

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ARKEOLOJİK ALAN İNCELEMELERİNDE
GRADYENT DİZİLİMLER YARDIMIYLA
ELEKTRİK REZİSTİVİTE TOMOGRAFİ
MODELLEME ÇALIŞMALARI

Gamze AYHAN

Mayıs, 2019
İZMİR

**ARKEOLOJİK ALAN İNCELEMELERİNDE
GRADYENT DİZİLİMLER YARDIMIYLA
ELEKTRİK REZİSTİVİTE TOMOGRAFİ
MODELLEME ÇALIŞMALARI**

**Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi
Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı**

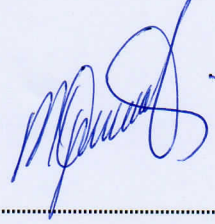
Gamze AYHAN

Mayıs, 2019

İZMİR

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

GAMZE AYHAN, tarafından **PROF.DR. MAHMUT GÖKTUĞ DRAHOR** yönetiminde hazırlanan “**ARKEOLOJİK ALAN İNCELEMELERİNDE GRADYENT DİZİLİMLER YARDIMIYLA ELEKTRİK REZİSTİVİTE TOMOGRAFİ MODELLEME ÇALIŞMALARI**” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.



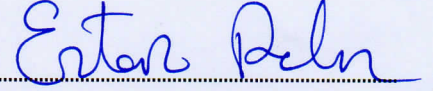
Prof. Dr. Mahmut Göktuğ DRAHOR

Yönetici



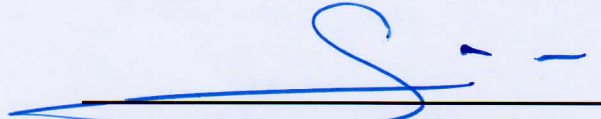
Doç. Dr. Meriç Aziz BERGE

Jüri Üyesi



Dr. Öğr. Üyesi Ertan PEKŞEN

Jüri Üyesi



Prof. Dr. Kadriye ERTEKİN

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans eğitimim boyunca yardımlarını, önerilerini esirgemeyen ve tezimin hazırlanması sırasında bilgi ve tecrübeleriyle beni yönlendiren tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Mahmut Göktuğ DRAHOR'a

Tez çalışmamı sürdürürken ihtiyaç duyduğum her konuda destek olan jüri üyelerim Sayın Doç. Dr. Meriç Aziz BERGE ve Dr. Öğr. Üyesi Ertan PEKŞEN'e

Tez çalışmam sırasında desteklerini esirgemeyen ve her zaman yanımda olan canım eşim Arş. Gör. Doğukan DURDAĞ'a

Bugüne kadar göstermiş oldukları sevgi, sabır ve anlayışın yanı sıra bugünlere gelmemde maddi ve manevi emeği olan canım aileme,

Teşekkürlerimi sunarım.

Gamze AYHAN

ARKEOLOJİK ALAN İNCELEMELERİNDE GRADYENT DİZİLİMLER YARDIMIYLA ELEKTRİK REZİSTİVİTE TOMOGRAFİ MODELLEME ÇALIŞMALARI

ÖZ

Elektrik Özdirenç Tomografisi (ERT) sığ yeraltı yapılarının araştırılmasında yaygın olarak kullanılan bir jeofizik yöntemdir. Bu çalışmada ERT yönteminde gradyent dizilimi kullanılarak arkeolojik yapılar teorik olarak modellenmiştir. Kuramsal yeraltı modelleri RES2DMOD programıyla tasarlanmıştır. Tez kapsamında kuramsal ve arkeolojik modeller yer almaktadır. Kuramsal modellere uygulanan çalışmalarda derinlik, yapı boyutu, yapı ve ortamın rezistif ya da iletken olması durumunda verdiği yanıtları görüntüleyebilmek adına dört model ele alınmıştır. Arkeolojik yapılara uygulanan modelleme çalışmalarının ilkinde yarı-sonsuz bir ortamın içinde farklı özdirenç değerlerine sahip yapılar bulunmaktadır. İkinci modelde ise yarı-sonsuz ortamın üzerinde bulunan bir tabakanın içerisinde farklı özdirenç değerlerine sahip yapılar bulunmaktadır. Her bir model için gürültüsüz ve yüzde 5 gürültülü kuramsal veriler oluşturulmuştur. Oluşturulan verilere ters çözüm uygulanmıştır. Ters çözüm işleminde RES2DINV programı kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar, veri ve model uyumsuzluk değerlerinin her bir yineleme için hesaplanması ve yinelemeye göre bu değerlerin değişiminin gözlenmesiyle irdelenmiştir. Gradyent dizilimle elde edilen sonuçlar, yaygın olarak kullanılan diğer dizilimlerin sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Arkeolojik yapı ile örtü toprak arasındaki özdirenç farkı ERT yönteminin başarılı yeraltı modelleri sunduğunu göstermektedir. Gradyent dizilim yüksek özdirençli yapılarda iyi sonuçlar verirken, düşük özdirençli yapılarda iyi sonuçlar vermemiştir. Sonuç olarak, gradyent dizilim ERT çalışmalarında yaygın kullanılan bir dizilim türü olmasa da özellikle yüksek özdirençli yapıların belirlenmesinde iyi sonuçlar veren bir dizilim türüdür.

Anahtar kelimeler: Elektrik özdirenç tomografisi, gradyent dizilim, modelleme, sığ jeofizik, ters-çözüm

ELECTRICAL RESISTIVITY TOMOGRAPHY MODELING STUDIES WITH GRADIENT ARRAY IN THE ARCHEOLOGICAL FIELD EXAMINATIONS

ABSTRACT

Electrical Resistivity Tomography (ERT) is a widely used geophysical method for investigating near-surface structures. In this study, some archeological structures were modeled theoretically using the gradient array in ERT method. Synthetic subsurface models are designed with RES2DMOD program. The thesis includes synthetic and archaeological models. In this study applied to synthetic models, four models are considered in order to determine the responses of the depth, structure size, structure and environment in the case of resistive or conductive. In the first part of our modeling studies applied to archaeological structures, there are structures with different resistivity values in a semi-infinite environment. In the second model, there are structures with different resistivity values in a layer above the half-space layer. Synthetic data sets with noise-free and 5 percent noise were created for each model. The data obtained by the modeling process were inverted. The RES2DINV program was used for the inversion process. The results were evaluated by calculating the data and model misfit values for each iteration and observing the variations of these values according to the iteration step. The results obtained with gradient array are compared with other commonly used arrays. The difference in resistivity between the archaeological structure and the covering soil suggests that the ERT method provides successful subsurface models. Gradient array gave good results in high resistivity structures, while this array did not produce satisfactory subsurface images for low resistivity structures. As a result, although the gradient array is not a widely used array type in ERT studies, it is a type of array that yields good results especially when high resistivity structures are determined.

Keywords: Electrical resistivity tomography, gradient array, modeling, near-surface geophysics, inversion

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU.....	ii
TEŞEKKÜR	iii
ÖZ	iv
ABSTRACT	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	ix
TABLolar LİSTESİ.....	xii
BÖLÜM BİR - GİRİŞ.....	1
BÖLÜM İKİ – ELEKTRİK ÖZDİRENÇ YÖNTEMİ.....	7
2.1 Elektrik Özdirenc Yöntemi	7
2.2 Elektrik Özdirenc Yönteminde Kullanılan Dizilimler.....	11
2.2.1 Wenner Dizilimi.....	12
2.2.2 Wenner-Schlumberger Dizilimi.....	16
2.2.3 Dipol-Dipol Dizilimi	18
2.2.4 Pol-Pol Dizilimi	21
2.2.5 Pol-Dipol Dizilimi.....	22
2.2.6 Gradyent Dizilimi	24
2.2.7 Çok Elektrotlu Gradyent Araştırması	25
2.3 Gradyent Yapma Kesit Çizimi	30
BÖLÜM ÜÇ – ELEKTRİK ÖZDİRENÇ YÖNTEMİNDE MODELLEME	32
3.1 Elektrik Özdirenc Yönteminde İki Boyutlu Düz Çözüm Modellemesi	33
BÖLÜM DÖRT – ELEKTRİK ÖZDİRENÇ YÖNTEMİNDE TERS ÇÖZÜM	
.....	39

4.1 Elektrik Özdirenç Yönteminde İki Boyutlu Ters Çözüm Modellemesi	39
BÖLÜM BEŞ – ELEKTRİK ÖZDİRENÇ YÖNTEMİNDE UYGULANAN ÇALIŞMALAR.....	44
5.1 Kuramsal Modellere Uygulanan Çalışmalar	46
5.2 Arkeolojik Yapılara Uygulanan Çalışmalar	65
BÖLÜM ALTI – SONUÇLAR.....	72
KAYNAKLAR.....	76
EKLER	82
EK 1: Model 1 Abs Hata Değeri	82
EK 2: Model 2 Abs Hata Değeri.....	83
EK 3: Model 3 Abs Hata Değeri.....	84
EK 4: Model 4 Abs Hata Değeri.....	85
EK 5: Arkeolojik Model 1 Abs Hata Değeri	86
EK 6: Arkeolojik Model 2 Abs Hata Değeri	87
EK-7: Wenner-alfa Misfit Analiz Grafikleri a) model 1 gürültüsüz b) model 1 %5 gürültülü c) model 2 gürültüsüz d) model 2 %5 gürültülü e) model 3 gürültüsüz f) model 3 %5 gürültülü g) model 4 gürültüsüz h) model 4 %5 gürültülü i) arkeolojik model 1 gürültüsüz j) arkeolojik model 1 %5 gürültülü k) arkeolojik model 2 gürültüsüz l) arkeolojik model 2 %5 gürültülü	88
EK-8: Wenner-beta Misfit Analiz Grafikleri a) model 1 gürültüsüz b) model 1 %5 gürültülü c) model 2 gürültüsüz d) model 2 %5 gürültülü e) model 3 gürültüsüz f) model 3 %5 gürültülü g) model 4 gürültüsüz h) model 4 %5 gürültülü i) arkeolojik model 1 gürültüsüz j) arkeolojik model 1 %5 gürültülü k) arkeolojik model 2 gürültüsüz l) arkeolojik model 2 %5 gürültülü	89
EK-9: Wenner-gama Misfit Analiz Grafikleri a) model 1 gürültüsüz b) model 1 %5 gürültülü c) model 2 gürültüsüz d) model 2 %5 gürültülü e) model 3 gürültüsüz f) model 3 %5 gürültülü g) model 4 gürültüsüz h) model 4 %5	

gürültülü i) arkeolojik model 1 gürültüsüz j) arkeolojik model 1 %5 gürültülü k) arkeolojik model 2 gürültüsüz l) arkeolojik model 2 %5 gürültülü	90
EK-10: Wenner-Schlumberger Misfit Analiz Grafikleri a) model 1 gürültüsüz b) model 1 %5 gürültülü c) model 2 gürültüsüz d) model 2 %5 gürültülü e) model 3 gürültüsüz f) model 3 %5 gürültülü g) model 4 gürültüsüz h) model 4 %5 gürültülü i) arkeolojik model 1 gürültüsüz j) arkeolojik model 1 %5 gürültülü k) arkeolojik model 2 gürültüsüz l) arkeolojik model 2 %5 gürültülü	91
EK-11: Dipol-Dipol Misfit Analiz Grafikleri a) model 1 gürültüsüz b) model 1 %5 gürültülü c) model 2 gürültüsüz d) model 2 %5 gürültülü e) model 3 gürültüsüz f) model 3 %5 gürültülü g) model 4 gürültüsüz h) model 4 %5 gürültülü i) arkeolojik model 1 gürültüsüz j) arkeolojik model 1 %5 gürültülü k) arkeolojik model 2 gürültüsüz l) arkeolojik model 2 %5 gürültülü	92
EK-12: Pol-Pol Misfit Analiz Grafikleri a) model 1 gürültüsüz b) model 1 %5 gürültülü c) model 2 gürültüsüz d) model 2 %5 gürültülü e) model 3 gürültüsüz f) model 3 %5 gürültülü g) model 4 gürültüsüz h) model 4 %5 gürültülü i) arkeolojik model 1 gürültüsüz j) arkeolojik model 1 %5 gürültülü k) arkeolojik model 2 gürültüsüz l) arkeolojik model 2 %5 gürültülü	93
EK-13: Pol-Dipol Misfit Analiz Grafikleri a) model 1 gürültüsüz b) model 1 %5 gürültülü c) model 2 gürültüsüz d) model 2 %5 gürültülü e) model 3 gürültüsüz f) model 3 %5 gürültülü g) model 4 gürültüsüz h) model 4 %5 gürültülü i) arkeolojik model 1 gürültüsüz j) arkeolojik model 1 %5 gürültülü k) arkeolojik model 2 gürültüsüz l) arkeolojik model 2 %5 gürültülü	94
EK-14: Gradyent Misfit Analiz Grafikleri a) model 1 gürültüsüz b) model 1 %5 gürültülü c) model 2 gürültüsüz d) model 2 %5 gürültülü e) model 3 gürültüsüz f) model 3 %5 gürültülü g) model 4 gürültüsüz h) model 4 %5 gürültülü i) arkeolojik model 1 gürültüsüz j) arkeolojik model 1 %5 gürültülü k) arkeolojik model 2 gürültüsüz l) arkeolojik model 2 %5 gürültülü	95
EK-14: Çok Elektrotlu Gradyent Misfit Analiz a) model 1 gürültüsüz b) model 1 %5 gürültülü c) model 2 gürültüsüz d) model 2 %5 gürültülü e) model 3 gürültüsüz f) model 3 %5 gürültülü g) model 4 gürültüsüz h) model 4 %5 gürültülü i) arkeolojik model 1 gürültüsüz j) arkeolojik model 1 %5 gürültülü k) arkeolojik model 2 gürültüsüz l) arkeolojik model 2 %5 gürültülü	96

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 Yarı sonsuz ortam içindeki akım ve potansiyel çizgileri	7
Şekil 2.2 Genel dört elektrot diziliminin gösterimi: A1 ve A2 akım elektrotları, P1 ve P2 potansiyel elektrotları	11
Şekil 2.3 Wenner dizilim şekli (A,B: akım elektrodu; M,N: potansiyel elektrodu)...	12
Şekil 2.4 Wenner-alfa (α) dizilimi gösterim şekli	14
Şekil 2.5 Wenner-alfa (α) dizilimine ait duyarlık kesiti	14
Şekil 2.6 Wenner-beta (β) dizilimi gösterim şekli.....	15
Şekil 2.7 Wenner-beta (β) dizilimine ait duyarlık kesiti	15
Şekil 2.8 Wenner-gama (γ) dizilimi gösterim şekli	16
Şekil 2.9 Wenner-gama (γ) dizilimine ait duyarlık kesiti	16
Şekil 2.10 Wenner-Schlumberger dizilim şekli.....	17
Şekil 2.11 Wenner-Schlumberger dizilimine ait duyarlık kesiti	18
Şekil 2.12 Dipol-dipol dizilim şekli.....	19
Şekil 2.13 Dipol-dipol dizilimine ait duyarlık kesiti	20
Şekil 2.14 Pol-pol dizilim şekli (A: akım elektrodu; M: potansiyel elektrodu)	21
Şekil 2.15 Pol-pol dizilimine ait duyarlık kesiti	22
Şekil 2.16 Pol-dipol dizilim şekli (A: akım elektrodu; M ve N: potansiyel elektrodu)	22
Şekil 2.17 Pol-dipol dizilimine ait duyarlık kesiti	23
Şekil 2.18 (S+2).a akım elektrot ayrımı ile bir ölçüm için elektrotların pozisyonunu gösteren gradyent diziliminin çizimi	25
Şekil 2.19 Elektrot dizilimlerinde bir 3D duyarlılık fonksiyonu boyunca dikey kesit: (a) gradyent (s = 9, n = 1), (b) gradyent (s = 9, n = 3), (c) gradyent (s = 9, n = 5), (d) Wenner, (e) dipol-dipol (n = 1), (f) dipol-dipol (n = 5)	28
Şekil 2.20 Gradyent dizilim için yapma kesit çizim noktasının hesaplanması	31
Şekil 3.1 Jeofizikte düz-çözüm akış şeması	32
Şekil 3.2 Jeofizikte ters-çözüm akış şeması	33
Şekil 3.3 İki-boyutlu sonlu farklar gridi	34

Şekil 3.4 Modelleme çalışmalarında kullanılan iki ve üç boyutlu sonlu farklar ağ dizaynı	36
Şekil 3.5 a) Bir boyutlu, b) iki boyutlu ve c) üç boyutlu iletkenlik modelleri	36
Şekil 3.6 Ayırık yeraltı modeli	38
Şekil 4.1 Yeraltının ayırıklaştırılması için kullanılan blok düzeni	40
Şekil 4.2 Yapay bir veri seti için hücelere ayrılmış iki boyutlu yüzeyaltı ve uygulanacak yapay modelin görünüşü.....	41
Şekil 5.1 Veri rms hatası (düz çizgi) ve model rms hatasının (kesikli çizgi) görünür öz direnç verisinin 2-B ters çözümü esnasındaki değişimi. Hatalar, ilk yinelemedeki değerlerine göre normalize edilmiştir.....	45
Şekil 5.2 a) Yarı sonsuz ortam içindeki model 1 b) Yarı sonsuz ortam içindeki model 1'in büyütülmüş görüntüsü	51
Şekil 5.3 Model 1'in gürültü içermeyen modellemeleri a) Wenner-alfa b) Wenner-beta c) Wenner-gama d) Wenner-Schlumberger e) dipol-dipol f) pol-pol g) pol-dipol h) gradyent i) çok elektrotlu gradyent	52
Şekil 5.4 Model 1'in %5 gürültü içeren modellemeleri a) Wenner-alfa b) Wenner-beta c) Wenner-gama d) Wenner-Schlumberger e) dipol-dipol f) pol-pol g) pol-dipol h) gradyent i) çok elektrotlu gradyent	53
Şekil 5.5 a) Yarı sonsuz ortam içindeki model 2 b) Yarı sonsuz ortam içindeki model 2'nin büyütülmüş görüntüsü	55
Şekil 5.6 Model 2'nin gürültü içermeyen modellemeleri a) Wenner-alfa b) Wenner-beta c) Wenner-gama d) Wenner-Schlumberger e) dipol-dipol f) pol-pol g) pol-dipol h) gradyent i) çok elektrotlu gradyent	56
Şekil 5.7 Model 2'nin %5 gürültü içeren modellemeleri a) Wenner-alfa b) Wenner-beta c) Wenner-gama d) Wenner-Schlumberger e) dipol-dipol f) pol-pol g) pol-dipol h) gradyent i) çok elektrotlu gradyent	57
Şekil 5.8 a) Yarı sonsuz ortam içindeki model 3 b) Yarı sonsuz ortam içindeki model 3'ün büyütülmüş görüntüsü	59
Şekil 5.9 Model 3'ün gürültü içermeyen modellemeleri a) Wenner-alfa b) Wenner-beta c) Wenner-gama d) Wenner-Schlumberger e) dipol-dipol f) pol-pol g) pol-dipol h) gradyent i) çok elektrotlu gradyent	60

Şekil 5.10 Model 3'ün %5 gürültü içeren modellemeleri a) Wenner-alfa b) Wenner-beta c) Wenner-gama d) Wenner-Schlumberger e) dipol-dipol f) pol-pol g) pol-dipol h) gradyent i) çok elektrotlu gradyent	61
Şekil 5.11 a) Yarı sonsuz ortam içindeki model 4 b) Yarı sonsuz ortam içindeki model 4'ün büyütülmüş görüntüsü	62
Şekil 5.12 Model 4'ün gürültü içermeyen modellemeleri a) Wenner-alfa b) Wenner-beta c) Wenner-gama d) Wenner-Schlumberger e) dipol-dipol f) pol-pol g) pol-dipol h) gradyent i) çok elektrotlu gradyent	63
Şekil 5.13 Model 4'ün %5 gürültü içeren modellemeleri a) Wenner-alfa b) Wenner-beta c) Wenner-gama d) Wenner-Schlumberger e) dipol-dipol f) pol-pol g) pol-dipol h) gradyent i) çok elektrotlu gradyent	64
Şekil 5.14 a) Yarı sonsuz ortam içindeki arkeolojik yapı b) Yarı sonsuz ortam içindeki arkeolojik yapının büyütülmüş görüntüsü	66
Şekil 5.15 Yarı sonsuz ortam içindeki arkeolojik yapının gürültü içermeyen modellemeleri a) Wenner-alfa b) Wenner-beta c) Wenner-gama d) Wenner-Schlumberger e) dipol-dipol f) pol-pol g) pol-dipol h) gradyent i) çok elektrotlu gradyent	67
Şekil 5.16 Yarı sonsuz ortam içindeki arkeolojik yapının %5 gürültü içeren modellemeleri a) Wenner-alfa b) Wenner-beta c) Wenner-gama d) Wenner-Schlumberger e) dipol-dipol f) pol-pol g) pol-dipol h) gradyent i) çok elektrotlu gradyent	68
Şekil 5.17 a)Yarı sonsuz ortam üzerinde bulunan tabakalı arkeolojik yapı b) Yarı sonsuz ortam üzerinde bulunan tabakalı arkeolojik yapının büyütülmüş görüntüsü.....	69
Şekil 5.18 Yarı sonsuz ortam üzerinde bulunan tabakalı arkeolojik yapının gürültü içermeyen modellemeleri a) Wenner-alfa b) Wenner-beta c) Wenner-gama d) Wenner-Schlumberger e) dipol-dipol f) pol-pol g) pol-dipol h) gradyent i) çok elektrotlu gradyent.....	70
Şekil 5.19 Yarı sonsuz ortam üzerinde bulunan tabakalı arkeolojik yapının %5 gürültü içeren modellemeleri a) Wenner-alfa b) Wenner-beta c) Wenner-gama d) Wenner-Schlumberger e) dipol-dipol f) pol-pol g) pol-dipol h) gradyent i) çok elektrotlu gradyent.....	71

TABLÖLAR LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 2.1 Bazı materyal ve kayaçların öz direnç değerleri.....	11
Tablo 2.2 Wenner, dipol-dipol ve gradyent dizileri için medyan derinliği araştırması, geometri faktörü ve nispi sinyal/gürültü oranı (Wenner dizisine göre S / N oranı) (iki farklı s-faktörü için örnekler)	29



BÖLÜM BİR

GİRİŞ

Arkeoloji, eski uygarlıkların yaşam tarzlarının, kültürlerinin ve geçmişte insanoğlunun bıraktığı her nesnenin araştırılmasını hedefleyen bir bilimdir. Bu araştırmaların yapılması için de geçmişten günümüze arkeoloji, birçok bilim dalıyla ilişki kurmuş ve yeni bilim dallarının oluşmasına neden olmuştur. Bu oluşan yeni bilim dallarından en önemlilerinden birisi de gömülü olan yapıların bulunduğu toprak örtü ile fiziksel farklılıklar sunarak yapıların yerlerinin bulunmasında kullanılan jeofizik yöntemlerle doğan ‘Arkeojeofizik’tir. Bir başka deyişle arkeolojik prospeksiyonda jeofizik yöntemlerin uygulanması esasına dayanan bilime arkeojeofizik denilmektedir. Arkeolojik prospeksiyonda uygulanan jeofizik çalışmalarla yeraltında gömülü olan yapı ve nesnelerin geometrisi, boyutu ve derinliği ile ilgili bilgi elde edilebilmektedir.

Arkeolojik kazı çalışmalarında zaman ve ekonominin önemli olduğu kadar yanlış kazı yapılmaması da tarihi yapıların zarar görmemesi açısından çok önemlidir. Arkeolojik alanlarda yanlış yerden başlatılacak olan bir kazı çalışması hem çalışmanın maliyetinin artmasına hem zaman kaybına hem de tarihi yapıların zarar görmesine neden olabilir. Bu durumda jeofiziğin önemli katkıları olmuştur. Bu nedenle jeofizik çalışmalara başlamadan önce, çalışılacak bölgenin arkeolojik tarihinin araştırılması, mevcut ise önceki kazıların incelenmesi gereklidir. Alanın jeolojik özelliklerinin tespit edilmesi, mevcut ise havadan çekilmiş fotoğraflarına veya uydu görüntülerine bakılması büyük önem taşımaktadır. Alanda kullanılacak yöntemleri belirlemek için de ilk olarak yeraltı yapılarının fiziksel özellikleri tespit edilmeli ve test amaçlı çeşitli yöntemlerle öncül ölçümler toplanmalı ve toplanan ölçümlerde gömülü yapının bu fiziksel özellikler için zıtlık sunup sunmadığına bakılmalı ve bu doğrultuda en doğru yöntem belirlenmelidir.

Arkeolojik prospeksiyonda kullanılan başlıca jeofizik yöntemler olan elektrik, manyetik ve yer içine nüfuz eden radar yönteminin yanı sıra elektromanyetik, sismik, mikrogravite ve uyarılmış kutuplanma (IP) yöntemleri de kullanılmaktadır.

Elektrik özdirenç yöntemi, yeraltında bulunan yapıların elektriksel özelliklerinin farklı olmasından faydalanarak, yüzeyde iki ayrı noktadan bir çift elektrot ile yer altına iletilen elektrik akımının diğer iki elektrotta oluşturacağı potansiyel farkın ölçülmesi esasına dayalı yöntemdir. Arkeolojik çalışma alanında yapı ve ortamın özdirenç değerindeki zıtlıklar ise duvarların, hendeklerin, mezarların, yolların, ana kaya derinliklerinin, bina temellerinin bulunmasına olanak sağlar.

Manyetik yöntem, yer manyetik alanının yatay, düşey ve toplam bileşenlerindeki değişimleri ölçmektedir. Arkeolojik çalışma alanında yapı ve ortamın mıknatıslanma özelliklerindeki zıtlıklarıyla manyetik birimlerin ayrımlılığı sağlanmaktadır. Arkeolojik prospeksiyonda gömülü yapının fiziksel özelliğinin zıtlığıyla ocak, volkanik kayaç, tuğla, kerpiç gibi malzemelerden yapılmış olan mezarlar, duvarlar, metalik nesneler, pişmiş malzemeden yapılmış, çanak, çömlek, kiremit gibi materyallerin yerleri kolaylıkla tespit edilebilir ve yaşlandırma çalışmaları yapılabilmektedir. Bunun yanı sıra, duvarlar, gömülü yollar, ev temelleri, tapınaklar, yer altı şehri gibi yapıları da manyetik duyarlılığın farklılığından yararlanılarak bulunabilmektedir.

Yeraltına nüfuz eden radar metodu, sığ jeofizik araştırmalarında uygulanan yüksek frekanslı elektromanyetik bir yöntem olup, dalganın yeraltındaki yayılımı esnasında, dalgaların çevre birim ile hedef yapı arasındaki gidiş geliş seyahat süresini ölçmektedir. Arkeolojik çalışma alanında bulunan materyallerin elektriksel özelliklerindeki (manyetik geçirgenlik, iletkenlik, dielektrik) zıtlıklar ise metalik ve metalik olmayan nesnelerin belirlenmesine, antik şehir, tapınak, mezar, duvar ve benzeri kalıntıların bulunmasına olanak sağlar (Drahor, 2005). Arkeojeofizik çalışmalarda 1970'li yılların başlarında kullanılmaya başlanan yer içine nüfuz eden radar, kolay ve hızlı kullanım olanağı ile birlikte başarılı sonuçlar elde etmesiyle manyetik ve özdirenç yöntemiyle beraber sıklıkla tercih edilen yöntem olmuştur. Bu yöntemlerin yaygın şekilde kullanılması, başarılı sonuçlar vermesi ve hızlı ölçüm alması gelişen teknoloji ile birlikte gün geçtikçe güçlenmektedir.

Elektromanyetik yöntem, EM dalganın yeraltındaki yayılımı esnasında hedef yapı kaynaklı ikincil alanların ölçülmesini, yeraltındaki yapılarının elektrik iletkenlik ve elektromanyetik özelliklerini incelenmesini sağlar. Arkeolojik çalışma alanında yapı ve ortamın iletkenliğindeki zıtlıklar ise duvarların, mezarların ve metalik nesnelerin belirlenmesine olanak sağlar (Drahor, 2005).

Sismik yöntemde de sismik dalgaların yeraltındaki yayılımı sırasında bu dalgaların sismik hız değişimleri incelenmekte ve seyahat süreleri ölçülmektedir. Arkeolojik çalışma alanında yapı ve çevre birimin akustik dalga hızlarındaki farklılıklar sayesinde tümülüs, mezar odaları ve duvarların belirlenmesi mümkündür.

Mikrogravite yöntemiyle de yoğunluk farklılığından kaynaklı yerçekim ivmesinin değişiminin ölçülmesi amaçlanmaktadır. Arkeolojik çalışma alanında yapı ve ortamın yoğunluklarındaki zıtlıklar ise boşlukların, mezar odalarının ve duvarların belirlenmesine olanak sağlar.

Uyarılmış Kutuplanma (IP) yöntemi ise elektrik akımının yer içindeki yayılımı esnasında yapıların göstermiş oldukları kapasitans ve şarjlanma etkilerinin ölçülmesi esasına dayanan bir yöntemdir. Arkeolojik çalışma alanında yapı ve çevre birimin iletkenliğindeki farklılıklar ise oksitlenmiş ortamların, antropolojik materyallerin ve kil içeriği yüksek olan yapıların belirlenmesine olanak sağlamaktadır (Drahor, 2005).

Arkeojeofizikte en çok aranan arkeolojik yapılar ise höyük, akropol, düz yerleşmeler, tümülüs, nekropol, lahit ve bazilika olmak üzere farklı biçimlerde sınıflandırılabilirler.

Höyükler, eski yerleşimlerin yıkılması sonucu veya doğal afetlerin kalıntılarıyla meydana gelmiş tepelere denilmektedir. Höyüklerle ilk çağlarda rastlanamamasının sebebi insanların henüz yerleşik düzende yaşamamalarından kaynaklıdır. Neolitik çağdan itibaren insanların toprağa bağımlı yerleşim içinde olmaları sebebiyle höyüklerle rastlanılmıştır. Höyükler, uygarlığın büyük bir kısmında bazen kesintisiz olarak 10'dan daha çok arkeolojik katmanı barındıran ve yarıçapları genellikle 50

metreden büyük 5-35 metre arasındaki yükseklikteki alanlar olarak bilinmektedir (Naumann, 1991). Höyük gibi yerleşmelerde kerpicin, yapılarda ana yapı malzemesi olarak kullanılması sebebiyle ve zaman içindeki aşınmayla toprak tepeler oluşturması, bulundukları ovada yükselen bir topoğrafya biçiminde meydana gelirler (Drahor ve Kaya, 2000; Rosen, 1986). Kerpiç malzemesinin kullanımının dışında yerel kayalardan oluşan (kireçtaşı, andezit, bazalt vb.) malzemeler de kullanılır ve bu malzemeler genellikle sur duvarlarının, evlerin temellerinin ve anıtsal ve kamusal yapıların yapımında kullanılmaktadır. Çoğu zamanda oluşan toprak tepelerin üzerine başka bir topluluk da gelip yerleşebilmektedir. Bölgenin coğrafik yapısı, iklim koşulları ve toprak verimliliği ile su bulunması toplulukların hep aynı yere yerleşmelerinin önemli nedenlerindendir. Bu tür kalıntıların olduğu tepeler höyük karakteri taşımaktadır ve buna en güzel örneğimiz, Troia'da (Çanakkale'nin 25 km güneyinde), yapılan kazılar neticesinde 9 katlı bir yerleşimin varlığıdır. Acemhöyük, Alacahöyük, Çatalhöyük, Beyce Sultan, Tell Açana, Kaniş ve Troia Türkiye'de yapılan kazı çalışmalarıyla yürütülen önemli höyüklerden bazılarıdır. Ardısıra gelen arkeolojik dönemlerde höyüklerin mimari yapısı, kendinden önceki yerleşim dönemine benzer olabilirken, bazen de eski dönemin yapı elemanları kullanılmasıyla farklı türde bir mimari gözlenmiştir (Berge, 2011).

Akropol ya da akropolis gibi yapılarda ifade edilen akropol terimi, yüksek ve şehir kelimelerinin birleşiminden türetilmiş olup yüksek ve savunulması kolay olabilecek tepeler üzerinde konumlandırılmıştır. Geçmiş çok eskilere dayanan bir çok kentin (Roma, Bizans, Yunan vb.) yerleşim bölgelerinin en yüksek alanında kurulan kale gibi korunaklı tepelerdir. Siyasal yönetim ve savunma açısından avantajlı bir konuma sahip olabilmesi için kent seçilen tepenin sırtına dayandırılmıştır ve genellikle akropolün içinde kilise, tapınak, kutsal alan ve askeri yapılar yer almaktadır. Akropoller, Helenistik ve Roma Dönemleri boyunca, saygınlık ve bağımsızlık sembolü olarak gösterilmektedir. Akropollere verilecek en güzel örnekler ise Atina Akropolü, Bergama Akropolü ve Priene Akropolü'dür.

Düz arazi yerleşmeleri, aslında sur duvarlı kalelerdir. Akropoller yüksek tepelerde yer alarak kentin savunmasında önemli etken olsa da tepelerin sırtları boyunca

sağlam yapılı sur duvarlarıyla çevrili olması savunma açısından çok büyük etkindir. Düz arazi yerleşimlerine verebileceğimiz örnekler ise Zincirli ve Kargamış'ta bulunan kalelerdir ve bu kalelerin bazı kısımlarında çift sur duvarları mevcuttur.

Arkeolojide 'tümülüs' terimi, mezar veya mezarların üzerinde yükseltelen yığma tepe anlamına gelmektedir. Bu tepe, toprak veya taştan yığılma şeklinde yapılmış olup farklı boyutlarda olabilir. Tümülüsler özellikle kral ve prenslere ait mezar yapılarını içermektedir. Diğer mezar tiplerinde olduğu gibi tümülüslerde de dönemin ve bölgenin siyasal, kültürel ve ekonomik durumlarına göre inşa edilmektedir. Tümülüslere dünyanın hemen her yerinde rastlanılmaktadır. Bunlara verilecek en güzel örneklerden Frigler'in "Midas'ın Mezarı" diye adlandırılan Gordion Büyük Tümülüs'ü ve Anadolu'da tümülüslerin en yoğun rastlandığı yöre olarak da Lydia gösterilebilir.

Nekro (ölüler) ve Polis (şehir) kelimelerinden türetilmiş olan nekropol terimi, arkeolojik şehirlerde yer alan mezarların ve toplu mezarlıkların bulunduğu bölgeleri kapsamaktadır ve Yunanca'da ölüler şehri olarak da bilinmektedir. Genellikle kentlerin dışında, bazen de ana kapının hemen yakınlarında yer almaktadırlar. Nekropole örnek olarak, Assos ve Termessos gösterilebilir.

Antikçağ, Roma ve Bizans Dönemleri'nde ölülerin içine konulduğu taş, mermer ve çeşitli malzemelerden yapılmış olup uzun yıllar muhafaza edilen dikdörtgen sandık şeklinde kapaklı mezar yapılarına da 'lahit' denilmektedir. Sadece ölen bireylerin yer aldığı lahitlerin yanı sıra bazı lahitlerin içine ölülerle birlikte değerli mezar hediyeleri de konulmaktadır.

Antik dönemdeki saray yapıları ve toplantıların yapıldığı meclis binaları bazilika olarak ifade edilmekteydi. Bazilika terimi, Bizans döneminde ilk defa bir kiliseyi ifade etmek için kullanılmış ve sonrasında kilise planlamaları için kullanılmaya devam etmiştir. İki sütunla üç nef ayrılmış olan bir mekanı temsil etmektedir. Arkeojeofizikte bazilika, ortadaki nefin yanlarındakilere oranla daha geniş ve yüksek, yanlarda bulunanların ise daha dar ve alçak olmasından çıkarılabilmektedir.

