların araştırılmasında da en çok kullanılan ve tercih edilen bir yöntemdir.

Jeoradar yönteminde kullanılan antenin(verici) merkez frekansı 12 MHz ile 2 GHz arası geniş bir biçimde değişim göstermektedir. Yer içine yollanan sinyal zamanın fonksiyonu olarak kayıtlara geçer. Yüzeye yakın derinlikteki bölgelerden yansıyor kayıt altına alınan sinyallerde “radargram” olarak isimlendirilir.

Jeoradar yöntemi kavram olarak sismik yansıma yöntemine benzer olup enerji kaynağı olarak birbirinden ayrılmaktadır. Sismik prospeksiyon yöntemde kullanılan akustik dalga, jeoradar yönteminde elektromanyetik dalga yayılımına karşılık gelmektedir.

Jeoradar yöntemi, elektromanyetik dalga frekansına bağlı olmak kaydıyla, yer altında bulunan cisimlerin bulunduğu derinliğini ve yapının geometrisini santimetre boyutunda ve hassas bir şekilde tespit edilmesine yardımcı olmaktadır. Bu diğer yöntemlere göre üstün özelliğinin olması jeoradar yani yer radarı yönteminin son yıllardaki sığ çalışmalar için en fazla tercih edilen yöntemlerden biri olmasını sağlamıştır [23].

3.2.4. Gravite yöntemi

Gravite yöntemi çalışmalarında, yer altında gömülü veya serbest olarak bulunan kayaçların çevresindeki kayaçlardaki yoğunluk farkından yararlanarak yer altındaki yapıyı, şeklini vb. ortaya çıkarmayı amaçlar. Ancak kayaçlar arasında, şekil farklılığı, farklı geometri, değişik konum varsa bu geometrilerin yeryüzeyinde oluşturduğu anomali (aykırılık) gravite yöntemi ile yapılan ölçüm değerlerinde belirgin olarak açığa çıkmaktadır.

Arkeolojik çalışmalarda, bulunan eserlerin büyüklüğe bağlı hacim olarak oldukça minik ve yüzeye yakın kısımda olmaları, yoğunluk farkları olmasından dolayı yeryüzünde oluşturdukları gravite alanının normal alan dağılımından bir hayli küçük miktarda değişmesine sebep olur. Bu durum gravite yönteminin, büyük alanlara hitap etmesini, arkeolojik alanlarda da çalışma sahasının oldukça sınırlı olduğunu göstermektedir [24]. Bu konularda çalışan araştırmacılar gravite yöntemini; daha büyük alana yayılmış olan, sit alanı sınırları, yer altındaki büyük boşluklar, büyük gömülmüş oda boyutunun ve derinliklerinin araştırılmalarında kullanılabilecek olduğunu belirtmiştir [25].

3.2.5. Elektrik özdirenç yöntemi

Özdirenç yöntemi, jeofizik saha uygulamalarında 1915 yılında ilk olarak Wenner tarafından çalışılmıştır. İlerleyen zamanlarda gelişmeler, değişimler sağlanarak 1920'de Schlumberger tarafından da saha uygulamaları yapılmıştır. Elektrik özdirenç yöntemi, arkeolojik çalışmalarda ilk, arkeojeofizik olarak Atkinson 1946 yılında kullanmıştır.

Elektrik özdirenç yöntemi, yeryüzüne farklı iki noktadan yapay bir akım verilerek, yer altında meydana getirdiği gerilimin, farklı iki noktada ölçüm yapılması prensibine dayanır. Yeryüzünün elektrik özdirencinin farklılık göstermesi, büyük oranda ortamdaki basınç, sıcaklığı, geçirgenlik, gözenekliliği, ortamının su durumu, su doygunluğu ve suyun yer altındaki dağılımı ile bağlantılı olup, değişiklik gösterebilmektedir.

Yapıya ait temelleri, duvarları vb. yapıya bağlı özelliklerin çevresinde, çevre birimlerden daha değişken özdirenç değerler vermesi, araştırma yapılan alandaki yapıların belirlenmelerini sağlayacaktır. Ayrıca teknolojik gelişmeler ile birlikte son dönemlerde, kısa zamanda çabucak verileri alma, toplama, basit ve maliyetinin az olması, çalışma alanında çok gelişmiş ve 2B - 3B ters çözüm tekniği ve bunlara bağlı değerlendirmelerin oldukça yaygın olması bu yöntemi kullanılabilir duruma getirmiştir. Bu ve buna benzer etkenler sebebiyle çabuk ve güvenilir sonuçlar veren metot olarak, arkeolojik çalışmalarda en fazla uygulanan yöntemler arasında gelir.

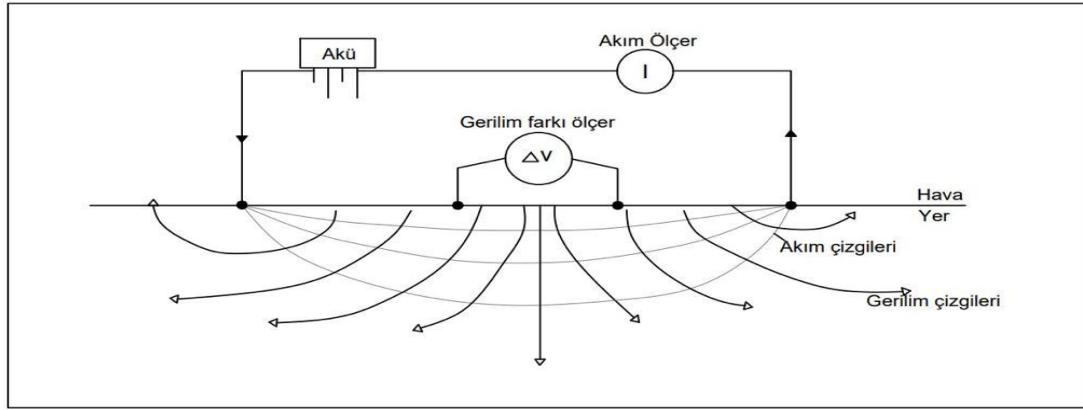
BÖLÜM 4. ELEKTRİK ÖZDİRENÇ YÖNTEMİ

Özdirenç yöntemi, arkeojeofizikte en çok tercih edilen jeofizik yöntemler arasında gelmektedir. Elektrik akımı, yer içinde iletilir ve kayaç ile topraklarda bulunduğu bilinen gözeneklerde birikmiş su oranı ile gözenekliliğe bağlı ve bağımlı olmak kaydıyla değişiklik göstermektedir.

Yöntemin amacı, yer altında gömülü olarak bulunduğu tahmin edilen gömülü yapıların düşey ve yatay yönde olmak üzere, derinlik – özdirenç kesitini veya haritasını elde etmek, durumu araştırmak, bulmaya çalışmak ve yorumlamaktır. Kayaçlar; elektriği iletme ve elektriğin iletilmesine karşı koyulan özdirenç özelliğine de sahiptir. Bu özdirençlilik özelliğidir.

Kayacın gözenekliliği eğer sıkı veya az sıkı ise, oldukça zayıf iletici olmakla birlikte yüksek dirence sahiptirler [26]. Bu durumda yapının gözenekliliği fazlaştıkça gözeneklerdeki sıvı oranı artar, buna bağlı iletkenlik yükselir ve özdirenç düşer.

Arkeolojik alan çalışmalarında aranılan yer altındaki gömülü yapılar, oluşumu ve yoğunluk bakımından bulunduğu alandaki örtü biriminden de farklı olması, bulunmasını daha da kolaylaştırır. Kil ve toprakla harmanlanmış oldukça yüksek özdirence sahip kaya, taş vb. ve kayaçların ayrımını yapmak araştırmacı için çok çok önemli bir bilgidir. İklimsel olaylarında etkisiyle kayaç ya da sediment oluşumun su içeriğinde değişimleri aradığımız arkeolojik yapının etkilerinin üzerini örtebilir. Bu nedenle toprağın özdirenç değişimlerine neden oluşturabilecek durumların, çevre faktörünü bilmek ve göz önünde bulundurmak gerekmektedir.



Şekil 4.1. Elektrik özdirenç yönteminin uygulanması (gerilim-akım çizgilerinin yer altındaki yayılımı) [27]

4.1. Toprağın Elektriksel Özellikleri

Toprağın mevcut akımı iletmesi bir elektrolitik olaydır. İçeriğindeki su, nem durumu iletim olayını direkt olarak etkiler. Toprağın çeşitliliğine bağlı özdirenç doğrudan etkileyen faktörler aşağıdaki gibi açıklanabilir:

4.1.1. Isı

Elektrik özdirençini etkileyen bir durumda, toprak ısısında meydana gelen değişimlerdir. Bu konuda Hesse tarafından 1966'da yapılan çalışmada, özdirençin topraktaki ısının değişimlerinden direkt olarak etkilendiği durumunu ortaya koymuştur. Hesse, her 1°C 'deki artış, özdirençte takriben %2 oranında azalışa sebep olduğunu da belirtmiştir [28].

4.1.2. Geçirgenlik (Hidrolik)

Toprakta yüksek miktarda ve yüzdelikte nem olması, akımın iyi akması için tama olarak yeterli görülmediği, su tutabilmesinin gözenekli yapısı ile doğru orantılı olduğu bilinmektedir. Bundan dolayı, geçirgenlik ile gözeneklilik arasındaki bağlantı yardımıyla akımın iletiminde geçirgenliğin de önemi ortaya çıkmıştır. Toprağın içinde yer alan bitki, bitkinin saldıgı kökleri ve toprağın türü geçirgenlik üzerinde oldukça etkilidir.

4.1.3. İyon içeriği

Toprağın içinde çözünmüş bir biçimde bulunan ve çeşitli özelliklere sahip tuzların elektriğin iletimine, iletilmesine katkısı oldukça fazladır. Toprağın içindeki iyon durumu, yağış, tarım, tarımsal gübre çalışmaları ve diğer kültürel işlemlerde bu durumu etkilemektedir.

4.1.4. Toprağın nem içeriği

Arkeolojik çalışmalarda yer altının yüzeye yakın derinlikleri araştırıldığından, topraktaki nem içeriği oldukça önemlidir. Eski yerleşim alanları su ve özellikle akansı yakınlarına kurulmuşlardır. Çalışma alanlarının yer altı su seviyesi oldukça yüksektir. Bölgenin yağış miktarı ve istatistiği de bu çalışmalarda önemli bir etkidir. Uzun süreli yağmur olmayan alanlarda yer altı su seviyesi düşük olacağından, ters orantı öz direnç yüksek olacaktır. Uzun süre sonra şiddetli bir yağmur olmuşsa, ortam nemlenecek ve su yeryüzeyinde kalacak bu sebeple elektrotlarda kısa devre yaptıracaktır. Bundan dolayı alınan ölçme sonuçları etkilenip yanlış sonuçlara ulaşılmasına neden olabilir.

4.2. Ölçümleri Etkileyen Faktörler

Özdirenç yöntemi; farklı iki noktadan yere çakılan iki metal çubuğun, elektrot yardımıyla yer içine yollanan elektrik akımının yer içinde meydana getirdiği voltajın, diğer iki farklı noktaya çakılan metal iki çubuğun, elektrot yoluyla ölçülmesidir.

Ölçmeyi etkileyen bazı faktörler;

4.2.1. Doğal akımlar

Yeryüzeyinin manyetik alanı kalıcı olmayan değişimlere bağlı olarak, tellürik akımlar gibi doğal kaynaklı akımları vardır. İndüklemiş ve tellürik akımlar çok geniş uzanımına sahip olabilmektedirler. Yeryüzünün herhangi bir noktasında görünebilirler. Bazı

durumlarda ölçümlerde aranılan yapının etkisini örtecek büyüklüğe sahip olabilirler. Bu tarz gürültülerin büyük olması, yerin öz direncine, akımın yoğunluğuna, elektrotların arasındaki uzaklığa ve elektrotların doğrultusuna bağlıdır. Arkeolojik araştırmalarda, yüzeye yakın derinlikler incelendiğinden elektrotlar arasını kısa tutulmaya çalışırız.

4.2.2. Yapay akımlar

Çalışmanın yapılacağı araştırma alanına yakın yerlerde, elektrik hattı, maden, elektrikli demiryolları ve insanlar tarafından yapılan çeşitli elektrik kaynağı yeryüzünde bir akıma neden olur. Bunun sonucunda kendi kendine doğal olarak uçlaşma oluşur. Çalışma sahasındaki profillerin seçimi bu ve bunun gibi durumlara dikkat edilerek yapılması gerekmektedir.

4.2.3. Değme direnci

Arkeolojik araştırma yapılacak olan çalışma alanlarının yüzey dağılımı, zemin örtüsü genellikle bozunmuş yapıdadır. Bitkilerin kökü, taşlar, tarım için yapılmış olan uygulama çalışmaları gibi etkenler, bir noktadan aldığımız elektrot ile toprak arasındaki öz direnci diğer bir noktadaki değerden değişik olabilir. Bu etkiyi en aza indirmek veya gidermek için toprak su ile doymun hale getirilebilir. Ancak bu çalışma sonrası suyun derecesine bağlı öz direnç değerlerinde değişiklikler olabilmektedir.

4.2.4. Değme gerilimleri

Çalışma alanındaki çalışma esnasında, elektrotlar ile yeryüzeyi arası, kimyasal özeliğe bağlı az miktarda da olsa doğru akım voltajı ölçülebilir. Elektrot değişimi sırasında, değme voltajları arasında da farklılıklar olabilir. Nemin ve tuz oranının yüksek miktarda olduğu yerde bu farklılıklar yapının etkisini kapatabilir.

4.2.5. Elektrot uçlaşması

Çalışma alanındaki ölçüm çalışmalarında doğru akım kullanılması sebebiyle elektrotlar arasında elektrokimyasal uğlaşmalar olabilmektedir. Bu da elektroliz benzeri bir olay yaratmaktadır. Elektrotlar üzerinde zamanla yük birikmesi olur ve ölçülen özdirenç de zamanla artar. Bu durumun etkisinden kurtulmak amacıyla alternatif akım kaynağı tercih edilmelidir.

4.3. Dizilim Çeşitleri

Özdirenç ile ilgili çalışmalarda çalışma alanı, aranılan nesnenin yer altındaki derinliğı, yapılan araştırmanın genel konusu önceden belirlenmelidir. Ayrıca çeşitli değışkenlerde göz önünde bulundurularak, kullanılan elektrotlar birden fazla biçimde konumlandırılabilir. Uzun zamandır araştırmacılar, yöntemin başarısını daha iyi şekilde yükseltebilmek için farklı elektrot dizilim çeşitleri geliştirmiştir. Ölçüm yapılan çalışma alanının, izotrop ve homojen olduğı varsayılırsa, çalışılan ortam özdirenci Ohm kanunu'ndan faydalanılarak;

$$\rho = k \left(\frac{\Delta V}{I} \right) \quad (3.1)$$

olarak gösterilebilir. Burada, ρ (ohm.m) ortamın özdirenci, k (m) geometrik faktör, ΔV (volt) potansiyel farkı, I (amper) akımı göstermektedir. Fakat yeryüzü homojen ve izotrop olmadığından potansiyel farkı, karmaşık bir ortamın akıma karşı tepkisidir. Ölçülen özdirenç değerleri, gerçek özdirenç olmaktan çıkar (ΔV_a) ve görünür özdirenç (ρ_a) olarak adlandırılır. Bu durumda bağıntı;

$$\rho_a = k \left(\frac{\Delta V_a}{I} \right) \quad (3.2)$$

olarak yazılabilir. Bu genel bağıntı tüm dizilimler için kullanılabilir ve geçerlidir. Elektrotların birbirlerine göre farklı yerleştirilmesinden kaynaklanan fark, k sabitinin dizilime göre farklılık göstermesiyle aşılr. Özdirenç yönteminde sıklıkla kullanılan elektrot dizilim çeşitleri 4 adet olup aşığıdaki gibidir:

- Wenner elektrot dizilimi
- Schlumberger elektrot dizilimi
- Dipol-dipol elektrot dizilimi
- Pol-pol elektrot dizilimi

4.3.1. Wenner elektrot dizilimi

Wenner elektrot dizilimi; iki akım elektrotu (C_1 ve C_2) ve iki potansiyel elektrotundan (P_1 ve P_2) oluşan dört elektrot bir doğru boyunca eşit aralıklarla dizilir (Şekil 4.2.). Bu dizilim çeşidinde k ise geometrik faktörü;

$$k = \frac{2}{\frac{1}{C_1 P_1} + \frac{1}{C_2 P_1} + \frac{1}{C_1 P_2} + \frac{1}{C_2 P_2}} \quad (3.3)$$

şeklinde yazılır. Elektrotlar arası uzaklık a olursa;

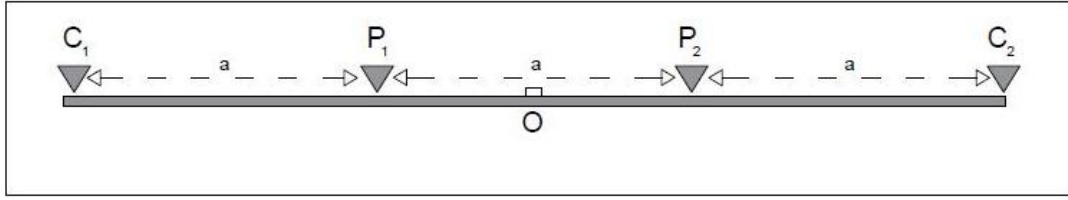
$$k = \frac{2 \pi}{\frac{1}{a} + \frac{1}{2a} + \frac{1}{2a} + \frac{1}{a}}, k = 2 \pi a$$

(3.4)

olarak yazılabilir. Bu durumda Wenner elektrot dizilimine göre görünür öz direnç bağıntısı;

$$\rho a = 2 \pi a \left(\frac{\Delta V_a}{I} \right) \quad (3.5)$$

biçiminde yazılabilir. Wenner diziliminde elektrotlar $C_1 P_1 P_2 C_2$ veya $P_1 C_1 C_2 P_2$ düzeninde sıralanırsa, Alfa (α) dizilimi, $C_1 C_2 P_1 P_2$ düzeninde sıralanırsa, Beta (β) dizilimi, $C_1 P_1 C_2 P_2$ veya $P_1 C_1 P_2 C_2$ düzeninde sıralanırsa, Gama (γ) Dizilimi olarak adlandırılır.



Şekil 4.2. Wenner elektrot dizilimi

Wenner elektrot diziliminde ölçülen değerler homojen ortamlarda $P_1 - P_2$ potansiyel elektrotları orta noktasından “a” aralığı kadar derinliğin özelliğini yansıttığı bilinmektedir [29].

Genel olarak Wenner dizilimi düşey süreksizlikler, dikey değişikliklerin (yatay yapılar) tespitinde verimli iken yanal değişikliklerin (dikey yapıların) tespitinde zayıftır. Diğer dizilim yöntemleriyle karşılaştırıldığında Wenner dizilimi orta derecede bir araştırma derinliğine sahiptir. Özdirenç yönteminde sinyal gücü kavramı geometrik faktörle ters orantılı olarak değişmektedir. Wenner diziliminin geometrik faktörü ise dizilimler arasında en küçüğüdür [10]. Yaygın olarak kullanılan dizilimler arasında Wenner dizilimi en fazla sinyal gücüne sahiptir [30]. Bu nitelik, özellikle arka plan gürültüsü fazla olan sahalarda çalışıldığında çok önemli bir avantaj olabilmektedir [10]. 2B özdirenç çalışmalarında elektrot aralığının artmasıyla dizilimin yatay veri kaplama alanı azalmaktadır. Bu durum az sayıda elektrot kullanılan çalışmalarda sorun teşkil edebilmektedir [10]. Fakat Wenner diziliminin yatay veri kapsamı (horizontal data coverage) dipol – dipol dizilimine göre daha zayıf olmasıyla beraber, bu elektrot dizilimiyle daha kısa sürede veri toplanabilmektedir [57].

4.3.2. Schlumberger elektrot dizilimi

Schlumberger elektrot dizilimi; elektrotlar iki akım elektrotu (C_1 ve C_2) ve iki potansiyel elektrotu (P_1 ve P_2) olarak adlandırılırsa, elektrotlar bir doğru üzerinde $C_1 P_1 P_2 C_2$ olmak üzere dizilir. $C_1 P_1$ uzaklığı (a) ve $P_1 P_2$ uzaklığı (b) olarak düşünülürse elektrotlar arası açıklık,

$$\frac{1}{5} \leq \frac{a}{b} \leq \frac{1}{20}$$

şeklinde olmalıdır (Şekil 4.3.).

Bu dizilim çeşidinde k geometrik faktörü;

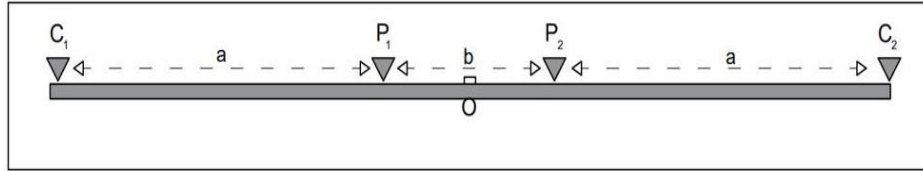
$$k = \frac{2}{\frac{1}{a-\frac{b}{2}} - \frac{1}{a+\frac{b}{2}} - \frac{1}{a+\frac{b}{2}} - \frac{1}{a-\frac{b}{2}}} = \pi \left(\frac{a^2}{b} - \frac{b}{4} \right) m \quad (3.6)$$

olarak elde edilir.

Bu durumda Schlumberger elektrot diziliminde görünür öz direnç;

$$\rho_a = \pi \left(\frac{a^2}{b} - \frac{b}{4} \right) \left(\frac{\Delta V_a}{I} \right) \quad (3.7)$$

olarak elde edilir.



Şekil 4.3. Schlumberger elektrot dizilimi

Schlumberger elektrot dizilimi potansiyel elektrotlarının seyrek, akım elektrotlarının uzaklıkları artırılarak sık değiştirilmesi sebebi ile yanaldan ziyade düşey değişimlere daha duyarlıklı olduğundan jeolojik birimlerin derinlikle değişimlerinin izlenmesinde kullanımı tercih edilir. Bu bakımdan düşey derinlik sondajları çoğunlukla Schlumberger sisteminde yapılır. Schlumberger elektrot diziliminde ölçülen değerler homojen ortamlarda P₁ P₂ potansiyel elektrotları orta noktasından (2a + b) / 2 aralığı kadar derinliğin özelliğini yansıtır [29]

4.3.3. Dipol-dipol elektrot dizilimi

Bu açılımda; elektrotlar iki akım elektrotu (C_1 ve C_2) ve iki potansiyel elektrotu (P_1 ve P_2) olarak adlandırılırsa, elektrotlar aynı doğrultu üzerinde $C_1 C_2 P_1 P_2$ olmak üzere dizilir (Şekil 4.4.). $C_1 C_2$ uzaklığı (a), $C_2 P_1$ uzaklığı (na) ve $P_1 P_2$ uzaklığı (a) şeklinde olmalıdır. Bu dizilim çeşidinde potansiyel ifadesi;

$$V_a = \frac{\rho I}{2\pi} \left\{ \left(\frac{1}{na} - \frac{1}{(n+1)a} \right) - \left(\frac{1}{(n+1)a} - \frac{1}{(n+2)a} \right) \right\} \quad (3.8)$$

şeklindedir. Bu durumda k geometrik faktörü;

$$k = \frac{2}{\frac{1}{n} - \frac{1}{n+1} - \frac{1}{n+1}} = a \pi n (n+1)(n+2) = 2 \pi a G \quad (3.9)$$

olur. Burada;

$$G = \frac{1}{2} n(n+1)(n+2) \quad (3.10)$$

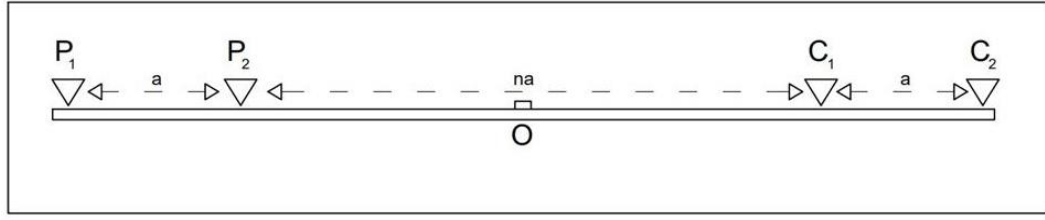
olup;

- $n = 1$ için, $G = 3$
- $n = 2$ için, $G = 12$
- $n = 3$ için, $G = 30$
- $n = 4$ için, $G = 60$

olarak hesaplanır. G sabit olduğundan geometrik faktör a elektrot aralığıyla değişir. Bu durumda görünür öz direnç,

$$\rho_a = 2\pi a G \left(\frac{\Delta V_a}{I} \right) \quad (3.11)$$

şeklinde hesaplanır.



Şekil 4.4. Dipol - dipol elektrot dizilimi

Dipol-dipol dizilimi en fazla dipol çiftleri altındaki özdirenç değişikliklerine duyarlıdır. Dizilim özdirençteki yanıl değışimlere (dikey yapılar) duyarlı iken dikey değışimlere (yatay yapılar) nispeten duyarsızdır. Dipol-dipol diziliminin çözünürlüğü (görüntü ayrımlılığı) Wenner diziliminden daha yüksektir [31]. 2B özdirenç çalışmalarında dizilimin yatay veri kaplama alanı Wenner dizilimine göre daha iyidir. Bu durum az sayıda elektrot kullanılan çalışmalarda önemli bir avantajdır [10].

Araştırmadaki derinliği “n” ve “a” değerlerine göre belirlenmektedir. Dipol – dipol diziliminde “n” değeri ilk seviyesinde iken araştırma derinliği Wenner’ e göre daha sğdır. “n” değerinin artmasıyla bu derinlik Wenner’e göre daha fazla olmaktadır. Fakat büyük “n” değerlerinde dizilim oldukça düşük sinyal gücü üretmektedir. Gerilim “n” değerinin küpüyle ters orantılıdır [10]. Ayrıca dizilim taşlı alanlarda gürültü varlığından oldukça fazla etkilenmekte ve sıklıkla böyle alanlarda düşük sinyal/gürültü (S/N) oranı üretmektedir [31].

4.3.4. Pol-pol elektrot dizilimi

Dizilimi simetrik olan pol-pol elektrot dizilimi aktif olarak, bir potansiyel ve bir akım elektrotunun ölçümde kullanıldığı bir dizilim düzenidir (Şekil 4.5.).

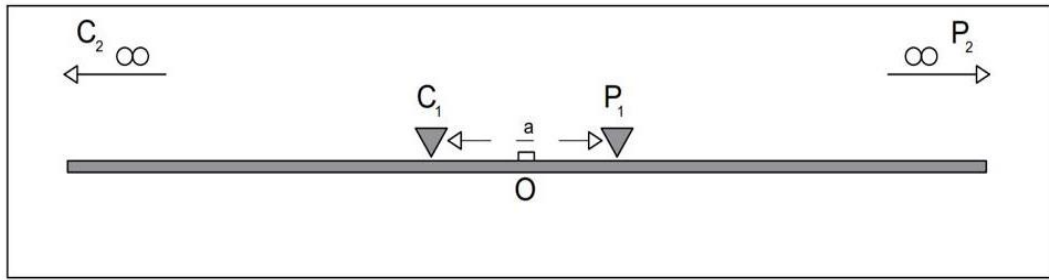
Bu durumda C_1 ve P_1 elektrotlarının orta noktası merkez olmak üzere bu iki elektrot simetrik olarak bir hat boyunca kaydırılarak ölçüm alınır. Elektrot diziliminin bozulmaması için ikinci akım ve potansiyel elektrotları “a” aralığının 20 kat büyüklüğü kadar uzağa yerleştirilmelidir [10]. “ C_2 ve P_2 ” elektrot çifti sonsuzda olduklarından (ΔV) potansiyel farkı P_1 noktasındaki potansiyele eşittir. “ C_1 P_1 ” aralığına “a” denirse;

$$\Delta V_a = \frac{\rho a l}{2\pi a} \quad (3.12)$$

olur ve bu durumda öz direnç;

$$\rho a = 2\pi a \left(\frac{\Delta V_a}{l} \right) \quad (3.13)$$

şeklinde hesaplanır.



