

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ALABANDA ANTİK KENTİ MECLİS BİNASI  
İÇİNDEKİ GÖMÜLÜ YAPILARIN ELEKTRİK  
YÖNTEMLE ARAŞTIRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Hasan KARAASLAN**

**Enstitü Anabilim Dalı : JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ**

**Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Can KARAVUL**

**Haziran 2015**

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

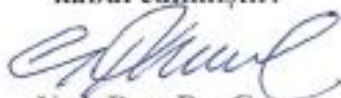
ALABANDA ANTİK KENTİ MECLİS BİNASI  
İÇİNDEKİ GÖMÜLÜ YAPILARIN ELEKTRİK  
YÖNTEMLE ARAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hasan KARAASLAN

Enstitü Anabilim Dalı : JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 04/06/2015 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği/oyçokluğu ile kabul edilmiştir.



Yrd. Doç. Dr. Can  
KARAVUL  
Jüri Başkanı



Doç. Dr. Bülent  
ORUÇ  
Üye



Doç. Dr. Aşkın  
Demirkol  
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.

Hasan KARAASLAN

10.06.2015

## **TEŞEKKÜR**

Allah (c.c.)'a hamd ve Rasulü Hz. Muhammed (s.a.v) salattan sonra, benden yardımını esirgemeyen sevgili hocam Can KARAVUL'a tüm samimiyetimle teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER.....	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	iv
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	v
TABLOLAR LİSTESİ.....	vi
ÖZET .....	vii
SUMMARY .....	viii
BÖLÜM.1.	
GİRİŞ .....	1
BÖLÜM.2.	
ARKEOJEOFİZİĞİN TANIMI VE KULLANILAN YÖNTEMLER .....	5
2.1. Arkeojeofizik Araştırmaların Geçmişi .....	5
2.2. Arkeojeofizik Yöntemler .....	6
2.2.1. Elektrik özdirenç yöntemi.....	8
2.2.2. Manyetik yöntem.....	9
2.2.3. Elektromanyetik yöntem.....	9
2.2.4. Yer radarı yöntemi .....	10
2.2.4. Gravite yöntemi .....	11
BÖLÜM.3.	
ÖZDİRENÇ YÖNTEMİ.....	12
3.1. Toprağın Elektriksel Özelliği.....	13
3.1.1. Toprağın nem içeriği.....	13
3.1.2. Geçirgenlik (Permeabilite).....	13
3.1.3. İyon içeriği.....	14

3.1.4. Isı.....	14
3.2. Ölçümleri Etkileyen Faktörler .....	14
3.2.1. Değme gerilimleri.....	14
3.2.2. Değme direnci .....	14
3.2.3. Elektrot uğlaşması .....	15
3.2.4. Doğal akımlar.....	15
3.2.5. Yapay akımlar.....	15
3.3. Dizilim Çeşitleri.....	16
3.3.1. Wenner elektrot dizilimi .....	17
3.3.2. Schlumberger elektrot dizilimi.....	18
3.3.3. Dipol-dipol elektrot dizilimi .....	19
3.2.4. Pol-pol elektrot dizilimi.....	21
3.4. Özdirenç Yönteminde Veri Toplama.....	22
BÖLÜM.4.	
GENELLEŞTİRİLMİŞ TERS ÇÖZÜM VE ÇALIŞMADA KULLANILAN TERS ÇÖZÜM PROGRAMI.....	26
BÖLÜM.5.	
ALABANDA MECLİS BİNASI.....	32
BÖLÜM.6.	
YÖNTEMİN ARAZİDE UYGULANMASI VE VERİLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ .....	35
6.1. Özdirenç Araştırmalarının Planlanması Ve Saha Düzeni.....	35
6.2. Özdirenç Verilerinin Değerlendirilmesi .....	38
BÖLÜM.7.	
SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....	44
KAYNAKLAR.....	45
EKLER .....	50
ÖZGEÇMİŞ .....	57

## 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
$\rho$	: Özdirenç
$\Delta V$	: Potansiyel fark
$0_C$	: Santigrad derece
$\alpha$	: Alfa
$\beta$	: Beta
$\gamma$	: Gama
$\infty$	: Sonsuz
%	: Yüzde
2B	: 2 Boyutlu
3B	: 3 Boyutlu

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Yer bulduru haritası ve çalışma alanı.....	4
Şekil 2.1. Arkeojeofizik Yöntemler.....	8
Şekil 3.1. Özdirenç yönteminin uygulanması ve akım-gerilim çizgilerinin yer içindeki yayılımı .....	12
Şekil 3.2. Wenner elektrot dizilimi.....	17
Şekil 3.3. Schlumberger elektrot dizilimi .....	19
Şekil 3.4. Dipol – dipol elektrot dizilimi .....	20
Şekil 3.5. Pol-pol elektrot dizilimi .....	21
Şekil 3.6. a) Düşey elektrik sondaj, b) ve c) sırasıyla 2 ve 3 boyutlu özdirenç çalışmalarında yeraltının yorumlanması.....	22
Şekil 3.7. Düşey elektrik sondaj (DES) için ölçüm sistemi, üç katmanlı yeraltı modeli ve görünür özdirenç eğrisi .....	23
Şekil 3.8. Wenner dizilimi ile profil ölçümü planı.....	24
Şekil 3.9. a) iki-boyutlu özdirenç çalışması b) üç boyutlu özdirenç çalışması .....	25
Şekil 4.1. Ters çözüm işlemi genel akış şeması .....	27
Şekil 5.1. Alabanda şehir planı.....	32
Şekil 5.2. Meclis Binası'nın değişik cephelerden görüntüleri.....	33
Şekil 5.3. Miletus Antik Kenti Meclis Binası .....	34
Şekil 6.1. Ölçü noktaları için gridlenmiş çalışma alanı .....	37
Şekil 6.2. Elde edilen bulgulara göre çizilen Meclis Binası ve içindeki yapıların krokisi .....	38
Şekil 6.3. Dipol-dipol elektrot dizilimine ait derinlik kesitleri .....	41
Şekil 6.4. Wenner elektrot dizilimine ait derinlik kesitleri.....	42
Şekil 6.5. 1, 8, 9 ve 10. profillere (yukarıdan aşağıya) ait wenner (solda) ve dipol-dipol (sağda) 2B düşey kesitleri .....	43



## TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1. Arkeojeofizik çalışmalara örnekler ve bu çalışmalarda kullanılan yöntemler.....	7
--	---

## ÖZET

Anahtar kelimeler: Alabanda, Meclis Binası, Elektrik Yöntem, Arkeojeofizik, RES2DINV, RES3DINV

Çalışma alanı, Aydın, Çine'ye yaklaşık olarak 7 km uzaklıkta bulunan Alabanda Antik Kenti içerisinde bulunan Meclis Binası'dır. Antik kentte Aydın Adnan Menderes Üniversitesi Arkeoloji Bölümü tarafından yapılan kent planını çıkarma çalışması halen devam etmektedir. Bu doğrultuda, Meclis Binası içindeki gömülü yapıların varlığı ve kalıntılarının durumlarını belirlemek için elektrik rezistivite tomografisi (ERT) yöntemi kullanılarak jeofizik çalışma yapılmıştır.

Bu amaca yönelik olarak Meclis Binası ait olan duvarlar içinde her biri 30 m olan 16 profil oluşturulmuş ve dipol-dipol ve wenner dizilimleri kullanılarak elektrik ölçümleri alınmıştır. Elektrotlar ve profiller arasındaki uzaklık 1'er m olarak alınmıştır. Profil boyu 30 m seçilmiştir. Ölçümler ARES GF çok kanallı rezistivite cihazı ile yapılmıştır. Elde edilen verilerden RES2DINV ve RES3DINV ters çözüm programları yardımıyla bloklu (robust) ters çözüm algoritması kullanılarak 2B ve 3B kesitler elde edilmiştir.

Bu kesitler ışığında Meclis Binası'na ait kalıntıların varlığı tespit edilmiştir. Bu kalıntıların Meclis Binası'nın hangi bölümlerine ait olduğu Jeofizik ve Arkeoloji disiplinleri dikkate alınarak yorumlanmıştır. Meclis Binası'nda başlatılacak olan kazı çalışmaları bu yorumların öngördüğü şekilde yapılmalıdır.

# **INVESTIGATION OF STRUCTURES IN THE ALABANDA BOULEUTERION BY ELECTRICAL RESISTIVITY METHOD**

## **SUMMARY**

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

The study area is Bouleuterion (parliament building) of the Alabanda Ancient City, located 7 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 sprogress. 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 Bouleuterion.

For this purpose, inside the walls of the Bouleuterion, 16 electrical profiles, which are 30 m in lenght were formed to measure electrical resistivity using the dipole-dipole and wenner arrays. Both the profile seperation and the distance between the electrodes were taken as 1 m. Measurements were implemented using ARES GF multichannel resistivity instrument. 2D and 3D sections have been obtained from the data using RES2DINV and RES3DINV computer programs with robust inversion algorithm, respectively.

In the light of the electrical sections, different remains of the Bouletuterion have been identified. These are interpreted to be remains of the cavea, stage, orchestra and entrance section of the Bouleuterion with help of archaeological discipline. It is suggested that the future excavations over the Bouleuterion should be planned according to the interpretation of the geophysic investigation for saving of money, time and labour force.

## **BÖLÜM 1. GİRİŞ**

Jeofizik yöntemlerin arkeolojik çalışmalarda kullanılmaya başlanması, arkeolojik araştırma çalışmalarına yeni bir anlam kazandırmıştır. Jeofizik yöntemlerin uygulama kolaylığı ve ucuzluğu bu durumu daha da artırmıştır. Ayrıca bu yöntemin diğer bir avantajı da; jeofizik yöntemlerin arazi üzerinde uygulanmasının arkeolojik kalıntılara herhangi bir zarar vermemesidir. Bu tür etkenleri göz önünde bulundurduğumuzda son yıllarda jeofizik yöntemlerin arkeolojik çalışmalarda kullanılması sıklıkla karşılaşılmaktadır [1, 2, 3, 4, 5].

Rezistivite yönteminin başarısı gömülü yapı ve çevresindeki toprak arasında bulunan resistivite farklılığına dayanmaktadır. Elektrik (rezistivite) tomografisi (ERM), arkeolojik çalışmalarda en çok kullanılan yöntemdir. Çünkü bu yöntem duvarların, yapı temellerinin, mağaraların ve diğer arkeolojik yapıların tespit edilmesinde oldukça başarılı bir yöntemdir.

Bu teknikteki amaç seçilen elektrot dizilimi (wenner, schlumberger, dipol-dipol, pole-pole vb.) sayesinde çalışma alanında devamlı olarak yeraltını görüntülemektir. Teknolojik gelişmelere paralel olarak ters çözüm teknikleriyle elde edilen elektrik özdirenç verilerinin yorumlanması, son yıllarda oldukça kullanılan bir yöntem haline almıştır [6, 7, 8, 9].

Elektrik prospeksiyonda en sık kullanılan ters çözüm teknikleri bloklu (robust) ve düzgünlük-kısıtlı (smoothness-constrained) en küçük kareler teknikleridir. Robust ters çözüm tekniği köşeli yapılarda smoothness-constrained tekniğine göre daha kesin ve uygun sonuçlar sağlamaktadır [10, 11]. Arkeolojik yapıları araştırma çalışmalarında aranan veya karşılaşılan kalıntılar da bu şekilde köşeli yapılar olduğundan dolayı bu tür çalışmalarda genellikle robust ters çözüm tekniği kullanılmaktadır [12, 13].

Tonkov ve diğeri [14], Bulgaristan'ın Kazanlak şehrindeki Thracian Kralları Vadisi'nde yer alan tümülüste elektrik yöntemi uygulamışlardır. Bu yöntemi kullanmalarının sebebi ise elektrik yöntemin tümülüsün altında gömülü olan yapıların tespit edilmesinde başarılı bir yöntem olmasıdır. Bu tümülüste daha önce diğeri jeofizik yöntemlerle yapılan araştırmalar sonucunda herhangi bir gömülü yapıya rastlanılmamıştır. Elektrik yöntemin uygulanması sonucunda 5. yüzyıla ait taş bir mezar ve mezarın ana hatları bulunmuştur.

Batayneh ve diğeri [15], Ürdün'deki Umm er-Rasas arkeolojik alanında geç Bizans kilisesi altındaki gömülü yapılarla ilgili bilgiler elde edebilmek amacıyla mikrogravite, manyetik ve elektrik yöntemlerini uygulamışlardır. Mikrogravite ve manyetik ölçülerden elde edilen verilerden kilisenin mozaik zeminin altındaki duvarların, odaların, patikaların ve temellerin kalıntılarını tespit etmişlerdir. Elektrik yöntemle elde edilen 2B modellerden ise kilise zeminin altındaki su sızıntısının yağmur suyu olduğunu belirlemişlerdir.

Tsokas ve diğeri [16], Yunanistan, Atina'da Kapnikarea Kilisesi'nin etrafında ve içinde yeraltındaki gömülü yapıların varlığını araştırmak amacıyla elektrik yöntemi uygulamışlardır. Kilise yüzeyinin tamamen tahribatsız olması nedeniyle düztabanlı elektrotlar kullanılmış olup, başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Bu yöntemle elde edilen verilerden yeraltındaki kuyuların hasar görmemiş bir şekilde kaldığını ve kilise zemininde el yapımı yapıların varlığını tespit etmişlerdir.

Tsokas ve diğeri [17], Yunanistan'ın kuzeyinde Holy Dağları'nda bulunan Praton Kilisesi etrafında yeraltında gömülü yapıların varlığını araştırmak amacıyla elektrik yöntemi uygulamışlardır. Elde edilen tomografi haritalarından kilisenin etrafındaki temel duvar kalıntıları tespit edilmiş ve çalışma alanının jeolojisi hakkında bilgiler elde edilmiştir.

Son yıllarda arkeojeofizik alanında yapılan çalışmalarda meclis binası ve amfi tiyatro araştırma çalışmaları yer almaktadır [5, 18, 19, 20]. Bu araştırmaları izleyen restorasyon ve kazı çalışmaları bu tür jeofizik çalışmaların önemini daha da

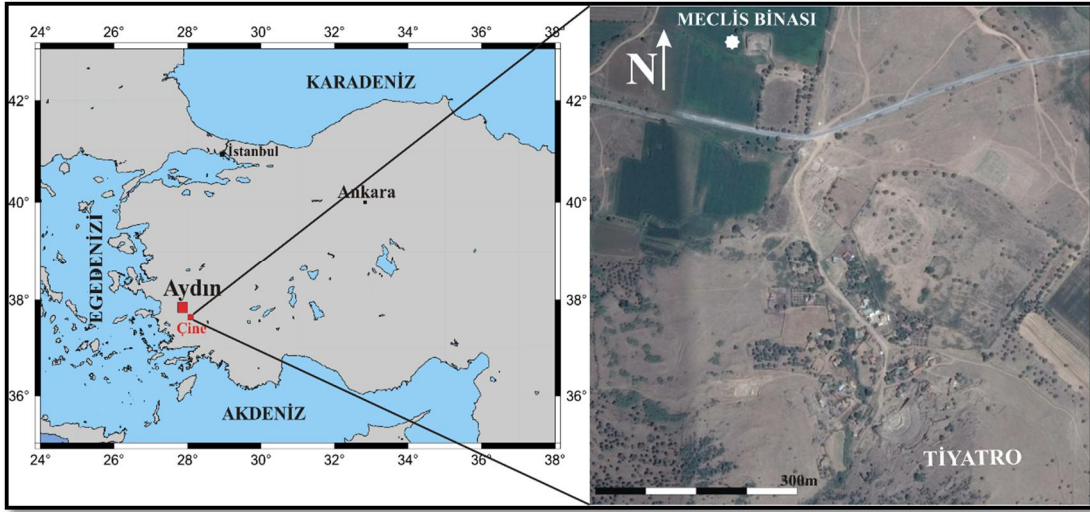
artırmaktadır. Bu alanda yapılan çalışmaların azlığından dolayı ulusal ve uluslararası bilgi ve deneyim ise oldukça kısıtlıdır.

Papadopoulos ve diğerleri [5], Girit Adası'nın güney doğusunda Ierapetra antik şehrinin küçük tiyatrosunu ve amfi tiyatrosunu bulabilmek amacıyla elektrik yöntemi diğer jeofizik yöntemlerle korele ederek kullanmışlardır. Elde edilen bütün kesitler karşılaştırıldığında özdirenç kesitlerinin diğer yöntemlere nazaran daha belirgin sonuçlar verdiği görülmektedir.

Perez-Garcia ve diğerleri [18], Valensiya, İspanya'da bir tiyatro da GPR yöntemi kullanarak çalışmışlardır. Çalışmanın amacı tiyatro binasına ait orijinal kalıntıları yeni yapılan restorasyon çalışmasıyla eklenen yapılardan ayırmaktır. Çalışma neticesinde kavea yapılarına ait bölümlerin su nedeniyle erozyona maruz kaldığı belirlenmiştir.

Aubry ve diğerleri [20], Fransa'da bulunan Vieil-Evreux antik kentinin içindeki tiyatrodaki çalışmışlardır ve elektrik yöntem kullanarak gömülü olan tiyatroya ilişkin verimli bilgilere ulaşmışlardır.

Bu çalışma Aydın iline bağlı Çine ilçesinin yaklaşık olarak 7 km. batısında yer alan, eski adıyla Araphisar, yeni adıyla Doğanyurt köyünün bulunduğu yerde konumlanmış olan Alabanda Antik Kenti Meclis Binası'nda 2B ve 3B elektrik özdirenç tekniğiyle gerçekleştirilen arazi uygulamasını ve sonuçlarını göstermektedir. Yerbulduru haritası ve çalışma alanı Şekil 1.1'de verilmiştir. Kısıtlı bilgi ve deneyim ışığı altında yapılan bu çalışmanın amacı, alanın jeofizik potansiyelini ortaya çıkarmak ve Alabanda Meclis Binası ve barındırdığı yapıların geometri ve konumlarını belirlemektir.



