

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**BETON DAYANIMININ TAHMİNİNDE KULLANILAN JEOFİZİK  
YÖNTEMLER**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Jeofizik Müh. Suna ALTUNDAŞ**

**OCAK 2010  
TRABZON**

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**BETON DAYANIMININ TAHMİNİNDE KULLANILAN JEOFİZİK  
YÖNTEMLER**

**Jeofizik Müh. Suna ALTUNDAŞ**

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde  
“Jeofizik Yüksek Mühendisi”  
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 30.12.2009  
Tezin Savunma Tarihi : 21.01.2010**

**Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Nart COŞKUN**

**Jüri Üyesi : Prof. Dr. Metin HÜSEM**

**Jüri Üyesi : Yrd. Doç. Dr. Hakan ÇINAR**

**Enstitü Müdürü : Prof. Dr. Salih TERZİOĞLU**

**Trabzon 2010**

## ÖNSÖZ

Bu çalışma Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır. Bu çalışmada; beton numuneler üzerinde tahribatlı ve tahribatsız yöntemler uygulanarak yapı içerisindeki mevcut donatının durumu ile yapının fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmiştir.

Bu tezi hazırlamamda değerli katkılarını ve yardımlarını hiçbir zaman eksik etmeyen, saygıdeğer danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Nart COŞKUN'a sonsuz saygı ve minnetlerimi sunarım. Laboratuvar çalışmalarındaki yardımlarından ve desteğinden dolayı sevgili arkadaşım Arş. Gör. Şeyda YILMAZ'a teşekkür ederim.

Deneyisel çalışmalarımda, yardımlarını esirgemeyen, çalışmanın çeşitli aşamalarında bana destek olan deneyim ve bilgilerinden faydalandığım Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Öğretim üyesi başta, Prof. Dr. Metin HÜSEM, Yrd. Doç. Dr. Şirin KURBETÇİ, Arş. Gör. Selçuk GÖRKEM, Arş. Gör. Mehmet Emin ARSLAN'a ve İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Laboratuvarı çalışanı Akif TÜRK'e teşekkür ederim.

Tez çalışmam süresince manevi desteklerini hiçbir zaman eksik etmeyen sevgili aileme gönülden ve sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Suna ALTUNDAŞ  
Trabzon 2010

## İÇİNDEKİLER

### Sayfa No

|                                                                     |      |
|---------------------------------------------------------------------|------|
| ÖNSÖZ.....                                                          | II   |
| İÇİNDEKİLER.....                                                    | III  |
| ÖZET.....                                                           | VI   |
| SUMMARY.....                                                        | VII  |
| ŞEKİLLER DİZİNİ.....                                                | VIII |
| TABLolar DİZİNİ.....                                                | XIII |
| SEMBOLLER DİZİNİ.....                                               | XIV  |
| 1. GENEL BİLGİLER.....                                              | 1    |
| 1.1. Giriş.....                                                     | 1    |
| 1.2. Önceki Çalışmalar.....                                         | 1    |
| 2. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....                                          | 5    |
| 2.1. Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Malzemelerin Özellikleri..... | 5    |
| 2.1.1. Agregası.....                                                | 5    |
| 2.1.2. Çimento.....                                                 | 6    |
| 2.1.3. Katkı Maddesi.....                                           | 7    |
| 2.1.4. Karışım Suyu.....                                            | 7    |
| 2.1.5. Beton Kürü.....                                              | 8    |
| 2.2. Deney Numunelerinin Hazırlanması ve Karışım Oranları.....      | 8    |
| 2.3. Kullanılan Modeller.....                                       | 11   |
| 2.4. Çalışmada Kullanılan Ters Çözüm Programları.....               | 15   |
| 2.4.1. Res2dinv Programı.....                                       | 15   |
| 2.4.2. DC2dTree Programı.....                                       | 16   |
| 2.5. Deneysel Yöntemler.....                                        | 17   |
| 2.5.1. Tahribatsız Deney Yöntemleri.....                            | 17   |
| 2.5.1.1. Elektrik Özdirenç Yöntemi.....                             | 17   |
| 2.5.1.1.1. Genel Prensipler.....                                    | 17   |
| 2.5.1.1.2. Kullanılan Aletler.....                                  | 19   |
| 2.5.1.1.2.1. Elektrotlar ve Kablo.....                              | 19   |
| 2.5.1.1.2.2. ABEM SAS 1000 Aygıtı.....                              | 20   |

|              |                                                            |    |
|--------------|------------------------------------------------------------|----|
| 2.5.1.1.3.   | Elektrot Dizilimleri.....                                  | 21 |
| 2.5.1.1.4.   | Elektrik Özdirenç Yöntemi Uygulama Teknikleri.....         | 22 |
| 2.5.1.1.5.   | Yöntemin Uygulamaları.....                                 | 23 |
| 2.5.1.1.6.   | Ölçümleri Etkileyen Faktörler.....                         | 24 |
| 2.5.1.1.7.   | Yöntemin Avantajları ve Dezavantajları.....                | 25 |
| 2.5.1.2.     | İndüksiyon Polarizasyonu Yöntemi.....                      | 26 |
| 2.5.1.2.1.   | Genel Prensipler.....                                      | 26 |
| 2.5.1.2.2.   | Kullanılan Aletler.....                                    | 27 |
| 2.5.1.2.2.1. | Elektrotlar ve Kablo.....                                  | 27 |
| 2.5.1.2.2.2. | ABEM SAS 1000 Aygıtının İP Modunda Kullanılması.....       | 27 |
| 2.5.1.2.3.   | Ölçü Alım Teknikleri.....                                  | 28 |
| 2.5.1.2.4.   | Yöntemin Uygulamaları.....                                 | 30 |
| 2.5.1.2.5.   | Yöntemin Avantajları ve Dezavantajları.....                | 30 |
| 2.5.1.3.     | Ultrasonik Hız Ölçüm Yöntemi.....                          | 31 |
| 2.5.1.3.1.   | Genel Prensipler.....                                      | 31 |
| 2.5.1.3.2.   | Kullanılan Alet.....                                       | 33 |
| 2.5.1.3.2.1. | Ultrasonik Hız Ölçüm Cihazı.....                           | 33 |
| 2.5.1.3.2.2. | Yüksek Voltaj Puls Üretici.....                            | 34 |
| 2.5.1.3.2.3. | Alıcı – Verici Başlıklar.....                              | 34 |
| 2.5.1.3.3.   | Ölçüm Yöntemleri.....                                      | 35 |
| 2.5.1.3.4.   | Yöntemin Uygulamaları.....                                 | 36 |
| 2.5.1.3.5.   | Ölçümleri Etkileyen Faktörler.....                         | 37 |
| 2.5.1.3.6.   | Deney Standartları.....                                    | 39 |
| 2.5.1.3.7.   | Yöntemin Avantajları ve Dezavantajları.....                | 40 |
| 2.5.2.       | Tahribatlı Deney Yöntemleri.....                           | 42 |
| 2.5.2.1.     | Tek Eksenli Basınç Dayanımı Deneyi.....                    | 42 |
| 2.5.2.2.     | Yarmada Çekme Dayanımı Deneyi.....                         | 44 |
| 2.5.2.3.     | Eğilme Dayanımı Deneyi.....                                | 46 |
| 2.6.         | Uygulanan Tahribatsız Deneylerle Elde Edilen Tepkiler..... | 48 |
| 2.6.1.       | Model 1 (Parça Demir Donatılı Prizma).....                 | 48 |
| 2.6.2.       | Model 2 (Parça Sünger Donatılı Prizma).....                | 55 |
| 2.6.3.       | Model 3 (Donatısız Prizma).....                            | 62 |
| 2.6.4.       | Model 4 (Parça Demir Donatılı Silindir).....               | 66 |

|          |                                                  |     |
|----------|--------------------------------------------------|-----|
| 2.6.5.   | Model 5 (Parça Sünger Donatılı Silindir).....    | 69  |
| 2.6.6.   | Model 6 (Donatısız Silindir).....                | 72  |
| 2.6.7.   | Model 7 (Bütün Demir Donatılı Prizma).....       | 75  |
| 2.6.8.   | Model 8 (Bütün Sünger Donatılı Prizma).....      | 79  |
| 2.6.9.   | Model 9 (Bütün Demir Donatılı Silindir).....     | 83  |
| 2.6.10.  | Model 10 (Bütün Sünger Donatılı Silindir).....   | 86  |
| 3.       | ARAŞTIRMA BULGULARI.....                         | 89  |
| 3.1.     | Fiziksel Özellikler.....                         | 89  |
| 3.2.     | Mekanik Özellikler.....                          | 102 |
| 3.2.1.   | Tek Eksenli Basınç Dayanımı Deney Sonuçları..... | 102 |
| 3.2.2.   | Yarmada Çekme Dayanımı Deney Sonuçları.....      | 102 |
| 3.2.3.   | Eğilme Dayanımı Deney Sonuçları.....             | 103 |
| 4.       | SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....                        | 105 |
| 5.       | KAYNAKLAR.....                                   | 108 |
| ÖZGEÇMİŞ |                                                  |     |

## ÖZET

Tahribatsız yöntemler son yıllarda inşaat mühendisliği yapılarını test etmede ve incelemede önemli roller oynamaya başlamıştır.

Bu çalışmanın amacı bir yapısal inceleme programında kullanılan tahribatsız yöntemlerin temel prensiplerini vermek ve yapılan modelleme çalışmalarından elde edilen fiziksel verilerin yorumlanması ile anlaşılabilir standartlar ve kuralların belirlenmesine katkı sağlamaktır.

Çalışmada 5 adet prizma ve 5 adet silindir numune üretilmiş ve kullanılmıştır. Prizmatik numuneler üzerinde Wenner, Schlumberger ve dipol-dipol dizilimleri kullanılarak elektrik öz direnç ve indüksiyon polarizasyonu ölçümleri alınmıştır. Veriler 2-Boyutlu ters çözüm programı ile yorumlanmıştır. Silindir numuneler üzerinde Wenner ve dipol-dipol dizilimleri kullanılarak 2-Boyutlu ters çözüm programı ile yorumlanmıştır.

Tüm modellerde P dalgasının malzeme içinden geçiş hızları belirlenmiştir.

Beton numuneler Basınç, Çekme, Eğilme deneyleri gibi tahribatlı deneylere tabi tutulmuştur.

Bu çalışma farklı özellikte üretilen 10 beton numune üzerinde uygulanan tahribatsız ve tahribatlı deneylerin sonuçlarını kapsamaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Tahribatsız Yöntemler, Beton, Elektrik Öz direnç, İndüksiyon Polarizasyonu, P Dalga Hızı, Tahribatlı Yöntemler

## **SUMMARY**

### **Determination of Concrete Strength by Geophysical Methods**

Nowadays, non-destructive testing (NDT) methods plays important role in the evaluation and testing of civil engineering structures.

The aim of the study is to give basic principles of some NDT methods and their limitations in the structural evaluation programme, and provide information about agreed standards and guidelines from the interpretation of the physical data that obtained various concrete materials.

Five prismatic and five cylindrical concrete specimens are produced for the purpose of the study.

On the prism models, Wenner, Schlumberger, and dipole-dipole arrays used to obtain Electrical Resistivity and induced polarisation (IP) data. 2-Dimensional (2D) Resistivity and IP inversion programme used for the interpretation. On the cylinder models, Wenner and dipole-dipole arrays used to obtain data, and interpreted using 2D inversion programme.

Ultrasound Pulse Velocity Method is used to determine P wave velocities of the specimens.

After completion of the NDT methods Destructive Testing methods (Compressive Strength, Flexure Strength, and Splitting Tensile Strength) are conducted on the specimens.

**Key Words:** NDT, Concrete, Electrical Resistivity, Induced Polarisation, P wave velocity, Destructive Testing

## ŞEKİLLER DİZİNİ

|                                                                                                                                                          | <u>Sayfa No</u> |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| Şekil 1. Çalışmada kullanılan farklı boyutlardaki kalker agregası.....                                                                                   | 5               |
| Şekil 2. Deney numune kalıpları.....                                                                                                                     | 9               |
| Şekil 3. Kullanılan donatı örnekleri .....                                                                                                               | 9               |
| Şekil 4. Deney numunelerinin hazırlanma aşamaları .....                                                                                                  | 10              |
| Şekil 5. Beton kür aşaması ve kür sonrası kuruma .....                                                                                                   | 11              |
| Şekil 6. Laboratuar çalışmasında kullanılan prizmatik modellerle elektrot düzeninin şematik gösterimi.....                                               | 12              |
| Şekil 7. Laboratuar çalışmasında kullanılan silindirik modellerin şematik gösterimi.....                                                                 | 13              |
| Şekil 8. Çalışmada kullanılan modeller (a) silindirik modeller (b) prizmatik model.....                                                                  | 14              |
| Şekil 9. Bir yer elektrik kesitinin veri noktalarıyla birlikte blok diyagramı.....                                                                       | 15              |
| Şekil 10. Bir model için oluşturulan (a) üçgen mesh sistemi ve (b) ölçü alma yöntemi...                                                                  | 16              |
| Şekil 11. Elektrik özdirenç yönteminin temel esası, akım (C1,C2) ve potansiyel (P1,P2) elektrotları ile akım ve eş potansiyel çizgilerinin dağılımı..... | 18              |
| Şekil 12. Çalışmada kullanılan EKG elektrotları ve kablo sistemi.....                                                                                    | 19              |
| Şekil 13. Abem Terrameter SAS 1000 Özdirenç ve IP aleti.....                                                                                             | 20              |
| Şekil 14. Jeofizikte yaygın olarak kullanılan dizilimler.....                                                                                            | 21              |
| Şekil 15. İP yönteminin genel uygulama prensibi.....                                                                                                     | 26              |
| Şekil 16. Zaman bölgesi ölçüm tekniğinde yüklenebilirlik parametresinin bulunmasında kullanılan büyüklükler.....                                         | 28              |
| Şekil 17. Zaman bölgesi ölçüm tekniğinde İP etkisi parametresinin bulunmasında kullanılan büyüklükler.....                                               | 29              |
| Şekil 18. Genel Ultrasonik hız ölçüm şeması.....                                                                                                         | 31              |
| Şekil 19. Ultrason cihazının genel çalışma prensibi.....                                                                                                 | 32              |
| Şekil 20. Ultrasonik Hız Ölçmede Kullanılan Pundit Aleti.....                                                                                            | 33              |
| Şekil 21. Direkt Ölçüm Yöntemi.....                                                                                                                      | 35              |
| Şekil 22. Yarı Direkt Ölçüm Yöntemi.....                                                                                                                 | 35              |
| Şekil 23. Endirekt Ölçüm Yöntemi.....                                                                                                                    | 36              |

|                                                                                                                                                                  |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 24. Bilgisayar kontrollü basınç dayanım ölçüm donanımı ve şematik gösterimi.....                                                                           | 43 |
| Şekil 25. Yarmada çekme dayanımı deney düzeneği.....                                                                                                             | 44 |
| Şekil 26. Yarma deneyindeki numunenin deneyden önceki ve sonraki görünümü.....                                                                                   | 45 |
| Şekil 27. Eğilme Dayanım deneyi için kullanılan ekipman.....                                                                                                     | 47 |
| Şekil 28. Model 1'in ultrasonik hız ölçümlerinden elde edilen kapanım haritası.....                                                                              | 48 |
| Şekil 29. Model 1 üzerinde Wenner dizilimi uygulanarak alınan özdirenç verilerinin ters çözümü (a) 1.yüzey (b) 2.yüzey (c) 3.yüzey (d) 4.yüzey.....              | 49 |
| Şekil 30. Model 1 üzerinde Schlumberger dizilimi uygulanarak alınan özdirenç verilerinin ters çözümü (a) 1.yüzey (b) 2.yüzey (c) 3.yüzey (d) 4.yüzey.....        | 50 |
| Şekil 31. Model 1 üzerinde Dipol-Dipol dizilimi uygulanarak alınan özdirenç verilerinin ters çözümü (a) 1.yüzey (b) 2.yüzey (c) 3.yüzey (d) 4.yüzey.....         | 51 |
| Şekil 32. Model 1 üzerinde Wenner dizilimi uygulanarak alınan yüklenebilirlik verilerinin ters çözümü (a) 1.yüzey (b) 2.yüzey (c) 3.yüzey (d) 4.yüzey.....       | 52 |
| Şekil 33. Model 1 üzerinde Schlumberger dizilimi uygulanarak alınan yüklenebilirlik verilerinin ters çözümü (a) 1.yüzey (b) 2.yüzey (c) 3.yüzey (d) 4.yüzey..... | 53 |
| Şekil 34. Model 1 üzerinde Dipol-Dipol dizilimi uygulanarak alınan yüklenebilirlik verilerinin ters çözümü (a) 1.yüzey (b) 2.yüzey (c) 3.yüzey (d) 4.yüzey.....  | 54 |
| Şekil 35. Model 2'nin ultrasonik hız ölçümlerinden elde edilen kapanım haritası .....                                                                            | 55 |
| Şekil 36. Model 2 üzerinde Wenner dizilimi uygulanarak alınan özdirenç verilerinin ters çözümü (a) 1.yüzey (b) 2.yüzey (c) 3.yüzey (d) 4.yüzey.....              | 56 |
| Şekil 37. Model 2 üzerinde Schlumberger dizilimi uygulanarak alınan özdirenç verilerinin ters çözümü (a) 1.yüzey (b) 2.yüzey (c) 3.yüzey (d) 4.yüzey.....        | 57 |
| Şekil 38. Model 2 üzerinde Dipol-Dipol dizilimi uygulanarak alınan özdirenç verilerinin ters çözümü (a) 1.yüzey (b) 2.yüzey (c) 3.yüzey (d) 4.yüzey.....         | 58 |
| Şekil 39. Model 2 üzerinde Wenner dizilimi uygulanarak alınan yüklenebilirlik verilerinin ters çözümü (a) 1.yüzey (b) 2.yüzey (c) 3.yüzey (d) 4.yüzey.....       | 59 |
| Şekil 40. Model 1 üzerinde Schlumberger dizilimi uygulanarak alınan yüklenebilirlik verilerinin ters çözümü (a) 1.yüzey (b) 2.yüzey (c) 3.yüzey (d) 4.yüzey..... | 60 |
| Şekil 41. Model 2 üzerinde Dipol-Dipol dizilimi uygulanarak alınan yüklenebilirlik verilerinin ters çözümü (a) 1.yüzey (b) 2.yüzey (c) 3.yüzey (d) 4.yüzey.....  | 61 |
| Şekil 42. Model 3'ün ultrasonik hız ölçümlerinden elde edilen kapanım haritası.....                                                                              | 62 |
| Şekil 43. Model 3 üzerinde Wenner dizilimi uygulanarak alınan özdirenç verilerinin ters çözümü (a) 1.yüzey (b) 2.yüzey (c) 3.yüzey (d) 4.yüzey.....              | 63 |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                               |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 44. Model 3 üzerinde Schlumberger dizilimi uygulanarak alınan özdirenç verilerinin ters çözümü (a) 1.yüzey (b) 2.yüzey (c) 3.yüzey (d) 4.yüzey.....                                                                                                                                     | 64 |
| Şekil 45. Model 3 üzerinde Dipol-Dipol dizilimi uygulanarak alınan özdirenç verilerinin ters çözümü (a) 1.yüzey (b) 2.yüzey (c) 3.yüzey (d) 4.yüzey.....                                                                                                                                      | 65 |
| Şekil 46. Model 4'ün ultrasonik hız ölçümlerinden elde edilen kapanım haritası.....                                                                                                                                                                                                           | 66 |
| Şekil 47. Model 4 üzerinde Wenner dizilimi uygulanarak elde edilen görünür özdirenç verisi ve iki boyutlu (2B) ters çözümü (a) A profili $\chi^2=7.099$ ve iterasyon sayısı=5 (b) B profili $\chi^2=1.586$ ve iterasyon sayısı=13 (c) C profili $\chi^2=9.36$ ve iterasyon sayısı=6.....      | 67 |
| Şekil 48. Model 4 üzerinde Dipol-Dipol dizilimi uygulanarak elde edilen görünür özdirenç verisi ve iki boyutlu (2B) ters çözümü (a) A profili $\chi^2=0.65$ ve iterasyon sayısı=2 (b) B profili $\chi^2=0.786$ ve iterasyon sayısı=2 (c) C profili $\chi^2=0.92$ ve iterasyon sayısı=5.....   | 68 |
| Şekil 49. Model 5'in ultrasonik hız ölçümlerinden elde edilen kapanım haritası.....                                                                                                                                                                                                           | 69 |
| Şekil 50. Model 5 üzerinde Wenner dizilimi uygulanarak elde edilen görünür özdirenç verisi ve iki boyutlu (2B) ters çözümü (a) A profili $\chi^2=0.496$ ve iterasyon sayısı=3 (b) B profili $\chi^2=1.19$ ve iterasyon sayısı=7 (c) C profili $\chi^2=0.77$ ve iterasyon sayısı=5.....        | 70 |
| Şekil 51. Model 5 üzerinde Dipol-Dipol dizilimi uygulanarak elde edilen görünür özdirenç verisi ve iki boyutlu (2B) ters çözümü (a) A profili $\chi^2=7.67$ ve iterasyon sayısı=10 (b) B profili $\chi^2=9.98$ ve iterasyon sayısı=13 (c) C profili $\chi^2=7.11$ ve iterasyon sayısı=5.....  | 71 |
| Şekil 52. Model 6'nın ultrasonik hız ölçümlerinden elde edilen kapanım haritası.....                                                                                                                                                                                                          | 72 |
| Şekil 53. Model 6 üzerinde Wenner dizilimi uygulanarak elde edilen görünür özdirenç verisi ve iki boyutlu (2B) ters çözümü (a) A profili $\chi^2=4.82$ ve iterasyon sayısı=9 (b) B profili $\chi^2=2.35$ ve iterasyon sayısı=10 (c) C profili $\chi^2=0.87$ ve iterasyon sayısı=10.....       | 73 |
| Şekil 54. Model 6 üzerinde Dipol-Dipol dizilimi uygulanarak elde edilen görünür özdirenç verisi ve iki boyutlu (2B) ters çözümü (a) A profili $\chi^2=3.46$ ve iterasyon sayısı=63 (b) B profili $\chi^2=15.58$ ve iterasyon sayısı=9 (c) C profili $\chi^2=11.24$ ve iterasyon sayısı=9..... | 74 |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 55. Model 7'nin ultrasonik hız ölçümlerinden elde edilen kapanım haritası.....                                                                                                                                                                                                                   | 75 |
| Şekil 56. Model 7 üzerinde Wenner dizilimi uygulanarak alınan özdirenç verilerinin ters çözümü (a) 1.yüzey (b) 2.yüzey (c) 3.yüzey (d) 4.yüzey.....                                                                                                                                                    | 76 |
| Şekil 57. Model 7 üzerinde Schlumberger dizilimi uygulanarak alınan özdirenç verilerinin ters çözümü (a) 1.yüzey (b) 2.yüzey (c) 3.yüzey (d) 4.yüzey.....                                                                                                                                              | 77 |
| Şekil 58. Model 7 üzerinde Dipol-Dipol dizilimi uygulanarak alınan özdirenç verilerinin ters çözümü (a) 1.yüzey (b) 2.yüzey (c) 3.yüzey (d) 4.yüzey.....                                                                                                                                               | 78 |
| Şekil 59. Model 8'in ultrasonik hız ölçümlerinden elde edilen kapanım haritası.....                                                                                                                                                                                                                    | 79 |
| Şekil 60. Model 8 üzerinde Wenner dizilimi uygulanarak alınan özdirenç verilerinin ters çözümü (a) 1.yüzey (b) 2.yüzey (c) 3.yüzey (d) 4.yüzey.....                                                                                                                                                    | 80 |
| Şekil 61. Model 8 üzerinde Schlumberger dizilimi uygulanarak alınan özdirenç verilerinin ters çözümü (a) 1.yüzey (b) 2.yüzey (c) 3.yüzey (d) 4.yüzey.....                                                                                                                                              | 81 |
| Şekil 62. Model 8 üzerinde Dipol-Dipol dizilimi uygulanarak alınan özdirenç verilerinin ters çözümü (a) 1.yüzey (b) 2.yüzey (c) 3.yüzey (d) 4.yüzey.....                                                                                                                                               | 82 |
| Şekil 63. Model 9'un ultrasonik hız ölçümlerinden elde edilen kapanım haritası.....                                                                                                                                                                                                                    | 83 |
| Şekil 64. Model 9 üzerinde Wenner dizilimi uygulanarak elde edilen görünür özdirenç verisi ve iki boyutlu (2B) ters çözümü (a) A profili $\chi^2=0.98$ ve iterasyon sayısı=5 (b) B profili $\chi^2=7.22$ ve iterasyon sayısı=1 (c) C profili $\chi^2=1.66$ ve iterasyon sayısı=3.....                  | 84 |
| Şekil 65. Model 9 üzerinde Dipol-Dipol dizilimi uygulanarak elde edilen görünür özdirenç verisi ve iki boyutlu (2B) ters çözümü (a) A profili $\chi^2=11.79$ ve iterasyon sayısı=9 (b) B profili $\chi^2=0.725$ ve iterasyon sayısı=4 (c) C profili $\chi^2=0.416$ ve iterasyon sayısı=1.....          | 85 |
| Şekil 66. Model 10'nun ultrasonik hız ölçümlerinden elde edilen kapanım haritası.....                                                                                                                                                                                                                  | 86 |
| Şekil 67. Model 10 üzerinde Wenner dizilimi uygulanarak elde edilen görünür özdirenç verisi ve iki boyutlu (2B) ters çözümü (a) A profili $\chi^2$ hata=0.78 ve iterasyon sayısı=4 (b) B profili $\chi^2$ hata=0.898 ve iterasyon sayısı=3 (c) C profili $\chi^2$ hata=0.92 ve iterasyon sayısı=2..... | 87 |
| Şekil 68. Model 10 üzerinde Dipol-Dipol dizilimi uygulanarak elde edilen görünür özdirenç verisi ve iki boyutlu (2B) ters çözümü (a) A profili $\chi^2=6.57$ ve iterasyon sayısı=12 (b) B profili $\chi^2=6.9$ ve iterasyon sayısı=13 (c) C profili $\chi^2=8.46$ ve iterasyon sayısı=11.....          | 88 |
| Şekil 69. (a) Model 1 (b)Ultrasonik hız ölçümleri sonucu elde edilmiş donatı yerleri.....                                                                                                                                                                                                              | 90 |

|                                                                                                                                                                                       |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Şekil 70. Model 1'in 4.yüzeyinde 3 dizilim için görünür özdirenç verilerinin ters çözümleri<br>(a)Wenner dizilimi (b)Schlumberger dizilimi (c)Dipol-Dipol dizilimi.....               | 91  |
| Şekil 71. (a) Model 2 (b) Ultrasonik hız ölçümleri sonucu elde edilmiş donatı yerleri....                                                                                             | 92  |
| Şekil 72. Model 2'nin 4.yüzeyinde 3 dizilim için görünür özdirenç verilerinin ters çözüm<br>sonuçları (a) Wenner dizilimi (b) Schlumberger dizilimi (c) Dipol-Dipol dizilimi<br>..... | 92  |
| Şekil 73. Model 3'ün 1.yüzeyinde 3 dizilim için görünür özdirenç verilerinin ters çözümü<br>(a)Wenner dizilimi (b)Schlumberger dizilimi (c)Dipol-Dipol dizilimi.....                  | 93  |
| Şekil 74. (a) Model 4 Wenner dizilimi için görünür özdirenç verilerinin ters çözüm<br>sonuçları (b) Ultrasonik hız ölçüm sonuçları.....                                               | 94  |
| Şekil 75. (a) Model 5 Dipol-Dipol dizilimi için görünür özdirenç verilerinin ters çözüm<br>sonuçları (b) Ultrasonik hız ölçüm sonuçları.....                                          | 95  |
| Şekil 76. (a) Model 6 Wenner dizilimi için görünür özdirenç verilerinin ters çözüm<br>sonuçları (b) Ultrasonik hız ölçüm sonuçları.....                                               | 96  |
| Şekil 77. (a) Model 7 (b) Ultrasonik hız ölçümleri sonucu elde edilmiş donatı yerleri....                                                                                             | 97  |
| Şekil 78. Model 7'nin 3.yüzeyinde 3 dizilim için görünür özdirenç verilerinin ters çözümü<br>(a)Wenner dizilimi (b)Schlumberger dizilimi (c)Dipol-Dipol dizilimi.....                 | 98  |
| Şekil 79. (a) Model 8 (b) Ultrasonik hız ölçümleri sonucu elde edilmiş donatı yerleri....                                                                                             | 99  |
| Şekil 80. Model 7'nin 1.yüzeyinde 3 dizilim için görünür özdirenç verilerinin ters çözümü<br>(a)Wenner dizilimi (b)Schlumberger dizilimi (c)Dipol-Dipol dizilimi.....                 | 99  |
| Şekil 81. (a) Model 9 Wenner dizilimi için görünür özdirenç verilerinin ters çözüm<br>sonuçları (b) Ultrasonik hız ölçüm sonuçları.....                                               | 100 |
| Şekil 82. Model 10 Dipol-Dipol dizilimi için görünür özdirenç verilerinin ters çözüm<br>sonuçları ve ultrasonik hız ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması.....                         | 101 |