Şekil 4.5. Pol - pol elektrot dizilimi

Bu durumda hareketli olan iki elektrot ile ölçüm diğer dizilimlere göre daha kolay gerçekleştirilebilir. Sınırlı ve dar alanlarda ise diğer elektrot çiftinin yeterli uzağa atılabilmesi mümkün olmamaktadır. Dizilim anomali (aykırılık) etkisi ve sinyal-gürültü oranı yer altı modeline göre yüksek veya düşük olabilirken, kuramsal çalışmalarda eklenen teorik gürültüye karşın dizilim diğer dizilimler ile karşılaştırıldığında orta düzeyde kalmaktadır [31].

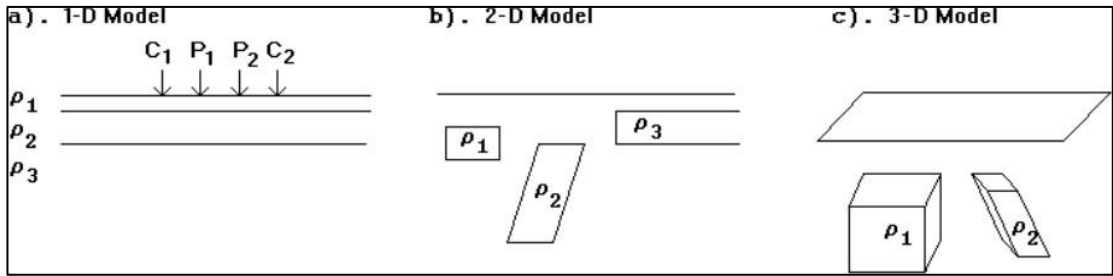
Pol-pol dizilimi en iyi yatay veri toplama kapsamına ve en derin araştırma derinliğine sahip iken aynı zamanda çözünürlüğü (görüntü ayrımlılığı) en zayıf olan dizilimdir. Ayrıca iki potansiyel elektrotu arasındaki uzaklığın çok fazla olmasından dolayı yüksek miktarda tellürik gürültülere maruz kalarak ölçümlerin kalitesinin düşük olması da dizilimin diğer bir dezavantajıdır [20].

4.4. Özdirenç Yönteminde Veri Toplama

Uygulamasını yeryüzünden yapılan elektrik özdirenç çalışmaları, araştırmadaki problemlere göre üç farklı şekilde uygulanabilir [32]. Bunlar;

- Düşey Elektrik Sondaj (DES) çalışmaları,
- Profil ölçüsü / haritalama,
- 2B ve 3B görüntülemeler (elektrik özdirenç tomografisi).

Bu sayede yer altı, Şekil 4.6.'da görüldüğü gibi 1B, 2B ve 3B boyut olarak görüntülenebilmektedir.

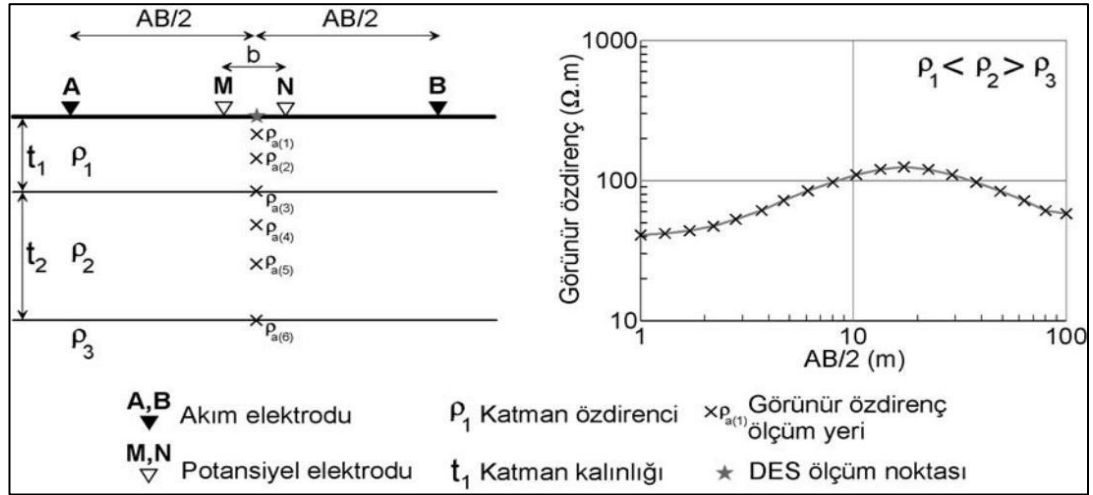


Şekil 4.6. a) Düşey elektrik sondaj, b) ve c) sırasıyla 2B ve 3B boyutlu özdirenç çalışmalarında yer altının yorumlanması [30]

Elektrik özdirenç yönteminde genellikle ölçümler tek ve çok kanallı cihazlar yardımıyla yapılmaktadır. Bu ölçümler cihazla birlikte güç kaynağı, kablolar ve metal elektrotlar sayesinde gerçekleştirilmektedir. Tek-kanallı özdirenç aletlerinin kullanıldığı ölçüm yönteminde, düz bir doğrultu boyunca serilen dört adet elektrotun, potansiyel elektrotlarının orta noktası simetri merkezi olmak kaydıyla, her iki tarafa doğru ve her ölçüm sonrası belirli oranlarda açılmasıyla gerçekleştirilir. Bu şekilde, elektrotlar arası mesafe açıldıkça akımın yer altında yayılacağı derinlik artar.

Elektrotların bütün açılımında akım geçişine derinlikteki ek bir özdirenç katılımı ile karşı durulacağından, yüzeyde ölçülen gerilim özdirenç derinlikle değişimini yansıtacaktır. Bu yöntem özdirenç derinliğe bağlı değişimini incelemek için yapılır. Bu ölçü yöntemi, özellikle düşey süreksizliklerin derinliğini, kalıntılarını ve yerini saptamak için kullanılır.

Düsey Elektrik Sondaj ölçümleri log-log eksenli grafiklerde gösterilir (Şekil 4.7.). Bu öz direnç eğrilerin abaklar kullanılarak nicel yorumlanmaları mümkündür [33]. 1970'ten itibaren teknolojinin gelişmesi, bilgisayarların ve lineer süzgeç kuramının gelişimi ile Düsey Elektrik Sondaj değerlendirmelerinde bilgisayar temelli yorumlama teknikleri ortaya çıkmıştır [34]. Bunu ise otomatik ters-çözüm teknikleri izlemiştir [35, 36, 37].



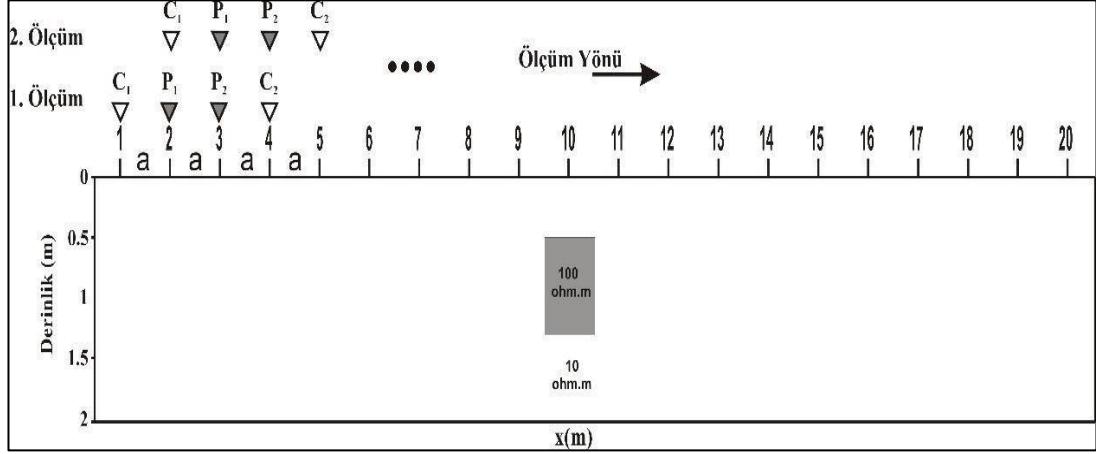
Şekil 4.7. Düsey elektrik sondaj (DES) ölçüm sistemi (üç katmanlı yer altı modeli ve görünür öz direnç eğrisi) [32]

Belirli bir derinlik için öz direncin bir doğrultu boyunca değişimini inceleyen uygulama tekniğine; Yatay Öz direnç Çalışması, Yatay Tarama ya da Yanal Dizilim Kaydırma Yöntemi denir.

Yüzeyden verilen akımın indiği derinlik; elektrot aralığına, dizilim türüne, verilen akımın genliğine, yapıdaki öz direnç ar dalanmasına bağlı olduğundan, çalışma alanında ölçü alınan tüm doğrultular boyunca; dizilim türü, verilen akımın genliği, elektrot aralığı sabit olmalıdır [22].

Bu ölçü tekniğinde aranılan yapının muhtemel olan uzanımına dik bir biçimde seçilen profil boyunca, belirlenen bir elektrot açıklığı için alınan her bir ölçümden hemen sonra tüm elektrot seti Δx kadar kaydırılır (Şekil 4.8.). Alınan ölçü potansiyel elektrotlarının orta noktasına atanır. Bu yöntem, öz direncin yanal yönde değişimini

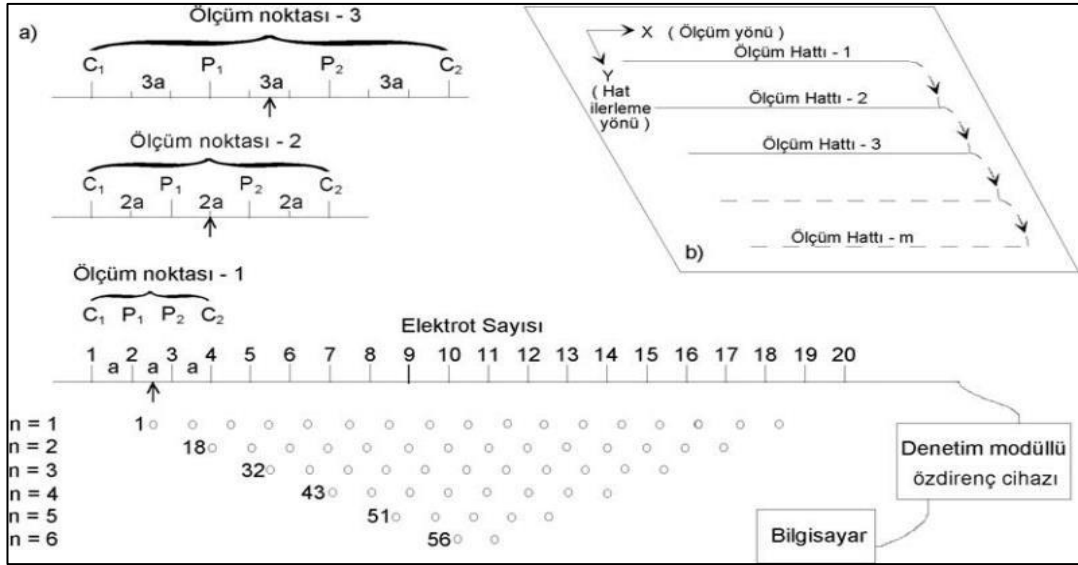
incelemek amacıyla uygulanır. Özellikle de yanal olan süreksizliklerin incelenmesinde, konumunun, derinliğinin ve genişliğinin saptanmasında kullanılır.



Şekil 4.8. Wenner elektrot dizilimi ile profil ölçümü planı

Özdirenç çalışmalarında zorluklardan birisi de yer altının homojen olmayışının elde edilen anomalilerin (aykırılıkların) çok çözömlü olmasını ortaya çıkarmasıdır. Bu tür karmaşık olayların çözümünde tek boyutlu bir model yetersiz kalmaktadır. Bunun için 2B veya 3B boyutta özdirenç dağılımı elde edilen çalışmalara ihtiyaç duyulmuştur. 2 boyutlu çalışmalarda özdirençin y yönünde sabit olduğu kabul edilirken, 3 boyutlu çalışmalarda ise özdirençin her yöndeki değişimi incelenir. Bu ise yer altı yapısına ilişkin daha gerçekçi ve aydınlatıcı bilgiler sunmaktadır. Özdirenç dağılımının iki- ve üç-boyutta gözlenebilmesi için arazi çalışmaları bir profil boyunca ölçüler alınarak yapılır.

Şekil 4.9.'da görüldüğü gibi çok kanallı özdirenç cihazı ile bir profil boyunca n tane seviyede özdirenç elde etmek için bir profil tamamlanır ve m sayıda hatta profil ölçüleri alınarak 3 boyutlu veriler oluşturulur.



Şekil 4.9. a) iki boyutlu öz direnç çalışması b) üç boyutlu öz direnç çalışması [38]

BÖLÜM 5. TERS ÇÖZÜM YÖNTEMİ VE ÇALIŞMADA KULLANILAN TERS ÇÖZÜM UYGULAMASI

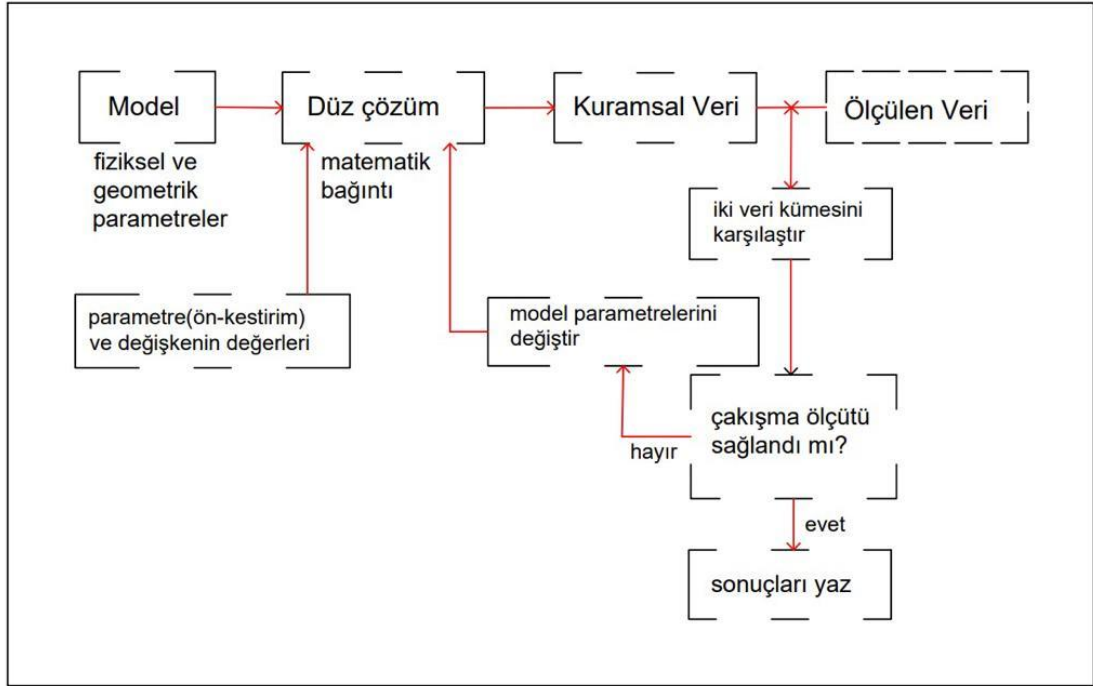
Bu bölümümüzde ters çözüm işleminin genel kuramsal bilgileri ve bu çalışmada kullanılan paket programının çalışma ilkeleri hakkında [10, 32] numaralı kaynaklardan yararlanılarak bilgi verilmeye çalışılacaktır.

Jeofizik olarak karşımıza çıkan sorunlar ve sorunların çözümündeki prensip, farklılığa sebep olan yapıyı veya kaynakları modellemeye çalışmaktır. Bu anomaliyi oluşturan kaynak, çalışılan bölgede yer altında bulunan herhangi bir yapı veya yapılar kümesi olabilir. Bu durum problemin çok çözümlü olması sonucunu doğurur. Bu tür bir sorun görünür öz direnç verilerinin ters çözümüyle (inversion) aşılmaktadır.

Jeofizik bilimi, ters çözümde çalışmasında, ölçülen değerler ile hesaplanan değerler arasında en küçük kareler anlamında doğru yanıtı veren bir model oluşturulmaya çalışılır. Model, fiziksel değerleri olan ve gözlenen veriden yaklaşılmak istenen model parametrelerine sahiptir. Model yanıtı veya kuramsal veri, verilen model parametreleri kümesi için matematiksel ilişkilerden tanımlanmış modelden hesaplanabilen yapay veriye denir. Yani ters-çözüm içerisinde düz-çözüm kullanılmaktadır [38]. RES2DINV ve RES3DINV programlarında model parametreleri model hücrelerinin öz direnç değerleri iken veri ise görünür öz direnç değerlerinden oluşmaktadır.

Tüm ters çözüm yöntemlerinin amacı, yer altındaki yapı için yanıtın bazı kısıtlamalara tabi tutulduğu ve ölçülen veriye uygun olan bir modeli belirlemeye çalışmaktır. Bu en uygun modelin elde edilmesinde en yaygın olarak kullanılan bu yöntem bir başlangıç modelini, model yanıtı ile gözlenen veriler arasındaki fark en az olana kadar yinelemeli bir şekilde değiştirmektir (Şekil 5.1.).

Model parametreleri ve 2B veya 3B boyutlu rezistivite modelini tanımlayan matematiksel bağıntı kullanılarak bu modelin üreteceği yanıt yani kuramsal veri sonlu farklar [39, 40] veya sonlu elemanlar [41] yöntemleri ile elde edilebilir.



Şekil 5.1. Ters çözüm işlemi genel akış şeması [42]

N adet ölçüm noktasında gözlenen veri seti bir 'y' kolon vektörü olarak;

$$y=(y_1,y_2,y_3,\dots,y_n)^T \quad (5.1)$$

Model yanıtı 'f' ise;

$$f=(f_1,f_2,f_3,\dots,f_n)^T \quad (5.2)$$

şeklinde yazılabilir. Çalışması yapılan alandaki öz direnç problemlerinde gözlemlenen model yanıtı ve veri için görünür öz direnç değerlerinin logaritmasının kullanılması genel bir kolaylıktır. Ayrıca model değerlerinin logaritması da model parametreleridir. N adet kadar model parametre sayısından oluşan model parametreleri 'q' vektörü ile de gösterilebilmektedir.

$$q=(q_1,q_2,q_3,\dots,q_n)^T \quad (5.3)$$

Gözlenen veri ve model yanıtı arasındaki fark, fark vektörü 'e' ile aşağıdaki şekilde tanımlanabilir

$$e= y - f \quad (5.4)$$

En küçük kareler yönteminde, ölçülen gözlemsel veri grubu ile olası model parametrelerine göre hesaplanan kuramsal veri arasındaki farkların kareleri minimize edilerek başlangıç modeli istenilen model elde edilinceye kadar değiştirilir.

$$E = e^T e = \sum_{i=1}^n e_i^2 \quad (5.5)$$

Model parametrelerindeki değişimi hesaplayarak hata miktarını en düşük olarak tutmak için Gauss-Newton yaklaşımı kullanılır [43].

$$J^T \Delta q_i = J^T g \quad (5.6)$$

Burada Δq model parametre değişim vektörü ve J ise n x m boyutlu kısmi türevlerden oluşan elemanları aşağıdaki gibi verilen Jakobyen matrisi, 'J^T' jakobyen türevi, 'g' ise gözlenen ile hesaplanan veri arası logaritmik farkları içeren (discrepancy) vektörüdür.

$$J_{ij} = \pi \frac{\partial f_i}{\partial q_j} \quad (5.7)$$

Jakobyen matris gösteriminin anlamı, i. model yanıtındaki değişime karşılık j. model parametresindeki değişiklik, 'π' ise bir nokta akım kaynağından çıkan akım çizgileri ve oluşturduğu potansiyel dağılım alan sabiti. Parametre değişim vektörünün hesabından sonra yeni model;

$$q_{k+1} = q_k + \Delta q_k \quad (5.8)$$

Şeklinde elde edilir.

Jeofizik ters çözümde basit en küçük kareler denklemi (4.6) kendi başına nadiren kullanılmaktadır. Bazı durumlarda $J^T J$ matrisinin sonucu tekil olabilmektedir. Böylece en küçük kareler denkleminin Δp için bir çözümü bulunamamaktadır. Bir başka sorun ise, kalitesiz bir başlangıç modeli (optimum modelden çok farklı olan) kullanıldığında meydana gelen $J^T J$ matris sonucunun yakın tekil olmasıdır. Bu durumda (4.6) denklemi ile hesaplanan parametre değişim vektörü, (4.8) denklemi kullanılarak hesaplanan yeni model değerlerinde gerçek olmayan sonuçlar doğurabilir.

Bu problemi önlemek için bilinen en yaygın yöntem Gauss-Newton denkleminin Levenberg-Marquart modifikasyonudur [43] ve aşağıdaki bağıntı ile verilir.

$$(J^T J + \lambda I) \Delta q_k = J^T g \quad (5.9)$$

Burada I , birim matris, λ ise Marquart veya sönüm (damping) faktörü olarak bilinir. Ayrıca bu yöntem Ridge Regression olarak da isimlendirilmektedir. Sönüm faktörü, Δp parametre değişim vektörü bileşenlerinin değerlerini efektif olarak sınırlandırır. (4.6) denklemindeki Gauss-Newton yöntemi, fark vektörünün kareler toplamını minimize etmeye çalışırken, Marquart-Levenberg yöntemi modifikasyonu ise fark vektörünün magnitudünün bir kombinasyonunu ve parametre değişim vektörünü minimize eder. Bu yöntem, öz direnç sondajı yönteminde modelin küçük sayıda katman içerdiği durumda ters-çözümde başarılı olarak kullanılmaktadır.

Bununla birlikte 2B ve 3B ters çözüm modellerinde olduğu gibi çok sayıda küçük hücrenin olması gibi model parametrelerinin sayısı çok olduğunda, model bu yöntem ile yüksek veya düşük sahte öz direnç zonları ile kararsız bir öz direnç dağılımına sahip olabilir [44]. Bu problemin üstesinden gelebilmek için, Gauss ve Newton en küçük kareler denkleminde model parametrelerindeki uzaysal değişimi minimize eden bir başka modifikasyon yapılır. Bu düzgünlük kısıtlı (smoothness constrained) en küçük kareler yöntemi [45, 46] olarak aşağıdaki şekilde verilir;

$$J^T J + \lambda F) \Delta q_k = J^T g - \lambda F q_k \quad (5.10)$$

Burada F,

$$F = \alpha_x C_x^T C_x + \alpha_y C_y^T C_y + \alpha_z C_z^T C_z \quad (5.11)$$

ile tanımlanır ve C_x , C_y ve C_z ; x, y ve z yönlerindeki düzgünleştirme (smoothing) matrisleridir. α_x , α_y ve α_z yine x, y ve z yönlerindeki düzgünlük süzgeçlerini veren göreceli ağırlıklandırmalardır.

Düzgünleştirme matrisinin genel bir hali fark matrisinin birinci kuvvetidir [47]. Bu durumda aşağıdaki gibi verilebilir;

$$C = \begin{bmatrix} -1 & 1 & 0 & 0 & \cdot & \cdot & \cdot & 0 \\ 0 & -1 & 1 & 0 & \cdot & \cdot & \cdot & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 1 & \cdot & \cdot & \cdot & 0 \\ \cdot & & & \cdot & & & & \cdot \\ \cdot & & & & \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & & & \cdot & & \cdot \\ \cdot & & & & & & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & 0 \end{bmatrix} \quad (5.12)$$

(4.10) denklemi aynı zamanda model özdirenç değerlerinin uzaysal değişimlerinin veya pürüzlülüğün (roughness) karesini minimize etmeye çalışır. Bu bir L2 normu düzgünlük-kısıtlı (smoothness-constrained) en iyileştirme yöntemidir.

Bu denklem, özdirenç değişimlerinin düzgün değişimi ile bir model üretme eğilimindedir. Bu yaklaşımla, eğer gerçek yer altı özdirenci yumuşak ya da aşamalı değişiyorsa kabul edilebilir. Bazı durumlarda, yer altı jeolojisi, kendi içinde çoğunlukla homojen ama aralarında keskin sınırlara sahip katmanlar içerir. Bu tip durumlar için (4.10)'daki ters- çözüm bağıntısı, model özdirenç değerlerindeki mutlak değişimleri minimize edecek şekilde modifiye edilebilmektedir [48]. Bu yöntem bazen daha iyi sonuçlar verebilir ve teknik olarak L1 normu veya daha bilinen şekliyle bloklu (robust) ters- çözüm yöntemi olarak tanımlanır. Başka tekniklerde modifikasyon için

kullanılabilmektedir. Bunlardan biri Wolke ve Schwetlick [49] tarafından verilen standart L1 normu en küçük kareler formülasyonunu kullanan yinelemeli tekrar ağırlıklandırılmış en küçük kareler yöntemidir ve hata vektörünün mutlak değerleri toplanmaktadır. Bu en iyileştirme denklemi ise (4.10) denkleminin modifikasyonu ile aşağıdaki gibi verilir.

$$J^T J + \lambda FR) \Delta q_k = J^T R d g - \lambda FR q_k \quad (5.13)$$

$$F_R = \alpha_x C_x^T R_m C_x + \alpha_y C_y^T R_m C_y + \alpha_z C_z^T R_m C_z \quad (5.14)$$

R_d ve R_m , ağırlıklandırma matrisleridir yani ters-çözüm işleminde, veri uyumsuzlukları (misfit) ve model pürüzlülük vektörlerine ağırlık verilmektedir.

Genel olarak ters çözüm işlemi, modelin oluşturacağı kuramsal anomaliyle gözlemsel anomali arasındaki uyum, verilen bir tolerans değerine ulaşmaya kadar devam ettirilir. Bu uyum, RMS (root mean squares) ile gösterilen karesel hata değeriyle belirlenir ve

$$RMS \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left(\frac{g_i^{göz} - g_i^{hes}}{\sigma_i} \right)^2} \quad (5.15)$$

Bağıntısıyla hesaplanır [50]. Burada N veri sayısı, σ_i i'nci veriye ait standart sapma, $g^{göz}$ ve g^{hes} sırasıyla gözlenen ve hesaplanan anomali değerlerini göstermektedir.

Ters çözüm işleminin genel hatları bu bölümde verilmiştir. Bu çalışmada ters çözüm işlemi RES2DINV ve RESDIN3V programları ile yapılarak yer altı kesitleri oluşturulmuştur. Bu programlar araştırmalar için kullanılan, Wenner - Schlumberger, pole-pole, dipole- dipole, pole-dipole, Wenner dizilimleri kullanılır. Ek olarak bu ortak dizilimler için program mümkün olan elektrot konfigürasyonları ile geleneksel olmayan dizilimleri de desteklemektedir.

