ANKARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KUYU-KUYU VE KUYU-YÜZEY DOĞRU AKIM ÖZDİRENÇ VERİLERİNİN İKİ BOYUTLU TERS ÇÖZÜMÜ

Cem DEMİREL

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ANKARA
2014

Her hakkı saklıdır

TEZ ONAYI

Cem DEMİREL tarafından hazırlanan "**Kuyu-Kuyu ve Kuyu-Yüzey Doğru Akım Özdirenç Verilerinin İki Boyutlu Ters Çözümü**" adlı tez çalışması 15.07.2014 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Ankara Üniversitesi Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. M. Emin CANDANSAYAR

Jüri Üyeleri :

Başkan : Prof. Dr. Aysan GÜRER
İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,
Jeofizik Mühendisliği Bölümü

Üye : Prof. Dr. M. Emin CANDANSAYAR
Ankara Üniversitesi, Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı

Üye : Yrd. Doç. Dr. İrfan AKCA
Ankara Üniversitesi, Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı

Yukarıdaki sonucu onaylarım

Prof. Dr. İbrahim DEMİR
Enstitü Müdürü

ETİK

Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez içindeki bütün bilgilerin doğru ve tam olduğunu, bilgilerin üretilmesi aşamasında bilimsel etiğe uygun davrandığımı, yararlandığım bütün kaynakları atıf yaparak belirttiğimi beyan ederim

15.07.2014

Cem DEMİREL

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

KUYU-KUYU VE KUYU-YÜZEY DOĞRU AKIM ÖZDİRENÇVERİLERİNİN İKİ BOYUTLU TERS ÇÖZÜMÜ

Cem DEMİREL

Ankara Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. M. Emin CANDANSAYAR

Bu çalışmada, farklı dizilimler için ölçülen kuyu içi doğru akım özdirenç verilerinin iki-boyutlu ters çözümünü yapan yeni bir algoritma geliştirilmiştir. Bu algoritma ile kuyu-kuyu ve kuyu-yüzey elektrod dizilimlerinin 2B ters çözüm sonuçları karşılaştırılmıştır. İlk defa bu çalışmada, kuyu içi dizilimler birleşik sinyal katkı kesitleri üzerinden ayrıntılı olarak incelenmiştir. İncelemeler sonucunda farklı kuyu içi dizilimlerin birleşik ters çözümü önerilmiştir. Geliştirilen program, yapay veri ve farklı amaçlarla ölçülmüş arazi verileri kullanılarak test edilmiştir.

Temmuz 2014, 93 sayfa

Anahtar Kelimeler: Özdirenç Tomografisi, Kuyu-Kuyu, Kuyu-Yüzey, Ters Çözüm, Sonlu Farklar

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

TWO-DIMENSIONAL INVERSION OF CROSSHOLE AND SURFACE TO HOLE DIRECT CURRENT RESISTIVITY DATA

Cem DEMİREL

Ankara University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Geophysical Engineering

Supervisor: Prof. Dr. M. Emin CANDANSAYAR

In this study, a new algorithm was developed for the two dimensional inversion of direct current resistivity data collected by using various borehole electrode arrays. Two dimensional inversion results of cross-hole and surface-to-hole electrode arrays were compared. For the first time in this study, superimposed signal contribution sections of borehole electrode arrays was investigated and suggested joint inversion of different borehole electrode arrays data set. Newly developed two-dimensional inversion algorithm for borehole data was tested by using synthetic and field data.

July 2014, 93 pages

Key Words: Electrical Resistivity Tomography, Hole-to-Hole, Surface-to-Hole, Inversion, Finite Difference

TEŞEKKÜR

İlk olarak tez konusunu bana öneren, planlanmasında ve yürütülmesinde ilgi ve desteğini esirgemeyen, tez süreci boyunca yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalışmanın bilimsel temeller üzerinde şekillenmesini sağlayan danışmanım Prof. Dr. M. Emin CANDANSAYAR'a (Ankara Üniversitesi, Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı) sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Mesleki deneyim ve bilgi birikimi paylaşmasının yanı sıra, yüksek lisans eğitimim boyunca maddi ve manevi desteğini her zaman hissetmişimdir.

Tez çalışması süresince mesleki olarak fikir paylaşımı yaptığım ve herhangi bir konuda ihtiyacım olduğunda yanımda olan İsmail DEMİRCİ'ye (Ankara Üniversitesi, Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı), Özcan ÖZYILDIRIM'a ve N. Yıldırım GÜNDOĞDU'ya (Ankara Üniversitesi, Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı) teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Tüm hayatım boyunca olduğu gibi, tez çalışması boyunca maddi ve manevi desteğini esirgemeyen annem Aylin DEMİREL'e, babam Şevket DEMİREL'e ve ağabeyim Kaan DEMİREL'e teşekkürlerimi sunarım.

'Kuyu-Kuyu ve Kuyu-Yüzey Doğru Akım Özdirenç Verilerinin İki Boyutlu Ters Çözümü' adlı yüksek lisans tezi burslu öğrenci olarak çalıştığım TÜBİTAK 110Y343 nolu "Radyomanyetotellürik, Doğru Akım Özdirenç ve Yapay Uçlaşma Verilerinin İki Boyutlu Birleşik Yorumu; Bir Maden Arama Örneği" isimli,proje desteği ile yapılmıştır.

Cem DEMİREL
Ankara, Temmuz 2014

İÇİNDEKİLER

TEZ ONAY SAYFASI

ETİK.....i

ÖZET.....iii

ABSTRACT..... iiii

TEŞEKKÜR iv

SİMGELER DİZİNİ viiii

ŞEKİLLER DİZİNİ viiviii

1. GİRİŞ 1

2 . KUYU İÇİ ELEKTROD DİZİLİMLERİ ve SİNYAL KATKI KESİTLERİ.....3

2.1 Kuyu-Kuyu ve Kuyu-Yüzey Elektrod Dizilimleri.....3

2.2 Kuyu-Kuyu ve Kuyu-Yüzey Elektrod Dizilimlerinin Sinyal Katkı Kesitleri....11

2.3 Kuyu İçi Ölçümleri Etkileyen Faktörler ve Protokol Dosyası Hazırlanması....19

3. KUYU-KUYU ve KUYU-YÜZEY DİZİLİMLERİ İÇİN İKİ BOYUTLU DÜZ ÇÖZÜM.....26

3.1 Sonlu Farklar Yöntemi ile Poisson Denklemi Çözümü 26

3.2 Genel Dizey Denklemlerinin Çözümü 31

3.3 Kuyu-Kuyu ve Kuyu-Yüzey Ölçülerinde Görünür Özdirenç Hesabı.....32

3.4 Düz Çözüm algoritması ve Ağın Ayrıklaştırılması 35

4. KUYU İÇİ VERİLERİNİN 2-B TERS ÇÖZÜMÜ 41

5. YAPAY VERİ İLE KUYU İÇİ ELEKTROD DİZİLİMLERİNİN 2B TERS ÇÖZÜMÜ.....43

5.1 Model Çalışması 1 43

5.2 Model Çalışması 2 51

5.3 Model Çalışması 3 57

5.4 Model Çalışması 4 60

6. KUYU-KUYU ve KUYU-YÜZEY ÖLÇÜLERİNİN 2B BİRLEŞİK TERS ÇÖZÜMÜ.....69

6.1 Model Çalışması 1 77

6.2 Model Çalışması 2 70

6.3 Model Çalışması 3 73

7. ARAZİ VERİSİ UYGULAMALARI 75

7.1 Uygulama 1 76
7.2 Uygulama 2 77
7.3 Uygulama 3 78
7.4 Uygulama 4 80
7.5 Uygulama 5 81
7.6 Uygulama 6 82
8. SONUÇLAR 85
KAYNAKLAR 87
EK-1 Örnek Protokol Dosyaları 91
ÖZGEÇMİŞ 93

SİMGELER DİZİNİ

I	Akım
δ	Birim fonksiyon
φ	Gerilim (volt)
ρ a	Görünür özdirenç (ohm-m)
C	Kapasitans dizeyi
S	Nokta akım kaynağını içeren yöney
ρ	Özdirenç (ohm-m)
σ	Öziletkenlik (Siemens/m)
η	Yüzey normal yöney

Kısaltmalar

LU	Alt-üst ayrışım (LU Decomposition)
DAÖ	Doğru akım özdirenç
2B	İki boyutlu
3B	Üç boyutlu
SF	Sonlu farklar

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1 Aynı cins elektrodların farklı kuyuda olduğu kuyu-kuyu dizilimleri (KK-1) şematik gösterimi 6
Şekil 2.2 Aynı cins elektrodların aynı kuyuda olduğu kuyu-kuyu dizilimleri (KK-2) şematik gösterimi 7
Şekil 2.3 Aynı cins elektrodların kuyu veya yüzeyde olmadığı kuyu-yüzey dizilimleri (KY-1) şematik gösterimi 8
Şekil 2.4 Aynı cins elektrodları kuyu veya yüzeyde olduğukuyu-yüzey dizilimleri (KY-2) şematik gösterimi 9
Şekil 2.5 Bütün elektrodların aynı kuyudda olduğutek kuyu dizilimleri (TK) şematik gösterimi 10
Şekil 2.6 Kuyu-kuyu dizilimleri (KK-1) sinyal katkı kesitleri 14
Şekil 2.7 Kuyu-kuyu dizilimleri (KK-2) sinyal katkı kesitleri 15
Şekil 2.8 Kuyu-yüzey dizilimleri (KY-1) sinyal katkı kesitleri 16
Şekil 2.9 Kuyu-yüzey dizilimleri (KY-2) sinyal katkı kesitleri 17
Şekil 2.10 Tek kuyu (TK) dizilimleri sinyal katkı kesitleri 18
Şekil 2.11 5m kuyu aralığı ve 12 elektrodlu sistem için: a. AM-BN dizilimi toplam sinyal katkı kesiti, b. AB-MN dizilimi toplam sinyal katkı kesiti ve15m kuyu aralığı ve 12 elektrodlu sistem için, c. AM-BN dizilimi toplam sinyal katkı kesiti, d. AB-MN dizilimi toplam sinyal katkı kesiti 22
Şekil 2.12.a Farklı kuyu-kuyu dizilimlerin birleşik katkı kesitleri (AMNB, AB-M, A-BM), b. Kuyu-kuyu dizilimlere kuyu-yüzey dizilimi(AM-N) eklenmesi sonucu oluşan birleşik sinyal katkı kesiti 24
Şekil 3.1 Model ağı ve indisleme sistemi 27
Şekil 3.2 $\Delta A_{i,j}$ ayrıklaştırılmış alan elemanı 29
Şekil 3.3 Geometrik faktör hesabı için genel elektrod dizilimi şeması, a. kuyu-kuyu, b. kuyu-yüzey 34
Şekil 3.4 Örnek sonlu farklar model ağı 37
Şekil 3.5 Kuyular arası bölgedeki düğüm noktalarının gösterildiği sonlu farklar model ağı 38
Şekil 3.6.a. Kuyu-kuyu ve tek kuyu ölçüleri, b. kuyu-yüzey dizilimi için 2D homojen özdirenç modelleri 39
Şekil3.7.a. Kuyu-kuyu dizilimi(AM-BN) için hesaplanan görünür özdirençler, b. Kuyu-yüzey dizilimi için hesaplanan görünür özdirençler, c. tek dizilimi(AMNB) için hesaplanan görünür özdirençler 40
Şekil 5.1 2-B Özdirenç modeli (Model 1) 44
Şekil 5.2.a-d KK-1 dizilimleri ters çözüm sonuçları 47
Şekil 5.3.a-d KK-2 dizilimleri ters çözüm sonuçları 48
Şekil 5.4.a-e TK dizilimleri ters çözüm sonuçları 49
Şekil 5.5 2-B Özdirenç modeli (Model 2) 53
Şekil 5.6.a-d KK-1 dizilimleri, e. pole-tripole dizilimi ters çözüm sonuçları 55
Şekil 5.7.a-e TK dizilimleri ters çözüm sonuçları 56
Şekil 5.8 2-B Özdirenç modeli (Model 3) 57
Şekil 5.9.a-d KY-1 dizilimleri ters çözüm sonuçları 58
Şekil 5.10.a-d KY-2 dizilimleri ters çözüm sonuçları 59
Şekil 5.11. 2-B Özdirenç modeli (Model 4), a. kuyu-kuyu, kuyu-yüzey 61

Şekil 5.12. a. Pole-pole diziliminin tek kuyu ölçülerinden elde edilen verilerin, b. pole-pole diziliminin hem tek-kuyu hem de kuyu-yüzey dizilimleri ile elde edilen verilerin, c. Bipole-pole diziliminin kuyu-kuyu ölçülerinden elde edilen verilerin, d. bipole-pole diziliminin hem kuyu-kuyu hem de kuyu-yüzey dizilimleri ile elde edilen verilerinters çözüm sonuçları 64
Şekil 5.13.a. Pole-bipole diziliminin tek kuyu ölçülerinden elde edilen verilerin, b. pole-bipole diziliminin hem tek-kuyu hem de kuyu-yüzey dizilimleri ile elde edilen verilerin, c. Bipole-pole diziliminin tek kuyu ölçülerinden elde edilen verilerin, d. bipole-pole diziliminin hem kuyu-kuyu hem de kuyu-yüzey dizilimleri ile elde edilen verilerinters çözüm sonuçları 65
Şekil 5.14.a. Bipole-bipole diziliminin kuyu-kuyu ölçülerinden elde edilen verilerin, b. bipole-bipole diziliminin hem kuyu-kuyu hem de kuyu-yüzey dizilimleri ile elde edilen verilerin, c. pole-bipole diziliminin kuyu-kuyu ölçülerinden elde edilen verilerin, d. pole-bipole diziliminin hem kuyu-kuyu hem de kuyu-yüzey dizilimleri ile elde edilen verilerin ters çözüm sonuçları 66
Şekil 5.15.a. Pole-tripole diziliminin kuyu-kuyu ölçülerinden elde edilen verilerin, b. pole-tripole diziliminin hem kuyu-kuyu hem de kuyu-yüzey dizilimleri ile elde edilen verilerin, c. bile-bipole diziliminin tek kuyu ölçülerinden elde edilen verilerin, d. bipole-bipole diziliminin hem tek kuyu hem de kuyu-yüzey dizilimleri ile elde edilen verilerin ters çözüm sonuçları 67
Şekil 6.1 Birleşik ters çözüm sonucu 70
Şekil 6.2 A-BMN, AMN ve ABM dizilimlerinin birleşik sinyal katkı kesitleri 70
Şekil 6.3 Birleşik ters çözüm sonucu 72
Şekil 6.4 Ardışık birleşik ters çözüm sonucu 72
Şekil 6.5 AM-BN, A-BMN, AMN ve ABM dizilimlerinin birleşik sinyal katkı kesitleri 73
Şekil 6.6 AB-MN, A-MN, AB-M ve A-BMN dizilimlerinin birleşik ters çözüm sonucu 74
Şekil 7.1.a. Su tankı, b. yüzük elektrodlar (Leontarakis ve Apostolopoulos,2012) 75
Şekil 7.2.a. Pole-tripole dizilimi verilerinin ters çözüm sonucu, b. pole-tripole ve bipole-biple dizilimleri verilerinin ters çözüm sonuçları 76
Şekil 7.3.a. Pole-tripole dizilimi verilerinin ters çözüm sonucu, b. pole-tripole ve bipole-biple dizilimleri verilerinin ters çözüm sonuçları 78
Şekil 7.4.a. Pole-tripole dizilimi verilerinin ters çözüm sonucu, b. pole-tripole ve bipole-biple dizilimleri verilerinin ters çözüm sonuçları 79
Şekil 7.5.a. Pole-tripole dizilimi verilerinin ters çözüm sonucu, b. pole-tripole ve bipole-biple dizilimleri verilerinin ters çözüm sonuçları 80
Şekil 7.6.a. Tünel yapısı iki kuyunun ortasında, b. tünel yapısı sol tünelin 7 cm uzağında ve c. tünel yapısı sağ tünelin 7 cm uzağında komunlandırılarak toplanmış bipole-bipole(AB-MN) dizilimi verilerinin ters çözüm sonuçları 82
Şekil 7.7 KK-1 ve TK bipole-bipole(AM-BN ve BAMN) dizilimi ters çözüm sonucu 84

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1 Kuyu-kuyu ve kuyu-yüzey dizilimleri için beş temel dizilim sınıfı ve her dizilim sınıfında olasılıkların simgesel gösterimi.....5
Çizelge 2.2 Tek kuyu dizilimlerinin simgesel gösterimi.....5
Çizelge 5.1 KK -1 dizilimleri ters çözüme kullanılan veri sayısı, en büyük ve en küçük geometrik faktör değerleri (k_{max} ve k_{min}), toplam yineleme sayısı ve ters çözüm sonucu RMS değerleri (Model 1).....50
Çizelge 5.2 KK-2 dizilimleri ters çözümde kullanılan veri sayısı, en büyük ve en küçük geometrik faktör değerleri (k_{max} ve k_{min}), toplam yineleme sayısı ve ters çözüm sonucu RMS değerleri (Model 1).....50
Çizelge 5.3 TK dizilimleri ters çözümde kullanılan veri sayısı, en büyük ve en küçük geometrik faktör değerleri (k_{max} ve k_{min}), toplam yineleme sayısı ve ters çözüm sonucu RMS değerleri (Model 1).....51
Çizelge 5.4 Dizilimlerin ters çözümde kullanılan veri sayısı, en büyük ve en küçük geometrik faktör değerleri (k_{max} ve k_{min}), toplam yineleme sayısı ve ters çözüm sonucu RMS değerleri (Model 2).....54
Çizelge 5.5 Dizilimlerin ters çözümde kullanılan veri sayısı ve yineleme sayısı ve ters çözüm sonucu RMS değerleri (Model 3).....60
Çizelge 5.6 Dizilimlerin ters çözümde kullanılan veri sayısı, yineleme sayısı ve ters çözüm sonucu RMS değerleri (Model 4).....68
Çizelge 6.1 Birleşik ters çözümde kullanılan veri sayısı, toplam yineleme sayısı ve ters çözüm sonucu RMS değerleri (Model 1).....69
Çizelge 6.2 Ardışık birleşik ters çözümde kullanılan veri sayısı, toplam yineleme sayısı ve ters çözüm sonucu RMS değerleri (Model 2).....72
Çizelge 6.3 Birleşik ters çözümde kullanılan veri sayısı, toplam yineleme sayısı ve ters çözüm sonucu RMS değerleri (Model3).....73
Çizelge 7.1 Ters çözümde kullanılan veri sayıları, RMS(%) değerleri ve yineleme sayıları (5 cm çaplı tünel modeli).....77
Çizelge 7.2 Ters çözümde kullanılan veri sayıları, RMS(%) değerleri ve yineleme sayıları (10 cm çaplı tünel modeli).....77
Çizelge 7.3 Ters çözümde kullanılan veri sayıları, RMS(%) değerleri ve yineleme sayıları (eğimli tabaka modeli).....79
Çizelge 7.4 Ters çözümde kullanılan veri sayıları, RMS(%) değerleri ve yineleme sayıları (tünel ve eğimli tabaka modeli).....80
Çizelge 7.5 Ters çözümde kullanılan veri sayıları, RMS(%) değerleri ve yineleme sayılar.....81
Çizelge 7.6 Ters çözümde kullanılan veri sayıları, RMS(%) değerleri ve yineleme sayıları(çatlak yapı modeli)..... 84

1 . GİRİŞ

Yer altı araştırmaları geçmişten günümüze, günlük yaşamımızı etkileyen sosyo-ekonomik ve ekolojik bir çok alanda önemli yer tutmuştur. Su ve mineral araştırmaları ilk çalışmaları oluşturmuştur (Kemna 2000). Jeofizik yöntemler sayesinde, yer yüzeyinin yüzlerce kilometre derinliğe kadar bilgi elde edebiliriz. Doğal kaynakların bulunması ve çıkartılması, yapı-zemin ilişkisinin belirlenmesi, insan-çevre ilişkisinin düzenlenmesi, sağlığa tehdit durumlarının belirlenmesi ve arkeolojik yapıların bulunması gibi bir çok problem jeofizik yöntemler ile çözülebilmektedir. Bu anlamda uygulamalı jeofizik yöntemlerden bir tanesi olan elektrik yöntemler 1900'lü yılların başından itibaren (Schlumberger 1906) kullanılmaktadır. 20 yy. sonlarına doğru gelişen teknoloji ve görüntüleme tekniklerine paralel olarak geliştirilen çok elektrodlu (Griffiths vd. 1990) ve çok kanallı ölçü sistemleri ile binlerce veri toplamak hızlı ve kolay hale gelmiştir. Dolayısıyla, Doğru akım özdirenç (DAÖ) yöntemi sadece yüzeyden değil, aynı zamanda kuyu içinden de uygulanmaya başlamıştır (Daily ve Yorkey 1991, Sasaki 1992). Kuyu içi doğru akım özdirenç çalışmalarında akım ve gerilim çiftleri kuyu içinde farklı derinliklerde konumlandırılarak veri toplanır ve kuyular arası bölgenin özdirenç yapısı detaylı bir şekilde belirlenmeye çalışılır (Daily ve Yorkey 1991, Green ve Ward 1986). Kuyu-kuyu ve kuyu-yüzey ölçülerinin iki-boyutlu (2B) ve üç-boyutlu (3B) ters çözümü genellikle "2B/3B özdirenç tomografisi" olarak isimlendirilmektedir.

Tomografik görüntüleme, özellikle tıp başta olma üzere bir çok bilim dalında kullanılan bir tekniktir. Jeofizik yöntemlerde, tomografik görüntüleme üzerine ilk çalışmalar 1970'li yılların ikinci yarısından sonra uygulanmaya başlanmıştır. Dines ve Lytle (1979), Lytle ve Dines (1980) sismik, Anderson ve Dziewnski (1984) elektromanyetik, Shima ve Satio (1988), Daily ve Yorkey (1988), Beasley ve Ward (1988), Daily ve Owen (1991) elektrik yöntemde tomografik görüntüleme üzerine çalışmışlardır. Özdirenç tomografisi terimi ilk defa Shima ve Sakayama (1987) tarafından kullanılmıştır. Günümüze kadar, hidrojeofizik çalışmalarda (LaBrecque vd.1996), jeoteknik ve çevresel çalışmalarda (Goes ve Meekes 2004), maden aramalarında (Spitzer ve Chouteau 2003), tarım çalışmalarında (Hagrey ve Petersen

2011) ve arkeolojik çalışmalarda (Leontarakis ve Apostolpoulos 2013) bir çok problemin çözümü için özdirenç tomografisi uygulamaları yapılmıştır.

Literatürdeki çalışmalarda genellikle kuyu-kuyu ölçülerinde kullanılan farklı kuyu içi dizilimlerinin çözüm güçleri ve ters çözüm algoritmaları birbiri ile karşılaştırılmıştır. Önceki çalışmalardan farklı olarak, bu tez çalışmasında kuyu-kuyu ve kuyu-yüzey ölçülerinde dizilimlerin birleşik ters çözümü ve artan kuyular arası mesafeler için tek-kuyu ve karşılıklı kuyu ölçülerinin ardışık birleşik ters çözümü önerilmektedir. Şimdiye kadar yapılan çalışmalardan farklı olarak bu çalışmada ilk kez dizilimler birleşik sinyal katkı kesitlerine göre incelenmiştir. Sinyal genliğine, akım ve gerilim elektrodlarının aynı veya farklı kuyularda olmalarına göre neden farklı dizilimlerin farklı modeller ürettiği gösterilmiştir. Yine bu tez çalışmasında, sinyal katkı kesitlerinin özelliklerine göre seçilen elektrod dizilimlerinin birleşik ters çözümü önerilmiştir. Düz çözüm sırasında, belirlenen bir geometrik faktör değerinin üzerindeki ölçümler dikkate alınmamış ve bu durumun sonuçları tartışılmıştır.

Kuyu-kuyu ve kuyu-yüzey ölçümleri ile yüzey ölçümünün yetersiz kaldığı jeofizik problemlerin çözülmesi hedeflenmektedir. Bu amaç ile tezde kuyu-kuyu ve kuyu-yüzey ölçüsünde kullanılan elektrod dizilimlerinin özelliklerine geniş yer verilmiştir. Candansayar (2008) tarafından yüzeyde ölçülen DAÖ verilerinin 2B ters çözümü için MATLAB da geliştirdiği algoritma, kuyu içi DAÖ verilerinin ters çözümü için yeniden düzenlenmiştir. Bu düzenlenen algoritma ile kuyu-kuyu ve kuyu-yüzey dizilimlerinin birleşik ters çözümlerinin, ayrık ters çözümlerine göre nasıl daha iyi sonuç verdiği yapay veri ve arazi verileri ile gösterilmiştir.

2. KUYU İÇİ ELEKTROD DİZİLİMLERİ ve SİNYAL KATKI KESİTLERİ

2.1 Kuyu-Kuyu ve Kuyu-Yüzey Elektrod Dizilimleri

Tez boyunca konu bütünlüğü açısından kuyu-kuyu ve kuyu-yüzey dizilimleri beş sınıfa ayrılmıştır (Çizelge 2.1). Çizelge 2.1' de A ve B akım elektrodları ve M ve N gerilim elektrodlarıdır. Genel olarak, bir akım ve bir gerilim elektrodunun bulunduğu iki elektrodlu dizilimler "pole-pole", iki akım ve bir gerilim elektrodun bulunduğu dizilimler "bipole-pole", bir akım ve iki gerilim elektrodunun bulunduğu dizilimler "pole-bipole", iki akım ve iki gerilim elektordunun bulun dizilimler ise "bipole-bipole" ve "pole-tripole" olarak sınıflandırılmıştır. Bu sınıflamada iki kuyu arası '-' simgesi ile gösterilmiştir. Örneğin "A-M" diziliminde A elektrodu soldaki kuyuda ve M elektrodu ise sağdaki kuyudadır."M-A" diziliminde ise tam tersi söz konusudur. Her iki durumda B ve N elektrodları sonsuzdadır. Kuyu-yüzey dizilimleri için kısa çizginin(-) bir tarafı kuyu kabul edilir ise, diğer tarafı yüzeyde konumlandırılan elektrodları temsil edecektir.

Kuyu içiveri toplanması ile ilgili ilk çalışmalarda araştırmacılar pole-pole dizilimini kullanmıştır (Daily ve Owen 1991, Shima 1992). Fakat Van vd., (1991) pole-pole diziliminin arazi uygulamalarında gürültüden çok etkilendiğini ve uygulama anlamında iyi bir dizilim olmadığını ortaya koymuştur. Sasaki (1992) kuyu-kuyu ölçülerini etkileyen bir çok faktörü incelerken pole-bipole ve bipole-bipole dizilimlerini kullanmıştır. Bing ve Greenhalgh (1997, 2000) iki (pole-pole), üç (pole-bipole, bipole-pole) ve dört (bipole-bipole) elektrdolu kuyu-kuyu elektrod dizilimlerinin ayrık ters çözüm sonuçlarını karşılaştırmıştır. Zhou ve Dahlin (2003) elektrod aralığı mesafesine bağlı olarak, elektrod konumlandırma hatalarının görünür özdirençler üzerindeki etkisini incelemiştir. Oldenborger vd. (2005) pole-pole ve bipole-bipole dizilimleri için elektrodların düşey ve yatay yönde yanlış konumlandırılmasından dolayı oluşan duyarlılık hatalarını incelemiştir. Goes ve Meekes (2004) kuyular arası bölgenin çözünürlüğünün arttığı ve veri toplama sırasındaki zamanın daha etkin kullandığı gerekçesiyle, dört elektrodlu pole-tripole dizilimini önermiştir. Deceuster, Delgranche, Kaufmann (2006) jeoteknik çalışmalarında AM–BN, AM–N, M–BN dizilimlerinin kombinasyonları ile veri toplamış ve değerlendirmişlerdir. Daha sonraki çalışmalarda

kuyu-kuyu ölçümlerde kullanılan üç ve dört elektrot dizilimlerinin karşılaştırılması, sinyal katkı kesitleri üzerinden de yapılmıştır (Danielsen ve Dahlin 2010, Leontarakis ve Apostopoulos 2012). Leontarakis ve Apostolpoulos (2012, 2013), farklı dizilimlerin ters çözüm sonuçlarını istatiksel olarak birleştiren 'Most Stacking' tekniğini önermiştir. Danielsen ve Dahlin (2012) ise gradyen (AMNB) ve bipol-bipol (AM-BN) dizilimlerinin birlikte kullanımını önermişlerdir.

Sugimoto (1999) kuyu içi ölçülere kuyu-yüzey ölçülerinin eklenmesi ile çözünürlüğün arttıracağını söylemiştir. Bir grup araştırmacı ise elektrik yöntemde yüzey ölçülerinde farklı veri kümelerinin birleştirilmesinden elde edilen ters çözüm modelinin kullanılmasını önermiştir (Candansayar ve Başokur 2001, Candansayar 2008).

Tezde kuyu-kuyu, kuyu-yüzey ve tek kuyu dizilimlerinin sınıflandırılması, aynı kuyuda bulunan elektrodların cinsine (akım veya poatansiyel) göre yapılmıştır. Akım veya gerilim çiftleri aynı kuyuda bulunuyor ise bu tür dizilimlere **"Karşılıklı Kuyu-1 (KK-1)"**, aynı kuyuda aynı cins elektrod bulunmuyor ise **"Karşılıklı Kuyu-2(KK-2)"** ve tüm elektrodlar tek kuyuda bulunuyor ise **"Tek Kuyu (TK)"** dizilimi olarak adlandırılmıştır. Aynı sınıflandırma kuyu-yüzey dizilimleri içinde geçerlidir. Kuyu yüzey dizilimleri, aynı veya farklı cins elektrodların kuyuda veya yüzeyde olma durumlarına göre **"Kuyu-Yüzey-1(KY-1)", "Kuyu-Yüzey-2(KY-2)"**olarak sınıflandırılabilir. Şekil 2.1'de KK-1, şekil 2.2'de KK-2, şekil 2.3'de KY-1 ve şekil 2.4'de KY-2 dizilimleri çizelge 2.1'deki tüm şematik durumları için gösterilmiştir. Tezde, tek kuyu dizilimleri bipole-bipole (ABMN, MNAB), Wenner-Schlumberger (AMNB), pole-bipole (AMN, MNA), bipole-pole (ABM, MAB) ve pole-pole(AM, MA) olarak sınıflandırılmıştır. Tek kuyu dizilimleri şekil 2.5'de şematik olarak, tablo olarak ise çizelge 2.2'de verilmiştir.

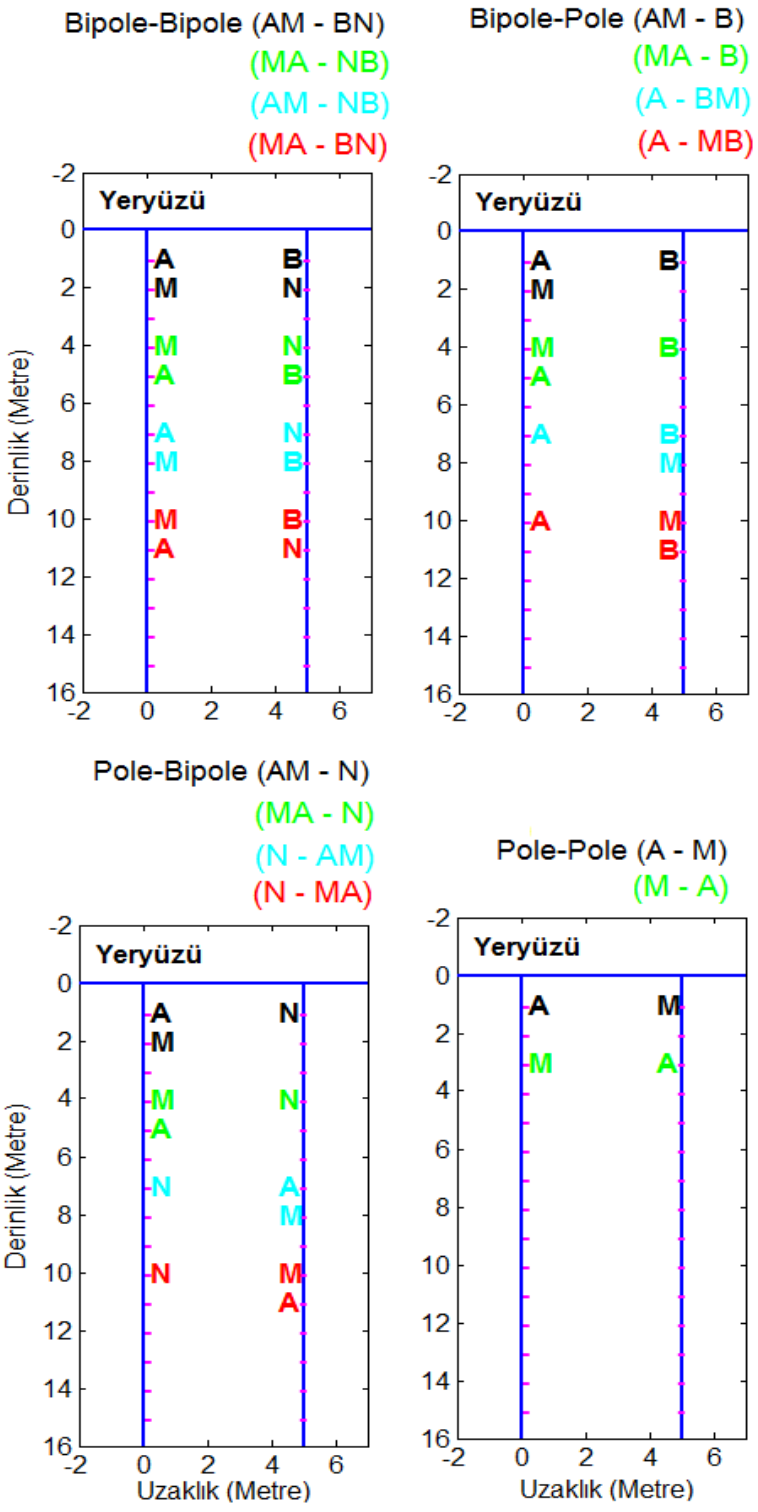
Bu bölümde bahsedilen dizilimlerin hedef bölgeyi çözebilme yeteneği biri birinden farklıdır. Bu farklılıkların nedeni sinyal katkı kesiti kavramı ile açıklanabilir. İzleyen bölümde bahsedilen tüm dizilimlerin karşılaştırılması sinyal katkı kesitleri çizdirilerek yapılmıştır.