## TABLÖLAR DİZİNİ

|                                                                                                               | <u>Sayfa No</u> |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| Tablo 1. Kalker agregasının fiziksel özellikleri.....                                                         | 6               |
| Tablo 2. Kalker agregasının mekanik özellikleri.....                                                          | 6               |
| Tablo 3. Kullanılan çimentoların fiziksel mekanik ve kimyasal özellikleri.....                                | 7               |
| Tablo 4. Betonun elektrik öz direnci ile aşınma riski arasındaki ilişki.....                                  | 23              |
| Tablo 5. Betonun dalga hızı ile kalitesi arasındaki ilişki.....                                               | 37              |
| Tablo 6. Sıcaklık ile puls hızı arasındaki ilişki.....                                                        | 38              |
| Tablo 7. Örnek büyüklüğün puls iletimi üzerindeki etkisi.....                                                 | 39              |
| Tablo 8. Tahribatsız yöntemlerin karşılaştırılması.....                                                       | 41              |
| Tablo 9. Beton numunelerin ultrasonik hız değerleri.....                                                      | 89              |
| Tablo 10. Beton numunelerin tek eksenli basınç dayanımı değerleri.....                                        | 102             |
| Tablo 11. Beton numunelerin eğilme dayanımı değerleri.....                                                    | 103             |
| Tablo 12. Tüm modeller üzerinde uygulanan tahribatlı ve tahribatsız yöntemler sonucu elde edilen veriler..... | 104             |

## SEMBOLLER DİZİNİ

|                     |                                          |
|---------------------|------------------------------------------|
| a                   | :Sabit                                   |
| A                   | :Taşın yük uygulanan yüzünün alanı       |
| AgCl                | :Gümüş klorür                            |
| ASTM                | :Amerikan Test ve Materyalleri Topluluğu |
| BD                  | :Basınç dayanımı                         |
| C1                  | :1. akım elektrotu                       |
| C2                  | :2. akım elektrotu                       |
| Ca(OH) <sub>2</sub> | :Kalsiyum hidroksit                      |
| cm                  | :Santimetre                              |
| Cu(SO) <sub>4</sub> | :Bakır sülfat                            |
| d                   | :Yoğunluk                                |
| D                   | :Deney numunesinin çapı                  |
| E                   | :Elastisite modülü                       |
| EKG                 | :Elektrokardiyografi                     |
| gr                  | :Gram                                    |
| İP                  | :İndüksiyon Polarizasyon                 |
| kg                  | :Kilogram                                |
| kHz                 | :Kilohertz                               |
| kN                  | :Kilo Newton                             |
| L                   | :Deney numunesinin boyu                  |
| L                   | :Örnek kalınlığı                         |
| mA                  | :Miliamper                               |
| MF                  | :Metal faktör                            |
| MHz                 | :Megahertz                               |
| mm                  | :Milimetre                               |
| MPa                 | :Megapaskal                              |
| mV                  | :Milivolt                                |
| n                   | :Seviye                                  |
| N                   | :Newton                                  |
| P1                  | :1. potansiyel elektrotu                 |
| P2                  | :2. potansiyel elektrotu                 |

|                |                                     |
|----------------|-------------------------------------|
| PÇ             | : Portland çimentosu                |
| P <sub>k</sub> | : Kırılmaya sebep olan en büyük yük |
| s/ç            | : Su/çimento                        |
| T              | : Dalğanın örneği geçme zamanı      |
| TSE            | : Türk Standartları Enstitüsü       |
| YFE            | :Yüzde frekans etkisi               |
| V <sub>c</sub> | : Betonun puls hızı                 |
| V <sub>p</sub> | : P dalga hızı                      |
| V <sub>s</sub> | : S dalga hızı                      |
| v              | : Poisson oranı                     |
| σ <sub>b</sub> | : Taşın basınç mukavemeti           |
| σ <sub>t</sub> | :Brazilian çekme dayanımı           |
| μ              | : Sıkışmazlık modülü                |
| λ              | : Lame sabiti                       |
| χ <sup>2</sup> | : Chi kare hata                     |
| ρ <sub>a</sub> | : Görünür özdirenç                  |

## **1. GENEL BİLGİLER**

### **1.1.Giriş**

Farklı cins ve oranlardaki malzemelerin birleşiminden oluşan beton, günümüz yapı üretiminin en önemli malzemesidir. Çevremize baktığımızda binalar, yollar, köprüler, barajlar, santraller, istinat duvarları, su depoları, limanlar, hava alanları vb.nin betondan yapıldığını görmekteyiz. Bu nedenle karışıma giren malzemelerin kalitesi, karışım oranı, betonun karılması, taşınması, yerleştirilmesi ve kürü betonun performansına etki eden önemli parametrelerdir. Betonda yer alan kimyasal ve fiziksel olaylar sonucunda, beton daha boşluklu bir malzeme durumuna gelebilmekte, içerisindeki demir donatılar paslanabilmekte, beton aşınabilmekte ve betonun hasar görmesine, hizmet edemez duruma gelmesine yol açmaktadır. Betonun, hizmet gördüğü süre boyunca karşılaştığı kimyasal ve fiziksel olaylar karşısında yeterli direnci gösterebilmesi, yani yeterince dayanıklı olması en az betonun dayanımı kadar, hatta çoğu zaman beton dayanımından daha önemlidir.

Ayrıca zamanın, gayretin ve masrafın hedeflenen amaç doğrultusunda boşa harcanmaması için yapılacak deneylerin iyi planlanması gereklidir. Bundan dolayı incelenecek yapıların beton kalitesinin belirlenmesinde kendi içinde eksikler bulunan yaklaşımları doğru şekilde sentezleyerek gerçeğe en yakın dayanımın belirlenmesinde en az zamanı kullanarak, en düşük tahribatı yapıya vererek ve en ekonomik şekilde sonuca gitmek gereklidir. Bu çalışmada hem betonun kalitesinin hem de içerisindeki donatının durumunun ve konumunun belirlenmesinde kullanılan tahribatlı (Basınç Dayanımı, Eğilme Dayanımı ve Yarmada Çekme Dayanımı deneyleri) ve tahribatsız (Elektrik Özdirenç, İndüksiyon Polarizasyonu ve Ultrasonik Hız) yöntemler incelenerek birbirleriyle karşılaştırılması yapılmıştır.

### **1.2. Önceki Çalışmalar**

Bu çalışmada, kırıklı ve çatlaklı yapılarda elektrik özdirenç yönteminin kapasitesi gösterilmek istenmiştir. Bunun üzerine arazi ve laboratuvar çalışmaları yapılmıştır. İlk olarak daha önceden akustik ve görsel keşiflerle tanımlanan 1x0.5 m boyutlarındaki bir alanda ölçümler alınmış ve alınan ölçümlerle görünür özdirenç haritaları hazırlanmıştır.

Daha sonra laboratuvar ortamında içerisinde yapay kırıklar oluşturulan  $3 \times 0.24 \times 0.15$  m boyutlarında bir beton numune hazırlanarak üzerinde ölçümler alınmıştır. Alınan ölçümlerde kırıklı bölgelerde görünür öz direncin oldukça düşük, tabakalanmanın olduğu bölgelerde ise yüksek olduğu gözlenmiştir. Sonuç olarak arazi ve laboratuvar verileri karşılaştırılarak elektrik öz direnç yönteminin kırıklı ve tabakalı yapıları ortaya çıkarmadaki hassasiyeti gösterilmiştir [1].

Çalışmada, farklı beton numuneleri üzerinde Elektrik Öz direnç, Sismik, Ultrasonik ve Radar yöntemleriyle alınan ölçümlerin doğruluklarının hangi parametrelere bağlı olduğunu göstermek amacıyla deneysel bir araştırma yapılmıştır. Laboratuvar araştırmaları için normal yapı uygulamalarında kullanılan beton, inşaat mühendisliği yapılarında kullanılan beton ve yine bu yapılarda kullanılan yüksek dayanımlı beton olmak üzere 3 farklı sınıfta  $60 \times 60 \times 12$  cm boyutlarında beton numuneler üretilmiştir. Toplamda 63 adet beton numune üretilmiş ve 39 tanesinin içine 12 mm çapında 15 cm aralıklı demir donatılar yerleştirilmiştir. Sonuç olarak numuneler üzerinde bu yöntemler uygulanmış ve elde edilen verilerden yöntemlerin doğruluğunun örtü katmanının fiziksel durumuna, özellikle nem içeriğine, kırık yoğunluğuna ve yüzeyin pürüzsüzlüğüne bağlı olduğu ortaya çıkarılmıştır [2].

Yapılan çalışmada, köprülerin ayak ve direklerinde, karayollarında ve bina yapımlarında kullanılan beton ya da betonarme yapılarında meydana gelen aşınma, çatlama ve tabakalanma gibi bozunmaları belirlemek amacıyla arazi ve laboratuvar ortamında ölçümler almıştır. Çalışmanın arazi kısmında elektrik öz direnç ve radar yöntemi, laboratuvar kısmında ise elektrik öz direnç yöntemi kullanılmıştır. Bunun için basınç dirençleri farklı olan 3 beton numune üretilmiştir. Ayrıca sayısal modellemede yöntemin başarısını göstermek için beton numunelerden birinin içerisine demir donatılar yerleştirilmiş ve ölçümler alınmıştır. Köprü üzerinde alınan ölçümlerde görünür öz direnç haritaları ile radar kesitleri arasında korelasyon sağlanmaya çalışılmıştır. Yapılan çalışma, sayısal modellemeyle elektrik öz direnç yönteminin betonla demir donatı arasında var olan bağlantıya karşı hassasiyetini ve erken bir evrede olası bir tabakalanmanın belirlenmesine izin verdiğini göstermiştir [3].

Beton yapılarda meydana gelen kırıkların karakteristik özelliklerini belirlemek amacıyla elektrik öz direnç yönteminin ve akustik metodun birlikte kullanıldığı bu çalışma için, laboratuvar şartlarında  $5 \text{ m} \times 6 \text{ m} \times 0.6 \text{ m}$ 'lik bir beton üretilmiş ve içerisinde plastik filmler kullanılarak yapay kırıklar oluşturulmuş ve ölçümler alınmıştır. Çalışmada 2 yöntemin

birlikte kullanılmasının amacı ise bir yöntemin yetersiz kaldığı durumlarda diğerinin onu tamamlaması ve sonuçları desteklemesidir. Buna bağlı olarak çalışmada elektrik özdirenç yöntemiyle kırıkların derinlikleri ve yerleri belirlenmiş, akustik metotla da sonuçlar desteklenmiştir [4].

Yapılan deney çalışmasında, köprü direkleri ve yol şeritleri gibi beton yapıları zarar vermeden incelemede tahribatsız bir yöntem olan elektrik özdirenç yönteminin uygulanabilirliğine karar vermek amaçlanmıştır. Bunun için laboratuarda 5 inç kalınlığında, 12 inç uzunluğunda çelik donatı içeren 2 beton numune hazırlanmıştır. Ölçümler sonucu elde edilen görünür özdirenç haritalarından, donatıların etkileri her iki örnekte de tekil değil toplu olarak gözlenmiştir. Bu nedenden dolayı, çalışmada donatılar arasındaki mesafenin arttırılması gerektiği sonucuna varılmıştır [5].

Elektrik özdirenç yöntemi ile beton numune içerisindeki su yayılımını görüntülemek için deneysel bir araştırma yapılmıştır. Araştırmada kullanmak üzere içerisinde çelik çubuk karışımları ve 1.27 cm çapında boşlukları olan beton numuneler hazırlanmıştır. Örneğin üzerine bir elektrot sistemi yerleştirilip ölçümler alınmıştır. Özdirenç yayılımına karar verildikten sonra örnek üzerindeki boşluklardan belirli aralıklarla betona su enjekte edilmiştir ve ölçümlere devam edilmiştir. Ölçümler 29 saat sürmüş ve toplamda 1.4 litre su ilave edilmiştir. Ölçümler sonucu elde edilen görüntülerde deneyin birinci saatinden itibaren özdirenç değerinin düştüğü ve suyun deney süresince yavaş yavaş emildiği çok açık bir şekilde gözlenmiştir. Deneyler elektrik özdirenç yönteminin beton örnek içindeki su yayılımını görüntülemeye çok iyi bir yöntem olduğunu göstermiştir [6].

Ultrases dalgaları kullanarak üretilen betonlardaki kimyasal zararları belirlemek üzere bir araştırma yapılmıştır. Bu çalışmada yüksek seviyede ultra ses frekans (0.5–1 MHz) kullanılarak betonlaşmış yapıların bozulmuş kaplamalarını karakterize etmek için zararsız bir metot uygulanmıştır. Bir beton parçasının yarısı üzerinde beton koruyucularının bozulma olası değerlerine göre hız ve direnç ölçümleri yapılmıştır. Bir taraf 15 ile 45 gün arasında asit çözeltisine daldırılırken diğer taraf sağlam bırakılmıştır. Bu ölçümler boyuna, enine ve yüzey dalgaları için yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar yüksek frekanslı eğilim hızında %23 lük bir azalma ve sağlam malzeme bağlantılı olarak bozulmuş malzemedeki daralma %1000 artmıştır. Bu nedenle yüksek frekanslı ultra ses kullanılarak kaplamalı betonun karakterize etmek mümkündür [7].

Yapılan bu çalışmadaki amaç, ince öğütülmüş uçucu kül ve yine ince öğütülmüş yüksek fırın cürufunun betonun klor geçirimsizliği ve basınç dayanımına etkisini

incelemektedir. Yapılan çalışmada iki farklı seri beton üretilmiştir. İlk seri betonlarda Portland çimentosu ince öğütülmüş F tipi uçucu kül ile yer değiştirilmiş, ikinci seri betonlarda ise çimentonun yer değiştirilmesi ince öğütülmüş yüksek fırın cürufu ile yapılmıştır. Üretilen bu betonlarda klor iyonu yayılımı ve elektriksel direnç deneyleri yapılmıştır. Çalışmada elektriksel direnç ölçümleri, iki elektrot yöntemi ve dört elektrot yöntemi olmak üzere iki farklı şekilde uygulanmıştır. Tüm direnç ölçümleri yüzey kuru-suya doygun numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Çalışmada betonda klor yayılımı ile öz direnci arasında güçlü bir ilişkinin olduğu saptanmıştır. Elektriksel öz direnç ölçümlerinin, yapı imal sürecinde, elde edilen beton klor geçirimsizliklerinin izlenmesi ve kalite kontrolü için uygun bir yöntem olduğu sonucuna varılmıştır [8].

Deprem öncesi veya sonrası mevcut betonarme yapıların güvenliğinin belirlenmesinde önemli aşamalardan biri olan beton dayanımının belirlenebilmesi için tahribatlı ve tahribatsız yöntemler kullanarak yapılan çalışmada tahribatsız yöntemlerden biri olan Schmidt çekici ve Ultrases Hızı Tekniği, tahribatlı yöntemlerden ise Karot Numune Alma Yöntemi kullanılmıştır. Ultrases hızı, Schmidt çekici yöntemlerin sonuçlarının yapı bileşenlerinden alınan karot numunelerinin basınç dayanımları ile korelasyon kurulup regresyon analizi yapılmış ve deneyler arasında bağlantı denklemleri kurulmuştur. Sonuç olarak, Ultrases hızı ve Schmidt çekici gibi yöntemlerin sonuçlarının yapı bileşenlerinden alınacak karot numunelerinin basınç dayanımları ile korelasyon kurulup regresyon analizi yapılarak değerlendirilmesiyle beton dayanımı hakkında daha gerçekçi bilgi sahibi olunabileceği ortaya konulmuştur [9].

Çalışmada bazı tahribatsız test metotlarının vakum uygulanmış betonların basınç dayanımlarının belirlenmesindeki performansları incelenmiştir. Bunun için aynı karışımdaki betona farklı sürelerde vakum uygulanarak 3 farklı özellikte beton hazırlanmış, bu betonlarda tahribatsız test metotlarından Windsor probe penetrasyon testi, beton test çekici ile yüzey sertliği ve Ultrases geçiş hızı deneyleri yapılmıştır. Ayrıca, beton bloklardan alınan karot örneklerin tek eksenli basınç dayanım değerleri belirlenmiştir. Karot örneklerin tek eksenli basınç dayanım değerleri ile tahribatsız test metotlarıyla belirlenen basınç dayanım değerleri karşılaştırılmış, sonuç olarak karot örneklerden elde edilen basınç dayanımlarını, Windsor probe penetrasyon testi ortalama %2.5, Schmidt çekici %5.4 ve bileşik metot ise %3.5 yaklaşıklıkla belirlemiştir [10].

## 2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Yapılan çalışmada, betonun fiziksel ve mekanik özelliklerini tahmin etmek amacıyla tahribatlı ve tahribatsız yöntemler kullanılmıştır. Burada amaç, tahribatlı ve tahribatsız yöntemleri bir arada uygulayarak yöntemlerin vereceği sonuçlar arasında bir korelasyon sağlamaktır. Bu nedenle beton numuneler üzerinde önce numuneye zarar vermeyen Elektrik Özdirenç, İP ve Ultrasonik Hız yöntemleri kullanılmış ve daha sonra beton numunenin mekanik özelliklerinin belirlenmesi için numuneye hasar veren Basınç Dayanımı, Eğilme Dayanımı ve Yarmada Çekme Dayanımı deneyleri uygulanmıştır.

### 2.1. Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Malzemelerin Özellikleri

#### 2.1.1. Agregası

Agregası, doğal veya yapay malzemenin genellikle 100 mm boyutlarına kadar çeşitli büyüklüklerdeki kırılmış ve/veya kırılmamış tanelerin oluşturduğu yığındır. Diğer bir tanım ise; beton yapımında çimento ve su ile birlikte kullanılan kum, çakıl ve kırma taş gibi malzemelerin genel adıdır [11]. Yapılan çalışmada kullanılan agregası, Trabzon yöresine ait kalkerdir. Çalışma için kullanılan agregası örnekleri Şekil 1’de gösterilmektedir.



Şekil 1. Çalışmada kullanılan farklı boyutlardaki kalkeri agregası

Tablo 1. Kalker agregasının fiziksel özellikleri [12].

| Agrega türü | Agrega sınıfı | Gevşek birim kütle ( $\text{kg/m}^3$ ) | Özgül kütle( $\text{kg/m}^3$ ) |        | Kütlece su emme (%) |
|-------------|---------------|----------------------------------------|--------------------------------|--------|---------------------|
|             |               |                                        | Kuru                           | Doygun |                     |
| Kalker      | İri (16–8 mm) | 1400                                   | 2658                           | 2670   | 0.42                |
|             | Orta (8–4 mm) | 1400                                   | 2658                           | 2670   | 0.42                |
|             | İnce (4–0 mm) | 1450                                   | 2626                           | 2640   | 0.52                |

Tablo 2. Kalker agregasının mekanik özellikleri [12].

| Ortalama basınç dayanımı (MPa)                                                | Ortalama eğilmede çekme dayanımı (MPa)                          | Elastisite modülü (MPa) | Poisson oranı |
|-------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|-------------------------|---------------|
| ( $\varnothing=75\text{mm}$ , $h=150\text{mm}$ 'lik karot örnekleri üzerinde) | ( $40\times40\times160\text{mm}$ 'lik karot örnekleri üzerinde) |                         |               |
| 74                                                                            | 17                                                              | 46000                   | 0.17          |

### 2.1.2. Çimento

Çimento bir hidrolik bağlayıcıdır. Yani su ile reaksiyon sonucu sertleşir ve sertleştikten sonra suyla temas edecek olursa yumuşamaz. Çimentolar daha çok beton üretiminde kullanılmaktadır. Betonların üretiminde Aşkale Çimento (Trabzon) Fabrikasında TS-EN 197–1'e göre üretilen CEM II A-P 32,5 R çimentosu kullanılmıştır. Bu çimentoların üretildikleri fabrikalardan temin edilen kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3. Kullanılan çimentoların fiziksel, mekanik ve kimyasal özellikleri [12].

| FİZİKSEL ÖZELLİKLER                              |                                     | Kütlece Yüzde (%)    |
|--------------------------------------------------|-------------------------------------|----------------------|
|                                                  |                                     | CEM II A-P 32.5 R    |
| Özgül kütle ( $\text{g/cm}^3$ )                  |                                     | 2.90                 |
| Özgül yüzey ( $\text{cm}^2/\text{g}$ )           |                                     | 4226                 |
| 90 $\mu$ elek üstünde kalan (%)                  |                                     | 2.0                  |
| Piriz süresi (saat-vicat indisi) Başlangıç/bitiş |                                     | 02.50/ 04.00         |
| Standart kıvam su miktarı (%)                    |                                     | 33.13                |
| MEKANİK ÖZELLİKLER                               |                                     |                      |
| 2 günlük                                         | Basınç dayanımı ( $\text{N/mm}^2$ ) | 18.5                 |
| 7 günlük                                         | Basınç dayanımı ( $\text{N/mm}^2$ ) | 29.9                 |
| 28 günlük                                        | Basınç dayanımı ( $\text{N/mm}^2$ ) | 37.0                 |
| KİMYASAL ÖZELLİKLER                              |                                     |                      |
| $\text{Al}_2\text{O}_3 / \text{Fe}_2\text{O}_3$  |                                     | 5.94 / 3.90          |
| $\text{CaO} / \text{MgO} / \text{SiO}_2$         |                                     | 51.54 / 2.30 / 26.48 |
| $\text{SO}_3 / \text{Cl}^-$                      |                                     | 2.21 / 0.027         |

### 2.1.3. Katkı Maddesi

Hazır betonun uzun süre işlenebilirliğini koruması, daha çabuk sertleşmesi, daha akışkan olması gibi özellikleri sağlamak için, beton katkı maddeleri vardır. Kimyasal katkı maddelerinin zararsız olduğu dünyaca kabul edilmiştir. Bu kimyasal katkıları, uygun dozlarda betona katılırlar. Böylece özel durumlarda, betondan beklenen özellikler sağlanmış olur. Çalışmada, süper akışkanlaştırıcı katkı maddeleri kullanılmıştır.

### 2.1.4. Karışım Suyu

Yüksek dayanımlı betonlarda geleneksel betonlarda olduğu gibi, beton karma suyu olarak içme suyunun kullanılması en doğru tercih olmakla birlikte daha önce denenmiş ve iyi sonuçlar alınmış suların kullanılmasında bir sakınca bulunmamaktadır. Karma suyunu asit reaksiyonu göstermeyen ( $\text{pH} > 7$ ), içerisinde girişken karbonik asit, mangan bileşikleri, amonyum tuzları, serbest klor, madeni yağlar, organik maddeler ve endüstri atıkları

bulunmayan sulardan seçmek gerekmektedir [12]. Çalışmada KTÜ içme suyu kullanılmıştır.

### **2.1.5. Beton Kürü**

Betonun, özellikle ilk günlerde yeterince çimentonun su ile reaksiyona girebilmesini sağlayabilmek üzere, betonun içerisinde yeterli miktarda suyun ve sıcaklığın bulundurulması ve bu ortamın korunması işlemi "Betonun Kürü veya Betonun Bakımı" olarak adlandırılmaktadır. Betonda dayanıklılığı garanti eden unsurlardan bir tanesi de betonun kür edilmesidir. Teorik olarak en iyi kür şekli betonu su altında bırakmak veya ıslak çuvalı beton yüzeylerine örterek korumaktır.

### **2.2. Deney Numunelerinin Hazırlanması ve Karışım Oranları**

Beton numunelerin üretimi için; her bir agrega sınıfı, çimento, doyma suyu, karma suyu ve süper akışkanlaştırıcı tartılarak hazırlanmıştır. İri, orta ve ince agrega önceden nemlendirilmiş 60 litre kapasiteli, eğik eksenli beton karıştırıcısına konulmuş ve doyma suyu ilave edilerek birkaç dakika karıştırılmış, daha sonra çimento eklenerek karıştırılmaya devam edilmiştir. Beton karıştırıcısı çalışırken karma suyu ilave edilerek birkaç dakika daha karıştırılıp beton harcı elde edilmiştir. Elde edilen karışım önceden yağlanarak hazırlanmış 3 adet 15x30 cm ayrıtlı silindir ve 3 adet 10x10x52 cm ayrıtlı prizma kalıplara yerleştirilmiş ve titreşim tablasına konulmuşlardır. Beton numuneler 2 farklı seri halinde üretilmiştir. İkinci seride, ilk seride yapılan işlemler tekrar edilerek toplam 12 adet numune üretilmiştir. Çalışmada modellerin yapımında toplam 24.50 kg çimento, 13.52 kg su ve 122.122 kg agrega kullanılmıştır. Ayrıca çalışmada farklı çap ve türde donatılar kullanılmıştır. Bunlar farklı boyutlardaki sünger ve demir donatılarıdır. Şekil 2’de deney numune kalıpları, Şekil 3’de kullanılan donatı örnekleri, Şekil 4’de deney numunelerinin hazırlanma aşamaları ve Şekil 5’de ise beton kür aşaması ile kür sonrası kuruma gösterilmektedir.