Şekil 1.1. Yer bulduru haritası ve çalışma alanı

## **BÖLÜM 2. ARKEOJEOFİZİĞİN TANIMI VE KULLANILAN YÖNTEMLER**

### **2.1. Arkeojeofizik Araştırmaların Geçmişi**

Geçmişten günümüze arkeoloji bilimi doğası gereği birçok bilimle ilişkiye girer ve bu ilişkiler sonucu, yeni bilimsel disiplinlerin doğuşuna sebep olur. Bu tarihsel gelişim zamanla değişik birçok bilim dallarını içerisinde barındıran “arkeometri” disiplininin oluşmasını sağlamıştır. Bilimsel ve teknolojik gelişimin etkisi altında zamanla bağımsızlaşan bilim dalları yeni disiplinlerin doğuşuna neden olmaktadır. Bu dalların en önemlilerinden biri de kuşkusuz arkeojeofiziktir. Jeofizik; İkinci Dünya Savaşı'nın bitimindeki yıllarda arkeolojiye girmesine karşın, teknolojik ve bilimsel gelişimin etkisiyle, kazı öncesi araştırma yöntemleri içerisinde birinci sırayı almıştır.

Arkeolojik araştırmalarda, jeofiziğin kullanımının yaygınlaşmasında temel etmenlerin başında jeofiziğin çözüm gücünün artmasını sayabiliriz. Bununla birlikte arkeolojik çalışmalar için jeofizik bilimini vazgeçilmez kılan en önemli özellik, gerekli bilgiye mümkün olan en kısa sürede ulaşırken, söz konusu arkeolojik kalıntılara her hangi bir biçimde zarar vermiyor olmasıdır. Arkeolojik çalışmaların başlangıcında, saha seçimi ve kazı planının yapılması aşamasında uygulanan jeofizik çalışmalar, yeraltında gömülü durumda bulunan yapının, geometrisi ve derinliği hakkında kesin yanıtlar verebilmektedir. Bu sayede kazılarda zaman kaybı önlenerek, kazı masrafları önemli ölçüde düşürülmektedir. Boyut olarak jeofiziğin geleneksel hedeflerine göre oldukça sığ ve küçük olan arkeolojik yapıların aranması, yeni teknolojilerin getirdiği olanaklarla kolaylaşmış ve güvenilirliği artmıştır. Bu alanda yapılan çalışmaların yaygınlaşmasıyla bilgi birikimi artmış ve arkeolojik amaçlar için özel ölçüm aygıtları ve sayısal analiz teknikleri geliştirilmiştir. Bunların sonucunda da, “Arkeojeofizik” olarak adlandırılan yeni bir alt bilim dalı doğmuştur.



İlk arkeojeofizik çalışmalar, 1940'lı yılların sonlarında Kuzey Amerika ve İngiltere'de başlamıştır. Özdirenç yöntemini kullanarak yapılan ilk çalışmanın İngiltere'de 1946 yılında Atkinson tarafından yapıldığı, bunun ardından manyetik yöntem üzerine ilk araştırmanın ise, 1957 yılında Belshe tarafından uygulandığı bilinmektedir. Bu çalışmaları Aitken, Webster ve Rees (1958) tarafından Oxford Üniversitesinden bir grubun yaptığı çalışma izlemiştir. Bundan sonra birçok araştırmacı farklı yöntemler deneyerek ilginç ve etkili sonuçlar elde etmişlerdir. 1970'li yılların başlarında kullanılmaya başlanan radar yöntemi; hızlı, kolay kullanım olanağı ve başarılı sonuçları nedeniyle özdirenç yöntemi ve manyetik yöntemle beraber en çok kullanılan teknikler arasında yerini almıştır.

Ülkemizde bu çalışmaların 1968 yılında Ali Yaramancı'nın başkanlığında Keban Projesi'nde [21] kullanıldığı bilinmektedir. Türkiye' nin arkeolojik açıdan büyük potansiyele sahip olduğu bilinmektedir. Geçmişten bugüne ülkemizde, gerek yerli gerekse yabancı araştırmacılarca yürütülen pek çok projede, arkeojeofizik yöntemi pek çok defa başarıyla uygulanmış, ekonomiklik ve iş gücü açısından büyük ölçekte fayda sağladığı görülmüştür. Arkeolojik alanlarda uygulanan bu tür çalışmaların alanında en önemli olanlarından bazıları Tablo 2.1'de verilmiştir. Bu tabloya bakıldığında en sık kullanılan yöntemin elektrik yöntemi olduğu görülmektedir. Ayrıca tablodan jeofizik yöntemlerin korele edilerek kullanıldığı bilgisi de elde edilebilmektedir.

## 2.2. Arkeojeofizik Yöntemler

Arkeolojik araştırmalarda jeofizik yöntemlerin tercih edilmesindeki ana etkenler; kullanılan cihazların hiçbir biçimde gömülü yapıya zarar vermeyecek biçimde hafif ve yöntemin yüzeyden uygulanabilir olması, hızlı ve ayrıntılı sonuç vermesi ve bu sayede ucuz olmasıdır.

Arkeoloji jeofiziği derinliği ve büyüklüğü birkaç cm'den birkaç m'ye kadar olan yapılarla ilgilenir. Bu yapılar genellikle; depolama çukurları, ev temelleri, duvarlar, ocaklar, fırınlar ve diğer yanmış nesnelere oluşan "prehistorik" temeller ya da kale

duvarları, tiyatro, stadyum, tapınak, büyük bina temelleri, cadde, sokak ve ev kalıntıları gibi “tarihsel” temellerden oluşur [22].

Tablo 2.1. Arkeojeofizik çalışmalara örnekler ve bu çalışmalarda kullanılan yöntemler

Makale	Elektrik	Manyetik	GPR	Sismik	EM
<b>Ekinci, Y.L., ve diğ., 2014</b>	✓	✓			
<b>Apostolopoulos V. G., 2014</b>	✓		✓		✓
<b>Papadopoulos, N. ve diğ., 2012</b>	✓	✓	✓	✓	
<b>Tsourlos, P.I. ve Tsokas N. G., 2011</b>	✓				
<b>Drahor, M.G. ve diğ., 2011</b>	✓	✓	✓		
<b>Tsokas, N.G., ve diğ., 2009</b>	✓				
<b>Tsokas, N.G., ve diğ., 2008</b>	✓				
<b>Drahor, M.G. ve diğ., 2008</b>	✓	✓			
<b>Tsokas, N.G., ve diğ., 2007</b>	✓		✓		
<b>Leucci, G., ve diğ., 2007</b>	✓			✓	
<b>Drahor, M.G., 2006</b>	✓	✓		✓	✓
<b>De Domenico, D., ve diğ. 2006</b>	✓		✓	✓	
<b>Tonkov, N., Loke, M. H., 2006</b>	✓				
<b>Leucci G., Negri, S., 2006</b>	✓		✓		
<b>Candansayar M.E. ve Başokur A.T., 2001</b>	✓				

Jeofizik çalışmalara başlamadan önce, bölgenin arkeolojik geçmişinin araştırılması, varsa daha önce yapılmış kazıların buluntularının incelenmesi gerekmektedir. Alanla ilgili jeolojik ve jeomorfolojik özelliklerin belirlenmesi, hava fotoğraflarının ve uydu görüntülerinin incelenmesi ve yöre halkıyla konuyla ilgili görüşülmesinin de büyük önemi vardır. Araştırma sahasında hangi yöntemlerin kullanılacağına karar vermek için, önce olası gömülü yapıların özellikleri (kesilmiş taşlarla örülmüş duvarlar, temeller, pişmiş toprak yapılar vb.) öğrenilmeli ve bu doğrultuda bazı test amaçlı, çeşitli yöntemlerle pilot ölçümler alınmalıdır. Bu ön çalışmalar tamamlandıktan

sonra hazırlanan jeofizik araştırma planıyla, doğru yöntem ve en uygun araştırma sahasının belirlenmesi gerekmektedir. Arkeolojik alanlarda kullanılan başlıca jeofizik yöntemler Şekil 2.1’de şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 2.1. Arkeojeofizik Yöntemler [22]

### 2.2.1. Elektrik özdirenç yöntemi

Elektrik özdirenç yöntemi, jeofizik araştırmalarda 1915’de ilk kez Wenner tarafından kullanılmıştır. Daha sonraki gelişimler ise 1920 yılında Schlumberger tarafından ortaya konmuştur. Bu yöntem arkeolojik alanda ilk kez Atkinson tarafından 1946 yılında kullanılmıştır.

Bu yöntem yeryüzüne iki noktadan akım verilip, yeraltında oluşturduğu gerilimin farklı iki noktadan ölçülmesi prensibine dayanır. Yerin elektrik özdirenci, büyük bir oranda ortamdaki sıcaklık, basınç, gözeneklilik, geçirgenlik, ortamın su doygunluğu ve suyun yer içindeki dağılımı gibi özelliklere bağlı olarak değişmektedir. Yapı temelleri, duvarlar vb. gibi yapısal özelliklerin çevresindeki birimlerden daha farklı özdirenç değerleri vermesi bu yapıların belirlenmelerini sağlar. Ayrıca gelişen teknoloji ile beraber son zamanlarda hızlı veri toplama, kolay ve ucuz olarak arazi üzerinde tatbik son derece gelişmiş ve 2B ve 3B ters çözüm teknikleri ve bunlara dayalı yorumlama oldukça yaygın hale gelmiştir. Bu gibi etkenler sayesinde hızlı ve oldukça güvenilir sonuçlar veren yöntem, arkeolojik alanlarda en çok kullanılan yöntemlerdendir.

### 2.2.2. Manyetik yöntem

Manyetik yöntem üzerine yapılan ilk araştırma, 1957 yılında Belshe tarafından uygulanmıştır. Arkeolojik alanda manyetik duyarlık üzerine ilk çalışmalar E. Leborgne (1955) tarafından Britanya'da yapıldığı bilinmektedir.

Arkeolojik kalıntılar genelde pişmiş kil içeren çanak çömlek parçaları, tuğla, kiremit gibi yapılardır. Bu malzemeler pişirilmeleri sırasında içlerindeki manyetik dipollerin soğumasıyla birlikte soğudukları zamandaki manyetik alana göre çevresindeki yapılardan farklı bir manyetik özellik kazanırlar. Ayrıca arkeolojik eserlerin yapımında kullanılan malzemelerin manyetik özelliği ve onu örten toprağın manyetik özelliği de farklı olabilmektedir.

Bu sayede yöntemde, yeraltındaki birimlerin farklı mıknatıslanma duyarlılığına sahip olmaları özelliğinden yararlanarak, yüksek mıknatıslanma duyarlıklı cisimler belirlenebilmektedir.

Yerleşim birimleri üzerindeki manyetik duyarlılığın (susceptibility) varlığı ve bu duyarlılığın ölçümüyle yerleşim birimindeki duvarlar, gömülü yollar, girişler ve anıtlar gibi temeller belirlenebilir [22]. Yöntem arkeolojik alanlarda oldukça kullanılabilir olduğu halde şehirleşmiş alanlarda ferromanyetik materyallerin varlığından, şehrin ve barındırdığı yapıların manyetik gürültüsünden dolayı tercih edilmemektedir [4].

### 2.2.3. Elektromanyetik yöntem

Elektrik yöntemler içinde yer alan ve hem yapay hem de doğal kaynaklı olan bir diğer yöntem de elektromanyetik yöntemlerdir. Özellikle iletken yapıların araştırılmasında kullanılan yöntem, ilke olarak bir kablodan dalgalı akım (AC) geçirilmesi ile bu kabloya dik doğrultuda oluşan manyetik alan ( $H_p$ ) ve bunun yeraltında bir iletkeni etkilemesine dayanmaktadır. Oluşum ilkesi gereği, elektromanyetik yöntemler, yeraltındaki her türlü iletken yapıya karşı duyarlı olduğu için son 35 yıldır arkeojeofizikte yaygın olarak kullanılmaktadır.

Arkeolojik alanlarda elektromanyetik; genellikle yüzey toprağının kuru, sert ya da ortamın kayalık ve makilik olduğu yerler için kullanışlı bir yöntemdir. Elektromanyetik aramalar, özellikle yeniden dolan alanlarla (mezarlar gibi) tepecik kalıntılarının bulunmasında olağanüstü sonuçlar vermektedir. Bu yöntem, ana kaya üzerindeki toprak kalınlığını belirlemek için de kullanılabilir. Bu ölçümlerde çoğu kez yeryüzündeki materyallerin görünür iletkenlikleri (conductivity) ölçülür. Elektromanyetik yöntemin arkeolojik alanlara uyarlanmasında ilk yıllarda iki teknik denenmiştir. Bunlardan biri sürekli iletim sağlayan Slingram, diğeri de geçici elektromanyetik yöntemdir. Her iki teknik de metalik nesnelere etkin olarak saptamaktadır [22].

#### **2.2.4. Yer radarı yöntemi**

Yer radarı yöntemi bir verici anten yardımıyla yer içine gönderilen yüksek frekanslı elektromanyetik dalgaların yer altındaki farklı elektriksel özelliklere sahip yapılardan yansımaları alıcı anten tarafından kaydedilmesi ilkesine dayanır. Yeraltında her iki tarafı farklı dielektrik özellikte kayaçlardan oluşan bir ara yüzey varsa, elektromanyetik dalga bu ara yüzeyde yansıma ve iletme uğrayacaktır. Yüksek çözünürlüklü bir yöntem olan yer radarı yöntemi yer altının sığ kesimlerinin araştırılmasında en çok tercih edilen yöntemdir.

Yöntemde kullanılan verici antenin merkez frekansı 10 MHz ile 2.6 GHz arasında değişmektedir. Yeraltına gönderilen sinyal zamanın fonksiyonu olarak kaydedilir. Sığ derinliklerden yansımaları kaydedilen sinyaller “radargram” olarak adlandırılır.

Bir yer radarı çalışması kavram olarak sismik yansıma çalışması ile benzerdir. Sismik yansıma çalışmasında kullanılan kaynak yer radarında verici antene, jeofonlar ise alıcı antene karşılık gelmektedir. Genel olarak bu iki yöntem yayılan enerjinin türü bakımından birbirinden ayrılır. Sismik yöntemde yayılan akustik dalgaya karşılık yer radarı yönteminde elektromanyetik dalga yayılımı söz konusudur.

Yer radarı yönteminde elektromanyetik dalganın frekansına bağlı olarak yer altındaki cisimlerin derinlikleri ve geometrisi santimetre mertebesine kadar hassas bir şekilde

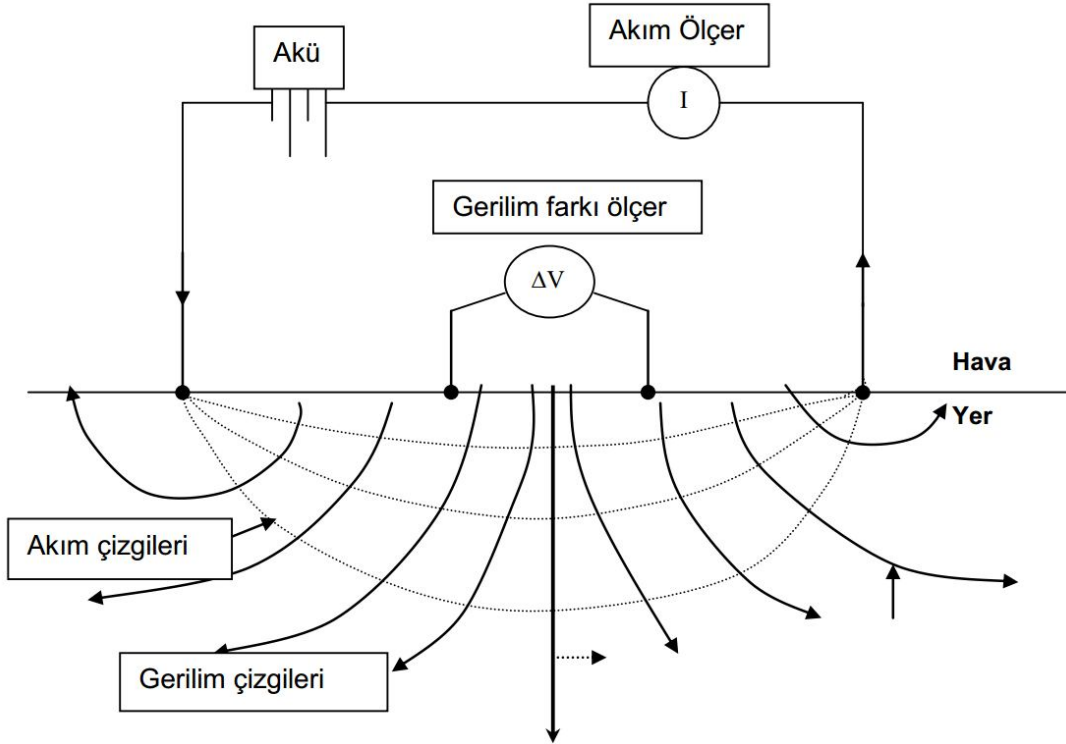
tespit edilebilir. Bu üstün özelliğinden dolayı yer radarı yöntemi son yıllarda sığ çalışmalarda en çok tercih edilen yöntemlerden birisi olmuştur [23].

### **2.2.5. Gravite yöntemi**

Bu yöntemin geleneksel uygulamalarında yeraltında bulunan kayaçların yoğunluk farklılığından yararlanarak yeraltı yapısını ortaya koymayı amaçlamaktadır. Eğer kayaçlar arasından bir yoğunluk ve şekil farklılığı var ise bunların yeryüzünde oluşturacağı anomali gravite ölçümlerinde bir belirti şeklinde ortaya çıkacaktır. Arkeolojik eserlerin boyut olarak çok küçük ve çok sığ olmaları, yoğunluk farkı olsa bile yeryüzünde oluşturacakları gravite alanının normal alan dağılımından çok az sapmasına neden olur. Bu nedenle gravite yönteminin arkeolojik alanlarda uygulanması sınırlıdır [24]. Bazı araştırmacılar Gravite yönteminin; sit alanı sınırları, yeraltı boşlukları, gömülü odaların ve tümülüslerin yer, boyut ve derinliklerinin araştırılmasında kullanılabileceğini belirtmişlerdir [25].