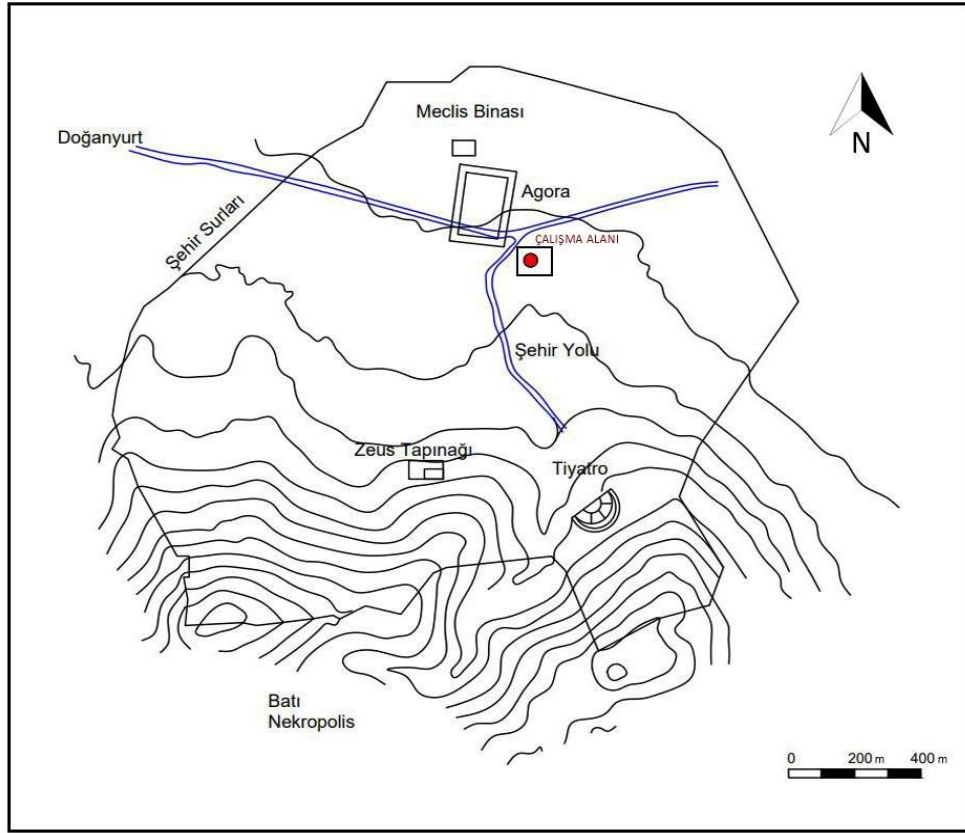
Program hem sonlu farklar hem de sonlu elemanlar yöntemiyle görünür öz direnç değerlerinin hesaplanmasına olanak sağlar. Varsayılanına göre eğer topoğrafya yoksa sonlu farklar yöntemi kullanılır. Topoğrafya içeriyorsa varsayılan seçim sonlu elemanlar yöntemidir. Program, bu bölümde anlatıldığı üzere ters çözüm işlemi için doğrusal olmayan bir en küçük kareler optimizasyon tekniğini kullanılır.

Ayrıca RESDIN2V programı sayesinde bir profil üzerinde alınan 2 boyutlu veriler birleştirilerek 3 boyutlu tomografi verileri oluşturulabilir ve bu 3 boyutlu veriler RESDIN3V programıyla ters çözüme tabi tutulup değerlendirilerek kat haritaları ve 3 boyutlu gösterimler elde edilebilir.

BÖLÜM 6. REZİSTİVİTE YÖNTEMİNİN ARAZİDE UYGULANMASI

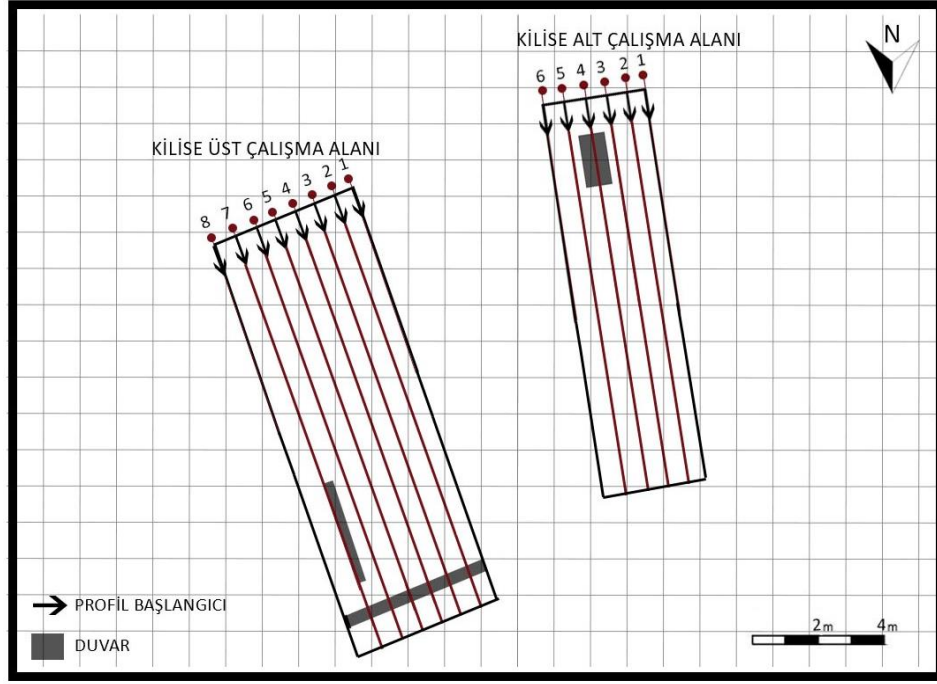
6.1. Çalışma Alanının Tanıtılması

Alabanda, Ege Bölgesi'nde bulunan Aydın'a bağlı olan Çine Belediye sınırları içinde kalan, ilçenin batısında yer alan ve yaklaşık olarak 8 km. uzakta bulunan Doğanyurt köyünün (Eski adı Araphisar olan) yakınında bulunmaktadır. Çine Ovası'na hâkim bir noktada olan Alabanda Kenti M.Ö. 4. - 12. Yüzyıllara ait olduğu düşünülen önemli bir zengin Karia yerleşimidir [51, 52]. Agora, Tiyatro, Zeus Tapınağı, Kent Surları, Meclis Binası, antik kentte görülebilen başlıca kalıntılardır (Şekil 6.1.).



Şekil 6.1. Alabanda şehir planı ve çalışma alanı (Karaaslan H. 'den düzenlenmiştir) [57]

Antik Çağda, kent vatandaşlarının ibadetlerini yerine getirebilmeleri için toplandıkları yere ve yapıya kilise denir. Hemen hemen her antik kentte bir veya birden fazla kilise bulunabilir. Üzeri kapalı ve büyükçe yapılardır ve bu binalar genellikle dörtgen bir plana sahiptir. Çalışma alanları kuzey doğrultulu ve saha durumuna uygun olarak dikdörtgen şekilde planlanmıştır (Şekil 6.2.).



Şekil 6.2. Kilise bölgesi alt ve üst kısım çalışma alanı

Alabanda antik kenti son yıllarda yapılan çalışmalar ve araştırmalar sayesinde yerli ve yabancı basınında ilgi odağı olmuş durumdadır. Birçok üniversiteden araştırmacı bu antik kent ile ilgili kalıntıları ortaya çıkarmaya çalışmaktadır.

Bu çalışmanın amacı gömülü olan kiliseye ait yapıları tespit etmek ve gün yüzüne zarar vermeden çıkartmaktır. Doğa olaylarına maruz kalan bu bölgede, kiliseye ait olduğunu düşündüğümüz yapıların üstü toprak, alüvyon zemin ile örtülü vaziyettedir. (Şekil 6.3.)

Zemin durumu ve yer altı boşluklarından dolayı su içeriği karmaşık bir yapıya sahiptir. Üzerinde bulunan toprak suyu içinde tutmakta ve bu sebeple üzerindeki bitki örtüsü antik kentin gömülü yapılarının üstünü kaplamaktadır. Kentin genel olarak yüzeyinde,

kalıntılardan kopan ve sürüklenen irili ufaklı taş, kaya ve rüzgâr ile sürüklenen toprak malzeme bulunmaktadır.

Alabandadaki diğer yapı kalıntılara göre oldukça kötü durumda olan ve belirlemede zorluk yaşanan ve kiliseyi oluşturduğu varsayılan kalıntılardır. Geç Hellenistik Dönem'e ait olduğu düşünülen bu yapı, agoranın güneyinde yer almaktadır. Kilisenin kısmende olsa ayakta duran ve günümüze kadar varlığını koruyan bir yapı değildir (Şekil 6.3.).



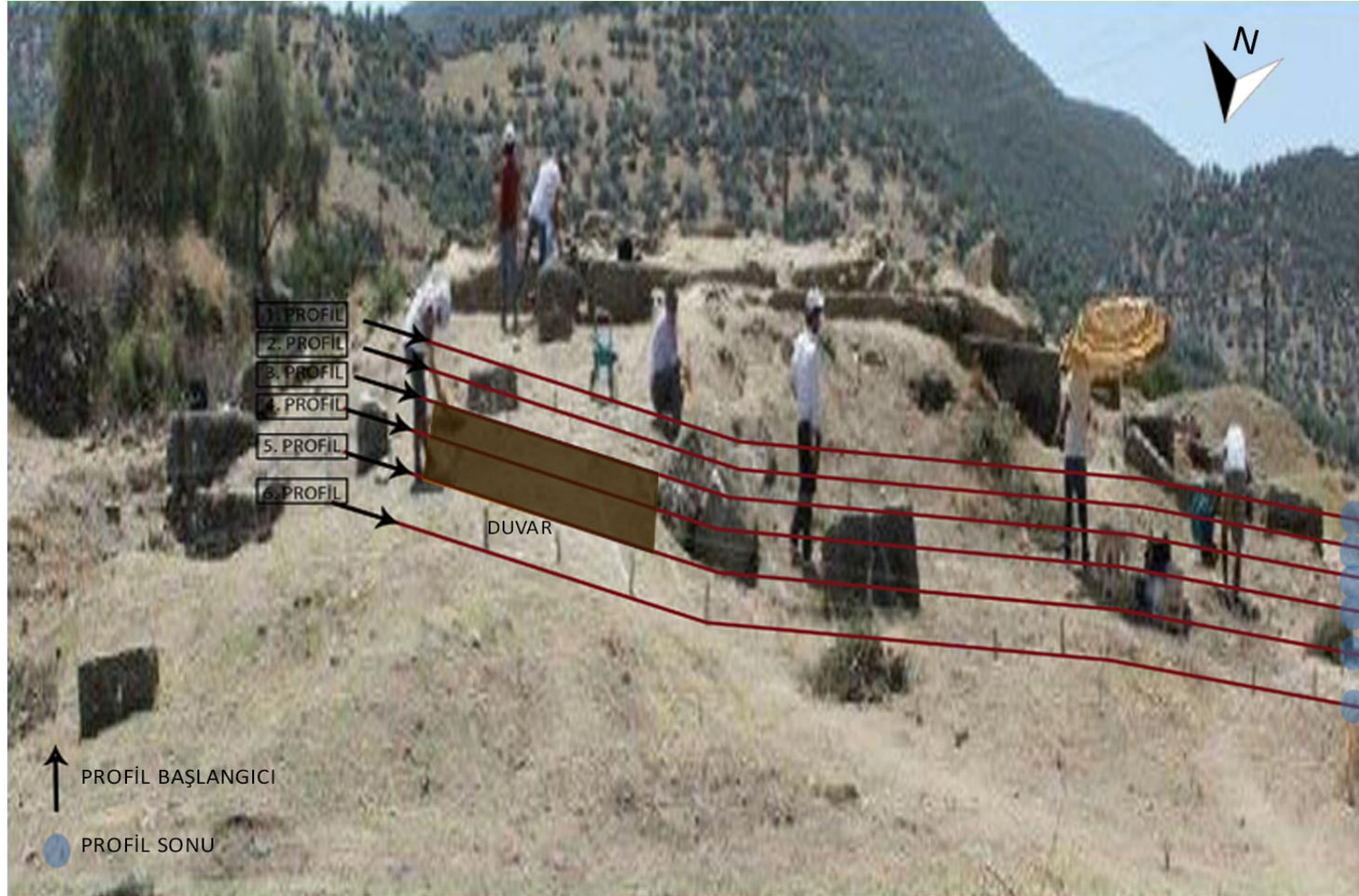
Şekil 6.3. Kilise alanının değişik cephelerden görüntüleri (kuzey ve güney)

Kilise alanı alt kısım ve üst kısım olmak üzere iki kısımda inceleyebiliriz.

6.1.1. Kilise alt kısım

Elektrik özdirenç ölçümleri, doğu-batı uzanımlı ve her birisinin arası 1 m olacak şekilde yerleştirilmiştir. Kilisenin alt bölgesinde 6 adet paralel profil boyunca ARES GF çoklu elektrot sistemiyle 2012 temmuz ayında benim de içinde bulunduğum ekip tarafından tamamlanmıştır.

Profil sayısının 6 ile kısıtlı kalmasına Şekil 6.4.'de görüldüğü gibi arazinin mevcut durumu ve engebeli arama alanı durumuna neden olmuştur. Kiliseyi oluşturan yapıların yüzeydeki belirginliği ve küçük yüzey değişimleri göz önünde bulundurularak elektrotlar arası mesafe 1 m olarak seçilmiş ve uzunluk 23 m olacak şekilde karelajlanmıştır.



Şekil 6.4. Ölçü noktaları için gridlenmiş çalışma alanı kilise alt kısım

Şekil 6.4.'de siyah oklar doğrultuyu, kırmızı çizgiler profil durumunu ve gri noktalar ise profil sonunu göstermektedir. Toplamda bu bölgede saha durumuna bağlı olarak genel profil düzlemi seçilmiş ve 6 adet olarak belirlenmiştir. Bu profillerden elde edilen verilerden oluşturulan kesitlere bakıldığında daha geniş araştırma yapılması için ek profiller oluşturulması ve saha kenarlarında da ölçüm alınması uygun olacaktır.

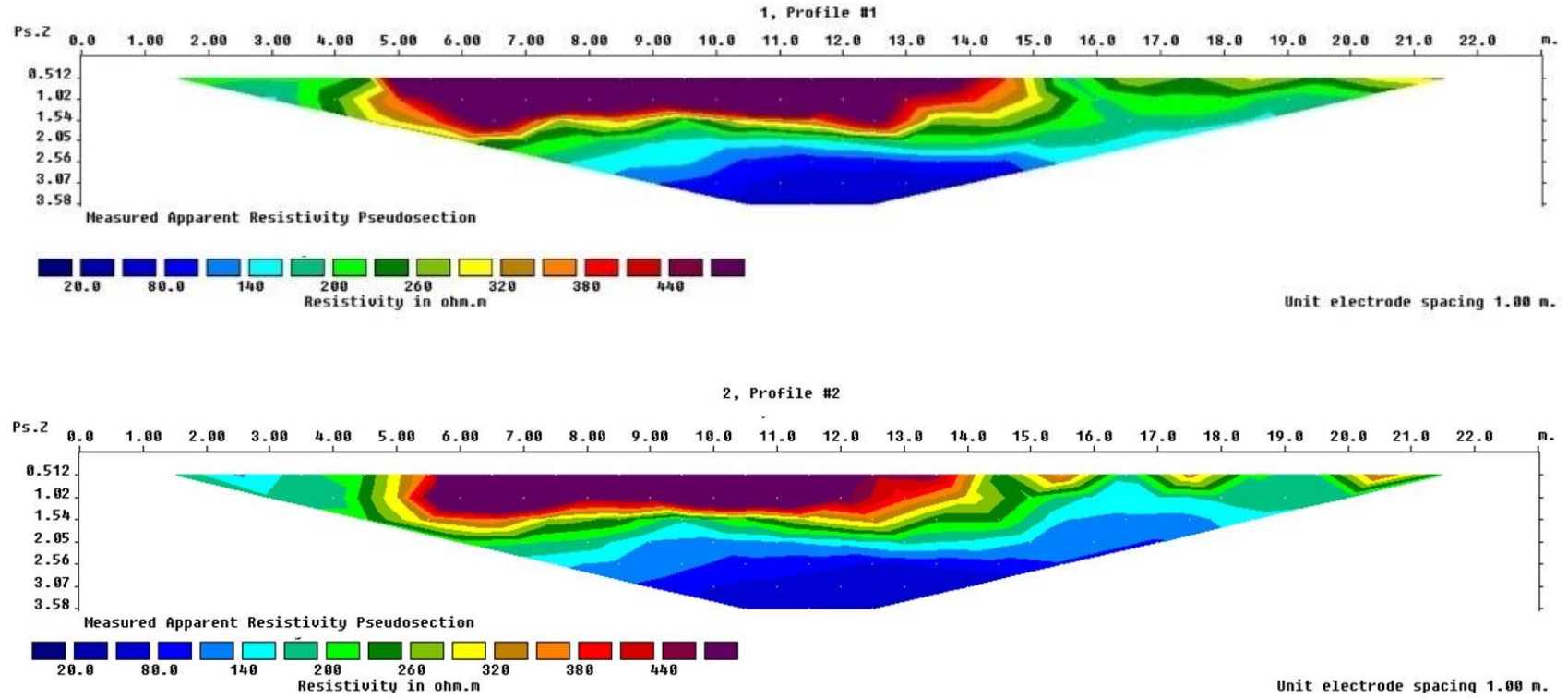
Arazide toplanan veriler 2B veriler kullanılarak RES2DINV programı yardımıyla değerlendirilmiştir.

Kilise alt kısmındaki 1. ve 2. Profillere ait olan Wenner elektrot diziliminde alınan değerlerin ham veri çıktıları aşağıdaki gibidir (Şekil 6.5.).

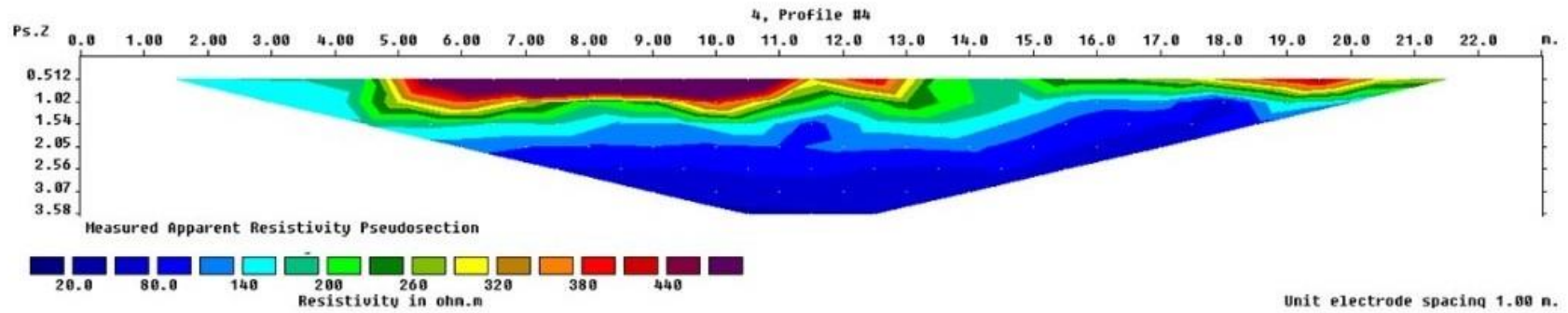
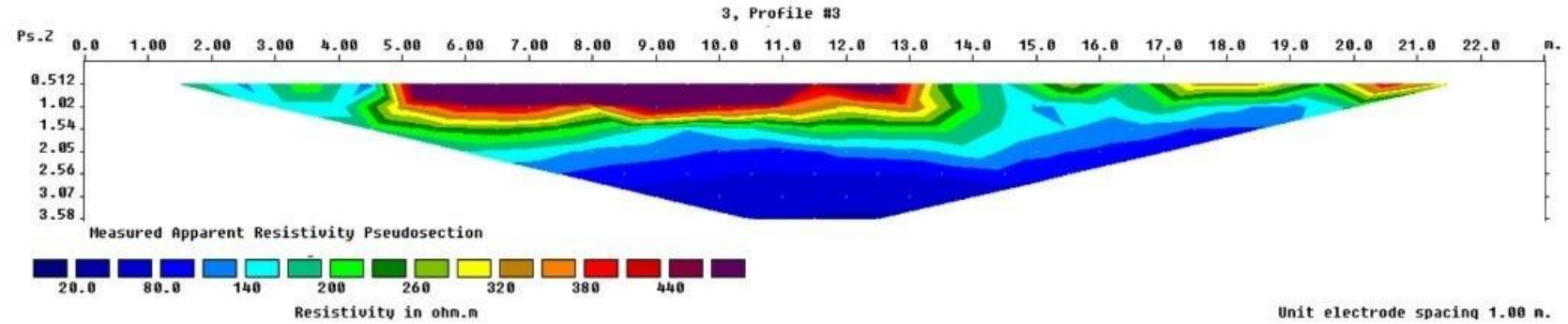
Kilise alt kısmındaki 3. ve 4. Profillere ait olan Wenner elektrot diziliminde alınan değerlerin ham veri çıktıları aşağıdaki gibidir (Şekil 6.6.).

Kilise alt kısmındaki 5. ve 6. Profillere ait olan Wenner elektrot diziliminde alınan değerlerin ham veri çıktıları aşağıdaki gibidir (Şekil 6.7.).

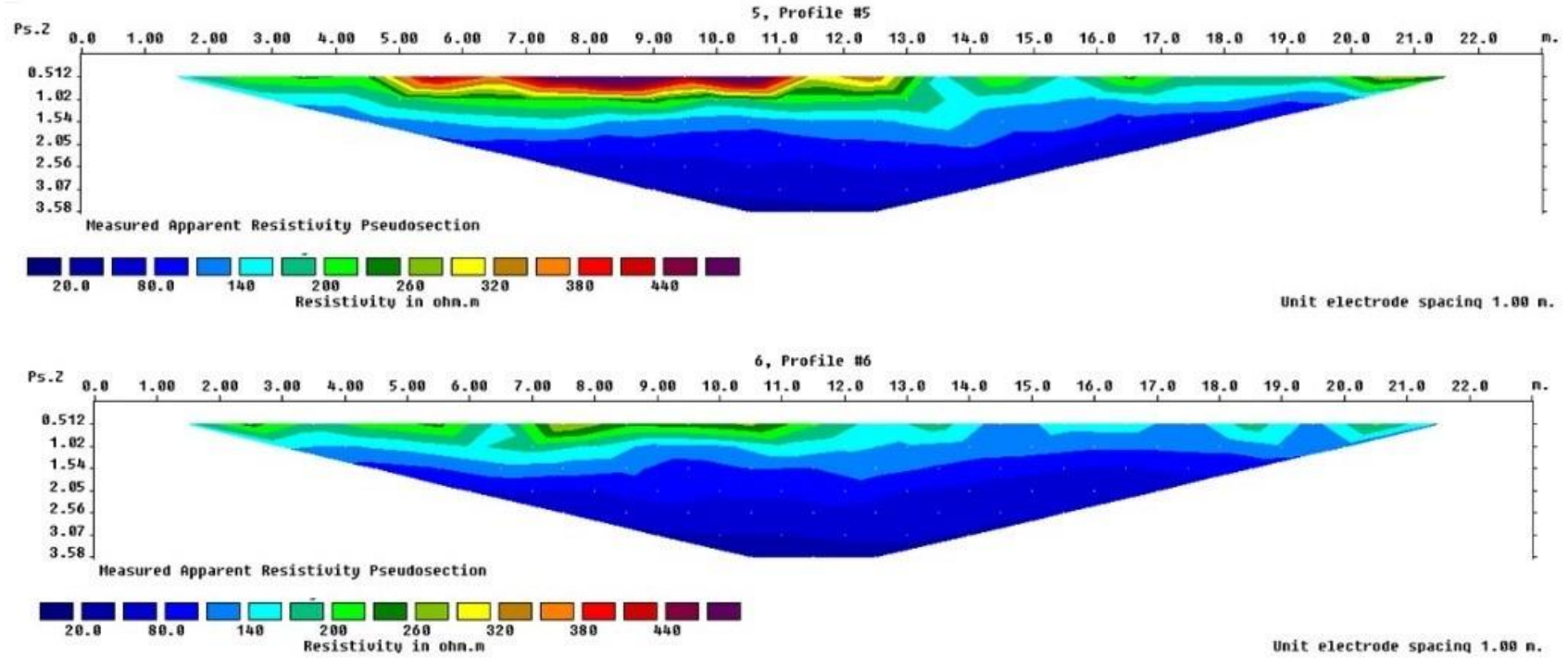
Ayrıca ters çözüm yaptırılan 3., 4. ve 5. Profillere ait duvar varlığını belirten bölge, oklar arasında kalacak şekilde gösterilmeye çalışılmıştır (Şekil 6.8.).



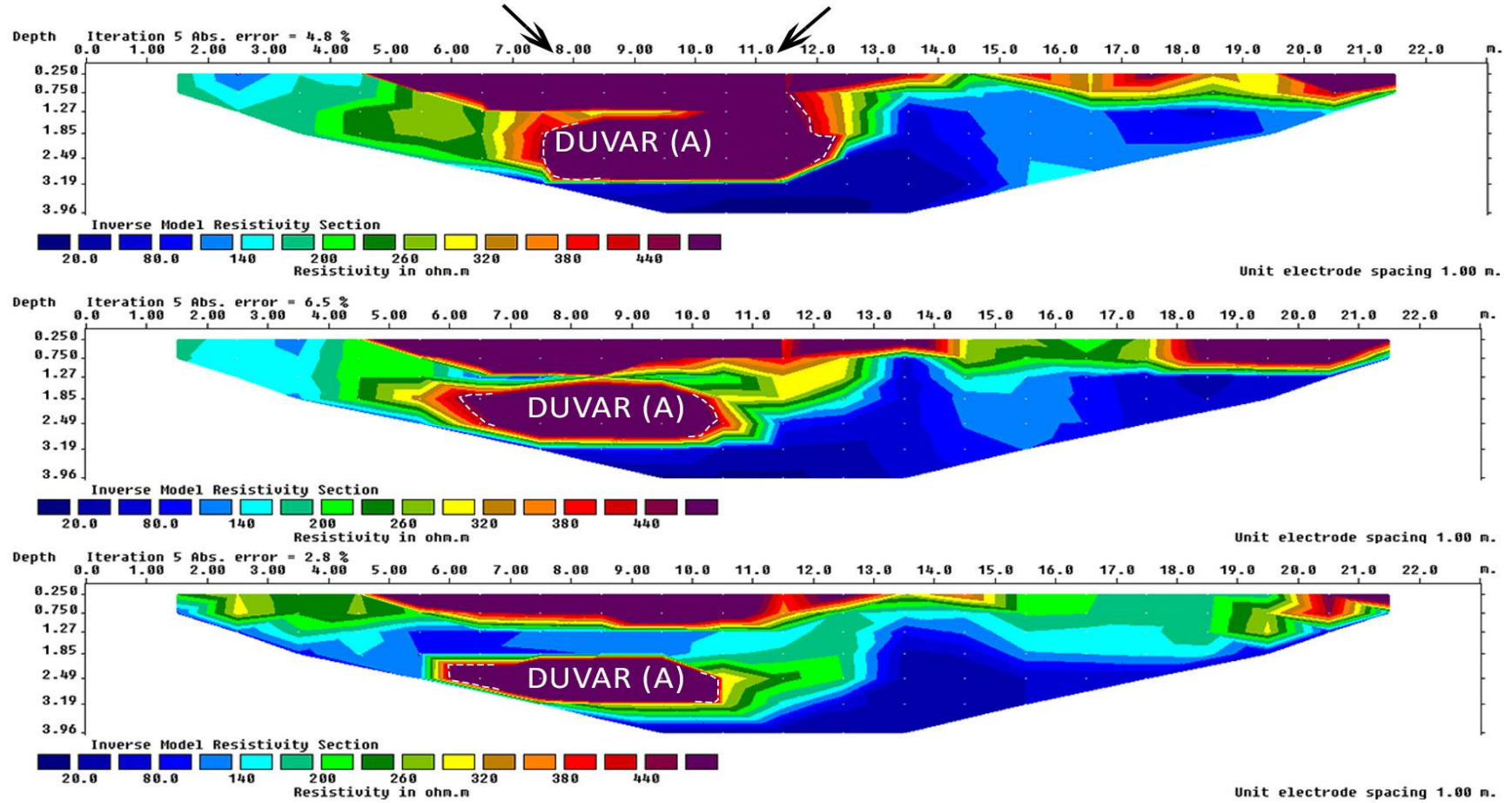
Şekil 6.5. Kilise alt kısım Wenner elektrot dizilimi (yukarıdan aşağı 1. ve 2. Profillere ait ham veriler)



Şekil 6.6. Kilise alt kısım Wenner elektrot dizilimi (yukarıdan aşağı 3. ve 4. Profillere ait ham veriler)



Şekil 6.7. Kilise alt kısım Wenner elektrot dizilimi (yukarıdan aşağı 5. ve 6. Profillere ait ham veriler)



Şekil 6.8. Kilise alt kısmı Wenner elektrot dizilimi (yukarıdan aşağı 3., 4. ve 5. Profillere ait ters çözüm)

Profiller üzerindeki ölçümlerden elde edilen veriler RES2DINV ve RES3DINV programı yardımıyla değerlendirilerek,

Mutlak hata (ABS error - L2 Normu) değerlerinin yüzdesi % 2,4 – % 7,3'ü aşmamıştır. Ayrıca 2B veriler RES2DINV programıyla birleştirilerek 3B veriler elde edilmiş ve bu verilerin de ters çözümü robust ters çözüm algoritması kullanılarak RES3DINV programıyla yapılmıştır.