Jeofizik arama yöntemlerinin arkeolojik prospeksiyonda kullanılması ilk olarak 1940'lı yılların sonlarına doğrudur. Yapılan ilk çalışma, İngiltere'de 1946 yılında Atkinson tarafından başlanan öz direnç çalışmaları Pattantyus (1986), Young ve Droege (1986), Drahor (1991), Brizzolari (1979), Başokur (1992), Tsokas vd (1994) ve Kaya vd (1996) şeklinde devam etmektedir. 1957 yılında İngiltere'de Belshe tarafından yapılan Proton Manyetometresiyle manyetik çalışma yer almaktadır. Diğer yöntemlerin arkeolojik alanlarda uygulanmaya başlanması ise 1960'lı yılları bulmaktadır. Bu çalışmaları Aitken, Webster ve Rees (1958) tarafından Oxford Üniversitesinden bir grubun yaptığı çalışmalar takip etmektedir. Bu çalışmalardan sonra birçok araştırmacı farklı yöntemler deneyerek ilginç ve etkili sonuçlar elde etmişlerdir (Drahor, 1993).

Arkeojeofiziğe artan bu ilginin sebebi ise hızlı ve etkin sonuç vermesi, yeraltında gömülü olan yapılara cihazların zarar vermeyecek şekilde olması ve maliyet açısından da ucuz olmasından kaynaklanmaktadır. Ek olarak jeofizik cihaz ve yazılım teknolojisinin gelişimi ile ölçü duyarlılığı artmış ve geliştirilen veri işlem tekniklerinin bilgisayar ortamında uygulanmasıyla çözüm gücünü yükseltmiştir. Bu durum arkeojeofiziğin yaygın olarak 1990'lı yıllardan sonra kullanılmasına neden olmuştur.

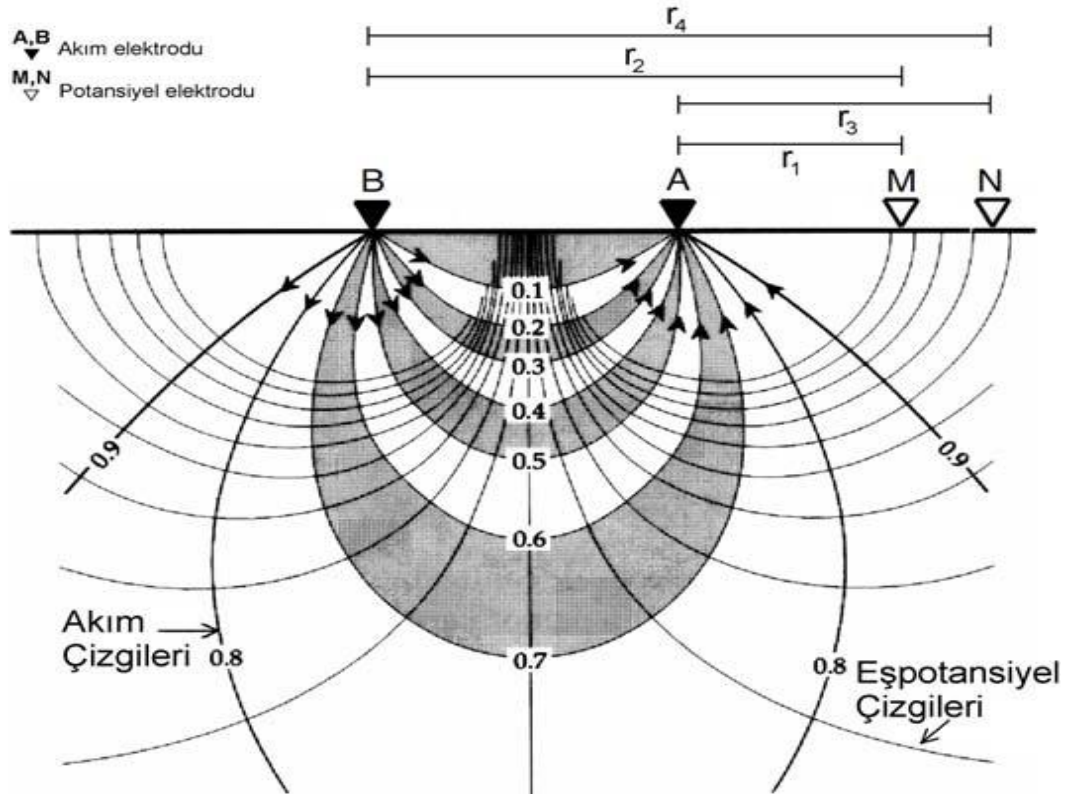
Bu tez çalışmasında arkeolojik alanlarda kullanılan elektrik öz direnç yöntemi ve yaygın kullanılan dizilim türleriyle gradyent diziliminin arkeolojik yapıları görüntülendirmesi ve yorumlanması amaçlanmıştır. Bu tez çalışmasında iki uygulama ele alınmıştır. Bu uygulamaların ilkinde kuramsal modellere uygulanan farklı yapı ve derinlikler baz alınarak 4 farklı model üzerinde çalışılmıştır. İkinci uygulama ise, arkeolojik yapılara uygulanan bir çalışma olup iki farklı model yapı üzerinde çalışılmıştır. İkinci uygulamanın ikinci modeli, birinci modelin aynısı olup sadece tabaka etkisini görmek adına tabaka eklenerek oluşturulan bir modeldir. Modelleme çalışmalarında veri ve model uyumsuzluk değerleri hesaplanarak, dizilimler için ters çözüm sonuçlarının gerçek modelleri belirlemedeki başarısı irdelenmiştir.

BÖLÜM İKİ

ELEKTRİK ÖZDİRENÇ YÖNTEMİ

2.1 Elektrik Özdirenç Yöntemi

Elektrik özdirenç yöntemi yaklaşık olarak 1945 yılından itibaren arkeolojik prospeksiyonda uygulanmaya başlanmış ve 20. yüzyılda Wenner ve Conrad Schlumberger tarafından ilk uygulamalar gerçekleştirilmiştir. Genellikle bu yöntemde bir kaynak (akü) ile yüzeyden yere iki akım elektrodundan akım verilir ve yeraltında meydana gelen potansiyeli, yüzeyde yer alan iki potansiyel elektrot ölçmektedir (Şekil 2.1). Elektrik özdirenç yönteminde, yer altında gömülü halde bulunan yapılar ile onu çevreleyen ortam arasında elektriksel özellikler ve sıvı ile nem içeriklerinden kaynaklanan zıtlıklar oluşmaktadır. Bu zıtlıklar, yapının görüntülendirilmesinde önemli bir unsur oluşturmaktadır (Berge, 2011).



Şekil 2.1 Yarı sonsuz ortam içindeki akım ve potansiyel çizgileri (Stummer, 2003; Van Nostran ve Cook, 1966)

Elektrik özdirenç yönteminin temelini Maxwell denklemleri ve Ohm yasası oluşturmaktadır.

Elektrik potansiyel ile elektrik alan şiddeti arasındaki ilişki denklem 2.1'deki gibidir.

$$\vec{E} = -\nabla\phi \quad (2.1)$$

Sürekli bir yapıda akım akışı için Ohm yasasının vektör formundaki eşitliği ise;

$$\vec{J} = \sigma \cdot \vec{E} \quad (2.2)$$

şeklinde verilir. Burada σ , yapının iletkenliği; $\vec{J}$, akım yoğunluğu ve E , elektrik alan şiddetidir.

Ortam özdirenci ρ ve $\rho=1/\sigma$ olarak ifade edilmektedir. Bağlıtından da anlaşılacağı gibi ortamın iletkenliğine (σ) bağlıdır. (2.1) ve (2.2) denklemleri düzenlendiğinde ise akım yoğunluğu elde edilir ve (2.3) denklemi ile tanımlanır.

$$\vec{J} = -\frac{1}{\rho} \cdot \nabla\phi = \frac{I}{A} \quad (2.3)$$

Akım yoğunluğu Maxwell denklemleri yardımıyla da elde edilebilir ve (2.4) denklemindeki gibi ifade edilebilir.

$$\nabla \cdot \vec{J} = -\frac{\partial q}{\partial t} \quad (2.4)$$

Kaynaktan I akımı verildiği ve akım kaynağı (x_s, y_s, z_s) koordinatlarına yerleştirildiği düşünülürse (2.5) denklemi ile tanımlanmıştır.

$$\nabla \cdot \vec{J} = I \cdot \delta(x - x_s) \cdot \delta(y - y_s) \cdot \delta(z - z_s) \quad (2.5)$$

(2.5) denklemi, (2.3) denkleminde yazılır ve düzenlenirse Poisson denklemi elde edilebilir. Dey ve Morrison (1979a) bu denklemi, I akım kaynağının onu çevreleyen bir ΔV hacim elemanı üstünde (x_s, y_s, z_s) koordinatlarına yerleştirilmesiyle yeraltında

oluşturacağı potansiyel dağılımı olarak akım yoğunluğu ve akım ile olan ilişkisi (2.6) denklemi ile tanımlanmıştır (Berge, 2011).

$$-\nabla \cdot [\sigma(x, y, z) \cdot \nabla \phi(x, y, z)] = \left(\frac{I}{\Delta V} \right) \cdot \delta(x - x_s) \cdot \delta(y - y_s) \cdot \delta(z - z_s) \quad (2.6)$$

Burada δ , Birim Delta (Dirac Delta) fonksiyonudur ve denklemin çözümü için bir çok teknik geliştirilmiş olup yer altı yapısı üzerinde potansiyel dağılımının modellenmesi yapılabilir ve bu ‘Düz Çözüm’ olarak adlandırılır.

Elektrik özdirenç çalışmalarında elektrik potansiyel Laplace denklemini de sağlamalıdır. Buna göre Laplace denklemi,

$$\nabla^2 \phi = 0 \quad (2.7)$$

şeklinde ifade edilir.

Yeraltında bulunan nokta akım kaynağının yeryüzünde herhangi bir noktada oluşturacağı potansiyel değeri misse-à-la-masse metodu (Parasnis, 1966) ile (2.8) denklemi ile ifade edilmektedir.

$$\phi = \frac{I\rho}{4\pi r} \quad (2.8)$$

Burada r , elektrot ile nokta arası uzaklıktır.

Yarı-sonsuz homojen ortamda akım ile potansiyel elektrotlarının yüzeyde konumlandığı düşünüldüğünde, A ve B akım, M ve N ise potansiyel elektrotlarıdır. Şekil 2.1’de de verilmiş olan dört elektrotlu dizilimde potansiyel elektrotlar arasında oluşan gerilim farkı,

$$\Delta\phi = \phi_M - \phi_N = \frac{I\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_3} + \frac{1}{r_4} \right) \quad (2.9)$$

denklemi ile ifade edilmektedir.

(2.9) denklemi kullanılarak elde edilen homojen olmayan yeraltı için hesaplanan öz direnç değerine görünür öz direnç (ρ_a) denir ve “ ρ_a ” görünür öz direnç değeri,

$$\rho_a = \frac{\Delta\phi}{I} \frac{2\pi}{\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_3} + \frac{1}{r_4}\right)} \quad (2.10)$$

denklemi ile tanımlanmaktadır. Elde edilen görünür öz direnç değeri, elektrot diziliminin orta noktasına atanmaktadır. Yeraltının sahip olduğu gerçek öz direnç değeri hesaplanan öz direnç değeri değildir ancak görünür öz direnç ölçümlerinden, yeraltının gerçek öz direnç değerleri uygulanan değerlendirme metotlarıyla belirlenebilmektedir. Bu tekniklerden bir tanesi de ‘Ters Çözüm’dür.

Geometrik faktör, dizilim katsayısı olarak da adlandırılmaktadır. Genellikle “k” ile gösterilir ve

$$k = \frac{2\pi}{\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_3} + \frac{1}{r_4}\right)} \quad (2.11)$$

şeklinde ifade edilir.

Elektrik öz direnç yönteminde gömülü halde bulunan yapıyı bulabilmek için yeraltında öz direnç zıtlığı oluşması gerekmektedir. Aksi halde, gömülü yapının ve ortamın birbirinden ayırt edilmesi mümkün olamaz. Bu nedenle gömülü halde bulunan yapının ortamdan farklı elektriksel özelliklere sahip olması gerekmektedir.

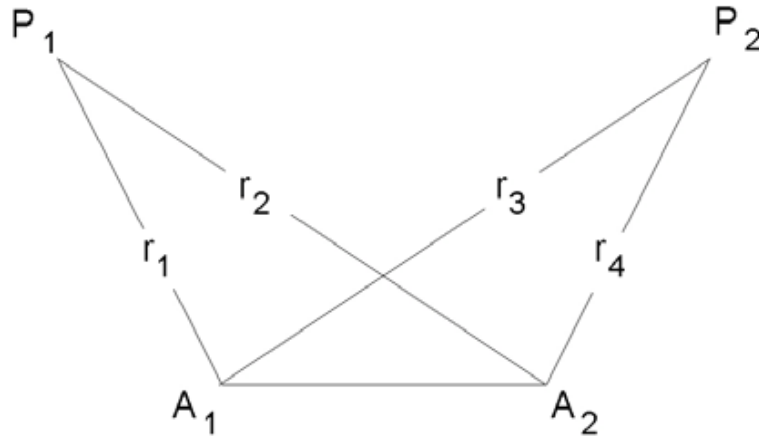
Yeraltındaki materyallerde elektriksel yükün taşınma hareketi elektronik ve elektrolitik iletim olarak iki ana iletim şeklinde olmaktadır. Elektronik iletim, akım akışı serbest elektronlar yoluyla gerçekleşirken elektrolitik iletimde ise akım akışı iyonlar yoluyla gerçekleşir. Eğer bir kayaç çok az serbest elektrona sahip ise elektrik akımı dielektrik iletim ile gerçekleşmektedir. Bu nedenle kayaçlar doğal ortamda, sahip oldukları geçirgenlik ve gözeneklilik özelliklerine bağlı olarak geniş aralıkta öz direnç değerleri göstermektedir (Berge, 2011) (Tablo 2.1).

Tablo 2.1 Bazı materyal ve kayaçların özdirenç değerleri (Telford ve diğer., 1976)

Kayaç ve Mineral Tipi	Özdirenç Aralığı (Ωm)
Kil	1-100
Örtü Tabakası	50-100
Gevşek Kum	500-5000
Alüvyon ve Kumlar	10-800
Kumtaşı	200-8000
Pirit	0.01-100
Granit	200-100000
Kireçtaşı	500-10000
Bazalt	200-100000
Yüzey Suları	10-100
Doğal Sular(Sedimanlarda)	1-100
Toprak Suları	~100
Deniz Suyu	~0.2

2.2 Elektrik Özdirenç Yönteminde Kullanılan Dizilimler

Elektrik özdirenç yöntemi genel olarak iki akım ve iki potansiyel elektrot olmak üzere 4 elektrodun kullanıldığı bir yöntemdir. Elektrot sayılarının ve dizilişlerinin farklı olmasından kaynaklı elektrot dizilimi kavramı oluşmuştur (Şekil 2.2).



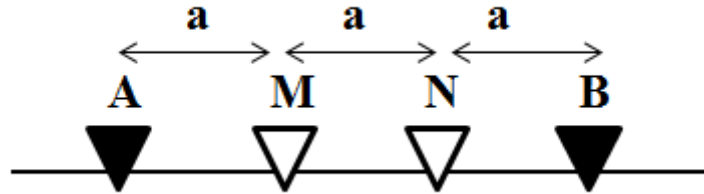
Şekil 2.2 Genel dört elektrot diziliminin gösterimi: A_1 ve A_2 akım elektrotları, P_1 ve P_2 potansiyel elektrotları (Dey ve Morrison, 1979a)

Literatürde birçok bilim insanının sınıfladığı birçok dizilim türü bulunmaktadır. Pratikte en yaygın olarak kullanılan dizilim türleri ise Wenner-alfa, Wenner-beta, Wenner-gama, Wenner-Schlumberger, pol-pol, pol-dipol ve dipol-dipol dizilimleridir. Bu tez çalışması kapsamında ise Wenner-alfa, Wenner-beta, Wenner-gama, Wenner-Schlumberger, pol-pol, pol-dipol, dipol-dipol ve gradyent dizilimleri ve bu dizilimlerin modelleme çalışmaları yapılmıştır.

Wenner, Wenner-Schlumberger, dipol-dipol dizilimleri 4 elektrotu da ölçüm esnasında aktif bir şekilde kullanılırken, pol-pol diziliminde bir akım ve bir potansiyel elektrodunun, Pol-dipol diziliminde ise bir akım elektrotunun sonsuzda olduğu varsayılarak sabit bir şekilde konumlandırılmaktadır. Arazi uygulamalarında en büyük elektrot açıklığının 20 katı kadar bir uzaklık sonsuz mesafe olarak alınmaktadır. Elektrotlar arası mesafeleri gösteren “a” ve “n” değerlerinin değiştirilmesiyle farklı derinlik seviyelerinden görünür öz direnç verilerinin okunması sağlanmaktadır (Berge, 2011).

2.2.1 Wenner Dizilimi

Wenner dizilimi, iki akım ve iki potansiyel elektrodun aktif olarak kullanıldığı simetrik bir dizilim türüdür. Elektrot aralıkları “a” olarak sabit alınmakta ve ölçüm değerleri ise iki potansiyel elektrodun ortasına atanmaktadır. Wenner diziliminde kullanılan iki akım ve iki potansiyel elektrotun dizilim şekli Şekil 2.3’de verilmiştir.



Şekil 2.3 Wenner dizilim şekli (A,B: akım elektrodu; M,N: potansiyel elektrodu)

Wenner dizilim türünde k geometrik faktörü;

$$k = \frac{2\pi}{\frac{1}{AM} - \frac{1}{AN} - \frac{1}{BM} + \frac{1}{BN}} \quad (2.12)$$

şeklinde yazılır ve elektrotlar arası uzaklık a olarak tanımlandığında;

$$k = \frac{2\pi}{\frac{1}{a} - \frac{1}{2a} - \frac{1}{2a} + \frac{1}{a}} \quad (2.13)$$

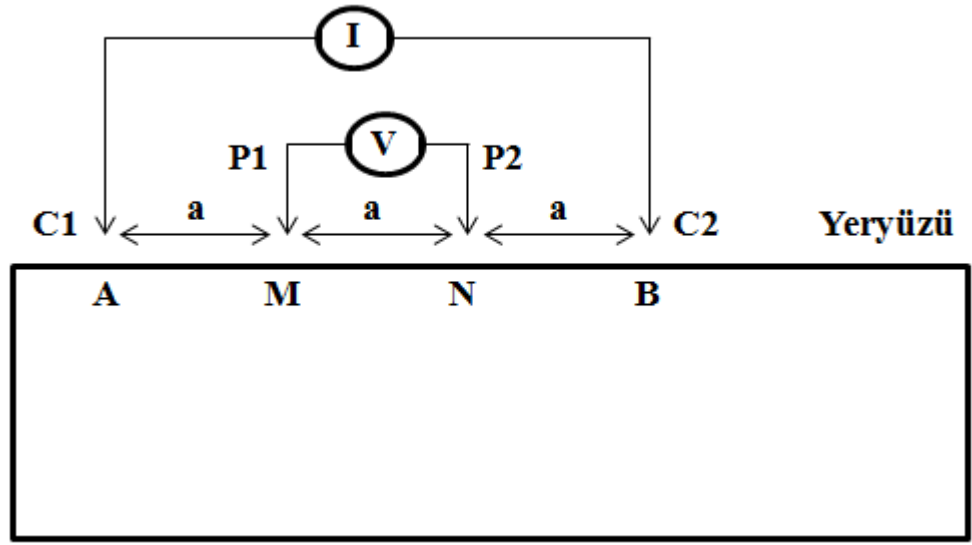
olarak yazılır ve bağıntı düzenlendiğinde $k=2\pi a$ olarak Wenner dizilimi için geometrik faktör elde edilmiş olur. Wenner dizilimine göre görünür öz direnç bağıntısı ise;

$$\rho_{aw} = 2\pi a \left(\frac{\Delta V_a}{I} \right) \quad (2.14)$$

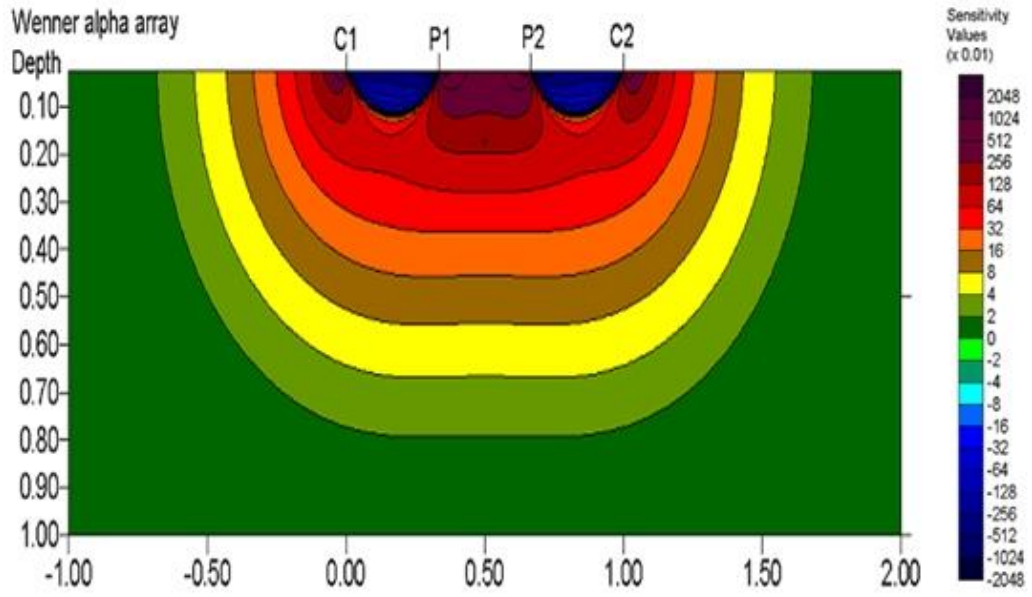
biçiminde yazılabilir.

Dizilimin duyarlılığının dizilim merkezinin altında ve iki akım elektrotu arasında hemen hemen yatay olması sebebiyle yeraltındaki yatay tabakalara daha iyi çözümler verebilmektedir. Ortalama araştırma derinliği, Wenner dizilimde sabit olarak alınan elektrot aralığı “a”nın yarısı kadardır. Dizilim yüksek sinyal oranı sunarak, gürültüye karşı daha az duyarlıdır.

Wenner diziliminde elektrotlar C1P1P2C2 veya P1C1C2P2 düzeninde sıralanırsa, Alfa (α) dizilimi olarak adlandırılır (Şekil 2.4).

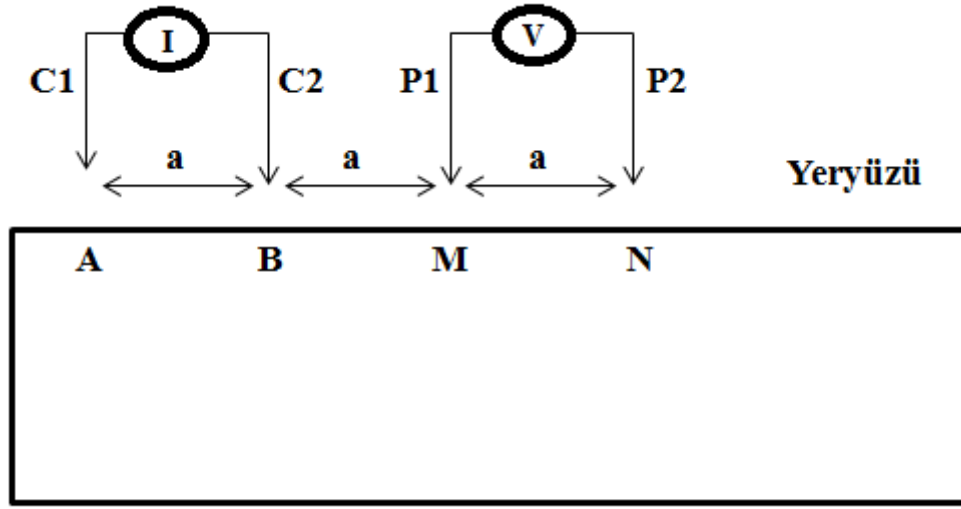


Şekil 2.4 Wenner-alfa (α) dizilimi gösterim şekli

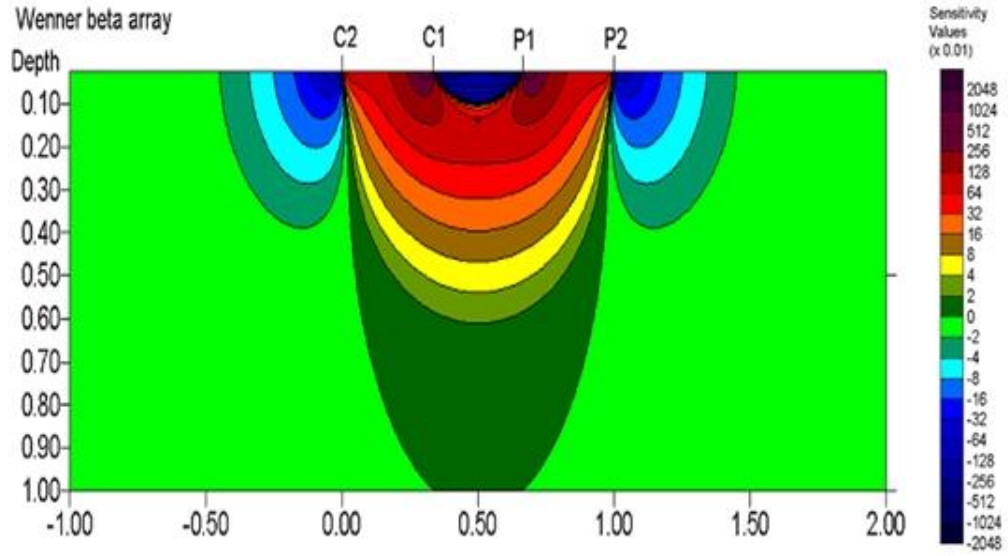


Şekil 2.5 Wenner-alfa (α) dizilimine ait duyarlık kesiti (Loke, 2015)

Wenner diziliminde elektrotlar C1C2P1P2 düzeninde sıralanırsa, Beta (β) dizilimi olarak adlandırılır (Şekil 2.6).

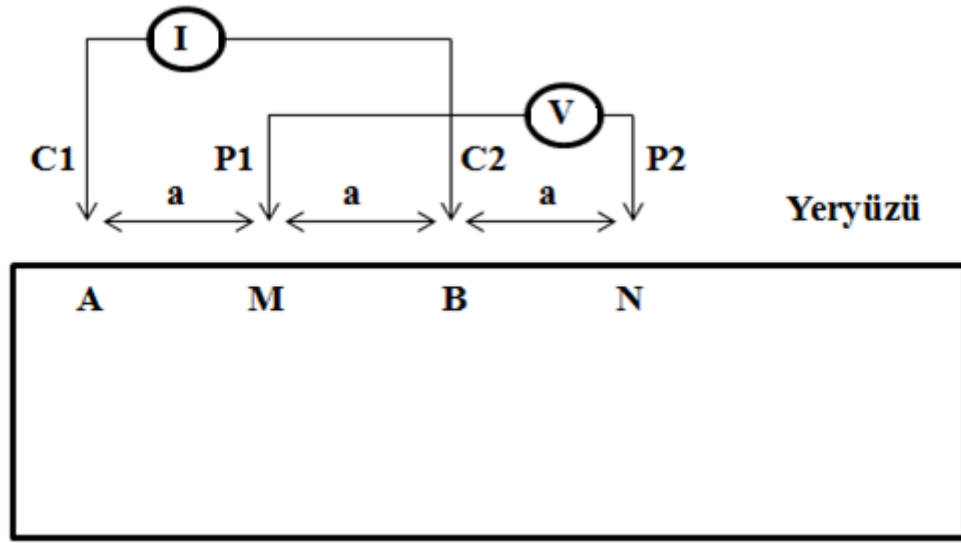


Şekil 2.6 Wenner-beta (β) dizilimi gösterim şekli

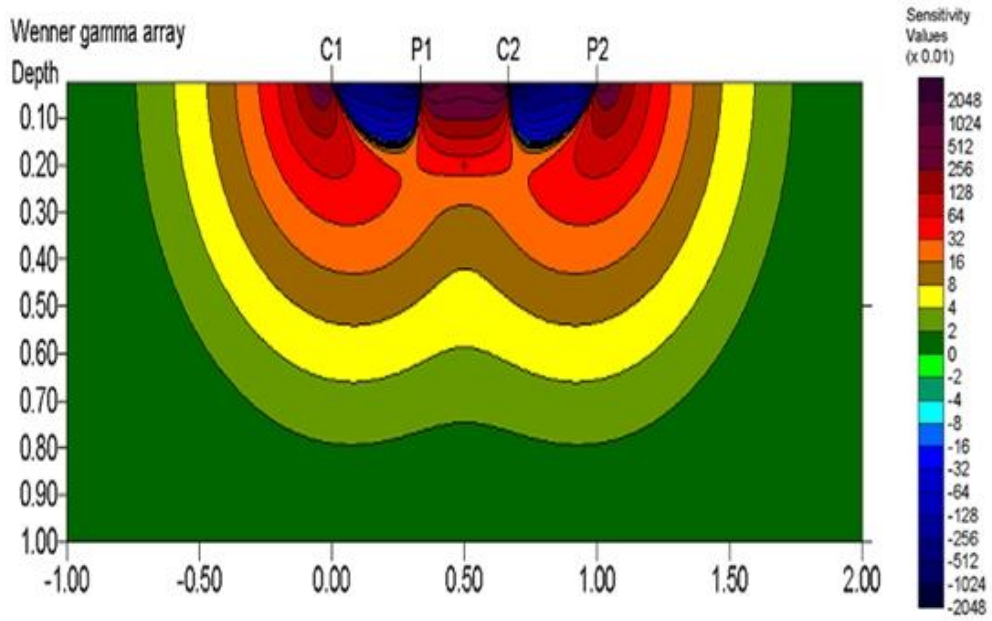


Şekil 2.7 Wenner-beta (β) dizilimine ait duyarlılık kesiti (Loke, 2015)

Wenner diziliminde elektrotlar C1P1C2P2 veya P1C1P2C2 düzeninde sıralanırsa, Gama (γ) Dizilimi olarak adlandırılır (Şekil 2.8).



Şekil 2.8 Wenner-gama (γ) dizilimi gösterim şekli



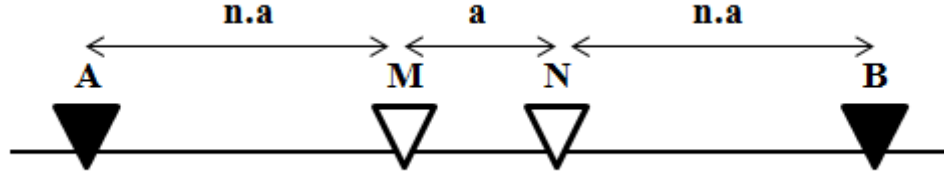
Şekil 2.9 Wenner-gama (γ) dizilimine ait duyarlılık kesiti (Loke, 2015)

Wenner elektrot dizilimi yanal süreksizliklerden etkilendiği için genellikle sığ araştırmalarda tercih edilmektedir.

2.2.2 Wenner –Schlumberger Dizilimi

Wenner-Schlumberger diziliminde, ölçüm anında iki akım ve iki potansiyel elektrot aktif bir şekilde kullanılmaktadır. Elektrot aralıkları belli bir “n” faktörüne

göre seçilmekte olup ölçüm değerleri, iki potansiyel elektrodun ortasına atandığı diğer bir simetrik dizilim türüdür. Wenner-Schlumberger diziliminde kullanılan iki akım ve iki potansiyel elektrodun dizilim şekli Şekil 2.10’de verilmiştir.



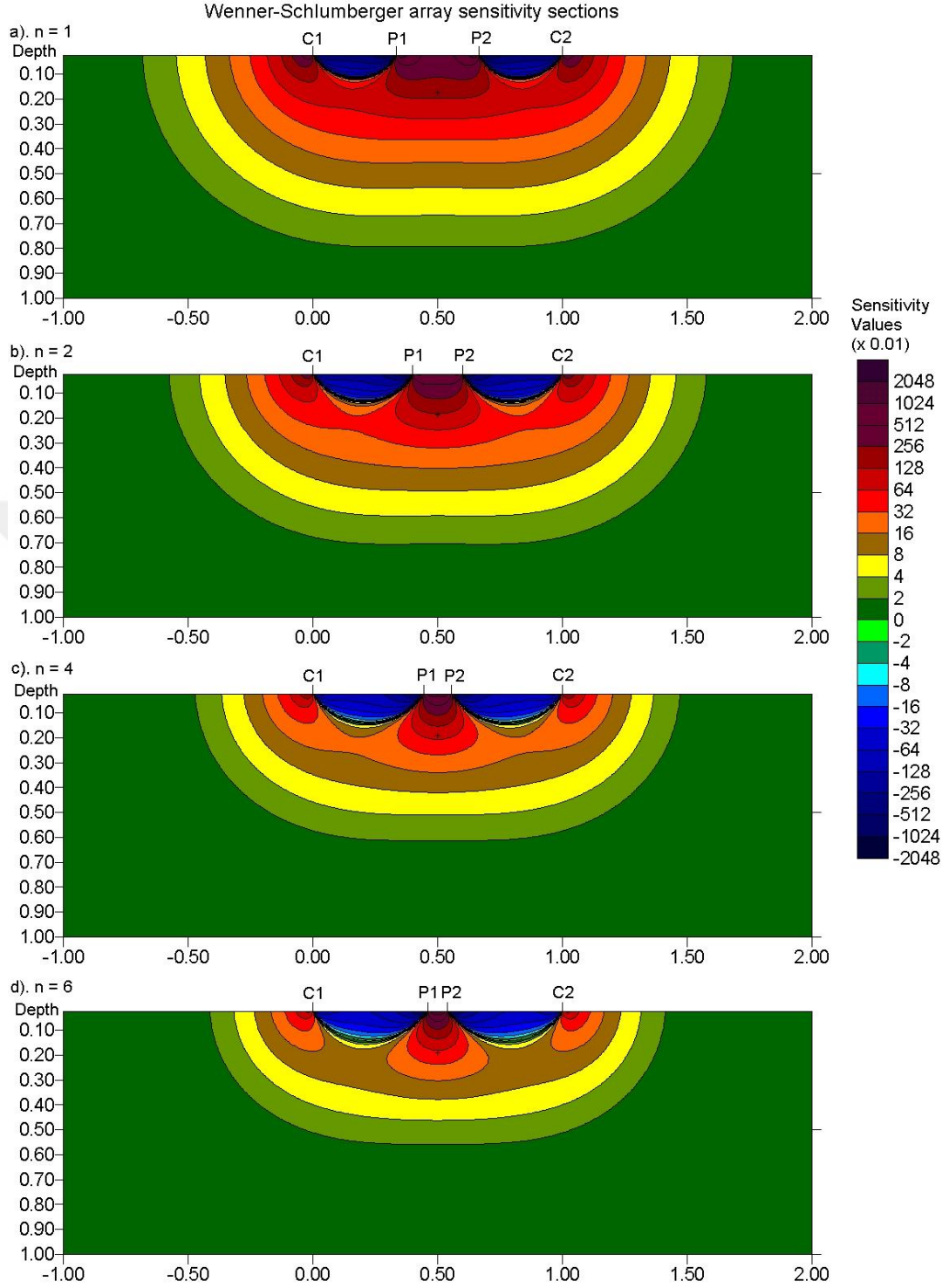
Şekil 2.10 Wenner-Schlumberger dizilim şekli (A,B: akım elektrodu; M,N: potansiyel elektrodu)

Dizilimden de anlaşılabacağı gibi “n=1” olması durumunda Wenner dizilimi elde edilmektedir. Ancak bu dizilim, Wenner dizilimine oranla daha derin bir araştırma derinliği sağlamasına rağmen toplanmış olan ölçümlerin yatayda kapladığı yer ve gürültü içeriği Wenner dizilimine göre de daha fazladır. Ölçülen görünür öz direnç değerinin dizilimin ortasına atandığı bu elektrot düzeninde, “a” ve “n” değerleri birlikte veya ayrı ayrı arttırılarak derin seviyelerden bilgi alınmasını sağlayabilmektedir. Dizilimin duyarlık kesiti incelendiğinde; potansiyel elektrotların arasında kalan alanın pozitif kısmı Wenner diziliminden daha dar ve derine doğru yayvan olduğu görülmektedir (Şekil 2.11). Bu durum dizilimin yatay ve düşey süreksizliklere karşı duyarlı olduğunu gösterir ve özellikle düşey süreksizlik durumlarında Schlumberger diziliminin oldukça iyi sonuçlar verdiğini görülmektedir (Berge, 2002).