Çizelge 2.1 Kuyu-kuyu ve kuyu-yüzey dizilimleri için beş temel dizilim sınıfı ve her dizilim sınıfında olasılıkların simgesel gösterimi

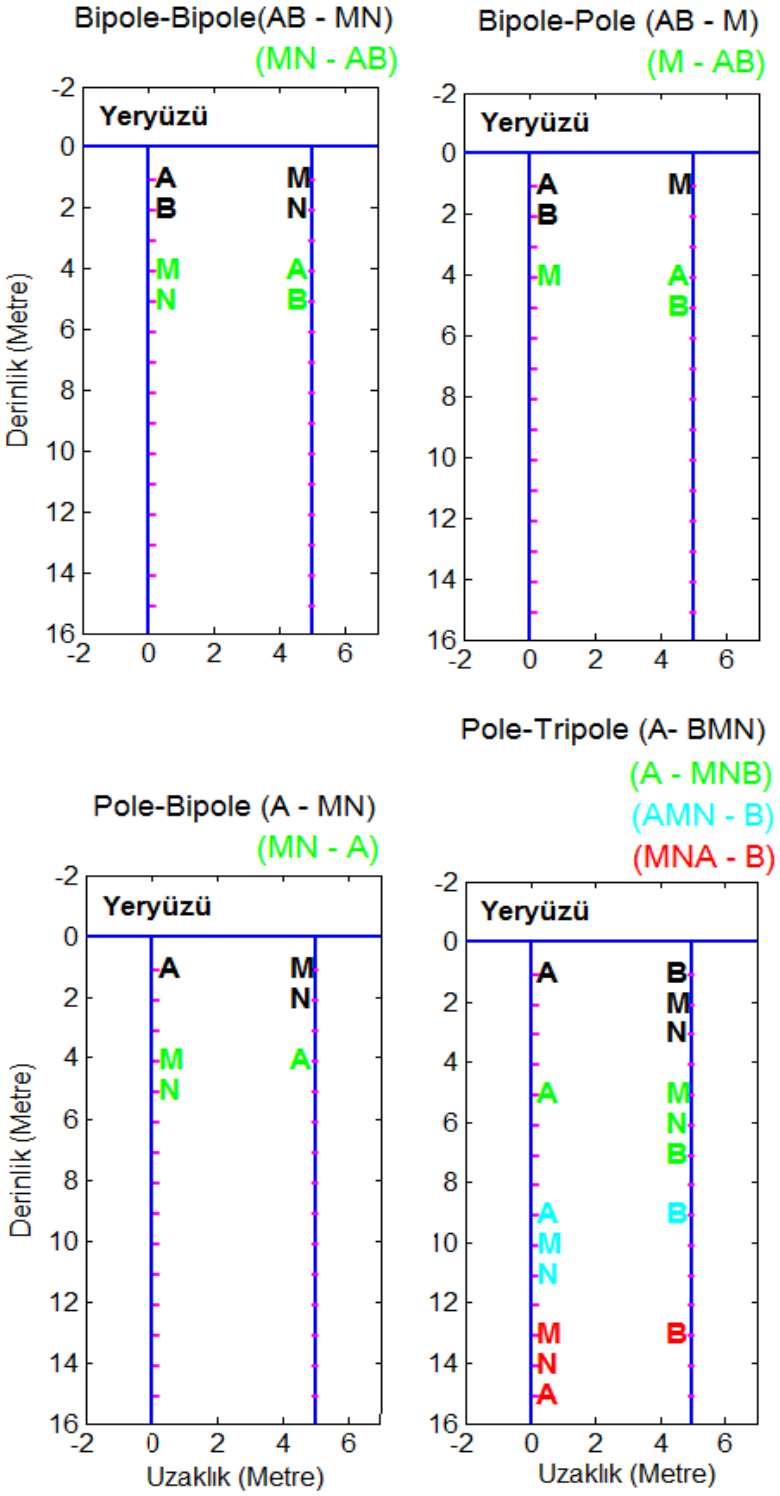
Dizilim	**1-Pole-Pole**	**2-Pole-Tripole**	**3-Pole-Bipole**	**4-Bipole-Pole**	**5-Bipole-Bipole**
Olasılıklar	A-M M-A	A-BMN A-MNB AMN-B MNA-B	AM-N MA-N M-AN M-AN A-MN MN-A	A-BM A-MB AM-B MA-B AB-M M-AB	AM-BN AM-NB MA-BN MA-NB AB-MN MN-AB

Çizelge 2.2 Tek kuyu dizilimlerinin simgesel gösterimi

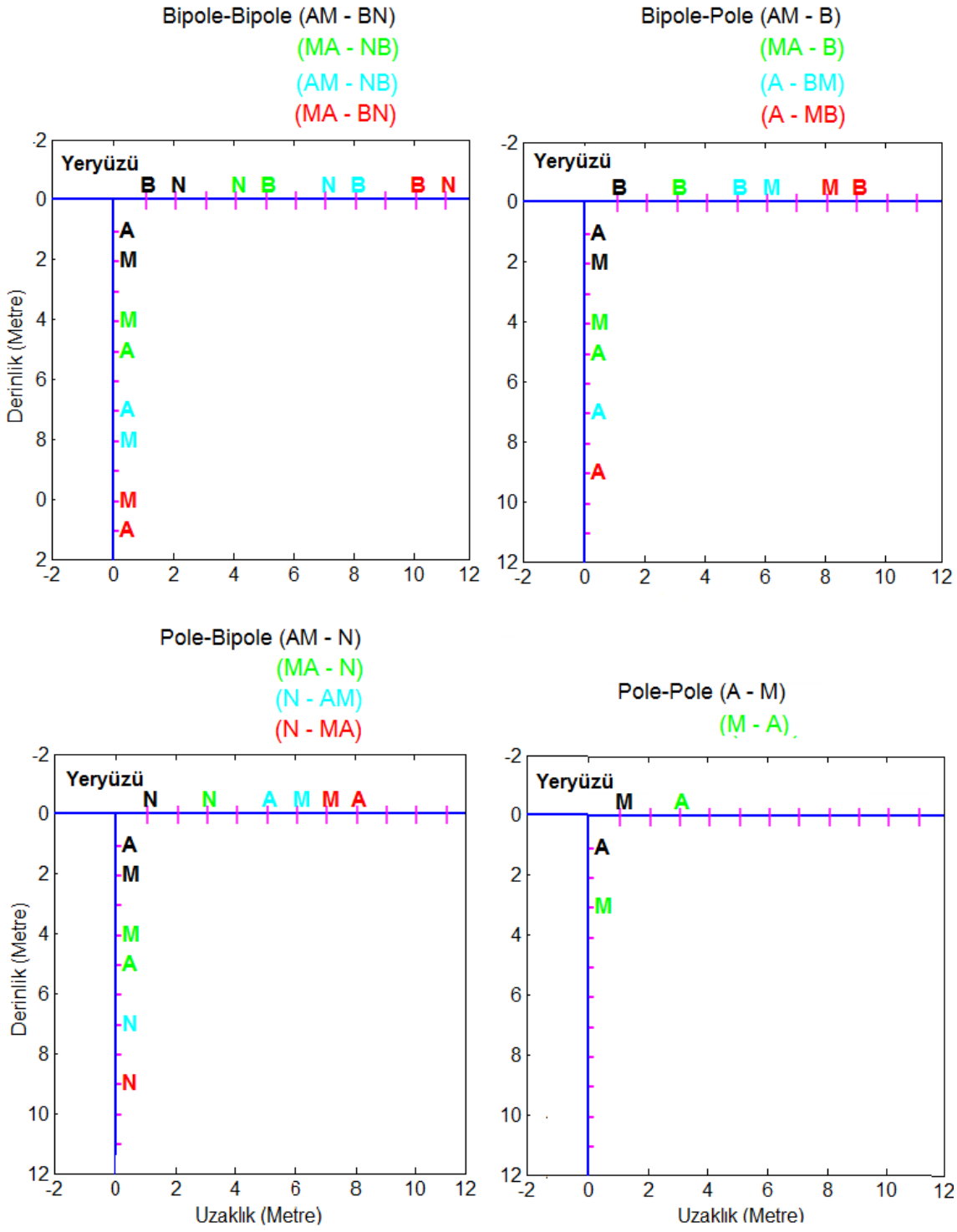
Dizilim	**Bipole-Bipole**	**Wenner – Schlumberger**	**Bipole-Pole**	**Pole-Bipole**	**Pole-Pole**
Olasılıklar	ABMN MNAB	AMNB	ABM MAB	AMN MNA	AM MA



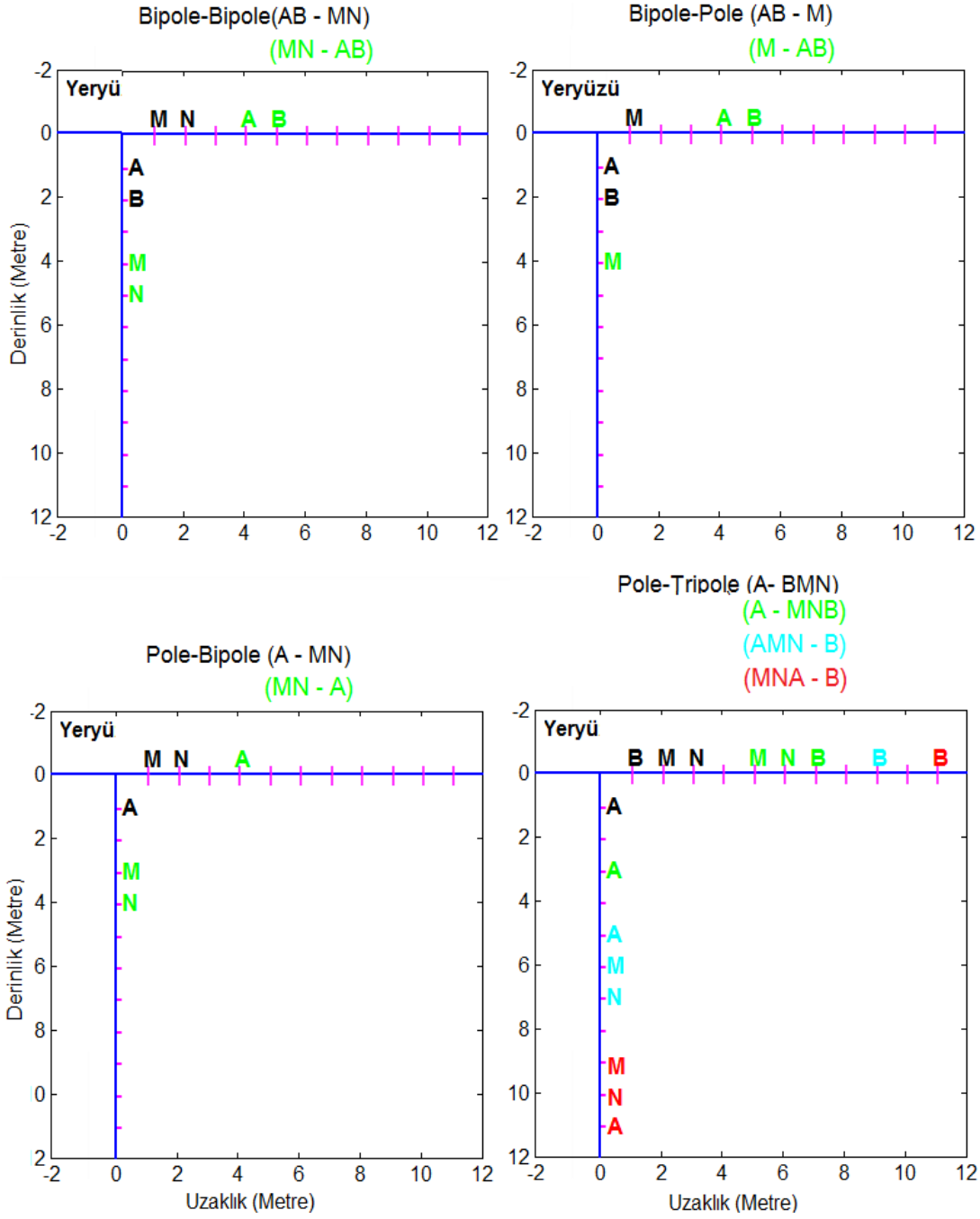
Şekil 2.1 Aynı cins elektrodların farklı kuyuda olduğu kuyu-kuyu dizilimleri (KK-1) şematik gösterimi



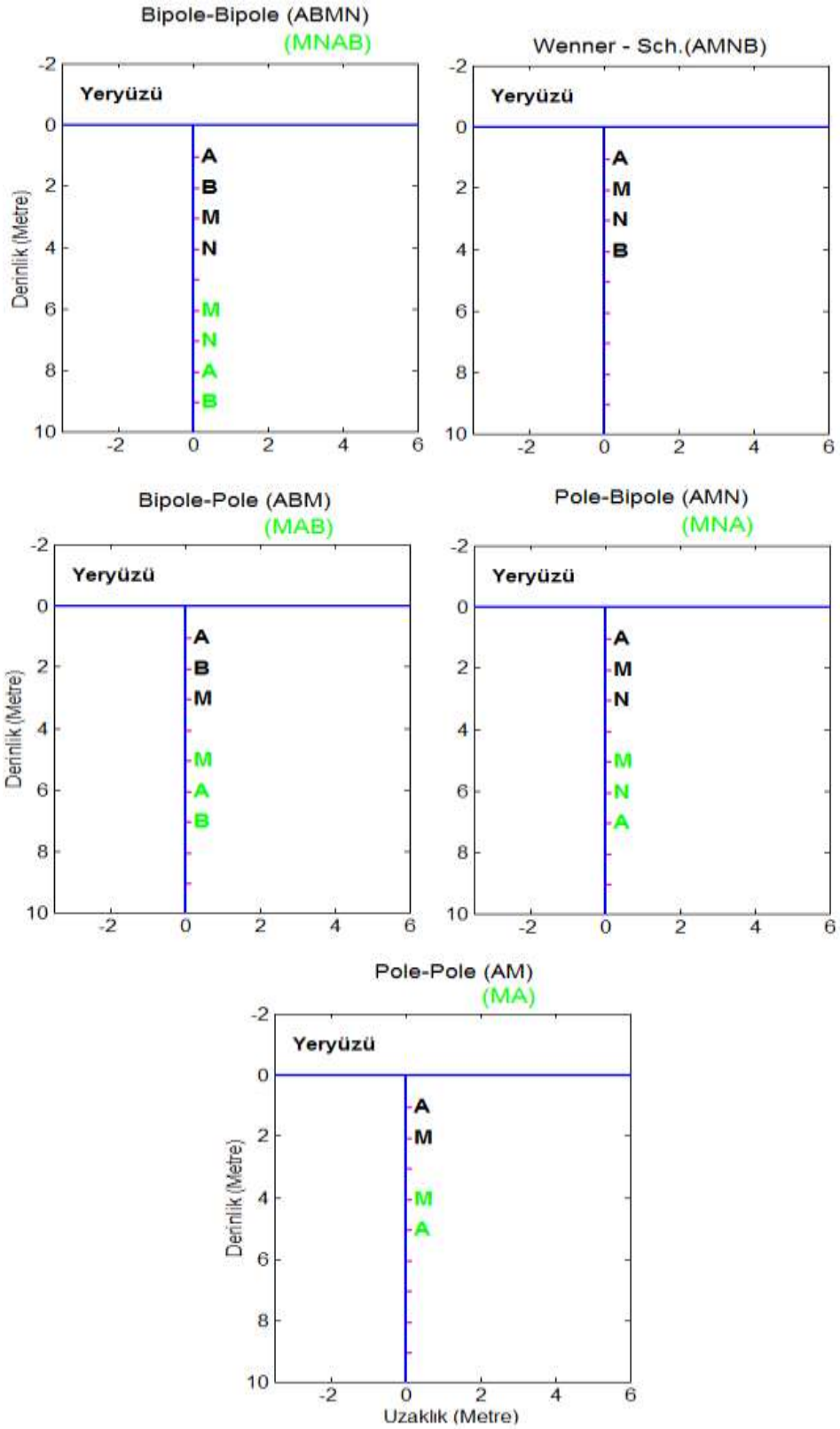
Şekil 2.2 Aynı cins elektrodların aynı kuyuda olduğu kuyu-kuyu dizilimleri (KK-2) şematik gösterimi



Şekil 2.3 Aynı cins elektrodların kuyu veya yüzeyde olmadığı kuyu-yüzey dizilimleri (KY-1) şematik gösterimi



Şekil 2.4 Aynı cins elektrodların kuyu veya yüzeyde olduğu kuyu-yüzey dizilimleri (KY-2) şematik gösterimi



Şekil 2.5 Bütün elektrodların aynı kuyuda olduğu tek kuyu dizilimleri (TK) şematik gösterimi

2.2 Kuyu-Kuyu ve Kuyu-Yüzey Elektrod Dizilimlerinin Sinyal Katkı Kesitleri

Sinyal katkı kesitlerini ilk olarak yüzey elektrot dizilimleri için Barker (1979) açıklamıştır. Roy ve Apparao (1971) yarısonsuz, homojen bir ortamda ölçülen toplam gerilim farkına($\Delta\varphi$) katkısı olan yarım küre hacmi içindeki herhangi bir noktanın $\Delta\varphi$ (x, y, z)' nın bağıntı (2.2.1) ile hesaplandığını göstermiştir (Candansayar 1997). A, B akım elektrodu ve M, N gerilim elektrodu olmak üzere; A elektrodu (0,0,0) noktasında, M elektrodu (a,0,0) noktasında, N elektrodu (a+b,0,0) noktasında, B elektrodu ise (a+b+c,0,0) noktasındadır (Candansayar 1997). Elektrod dizilimlerinin kendine özgü sinyal katkı kesitleri vardır. Barker (1979), (2.1)' nolu bağıntıyı kullanarak, iki boyutta, üç farklı dizilim için (Schlumberger, Wenner, dipol-dipol) için kontur haritası çizdirmiştir. Bu kontur haritasına genel adıyla "Sinyal Katkı Kesiti" denilmektedir (Candansayar 1997).

$$\Delta\varphi(x,y,z)=\frac{\rho I}{2\pi}\left[\frac{x(x-a)+y^2+z^2}{(x^2+y^2+z^2)^{3/2}((x-a)^2+y^2+z^2)^{3/2}}-\right.$$
$$\frac{(x-a)(x-a-b-c)+y^2+z^2}{((x-a)^2+y^2+z^2)^{3/2}((x-a-b-c)^2+y^2+z^2)^{3/2}}-$$
$$\frac{x(x-a-b)+y^2+z^2}{(x^2+y^2+z^2)^{3/2}((x-a-b)^2+y^2+z^2)^{3/2}}+$$
$$\left.\frac{(x-a-b)(x-a-b-c)+y^2+z^2}{((x-a-b)^2+y^2+z^2)^{3/2}((x-a-b-c)^2+y^2+z^2)^{3/2}}\right].dx.dy.dz \qquad (2.1)$$

Bağıntıda ρ özdirenci, I akımı, x, y ve z ise koordinatları temsil etmektedir. Bağıntı (2.1)'de payda kısmındaki 2π, yüzeyden uygulanan akımın yarım küre hacminde yayılmasından dolayıdır. Akım kaynağımız yer altında herhangi bir noktada olduğunda akım bir küre hacmince yayılacağından bağıntının payda kısmı 4π olacaktır. Bu sebeple bağıntı (2.1)'in payda kısmı kuyu içi ve yüzey ölçülerinde farklılık gösterecektir.

Dört elektrodlu herhangi bir kuyu-kuyu elektrod dizilimi için bağıntı (2.1) düzenlenerek yazılırsa, bağıntı (2.2-2.3) elde edilir. Yüzey dizilimlerinde elektrodların sadece x yönündeki uzaklıkları belirlenerek işlemeler yapılır. Kuyu-kuyu dizilimlerinde sinyal

katkı kesitlerini hesaplayabilmek için x ve z yönündeki uzaklıklar bilinmelidir. Bu sebeple bağıntı (2.1), bağıntı (2.2) şeklinde düzenlenmiştir.

$$\Delta\varphi(x,y,z) = \frac{\rho I}{4\pi}[T] \tag{2.2}$$

Bağıntı (2.2)'de T, izleyen bağıntı (2.3) ile tanımlanır.

$$T = \frac{x(i,j)\,(x(i,j)-amx)+z(i,j)\,(z(i,j)-amz)+y^2}{(x(i,j)^2+z(i,j)^2+y^2)^{3/2}\,((x(i,j)-amx)^2+(z(i,j)-amz)^2+y^2)^{3/2}} +$$

$$\frac{(x(i,j)-amx)\,(x(i,j)-abx)+(z(i,j)-amz)\,(z(i,j)-abz)+y^2}{((x(i,j)-amx)^2+(z(i,j)-amz)^2+y^2)^{3/2}((x(i,j)-abx)^2+(z(i,j)-abz)^2+y^2)^{3/2}} +$$

$$\frac{x(i,j)\,(x(i,j)-anx)+z(i,j)\,(z(i,j)-anz)+y^2}{(x(i,j)^2+z(i,j)^2+y^2)^{3/2}((x(i,j)-anx)^2+(z(i,j)-anz)^2+y^2)^{3/2}} +$$

$$\frac{(x(i,j)-anx)\,(x(i,j)-abx)+(z(i,j)-anz)\,(z(i,j)-abz)+y^2}{((x(i,j)-anx)^2+(z(i,j)-anz)^2+y^2)^{3/2}((x(i,j)-abx)^2+(z(i,j)-abz)^2+y^2)^{3/2}} \tag{2.3}$$

Bağıntı (2.3)'de amx A ve M elektrodlarının x yönünde biri birilerine olan uzaklıklığını, amz ise A ve M elektrodlarının z yönünde biri birilerine olan uzaklıkllığını temsil etmektedir. Aynı şekilde anx, anz, abx, abz simgeleri ilgili elektrodların x ve z yönündeki uzaklıklarını temsil etmektedir. Bağıntıdaki x(i,j) ve z(i,j), x-z düzleminde gerilim farkına katkısı olan tüm noktaların gridlendiği düşünülürse, ilgili düğüm noktasının konumunu temsil etmektedir.

Üç ve dört elektrodlu kuyu içi dizilimlerin sinyal katkı kesitlerinin başlıca özellikleri Danielsen ve Dahlin (2010), Leontarakis ve Apostopoulos (2012) tarafından verilmiştir. Her dizilimin oluşturduğu artı ve eksi sinyal katkı bölgesi ve sinyal gücü farklıdır. Bunun sonucu olarak her dizlimin üstün ve zayıf yönleri ortaya çıkmıştır. Candansayar (2008), yüzey ölçülerinde kullanılan elektrot dizilimlerinin avantajlarını birleştirmek, zayıf yönleri elemine etmek için dizilimlerin iki-boyutlu birleşik ters çözümünü

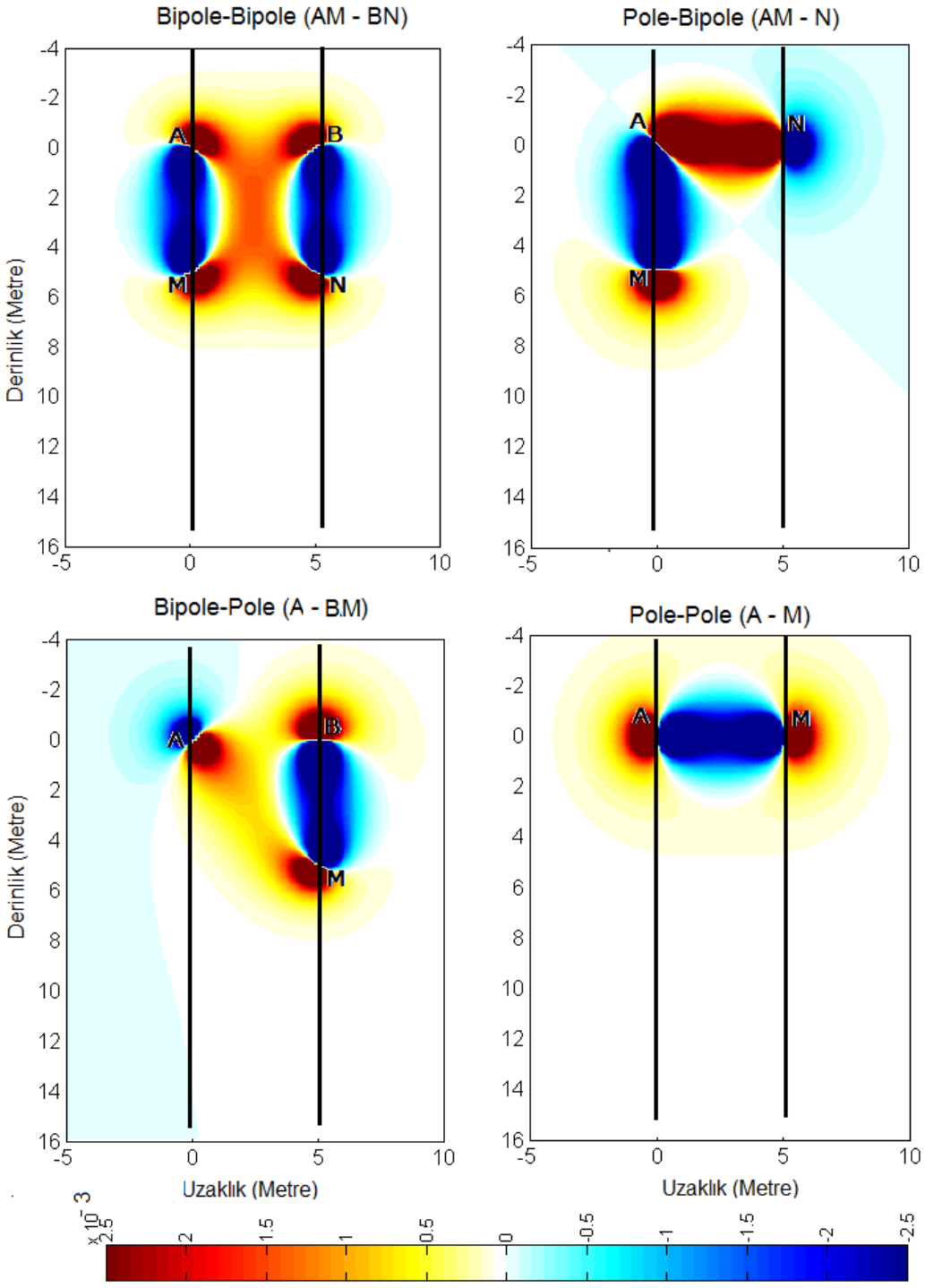
önermiştir. Bu tez kapsamında da farklı dizilimlerin avantajlarını birleştirmek ve dezavantajlarını elemine etmek için farklı kuyu-kuyu ve kuyu-yüzey dizilimlerin birleşik ters çözümleri önerilmektedir.

Şekil 2.6-2.7'de kuyu-kuyu (KK-1 ve KK-2) dizilimlerinin, şekil 2.8-2.9'da kuyu-yüzey (KY-1 ve KY-2) dizilimlerinin, şekil 2.10'de ise tek kuyu dizilimlerinin sinyal katkı kesitleri, önceki bölümde anlatılan temel şematik durumlar için verilmiştir.

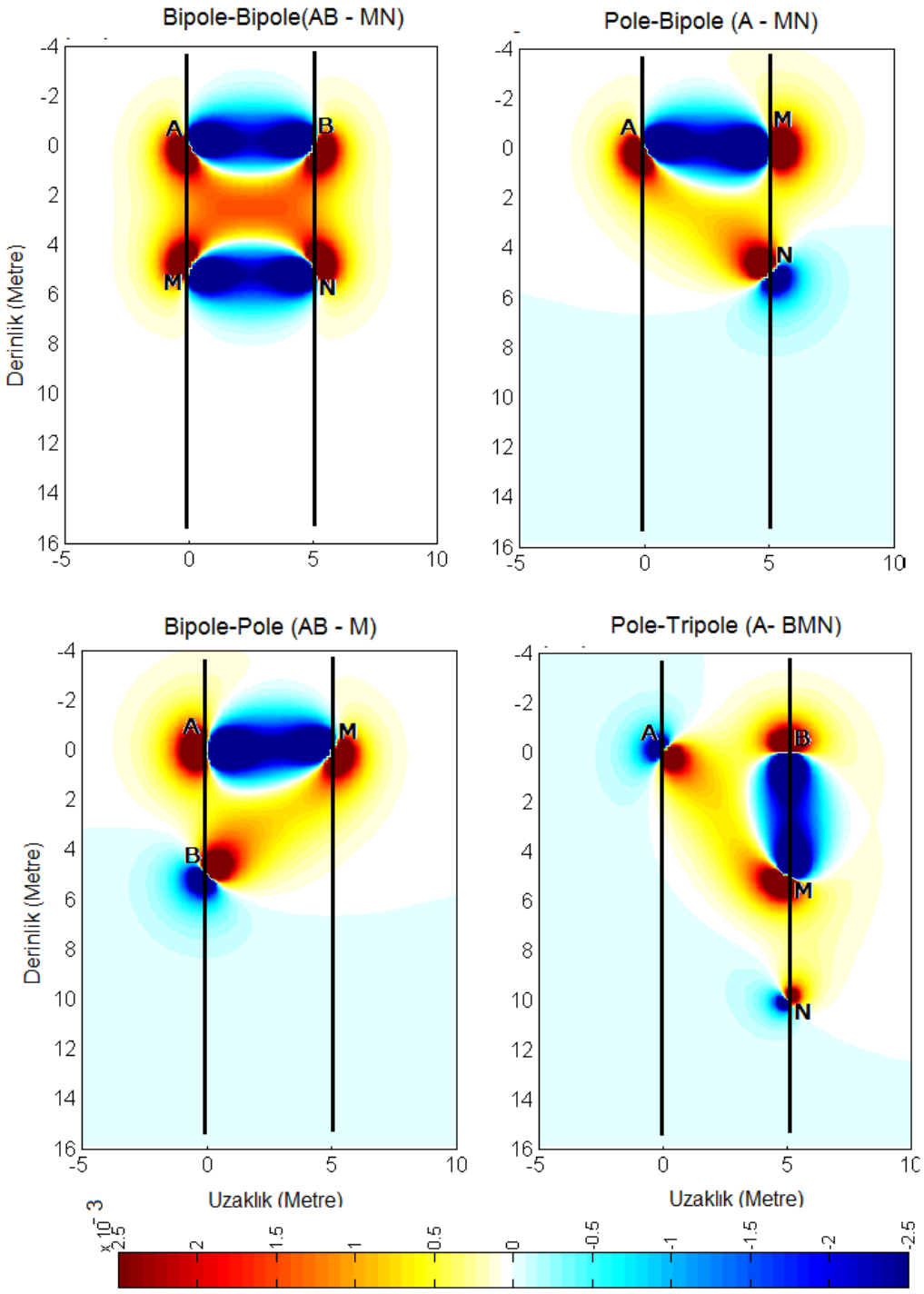
Şekil 2.6 incelendiğinde kuyular arası bölgede tek yönlü (artı veya eksi) sinyal gücü görülmektedir. KK-1 dizilimleri ile alınan ölçülerde kuyular arasındaki yapı veya yapılar aynı yönlü sinyal katkı bölgesinde kalacaklardır. Bu durum, kuyular arasındaki hakim özdirencin, ters çözüm sonucunda daha çok temsil edilmesi anlamına gelir.

Şekil 2.7 incelendiğinde kuyular arası bölgede sinyal yönü ardalanması görülmektedir. Hedef bölgedeki yapılar farklı sinyal katkı bölgelerinde kalacaklardır. Fakat KK-2 dizilimlerinde akım ve gerilim elektordlar ayrı kuyularda olduğu için kuyular arası mesafenin büyümesi durumunda kuyular arası bölgede sinyal gücü zayıflayacak ve çok düşük gerilim veya gerilim farkı ölçülecektir. Özdirenç tomografisinde kullanılan aletlerin ölçebileceği en düşük gerilim değerler vardır. Gerilim veya gerilim farkının bu duyarlılığın altına düşmesi durumunda ölçülen veriler hata içerecektir. Aynı durum KY-1 ve KY-2 dizilimlerinin karşılaştırılması durumunda da geçerlidir. KK-2 ve KY-2 dizilimlerinde sinyal/gürültü oranı KK-1 ve KY-2 dizilimlerine göre düşüktür.

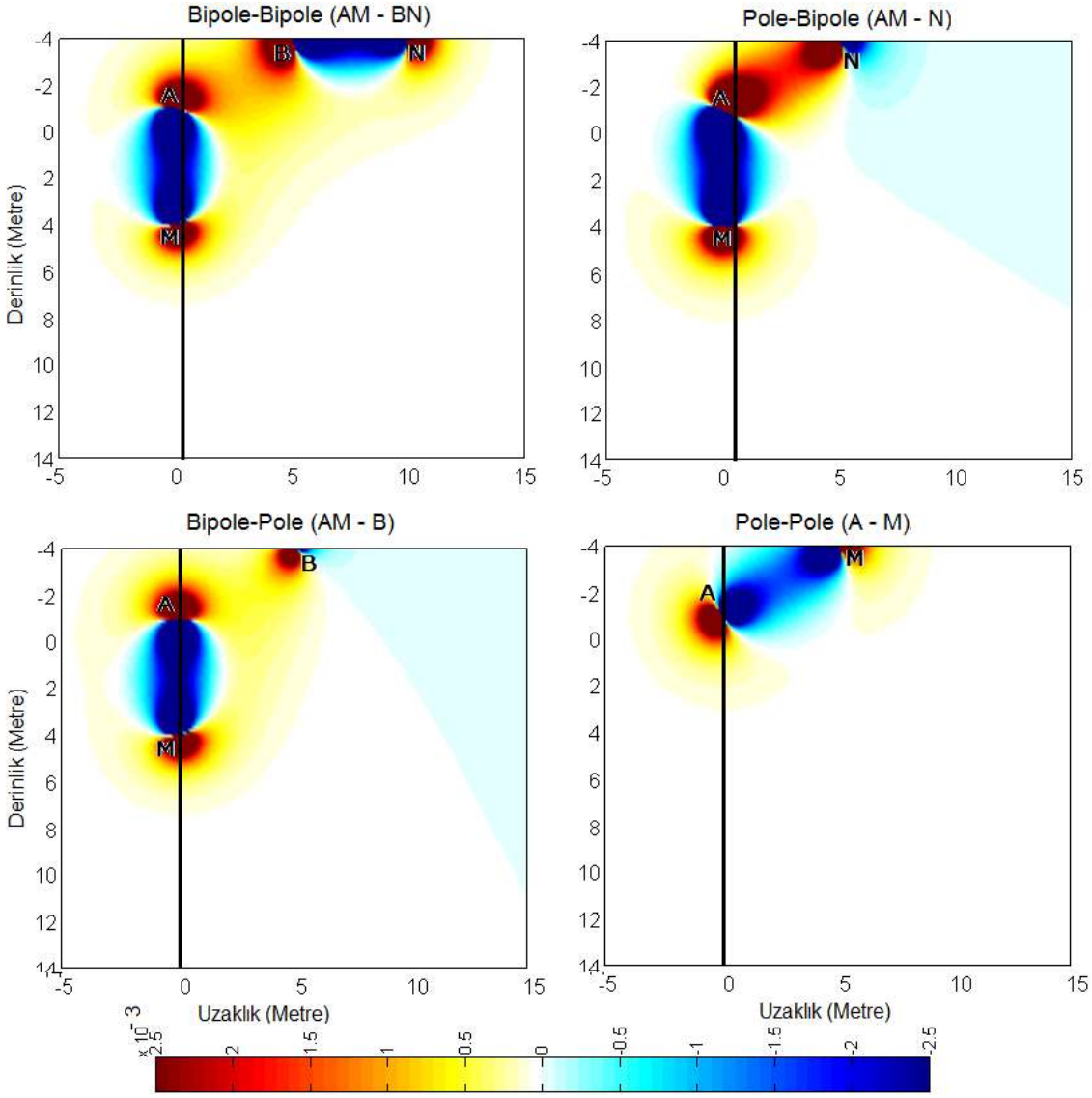
Tek kuyu dizilimleri kuyulara yakın bölgelerde çözünürlüğü iyi olan dizilimlerdir. Fakat kuyular arası mesafe arttıkça doğal olarak, kuyular arası bölgeden bilgi alınamayacaktır. Bu dizilimlerin birleşik ters çözümde kullanılması kuyulara yakın bölgelerin çözünürlüğünü artıracaktır.