3B resistivite ters çözüm sonuçları kilise alt bölgede 7 yinelemenin ardından elde edilmiştir. Mutlak hata (ABS error- L2 Normu) değerlerinin yüzdesi %4,68'i aşmamıştır.

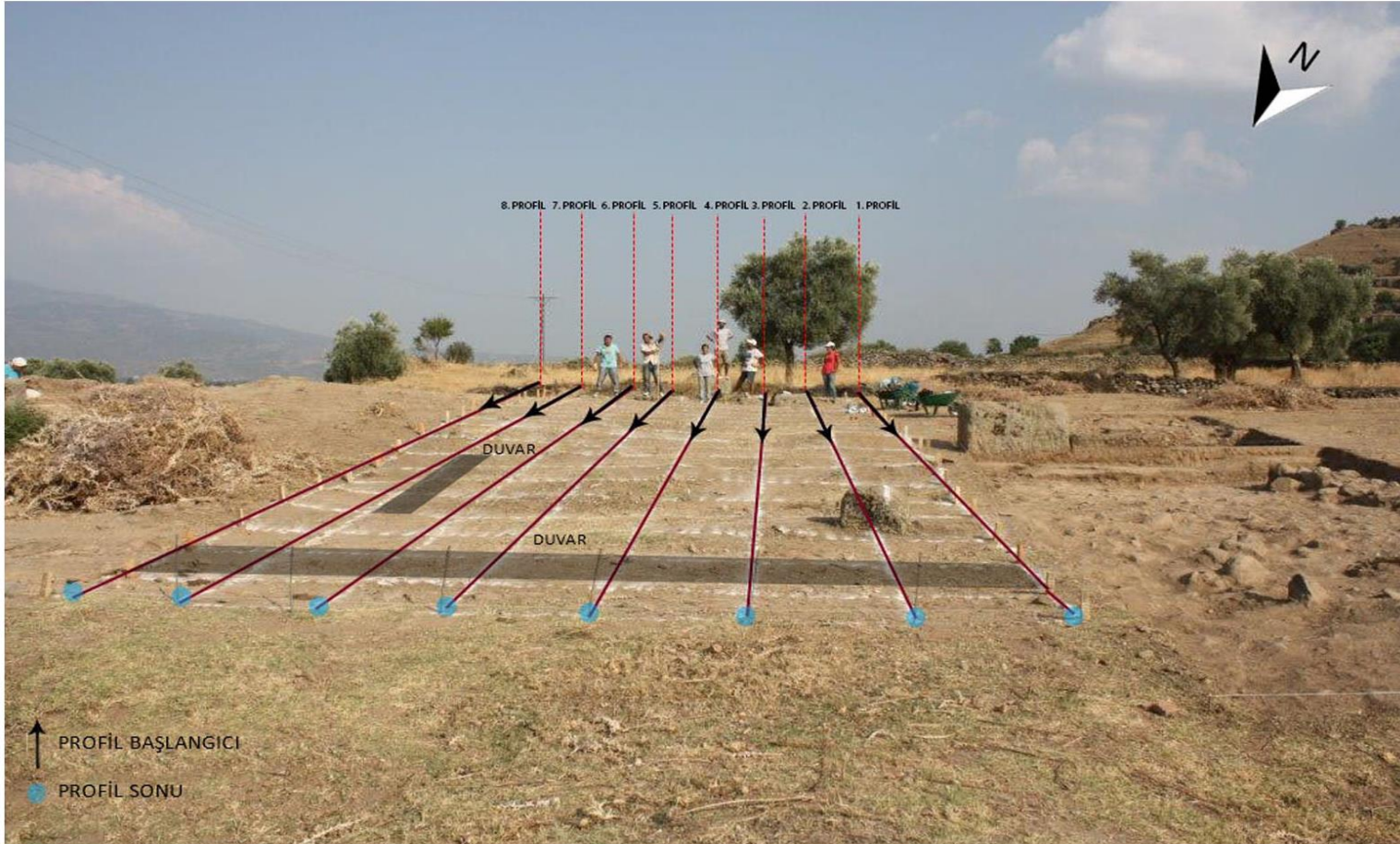
Bu kesitlere bakıldığında elektrik özdirenç değerleri Min: 36,41 ohm.m, Max: 1918,06 ohm.m arasında değişmektedir.

RES3DINV programı ile oluşturan Wenner dizilime ait, yüzeye daha yakın olması sebebiyle antik kente ait olduğu düşünülen, taşınmış veya çevresel faktörlerden oraya ulaşmış malzemelerin (yapıların) yüzeydeki görünüşü olarak değerlendirilebilir.

6.1.2. Kilise üst kısım

Elektrik özdirenç ölçümleri, kuzey uzanımlı ve her birisinin arası 1 m olacak şekilde yerleştirilmiştir. Kilisenin üst bölgesinde 8 paralel profil boyunca ARES GF çoklu elektrot sistemiyle 2012 temmuz ayında benim de içinde olduğum ekip tarafından tamamlanmıştır.

Profil sayısının 8 ile kısıtlı kalmasına Şekil 6.9.'da görüldüğü gibi arazinin mevcut durumu, çevresinin elverişsiz olması, arama alanının durumu neden olmuştur. Kiliseyi oluşturan yapıların yüzeydeki belirginliği ve küçük yüzey değişimleri göz önünde bulundurularak elektrotlar arası mesafe 1 m olarak seçilmiş ve kareleştirilmiştir.



Şekil 6.9. Alabanda antik kenti – kilise üst kısım çalışma alanı

Şekil 6.9.'da siyah oklar doğrultuyu, siyah çizgiler profil durumunu ve gri noktalar profil sonunu göstermektedir. Toplamda bu bölgede saha durumuna bağlı olarak profil düzlemi seçilmiş ve 8 adet olarak belirlenmiştir. Bu profillerden elde edilen verilerden oluşturulan kesitlere bakıldığında daha geniş araştırma yapılması için ek profiller oluşturulması da uygun olacaktır.

Yüzeyde görülen dağınık yapılar ve tümseklerin oluşturduğu gürültü sebebiyle aynı profiller üzerinde Wenner elektrot dizilimi kullanılarak ölçümler alınmıştır. Bu sayede kiliseyi oluşturan geometrileri yatayda farklılık gösteren yapılarının sağlıklı bir şekilde belirlenmesi amaçlanmıştır.

Arazide toplanan veriler 2B veriler kullanılarak RES2DINV programı yardımıyla değerlendirilmiştir.

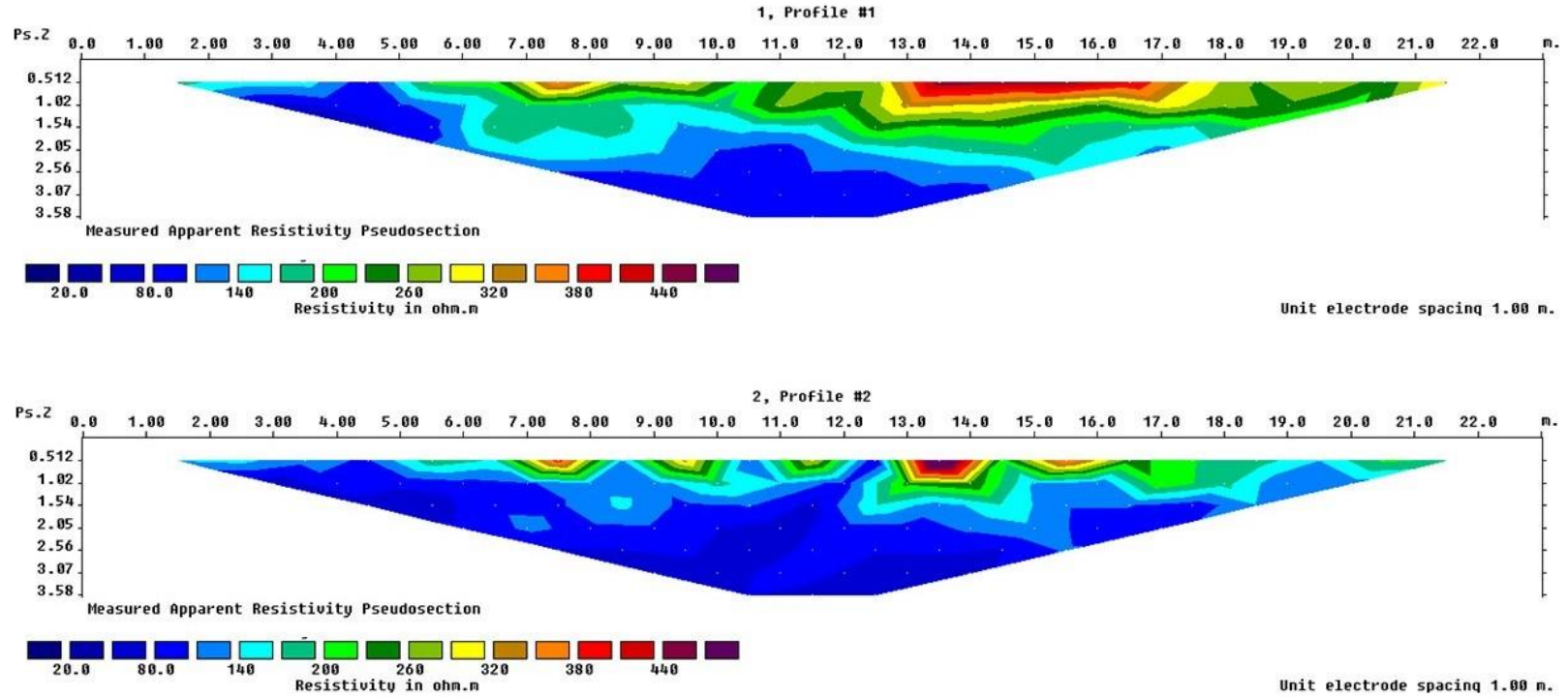
Kilise üst kısmındaki 1. ve 2. Profillere ait olan Wenner elektrot diziliminde alınan değerlerin ham veri çıktıları aşağıdaki gibidir (Şekil 6.10.).

Kilise üst kısmındaki 3. ve 4. Profillere ait olan Wenner elektrot diziliminde alınan değerlerin ham veri çıktıları aşağıdaki gibidir (Şekil 6.11.).

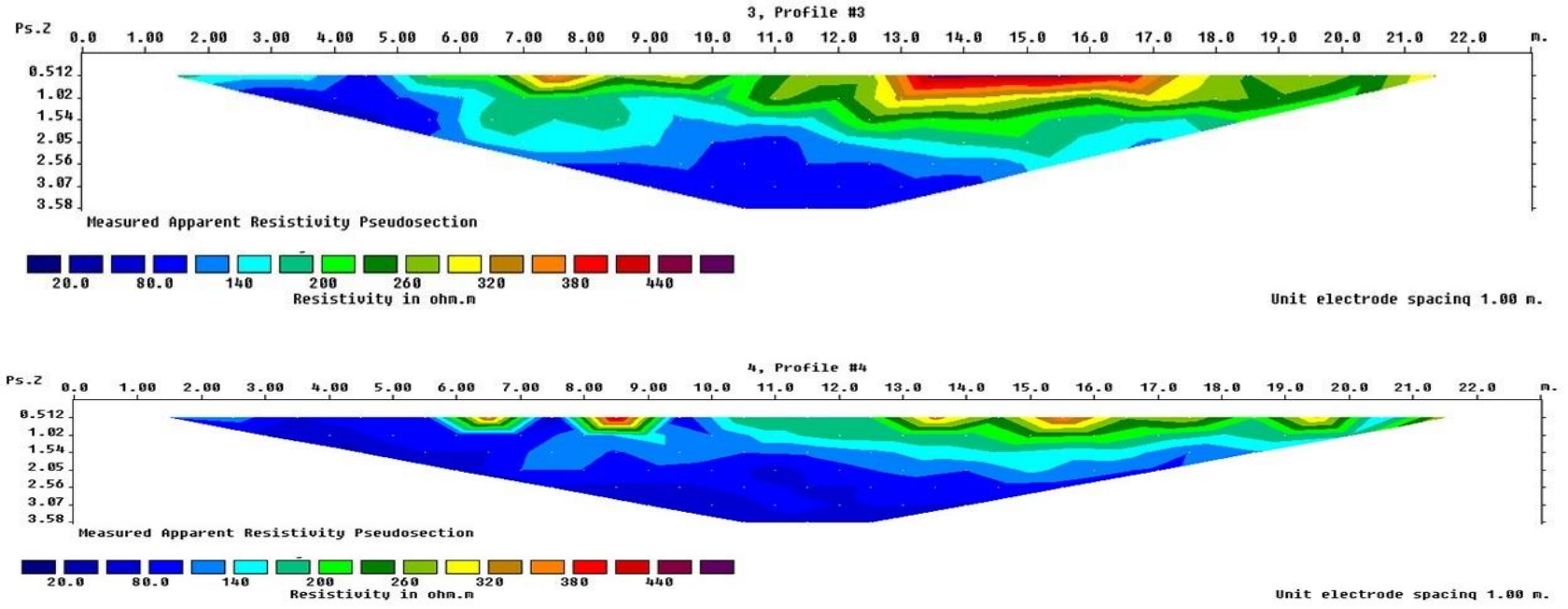
Kilise üst kısmındaki 5. ve 6. Profillere ait olan Wenner elektrot diziliminde alınan değerlerin ham veri çıktıları aşağıdaki gibidir (Şekil 6.12.).

Kilise üst kısmındaki 7. ve 8. Profillere ait olan Wenner elektrot diziliminde alınan değerlerin ham veri çıktıları aşağıdaki gibidir (Şekil 6.13.).

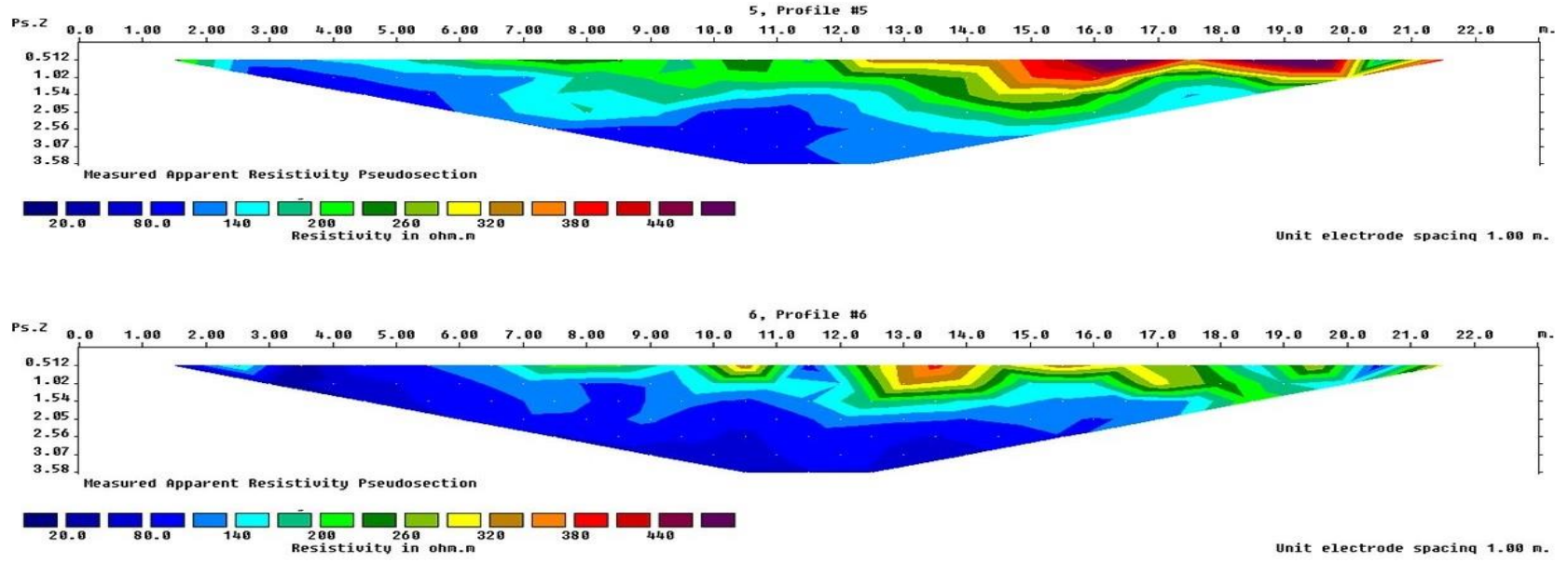
Ayrıca ters çözüm yaptırılan 3., 4., ve 7. Profillere ait duvar varlığını belirten bölgeler, oklar arasında kalacak şekilde gösterilmeye çalışılmıştır (Şekil 6.14.).



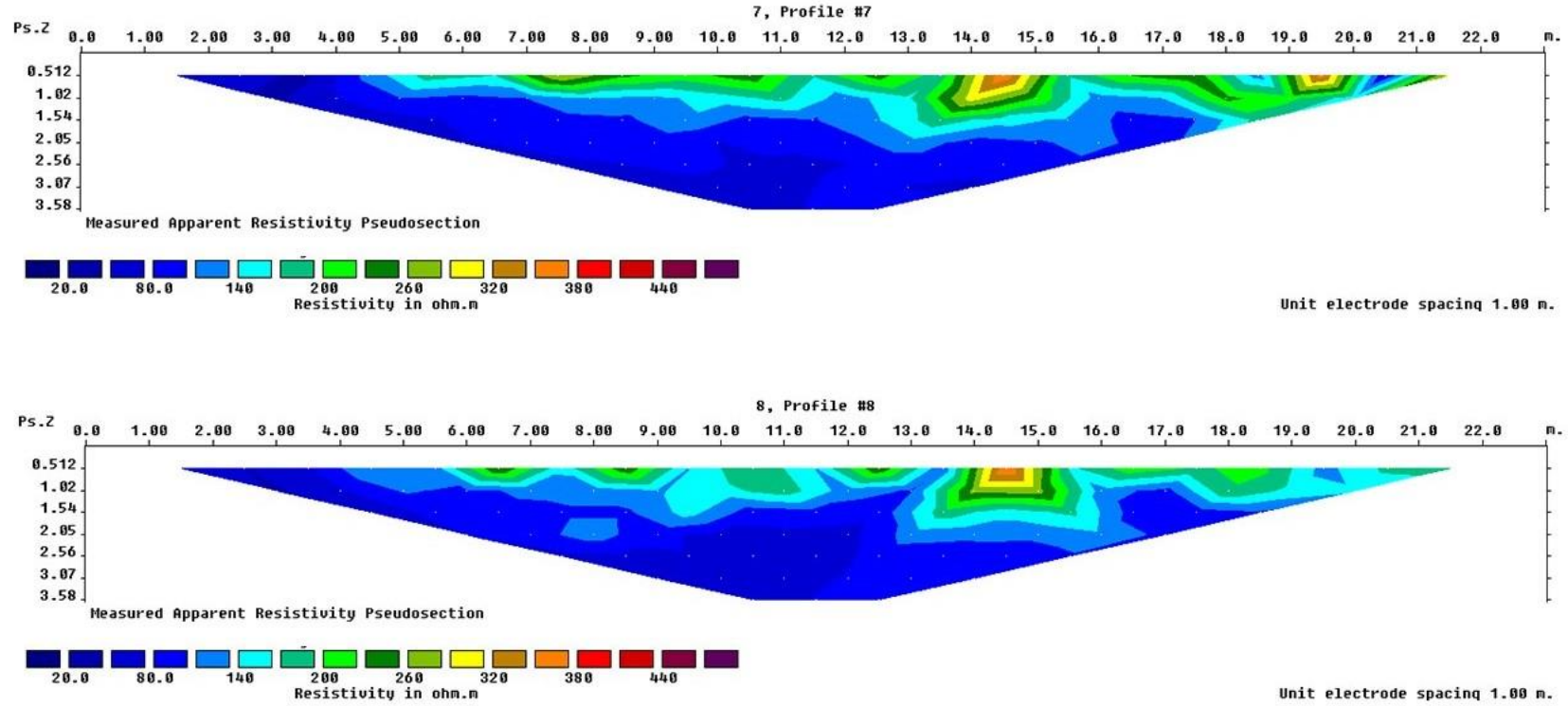
Şekil 6.10. Kilise alt kısım Wenner elektrot dizilimi (yukarıdan aşağı 1. ve 2. Profillere ait ham veriler)



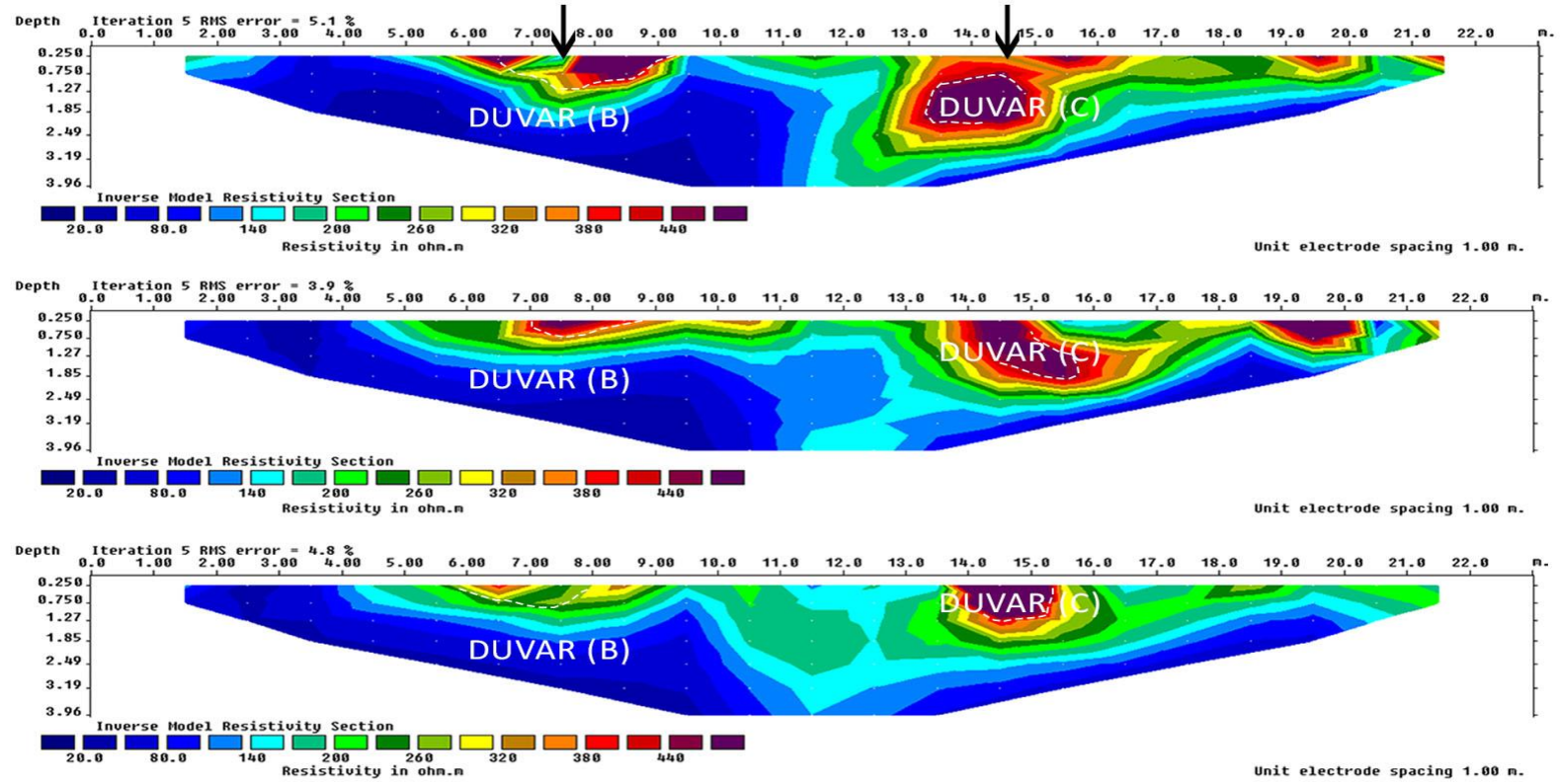
Şekil 6.11. Kilise alt kısım Wenner elektrot dizilimi (yukarıdan aşağı 3. ve 4. Profillere ait ham veriler)



Şekil 6.12. Kilise alt kısım Wenner elektrot dizilimi (yukarıdan aşağı 5. ve 6. Profillere ait ham veriler)



Şekil 6.13. Kilise alt kısım Wenner elektrot dizilimi (yukarıdan aşağı 7. ve 8. Profillere ait ham veriler)



Şekil 6.14. Kilise üst kısım Wenner elektrot dizilimi (yukarıdan aşağı 3., 4. ve 7. profiller)

Mutlak hata (ABS error - L2 Normu) değerlerinin yüzdesi %2,3 – 7,6'yı aşmamıştır. Ayrıca 2B veriler RES2DINV programıyla birleştirilerek 3B veriler elde edilmiş ve bu verilerin de ters czm robust ters czm algoritması kullanılarak RES3DINV programıyla yapılmıştır.

3B resistivite ters czm sonuçları kilise üst bölgede ise 7 yinelemenin ardından elde edilmiştir. Mutlak hata (ABS error - L2 Normu) değerlerinin yüzdesi % 6,00'ı aşmamıştır.

Bu kesitlere bakıldığında elektrik özdirenç değerleri Min: 30,68 ohm.m, Max: 563,43 ohm.m arasında değişmektedir.

RES3DINV programı ile oluşturan Wenner dizilime ait, yüzeye daha yakın olması sebebiyle antik kente ait olduğu dşnlen, taşınmış veya cvresel faktörlerden oraya ulaşmış malzemelerin (yapıların) yüzeydeki görünüşü olarak değerlendirebiliriz.