### BÖLÜM 3. ÖZDİRENÇ YÖNTEMİ

Elektrik öz direnç yöntemi iki elektrotla yere uygulanan akım ile farklı diğer iki elektrot arasındaki potansiyel farktan yararlanarak yerin derinlik öz direnç yapısının çıkarılmasıdır (Şekil 3.1). Elektriksel, elektroliz işlemiyle yeryüzü boyunca oluşan iletimdir ve toprak ile kayalarda bulunan gözeneklilik ile gözeneklerin içerdiği su oranına bağlı olarak değişim gösterir. Bu yöntemde amaç, yer içindeki yapıların yatay ve düşey yönde elektriğin iletim biçimlerini araştırmaktır. Kayalar; elektriği iletme yeteneğinin yanı sıra elektriğin iletimine karşı direnç gösterme özelliğine de sahiptir ve bu özelliğe de dirençlilik (resistive) adı verilir. Kayaç birimleri içerisinde gözenekliliği az ve sıkı olanlar oldukça zayıf ileticilerdir ve yüksek dirence sahiptirler [26]. Buna karşılık gözeneklilik miktarı arttıkça gözeneklerdeki sıvı oranına bağlı olarak iletkenlik artar ve direnç azalır.



Şekil 3.1. Öz direnç yönteminin uygulanması ve akım-gerilim çizgilerinin yer içindeki yayılımı [27]

Arkeolojik çalışmalarda aranılan yapı, içeriği ve yoğunluğu bakımından örtü biriminden farklı olduğundan bulunması kolaylaşır. Toprak ve kille karışmış yüksek öz dirence sahip taş ve kayaçların ayrımı önemlidir. İklimsel değişikliklerin de etkisiyle kayaç ya da sedimentin su içeriğindeki değişimler arkeolojik yapıların etkilerini örtebilir. Bu sebeple toprak öz direncindeki değişimlere neden oluşturabilecek koşulların bilinmesi ve göz önünde tutulması gerekmektedir.

### **3.1. Toprağın Elektriksel Özellikleri**

Toprağın akım iletimi elektrolitik bir olaydır ve içerikteki nem bu olayı etkiler. Toprak çeşitlerindeki direnci etkileyen faktörler şöyle açıklanabilir:

#### **3.1.1. Toprağın nem içeriği**

Arkeolojik çalışmalarda yeraltının sığ derinlikleri araştırıldığı için toprağın nem içeriği önemlidir. Genellikle arkeolojik yerleşim alanları akarsu yakınlarına kurulduklarından araştırma alanlarının yeraltı su seviyesi yüksektir. Bu konuda bölgenin yağış durumu da önemli bir faktördür. Uzun süre yağış almayan yerlerde yeraltı su seviyesi düşeceğinden öz direnç yüksek olacaktır. Ayrıca, uzun süre yağış almayan bir bölge yakın zaman içerisinde güçlü bir yağış almışsa, nem yüzeyde kalarak elektrotlara kısa devre yaptıracağından ölçüm sonuçlarını etkileyip yanlış sonuçlara varılmasına neden olabilir.

#### **3.1.2. Geçirgenlik (Permeabilite)**

Bir toprağın yüksek oranda nem içeriğine sahip olması, akımın çok iyi akması için yeterli değildir. Toprağın su tutabilmesi gözenekliliği ile doğru orantılıdır. Böylece, gözeneklilik ile geçirgenlik arasındaki ilişki yardımıyla akımın iletimindeki geçirgenliğin de önemli olduğu ortaya çıkmaktadır. Bununla beraber toprağın içindeki bitki kökleri ve toprak türü de geçirgenlik üzerinde etkilidir.



### 3.1.3. İyon içeriği

Toprakta çözünmüş durumda bulunan çeşitli tuzların elektrik iletimine etkisi büyüktür. Topraktaki iyon durumunu, jeolojik yapı, yağmur suyu, modern tarımsal gübreleme ve çeşitli kültürel işlemler etkiler.

### 3.1.4. Isı

Özdirenci etkileyen bir başka olay da, toprağın ısısındaki değişimlerdir. Bu konuda Hesse (1966) tarafından yapılan ayrıntılı bir çalışma özdirencin topraktaki ısı değişikliklerinden etkilendiğini ortaya koymuştur. Hesse, bu çalışmasında her 1°C'deki artışın özdirenç üzerinde yaklaşık % 2'lik bir azalmaya neden olduğunu göstermiştir [28].

## 3.2. Ölçümleri Etkileyen Faktörler

En sade anlatımıyla özdirenç yöntemi; iki farklı noktadan yere çakılan iki metal çubuk yoluyla yeraltına gönderilen elektrik akımının yeraltında oluşturduğu gerilimin diğer iki farklı noktaya çakılan iki metal çubuk yoluyla ölçme işlemidir. Bu ölçme işlemini etkileyen bazı faktörler vardır:

### 3.2.1. Değme gerilimleri

Ölçme esnasında elektrotlarla yer arasında, kimyasal özelliklere bağlı olarak, küçük oranlarda doğru akım gerilimleri ölçülür. Elektrot değişimleri sırasında değme gerilimleri arasında farklılıklar olacaktır. Tuzluluğun ve nemin yüksek değerlerde olduğu yerlerde bu farklar yapının etkisini örtebilir. Bu etkiyi ortadan kaldırmak için dalgalı bir akım kaynağı kullanılmasında fayda vardır.

### 3.2.2. Değme direnci

Arkeolojik alanların toprak örtüleri çoğunlukla bozulmuş yapıdadır. Taşlar, bitki kökleri, tarımsal uygulamalar gibi etkenler, bir noktadaki toprak ile elektrot

arasındaki direncin diğer bir noktadakinden farklı olmasına neden olabilir. Bu etkiyi gidermek için toprak sulanabilir ancak bu durumda da suyun derecesine bağlı olarak direnç değerlerinde farklılıklar olabilir.

### **3.2.3. Elektrot uğlaşması**

Ölçümlerde doğru akım kullanılması durumunda elektrotlar arasında elektrokimyasal uğlaşma olabilir ve bu da elektroliz benzeri bir olay yaratır. Bu durumda elektrotlar üzerinde zamanla yük birikmesi olur ve ölçülen direnç zamanla artar. Bu etkiden kurtulmak için alternatif akım kaynağı tercih edilmelidir.

### **3.2.4. Doğal akımlar**

Yer manyetik alanının geçici değişimlerine bağlı olarak indüklenmiş veya tellürik akımlar gibi doğal kaynaklı akımlar vardır. Bu tür akımlar çok geniş uzanıma sahip olabilirler ve dünyanın hemen her yerinde görünürler. Nadiren de olsa bunlar ölçümlerde aranılan yapının etkisini örtecek büyüklükte olabilir. Bu tür gürültülerin büyüklüğü, akım yoğunluğuna, yerin özdirencine, elektrotlar arası mesafeye ve elektrotların doğrultularına bağlıdır. Arkeolojik araştırmalarda, sığ derinlikler incelendiğinden elektrot aralıkları kısa tutulur ve bu sayede gürültüler de küçülür. Ancak tamamen yok edilmek istenirse yine dalgalı akım kullanmak yeterli olacaktır.

### **3.2.5. Yapay akımlar**

Araştırma sahasına yakın yerlerdeki elektrikli demiryolları, elektrik hatları, madenler ve insan yapısı çeşitli elektrik kaynakları yeryüzünde bir akıma neden olur ve kendiliğinden uğlaşmalar meydana gelir. Profil seçiminde bunlara dikkat etmek gerekmektedir. Ancak alternatif profil olasılığı yoksa dalgalı akım kullanmak faydalı olur.

### 3.3. Dizilim Çeşitleri

Özdirenç araştırmalarında araştırma alanı, hedeflenen araştırma derinliği, araştırmanın konusu gibi çeşitli değişkenler göz önünde tutularak, kullanılan elektrotlar birçok farklı biçimde dizilebilirler. Uzun süredir araştırmacılar yöntemin başarısını artırabilmek için değişik elektrot dizilimleri geliştirmişlerdir. Ölçülen alanın, homojen ve izotrop olduğu varsayılırsa, ortamın özdirenci Ohm Kanunu'ndan;

$$\rho = k(\Delta V/I) \quad (3.1)$$

olarak gösterilir. Burada,  $\rho$  (ohm.m) ortamın özdirenci,  $k$  (m) geometrik faktör,  $\Delta V$  (volt) potansiyel farkı,  $I$  (amper) akımı göstermektedir. Ancak yeryüzü homojen ve izotrop olmadığından yani yanal yönde ve düşey yönde düzensizlikler içerdiğinden potansiyel farkı karmaşık bir ortamın akıma karşı tepkisidir ve ölçülen özdirenç değeri de gerçek özdirenç olmaktan çıkar ( $\Delta V_a$ ) ve görünür özdirenç ( $\rho_a$ ) olarak adlandırılır. Bu durumda bağıntı;

$$\rho_a = k(\Delta V_a/I) \quad (3.2)$$

olarak yazılır. Bu bağıntı tüm dizilimler için geçerlidir. Elektrotların birbirlerine göre farklı yerleştirilmesinden kaynaklanacak fark,  $k$  sabitinin dizilime göre farklılık göstermesiyle aşılır. Özdirenç yönteminde sıklıkla kullanılan elektrot dizilimleri şunlardır:

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

### 3.3.1. Wenner elektrot dizilimi

Wenner elektrot dizilimine göre; 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 3.2). Bu dizilim çeşidinde  $k$  geometrik faktörü;

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

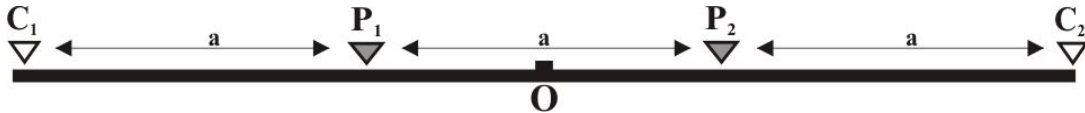
şeklinde yazılır. Elektrotlar arası uzaklık  $a$  olursa;

$$k = \frac{2}{\frac{1}{a} - \frac{1}{2a} - \frac{1}{2a} - \frac{1}{a}} = 2\pi a \quad (3.4)$$

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

$$\rho_a = 2\pi a (\Delta V_a / I) \quad (3.5)$$

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 ( $\alpha$ ) dizilimi,  $C_1 C_2 P_1 P_2$  düzeninde sıralanırsa, Beta ( $\beta$ ) dizilimi,  $C_1 P_1 C_2 P_2$  veya  $P_1 C_1 P_2 C_2$  düzeninde sıralanırsa, Gama ( $\gamma$ ) Dizilimi olarak adlandırılır.



Şekil 3.2. 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 özdirençteki 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 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]. 2-B özdirenç çalışmalarında elektrot aralığının artmasıyla dizilimin yatay data kaplama alanı azalmaktadır. Bu durum az sayıda elektrot kullanılan çalışmalarda sorun teşkil edebilmektedir [10]. Fakat Wenner diziliminin yatay data kapsamı (horizontal data coverage) dipol – dipol dizilimine göre daha zayıf olmasıyla beraber, bu elektrot dizilimiyle daha kısa sürede veri toplanabilmektedir.

### 3.3.2. Schlumberger elektrot dizilimi

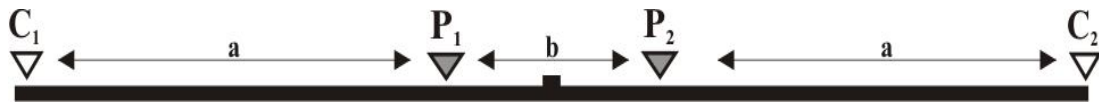
Schlumberger elektrot dizilimine göre; elektrotlar iki akım elektrotu ( $C_1$  ve  $C_2$ ) ve iki potansiyel elektrotu ( $P_1$  ve  $P_2$ ) olarak adlandırılırsa, elektrotlar bir doğru üzerinde  $C_1 P_1 P_2 C_2$  olmak üzere dizilir.  $C_1 P_1$  uzaklığı ( $a$ ) ve  $P_1 P_2$  uzaklığı ( $b$ ) olarak düşünülürse elektrotlar arası açıklık  $\frac{1}{5} \leq \frac{a}{b} \leq \frac{1}{20}$  şeklinde olmalıdır (Şekil 3.3). Bu sınırlama ise Schlumberger sisteminin sol tarafında Wenner, sağ tarafında ise gradyent sistemine yaklaşmaması için yapılmaktadır. Bu dizilim çeşidinde  $k$  geometrik faktörü;

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

olarak elde edilir. Bu durumda Schlumberger elektrot diziliminde görünür özdirenç;

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

olarak elde edilir.



Şekil 3.3. Schlumberger elektrot dizilimi

Schlumberger 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  $P_1 P_2$  potansiyel elektrotları orta noktasından  $(2a + b)/2$  aralığı kadar derinliğin özelliğini yansıtır [29].

### 3.3.3. 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 3.4).  $C_1 C_2$  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;

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

olur. Burada;

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

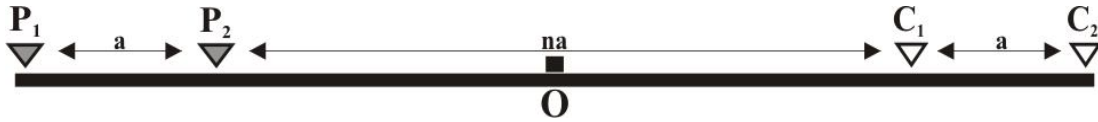
olup;

- 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,

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

şeklinde hesaplanır.



Şekil 3.4. Dipol – dipol elektrot dizilimi

Dipol-dipol dizilimi en fazla dipol çiftleri altındaki öz direnç değişikliklerine duyarlıdır. Dizilim öz dirençteki yanal değişimlere (dikey yapılar) duyarlı iken dikey değişimlere (yatay yapılar) nispeten duyarsızdır. Dipol-dipol diziliminin çözünürlüğü (görüntü ayrımlılığı) Wenner diziliminden daha yüksektir [31]. 2-B öz direnç çalışmalarında dizilimin yatay data kaplama alanı Wenner dizilimine göre daha iyidir. Bu durum az sayıda elektrot kullanılan çalışmalarda önemli bir avantajdır [10]. Araştırma derinliği “a” ve “n” değerlerine göre belirlenmektedir. Dipol – dipol diziliminde “n” değeri ilk seviyesinde iken araştırma derinliği Wenner’ e göre daha sığdır. “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].

### 3.3.4. Pol-pol elektrot dizilimi

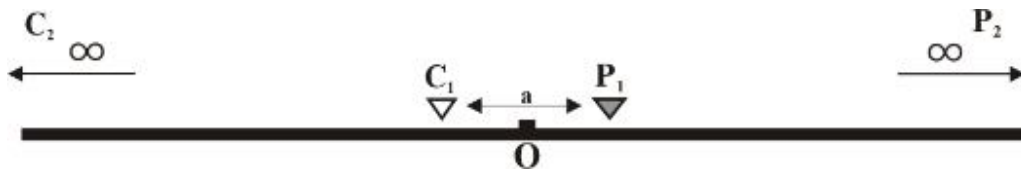
Simetrik bir dizilim olan pol-pol dizilimi aktif olarak bir akım ve bir potansiyel elektrotunun ölçümde kullanıldığı bir düzendir (Şekil 3.5). Bu durumda  $C_1$  ve  $P_1$  elektrotlarının orta noktası merkez olmak üzere bu iki elektrot simetrik olarak bir hat boyunca kaydırılarak ölçüm alınır. Elektrot 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  $\Delta V$  potansiyel farkı  $P_1$  noktasındaki potansiyele eşittir.  $C_1$   $P_1$  aralığına a denirse;

$$\Delta V_a = \frac{\rho_a I}{2\pi a} \quad (3.12)$$

olur ve bu durumda özdirenç;

$$\rho_a = 2\pi a \frac{\Delta V_a}{I} \quad (3.13)$$

şeklinde hesaplanır.



Şekil 3.5. Pol-pol elektrot dizilimi

Bu durumda hareketli iki elektrot ile ölçüm diğer dizilimlere göre daha kolay gerçekleştirilebilirken, sınırlı ve dar alanlarda diğer elektrot çiftinin yeterli uzağa atılabilmesi mümkün olmamaktadır. Dizilim anomali 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 data toplama kapsamına ve en derin araştırma derinliğine sahip iken aynı zamanda çözünürlüğü (görüntü ayrımlılığı) en zayıf



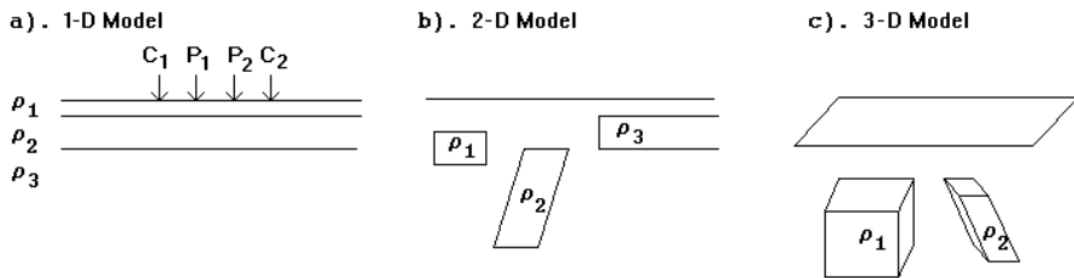
olan dizilimdir. Ayrıca iki potansiyel elektrotu arasındaki uzaklığın çok fazla olmasından dolayı yüksek miktarda tellürik gürültülere maruz kalarak ölçümlerin kalitesinin düşük olması da dizilimin diğer bir dezavantajıdır [20].