Şekil 2. Deney numune kalıpları



Şekil 3. Kullanılan donatı örnekleri



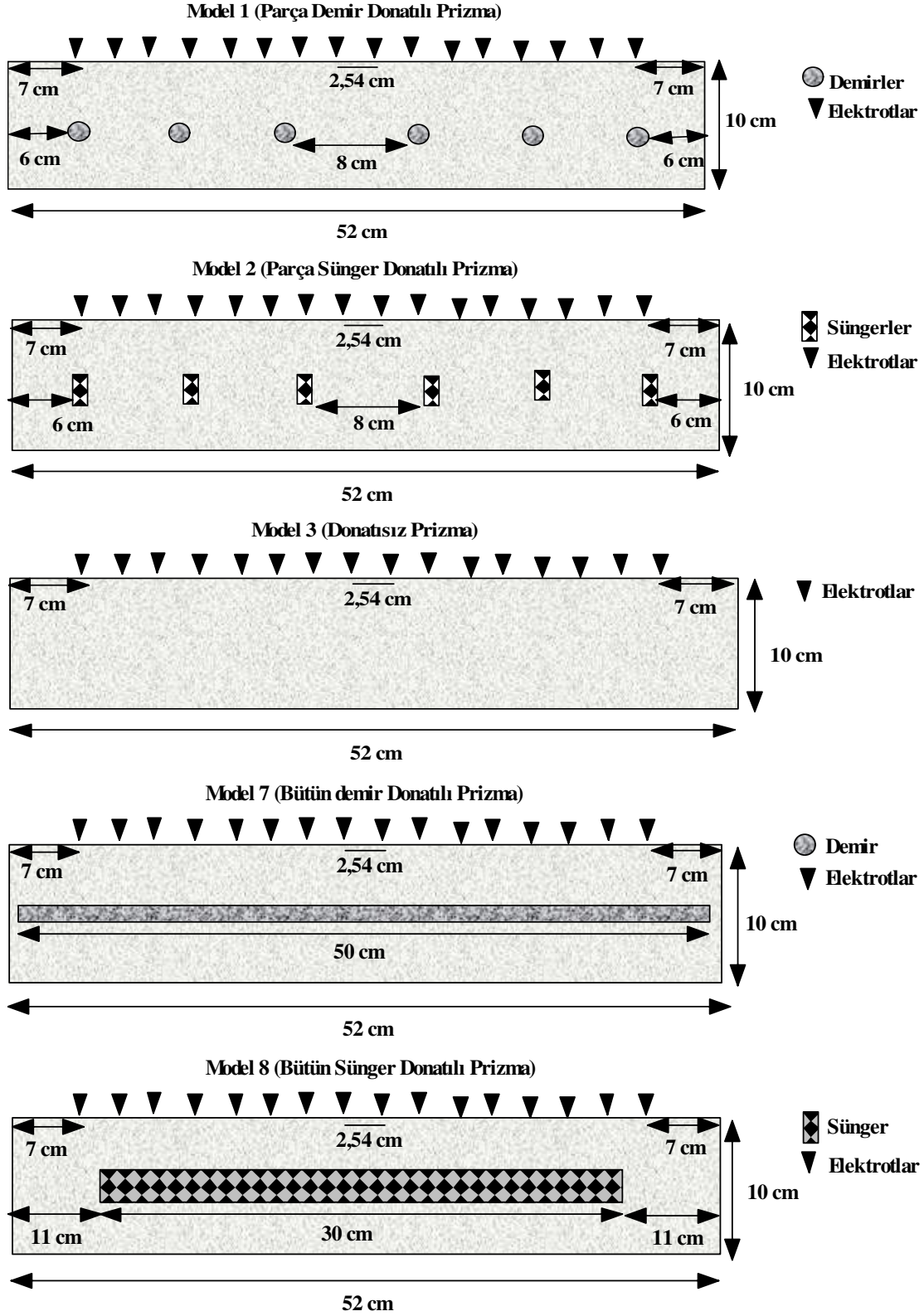
Şekil 4. Deney numunelerinin hazırlanma aşamaları



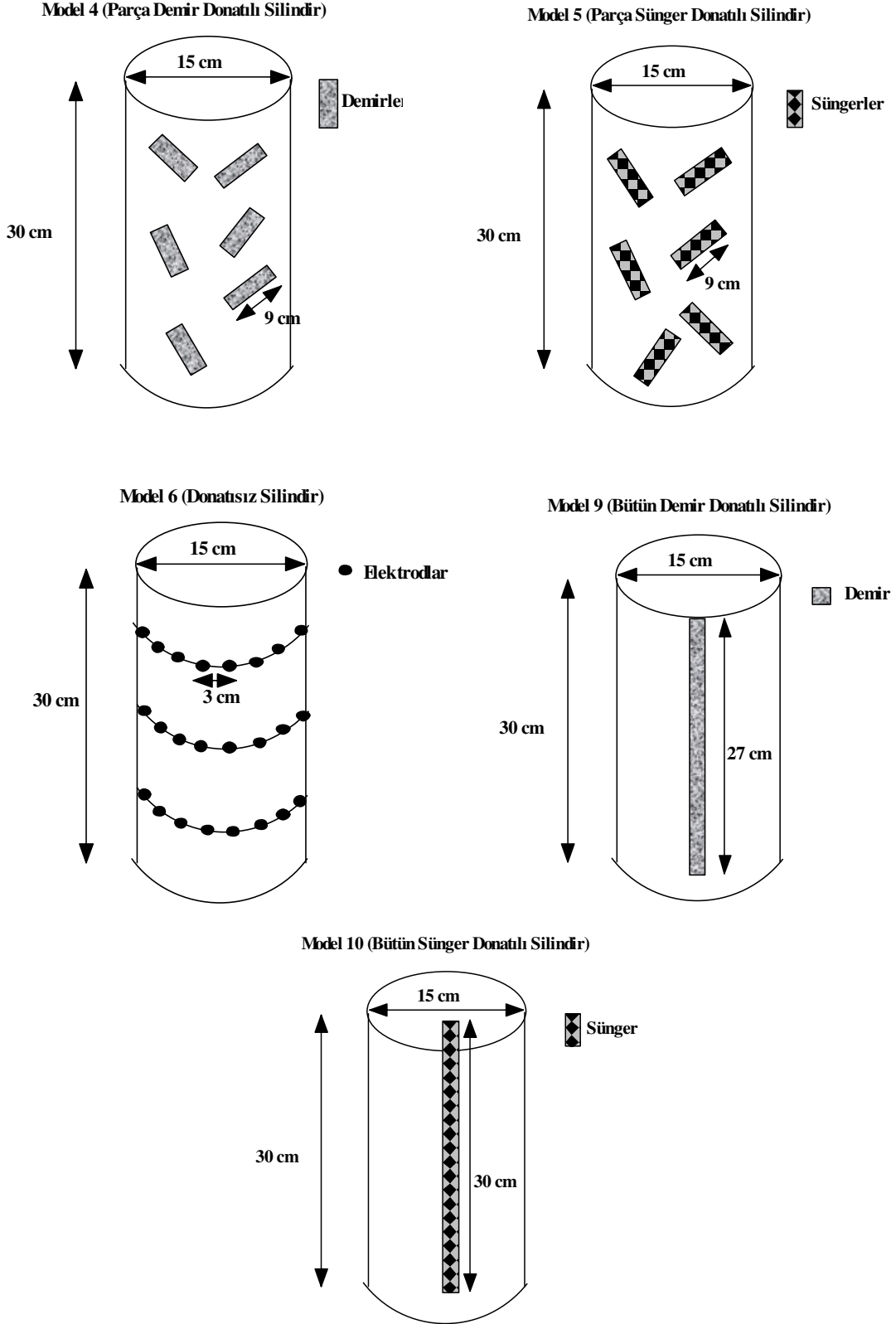
Şekil 5. Beton kür aşaması ve kür sonrası kuruma

### 2.3. Kullanılan Modeller

Çalışmada 10 çeşit model kullanılmıştır. Şekil 6’da prizmatik modeller ve Şekil 7’de de silindirik modellerin şematik şekilleri gösterilmektedir. Şekil 8’de tüm modeller bir arada gösterilmektedir. Kullanılan tüm modeller betondur. Beton yüksek öz dirençlidir. Oluşturulan betonların içlerine farklı boyut ve yapıdaki donatılar yerleştirilerek tepkileri belirlenmeye çalışılmıştır. Model 1 ve Model 4’ün içine boyutları 1x9 cm olan 6 adet demir donatı yerleştirilmiştir. Model 2 ve Model 5’de ise boyutları 1x4x9 cm olan 6 adet sünger donatı bulunmaktadır. Model 3 ve Model 6 içerisinde donatı bulunmaktadır. Model 7’de 1x50 cm boyutunda ve Model 9’da da 1x27 cm boyutunda 1 adet demir donatı bulunmaktadır. Model 8’de 1x4x30 cm boyutunda Model 10’da ise 1x4x30 cm boyutunda 1 adet sünger donatı bulunmaktadır.



Şekil 6. Laboratuar çalışmasında kullanılan prizmatik modeller ve elektrot düzeninin şematik gösterimi



Şekil 7. Laboratuvar çalışmasında kullanılan silindirik modellerin şematik gösterimi



(a)



(b)

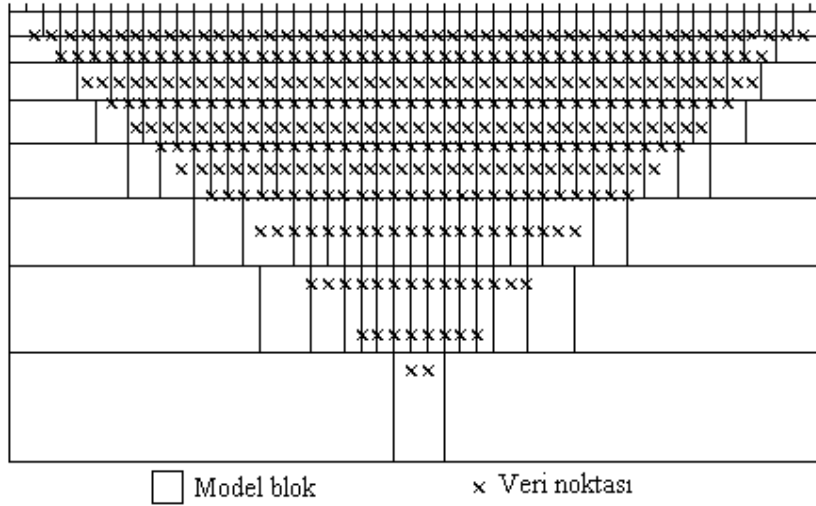
Şekil 8. Çalışmada kullanılan modeller (a) silindirik modeller (b) prizmatik modeller

## 2.4. Çalışmada Kullanılan Ters Çözüm Programları

### 2.4.1. Res2dinv Programı

Özdirenç IP ölçümlerinin ters çözümü Dr. M. H. Loke tarafından geliştirilen Res2dinv programı ile yapılmıştır. Program, alınan ölçümlerden sonra yeraltının 2 boyutlu görüntüsünü otomatik olarak hesaplayan bir programdır. Program birçok dürtgensel blok içeren ters çözüm programıdır. Blokların yayılımı ve boyutları program tarafından otomatik olarak yapılmaktadır. Şekil 9'da andıran kesitte bir model için kullanılan blok diyagramını veri noktalarıyla birlikte göstermektedir. Program sonlu farklar ve sonlu elemanlar düz modelleme teknikleriyle desteklenmektedir.

Kullanılan Res2dinv ters çözüm programı, bir yarı-gösterim (semi-demo) programıdır. Fakat 3 tekrarla birlikte bu tür küçük ölçekli çalışmalar için yeterlidir. Bazı durumlarda bu tekrarlamaların sayısı düşürülebilir. Programda ters çözüm en küçük kareler yöntemini temel alır [27].

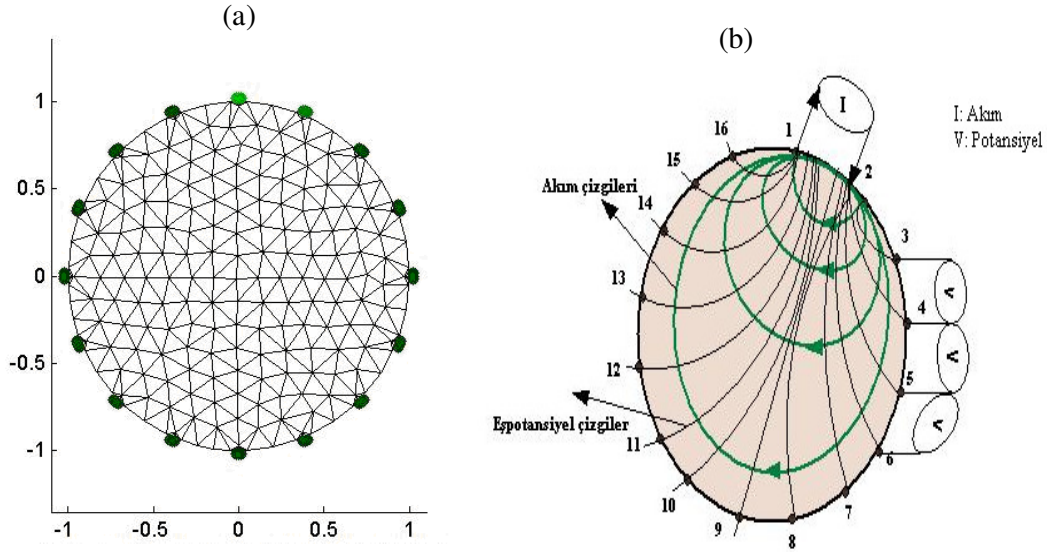


Şekil 9. Bir yer elektrik kesitinin veri noktalarıyla birlikte blok diyagramı [27].

### 2.4.2. DC2dTree Programı

Silindir numuneler üzerinde alınan Özdirenç ve IP ölçümlerinin ters çözümü Thomas Günther tarafından geliştirilen DC2dTree programı ile yapılmıştır. DC2dTree programında sadece silindirik geometriye sahip yapılar üzerinde alınan ölçümler değerlendirilebilir. Değerlendirilecek olan yapının dairesel kesitinin kenar noktaları belirlenir ve alınan ölçümlerle birlikte bir veri dosyası oluşturulur. Birkaç işlem aşamasından sonra yapının 2 boyutlu görüntüsü otomatik olarak hesaplanır. Program birçok üçgensel blok içeren ters çözüm programıdır. Blokların yayılımı ve boyutları program tarafından otomatik olarak yapılmaktadır. Şekil 10'da bir model için oluşturulan üçgen ağ sistemi ve ölçüm alma biçimi birlikte gösterilmektedir. Program sonlu elemanlar düz modelleme tekniğiyle desteklenmektedir. Çalışmalarda bütün elektrot dizilimleri kullanılabilir.

Kullanılan DC2dTree programı, bir deneme (demo) programıdır. Fakat birkaç tekrarlamayla birlikte bu tür küçük ölçekte çalışmalar için yeterlidir. Programdaki en ideal hata oranı  $\chi^2 = 1-10$  olarak kabul edilmiştir. Bazı durumlarda bu tekrarlamaların sayısı düşürülebilir [28].



Şekil 10. Bir model için oluşturulan (a) üçgen mesh sistemi ve (b) ölçü alma yöntemi [28].

## **2.5. Deneysel Yöntemler**

### **2.5.1. Tahribatsız Deney Yöntemleri**

Betonun üretime uygun olup olmadığına karar vermek için beton sertleştikten sonra genellikle birtakım deneylerin ve testlerin yapılması gerekmektedir. Bu testlerin en ideal olanı ise betona zarar vermeden yapılanlarıdır. Bunun için tamamen güvenli ve betona hiçbir şekilde zarar vermeyen beton testleri uygulanabilir. Tahribatsız deneyler, bir malzemenin gelecekte faydalılığını etkilemeyecek teknolojilerle inceleyerek, betonun yerinde değerlendirilmesi, zararın mertebesinin belirlenmesi, nitelik güvencesi, fiziksel özellikler olan yoğunluk, Elastisite modülü, dayanım ve sıklığın belirlenmesinde kullanılır [9]. Tahribatsız yöntemler hem yeni hem de eski yapılarda uygulanabilir. Yeni yapılar için genellikle yapılan testler ya kalite kontrol amaçlı ya da bina veya malzemenin kalitesi hakkındaki kuşkuvarın çözülmesi amaçlıdır [15].

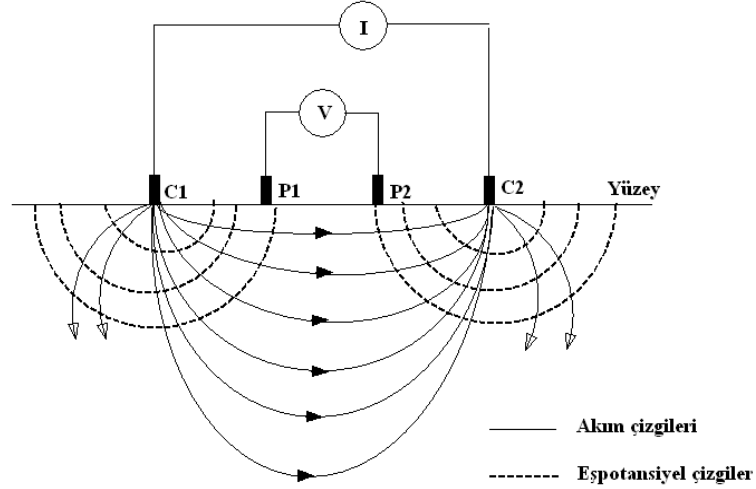
Tahribatsız yöntemlerden hangisi kullanılırsa kullanılsın elde edilen sonuçlar sadece fikir sahibi olmamızı sağlayacaktır. Referans almamız gereken değerler olmadıktan sonra tahribatsız yöntemlerle elde edilen değerler sonuç belirtmemiz ve karar vermemiz için yeterli olmayacaktır. Dolayısıyla sağlıklı sonuçlar elde etmek için tahribatlı yöntemlere de ihtiyaç duyulacaktır [9].

#### **2.5.1.1. Elektrik Özdirenç Yöntemi**

##### **2.5.1.1.1. Genel Prensipler**

Elektrik özdirenç yöntemi genelde bir dizilime uygun olarak yere bir çift elektrot yardımıyla akım göndermeyi ve diğer bir çift elektrot yardımıyla da potansiyel farkları ölçmeyi amaçlar (Şekil 11). Bu potansiyel fark tüm elektrotlar arasındaki uzaklığa ve ortamın jeolojik yapısına bağlı olarak değişir. Ölçülen potansiyel fark ve dizilimin geometrik faktörü dikkate alınarak yeraltının özdirenci hesaplanır. Şayet yer altı homojen ise hesaplanmış olan özdirenç gerçek özdirençtir, heterojen ise hesaplanan görünür özdirençtir. Yeraltı genellikle heterojen özellik gösterdiğinden görünür özdirenç kavramı söz konusudur. Özdirenç aramalarında gözlemlenen görünür özdirenç verilerinin yorumundan, yeraltının gerçek özdirenç ve kalınlıklarının bulunması amaçlanır. Özdirenç

yönteminde genellikle doğru akım (DA) veya düşük frekanslı (~ 120 Hz) alternatif akım (AA) kullanılarak yapılır [13].



Şekil 11. Elektrik özdirenç yönteminin temel esası, akım (C1,C2) ve potansiyel (P1,P2) elektrotları ile akım ve eş potansiyel çizgilerinin dağılımı

Genel olarak herhangi bir dizilim için özdirenç hesaplama işlemi,

$$\rho_a = K \cdot \frac{\Delta V}{I} \quad (1)$$

şeklindedir. Burada;

K: Geometrik faktör

$\Delta V$  : Potansiyel elektrotları arasındaki fark (volt)

I: Yere verilen akım (amper)

### 2.5.1.1.2. Kullanılan Aletler

Ölçümler sırasında genelde bir alıcı-verici seti, izole edilmiş yeteri uzunlukta kablo ve bir çift akım elektrotu ile bir çift potansiyel elektrotunun olması yeterlidir.

#### 2.5.1.1.2.1. Elektrotlar ve Kablo

Genel olarak iki elektrot kullanılabilir. Bunlar metal elektrotlar ya da polarize olmayan elektrotlardır. Metal elektrot kullanılması durumunda; eğer yer ile elektrot arasında büyük bir kontak direnci mevcut ise bu direnci azaltmak maksadıyla tuzlu su veya bir tür tuz eriyiği dökülmelidir. Ayrıca özdirenç aleti eğer doğal uçlaşma etkisini giderecek şekilde imal edilmemişse potansiyel elektrotlarının polarize olmayan bakır-sülfat çözeltili fincanlar olmasına dikkat edilmelidir [14]. Yapılan çalışmada, medikal alanda kullanılan EKG elektrodu kullanılmıştır. Bu elektrot 55 mm çaplı ve yuvarlak şekillidir. Elektrodun betona yapıştırılacağı yerlerde elektrik akımını iyi ileten Ag/AgCl içerikli katı bir jel bulunmaktadır.

Kullanılacak kablonun iyi bir iletken olması, kolayca kopmaması ve iyi izole edilmiş olması gerekmektedir. Bakır ve çelik telden yapılmış ve iyi yalıtılmış kablolar tercih edilmelidir. Yapılan çalışmada, kalp grafiği çekimlerinde kullanılan EKG elektrodu ile uyumlu EKG kablosu kullanılmıştır. Şekil 12’de çalışmada kullanılan elektrotlar ve kablo gösterilmektedir.



Şekil 12. Çalışmada kullanılan elektrotlar ve kablo sistemi

### 2.5.1.1.2.2. ABEM SAS 1000 Aygıtı

Uygulamalarda kullanılan ABEM Terrameter SAS 1000 rezistivite sisteminin merkez ünitesi bütün jeoelektrik uygulamalar ile sahada öz direnç, SP, IP ölçümlemleri yapabilmektedir (Şekil 13). Terrameter SAS 1000 PC'ye seri kablo ile bağlanıp, cihazın ihtiyacını karşılayan iletişim yazılımı veri transferini mümkün kılmakta ve cihazın dahili hafızasındaki kayıtlı veriyi PC'ye gönderebilmektedir. Terrameter SAS 1000 çok yönlü harici batarya adaptörü ile kullanılabilir. 12V DC güç kaynağına bağlanabilir ve harici batarya kullanımı yapılacak çalışmaya uygun batarya kapasitesini seçmeye olanak tanımaktadır.

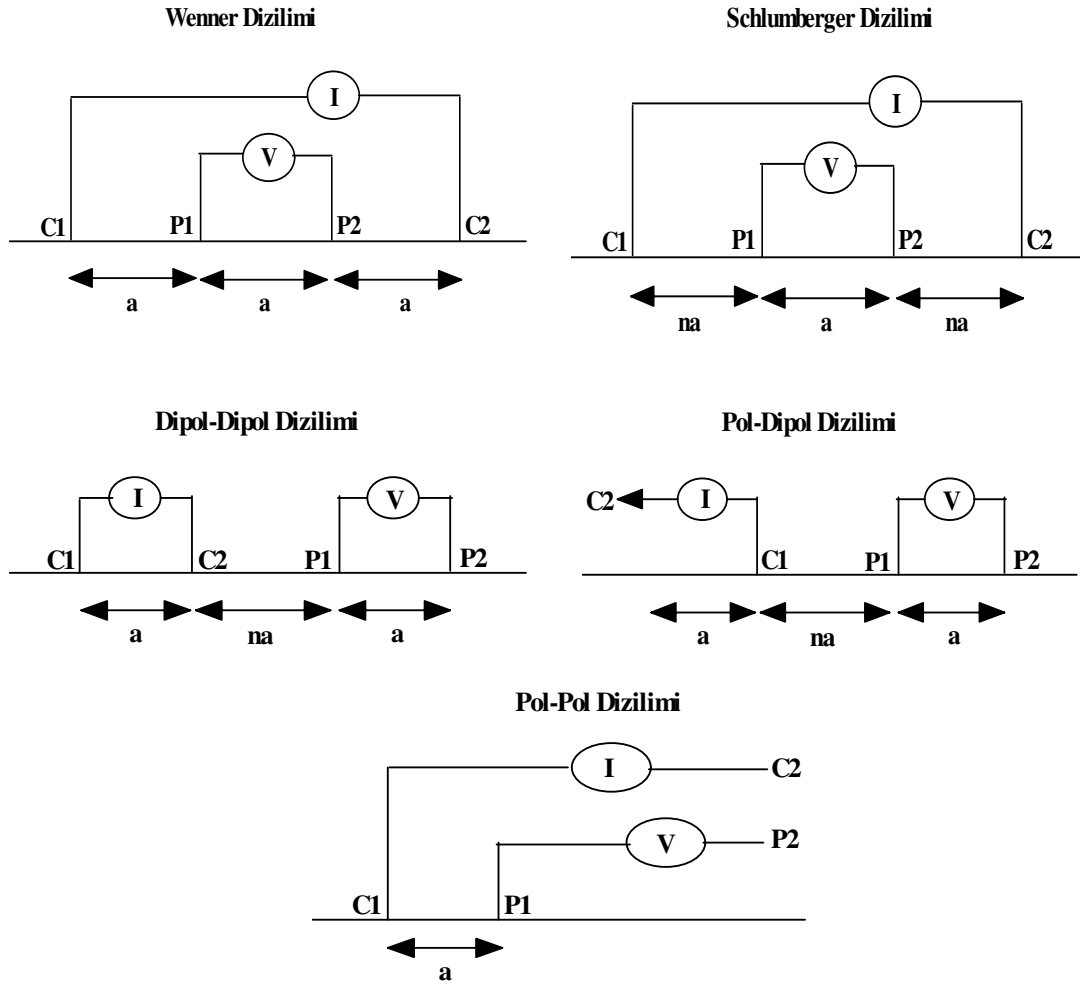


Şekil 13. ABEM TERRAMETER SAS 1000 Öz direnç ve IP aleti

Vericiden 0.2, 0.5, 1, 2, 5, 10, 20, 50, 100, 200, 500, 1000 mA akım verilebilmektedir. Ölçülen maksimum voltaj 400 volt ve maksimum elektrik enerjisi 100 Watt 'tır. Verici akımın doğruluğu 100 mA'de % 5'den daha iyidir. Akım sinyalinin uzunluğu 0.1 sn' den 4 sn' ye kadardır. Alet ile 30.000 okumadan daha fazla okuma sağlanabilir. -5 °C' den 50 °C' ye olan sıcaklıklarda ölçüm almaya imkan vermektedir. Boyutları 105x325x300 mm ve ağırlığı 4.6 kg'dır. Alet normalde direnç değerini vermektedir. Fakat açılımlar alete tanıtıldığında doğrudan öz direnç değerleri de okunabilmektedir. Ayrıca 256'ya kadar yığılma (stack) yapabilmekte ve okuduğu değerlerin arasındaki farka göre hata oranı vermektedir [13].

### 2.5.1.1.3. Elektrot Dizilimleri

Genellikle öz direnç arama oldukça düzenli kalıplarda dizili 4 elektrot kullanılarak yapılır. İki elektrot yer içine akım göndermek için kullanılır. Diğer iki elektrot ise potansiyel ölçmek için kullanılır. C1, C2 akım ve P1, P2 gerilim elektrotlarının farklı konumlarına göre farklı elektrot dizilimleri önerilmiştir. Aynı yer için farklı elektrot dizilimi ile ölçülen gerilim farkları ve dolayısı ile görünür öz direnç değerleri de farklı olmaktadır. Geleneksel elektrot dizilimleri, Şekil 14’de verilen elektrotların bir simetri merkezine göre çizgi boyunca dizilmesinden elde edilen; Wenner, Schlumberger, Dipol-Dipol, Pol-Dipol ve Pol-Pol dizilimleridir.



Şekil 14. Jeofizikte yaygın olarak kullanılan dizilimler

#### 2.5.1.1.4. Elektrik Özdirenç Yöntemi Uygulama Teknikleri

Elektrik özdirenç yöntemi arazide ve laboratuvar ortamında 3 farklı şekilde alınmaktadır. Bu teknikler:

a. Düşey Elektrik Sondaj Tekniği: Yöntem, yatay veya yataya yakın ortamlar için derinliğin fonksiyonu olarak özdirenç değişimini ortaya koymayı hedefler. Sahada belirli bir merkez noktasına göre herhangi bir dizilimle küçük açılımlarla başlayıp daha sonra yavaş yavaş bu aralıklar arttırılarak her defasında görünür özdirenç ölçülür.

b. Yatay Elektrik Sondajı (Özdirenç Haritalama Tekniği): Yer-elektrik haritalama ile tanımlanan düzlemlerde özdirençin yanal değişimleri elde edilir. Tüm elektrot sistemi akım ve potansiyel elektrotları arasındaki mesafe sabit tutularak jeolojik doğrultuya dik bir profil boyunca kaydırılarak ölçümler alınır. Bu tür ölçümlerde amaç, fay, dayk ve yer altı boşlukları gibi yapıları ortaya çıkarabilmektir. Profil ölçümlerinde herhangi bir dizilim kullanılabileceği gibi, genellikle Wenner ve hızlı olması nedeniyle Gradient, Pol-Pol veya Pol-Dipol dizilimleri de kullanılır.

c. Birleşik Sondaj Profil Tekniği: Elektrot aralıkları artırılarak yatay eksen boyunca birçok konumda ölçümler alınır ve yeraltının iki boyutlu yorumuna veri sağlar. Nitel analiz için veriler genellikle andıran kesit (pseudo-section) şeklinde çizilir. İki boyutlu olarak hem yatay hem de düşey yöndeki değişimler araştırılır. Elde edilen veriler andıran kesit olarak görüntülenir. Wenner dizilimi dışında Schlumberger, Wenner-Schlumberger, Dipol-Dipol, Pol-Pol ve Pol-Dipol dizilimleriyle de yapılabilir. Yorumlamada iki-boyutlu (2B) bir modelin ardışık yaklaşımla teorik andıran kesiti hesaplatılıp saha andıran kesitine çakışması sağlanmaya çalışılır [13].

Yapılan çalışmada laboratuvar ortamında Birleşik sondaj profil tekniği kullanılmıştır.

### 2.5.1.1.5. Yöntemin Uygulamaları

Beton belirli oranlarda agrega ve çimento karışımından oluşan gözenekli heterojen yapıda olan bir maddedir. Beton üzerinde yapılan elektrik özdirenç ölçümleri son zamanlarda diğer elektrik ölçüm tiplerinin yorumunda tamamlayıcı veri olarak da kullanılmaktadır [1].

Doğal uçlaşma yöntemi, korozyon bölgesini gösterir ama korozyon miktarı hakkında bir bilgi vermez. Bu da özdirenç yöntemi ile belirlenir. Korozyon oranı katodik reaksiyondaki oksijen oranına ve birde betonun elektrik direncine bağlıdır. Çünkü elektrik direnci anot ve katot bölgeleri arasındaki iyon göçünü kolayca kontrol edebilir. Elektrik direnci betonun nem içeriğine ve betonun mikro yapısına bağlıdır. Bu yüzden betonun özdirenç ölçümleri Doğal uçlaşma yöntemi ile birlikte değerlendirildiğinde çok daha yararlı olmaktadır. Betonun elektrik özdirenci ile aşınma riski arasındaki ilişki Tablo 4’de gösterilmektedir.