şekil 6.15. Genel calışma alanı



Şekil 6.16. Genel çalışma alanı

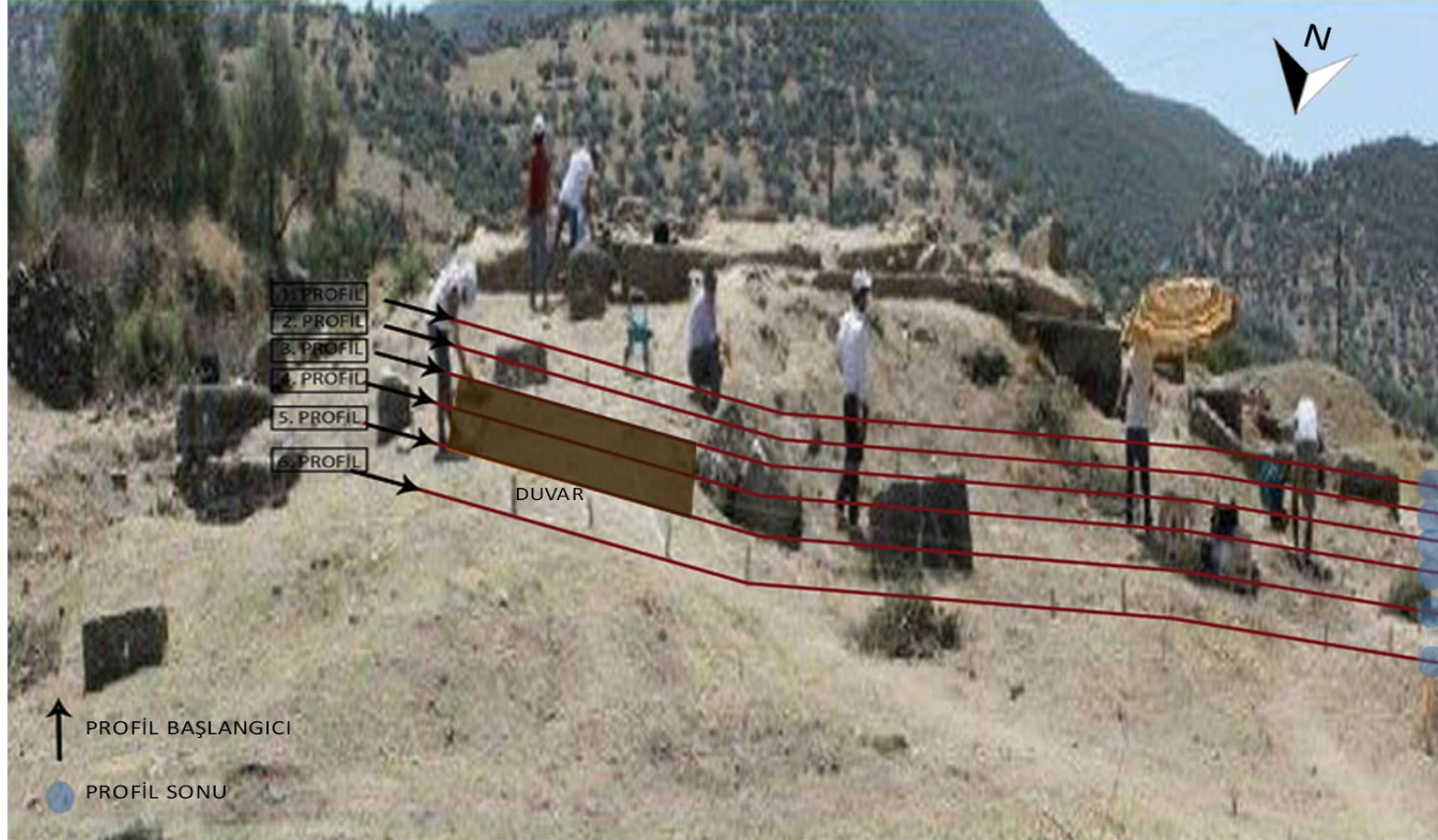


Şekil 6.17. Genel çalışma alanı

BÖLÜM 7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Arazide toplamış olduğumuz 2B veriler kullanılarak RES2DINV programı yardımıyla değerlendirilmiştir.

Kilise alt kısma ait olan, Şekil 7.1.'deki siyah oklar doğrultuyu, kırmızı çizgiler profilleri ve gri noktalar ise profil sonunu göstermektedir. Toplamda bu bölgede saha durumuna bağlı olarak genel profil düzlemi seçilmiş ve 6 adet olarak belirlenmiştir. Bu profillerde ölçülen verilerden oluşturulan kesitlere bakıldığında daha geniş araştırma yapılması için ek profiller oluşturulması ve saha kenarlarında da ölçüm alınması uygun olacaktır.

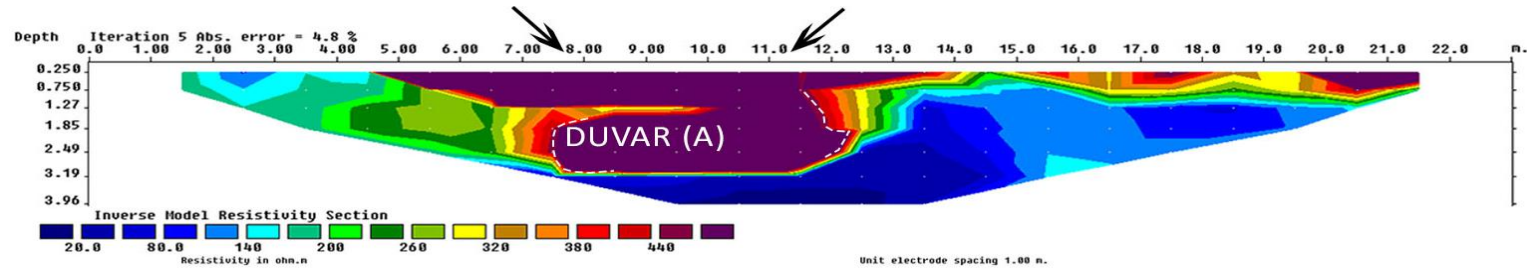


Şekil 7.1. Ölçü noktaları için gridlenmiş çalışma alanı kilise alt kısım

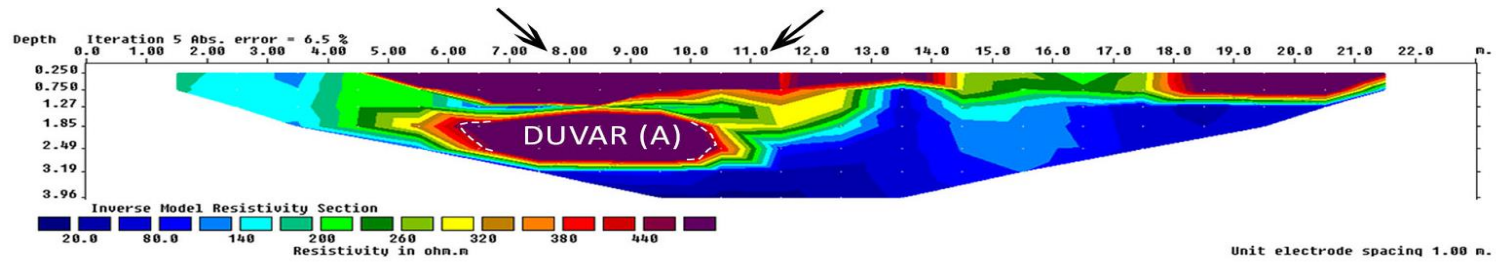
Kilise alt kısmındaki 3. profile ait olan Wenner elektrot diziliminde yapılan ters çözümle duvar yapısı Şekil 7.2.'de oklar ile belirtilmeye çalışılmıştır.

Kilise alt kısmındaki 4. profile ait olan Wenner elektrot diziliminde yapılan ters çözümle duvar yapısı Şekil 7.3.'de oklar ile belirtilmeye çalışılmıştır.

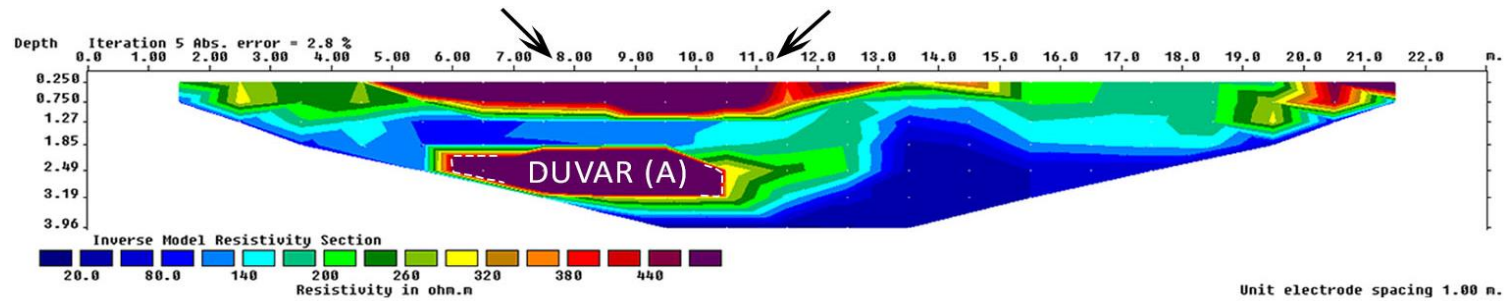
Kilise alt kısmındaki 5. profile ait olan Wenner elektrot diziliminde yapılan ters çözümle duvar yapısı Şekil 7.4.'de oklar ile belirtilmeye çalışılmıştır.



Şekil 7.2. Kilise alt kısım Wenner elektrot dizilimi yukarıdan aşağı 3. Profil



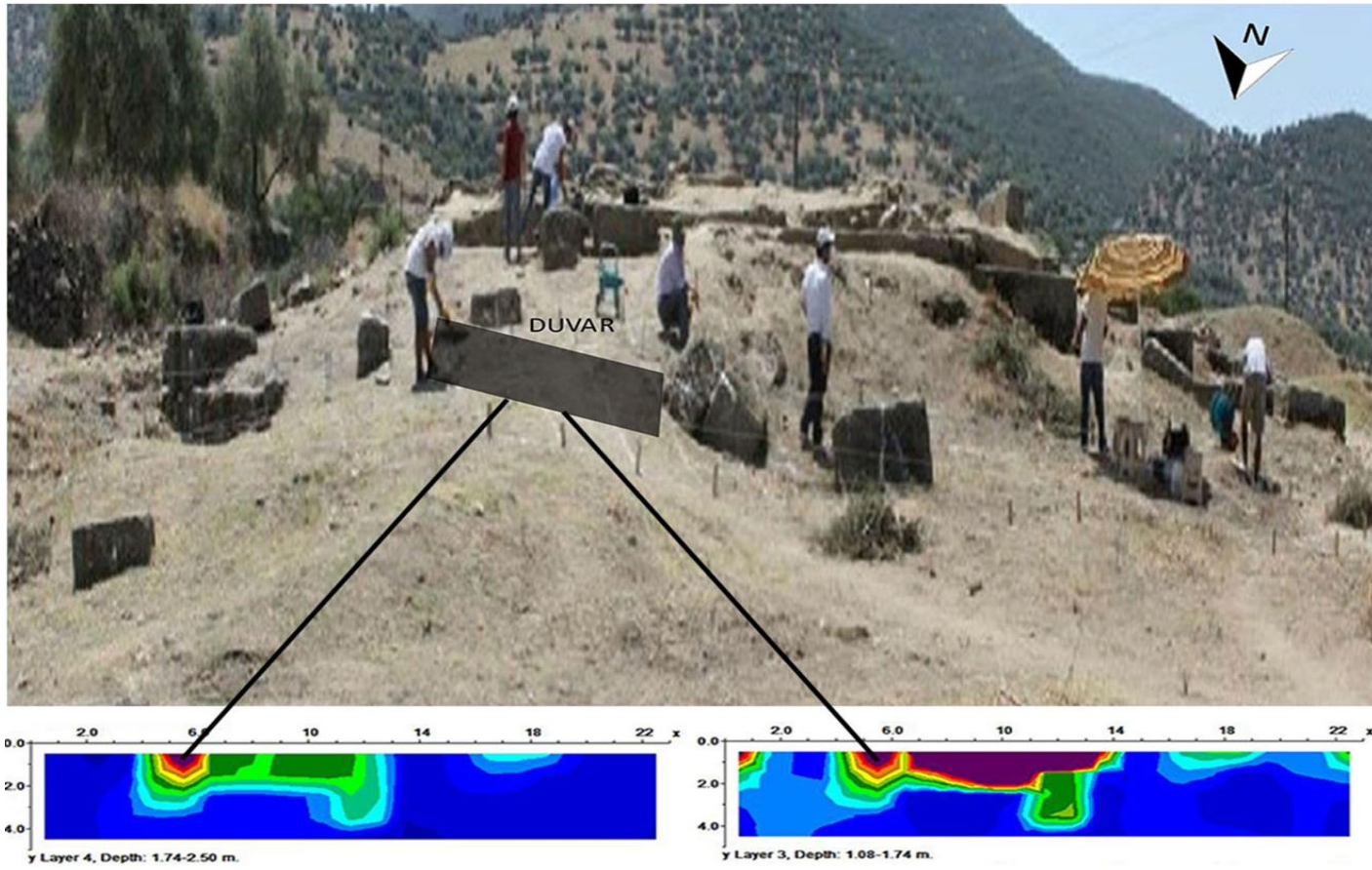
Şekil 7.3. Kilise alt kısım wenner elektrot dizilimi yukarıdan aşağı 4. Profil



Şekil 7.4. Kilise alt kısım Wenner elektrot dizilimi yukarıdan aşağı 5. profil

Şekil 7.1.'de görülen profiller üzerindeki ölçümlerden elde edilen veriler RES2DINV ve RES3DINV programı yardımıyla değerlendirilerek Şekil 7.5.'de görüldüğü gibi duvar iz düşümünü ve 3B düşey derinlik kesitini elde edilmiştir.

Mutlak hata (ABS error - L2 Normu) değerlerinin yüzdesi % 2,4 – % 7,3'ü aşmamıştır. Ayrıca 2B veriler RES2DINV programıyla birleştirilerek 3B veriler elde edilmiş ve bu verilerin de ters çözümü robust ters çözüm algoritması kullanılarak RES3DINV programıyla yapılmıştır.

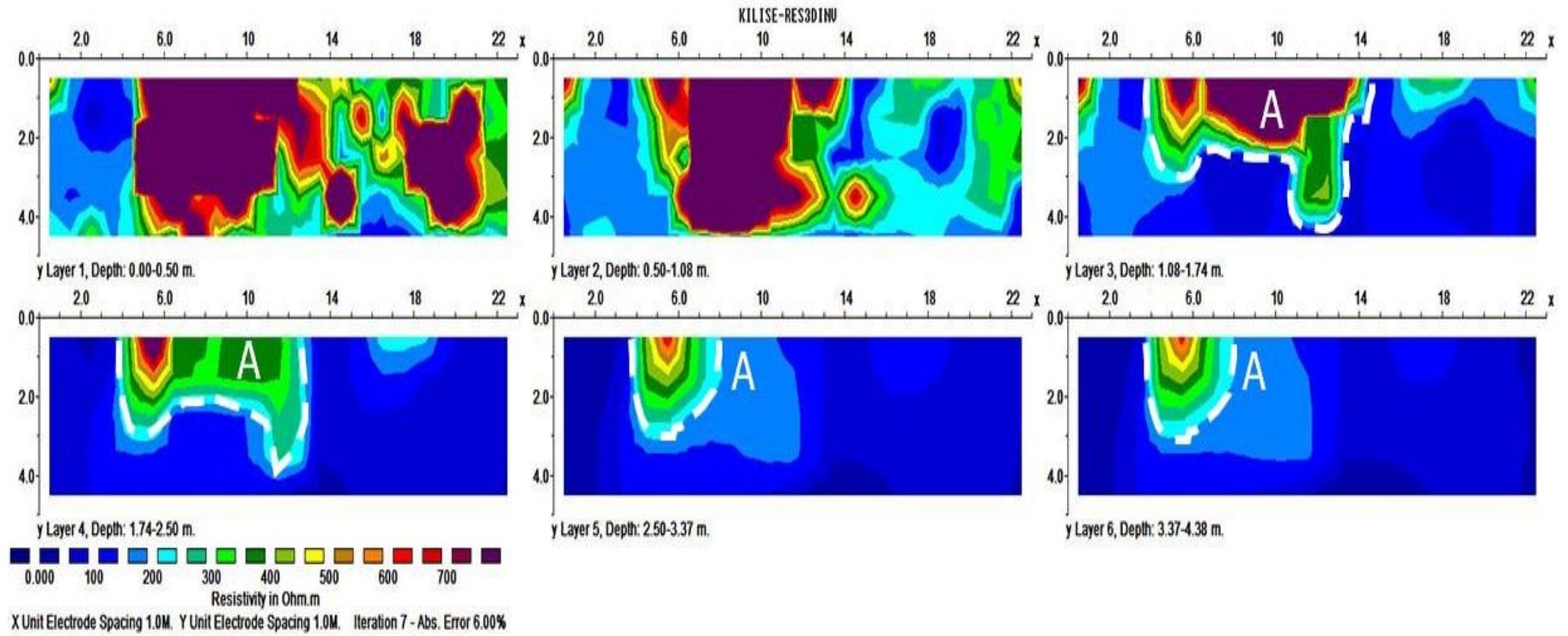


Şekil 7.5. Kilise alt çalışma alanı derinlik kesiti

Kilise alt bölgesine ait olan, Şekil 7.5.'de görülen çalışma alanında, kilise alt çalışma alanındaki karartılı şekil mevcut duvarı göstermektedir.

Kesitler, Wenner elektrot dizilimi için 0,00 m - 0,50 m, 0,50 - 1,08 m, 1,08 - 1,74 m, 1,74 - 2,50 m, 2,50 - 3,37 m ve 3,37 – 4,38'lik derinliklere aittir.

Bu kesitlere bakıldığında elektrik özdirenç değerleri Min: 36,41 ohm.m, Max: 1918,06 ohm.m arasında değişmektedir. Arkeolojik yapı kalıntılarını örten alüvyon zeminin özdirenci 36 – 345 ohm.m arasında değişmekte olduğu gözlemlenmektedir. Derinlik kesitlerinde şekil üzerinde gösterilmiş olan duvar yapısını, böylelikle özdirenç değerleri alüvyon zeminden daha yüksek dirence sahip olan kısımları temsil etmektedir. (Şekil 7.6.)



Şekil 7.6. Kilise alt 3B derinlik kesiti (A duvar)

RES3DIN3V programı ile oluşturan Wenner dizilime ait 1,08 – 1,74 m derinlik kesitinde A olarak isimlendirilen alan alüvyon ile örtülü olup kilise 'ye ait olduğu düşünölen kalıntı duvarı temsil etmektedir. Bu kalıntı duvar yapısı ve 1,74 – 2,50 – 3,37 ve 4,38 m derinlik kesitlerinde de görölmektedir. (şekil 7.6.)

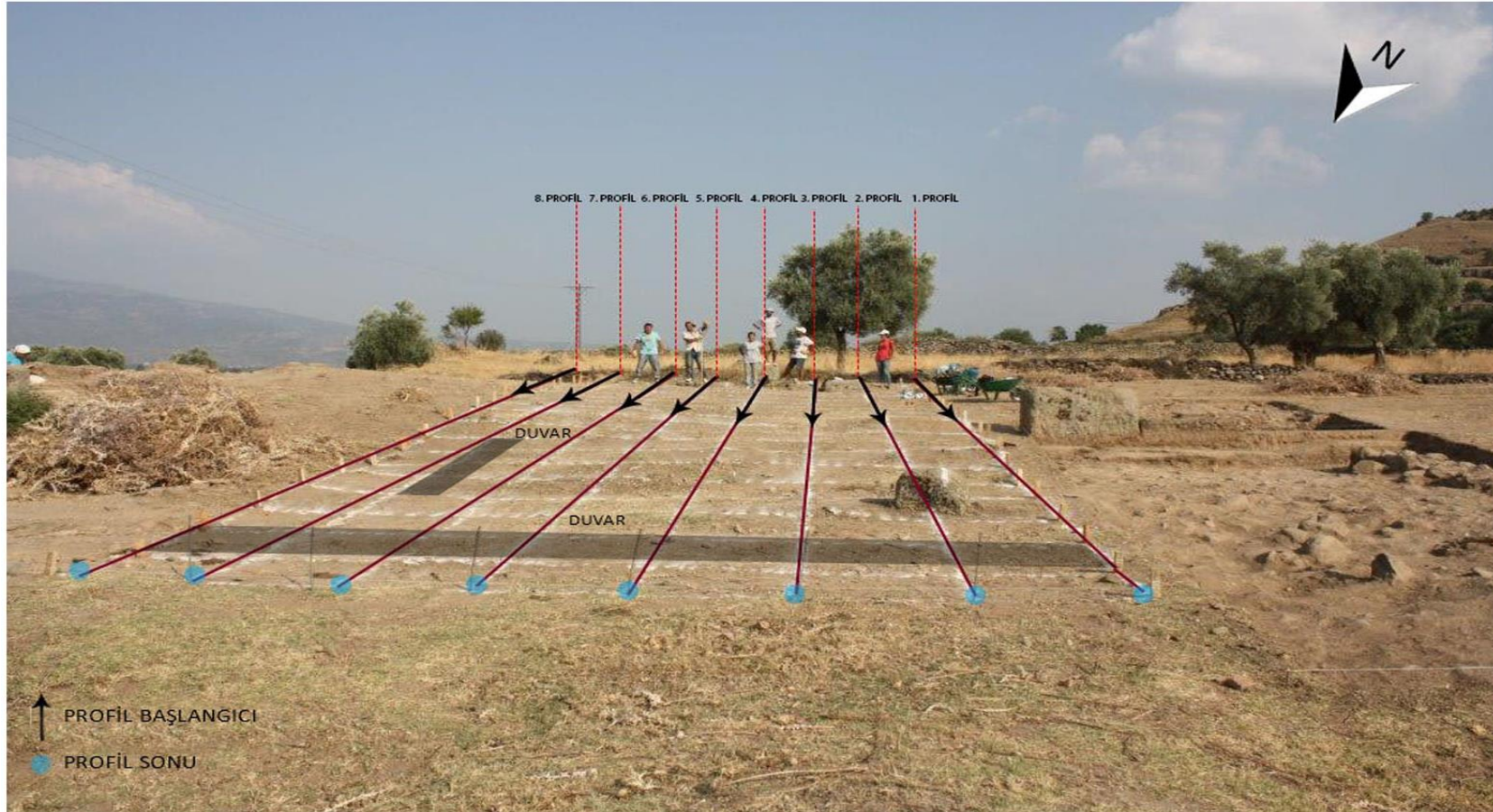
3B resistivite ters çözümleri kilise alt bölgede 6 yinelemenin ardından elde edilmiştir. Mutlak hata (ABS error - L2 Normu) değerlerinin yüzdesi % 4,68'i aşmamıştır.

0,00 – 0,50 m ve 0,50 – 1,08 m derinliklerde ise yüzeye daha yakın olması sebebiyle antik kente ait olduğu düşünölen, taşınmış veya çevresel faktörlerden oraya ulaşmış, alüvyon zemininin, malzemelerin yüzeydeki görünüşü olarak değerlendirebiliriz.

Kilise üst kısımda ise, elektrik özdirenç ölçümleri, kuzey uzanımlı ve her birisinin arası 1 m olacak şekilde yerleştirilmiştir. Kilisenin üst bölgesinde 8 paralel profil boyunca

Kiliseyi oluşturan yapıların yüzeydeki belirginliği ve küçük yüzey değişimleri göz önünde bulundurularak elektrotlar arası mesafe 1 m olarak seçilmiş ve karelemlenmiştir.

şekil 7.7.'de siyah oklar doğrultuyu, siyah çizgiler profilleri ve gri noktalar profil sonunu göstermektedir. Toplamda bu bölgede saha durumuna bağlı olarak profil düzlemi seçilmiş ve 8 adet olarak belirlenmiştir.



Şekil 7.7. Ölçü noktaları için gridlenmiş çalışma alanı kilise üst kısım

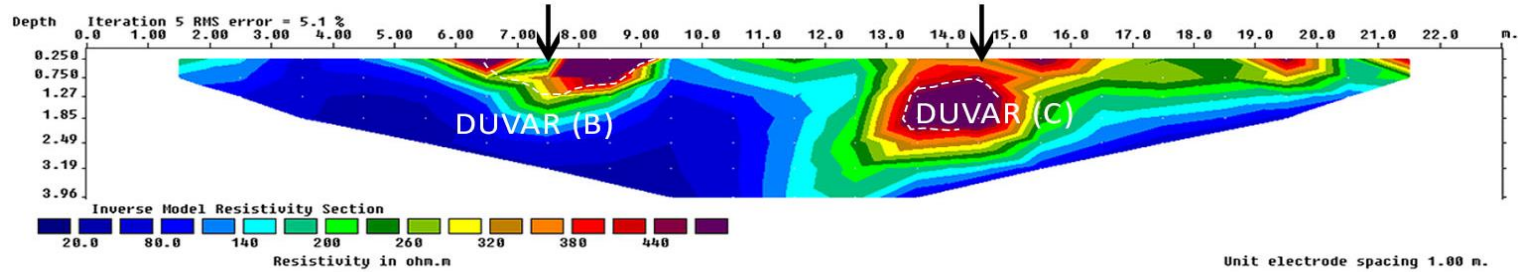
Bu sayede kiliseyi oluşturan geometrileri yatayda farklılık gösteren yapılarının sağlıklı bir şekilde belirlenmesi amaçlanmıştır.

Arazide toplamış olduğumuz 2B veriler kullanılarak RES2DINV programı yardımıyla değerlendirilmiştir.

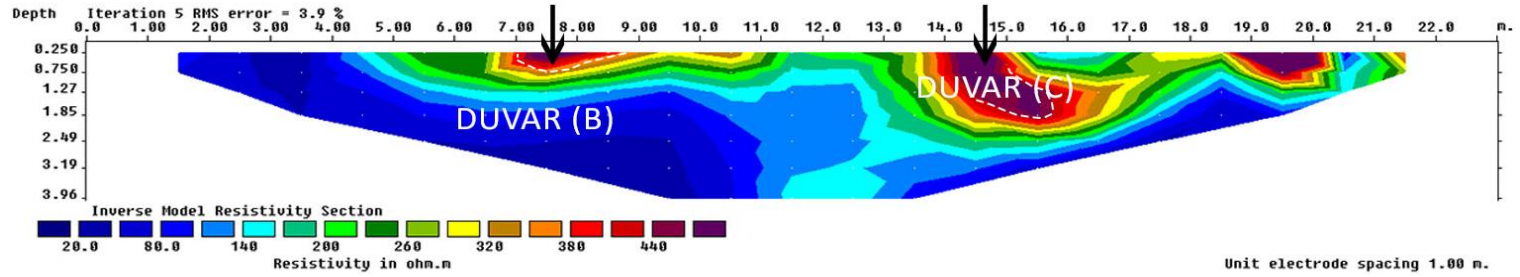
Kilise üst kısmındaki 3. profile ait olan Wenner elektrot diziliminde yapılan ters çözümlerle duvar yapısı şekil 7.8.'de oklar ile belirtilmeye çalışılmıştır.

Kilise üst kısmındaki 4. profile ait olan Wenner elektrot diziliminde yapılan ters çözümlerle duvar yapısı şekil 7.9.'da oklar ile belirtilmeye çalışılmıştır.