### 3.4. Özdirenç Yönteminde Veri Toplama

Yeryüzünden yapılan elektrik özdirenç çalışmaları araştırma problemine göre üç farklı şekilde uygulanabilmektedir [32]. Bunlar;

- Düşey Elektrik Sondaj (DES) çalışmaları,
- Profil ölçüsü veya haritalama,
- İki ve üç boyutlu görüntülendirmedir (elektrik özdirenç tomografisi).

Bu sayede yeraltı Şekil 3.6'da gösterildiği gibi 1, 2 ve 3 boyutta görüntülenebilmektedir

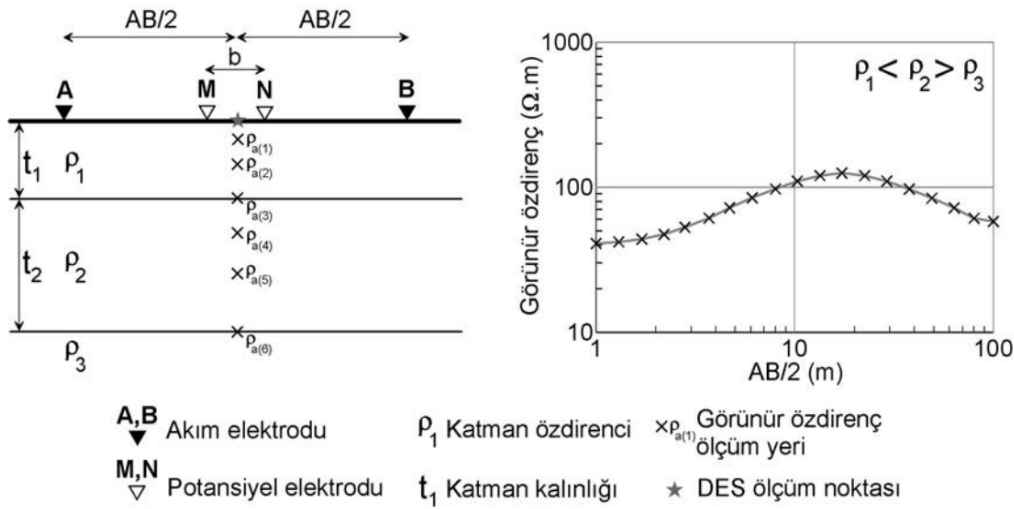


Şekil 3.6. a) Düşey elektrik sondaj, b) ve c) sırasıyla 2 ve 3 boyutlu özdirenç çalışmalarında yeraltının yorumlanması [30]

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, düzgün bir doğrultu boyunca serilen dört elektrotun, potansiyel elektrotlarının orta noktası simetri merkezi olmak üzere, iki tarafa doğru her ölçümden sonra belirli oranlarda açılmasıyla gerçekleştirilir. Bu şekilde, elektrotlar arası mesafe açıldıkça akımın yer içerisinde yayılacağı derinlik artar. Elektrotların her açılışında akım geçişine derinlikteki ek bir direnç katılımı ile karşı durulacağından, yüzeyde ölçülen gerilim özdirençin derinlikle değişimini

yansıtacaktır. Bu yöntem öz direncin derinliğe bağlı değişimini incelemek için yapılır. Bu öz direnç ölçü yöntemi, özellikle düşey süreksizliklerin yeri, derinliği ve kalınlıklarını saptamak için kullanılır.

DES ölçümleri log-log eksenli grafiklerde gösterilmektedir (Şekil 3.7). Bu öz direnç eğrilerinin abaklar ile nicel yorumlamaları mümkündür [33]. 1970'li yıllardan itibaren bilgisayarların ve lineer süzgeç kuramının gelişimi ile DES değerlendirmeleri için bilgisayar temelli yorumlama teknikleri ortaya çıkmıştır [34]. Bunu ise otomatik ters-çözüm teknikleri izlemiştir [35, 36, 37].

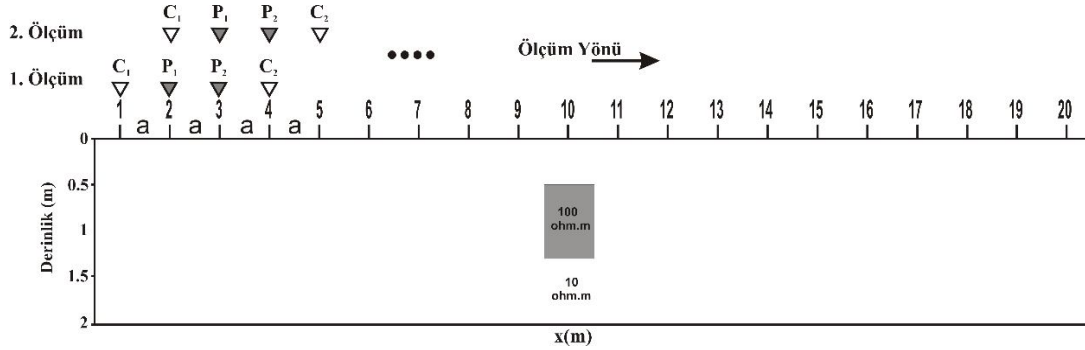


Şekil 3.7. Düşey elektrik sondaj (DES) için ölçüm sistemi, üç katmanlı yeraltı modeli ve görünür öz direnç eğrisi [32]

Belirli bir derinlik için öz direncin bir doğrultu boyunca değişimini inceleyen uygulama tekniğine Yatay Tarama, Yatay Öz direnç Çalışması ya da Yanal Dizilim Kaydırma Yöntemi denir. Yüzeiden verilen akımın indiği derinlik; dizilim türüne, verilen akımın genliğine, elektrot aralığına, yapıdaki öz direnç aralanmasına bağlı olduğundan, çalışma alanında ölçü alınan tüm doğrultular boyunca; dizilim türü, verilen akımın genliği, elektrot aralığı sabit olmalıdır [22].

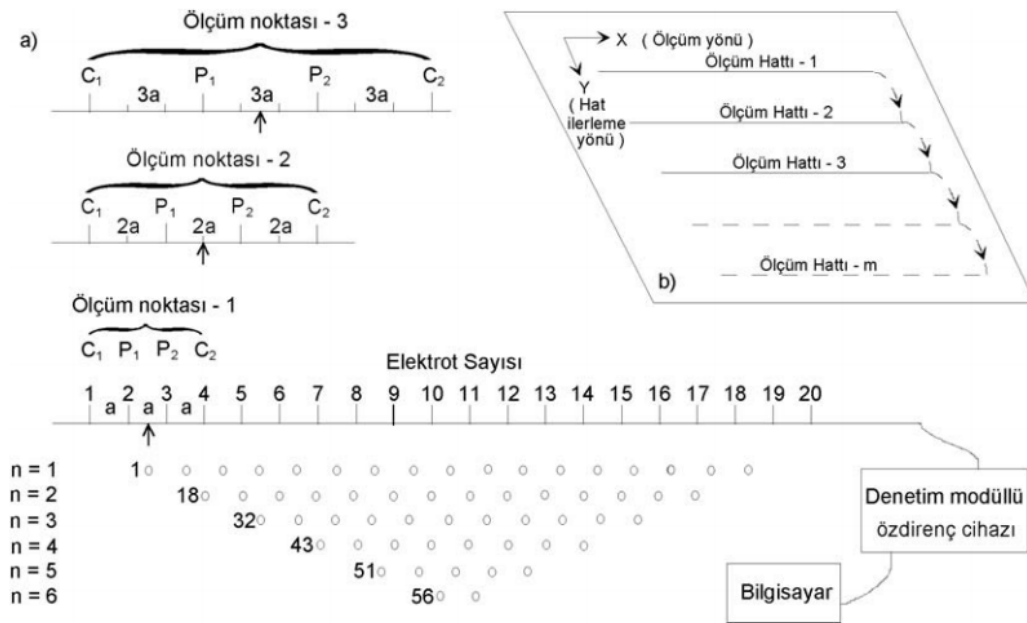
Bu ölçü tekniğinde aranılan yapının muhtemel uzanımına dik biçimde seçilen bir profil boyunca, belirlenen bir elektrot açıklığı için alınan her bir ölçüden sonra tüm elektrot seti  $\Delta x$  kadar kaydırılır (Şekil 3.8). Alınan ölçü potansiyel elektrotlarının orta noktasına atanır. Bu yöntem; öz direncin yanıl yönde değişimini incelemek

amacıyla uygulanır. Özellikle yanal süreksizliklerin incelenmesinde, konumunun, derinliğinin ve genişliğinin saptanması için kullanılır.



Şekil 3.8. Wenner dizilimi ile profil ölçümü planı

Özdirenç çalışmalarında zorluklardan birisi de yer altının homojen olmayışının elde edilen anomalilerin çok çözümlü olmasını ortaya çıkarmasıdır. Bu tür karmaşık olayların çözümünde tek boyutlu bir model yetersiz kalmaktadır. Bunun için 2 veya 3 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 yeraltı 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 3.9'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 3.9. a) iki-boyutlu öz direnç çalışması b) üç boyutlu öz direnç çalışması [38]

## **BÖLÜM 4. GENELLEŞTİRİLMİŞ TERS ÇÖZÜM VE ÇALIŞMADA KULLANILAN TERS ÇÖZÜM PROGRAMI**

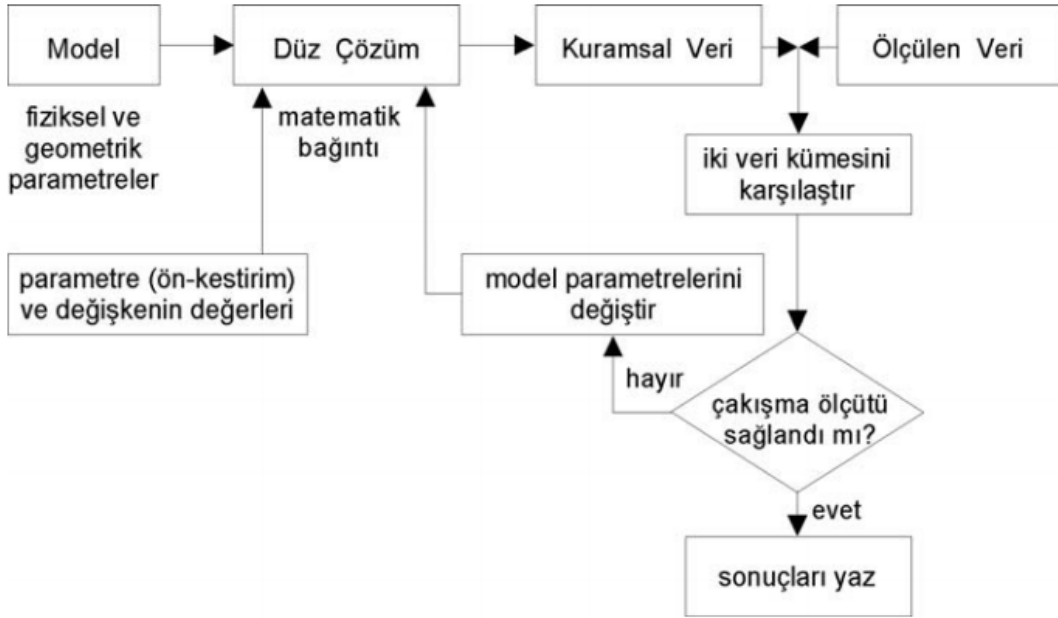
Bu bölümde ters çözüm işleminin genel kuramsal bilgileri ve bu çalışmada kullanılan paket programın çalışma ilkeleri hakkında [10, 32] numaralı kaynaklardan yararlanılarak bilgi verilmeye çalışılacaktır.

Jeofizik sorunların çözümünde temel amaç anomaliye neden olan kaynağı modellemeye çalışmaktır. Bu anomaliyi oluşturan kaynak, çalışılan bölgede yeraltında 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) aşılacaktır.

Jeofizik ters-çözümde, 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 bir model parametreleri seti için matematiksel ilişkilerden tanımlanmış modelden hesaplanabilen yapay veridir. Yani ters-çözüm içerisinde düz-çözüm kullanılmaktadır [38]. Res2D<sub>inv</sub> ve Res3D<sub>inv</sub> programlarında model parametreleri model hücrelerinin öz direnç değerleri iken veri ise görünür öz direnç değerlerinden oluşmaktadır.

Tüm ters-çözüm yöntemleri esasen yeraltı için yanıtın bazı kısıtlamalara tabi tutulduğu ve ölçülen veriye uygun bir modeli belirlemeye çalışır. Bu en uygun modelin elde edilmesinde en yaygın kullanılan yöntem bir başlangıç modelini, model yanıtı ile gözlenen veriler arasındaki fark en az olana kadar iteratif bir şekilde değiştirmektir (Şekil 4.1).

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



Şekil 4.1. Ters çözüm işlemi genel akış şeması [42]

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

$$y = (y_1, y_2, y_3, \dots, y_n)^T \quad (4.1)$$

Model yanıtı 'f' ise;

$$f = (f_1, f_2, f_3, \dots, f_n)^T \quad (4.2)$$

şeklinde yazılabilir. Özdirenç problemlerinde gözlenen veri ve model yanıtı için görünür özdirenç değerlerinin logaritmasının kullanılması genel bir kolaylıktır ve model değerlerinin logaritması model parametreleridir. N adet model parametre sayısından oluşan model parametreleri 'q' vektörü ile gösterilebilmektedir.

$$q = (q_1, q_2, q_3, \dots, q_n)^T \quad (4.3)$$

Gözlenen veri ve model yanıtı arasındaki fark, fark (discrepancy) vektörü 'e' ile aşağıdaki gibi tanımlanabilmektedir.

$$e = y - f \quad (4.4)$$

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.

$$E = g^T g = \sum_{i=1}^n g_i^2 \quad (4.5)$$

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

$$J^T J \Delta q_i = J^T g \quad (4.6)$$

Burada  $\Delta q$  model parametre değişim vektörü ve J ise n x m boyutlu kısmi türevlerden oluşan elemanları aşağıdaki gibi verilen Jakobyen matrisidir.

$$J_{ij} = \frac{\partial f_i}{\partial q_j} \quad (4.7)$$

Jakobyen matris gösteriminin anlamı, i. model yanıtındaki değişime karşılık j. model parametresindeki değişiktir. Parametre değişim vektörünün hesabından sonra yeni model;

$$q_{k+1} = q_k + \Delta q_k \quad (4.8)$$

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 olabilmekte ve böylece en küçük kareler denkleminin  $\Delta p$  için bir çözümü bulunamamaktadır. Bir başka sorun, 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.

$$(J^T J + \lambda I) \Delta q_k = J^T g \quad (4.9)$$

Burada  $I$ , birim matris,  $\lambda$  ise Marquart veya sönüm (damping) faktörü olarak bilinir ve ayrıca bu yöntem Ridge Regression (Inman 1975) olarak da adlandırılmaktadır. Sönüm faktörü,  $\Delta p$  parametre değişim vektörü bileşenlerinin değerlerini efektif olarak sınırlandırır. (4.6) denklemindeki Gauss-Newton yöntemi, fark vektörünün kareler toplamını minimize etmeye çalışırken, Marquart-Levenberg metodu modifikasyonu ise fark vektörünün magnitudünün bir kombinasyonunu ve parametre değişim vektörünü minimize eder. Bu yöntem, özdirenç sondajı yönteminde modelin küçük sayıda katman içerdiği durumda ters-çözümde başarılı olarak kullanılmaktadır.

Bununla birlikte iki- ve üç-boyutlu ters-çözüm modellerinde olduğu gibi çok sayıda küçük hücrenin olması gibi model parametrelerinin sayısı çok olduğunda, model bu yöntem ile yüksek veya düşük sahte özdirenç zonları ile kararsız bir özdirenç dağılımına sahip olabilir [44]. Bu problemin üstesinden gelebilmek için, Gauss-Newton en küçük kareler denkleminde model parametrelerindeki uzaysal değişimi minimize eden bir başka modifikasyon yapılır (örneğin model özdirenç değerleri yumuşak veya aşamalı bir yolla değiştiren). Bu düzgünlük-kısıtlı (smoothness-constrained) en küçük kareler metodu [45, 46] olarak aşağıdaki şekilde verilir;

$$(J^T J + \lambda F) \Delta q_k = J^T g - \lambda F q_k \quad (4.10)$$

Burada  $F$ ,

$$F = \alpha_x C_x^T C_x + \alpha_y C_y^T C_y + \alpha_z C_z^T C_z \quad (4.11)$$



ile tanımlanır ve  $C_x$ ,  $C_y$  ve  $C_z$ ;  $x$ ,  $y$  ve  $z$  yönlerindeki düzgünleştirme (smoothing) matrisleridir.  $\alpha_x$ ,  $\alpha_y$  ve  $\alpha_z$  yine  $x$ ,  $y$  ve  $z$  yönlerindeki düzgünlük süzgeçlerini veren göreceli ağırlıklandırmalardır.