Tablo 4. Betonun elektrik özdirenci ile aşınma riski arasındaki ilişki [15].

| Betonun Özdirenci (ohm. m) | Muhtemel Aşınma Oranı |
|----------------------------|-----------------------|
| > 200                      | Önemsiz               |
| 100 – 200                  | Düşük                 |
| 50 – 100                   | Yüksek                |
| < 50                       | Çok Yüksek            |

Elektrotlar arası mesafeye materyalin derinliğine göre karar verilir. Mesafeler ölçümleri etkileyebilir ve anomaliler birbirine karışabilir. Aralık ne kadar büyük alınırsa o kadar derine inilir. Ve bu da ölçümlere katkı sağlar. Genelde yapılan beton çalışmalarında bu aralık 5 cm olarak alınmaktadır. Materyalin derinliği ve genişliği elektrot arası mesafenin en az 4 katı olmalıdır. Ve kenar etkilerinden kurtulmak için alınan elektrot arası mesafenin 2 katı kenarlardan atılmalıdır.

Hesaplanan özdirenci, düşük özdirençli ince beton tabakası ve içerisindeki donatı etkileyebilir. Donatının etkisi donatının çapıyla ve örtü katmanıyla ilgilidir. Örtü derinliği ince ve donatılar arasındaki mesafe küçük olduğunda eğer donatının yeri ve çapı biliniyorsa doğru sonuçlar elde edilebilir. Özetle beton üzerinde yapılan özdirenç ölçümleri

farklı seviyelerdeki muhtemel korozyon aktivitesini değerlendirmede destekleyici ek bilgiler sağlar. Ayrıca Doğal Potansiyel yöntemini desteklemek amacıyla da kullanılır. Yüksek özdirenç değeri düşük korozyon oranını gösterir [16].

#### **2.5.1.1.6. Ölçümleri Etkileyen Faktörler**

Beton üzerinde özdirenç ölçümleri yapılırken ortaya çıkan en önemli problemlerden biri betonun özelliklerinin çevredeki değişikliklerden etkilenmesidir. Betonun özdirencini etkileyen bu faktörler:

a. Nem içeriği: Betondaki nem oranı arttıkça bunun aksine özdirenç değeri azalır. Özellikle yerinde yapılan ölçümlerde nem durumundaki değişimler okumalarda çok büyük bir etkiye sahiptir. Buna rağmen, betonun dış kısmındaki nem değişimleri sonuçları önemli bir şekilde etkilemez. Bu nedenle elektrik özdirenç yöntemi betonun doygunluğunun belirlenmesinde dolaylı bir ölçüm yöntemidir.

b. Sıcaklık: Beton elektrolitik özelliklere sahiptir. Bu yüzden sıcaklık azaldıkça özdirenç artacaktır. Özellikle ölçümler farklı mevsimlerde alındığında bu etkiye dikkat edilmelidir. Çünkü kış mevsiminde alınan ölçümler yaz mevsiminde alınan ölçümlerden daha yüksek özdirenç değerine sahiptir.

c. Klorid içeriği: Betonun içinde klorid ya da diğer herhangi bir inorganik bileşiğin var olması özdirenç değerinde belirli bir düşüşe neden olmaktadır.

d. Karbonatlaşma: Beton içerisinde kalsiyum karbonatlarının oluşması genellikle bir sıkılaştırmaya neden olduğu için özdirençde bir artış meydana gelir.

e. Çimento tipi: Sıradan Portland çimentosuyla karşılaştırıldığında uçucu kül, cüruf ya da silis dumanı içeren karışık çimentolarda bu maddeler genelde özdirençde bir artışa neden olur.

f. Su / Çimento oranı: S/ç oranının artması ile iletkenlik artacağından özdirenç azalır.

g. Agrega tipi: Agrega tipinin etkisi genel olarak önceden belirlenemez. Etki agreganın doğasına ve gözenekli yapısına bağlı olarak değişir. Agreganın gözenekliliği özdirenç değerini düşüren bir etmendir [17].

#### **2.5.1.1.7. Yöntemin Avantajları ve Dezavantajları**

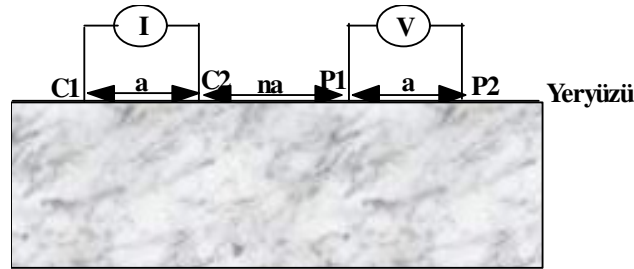
Elektrik özdirenç yönteminde veri toplama işlemi özdirenç aletleriyle çok kısa sürede ve kolayca yapılabilir. Ekipman oldukça ucuzdur ve ölçümler hızlı bir şekilde alınabildiği için zaman kaybı olmaz. Yapılan çalışmalarda, amaca ve hedef yapıya göre farklı elektrot dizilimleri kullanılabilir. Ayrıca yöntem, doğal potansiyel yöntemi gibi diğer yöntemlerle birlikte kullanıldığında çok daha yararlı olabilir.

Yöntemin bu avantajlarına karşılık bazı dezavantajları da vardır. Özellikle ölçüm profillerinin konumu ve uzunluğu, ölçü noktalarının yerleri de aranan yapının vereceği yanıtı etkilemektedir. Bu nedenle bunların seçimi oldukça önemlidir. Beton çimento ve agregalardan yapılmaktadır ve bu malzemeler farklı özdirenç değerlerine sahiptir. Bu nedenden dolayı elektrotlar arası mesafe yeteri kadar büyük olmalı ki ölçülen değer betonun özdirencini ortalama olarak simgelesin [16]. Yöntem, yüzey özdirenci ve nem oranı çok yüksek olan alanlarda hatalı sonuçlar verebilir.

### 2.5.1.2. İndüksiyon Polarizasyonu Yöntemi

#### 2.5.1.2.1. Genel Prensipler

İndüksiyon Polarizasyonu (İP) yöntemi yer materyallerinin bir akımla uyarıldıktan sonra gözlenen gecikmiş voltaj tepkisi şeklinde bir elektriksel fiziksel olaydır. Şekil 15’de İP yönteminin genel uygulama prensibi gösterilmektedir. Özdirenç yönteminde bir jeneratör ya da pil sistemine bağlı iki ayrı elektrot kullanılarak yere elektrik akımı verilir. Bunun yanında yer tepkisinde önemli gecikme sıklıkla gözlemlenebilir. Özellikle verilen akım harici devreyi açarak aniden kapatılırsa yeryüzünde başka iki elektrot kullanarak gözlenen voltaj hemen sıfıra düşmez. Bu etkiye İndüksiyon Polarizasyon adı verilir.



Şekil 15. İP yönteminin genel uygulama prensibi

İP fiziksel olayı ve elektrokimyasal mekanizması oldukça karmaşıktır. Birçok araştırmacı metalik minerallere bitişik iyonların difüzyonu ve elektrolit dolu gözeneklerin içindeki iyonların hareketliliği varsayımını, bir akım uygulandığında yerde mevcut katı parçacıklar ve elektrolitik çözeltilerin dokanağında bu etkileşimlerin olduğunu kabul ediyor. Yüzeyden verilen şarjla çözelti içindeki iyonlar indüklenerek ara yüzeye yakın çözeltide zıt işaretli iyon yoğunlaşması bir çift tabaka oluşturur. Akım kesildiği zaman, başlangıçtaki denge yeniden kurulacaktır ve bunun için bir enerji harcanacaktır. Bu depolanan kimyasal enerji kayacık içinde muhtelif iyonların hareketliliği bir noktadan bir noktaya değiştiği için olacaktır. Böyle bir kayaca bir akım uygulandığı zaman, belli iyonların fazlalık ve noksanlık, farklı hareketlilikli zonlar arasındaki sınırlarda oluşacaktır. Bunun sonucu olarak akım akışına karşı yoğunlaşma gradiyentleri gelişir ve bu da bir polarizasyona neden olur [18].

İndüksiyon polarizasyonunun tam nedenlerinin hala açıkça bilinmemesine rağmen, bazı fiziko-kimyasal tepkimelerden kaynaklandığı belirlenmiştir. Uçlaşma (polarizasyon) etkisine neden olan yer altındaki fiziko-kimyasal tepkimelerin kaynağı, metalik mineral varlığında metalik uçlaşma, kil minerallerinin varlığında ise zar uçlaşması olarak adlandırılır. Zar ve metalik olarak adlandırılan ve yer altının uçlaşma etkileri göstermesine neden olan bu fiziko-kimyasal tepkimeler, İP yönteminin kullanım sınırlarını da belirlemektedir [19].

#### **2.5.1.2.2. Kullanılan Aletler**

Ölçümler sırasında genelde bir alıcı-verici seti, izole edilmiş yeteri uzunlukta kablo ve bir çift akım elektrotu ile bir çift potansiyel elektrotunun olması yeterlidir.

##### **2.5.1.2.2.1. Elektrotlar ve Kablo**

Yapılan çalışmada, medikal alanda kullanılan EKG elektrodu kullanılmıştır. Bu elektrot 55 mm çaplı ve yuvarlak şekillidir. Elektrodun betona yapıştırılacağı yerlerde elektrik akımını iyi ileten Ag/AgCl içerikli katı bir jel bulunmaktadır.

Bakır ve çelik telden yapılmış ve iyi yalıtılmış kablolar tercih edilmelidir. Çalışmada, kalp grafiği çekimlerinde kullanılan EKG elektrodu ile uyumlu EKG kablosu kullanılmıştır.

##### **2.5.1.2.2.2. ABEM SAS 1000 Aygıtının İP Modunda Kullanılması**

İP modunda akım simetrik olarak verilir. Örneğin, pozitif ve negatif polaritelerin uzunluğu eşittir. Bu zaman 0,5 sn'lik adımlarla 1, 1.5, 2, 2.5, 3, ... sn değerlere ayarlanabilir. Öz direnç modunda olduğu gibi akımın genliği alet tarafından otomatik olarak belirlenir. Fakat operatör tarafından kontrol edilebilir. 1 mA'den 1000 mA değerine kadar kurulabilir. Akım elektrotlarında maksimum voltaj 400 Volt'dur. SAS 1000 İP modunda akım kesildikten sonra voltajın geçici sönümlenmesini ölçer. Voltaj bir dizi zaman intervali üzerinden entegre edilir ve SAS 1000 on kadar intervalde ölçüm alabilir. Toplam entegrasyon zamanı 8 sn ile sınırlıdır [18].

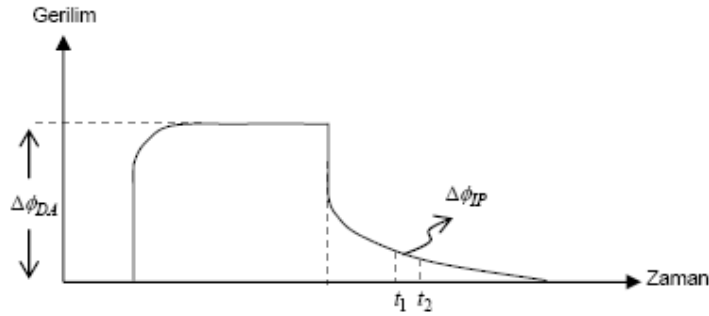
### 2.5.1.2.3. Ölçü Alım Teknikleri

İP yönteminin arazi uygulaması zaman ve frekans ortamı olmak üzere iki farklı şekilde yapılmaktadır. Zaman ortamı ölçümlerde sıfır frekanslı akım (doğru akım) kullanılırken, frekans ortamı ölçümlerde bir yüksek bir de düşük frekansta öz direnç ölçümleri yapılır [19]. Bu yöntemler:

a. Zaman Ortamı İP Yöntemi: Zaman ortamı ölçümlerinde Yüzde İP etkisi ve yüklenebilirlik (Şarzabilite,  $\eta$ ) parametreleri ölçülür ve genellikle aşağıdaki şekilde ifade edilir [18]:

$$\eta = \frac{1}{\Delta\phi_{DA}} \int_{t_1}^{t_2} \Delta\phi_{IP} dt \quad (2)$$

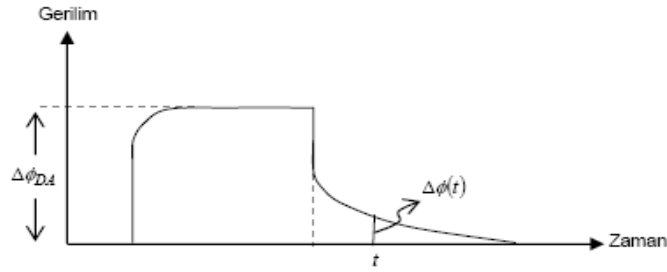
Burada  $\Delta\phi_{DA}$  ölçülen birincil gerilim farkını,  $\Delta\phi_{IP}$  ikincil gerilim farkını t ise örnekleme zamanını göstermektedir. Şekil 16'da yüklenebilirlik parametresinin bulunmasında kullanılan büyüklükler gösterilmektedir.



Şekil 16. Zaman bölgesi ölçüm tekniğinde yüklenebilirlik parametresinin bulunmasında kullanılan büyüklükler [19].

$$\%IP = \frac{\Delta\phi(t)}{\Delta\phi_{DA}} \cdot 100 \quad (3)$$

Doğru akım uygulandığı andaki gerilim farkı ( $\Delta\phi_{DA}$ ) ile akımın kesildiği andaki gerilim farkı ( $\Delta\phi(t)$ ) oranından İP etkisi parametresi elde edilir. Elektrik Özdirenç yöntemindeki tüm ölçüm teknikleri İP yönteminde de kullanılabilir. Genelde yere akım uygulandığında Şekil 17’de İP etkisi parametresinin bulunmasında kullanılan büyüklükler gösterilmiştir. Azalım eğrisi genlik olarak çok düşük olduğundan gürültüye duyarlıdır. Bu yöntemde uçlaşmayan elektrotlar kullanılmalıdır.



Şekil 17. Zaman bölgesi ölçüm tekniğinde İP etkisi parametresinin bulunmasında kullanılan büyüklükler [19].

b. Frekans Ortamı İP Yöntemi: İP etkileri frekans ortamında da gözlemlenir. Frekans ortamı ölçümleri genellikle 10Hz altında (0.1-5Hz ya da 0.3–2.5Hz) iki farklı frekansta yapılır. Frekans etkisi frekans bölgesinde en çok kullanılan İP büyüklüğüdür ve yüzde olarak tanımlanır. Burada  $\rho a_0$  düşük frekanstaki özdirenç,  $\rho a_1$  ise yüksek frekanstaki özdirenç değeridir.

$$YFE = \left( \frac{\rho a_0 - \rho a_1}{\rho a_0} \right) \times 100 \quad (4)$$

Frekans ortamı yönteminde kullanılan bir başka parametre de Metal Faktördür. Elektrolit, sıcaklık, gözenek büyüklüğü gibi metal muhtevasının kapasitif etkisiyle alakalı olmayan değişimleri ve çevre kayacın etkin özdirencindeki değişimleri dengelemek için önerilmiştir [18].

$$MF = 2 \times \pi \times 10^5 \times \left( \frac{\rho a_0 - \rho a_1}{\rho a_0 \times \rho a_1} \right) \quad (5)$$

#### **2.5.1.2.4. Yöntemin Uygulamaları**

İP yöntemi, yaygın olarak metalik maden yataklarının aranmasında kullanılmaktadır. Yakın yüzey araştırmalarındaki ilerlemelere ek olarak, laboratuvar ortamında da örneklerin yapay uçlaşma etkilerinin incelenebilmesi yöntemin kullanım alanlarını genişletmiştir. Killi ve kumlu birimlere verdiği belirgin yanıtlar İP yönteminin, zemin araştırmalarında bu tür birimlerin ayırt edilmesinde kullanılabilmesine imkân sağlamaktadır. Bu birimlerin yer altı suyu bulundurması durumunda sıkça rastlanan sıvılaşma problemi de yöntemin kullanılabilirliğini önemli hale getirmektedir. Ayrıca tatlı ve tuzlu suyun İP etkilerinin belirgin derecede farklı olması, atık malzemelerin yol açacağı sızıntıların farklı belirtiler sunması bu tip alanlarda sınırların belirlenmesinde İP yönteminin kullanılmasını uygun hale getirmektedir [19].

#### **2.5.1.2.5. Yöntemin Avantajları ve Dezavantajları**

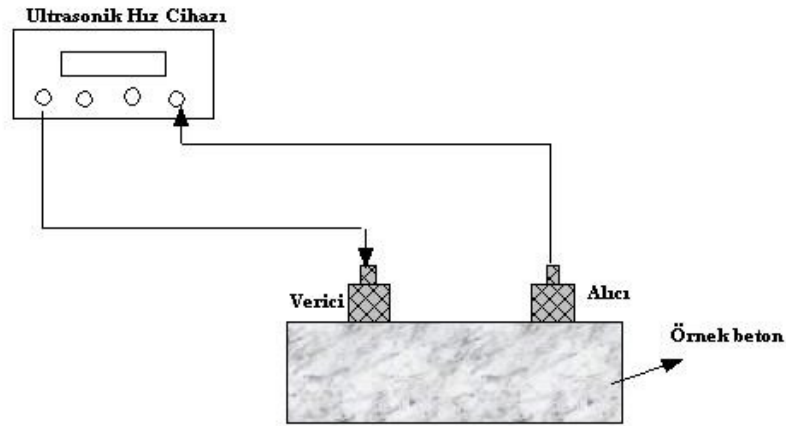
Elektrik özdirenç yönteminde olduğu gibi veri toplama işlemi aletleriyle çok kısa sürede ve kolayca yapılabilir. Ekipman oldukça ucuz ve alet de kolaylıkla kullanılabilirdiği için ölçümler hızlı bir şekilde alınabilir ve zaman kaybı olmaz. Yapılan çalışmalarda, amaçlanan araştırma derinliğine göre farklı elektrot dizilimleri kullanılabilir. Çok düşük aşınma oranı ölçümlerinde yararlı bilgiler sağlar.

Yöntemin bu avantajlarına karşılık bazı dezavantajları da vardır. Özellikle ölçüm profillerinin konumu ve uzunluğu, ölçü noktalarının yerleri de aranan yapının vereceği yanıtı etkilemektedir. Bu nedenle bunların seçimi oldukça önemlidir. Ayrıca, ölçümlerde elektrot arası mesafe iyi ayarlanmalıdır. Polarize olmayan elektrotlar kullanılmalıdır ve elektrotlar ile yapı arasında iyi temas kurulmalıdır [15].

### 2.5.1.3. Ultrasonik Hız Ölçüm Yöntemi

#### 2.5.1.3.1. Genel Prensipler

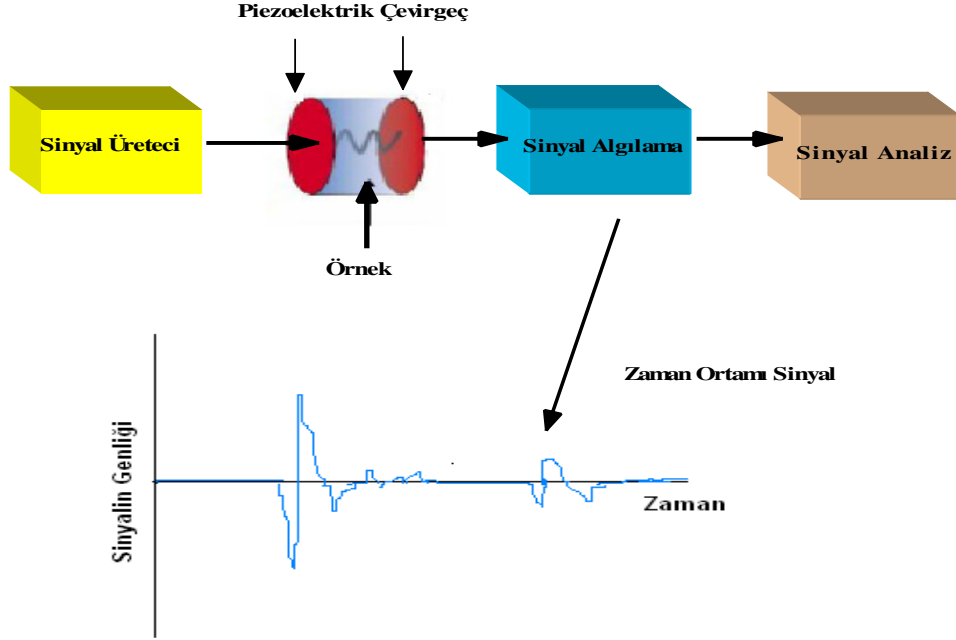
Kayaların mekanik özelliklerini laboratuarda dinamik olarak belirlemek için; kayaç numunesine puls verilerek üretilen sismik dalgaların yayılma sürelerinden dalga hızlarının elde edilmesi ilkesine dayanan Ultrasonik yöntem kullanılmaktadır. Ultrasonik test yönteminde materyaldeki fiziksel ve geometrik özellikleri ölçmek için yüksek frekanslı ses dalgaları kullanılmaktadır. Bu yüksek frekanslı ses dalgaları farklı materyallerde farklı hızlarda seyahat ederler ve materyalin içinde ilerleyip sonra yüzeyden geri yansır. Şekil 18'de ultrasonik hız ölçüm yönteminin genel ölçüm şeması verilmektedir.



Şekil 18. Genel Ultrasonik hız ölçüm şeması

Ultrasonik hız cihazının alıcı ve verici uçları beton numune yüzeyine, arada ultrason jeli kullanılarak elle sıkıca bastırılmalıdır. Verici uçtan çıkan ses hızı dalgaları betonun içerisinden hareket edip, alıcı uca ulaşmaktadır. Ultrasonun üretmiş olduğu ses dalgalarının beton içerisindeki geçiş hızı, numunenin boyunun, geçiş süresine bölünmesiyle elde edilmektedir. Ultrasonik hız değerleri katı cisimler içerisinde yüksek, boşluklu cisimler içerisinde daha düşük olmaktadır. Betonun basınç dayanımı, beton içerisindeki boşluk miktarına bağlı olarak değişmektedir. Yani, ultrason hızı yüksek olan betonların dayanımı, hızı düşük olanlardan daha yüksek olmaktadır. Alıcı ve vericiler örneğin yüzeyinde uygun yerlere konumlandığında cihaz, darbenin vericiden çıktığı zamanla alıcıdan ilk olarak

algılandığı zaman dilimini ölçerek dijital olarak ekranda gösterir [21]. Şekil 19'da ultrasonik hız cihazının çalışma şeması gösterilmektedir.



Şekil 19. Ultrason cihazının genel çalışma prensibi

Genel olarak herhangi bir numunenin dalga hızı aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanabilir.

$$V = \frac{L}{T} \quad (6)$$

Burada; V dalga hızı (m/sn), L örnek kalınlığı (m) ve T ise dalganın örneği geçme zamanını (sn) göstermektedir. Bu bağıntıyla numunenin dalga hızı ile elastik parametreler arasındaki ilişki aşağıdaki bağıntı ile gösterilebilir.

$$V_p = \sqrt{\frac{\lambda - 2\mu}{d}} = \sqrt{\frac{E(1-\nu)}{d(1+\nu) \cdot (1-2\nu)}} \quad (7)$$

Burada;  $V_p$  P dalga hızını,  $\lambda$  lame sabitini,  $\mu$  sıkışmazlık modülünü,  $\nu$  Poisson oranını, E Elastisite modülünü ve d yoğunluğu göstermektedir.

### 2.5.1.3.2. Kullanılan Alet

#### 2.5.1.3.2.1. Ultrasonik Hız Ölçüm Cihazı

Pundit plus model PC1006 kayaçların P ve S dalgalarının hızlarını ölçmek için yapılmış ultrasonik test ekipmanlarının en gelişmişidir. Ultrasonik dalga üreten cihaz, bu elastik dalgaların, dinamik yolla, karot numuneler, beton, kaya numuneleri ve mostralar içerisindeki yayılım hızlarını ölçecek şekilde tasarlanmıştır. 80 nanosaniyeye kadarki hızlarda fonksiyonel olan bir analog/dijital çevirici ile ultrasonik sinyaller sayısal olarak bellekte biriktirilebilmektedir. Aletin ileticileri sedimanter ve volkanik kayaçların test edilmesi için uygundur. Frekans aralığı 1 kHz – 300 kHz'dir.

Cihaz ismini "Portable Ultrasonic Non-Destructive Digital Indicating Tester" (Taşınabilir Ultrasonik Hasarsız Dijital Göstergeli Test) kelimelerinin ilk harflerinden alır. Çalıştırılması basit, doğruluk derecesi yüksek, dengeli ve tamamıyla portatif olarak dizayn edilmiştir. Düşük frekansta ultrasonik darbeler meydana getirerek bunların alıcı ve verici arasında kalan malzemeden geçiş zamanını ölçer. Şarj edilerek, arazide 8 saate yakın, enerji kaynağına gereksinim duymadan çalıştırılabilir (Elvery, 1971; Jones, 1949).

Bu ekipman özellikle beton ve çelik gibi malzemelerin içlerindeki hata ve arızaların bulunması için dizayn edilmiştir. Ekipmanın parçaları ses titreşimi sağlayan bir verici prob, bu verici probun yaymış olduğu ses dalgalarını toplayan bir alıcı prob ve vericiden alıcıya kadar geçen süreyi ölçüp dijital olarak gösteren bir ana gövdedir (Şekil 20).



Şekil 20. Ultrasonik Hız Ölçmede Kullanılan Pundit Aleti

Bir katı madde içerisindeki ultrasonik darbe hareketinin hızı o malzemenin elastik özelliklerine ve yoğunluğuna bağlıdır. Bazı malzemelerin kalitesi elastik sertliğe bağlı olarak değişir. Bu yüzden ultrasonik darbe hızı ölçüm cihazı, elastik özelliklerin tespiti kadar o malzemenin kalitesini göstermek için de sıkça kullanılmaktadır. Özellikle metal dışındaki beton ve ahşap malzemelerin kalitesi bu şekilde ölçülebilir. Ultrasonik test, metallere uygulandığında bu maddelerdeki içsel çatlaklar ışınal yönde geri yansıma ve bunların alıcı prob tarafından toplanması ile tespit olanağı sağlar. Yüzeyden çatlağa darbe hareketi için cihaz birçok kez konumlandırılıp çatlak pozisyonu mümkün olduğunca tahmin edilebilir [22].

#### **2.5.1.3.2.2. Yüksek Voltaj Puls Üreteci**

Cihaz vericileri için güç arttırıcı bir birimdir. Puls çıkış voltajı 200, 600, 1000 volta kadar kademeli olarak yükseltilebilir. Üreteç yardımı ile sinyal/gürültü oranı artırılabilir. Yalnızca uzun örneklerin değil, gözenekli ve çok çatlaklı numunelerin de ölçümü yapılabilir [21].

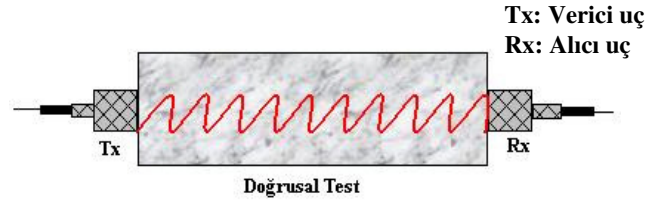
#### **2.5.1.3.2.3. Alıcı – Verici Başlıklar**

Karot numunelerin iki tarafına yerleştirilen ve cihaz tarafından üretilen ultrasonik dalgaları sismik dalgaya çevirerek numuneye aktaran ve ters işlemi elektriksel olarak yapan, çeşitli frekanslarda ve türde gereçlerdir. Genellikle, boyuna dalga hızı ölçümleri için 63 kHz, 200 kHz, 500 kHz frekanslı; enine dalga hızı ölçümleri için 33 kHz ve 100 kHz frekanslı, ASTM standartlı çeviriciler kullanılır [21].