Wenner-Schlumberger dizilim türünde k geometrik faktörü;

$$k = \frac{2\pi}{\frac{1}{na - \frac{a}{2}} - \frac{1}{na + \frac{a}{2}} - \frac{1}{na - \frac{a}{2}} + \frac{1}{na - \frac{a}{2}}} \quad (2.15)$$

şeklinde yazılır ve bağıntı düzenlendiğinde $k=\pi an(n+1)$ olarak Wenner-Schlumberger dizilimi için geometrik faktör elde edilmiş olur.

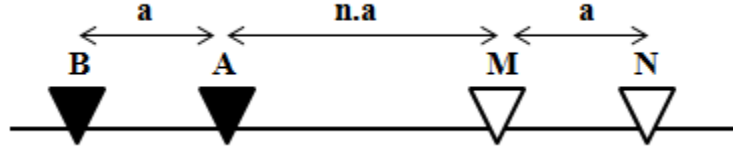


Şekil 2.11 Wenner-Schlumberger dizilimine ait duyarlık kesiti (Loke, 2015)

2.2.3 Dipol-dipol Dizilimi

Dipol-dipol dizilimi, “n” faktörüne göre simetrik olarak yerleştirilmiş olan akım ve potansiyel elektrotlarının dipol olarak yerleştirildiği dizilim türüdür. Bu dizilimin

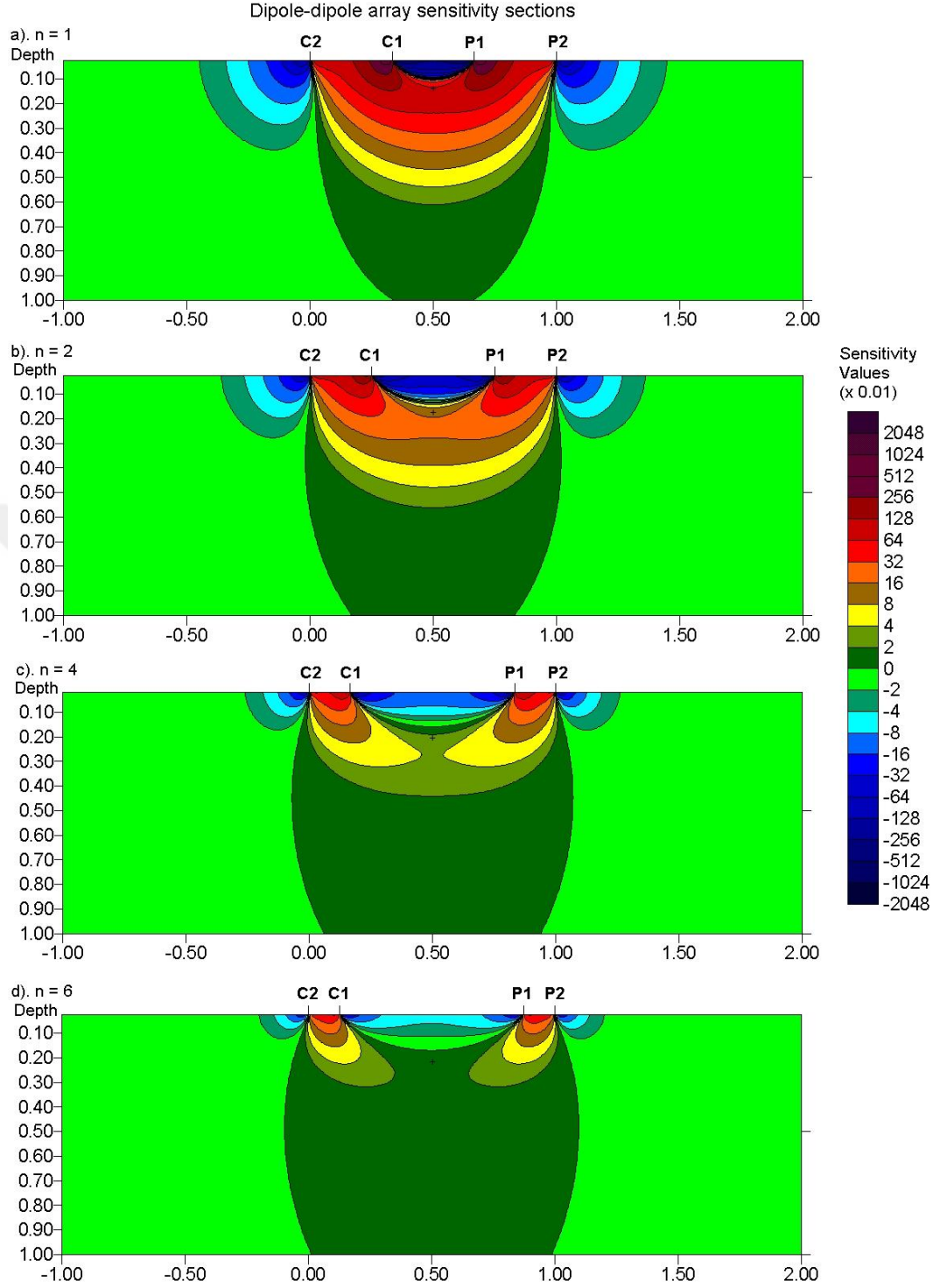
araştırma derinliği “a” ve “n” değerlerine göre değişmekte olup Wenner dizilimine kıyasla daha sığ kalabilmektedir. Dipol-dipol diziliminin görünür öz direnç değeri ise dipol kollarının orta noktasına atanmaktadır. Dipol-dipol diziliminde kullanılan iki akım ve iki potansiyel elektrodun dizilim şekli Şekil 2.12’de verilmiştir.



Şekil 2.12 Dipol-dipol dizilim şekli (A,B: akım elektrodu; M,N: potansiyel elektrodu)

Elektrik öz direnç yönteminin iki boyutlu araştırmalarında dipol-dipol diziliminin yatayda kapladığı veri kaplama alanı, Wenner dizilimine göre daha geniş olmasıyla beraber diğer dizilim türlerine göre yüksek anomali etkisine sahiptir. Göstermiş olduğu yüksek anomali etkisine rağmen dipol-dipol diziliminin gürültü içerme olasılığı fazladır. Düşey yönelimli yapılara duyarlı olan dipol-dipol dizilimden elde edilen sonuçların ayrımlılığı da yüksektir (Berge, 2011).

Şekil 2.13 incelendiğinde dizilimin akım ve potansiyel kolları arasında yüksek duyarlılık gösterdiği ve bu nedenden dolayı yeraltındaki düşey yönlü değişimlerde daha başarılı olduğu görülebilir (Berge, 2011).



Şekil 2.13 Dipol-dipol dizilimine ait duyarlık kesiti (Loke, 2015)

Dipol-dipol dizilim, derindeki ayrımlılığın önemli olmadığı dayk ve boşluklar gibi düşey yapıların haritalanmasında da başarılı sonuçlar vermektedir (Berge, 2005).

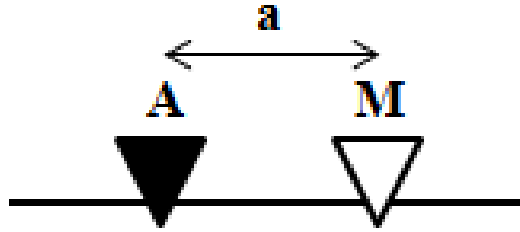
Dipol-dipol dizilim türünde k geometrik faktörü;

$$k = \frac{2}{\frac{1}{n} - \frac{2\pi a}{n+1} + \frac{1}{n+1}} \quad (2.16)$$

şeklinde yazılır ve bağıntı düzenlendiğinde $k=\pi a n(n+1)(n+2)$ olarak dipol-dipol dizilimi için geometrik faktör elde edilmiş olur.

2.2.4 Pol-pol Dizilimi

Pol-pol diziliminde, ölçüm anında aktif olarak bir akım ve bir potansiyel elektrodu kullanılmaktadır. Sabit olarak alınan elektrot aralığının (a) ve ölçülen görünür öz direnç değerlerinin akım ve potansiyel elektrodunun arasına atandığı simetrik bir dizilim türüdür. Pol-pol diziliminde kullanılan akım ve potansiyel elektrodun dizilim şekli Şekil 2.14’de verilmiştir.

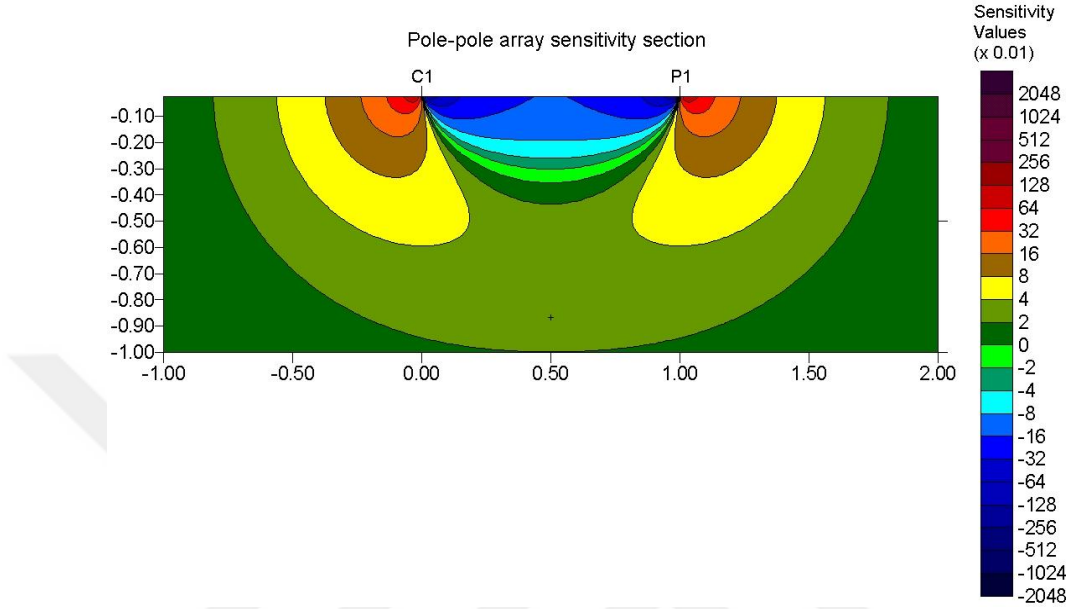


Şekil 2.14 Pol-pol dizilim şekli (A: akım elektrodu; M: potansiyel elektrodu)

Pol-pol dizilimde diğer akım ve potansiyel elektrot da kullanılmaktadır ancak bu iki elektrot hem sabit hem de oldukça uzak bir mesafeye yerleştirilir. Dizilimin araştırma derinliği ve yataydaki veri kaplama alanı diğer dizilimlere göre fazladır ve “a” mesafesinin 0.866 katıdır. Dizilimin anomali etkisi ve sinyal/gürültü oranı yeraltı modeline göre yüksek veya düşük olabilmektedir. Ancak kuramsal çalışmalarda eklenen gürültüye rağmen pol-pol dizilim diğer dizilimler ile karşılaştırıldığında orta seviyede kalmaktadır (Dahlin ve Zhou, 2004). Üç boyutlu elektrik öz direnç ölçümleri için ise dizilimin iki elektrodun kullanılması uygun ve avantaj sağlarken tellürik akımlara karşı duyarlı olması ise dizilimin dezavantajıdır (Berge, 2011).

Pol-pol dizilim türünde k geometrik faktörü denklem 2.17'deki gibidir.

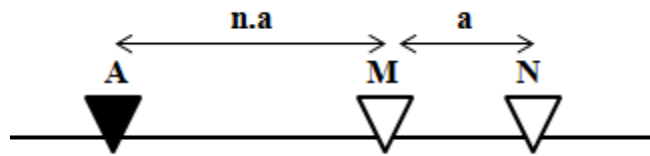
$$k = 2\pi a \quad (2.17)$$



Şekil 2.15 Pol-pol dizilimine ait duyarlık kesiti (Loke, 2015)

2.2.5 Pol-dipol Dizilimi

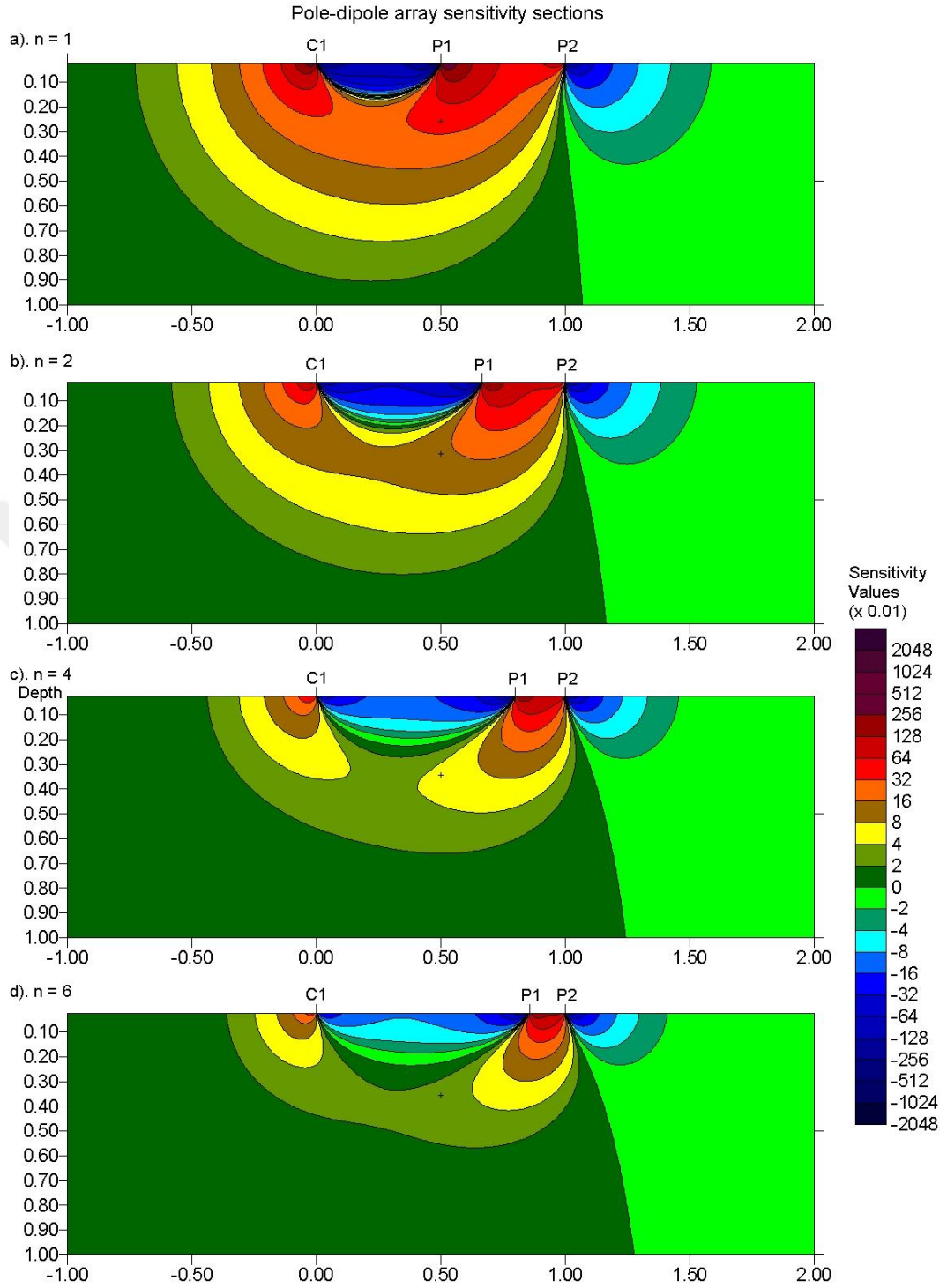
Pol-dipol dizilimi, ölçüm esnasında aktif bir şekilde bir akım ve iki potansiyel elektrodun kullanıldığı asimetrik bir dizilim türüdür. Diğer akım elektrodu ise sonsuza atılmaktadır ve sonsuzda konumlandırılan bu akım elektrodunun yönüne bağlı olarak sol ve sağ yönlü dizilim olarak adlandırılır. Pol-dipol diziliminde kullanılan akım ve potansiyel elektrotlarının dizilim şekli Şekil 2.16'da verilmiştir.



Şekil 2.16 Pol-dipol dizilim şekli (A: akım elektrodu; M,N: potansiyel elektrodu)

Pol-dipol dizilim türünde k geometrik faktör denklem 2.18'deki gibidir.

$$k = 2\pi a \cdot n(n + 1) \quad (2.18)$$



Şekil 2.17 Pol-dipol dizilimine ait duyarlık kesiti (Loke, 2015)

Pol-dipol dizilimi, asimetrik dizilim olduğundan simetrik olmayan görünür öz direnç eğrileri göstermeye meyilli olan bir dizilim türüdür. Ölçülen görünür öz direnç değerleri de dizilimin ortasına atanabileceği gibi, iki potansiyel elektrodun ortasına da atanabilir. Şekil 2.17'deki duyarlık kesidi incelendiğinde pol-dipol

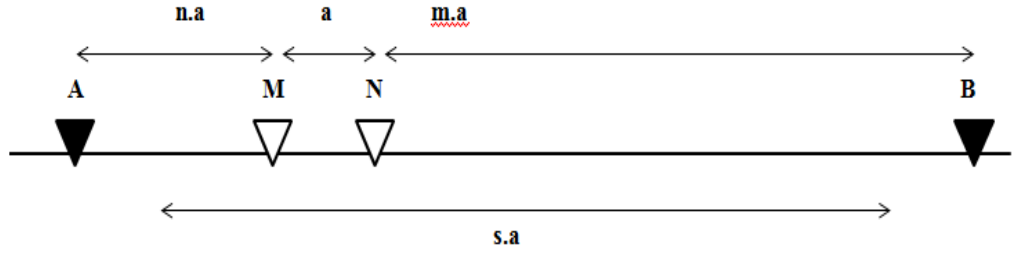
dizilimi, dipol-dipol dizilimine benzer şekilde düşey yönelimli yapılara duyarlıdır ve dipol-dipol dizilimine kıyasla daha az gürültü içeriği sunduğu söylenebilir (Berge, 2011).

2.2.6 Gradyent Dizilimi

Dahlin ve Zhou tarafından 2004 yılında yapılan makalede çok kanallı kayıt için uygun iki elektrot konfigürasyonu, yani çoklu gradyent dizisi ve orta nokta potansiyeli referanslı ölçüm ele alınmıştır. Bu elektrot konfigürasyonları çok kanallı veri toplama sistemleri için çok uygundur, böylece her bir akım enjeksiyonu için eş zamanlı olarak birçok veri noktası kaydedilebilir ve böylece veri yoğunluğundan ödün vermeden alan çalışma süresi önemli ölçüde azaltılabilmektedir. Bu iki dizilim, Wenner-alfa, Wenner-Schlumberger, dipol-dipol, pol-dipol ve pol-pol dizilimleri gibi geleneksel olarak kullanılan elektrot dizilimleri ile birlikte 2B öz direnç görüntüleme için sayısal olarak incelenmiştir. Gradyent dizilimi, genellikle kullanılan en iyi dizilimler (Schlumberger, dipol-dipol ve pol-dipol) kadar iyi olduğunu ve en iyi görüntüleme çözünürlüğünü verdiğini bu çalışmada sonuçlandırmıştır (Dahlin ve Zhou, 2006).

Buradaki amaç, çoklu gradyent dizilim ölçümlerinin pratik uygulanabilirliğini test etmek ve genel olarak kullanılan elektrot dizilimleri ile performanslarını karşılaştırmaktır.

Dahlin ve Zhou (2006) yaptıkları çalışmada, üç alanda yürütülen saha testlerinden elde edilen sonuçları sunmaktadır: (1) Bir atık dökümü, (2) arızalı bir bölgeye sahip bir sığ tabakalı dizi ve (3) bir horstun kenarında bulunan bir esker. Pratikte, geleneksel dizilimlerle karşılaştırmalar Wenner ve dipol-dipol dizilimler ile sınırlıdır. Pol-dipol'ün güçlü bir aday olduğunu sayısal modelleme (Dahlin ve Zhou, 2004) göstermesine rağmen, bu çalışmanın odak noktası olan genel uygulamada çoğu zaman pratik olmadığı için burada sunulan testlere uzak elektroda ihtiyaç olmaması sebebiyle dahil edilmemiştir (Dahlin ve Zhou, 2006).



Şekil 2.18 (S+2).a akım elektrot ayırımı ile bir ölçüm için elektrotların pozisyonunu gösteren gradyent diziliminin çizimi (Dahlin ve Zhou, 2006)

Şekil 2.18’de ayırma faktörü $s = 7$, n-faktör $= 2$ ve orta nokta faktörü $m = -2$ ’dir. Burada, n faktörü, bir akım elektrot ve bir potansiyel elektrot arasındaki en küçük bağıl aralık olarak tanımlanır (Dahlin ve Zhou, 2006).

2.2.7 Çok elektrotlu Gradyent Araştırması

Çok elektrotlu gradyent incelemesi, bir ayırma $(s + 2).a$ ile akım gönderilerek ve potansiyel elektrotlar arasındaki tüm potansiyel farkların eşzamanlı olarak veya sırayla toplanmasıyla gerçekleştirilir (Şekil 2.18). Burada, bir tamsayı olan ayırma faktörü, bir akım gönderimi için maksimum potansiyel okuma sayısıdır. Faktör n, potansiyel dipol ve en yakın akım elektrodu arasındaki nispi aralık olarak tanımlanabilir. Ayrıca, potansiyel elektrot dipolün orta noktasının iki akım elektrodunun orta noktasına göre pozisyonu olarak bir orta nokta faktörü m tanımlanması pratik olabilir (Dahlin ve Zhou, 2006).

$$m = \frac{(x_M + x_N) / 2 - (x_A + x_B) / 2}{(x_N - x_M)} = \frac{x_{MN} - x_{AB}}{a} \quad (2.19)$$

2.19’deki denklemde x_A, x_B, x_M, x_N akım ve potansiyel elektrotların konumları ($x_B > x_A, x_N > x_M$), ve x_{AB}, x_{MN} ise dipollerin orta noktalarıdır.

Bu nedenle, negatif bir m faktörü, akım elektrot orta noktasının solundaki potansiyel bir dipolü gösterir ve pozitif bir m faktörü, potansiyel elektrot dipolün orta noktaya göre sağa kaydırıldığını gösterir. Benzer şekilde, veri işleme amaçları için, potansiyel elektrotlar daha düşük koordinatlarda olduklarında en yakın akım elektrodundan ve negatif n faktörlerinden daha yüksek koordinatlarda olduğunda pozitif n faktörleri ile bir vektör olarak n faktörünü tanımlamak uygun olabilir. Bundan sonra verilen s ve n değerleri için m 'nin de

$$m = n - \frac{s+1}{2}, \quad x_{MN} \leq x_{AB} \ (m \leq 0) \text{ için,}$$

$$m = n - \frac{s+1}{2}, \quad x_{MN} > x_{AB} \ (m > 0) \text{ için,}$$

n ve m 'nin negatif veya pozitif tamsayılar şeklinde belirlendiği izlenmektedir (Dahlin ve Zhou, 2006).

Şekil 2.19a ve 2.19c gradyent dizilimi için potansiyel elektrotların üç pozisyonunun örneklerini, homojen bir zeminde karşılık gelen duyarlılık fonksiyonuyla (McGillivray ve Oldenburg, 1990; Loke ve Barker, 1995) göstermektedir. Genel olarak, akım ve potansiyel elektrotların nispi ayrımı ne kadar büyük olursa, derinlemesine konfigürasyonun nüfuzu da o kadar fazla olur. Pratik uygulamalarda, aralık a 'nın ve ayrılmanın seçimi, gürültü hassasiyeti, yatay detay ve derinlik nüfuzu arasındaki bir değişime bağlı olacaktır (Dahlin ve Zhou, 2006).

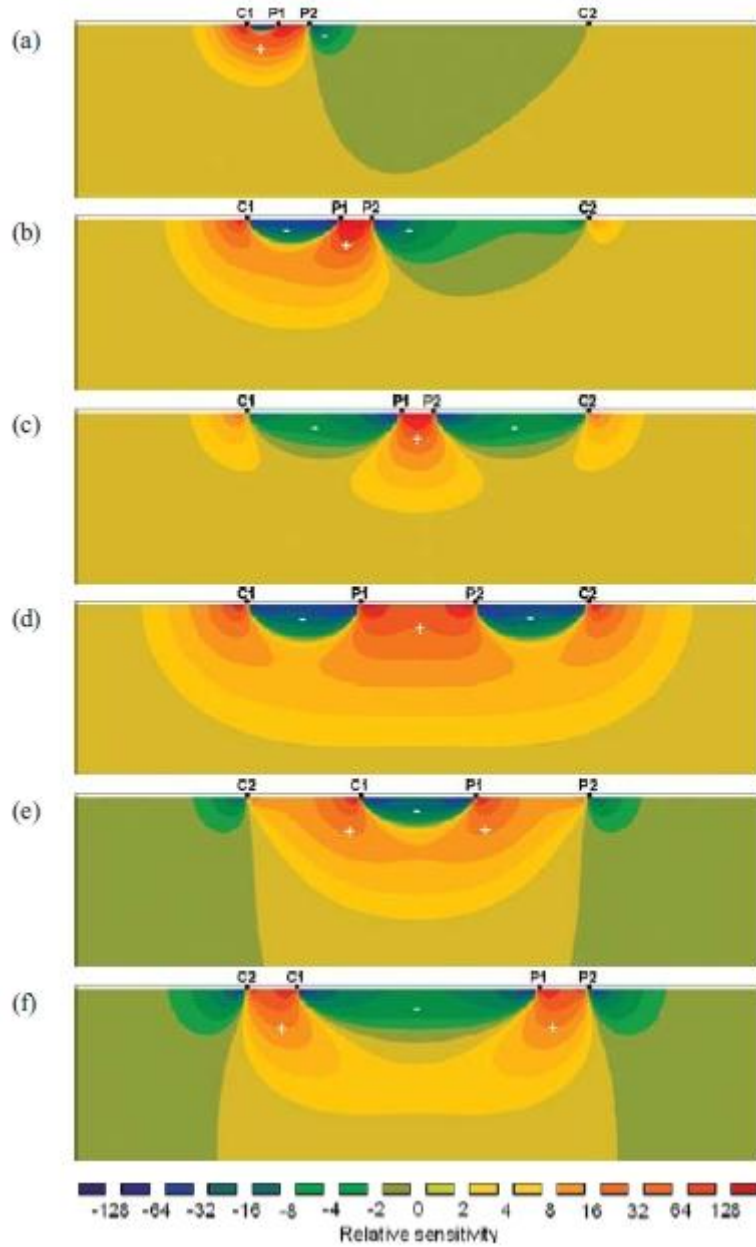
Geleneksel gradyent yüzey araştırması çoğu zaman sadece bir sabit yerde akım elektrotlarla yapılan ölçümlerden oluşur. Çok elektrotlu bir gradyent araştırmasında, çok sayıda elektrot kombinasyonu kullanılır; elektrot düzeninde, farklı elektrot dizileri ile yapılan çoklu elektrot ölçümüne benzer, birkaç farklı aralık a ve/veya ayırma ile tarama yapılır (Dahlin ve Zhou, 2006).

Potansiyel dipol, akım elektrotlardan birine yakın olduğunda, en azından büyük s faktörleri için, gradyent diziliminin esas olarak bir Pol-dipol dizilimi olduğu gözlemlenebilir (Şekil 2.19a). Potansiyel dipol, akım elektrotları arasında

ortalığında, Schlumberger dizisine eşittir (Şekil 2.19c). Böylece, gradyent diziliminin, pol-dipol, Wenner ve Schlumberger dizilimlerinin özelliklerini birleştirmesi beklenebilir. Bununla birlikte, bir uzak elektrota gerek olmadan, bazı ortamlarda bu dizilimi düzenlemek zahmetli olabilir. Karşılaştırma için, Wenner ve dipol-dipol dizilimleri için duyarlılık fonksiyonları da gösterilmiştir (Şekil 2.19d, Şekil 2.19e).

Wenner dizilimi için, yanal hassasiyetin daha az odaklanmış olduğu, bu da dar dikey özelliklerin daha zayıf bir şekilde tanımlandığına işaret etmektedir (Şekil 2.19d). Dipol-dipol diziliminin duyarlılık modeli, iki örnekte gösterildiği gibi n faktörüne bağlıdır (Şekil 2.19e, Şekil 2.19f). Ayrıca, dipol-dipol diziliminin, düzenin uçlarına yakın yüksek hassasiyete sahip olduğu, ancak verilerin yapma kesitte çizildiği merkezde az duyarlılığa sahip olması dikkat çekicidir (Dahlin ve Zhou, 2006).

Şekil 2.19'da C1 ve C2 akım elektrotları gösterir; P1 ve P2 potansiyel elektrotları gösterir. (+) ile işaretlenen bölgeler pozitif duyarlılığa sahiptir ve (-) işareti olanlar negatif duyarlılığa sahiptir. Dikey yatay çizim oranı = 1'dir. Mutlak ölçek, (a) (sönük bir tane sönmüş) ve (f) (bir büyüklüğü büyütülmüş) için hariç tüm diyagramlar için aynıdır (Dahlin ve Zhou, 2006).



Şekil 2.19 Elektrot dizilimlerinde bir 3D duyarlılık fonksiyonu boyunca dikey kesit: (a) gradyent ($s = 9$, $n = 1$), (b) gradyent ($s = 9$, $n = 3$), (c) gradyent ($s = 9$, $n = 5$), (d) Wenner, (e) dipol-dipol ($n = 1$), (f) dipol-dipol ($n = 5$) (Dahlin ve Zhou, 2006)

Sinyal/gürültü oranı aynı zamanda potansiyel elektrotların göreceli konumuyla, mevcut elektrota en yakın olan ve yerleşimin merkezinde en alçak olanı ile değişir. Tablo 2.2, nispi sinyal/gürültü oranını da göstermektedir. Bu, geometri faktörünün tersini, genel olarak kullanılan dizilim türlerinin en yüksek sinyal/gürültü oranına sahip olan Wenner dizilimine karşı normalleştirmeye dayanarak, yerleşimin boyutundan bağımsız olmasını sağlar.

Tablo 2.2 Wenner, dipol-dipol ve gradyent dizilimleri için medyan derinliği araştırması, geometri faktörü ve nispi sinyal/gürültü oranı (Wenner dizisine göre S / N oranı) (iki farklı s-faktörü için örnekler) (Dahlin ve Zhou, 2006)

DİZİLİM	a	s	n	Orta Derinlik	Geometrik Faktör	S/N Oranı
Wenner	0,3333	-	-	0,1730	2,09	1
Gradyent	0,0909	9	1	0,0481	1,12	1,874
Gradyent	0,0909	9	2	0,0897	3,16	0,662
Gradyent	0,0909	9	3	0,1347	5,64	0,371
Gradyent	0,0909	9	4	0,1743	7,74	0,271
Gradyent	0,0909	9	5	0,1902	8,57	0,244
Gradyent	0,05	18	1	0,0261	0,62	3,353
Gradyent	0,05	18	2	0,0471	1,85	1,113
Gradyent	0,05	18	3	0,0683	3,61	0,580
Gradyent	0,05	18	4	0,0909	5,80	0,361
Gradyent	0,05	18	5	0,1150	8,25	0,254
Gradyent	0,05	18	6	0,1397	10,72	0,195
Gradyent	0,05	18	7	0,1626	12,95	0,162
Gradyent	0,05	18	8	0,1804	14,64	0,143
Gradyent	0,05	18	9	0,1900	15,55	0,135
Dipol-dipol	0,3333		1	0,1386	6,28	0,333
Dipol-dipol	0,25		2	0,1743	18,85	0,111
Dipol-dipol	0,2		3	0,1923	37,70	0,056
Dipol-dipol	0,1667		4	0,2034	62,83	0,033
Dipol-dipol	0,1429		5	0,2108	94,18	0,022
Dipol-dipol	0,125		6	0,2162	131,95	0,016
Dipol-dipol	0,1111		7	0,2204	175,97	0,012
Dipol-dipol	0,1		8	0,2236	226,19	0,009

Dipol-dipol dizilimi, daha büyük n-faktörler için biraz daha büyük bir derinlik penetrasyonuna sahiptir, ancak 2' nin üzerindeki n-faktörleri, 18 olan bir s faktörüne sahip olan gradyent diziliminin en alt noktasından daha düşük sinyal/gürültü oranı verir ve örneğin, n-faktörü 8 için, Tablo 2.2'deki gradyent dizilim örneklerinin en alt seviyesinden daha büyüktür. Arazi verisindeki gürültü, ölçülen potansiyellerin büyüklüğü ile yakından ilişkili olduğundan (Zhou ve Dahlin, 2003), bu araştırmanın planlamasında çok önemli bir konu olabilir (Dahlin ve Zhou, 2006).

Tüm durumlarda toplam elektrot düzeni uzunluğu 1'dir. s faktör 9 ve n faktör 5 ile gradyent dizilim yapılandırmasının n faktör 4 ile Schlumberger dizisiyle aynıdır.

2.3 Gradyent Yapma Kesit Çizimi

Ölçülen görünür öz dirençlerin bir yapma kesit olarak çizilmesi, veri kalitesinin hızlı bir şekilde değerlendirilmesi için değerli bir araçtır. Bu tür hızlı ve kolay kullanımlı araçlar, alandaki veri kalitesini kontrol etmeyi olanaklı kılmak için önemlidir, böylece olası veri kalitesi sorunları mümkün olduğunca erken keşfedilip ele alınabilir. Mutlaka çok düzgün olmamakla birlikte, veri kalitesinin kabul edilebilir olduğunu bir yapma kesitte görünen öz direncin değişimi göstermektedir. Deneyimli bir saha ekibi, Wenner gibi simetrik bir dizilim için ölçüm veya teknik problemleri belirten veriye aykırı değerlerini kolayca alır. Yapma kesit çizimi, verileri ters çözümlemeden önce veri kalitesini kontrol etmenin yanı sıra diğer araçları kullanarak veri düzenlemenin bir adımı olarak da değerlidir (Dahlin ve Zhou, 2006).