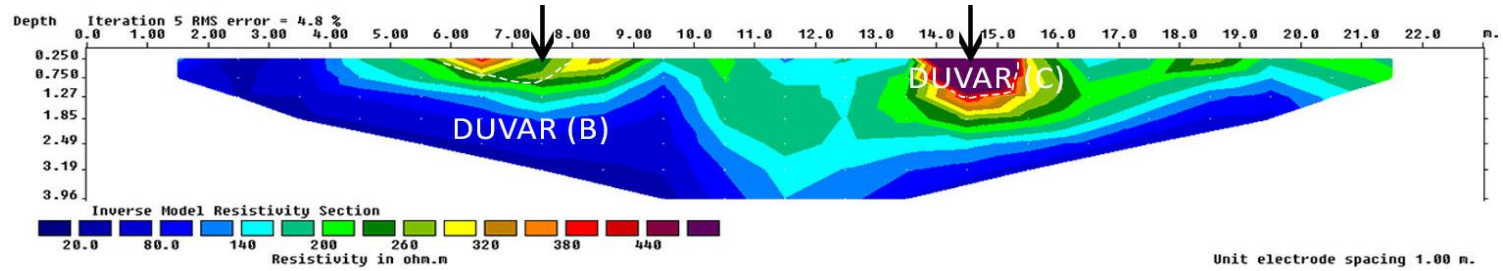
Kilise üst kısmındaki 7. profile ait olan Wenner elektrot diziliminde yapılan ters çözümlerle duvar yapısı şekil 7.10.'da oklar ile belirtilmeye çalışılmıştır.



Şekil 7.8. Kilise üst kısım Wenner elektrot dizilimi yukarıdan aşağı 3. Profil

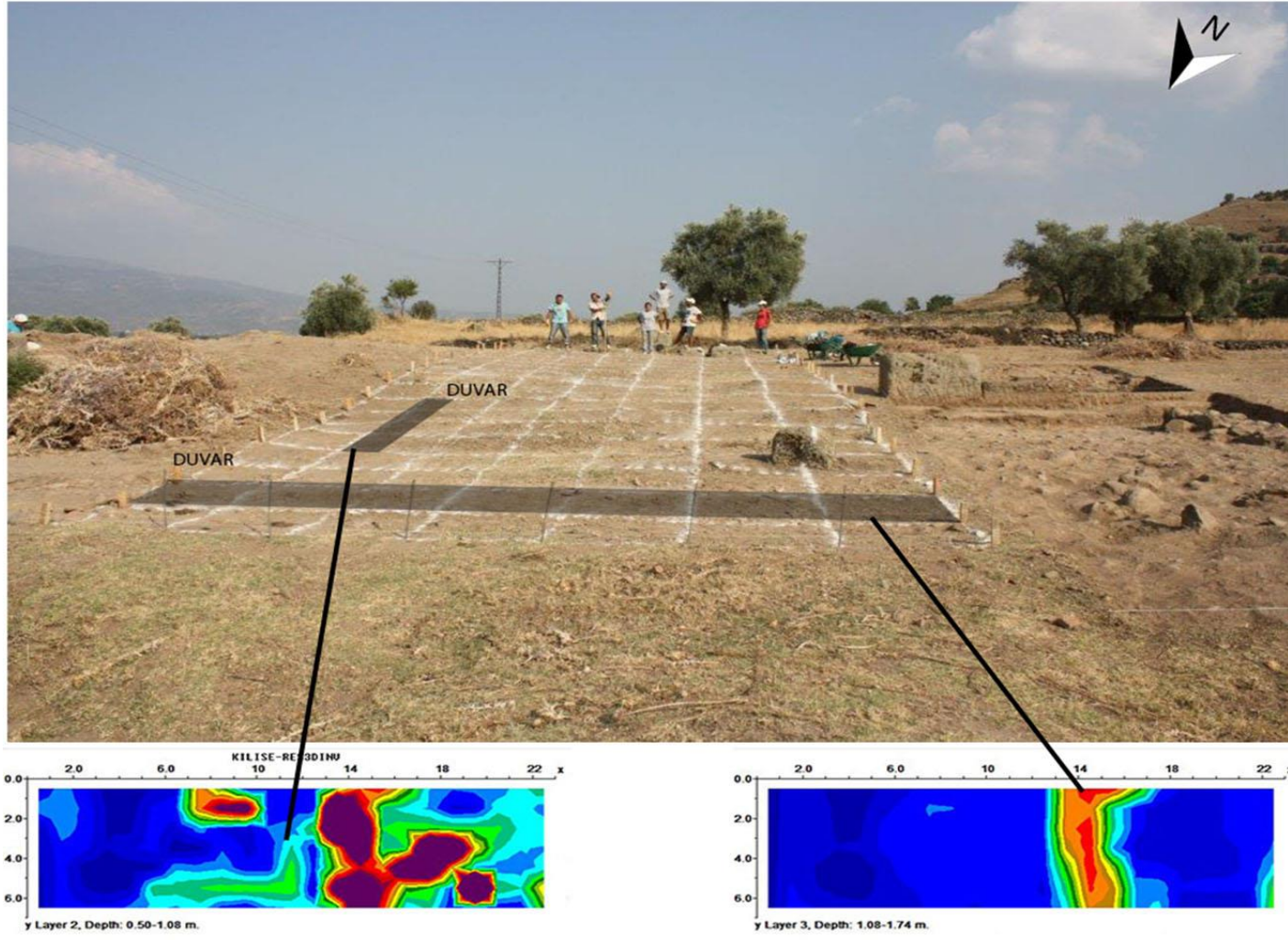


Şekil 7.9. Kilise üst kısım Wenner elektrot dizilimi yukarıdan aşağı 4. Profil



Şekil 7.10. Kilise üst kısım Wenner elektrot dizilimi yukarıdan aşağı 7. profil

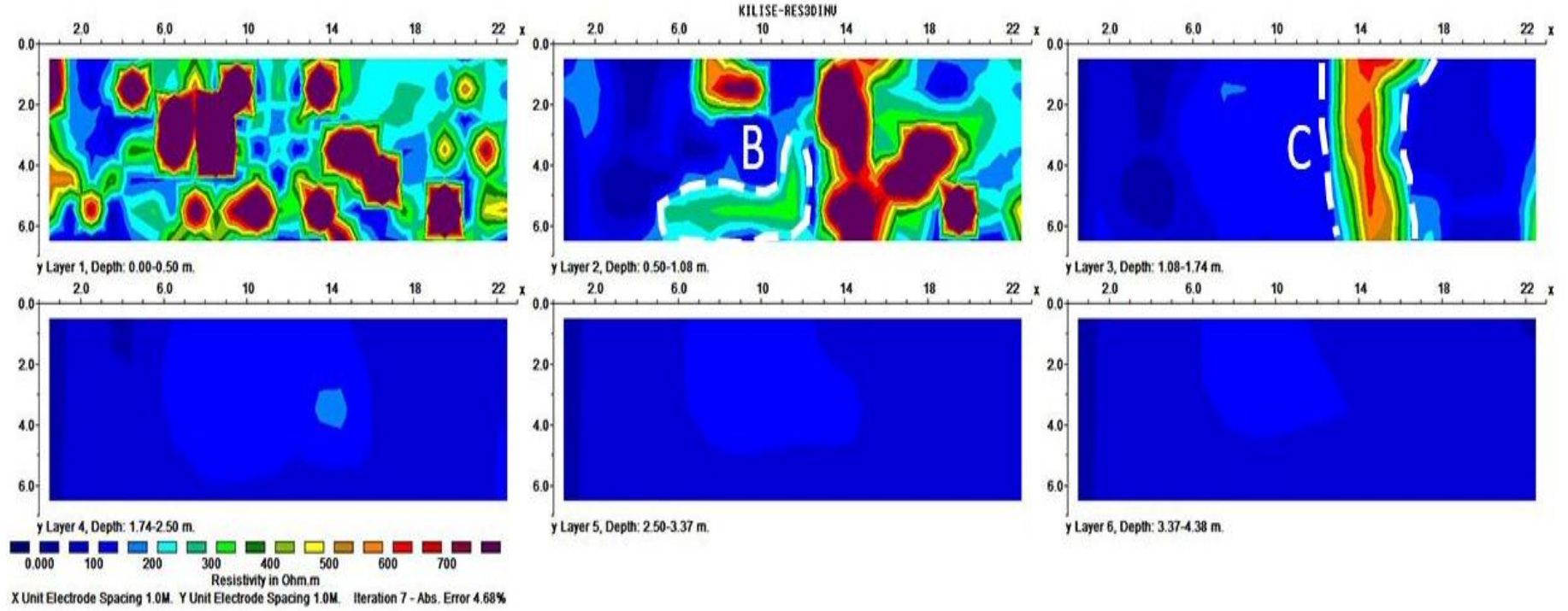
Mutlak hata (ABS error - L2 Normu) değerlerinin yüzdesi %2,3 – 7,6'yı aşmamıştır. Ayrıca 2B veriler RES2DINV programıyla birleştirilerek 3B veriler elde edilmiş ve bu verilerin de ters çözümü robust ters çözüm algoritması kullanılarak RES3DINV programıyla yapılmıştır.



Şekil 7.11. Kilise üst çalışma alanı 3B derinlik kesiti

3B resistivite ters çözüm sonuçları kilise üst bölgede ise 8 yinelemenin ardından elde edilmiştir. Mutlak hata (ABS error - L2 Normu) değerlerinin yüzdesi %6,00'ı aşmamıştır.

Bu kesitlere bakıldığında elektrik özdirenç değerleri Min: 30,68 ohm.m, Max: 563,43 ohm.m arasında değişmektedir. Arkeolojik yapı kalıntılarını örten alüvyon zeminin özdirenci Arkeolojik yapı kalıntılarını örten alüvyon zeminin özdirenci 30 – 178 ohm.m arasında değişmekte olduğu gözlemlenmektedir. Derinlik kesitlerinde şekil üzerinde gösterilmiş olan duvar yapısını, böylelikle özdirenç değerleri alüvyon zeminden daha yüksek dirence sahip olan kısımları temsil etmektedir (Şekil 7.11.).



Şekil 7.12. Kilise üst 3B derinlik kesiti (B ve C duvar)

RES3IN3V programı ile oluşturan Wenner dizilime ait, 0,50 – 1,08 m derinlik kesitinde B olarak isimlendirilen alan alüvyon ile örtülü olup Kilise 'ye ait olduğu düşünölen duvar kalıntısını temsil etmektedir. (şekil 7.12.)

1,08 – 1,74 m derinlik kesitinde C olarak isimlendirilen alan alüvyon ile örtülü olup Kilise 'ye ait olduğu düşünölen duvar kalıntısını temsil etmektedir. (şekil 7.12.)

0,00 – 0,50 m de ise yüzeye daha yakın olması sebebiyle antik kente ait olduğu düşünölen, taşınmış veya çevresel faktörlerden oraya ulaşmış malzemelerin (yapıların) yüzeydeki görünüşü olarak değerlendirebilir.

Kilise alt (şekil 7.6.) ve kilise üst (şekil 7.12.) kısımlarına ait yapılar (duvar kalıntıları) her iki çalışma alanındaki elektrot diziliminde belirgin olarak görölmüştür.

Kiliseyi oluşturan duvar yapılarının bazı dağılmış kısımları Wenner diziliminin yüksek sinyal gücü özelliği sayesinde, kiliseyi oluşturan yatay yapıların (duvar gibi) görölmesinde oldukça da fayda sağlamış ve yol göstermiştir.

Her iki çalışma yapılan bölgedeki kilise alt ve kilise üst elektrot dizilimden elde edilen veriler, kiliseyi oluşturan yapıların (duvar gibi) yer altında gömülü olarak mevcut olduğunu açıkça göstermektedir. Jeofizik ölçümler ışığında belirlenen gömülü olan bu yapıların, yapılacak olan arkeolojik kazılarla yeryüzeyine zarar verilmeden çıkartılmalıdır.

Bir arada yaşayan kalabalık toplumların, kendi inançlarını daha iyi yaşamaları için büyük bir öneme sahip olan bu yapının, elde edilen verilere göre kilise olduğu düşünölmektedir. Bulunduğu konum ve yüzeyde çıplak gözle de görölen kabarıklık ve kalıntılardan yola çıkılarak yapının arkeolojik kazılarla ortaya çıkartılması ve verilecek karar doğrultusunda gerekirse, çıkan kalıntılara gerekli restorasyon çalışmalarının yapılmasının önemli olduğu ve gerektiği öngörölmüştür.

KAYNAKLAR

- [1] Leucci, G., Geophysical investigation of the Temple of Apollo (Hierapolis, Turkey). *Journal of Archaeological Science* 33, 1505-1513, 2006.
- [2] Negri, S., Leucci, G., Mazzone, F., High resolution 3D ERT to help GPR data interpretation for researching archaeological items in a geologically complex subsurface. *Journal of Applied Geophysics* 65, 111-120, 2008.
- [3] Tsokas, G. N., Tsourlos, P. I., Stampolidis, A., Katsonopoulou, D., Soter, S., Tracing a Major Roman Road in the Area of Ancient Helike by Resistivity Tomography. *Archaeological Prospection* 16, 251-266, 2009.
- [4] Drahor, M. G., Berge, M. A., Öztürk, C., Integrated geophysical surveys for the subsurface mapping of buried structure under and surrounding of the Agios Voukolos Church in Izmir, Turkey. *Journal of Archaeological Science* 38, 2231-2242, 2011.
- [5] Papadopoulou, N. G., Sarris, A., Salvi, M. C., Dederix, S., Soupios, P., Dikmen, Ü., Rediscovering the small theatre and amphitheatre of ancient Ierapytna (SE Crete) by integrated geophysical methods. *Journal of Archaeological Science* 39, 1960-1973, 2012.
- [6] Candansayar, M. E., Başokur, A. T., Detecting small-scale targets by the 2D inversion of two-sided three-electrode data: application to an archaeological survey. *Geophysical Prospecting* 49, 13-25, 2001.
- [7] Diamanti, N. G., Tsokas, G. N., Tsourlos, P. I., Vafidis, A., Integrated Interpretation of Geophysical Data in the Archaeological Site of Europos. *Archaeological Prospection* 12, 79-91, 2005.
- [8] Leucci, G., Greco, F., Giorgi, L. D., Mauceri, R., Three-dimensional image of seismic refraction tomography and electrical resistivity tomography survey in the castle of Occhiola` (Sicily, Italy). *Journal of Archaeological Science* 34, 233-242. 2007.
- [9] Ekinci, Y. L., Balkaya, Ç., Aysel, Ş., Kaya, M. A., Lightfoot, C. S., Geomagnetic and geoelectrical prospection for buried archaeological remains on the Upper City of Amorium, a Byzantine city in midwestern Turkey. *Journal of Geophysics and Engineering* 11, 015012, 2014.

- [10] Loke, M. H., Tutorial: 2-D and 3-D Electrical Imaging Surveys, 2015. www.geoelectrical.com, Erişim Tarihi : 14.04.2015.
- [11] Loke, M. H., Acworth, I., Dahlin, T., A comparison of smooth and blocky inversion methods in 2D electrical imaging surveys. *Exploration Geophysics* 34, 182-187, 2003.
- [12] Drahor, M. G., Berge, M. A., Kurtulmuş, T. Ö., Hartman, M., Spediel, M. A., Magnetic and Electrical Resistivity Tomography Investigations in a Roman Legionary Camp Site (Legio IV Scythica) in Zeugma, Southeastern Anatolia, Turkey. *Archaeological Prospection* 15, 159-186, 2008.
- [13] De Domenico, D., Giannino, F., Leucci, G., Bottari, C., Integrated geophysical surveys at the archaeological site of Tindari (Sicily, Italy). *Journal of Archaeological Science* 33, 961-970, 2006.
- [14] Tonkov, N., Loke, M. H., A resistivity Survey of a Buried Mound in the 'Valley of the Thracian Kings'. *Archaeological Prospection* 13, 129-136, 2006.
- [15] Batayneh, A., Khataibeh, J., Alrshdan, H., Tobasi, U., Aljahed, N., The Use of Microgravity, Magnetometry and Resistivity Surveys for the Characterization and Preservation of an Archaeological Site at Umm er- Rasas, Jordan, *Archaeological Prospection*, , Vol. 14, p. 60-70, 2007.
- [16] Tsokas, G. N., Tsourlos, P. I., Vargemezis, G., Novack, M., Non- destructive Electrical Resistivity Tomography for Indoor Investigation: the Case of Kapnikarea Church in Athens, *Archaeological Prospection* Vol.15, p. 47-61, 2008.
- [17] Tsokas, G. N., Stampolidis, A., Mertzanidis, I., Tsourlos, P. I., Hamza, R., Chrisafis, C., Ambonis, D., Tavlakis, I., Geophysical Exploration in the Church of Protaton at Karyes of Mount Athos (Holy Mountain) in Northern Greece, *Archaeological Prospection*, Vol.14, p. 75-86, 2007.
- [18] Perez-Gracia, V., Garcia, F., Pujades, L. G., Drigo, R. G., Capua, D., GPR Survey to Study the restoration of a Roman monument, *Journal of Cultural Heritage* 9, 89-96, 2008.
- [19] [Gaffney, C., Goodchild, H., Harrison, S., Geophysical and Topographical Survey of the Theatre at Ancient Sparta. *Birmingham Archaeology Report*, PN 1643, 2007.
- [20] Aubry, L., Benech, C., Marmet, E., Hesse, A., Recent achievements and trends of research for geophysical prospection of archaeological sites. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry* 247, 621-628, 2001.
- [21] Yaramancı, A. Keban Projesi Jeofizik Araştırmaları Ön Raporu, 1968 Yaz Çalışmaları, ODTÜ Keban Projesi Yayınları, Seri: 1, Yayın: 1,13– 20, 1970.

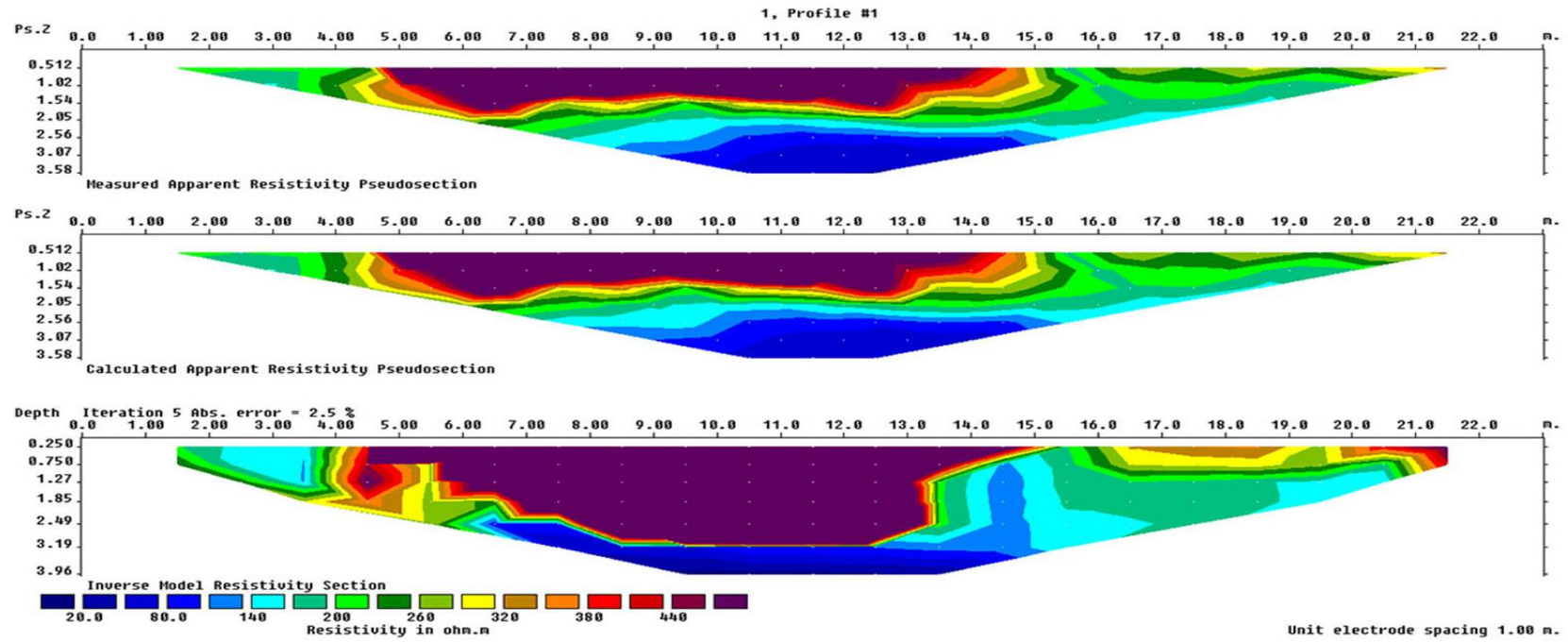
- [22] Drahor, M. G., Arkeolojik Alanların Özdirenç ve Doğal Gerilim (SP) Yöntemleri ile Araştırılması, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İzmir, 1993.
- [23] Kaplanvural, İ., Yer Radarı Verilerinin Modellenmesi ve Yorumlanması, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli, 2011.
- [24] Wynn, J.C., Archaeological Prospecting: An Introduction to the Special Issue, Geophysics, Vol.51, p. 533-537, 1986.
- [25] Ercan, A., Kazı Öncesi Arkeolojik Aramalarda Yer Altının Görüntüsünün Çekilmesi, İdol (Arkeoloji ve Arkeologlar Derneği Dergisi), Ankara, 2000.
- [26] Altuncu, S., Özdirenç Yöntemi ile Fay ve Dayk Türü Süreksizliklerin Belirlenmesi ve Süzgeçlerin Kullanımı, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Isparta, 2001.
- [27] Candansayar, M. E., II- Doğru Akım Özdirenç Yöntemi, Lisans Ders Notu, Ankara, 2010.
- [28] Hesse, A., Propectiones Geophysiques Á Faible Profondeur: Applications Á l'archéologie, Paris: Dunod, 1966.
- [29] Keçeli, A., Uygulamalı Jeofizik, TMMOB Jeofizik Mühendisleri Odası Eğitim Yayınları, Ankara, 2009.
- [30] Zhou, B., Dahlin, T., Properties and effects of measurements errors on 2D resistivity imaging. Near Surface Geophysics 1: 105–117, 2003.
- [31] Dahlin, T., Zhou, B., A numerical comparison of 2D resistivity imaging with 10 electrode arrays. Geophysical Prospecting 52: 379–398, 2004.
- [32] Berge, M. A., Elektrik Özdirenç Ters-Çözümüyle Çok Katmanlı Arkeolojik Yerleşmelerin Görüntülendirilmesi. Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İzmir, 2011.
- [33] Stefanescu, S., Schlumberger, C., ve Schlumberger, M., Sur la distribution électrique potentielle autour d'une prise de terre ponctuelle dans un terrain a couches horizontales, homogenes et isotropes. Journal de Physique et du Radium, 1(4), 132-140, 1930.
- [34] Ghosh, D. P., The application of linear filter theory to the direct interpretation of geoelectrical resistivity sounding measurements. Geophysical Prospecting, 19, 192-217, 1971.
- [35] Başokur, A. T., Automated 1D interpretation of resistivity soundings by simultaneous use of the direct and iterative methods. Geophysical Prospecting, 47, 149-178, 1999.

- [36] Inman, J. R., Resistivity inversion with ridge regression. *Geophysics*, 40, 798-817, 1975.
- [37] Zhody, A. A. R., A new method for the automatic interpretation of Schlumberger and Wenner sounding curves. *Geophysics*, 54, 245-253, 1989.
- [38] Berge, M. A., İki-Boyutlu Özdirenç Ters Çözüm Modellemesi. Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İzmir, 2005.
- [39] Dey, A., Morrison, H. F., Resistivity modeling for arbitrarily shaped two dimensional structures. *Geophysical Prospecting*, 27, 106-136, 1979a.
- [40] Dey, A., Morrison, H. F., Resistivity modeling for arbitrarily shaped three-dimensional structures. *Geophysics*, 44, 753-780, 1979b.
- [41] Silvester P.P., Ferrari R.L., Finite elements for electrical engineers (2nd. ed.). Cambridge University Press, 1990.
- [42] Başokur, A. T., Düşey Elektrik Sondajı Verilerinin Yorumu, Ankara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Ders Notları, Ankara, 2004.
- [43] Lines, L. R., Treitel, S., Tutorial: A review of least-squares inversion and its application to geophysical problems. *Geophysical Prospecting*, 32, 159- 186, 1984.
- [44] Constable, S. C., Parker, R. L., Constable, C. G., Occam's inversion: a practical algorithm for generating smooth models from EM sounding data. *Geophysics*, 52, 289-300, 1987.
- [45] Ellis, R. G., Oldenburg, D. W., Applied geophysical inversion. *Geophysical Journal International*, 116, 5-11, 1994a.
- [46] Loke, M.H., Electrical resistivity surveys and data interpretation. in Gupta, H (ed.), *Solid Earth Geophysics Encyclopaedia (2nd Edition) "Electrical & Electromagnetic"* Springer-Verlag, 276-283, 2011.
- [47] deGroot-Hedlin, C., Constable, S., Occam's inversion to generate smooth, two-dimensional models from magnetotelluric data. *Geophysics*, 55, 1613- 1624, 1990.
- [48] Claerbout, J. F., Muir, F., . Robust modeling with erratic data. *Geophysics*, 38, 826-844, 1973.
- [49] Wolke R., Schwetlick H., Iteratively reweighted least squares algorithms, convergence analysis, and numerical comparisons. *SIAM Journal of Scientific and Statistical Computations*, 9, 907-921, 1988.