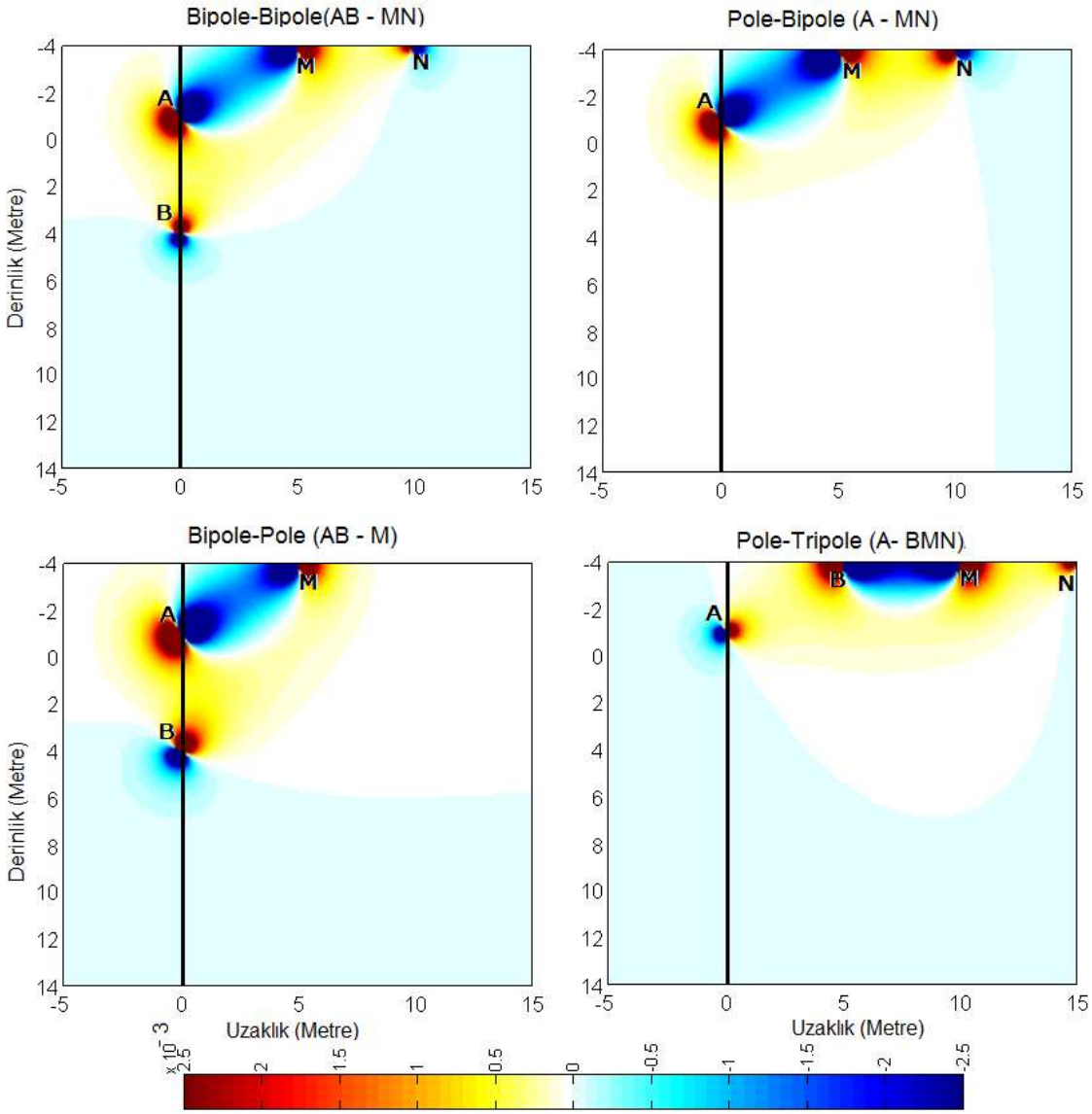
Şekil 2.6 Kuyu-kuyu dizilimleri (KK-1) sinyal katkı kesitleri



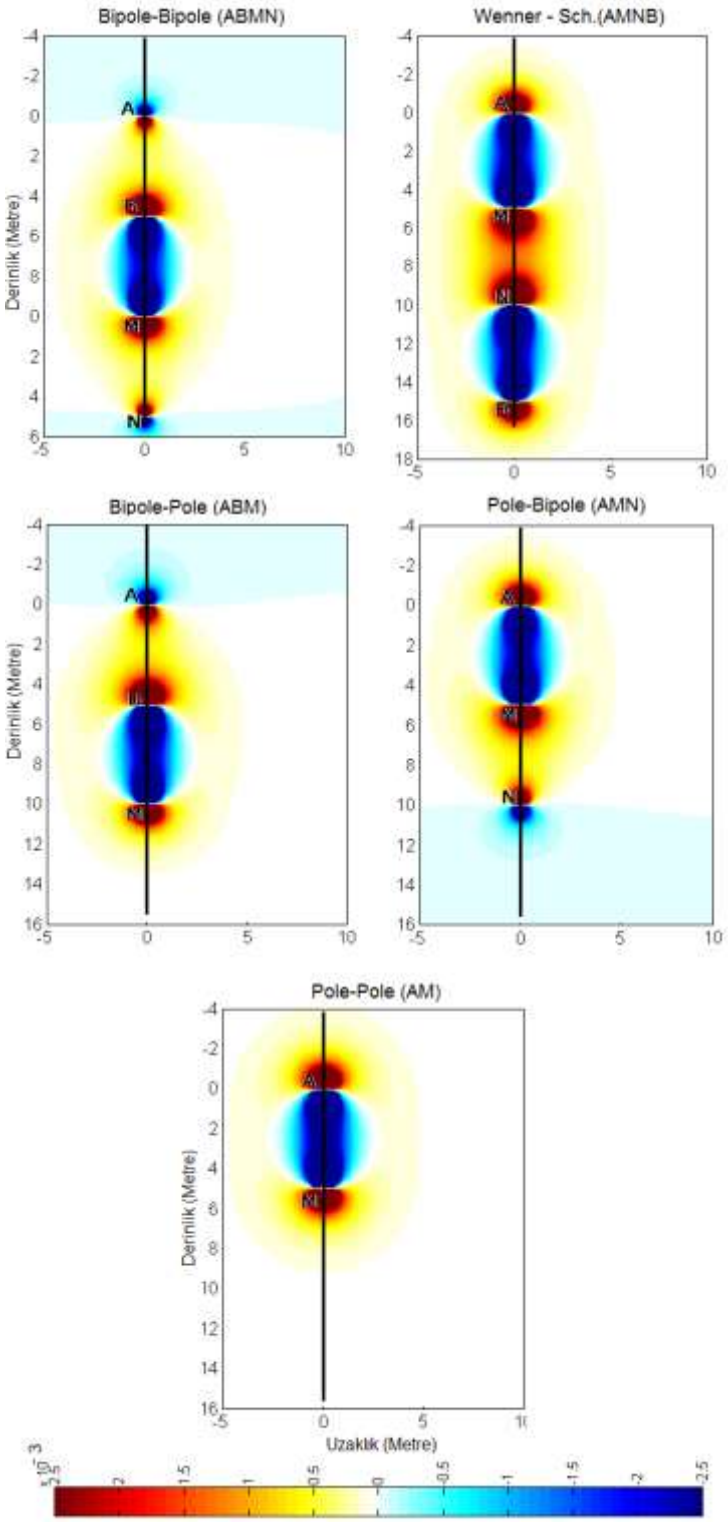
Şekil 2.7 Kuyu-kuyu dizilimleri (KK-2) sinyal katkı kesitleri



Şekil 2.8 Kuyu-yüzey dizilimleri (KY-1) sinyal katkı kesitleri



Şekil 2.9 Kuyu-yüzey dizilimleri (KY-2) sinyal katkı kesitleri



Şekil 2.10 Tek kuyu (TK) dizilimleri sinyal katkı kesitleri

2.3 Kuyu İçi Ölçümleri Etkileyen Faktörler ve Protokol Dosyası Hazırlanması

Özdirenç tomografisinde çözünürlüğü etkileyen bir çok faktör vardır. Bunlar :

- Elektrod dizilimi,
- Elektrod aralığı,
- Kuyu uzunluğu / kuyular arası mesafe oranı,
-Kuyunun çapı,
- Kuyu içine gönderilen sıvının özdirenci,
-Yüzeyden ölçü alınması durumu olarak verilebilir (Sasaki 1992, Hagrey 2011, Leontarakis ve Apostolopoulos 2012).

Bunların dışında çözülmek istenilen kuyular arası bölgenin dışındaki diğer yapılar, hedef geometrisi ve büyüklüğü de önemli bir etkendir (Sasaki 1992).

Elektrod dizilimi ve aralığı tez kapsamında geniş bir biçimde incelenmiştir. Kuyu-kuyu ve kuyu-yüzey elektrod dizilimleri ayrıntılı olarak hem sinyal katkı kesitleri üzerinden hem de izleyen bölümlerde dizilimlerin ayrık ve birleşik ters çözümleri karşılaştırılarak incelenmiştir.

Kuyu boyu ve kuyular arası mesafe oranı hedef bölgenin çözünürlüğü için önemlidir. Akım ve gerilim elektrodları arası mesafenin büyümesi ile sinyal gücü zayıf olan kuyu-kuyu (KK-2), kuyu-yüzey (KY-2) dizilimleri ile hedef bölgeden sağlıklı veri toplanamayacaktır. Bunun sonucu olarak ters çözüm sonuçlarında sahte belirtiler görülebilir. Bu durum protokol dosyası hazırlanırken dikkat edilmesi gereken önemli etkenlerdendir. Tek kuyu dizilimlerinde kuyular arası mesafe açıldıkça kuyuların tam ortasında kalan orta bölgeden bilgi alınamayacaktır ve bu bölgede sahte anomaliler görülecektir.

Kuyu çapı ve kuyu içine gönderilen sıvının özdirenci topladığımız verinin gerçek formasyon değerinden uzaklaşarak değişmesine yol açabilir. Çünkü formasyonun özdirenç değerleri, ortamdaki çözünen maddeye ve ortamın doygunluk derecesine göre

değişebilir (Archie 1942). Kuyu çapı arttıkça elektrod ve formasyon arasındaki kontağı sağlamak amacıyla, kuyu içine gönderilecek sıvının miktarı artacaktır. Formasyona dışarıdan daha fazla madde enjekte edilmiş olacaktır. Formasyon ve kuyu sıvısı özdirençlerinin çok farklı olması sonucunda ölçülen veriler hedef bölgeyi yansıtmayacaktır. Bu sebeple kuyu çapı, özellikle zamana bağlı ölçülerde, önemli etmenlerdendir. Kuyu sıvısının özdirenç tomografisi sonuçlarına etkisi bir çok araştırmacı tarafından incelenmiştir (Doetsch vd 2010, Nimemr vd. 2008). Nimmer (2008) 'formasyon özdirenci / kuyu sıvısı özdirenci' oranı 10 ve 100 sınırları arasında olma durumlarını incelemiştir. Doetsch (2010) AM-BN ve AB-MN dizilimlerini kullanarak kuyu sıvısından bu dizilimlerin nasıl etkilendiğini incelemiştir.

Kuyu-kuyu ölçülerine kuyu-yüzey ölçüleri eklendiğinde yüzeye yakın yerlerde çözünürlüğün artması beklenmektedir. Kuyu içi derin araştırmalarda yüzeyden ölçü alınması gerekli değildir. Yakın yüzey araştırmaları için yüzey ölçülerinin eklenmesi durumu izleyen bölümlerde modelleme çalışmalarında incelenmiştir.

Programcı gözüyle baktığımızda, ölçüyü nasıl alacağımızı belirlediğimiz protokol dosyasının hazırlanışı, kullanılan düz ve ters çözüm yöntemleri, kullanılan ağın ayrıklaştırılma biçimi çözünürlüğümüzü etkileyen faktörlerdendir. Tezde, kullanılan düz, ters çözüm yöntemleri ve kullanılan ağın ayrıklaştırılması izleyen bölümlerde ayrıntılı olarak verilmiştir.

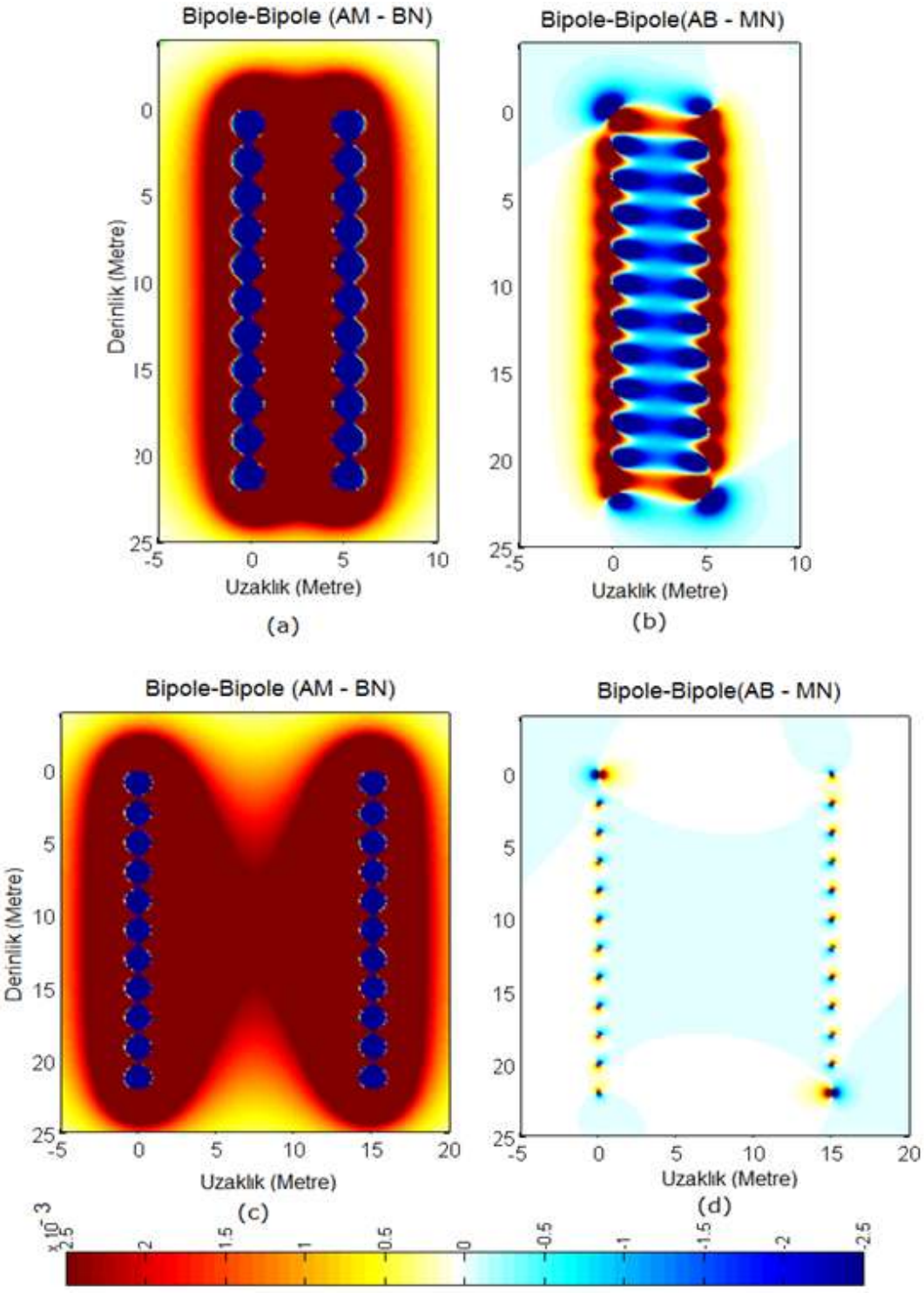
Protokol doyası hazırlanırken çözülecek jeofizik problem için tüm parametreler (ör: kuyular arası mesafe / kuyu boy oranı, elektrod dizilimi, elektrod aralığı vd.) göz önünde bulundurulmalıdır.

Hedef bölgenin yapısının daha iyi belirlenmesi için farklı elektrod dizilimleri ile veri toplamak yararlı olacaktır. Kuyular arası mesafenin büyümesi ile KK-2 veya KY-2 dizilimlerinde akım ve gerilim çiftlerin arasındaki mesafe sürekli artacaktır. Bu sebeple geometrik faktör büyüyecek ve ölçülen gerilim veya gerilim farkı aletin ölçebileceği duyarlılığın altına düşecektir. Bunun sonucu olarak verilerimiz büyük oranda gürültü içerecektir. Dolayısıyla, ters çözüm sonucumuz gerçek modeli yansıtmayacaktır.

Kuyular arası mesafenin kısa olduğu durumlarda her bir kuyuda alınan tek kuyu ölçüleri iyi sonuç üretebilecek iken kuyular arası mesafe arttıkça, tek kuyu dizilimlerinin çözüm yeteneği kuyu çevresindeki bölge ile sınırlı kalacaktır.

Saha çalışmasından önce sinyal katkı kesitlerinden de yararlanılarak protokol dosyası hazırlanabilir. Örneğin, kuyular arası mesafenin 5m ve 15m olduğu iki durum için AM-BN ve AB-MN dizilimlerinin toplam sinyal katkı kesitlerini inceleyelim. Her kuyuda 12 elektodun bulunduğu sistemde, AM-BN ve AB-MN dizilimleri için, kuyu aralığının 5m ve 15m olduğu durumlarda hesaplanan toplam sinyal katkı kesitleri şekil 2.11.a-d'de verilmiştir. AB-MN diziliminde sürekli sinyal yönü ardalanması olurken, AM-BN diziliminde sürekli artı yönde sinyal katkı bölgesi oluşmuştur. Şekil 2.11.a-d incelendiğinde, AB-MN dizilimi ile kuyular arası mesafe 15m olduğu durum için hedef bölgeden sağlıklı veri toplanamayacağı görülmektedir. Hedef bölgeyi etkileyen yeterli sinyal yoktur. AM-BN dizilimi ise, güçlü ve tek yönlü sinyal ürettiği için genel anlamda hedef bölgedeki bulunan yapıların sınırlarını büyüteceği ve ortamdaki hakim özdirencin ters çözüm sonucunda daha çok temsil edileceği söylenebilir.

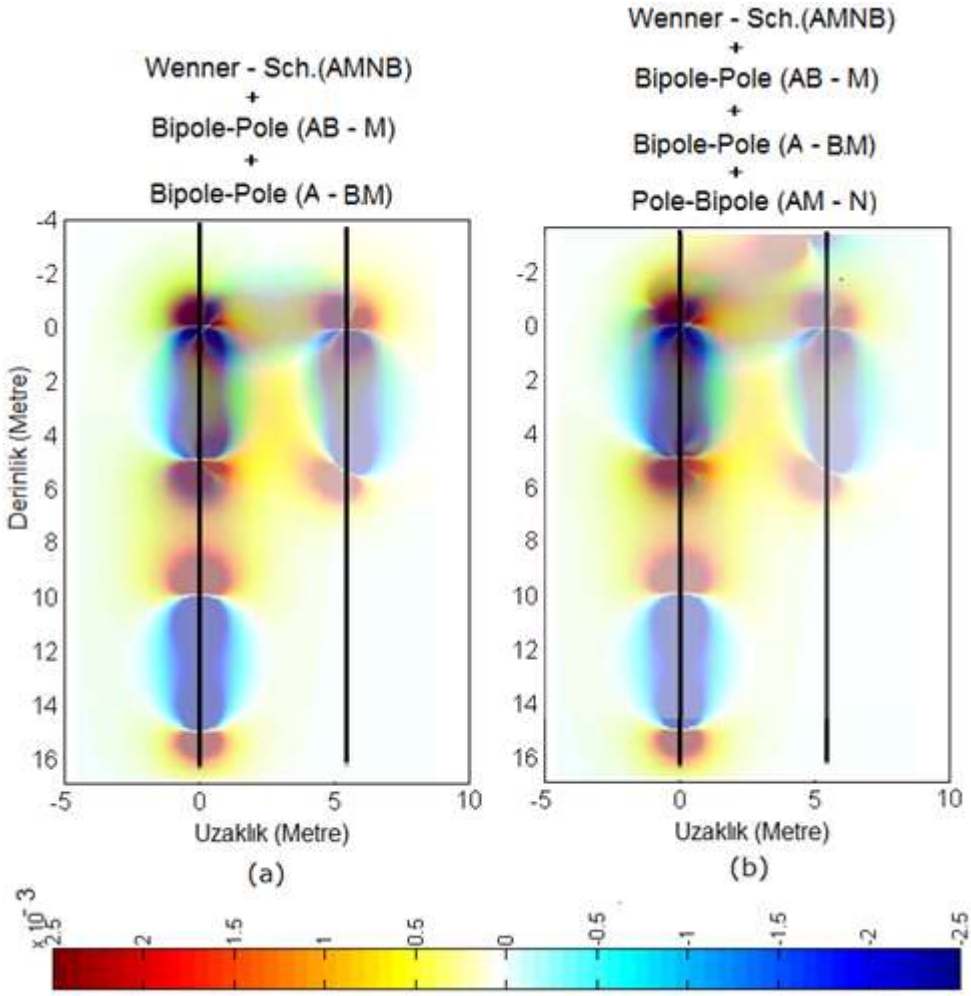
Ayrıca, kuyular arası mesafenin büyümesi ile kuyu başlangıç ve bitiş yerlerinde sinyal yetersizliği sebebiyle çözünürlük düşecektir (Şekil 2.11.c-d). Bu sebeple protokol dosyası hazırlanırken sinyal katkı kesitleri incelenmesinde fayda vardır. Burada, toplam sinyal katkı kesitleri dizlimin temel şematik halini bozmadan, akım elektordlarının her bir konumu için gerilim elektodlarının tüm olasılıkları göz önünde bulunarak hesaplanmıştır.



Şekil 2.11 5m kuyu aralığı ve 12 elektrodlu sistem için: a. AM-BN dizilimi toplam sinyal katkı kesiti, b. AB-MN dizilimi toplam sinyal katkı kesiti ve15m kuyu aralığı ve 12 elektrodlu sistem için, c. AM-BN dizilimi toplam sinyal katkı kesiti, d. AB-MN dizilimi toplam sinyal katkı kesiti

Kuyular arası bölgede bulunan yapı sınırları belirlemede önemli faktörlerden bir tanesi elektrod aralığıdır. Elektrod aralığı uygun seçilmeli ve birçok farklı elektrod aralığı kullanarak ölçü toplanmalıdır. Akım elektrodlarının her bir konumu için, dizilimin doğası bozulmadan, gerilim elektrodların tüm olasılıkları ile ölçü toplanmalıdır. Bu durum her dizilim için sağlıklı sonuç vermeyebilir, bunu önlemek için arazi öncesi ayrıca modelleme çalışması yapılması gerekmektedir. En sağlıklı karar bu şekilde verilebilir.

Candansayar (2008), yüzey ölçülerinde farklı dizilimlerin avantajlarının bir arada kullanılması için farklı dizilimler (sol ve sağ yönlü pol-dipol ve dipol-dipol-AMN+MNB+ABNM) ile veri toplanarak, elde edilen veri kümelerinin birleşik ters çözümünü önermiştir. Bu durum kuyu içi ölçümlerde de geçerlidir. Şekil 2.12'de rastgele seçilmiş bir KK-1 (AM-N), bir KK-2 (AB-M) ve bir tek kuyu (AMNB) diziliminin temel şematik halleri ile hesaplanmış birleşik sinyal katkı kesiti verilmiştir. Şekil 2.12.a incelendiğinde hedef bölgenin farklı sinyal gücü ve farklı sinyal katkı bölgeleri ile tarandığını görmekteyiz. Şekil 2.12.b'de ölçümlere birde kuyu-yüzey dizilimi (A-MN) eklenmiştir. Böylece yüzeye yakın yerlerden daha fazla bilgi toplanabilmektedir.



Şekil 2.12 a. Farklı kuyu-kuyu dizilimlerin birleşik katkı kesitleri (AMNB, AB-M, A-BM), b. Kuyu-kuyu dizilimlere kuyu-yüzey dizilimi (AM-N) eklenmesi sonucu oluşan birleşik sinyal katkı kesiti

Protokol dosyası hazırlanırken, bir çok dizilim için hazırlanması ve farklı dizilimlerden oluşturulan veri setlerinin birleşik ters çözümün yapılması çözünürlüğü artıracaktır. Şekil 2.12'de görüldüğü gibi hedef bölge farklı sinyal gücü ve sinyal katkı bölgesi ile taranmış olacaktır. Ayrıca kuyu-kuyu veya kuyu-yüzey dizilimleri ile veri toplarken, bu dizilimlere ek olarak tek kuyu dizilimleri ile veri toplamakta fayda vardır. Pole-tripole hariç, KK-2 dizilimleri ile veri toplandığında akım ve potansiyel çiftler ayrı kuyularda olduğundan, gerilim elektrodları yeterli gerilim veya gerilim farkı ölçemeyecektir. Özellikle kuyular arası mesafenin büyümesi ile sağlıklı veri ölçülemeyecektir. Bu da verinin hata içerme olasılığını arttıracaktır. Bu sebeple kuyu-kuyu uygulamalarında KK-1, pol-tripole ve TK dizilimleri ile veri toplamak sağlıklı sonuç verecektir.

Arazi çalışması öncesi çözülecek jeofizik problem için modelleme çalışması yaparak birleşik ters çözüm yapılıp yapılmayacağı veya hangi dizilimlerin birleşik ters çözümlerinin yapılacağı kararlaştırılabilir. Gerçeğe en yakın modeli elde etmek için kuyular arası bölgenin bu faktörlerden nasıl etkilendiği iyi bilinmeli ve bu yönde protokol dosyası hazırlanmalıdır. Bipole-bipole (AM-BN) dizilimi için hazırlanmış iki adet örnek protokol dosyası (AGI firmasının kullandığı ve Ankara Üni. Jeofizik Modelleme Grubu dosya formatı) EK-A'da verilmiştir. Arazi çalışması öncesinde çözülecek jeofizik problemin parametrelerine(kuyu boyu, kuyular arsı mesafe vb.) göre kullanılacak dizilim veya dizilimler belirlenebilir. Geometrik faktör sınırı uygulanacak ise, büyük geometrik faktör değerlerinin elde edildiği durumlar belirlenerek protokol dosyasından çıkartılabilir. Böylece arazi çalışmalarında zaman kazanılmış olacaktır.

3. KUYU-KUYU ve KUYU-YÜZEY DİZİLİMLERİ İÇİN İKİ BOYUTLU DÜZ ÇÖZÜM

Modelleme, varsayılan bir jeolojik modelin jeofizik tepkisinin matematiksel bir bağıntı ile tanımlanması ve bu bağıntının yardımıyla ölçülmesi beklenen değerleri sayısal olarak hesaplamak şeklinde tanımlanabilir (Candansayar, 1997). Özdirenç tomografisi yöntemi için kullanılan matematik model Poisson denklemidir. Poisson denkleminin Maxwell denklemi ve Ohm kanunundan çıkarılışı için Candansayar (1997)'ye bakılabilir. Sadece kaynak civarında geçerli olan Poisson denklemi 3-B uzay için bağıntı (3.1)'de verilmiştir. 2,5-B problemler (3.2), 2-B modellemede 3-B nokta akım kaynağı kullanılması durumudur (Petrov, 1995).

$$-\nabla.\ \sigma(x,y,z)\nabla\phi(x,y,z) = I.\delta(x-x_S)\delta(y-y_S)\delta(z-z_S),\ (x,z)\in\Re \qquad (3.1)$$

$$-\nabla.\ \sigma(x,z)\nabla\phi(x,k_y,z) + k_y^2\sigma(x,z)\phi(x,k_y,z) = I.\delta(x-x_S)\delta(z-z_S),\ (x,z)\in\Re \qquad (3.2)$$

Denklemlerde σ ,iletkenliği ϕ, gerilimi ifade etmektedir ayrıca y yönündeki iletkenlik değişimi sabit bir k_y katsayısı ile eşitliğe eklenmiştir. I ise akımı temsil etmektedir. x_S ve z_S ise akım elektrodunun kuyu veya yüzeydeki koordinatlarını ifade etmektedir. Akım kaynağı konumu x-z yönünde değişmektedir. Akım kaynağının model ağına yerleştirilmesi izleyen bölümde anlatılacaktır. 2,5-B modellemede iletkenliğin y yönünde değişmediği kabul edilir ve Fourier cosinüs dönüşümü ile (x,y,z) yerine, (x,k_y,z) uzayında işlem yapılır. Denklem sınır koşulları uygulanarak çözülür (Dey ve Morrison 1979). Ayrıntılar için Candansayar'a (1997) bakılabilir. Tezde Poisson denkleminin çözümü Sonlu farklar (SF) yöntemi ile yapılmıştır (Dey ve Morrison 1976).

3.1 Sonlu Farklar Yöntemi ile Poisson Denklemi Çözümü

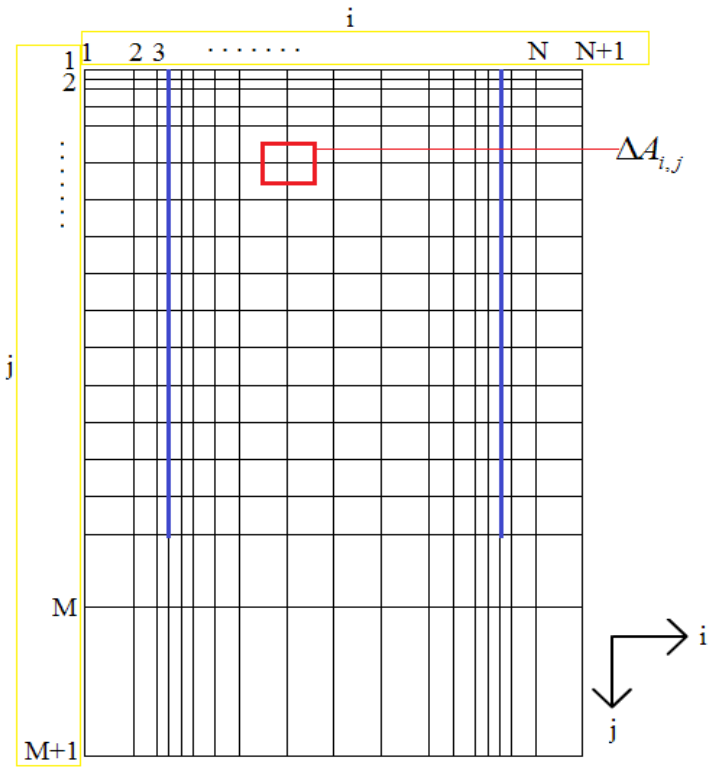
Sürekli bir fonksiyon olan Poisson denklemi 2.5 boyutlu problemler için önceki bölümde tanımlanmıştı. Akım verilen noktayı ΔA birim yüzeyi ile gösterecek olursak, (3.2)'nolu bağıntı tekrar aşağıdaki şekilde yazılabilir ve bu bağıntı ile 2-B ayrık yer

modelinde, gelişigüzel bir $\Re$ bölgesi için iletkenlik dağılımı sonlu farklar ile hesaplanabilir.

$$-\nabla.\ \sigma(x,z)\nabla\phi(x,y,z)\ +\sigma(x,z)\phi(x,k_y,z)=\frac{I}{\Delta A_{i,j}}\delta(x-x_s)\delta(z-z_s),\ (x,z)\in\Re \qquad (3.3)$$

Tanımlanan $\Re$ bölgesi sınır koşulları ile, yapay olarak sonsuzsa gittiği varsayımı yapılmaktadır. Sınırlarında Δx ve Δz değerleri hedef bölgenin hücre aralıklarına oranla çok büyük seçilerek yapay sonsuz sınırlar oluşturulur.

Kuyular arası bölgenin mavi çizgiler ile sınırlandırıldığı düşünülerek hazırlanmış model ağının bir kısmı şekil 3.1'de görülmektedir. İki kuyunun bulunduğu model ağının tamamı izleyen bölümde verilmiştir. Bu ağda, dikdörtgen veya kare elman şeklinde bloklar yer almaktadır. Şekilden anlaşılacağı üzere *x* yönündeki düğüm noktaları *i=1,2,3...,N ve z* yönündeki düğüm noktaları *j=1,2,3,....,M* indisi ile tanımlanmıştır. Ayrıca *x* ve *z* yönündeki blok kalınlıkları da sırası ile *dx* ve *dz* olarak gösterilmiştir. Tez boyunca, denklemlerde bu indisleme kullanılacaktır.



Şekil 3.1 Model ağı ve indisleme sistemi

Model, boyutuna karar verilerek seçildikten sonra modelin köşe ve kenar noktalarına sınır koşullarının uygulanması gerekmektedir (Dey ve Morrison 1979, Candansayar 1997). Köşe ve kenar düğüm noktaları hariç diğer tüm (*i,j*) düğüm noktaları(iç düğüm noktaları) için (3.3) bağıntısı yazılır. Denklemler $\Delta A_{i,j}$ alanının iç düğüm noktalarında geçerlidir. Model içindeki herhangi bir nokta akım kaynağından kaynaklanan bu alan bağıntı (3.4)'deki gibi tanımlanabilir.

$$\Delta A_{i,j} = \frac{\Delta x_i + \Delta x_{i-1} \quad \Delta z_j + \Delta z_{j-1}}{4} \tag{3.4}$$

Bağıntı (3.3), $\Delta A_{i,j}$ alanında integre edilirse;

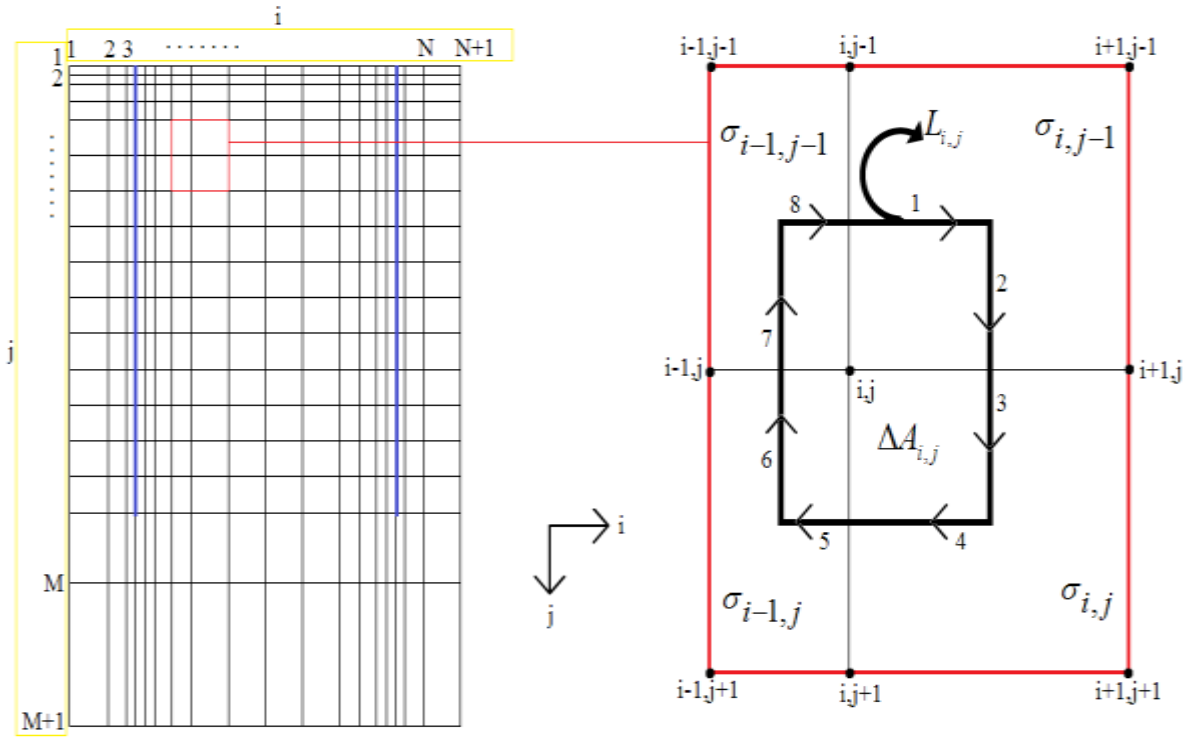
$$-\iint_{\Delta A_{i,j}} \nabla \ \sigma(x_i, z_j)\nabla\phi(x_i, k_y, z_j)\ dx_i dz_j + \iint_{\Delta A_{i,j}} k_y^2 \sigma(x_i, z_j)\phi(x_i, k_y, z_j) dx_i dz_j$$
$$= \frac{I}{2}.\delta(x - x_s).\delta(z - z_s) \tag{3.5}$$

şeklinde yazılabilir. Bağıntıların sadeliği için izleyen eşitliklerde $\sigma(x_i, z_j) = \sigma_{i,j}$ ve $\phi(x_i, k_y, z_j) = \phi_{i,j}$ olarak verilmiştir. Bağıntının ilk toplamı Green Teoremi yardımı ile alan integralinden çizgi integraline indirgenir:

$$-\iint_{\Delta A_{i,j}} \nabla \ \sigma_{i,j}.\nabla\phi_{i,j}\ dx_i dz_j = -\oint_{L_{i,j}} \sigma_{i,j} \frac{\partial \phi_{i,j}}{\partial \eta} dl \tag{3.6}$$

Bağıntı (3.6)'da η dışa doğru normal vektörünü, $L_{i,j}$, $\Delta A_{i,j}$ alanını çevreleyen sınırları tanımlamaktadır ve şekil 3.2'de tarif edildiği gibi sekiz parçaya bölünerek hesaplanır.