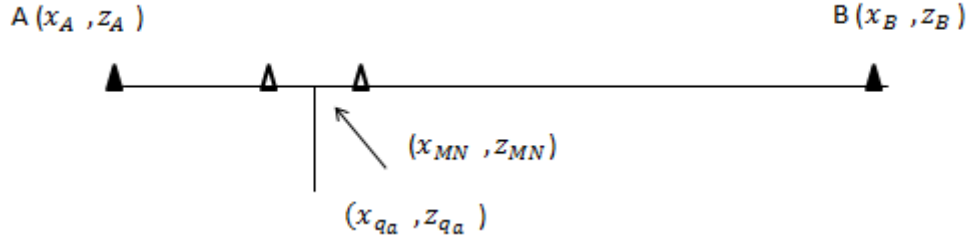
Wenner gibi yaygın olarak kullanılan elektrot dizileri için yapma kesit çizimi basittir (Edwards, 1977). Gradyent dizilimi için bir görünür öz direnç yapma kesit çizebilmek için, görünür bir öz direncin çizim pozisyonunun hesaplanması için (2.20) ve (2.21) 'deki formüller önerilmektedir.

$$x_{\rho_a} = x_{MN} \quad (2.20)$$

$$z_{\rho_a} = \min \{ (x_{MN} - x_A), (x_B - x_{MN}) \} / 3 \quad (2.21)$$

Burada x_{MN} için M ve N potansiyel elektrot çiftlerinin orta noktasıdır. x_A ve x_B ise akım elektrotlarıdır (Şekil 2.20). Test edilen gradyent dizilimlerinde birçok veri noktası, aynı potansiyel elektrot durumları ile ölçülen veri noktaları yapma kesitte aynı yerde sonuçlanır fakat akım elektrot pozisyonları yansımıştır. Bu veri noktaları yüzeyin aynı yoğunluğunu algılayamadığından, homojen veya yatay olarak katmanlı

zeminler dışında ölçülen değerler farklılık gösterir. Bu nedenle, veri alt kümesine dayanan yapma kesitler, veri kalitesi değerlendirme amaçları için ayrı olarak çizilmesi önerilmektedir (Dahlin ve Zhou, 2006).

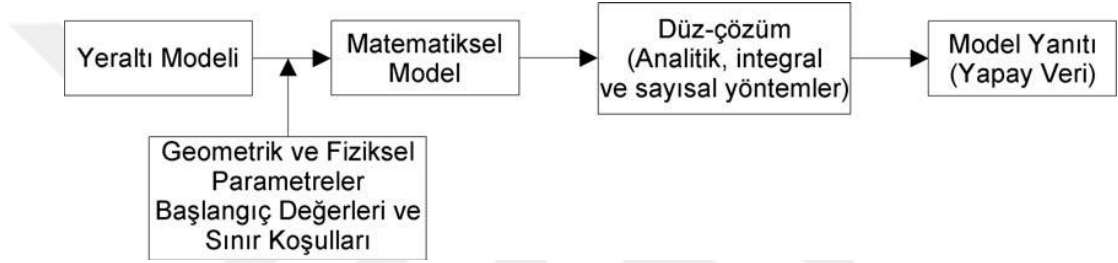


Şekil 2.20 Gradyent dizilim için yapma kesit çizim noktasının hesaplanması (Dahlin ve Zhou, 2006)

BÖLÜM ÜÇ

ELEKTRİK ÖZDİRENÇ YÖNTEMİNDE MODELLEME

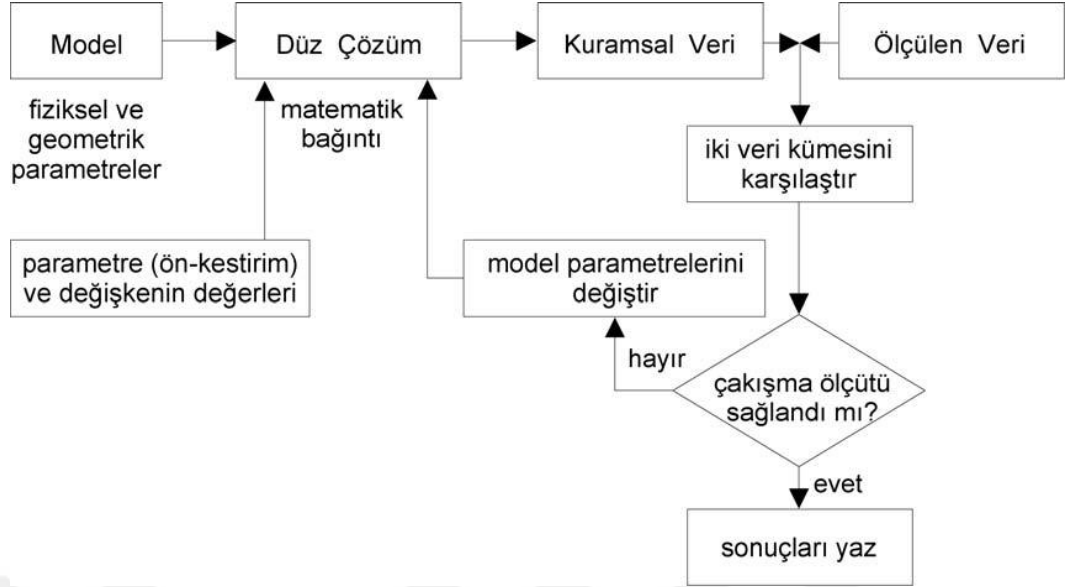
Jeofizik biliminde modelleme çalışmaları düz ve ters çözüm olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır. Düz çözüm, yeraltının fiziksel özelliklerini ifade eden matematiksel modelden yararlanılarak, bu modelin yeryüzünde oluşturacağı model tepkisini belirlemeye çalışılması ilkesine dayanmaktadır. Diğer bir deyişle yer altındaki gömülü yapının, yeryüzeyinde yaratacağı görünür öz direnç değerlerinin bulunması işlemine de ‘Düz Çözüm’ denilmektedir.



Şekil 3.1 Jeofizikte düz-çözüm akış şeması (Başokur, 2002)

Şekil 3.1’de yer alan kavramsal model, fiziksel (öz direnç gibi) ve geometrik (derinlik, konum, şekil, boyut vb.) parametrelerden oluşmakta ve bu parametreler araştırılacak olan probleme göre belirlenebilmektedir. Yeraltı modeli belirlendikten sonra düz çözüm işlemine geçilebilmesi için başlangıç değerleri ile sınır koşulları belirlenerek matematiksel model oluşturulmaktadır. Matematiksel model oluşturulduktan sonra analitik, integral ve sayısal yöntemler kullanılarak düz çözüm işleminden model yanıtı elde edilir. Düz çözüm işlemindeki model boyutları da 1 boyutlu, 2 boyutlu ve 3 boyutlu olabilmektedirler.

Ters çözüm ise jeofizik belirtiden yeraltını oluşturan modele ait parametrelere ulaşmasını sağlayan ilkeye dayanmaktadır.



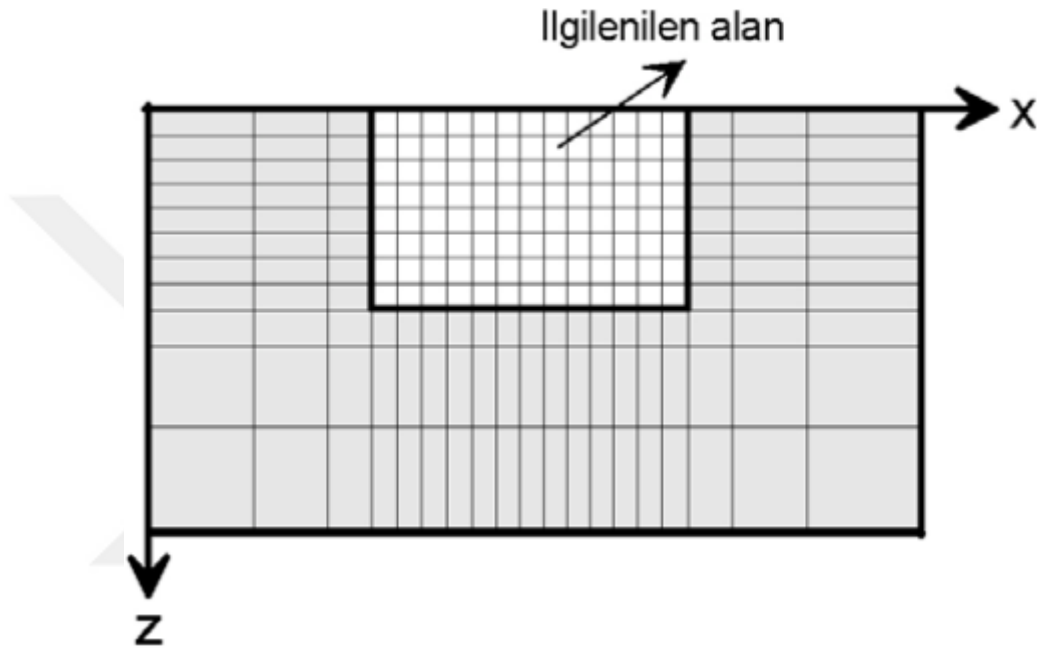
Şekil 3.2 Jeofizikte ters-çözüm akış şeması (Başokur, 2002)

Düz çözüm işlemi ile teorik modelden elde edilecek olan yapay veri ile gözlenen verinin karşılaştırılması ters çözümün elde edilebilmesini sağlamaktadır. Gözlenen veri ile yapay verinin karşılaştırılması neticesinde aralarındaki hata payını minimum bir değer yapabilecek bir teorik model eğer tespit edilebilirse, bu model yeraltını temsil ediyor diyebiliriz. Böylelikle yeraltına ait fiziksel ve geometrik parametreler hem belirli hata payı yakınında kestirilmiş olmakta hem de ters çözüm işleminde birden fazla teorik modele ait olan yapay verinin denenmesi gerekli olduğundan, bu işlemler iteratif olarak yapılmaktadır. Belirlenen hata payı miktarına veya istenilmiş olan iterasyon sayısına ulaşılması ile de yineleme işleminin bitirilmesi mümkün olabilmektedir (Berge, 2011).

3.1 Elektrik Özdirenç Yönteminde İki Boyutlu Düz Çözüm Modellemesi

Elektrik özdirenç yönteminde, homojen bir yer altı modelinde gömülü halde bulunan farklı boyut ve geometrideki yapıların yeryüzünde yaratmış oldukları görünür özdirenç değerlerinin bulunması işlemine ‘Düz Çözüm’ denilmektedir. Düz çözümde yeraltının olası durumunu temsil etmek için öncelikle bir model belirlenmelidir. Belirlenecek olan model ise elektrik özdirenç çalışmasına yönelik olarak tasarlanmalıdır ki arkeolojik amaçlı bir çalışma ise gömülü duvar ya da mezar vb. bir yapının modeli gibi seçilmelidir. Belirlenmiş olan modelin üzerinde ise

matematiksel bağıntılar kullanılarak görünür öz direnç değerleri hesaplanmaktadır. Yerin belirli bir bölümünün idealize olarak kabul edilen matematiksel gösterim şekline model denilmektedir. Modeli temsil eden belirli model parametreleri bulunmaktadır. Bu parametreler, elektrik öz direnç yönteminde yeraltının sonlu sayıdaki sabit bir öz direnç değerine sahip hücrelere ayrılmasıyla elde edilebilmektedirler (Şekil 3.3).



Şekil 3.3 İki-boyutlu sonlu farklar gridi (Berge, 2005)

Yapılan hesaplamalar, analitik teknikler (Van Nostrand ve Cook, 1966), tank deneyleri (Apparao, 1979; Brizzolari ve Bernabini, 1979) ve sayısal teknikler (sonlu farklar, sonlu-elemanlar ve integral yöntemi) kullanılarak yapılabilmektedir. Bu tekniklerin seçimi yeraltının kaç boyutta olduğunu ve nasıl bir yapı ile modellenmek istendiğine bağlıdır. Yaygın olarak kullanılan analitik modelleme teknikleri ise küre ve silindir gibi basit geometrilerle sınırlı kalmaktadır (Berge, 2005).

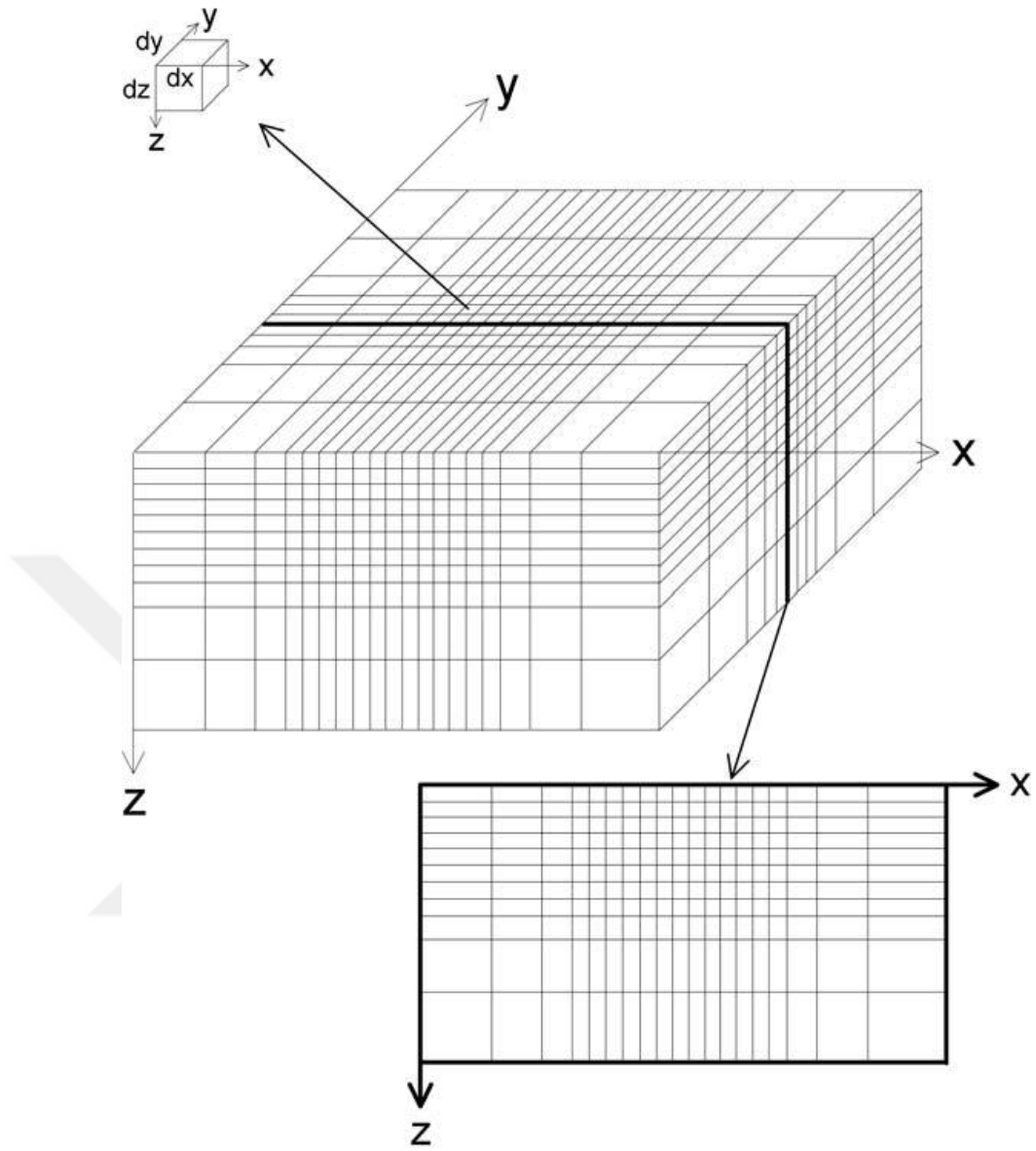
Elektrik öz direnç yönteminde sayısal tekniklerden sonlu farklar yaklaşımını (SFY) kullanarak iki boyutlu modelleme Jepsen (1969) tarafından gerçekleştirilirken sonlu elemanlar yaklaşımıyla (SEY) iki boyutlu modellemeyi Coggon (1971) ve Rijo (1977) gerçekleştirmiştir. Sonlu farklar yaklaşımı ile iki boyutlu modellemeyi Mufti (1976) Neumann sınır koşullarını, Dey ve Morrison (1979a) da karışık sınır

koşullarını kullanarak gerçekleştirmişlerdir. Dey ve Morrison (1979b) ve Scriba (1981) tarafından sonlu farklar yaklaşımıyla yapılan üç boyutlu modelleme başarıyla gerçekleştirilmiştir. Tong ve Yang (1990) da sonlu elemanlar yaklaşımıyla hesaplamalara topoğrafya etkisini katmıştır ve karışık sınır koşullarını Queralt ve diğer. (1991) kullanmıştır. Bu yöntemde Pridmore ve diğer. (1981) tarafından üç boyutlu modelleme gerçekleştirilmiş olup Molano ve diğer. (1990) bu iki yöntemin karşılaştırılmasını, Rijo (1977) ise sonlu elemanlar ile integral denkleminin karşılaştırılmasını yapmıştır.

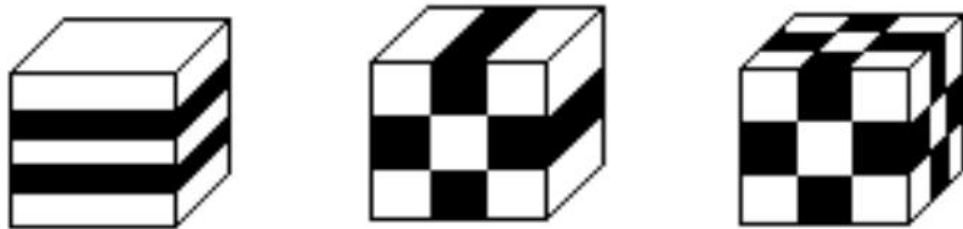
Günümüzde ise belirtilmiş olan bu sayısal tekniklerin gelişimiyle modelleme çalışmaları daha kesin ve hızlı model tepkisi üretmeyi amaçlayan algoritmaların geliştirilmesine yönelmiştir (Blome ve diğer., 2008; Rücker ve diğer., 2006; Zhou ve diğer., 2009).

Sonlu hacimler yaklaşımı (SHY) ise elektrik özdirenç yönteminin düz çözümünde çok yer almamaktadır. Bu nedenle, elektromanyetik yöntem için Haber ve diğer. (2000) tanımlamış oldukları bu yöntemi, elektrik özdirenç yönteminin iki ve üç boyutlu çözümlerine ise Pidlisecky ve diğer. (2007) uygulamışlardır.

Modelleme çalışmalarında, yeraltının tekdüze ve yönbağımsız özellik göstermesi dolayısıyla üç boyutta olan özdirenç dağılımının, bir, iki ve üç boyutta modellenebilmesine olanak sağlar (Şekil 3.4). Buna yönelik olarak yeraltı ile ilgili bazı varsayımlar yapılmaktadır. Bir boyutlu özdirenç dağılımının incelenmesinde yeraltının iletkenlik dağılımına göre tekdüze ve yönbağımsız katmanlardan oluştuğu (Şekil 3.5a), iki boyutlu modellemede, iletkenliğin x ve z yönünde değişen y yönünde sabit kalan bloklardan oluştuğu (Şekil 3.5b), üç boyutlu modellemede ise iletkenliğin kendi içinde tekdüze ve yönbağımsız küplerden (hexahedral veya tetrahedral) oluştuğu varsayılır (Şekil 3.5c) (Candansayar ve Başokur, 2001).



Şekil 3.4 Modelleme çalışmalarında kullanılan iki ve üç boyutlu sonlu farklar ağ dizaynı (Berge, 2011)



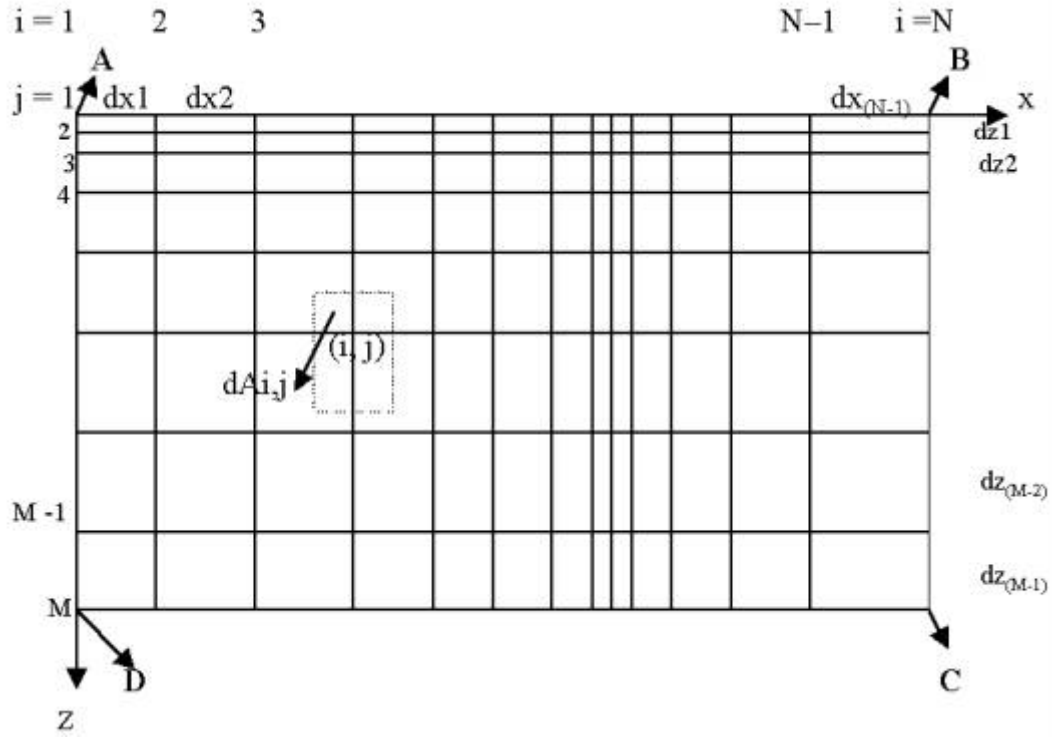
Şekil 3.5 a) Bir boyutlu, b) iki boyutlu ve c) üç boyutlu iletkenlik modelleri (Candansayar ve Başokur, 2001)

Modelleme yapabilmek için modeli tanımlayan bir matematiksel bağıntıya gerek duyulmaktadır. Bu bağıntı, elektrik özdirenç verilerinin iki boyutlu modellenmesinde Poisson denklemi olarak bilinmektedir. Poisson denklemi de, elektromanyetik alanları tanımlayan Maxwell denklemlerinden yararlanarak çıkarılabilmektedir. Bu ifadeler doğrultusunda Poisson denklemi aşağıdaki gibi tanımlanmıştır (Dey ve Morrison, 1979a).

$$-\nabla[\sigma(x,z)\nabla\phi(x,y,z)] = I.\delta(x - x_s).\delta(y - y_s).\delta(z - z_s) \quad (3.1)$$

Denklemden yer alan ifadelerden σ : izotropik elektrik  ziletkenliđi, δ :birim fonksiyon, ϕ :skaler gerilim, I :akım şiddeti ve (x_s, y_s, z_s) nokta akım kaynağının yerini göstermektedir.

Düz c z m modellenmesinde, yeraltı sonlu sayıda ve özdirençleri sabit hücrelere bölünmektedir ( ekil 3.6). Şekil 3.1.5’de Δx ve Δz ayrık birim aralıklarıyla tanımlanan ortamda yapay sonsuz sınırlar oluşturulur. Böylece yeraltı modeli x doğrultusunda $i=1,2,3,...,N$; ve z doğrultusunda da $j=1,2,3,...,M$ adet düğüm biçiminde gösterilir. Modelde $i=1$, $i=N$, ve $j=1$, $j=M$ satır ve kolonlarının ortamın yapay sonsuz sınırları olduğu kabul edilmektedir (Berge, 2005).



Şekil 3.6 Ayrık yeraltı modeli (Dey ve Morrison, 1979a; Candansayar ve Başokur, 2001)

İlerleyen aşamalarda Poisson denkleminin her bir hücre için çözümlenmesiyle bu hücrelere ait potansiyel değeri elde edilmektedir. Elde edilen bu değer istenilen dizilim türüne göre hücrelere ait görünür öz direnç değerlerinin hesaplanmasında kullanılmaktadır (Berge, 2005).

BÖLÜM DÖRT

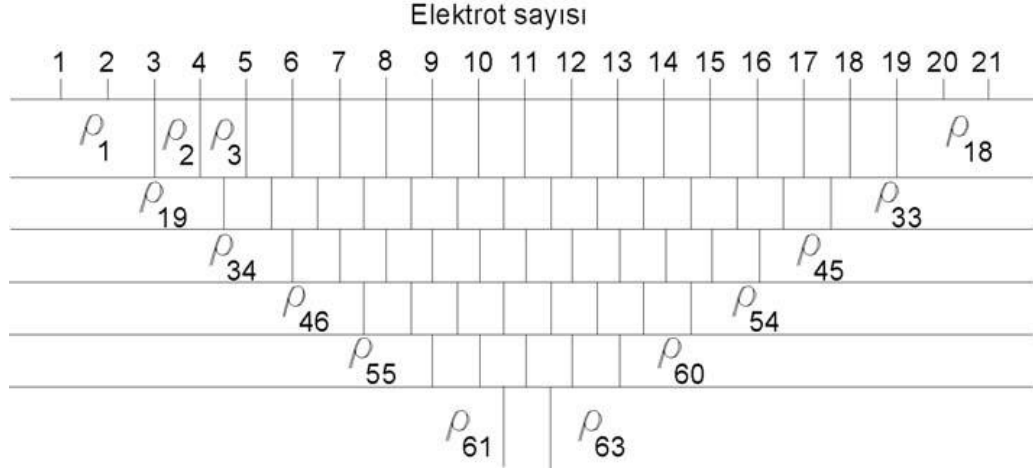
ELEKTRİK ÖZDİRENÇ YÖNTEMİNDE TERS ÇÖZÜM

Elektrik öz direnç yönteminde ters çözüm amacı, sınırlı sayıdaki görünür öz direnç değerlerinden yeraltının öz direnç dağılımına ulaşmaktır. Bu durum çözümlenecek olan problemin, doğrusal olmayan ters çözüm problemi olmasına sebep olmaktadır. Gözlenen ve teorik görünür öz direnç değerleri arasındaki farkın iteratif bir şekilde küçüklenmesi sağlanarak başlangıç modelinin düzeltilmesi bu tür problemlerin çözümüdür. Başlangıç modelinden de teorik verinin elde edilmesi ve iterasyonlar sonucundan da model parametrelerinin düzeltilmesiyle tekrardan bir teorik verinin üretilmesinde düz çözüm işlemine ihtiyaç vardır. Bu yinelemeli işlem aynı zamanda tomografik yaklaşım teknikleri olarak da bilinmektedir ve elektrik öz direnç verilerinin değerlendirilmesi 1980 yılından günümüze kadar kullanılmaktadır (Loke ve Barker, 1996a; Loke ve Barker, 1995; Sasaki, 1992; Tripp ve diğer., 1984).

4.1 Elektrik Öz direnç Yönteminde İki Boyutlu Ters Çözüm Modellemesi

Jeofizikte sıkça kullanılan iki-boyutlu öz direnç ters çözüm yönteminin jeolojik, hidrojeoloji, arkeoloji, mühendislik ve çevresel amaçlı çalışmalarındaki problemlerde başarılı uygulamalarını gerçekleştirebilmek için yöntemin karakteristik özelliklerinin anlaşılması ve çözüm aşamasındaki doğruluğu çok önemlidir (Berge, 2011).

Elektrik öz direnç yöntemi, yeraltının parametreler ile tanımlanması için model parametrelerine gereksinim duyar. Bu işlem parametreleştirme veya ayrıklaştırma olarak tanımlanmaktadır. İki boyutlu yeraltı modelinde yapılan bu işlem sonucu dilim ve küp şeklinde olan her bir şekil için ters çözüm işleminin yapılarak gerçek öz direnç değerlerinin hesaplanacağı farklı bölgeler elde edilmektedir. Şekil 4.1’de kullanılan blok düzenlemesi verilmektedir (Berge, 2005).

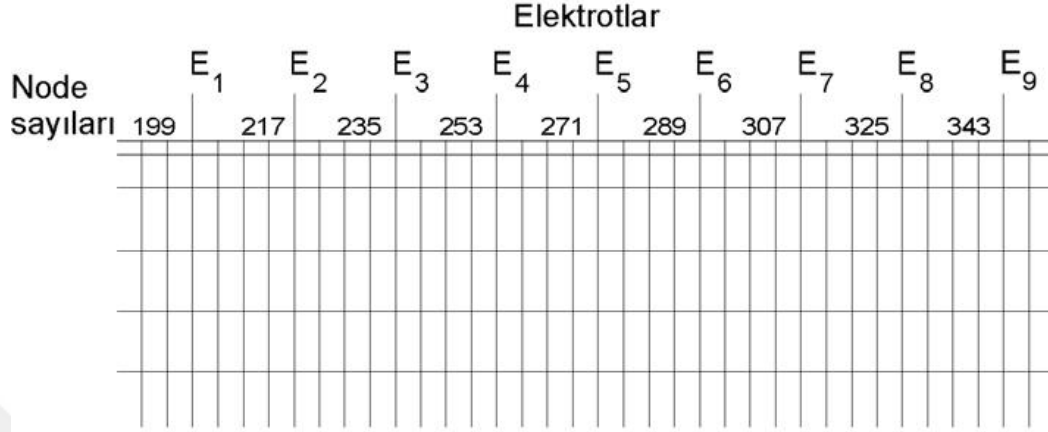


Şekil 4.1 Yeraltının ayırıklaştırılması için kullanılan blok düzeni (Loke ve Barker, 1995)

Elektrik öz direnç yönteminde ters çözüm işlemi, bulunan model için görünür öz direnç değerlerinin hesaplanmasının yapılması, kısmi türevlerden oluşan ‘J’ Jakobiyen dizeyin hesaplanması ve en küçük kareler yöntemiyle doğrusal denklemler sistemini çözmesi olarak üç ana adımda incelenmektedir. Birinci adım olan bulunan model için görünür öz direnç değerlerinin hesaplanmasının yapılmasında sonlu farklar (Mufti, 1976; Dey ve Morrison, 1979a; Smith ve Vozoff, 1984) veya sonlu elemanlar (Coggon, 1971; Rijo, 1977; Sasaki, 1992) yöntemleri kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Üçüncü adım olan en küçük kareler yöntemiyle doğrusal denklemler sisteminin çözülmesi için ise düzenlenmiş LU, QR, Cholesky ve tekil değer ayrışımı (SVD) gibi sayısal yöntemler kullanılmaktadır.

Birinci adımın çözümüne en uygun örnek; görünür öz direnç değerlerinin elde edilmesinde (sonlu farklar modelinin iyileştirilmesi) Loke ve Barker (1996a)’ın Şekil 4.2’deki elektrot aralıklarını dört hücre içerecek biçimde ayırarak hesaplamasıdır. Bu işlem, hesaplama zamanını artırmış olacaktır. Şekil 4.2’de görüldüğü gibi E1 noktasında bulunan bir akım elektroduna göre, E2 noktasında bulunan bir potansiyel elektrodunun hesabı kolayca yapılabilir ve bu işlem, tüm elektrotlar için yinelenerek devam ettirilir. Böylece akım elektrodunun konumuna bağlı olmayan kapasitans düzeyinden dolayı, işlem Cholesky ayrıştırmasıyla çözülmektedir. Daha sonra her bir elektrot için potansiyel değerleri ileri ve geri yerine koyma adımlarıyla (forward and backward substitution) hesaplanır ve

potansiyel vektörü oluşturulur. İşlem, tüm hücreler için tamamlandığında model için gerekli görünür öz direnç değerleri hesaplanmış olacaktır (Berge, 2005).



Şekil 4.2 Yapay bir veri seti için hücrelere ayrılmış iki boyutlu yüzeyaltı ve uygulanacak yapay modelin görünüşü (Loke ve Dahlin, 2002)

İki boyutlu görünür öz direnç verilerinin en küçük kareler yöntemiyle ters çözümünde fazla hesaplama zamanına ihtiyaç duyulması yöntemin dezavantajıdır. Loke ve Barker (1995), bu hesaplama zamanını düşürecek ve dizilim geometrisinden kaynaklanan görünür öz direnç yapma kesitlerindeki bozulmalardan bağımsız bir model üreten yeni bir teknik kullanmışlardır ve bu tekniğe ‘En küçük kareler dekonvolüsyon yöntemi’ denilmiştir. Bu tekniğin en önemli özelliği ise yeraltı öz direncinden kaynaklanan görünür öz dirençteki elektrot dizilim geometrisinin etkilerini ayırmasıdır (Loke ve Barker, 1995).

Bu çalışmada, Loke ve Barker’ın (1995) vermiş oldukları teknik ile çalışan ve yine Loke ve Barker (1996a) tarafından yazılmış ve ticari anlamda kullanılan, aşağıdaki denklem ile verilen düzgünlük kısıtlı en küçük kareler yöntemini (deGroot-Hedlin ve Constable, 1990) ters çözüm işleminde uygulayan RES2DINV programı kullanılmıştır (Berge, 2005).

$$(J^T J + \lambda C^T C) p = J^T g \quad (4.1)$$

Burada yer alan kısmi türevlerden oluşan Jakobiyen dizey ‘J’, sönüm faktörü ‘ λ ’, gözlenen ile hesaplanan veri arası logaritmik farkları içeren fark vektörü ‘g’, model parametrelerine uygulanan düzeltme vektörü ‘p’ ve bazı sabit değerler için model parametrelerinin yumuşatmasını kısıtlayan iki boyutlu düzleştirme süzgeci ‘C’ dir (Sasaki, 1992).

İki boyutlu ters çözüm algoritması yarı sonsuz homojen bir yeraltı modelini başlangıç modeli olarak kullanmaktadır. RES2DINV programı ise, bu yarı sonsuz homojen ortamın özdirenci için ters çözüm işlemine alınan görünür özdirenc veri setinin değerlerinin ortalamasını almakta ve başlangıç modelini, gerçek yeraltı modelinden çok farklı olmamasını sağlamış olmaktadır.

RES2DINV programının kullandığı ters çözüm algoritmasının işleyişindeki adımlar ise şu şekildedir.

- Başlangıç homojen yer modelinin özdirencinin logaritması ‘ q_0 ’, gözlenen görünür özdirenc değerlerinin ‘f’ logaritmasının ortalaması alınarak hesaplanır.

$$q_0 = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m f_i \quad (4.2)$$

Bütün veri noktalarındaki model yanıtı f_0 , başlangıç modelindeki q_0 ile aynı olacağından fark vektörü ($g = d - f_0$) hesaplanabilmektedir (Berge,2005).

- Önceden hesaplanmış olup, bir veri dosyasında depolanmış kısmi türevlerden, elektrot dizilimi için Jakobyen dizeyi ‘J’ hesaplanmaktadır. Uygun bir değer sönüm faktörü olarak seçildikten sonra (genellikle 0,05) (4.2) en küçük kareler denklemi uygulanmaktadır. Eşit boyutlu bloklar için elektrot diziliminin bloğa yanıtı, blok derinliğinin artmasıyla azalmaktadır ve düzleştirme süzgeci olan C dizeyi devreye girer ve bu dizeyin elemanları, ters çözümün kararlılığı için derinde bulunan blokların genliklerini arttırmaktadır.

Genlik değerleri her bir derinlik satırı üzerindeki bloklar için %10 kadar arttırılmaktadır (Berge,2005).

- Düzeltme vektörünün ‘p’ hesabı (4.2) en küçük kareler denklemiyle çözülmektedir. Blokların özdirenç tahmini ;

$$q_1 = q_0 + p \quad (4.3)$$

ile tanımlanmaktadır.

‘ q_1 ’ tahmini yeraltı özdirenç dağılımı olup seçilen sönüm faktörü tarafından etkilenmektedir. Hesaplama bazı λ sönüm faktörleri tekrarlanabilmektedir.