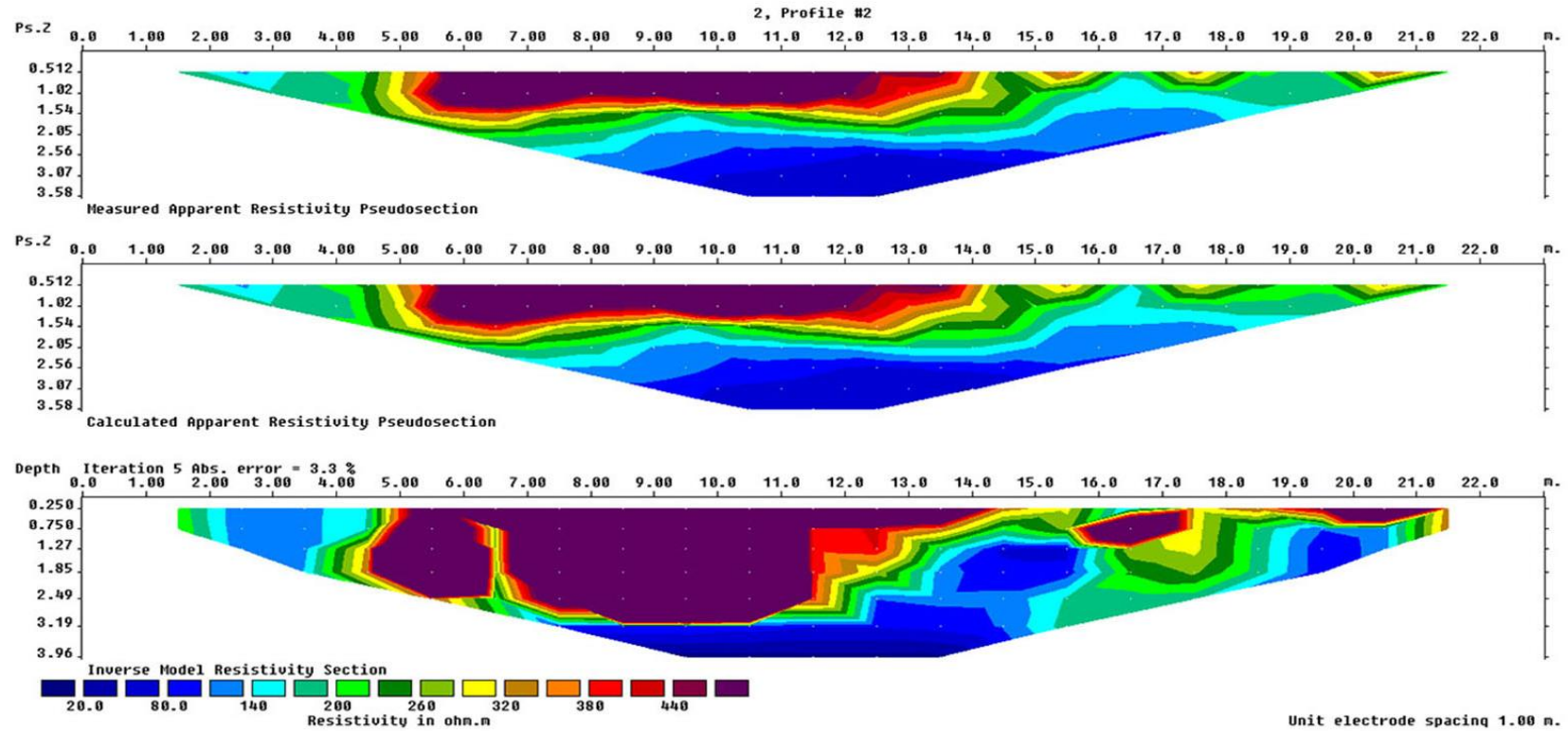
- [50] Jackson, D. D., Interpretation of inaccurate, insufficient and inconsistent data. *Geophys. J. Roy. Astr. Soc.*, 28, 97-109, 1972.
- [51] Bean, G. E., "Alabanda", *Princeton Encyclopedia of Classical Sites*, 1976.
- [52] Cohen, G. M., *The Hellenistic Settlements in Europe, the Islands, and Asia Minor*, University of California Press, 1996.
- [53] Dinsmoor, W.B., *The Architecture of Ancient Greece: An Account of Its Historic Development*, W. W. Norton Company, London 1950.
- [54] Edhem Bey, "Fouilles d'Alabanda en Carie," *CRAI* Vol. 49, 443- 459,1905.
- [55] Marchese, R.T., *A History of Urban Organization in the Lower Maeander River Valley: Regional Settlement Patterns to the Second Century A.D.*, New York 1976.
- [56] Drahor, M.G., Integrated geophysical studies in the upper part of Sarris archaeological site, Turkey. *Journal of Applied Geophysics* 59, 205-223, 2006.
- [57] Karaaslan, H., *Alabanda Antik Kenti Meclis binası içindeki gömülü yapıların elektrik yöntemiyle araştırılması / Investigation of structures in the Alabanda Bouleuterion by electrical resistivity method*, Yüksek lisans Tezi, Sakarya 2015.
- [58] Tavukçu, A. Y., Temür, A., Tavukçu, Z. A., Ceylan, M., Coşkun, S., Eker, K. 2018. *ALABANDA 2017. Kazı Sonuçları Toplantısı.*, 40: 147-161.
- [59] Candan, O., Dora, O. Ö., Oberhanslı, R., Koralay, E., Çetinkaplan, M., Akal, C., Satır, M., Chen, F., Kaya, O. 2011. *Menderes Masifi'nin Pan-Afrikan Temelin Stratigrafisi ve Gondvana'nın Geç Neoproterozoyik/Kambriyen Evrimi ile İlişkisi*. *MTA Dergisi.*, 141: 25-68.
- [60] Demirbaş, E. 2010. *Kavşit (Çine-Aydın) Yöresinin Jeolojisi ve Feldispat Yataklarının İncelenmesi*. Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi.

EKLER

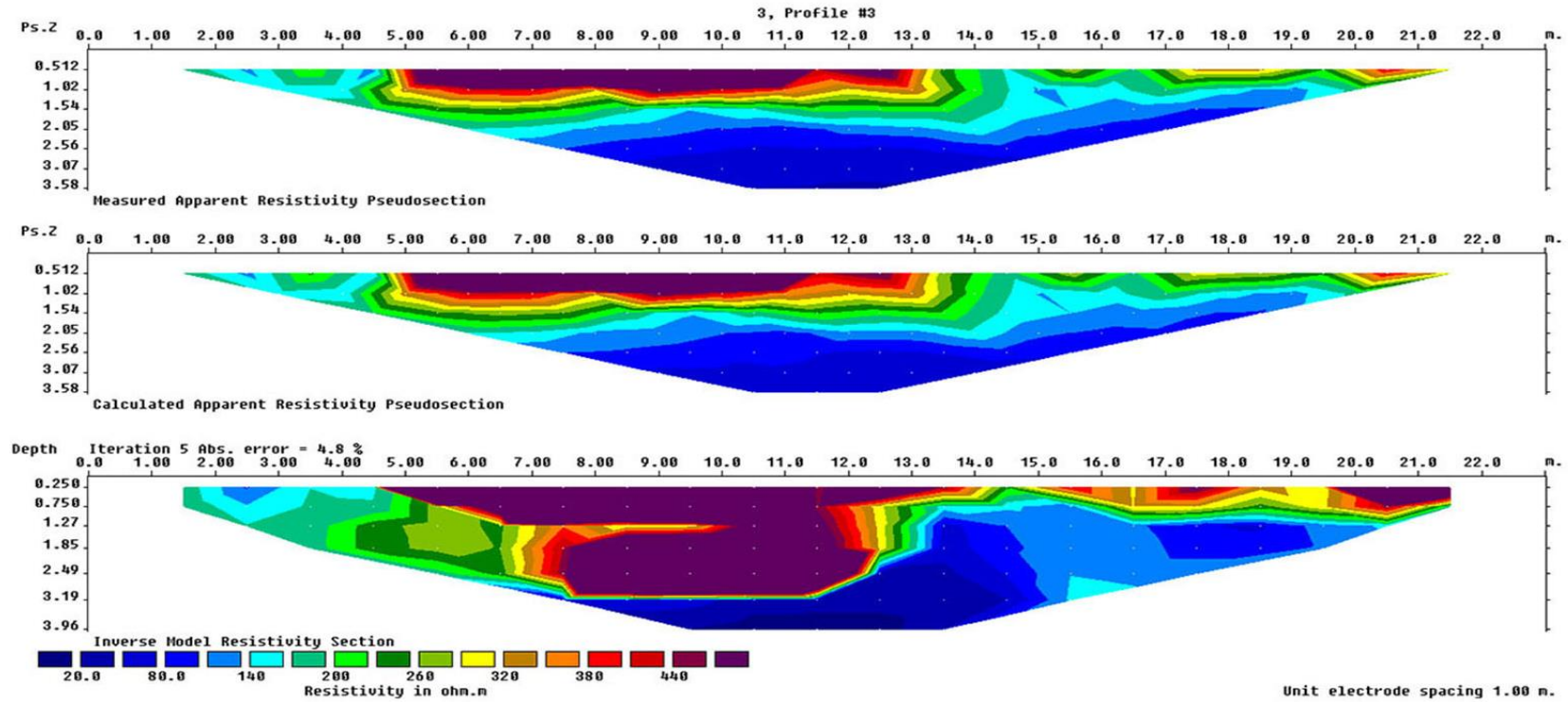
EK A: Wenner dizilimine ait kilise alt 2B dūşey kesitler



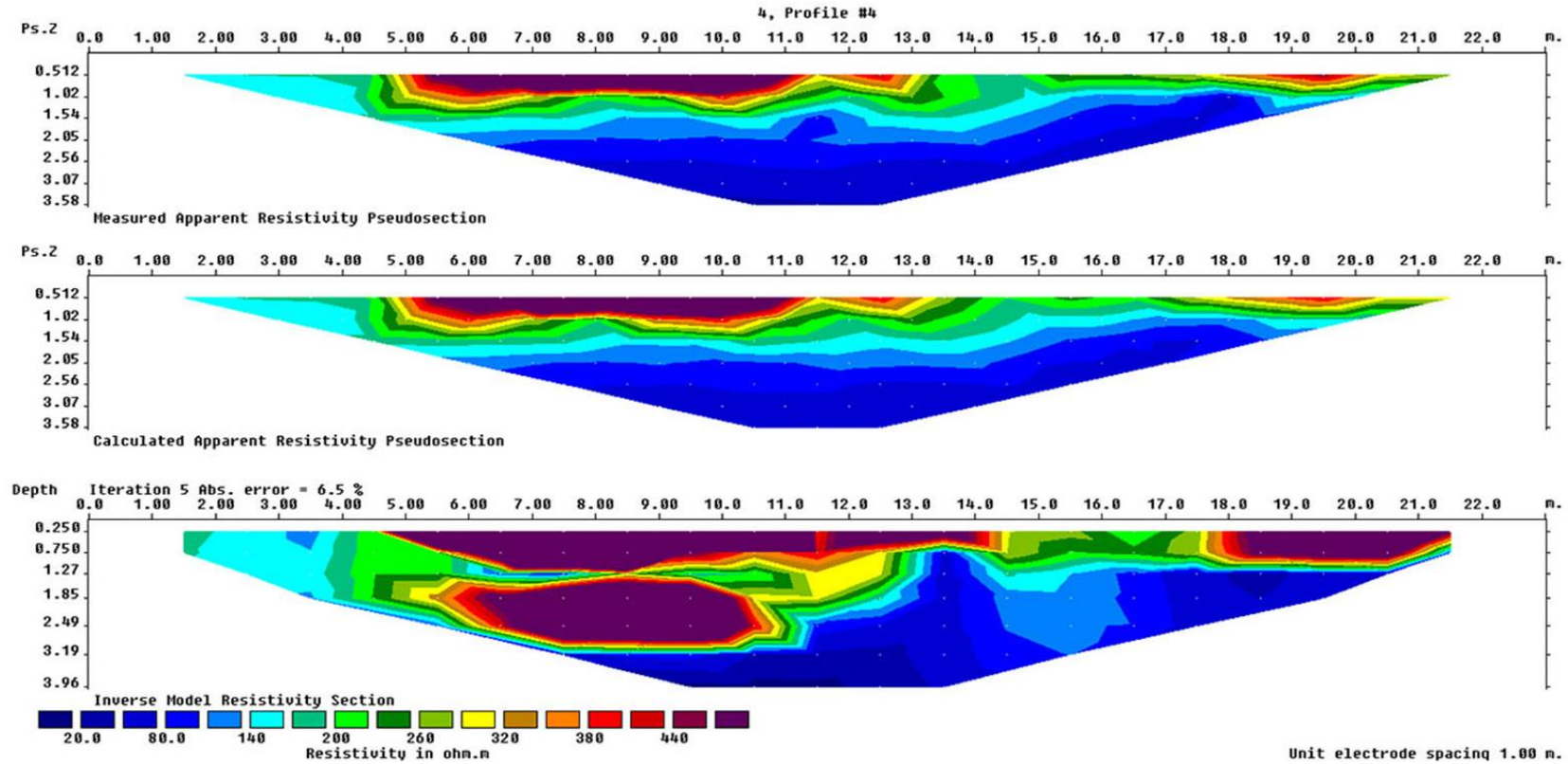
Ek A 1 Wenner elektrot dizilimi kilise alt 1. profil düşey kesiti



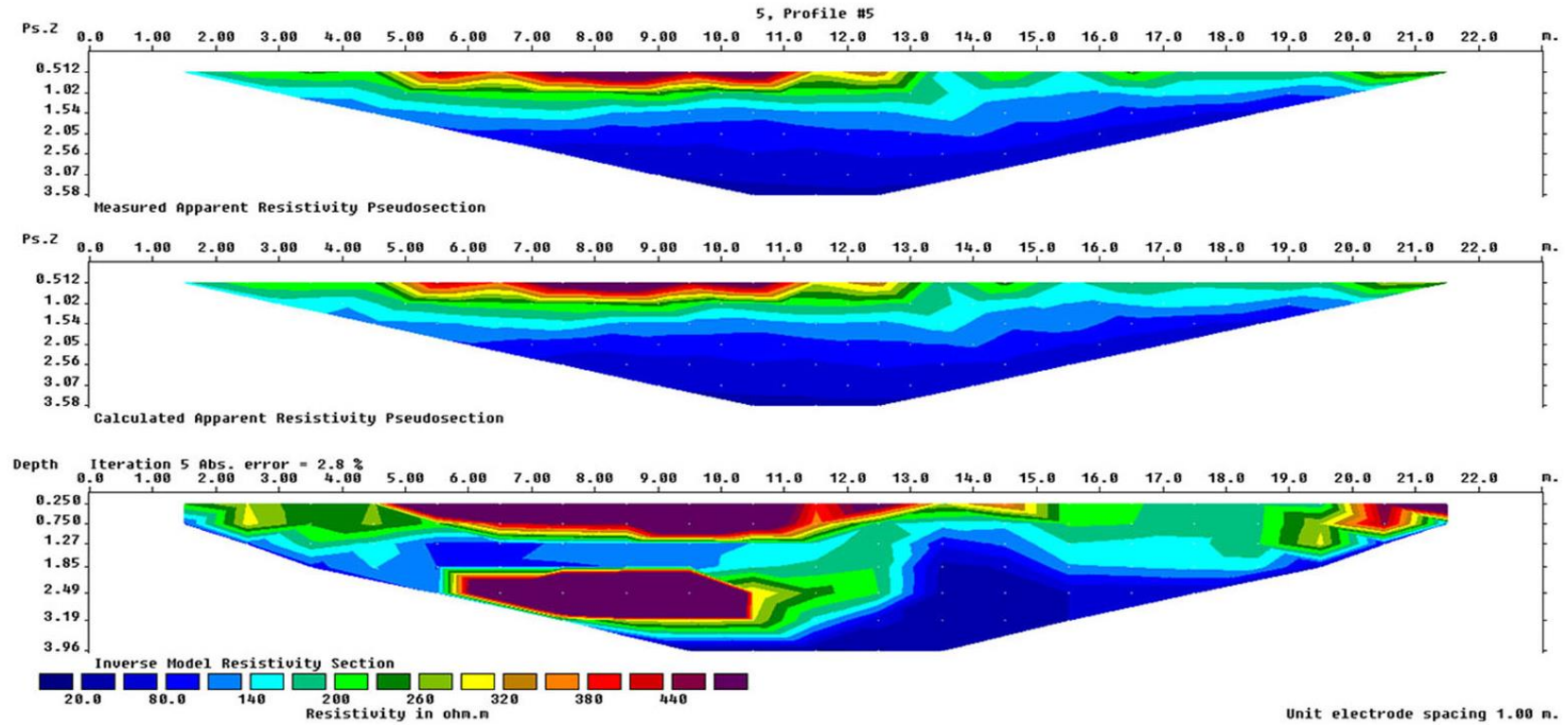
Ek A 2 Wenner elektrot dizilimi kilise alt 2. profil düşey kesiti



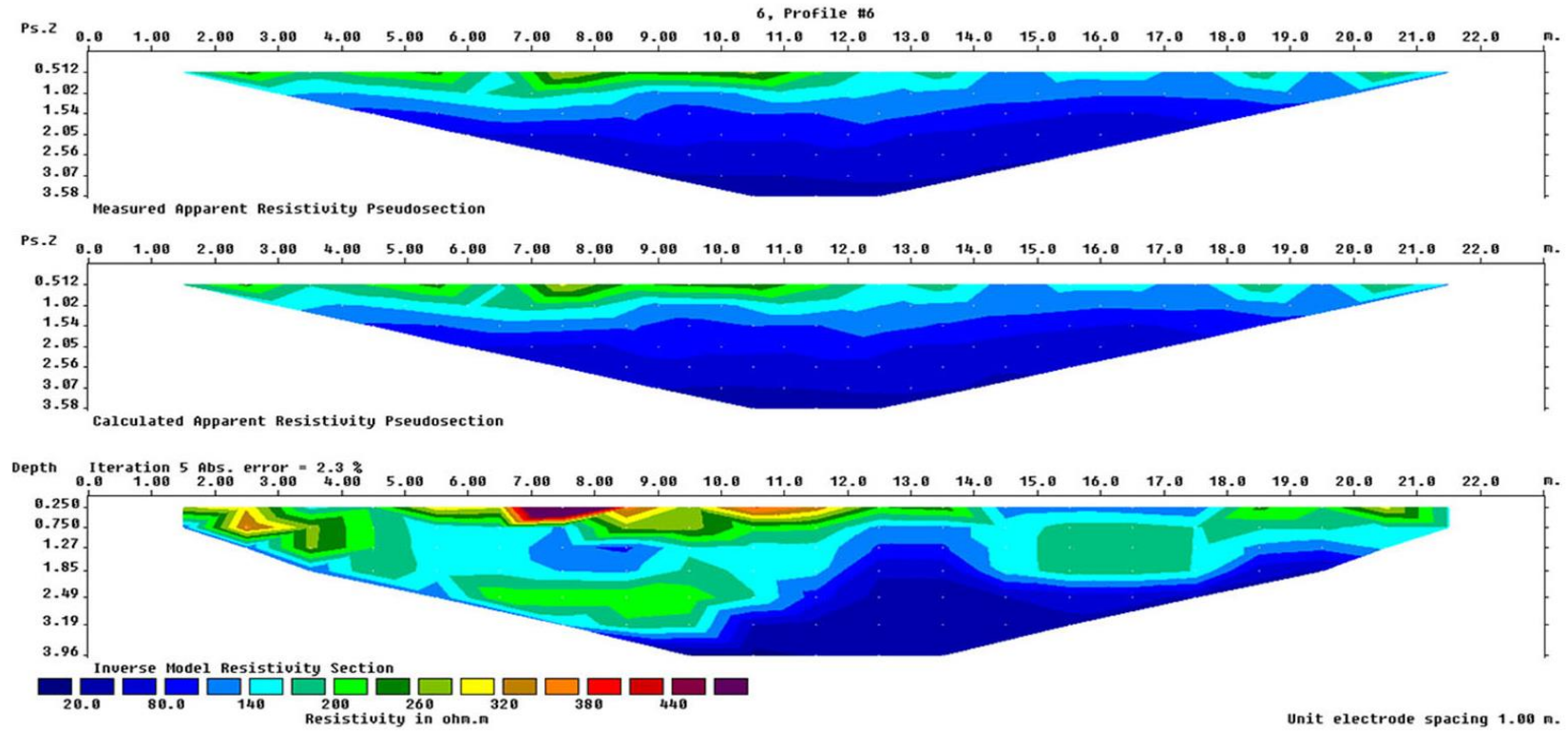
Ek A 3 Wenner elektrot dizilimi kilise alt 3. profil düşey kesiti



Ek A 4 Wenner elektrot dizilimi kilise alt 4. profil düşey kesiti

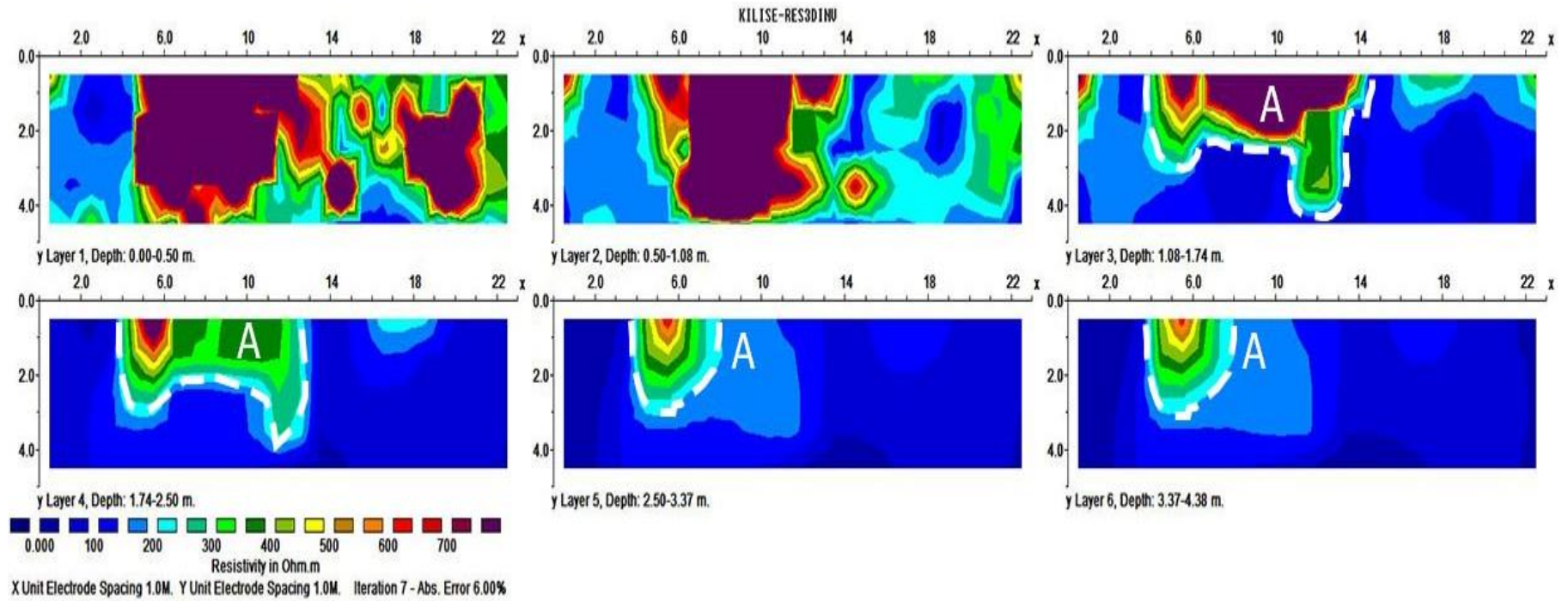


Ek A 5 Wenner elektrot dizilimi kilise alt 5. profil düşey kesiti



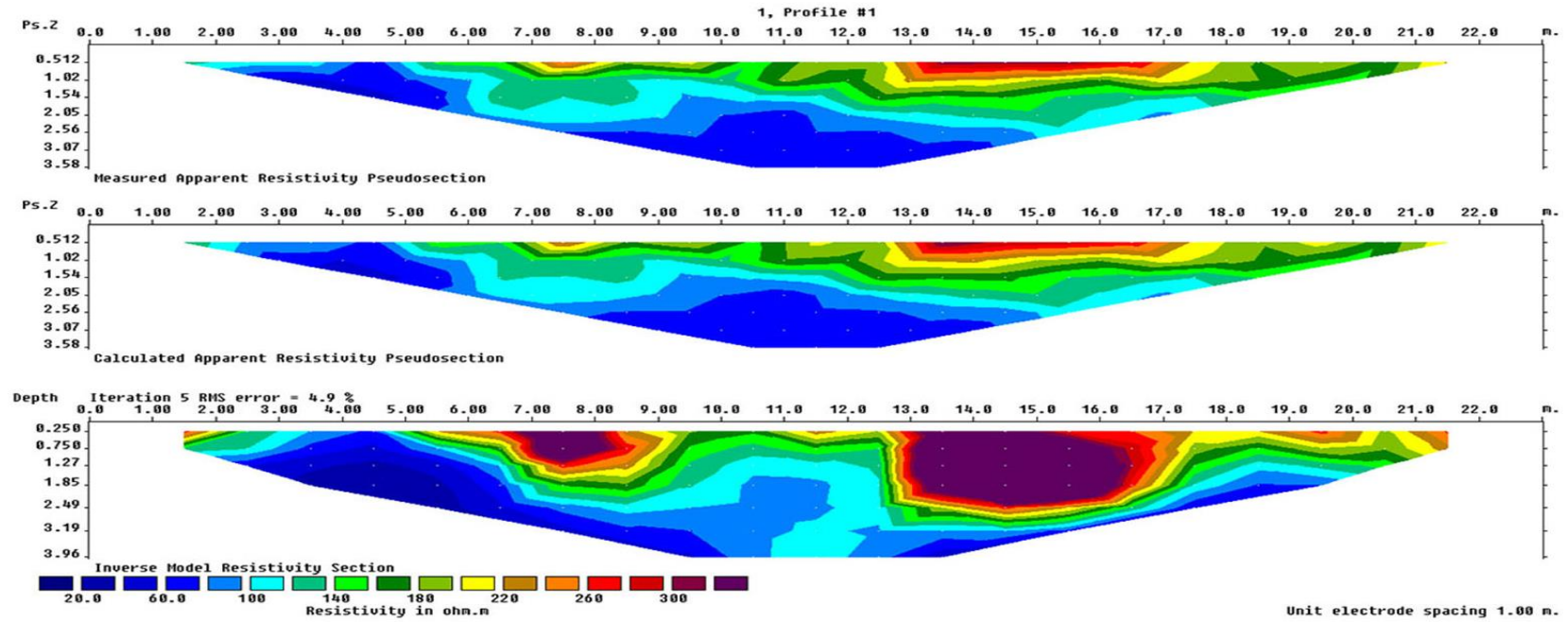
Ek A 6 Wenner elektrot dizilimi kilise alt 6. profil düşey kesiti