Nokta akım kaynağının oluşturduğu potansiyeller kaynaktan uzaklaştıkça küçülmektedir. Bu nedenle M ve N için büyük değerler kullanmak ve çözüm bölgesinden yeteri kadar uzaklaşmak şartı ile, sonlu M ve N değerleri için sonsuz uzaklıktaki alanlar ifade edilebilmekte ve düşük hata oranıyla çözüm bölgesindeki değerler hesaplanabilmektedir (Dey ve Morrison 1979).



Şekil 3.2 $\Delta A_{i,j}$ ayrıklaştırılmış alan elemanı

Poisson denkleminin ilk kısmı Green Teoremi kullanılarak (Dey ve Morrison 1979) çözülmüştür. Dey ve Morrison (1979) tanımlanan (3.5) nolu bağıntıyı dikdörtgen hücrelerden oluşan iletkenlik tanımı için çözmüştür. Bağıntı, $\Delta A_{i,j}$ alanını çevreleyen $L_{i,j}$ sınırları boyunca tanımlanan dört farklı iletkenlik değeri için bağıntı (3.7)'deki gibi elde edilir.

$$\oint_{L_{i,j}} \sigma_{i,j} \frac{\partial \phi_{i,j}}{\partial \eta} dl = \frac{\Delta x_i \sigma_{i,j-1}}{2} \left(\frac{\phi_{i,j-1} - \phi_{i,j}}{\Delta z_{j-1}} \right) + \frac{\Delta z_{j-1} \sigma_{i,j-1}}{2} \left(\frac{\phi_{i+1,j} - \phi_{i,j}}{\Delta x_i} \right)$$

$$+ \frac{\Delta z_j \sigma_{i,j}}{2} \left(\frac{\phi_{i+1,j} - \phi_{i,j}}{\Delta x_i} \right) + \frac{\Delta x_i \sigma_{i,j}}{2} \left(\frac{\phi_{i,j+1} - \phi_{i,j}}{\Delta z_j} \right)$$

$$+ \frac{\Delta x_{i-1} \sigma_{i-1,j}}{2} \left(\frac{\phi_{i,j+1} - \phi_{i,j}}{\Delta z_j} \right) + \frac{\Delta z_j \sigma_{i-1,j}}{2} \left(\frac{\phi_{i-1,j} - \phi_{i,j}}{\Delta x_{i-1}} \right)$$

$$+ \frac{\Delta z_{j-1} \sigma_{i-1,j-1}}{2} \left(\frac{\phi_{i-1,j} - \phi_{i,j}}{\Delta x_{i-1}} \right) + \frac{\Delta x_{i-1} \sigma_{i-1,j-1}}{2} \left(\frac{\phi_{i,j-1} - \phi_{i,j}}{\Delta z_{j-1}} \right) \tag{3.7}$$

Bu ifade bağıntı (3.5)'in ilk kısmı için yazılmıştır. Benzer olarak denkleminin ikinci kısmı için ise bağıntı (3.8)'deki gibi yazılabilir.

$$\iint_{\Delta A_{i,j}} k_y^2 \sigma_{i,j} \phi_{i,j} dx_i dz_j = k_y^2 \phi_{i,j}$$

$$\left[\begin{array}{l} \dfrac{\sigma_{i-1,j-1}.\Delta x_{i-1}.\Delta z_{j-1}}{4} + \dfrac{\sigma_{i,j-1}.\Delta x_i.\Delta z_{j-1}}{4} \\ + \dfrac{\sigma_{i,j}.\Delta x_i.\Delta z_j}{4} + \dfrac{\sigma_{i-1,j}.\Delta x_{i-1}.\Delta z_j}{4} \end{array} \right] \equiv A\ \sigma_{i,j}, A_{i,j}\ .\phi_{i,j} \tag{3.8}$$

İki bağıntı (3.7, 3.8) fark yaklaşımları ile her bir (*i*,*j*) noktası için (3.5) denkleminden yararlanarak bağıntı (3.9)'deki şekilde ifade edebilir.

$$C_L^{ij} \phi_{i-1,j} + C_R^{ij} \phi_{i+1,j} + C_T^{ij} \phi_{i,j-1} + C_B^{ij} \phi_{i,j+1} + C_P^{ij} \phi_{i,j} = \frac{I}{2} .\delta(x - x_s).\delta(z - z_s) \tag{3.9}$$

Bağıntı (3.9)'deki *C* değişkeni iletkenlik ve modelin geometrisine bağlı katsayılardır ve katsayıların elde edilişi bağıntı (3.10)'da verilmiştir.

$$C_T^{ij} = -\left[\frac{\Delta x_{i-1}\sigma_{i-1,j-1} + \Delta x_i \sigma_{i,j-1}}{2\Delta z_{j-1}} \right]$$

$$C_B^{ij} = -\left[\frac{\Delta x_{i-1}\sigma_{i-1,j} + \Delta x_i \sigma_{i,j}}{2\Delta z_{j}} \right]$$

$$C_R^{ij} = -\left[\frac{\Delta z_{j-1}\sigma_{i,j-1} + \Delta z_j \sigma_{i,j}}{2\Delta x_{i}} \right]$$

$$C_L^{ij} = -\left[\frac{\Delta z_{j-1}\sigma_{i-1,j-1} + \Delta z_j \sigma_{i-1,j}}{2\Delta x_{i-1}} \right]$$

$$C_P^{ij} = -\left[C_B^{ij} + C_T^{ij} + C_R^{ij} + C_L^{ij} - A(\sigma_{i,j}, A_{ij}) \right] \tag{3.10}$$

Bağıntıda (3.10)'daki $A(\sigma_{i,j}, A_{ij})$ değerinin elde edilmesi bağıntı (3.11)'de verilmiştir.

$$A(\sigma_{i,j}, A_{ij}) = k_y^2 \left[\frac{\sigma_{i-1,j-1}\Delta x_{i-1}\Delta z_{j-1}}{4} + \frac{\sigma_{i,j-1}\Delta x_i \Delta z_{j-1}}{4} + \frac{\sigma_{i,j}\Delta x_i \Delta z_j}{4} + \frac{\sigma_{i-1,j}\Delta x_{i-1}\Delta z_j}{4} \right] \tag{3.11}$$

Elde edilen bağıntılar $\Re$ bölgesi içerisinde yer alan herhangi bir (*i,j*) noktası için geçerlidir. Model ağımızda sınırlarda yer alan dört köşe ve dört kenar için bağıntı katsayıları için Candansayar (1997)'a bakılabilir.

Bağıntılardan anlaşıldığı üzere herhangi bir (*i,j*) noktasındaki gerilim değeri kendisine komşu gerilim değerlerine bağlı olarak çözülmektedir. Bağıntı (3.9) çözülecek olan ağın her bir düğüm noktası için hesaplanır ve *kapasitans dizeyi* adında genel bir dizey halinde düzenlenir.

3.2 Genel Dizey Denklemlerinin Çözümü

Poisson denkleminin programlama aşamasında dizeyler halinde ifade edilmesi gerekmektedir. Ayrıntılar için Dey ve Morrison (1979) ve Candansayar (1997)'a bakılabilir. Kapasitans dizeyi, kuplaj değerinin düğüm noktalarına olan katkısını göstermektedir. Her bir düğüm noktası için çözülen bağıntı (3.9) sembolik olarak aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$C\phi = S \tag{3.12}$$

Burada C modelin geometri ve iletkenliklerine bağlı kapasitans dizeyini ifade etmektedir ve düğüm noktası sayısı ($MN=M\ x\ N$) boyutundadır. Model ağının fiziksel ve geometrik özelliklerinden oluşan bu dizeye, önceki bölümlerde elde edilen C_B, C_L, C_T, C_R ve C_P katsayıları ilgili satır ve sütunlarına yerleştirilir. Tanımlanan ϕ dizeyi, Poisson denkleminden çözülmesi beklenen gerilimin değerlerini temsil eder ve $MN\ x\ 1$ boyutundadır. S dizeyi ise Poisson denkleminde akımın konumunu belirten kaynak terimini tanımlamaktadır. Gerilim değerleri lineer sistem olarak bağıntı (3.12)'de ϕ vektörünün çözülmesiyle elde edilmektedir. Denklem sisteminde bilinmeyen değerleri tez kapsamında geliştirilen algoritmada doğrudan matris tersleme yöntemi olan "LU Ayrışım" yöntemi kullanılmıştır.

3.3 Kuyu-Kuyu ve Kuyu-Yüzey Ölçülerinde Görünür Özdirenç Hesabı

Genel dizey denkleminin çözülmesi ile elde edilen gerilim (ϕ) değerlerinin anlam kazanabilmesi için görünür özdirenç cinsinden ifade edilmeleri gerekmektedir. Görünür özdirençler, gerilim değerlerinden geometrik faktörler ile çarpılarak hesaplanır (Kunetz 1966). Görünür özdirenç bağıntısı bağıntı (3.13) ile verilmiştir.

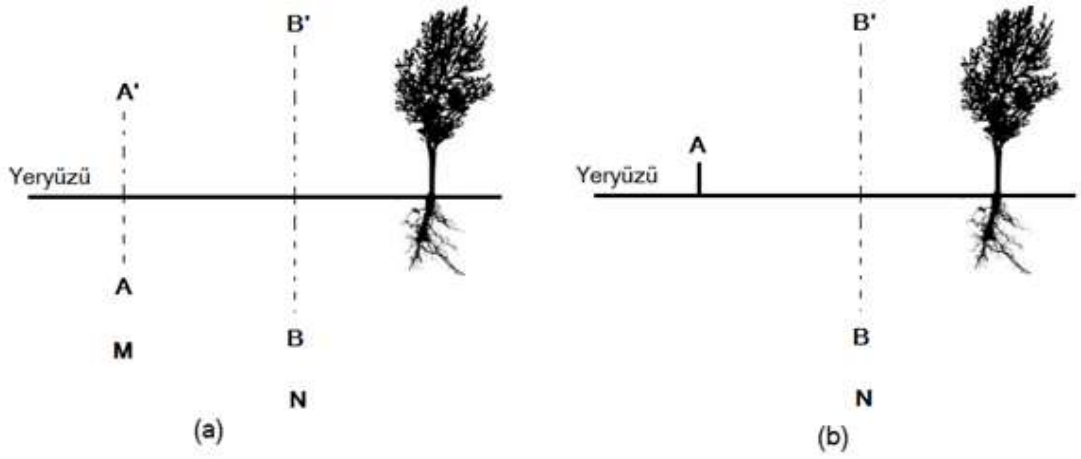
$$\rho_a = k.\frac{\Delta\phi}{I} \tag{3.13}$$

Bağıntıda $\Delta\phi$ volt cinsinden gerilim farkı, I amper cinsinden akım ve metre cinsinden k geometrik faktörü ifade etmektedir. $\Delta\phi$ uygulanan I akımı nedeniyle M ve N gerilim elektrotları arasında oluşan gerilim farkıdır. Geometrik faktör kullanılan elektrot dizilimine göre farklılık göstermektedir.

Geometrik faktör hesaplanırken, elektrod ayna teorisine göre akım elektrodlarının topografyaya göre izdüşümleri hesaba katılır (Telford 1989). Yüzey ölçülerinde elektrodlar yeryüzünde olduğu için akım elektrodlarının izdüşümleri kendi üzerlerine düşmektedir. Bu sebeple bağıntı sadeleşmektedir. Geometrik faktör bağıntısının genel hali bağıntı (3.14)'de verilmiştir. İzotrop bir ortamda bulunan nokta akım kaynağı yer altında her yönde eşit eş potansiyel çizgileri oluşturur. Bu anlamda yüzey ölçülerinden farklıdır. Yüzey ölçülerinden farklı olarak akımın yer altında tam küre şeklinde dağılması sebebiyle bağıntının pay kısmı, 4π olarak yazılır.

$$K = \frac{4\pi}{\left(\frac{1}{r_{AM}} + \frac{1}{r'_{AM}} - \frac{1}{r_{BM}} - \frac{1}{r'_{BM}} - \frac{1}{r_{AN}} - \frac{1}{r'_{AN}} + \frac{1}{r_{BN}} + \frac{1}{r'_{BN}} \right)} \qquad (3.14)$$

Bağıntı (3.14)'de r, sonrasında gelen iki elektrod arasındaki dik uzaklığı temsil eder. Akım elektrodlarının iz düşümü ile hesaplanan uzaklıklar r^{l} simgesi ile gösterilmiştir. Dört elektrodlu bir dizlim için geometrik faktör hesabında kullanılan elektrodlar ve iz düşümleri ile birlikte şekil 3.3.a'da verilmiştir. Şekil 3.3.b'de ise bir akım elektrodunun yüzeyde diğerinin kuyuda olduğu ve bir potansiyel elektrodun kullanıldığı durum verilmiştir.



Şekil 3.3 Geometrik faktör hesabı için genel elektrod dizilimi şeması, a. kuyu-kuyu, b. kuyu-yüzey

Şekil 3.3'de A' ve B', A ve B elektrodlarının iz düşümlerini temsil eder. Akım elektrdoları yer içinde herhangi bir konumda iken, geometrik faktör hesabı bağıntı (3.14)'deki gibi verilir. Yüzey ölçülerinde, akım elektrodlarının iz düşümleri kendi üzerlerine geldiği için, bağıntıda akım elektrodlarının iz düşümlerini içeren bağıntılar çıkartılır. Bağıntı (3.14)'de verilen uzaklıkların hesaplanması , x ve z elektrodların konumları olmak üzere, izleyen beş bağıntı (3.15-3.19) ile verilmiştir.

$$r = \sqrt{dx^2 + dz^2} \tag{3.15}$$

$$r' = \sqrt{dx^2 + dzz^2} \tag{3.16}$$

$$dx = x_1 - x_2 \tag{3.17}$$

$$dz = z_1 - z_2 \tag{3.18}$$

$$dzz = z_1 + z_2 \tag{3.19}$$

Akımın kuyuda veya yüzeyde olma durumuna göre katsayılar değişecektir. Yüzeyde bulunan akım kaynağı yarım küre hacminde potansiyel alan oluştururken, yer altında

bulunan akım kaynağı tam küre şeklinde yayılacak ve potansiyel alan oluşturacaktır. Kuyu-yüzey elektrod dizilimi için, A elektrodunun yüzeyde B elektrodunun kuyuda ve bir potansiyel elektrodun (N) olan durumu bağıntı (3.20)'da verilmiştir. Bu durumda geometrik faktör bağıntısın pay kısmı 2π alınır ve kuyuda bulunan elektrod kullanılarak hesaplanan uzaklığın temsil edildiği simgeler 2 ile çarpılarak bağıntı yeniden düzenlenir.

$$K = \frac{2\pi}{\left(\frac{1}{r_{AN}} - \frac{1}{2r_{BN}} - \frac{1}{2r'_{BN}} \right)} \tag{3.20}$$

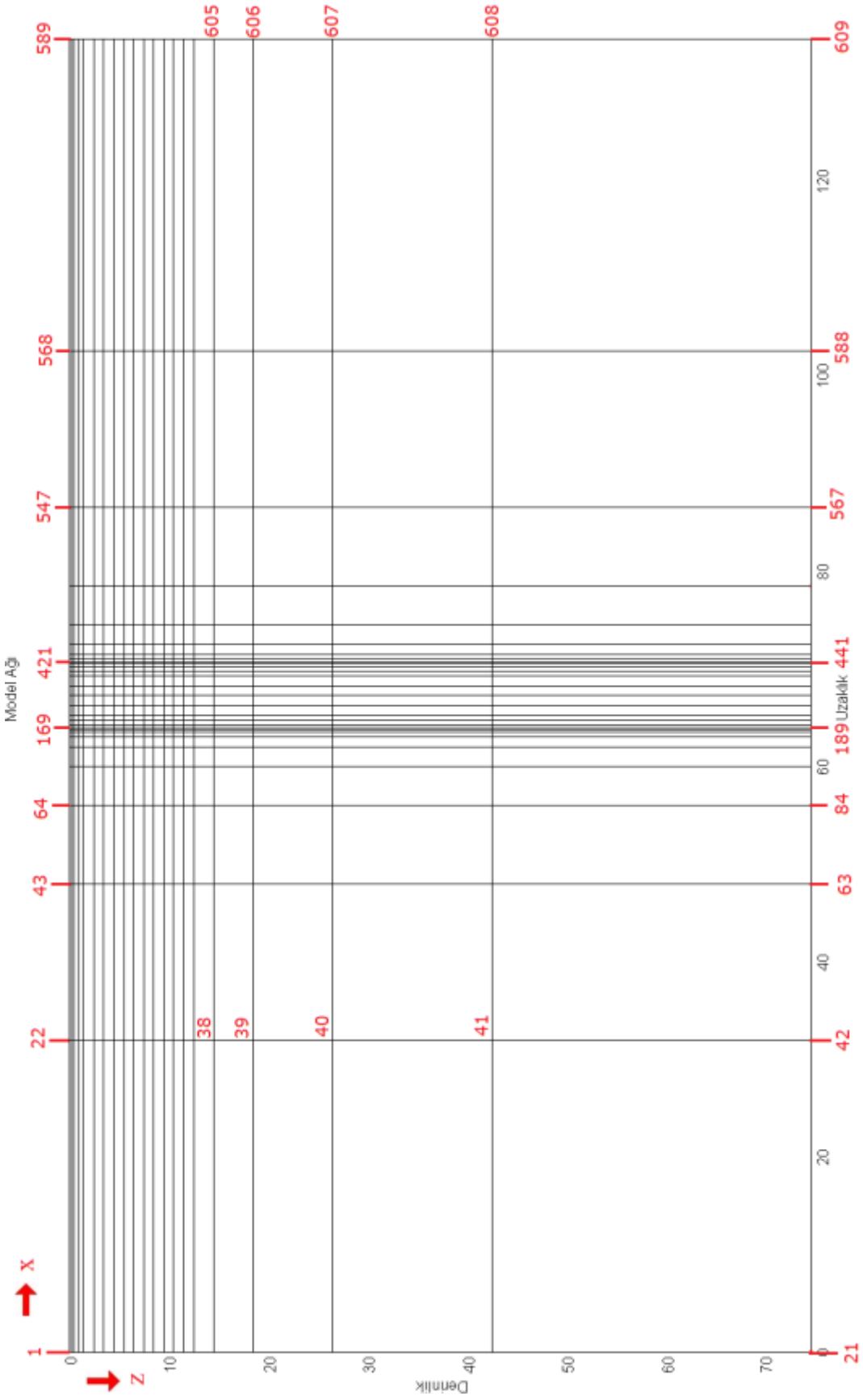
3.4 Düz Çözüm Algoritması ve Ağın Ayrıklaştırılması

Özdirenç tomografisi yönteminde geliştirilen düz çözüm algoritmasının doğruluğu bu bölümde test edilmiştir. Program, Candansayar (2008) tarafından geliştirilen algoritma, üzerinden kuyu-kuyu ve kuyu-yüzey özdirenç verilerinin 2B modellenmesi ve ters çözümü için düzenlenmiştir.

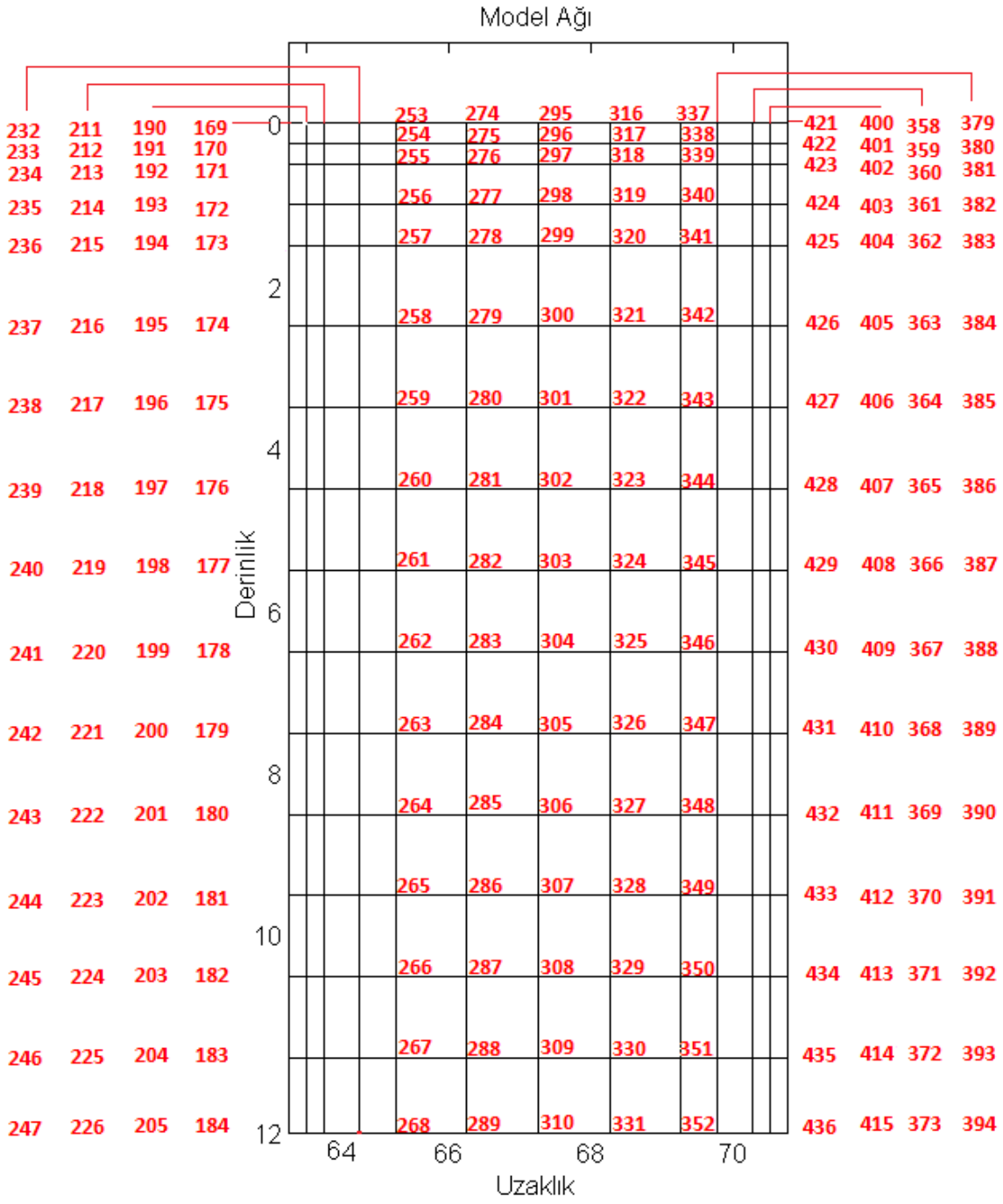
Program sonlu farklar yöntemini kullanarak düz çözüm yapmaktadır. Sonlu farklar model ağı kuyu ve yüzey çevrelerinde, elektrod aralığına bağlı olarak, daha sık ayrıklaştırılmıştır. Örnek bir sonlu farklar model ağı sınırlar ile birlikte şekil 3.4'de verilmiştir. Model ağında x yönünde 29, z yönünde 21 düğüm noktası olmak üzere toplam 609 düğüm noktası vardır (Şekil 3.4). Model ağında bazı düğüm noktaları şekil üzerinde gösterilmiştir. Kuyular arası bölge x yönünde 169 ve 421, z yönünde ise 184-436'nolu düğüm noktaları arasında kalan bölgedir (Şekil 3.5). Düğüm noktası numaralandırma işlemi ilk olarak z yönünde ilerlemektedir. Model ağı içerisinde elektrodlar konumlandırılırken bu numaralandırmanın nasıl yapıldığı önemlidir. Dört elektrodlu AM-BN dizilimi için; 7m kuyular arası mesafe, 1m elektrod aralığı ve kuyu içi ilk elektrodun -1.5m de olduğu bir sistem olsun. Akım ve potansiyel elektrodların aynı seviyede olduğu , ilk ölçü için A elektrodu 173., M elektrodu 174., B elektrodu 425. ve N elektrodu 426. düğüm noktasında yer alacaktır (Şekil 3.5). Hesaplanan gerilim matrisinin doğruluğu açısından akım elektrodlarının yerinin düzgün

belirlenmesi bu numaralandırma ve elektrod konumlarını düzgün belirleme oldukça önemlidir.

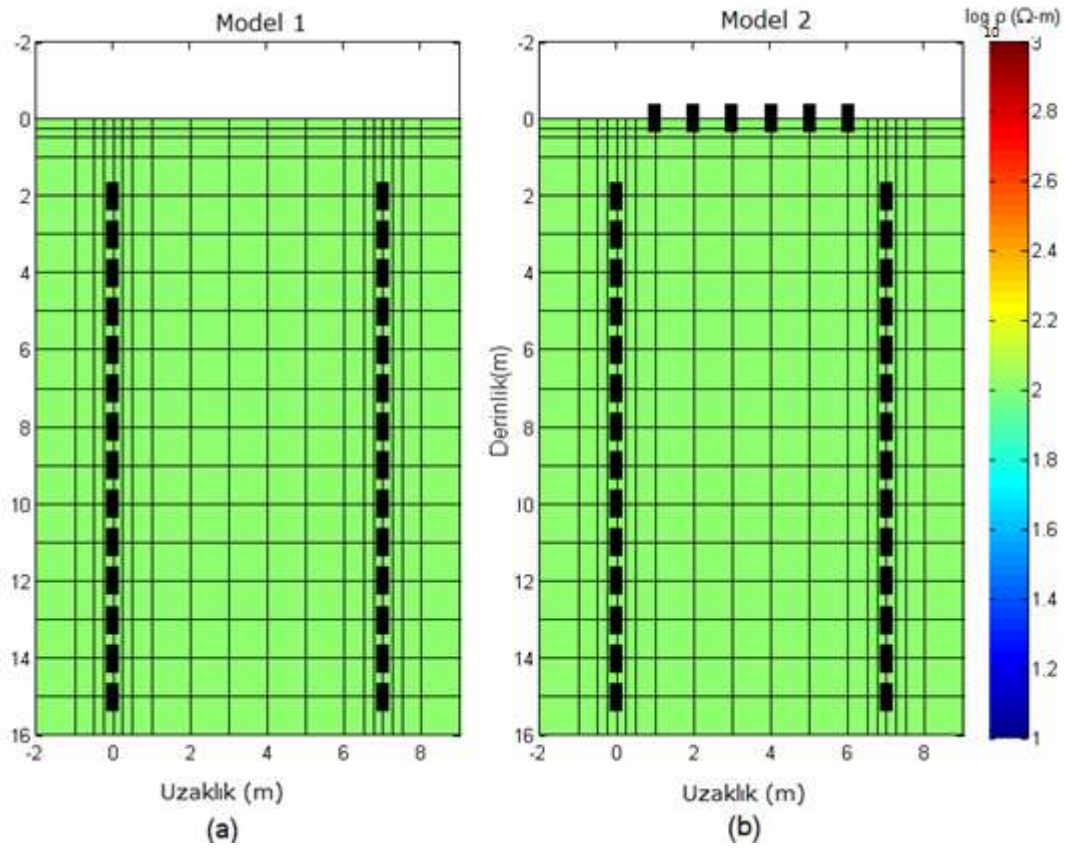
Bu bölümde düz çözüm algoritmasının test edilmesi amacı ile kuyu-kuyu, kuyu-yüzey ve tek kuyu dizilimlerinden birer dizilim seçilmiş ve homojen bir oram için görünür özdirençler hesaplanmıştır. Kuyu-kuyu ve tek kuyu dizilimlerinin görünür özdirencinin hesaplandığı model şekil 3.6.a'da, kuyu-yüzey diziliminin görünür özdirencinin hesaplandığı model şekil 3.6.b'de verilmiştir. Her bir kuyuda 14 elektrodun bulunduğu 28 elektrodlu bir sistemde, elektrod aralığı 1m olarak seçilmiştir. 100 ohm-m homojen ortamda üç farklı elektrod aralığı (1m, 2m ve 3m) ile veri toplandığı varsayılmıştır. Kuyu-yüzey diziliminde yüzeye altı adet elektrod eklenmiştir.



Şekil 3.4 Örnek sonlu farklar model ağı

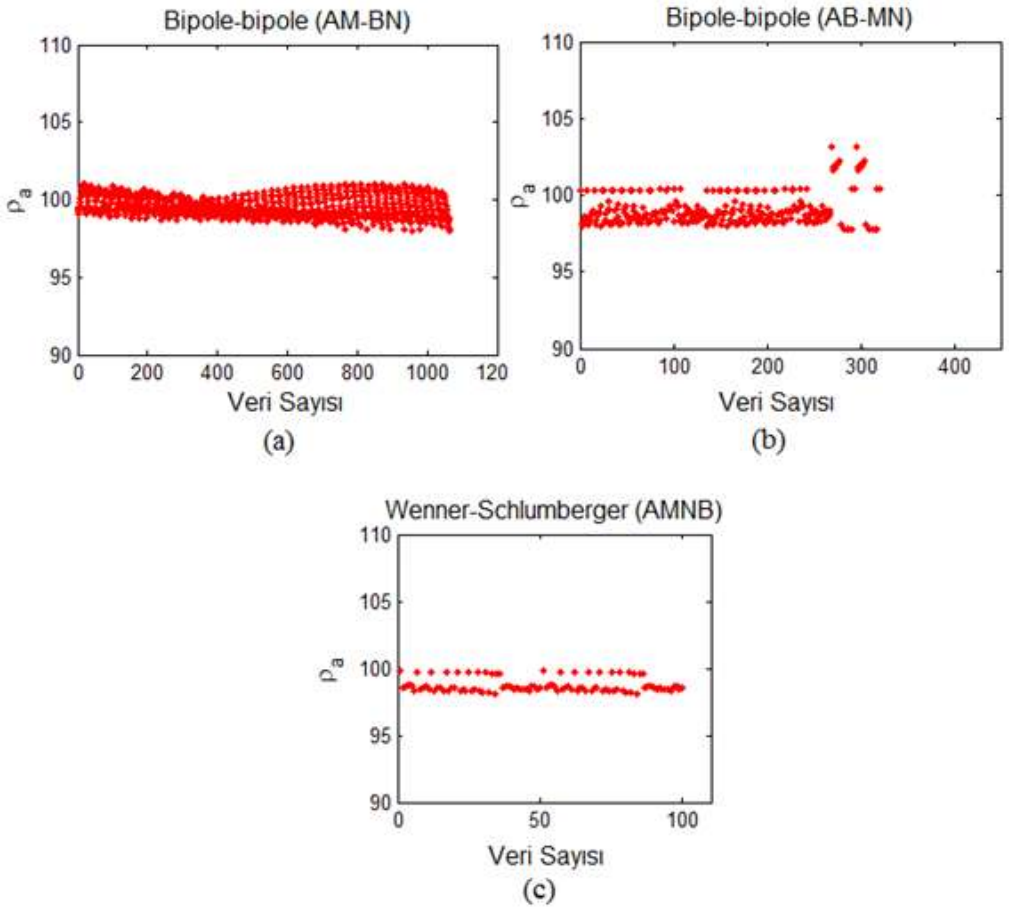


Şekil 3.5 Kuyular arası bölgedeki düğüm noktalarının gösterildiği sonlu farklar model ağı



Şekil 3.6 a. Kuyu-kuyu ve tek kuyu ölçüleri ve b. kuyu-yüzey dizilimi için 2B homojen özdirenç modelleri

Şekil 3.6 (a,b)'deki modeller için kuyu-kuyu (AM-BN), kuyu-yüzey (AB-MN) ve tek kuyu (AMNB) dizilmeleri kullanılarak özdirençler hesaplanmıştır. Şekil 3.7 (a-c)'de hesaplanan özdirençler veri sayısına karşı çizdirilmiştir. Düz çözüm sonucu, kuyu-kuyu (AM-BN) diziliminde 1064 adet veri hesaplanmış ve en büyük hata miktarı %1'dir. Kuyu-yüzey (AB-MN) diziliminde 321 adet veri hesaplanmış ve en büyük hata miktarı %2.9'dur. Tek kuyu (AMNB) diziliminde ise 100 adet veri toplanmıştır ve en büyük hata miktarı %1.9'dur. Dolayısıyla en büyük hata tek kuyu diziliminde %2 civarındadır. Bu sonuca göre geliştirilen algoritmanın en fazla %2 hata ile doğru çalıştığı görülmektedir.



Şekil 3.7 a. Kuyu-kuyu dizilimi (AM-BN) için hesaplanan görünür özdirençler, b. Kuyu-yüzey dizilimi için hesaplanan görünür özdirençler, c. tek dizilimi (AMNB) için hesaplanan görünür özdirençler

4. ÖZDİRENÇ TOMOGRAFİSİ VERİLERİN 2-B TERS ÇÖZÜMÜ

Ölçülen jeofizik veriden fiziksel parametrelerin hesaplanması işlemi ters çözüm olarak adlandırılır (Candansayar, 2002). Kuyu içi ölçülerde kullanılan ters çözüm algoritmalarında Daily veOwen (1991), en dik iniş, Shima (1992) en küçük kareler, Sasaki (1992), Loke ve Barker (1996), yuvarlatıcılı en küçük kareler yöntemini kullanmışlardır. Daha sonraki çalışmalarda, bir çok araştırmacı düzgünleştirici (regularized inversion) ters çözüm yöntemini kullanan 2B tomografi algoritması geliştirmiştir (Ellis ve Oldenburg 1994, LaBrecque vd.1996, Zhou ve Greenhalgh 2002). Elektrik yöntemlerde ters çözüm algoritmalarının bazıları model çözünürlük matrisine dayanmaktadır (Wilkinson vd. 2006, Loke vd. 2010). Stummer vd. (2004)'in ortaya koyduğu 'goodness function' (GF) yöntemi farklı elektrod dizilimlerinden oluşan veri setlerine uygulanabilir ve her bir dizilim için R matrisinin hesaplanmasına dayanır. Wilkinson vd. (2006), GF yöntemini geliştirerek 'modified goodness function' (MGF) yöntemini ve daha iyi çözünürlük elde eden fakat daha çok zaman kullanan 'compare R' (CR) yöntemini önermiştir. Loke vd. (2010) ise MGF ve CR yöntemlerini birleştirerek iki yöntemin avantajlarını bir arada kullanmıştır. En son Loke vd. (2014), kuyu içi ölçülerde iki farklı ters çözüm tekniğini karşılaştırmıştır (Model Resolution Max. Algorithm - A Method Using The Spread Value).

Anlatılan çalışmalarda genellikle kuyu-kuyu ölçülerinde kullanılan farklı kuyu içi dizilimlerinin çözüm güçleri ve ters çözüm algoritmaları birbiri ile karşılaştırılmıştır. Önceki çalışmalardan farklı olarak tezde kuyu-kuyu ölçülerinde dizilimlerin birleşik ters çözümü ve artan kuyular arası mesafeler için tek-kuyu ve karşılıklı kuyu ölçülerinin 'ardışık birleşik ters çözümü' önerilmektedir. Tezin ters çözüm kısmında düzgünleştiricili yuvarlatıcılı en küçük kareler yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde her yinelemede aşağıdaki gibi tanımlanan dikdörtgen dizey denklem sisteminden Δm çözümü aranmaktadır (Haber ve Oldenburg 2000, Candansayar 2008, Candansayar ve Tezkan 2008):

$$\begin{bmatrix} \mathbf{W_d A} \\ \sqrt{\alpha}\mathbf{C} \end{bmatrix} \Delta\mathbf{m} = \begin{bmatrix} \mathbf{W_d}\Delta\mathbf{d} \\ -\sqrt{\alpha}\mathbf{C}\mathbf{m}_i \end{bmatrix} \tag{4.1}$$

Bağıntı(4.1)'de A (NxM) boyutlu kısmi türevler dizeyini, Δd (Nx1) boyutunda ölçülen ve kuramsal veri farkından oluşan yöneyi, Δm (Mx1) boyutunda parametre düzeltme yöneyini, C (MxM) boyutunda yuvarlatma dizeyini, W_d (NxN) boyutunda veri ağırlıklandırma dizeyini ve α ise düzgünleştirici parametresini, i indisi ise yineleme sayısını temsil eder.