BÖLÜM BEŞ

ELEKTRİK ÖZDİRENÇ YÖNTEMİNDE UYGULANAN ÇALIŞMALAR

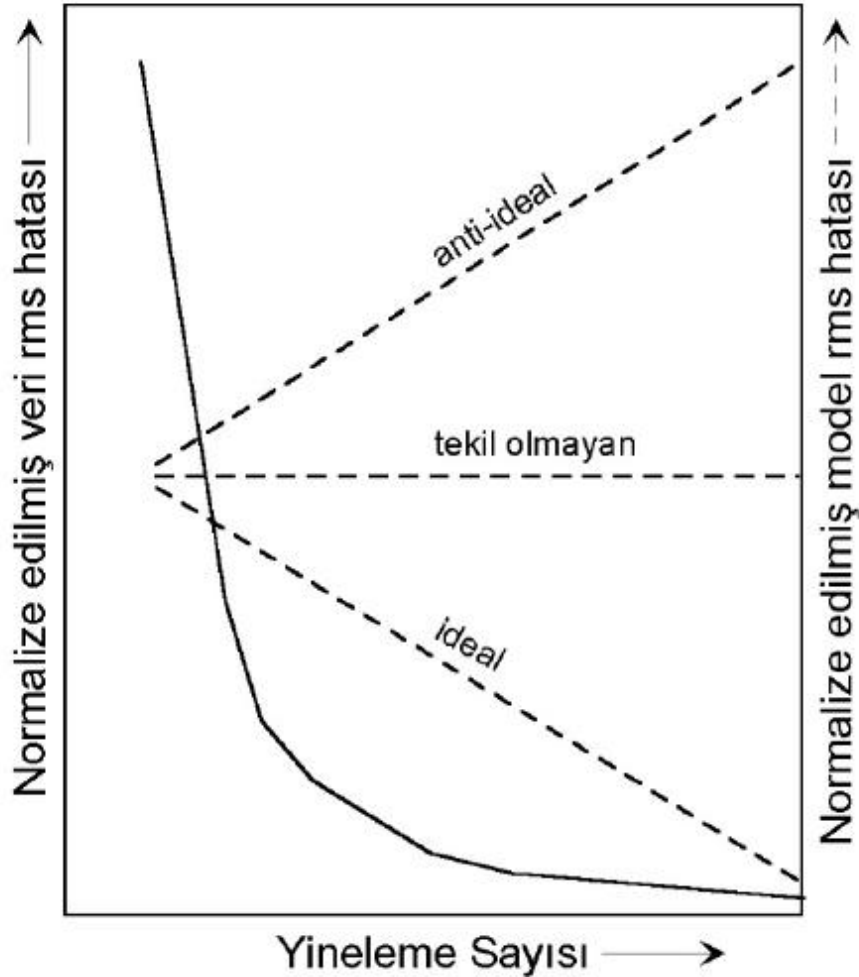
Elektrik öz direnç yönteminde ters çözüm yöntemiyle iki farklı çalışma ele alınmıştır. Birincisi kuramsal modellere uygulanan çalışmalarımız ikincisi ise arkeolojik yapılara uygulanan çalışmalarımız yer almaktadır. Buradaki amaç yapı kestirilebilirliğini gösterebilmektir.

Çalışmanın bu bölümünde arkeolojik amaçlı yapılan çalışmaların yapı kestirilebilirliğini gösterebilmek amacıyla dört farklı kuramsal modelle çalışılmıştır. Kuramsal yeraltı modelleri RES2DMOD düz çözüm programıyla tasarlanmıştır. Tasarlanan bu modellere sonlu farklar yöntemi kullanılarak düz çözüm işlemi yapılmıştır. Böylece görünür öz direnç verileri Wenner-alfa, Wenner-beta, Wenner-gama, Wenner-Schlumberger, dipol-dipol, pol-pol, pol-dipol, gradyent ve çok elektrotlu gradyent dizilimleri için hesaplanmıştır. Kuramsal modellere ters çözüm işlemi için RES2DINV programı kullanılmıştır. Kuramsal görünür öz direnç verisinin ters çözüm işleminde en küçük kareler çözümü tercih edilmiştir. Her bir model için gürültü içermeyen ve %5 gürültü içeren modeller oluşturulmuştur. Yineleme sayısı da her dizilimin gürültüsüz ve gürültülü modellemelerinde 5 olarak seçilmiştir. Bu çalışmadan elde edilen modeller üzerinde yapıyı net gören ve yapıyı göremeyen dizilim türlerinin karşılaştırması ele alınmıştır. Ayrıca, iki-boyutlu kuramsal ve arkeolojik modellerin gürültüsüz ve gürültülü modellerin ters çözümü yapıldığından, Olayinka ve Yaramancı (2000) tarafından ayrıntılarıyla irdelenmiş olan ve ters çözüm sonuç modeli ile bilinen yapay modelin karşılaştırılmasında kullanılmak üzere ‘%Model rms uyumsuzluk (%Model root-mean squares misfit)’ ölçütü de bu tez çalışması kapsamında kullanılmış olup aşağıdaki 5.1 ve 5.2 denklemleriyle tanımlanmaktadır ve her bir dizilim türü için grafikler ekte yer almaktadır (EK-7, EK-8, EK-9, EK-10, EK-11, EK-12, EK-13, EK-14, EK-15). Bu grafikler üzerinde yinelemeye göre uyumsuzluk değerlerinin değişimi izlenerek, dizilimlerin ters çözüm sonucu gerçek modele olan yakınsamaları incelenmiştir. Gerçek öz direnç dağılımını başarılı olarak belirlemek için veri ve model rms uyumsuzluklarını birlikte en küçükleyen bir ters çözüm aşaması gereklidir. Olayinka ve Yaramancı (2000)

yaptıkları çalışmada, başarılı yinelemeler için veri uyumsuzluğunun düşüşüne karşılık model uyumsuzluğunun değişimini 3'e ayırmıştır (Şekil 5.1). Buna göre, teorik olarak veri rms uyumsuzluğu düşerken model rms uyumsuzluğunun da azalması beklenmektedir. Bu “ideal” durum olarak tanımlanmıştır. Eğer model rms uyumsuzluğu yinelemeye göre değişmeden kalıyorsa “tekil-olmayan” durum olarak adlandırılmıştır. Son olarak da model rms uyumsuzluğu yinelemelere bağlı olarak artmaktadır. Böylelikle “anti-ideal” olarak tanımlanan ve gerçek modelden bir iraksamanın gerçekleştiğini gösteren durum oluşmaktadır.

$$M_i = [(\rho_{gerçek(i)} - \rho_{ters(i)}) / \rho_{gerçek(i)}] 100\% \quad (5.1)$$

$$M_{rms} = [1/N \sum D_i^2]^{1/2} \quad (5.2)$$



Şekil 5.1 Veri rms hatası (düz çizgi) ve model rms hatasının (kesikli çizgi) görünür öz direnç verisinin 2-B ters çözümü esnasındaki değişimi. Hatalar, ilk yinelemedeki değerlerine göre normalize edilmiştir (Olayinka ve Yaramancı, 2000)

5.1 Kuramsal Modellere Uygulanan Çalışmalar

Bu çalışmada kullanılan modellerimizden ilkinde ortam yüksek öz dirençli ve yapı bloğumuz ise 1x1 boyutunda düşük öz dirençli olarak ele alınmıştır (Şekil 5.2). Modelimiz gürültü içermeyen ve %5 gürültü içeren 2 farklı modelleme çalışması, Wenner-alfa, Wenner-beta, Wenner-gama, Wenner-Schlumberger, dipol-dipol, pol-pol, pol-dipol, gradyent ve çok elektrotlu gradyent dizilimleriyle incelenmiştir. İlk modelimizin gürültü içermeyen hesaplamalarında tüm dizilimler yapıyı belirleyebilmiştir. Ancak gradyent dizilim yapıyı belirleyebilse de diğer dizilimlere kıyasla net kestirilebilir bir görüntü sunmamaktadır (Şekil 5.3).

%5 gürültü içeren modellememiz hata değerleriyle birlikte Şekil 5.4'te yer almaktadır. Tüm dizilim türlerimiz birbirine yakın hata oranları vermiş olsa da çok elektrotlu gradyent diziliminin diğer dizilimlere oranla hata oranı düşüktür (EK-1). Bu modelimizdeki yapı ile örtü toprak arasındaki öz direnç farkının ERT yönteminde kullanılan dizilim türlerinin ne kadar başarılı bir yer altı modeli sunduğunu göstermektedir.

Gradyent dizilim ile elde edilen bu modelimizdeki sonuçlar, yaygın olarak kullanılan diğer dizilimlerle (Wenner-alfa, Wenner-beta, Wenner-gama, Wenner-Schlumberger, dipol-dipol, pol-pol, pol-dipol) karşılaştırıldığında ise iyi sonuçlar vermektedir. Özellikle çok elektrotlu gradyent dizilim başarılı sonuçlar vermektedir.

Wenner alfa diziliminde model 1'in gürültülü ve gürültüsüz modellemesinde ideal durum gözlenmektedir. Model 2'nin gürültüsüz sonucunda 1 ve 2. yineleme arasında ideal durumdayken 2 ile 4. Yineleme arasında tekil olmayan durum gözleniyor ve 4. yinelemeden sonra tekrar ideal duruma gelmektedir. Gürültülü modellemesinde ise ideal durum söz konusudur. Model 3'ün gürültüsüz modellemesinde ideal durum söz konusu iken gürültülü modellemede 1. ve 2. yinelemede tekil olmayan durum söz konusu iken 2 ile 3. yinelemede ideal durum varken 3. ve 4. yinelemede tekrar tekil olmayan davranış göstermekte ve 5. yinelemede ideal duruma gelmektedir. Model 4'de gürültülü ve gürültüsüz

modellemesinde ideal durum gözlenmektedir. Arkeolojik model 1'in gürültüsüz modellemesinde 1 ile 2. yinelemede anti-ideal davranış gösterirken 2. yinelemeden sonra idal durum gözlenmektedir. Gürültülü modellemesinde ise 1 ile 2. yinelemede tekil olmayan durum söz konusu iken 2. yinelemeden sonra ideal durum gözlenmektedir. Arkeolojik model 2'nin gürültüsüz ve gürültülü modellemesinde 1 ile 2. yinelemede ideal durum söz konusu iken 2. yinelemeden sonra tekil olmayan davranış gözlenmektedir.

Wenner beta diziliminin model 1 gürültüsüz modellemesinde ideal durum gözlenmektedir. Gürültülü modellemesinde ise 1 ile 3. yinelemede ideal durum söz konusu iken 3. yinelemeden sonra tekil olmayan durum gözlenmektedir. Model 2'nin gürültüsüz sonucunda 1 ve 2. yineleme arasında tekil olmayan durum söz konusu iken 2. yinelemeden sonra ideal durum gözlenmektedir. Gürültülü modellemesinde ise ideal durum söz konusudur. Model 3'ün gürültüsüz modellemesinde 1 ile 3. Yinelemesinde ideal durum söz konusu iken 3 ile 4. Yineleme arasında anti-ideal durum varken 4. yinelemeden sonra tekil olmayan durum gözlenmektedir. Gürültülü modellemesinde ise ideal durum söz konusudur. Model 4'de gürültülü ve gürültüsüz modellemesinde ideal durum gözlenmektedir. Arkeolojik model 1'in gürültülü ve gürültüsüz modellemesinde ideal durum gözlenmektedir. Arkeolojik model 2'nin gürültüsüz modellemesinde 1 ile 2. yinelemede ideal durum söz konusu iken 2 ile 3. Yineleme arasında tekil olmayan davranış gözlenmekte ve 3 ile 4. Yineleme arasında ideal davranış gözlenirken 4. yinelemeden sonra anti-ideal durum gözlenmektedir. Gürültülü modellemede ise 4. yinelemeye kadar ideal davranış gözlenirken 4. yinelemeden sonra tekil olmayan durum gözlenmektedir.

Wenner gama diziliminin model 1 gürültüsüz modellemesinde 4. yinelemeye kadar ideal durum gözlenirken 4. yinelemeden sonra tekil olmayan durum gözlenmektedir. Gürültülü modellemesinde ise 3. yinelemeye kadar ideal durum gözlenirken 3. yinelemeden sonra anti-ideal durum gözlenmektedir. Model 2'nin gürültüsüz sonucunda 1 ve 3. yineleme arasında ideal durum söz konusu iken 3 ile 4. Yineleme arasında tekil olmayan durum gözlenmekte ve 4. yinelemeden sonra sonra ideal durum gözlenmektedir. Gürültülü modellemesinde ise ideal durum söz

konusudur. Model 3'ün gürültüsüz modellemesinde 1 ile 3. Yinelemesinde ideal durum söz konusu iken 3 ile 4. Yineleme arasında anti-ideal durum gözlenmekte ve 4. yinelemeden sonra ideal durum gözlenmektedir. Gürültülü modellemesinde ise ideal durum söz konusudur. Model 4'de gürültülü ve gürültüsüz modellemesinde ideal durum gözlenmektedir. Arkeolojik model 1'in gürültülü ve gürültüsüz modellemesinde ideal durum gözlenmektedir. Arkeolojik model 2'nin gürültüsüz ve gürültülü modellemesinde 1 ile 2. yineleme arasında ideal durum söz konusu iken 2. yinelemeden sonra tekil olmayan davranış gözlenmektedir.

Wenner-Schlumberger diziliminin model 1 gürültüsüz modellemesinde ideal durum gözlenmektedir. Gürültülü modellemesinde ise 2 ile 4. yineleme arasında tekil olmayan durum gözlenmekte ve 4. yinelemeden sonra ideal durum gözlenmektedir. Model 2'nin gürültüsüz sonucunda ideal durum gözlenmektedir. Gürültülü modellemesinde ise 4. yinelemeye kadar ideal durum söz konusu iken 4. yinelemeden sonra tekil olmayan durum gözlenmektedir. Model 3'ün gürültülü ve gürültüsüz modellemesinde ideal durum gözlenmektedir. Model 4'de gürültüsüz modellemesinde ideal durum gözlenmektedir. Gürültülü modellemesinde ise 3. yinelemeye kadar ideal durum söz konusu iken 3. yinelemeden sonra tekil olmayan durum gözlenmektedir. Arkeolojik model 1'in gürültüsüz modellemesinde tekil olmayan durum gözlenmektedir. Gürültülü modellemesinde ise ideal durum söz konusudur. Arkeolojik model 2'nin gürültüsüz ve gürültülü modellemesinde ideal durum gözlenmektedir.

Dipol dipol diziliminin model 1 gürültüsüz modellemesinde ideal durum gözlenmektedir. Gürültülü modellemesinde ise 3. yinelemeye kadar ideal durum gözlenmekte ve 3. yinelemeden sonra anti-ideal durum gözlenmektedir. Model 2'nin gürültüsüz sonucunda 2. yinelemeye kadar ideal durum gözlenirken 2 ile 3. yineleme arasında tekil olmayan durum gözlenmekte ve 3. yinelemeden sonra ideal durum gözlenmektedir. Gürültülü modellemesinde ise ideal durum gözlenmektedir. Model 3'ün gürültülü ve gürültüsüz modellemesinde ideal durum gözlenmektedir. Model 4'de gürültüsüz modellemesinde ideal durum gözlenmektedir. Gürültülü modellemesinde ise 3. yinelemeye kadar ideal durum söz konusu iken 3.

yinelemeden sonra anti-ideal durum gözlenmektedir. Arkeolojik model 1'in gürültüsüz ve gürültülü modellemesinde ideal durum gözlenmektedir. Arkeolojik model 2'nin gürültüsüz ve gürültülü modellemesinde ideal durum gözlenmektedir.

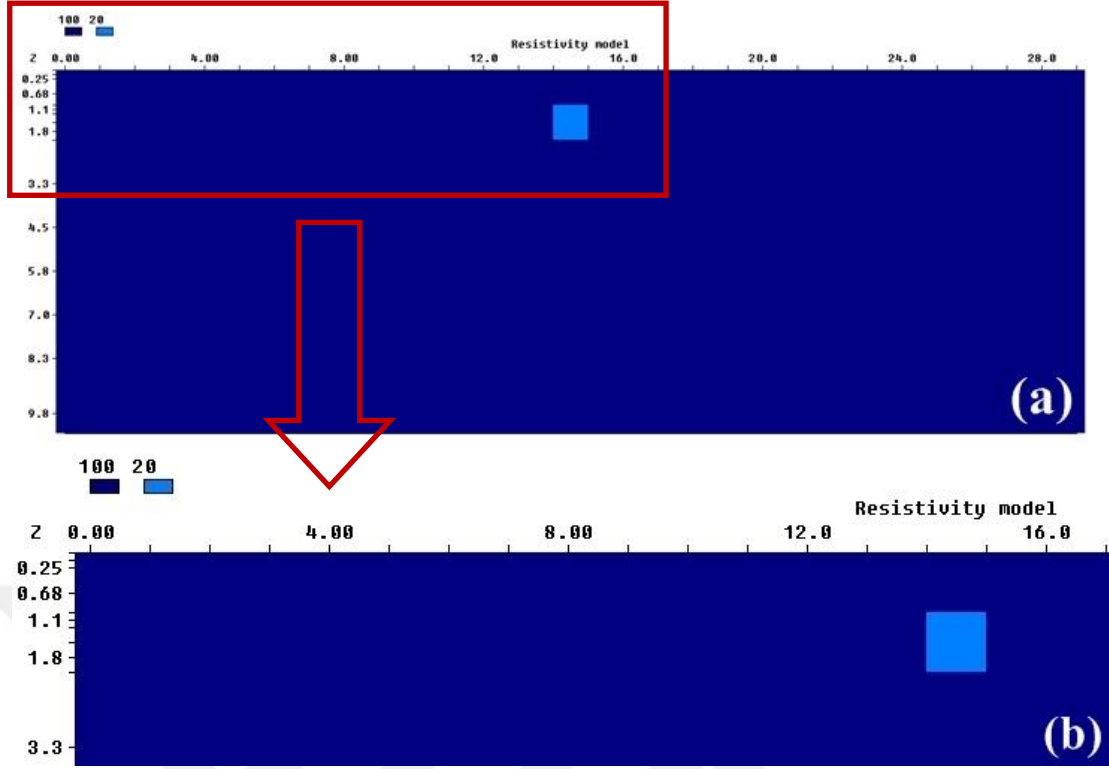
Pol pol diziliminde model 1'in gürültülü ve gürültüsüz modellemesinde ideal durum gözlenmektedir. Model 2'nin gürültüsüz sonucunda 1 ile 2. yineleme arasında anti-ideal durum söz konusuken 2 ile 3. yineleme arasında ideal durum gözleniyor ve 3 ile 4. yineleme arasında tekil olmayan durum gözlenirken 4. yinelemeden sonra tekrar ideal duruma gelmektedir. Gürültülü modellemesinde ise ideal durum gözlenmektedir. Model 3'ün gürültüsüz modellemesinde 1 ile 2. yineleme arasında anti-ideal durum söz konusuken 2. yinelemeden sonra ideal durum gözlenmektedir. Gürültülü modellemesinde ise ideal durum gözlenmektedir. Model 4, arkeolojik model 1 ve arkeolojik model 2 dizilimlerinin gürültülü ve gürültüsüz modellemesinde ideal durum gözlenmektedir.

Pol dipol diziliminde model 1'in gürültüsüz modellemesinde ideal durum gözlenmektedir. Gürültülü modellemesinde 3. yinelemeye kadar ideal durum söz konusu iken 3. Yinelemeden sonra anti-ideal durum gözlenmektedir. Model 2'nin gürültüsüz ve gürültülü modellemelerinde ideal durum gözlenmektedir. Model 3'ün gürültüsüz modellemesinde 4. yinelemeye kadar ideal durum söz konusuken 4. yinelemeden sonra tekil olmayan durum gözlenmektedir. Gürültülü modellemesinde ise 3. yinelemeye kadar ideal durum söz konusuken 3 ile 4. yineleme arasında tekil olmayan durum ve 4. yinelemeden sonra anti-ideal durum gözlenmektedir. Model 4'ün gürültüsüz modellemesinde ideal durum gözlenmektedir. Gürültülü modellemesinde ise 3. yinelemeye kadar ideal durum söz konusu iken 3. yinelemeden sonra tekil olmayan durum gözlenmektedir. Arkeolojik model 1 ve arkeolojik model 2 dizilimlerinin gürültülü ve gürültüsüz modellemesinde ideal durum gözlenmektedir.

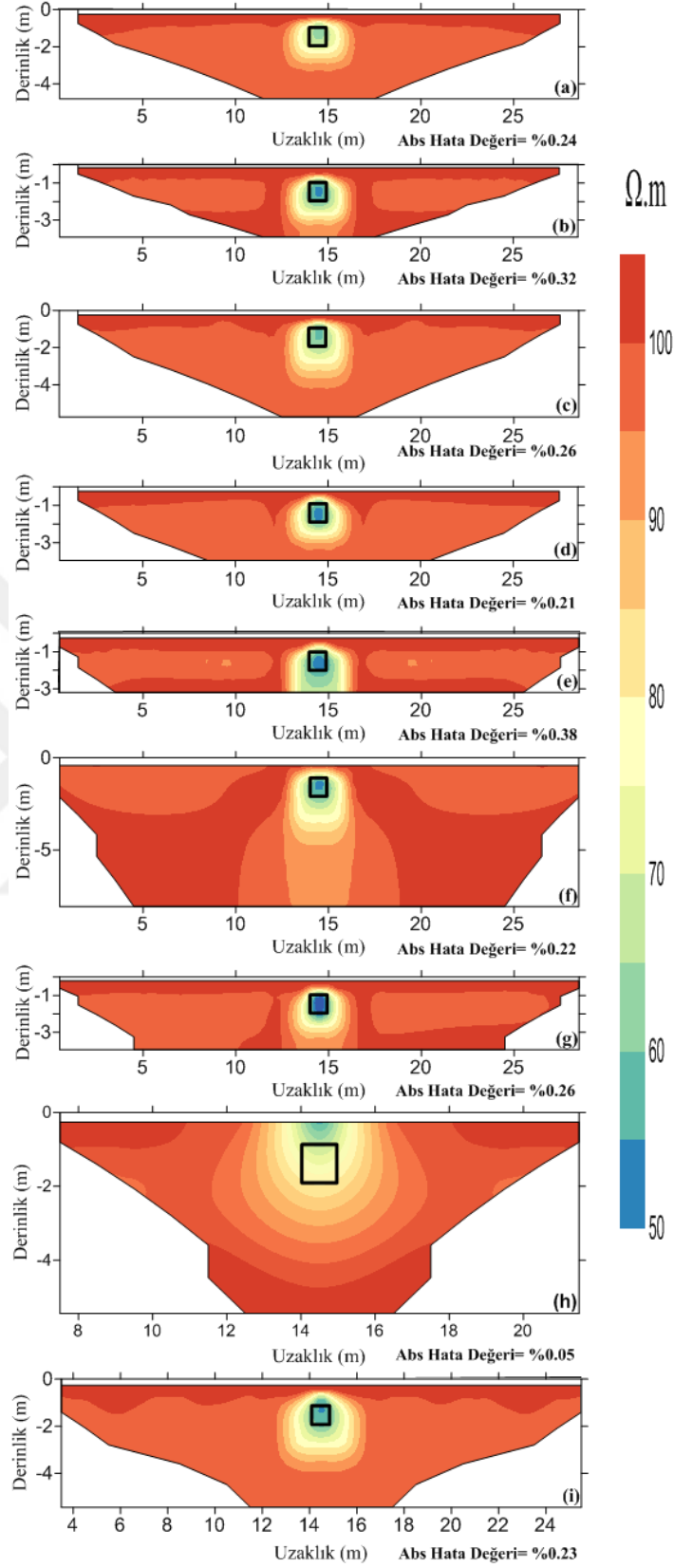
Gradyent diziliminde model 1'in gürültüsüz modellemesinde ideal durum gözlenmektedir. Gürültülü modellemesinde ise 4. yinelemeye kadar ideal durum söz konusu iken 4. yinelemeden sonra tekil olmayan durum gözlenmektedir. Model 2'nin

gürültüsüz modellemesinde ideal durum gözlenmektedir. Gürültülü modellemesinde ise 4. yinelemeye kadar ideal durum söz konusu iken 4. yinelemeden sonra tekil olmayan durum gözlenmektedir. Model 3 ve 4'ün gürültüsüz ve gürültülü modellemesinde ideal durum gözlenmektedir. Arkeolojik model 1'in gürültüsüz modellemesinde 3. yinelemeye kadar ideal durum söz konusu iken 3 ile 4. yineleme arasında tekil olmayan durum gözlenmekte ve 4. yinelemeden sonra ideal durum gözlenmektedir. Gürültülü modellemesinde ise 3. yinelemeye kadar ideal durum söz konusu iken 3 ile 4. yineleme arasında tekil olmayan durum gözlenmekte ve 4. yinelenmeden sonra ideal durum gözlenmektedir. Arkeolojik model 2'nin gürültüsüz ve gürültülü modellemesinde 2. yinelemeye kadar ideal durum söz konusu iken 2 ile 3. yineleme arasında anti-ideal durum gözlenmekte ve 3. yinelemeden sonra tekil olmayan durum gözlenmektedir.

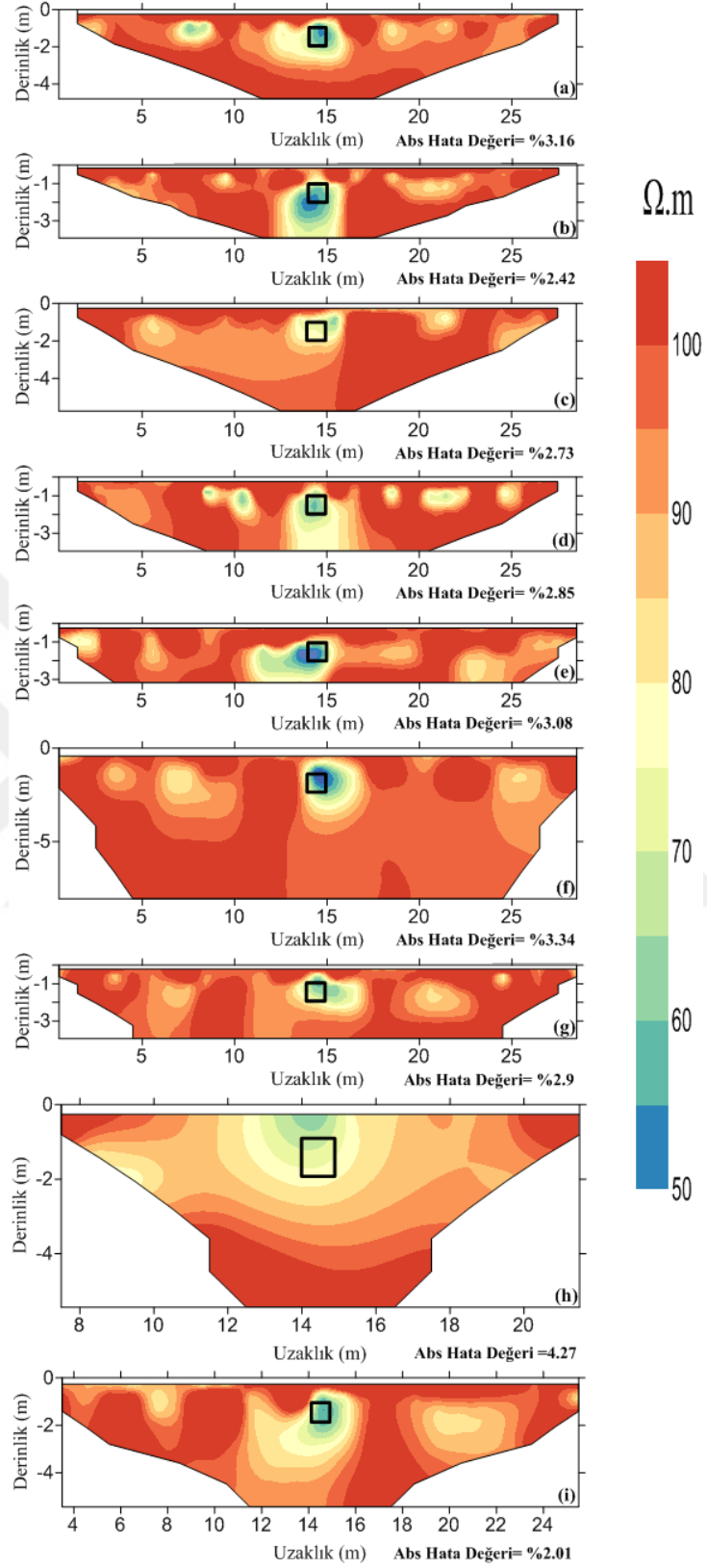
Çok elektotlu gradyent diziliminde model 1'in gürültüsüz modellemesinde ideal durum gözlenmektedir. Gürültülü modellemesinde ise 3. yinelemeye kadar ideal durum söz konusu iken 3. yinelemeden sonra anti-ideal durum gözlenmektedir. Model 2'nin gürültüsüz modellemesinde ideal durum gözlenmektedir. Gürültülü modellemesinde ise 4. yinelemeye kadar ideal durum söz konusu iken 4. yinelemeden sonra tekil olmayan durum gözlenmektedir. Model 3'ün gürültüsüz ve gürültülü modellemesinde ideal durum gözlenmektedir. Model 4'ün gürültüsüz modellemesinde 3. yinelemeye kadar ideal durum söz konusu iken 3. yinelemeden sonra tekil olmayan durum gözlenmektedir. Gürültülü modellemesinde ise 3. yinelemeye kadar ideal durum söz konusu iken 3. yinelemeden sonra anti-ideal durum gözlenmektedir. Arkeolojik model 1'in gürültüsüz modellemesinde ideal durum gözlenmektedir. Gürültülü modellemesinde ise 2. yinelemeye kadar ideal durum söz konusu iken 2 ile 3. yineleme arasında tekil olmayan durum gözlenmekte ve 3. yinelemeden sonra ideal durum gözlenmektedir. Arkeolojik model 2'nin gürültüsüz ve gürültülü modellemesinde ideal durum gözlenmektedir.



Şekil 5.2 a) Yarı sonsuz ortam içindeki model 1 b) Yarı sonsuz ortam içindeki model 1'in büyütülmüş görüntüsü



Şekil 5.3 Model 1'in gürültü içermeyen modellemeleri a) Wenner-alfa b) Wenner-beta c) Wenner-gama d) Wenner-Schlumberger e) dipol-dipol f) pol-pol g) pol-dipol h) gradyent i) çok elektrotlu gradyent

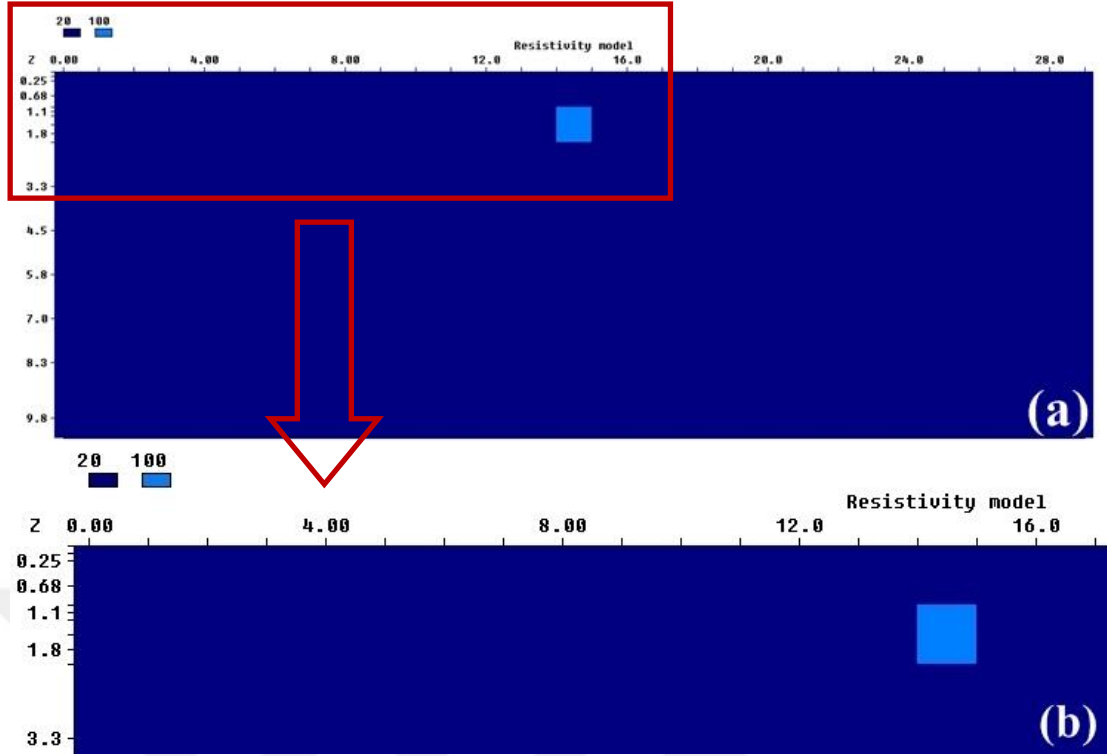


Şekil 5.4 Model 1'in %5 gürültü içeren modellemeleri a) Wenner-alfa b) Wenner-beta c) Wenner-gama d) Wenner-Schlumberger e) dipol-dipol f) pol-pol g) pol-dipol h) gradyent i) çok elektrotlu gradyent

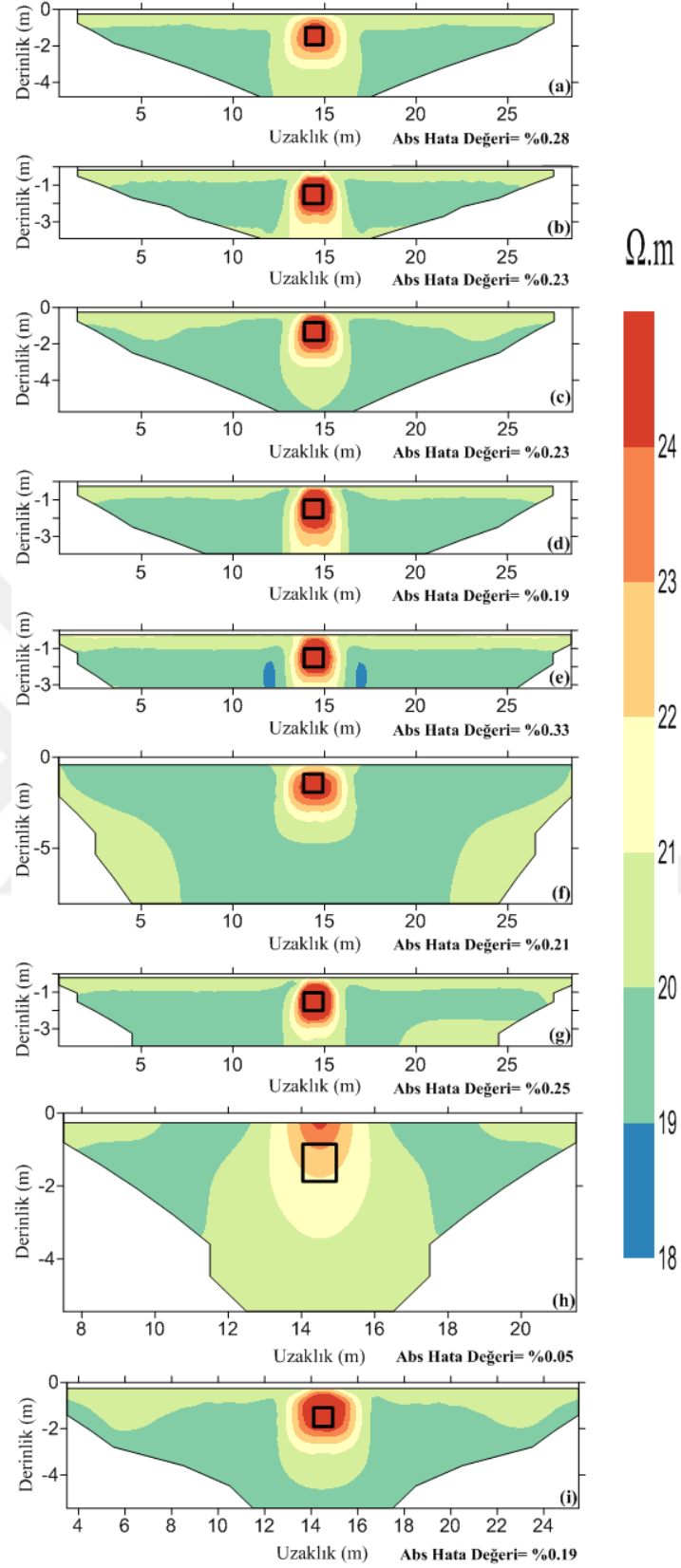
Bu çalışmada kullanılan ikinci modelimizin ortamı iletken ve yapı bloğumuz ise 1x1 boyutundaki rezistif yapı olarak ele alınmıştır (Şekil 5.5). Bu modelimizin gürültü içermeyen modellemesinde tüm dizilimler yapıyı belirleyebilmiştir. Ancak gradyent dizilim yapıyı belirleyebilse de diğer dizilimlere kıyasla net kestirilebilir bir görüntü sunmamaktadır (Şekil 5.6).