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

$$C = \begin{bmatrix} -1 & 1 & 0 & 0 & \cdot & \cdot & \cdot & 0 \\ 0 & -1 & 1 & 0 & \cdot & \cdot & \cdot & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 1 & \cdot & \cdot & \cdot & 0 \\ \cdot & & & \cdot & & & & \cdot \\ \cdot & & & & \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & & & \cdot & & \cdot \\ \cdot & & & & & & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & 0 \end{bmatrix} \quad (4.12)$$

(4.10) denklemi aynı zamanda model özdirenç değerlerinin uzaysal değişimlerinin veya pürüzlülüğün (roughness) karesini minimize etmeye çalışır. Bu bir  $L_2$  normu düzgünlük-kısıtlı (smoothness-constrained) en iyileştirme yöntemidir. Bu denklem, özdirenç değişimlerinin düzgün değişimi ile bir model üretme eğilimindedir. Bu yaklaşım, eğer gerçek yeraltı özdirenci yumuşak ya da aşamalı değişiyorsa kabul edilebilir. Bazı durumlarda, yeraltı 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  $L_1$  normu veya daha bilinen şekliyle bloklu (robust) ters-çözüm metodu olarak tanımlanır. Başka tekniklerde modifikasyon için kullanılabilir. Bunlardan biri Wolke ve Schwetlick [49] tarafından verilen standart  $L_1$  normu en küçük kareler formülasyonunu kullanan yinelemeli tekrar ağırlıklandırılmış en küçük kareler metodudur. Bu en iyileştirme denklemi ise (4.10) denkleminin modifikasyonu ile aşağıdaki gibi verilir.

$$(J^T J + \lambda F_R) \Delta q_k = J^T R_d g - \lambda F_R q_k \quad (4.13)$$

$$F_R = \alpha_x C_x^T R_m C_x + \alpha_y C_y^T R_m C_y + \alpha_z C_z^T R_m C_z \quad (4.14)$$

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

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

$$\text{RMS} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left( \frac{g_i^{\text{göz}} - g_i^{\text{hes}}}{\sigma_i} \right)^2} \quad (4.15)$$

bağıntısıyla hesaplanır [50]. Burada N veri sayısı,  $\sigma_i$  i'nci veriye ait standart sapma,  $g_i^{\text{göz}}$  ve  $g_i^{\text{hes}}$  sırasıyla gözlenen ve hesaplanan anomali değerlerini göstermektedir.

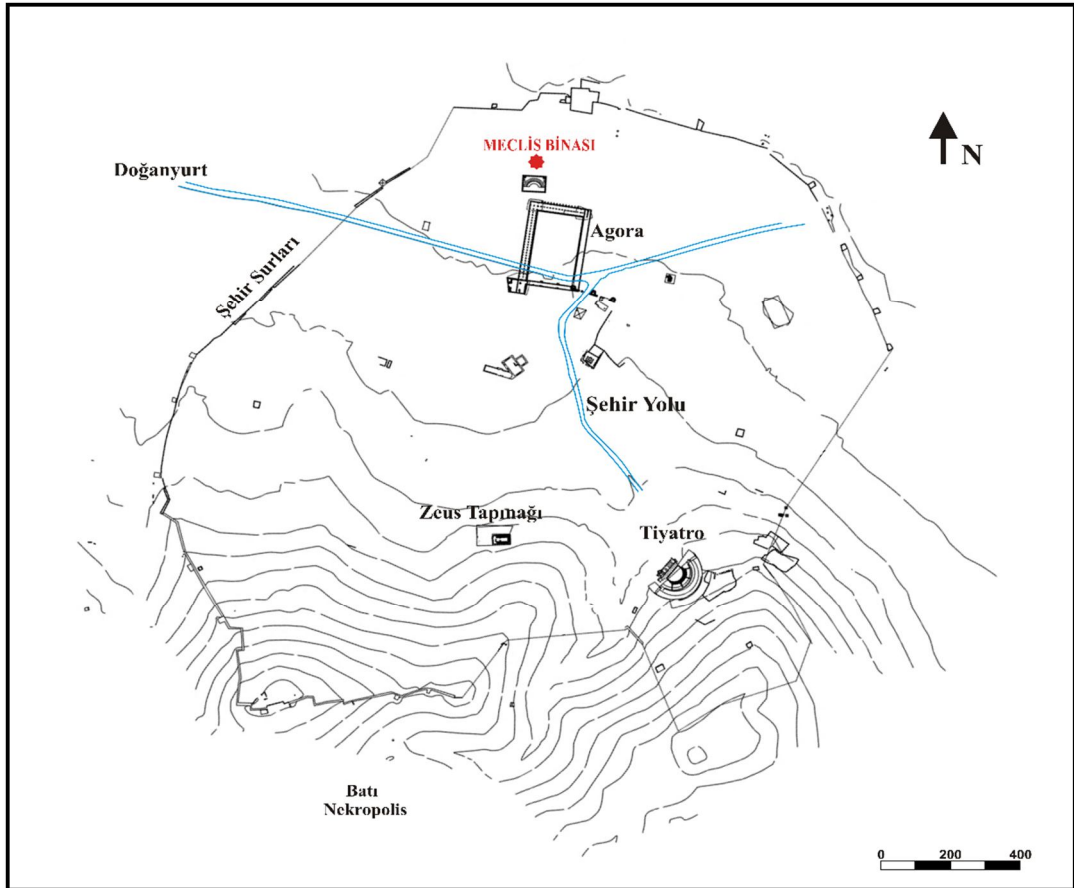
Ters çözüm işleminin genel hatları bu bölümde verilmiştir. Bu çalışmada ters çözüm işlemi RES2DINV ve RESDIN3V programları ile yapılarak yer altı kesitleri oluşturulmuştur. Bu programlar araştırmalar için kullanılan Wenner, pole-pole, dipole-dipole, pole-dipole, Wenner-Schlumberger dizilimleri kullanılır.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

Program hem sonlu farklar hem de sonlu elemanlar metoduyla görünür öz direnç değerlerinin hesaplanmasına olanak sağlar. Varsayılanına göre eğer topoğrafya yoksa sonlu farklar metodu kullanılır. Topoğrafya içeriyorsa varsayılan seçim sonlu elemanlar metodudur. 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 5. ALABANDA MECLİS BİNASI

Alabanda, Aydın iline bağlı Çine ilçesinin yaklaşık olarak 7 km. batısında yer alan, eski adıyla Araphisar, yeni adıyla Doğanıurt Köyü'nün bulunduğu yerde konumlanmıştır. Gökbel Dağı'nın kuzeyindeki tepelerin eteklerinde kurulan ve bereketli Çine Ovası'na hakim bir nokta yer alan Alabanda Kenti M.Ö. 4 - 12. Yüzyıllara ait olduğu düşünölen önemli bir Karia yerleşimidir [51, 52]. Apollon Tapınağı, Agora, Tiyatro, Zeus Tapınağı, Kent Surları, Bouleuterion, Roma Hamamları, Anıt Mezarlar antik kentte görölebilen başlıca kalıntılardır (Şekil 5.1).



Şekil 5.1. Alabanda şehir planı

Antik Çağda, kent vatandaşları (boule) tarafından seçilen temsilcilerin kamu işlerini görüşmek ve karara bağlamak için toplandıkları yere Bouleuterion (Meclis Binası) adı verilmektedir. Hemen hemen her antik kentte bulunan Bouleuterionlar, içerisinde konuşma kürsüsü, sahne ve oturma sıraları bulunan üzeri kapalı yapılardır ve bu binalar genellikle dörtgen bir plana sahiptir [53].

Alabanda'daki diğer kalıntılara göre oldukça iyi durumda olan Bouleuterion kentteki önemli yapılardan biridir [54]. Geç Hellenistik Dönem'e ait olduğu düşünülen bu yapı, Agoranın kuzey batısında yer almaktadır. Bouleuterion'un güney ve kuzey duvarları büyük ölçüde, doğu ve batı duvarları da kısmen ayakta olup günümüze kadar varlığını korumuştur (Şekil 5.2). Bu duvarların arasında kalan ve meclisin içyapılarını oluşturan sahne yapısı, kavea yapısı, koridorlar ve girişler ise tamamen gömülü haldedir. Bina yaklaşık olarak 36m x 25m ölçülerinde kareye yakın dikdörtgen planlıdır. Meclis binasının içinde gömülü olduğu düşünülen yapılar günümüze kadar mimari açıdan ele alınıp incelenmemiştir.



Şekil 5.2. Meclis Binası'nın değişik cephelerden görüntüleri

36 m genişliğinde, 25 m derinliğinde dörtgen planlı yapının içerisinde, güney cephede sahne ve konuşma platformuna, diğer cepheler ise meclis üyelerinin kürsüdeki konuşmacıyı rahat görebilmeleri için yarım daire şeklinde düzenlenmiş kaveaya sahip olduğu düşünülmektedir. Meclis binasının yapıtaşları yörenin jeolojik birimi olan gnays (slayt) olup duvarları iki sıra kalın blok arasına bir sıra ince blok gelecek şekilde inşa edilmiştir. Yapının doğu ve batı kısa kenarlarında, oturma sıralarına ulaşımı sağlayan girişler olmalıdır. Fakat bunlar toprak altında olduğu için görülmemektedir. Güneye bakan ve 9.14 m yüksekliği korunmuş olan ön duvarda ise toprak altında kalmış 4 kapı olabileceği söylenmektedir [54]. Bunların üzerinde çıkıntılı kornişler ve bir sıra pencereler yer almaktadır. Binanın dış cephesinde dört duvar üzerinde de yatay sıralar halinde dörtgen delikler vardır; Bu dış cephedeki delikler binaya bitişik ilave ön salonların varlığına ve yapının Latmos Herakleiası'nda olduğu gibi iki katlı olabileceğine işaret etmektedir. R. Marchese'e göre [55], yapının benzeri Miletos Bouleuterionu'dur (Şekil 5.3).



Şekil 5.3. Miletus Antik Kenti Meclis Binası

## **BÖLÜM 6. YÖNTEMİN ARAZİDE UYGULANMASI VE VERİLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ**

### **6.1. Özdirenç Araştırmalarının Planlanması Ve Saha Düzeni**

Özdirenç yöntemi sığ derinliği görüntülemeye en sık kullanılan jeofizik yöntemlerden biridir. Arkeojeofizik çalışmalarda hedef yapıyı kuşatan malzemenin su muhtevası veya civarda bulunan ıslaklık, aranan yapıların meydana geldiği kayaç türü, bulundurduğu mineraller, alan çevresindeki gürültüler, örtülü olan toprak altındaki yabancı maddeler vs. özdirenci doğrudan etkilemektedir. Bu sebeple arkeojeofizik çalışmaların planlanmasında birçok etkeni göz önüne almak gerekir.

Arkeolojik amaçlı bir özdirenç çalışmasına başlamadan önce alanın jeolojik, jeomorfolojik ve arkeolojik özelliklerinin tanımlanması gereklidir. Ölçülecek alanın toprak dağılımının fiziksel ve kimyasal özellikleri önceden belirlenmelidir. Bu amaçla; alanın toprak dağılımının fiziksel özelliklerini belirlemek ve toprak direncindeki değişimlerin saptanması için, alanın değişik yerlerden seçilecek hatlar üzerinde ölçümler yapmak gerekir. Alandaki toprak özdirencinin saptanmasından sonra ölçülecek alanlar belirlenebilir. Belirlenen bu alanlar üzerinde öncelikle alanın dıştan görünüşü ile ilgili tüm özellikler not edilir ve bu özelliklere uygun bir başlangıç profili seçilerek uygulanması düşünülen dizilimler saptanır. Başlangıç profili üzerinde uygulanan farklı dizilimlerin sonuçları karşılaştırılarak, alanda uygulanacak ana dizilimler ortaya çıkarılır [22].

Elektrik yöntemin amacı yüzeyde belli elektrot dizilimleri (dipole-dipole, wenner vb.) kullanarak ölçümler yapıp yeraltı özdirenç dağılımını belirlemektir. Bu ölçümlerden elde edilen rezistivite verilerinden genellikle ilk olarak 2D yapma-kesit (pseudo-section) haritaları çizdirilir. Bu haritalar ise yer altı gerçek elektrik özdirenç değerlerinin bir temsilidir ve özdirenç dağılımıyla elektrot diziliminin bir

fonsiyonudur. Nihai sonuçlar için ihtiyaç duyulan yeraltı gerçek özdirenci 2D ve 3D ters çözüm işlemleriyle elde edilebilmektedir. 3D ters çözüm işlemi sonucunda elde edilen veriler, yeraltında gömülü olan yapının derinliği, şekli ve konumu hakkındaki parametrelerin belirlenmesinde oldukça yararlı olmaktadır.

Arkeolojik amaçlı kullanılan elektrik özdirenç yönteminde en sık kullanılan ters çözüm yöntemleri bloklu (robust- $L_1$  norm) ve düzgünlük kısıtlı en küçük kareler (smoothness-constrained least-squared) yöntemleridir [9, 12, 13, 14, 56].

Düzgünlük kısıtlı en küçük kareler yöntemi (smoothness-constrained least-squared method) model özdirenç değerlerinin uzaysal değişimlerinin veya pürüzlülüğün (roughness) karesini minimize etmeye çalışır. Bu metod köşeli olmayan ve düzgün dağılım gösteren gömülü yapılarda en uygun sonuçları vermektedir. Arkeolojik çalışmalarda sıklıkla karşılaşılan düzgün dağılımlı olmayan ve köşeli bir şekle sahip yapılarda ise yapı sınırları tam olarak belirlenemeyip bu yapılara ait resistivite değerlerinde büyük artışlar veya azalmalar görülmektedir. Böyle durumlar için bloklu (robust ya da  $L_1$  normu) ters çözüm yöntemi daha yararlı olmaktadır. Çünkü robust ters çözüm metodu keskin ve köşeli sınırlara sahip olan yapılarda düzgünlük kısıtlı en küçük kareler ters çözüm yöntemine göre daha uygun sonuçlar üretme eğilimindedir [11, 30, 31].  $L_1$  normu ters çözüm yöntemi model özdirenç değerlerindeki mutlak değişimleri minimize etmektedir [48].

Gömülü arkeolojik yapıları arama amacıyla 2-B ve 3-B çalışmalarda en sık kullanılan elektrot dizilimi çeşitleri wenner ve dipol-dipol dizilimleridir. Özdirenç çalışmalarında bu dizilimlerin seçimi, istenilen amaca yönelik olarak; araştırma derinliği, elektrot diziliminin yatay veya düşey yapılara olan duyarlılığı, yatay data kapsamı, sinyal gücü gibi bazı etkenleri göz önünde bulundurarak yapılmalıdır. Bunlara ilişkin bilgiler, Bölüm 3'te verilmiştir.

Elektrik özdirenç ölçümleri, doğu- batı uzanımlı ve her birisinin arası 1 m olacak şekilde yerleştirilmiş 16 paralel profil boyunca ARES GF çoklu elektrot sistemiyle 2012 yazında tamamlanmıştır. Profil sayısının 16 ile kısıtlı kalmasına Şekil 6.1'de görüldüğü gibi meclis binasının kuzey duvarından kopan yapı parçaları neden

olmuştur. Meclis binası içindeki kavea ve diğer yapılardaki küçük değişimler göz önünde bulundurularak elektrotlar arası mesafe 1 m olarak seçilmiştir.



Şekil 6.1. Ölçü noktaları için gridlenmiş çalışma alanı

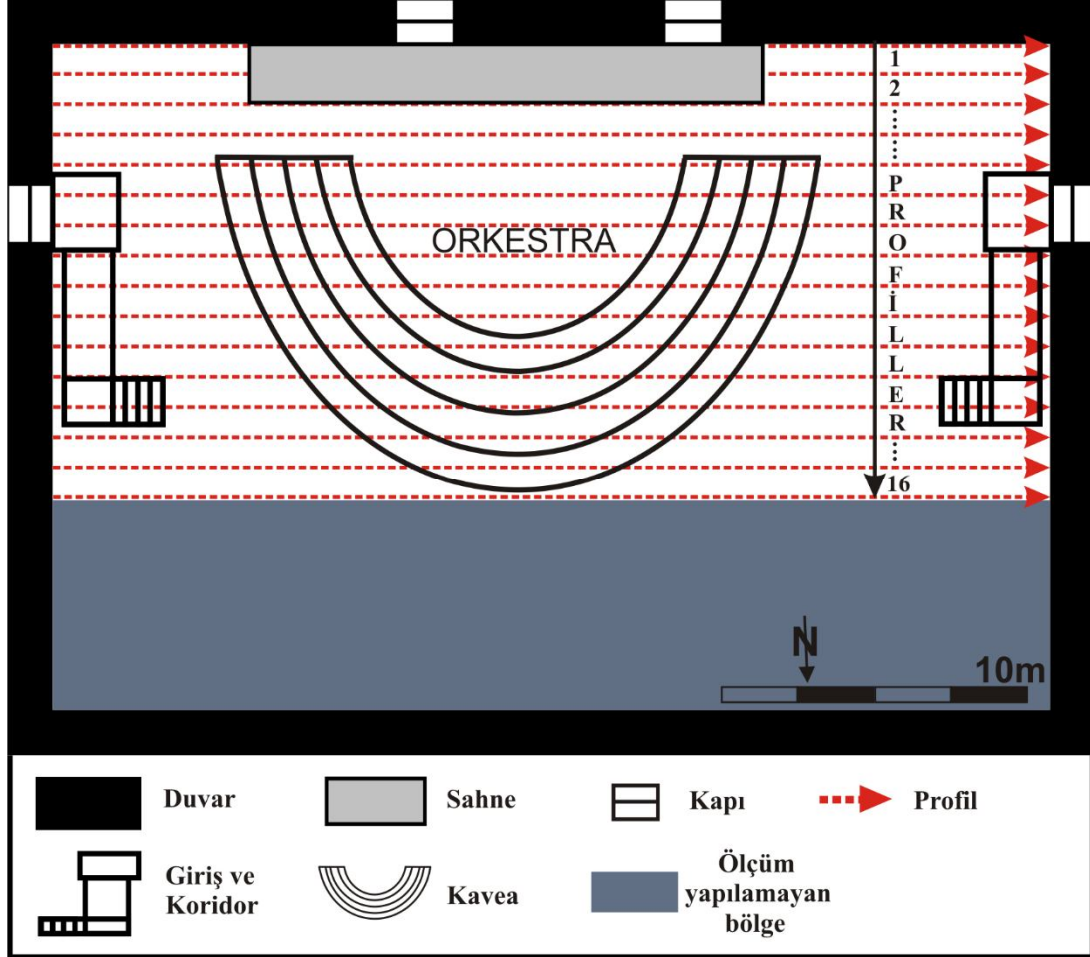
Şekil 6.1’de beyaz çizgiler profil sayısı göstermekte olup 13 adettir. Bu profillerden elde edilen verilerden oluşturulan kesitlere bakıldığında ek profiller oluşturulması gerektiği görülmüştür. 1 profil meclis binasının ön cephe duvarının dibine (güney duvarı) ve 2 profil de profillerin kuzeyine eklenerek profil sayısı 16’ya çıkartılmıştır (Şekil 6.2).