### 2.5.1.3.3. Ölçüm Yöntemleri

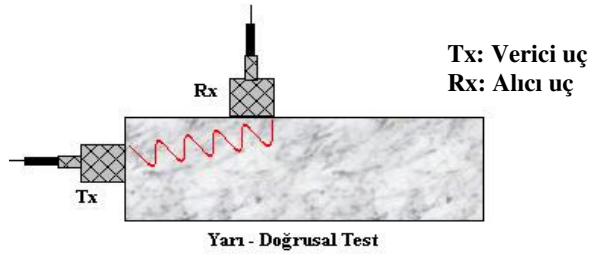
Ölçümler direkt, yarı direkt ve endirekt olmak üzere 3 şekilde alınmaktadır. Bu ölçüm yöntemleri [15,22]:

a. Direkt Ölçüm Yöntemi: Cihazın alıcı ve verici uçları karşılıklı olarak tutulmaktadır. Teknik diğer ölçme tekniklerine göre daha fazla güvenilir sonuçlar vermektedir. Çünkü vericiden çıkan maksimum enerjili boyuna dalgalar alıcı yüzeyine dik olarak yayılmaktadır. Bu ölçüm tekniğini arazide yapılacak çalışmalarda kullanmak bazen olanaksızdır. Özellikle bazı yapılarda 2 ya da 3 serbest yüzey söz konusudur. Bir serbest yüzeyin bulunduğu durumlarda mevcuttur. Bu durumlarda bu tekniğin kullanılamaması dezavantajdır.



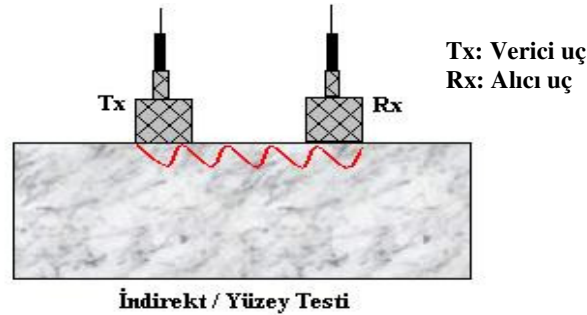
Şekil 21. Direkt Ölçüm Yöntemi [22].

b. Yarı Direkt Ölçüm Yöntemi: Bu ölçümde, alıcı ve verici uçlar arasındaki açı  $90^\circ$  olmaktadır. Teknik, diğer iki iletim tekniği arasında orta derecede bir hassasiyete bağlıdır. Bu ölçüm tekniğinin başarılı olarak kullanılmasına rağmen, sinyal uzunluğu ölçümlerinin doğruluğunda bazı yanılgılar ve hatalar ortaya çıkabilir.



Şekil 22. Yarı Direkt Ölçüm Yöntemi [22].

c. Endirekt Ölçüm Yöntemi: Yöntemde, verici ve alıcı uçlar aynı yüzey üzerinde oturmakta ve verici-alıcı uçların merkezleri arasındaki mesafe yardımıyla ultrasonik hız bulunmaktadır. Yöntem kullanıldığında, aynı yol uzunluğunda direkt yöntemle ölçüme göre tespit edilen darbe tesiri %1–2 oranında azalma gösterir. Endirekt (yüzey ölçüm) yöntemi homojen bölgelerin yüzey kısmından çeşitli mesafelerde ölçüm alınması esasına dayanmaktadır. Bu yolla alınan geçiş zaman değerleri düzeltme faktörü yardımıyla direk yolla ölçülmüş gibi kullanılabilir. Yöntemde hata oranı oldukça yüksektir. Yöntemin diğer bir dezavantajı da puls hızına karar vermek için zorunlu olan bir prosedürdür.



Şekil 23. Endirekt Ölçüm Yöntemi [22].

#### 2.5.1.3.4. Yöntemin Uygulamaları

Ultrasonik hız yöntemi (Ultrasound Pulse Velocity - UPV), betonun kalitesinin tayini için 50 yıldır başarılı bir şekilde kullanılmaktadır. Bu yöntem, betona çevre koşullarından dolayı gelen zararların tespitinde, çatlama ve donma çözülme olayı sonrasında oluşan betondaki içyapı hasarlarının belirlenmesinde kullanılmaktadır. Çatlak, kırık ve boşlukları belirlemek amacıyla da kullanılır.

Ultrasonik hızlarla kayaların Elastisite modülü, kayma modülü ve Poisson oranı gibi dinamik elastik parametreleri hesaplanabilmektedir. Metalik olmayan maddeleri araştırmak için yaygın olarak kullanılan frekanslar 50–100 kHz'dir. Metalik maddeleri araştırmada kullanılan frekanslar ise 0.5-10 MHz'dir.

Ultrason hızı yöntemi ucuz ve pratik bir beton basınç dayanımı test metodudur. Özellikle, beton elemanlarda ayrışma (segregation) ve süreksizlikleri bulma işleminde çok

başarılı bir şekilde kullanılmaktadır [21]. Betonun dalga hızı ile kalitesi arasındaki ilişki Tablo 5’de gösterilmektedir.

Tablo 5. Betonun dalga hızı ile kalitesi arasındaki ilişki [20].

| Ultrasonik Hız ( km / sn ) | Basınç Dayanımı (N/mm <sup>2</sup> ) | Beton Kalitesi |
|----------------------------|--------------------------------------|----------------|
| < 2.0                      | -----                                | Çok Zayıf      |
| 2.0–3.0                    | 4.0                                  | Zayıf          |
| 3.0–3.5                    | > 10                                 | Orta           |
| 3.5–4.0                    | > 25                                 | İyi            |
| 4.0–4.5                    | > 40                                 | Çok iyi        |
| > 4.5                      | > 40                                 | Mükemmel       |

#### 2.5.1.3.5. Ölçümleri Etkileyen Faktörler

Beton üzerinde ölçümler yapılırken ortaya çıkan en önemli problemlerden biri de alınan ölçümlerin bazı faktörler tarafından etkilenmesidir. Ultrasonik ölçümleri etkileyen en önemli faktörler ortam şartları ve betonun içyapısıdır. Betonun puls hızını etkileyen bu faktörler:

a. Nem içeriği: Nem içeriğinin puls hızı üzerinde kimyasal ve fiziksel olmak üzere iki etkisi bulunmaktadır. Bu etkiler beton dayanımının belirlenmesi aşamasında alınan ölçümlerle beton arasındaki ilişkinin sağlanması için çok önemlidir. Beton çok düşük bir nem içeriğine sahip olsa da, bunun puls hızı üzerindeki etkisi büyüktür. Genellikle yüksek nem içeriğine sahip düşük kaliteli betonlarda puls hızı yüksek olmaktadır. Suyu doymuş betonların puls hızı benzer şartlarda üretilmiş ve aynı kaliteye sahip kuru betonun puls hızından %2 daha fazladır. Bunun sebebi ise ya farklı kür koşulları altında çimentonun hidratlaşması ya da betondaki olası kırıklarda bulunan suyun varlığıdır. Bu nedenle beton dayanımının belirlenmesi amacıyla yapılan çalışmalarda bu etki göz ardı edilmemelidir.

b. Sıcaklık: Sıcaklığın 10°-30°C arasındaki değişiminin betonun dayanımı ve elastik özelliklerinin üzerinde çok önemli bir etkisi yoktur. Anormal derecedeki sıcaklıklar dışındaki sıcaklıkların etkisi dikkate alınmayabilir. Tablo 6’da sıcaklığın puls iletimi üzerindeki etkisi verilmiştir.

Tablo 6. Sıcaklık ile puls hızı arasındaki ilişki

| Sıcaklık<br>°C | Ölçülen Puls Hızı İlişkisi |                        |
|----------------|----------------------------|------------------------|
|                | Kuru Beton<br>%            | Suya Doygun Beton<br>% |
| 60             | 5                          | 4                      |
| 40             | 2                          | 1.7                    |
| 20             | 0                          | 0                      |
| 0              | -0.5                       | -1                     |
| -4             | -1.5                       | -7.5                   |

c. Yol Uzunluğu: Puls hızı genellikle yol uzunluğundaki değişimlerden etkilenmez. Buna rağmen elektronik zamanlama cihazı yol uzunluğunun artmasıyla hızda hafif de olsa bir azalma olduğunu gösterebilir. Bunun nedeni pulsun yüksek frekanslı bileşenleri düşük frekanslı bileşenlerinden çok daha zayıf olabilir ve bunun sonucu olarak da, ilk pulsun şekli seyahat uzunluğunun artmasına bağlı olarak daha yuvarlak olabilir. Bunun için, yol uzunluğunun beton yapımında kullanılan agreganın nominal maksimum büyüklüğünün 20 mm ya da daha az olması durumunda en az 100 mm, agrega nominal maksimum büyüklüğünün 20-40 mm arasında olması durumunda ise en az 150 mm olarak alınması gerekmektedir.

d. Örneğin Şekil ve Büyüklüğü: Örneğin en küçük yanal boyutu belirli bir minimum değerden daha küçük olmadıkça, seyahat halindeki kısa titreşim pulslarının hızı örneğin şekil ve büyüklüğünden bağımsızdır. Eğer minimum yanal boyut dalga boyundan çok daha küçük ya da endirekt ölçüm yöntemi kullanılmışsa, dalga boyunun örnek içindeki yayılma şekli değişir ve bu nedenle ölçülen hız farklı olur. Genellikle 50 kHz frekanslı pulslar için en az yanal boyut 80 mm civarında olmalıdır. Tablo 7’de örnek büyüklüğünün puls iletimi üzerindeki etkisi verilmiştir.

Tablo 7. Örnek büyüklüğün puls iletimi üzerindeki etkisi

| Puls Frekansı (kHz) | Betonun Puls Hızı (km/sn)          |           |             |
|---------------------|------------------------------------|-----------|-------------|
|                     | $V_C = 3.5$                        | $V_C = 4$ | $V_C = 4.5$ |
|                     | Minimum Yanal Örnek Boyutları (mm) |           |             |
| 24                  | 146                                | 167       | 188         |
| 54                  | 65                                 | 74        | 83          |
| 82                  | 43                                 | 49        | 55          |
| 150                 | 23                                 | 27        | 30          |

e. Örnek İçerisindeki Demir Donatının Varlığı: Demirli bir betondaki demirin etrafında ölçülen puls hızı benzer bileşenlerden oluşturulmuş demirsiz betonun puls hızından genellikle daha yüksektir. Demirdeki puls hızı yaklaşık olarak demirsiz betondaki puls hızının iki katı kadardır. Bu koşullar altında ilk puls hem demir hem de beton içerisinde seyahat ederek alıcıya ulaşmaktadır. Puls hızındaki bu görünür artış; beton içerisindeki demirin çapına ve sayısına, demirlerin beton içerisindeki yerleşimlerine bağlıdır. Ayrıca puls frekansı ve demirin yüzey koşulları da ölçümleri etkileyebilir [15].

#### 2.5.1.3.6. Deney Standartları

Ultrasonik deney standartları aşağıdaki şekilde verilmektedir:

a) Numuneler, dikdörtgen bloklar ve silindirik karotlar şeklinde olabilir. Dalga ilerleme yönüne uygun olarak, yanal minimum çapın, dalga boyunun 10 katından daha az olmamasına dikkat edilmelidir. Kaya içindeki puls geçiş yolu, ortalama tane boyutunun en az 10 katı olmalıdır.

b) Verici, yaklaşık  $10 \text{ N/cm}^2$ 'lik kuvvet ile dalga ilerleme yönünde düzlem merkezine bastırılmalıdır. Deney numunesi ile vericiler arasındaki enerji iletişimi aşağıdaki şekilde sağlanmalıdır:

- 1) Karotların yanal yüzeyleri tıraşlanarak, düz ve pürüzsüz hale getirilmelidir.
- 2) Vericilerin bastırılacakları yüzeyler, gres, vazelin, gliserin, macun veya yağ ile ince bir film şeklinde sıvanmalıdır.

3) Epoksi tipi tutkal veya fenil salisilat ile sıkı bir kavrama da sağlanabilir.

c) Deneye başlamadan önce, tüm deney aygıtları kalibre edilmelidir. Çünkü verici başlık tarafından ana üniteden alınan ultrasonik pulsun sismik pulsa çevrimi birkaç mikro saniye sürmektedir. İşte bu zaman gecikmesi, veriler analog/dijital çevrime uğrarken giderilmelidir. Bu ayar, P ve S dalgası çevirici başlıklarının rezonans frekansları birbirinden farklı olduğundan her bir başlık için ayrı ayrı yapılmalıdır [21].

#### **2.5.1.3.7. Yöntemin Avantajları ve Dezavantajları**

Ultrasonik hız yöntemi betonun homojenitesinin araştırılmasında mükemmel bir yöntemdir. Uygulanması oldukça kolay olan yöntemin ekipmanı portatiftir ve kolayca temin edilebilir. Yöntem hem arazi hem de laboratuvar şartlarında kolaylıkla uygulanabilmektedir. Laboratuvarda statik Elastisite modülünü saptamak oldukça yorucu ve güçtür. Ama bu yöntemle kolayca belirlenebilir. Tamamen zararsız olan ultrasonik yöntemde, ölçüm sırasında yapıya herhangi bir zarar verilmemektedir. Ölçümler kısa sürede tamamlanabileceğinden zaman kaybı olmaz. Araştırma yapılan numunelerin içlerinde doğal olarak var olan ya da araştırma amacı ile yapay olarak oluşturulan hatalar (çatlak, boşluk gibi) kolayca ortaya çıkarılabilir.

Ultrasonik hız yönteminin birçok avantajı olmasına rağmen dezavantajları da vardır. Yapılan çalışmalarda ilk olarak ölçümler için uygun ve düz yüzeyler gereklidir. Aksi takdirde alıcı ve verici uç ile yüzey arasında iyi bir bağlantı sağlanamaz ise ölçümler hatalı ve yanıltıcı olabilir. Tek nokta ölçümleri alındığında çalışma oldukça uzun sürebilir. Nem değişimleri ve metal yoğunluğu gibi ultrasonik dalga hızını etkileyen faktörler sonuçları da etkileyeceğinden, sonuçları analiz ederken iyi bir yorum gerekmektedir. Buna bağlı olarak ultrasonik test sonuçlarını yorumlamada kullanılan standart grafik ve tablolar bazen yanıltıcı olabilir. Bu nedenle üretilen modelle arazideki model arasında iyi bir ilişki sağlanmalıdır [15,22]. Elektrik öz direnç, İP ve ultrasonik hız yöntemlerinin uygulamaları, avantaj ve dezavantajları bir tablo halinde Tablo 8’de verilmiştir.

Tablo 8. Tahribatsız yöntemlerin karşılaştırılması

| Yöntemler                        | Uygulamalar                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Avantajlar                                                                                                                                                                                                                                                    | Dezavantajlar                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|----------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Elektrik Özdirenç Yöntemi        | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Betonun kalitesinin belirlenmesi,</li> <li>➤ Yapı içerisindeki boşluk ve çatlakların belirlenmesi,</li> <li>➤ Betonun nem içeriğinin ve ilerleyişinin belirlenmesi,</li> <li>➤ Betondaki korozyon oranı ve olma olasılığının tespit edilmesi.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Ekipman ucuzdur.</li> <li>➤ Alet kolaylıkla kullanılabilir.</li> <li>➤ Ölçümler hızlı bir şekilde alınabildiği için zaman kaybı olmaz.</li> <li>➤ Amaca göre farklı dizilimler kullanılabilir.</li> </ul>            | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Yüzey özdirenci çok yüksek olan alanlar için uygun olmaması,</li> <li>➤ Nem oranı yüksek olan bölgelerde güvenilir bilgi vermez.</li> <li>➤ Ölçümlerde elektrot arası mesafe iyi ayarlanmalıdır.</li> </ul>                                        |
| İndüksiyon Polarizasyonu Yöntemi | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Donatılı beton yapılarda aşınmaya uğramış donatı yerlerinin belirlenmesi,</li> <li>➤ Beton yapıdaki aşınma oranının belirlenmesi.</li> </ul>                                                                                                             | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Ekipman ucuzdur.</li> <li>➤ Alet kolaylıkla kullanılabilir.</li> <li>➤ Ölçümler hızlı bir şekilde alınabilir.</li> <li>➤ Amaçlanan araştırma derinliğine göre farklı elektrot dizilimleri kullanılabilir.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Ölçümlerde elektrot arası mesafe iyi ayarlanmalıdır.</li> <li>➤ Polarize olmayan elektrotlar kullanılmalıdır.</li> <li>➤ Elektrotlar ile yapı arasında iyi temas kurulmalıdır.</li> </ul>                                                          |
| Ultrasonik Hız Yöntemi           | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Betonun kalite kontrolü</li> <li>➤ Poisson oranı ve Elastisite modülü</li> <li>➤ Beton ya da kaya numunelerindeki çatlak, boşluk veya olası diğer hataların belirlenmesi.</li> </ul>                                                                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Tamamen portatif ve taşınabilir.</li> <li>➤ Testler yapıya zarar vermeden yapılır.</li> <li>➤ Arazi ve laboratuvar kullanımına uygundur.</li> <li>➤ Ölçümler kısa zamanda tamamlanabilir.</li> </ul>                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Ölçümler için düz ve pürüzsüz yüzey gereklidir.</li> <li>➤ Tek nokta ölçümleri uzun zaman alabilir.</li> <li>➤ Nem değişimi ve metal yoğunluğu ölçümleri etkileyebilir.</li> <li>➤ Sonuçlar iyi bir yorumcu tarafından yorumlanmalıdır.</li> </ul> |

## 2.5.2. Tahribatlı Deney Yöntemleri

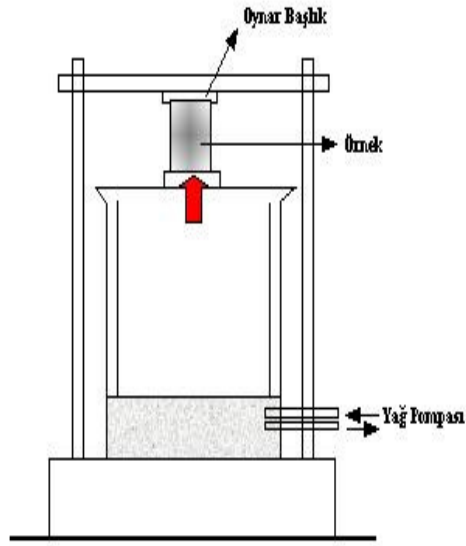
Tahribatlı yöntemler uygulandığı yapı kısmında tamir edilmesi gereken tahribatlar oluşturan testlerdir. Bu yöntem ile beton basınç dayanımını doğrudan elde etmek ve çeşitli parametreler dikkate alınarak standart numune dayanımına çevirmek mümkündür. Tahribatlı deneyler doğru uygulanmadığında yapı taşıyıcısını ciddi anlamda tehlikeye sokabilirler [9].

Yapıya zarar veren testler yapıldıktan sonra yüzey onarılmalıdır. Kullanılan tahribatlı ya da tahribatsız testlerle; yoğunluk, Elastisite modülü, dayanıklılık, yüzey sertliği, yüzey soğurması, takviye (güçlendirme) yeri, büyüklüğü ve yüzeyden olan uzaklığı gibi temel parametreler belirlenebilir. Bazı durumlarda da yapılan çalışmanın amacına göre; betonun içindeki boşluklar, çatlaklar ve tabakalanma yerleri de belirlenebilir. Buradaki amaç yapısal güvenilirliği belirlemektir [13].

### 2.5.2.1. Tek Eksenli Basınç Dayanımı Deneyi

Deneyler için KTÜ Yapı ve Malzeme Laboratuvarında mevcut, KTÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'nce desteklenmekte olan bir proje kapsamında [24] laboratuara kazandırılan, Dinç Makine marka, 2500 kN kapasiteli otomatik yükleme yapabilen bilgisayar kontrollü hidrolik pres kullanılmıştır. Merkezi yükleme deneyleri TS EN 12390-3 [25]'e uygun olarak 0.6 MPa/s'lik sabit yükleme hızı altında gerçekleştirilmiştir [12].

Basınç dayanımı, düzenli bir şekle sahip sağlam kayacın üzerine uygulanan basınç yüklerine karşı kırılmadan önceki gösterdiği dirençtir. Bu deney için genellikle yükseklik çap oranı 2 – 2.5 boyutlu silindir karot numuneler kullanılmaktadır. Bu deney sırasında numune üzerine düsey olarak yük uygulayabilecek ve bu yükleri ölçebilecek bir hidrolik test makinesi ile bu makineye monte edilmiş küresel başlık veya karot çapına uygun küresel yüzeyli çelik diskler veya silindirler kullanılmaktadır. Hazırlanan silindir numuneler, test makinesinin ortasındaki yükseltme plakasının üzerine merkezlenerek yerleştirilmektedir [11].



Şekil 24. Bilgisayar kontrollü basınç dayanım ölçüm donanımı ve şematik gösterimi

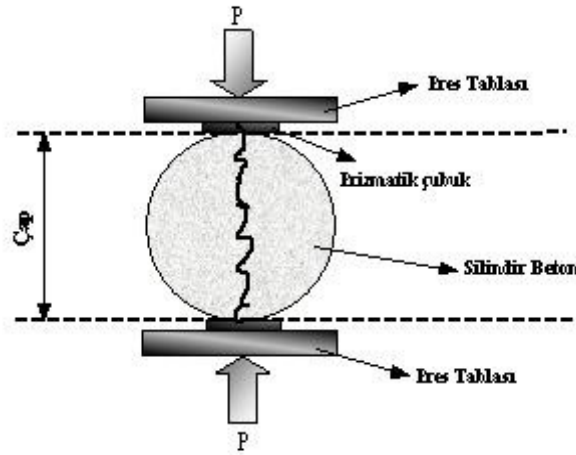
Çalışmada kullanılan basınç dayanımı ölçüm donanımı Şekil 24’de gösterilmektedir. Yükleme çerçevesine yüksekliği ayarlanabilir bir üst tabla ile oynar ve hareketli alt tabla arasına deney örneği yerleştirilir. Alt tablanın altındaki pistonun silindrine bir pompa yardımıyla yağ basılır. Yağın basıncı alt tablayı yukarı yönde iterek örneğin kırılmasına yol açar. Bu arada haznedeki basınç kuvveti bir dinamometre ile ölçülür. Örneğe uygulanan gerilmenin üniform olarak dağılmasını sağlamak için, örnek yüzeylerinin pürüzlü olmaması gerekir. Bu amaçla deney örneklerinin alt ve üst tablaya temas eden yüzeylerine eş dağılımlı gerilmeyi sağlamak amacıyla özel bir karışımdan başlık dökülür [23]. Malzemenin yük-şekil değiştirme ilişkisi tespit edilmek istendiğinde yükleme sırasında mekanik komperatör veya dijital deformasyon ölçerler kullanılır. Deney numunelerinin basınç uygulanacak yüzeyleri birbirine paralel olmalıdır. Yük, basınç gerilmesi deney numunesi kırılıncaya kadar uygulanır. Deney numunesinin yenildiği andaki yenilme yükü ( $\sigma_b$ ) göstergeden okunur. Aşağıdaki formül yardımıyla da hesaplanır [11].

$$\sigma_b = \frac{P_k}{A} \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad (8)$$

Burada  $P_k$  kırılmaya sebep olan en büyük yük, A ise yük uygulanan yüzey alanıdır.

### 2.5.2.2. Yarmada Çekme Dayanımı Deneyi

Çekme yüklerinin dolaylı olarak uygulanması ile çekme dayanımının tespit edildiği bu yöntem “Brezilya Yarma Deneyi” olarak da adlandırılmaktadır. İlk olarak 1953 yılında Brezilyalı Carnerio ve Barcellas tarafından önerilen bu deney yönteminde, genellikle silindir beton örnekleri kullanılmaktadır. Ayrıca küp örnekler de kullanılabilir. Bu deneyde, yatay olarak presin tablaları arasına yerleştirilen, basınç deneylerinde de kullanılan, silindir beton örneklerinin altına ve üstüne yerleştirilen plakalara dik yönde basınç yüklemesi uygulanarak gerçekleştirilmektedir. Yükün arttırılmasıyla, dolaylı olarak çekme gerilmeleri oluşur ve örnek eksen boyunca yarılarak göçer. Elastisite teorisine göre, Şekil 25’de gösterildiği biçimde yüklenen bir silindirin yük eksenı doğrultusundaki düzleminde, birbirine dik asal çekme ve basınç gerilmeleri oluşur.



Şekil 25. Yarmada çekme dayanımı deney düzeneği

Yükün uygulandığı yerlerde oluşan yerel basınç gerilmeleri, bu noktalardan uzaklaştıkça çekme gerilmelerine dönüşmekte ve bu çekme gerilmeleri çap boyunca sabit kalmaktadır, kesitin orta bölgesinde oldukça üniform dağılımlı çekme gerilmeleri oluşmaktadır. Burada uygulanan gerilme iki yönlü olduğundan asıl çekme dayanımından daha büyük değerler elde edilir. Yarma deneyi süresince, deney aletinin (presin) yükleme tablalarının silindir örneğe göre dikey bir düzlemde tutulması sağlanmalıdır [23].



Şekil 26. Yarma deney düzeneğindeki numunenin deneyden önceki ve sonraki görünümü

Şekil 26'da silindirik numunenin deneyden önceki ve sonraki durumu gösterilmektedir. Numunenin çekme dayanımı aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanır.

$$\sigma_t = \frac{2P}{\pi \cdot D \cdot L} \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad (9)$$

Burada; P silindire uygulanan basınç yükü, L silindir örneğin uzunluğu(mm) ve D silindir örneğin çapı (mm)'dir.

### 2.5.2.3. Eğilme Dayanımı Deneyi

Eğilme dayanımı; kiriş şeklindeki beton örneklerin eğilme gerilmelerine karşı gösterdiği dirençtir. Laboratuarda yapılan eğilme dayanımı belirleme deneyleri standartlara göre; 4 nokta eğilme deneyi ve 3 nokta eğilme deneyi olarak iki grupta toplanabilir. Doğal yapı taşlarının kullanımı genellikle belirli boyut ve kalınlıklarda plakalar şeklinde olduğundan eğilme dayanımı son derece önemli bir parametre olarak ortaya çıkmaktadır. Çünkü plaka kalınlığı, plaka boyut ve destek noktaları arasındaki mesafe kayacın eğilme dayanımına göre tespit edilebilmektedir [26].

Eğilme dayanımının belirlenmesi için 10x10x52cm boyutlarındaki prizma şeklindeki numuneler kullanılmıştır. Tekil yüklemeli deneylerde açıklık boyunca tek noktada (açıklık ortası, yükleme noktası) maksimum moment oluşur ve o noktada kesme kuvveti de değer değiştirmektedir. Dolayısı ile saf eğilme durumundan söz edilemez. İki noktadan yüklemeli deneylerde maksimum moment belirli bir aralıkta değer almaktadır. Bu aralıkta kesme kuvveti sıfırdır. Bir başka deyişle, salt eğilme hali söz konusudur. Eğilme deneylerinde sadece eğilme etkisi inceleneceğinden iki noktadan yüklemeli ikinci deney yöntemi daha sağlıklı sonuçlar vermektedir.

Deney örnekleri Şekil 27'de gösterilen deney düzeneğindeki gibi plaka şeklinde örnekler arası açıklık 420 mm olacak şekilde deney presi tablaları arasına, yükleme ortadan uygulanabilecek biçimde yerleştirilir. Deney örneği üzerine yaklaşık 5 kg'lık bir yük verilerek mesnetlerin tam yerleşmesi ve oturması sağlanır. Sonrasında yük artışı dakikada 450 kg'mı geçmeyecek şekilde arttırılarak, kırılma anındaki yük değeri kaydedilir ve yükleme yüzeyi ile plaka kalınlığı çizgisinin oluştuğu noktada ölçülür. Bulunan sonuçlar aşağıdaki eşitlikte yerine konarak eğilme dayanım değeri hesaplanır:

$$\sigma_{eg} = \frac{3PL}{2bh^2} \quad (10)$$

Burada;  $\sigma_{eg}$  betonun eğilme dayanımı ( $N/mm^2$ ), P kırılmaya neden olan en büyük yük (N), L deney numunesinin mesnetler arasındaki mesafesi (mm), b deney numunesinin genişliği (mm), h deney numunesinin kalınlığı (mm)'dir.