C yuvarlatma dizeyi, her bir parametrenin komşu parametreler ile ilşikisini tanımlar. Model parametrelerinin biribirinden bağımsız davranış yapmasını engeller. Model paramtrelerinin laplacienlerinin L_2 normunun alınması ile hesaplanır. Ayrıntılar için Oldenbug (1993), Aster (2004) ve Candansayar (2008)'a bakılabilir.

Kısmi türevler dizeyi, düz çözüm için kullanılan (3.12)'de doğrusal denkleminin her bir bloğun iletkenliğe göre türevinin alınması ile hesaplanır. Bağıntıda iletkenliklere göre türev alındığına kaynakla ilgili terim sıfır olur ve bağıntı (4.2)'deki eşitlik elde edilir:

$$C\frac{\partial \phi}{\partial \sigma_n} = -\frac{\partial C}{\partial \sigma_n}\phi \tag{4.2}$$

Ters çözüm algoritmasında RMS (root mean squares) değerlerinin hesaplanması bağıntı(4.3)'de verilmiştir.

$$\mathrm{RMS} = \sqrt{\frac{(\boldsymbol{W}_d \Delta \boldsymbol{d})^T (\boldsymbol{W}_d \Delta \boldsymbol{d})}{N}} \tag{4.3}$$

Bağıntı(4.3)'de N veri sayısıdır. Yineleme işlemi, RMS değerinin azalmaması veya birin altına düşmesi durumunda durudurulur.

5. YAPAY VERİ İLE KUYU İÇİ ELEKTROD DİZİLİMLERİNİN 2B TERS ÇÖZÜMDE ÇÖZÜM GÜÇLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Bu bölümde, geliştirilen algoritma ile dört farklı model üzerinden yapay veri uygulamaları yapılmıştır. Kuyu-kuyu, kuyu-yüzey ve tek kuyu dizilimlerinin ayrık ters çözüm sonuçları göz önünde bulundurularak dizilimlerin çözüm güçleri karşılaştırılmıştır. İlk iki çalışmada kuyu-kuyu ve tek kuyu dizilimleri için farklı kuyular arası mesafe ve kuyu boyunun olduğu modeller seçilmiştir. Üçüncü çalışmada kuyu-yüzey elektrod dizilimleri karşılaştırılmıştır. Dördüncü çalışmada ise kuyu-kuyu ölçülerine kuyu-yüzey ölçüsü eklenmiş ve sonuçları tartışılmıştır.

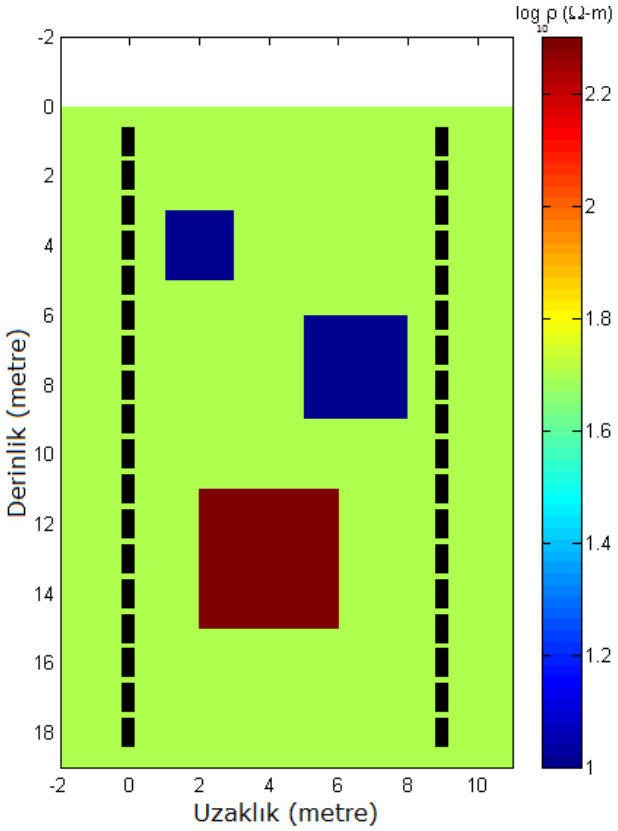
Tüm çalışmalarda hesaplanan verilere ters çözüm öncesi %2 Gaussian gürültü eklenmiştir. Ayıca yineleme sayıları, RMS(%) değerleri, veri sayıları, geometrik faktörün en büyük ve en düşük değerleri tablolar halinde verilmiştir.

İzleyen bölümde, yapay veri uygulamasında, bir sonraki aşama olarak farklı dizilimlerin avantajlarını birlikte kullanmak için, birleşik ve ardışık birleşik ters çözüm yapılmıştır.

5.1 Model Çalışması 1

Model 1’ de 50ohm-m homojen ortam içerisinde, 9 metre aralıklı 18 metre derinliğinde iki kuyu arasında farklı derinliklerde üç farklı boyutta blok bulunmaktadır (Şekil 5.1). Her kuyuda 1 metre aralıklı 18 olmak üzere toplam 36 elektrod kullanılmıştır. En derindeki 4x4 metre boyutunda olan yapının özdirenci 200 ohm-m’dir. 2x2 metre ve 3x3 metre boyutlarındaki diğer iki bloğun özdirenci ise 10 ohm-m’ dir. Bu model yüzeyden farklı derinliklerdeki iletken metalik cevher veya dirençli karstik boşlukları temsil etmektedir.

Şekil 5.2.a-d’de KK-1, şekil 5.3 a-d’de KK-2 ve şekil 5.4.a-e’de TK dizilimlerinin ters çözüm sonuçları verilmiştir. Çizelge 5.1’de KK-1, çizelge 5. 2’de KK-2, çizelge 5. 3’de ise TK dizilimleri için ters çözümde kullanılan veri sayısı, RMS(%) değerleri, geometrik faktörün aldığı en büyük ve en küçük değerler sıralanmıştır.



Şekil 5.1 2-B Özdirenç modeli (Model 1)

Gerçek model ile ters çözüm sonuçları karşılaştırıldığında, KK - 1 dizilimlerinde yapı sınırları iyi belirlenememiştir (Şekil 5.2.a-d). Yapı sınırları olduğundan büyük, özdirençleri ise tekdüze ortamın özdirencine yakın bulunmuştur. Bu sonucun sebebi KK-1 dizilimleri için sinyal katkı kesitleri incelendiğinde anlaşılabilir. Hedef bölgede yatay olarak tek yönlü sinyal katkı bölgesi görülmektedir. KK-2 dizilimlerinin ters çözüm sonuçları ile gerçek model karşılaştırıldığında, pole-tripole dizlimi dışındaki diğer dizilimlerde yapı sınırları ve özdirenç değerlerinin iyi çözülemediği görülmektedir (Şekil 5.3.a-d). TK dizilimlerinin ters çözüm sonuçları (Şekil 5.4.a-e) ile gerçek model karşılaştırıldığında ise AMN, ABM, BAMN dizilimlerinin sonuçları ayrık ters çözümler arasındaki en iyi sonuçlardandır.

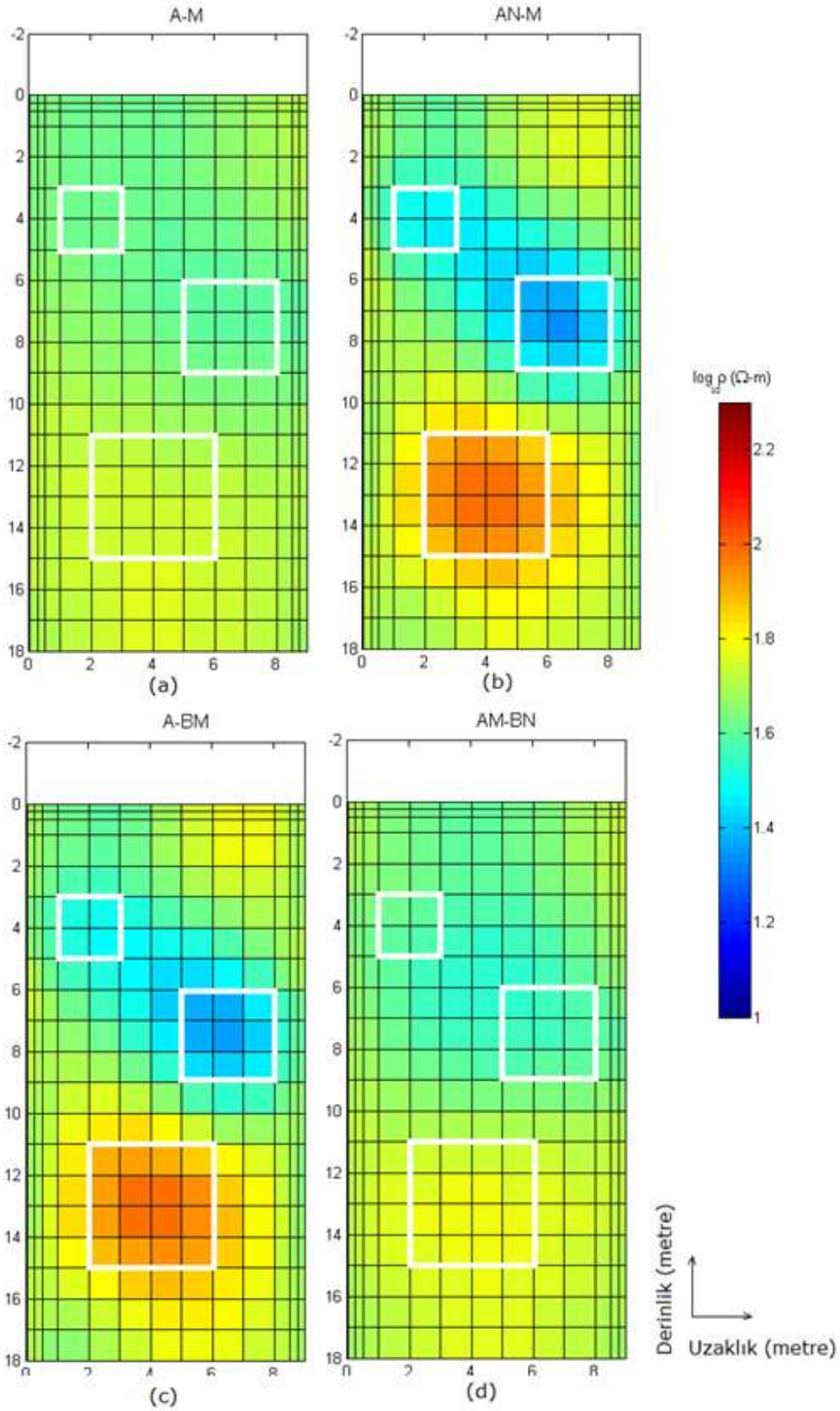
KK-1 dizilimlerinden, bipole-bipole (AM-BN) diziliminde A-B ve M-N elektrodlarının arasındaki dik uzaklık (z yönünde) en fazla belirlenen elektrod aralığının iki katı kadar açılmıştır. Elektrodlar arası mesafenin iki katından daha büyük değerleri alındığında veri sayısı binlerce olmakta, ancak ters çözüm sonucunu çok etkilememektedir.

Çizelge 5.2’ de görüldüğü gibi KK-2 dizilimlerinde geometrik faktörler çok büyük değerler almaktadır. Bu dizilimlerin ortak özelliği, aynı tip elektrodların aynı kuyuda olmasıdır. Bu durumda kuyular arası mesafenin artması sonucu akım ve potansiyel elektrodlar arası mesafe büyüyecek, dolayısıyla geometrik faktör büyüyecek ve doğal olarak sinyal genliği de çok küçülecektir. Genliğin düşmesi verinin gürültülü ölçülme riskini artıracaktır. Çizelge 5.2’ de altı çizili satırlarda bulunan veri sayıları ilgili dizilim için mümkün olan tüm elektrot kombinasyonları için veri sayılarını göstermektedir. Geometrik faktörlerin çok büyük olması, yani gerilim farklarının çok küçük olması hem arazi verisi toplarken ölçülen sinyalin ölçü aletinin duyarlılığının altında kalmasına, hem de sayısal çözümdeki kuramsal veri hesabında yuvarlatma hatalarına neden olacaktır. Bu sebeple KK-2 dizilimleri için algoritmada belirli bir geometrik faktörün üstündeki değerler elenmiştir. Arazi verisi toplarken bu durum göz önünde bulundurulmalıdır. Böylece hem zaman kaybı önlenmiş hem de gürültülü veriler toplanmamış olacaktır.

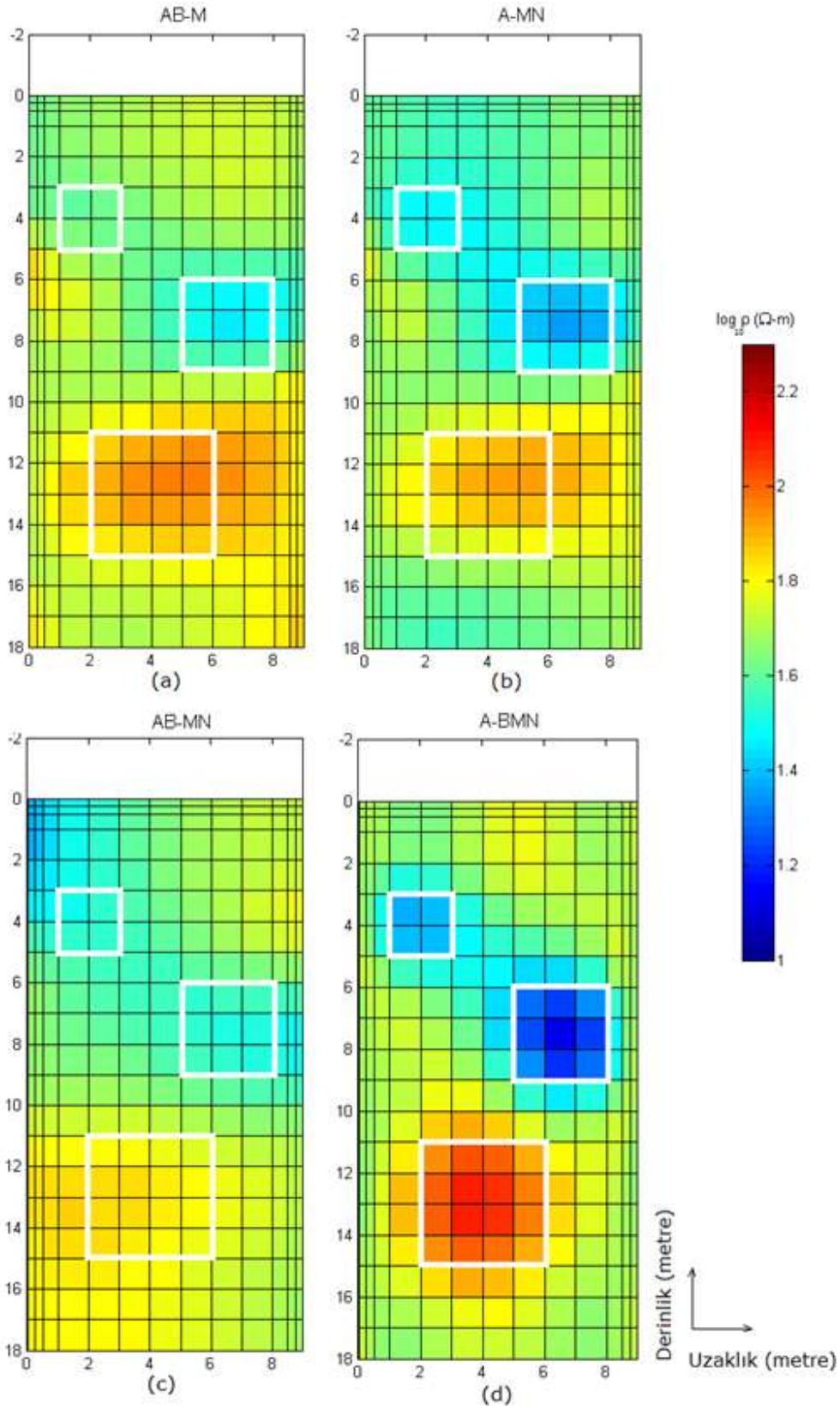
Bu modelde bipole-pole (AB-M), pole-bipole (A-MN) ve pole-tripole (A- BMN) için geometrik faktör sınırı 1000m seçilmiştir. Bipole-bipole (AB-MN) diziliminde ise en küçük geometrik faktör değeri 1331 m’dir ve bu değer 5000 metrenin üzerinde olduğu durumda kuramsal veriler saçılmaktadır. Bu nedenle bu dizilimde 5000m değerinin üzerinde olanlar kullanılmamıştır. Bunun sonucunda veri sayısında aşırı bir düşüş görülmektedir. Geometrik sınırın uygulanması ile bipole-bipole (AB-MN) diziliminde %87.4, pole-bipole (A-MN) diziliminde %92.8, pole-tripole (A-BMN) diziliminde 26.6 ve bipole-pole (AB-M) diziliminde %94 oranında veri kaybı olmuştur (Çizelge 5.2). Bu sınırlamalar ile kuyular arası mesafe arttığında veri ölçme olasılığı da ortadan kalkacaktır.

Genel olarak KK-1, KK-2 ve TK dizilimlerinin karakteristik özellikleri vardır. Bu özelliklere göre çözülecek jeofizik problem için hangi dizilimlerin kullanılmasının uygun olacağı kararlaştırılabilir.

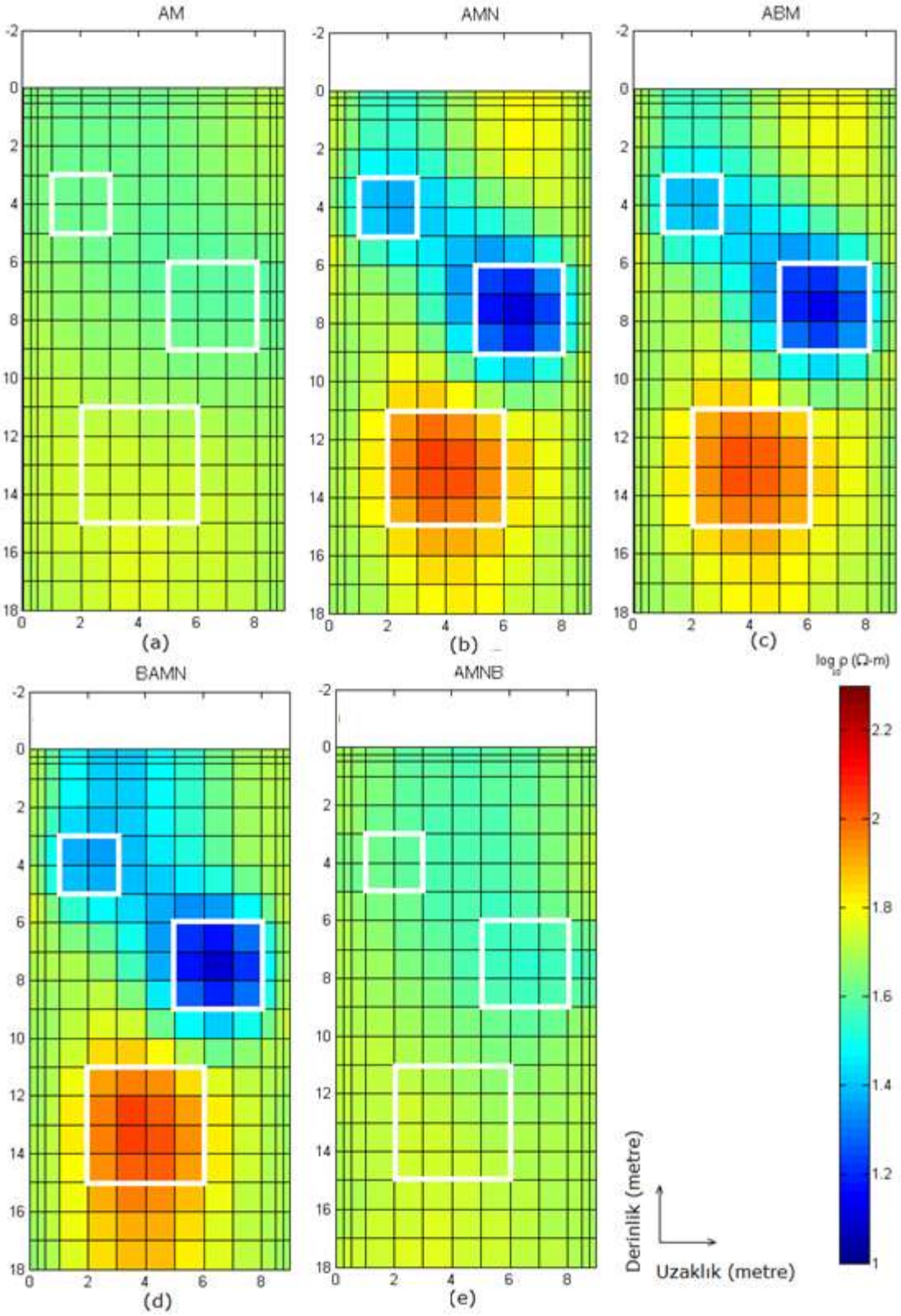
Tüm ters çözüm sonuçları incelendiğinde KK-2 dizilimlerinden pole-tripole (A-BMN), TK dizilimlerinden ise pole-bipole (AMN) ve bipole-pole (BMN) çözünürlük açısından öne çıkan dizilimlerdir. Bu sebeple bu üç dizilimin birleşik ters çözümü izleyen bölümde verilmiştir.



Şekil 5.2.a-d KK-1 dizilimleri ters çözüm sonuçları



Şekil 5.3.a-d KK-2 dizilimleri ters çözüm sonuçları (a-a4)



Şekil 5.4.a-d TK dizilimleri ters çözüm sonuçları (a-e)

Çizelge 5.1 KK -1 dizilimleri ters çözüme kullanılan veri sayısı, en büyük ve en küçük geometrik faktör değerleri (k_{max} ve k_{min}), toplam yineleme sayısı ve ters çözüm sonucu RMS değerleri (Model 1).

MODEL 1 (KK-1)					
Dizilim Adı	RMS (%)	Yin.	Veri Sayısı	k_{max}(m)	k_{min}(m)
Pole-Pole (A - M)	1.9	3	648	112	9.4
Pole-Bipole (AM-N)	1.43	5	522	1103	11.16
Bipole-Pole (A-BM)	1.82	5	504	1055.8	11.2
Bipole-Bipole (AM-BN)	1.84	4	1196	20.21	5.6

Çizelge 5.2 KK-2 dizilimleri ters çözümde kullanılan veri sayısı, en büyük ve en küçük geometrik faktör değerleri (k_{max} ve k_{min}), toplam yineleme sayısı ve ters çözüm sonucu RMS değerleri (Model 1).

MODEL 1 (KK-2)					
Dizilim Adı	RMS (%)	Yin.	Veri Sayısı	k_{max}(m)	k_{min}(m)
Bipole-Pole (AB-M)			696	132247	465
	2.84	6	50	980.9	465
Pole-Bipole (A-MN)			780	565662	464
	1.98	6	56	980	464
Bipole-Bipole (AB-MN)			570	3890284	1331
	10.6	3	30	3885	1331
Pole-Tripole (A-BMN)			856	23799	15.97
	1.41	5	628	993	15.97

Çizelge 5.3 TK dizilimleri ters çözümde kullanılan veri sayısı, en büyük ve en küçük geometrik faktör değerleri (k_{max} ve k_{min}), toplam yineleme sayısı ve ters çözüm sonucu RMS değerleri (Model 1).

MODEL 1 (TK)					
Dizilim Adı	RMS (%)	Yin.	Veri Sayısı	k_{max}(m)	k_{min}(m)
Pole-Pole (AM)	1.92	3	456	112	9.4
Pole-Bipole (AMN)	1.78	5	930	12026	15.24
Bipole-Pole (ABM)	1.88	5	696	12026	21.5
Bipole-Bipole (ABMN)	1.59	5	556	63531	38
Wenner-Sch. (AMNB)	2.09	4	192	353.5	11.8

5.2 Model Çalışması 2

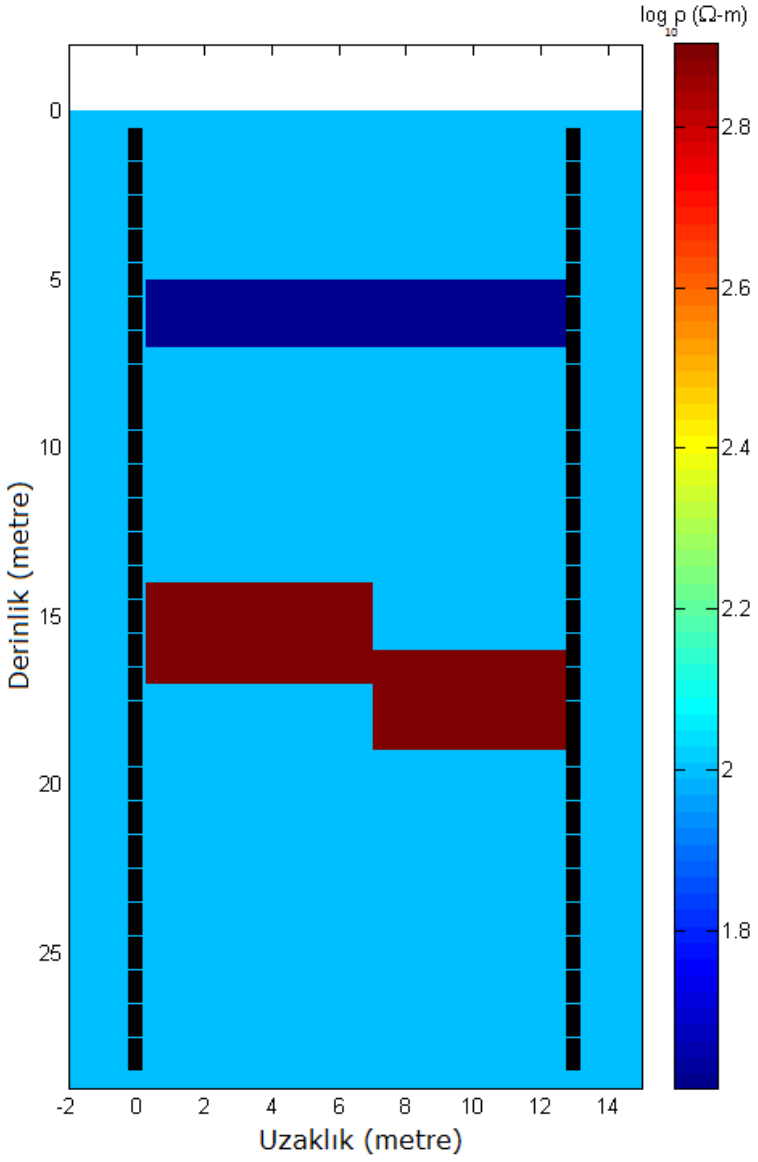
Model 2' de 100 ohm-m tekdüze ortamda 13 metre aralıklı 28 metre derinliğinde iki kuyu arasında tabaka şeklinde iki yapı bulunmaktadır (Şekil 5.5). Her kuyuda 28 elektrod olmak üzere, elektrodlar arası mesafenin 1m olduğu, toplamda 56 elektrod kullanılmıştır. Yüzeyden 5 metre derinlikte 2 metre kalınlığında 40 ohm-m özdirençli bir tabaka ve onun altında 14 metre derinliğinde 3 metre kalınlığında 800 ohm-m özdirençli bir yapı bulunmaktadır. Bu modelde ise aşağıdaki iletken tabaka kömür damarını temsil etmektedir.

Kuyular arası mesafenin artması sonucu KK-2 dizilimi olan AB-M, A-MN ve AB-MN dizilimlerinde geometrik faktörler çok büyümektedir. Dolayısıyla çok küçük gerilim farkları ölçülmektedir. Geometrik faktör sınırlaması uygulandığında ise yetersiz sayıda veri kalmaktadır. Bu durum, düz çözüm kısmında hatalı veri ölçmeye neden olurken, bu hatalı veriler ile ters çözüm yapıldığı taktirde ise jacobian dizeyi hesaplanması esnasında sayısal hatanın artmasına sebep olmaktadır. Hata içermeyen veri sayısı

oldukça az olacaktır. Bu nedenden dolayı kuyular arası mesafenin büyüdüğü bu gibi durumlarda pol-tripole dizilimi hariç KK-2 dizilimleri ile veri toplamak verimli sonuç elde etmemizi sağlamayacaktır. Hata içermeyen veri sayısı oldukça düşük olabilir. Bu sebeple bu uygulama da, KK-1 dizilimleri ve pole-tripole dizilimi kullanılmıştır ve ters çözüm sonuçları Şekil 5.6.a-e'de görülmektedir. Tek kuyu dizilimlerinin ters çözüm sonuçları ise Şekil 5.7.a-e'de verilmiştir. Ayrıca arazi verisi uygulamalarında KK-1, KK-2 ve SH dizilimlerinin bir çok kombinasyonu ile birleşik ters çözüm yapılmıştır. Bu uygulamada geometrik faktör limiti 5000 m seçilmiştir. Bu değerin üstünde geometrik faktör değeri içeren veriler hiç bir dizilimde ters çözümde kullanılmamıştır.

Model 1' in ters çözüm sonuçlarında iyi sonuç verdiğini söylediğimiz AMN, ABM ve BAMN dizilimlerinin Model 2'nin ters çözüm sonucunda özellikle kuyu ortası bölgede yalancı anomaliler ürettiği görülmektedir. Sinyal katkı kesitlerinden anlaşılacağı gibi SH dizilimlerinde kuyular arası mesafe arttıkça hedef bölgenin ortasından bilgi alınması zorlaşacaktır. Bu sebeple kuyular ortası bölgenin çözünürlüğü düşmüştür. Bu örnekte en iyi sonuç pole-tripole dizilimi ile elde edilmiştir. Kuyu-kuyu ve tek kuyu dizilimlerinin birleşik ters çözümü ile bu sorun giderilebilmektedir. İzleyen bölümde birleşik ters çözüm sonuçları verilmiştir.

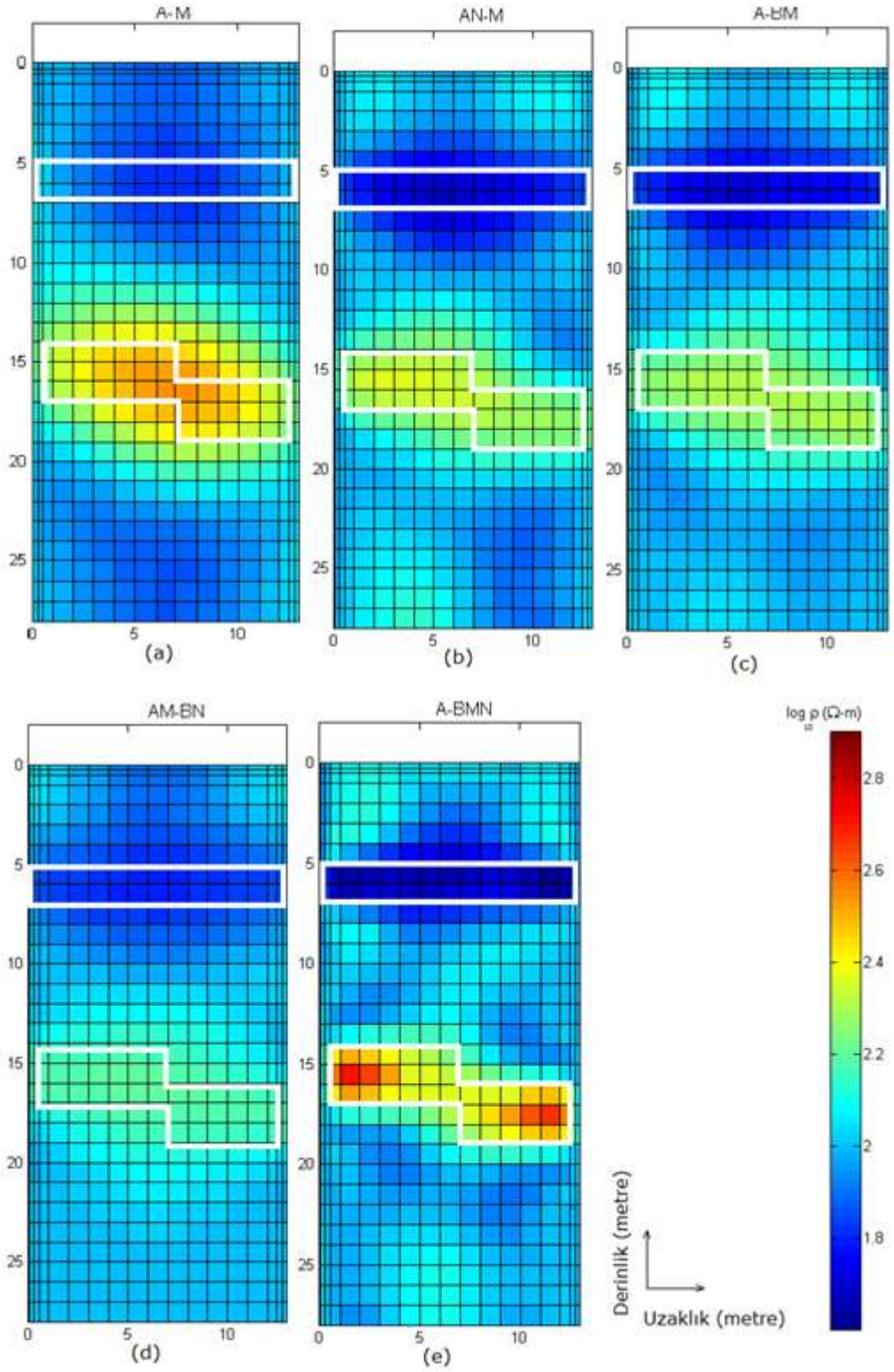
Çizelge 5.4'de kullanılan tüm dizilimlerin ters çözüm sonucu elde edilen RMS değerleri, yineleme sayıları, ters çözümde kullanılan veri sayısı, geometrik faktörün en büyük ve en küçük değerleri verilmiştir.