Gerek gömülü olan gerekse yüzeydeki dağınık yapı taşlarını oluşturduğu gürültü sebebiyle aynı profiller üzerinde dipol-dipol ve wenner elektrot dizilimleri kullanılarak ölçümler alınmıştır. Bu sayede meclis binası içinde bulunan geometrileri yatay ve dikey olmak üzere farklılık gösteren sahne, kapı ve kavea gibi yapıların, her iki dizilimin güçlü yönlerinden faydalanılarak sağlıklı bir şekilde belirlenmesi amaçlanmıştır.

Her iki dizilim için arazide toplanan 2-B veriler robust ters çözüm metodu kullanılarak Res2dinv programı yardımıyla değerlendirilmiştir. Sonuçlar genellikle 5 – 7 iterasyon sonunda elde edilmiştir. Mutlak hata (ABS error) değerlerinin yüzdesi %1.77 – 3.60’ı aşmamıştır. Ayrıca 2-B datalar Res2dinv programıyla birleştirilerek 3-B datalar elde edilmiş ve bu dataların da ters çözümü robust ters çözüm algoritması kullanılarak Res3dinv programıyla yapılmıştır. 3-B resistivite ters çözüm sonuçları



6 iterasyonun ardından elde edilmiştir. Mutlak hata (ABS error) değerlerinin yüzdesi %4.81'i aşmamıştır.



Şekil 6.2. Elde edilen bulgulara göre çizilen Meclis Binasi ve içindeki yapıların krokisi

## 6.2. Özdirenç Verilerinin Değerlendirilmesi

Şekil 6.1 ve 6.2'de görülen profiller üzerindeki ölçümlerden elde edilen veriler RES2DINV ve RES3DINV programı yardımıyla değerlendirilerek Şekil 6.3, 6.4'te yer alan derinlik kesitleri ve Şekil 6.5'te yer alan 2B düşey kesitler elde edilmiştir.

Şekil 6.3 ve 6.4'te görülen derinlik kesitlerinde x eksenini profil boyunu (30 m), y eksenini ise profil sayısını (16) göstermektedir. Kesitler, dipol-dipol dizilimi için 0 – 0.35 m, 0.35 – 0.75 m, 0.75 – 1.22 m, 1.22 – 1.75 m, 1.75 – 2.36 m, 2.36 – 3.06 m, 3.06 – 3.87 m, 3.87 – 4.80 m derinliklere ve wenner dizilimi için 0 – 0.50 m,

0.50 – 1.08 m, 1.08 – 1.74 m, 1.74 – 2.50 m, 2.50 – 3.37 m, 3.37 – 4.38 m derinliklere aittir.

Bu kesitlere bakıldığında elektrik özdirenç değerleri min: 2 ohm.m, max: 1282 ohm.m arasında değişmektedir. Arkeolojik yapı kalıntılarını örten alüvyon zeminin özdirenci 2 – 322 ohm.m arasında değişmekte olduğu da görülmektedir. Derinlik kesitlerinde A, C1, C2, E1, E2 ve F olarak isimlendirilen alanlar ise özdirenç değerleri alüvyon zeminden daha yüksek özdirenç sahip olan kısımları temsil etmektedir (Şekil 6.3 ve 6.4).

RES3DIN3V programı ile oluşturulan dipol-dipol dizilimine ait 0 – 0.75 m derinlik kesitinde B olarak isimlendirilen alan alüvyonla örtülü olup Meclis Binası'nın orkestra kısmını temsil etmektedir. Bu alan içinde özdirenci alüvyon zeminden yüksek olan işaretli alanlar meclis binasını çevreleyen duvarlardan ve kavea bölümünden kopan yapıtaşlarıdır. Ana yapıdan kopan bu yapıtaşları 0.75 – 1.22 m derinlik kesitinde ve diğer derinliklerde görülmemektedir. Özdirenci B alanından yüksek diğer alanlar ise ana yapıya ait birimlerdir (Şekil 6.3).

1.22 – 1.75 m ait kesitte A, B, C1, C2, E ve F olarak isimlendirilen alanlar meclis binasının içindeki ana yapıları temsil etmektedir. Bunlardan E ve F olarak isimlendirilen alanlar kavea yapısını, özdirenç değeri E ve F'ye göre daha düşük olan A, C1 ve C2 alanları ise kaveaların altında yer alan koridorun üst kısmını temsil etmektedir. Bu derinliğin altındaki kesitte (1.75 – 2.36 m) A, C1 ve C2 koridorları gözükmemektedir. C1 ve C2 alanları, C olarak isimlendirilen alana dönüşmüştür. Bu alanlar kaveanın altında bulunan koridorları göstermekte olup özdirenç değerinin B alanının özdirenç değerine düşmektedir. Bu da koridorun alüvyon ile dolu olduğunu göstermektedir. 1.22 – 1.75 m derinliğe ait kesitte E olarak isimlendirilen alan ise, bu kesitte (1.75 – 2.36 m derinliğe ait) E1 ve E2 olmak üzere iki kısma ayrılmıştır. E1 ve E2'yi birbirinden ayıran bu alan, A ve B alanları arasındaki geçişi sağlayan bölümü temsil etmektedir.

2.36–3.06 m ye ait kesitte bir önceki kesitteki yapıların devam ettiği görülmektedir.

3.36–3.87 m ve 3.87 – 4. 80 m derinliklerine ait kesitlerde G olarak isimlendirilen alan kavea yapısının temelini temsil etmektedir. Bu derinliklerde G kavea temel yapısının yanında B orkestra bölümü ve A, C geçit alanları görülmektedir.

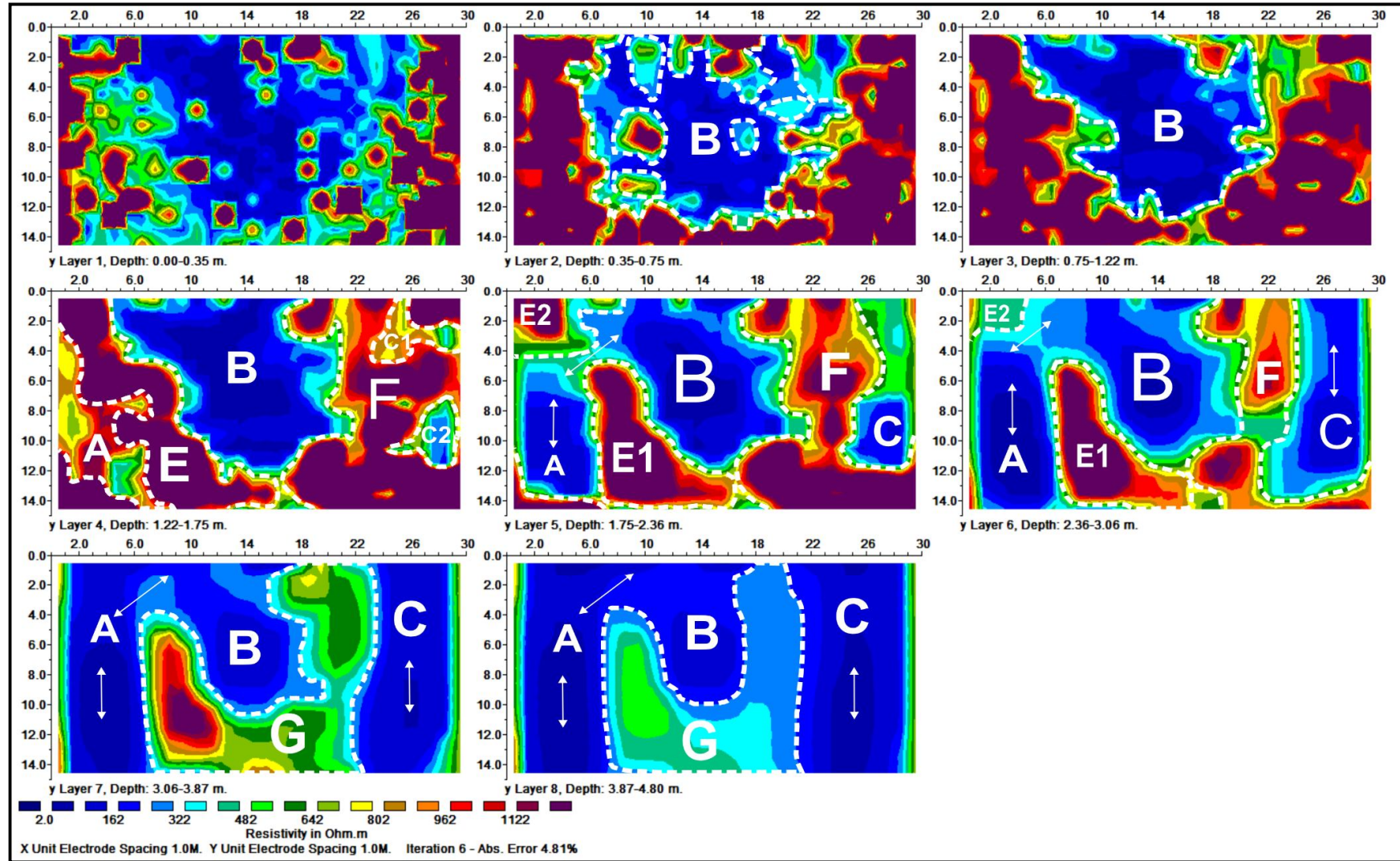
RES3DIN3V programı ile oluşturulan Wenner dizilimine ait derinlik kesitlerine bakıldığında meclis binasına ait kavea yapısı, orkestra bölümü ve sahne görülebilmektedir. Elektrik öz direnci diğer alanlardan daha düşük olan alan orkestra bölümü olup, dipol- dipol diziliminde olduğu gibi B olarak isimlendirilmiştir. Elektrik öz direnci B alanından daha yüksek olan alanlar sahne (S alanı) ve kaveayı temsil etmektedir (Şekil 6.4).

0 – 0.50 m derinliğe ait kesitte Meclis Binası'nı çevreleyen duvardan ve kavea yapısından kopan yapı taşları ve ayrıca kabaca orkestra alanı da gözükmemektedir. Meclis binasının sahne girişleri 0.5 – 2.5 m derinlikler arasındaki kesitlerde, doğu ve batıda yer alan seyirci ön girişleri 1.0 – 2.5 m derinlikler arasındaki kesitlerde görülmekte olup ok işaretiyle gösterilmiştir.

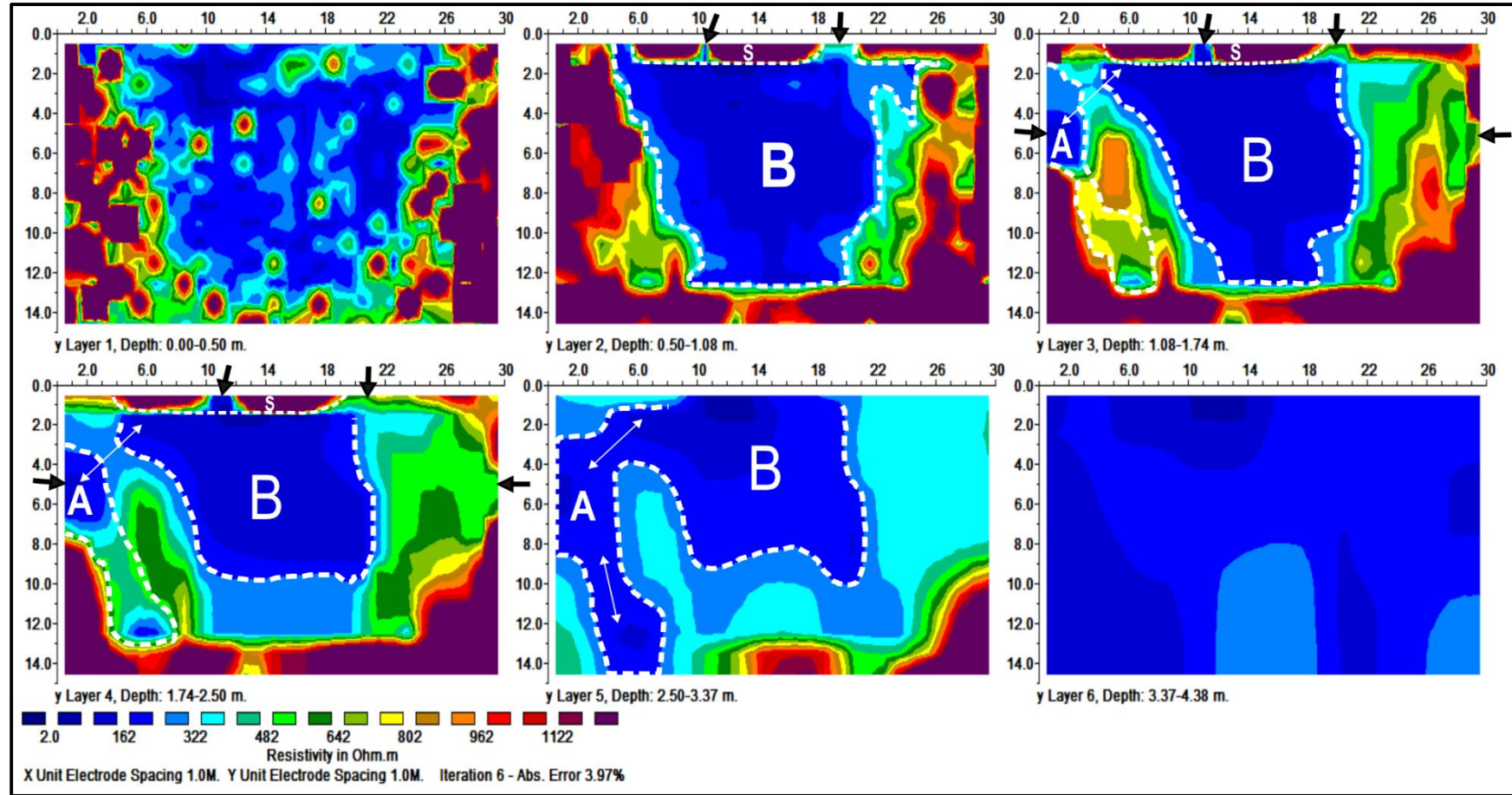
1.08 – 3.37 m derinlik kesitinde A olarak isimlendirilen alan dipol- dipol diziliminde olduğu gibi kaveanın altındaki koridoru temsil etmektedir. Bu derinlikler arasında doğu seyirci kapısından A ve B alanına olan geçişi sağlayan bölüm görülmektedir. 2.50 – 3.37 m derinlikte ise A ile B arasındaki geçiş oldukça net olarak gözükmemektedir.

Şekil 6.5'te görüldüğü gibi 1, 8, 9 ve 10. profillerden elde edilen Wenner ve Dipol-dipol düşey kesitleri görülmektedir. 1. Profile ait her iki dizilimden elde edilen düşey kesitlere bakıldığında sahne yapısı ve girişlerin dipol-dipol dizilimine göre wenner diziliminde daha net belirlendiği görülmektedir. Bunun nedeni ise wenner dizilimi yatay yapıların belirlenmesinde dipol-dipol dizilimine göre daha başarılı olmasıdır.

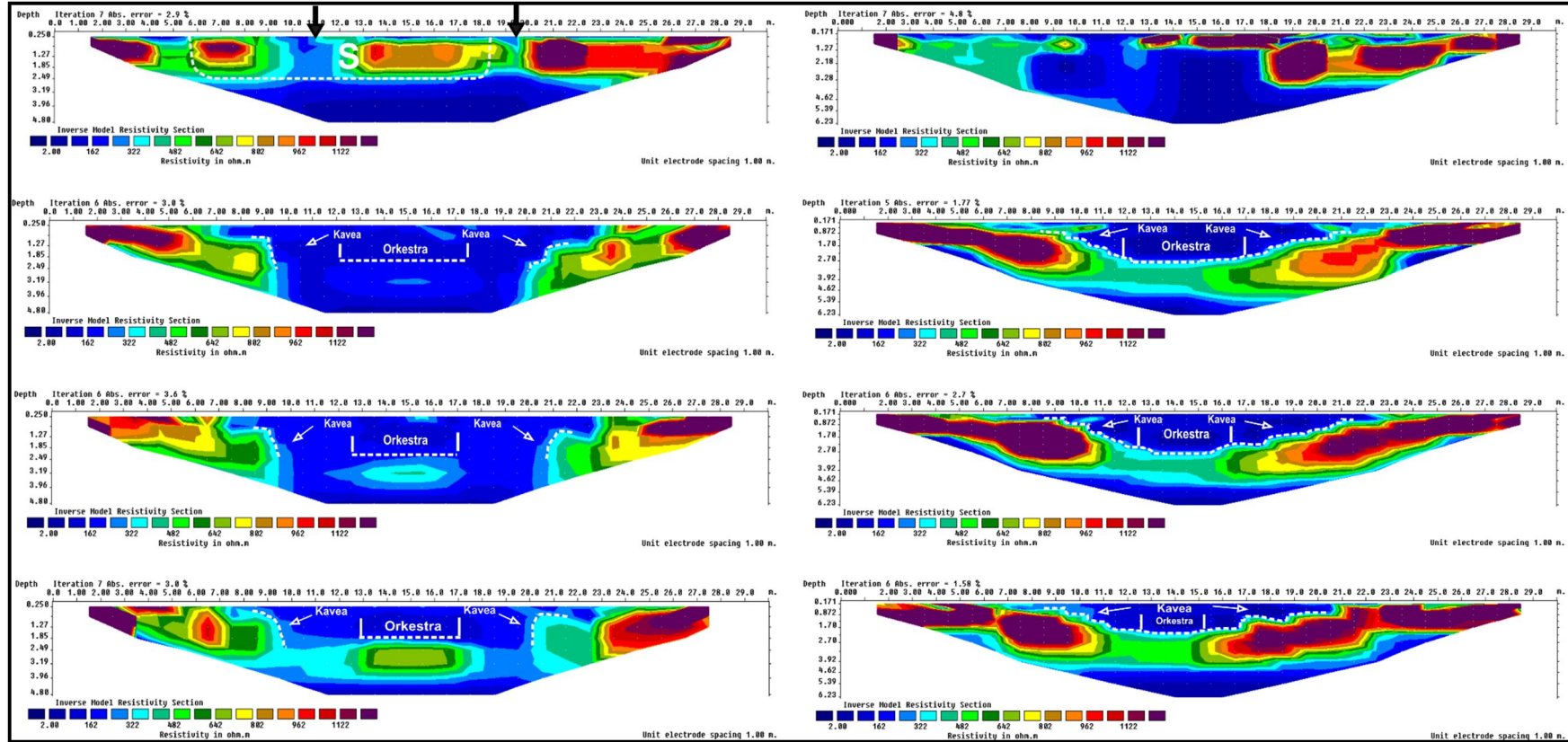
8, 9 ve 10. profillerinden elde edilen düşey kesitlere bakıldığında ise Wenner diziliminin dikey yapı özelliği gösteren kaveayı ve kavea - orkestra sınırını iyi modelleyemediği gözükmemektedir. Oysa dipol-dipol kesitlerine bakıldığında kavea yapısı, orkestra taban yapısı ve kavea – orkestra sınırı net olarak saptanabilmektedir.