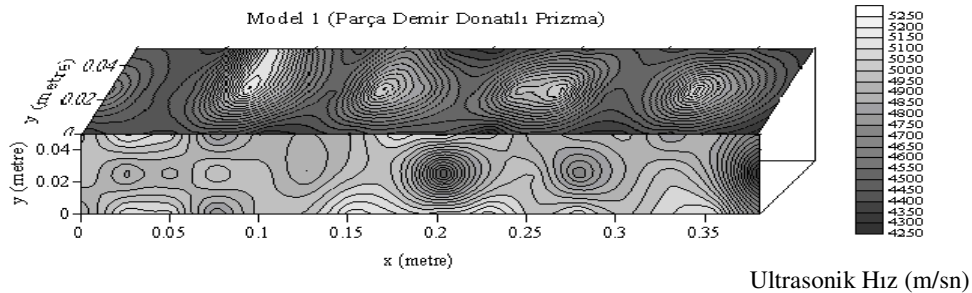


Şekil 27. Eğilme Dayanım deneyi için kullanılan ekipman

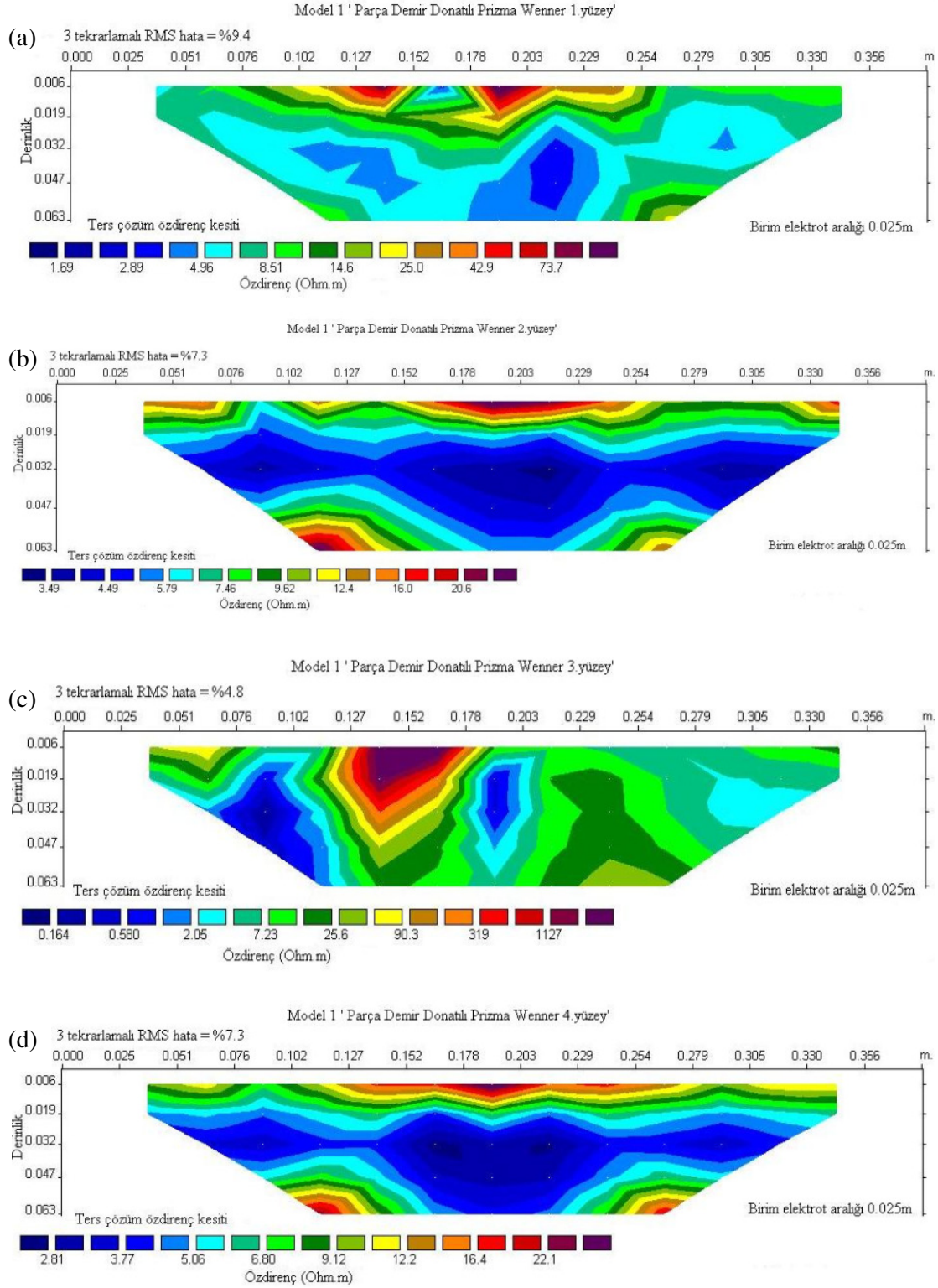
## 2.6. Uygulanan Tahribatsız Deneylerle Elde Edilen Tepkiler

### 2.6.1. Model 1 (Parça Demir Donatılı Prizma)

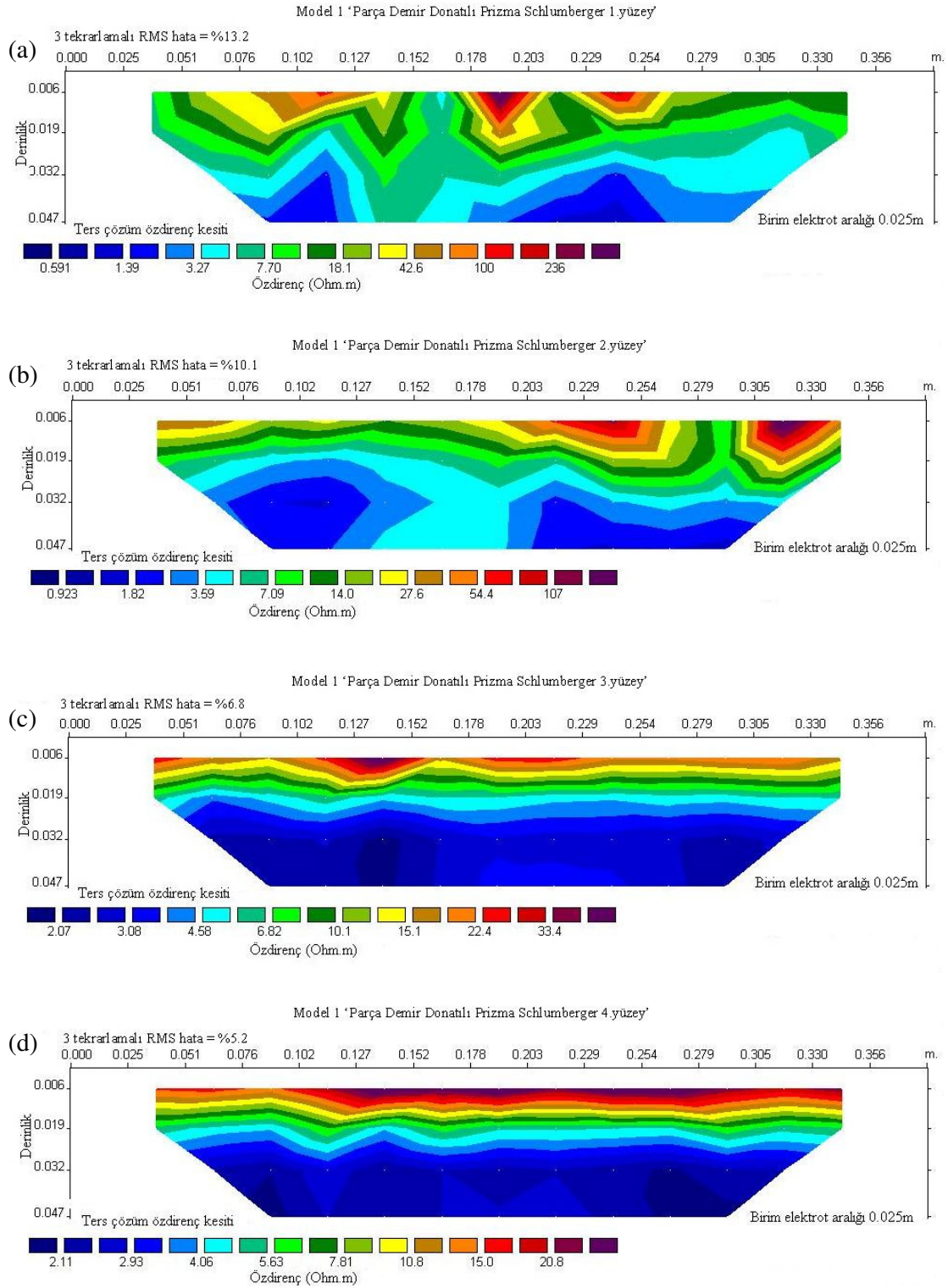
Şekil 28’de Model 1 üzerinde yapılan ultrasonik hız ölçümlerinden elde edilen kapanım haritası verilmektedir. Model 1’in 4 yüzeyi üzerinde Wenner, Schlumberger ve Dipol-Dipol dizilimleri kullanılarak hem özdirenç hem de İP ölçümleri alınmıştır. Şekil 29a’da 1. yüzeyin, Şekil 29b’de 2. yüzeyin, Şekil 29c’de 3. yüzeyin ve Şekil 29d’de 4. yüzeyin Wenner dizilimi kullanılarak elde edilen görünür özdirenç verisinin iki boyutlu (2B) ters çözümü verilmektedir. Şekil 30a’da 1. yüzeyin, Şekil 30b’de 2. yüzeyin, Şekil 30c’de 3. yüzeyin ve Şekil 30d’de 4. yüzeyin Schlumberger dizilimi kullanılarak elde edilen görünür özdirenç verisinin iki boyutlu (2B) ters çözümü verilmektedir. Şekil 31a’da 1. yüzeyin, Şekil 31b’de 2. yüzeyin, Şekil 31c’de 3. yüzeyin ve Şekil 31d’de 4. yüzeyin Dipol-Dipol dizilimi kullanılarak elde edilen görünür özdirenç verisinin iki boyutlu (2B) ters çözümü verilmektedir. Şekil 32a’da 1. yüzeyin, Şekil 32b’de 2. yüzeyin, Şekil 32c’de 3. yüzeyin ve Şekil 32d’de 4. yüzeyin Wenner dizilimi kullanılarak elde edilen şarzabilite verisinin iki boyutlu (2B) ters çözümü verilmektedir. Şekil 33a’da 1. yüzeyin, Şekil 33b’de 2. yüzeyin, Şekil 33c’de 3. yüzeyin ve Şekil 33d’de 4. yüzeyin Schlumberger dizilimi kullanılarak elde edilen şarzabilite verisinin iki boyutlu (2B) ters çözümü verilmektedir. Şekil 34a’da 1. yüzeyin, Şekil 34b’de 2. yüzeyin, Şekil 34c’de 3. yüzeyin ve Şekil 34d’de 4. yüzeyin Dipol-Dipol dizilimi kullanılarak elde edilen yüklenabilirlik verisinin iki boyutlu (2B) ters çözümü verilmektedir. Model 1 (parça demir donatılı prizma) üzerinde yapılan Wenner dizilimi için  $n=5$ , Dipol-Dipol dizilimi için  $n=4$ , ve Schlumberger dizilimi için  $n=4$  seviyelerine kadar ölçümler alınmıştır.



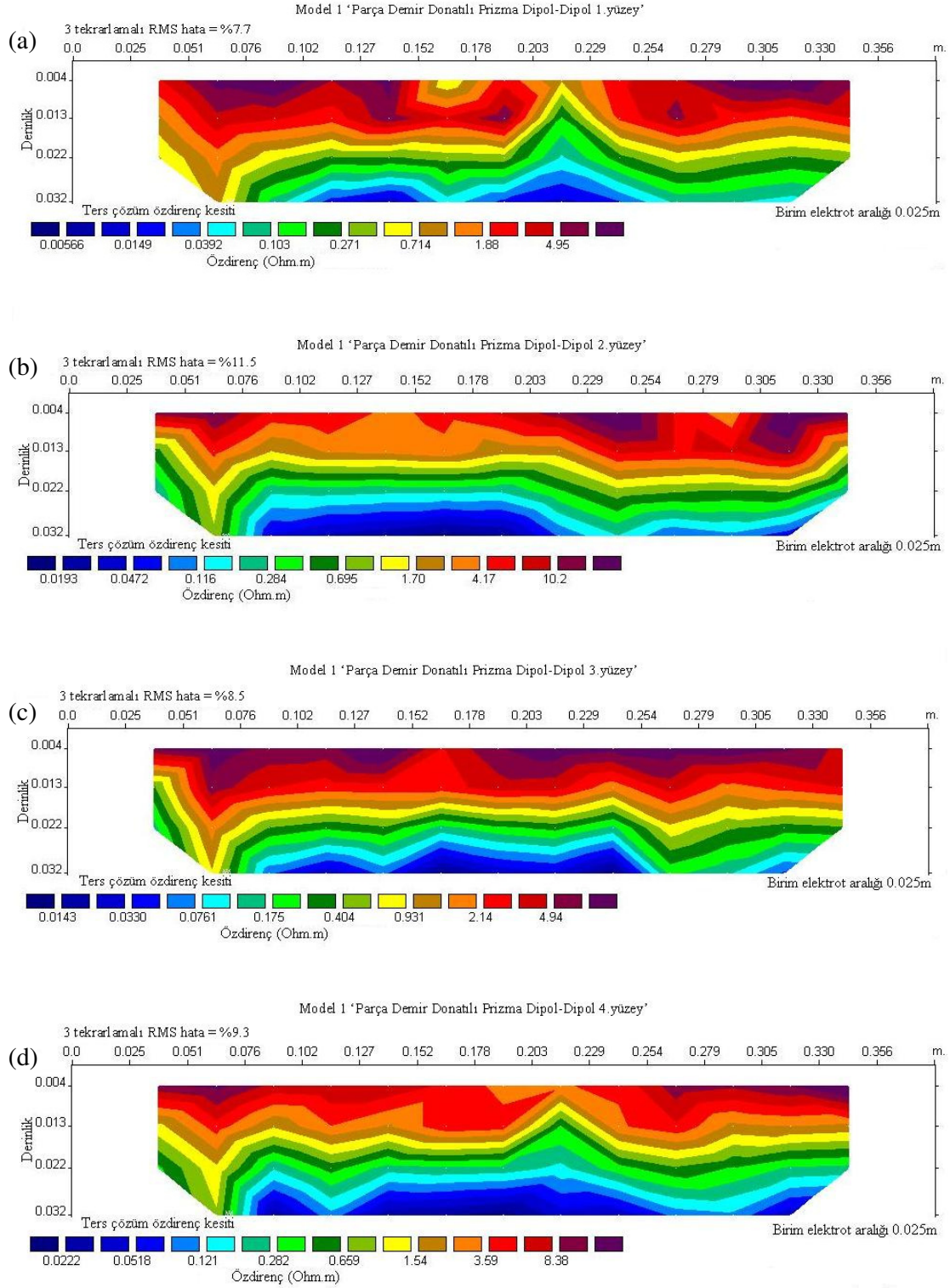
Şekil 28. Model 1 üzerinde yapılan ultrasonik hız ölçümlerinden elde edilen kapanım haritası



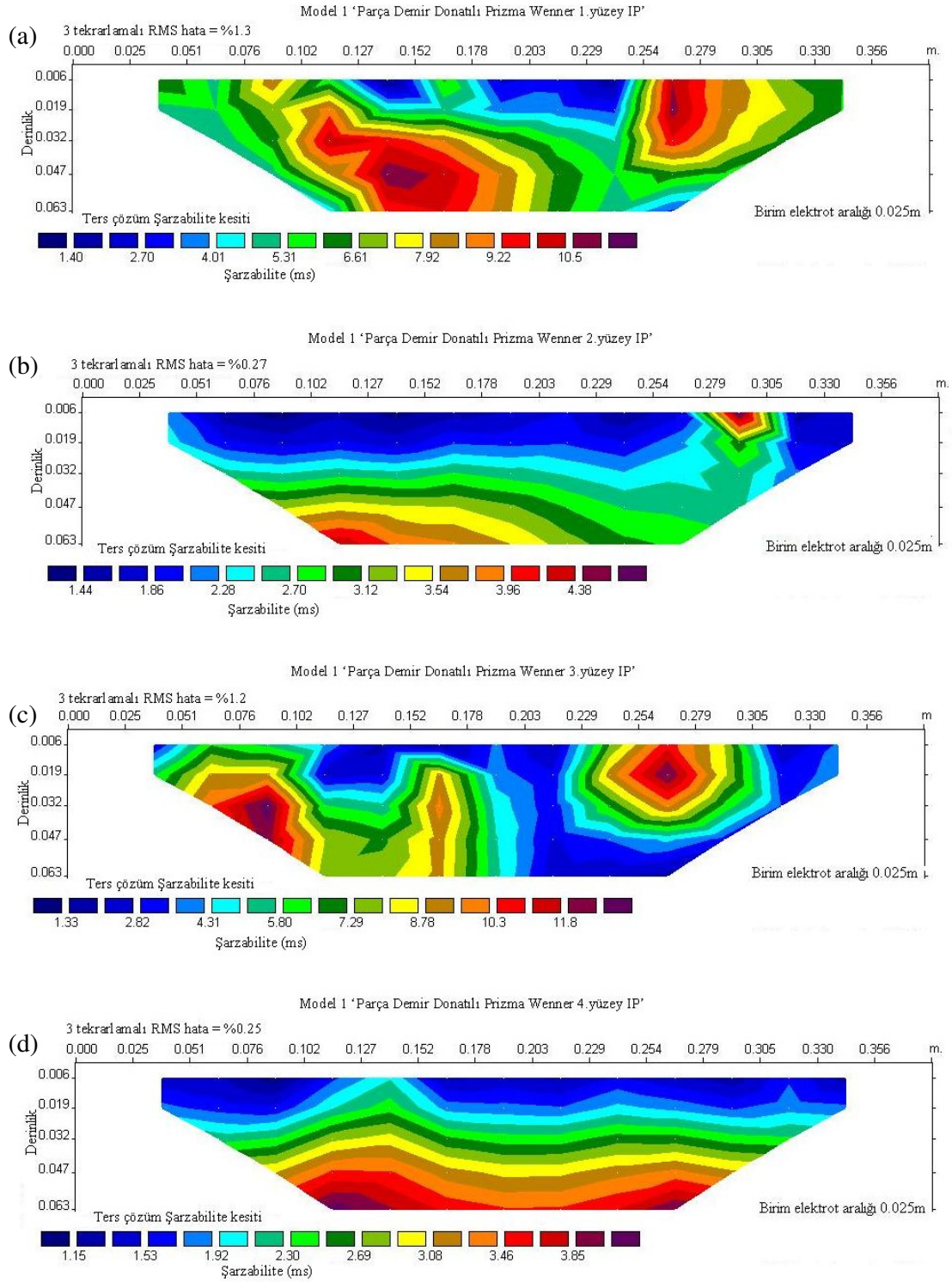
Şekil 29. Model 1 üzerinde Wenner dizilimi uygulanarak alınan öz direnç verilerinin ters çözümü (a) 1.yüzey (b) 2.yüzey (c) 3.yüzey (d) 4.yüzey



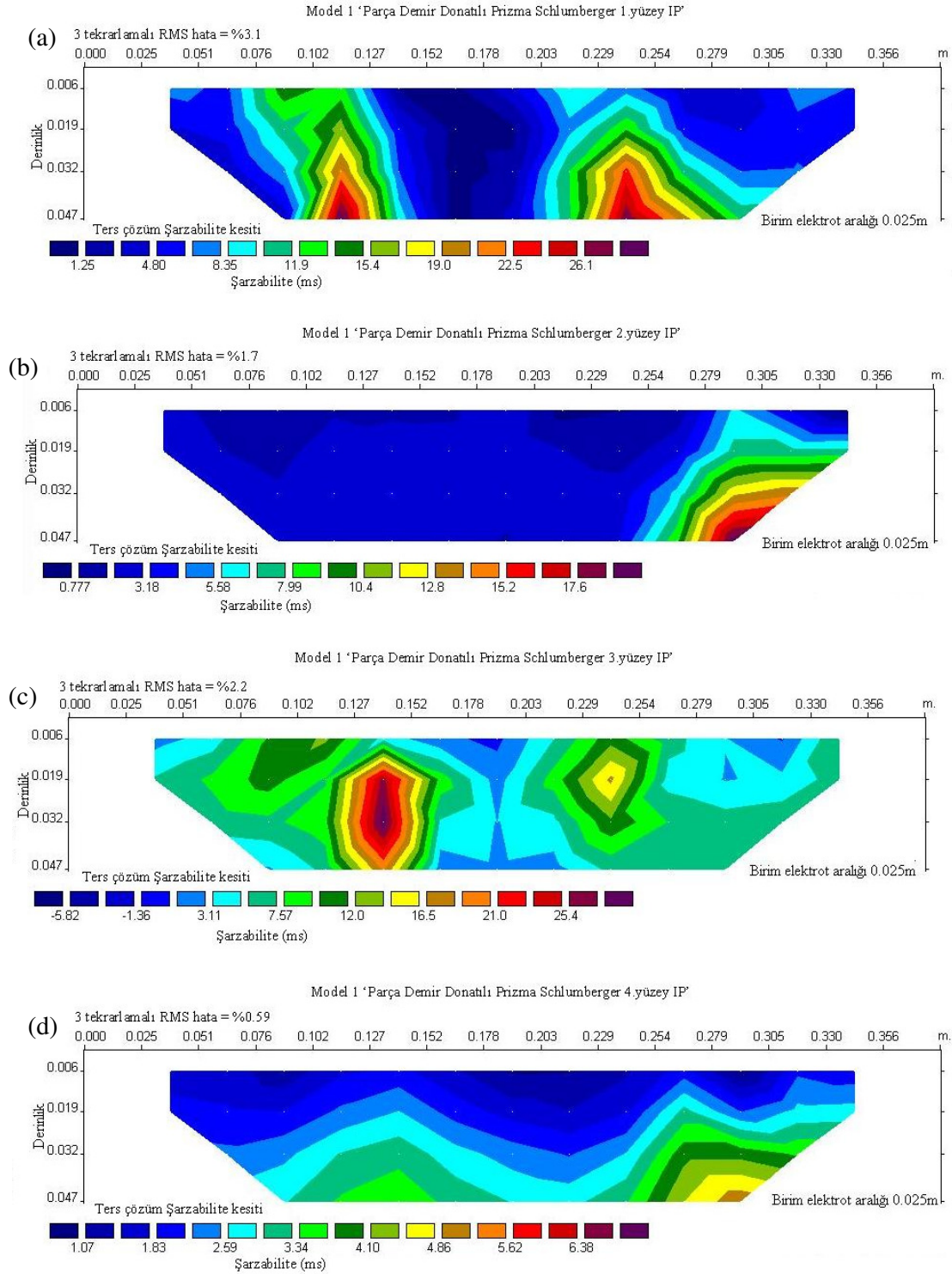
Şekil 30. Model 1 üzerinde Schlumberger dizilimi uygulanarak alınan öz direnç verilerinin ters çözümü (a) 1.yüzey (b) 2.yüzey (c) 3.yüzey (d) 4.yüzey



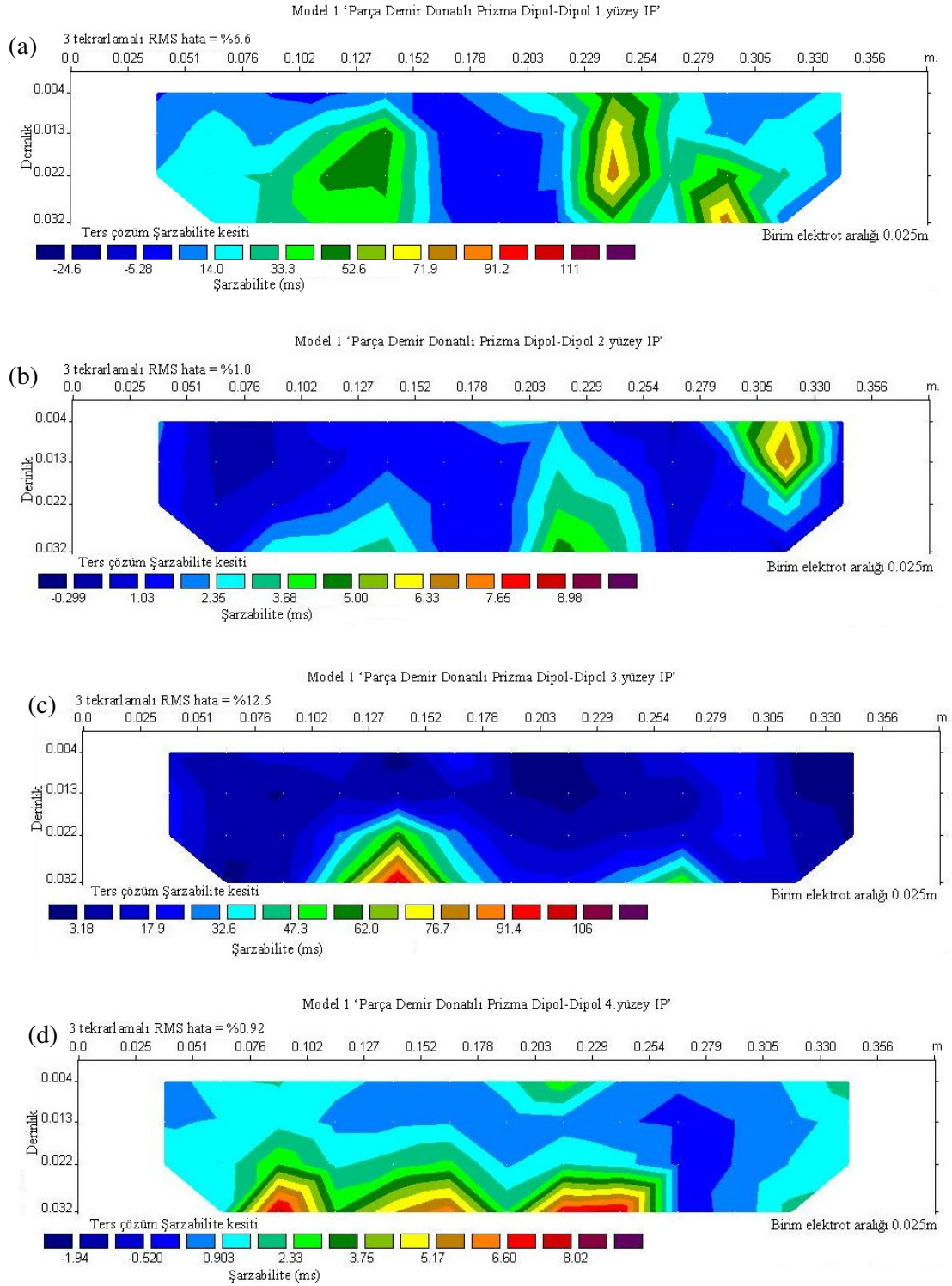
Şekil 31. Model 1 üzerinde Dipol-Dipol dizilimi uygulanarak alınan öz direnç verilerinin ters çözümü (a) 1.yüzey (b) 2.yüzey (c) 3.yüzey (d) 4.yüzey



Şekil 32. Model 1 üzerinde Wenner dizilimi uygulanarak alınan yüklenebilirlik verilerinin ters çözümü (a) 1.yüzey (b) 2.yüzey (c) 3.yüzey (d) 4.yüzey



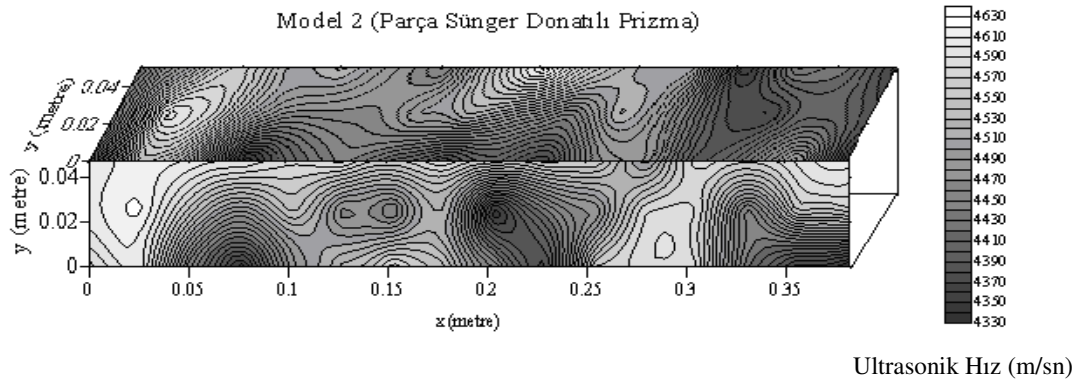
Şekil 33. Model 1 üzerinde Schlumberger dizilimi uygulanarak alınan yüklenebilirlik verilerinin ters çözümü (a) 1.yüzey (b) 2.yüzey (c) 3.yüzey (d) 4.yüzey