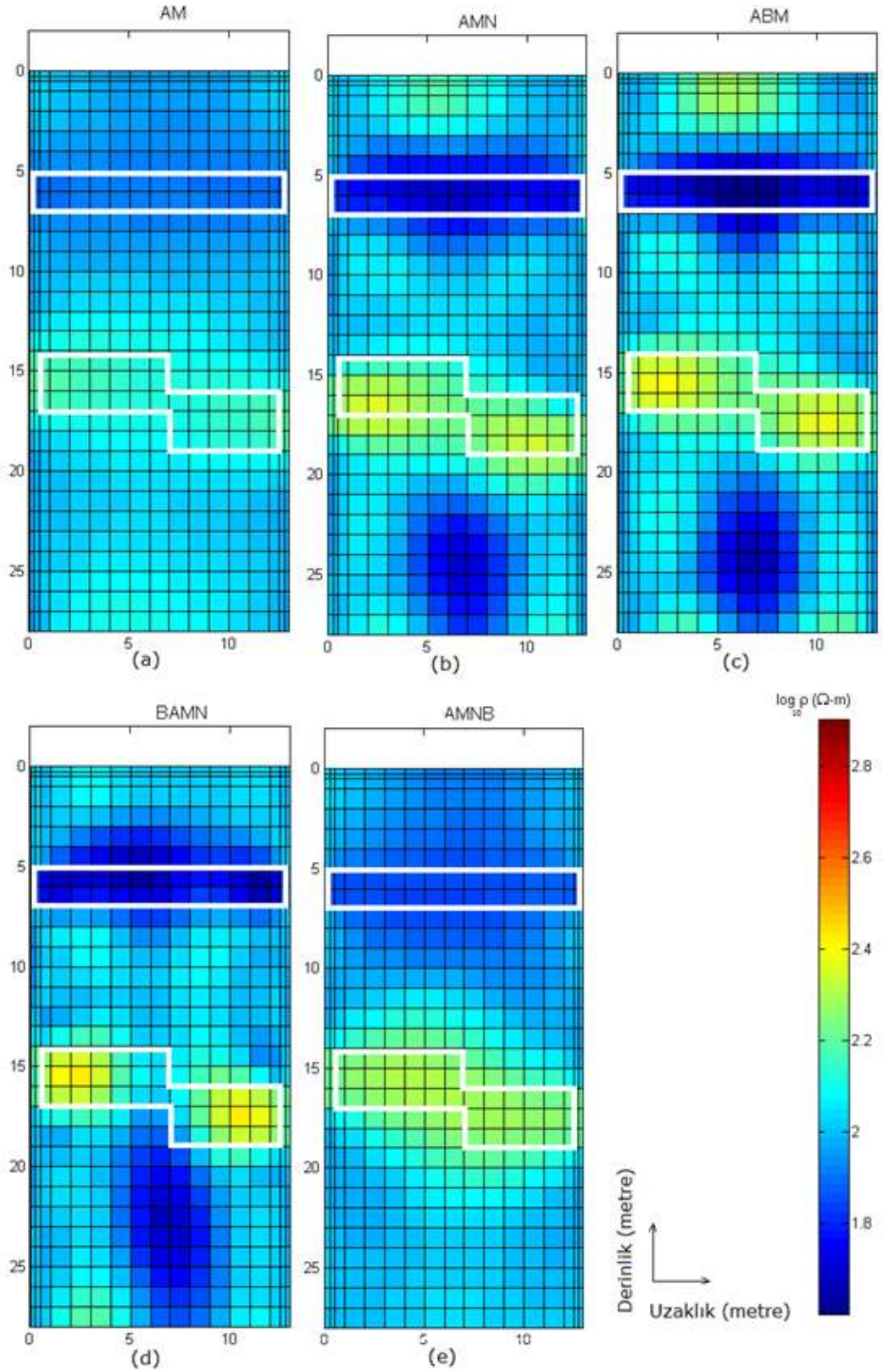
Şekil 5.5 2-B Özdirenç modeli (Model 2)

Çizelge 5.4 Dizilimlerin ters çözümde kullanılan veri sayısı, en büyük ve en küçük geometrik faktör değerleri (k_{max} ve k_{min}), toplam yineleme sayısı ve ters çözüm sonucu RMS değerleri (Model 2).

MODEL 2					
Dizilim Adı	RMS (%)	Yin.	Veri Sayısı	k_{max}(m)	k_{min}(m)
Pole-Pole (A-M)	2.98	4	1006	1757	9.4
Pole-Pole (AM)	3.98	4	1568	194	82
Pole-Bipole (AMN)			3608	45683	15.2
	1.95	5	2464	4992	21.5
Pole-Bipole (AM-N)	1.73	5	1316	1923	10.6
Pole-Tripole (A-BMN)			2395	61505	15.8
	1.33	6	2034	4966.6	15.8
Bipole-Pole (ABM)			1860	45683	21.5
	1.3	6	1710	4992	21.5
Bipole-Pole (A-BM)	1.45	5	1328	1880	10.6
Bipole-Bipole (ABMN)	1.53	5	317	29.14	5.3
Bipole-Bipole (AM-BN)	1.74	4	4826	940	5.31
Wenner-Sch. (AMNB)	1.99	5	576	860	11.8



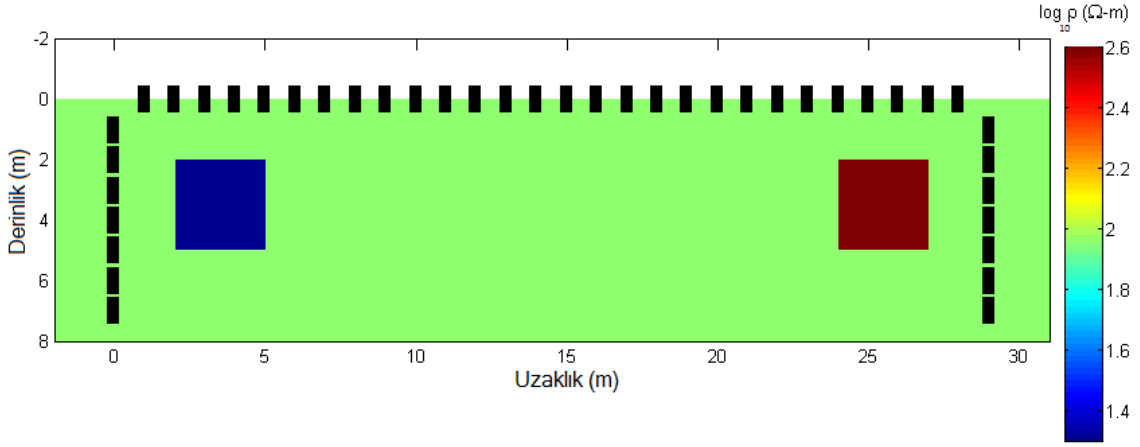
Şekil 5.6.a-d KK-1 dizilimleri, e. pole-tripole dizilimi ters çözüm sonuçları



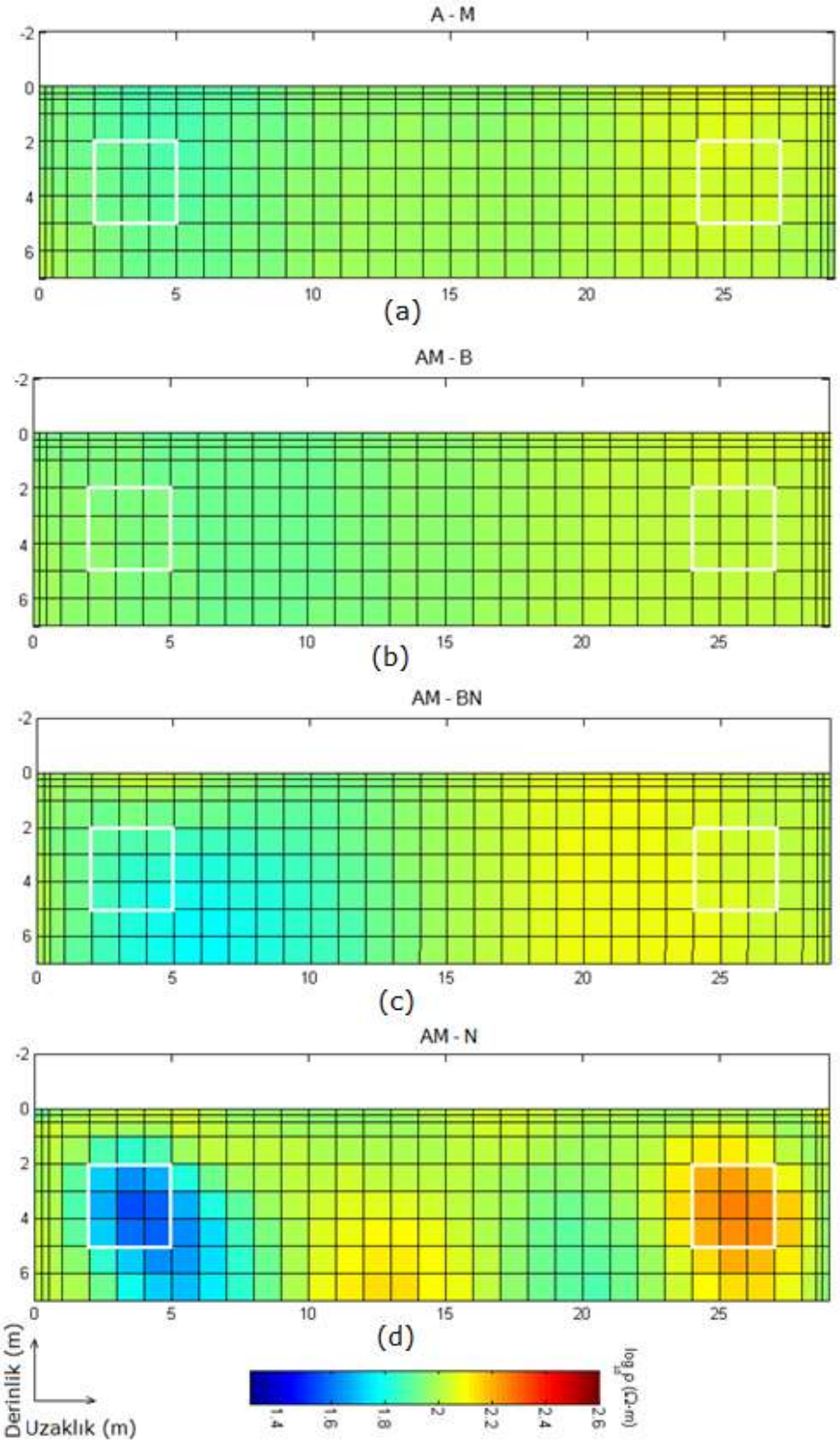
Şekil 5.7.a-e TK dizilimleri ters çözüm sonuçları

5.3 Model Çalışması 3

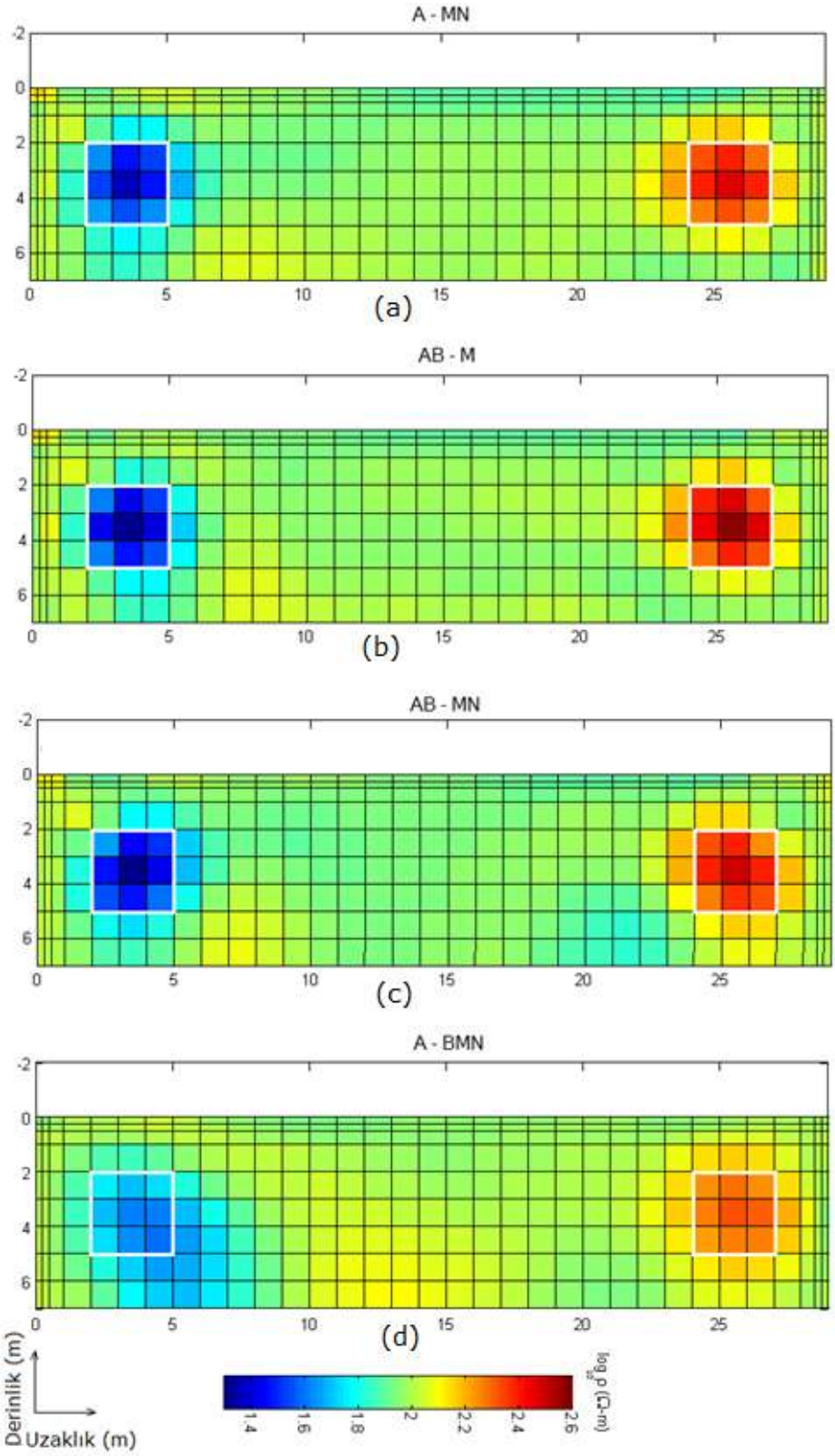
Bu model çalışmasında kuyu-yüzey dizilimlerinin çözüm güçleri karşılaştırılmıştır. Kuyu-yüzey çalışmalarında ilk kuyu elektrodunun yüzeyden derinliği önemlidir. İlk kuyu elektrodu ile yüzey elektrdoları arasındaki mesafenin büyümesi sonucu, kuyu-kuyu ölçülerinde kuyular arası mesafenin artması ile karşımıza çıkan geometrik faktörün büyümesi, düşük gerilim farkı ölçülmesi gibi problemlerle karşılaşabiliriz. Şekil 5.8'de yüzeyde 28 elektrod ve her bir kuyuda 7 adet elektrodun bulunduğu Model 3 verilmiştir. Elektrodlar arası mesafe 1m'dir.Tekdüze 100 ohm-m ortamda, profilin 2-5 metre arasında kalan yapı 3x3 boyutunda ve özdirenci 20 ohm-m, 24-27 metre arasında kalan yapı ise aynı boyutlarda ve 400 ohm-m'dir. Yapıların yüzeyden derinliği 2 m'dir. Şekil 5.9.a-d'de (KY-1) ve Şekil 5.10.a-d'de (KY-2) kuyu-yüzey dizilimlerinin ters çözümleri görülmektedir. Kuyu-yüzey ölçüleri,her iki kuyu kullanılarak toplanmıştır.



Şekil 5.8 2-B Özdirenç modeli (Model 3)



Şekil 5.9.a-d KY-1 dizilimleri ters çözüm sonuçları



Şekil 5.10.a-d KY-2 dizilimleri ters çözüm sonuçları

Ters çözüm sonuçları incelendiğinde özellikle KK-2 (A-MN, AB-M, AB-MN ve A-BMN) dizilimleri yapıların özdirenç ve sınırlarını oldukça iyi belirleyen dizilimler olarak göze çarpmaktadır. Dizilimlerin birleşik ters çözümleri izleyen bölümde verilmiştir.

Çizelge 5.5'de dizilimlerin ters çözümde kullanılan veri sayısı, yineleme sayıları ve ters çözüm sonucu RMS değerleri verilmiştir.

Çizelge 5.5 Dizilimlerin ters çözümde kullanılan veri sayısı, yineleme sayısı ve ters çözüm sonucu RMS değerleri (Model 3)

MODEL 3 (KY-1 & KY-2)			
Dizilim Adı	RMS (%)	Yin.	Veri Sayısı
A-M	2.4	2	1426
A-MN	.17	6	723
AM-N	1.05	6	442
A-BMN	1.2	5	721
AB-M	1.4	7	1698
AM-B	1.27	9	788
AM-BN	1.7	4	195
AB-MN	1.3	6	682

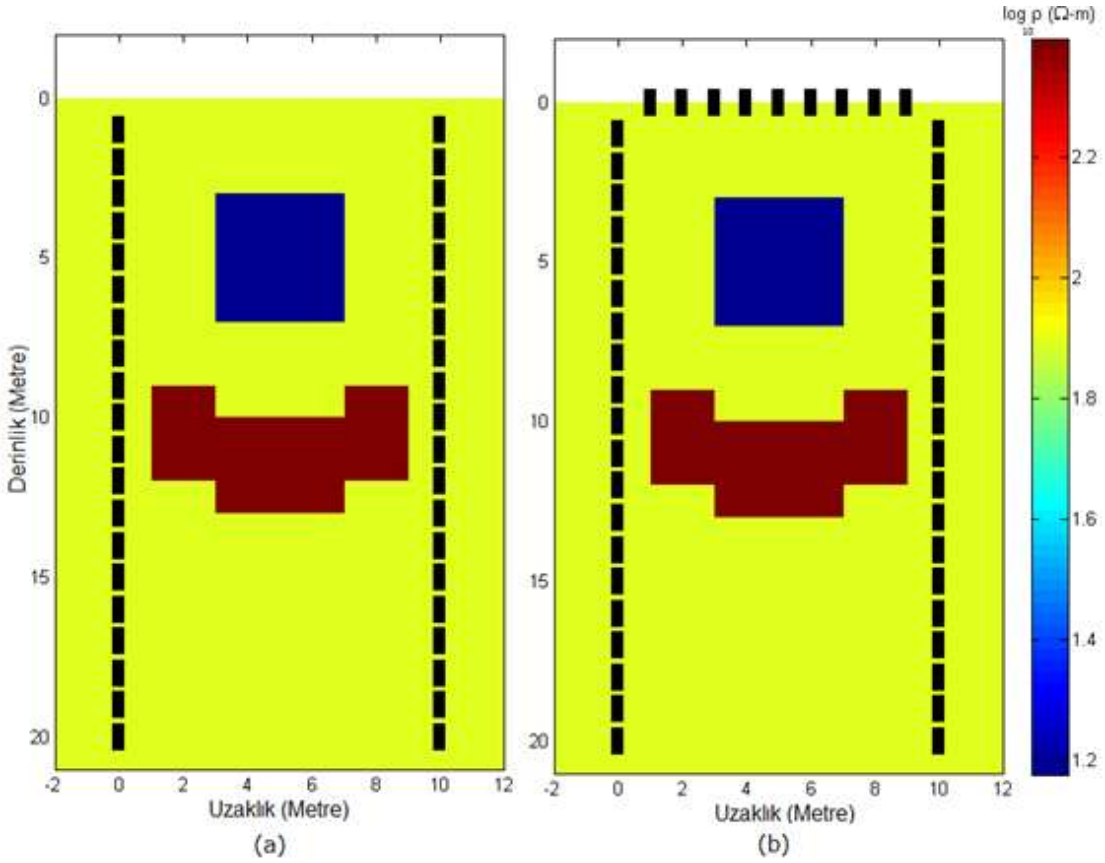
5.4 Model Çalışması 4

Bu örnekte kuyu-kuyu ölçülerine kuyu-yüzey ölçüleri eklenmiştir ve ters çözüm sonuçları tartışılmıştır. Sugimoto (1999) ve Wilkinson (2006) çalışmalarında kuyu içinde toplanılan verilere kuyu-yüzey verilerinin eklenmesinin daha iyi çözünürlük elde edileceğini söylemiştir.

Şekil 5.11.a'da her kuyuda 20 elektrodun kullanıldığı ve kuyular arası mesafenin 10 metre olduğu model görülmektedir. Kuyu-yüzey verisi toplanması amacı ile kuyular arasında yüzeye 9 elektrod eklenmiştir (Şekil 5.11.b). Modelde 80 ohm-m tekdüze

ortam içerisinde 15 ohm-m özdirence sahip yapı 4x4 boyutlarındadır. Yüksek özdirençli yapı ise 250 ohm-m'dir

Çizelge 5.6'da dizilimlerin ters çözümde kullanılan veri sayısı, yineleme sayıları ve ters çözüm sonucu RMS değerleri verilmiştir.



Şekil 5.11 2-B Özdirenç modeli (Model 4), a. kuyu-kuyu, b. kuyu-yüzey

Şekil 5.11-5.15'de kuyu-kuyu, tek kuyu ölçülerinin kuyu-yüzey ölçüleri ile birleşik ters çözümleri verilmiştir.

Şekil 5.12.a'da pole-pole (AM) diziliminin tek kuyu ölçülerinden elde edilen verilerin, Şekil 5.12.b'de pole-pole diziliminin hem tek kuyu (AM) hem de kuyu-yüzey (A - M) dizilimleri ile elde edilen verilerin ters çözümü verilmiştir. Bu dizilimde yapı sınırlarına ve özdirençlerine iyi bir yaklaşım yapılamamıştır.

Şekil 5.12.c'da bipole-pole (AM -B) diziliminin kuyu -kuyu ölçülerinden elde edilen verilerin, şekil 5.12.d'de bipole-pole diziliminin hem kuyu-kuyu (AM - B) hem de kuyu-yüzey (AM -B) dizilimleri ile elde edilen verilerin ters çözümü görülmektedir. Kuyu-kuyu ölçülerine, kuyu-yüzey ölçülerinin eklenmesi ile yapı özdirenç ve sınırları gerçek modele daha çok yaklaşmıştır. Özellikle yüzeye yakım bölgelerin çözünürlüğü artmıştır.

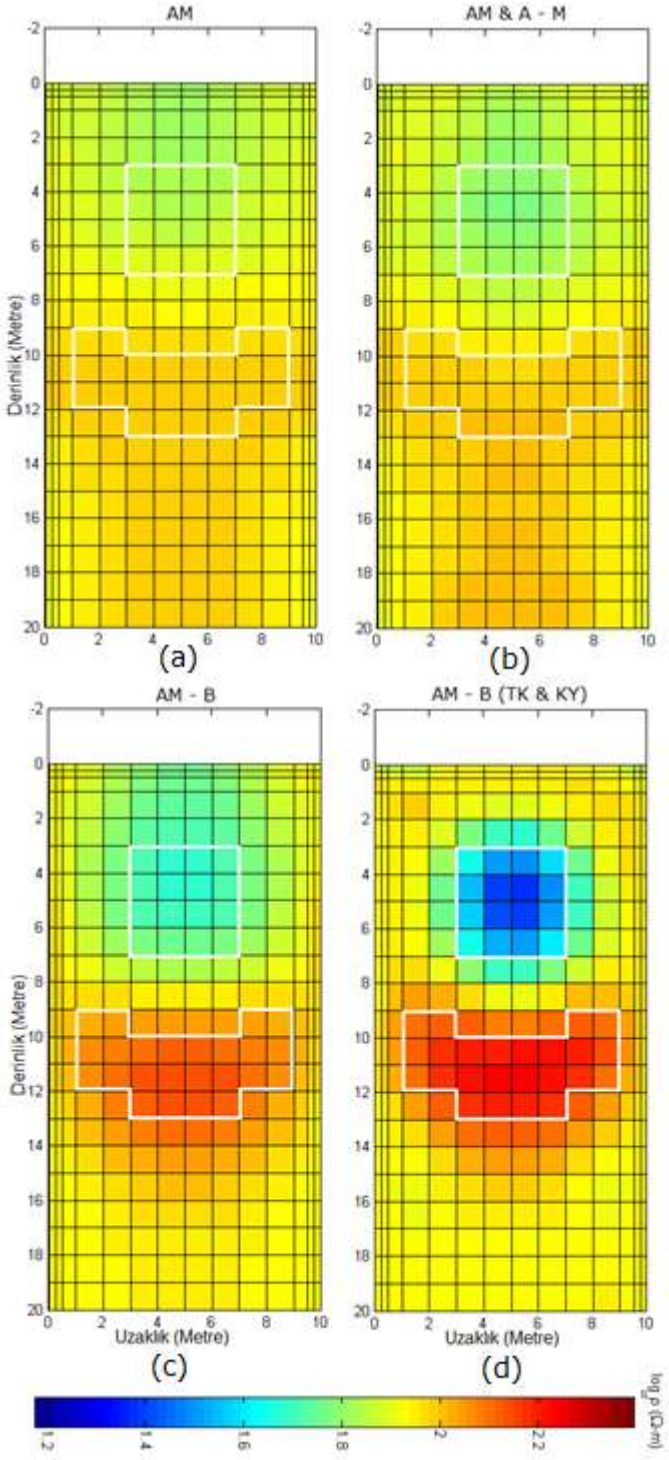
Şekil 5.13.a'da pole-bipole (AMN) diziliminin tek kuyu ölçülerinden elde edilen verilerin, şekil 5.13.b'de pole-pole diziliminin hem tek kuyu (AMN) hem de kuyu-yüzey (A- MN) dizilimleri ile elde edilen verilerin ters çözümü verilmiştir. Aynı şekilde şekil 5.13.c'de bipole-bipole (ABM) diziliminin tek kuyu ölçülerinden elde edilen verilerin, şekil 5.13.d'de bipole-pole diziliminin hem tek kuyu (ABM) hem de kuyu-yüzey (AB- M) dizilimleri ile elde edilen verilerin ters çözümü görülmektedir. Tek kuyu pole-bipole be bipole-pole dizilimleri çözünürlüğü iyi veren dizilimlerdendir. Bu dizilimlere kuyu-yüzey ölçülerinin eklenmesi ile yapı sınırları daha iyi belirlenmiştir.

Şekil 5.14.a 'da ve şekil 5.14.c 'de kuyu-kuyu AM-BN ve AM-N dizilimlerinin, şekil 5.14.b'de ve şekil 5.14.d'de ise hem kuyu-kuyu hem de kuyu-yüzey AM-BN ve AM-N dizilimlerinin ters çözüm sonuçları verilmiştir. Önceki bölümlerde bahsedildiği üzere, AM-BN dizilimi tek yönlü ve güçlü sinyal ürettiği için ters çözüm sonucunda hakim özdirenç temsil edilmektedir. AM-N diziliminde Kuyu-kuyu ve kuyu-yüzey verilerinin birlikte ters çözüm yapılması ile çözünürlüğün arttığı görülmektedir.

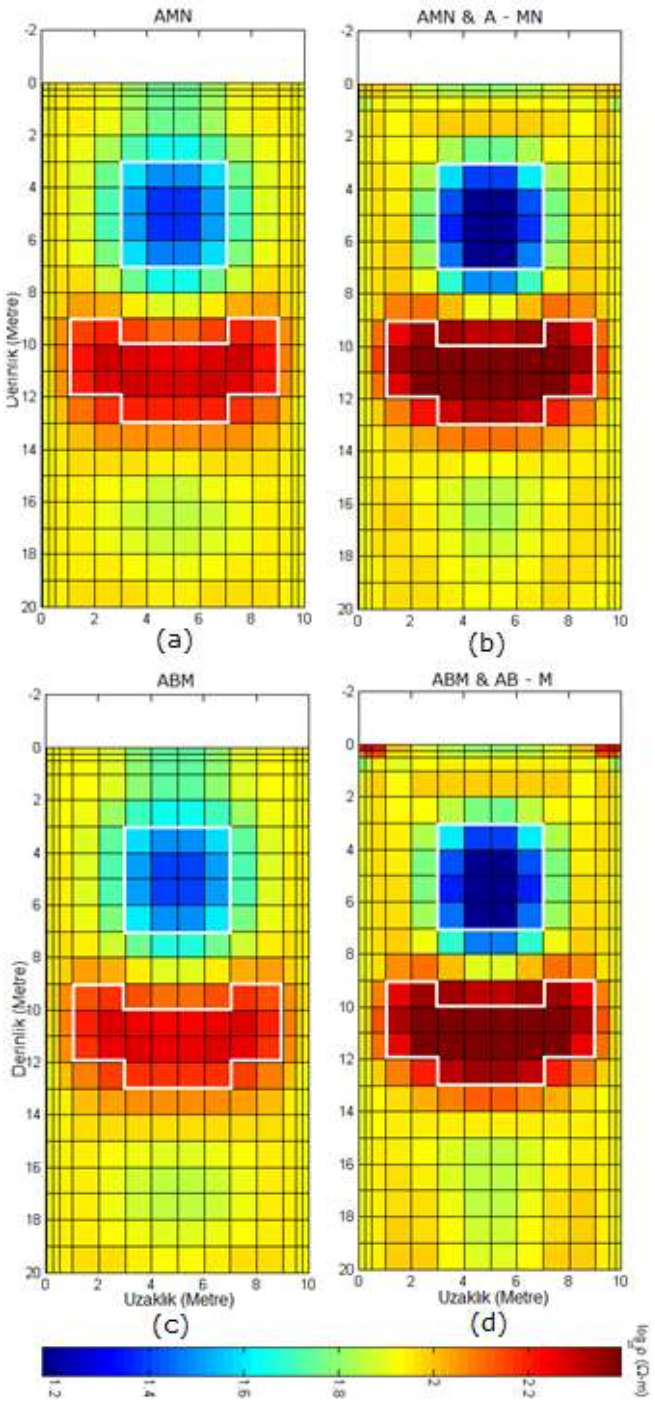
Şekil 5.5.a'da pole-tripole (A-BMN) diziliminin kuyu-kuyu verilerinin ters çözüm sonucu, Şekil 5.15.b'de pole-tripol (A-BMN) diziliminin kuyu-kuyu ve kuyu-yüzey verilerinin birleşik ters çözüm sonucu görülmektedir. Pole-tripole dizilimi hem, önceki örneklerden de görüldüğü gibi, hedef bölgede çözünürlüğü iyi olan bir dizilimdir. Kuyu-kuyu verilerine, kuyu-yüzey verileri eklendiğinde yapıların sınırları ve yapıların özdirençleri büyük oranda belirlenmiştir. Şekil 5.15.c'da bipole-bipole (ABMN) diziliminin tek kuyu verilerinin ters çözüm sonucu, Şekil 5.15.b'de bipole-bipole (ABMN, AB-MN) diziliminin tek kuyu ve kuyu-yüzey verilerinin birleşik ters çözüm sonucu görülmektedir. Tek kuyu verilerinin ters çözüm sonucunda yüzeye yakın yapının

sınırları iyi çözünürlükte belirlenemezken, kuyu-yüzey ölçülerinin eklenmesi ile yapının sınırları ve özdirenci gerçeğe daha yakın bulunmuştur.

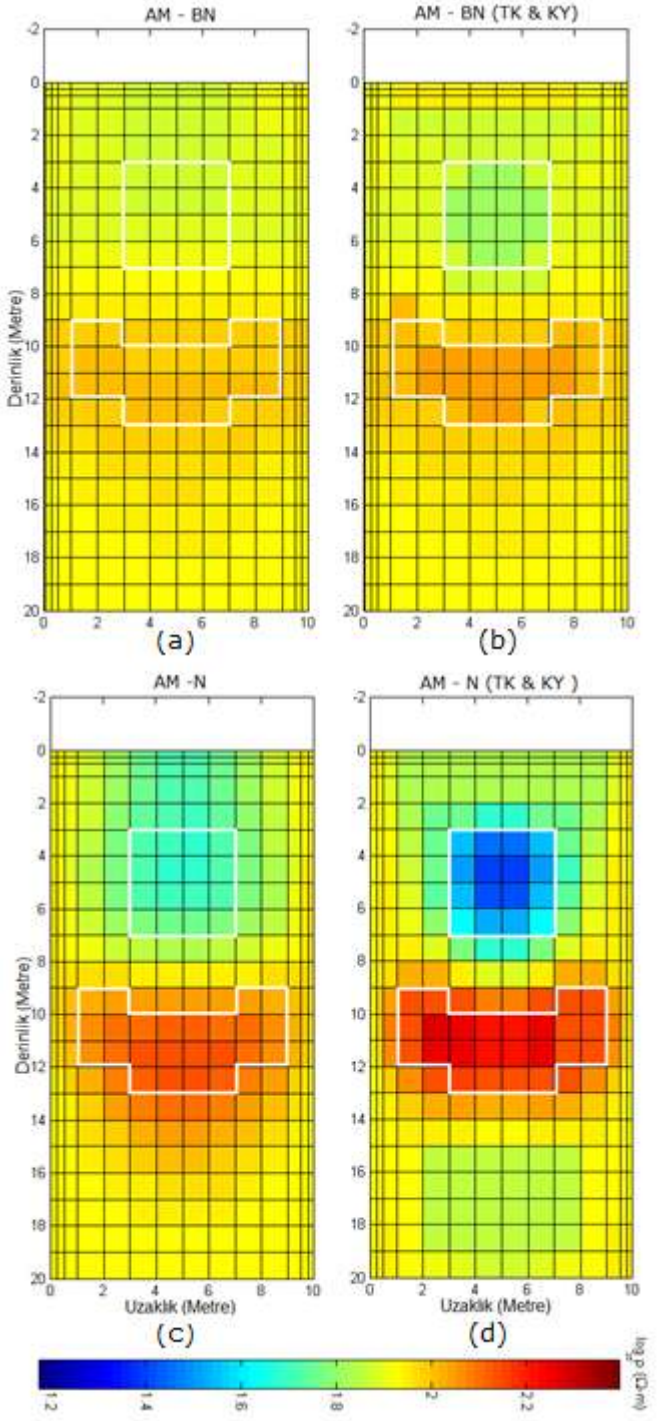
Genel anlamda tüm dizilimlerde, kuyu-kuyu ölçülerine yüzey ölçülerinin eklenmesi ile özellikle yüzeye yakın bölgelerde çözünürlüğü arttığı, yapı sınırlarının daha iyi belirlendiği görülmektedir.