Şekil 6.3. Dipol-dipol elektrot dizilimine ait derinlik kesitleri



Şekil 6.4. Wenner elektrot dizilimine ait derinlik kesitleri



Şekil 6.5. 1, 8, 9 ve 10. profillere (yukardan aşağıya) ait wenner (solda) ve dipol-dipol (sağda) 2B düşey kesitleri

## **BÖLÜM 7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER**

Bu çalışmada dipol-dipol diziliminin yanal özdirenç değişimine (dikey yapılar) duyarlı olma ve yüksek çözüm gücü (resolution) özelliği sayesinde kavea ve koridor yapılarının sınırları Wenner dizilimine göre daha net olarak belirlenmiştir. Orkestra alanı ise her iki elektrot diziliminde de belirgindir.

Meclis Binası'nı oluşturan duvar yapılarından koparak sahne ve kavea kısımlarına dağılmış olarak bulunan yapıtaşlarının oluşturduğu gürültülü bir ortamda Wenner diziliminin yüksek sinyal gücü özelliği Meclis Binası içinde bulunan yatay yapıların (sahne ve girişler gibi) belirlenmesinde çok yararlı olmuştur.

Her iki dizilimden elde edilen veriler, meclis binasını oluşturan yapıların (sahne, kavea ve orkesra alanları) yeraltında gömülü olarak mevcut olduğunu göstermektedir. Gömülü olan bu yapılar, arkeolojik kazılarla yer yüzeyine çıkartılmalıdır.

Meclis binasının yüzeyde görülen doğu ve batı duvarının yıkılmaması için onarılması gereklidir. Bu onarımdan sonra duvardan kopan ve meclis binası içine ve dışına yayılmış olan yapı taşlarının yerlerine konarak dış duvarları restore edilmelidir.

## 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] Papadopoulos, 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](http://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., Spediell, 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., Mertzaniadis, 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.

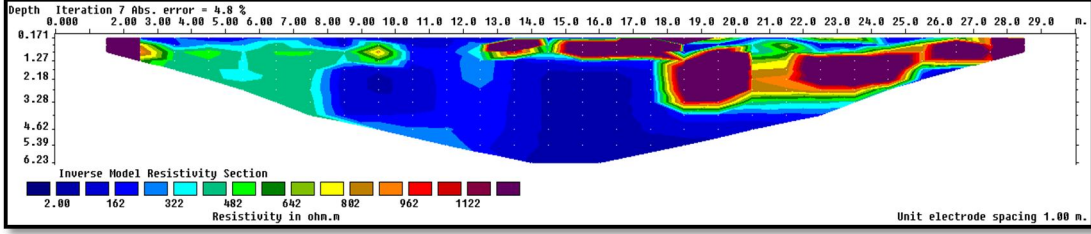
- [21] Yaramancı, A. Keban Projesi Jeofizik Araştırmaları Ön Raporu, 1968 Yaz Çalışmaları, ODTÜ Keban Projesi Yayınları, Seri: 1, Yayın: 1,13–20, 1970.
- [22] Drahor, M. G., Arkeolojik Alanların Özdirenç ve Doğal Gerilim (SP) Yöntemleri ile Araştırılması, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 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 Yeraltının 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., Prospectiones 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 pontuelle 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.

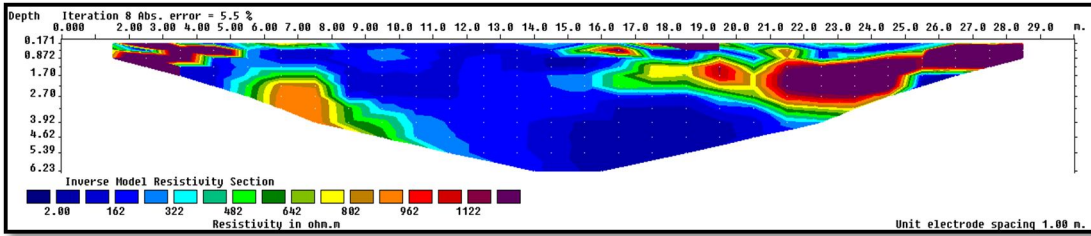
- [47] deGroot-Hedlin, C., Constable, S., Occam's inversion to generate smooth, two-dimensional models from magnetotelluric data. *Geophysics*, 55, 1613-1624, 1990.
- [48] Claerbout, J. F., Muir, F., . Robust modeling with erratic data. *Geophysics*, 38, 826-844, 1973.
- [49] Wolke R., Schwetlick H., 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.

## EKLER

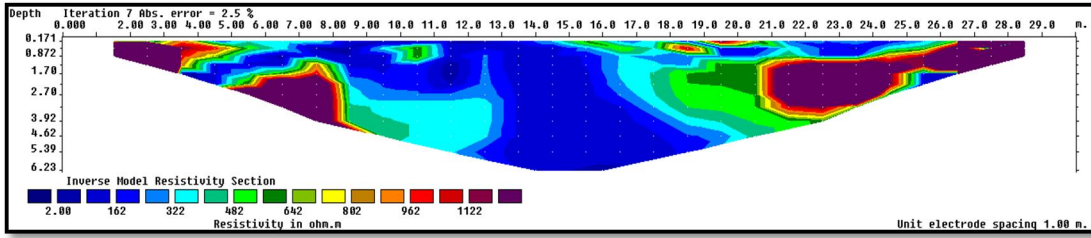
### EK A: Dipol-dipol dizilimine ait 2B düşey kesitler



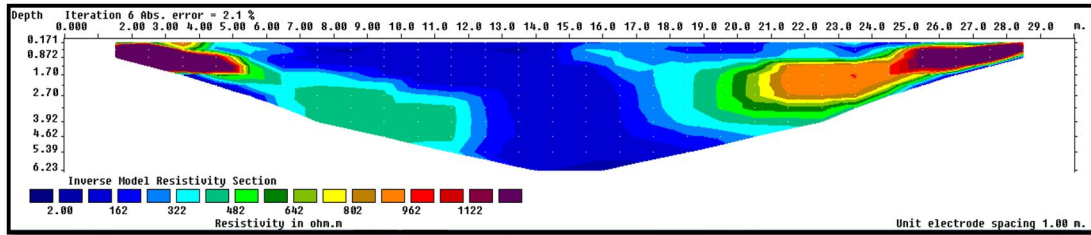
Ek A1. Dipol-dipol dizilimi 1. profil düşey kesiti



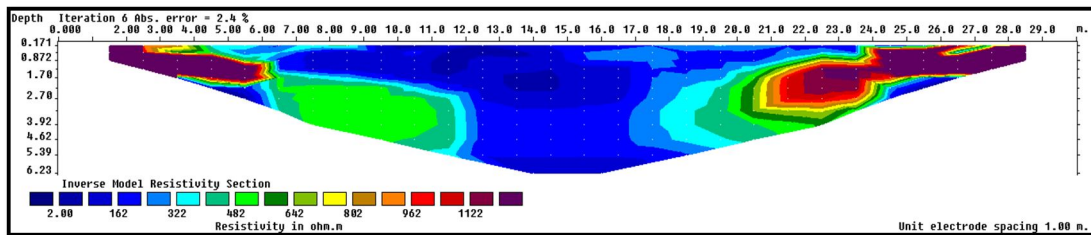
Ek A2. Dipol-dipol dizilimi 2. profil düşey kesiti



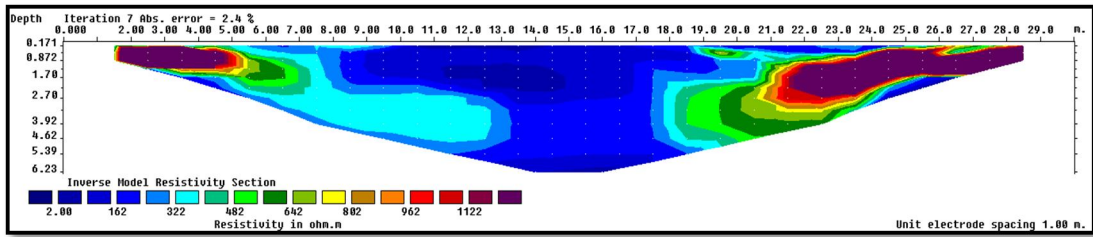
Ek A3. Dipol-dipol dizilimi 3. profil düşey kesiti



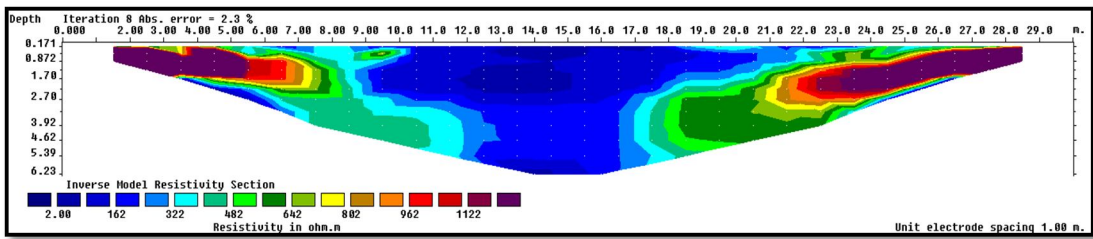
Ek A4. Dipol-dipol dizilimi 4. profil düşey kesiti



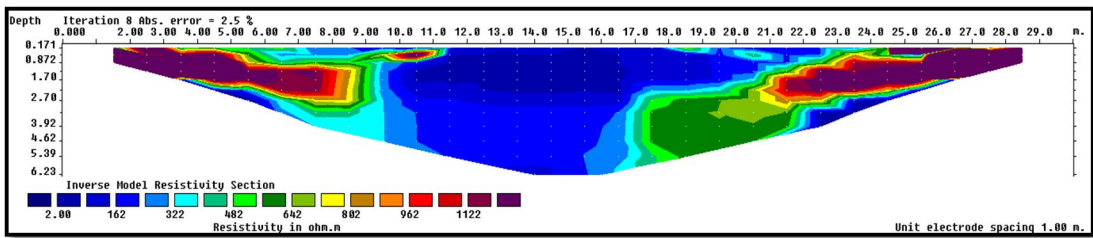
Ek A5. Dipol-dipol dizilimi 5. profil düşey kesiti



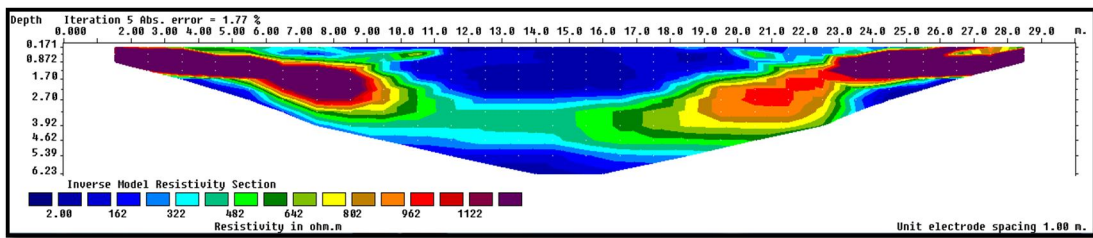
Ek A6. Dipol-dipol dizilimi 6. profil düşey kesiti



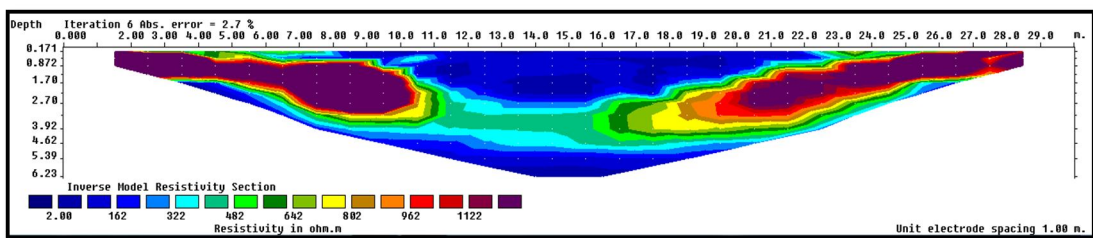
Ek A7. Dipol-dipol dizilimi 7. profil düşey kesiti



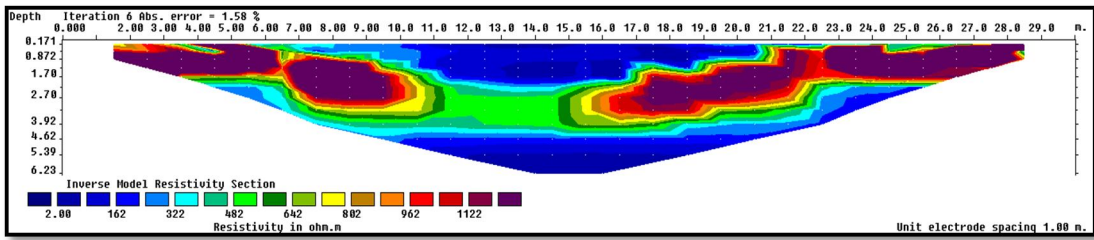
Ek A8. Dipol-dipol dizilimi 8. profil düşey kesiti



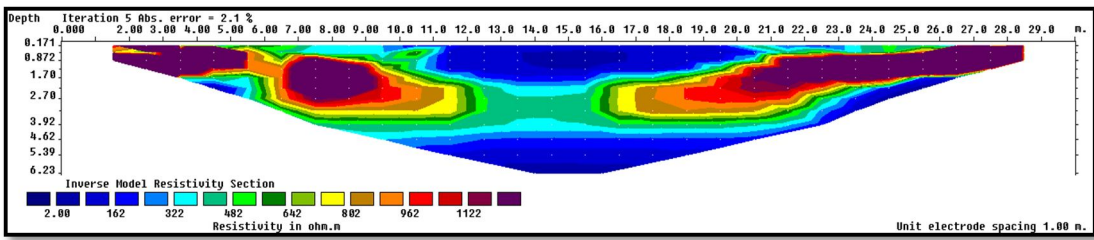
Ek A9. Dipol-dipol dizilimi 9. profil düşey kesiti



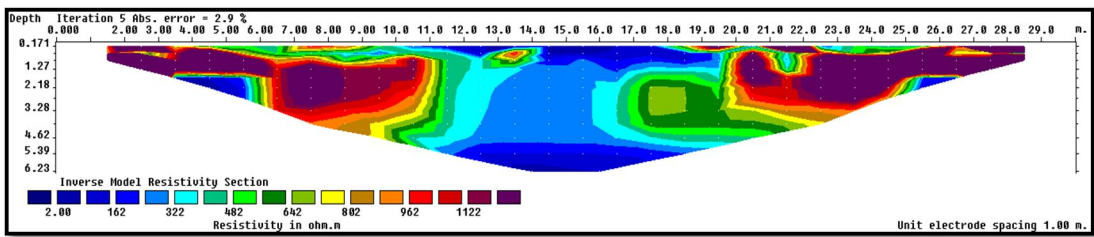
Ek A10. Dipol-dipol dizilimi 10. profil düşey kesiti



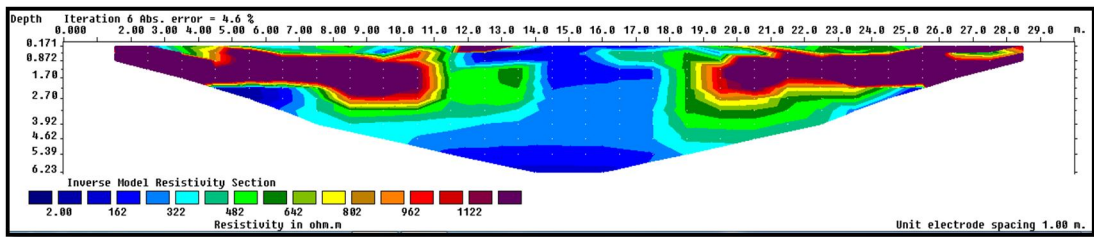
Ek A11. Dipol-dipol dizilimi 11. profil düşey kesiti