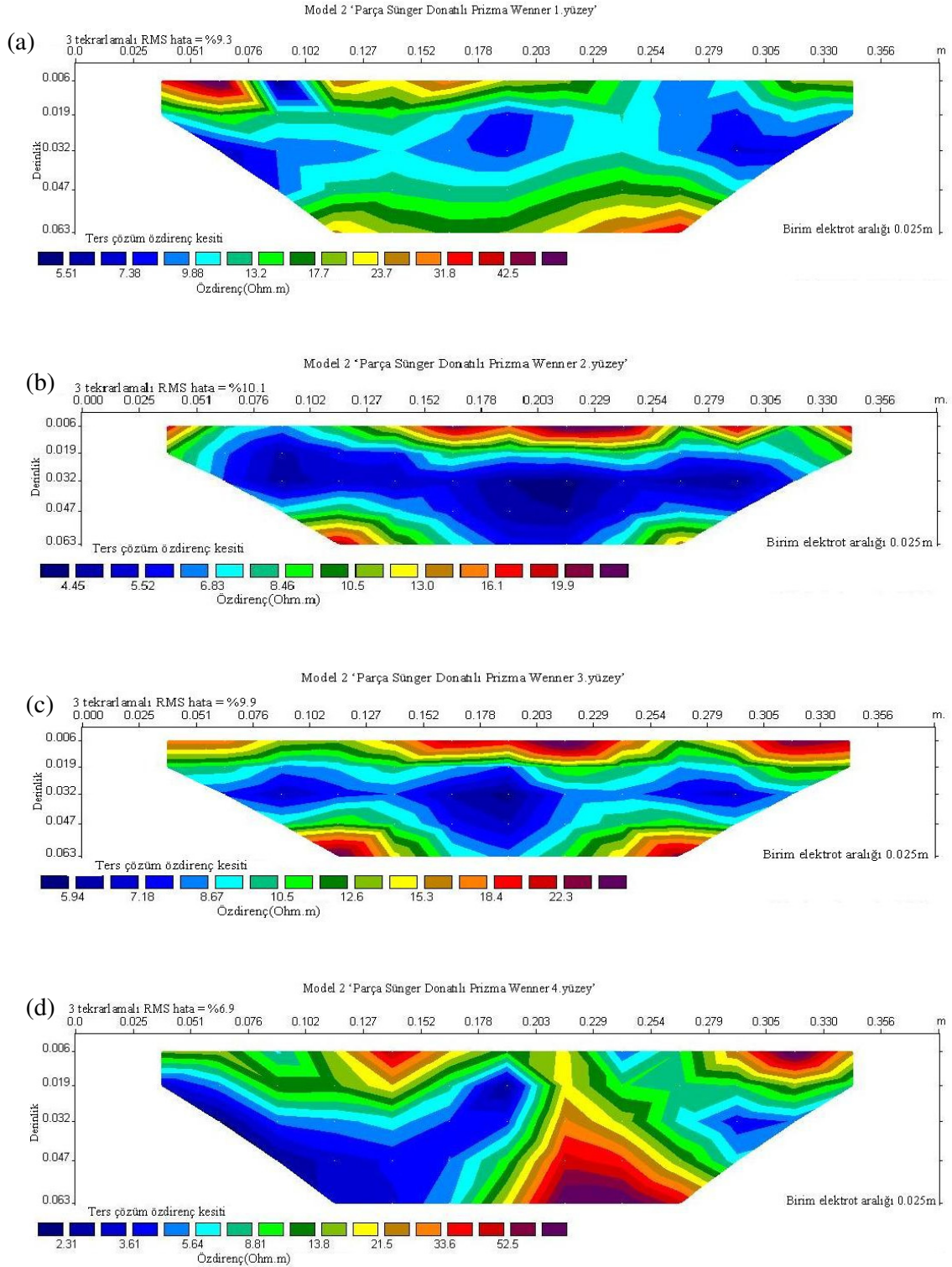
Şekil 34. Model 1 üzerinde Dipol-Dipol dizilimi uygulanarak alınan yüklenebilirlik verilerinin ters çözümü (a) 1.yüzey (b) 2.yüzey (c) 3.yüzey (d) 4.yüzey

### 2.6.2. Model 2 (Parça Sünger Donatılı Prizma)

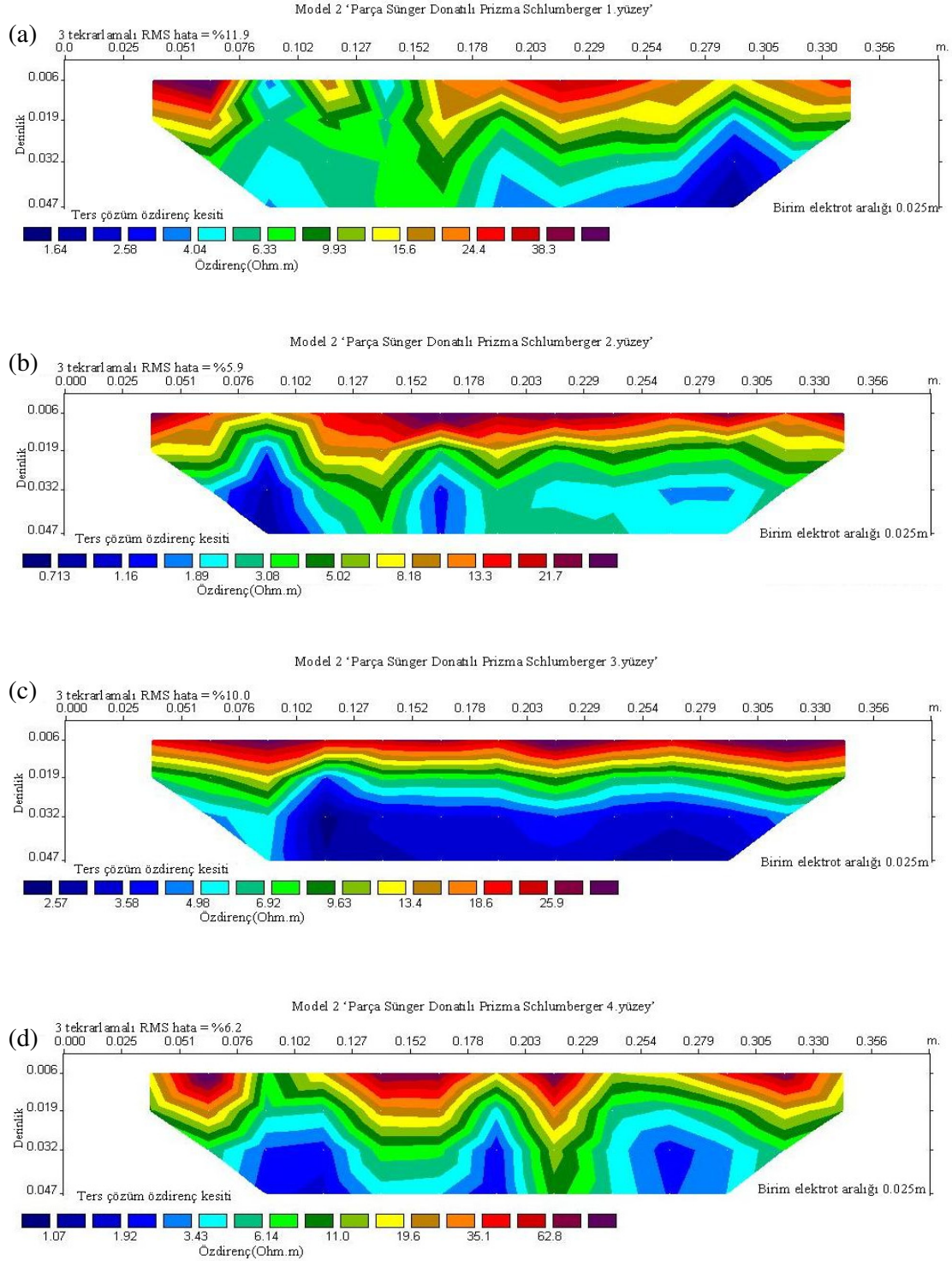
Şekil 35’de Model 2 üzerinde yapılan ultrasonik hız ölçümlerinden elde edilen kapanım haritası verilmektedir. Model 2’nin 4 yüzeyi üzerinde Wenner, Schlumberger ve Dipol-Dipol dizilimleri kullanılarak hem özdirenç hem de İP ölçümleri alınmıştır. Şekil 36a’da 1. yüzeyin, Şekil 36b’de 2. yüzeyin, Şekil 36c’de 3. yüzeyin ve Şekil 36d’de 4. yüzeyin Wenner dizilimi kullanılarak elde edilen görünür özdirenç verisinin iki boyutlu (2B) ters çözümü verilmektedir. Şekil 37a’da 1. yüzeyin, Şekil 37b’de 2. yüzeyin, Şekil 37c’de 3. yüzeyin ve Şekil 37d’de 4. yüzeyin Schlumberger dizilimi kullanılarak elde edilen görünür özdirenç verisinin iki boyutlu (2B) ters çözümü verilmektedir. Şekil 38a’da 1. yüzeyin, Şekil 38b’de 2. yüzeyin, Şekil 38c’de 3. yüzeyin ve Şekil 38d’de 4. yüzeyin Dipol-Dipol dizilimi kullanılarak elde edilen görünür özdirenç verisinin iki boyutlu (2B) ters çözümü verilmektedir. Şekil 39a’da 1. yüzeyin, Şekil 39b’de 2. yüzeyin, Şekil 39c’de 3. yüzeyin ve Şekil 39d’de 4. yüzeyin Wenner dizilimi kullanılarak elde edilen şarzabilite verisinin iki boyutlu (2B) ters çözümü verilmektedir. Şekil 40a’da 1. yüzeyin, Şekil 40b’de 2. yüzeyin, Şekil 40c’de 3. yüzeyin ve Şekil 40d’de 4. yüzeyin Schlumberger dizilimi kullanılarak elde edilen şarzabilite verisinin iki boyutlu (2B) ters çözümü verilmektedir. Şekil 41a’da 1. yüzeyin, Şekil 41b’de 2. yüzeyin, Şekil 41c’de 3. yüzeyin ve Şekil 41d’de 4. yüzeyin Dipol-Dipol dizilimi kullanılarak elde edilen yüklenabilirlik verisinin iki boyutlu (2B) ters çözümü verilmektedir. Model 2 (parça sünger donatılı prizma) üzerinde yapılan Wenner dizilimi için  $n=5$ , Dipol-Dipol dizilimi için  $n=4$ , ve Schlumberger dizilimi için  $n=4$  seviyelerine kadar ölçümler alınmıştır.



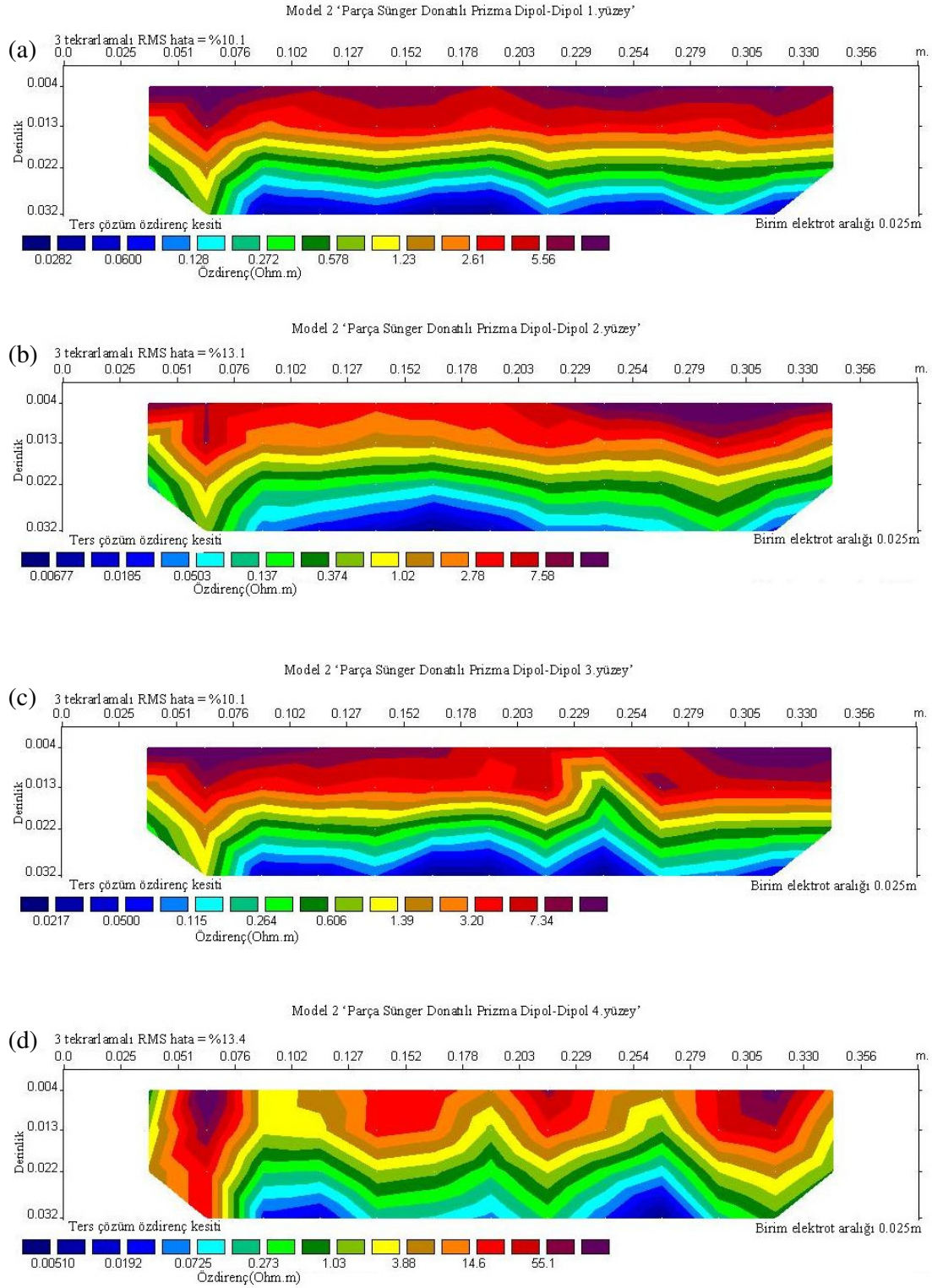
Şekil 35. Model 2 üzerinde yapılan ultrasonik hız ölçümlerinden elde edilen kapanım haritası



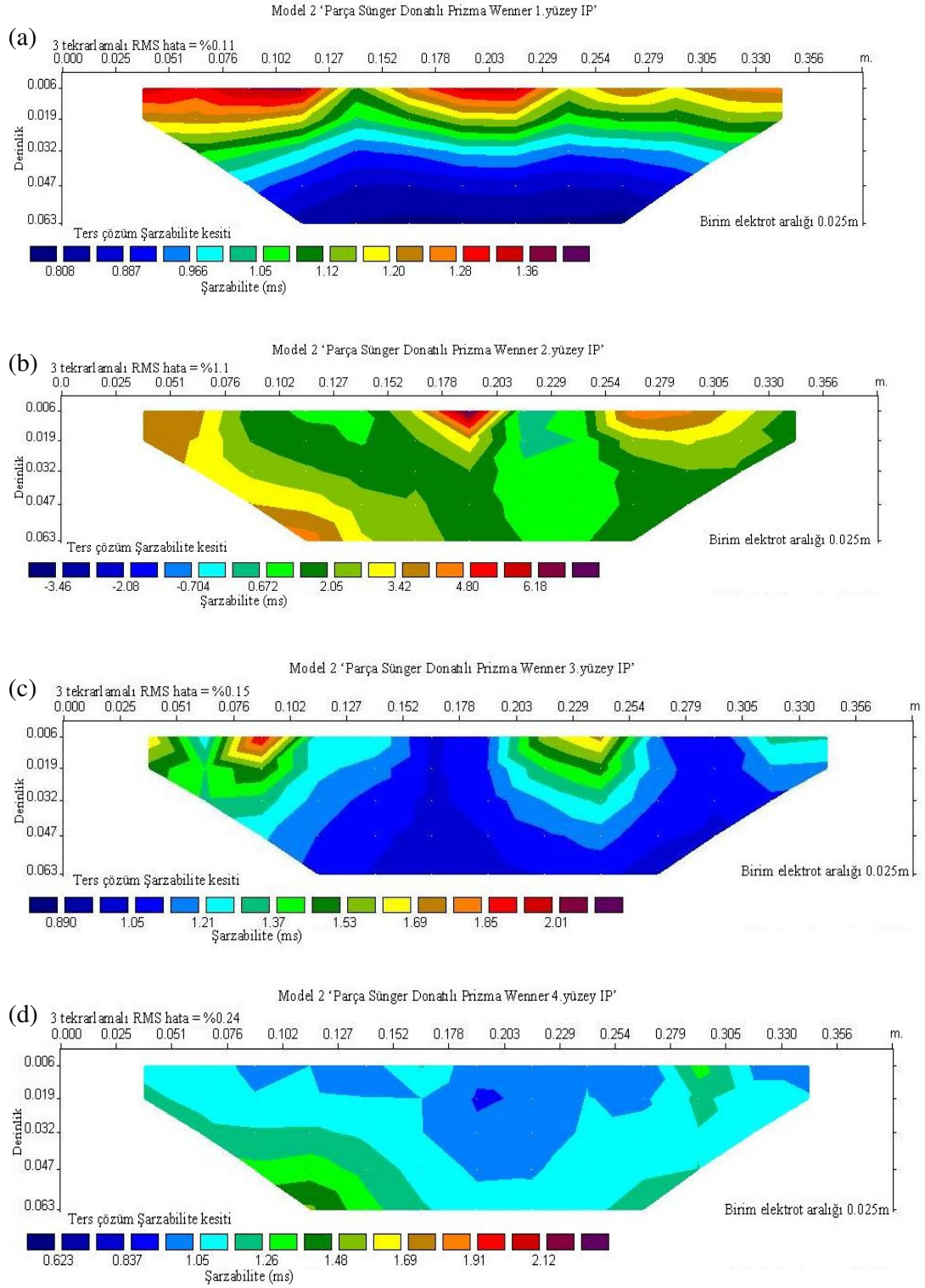
Şekil 36. Model 2 üzerinde Wenner dizilimi uygulanarak alınan öz direnç verilerinin ters çözümü (a) 1.yüzey (b) 2.yüzey (c) 3.yüzey (d) 4.yüzey



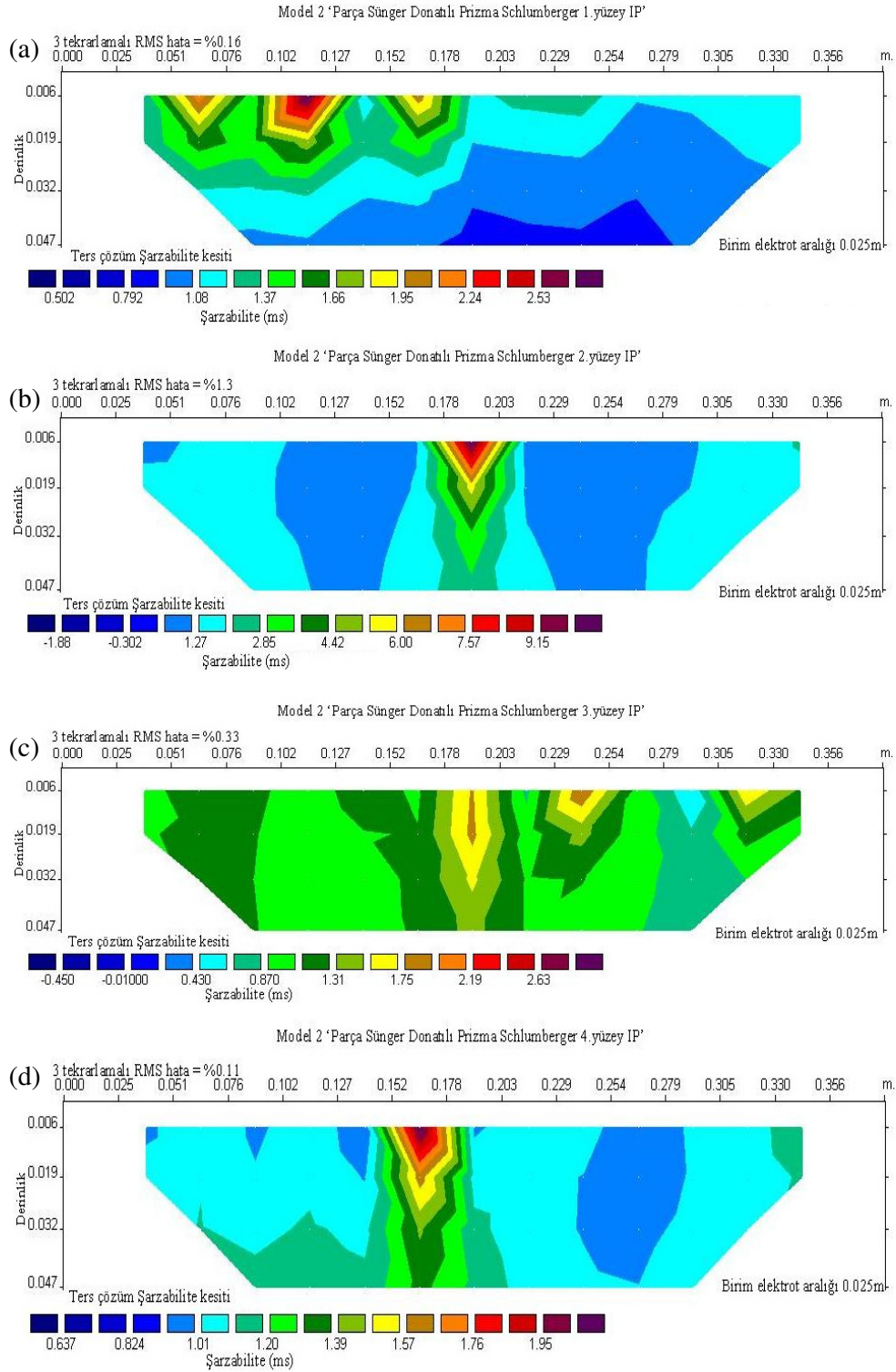
Şekil 37. Model 2 üzerinde Schlumberger dizilimi uygulanarak alınan öz direnç verilerinin ters çözümü (a) 1.yüzey (b) 2.yüzey (c) 3.yüzey (d) 4.yüzey



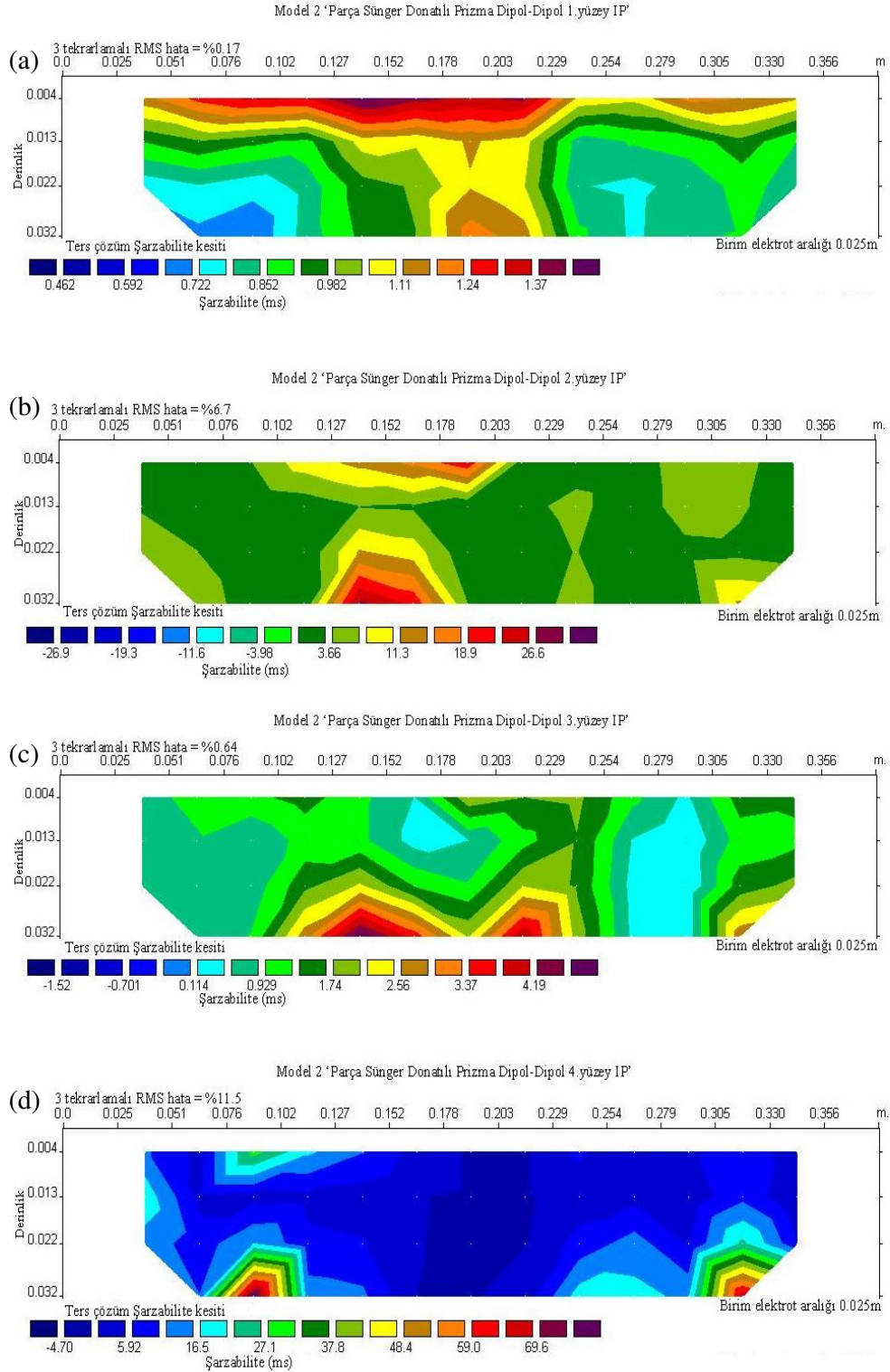
Şekil 38. Model 2 üzerinde Dipol-Dipol dizilimi uygulanarak alınan öz direnç verilerinin ters çözümü (a) 1.yüzey (b) 2.yüzey (c) 3.yüzey (d) 4.yüzey



Şekil 39. Model 2 üzerinde Wenner dizilimi uygulanarak alınan yüklenebilirlik verilerinin ters çözümü (a) 1.yüzey (b) 2.yüzey (c) 3.yüzey (d) 4.yüzey



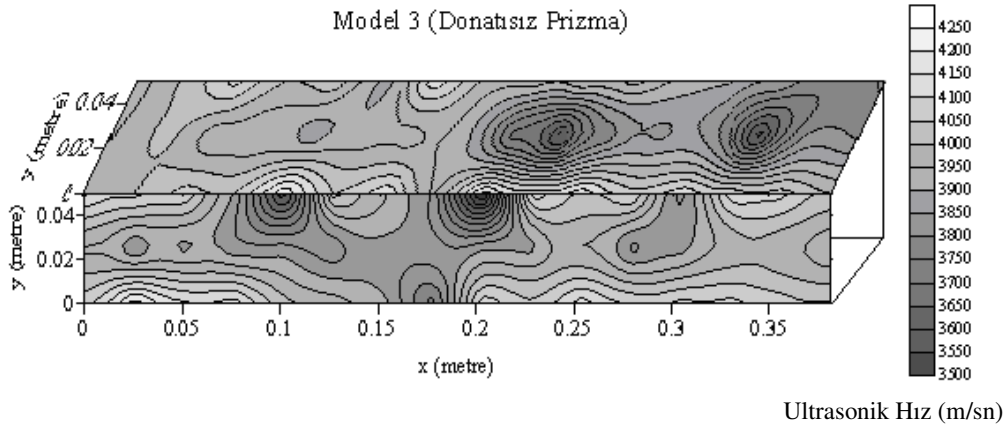
Şekil 40. Model 1 üzerinde Schlumberger dizilimi uygulanarak alınan yüklenebilirlik verilerinin ters çözümü (a) 1.yüzey (b) 2.yüzey (c) 3.yüzey (d) 4.yüzey