%5 gürültü içeren ve gürültüsüz modelleme çalışmamızdaki hata değerleri EK-2’de yer almaktadır. Model 1’ de olduğu gibi tüm dizilim türlerimiz birbirine yakın hata oranları vermiş olup diğer dizilimlere kıyasla çok elektrotlu gradyent dizilimi düşük hata oranı vermiştir (Şekil 5.7). Bu modelleme çalışmasında Wenner-beta, Wenner-gama, Wenner-Schlumberger, pol-pol ve çok elektrotlu gradyent dizilimleri yapıları tespit edebilmiştir.

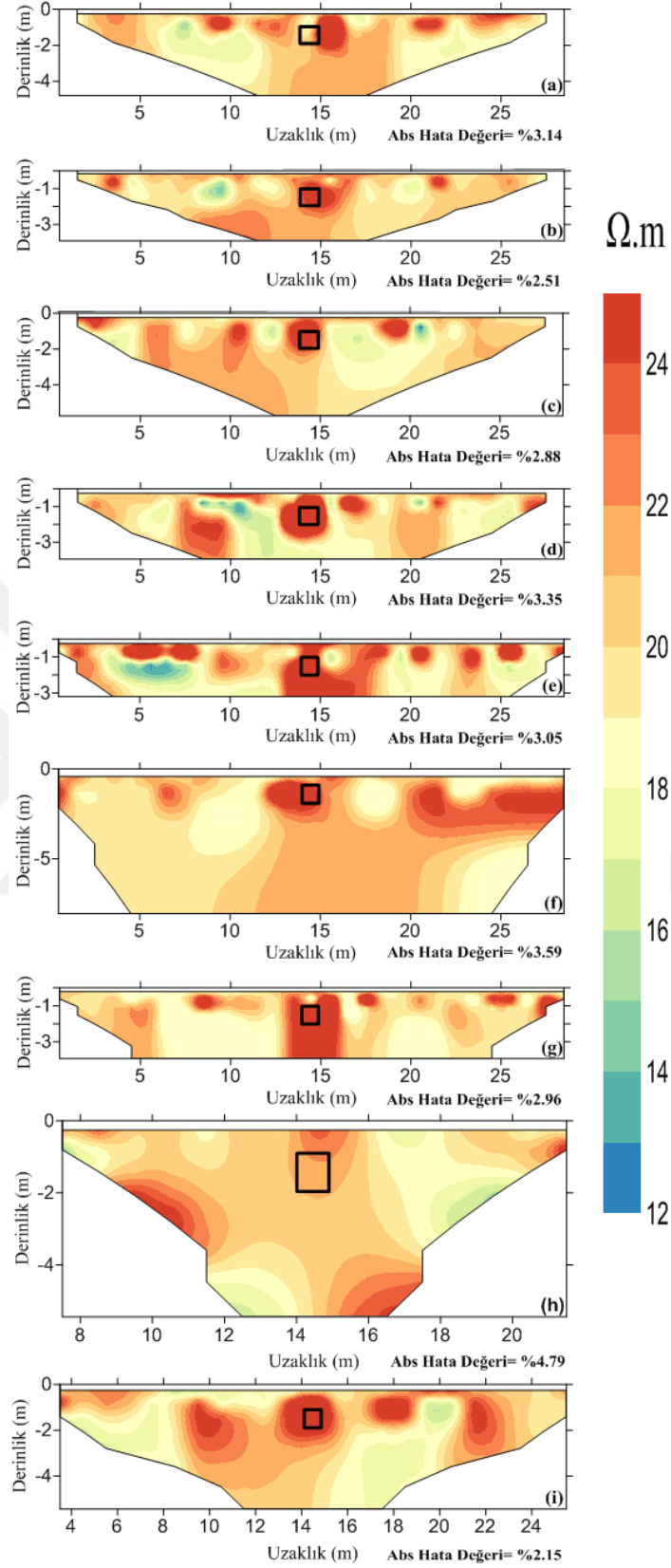
Gradyent dizilim ile elde edilen bu modelimizdeki sonuçlar, yaygın olarak kullanılan diğer dizilimlerle (Wenner-alfa, Wenner-beta, Wenner-gama, Wenner-Schlumberger, dipol-dipol, pol-pol, pol-dipol) ve çok elektrotlu gradyent dizilimiyle karşılaştırıldığında düşük öz dirençli ortamlarda yüksek öz dirençli yapıları belirlemede diğer dizilim türlerine oranla yapıyı görüntülemesine karşın daha iyi sonuçlar verememiştir.



Şekil 5.5 a) Yarı sonsuz ortam içindeki model 2 b) Yarı sonsuz ortam içindeki model 2'nin büyütülmüş görüntüsü



Şekil 5.6 Model 2'nin gürültü içermeyen modellemeleri a) Wenner-alfa b) Wenner-beta c) Wenner-gama d) Wenner-Schlumberger e) dipol-dipol f) pol-pol g) pol-dipol h) gradyent i) çok elektrotlu gradyent

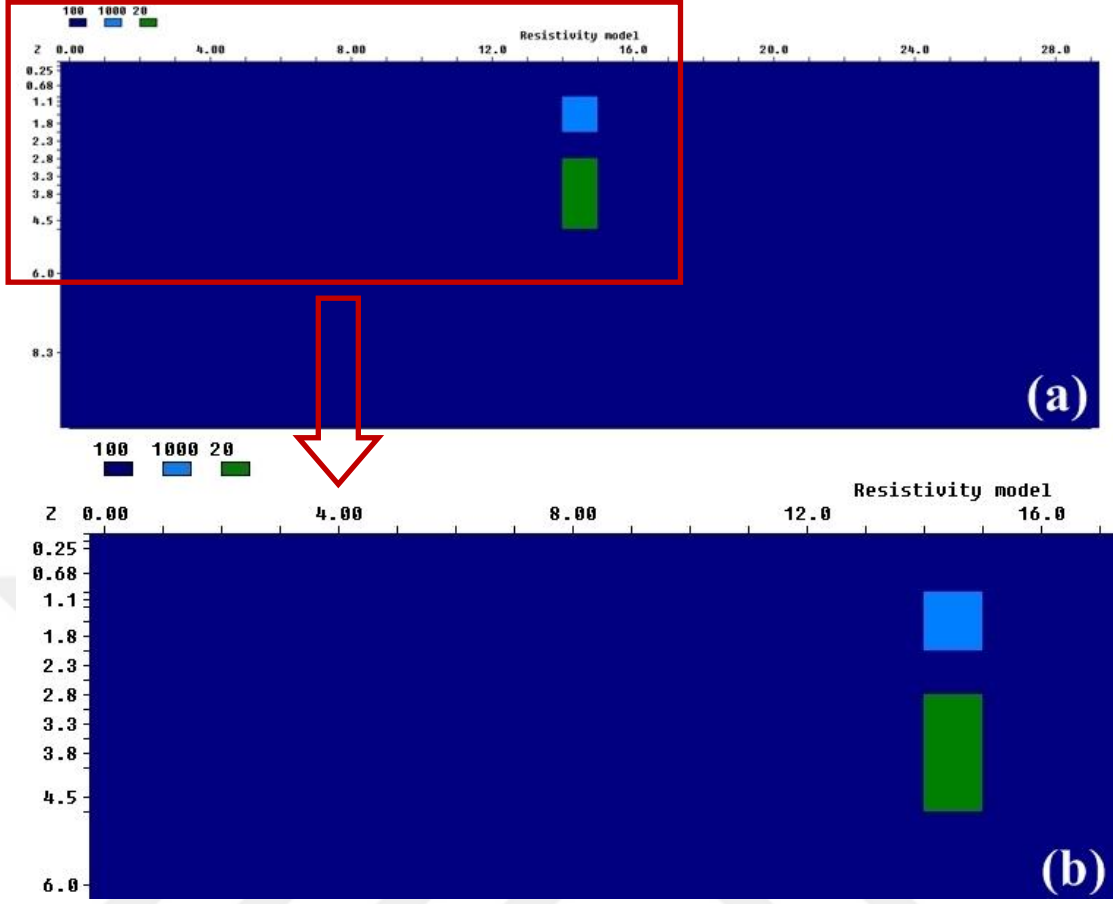


Şekil 5.7 Model 2'nin %5 gürültü içeren modellemeleri a) Wenner-alfa b) Wenner-beta c) Wenner-gama d) Wenner-Schlumberger e) dipol-dipol f) pol-pol g) pol-dipol h) gradyent i) çok elektrotlu gradyent

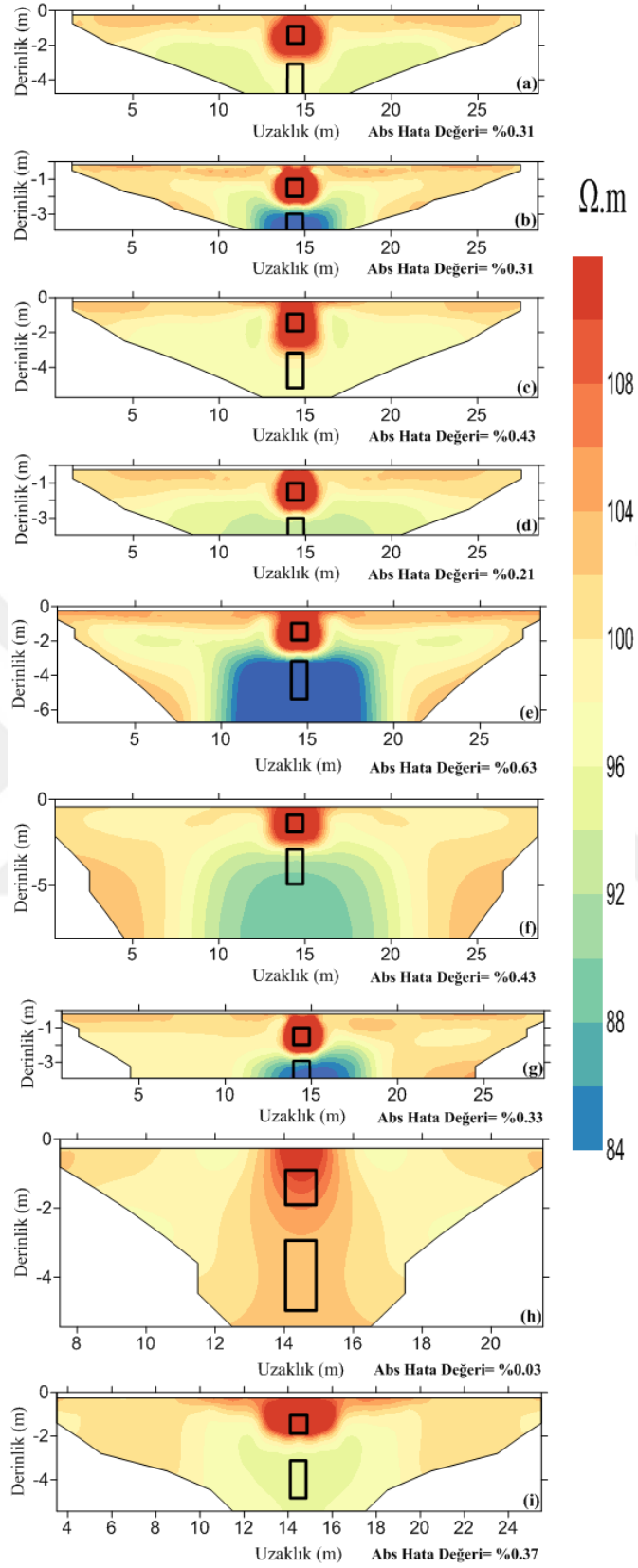
Bu çalışmada kullanılan Model 3'ün ortamı $100\Omega\text{m}$ ve yapı bloğumuz ise iki bloktan oluşmaktadır (Şekil 5.8). 1x1 boyutundaki üst bloğumuz ortama göre oldukça rezistif, 1x2 boyutundaki alt bloğumuz ise ortama göre daha iletken yapıdadır. Modelimiz gürültü içermeyen ve %5 gürültü içeren 2 farklı modelleme çalışmasında Wenner-alfa, Wenner-beta, Wenner-gama, Wenner-Schlumberger, dipol-dipol, pol-pol, pol-dipol, gradyent ve çok elektrotlu gradyent dizilimleriyle incelenmiştir. Bu modelimizin gürültü içermeyen modellemesinde en başarılı sonucu veren dizilim türleri Wenner-beta, pol-pol, pol-dipol, Wenner-Schlumberger ve dipol-dipol dizilimleridir (Şekil 5.9). Çok elektrotlu gradyent dizilimi de yapı görüntüleyebilmektedir ancak alt bloktaki iletken yapıyı diğer dizilim türleri gibi daha net görüntüleyememiştir. Gradyent dizilimi ise üst rezistif yapıyı çok iyi görüntülerken alt bloktaki iletken yapıyı görüntülemeye başarılı olamamıştır.

%5 gürültü içeren ve gürültüsüz modelleme çalışmamızdaki dizilimlerin hata değerleri EK-3'de yer almaktadır. %5 gürültü içeren modelleme çalışmamızda en başarılı sonuç veren dizilim türleri ise Wenner-beta, dipol-dipol ve pol-dipoldür (Şekil 5.10). Çok elektrotlu gradyent dizilim ise üst yapıyı net olarak görüntüleyebilmektedir ancak alt yapıyı net olarak görüntüleyememektedir. Gradyent dizilim türünde ise alt iletken yapıyı hiç görememekteyiz.

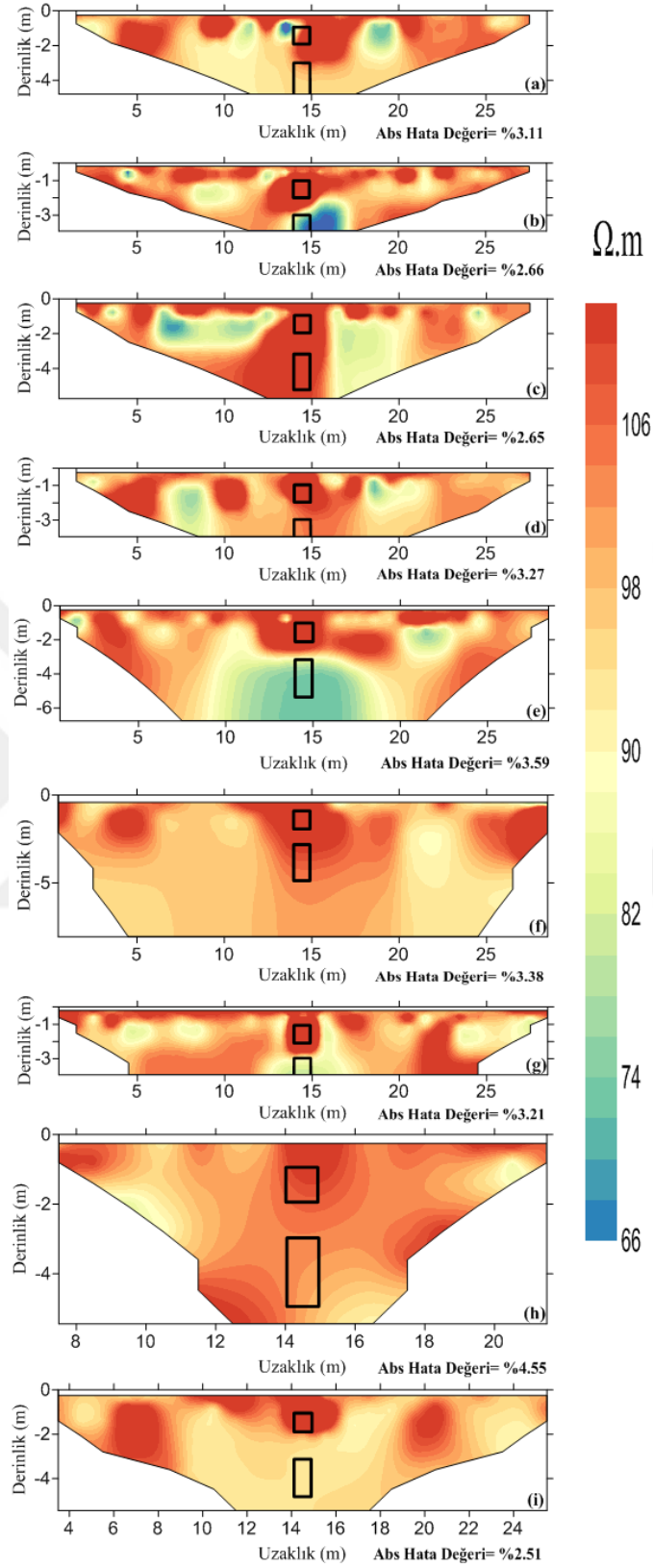
Gradyent dizilim ile elde edilen bu modelimizdeki sonuçlar, yaygın olarak kullanılan diğer dizilimlerle (Wenner-alfa, Wenner-beta, Wenner-gama, Wenner-Schlumberger, dipol-dipol, pol-pol, pol-dipol) ve çok elektrotlu gradyent dizilimi karşılaştırıldığında düşük özdirençli ortamlarda yüksek özdirençli yapıları belirlemede iyi sonuçlar verirken ortamdan daha düşük özdirençli yapıyı görüntülemeye başarılı olamamıştır.



Şekil 5.8 a) Yarı sonsuz ortam içindeki model 3 b) Yarı sonsuz ortam içindeki model 3'ün büyütülmüş görüntüsü



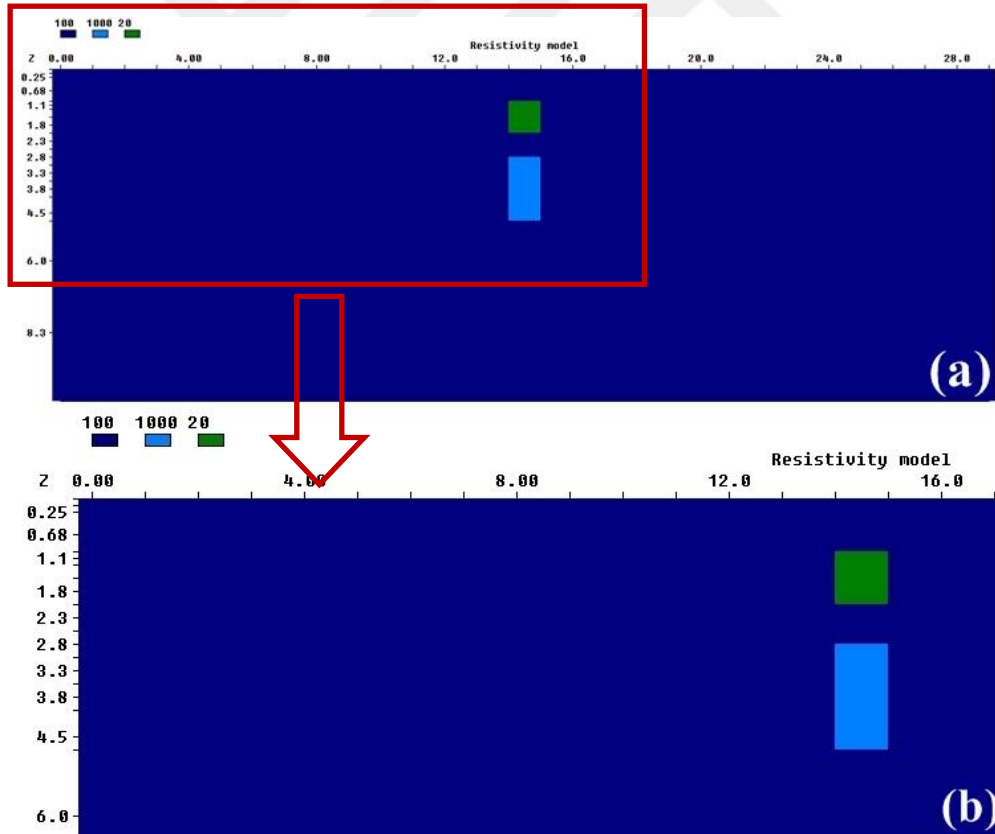
Şekil 5.9 Model 3'ün gürültü içermeyen modellemeleri a) Wenner-alfa b) Wenner-beta c) Wenner-gama d) Wenner-Schlumberger e) dipol-dipol f) pol-pol g) pol-dipol h) gradyent i) çok elektrotlu gradyent



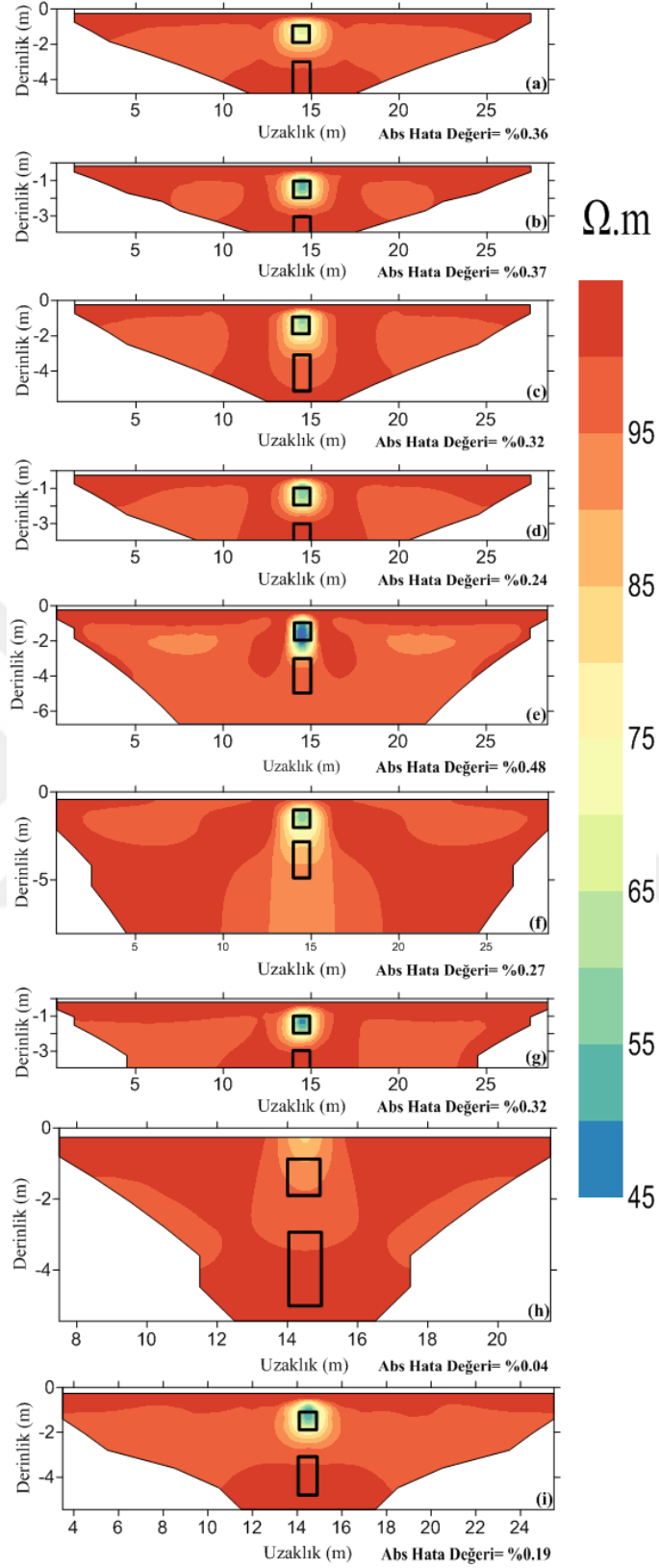
Şekil 5.10 Model 3'ün %5 gürültü içeren modellemeleri a) Wenner-alfa b) Wenner-beta c) Wenner-gama d) Wenner-Schlumberger e) dipol-dipol f) pol-pol g) pol-dipol h) gradyent i) çok elektrotlu gradyent

Bu çalışmada kullanılan Model 4'ün ortamı $100\Omega\text{m}$ ve yapı bloğumuz ise iki bloktan oluşmaktadır. 1×1 boyutundaki üst bloğumuz ortama göre oldukça iletken 1×2 boyutundaki alt bloğumuz ise ortama göre daha rezistif yapıdadır (Şekil 5.11). Bu modelimizin gürültü içermeyen modellemesinde en başarılı sonucu veren çok elektrotlu gradyent ve Wenner-alfa dizilimidir (Şekil 5.12). Gradyent dizilim ise üstteki iletken yapıyı belirlemesine rağmen alttaki rezistif yapıyı görüntüleyememektedir.

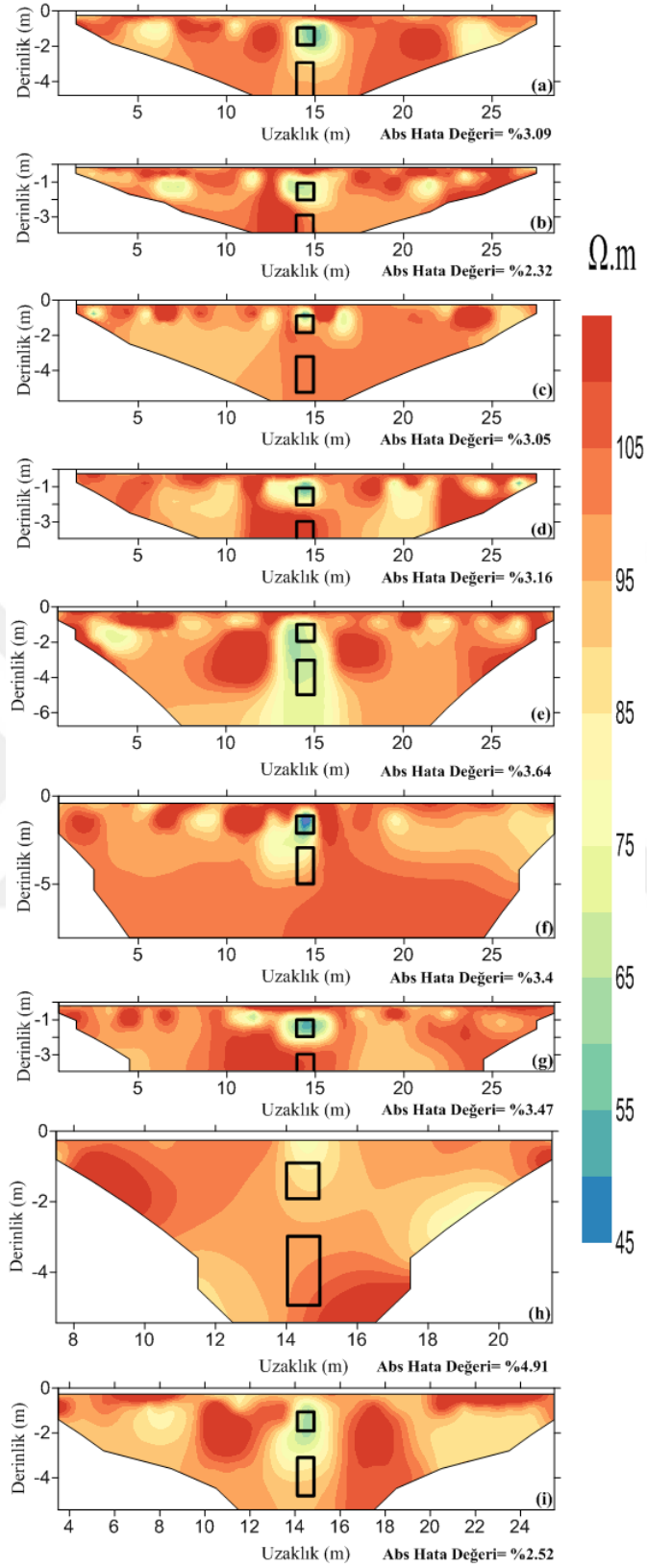
%5 gürültü içeren ve gürültüsüz modelleme çalışmamızdaki dizilimlerin hata değerleri EK-4'de yer almaktadır. %5 gürültü içeren modelleme çalışmamızda en başarılı sonuç veren dizilim türleri ise çok elektrotlu gradyent, Wenner-Schlumberger ve pol-dipoldür (Şekil 5.13). Gradyent dizilim türünde ise alt iletken yapıyı hiç görememekteyiz.



Şekil 5.11 a) Yarı sonsuz ortam içindeki model 4 b) Yarı sonsuz ortam içindeki model 4'ün büyütülmüş görüntüsü



Şekil 5.12 Model 4'ün gürültü içermeyen modelleri a) Wenner-alfa b) Wenner-beta c) Wenner-gama d) Wenner-Schlumberger e) dipol-dipol f) pol-pol g) pol-dipol h) gradyent i) çok elektrotlu gradyent



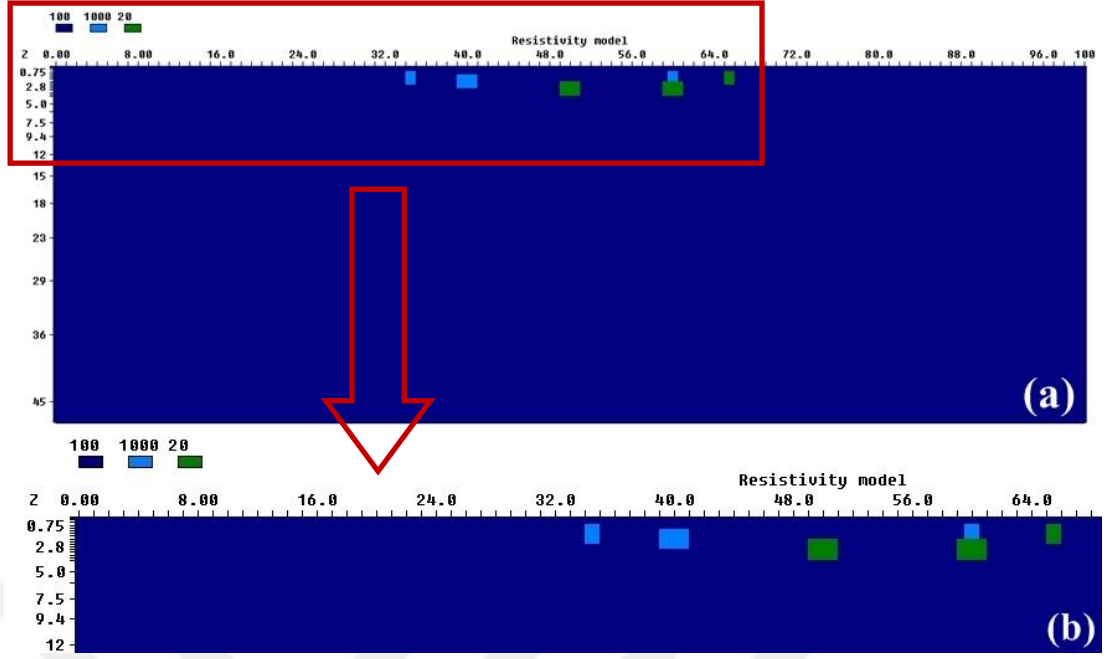
Şekil 5.13 Model 4'ün %5 gürültü içeren modellemeleri a) Wenner-alfa b) Wenner-beta c) Wenner-gama d) Wenner-Schlumberger e) dipol-dipol f) pol-pol g) pol-dipol h) gradyent i) çok elektrotlu gradyent

5.2 Arkeolojik Yapılara Uygulanan Çalışmalar

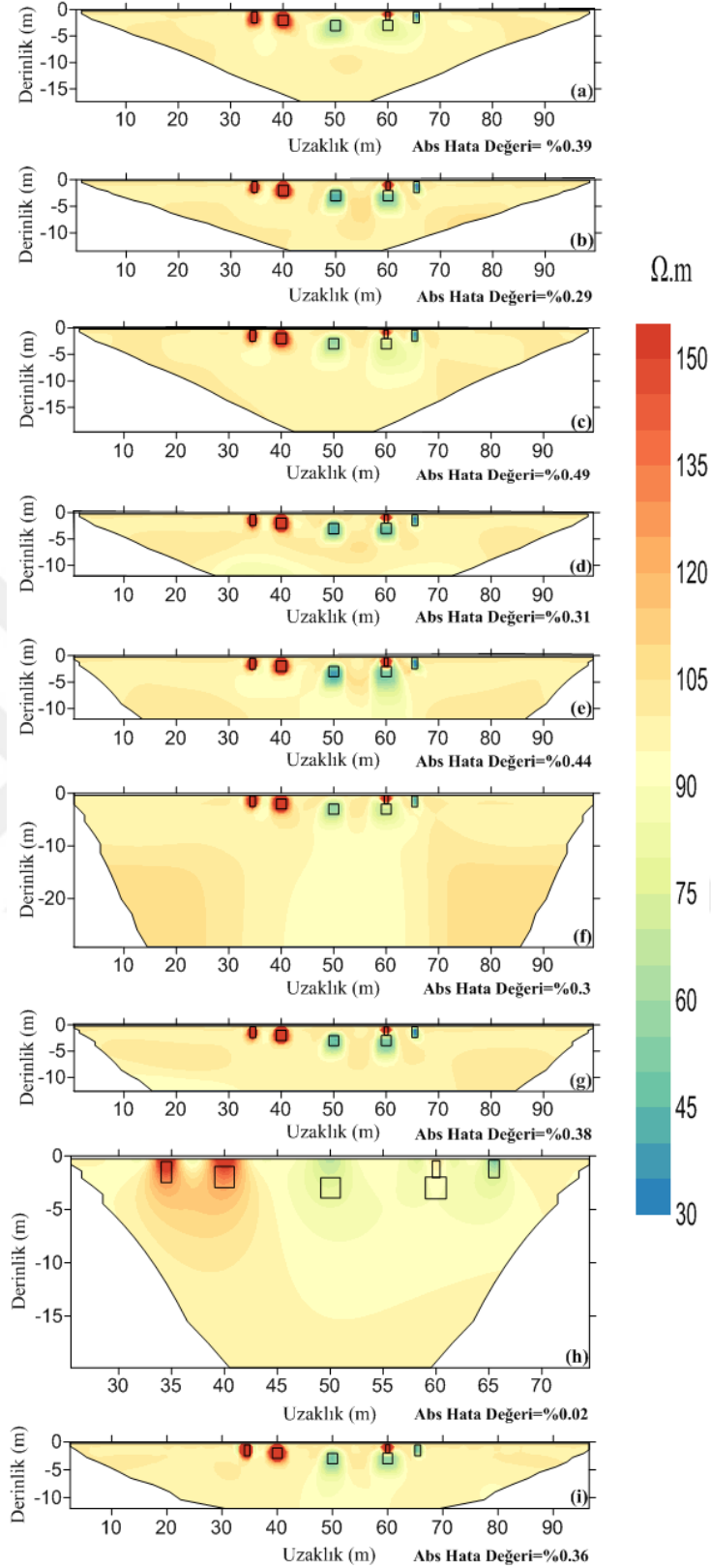
Bu çalışmada ERT yönteminde gradyent dizilim kullanılarak bazı arkeolojik yapılar teorik olarak modellenmiştir. Arkeolojik modellerin ilkinde yarı-sonsuz bir ortamın içinde farklı öz direnç değerlerine sahip yapılar bulunmaktadır. Farklı öz direnç değerlerine sahip yapıların özellikleri ise bu model çalışmamızda 34-35 metre uzaklıkta 0,5 metre derinde başlayacak şekilde 1x2 boyutunda bloğumuz yer alırken, 39-41 metre uzaklıkta 1 metre derinliğinde 2x2 boyutunda blok, 49-51 metre uzaklıkta 2 metre derinlikte 2x2 boyutunda blok, 59-61 metre uzaklıkta 0,5 derinlikte 1x1,5 boyutunda blok ve onun hemen altında 2 metre derinlikte 2x2 boyutunda blok ve 65-66 metre uzaklıkta 0,5 metre derinliğinde 1x2 boyutundaki bloklarımız yer almaktadır (Şekil 5.14). İkinci modelde ise yarı-sonsuz ortamın üzerinde bulunan bir tabakanın içerisinde farklı öz direnç değerlerine sahip yapılar bulunmaktadır (Şekil 5.17). Bir başka deyişle, ikinci yer altı modelimiz ilk yer altı modelimize sadece tabaka etkisi eklenerek elde edilmiş modelimizdir. Her bir model için gürültü içermeyen ve %5 gürültü içeren modeller oluşturulmuştur. Modelleme işlemi ile elde edilen veriler ters çözüm yapılarak değerlendirilmiştir.