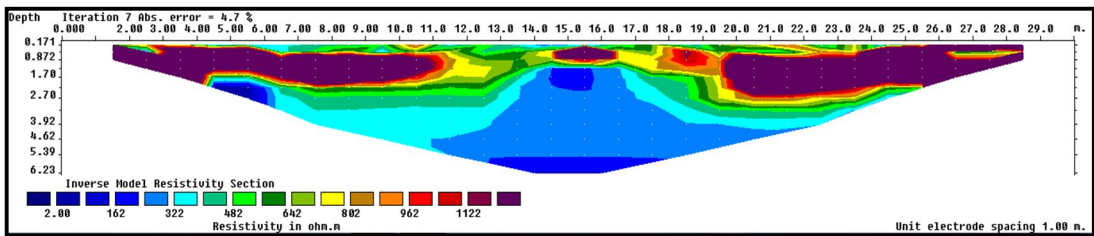
Ek A12. Dipol-dipol dizilimi 12. profil düşey kesiti



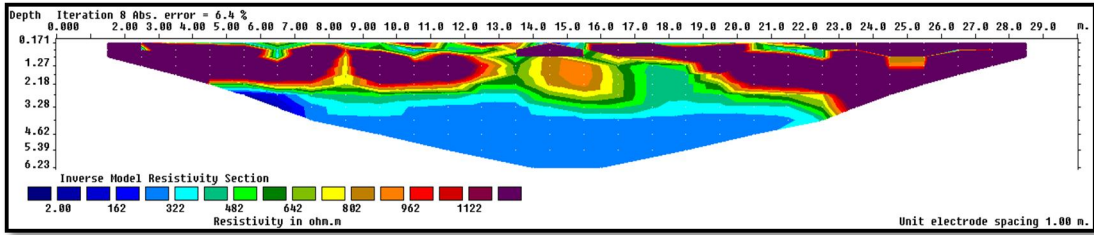
Ek A13. Dipol-dipol dizilimi 13. profil düşey kesiti



Ek A14. Dipol-dipol dizilimi 14. profil düşey kesiti

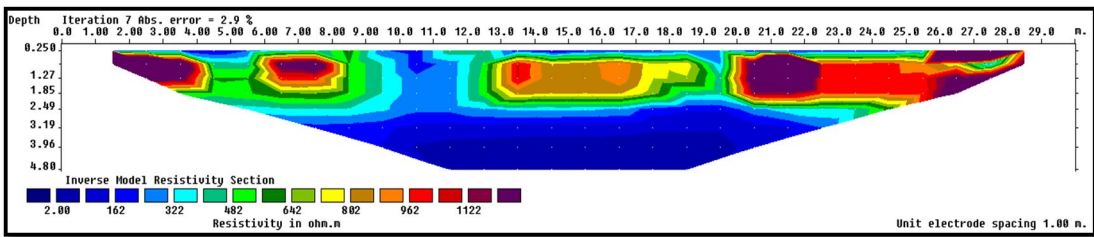


Ek A15. Dipol-dipol dizilimi 15. profil düşey kesiti

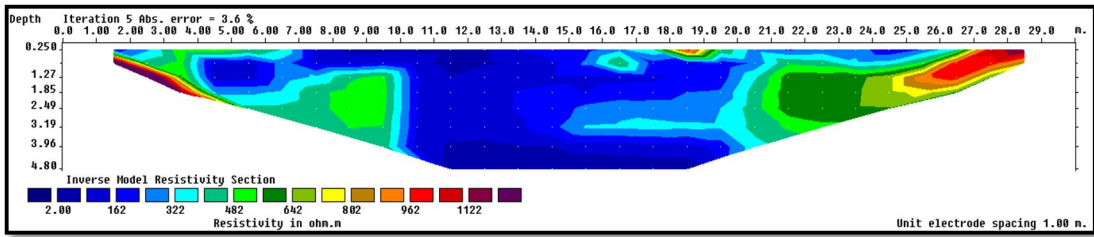


Ek A16. Dipol-dipol dizilimi 16. profil düşey kesiti

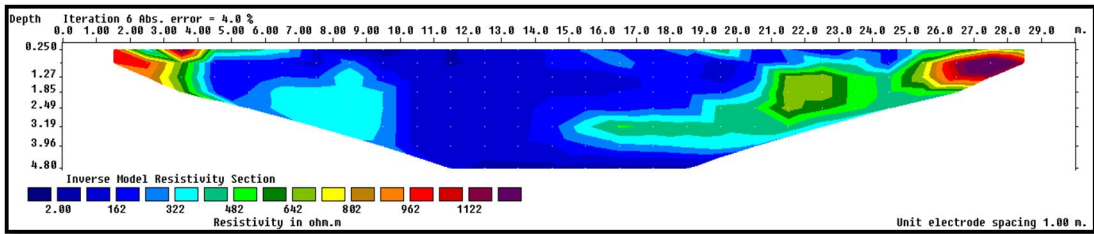
## EK B: Wenner dizilimine ait 2B düşey kesitler



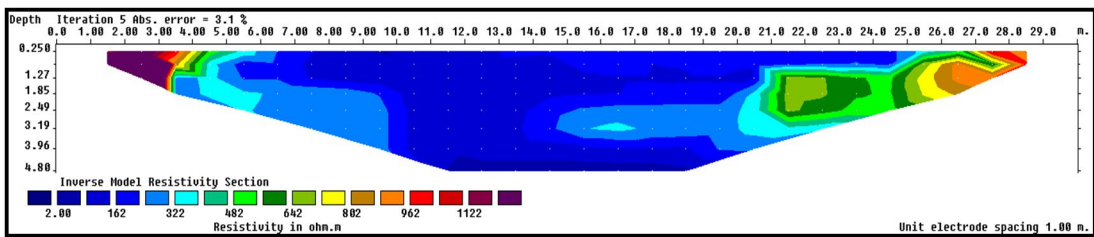
Ek B1. Wenner dizilimi 1. profil düşey kesiti



Ek B2. Wenner dizilimi 2. profil düşey kesiti

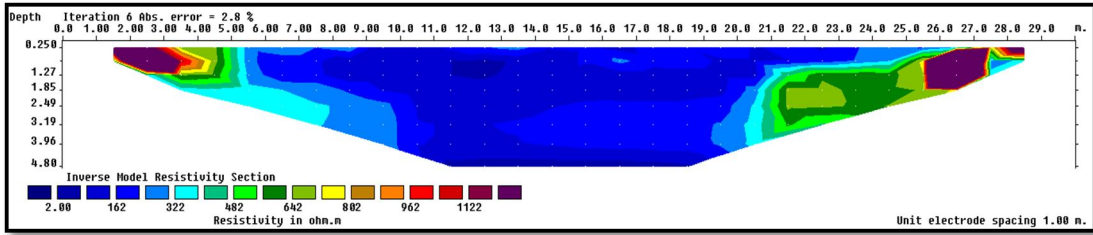


Ek B3. Wenner dizilimi 3. profil düşey kesiti

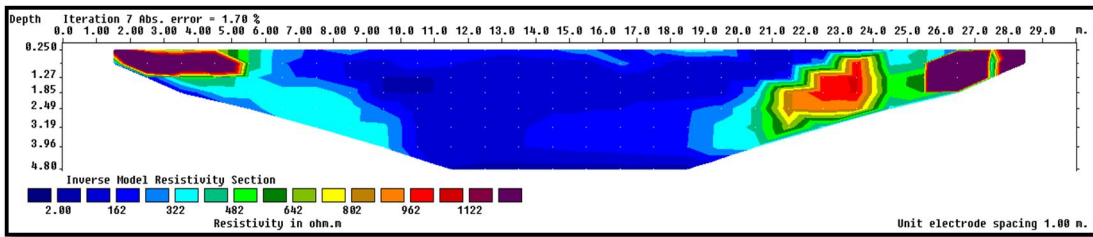


Ek B4. Wenner dizilimi 4. profil düşey kesiti

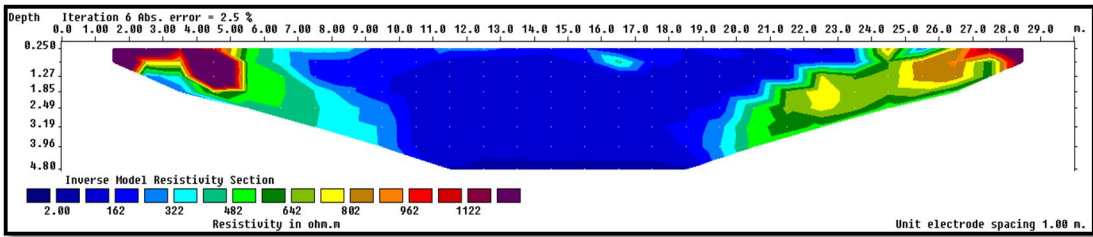




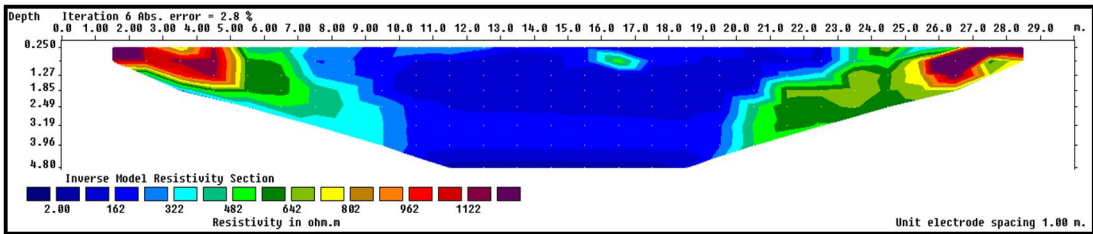
Ek B5. Wenner dizilimi 5. profil düşey kesiti



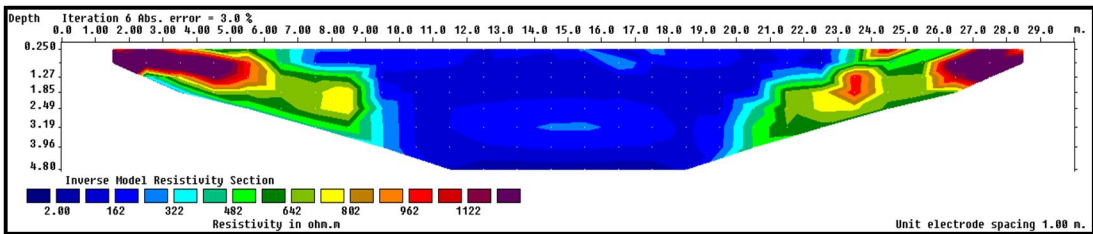
Ek B6. Wenner dizilimi 6. profil düşey kesiti



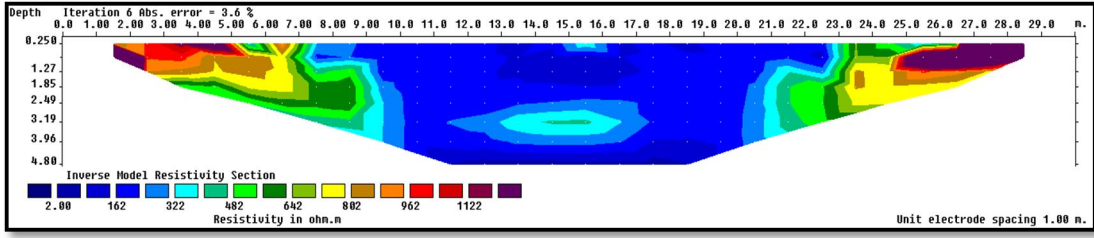
Ek B7. Wenner dizilimi 7. profil düşey kesiti



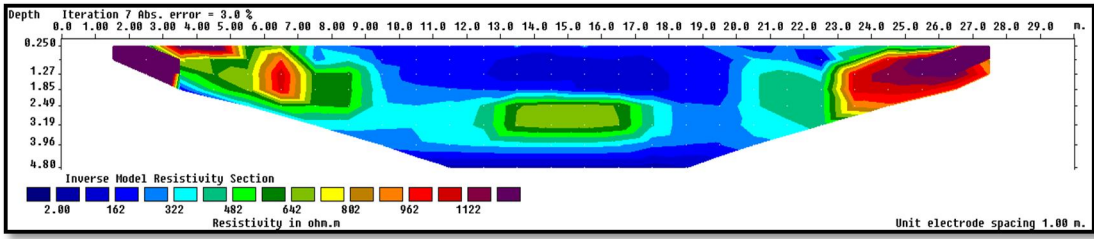
Ek B8. Wenner dizilimi 8. profil düşey kesiti



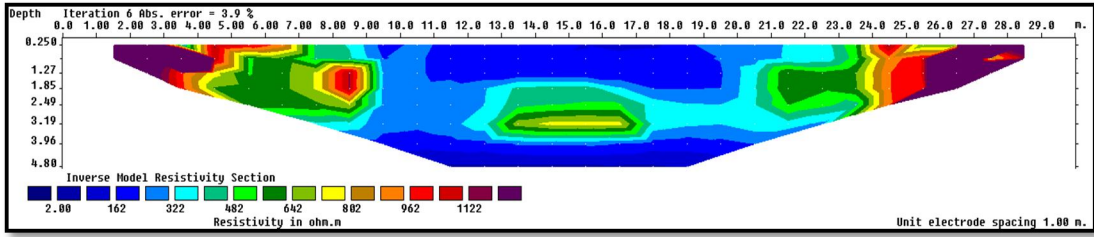
Ek B9. Wenner dizilimi 9. profil düşey kesiti



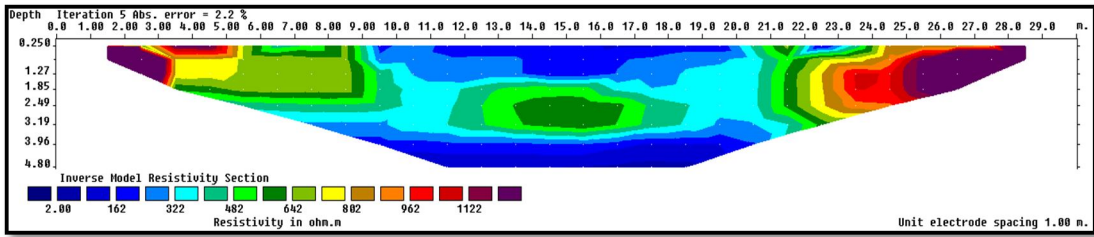
Ek B10. Wenner dizilimi 10. profil düşey kesiti



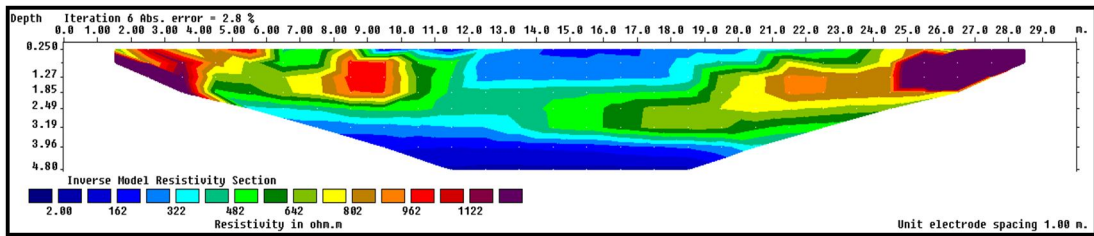
Ek B11. Wenner dizilimi 11. profil düşey kesiti



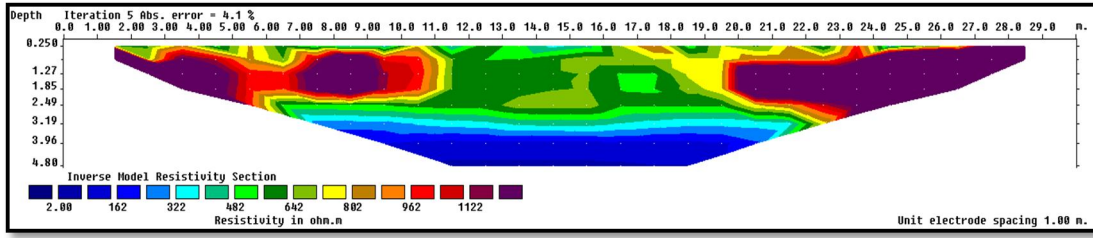
Ek B12. Wenner dizilimi 12. profil düşey kesiti



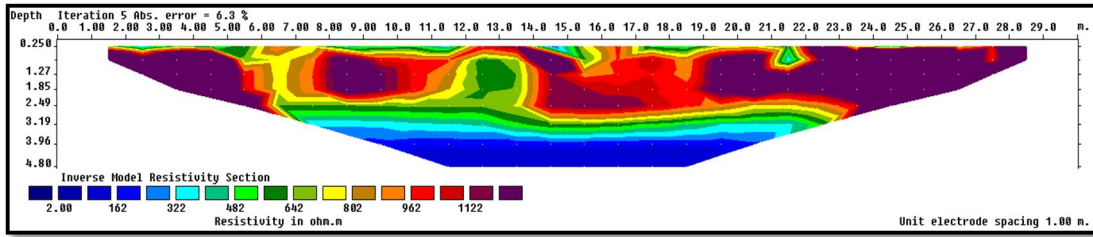
Ek B14. Wenner dizilimi 14. profil düşey kesiti



Ek B13. Wenner dizilimi 13. profil düşey kesiti



Ek B15. Wenner dizilimi 15. profil düşey kesiti



Ek B16. Wenner dizilimi 16. profil düşey kesiti

### EK C: Elektrik öz direnç uygulama görüntüleri



## **ÖZGEÇMİŞ**

Hasan Karaaslan, 14.09.1989'da İzmit'te doğdu. İlkokul ve ortaokulu Halidere İlköğretim Okulu'nda, liseyi Gölcük Barbaros Hayrettin Lisesi'nde tamamladı. 2008 yılında Süleyman Demirel Üniversitesi Jeofizik Mühendisliği Bölümüne girdi ve 2012 yılında mezun oldu. 2012 yılında Sakarya Üniversitesi Jeofizik Mühendisliği Bölümü'nde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaya başladı ve halen devam etmektedir.