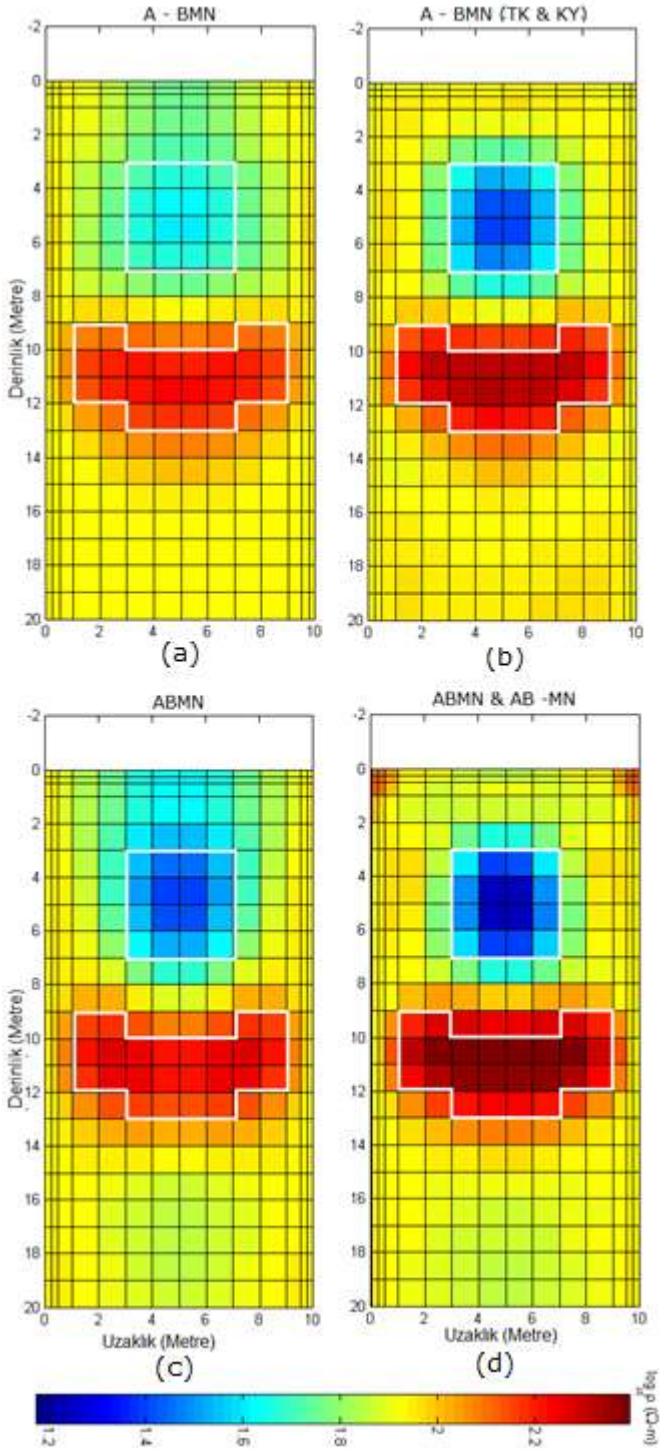
Şekil 5.12.a. Pole-pole diziliminin tek kuyu ölçülerinden elde edilen verilerin, b. pole-pole diziliminin hem tek-kuyu hem de kuyu-yüzey dizilimleri ile elde edilen verilerin, c. Bipole-pole diziliminin kuyu-kuyu ölçülerinden elde edilen verilerin, d. bipole-pole diziliminin hem kuyu-kuyu hem de kuyu-yüzey dizilimleri ile elde edilen verilerin ters çözüm sonuçları



Şekil 5.13.a Pole-bipole diziliminin tek kuyu ölçülerinden elde edilen verilerin, b. pole-bipole diziliminin hem tek-kuyu hem de kuyu-yüzey dizilimleri ile elde edilen verilerin, c. Bipole-pole diziliminin tek kuyu ölçülerinden elde edilen verilerin, d. bipole-pole diziliminin hem kuyu-kuyu hem de kuyu-yüzey dizilimleri ile elde edilen verilerinters çözüm sonuçları



Şekil 5.14.a. Bipole-bipole diziliminin kuyu-kuyu ölçülerinden elde edilen verilerin, b. bipole-bipole diziliminin hem kuyu-kuyu hem de kuyu-yüzey dizilimleri ile elde edilen verilerin, c. pole-bipole diziliminin kuyu-kuyu ölçülerinden elde edilen verilerin, d. pole-bipole diziliminin hem kuyu-kuyu hem de kuyu-yüzey dizilimleri ile elde edilen verilerin ters çözüm sonuçları



Şekil 5.15.a. Pole-tripole diziliminin kuyu-kuyu ölçülerinden elde edilen verilerin, b. pole-tripole diziliminin hem kuyu-kuyu hem de kuyu-yüzey dizilimleri ile elde edilen verilerin, c. bile-bipole diziliminin tek kuyu ölçülerinden elde edilen verilerin, d. bipole-bipole diziliminin hem tek kuyu hem de kuyu-yüzey dizilimleri ile elde edilen verilerin ters çözüm sonuçları

Çizelge 5.6 Dizilimlerin ters çözümde kullanılan veri sayısı, yineleme sayısı ve ters çözüm sonucu RMS değerleri (Model 4)

MODEL 4			
Dizilim Adı	RMS (%)	Yin.	Veri Sayısı
AM	1.9	3	550
AM & A-M	1.6	3	1450
AM-B (TK & KY)	1.18	4	644
AM-B	1.13	5	900
AMN	1.14	5	1188
AMN & A-MN	1.15	6	1796
ABM	1.07	5	888
ABM & AB-M	1.11	6	1784
AM-BN	1.29	3	219
AM-BN (TK & KY)	1.25	4	450
AM - N	1.19	4	660
AM-N (TK & KY)	1.18	5	975
A-BMN	1.4	4	1114
A-BMN (TK & KY)	1.06	5	1310
ABMN	1.24	5	682
ABMN & AB-MN	1.13	5	1354

6. KUYU-KUYU ve KUYU-YÜZEY ÖLÇÜLERİNDE 2B BİRLEŞİK TERS ÇÖZÜM

Her dizilimin farklı sinyal genliği, sinyal üretme gücü ve sinyal katkı bölgesi vardır. Bunun bir sonucu olarak her dizilim aynı problem için farklı sonuçlar üretir. Farklı dizilimlerin üstün yönlerini birleştirmek ve zayıf yönlerini gidermek etmek için birleşik ters çözüm yapılabilir. Böylece hedef bölgede çözünürlük artacaktır. Bu amaçla 5. Bölüm'de yapılan modeller üzerinden birleşik ters çözümleri yapılmıştır. Kuyular arası mesafenin büyüdüğü durumlarda tek-kuyu ve karşılıklı kuyu ölçülerinin 'ardışık birleşik ters çözümü' yapılmış ve birleşik ters çözüm sonucu ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca, bu bölümde kuyu içi dizilimlerin üstün ve zayıf yönleri birleşik sinyal katkı kesitleri üzerinden incelenmiştir.

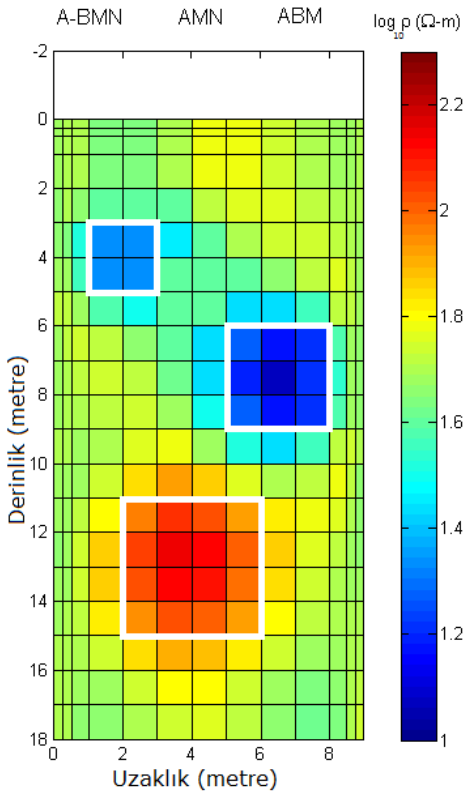
6.1 Model Çalışması 1

Bölüm 5.1'de farklı dizilimler kullanılarak ayrık ters çözümü yapılan modelin (Şekil 5.1) birleşik ters çözümü yapılmıştır. Ayrık ters çözüm sonuçları incelendiğinde pol-tirpole (A-BMN), pole-bipole (AMN) ve bipole-pole (ABM) dizilimlerinin sonuçları en iyi çözünürlüğü vermektedir. Bu üç dizilimin birleşik ters çözüm sonuçları Şekil 6.1'de verilmiştir. Çizelge 6. 1'de birleşik ters çözümü sonucunda elde edilen RMS(%), yineleme sayıları ve ters çözümde kullanılan veri sayısı,değerleri verilmiştir.

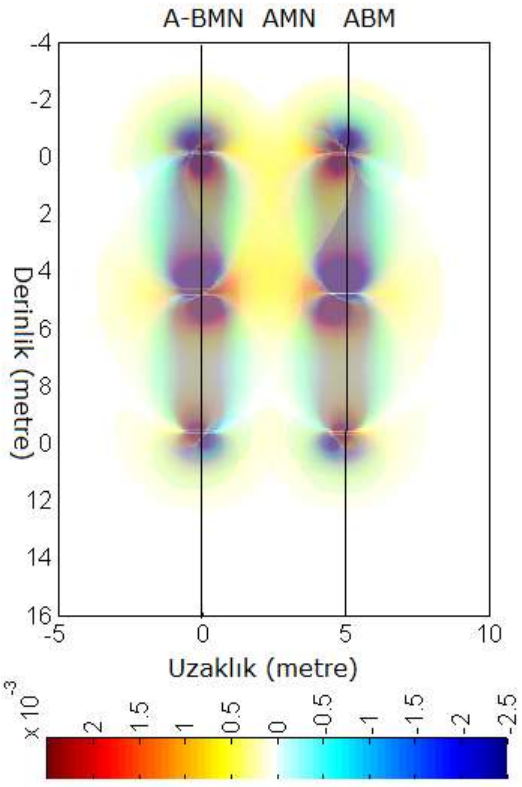
Çizelge 6.1 Birleşik ters çözümde kullanılan veri sayısı, yineleme sayısı ve ters çözüm sonucu RMS değerleri (Model 1)

MODEL 1			
Dizilim Adı	RMS (%)	Yin.	Veri Sayısı
Birleşik(AMN, ABM, A-BMN)	1.2	5	2482

Şekil 6. 2'de birleşik ters çözümü yapılan üç dizilimin birleşik sinyal katkı kesiti verilmiştir. Birleşik sinyal katkı kesiti incelendiğinde hedef bölgenin farkı sinyal gücü ve farklı sinyal katkı bölgeleri ile tarandığı görülebilir.



Şekil 6.1 Birleşik ters çözüm sonucu



Şekil 6.2 Dizilimlerinin birleşik sinyal katkı kesitleri

Birleşik ters çözüm sonucu ayrık ters çözüm sonuçları ile karşılaştırıldığında, yapıların sınırlarının ve özdirençlerinin birleşik ters çözümde daha iyi belirlendiği söylenebilir.

6.2 Model Çalışması 2

Model 2'nin farklı dizilimler ile elde edilen ayrık ters çözümleri Şekil 5.6-5.7'de verilmiştir. Şekil 6.3'de AMN, ABM, A-BMN ve AM-BN dizilimlerinin birleşik ters çözümü verilmiştir. TK dizilimlerinden dolayı oluşan orta bölgedeki yalancı anomalileri en aza indirmek amacı ile, Model 2 için uygulanan ters çözümde, Model 1'den farklı olarak AM-BN dizilimi de kullanılmıştır. KK-1 dizilimlerinin ters çözüm sonuçlarında hakim özdirenç modelin genelinde temsil edilmektedir. Bu sebeple bu dizilimlerin

birleşik ters çözüme eklenmesi, bu tür jeofizik problemlerde kuyular ortasında oluşan yalancı anomalilerin azalmasını sağlayacaktır.

Gerçek model ile karşılaştırıldığında, birleşik ters çözüm sonucu, ayrık ters çözüm sonuçlarına göre, yapı sınırlarının daha belirgin bulunduğu görülmektedir. Fakat yalancı anomeliler yok edilememiştir. Kuyular arası mesafenin büyük olduğu jeofizik problemlerde TK dizilimlerinin kuyular arası bölgede oluşturduğu yalancı anomalileri önlemek için ardışık birleşik ters çözüm yapılabilir.

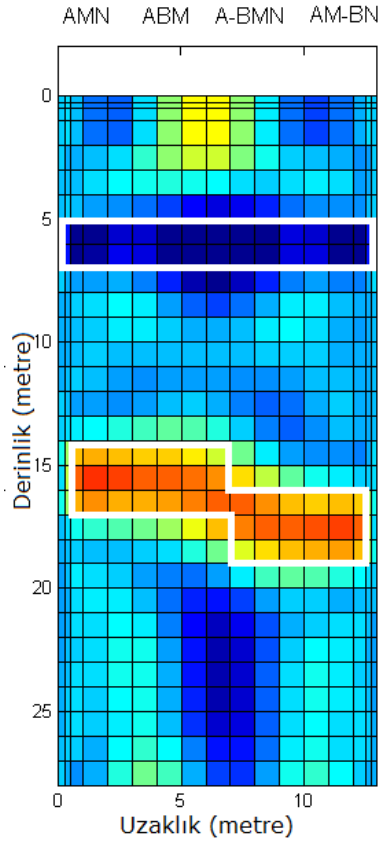
Ardışık birleşik ters çözümde, önce TK dizilimlerinden elde edilen verilerin, belirli bir yineleme değerine kadar, birleşik ters çözümü yapılır. Elde edilen model ön kestirim modeli olarak kullanılarak kuyu-kuyu dizilimi verilerinin birleşik ters çözümü yapılır. Model 2'nin birleşik ters çözümde kullanılan AMN ve BMN dizilimlerinin birleşik ters çözümü sırasında yineleme sayısı arttıkça kuyular ortasındaki yalancı anomaliler ortaya çıkmaktadır. Ardışık birleşik ters çözümün amacı kuyu ortası bölgede oluşan bu yalancı anomalileri engellemektir. Bu amaçla belirli bir yineleme değerinden sonra elde edilen model, başlangıç modeli olarak seçilir ve kuyu-kuyu dizilimleri ile ters çözüm işlemi devam eder. Model 2 için, AMN ve ABM dizilimleri ile başlayıp, 2. yinelemeden sonra A-BMN ve AM-BN dizilimleri ile devam ederek elde edilen ardışık birleşik ters çözüm sonucu şekil 6.4'de verilmiştir. Çizelge 6.2'da birleşik ters çözüm ve ardışık birleşik ters çözüm için verilmiş RMS ve yineleme değerleri görülmektedir.

Şekil 6.5'de birleşik ters çözümde kullanılan dizilimlerin birleşik sinyal katkı kesitleri verilmiştir. Farklı dizilimlerin kullanılması ile hedef bölgenin bu dizilimlerden nasıl etkilendiği görülmektedir.

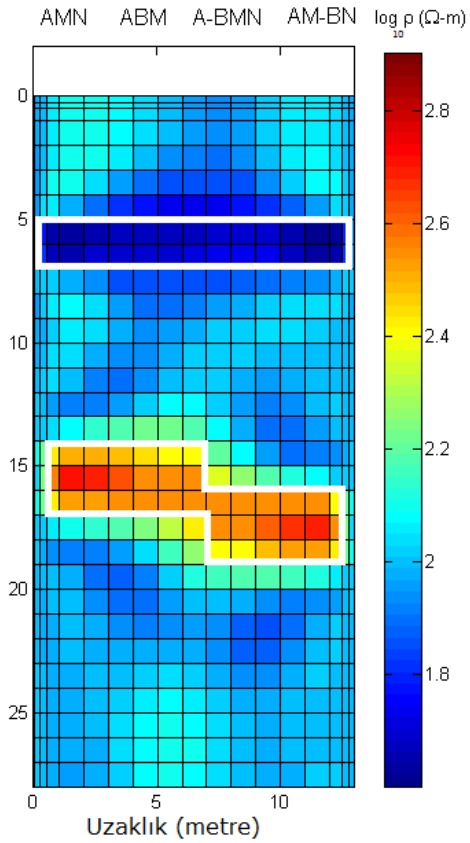
Ardışık birleşik ters çözüm sonucu incelendiğinde yalancı anomalilerin yok edildiği yapı sınırlarının daha iyi belirlendiği görülmektedir.

Çizelge 6.2 Ardışık birleşik ters çözümde kullanılan veri sayısı, yineleme sayısı ve ters çözüm sonucu RMS değerleri (Model 2)

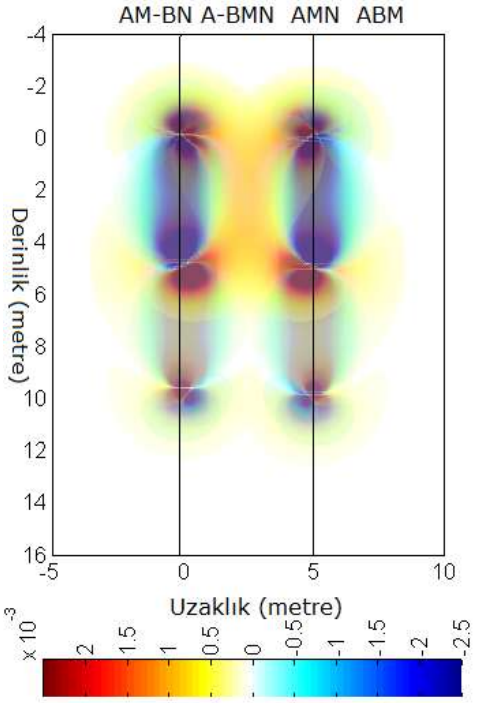
MODEL 2			
Dizilim Adı	RMS (%)	Yin.	Veri Sayısı
Birleşik(AMN, ABM, A-BMN, AM-BN)	1.8	6	16844
Ardışık Birleşik(AMN, ABM ve A-BMN, AM-BN)	1.07	6	16844



Şekil 6.3 Birleşik ters çözüm



Şekil 6.4 Ardışık birleşik ters çözüm sonucu



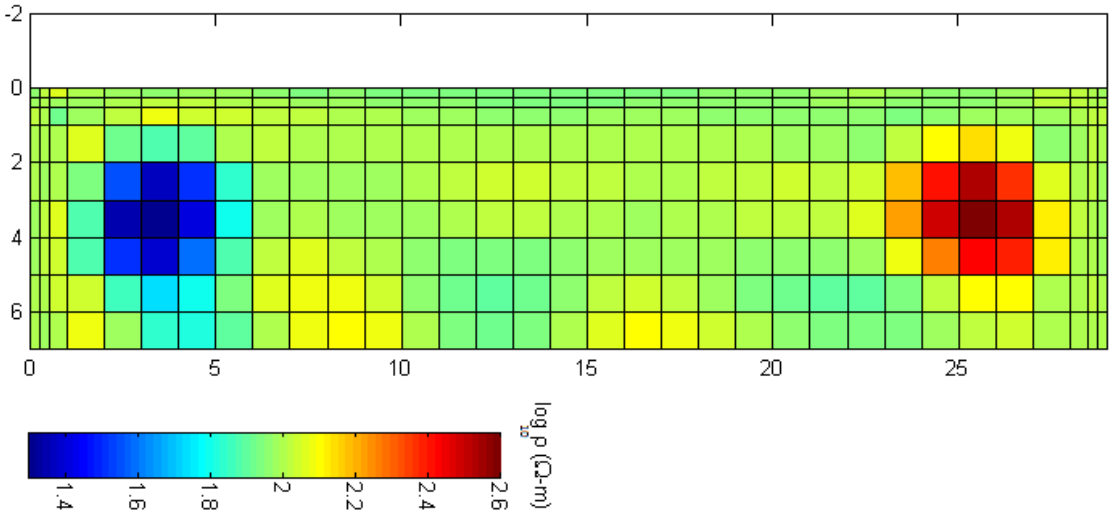
Şekil 6.5 AM-BN, A-BMN, AMN ve ABM dizilimlerinin birleşik sinyal katkı kesitleri

6.3 Model Çalışması 3

Bu model çalışmasında kuyu-yüzey dizilimlerinin birleşik ters çözümü yapılmıştır. Ayrık ters çözüm sonuçlarında iyi çözünürlüğe sahip ters çözüm sonuçları AB-MN, A-MN, AB-M ve A-BMN dizilimlerinden elde edilmiştir. Bu dizilimlerinin birleşik ters çözüm sonuçları şekil 6.6'da verilmiştir. Çizelge 6.3'de birleşik ters çözümde kullanılan veri sayısı, toplam yineleme sayısı ve ters çözüm sonucu RMS değerleri görülmektedir.

Çizelge 6.3 Birleşik ters çözümde kullanılan veri sayısı, yineleme sayısı ve ters çözüm sonucu RMS değerleri (Model 3)

MODEL 3			
Dizilim Adı	RMS (%)	Yin.	Veri Sayısı
Birleşik(AMN, ABM, AB-MN, A-BMN)	1.13	7	3543

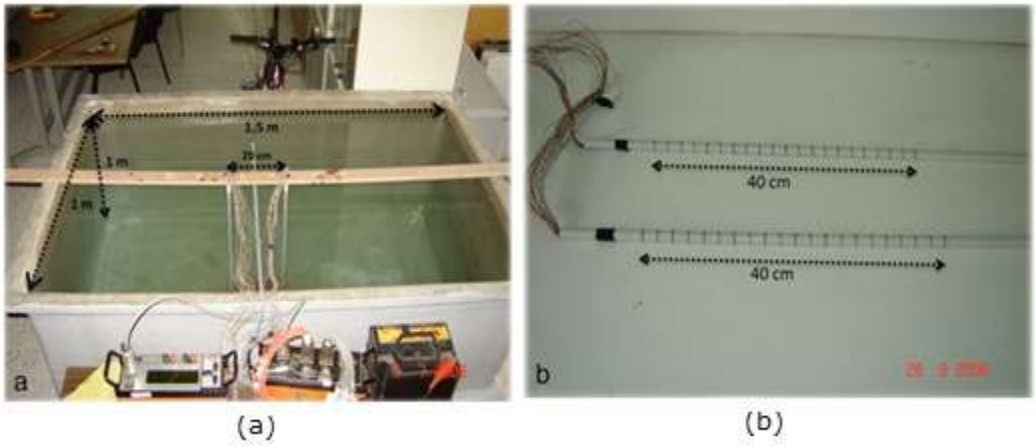


Şekil 6.6 AB-MN, A-MN, AB-M ve A-BMN dizilimlerinin birleşik ters çözüm sonuçları

Birleşik ters çözüm sonucu incelendiğinde yapıların sınırlarının ve özdirençlerinin ayrık ters çözüm sonuçlarından iyi bulunduğu görülmektedir.

7. ARAZİ VERİSİ UYGULAMALARI

Bu bölümde laboratuar ortamında ve arazide toplanmış verilerin ters çözümü yapılmıştır. İlk olarak Leontarakis ve Apostolopoulos (2012)'un laboratuar ortamında, su tankı içerisinde topladıkları verilerin ters çözümü yapılmıştır (Şekil 7.1). İlk beş uygulama bu veriler ile gerçekleştirilmiştir. Altıncı uygulama ise bir baraj gölünün altında bulunan kuyularda toplanmış verilerin ters çözümünü ve yorumunu içermektedir.

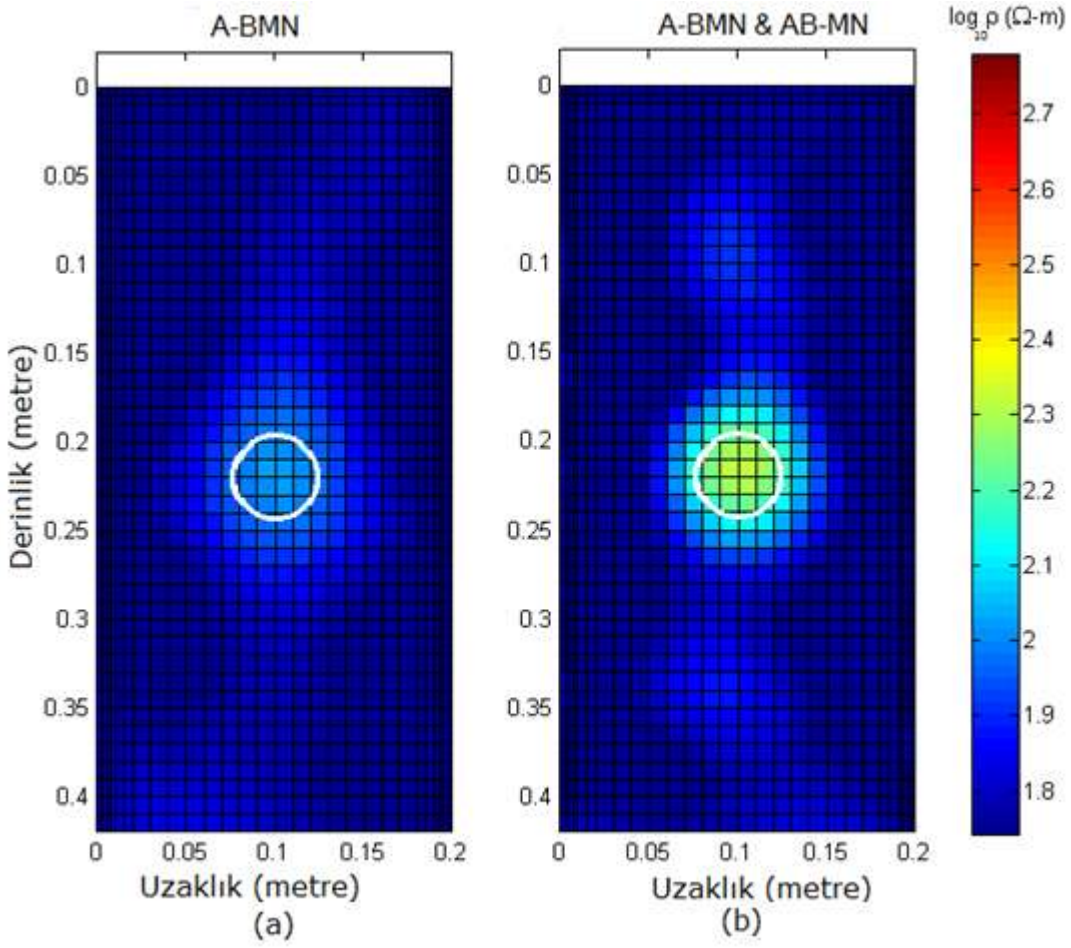


Şekil 7.1.a Su tankı, b. yüzük elektrodlar (Leontarakis ve Apostolopoulos,2012)

İlk iki uygulama kuyular arası bölgenin ortasından geçen tünel modelidir. Üçüncü çalışmada eğimli ince bir tabaka kuyular arasında konumlandırılmıştır. Dördüncü çalışmada ise hem tünel yapısı hem de ince eğimli tabakadan oluşan model seçilmiştir. İlk dört uygulamada pole-tripole dizilimi ile toplanan verilerin ters çözümü yapılmıştır. Daha sonra pole-tripole dizilimi ile toplanılan verilere bipole-bipole(AB-MN) dizilimi ile toplanan veriler de eklenerek birleşik ters çözüm yapılmıştır. Beşinci çalışmada tünel, kuyular arası bölgede farklı yerlerde konumlandırılmış ve bipole-bipole(AB-MN) dizilimi ile veri toplanmıştır. Çalışmalarda farklı elektrod aralıkları ile veri toplanmış ve protokol dosyası oluşturulmuştur. Altıncı uygulama, bir baraj gölü altında su kaçaklarının bulunması amacıyla, bipole-bipole(AM-BN ve BAMN) dizilimi ile toplanan verilerin ters çözümünü ve yorumunu içermektedir.

7.1 Uygulama 1

İlk uygulamada kuyular arası bölgenin tam ortasında, 22 cm derinliğinde 5 cm çapında bir tünel bulunmaktadır. Kuyu boyu 42cm'dir. Elektrodlar arası mesafe 2 cm seçilmiştir. Kuyular arası mesafe 20 cm'dir. Homojen ortamın özdirenci 57 ohm-m'dir. Ters çözüm sonuçları şekil 7.2'de verilmiştir. Şekil 7.2.a' da pole-tripole dizilimi ters çözüm sonucu, Şekil 7.2.b'de ise pole-tripole ve bipole-bipole dizilimlerinin birleşik ters çözüm sonucu verilmiştir. Birleşik ters çözümde tünel sınırları daha iyi belirlenmiştir. Ters çözümde kullanılan veri sayıları, RMS(%) değerleri ve yineleme sayıları çizelge 7.1'de verilmiştir.



Şekil 7.2.a Pole-tripole dizilimi verilerinin ters çözüm sonucu, (b) pole-tripole ve bipole-biple dizilimleri verilerinin ters çözüm sonuçları

Çizelge 7.1 Ters çözümde kullanılan veri sayıları, RMS(%) değerleri ve yineleme sayıları (5 cm çaplı tünel modeli)

Dizilim	RMS(%)	Veri Sayısı	Yineleme Sayısı
Pole-Tripole	2.9	317	5
Pole-Tripole & Bipole-Bipole	2.18	613	5

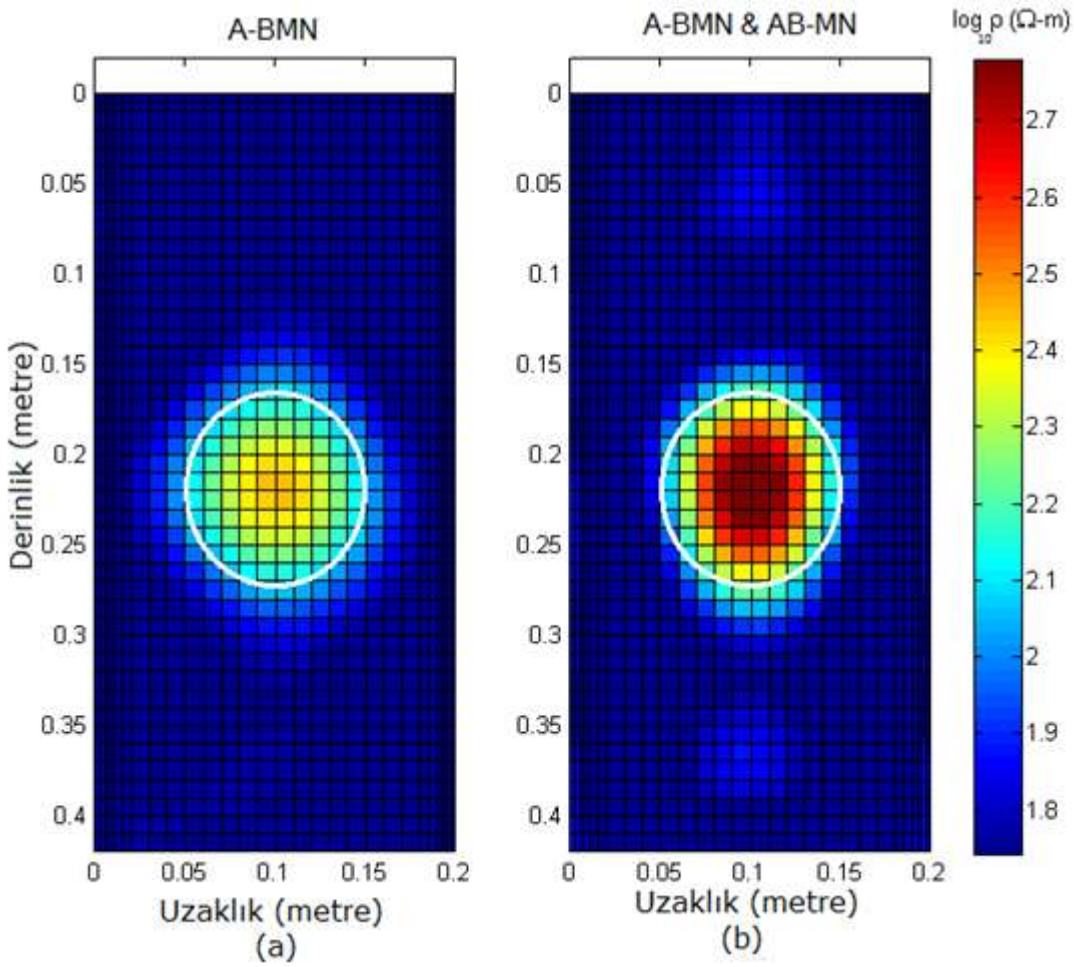
7.2 Uygulama 2

İkinci çalışmada tünelin çapı artırılarak 10 cm seçilmiştir. Kuyu boyu 42cm'dir. Elektrodlar arası mesafe 2 cm seçilmiştir. Kuyular arası mesafe 20 cm'dir. Homojen ortamın özdirenci 52 ohm-m'dir. Pole-tripole ve bipole-bipole (AB-MN) dizilimleri ile veri toplanmıştır. Ters çözüm sonuçları şekil 7.3'de verilmiştir. Ters çözümde kullanılan veri sayıları, RMS(%) değerleri ve yineleme sayıları çizelge 7.2'de verilmiştir.

Çizelge 7.2 Ters çözümde kullanılan veri sayıları, RMS(%) değerleri ve yineleme sayıları (10 cm çaplı tünel modeli)

Dizilim	RMS(%)	Veri Sayısı	Yineleme Sayısı
Pole-Tripole	2.36	320	4
Pole-Tripole & Bipole-Bipole	3.1	594	4

Tünel çapının büyümesi sonucu olarak ters çözüm sonuçlarında, tünel sınırları daha net belirlenmiştir. Birleşik ters çözüm sonucunda tünel sınırı daha iyi belirlenmesine karşın, kuyu başında ve kuyu sonunda küçük sahte anomaliler oluşmuştur.



Şekil 7.3.a Pole-tripole dizilimi verilerinin ters çözüm sonucu, b. pole-tripole ve bipole-biple dizilimleri verilerinin ters çözüm sonuçları

7.3 Uygulama 3

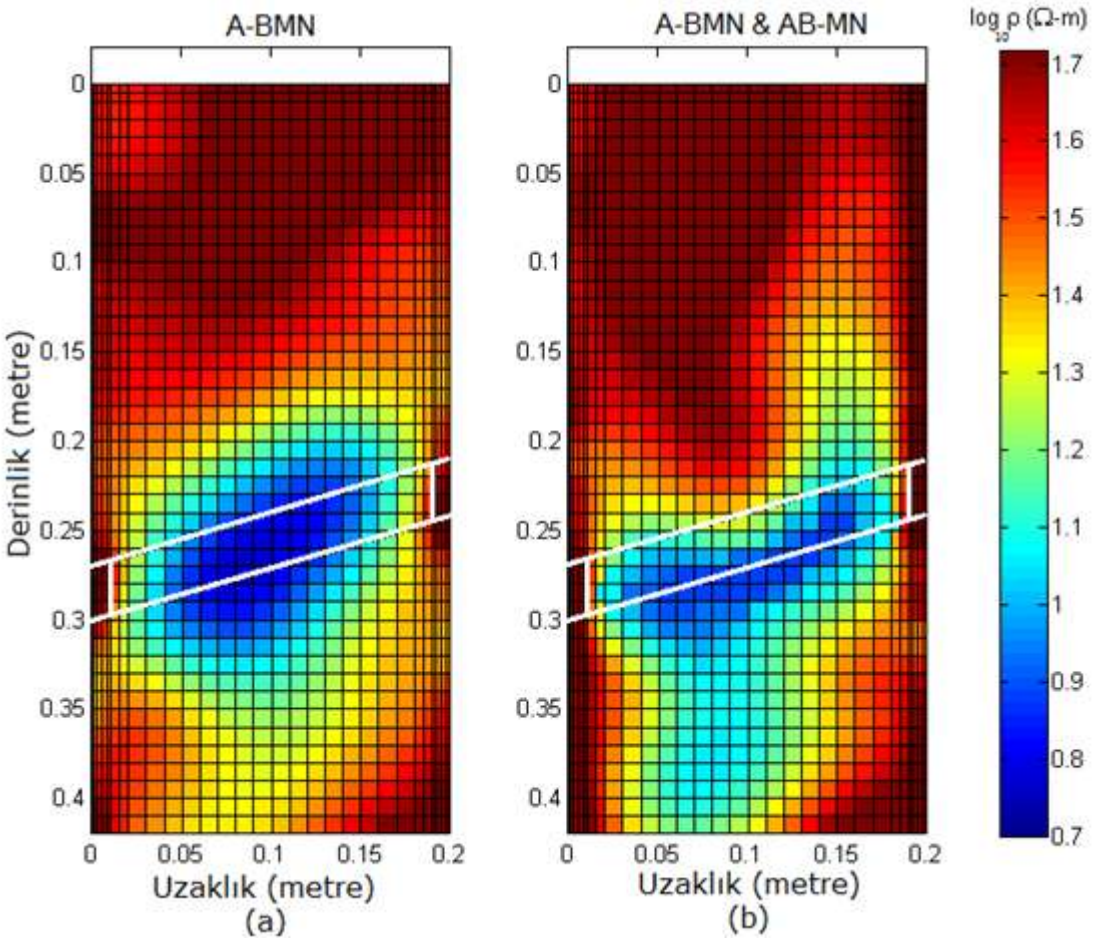
Üçüncü çalışmada kuyular arasında 17 derece eğimli 3 cm kalınlığında ve ortamdan düşük özdirence sahip bir tabaka bulunmaktadır. Tabaka kuyulara 1cm mesafede kuyular ortasındadır ve yatay ile 17 derece açı ile konumlandırılmıştır. Kuyu boyu 42cm'dir. Elektrodlar arası mesafe 0.2 cm seçilmiştir. Kuyular arası mesafe 20 cm'dir. Homojen ortamın özdirenci 52 ohm-m'dir.

Toplanan verilerin ters çözüm sonuçları şekil 7.4'de verilmiştir. Ayrıca ters çözümde kullanılan veri sayıları, RMS(%) değerleri ve yineleme sayıları çizelge 7.3'de verilmiştir.