Arkeolojik yapı ile örtü toprak arasındaki öz direnç farkı ERT yönteminin başarılı yeraltı modelleri sunduğunu göstermektedir. Gradyent dizilim ile elde edilen sonuçlar, yaygın olarak kullanılan diğer dizilimlerin (Wenner-alfa, Wenner-beta, Wenner-gama, Wenner-Schlumberger, dipol-dipol, pol-pol, pol-dipol) ve çok elektrotlu gradyent diziliminin sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır.

İlk yeraltı modelinin gürültü içermeyen modellemelerinde gradyent dizilim hariç diğer dizilimler başarılı şekilde tüm yapıları net olarak görüntüleyebilmişlerdir. Gradyent dizilim ise yüksek öz dirençli yapılarda iyi sonuçlar verirken, düşük öz dirençli yapıları belirleyebilmiş ancak alt alta gelen bloklu yapıları belirlemede iyi sonuçlar vermemiştir. Aynı yeraltı modelinin %5 gürültü içeren modellemelerinde ise Wenner-alfa, Wenner-beta, Wenner-gama, Wenner-Schlumberger, dipol-dipol, pol-pol, pol-dipol ve çok elektrotlu gradyent dizilimleri en iyi sonuçları vermiştir.

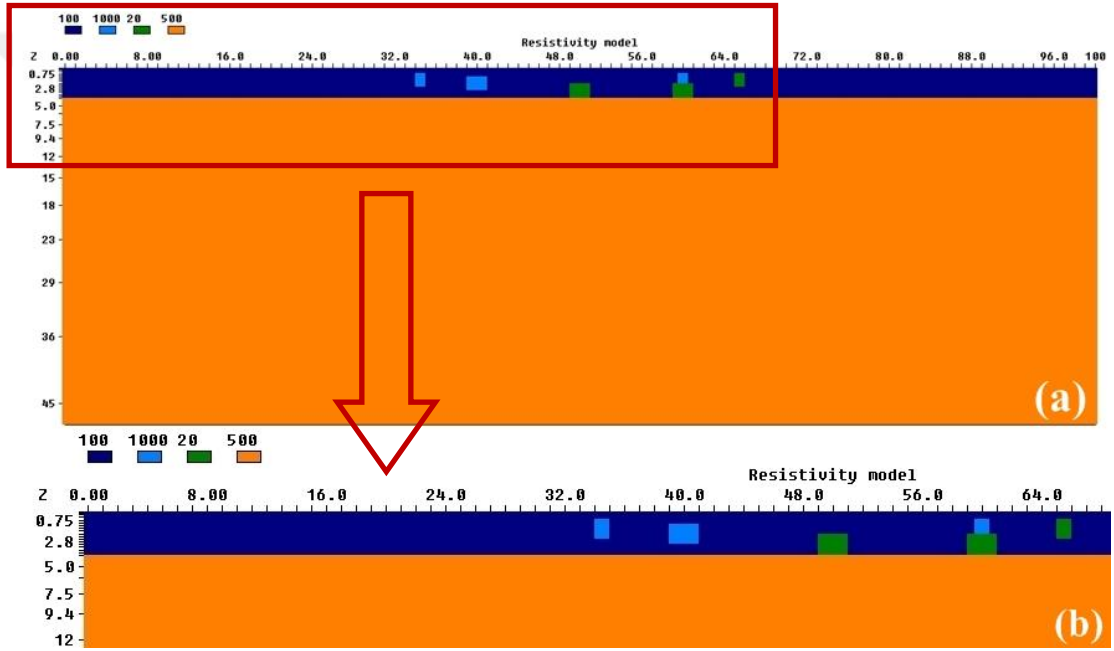


Şekil 5.14 a) Yarı sonsuz ortam içindeki arkeolojik yapı b) Yarı sonsuz ortam içindeki arkeolojik yapının büyütülmüş görüntüsü

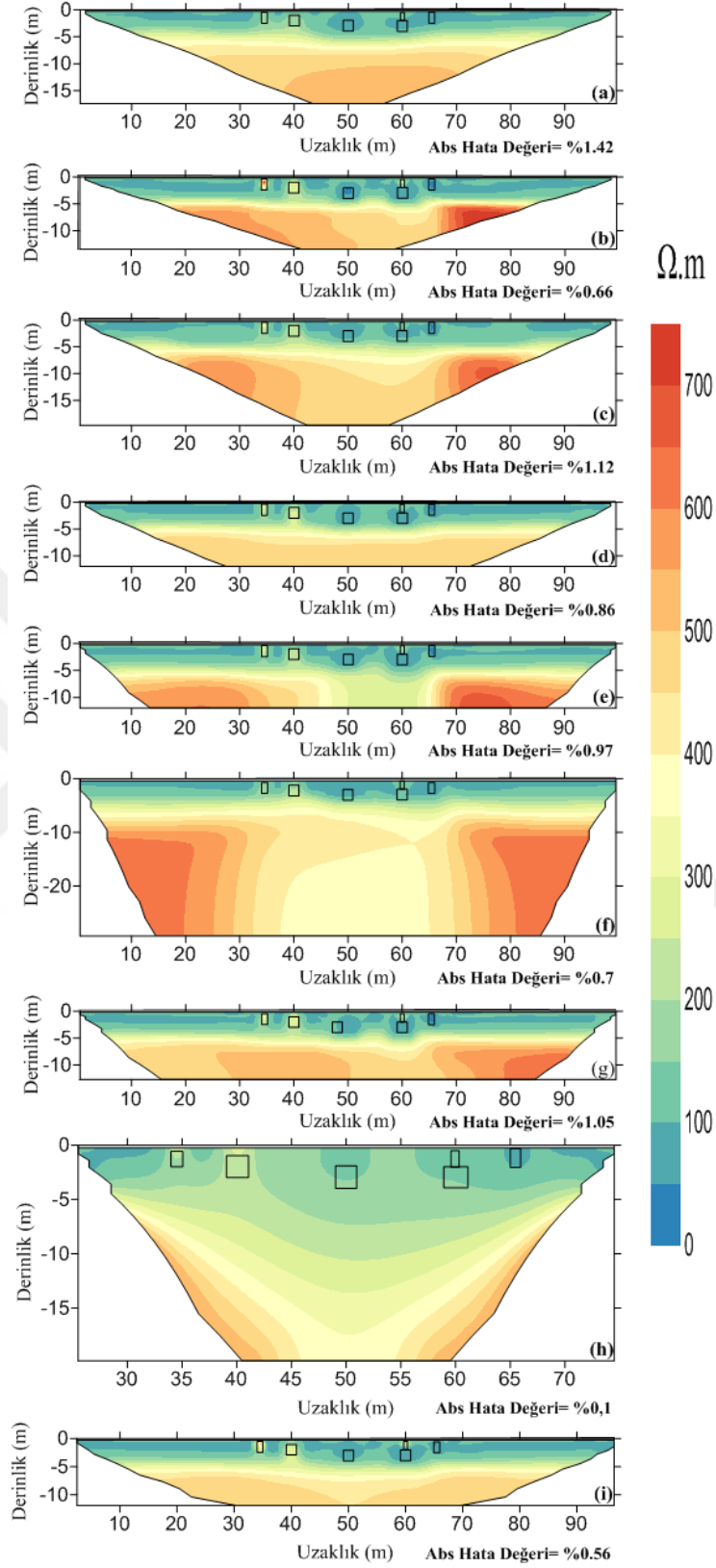


Şekil 5.15 Yarı sonsuz ortam içindeki arkeolojik yapının gürültü içermeyen modellemeleri a) Wenner-alfa b) Wenner-beta c) Wenner-gama d) Wenner-Schlumberger e) dipol-dipol f) pol-pol g) pol-dipol h) gradyent i) çok elektrotlu gradyent

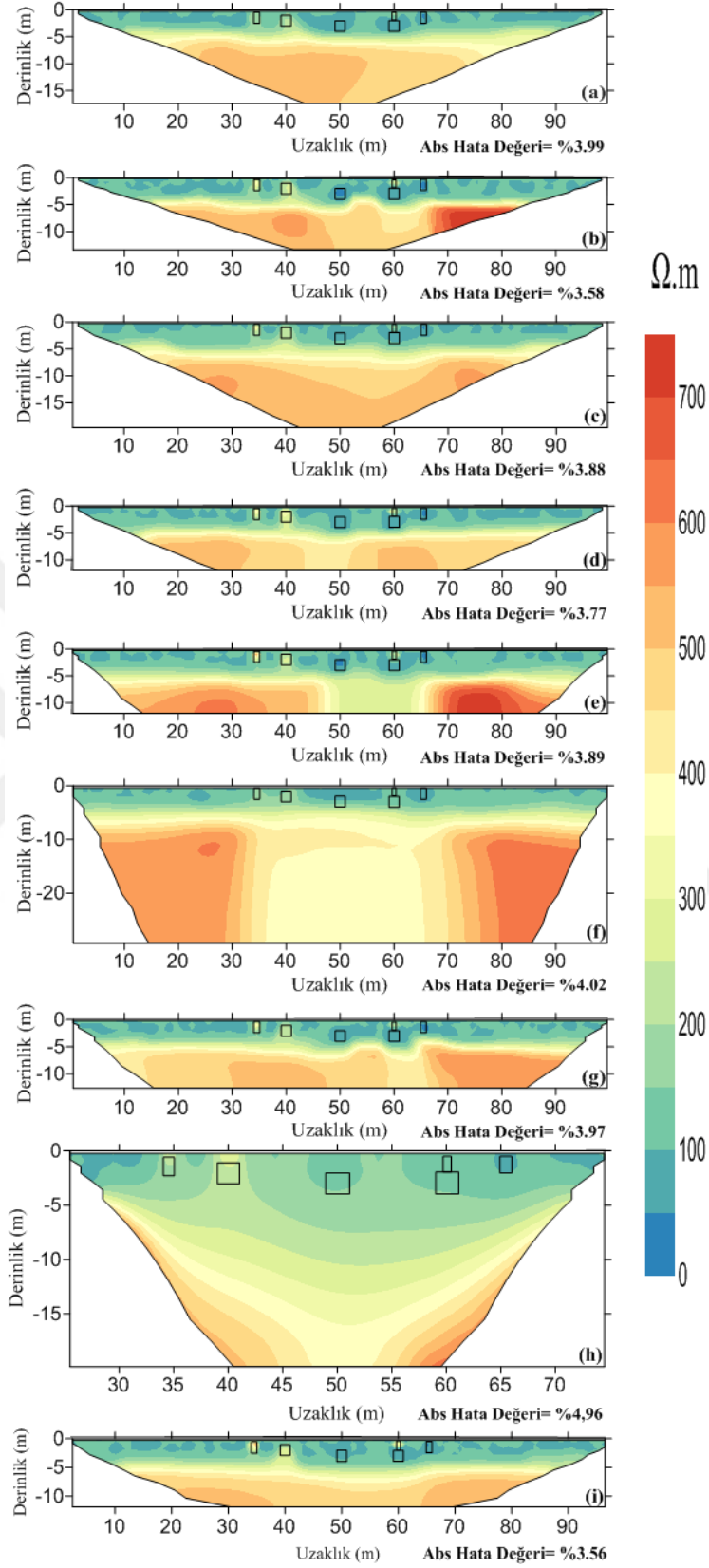
İkinci yeraltı modelinin gürültü içermeyen modellerinde Wenner-beta, Wenner-Schlumberger, dipol-dipol ve çok elektrotlu gradyent dizilimleri en iyi sonuçları vermiştir (Şekil 5.18). İkinci yeraltı modelinin %5 gürültü içeren modellerinde ise Wenner-beta, Wenner-Schlumberger, dipol-dipol, pol-dipol ve çok elektrotlu gradyent dizilimleri en iyi sonuçları vermiştir (Şekil 5.19). Gradyent dizilim ise gürültü içermeyen modelleme çalışmasında olduğu gibi %5 gürültü içeren modelleme çalışmasında da alt alta gelen bloklu yapıları tespit edememiş ancak yüksek öz dirençli ve düşük öz dirençli yapıların yerlerini belirleyebilse de yapı kestirilebilirliği net değildir.



Şekil 5.17 a)Yarı sonsuz ortam üzerinde bulunan tabakalı arkeolojik yapı b) Yarı sonsuz ortam üzerinde bulunan tabakalı arkeolojik yapının büyütülmüş görüntüsü



Şekil 5.18 Yarı sonsuz ortam üzerinde bulunan tabakalı arkeolojik yapının gürültü içermeyen modelleri a) Wenner-alfa b) Wenner-beta c) Wenner-gama d) Wenner-Schlumberger e) dipol-dipol f) pol-pol g) pol-dipol h) gradyent i) çok elektrotlu gradyent



Şekil 5.19 Yarı sonsuz ortam üzerinde bulunan tabakalı arkeolojik yapının %5 gürültü içeren modellemeleri a) Wenner-alfa b) Wenner-beta c) Wenner-gama d) Wenner-Schlumberger e) dipol-dipol f) pol-pol g) pol-dipol h) gradyent i) çok elektrotlu gradyent

BÖLÜM ALTI

SONUÇLAR

Tez çalışması kapsamında ilk olarak kuramsal modeller ele alınmıştır. Kuramsal model çalışmamızın ilk modelinde rezistif bir yapı içerisinde ondan daha düşük rezistif bir 1x1 boyutunda yapıyı görüntülemek amaçlanmıştır. Öncelikle bu model için gürültüsüz modelimizde yapı belirlenebilirliği bütün dizilimlerde net olarak görüntülenmiştir. Ancak gradyent dizilim diğer dizilimlere göre yapıyı net kestirilebilir bir şekilde görüntüleyememektedir. Aynı modelin %5 gürültü içeren çalışmamızda ise tüm dizilim türlerimiz birbirine yakın hata oranları vermiş olsa da çok elektrotlu gradyent dizilim modele en yakın yapıyı görüntüleyebilmiştir. İkinci modelimizde iletken bir yapı içerisinde 1x1 boyutundaki rezistif yapıyı yer almaktadır. Gürültüsüz modelimizde gradyent dizilim hariç diğer dizilimler yapıyı net olarak görüntülemiştir. Gradyent dizilim yapıyı görmesine rağmen yapı kestirilebilirliği net değildir. Aynı modelin %5 gürültü içeren çalışmamızda ise yapıyı en net görüntüleyen çok elektrotlu gradyent ve Wenner-Schlumberger dizilimi olmuştur. Üçüncü model çalışmamızda ise yapı bloğumuz iki bloktan oluşmaktadır. Ortam 100Ωm ve 1x1 boyutundaki üst yapı bloğumuz ortama göre oldukça rezistif, 1x2 boyutundaki alt bloğumuz ise ortama göre daha iletken yapıdadır. Bu modelimizin gürültüsüz çalışmasında Wenner-beta, pol-pol, pol-dipol, dipol-dipol, Wenner-Schlumberger dizilimleri yapıyı net olarak görüntülerken Wenner-alfa ve çok elektrotlu gradyent dizilimleri yapının varlığını tespit etmiş ama net olarak görüntüleyememiştir. Gradyent dizilimi ise üst rezistif yapıyı görüntülerken alt bloktaki iletken yapıyı görüntülemeye başarılı olamamıştır. Aynı modelin %5 gürültü içeren çalışmamızda Wenner-beta, dipol-dipol ve pol-dipol dizilimleri yapıyı görüntüleyebilmektedirler. Çok elektrotlu gradyent dizilim ise üst yapıyı net olarak görüntüleyebilmektedir ancak alt yapıyı net olarak görüntüleyememektedir. Gradyent dizilimi ise gürültüsüz çalışmada da olduğu gibi üst rezistif yapıyı görüntülerken alt bloktaki iletken yapıyı görüntülemeye başarılı olamamıştır. Dördüncü model çalışmamızda yapı bloğumuz iki bloktan oluşmaktadır. Ortam 100Ωm ve 1x1 boyutundaki üst yapı bloğumuz ortama göre oldukça iletken, 1x2 boyutundaki alt bloğumuz ise ortama göre daha rezistif yapıdadır. Bu modelimizin gürültüsüz

çalışmasında çok elektrotlu gradyent ve Wenner-alfa dizilimi yapıyı net olarak görüntülemektedir. Wenner-gama, dipol-dipol ve pol-pol dizilimleri de üst yapıyı net görüntülerken alt yapının kestirilebilirliği net değildir. Diğer dizilimler ise üstteki iletken yapıyı görürken alttaki rezistif yapıyı görüntüleyememektedir. %5 gürültü içeren modelleme çalışmamızda da Wenner Schlumberger ve pol-dipol dizilimler yapıları net görüntülemektedir. Dipol-dipol, Wenner-alfa, pol-pol ve çok elektrotlu gradyent dizilimler ise yapıları görüntüleyebilmektedir ancak kestirilebilirlik net değildir. Diğer dizilimler ise üst yapıyı görüntülerken alt yapıyı görüntüleyememektedir. Gradyent diziliminin bu durumu üçüncü modelimizde de karşımıza çıkmaktadır. Gradyent dizilimlerde anlaşılacağı üzere ortam ve model yapılarımız hangi yapıda olursa olsun alt alta gelen yapılarda üst yapıyı net şekilde görüntülerken alt yapıyı görüntüleyememektedir. Kuramsal çalışmalardan elde edilen sonuç neticesinde gradyent dizilimi tek yapı modellemelerinde başarılı sonuçlar verirken derine yerleştirilen bir başka yapı olduğu zaman yapının belirlenebilirliği ortadan kalkmaktadır. Derine yerleştirilen ve alt alta gelebilecek yapıları belirlemede yeteri kadar öz direnç zıtlığını yakalayamadığı için gradyent dizilim derin yapıları belirlemede etkili olamamaktadır. Çok elektrotlu gradyent dizilimi, tek yapı modellemelerinde modele en yakın yapıyı görüntülemektedir. Alt alta gelen yapı modellemelerinde ise çok elektrotlu gradyent dizilim üst yapıyı net göstermesine rağmen alt yapıyı belirleyebilme de kestirilebilirliği net değildir. Genel anlamda çok elektrotlu gradyent dizilimi başarılı bir dizilim türüdür.

Tez çalışması kapsamında ikinci olarak arkeolojik modeller ele alınmıştır. Arkeolojik model çalışmasında 34-35 metre uzaklıkta 0,5 metre derinde başlayacak şekilde 1x2 boyutunda bloğumuz yer alırken, 39-41 metre uzaklıkta 1 metre derinliğinde 2x2 boyutunda blok, 49-51 metre uzaklıkta 2 metre derinlikte 2x2 boyutunda blok, 59-61 metre uzaklıkta 0,5 derinlikte 1x1,5 boyutunda blok ve onun hemen altında 2 metre derinlikte 2x2 boyutunda blok ve 65-66 metre uzaklıkta 0,5 metre derinliğinde 1x2 boyutundaki bloklarımız yer almaktadır. Bu yapılarımız ilk yer altı modelimizi oluştururken ikinci yer altı modeli sadece tabaka etkisi eklenerek elde edilmiştir. İlk arkeolojik yer altı modelinin gürültü içermeyen modellemelerinde gradyent dizilim hariç diğer dizilimler başarılı şekilde tüm yapıları net olarak

görüntüleyebilmiştir. Gradyent dizilim ise yüksek öz dirençli yapılarda iyi sonuçlar verirken, düşük öz dirençli yapıları belirleyebilmiş ancak alt alta gelen bloklu yapıları belirlemede iyi sonuçlar vermemiştir. Aynı yeraltı modelinin %5 gürültü içeren modellemelerinde ise Wenner-alfa, Wenner-beta, Wenner-gama, Wenner-Schlumberger, dipol-dipol, pol-pol, pol-dipol ve çok elektrotlu gradyent dizilimleri en iyi sonuçları vermiştir. Gradyent dizilim ise gürültü içermeyen modelleme çalışmasında olduğu gibi yüksek öz dirençli yapılarda iyi sonuçlar verirken, düşük öz dirençli yapılarda ve alt alta gelen bloklu yapılarda iyi sonuçlar vermemiştir. İlk yeraltı modeline ait gürültüsüz modelleme çalışmalarında hata oranları %1.5'den düşüktür.

İkinci yeraltı modelinin gürültü içermeyen modellemelerinde Wenner-beta, Wenner-Schlumberger, dipol-dipol, pol-dipol ve çok elektrotlu gradyent dizilimleri en iyi sonuçları vermiştir (Şekil 5.17). Gradyent dizilim ise yapıların yerlerini belirleyebilirken yapı kestirilebilirliğini tespit edememiştir. İkinci yeraltı modelinin %5 gürültü içeren modellemelerinde ise Wenner-beta, Wenner-Schlumberger, dipol-dipol, pol-dipol ve çok elektrotlu gradyent dizilimleri en iyi sonuçları vermiştir. Gradyent dizilim ise gürültü içermeyen modelleme çalışmasında olduğu gibi %5 gürültü içeren modelleme çalışmasında da alt alta gelen bloklu yapıları tespit edememiş ancak yüksek öz dirençli ve düşük öz dirençli yapıların yerlerini belirleyebilse de yapı kestirilebilirliği net değildir. Wenner-alfa ve Wenner-gama dizilimleri yapıları belirleyebilmektedir ancak iletken yapıların belirlenebilirliği diğer dizilimlere göre net değildir. Pol-pol dizilimi ise hem gürültüsüz hem de %5 gürültülü modelleme çalışmalarında başarılı sonuçlar üretememiştir. İlk yer altı modeline kıyasla tüm dizilimlerde yapı kestirilebilirliklerinde farklı sonuçlar ele alınmasında tabakanın etkisi olumsuz yönde görülmektedir.

Sonuç olarak, gradyent dizilim ERT çalışmalarında yaygın olarak kullanılan bir dizilim türü olmasa da özellikle yüksek öz dirençli yapıların belirlenmesinde iyi sonuçlar veren bir dizilim türüdür. Aynı zamanda çok elektrotlu gradyent dizilim yaygın olarak kullanılan dizilim türlerinin bazılarında daha başarılı sonuçlar üretmiştir ancak kuramsal modellerde olduğu gibi arkeolojik modellerin gürültü

modellemelerinde gürültüsüz modeller kadar başarılı olmasa da diğer dizilimlerle kıyaslandığında iyi sonuçlar elde edilmiştir. Tez kapsamında yapılan sentetik modelleme çalışmaları çok elektrotlu gradyent diziliminin arkeolojik alan incelemelerinde olumlu sonuçlar verdiğini ve gelecekte daha da yaygın kullanılabileceğini ortaya koymuştur.



KAYNAKLAR

- Aitken, M. J., Webster, G., & Rees, A. (1958). Magnetic prospecting. *Antiquity*, 32, 270-271.
- Apparao, A. (1979). Model tank experiments on resolution of resistivity anomalies obtained over buried conducting dikes-inline and broadside profiling. *Geophysical Prospecting*, 27, 835-847.
- Başokur, A. T. (1992). *VIII. Arkeometri Sonuçları Toplantısı*. T.C. Kültür Bakanlığı.
- Başokur, A. T. (2002). *Doğrusal ve doğrusal olmayan problemlerin ters-çözümü*. Ankara: TMMOB Jeofizik Mühendisleri Odası Eğitim Yayınları.
- Berge, M.A. (2002). *Sığ aramacılıkta sonlu farklar yöntemi ile iki-boyutlu düz çözüm öz direnç modellemesi*. Lisans tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir (yayımlanmamış).
- Berge, M.A. (2005). *İki-boyutlu öz direnç ters çözüm modellemesi*. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.
- Berge, M. A. (2011). *Elektrik öz direnç ters-çözümüyle çok katmanlı arkeolojik yerleşmelerin görüntülendirilmesi*. Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.
- Blome, M., Maurer, H. R., & Schmidt, K. (2008). Advances in three-dimensional geoelectric forward solver techniques. *Geophysical Journal International*, 176, 740-752.
- Brizzolari, E., & Bernabini, M. (1979). Comparison between Schlumberger electrode arrangement and some focused electrode arrangements in resistivity profiles. *Geophysical Prospecting*, 27, 233-244.

- Candansayar, M. E., & Başokur, A. T. (2001). Detecting small-scale targets by the 2D inversion of two-sided three-electrode data: application to an archaeological survey. *Geophysical Prospecting*, 49, 13-25.
- Charles T. Young & David R. Droege. (1986). Archaeological applications of resistivity and magnetic methods at Fort Wilkins State Park, Michigan. *Geophysics*, 51(3), 568-575.
- Coggon, J. H. (1971). Electromagnetic and electrical modeling by the finite element method. *Geophysics*, 36, 132-155.
- Dahlin, T., & Zhou, B. (2004). A numerical comparison of 2-D resistivity imaging with 10 electrode arrays. *Geophysical Prospecting*, 52, 379-398.
- Dahlin, T., & Zhou, B. (2006). Multiple-gradient array measurements for multichannel 2D resistivity imaging. *Near Surface Geophysics*, 4(2), 113-123.
- deGroot-Hedlin, C., & Constable, S. (1990). Occam's inversion to generate smooth, two-dimensional models from magnetotelluric data. *Geophysics*, 55, 1613-1624.
- Dey, A., & Morrison, H. F. (1979a). Resistivity modeling for arbitrarily shaped two dimensional structures. *Geophysical Prospecting*, 27, 106-136.
- Dey, A., & Morrison, H. F. (1979b). Resistivity modeling for arbitrarily shaped three-dimensional structures. *Geophysics*, 44, 753-780.
- Drahor, M. G., (1991). *Arkeolojik alanlarda jeofiziksel prospeksiyonun önemi, IX Araştırma sonuçları Toplantısı*. T.C. Kùltür Bakanlığı, Anıtlar Ve Müzeler Genel Müdürlüğü, 235-250.
- Drahor, M. G. (1993). *Arkeolojik alanların özdirenç ve doğal gerilim (SP) yöntemleriyle araştırılması*. Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.

Drahor, M. G. (2005). Arkeolojik prospeksiyon. *Arkeoloji ve Sanat*, 119, 114-123.

Drahor, M. G. ve Kaya, M. A. (2000). A large-scale geophysical prospection in the Acemhöyük the site of the Assyrian trade colony period. *Turkish Academy of Sciences Journal of Archaeology*, 3, 85-107.

Edwards, L.S. (1977). A modified pseudosection for resistivity and induced-polarization. *Geophysics*, 42, 1020-1036.

Günther, T., Rücker, C. ve Spitzer, K. (2006). Three-dimensional modelling and inversion of dc resistivity data incorporating topography – II. Inversion. *Geophysical Journal International*, 166, 506-517.

Haber, E., Ascher, U. M., Aruliah, D. A. & Oldenburg, D. W. (2000). Fast simulation of 3D electromagnetic problems using potentials. *Journal of Computational Physics*, 163, 150-171.

Jepsen, A. F. (1969). *Numerical modeling in resistivity prospecting*. Phd. Thesis, University of California, Berkeley.

Loke M. H., & Barker, R. D. (1995). Least-squares deconvolution of apparent resistivity pseudosections. *Geophysics*, 60, 1682-1690.

Loke M. H., & Barker R. D. (1996a). Rapid least-squares inversion of apparent resistivity pseudosections using a quasi-Newton method. *Geophysical Prospecting*, 44, 131-152.

Loke, M. H., & Dahlin, T. (2002). A comparison of the Gauss-Newton and Quasi-Newton methods in resistivity imaging inversion. *Journal of Applied Geophysics*, 49, 149-162.

- Loke, M. H. (2015). Tutorial: 2-D and 3-D electrical imaging surveys, *Geotomo Software Notes*.
- McGillivray, P.R. & Oldenburg, D.W. (1990). Methods for calculating Frechet derivatives and sensitivities for the non-linear inverse problem: A comparative study. *Geophysical Prospecting* 38, 499-524.
- Molano, C. E., Salamanca, M., & Van Overmeeren, R. A. (1990). Numerical modeling of standard and continuous vertical electrical sounding. *Geophysical Prospecting*, 41(1), 705-718.
- Mufti, I. R. (1976). Finite difference resistivity modelling for arbitrarily shaped two dimensional structures. *Geophysics*, 41, 62-78.
- Naumann, R. (1991). *Eski Anadolu mimarlığı*. Ankara: Türk Tarih Kurumu.
- Olayinka, A. I., & Yaramanci, U. (2000). Use of block inversion in the 2-D interpretation of apparent resistivity data and its comparison with smooth inversion. *Journal of Applied Geophysics*, 45, 63-82.
- Parasnis, D. S. (1966). *Mining Geophysics*. New York: Elsevier.
- Pattantyus-A, M. (1986). Geophysical results in archaeology in Hungary. *Geophysics*, 51(3), 561-567.
- Pidlisecky, A., Haber, E., & Knight, R. (2007). RESINVM3D: A 3D resistivity inversion package. *Geophysics*, 72(2), H1-H10.
- Pridmore, D. F., Hohmann, G. W., Ward, S. H., & Sill, W. R. (1981). An investigation of finite element modeling for electrical and electromagnetic data in three dimensions. *Geophysics*, 46, 1009-1024.

- Queralt, P., Pous, J., & Marcuello, A. (1991). 2-D resistivity modeling, An approach to arrays parallel to the strike direction. *Geophysics*, 56(7), 941-950.
- Rijo, L. (1977). *Modeling of electric and electromagnetic data*. Phd Thesis, University of Utah, Salt Lake City (unpublished).
- Rosen, A. M. (Ed.). (1986). *Cities of clay: The geoarchaeology of tells*. Chicago: University of Chicago Press.
- Rücker, C., Günther, T. & Spitzer, K. (2006). Three-dimensional modeling and inversion of dc resistivity data incorporating topography – I. Modelling. *Geophysical Journal International*, 166, 495-505.
- Sasaki, Y. (1992). Resolution of resistivity tomography inferred from numerical simulation. *Geophysical Prospecting*, 40, 453-464.
- Schössler, C., & Kaya, A. (1996). Conductive dots, wires, and supertips for field electron emitters produced by electron-beam induced deposition on samples having increased temperature. *Journal of Vacuum Science & Technology B: Microelectronics and Nanometer Structures Processing, Measurement, and Phenomena* 14, 4105-4109.
- Scriba, H. (1981). Computation of the electric potential in three-dimensional structures. *Geophysical Prospecting*, 29, 790-802.
- Smith, N. C., & Vozoff, K. (1984). Two-dimensional DC resistivity inversion for dipole-dipole data. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 22, 21-28.
- Stummer, P. (2003). *New developments in electrical resistivity imaging*. Phd Thesis, Swiss Federal Institute of Technology Zurich, Zurich.

- Telford, W. M., Geldart, L. P., Sheriff, R.E., & Keys, D.A., (1976). *Applied Geophysics*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Tong, L. & Yang, C. (1990). Incorporation of topography into two-dimensional resistivity inversion. *Geophysics*, 55, 354-361.
- Tripp, A. C., Hohmann, G. W. & Swift Jr, C. M. (1984). Two-dimensional resistivity inversion. *Geophysics*, 49, 1708-1717.
- Tsokas G. N., Giannopoulos A., Tsourlos P., Vargemezis G., Tealby J. M., Sarris A., et al. (1994). A large scale geophysical survey in the archaeological site of Europos. *Journal of Applied Geophysics*, 32, 85-98.
- Van Nostrand, R. G. & Cook, K. L. (1966). *Interpretation of resistivity data*. Washington: USGS Prof. Paper Printing Office.
- Zhou B. & Dahlin T. (2003). Properties and effects of measurement errors on 2D resistivity imaging surveying. *Near Surface Geophysics*, 1, 105-117.
- Zhou, B., Greenhalgh, M. & Greenhalgh, S. A. (2009). 2.5-D/3-D resistivity modelling in anisotropic media using Gaussian quadrature grids. *Geophysical Journal International*, 176, 63-80.