EK B: Wenner dizilimine ait kilise alt 3B düşey kesit

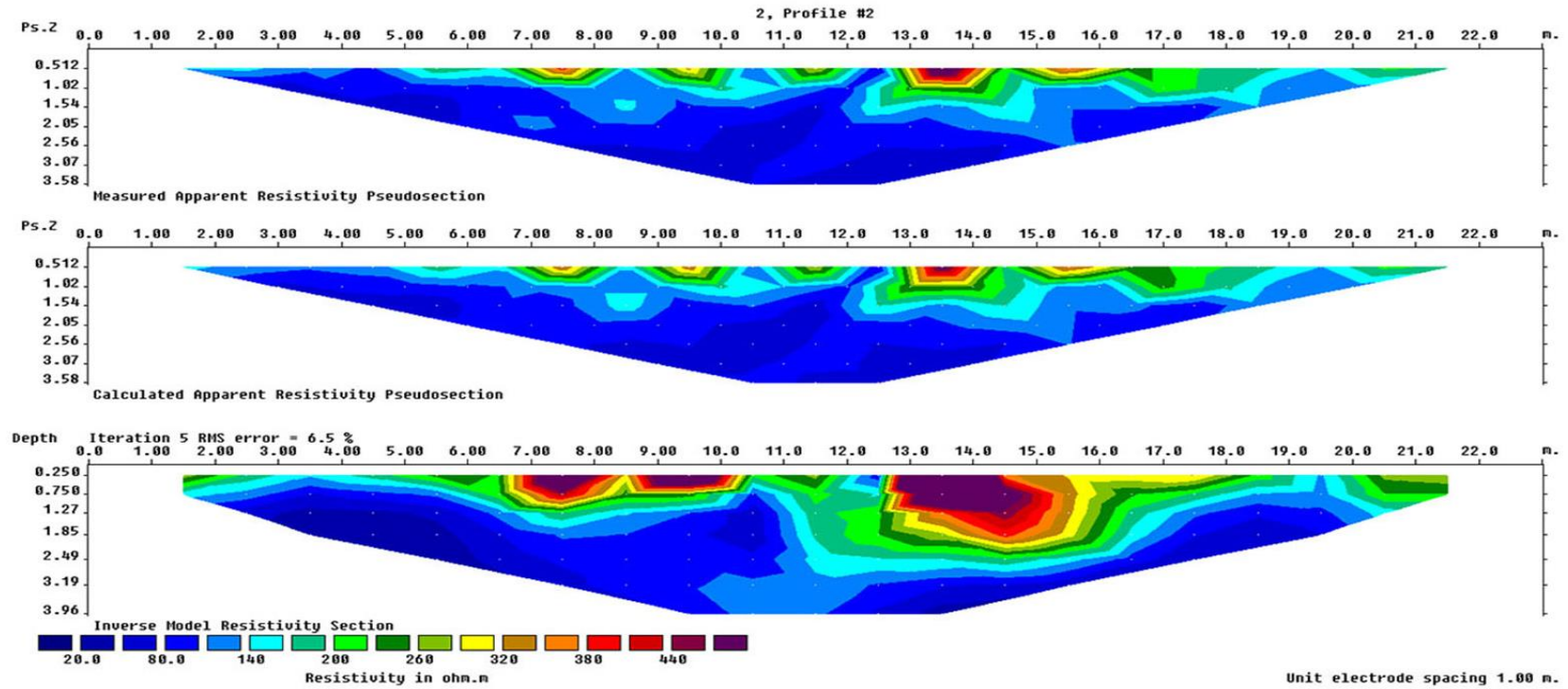


Ek B 1 Wenner elektrot dizilimi kilise alt 3B düşey kesiti

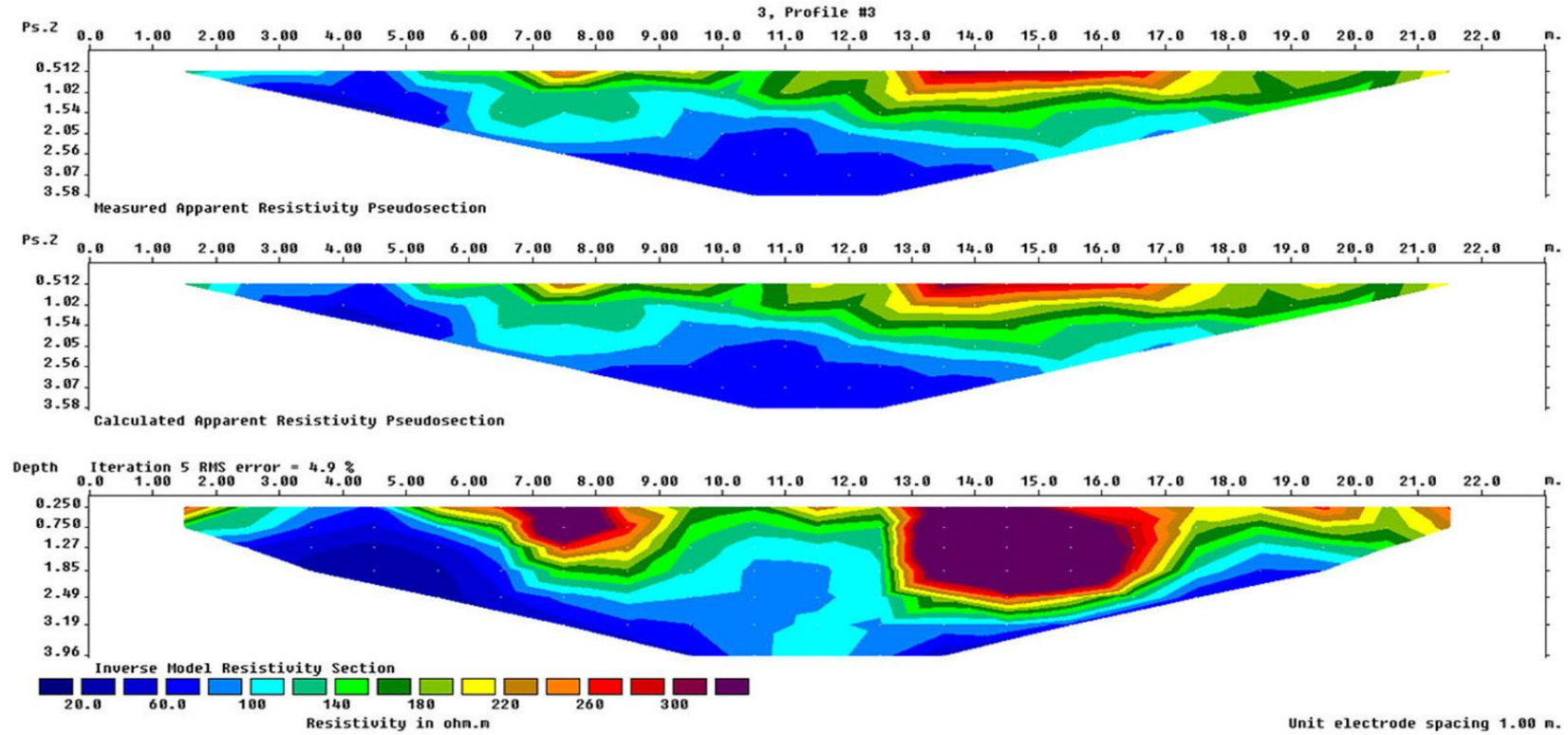
EK C: Wenner dizilimine ait kilise üst 2B düşey kesitler



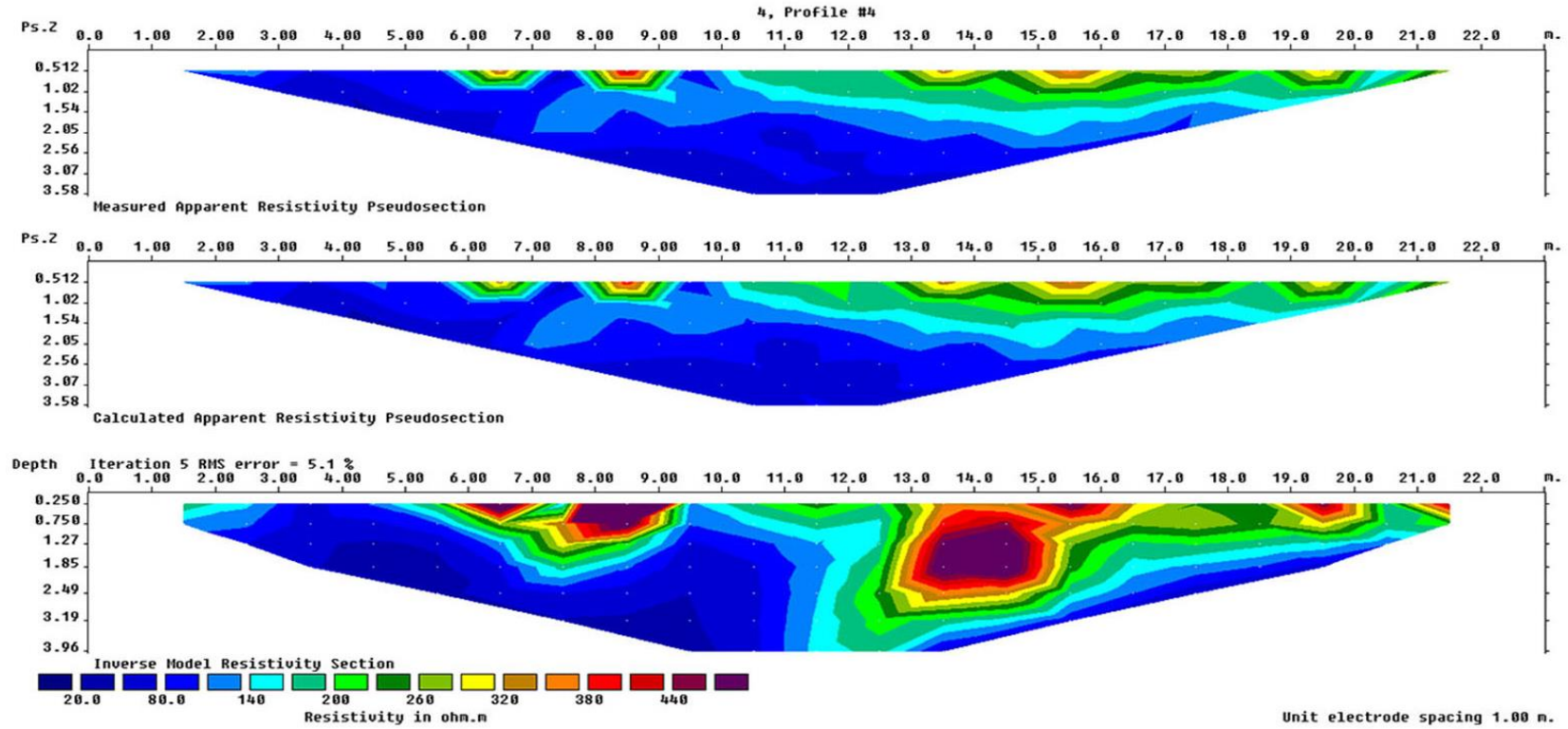
Ek C 1 Wenner elektrot dizilimi kilise üst 1. profil düşey kesiti



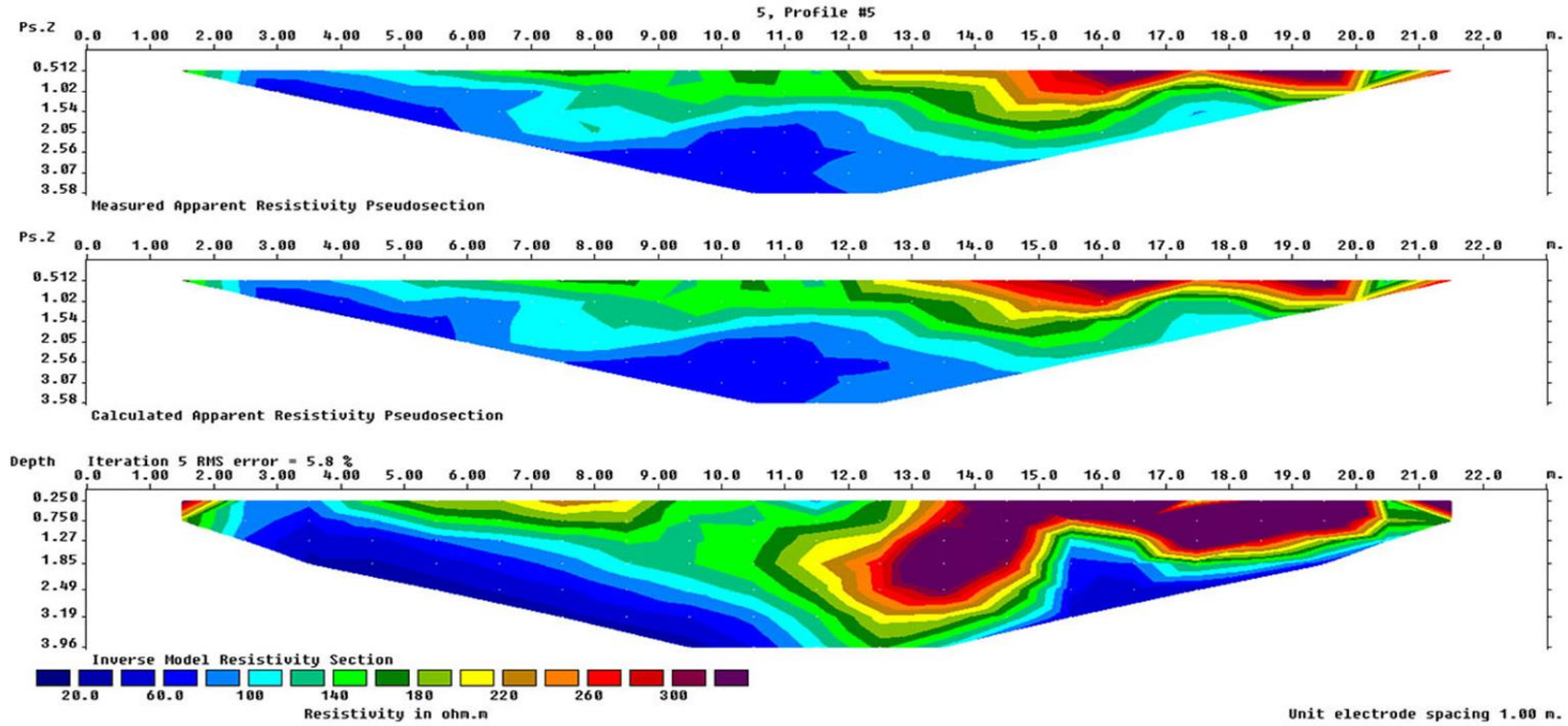
Ek C 2 Wenner elektrot dizilimi kilise üst 2. profil düşey kesiti



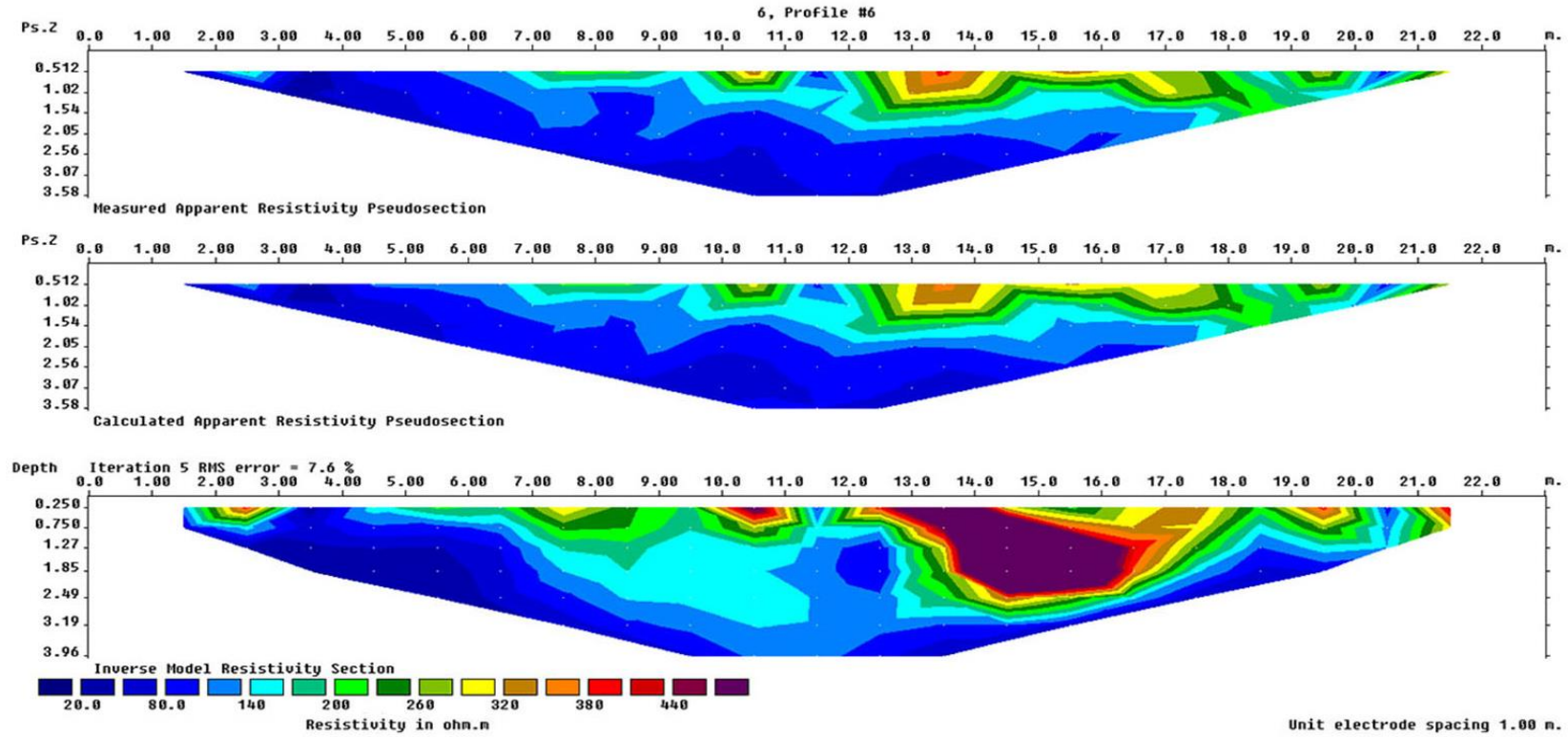
Ek C 3 Wenner elektrot dizilimi kilise üst 3. profil düşey kesiti



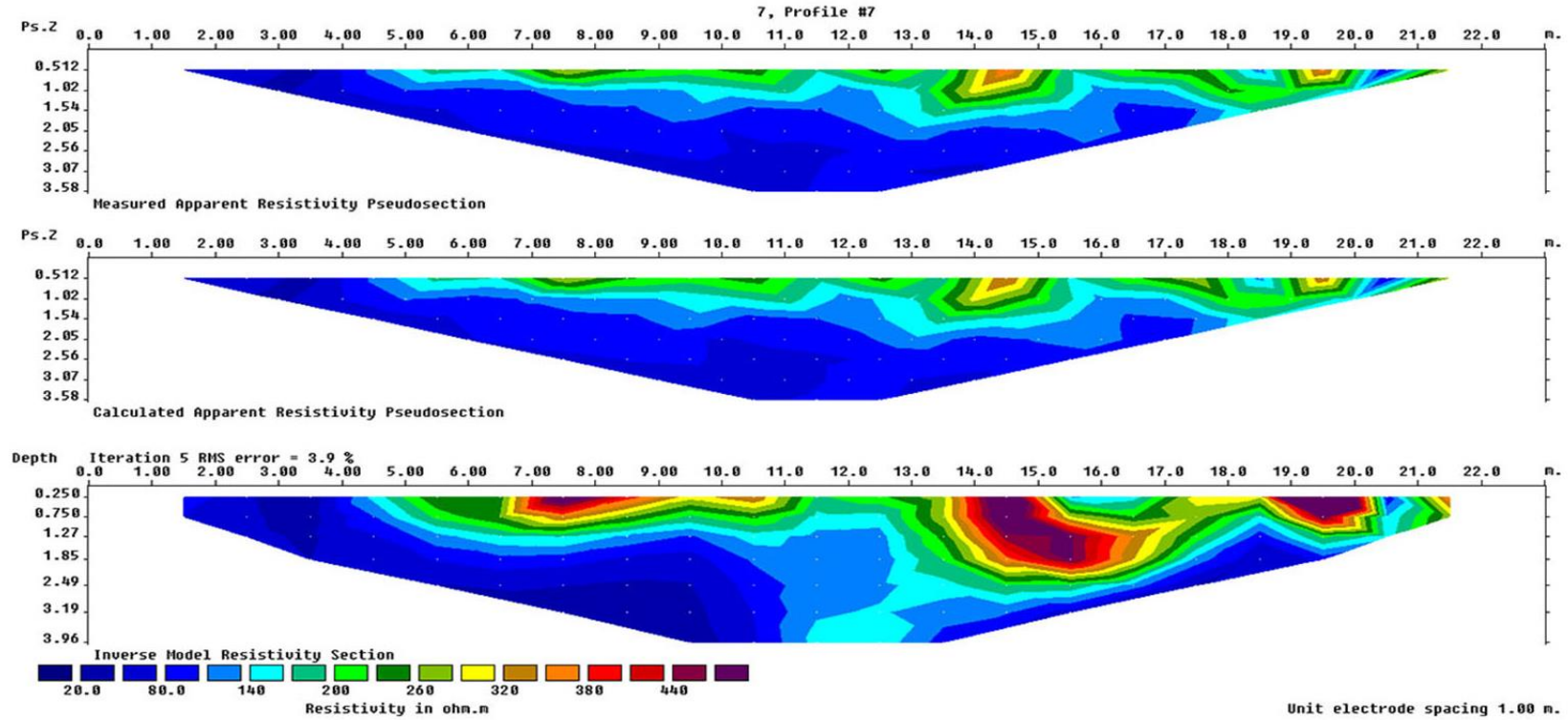
Ek C 4 Wenner elektrot dizilimi kilise üst 4. profil düşey kesiti



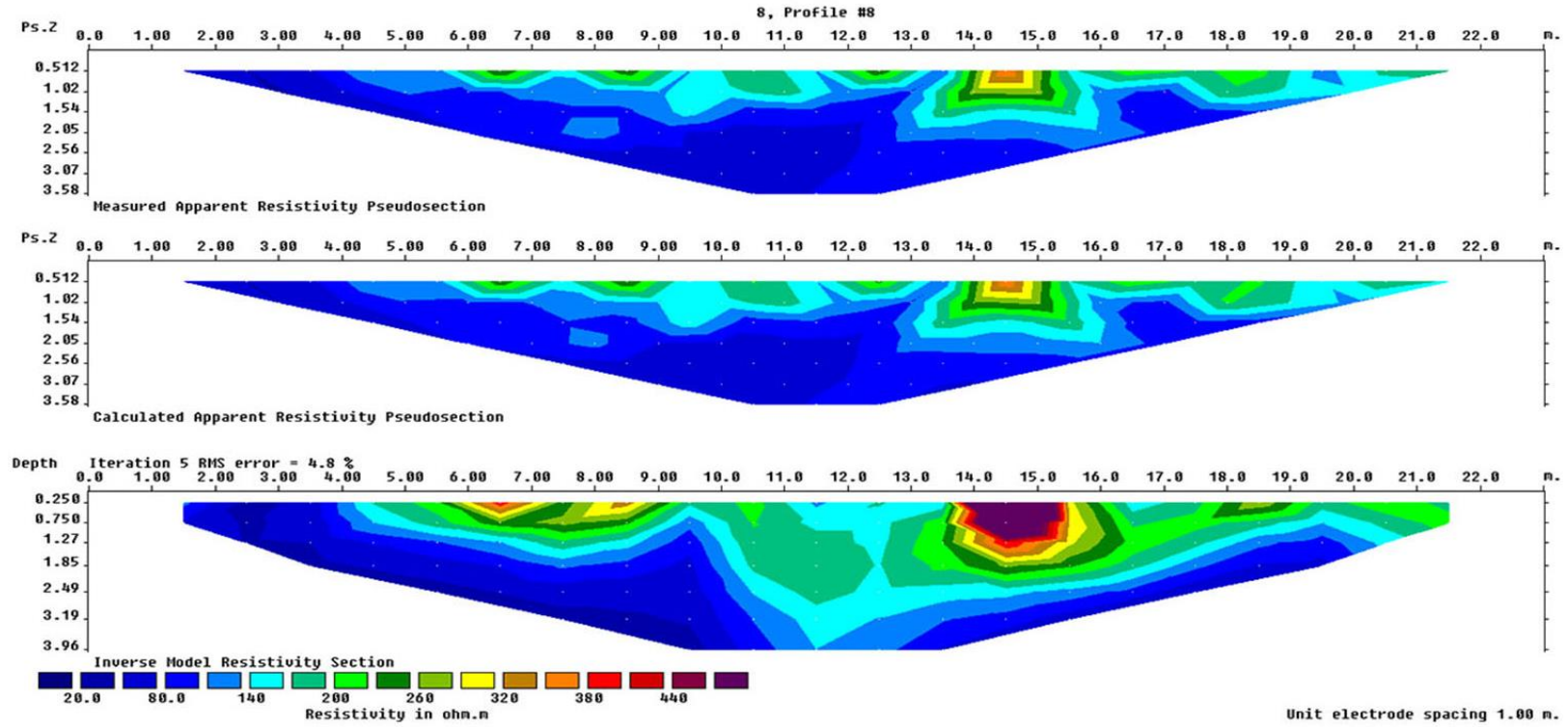
Ek C 5 Wenner elektrot dizilimi kilise üst 5. profil düşey kesiti



Ek C 6 Wenner elektrot dizilimi kilise üst 6. profil düşey kesiti

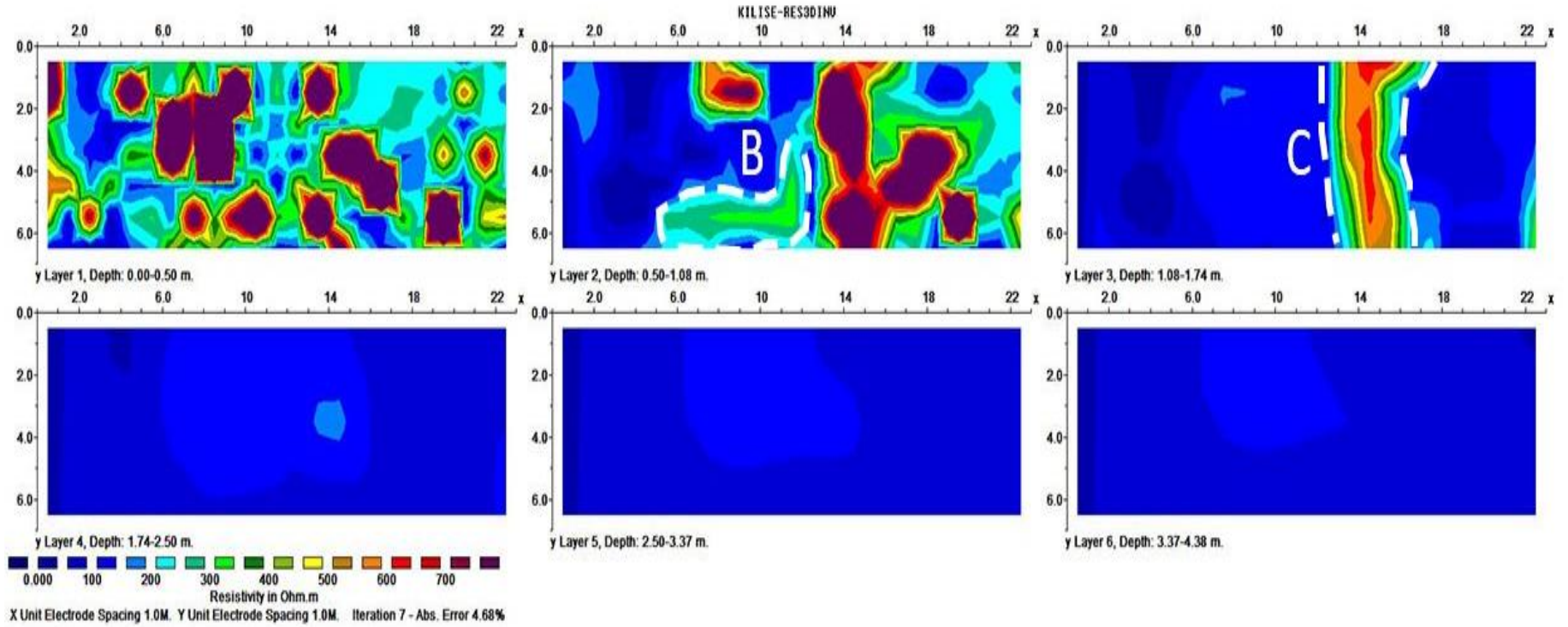


Ek C 7 Wenner elektrot dizilimi kilise üst 7. profil düşey kesiti



Ek C 8 Wenner elektrot dizilimi kilise üst 8. profil düşey kesiti

EK D: Wenner dizilimine ait kilise üst 3B düşey kesit



Ek D 1 Wenner elektrot dizilimi kilise üst 3B düşey kesiti

EK E: Elektrik özdirenç uygulama görüntüleri

Ek E 1 Elektrik özdirenç uygulama görüntüleri 1



Ek E 2 Elektrik özdirenç uygulama görüntüleri 2



Ek E 3 Elektrik özdirenç uygulama görüntüleri 3



Ek E 4 Elektrik özdirenç uygulama görüntüleri

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Suat DEMİR

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Yılı
Lisans	Sakarya Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / Jeofizik Mühendisliği	2011
Lise	Kazım İşmen Lisesi	2003

İŞ DENEYİMİ

Yıl	Yer	Görev
2013- Halen	YSS (3.Boğaz) Köprüsü ve Kuzey Çev. Otoyolu Varlık Yönet. Yön.	

YABANCI DİL

İngilizce, Fransızca

HOBİLER

Spor, Futbol, Fotoğrafçılık, Kamp, Doğa Gezisi