Çizelge 7.3 Ters çözümde kullanılan veri sayıları, RMS(%) değerleri ve yineleme sayıları (eğimli tabaka modeli)

Dizilim	RMS(%)	Veri Sayısı	Yineleme Sayısı
Pole-Tripole	6.9	318	4
Pole-Tripole & Bipole-Bipole	7.6	587	4

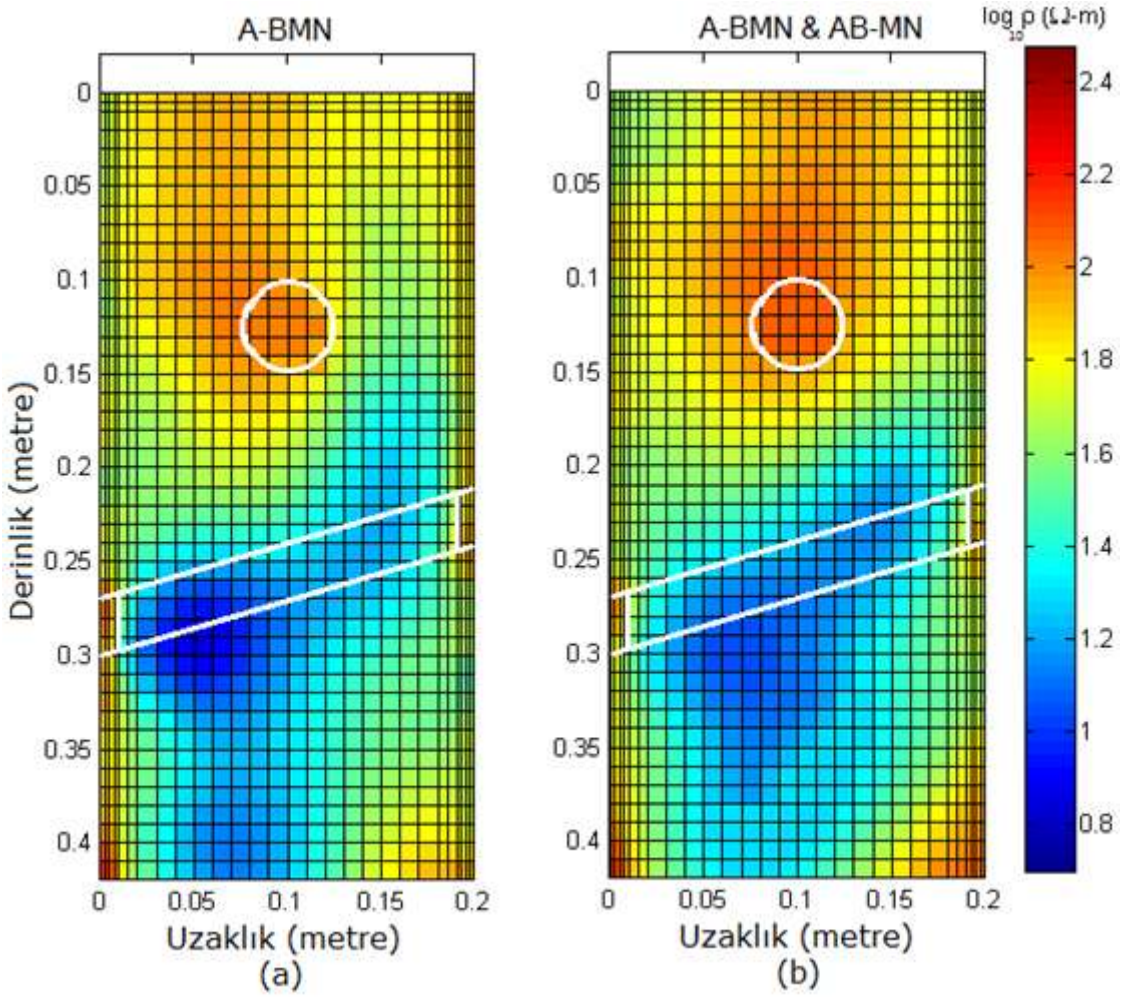
Pole-tripole dizilimi ile toplanan verilerin ters çözüm sonucunda yapı sınırları tabakadan boyuna büyümüş olarak bulunmuştur. Birleşik ters çözüm sonucunda yalancı anomaliler görülmektedir. Tabaka sınırları birleşik ters çözüm sonucunda belirlenmemiştir. Birleşik ters çözüm sonucundaki bu durumun sebebi bipole-bipole (AB-MN) dizilimi ile toplanılan verilerin fazlaca gürültü içermesinden dolayıdır.



Şekil 7.4.a. Pole-tripole dizilimi verilerinin ters çözüm sonucu, b. pole-tripole ve bipole-biple dizilimleri verilerinin ters çözüm sonuçları

7.4 Uygulama 4

Dördüncü uygulamada hem tünel hem de ince eğimli tabaka bulunmaktadır. İnce eğimli tabakanın konumu üçüncü uygulamadaki konum ile aynıdır. Ayrıca 12.5 cm derinlikte 5 cm çapında tünel bulunmaktadır. Ortamın özdirenci 52 ohm-m'dir. Toplanan verilerin ters çözüm sonuçları şekil 7.5'de verilmiştir. Ayrıca ters çözümde kullanılan veri sayıları, RMS(%) değerleri ve yineleme sayıları çizelge 7.4'de verilmiştir.



Şekil 7.5.a Pole-tripole dizilimi verilerinin ters çözüm sonucu, b. pole-tripole ve bipole-bipole dizilimleri verilerinin ters çözüm sonuçları

Çizelge 7.4 Ters çözümde kullanılan veri sayıları, RMS(%) değerleri ve yineleme sayıları (tünel ve eğimli tabaka modeli)

Dizilim	RMS(%)	Veri Sayısı	Yineleme Sayısı
Pole-Tripole	7.5	317	4
Pole-Tripole & Bipole-Bipole	7.2	470	5

Her iki ters çözüm sonucunda da yapı sınırları net olarak belirlenememiştir. Kuyu başında ve kuyu sonunda sahte anomaliler görülmektedir. Model çalışmalarında anlatıldığı üzere, pole-tripole dizilimine ek olarak TK dizilimleri ile veri toplanarak birleşik ters çözüm yapıldığı taktirde yapı özdirenç ve sınırlarına daha iyi yaklaşım yapılabilir. Bahsedildiği gibi aynı KK-2 dizilimlerinin sinyal/gürültü oranları düşüktür bu sebeple ortam karmaşık hal aldıkça KK-2 dizilimlerinin kullanılması sağlıklı sonuç vermeyecektir.

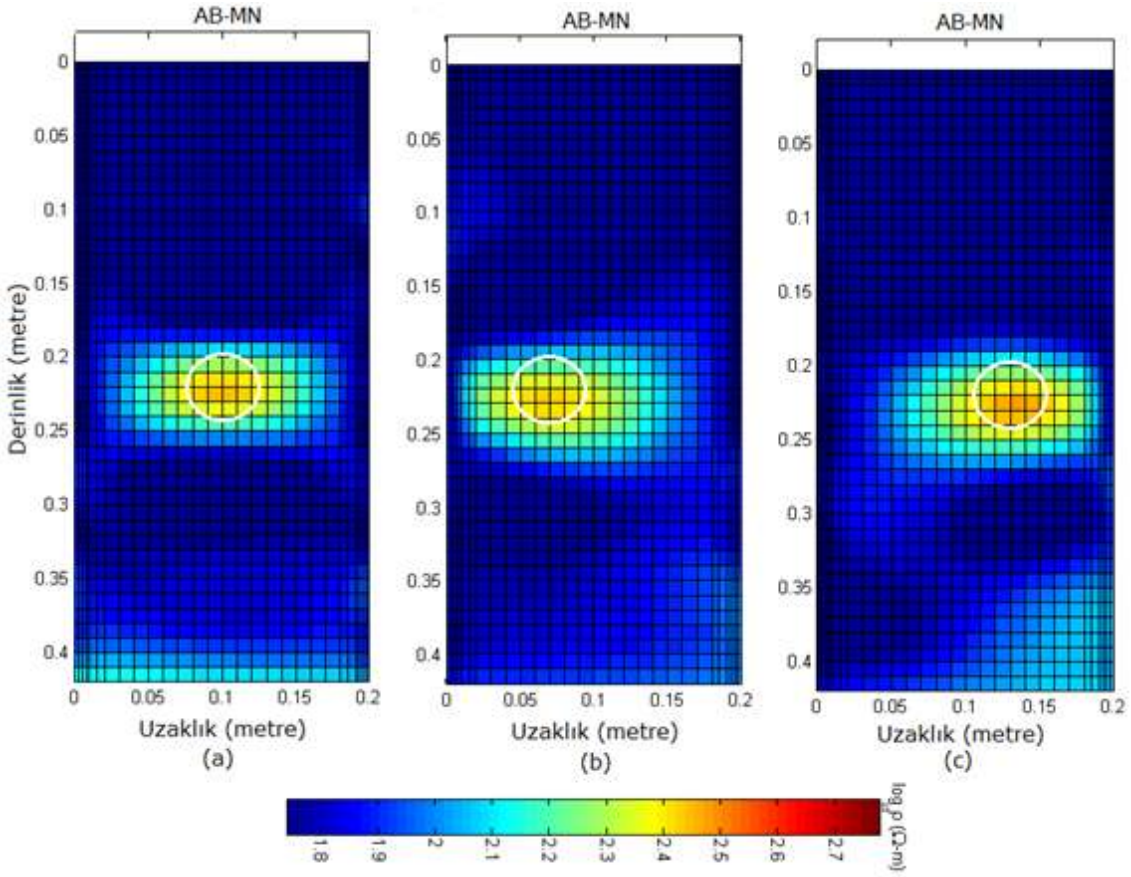
7.5 Uygulama 5

Bu uygulama 270 ohm-m ortam içersinde, 5 cm çapındaki tünel, 22 cm derinlikte üç farklı yerde konumlandırılarak ölçü toplanmıştır. Ölçüler bipole-bipole (AB-MN) dizilimi ile toplanmıştır. İlk olarak tünel iki kuyunun tam ortasında, daha sonra sol kuyuya 7 cm uzaklıkta ve sağ kuyuya 7 cm uzaklıkta konumlandırılmıştır. Üç durum için ters çözüm sonuçları Şekil 7.6'de verilmiştir.

Tünelin konumu, üç ters çözüm sonucunda da doğru belirlenmiştir. Üç durum için ters çözümde kullanılan veri sayıları, RMS(%) değerleri ve yineleme sayıları çizelge 7.5'de verilmiştir.

Çizelge 7.5 Ters çözümde kullanılan veri sayıları, RMS(%) değerleri ve yineleme sayıları

Dizilim	RMS(%)	Veri Sayısı	Yineleme Sayısı
Bipole-Bipole (orta)	1.9	199	5
Bipole-Bipole (sol)	2.96	189	4
Bipole-Bipole (sağ)	3	191	4



Şekil 7.6.a. Tünel yapısı iki kuyunun ortasında, b. tünel yapısı sol tünelin 7 cm uzağında ve c. tünel yapısı sağ tünelin 7 cm uzağında komunlandırılarak toplanmış bipole-bipole (AB-MN) dizilimi verilerinin ters çözüm sonuçları

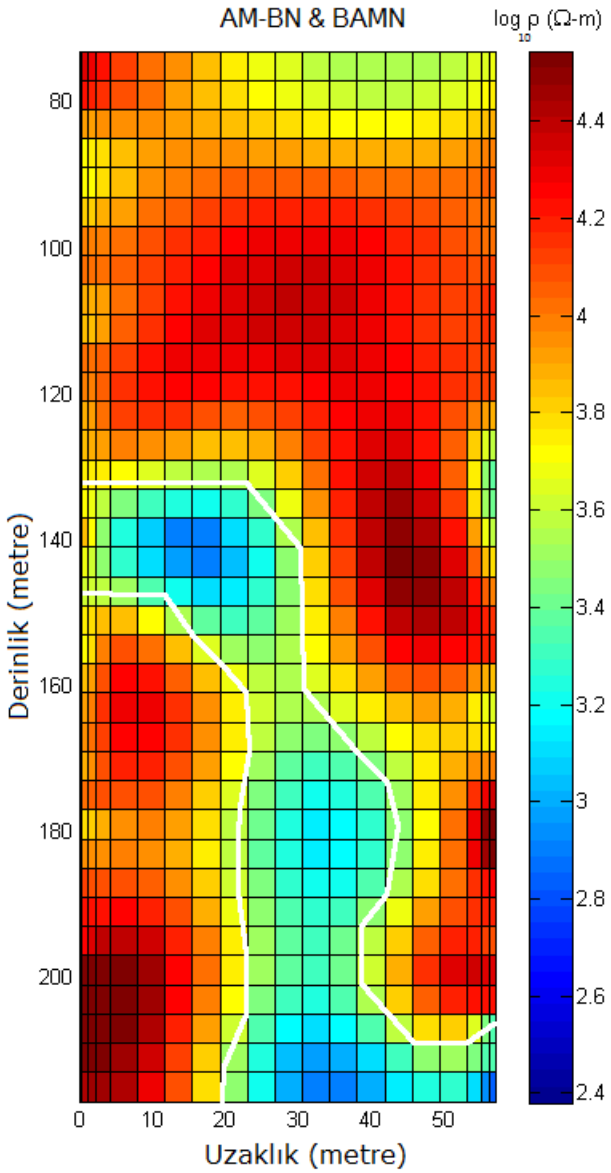
7.6 Uygulama 6

Bu uygulamada kuyular içerisinde 73-217 m derinlikleri arasında toplanmış arazi verisinin ters çözümü verilmiştir. Verinin toplandığı kuyu boyu 144 m'dir. Kuyular arası mesafe 57.3 m ve elektrod aralığı 4 m 'dir. Sol kuyuda ilk elektrod 81. metre'de, son elektrod ise 209. metre'de bulunmaktadır. Sağ kuyuda ise ilk elektrod 73. metre'de, son elektrod 217. metre'de bulunmaktadır. Sol kuyuda 32, sağ kuyuda ise 37 elektrod vardır.

Veriler sinyal üretme gücü yüksek olan bipole-bipole (AM-BN) ve TK dizilimi olan bipole-bipole (BAMN) dizilimleri ile toplanmıştır. Birleşik ters çözüm sonucu şekil 7.7'de verilmiştir.

Çalışmanın amacı, baraj altındaki çatlakların dolgu yapılarak kapatılması için çatlak yerlerinin en iyi şekilde belirlenmesini sağlamaktır. Bu amaçla zamana bağlı tekrarlı ölçüler toplanarak dolgunun başarılı olup olmadığı gözlenmektedir. Su seviyesi 20. m'de başlamaktadır. Ortamda yüksek özdirence sahip masif kireç taşı formasyonları bulunmaktadır. Log verilerinde masif kireç taşlarının değerleri 20.000 ohm-m'nin üzerindedir.

Sonuç olarak, sol kuyuda 133-152. m'ler arasının su kaçağını önlemek amacıyla yapılacak dolgu için uygun olduğu, şekil 7.7'de sınırlar ile belirlenmiş düşük özdirençli bölgede çatlaklı yapıların bulunduğu belirlenmiştir.



Şekil 7.7 KK-1 ve TK bipole-bipole (AM-BN ve BAMN) dizilimi ters çözüm sonucu

Ters çözümde kullanılan veri sayısı, RMS(%) değerleri ve yineleme sayıları çizelge 7.6'de verilmiştir.

Çizelge 7.6 Ters çözümde kullanılan veri sayıları, RMS(%) değerleri ve yineleme sayıları (çatlak yapılı model)

Dizilim	RMS(%)	Veri Sayısı	Yineleme Sayısı
Bipole-bipole (AM-BN ve BAMN)	7.2	701	6

8. SONUÇLAR

Bu tez kapsamında kuyu-kuyu, kuyu-yüzey ve tek kuyu özdirenç tomografisinde kullanılan 2, 3 ve 4 elektrot dizilimlerinin 2B tomografi sonuçları incelenmiştir. Ters çözüm sonuçlarının irdelenmesinde, bu dizilimlerin sinyal katkı kesitleri ve bunların üst üste toplanmasından elde edilen birleşik sinyal katkı kesitlerinden yararlanılmıştır.

KK-1 ve KY-1 dizilimleri kuyular arasında tek yönlü sinyal katkı bölgesi üretmektedir ve sinyal güçleri KK-2 ve KY-2 dizilimlerine göre fazladır. Bu sebeple KK-1 ve KY-1 dizilimlerinde yapı sınırlarını olduğundan büyük ve yapı özdirençlerini hakim özdirence yakın bulmaktadır. KK-1 ve KY-1 dizilimlerinin yalancı anomali üretme olasılıkları düşüktür. Dolayısıyla kuyular arası bölgenin büyüdüğü problemlerde, kuyular ortasındaki yalancı anomalileri en aza indirmek için birleşik ters çözümde KK-1 ve KY-1 dizilimlerinin kullanılması önerilmektedir.

Hem KK-1 hem de KK-2 dizilimleri içerisinde en iyi çözünürlüğü pole-tripole (A-BMN) dizilimi vermiştir. Özellikle KK-2 dizilimlerinde görünür özdirenç hesabı sırasında, geometrik faktör limiti uygulanması sonucu görünür özdirenç hesabında oluşan saçılmaların ortadan kalktığı görülmüştür. Fakat KK-2 dizilimlerinde bu geometrik sınırın uygulanması sonucu yeterli sayıda veri toplanamamaktadır. Kuyular arası mesafenin büyüdüğü problemlerde, özellikle KK-2 dizilimlerinde verilerinin geometrik faktör değeri belirlenen sınır değerinden büyük olacağından, sinyal genlikleri çok küçük olacaktır. Geometrik faktörlerin çok büyük olması, yani gerilim farklarının çok küçük olması hem arazi verisi toplarken ölçülen sinyalin ölçü aletinin duyarlılığının altında kalmasına, hem de sayısal çözümdeki kuramsal veri hesabında yuvarlatma hatalarına neden olacaktır. Aynı durum KY-2 dizimleri için de geçerli olacaktır. Fakat kuyu içi ilk elektrod ve ilk yüzey elektrodu arası mesafe Model 3'deki gibi kısa ise KY-2 dizilimleri iyi çözünürlük verecektir.

Arazi verisi toplarken büyük geometrik faktör değerler için veri toplanmasından kaçınılmalıdır. Böylece, gürültülü veri toplanmayacak ve arazide çalışma süresi kısalacaktır.

Kuyu-kuyu ölçülerinde kuyular arası mesafe, kuyu-yüzey dizilimlerinde ise yüzey elektrodu ve kuyu elektrodları arasındaki mesafe göz önünde bulundurulmalıdır. Kuyular arası mesafenin arttığı problemlerde, tek kuyu ve kuyu-kuyu dizilimlerinin birleşik ters çözümünde kuyular arası bölgede tek kuyu ölçümlerinden dolayı meydana gelen yalancı anomaliler görülmektedir. Bu anomalileri ortadan kaldırmak için bu çalışmada ardışık birleşik ters çözüm önerilmiştir. Böylece görülen yalancı anomalilerin etkileri en aza indirgenmiş olur. Bir problemin çözümünde farklı dizilimlerden elde edilen birleşik veri kümelerinin kullanılması ile dizilimlerin üstün yönleri birleştirilmiş, zayıf yönleri ise en aza indirgenmiş olur.Yapay verilerle ardışık birleşik ters çözümün avantajı gösterilmiştir.

Dizilimlerin birleşik sinyal katkı kesitleri incelendiğinde, farklı sinyal gücü ve farklı katkı bölgeleri ile aynı hedef bölgenin araştırıldığı gösterilmiştir. Böylece hedef yapıların sınırları daha iyi bir şekilde belirlenebilmektedir. Ayrıca hedef bölgedeki her alan artı ve eksi sinyal katkı bölgesi etkisinde kalarak taranmış olacaktır. Böylece, tek yönlü sinyal bölgesi ile toplanan ölçülerdeki dezavantajlar ortadan kalkmış olacağı gösterilmiştir. Bu sonuçlara göre farklı dizilimlerin birleşik ve ardışık birleşik ters çözümleri önerilmiştir. Bu çalışma sonunda, çok büyük geometrik faktör değerleri alan verilerin arazide ölçülmemesi ve ters çözüme sokulmaması önerilmektedir. Böylece, gürültülü veri ölçülmesi ve dolayısıyla arazide zaman kaybı önlenecektir.

KAYNAKLAR

Anderson, D. L. and Dziewonski A. M. 1984. Seismic Tomography, Scientific American, 251, 60-68.

Archie, G.E. 1942. The Electrical Resistivity Log As an Aid in Determining Some Reservoir Characteristics, Petroleum Transactions of AIME, 146, 54–62
Beasley C. W. and Ward S. H., 1988. Cross-Borehole Resistivity Inversion. 58th SEG Meeting, Anaheim, Expanded Abstract, 198-200.

Aster, R. C., Borchers, B. and Thurber, C. 2004. Parameter Estimation and Inverse Problems.

Barker, R. D. 1979, Signal Contribution Sections and Their Use in Resistivity Studies, Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society, 123–129.

Candansayar, M. E. 1997. Doğru Akım Özdirenç Yönteminde Modelleme ve İki-Boyutlu Yapıların Aranmasında Elektrot Dizilimlerinin Ayrımlılıklarının Karşılaştırılması, Yüksek lisans tezi, Ankara Üniversitesi, Türkiye.

Candansayar, M. E. and Basokur, A. T. 2001. Detecting Small-Scale Targets by the 2D Inversion of Two-Sided Three-Electrode Data: Application to An Archaeological Survey, Geophysical Prospecting, 49, 13–25.

Candansayar, M.E., 2002. Sönümlü En-Küçük Kareler Ve Eşlenik Türev Algoritmalarının Ardışık Kullanımı İle Manyetotellürik Verilerin Düzgünleştiricili İki-Boyutlu Ters Çözümü Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi, Türkiye.

Candansayar, M. E. 2008. Two-Dimensional İndividual And Joint Inversion of Three and Four Electrode Array DC Reisitivity Data, Journal of Geophysics and Engineering, 5, 3.

Candansayar, M. E. 2008. Two-Dimensional Inversion of Magnetotelluric Data with Consecutive Use of Conjugate Gradient And Least-Squares Solution with Singular Value Decomposition Algorithms, Geophysical Prospecting 56, 141–157.

Candansayar, M. E. and Tezkan, B. 2008. Two-Dimensional Joint Inversion of Radiomagnetotelluric and Direct Current Resistivity Data, Geophysical Prospecting, 56, 737–749.

Dahlin, T. and Zhou B. 2004. A Numerical Comparison of 2D Resistivity Imaging with 10 Electrode Arrays, Geophysical Prospecting, 379–398.

Daily, W. and Yorkey, T. J. 1988. Evaluation of Cross-Borehole Resistivity Tomography. 58th SEG Meeting, Anaheim, Expanding Abstracts, 201-203.

Daily, W. and Owen, E. 1991. Cross-Borehole Resistivity Tomography, Geophysics, 56, 1228–1235.

Danielsen, B. and Dahlin, T. 2010. Numerical Modelling of Resolution and Sensisvity of ERT Horizontal Boreholes, Journal of Applied Geophysics, 70, 245-254.

Deceuster, J., Delgranche, J. and Kaufmann, O. 2006. 2D Cross-borehole Resisitivity Tomographies Below Foundations As a Tool to Design Proper Remedial Actions in Covered Karst, Journal of Applied Geophysics, 60, 68-86.

Dey, A. and Morrıson, H.F. 1976. Resistivity Modeling For Arbitrarily Shaped Two Dimensional Structures, Part I: Theoretical Formulation. LBL report 5223, Lawrence Berkeley Laboratory, Berkeley.

Dey, A. and Morrison, H. F. 1979. Resistivity Modeling for Arbitrarily Shaped Two-Dimensional Structures, Geophysical Prospecting, 27, 106-136.

Dines, K. A. and Lytle, R. J. 1979. Computerized Geophysical Tomography: Proc. IEEE 67, 1065–1073.

Doetsch, J. A., Coscia, I., Greenhalgh, S., Linde, N., Green, A., and Günther, T. 2010. The Borehole-Fluid Effect in Electrical Resistivity Imaging, Geophysics, 75, 107- 114.

Ellis, R. G. and Oldenburg, D. W. 1994. The pole-pole 3-D DC Resistivity İnverse Problem: A Conjugategradient Approach, Geophys. J. Int., 119, 187-194.

Green, D.J. and Ward, S.H. 1986. Preliminary Design for Multi-Array Borehole Electrical Geophysical Method, University of Utah Research Institute Earth Sciences Laboratory Report DOE/SAN/12196-23.

Griffiths, D.H., Turnbull, J. and Olayinka, A.I. 1990. Two- Dimensional Resistivity Mapping with a Computer-Controlled Array, First Break, 8 (No. 4), 121-129.

Goes, B. J. M. and Meekes, J. A. C. 2004. An Effective Electrode Configuration for the Detection of DNAPLs with Electrical Resistivity Tomography, Journal of Environmental and Engineering Geophysics,9, 127–141.

Haber, E. and Oldenburg, D. 2000. A GCV Bases Method for Non-linear Ill-posed Problems, Computational Geosciences, 4, 41–63.

Hagrey, S.A.A and Petersen, T. 2011, Numerical and Experimental Mapping of Small Root Zones Using Optimized Surface and Borehole Resistivity Tomography, Geophysics 76, 25–35.

Kunetz, G. 1966. Principles of Direct Current Resistivity Prospecting, Gebruder Borntraeger, Berlin-Nikolassee, 103.

LaBrecque, D. J., Ramirez, A. L., Daily, W. D., Binley, A. M., and Schima, S.A. 1996. ERT Monitoring of Environmental Remediation, Precesses. Meas. Sci. Technol.,7, 375-383

Leontarakis, K. and Apostolopoulos, G. 2012. Laboratory Study of the Cross-Hole Resistivity Tomography: The Model Stacking (MOST) Technique, Journal of Applied Geophysics, 80, 67-82.

Leontarakis, K. and Apostolopoulos, G. 2013. Model Stacking (MOST) Technique Applied in Cross- Hole ERT Field Data for the Detection of Thessaloniki Ancient Wall' Depth Geophysics, 93, 101-113.

Lytle, R.J. and Dines, K. A. 1980. Iterative Ray Tracing Between Boreholes for Underground Image Reconstruction, Institute of Electrical and Electronic Engineering Transactions on Geosciences and Remote Sensing GE-18, 234-239.

Loke, M.H. and Barker, R.D. 1996. Practical Techniques For 3D Resistivity Surveys and Data Inversion, Geophysical Prospecting , 44, 499-523.

Loke, M.H., Wilkinsoın, P. and Chmbers, J. 2010. Fast Computation of Optimized Arrays for 2-D Resistivity Surveys, Computers & Geosciens, 36, 1414-1426

Loke, M.H., Wilkinson , P.B., Chambers, J.E. and Strutt, M. 2014. Optimized Arrays For 2D Cross- Borehole Electrical Tomography Surveys, Geophysical Prospecting, 62, 172– 189.

Nimmer, R.E., Osiensky, J.L., Binley, A.M., Williams, B.C., 2008. Three-dimensional effects causing artifacts in two-dimensional, cross-borehole, electrical imaging. Journal of Hydrology, 359, 59–70.

Oldenborger, G. A., Routh, P. S. and Knoll,M. D. 2005.Sensitivity of Electrical Resistivity Tomography Data to Electrode Position Errors, Geophys. J. Int., 163, 1-9.

Oldenburg, D.W., Mcgillivray, P.R. and Ellis, G. 1993. Generalized Subspace Methods For Large-Scale Inverse Problems, Geophysical Journal International, 144, 12-20

Petrov, A. A. 1995. Volume Integral Equation For Computation of Potential Electric Fields in Two-Dimensional Models. Physics of The Solid Earth, 30 (11).

Roy, A. and Apparao,A. 1977. Depth of Investıgatıon in Dırect Current Methods, Geophysics, 36, 943-959

Sasaki, Y. 1989. Two Dimensional Joint Inversion Of Magnetotelluric And Dipole-Dipole Resistivity Data, Geophysics 54, 254-262.

Sasaki, Y. 1992. Resolutıon of Resistivity Tomography Inferred from Numerıcal Simulation, Geophysical Prospecting, 40, 453-463.

Shima, H. and Sakayama, T. 1987. Resistivity Tomography: an Approach to 2-D Resistivity Inverse Problem, Expanded Abstracts of the 57th Annual International SEG meeting, New Orleans, 59-61

Shima, H., and Saito, H. 1988. Application of Resistivity Tomography for Detection of Faults and Evaluation of Their Hydraulic Continuity : Some Numerical Experiments. 58th SEG Meeting, Anaheim, Expanded Abstracts, 204-207.

Shima, H. 1992. 2-D and 3-D Resistivity İmage Reconstruction Using Crosshole Data, Geophysics, 57, 1270-1281.

Spitzer, K. and Chouteau, M. 2003. A DC Resistivity and IP Borehole Survey at the Casa Berardi Gold Mine in Northwestern Quebec, Geophysics, 68, 453-463.

Sugimoto, Y. 1999. Shallow High-Resolution 2-D and 3-D Electrical Crosshole Imaging, The Leading Edge, December, 1425-1428.

Telford, W. M., Geldart, L. P., Sheriff,R. E. 1989. Applied Geophysics, Cambridge University Press.

Tripp, A. C., Hohmann, G. W. and Swift, C. M. 1984. Two-Dimensional Resistivity Inversion. Geophysics, 49, 1708-1717.

Van, G.P., Park, S.K. and Hamilton, P. 1991. Monitoring Leaks From Storage Ponds Using Resistivity Methods, Geophysics, 56, 1267-1270.

Wilkinson, P.B., Meldrum, P.I., Chambers, J.E., Kuras, O. and Ogilvy, R.D. 2006. Improved Strategies For The Automatic Selection Of Optimised Sets Of Electrical Resistivity Tomography Measurement Configurations. Geophysical Journal International, 167, 1119– 1126.

Zhou, B. and Greenhalgh, S.A. 1997. A Synthetic Study on Crosshole Resistivity Imaging with Different Electrode Arrays, Exploration Geophysics, 28,1-5.

Zhou, B. and Greenhalgh, S.A. 2000. Cross-Hole Resistivity Tomography Using Different Electrode Configurations, Geophysical Prospecting, 48, 887–912.

Zhou, B. and Greenhalgh, S.A. 2002. Rapid 2D/3D Crosshole Resistivity Imaging Using Analytic Sensitivity Functions, Geophysics, 67, 755-765.

EK-1

Agı Firması Protokol Dosyası

Bu dosya formatının ilk satırında cihazın modeli, daha sonra kullanılan dizilim adı, ölçüm sırasında elektrodlar arasını tanımlayan uzaklık birimi ve elektrod diziliminin programda belirlenen numarası yazılmıştır. Akım ve gerilim elektrodlarından hangilerinin sonsuzda olduğunun yazıldığı kısımdan sonra tüm elektrodların x,y,z konumları verilmiştir. Son olarak 8 kanallı sitsem için kaç numaralı elektrodların akım kaç numaralı ekeltrodların gerilim elektrodu olarak kullanılacağının belirlendiği komut kısmı ve hangi kanalların kullanılacağının belirlendiği kanal kısmı verilir.

```
; SuperSting R8 2D command file by AGI EarthImager 2D. Version: 2.4.0 (Build 617)
:header
progID=bipol_bipol_am_bn
unit=meter
type=R
arraytype=6
Binf=0
Ninf=0
MUX=1

:geometry
1, 0, 0, -1
2, 0, 0, -2
3, 0, 0, -3
4, 0, 0, -4
5, 0, 0, -5
6, 0, 0, -6
7, 0, 0, -7
.
.
.
28, 5, 0, -13
29, 5, 0, -14
30, 5, 0, -15

:commands
;A,B,P1,P2,P3,P4,P5,P6,P7,P8,P9,channels
1,16,2,17,3,18,4,19,5,20,0,1234567
1,16,10,25,11,26,12,27,13,28,0,1234567
.
.
.
15,30,13,28,1,16,2,17,3,18,0,1234567
15,30,4,19,5,20,6,21,7,22,0,1234567
15,30,8,23,9,24,10,25,11,26,0,1234567
15,30,12,27,13,28,14,29,0,0,0,12345
```

Ankara Üniversitesi Jeofizik Modelleme Grubu Protokol Dosyası Formatı

Bu dosya formatında verinin yapay modelden elde edildiğini veya araziden toplandığını belirten başlık yazılmıştır. Daha sonra ters çözümde kullanılmak üzere (single veya joint) farklı dizilimlerle veri toplanıp toplanmadığını belirten satır yazılmaktadır. Sonraki satırlarda sırasıyla eğer birden fazla elektrod dizilimi ile veri toplanmışsa kullanılan farklı dizilimlerin sayısı, kullanılan toplam elektrod sayısı ve kuyu sayısı yazılır. Daha sonra veri toplama sırasında akım ve potansiyel elektrodların yatay ve düzey yöndeki konumları ve o andaki geometrik faktör yazılır. Son olarak ise tüm elektrodlar numaraları x,y, ve konumları ile verilir.

```
Synthetic Data File
single
  1
  30
  2

  Ax   Az   Bx   Bz   Mx   Mz   Nx    Nz     GF
============================================================
  0   -1   5   -1   0   -2   5   -2   6.506228e+00
  0   -1   5   -1   5   -2   0   -3   -9.146832e+00
  0   -1   5   -1   0   -3   5   -3   1.539502e+01
  0   -1   5   -1   5   -3   0   -4   -1.999282e+01
.
.
.

  0   -15   5   -15   0   -13   5   -13   1.995544e+01
  0   -15   5   -15   5   -13   0   -14   -1.122753e+01
  0   -15   5   -15   0   -14   5   -14   7.811164e+00
1, 0, 0, -1
2, 0, 0, -2
3, 0, 0, -3
4, 0, 0, -4
5, 0, 0, -5
6, 0, 0, -6
.
.
.
24, 5, 0, -9
25, 5, 0, -10
26, 5, 0, -11
27, 5, 0, -12
28, 5, 0, -13
29, 5, 0, -14
30, 5, 0, -15
```

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Cem DEMİREL

Doğum Yeri : Ankara

Doğum Tarihi : 05.10.1987

Medeni Hali : Bekar

Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Batıkent Lisesi, 2004
Lisans : Ankara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü 2010
Yüksek Lisans : Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı (Eylül 2011-Temmuz 2014)

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl

Şubat 2013'den beri Ankara Üniversitesi Jeofizik Mühendisliği Bölümünde araştırma görevlisi olarak çalışmaktadır. Kasım 2011' den beri Ankara Üniversitesinin yürüttüğü 110Y343 No'lu *'Radyomanyetotellürik, Doğru Akım Özdirenç ve Yapay Uçlaşma Verilerinin İki Boyutlu Birleşik Yorumu; Bir Maden Arama Örneği'* adlı TUBİTAK projesinde burslu yüksek lisans öğrencisi olarak çalışmaktadır.

Uluslararası Kongreler

Demirel, C., Candansayar, M.E., Two-Dimensional Inversion of Surface-To-Hole and Cross- Hole Direct Current Resistivity Data, 2012, 21st Electromagnetic Induction Workshop, Darwin, Australia

Demirel, C., Candansayar, M.E., The Analysis of Hole-to-Hole and Surface-to-Hole Signal Contribution Sectios, 2013, 7th Congress of the Balkan Geophysical Society, Tiran, Albania

Demirel, C., Candansayar, M.E., A Sensitivity Analysis of Electrical Resistivity Tomography with Different Borehole Electrode Arrays, 2013, 20th The International Geophysical Congress & Exhibition of Turkey, Antalya, Turkey

Ulusal Kongreler

Demirel, C., Candansayar, M.E., Kuyu-Kuyu Doğru Akım Özdirenç Verileninin 2B Ters Çözümü, 2012, 4.Yer Elektrik Çalıştayı, İzmir, Türkiye

Demirel, C., Candansayar, M.E., Kuyu-Kuyu Özdirenç Verilerinin İki Boyutlu Birleşik Ters Çözümü İçin Yeni Bir Algoritma,, 2014, 5.Yer Elektrik Çalıştayı, Edirne,Türkiye