EKLER

EK-1: Model 1 Abs Hata Değeri

Dizilim Türleri	Gürültü Oranı	Yineleme Sayısı 1	Yineleme Sayısı 2	Yineleme Sayısı 3	Yineleme Sayısı 4	Yineleme Sayısı 5
Wenner Alfa	Gürültüsüz	1,91	0,81	0,58	0,34	0,24
	%5 Gürültülü	5,04	3,51	3,38	3,21	3,16
Wenner Beta	Gürültüsüz	2,22	0,81	0,44	0,34	0,32
	%5 Gürültülü	4,71	2,92	2,57	2,48	2,42
Wenner Gama	Gürültüsüz	2,43	0,9	0,45	0,26	0,26
	%5 Gürültülü	4,8	3,11	2,93	2,77	2,73
Wenner Schlumberger	Gürültüsüz	1,93	0,71	0,42	0,28	0,21
	%5 Gürültülü	4,92	3,43	3,07	2,94	2,85
Dipol Dipol	Gürültüsüz	1,95	0,87	0,59	0,53	0,38
	%5 Gürültülü	4,89	3,46	3,24	3,13	3,08
Pol Pol	Gürültüsüz	1,35	0,73	0,35	0,27	0,22
	%5 Gürültülü	4,69	3,51	3,42	3,36	3,34
Pol Dipol	Gürültüsüz	2,31	1,04	0,51	0,3	0,26
	%5 Gürültülü	4,62	3,24	3,08	2,95	2,9
Gradyent	Gürültüsüz	0,45	0,11	0,06	0,05	0,05
	%5 Gürültülü	4,38	4,3	4,28	4,28	4,27
Çok Elektotlu Gradyent	Gürültüsüz	1,97	0,69	0,32	0,29	0,23
	%5 Gürültülü	4,21	2,7	2,32	2,18	2,01

EK-2: Model 2 Abs Hata Değeri

Dizilim Türleri	Gürültü Oranı	Yineleme Sayısı 1	Yineleme Sayısı 2	Yineleme Sayısı 3	Yineleme Sayısı 4	Yineleme Sayısı 5
Wenner Alfa	Gürültüsüz	1,06	0,55	0,45	0,31	0,28
	%5 Gürültülü	4,27	3,37	3,26	3,18	3,14
Wenner Beta	Gürültüsüz	1,24	0,54	0,34	0,26	0,23
	%5 Gürültülü	4,07	2,71	2,59	2,54	2,51
Wenner Gama	Gürültüsüz	1,18	0,63	0,44	0,3	0,23
	%5 Gürültülü	4,57	3,15	3,05	2,88	2,88
Wenner Schlumberger	Gürültüsüz	0,97	0,38	0,3	0,22	0,19
	%5 Gürültülü	5	3,72	3,53	3,39	3,35
Dipol Dipol	Gürültüsüz	1,27	0,7	0,46	0,35	0,33
	%5 Gürültülü	4,71	3,58	3,31	3,15	3,05
Pol Pol	Gürültüsüz	1,1	0,6	0,35	0,28	0,21
	%5 Gürültülü	5,19	3,78	3,72	3,61	3,59
Pol Dipol	Gürültüsüz	1,22	0,53	0,41	0,3	0,25
	%5 Gürültülü	4,79	3,3	3,1	2,99	2,96
Gradyent	Gürültüsüz	0,35	0,07	0,05	0,05	0,05
	%5 Gürültülü	4,88	4,85	4,83	4,81	4,79
Çok elektrotlu Gradyent	Gürültüsüz	1,69	0,98	0,65	0,35	0,19
	%5 Gürültülü	3,78	2,72	2,43	2,26	2,15

EK-3: Model 3 Abs Hata Değeri

Dizilim Türleri	Gürültü Oranı	Yineleme Sayısı 1	Yineleme Sayısı 2	Yineleme Sayısı 3	Yineleme Sayısı 4	Yineleme Sayısı 5
Wenner Alfa	Gürültüsüz	0,79	0,46	0,39	0,32	0,31
	%5 Gürültülü	4,66	3,51	3,31	3,22	3,11
Wenner Beta	Gürültüsüz	2,19	0,77	0,46	0,36	0,31
	%5 Gürültülü	5,14	3,19	2,84	2,72	2,66
Wenner Gama	Gürültüsüz	1,11	0,54	0,48	0,42	0,43
	%5 Gürültülü	4,28	2,95	2,77	2,69	2,65
Wenner Schlumberger	Gürültüsüz	0,94	0,36	0,25	0,21	0,21
	%5 Gürültülü	4,71	3,51	3,38	3,3	3,27
Dipol Dipol	Gürültüsüz	2,60	1,49	1,01	0,71	0,63
	%5 Gürültülü	5,55	3,93	3,74	3,66	3,58
Pol Pol	Gürültüsüz	1,29	0,78	0,6	0,46	0,43
	%5 Gürültülü	5,2	3,63	3,49	3,4	3,38
Pol Dipol	Gürültüsüz	1,67	0,76	0,54	0,42	0,33
	%5 Gürültülü	4,72	3,56	3,56	3,27	3,21
Gradyent	Gürültüsüz	0,29	0,06	0,04	0,04	0,03
	%5 Gürültülü	4,61	4,58	4,57	4,56	4,55
Çok Elektotlu Gradyent	Gürültüsüz	2,06	1,08	0,59	0,41	0,37
	%5 Gürültülü	4,39	3,02	2,74	2,56	2,51

EK-4: Model 4 Abs Hata Değeri

Dizilim Türleri	Gürültü Oranı	Yineleme Sayısı 1	Yineleme Sayısı 2	Yineleme Sayısı 3	Yineleme Sayısı 4	Yineleme Sayısı 5
Wenner Alfa	Gürültüsüz	1,99	0,81	0,65	0,47	0,36
	%5 Gürültülü	4,73	3,39	3,27	3,16	3,09
Wenner Beta	Gürültüsüz	1,89	0,71	0,48	0,39	0,37
	%5 Gürültülü	4,4	2,81	2,53	2,39	2,32
Wenner Gama	Gürültüsüz	2,27	0,96	0,54	0,32	0,32
	%5 Gürültülü	4,99	3,66	3,38	3,21	3,05
Wenner Schlumberger	Gürültüsüz	1,85	0,71	0,41	0,28	0,24
	%5 Gürültülü	4,67	3,46	3,31	3,23	3,16
Dipol Dipol	Gürültüsüz	2,22	1,41	0,94	0,67	0,48
	%5 Gürültülü	5,45	3,92	3,77	3,71	3,64
Pol Pol	Gürültüsüz	0,95	0,42	0,33	0,31	0,27
	%5 Gürültülü	4,9	3,66	3,57	3,47	3,4
Pol Dipol	Gürültüsüz	2,07	0,83	0,61	0,42	0,32
	%5 Gürültülü	5,25	3,84	3,56	3,51	3,47
Gradyent	Gürültüsüz	0,34	0,09	0,06	0,05	0,04
	%5 Gürültülü	4,98	4,95	4,94	4,93	4,91
Çok Elektotlu Gradyent	Gürültüsüz	1,84	0,77	0,52	0,25	0,19
	%5 Gürültülü	4,19	2,81	2,63	2,57	2,52

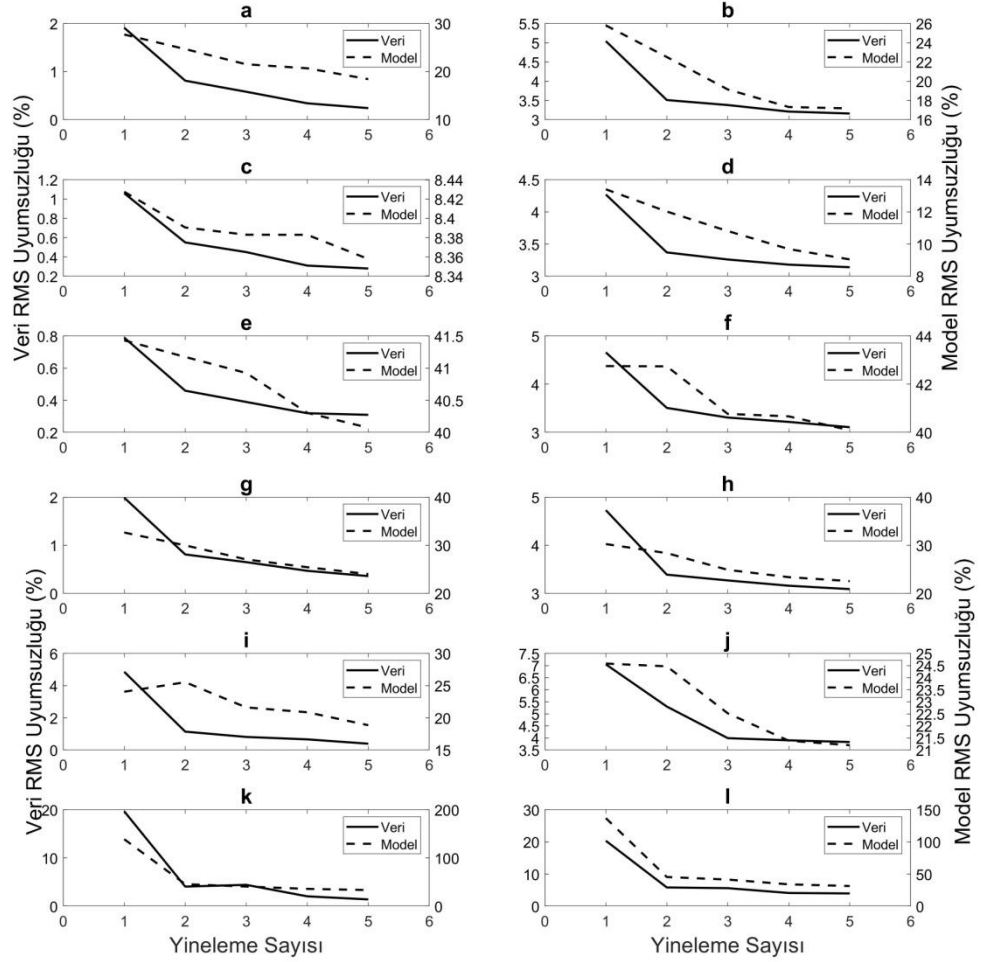
EK-5: Arkeolojik Model 1 Abs Hata Değeri

Dizilim Türleri	Gürültü Oranı	Yineleme Sayısı 1	Yineleme Sayısı 2	Yineleme Sayısı 3	Yineleme Sayısı 4	Yineleme Sayısı 5
Wenner Alfa	Gürültüsüz	4,86	1,14	0,81	0,66	0,39
	%5 Gürültülü	7,05	5,3	3,99	3,9	3,83
Wenner Beta	Gürültüsüz	3,01	1,38	0,92	0,45	0,29
	%5 Gürültülü	5,54	3,83	3,66	3,59	3,54
Wenner Gama	Gürültüsüz	6,06	1,47	1,12	0,68	0,49
	%5 Gürültülü	8,18	5,61	4,04	3,88	3,8
Wenner Schlumberger	Gürültüsüz	4,11	2,34	0,82	0,55	0,31
	%5 Gürültülü	6,5	4,43	4,06	3,88	3,81
Dipol Dipol	Gürültüsüz	3,25	2,19	0,91	0,7	0,44
	%5 Gürültülü	5,9	4,32	4,01	3,88	3,79
Pol Pol	Gürültüsüz	1,41	0,68	0,56	0,36	0,3
	%5 Gürültülü	5,2	3,99	3,94	3,92	3,89
Pol Dipol	Gürültüsüz	4,55	1,31	0,72	0,43	0,38
	%5 Gürültülü	6,47	4,93	3,95	3,89	3,83
Gradyent	Gürültüsüz	0,64	0,11	0,03	0,02	0,02
	%5 Gürültülü	4,87	4,82	4,82	4,82	4,82
Çok elektrotlu Gradyent	Gürültüsüz	3,13	1,31	0,9	0,5	0,36
	%5 Gürültülü	5,52	3,78	3,57	3,49	3,44

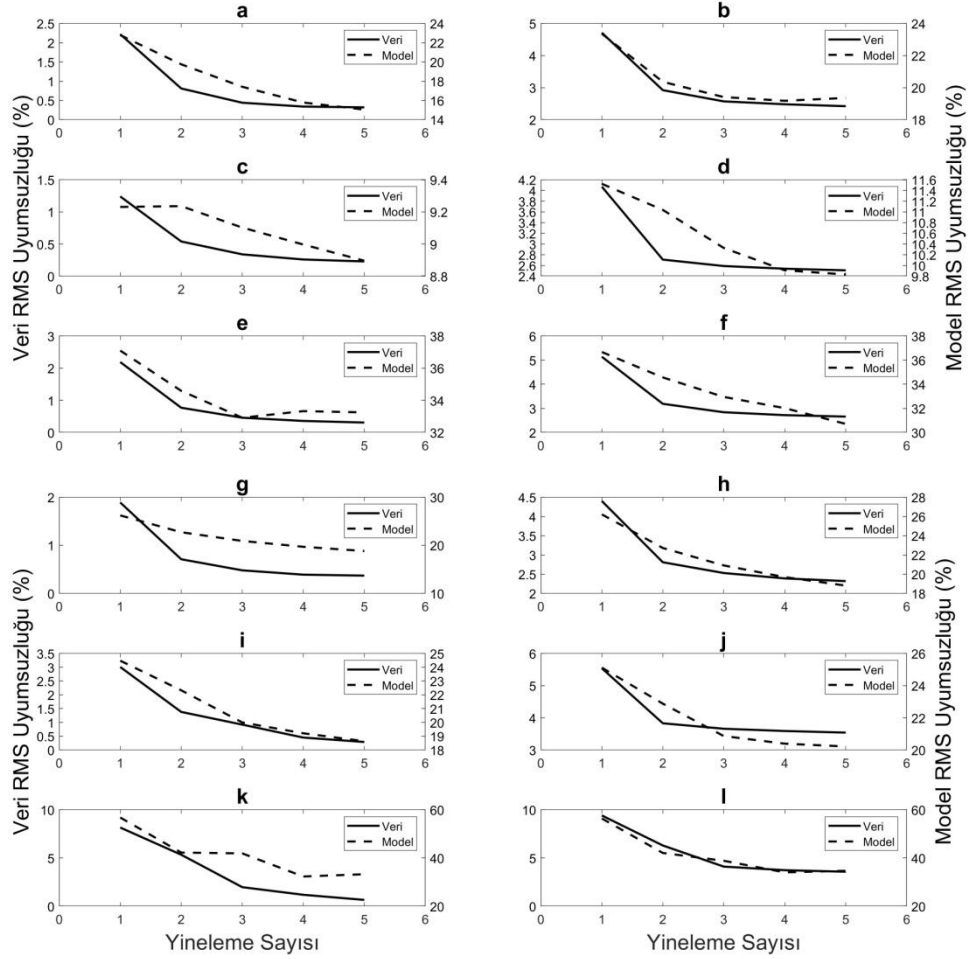
EK-6: Arkeolojik Model 2 Abs Hata Değeri

Dizilim Türleri	Gürültü Oranı	Yineleme Sayısı 1	Yineleme Sayısı 2	Yineleme Sayısı 3	Yineleme Sayısı 4	Yineleme Sayısı 5
Wenner Alfa	Gürültüsüz	19,68	4,08	4,44	2,06	1,42
	%5 Gürültülü	20,37	5,85	5,63	4,13	3,99
Wenner Beta	Gürültüsüz	8,16	5,34	1,98	1,19	0,66
	%5 Gürültülü	9,41	6,3	4,11	3,74	3,58
Wenner Gama	Gürültüsüz	26,36	5,86	2,44	1,48	1,12
	%5 Gürültülü	26,74	6,96	4,53	3,97	3,88
Wenner Schlumberger	Gürültüsüz	13,36	2,71	2,9	0,86	0,86
	%5 Gürültülü	14,29	4,76	4,61	4,11	3,77
Dipol Dipol	Gürültüsüz	13,5	2,56	2,65	0,95	0,97
	%5 Gürültülü	14,42	4,83	4,68	4,29	3,89
Pol Pol	Gürültüsüz	17,62	3,04	1,77	1,61	0,7
	%5 Gürültülü	18,2	4,85	4,28	4,05	4,02
Pol Dipol	Gürültüsüz	12,64	4,28	4,16	1,24	1,05
	%5 Gürültülü	13,73	5,72	5,47	4,12	3,97
Gradyent	Gürültüsüz	9,78	1,63	0,47	0,17	0,1
	%5 Gürültülü	11,08	5,23	4,99	4,97	4,96
Çok elektrotlu Gradyent	Gürültüsüz	11,2	5,42	1,46	1,13	0,56
	%5 Gürültülü	12,07	6,7	4,98	3,68	3,56

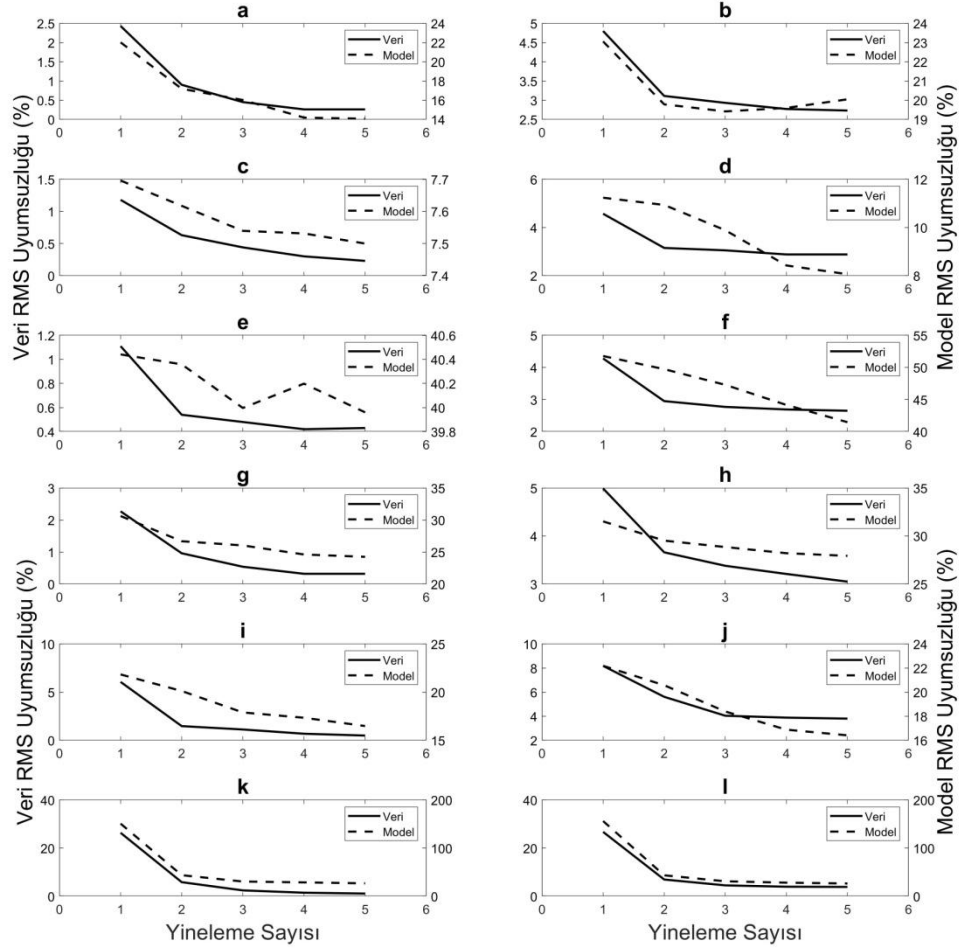
EK-7: Wenner-alfa Misfit Analiz Grafikleri a) model 1 gürültüsüz b) model 1 %5 gürültülü c) model 2 gürültüsüz d) model 2 %5 gürültülü e) model 3 gürültüsüz f) model 3 %5 gürültülü g) model 4 gürültüsüz h) model 4 %5 gürültülü i) arkeolojik model 1 gürültüsüz j) arkeolojik model 1 %5 gürültülü k) arkeolojik model 2 gürültüsüz l) arkeolojik model 2 %5 gürültülü



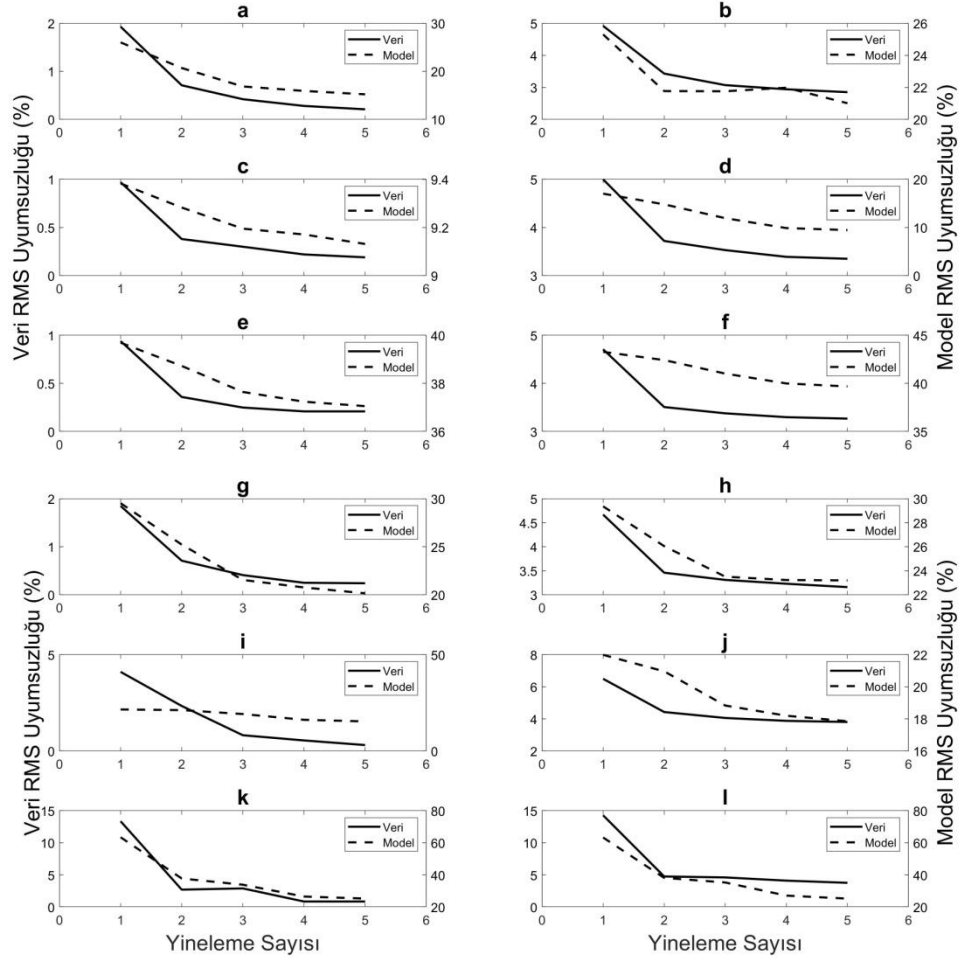
EK-8: Wenner-beta Misfit Analiz Grafikleri a) model 1 gürültüsüz b) model 1 %5 gürültülü c) model 2 gürültüsüz d) model 2 %5 gürültülü e) model 3 gürültüsüz f) model 3 %5 gürültülü g) model 4 gürültüsüz h) model 4 %5 gürültülü i) arkeolojik model 1 gürültüsüz j) arkeolojik model 1 %5 gürültülü k) arkeolojik model 2 gürültüsüz l) arkeolojik model 2 %5 gürültülü



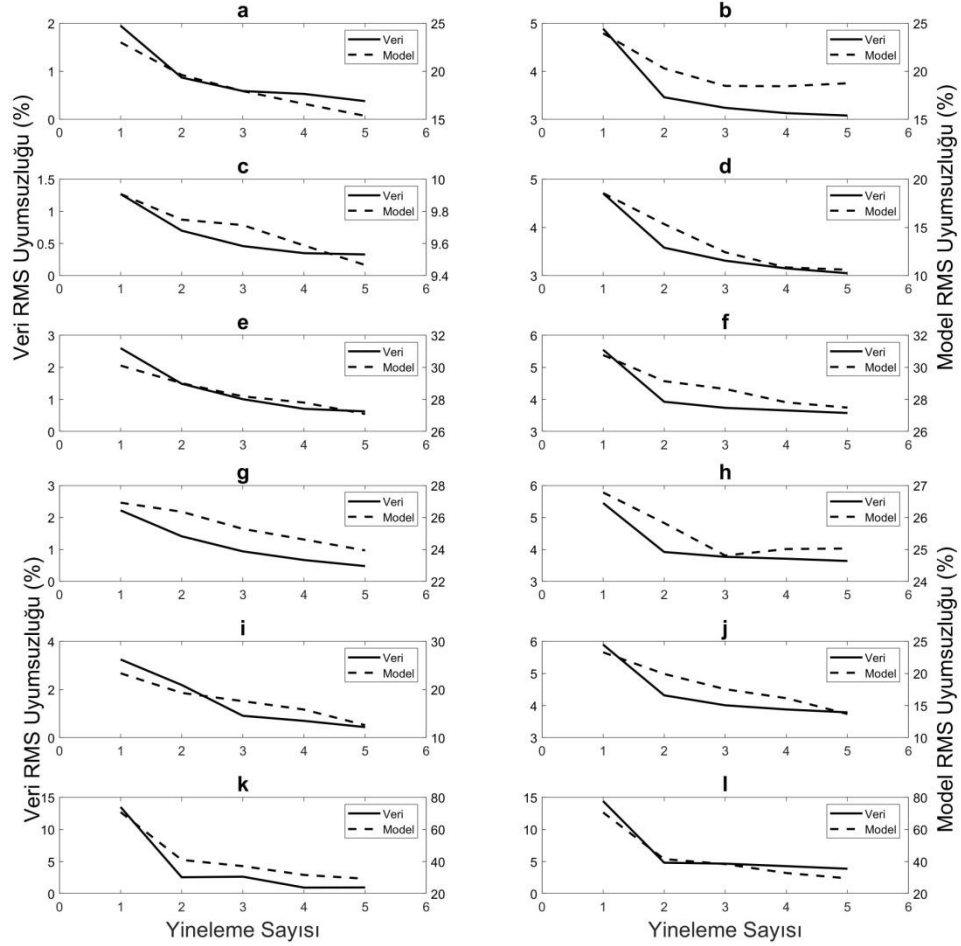
EK-9: Wenner-gama Misfit Analiz Grafikleri a) model 1 gürültüsüz b) model 1 %5 gürültülü c) model 2 gürültüsüz d) model 2 %5 gürültülü e) model 3 gürültüsüz f) model 3 %5 gürültülü g) model 4 gürültüsüz h) model 4 %5 gürültülü i) arkeolojik model 1 gürültüsüz j) arkeolojik model 1 %5 gürültülü k) arkeolojik model 2 gürültüsüz l) arkeolojik model 2 %5 gürültülü



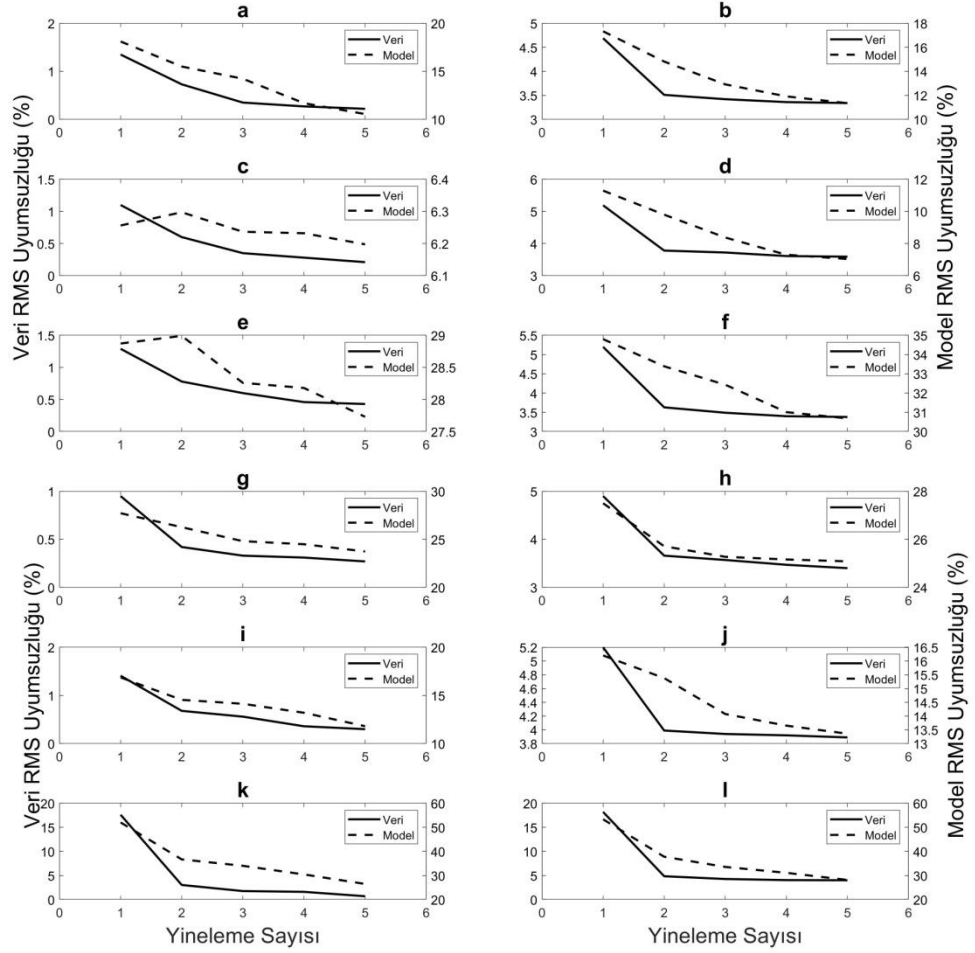
EK-10: Wenner-Schlumberger Misfit Analiz Grafikleri a) model 1 gürültüsüz b) model 1 %5 gürültülü c) model 2 gürültüsüz d) model 2 %5 gürültülü e) model 3 gürültüsüz f) model 3 %5 gürültülü g) model 4 gürültüsüz h) model 4 %5 gürültülü i) arkeolojik model 1 gürültüsüz j) arkeolojik model 1 %5 gürültülü k) arkeolojik model 2 gürültüsüz l) arkeolojik model 2 %5 gürültülü



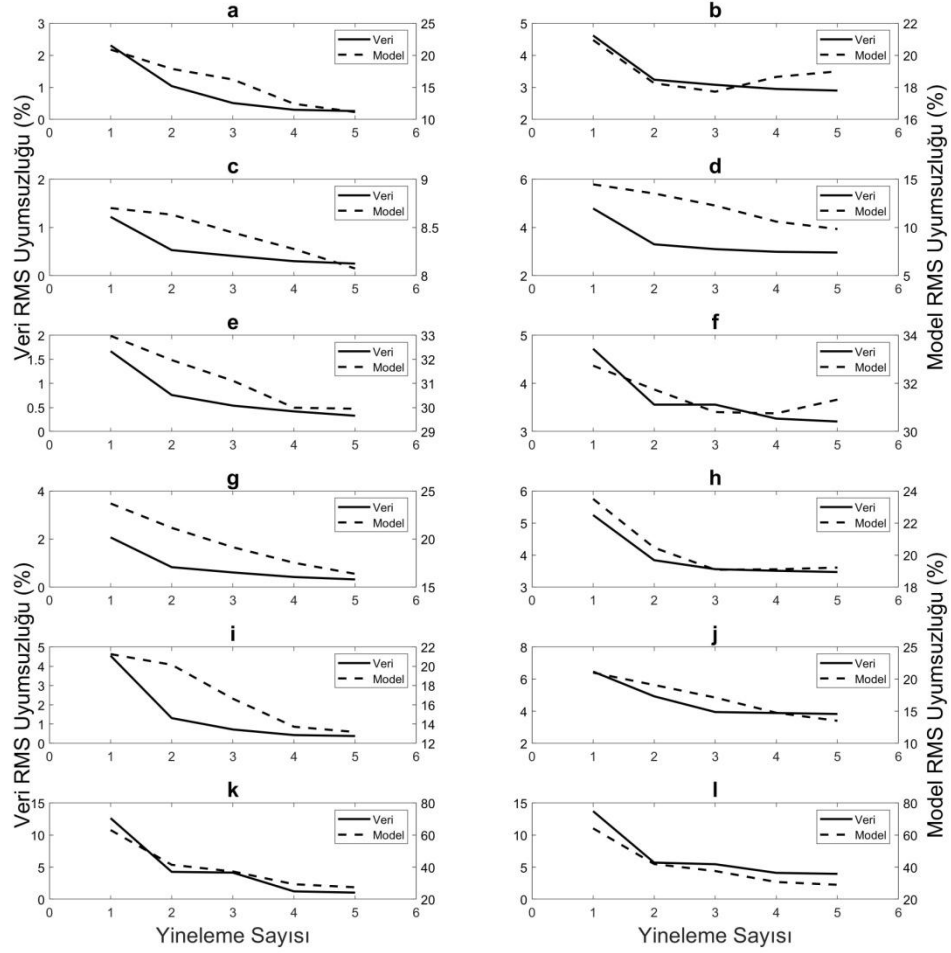
EK-11: Dipol-Dipol Misfit Analiz Grafikleri a) model 1 gürültüsüz b) model 1 %5 gürültülü c) model 2 gürültüsüz d) model 2 %5 gürültülü e) model 3 gürültüsüz f) model 3 %5 gürültülü g) model 4 gürültüsüz h) model 4 %5 gürültülü i) arkeolojik model 1 gürültüsüz j) arkeolojik model 1 %5 gürültülü k) arkeolojik model 2 gürültüsüz l) arkeolojik model 2 %5 gürültülü



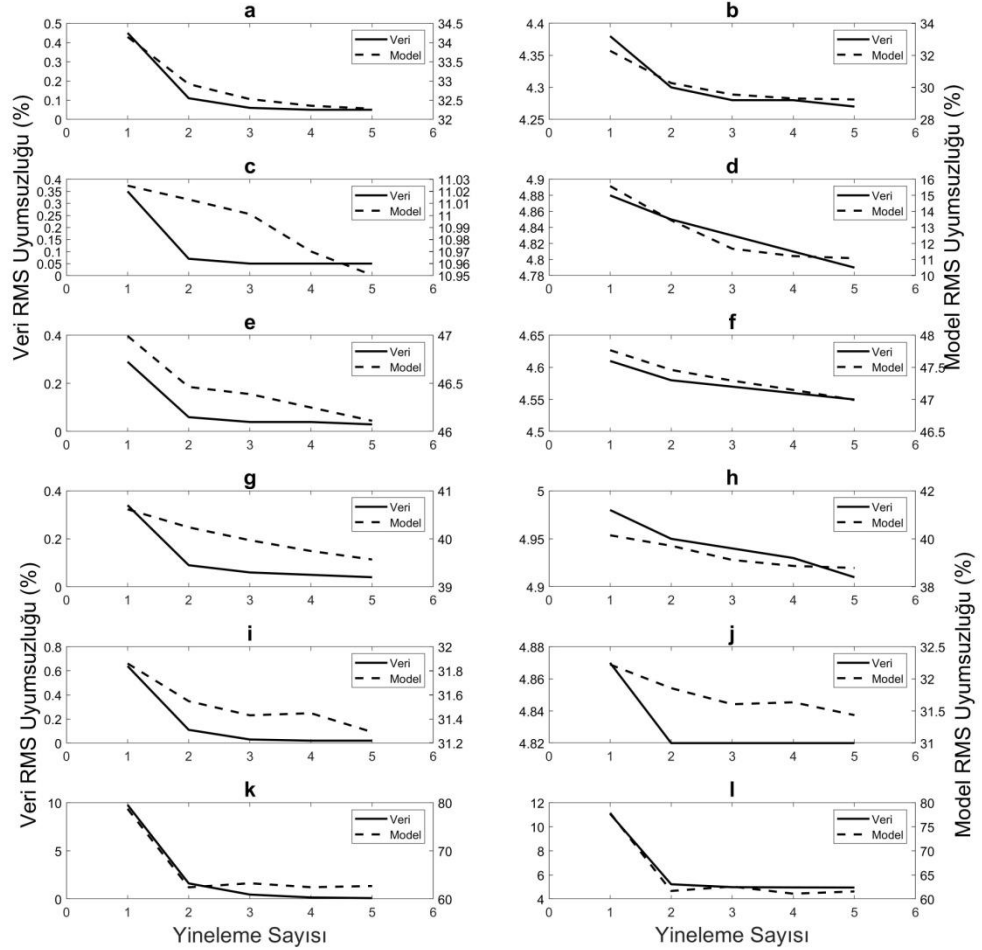
EK-12: Pol-Pol Misfit Analiz Grafikleri a) model 1 gürültüsüz b) model 1 %5 gürültülü c) model 2 gürültüsüz d) model 2 %5 gürültülü e) model 3 gürültüsüz f) model 3 %5 gürültülü g) model 4 gürültüsüz h) model 4 %5 gürültülü i) arkeolojik model 1 gürültüsüz j) arkeolojik model 1 %5 gürültülü k) arkeolojik model 2 gürültüsüz l) arkeolojik model 2 %5 gürültülü



EK-13: Pol-Dipol Misfit Analiz Grafikleri a) model 1 gürültüsüz b) model 1 %5 gürültülü c) model 2 gürültüsüz d) model 2 %5 gürültülü e) model 3 gürültüsüz f) model 3 %5 gürültülü g) model 4 gürültüsüz h) model 4 %5 gürültülü i) arkeolojik model 1 gürültüsüz j) arkeolojik model 1 %5 gürültülü k) arkeolojik model 2 gürültüsüz l) arkeolojik model 2 %5 gürültülü



EK-14: Gradyent Misfit Analiz Grafikleri a) model 1 gürültüsüz b) model 1 %5 gürültülü c) model 2 gürültüsüz d) model 2 %5 gürültülü e) model 3 gürültüsüz f) model 3 %5 gürültülü g) model 4 gürültüsüz h) model 4 %5 gürültülü i) arkeolojik model 1 gürültüsüz j) arkeolojik model 1 %5 gürültülü k) arkeolojik model 2 gürültüsüz l) arkeolojik model 2 %5 gürültülü



EK-15: Çok Elektrotlu Gradyent Misfit Analiz Grafikleri a) model 1 gürültüsüz b) model 1 %5 gürültülü c) model 2 gürültüsüz d) model 2 %5 gürültülü e) model 3 gürültüsüz f) model 3 %5 gürültülü g) model 4 gürültüsüz h) model 4 %5 gürültülü i) arkeolojik model 1 gürültüsüz j) arkeolojik model 1 %5 gürültülü k) arkeolojik model 2 gürültüsüz l) arkeolojik model 2 %5 gürültülü