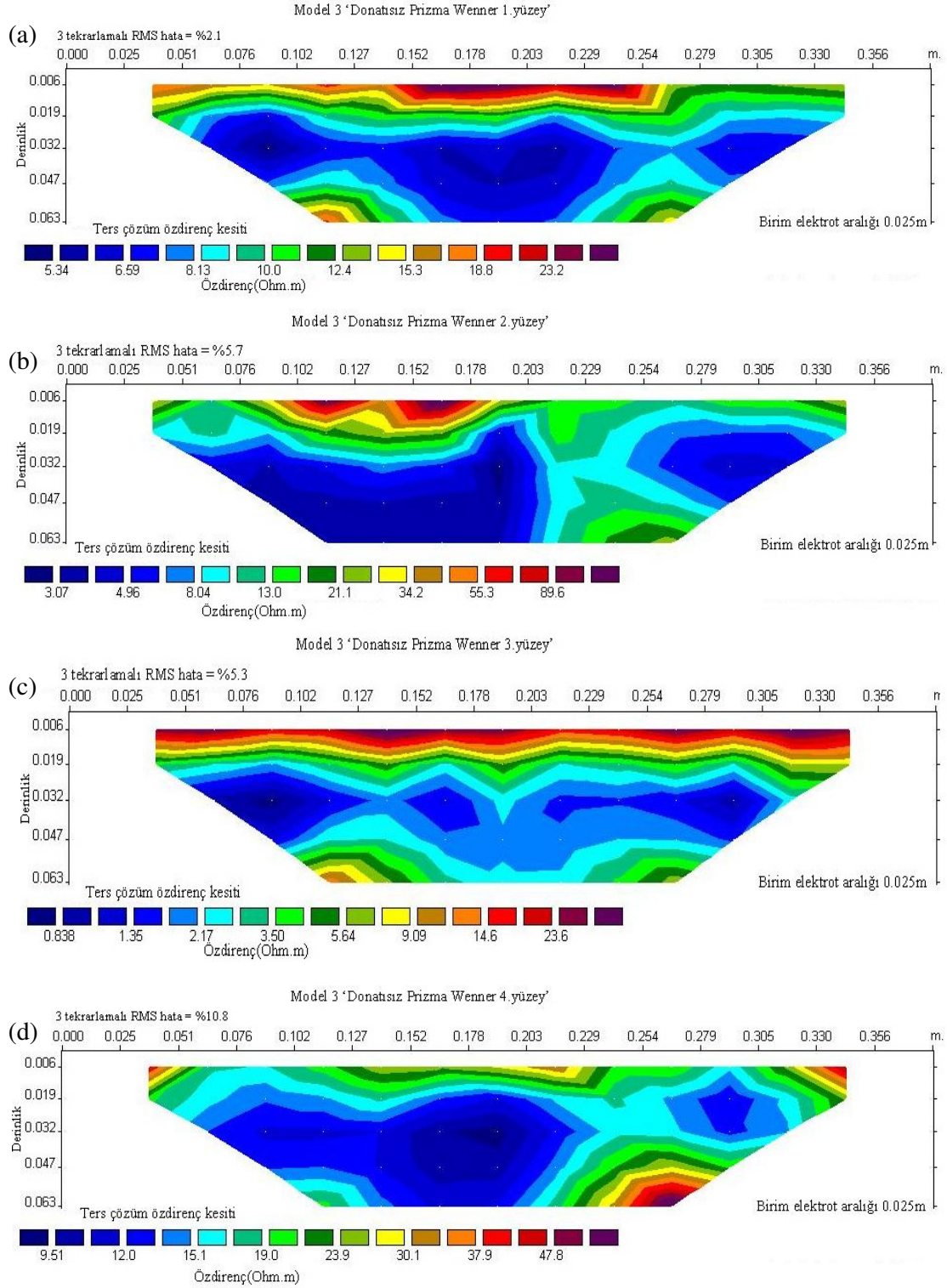
Şekil 41. Model 2 üzerinde Dipol-Dipol dizilimi uygulanarak alınan yüklenebilirlik verilerinin ters çözümü (a) 1.yüzey (b) 2.yüzey (c) 3.yüzey (d) 4.yüzey

### 2.6.3. Model 3 (Donatısız Prizma)

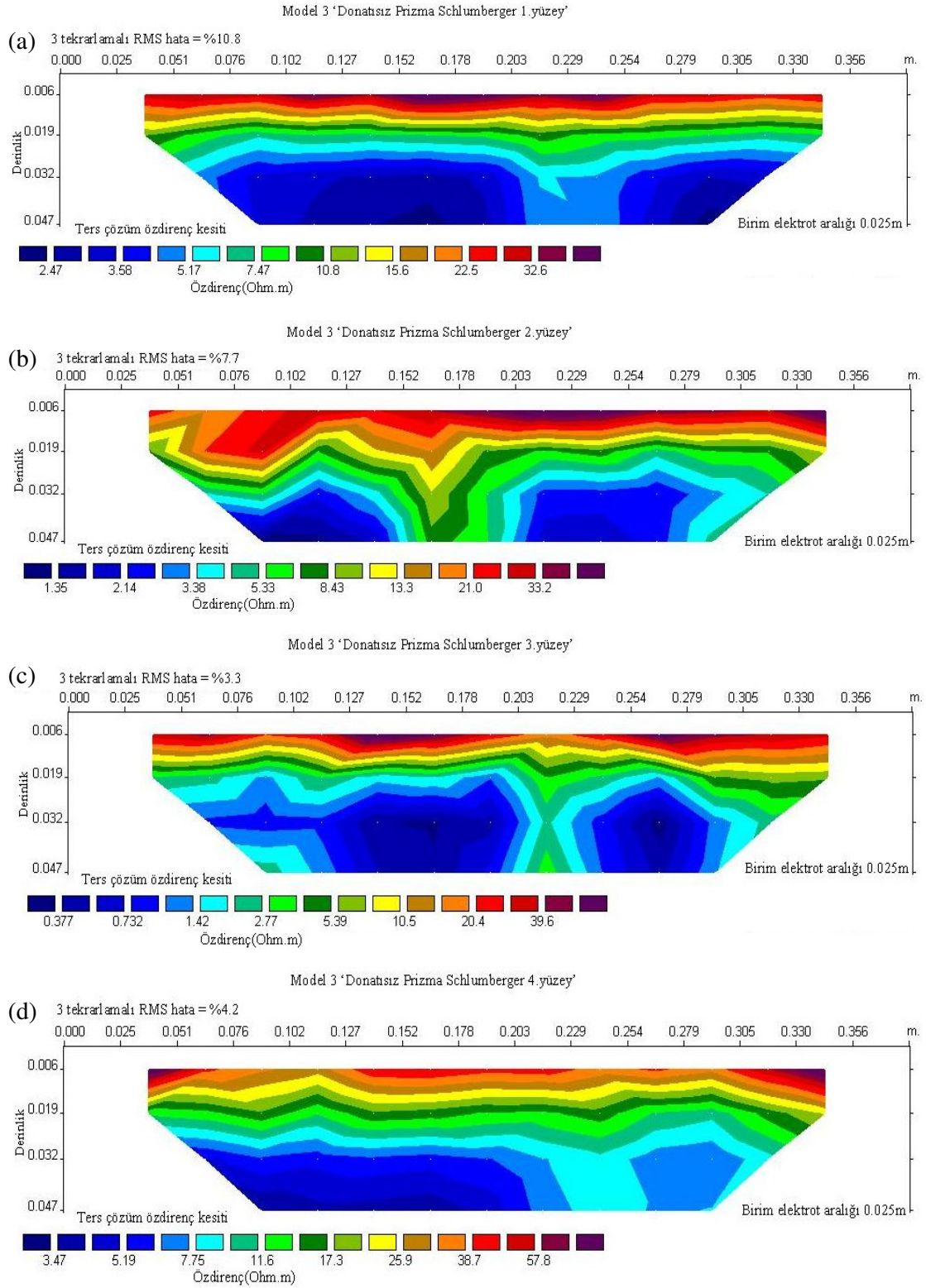
Şekil 42’de Model 3 üzerinde yapılan ultrasonik hız ölçümlerinden elde edilen kapanım haritası verilmektedir Model 3’ün 4 yüzeyi üzerinde Wenner, Schlumberger ve Dipol-Dipol dizilimleri kullanılarak öz direnç ölçümleri alınmıştır. Şekil 43a’da 1. yüzeyin, Şekil 43b’de 2. yüzeyin, Şekil 43c’de 3. yüzeyin ve Şekil 43d’de 4. yüzeyin Wenner dizilimi kullanılarak elde edilen görünür öz direnç verisinin iki boyutlu (2B) ters çözümü verilmektedir. Şekil 44a’da 1.yüzeyin, Şekil 44b’de 2.yüzeyin, Şekil 44c’de 3.yüzeyin ve Şekil 44d’de 4.yüzeyin Schlumberger dizilimi kullanılarak elde edilen görünür öz direnç verisinin iki boyutlu (2B) ters çözümü verilmektedir. Şekil 45a’da 1.yüzeyin, Şekil 45b’de 2.yüzeyin, Şekil 45c’de 3.yüzeyin ve Şekil 45d’de 4.yüzeyin Dipol-Dipol dizilimi kullanılarak elde edilen görünür öz direnç verisinin iki boyutlu (2B) ters çözümü verilmektedir. Model 3 (donatısız prizma) üzerinde yapılan Wenner dizilimi için  $n=5$ , Dipol-Dipol dizilimi için  $n=4$  ve Schlumberger dizilimi için  $n=4$  seviyelerine kadar ölçümler alınmıştır.



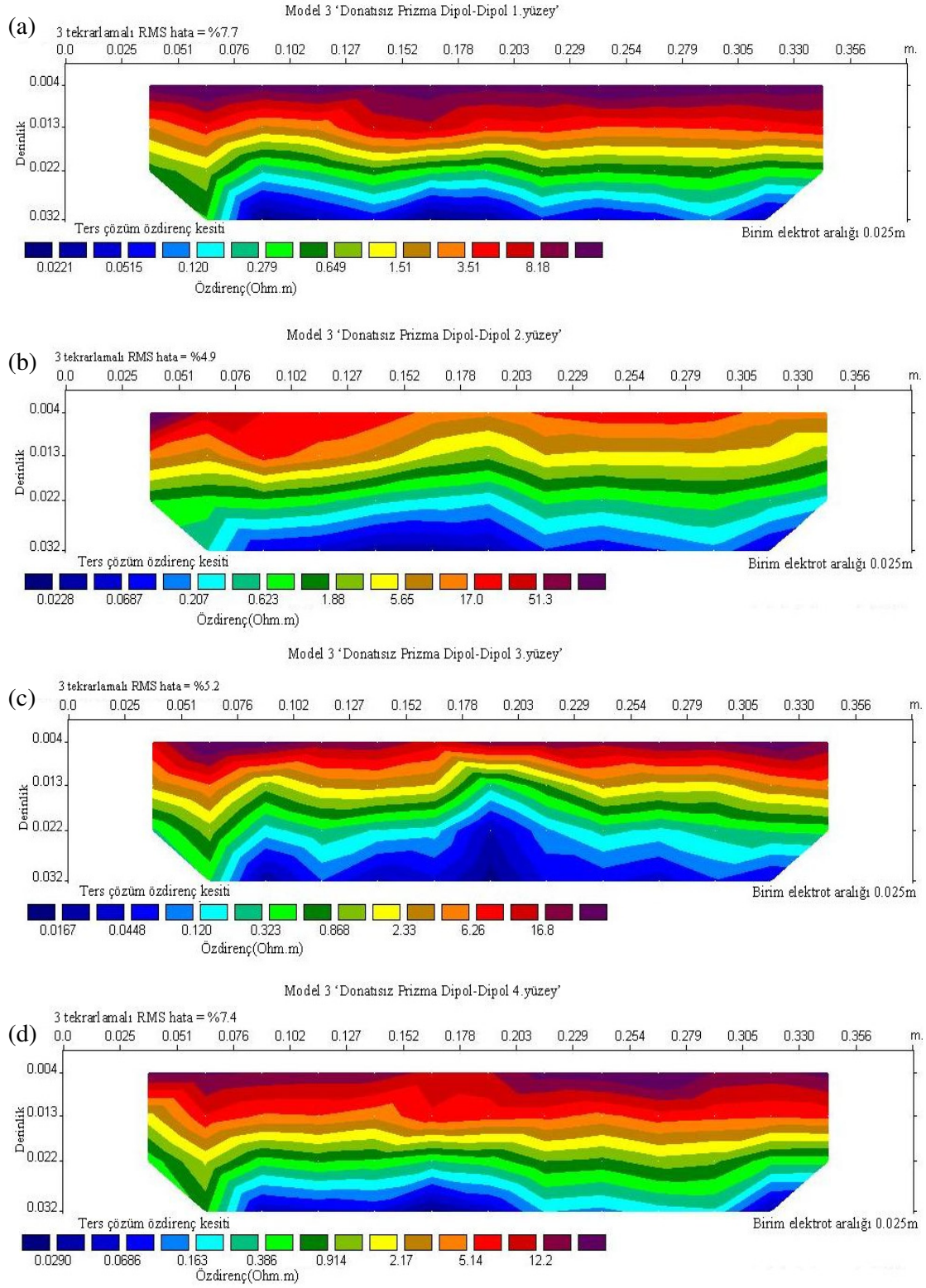
Şekil 42. Model 3 üzerinde yapılan ultrasonik hız ölçümlerinden elde edilen kapanım haritası



Şekil 43. Model 3 üzerinde Wenner dizilimi uygulanarak alınan öz direnç verilerinin ters çözümü (a) 1.yüzey (b) 2.yüzey (c) 3.yüzey (d) 4.yüzey



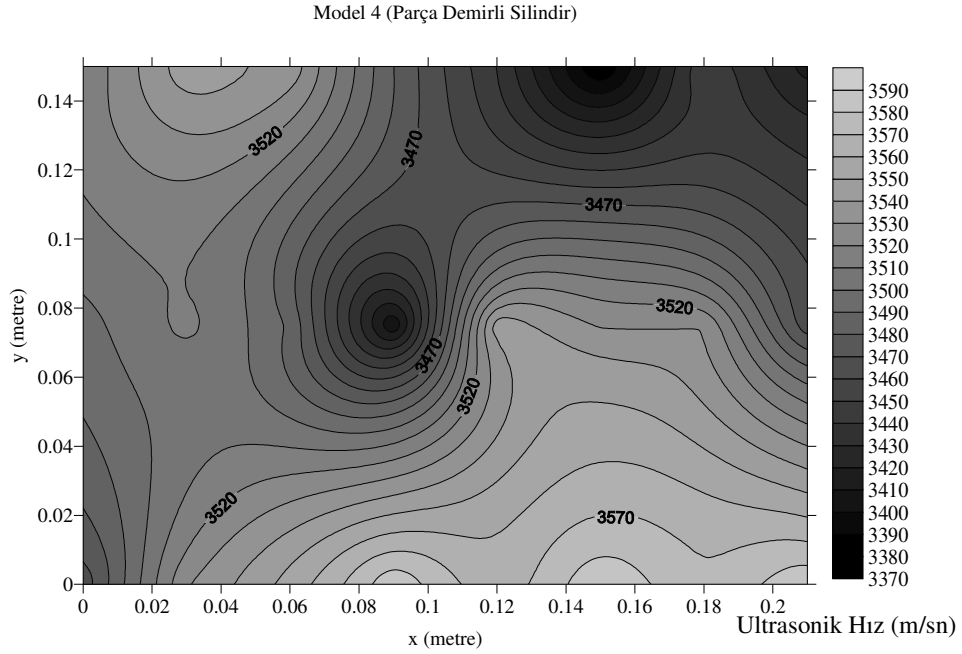
Şekil 44. Model 3 üzerinde Schlumberger dizilimi uygulanarak alınan öz direnç verilerinin ters çözümü (a) 1.yüzey (b) 2.yüzey (c) 3.yüzey (d) 4.yüzey



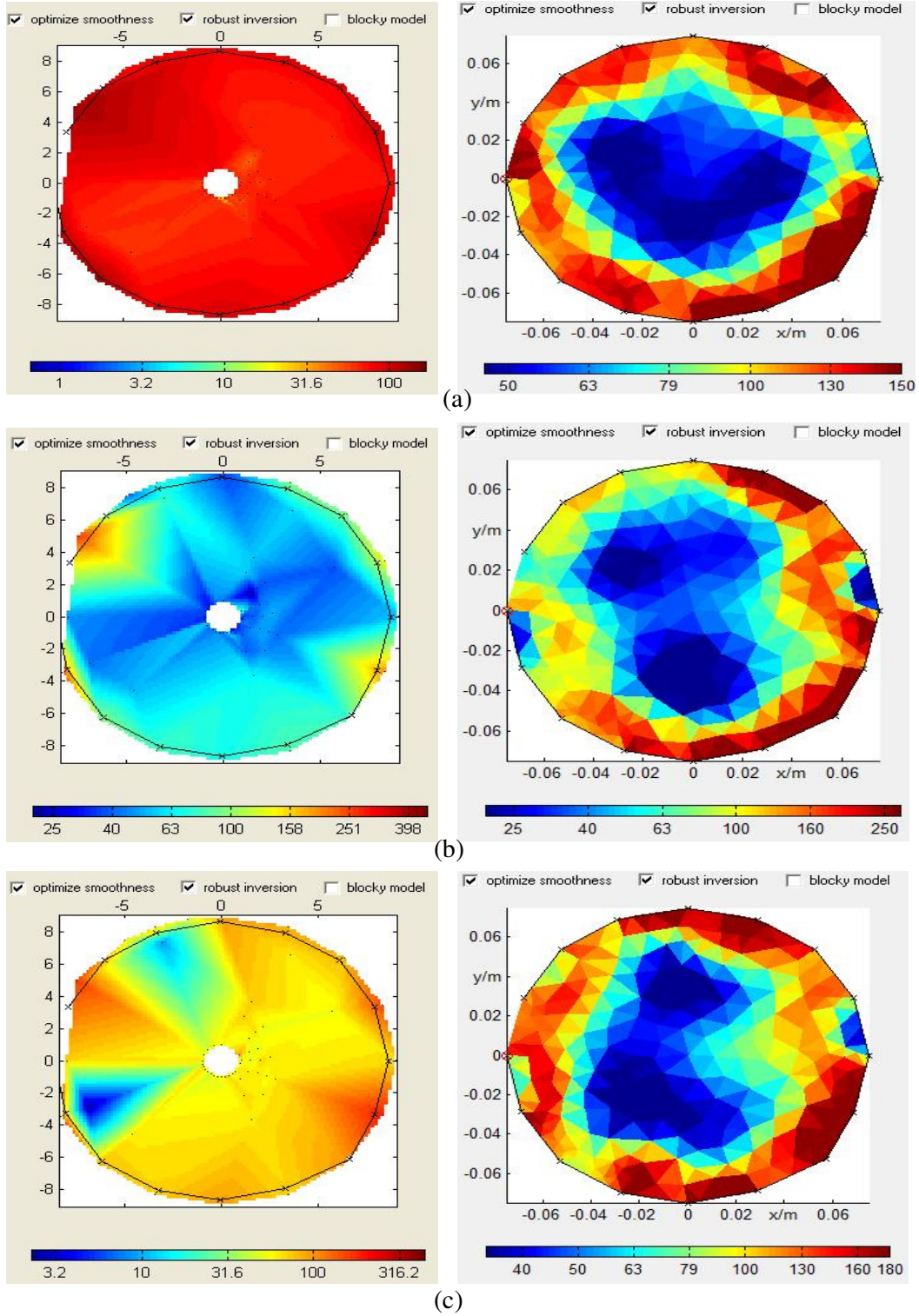
Şekil 45. Model 3 üzerinde Dipol-Dipol dizilimi uygulanarak alınan öz direnç verilerinin ters çözümü (a) 1.yüzey (b) 2.yüzey (c) 3.yüzey (d) 4.yüzey

#### 2.6.4. Model 4 (Parça Demir Donatılı Silindir)

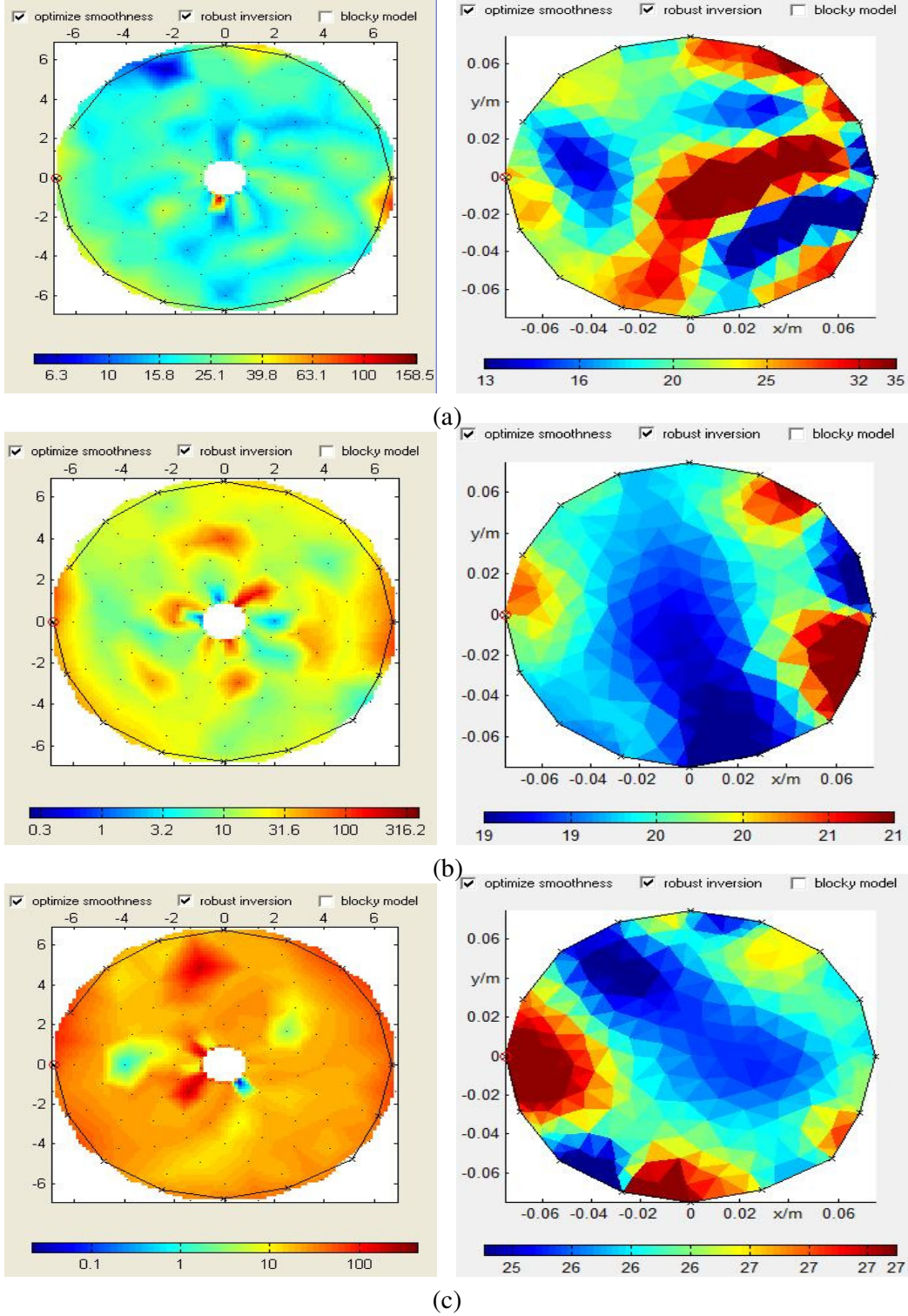
Şekil 46'da Model 4 üzerinde yapılan ultrasonik hız ölçümlerinden elde edilen kapanım haritası verilmektedir. Model 4 üzerinde 3 profilde Wenner ve Dipol-Dipol dizilimleri uygulanmıştır. Model 4 üzerinde A profilinde Wenner dizilimi kullanılarak elde edilen veri ve görünür öz direnç verisinin iki boyutlu (2B) ters çözümü Şekil 47a'da, B profilinde Wenner dizilimi kullanılarak elde edilen veri ve görünür öz direnç verisinin iki boyutlu (2B) ters çözümü Şekil 47b'de, C profilinde Wenner dizilimi kullanılarak elde edilen veri ve görünür öz direnç verisinin iki boyutlu (2B) ters çözümü Şekil 47c'de verilmektedir. Model 4 üzerinde A profilinde Dipol-Dipol dizilimi kullanılarak elde edilen veri ve görünür öz direnç verisinin iki boyutlu (2B) ters çözümü Şekil 48a'da verilmektedir. Şekil 48b'de B profilinde Dipol-Dipol dizilimi kullanılarak elde edilen veri ve görünür öz direnç verisinin iki boyutlu (2B) ters çözümü ve Şekil 48c'de C profilinde Dipol-Dipol dizilimi kullanılarak elde edilen veri ve görünür öz direnç verisinin iki boyutlu (2B) ters çözümü verilmektedir. Model 4 (parça demir donatılı silindir) üzerinde yapılan Wenner dizilimi için  $n=5$ , Dipol-Dipol dizilimi için  $n=11$  seviyelerine kadar ölçümler alınmıştır.



Şekil 46. Model 4'ün ultrasonik hız ölçümlerinden elde edilen kapanım haritası



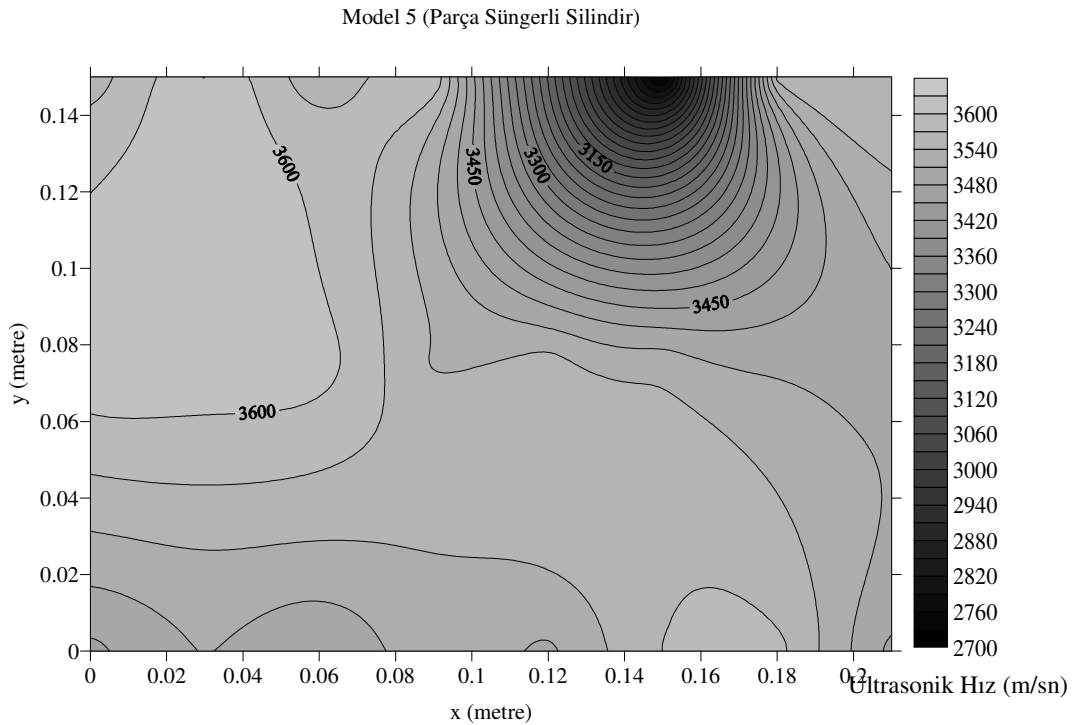
Şekil 47. Model 4 üzerinde Wenner dizilimi uygulanarak elde edilen görünür öz direnç verisi ve iki boyutlu (2B) ters çözümü (a) A profili  $\chi^2=7.099$  ve iterasyon sayısı=5 (b) B profili  $\chi^2=1.586$  ve iterasyon sayısı=13 (c) C profili  $\chi^2=9.36$  ve iterasyon sayısı=6



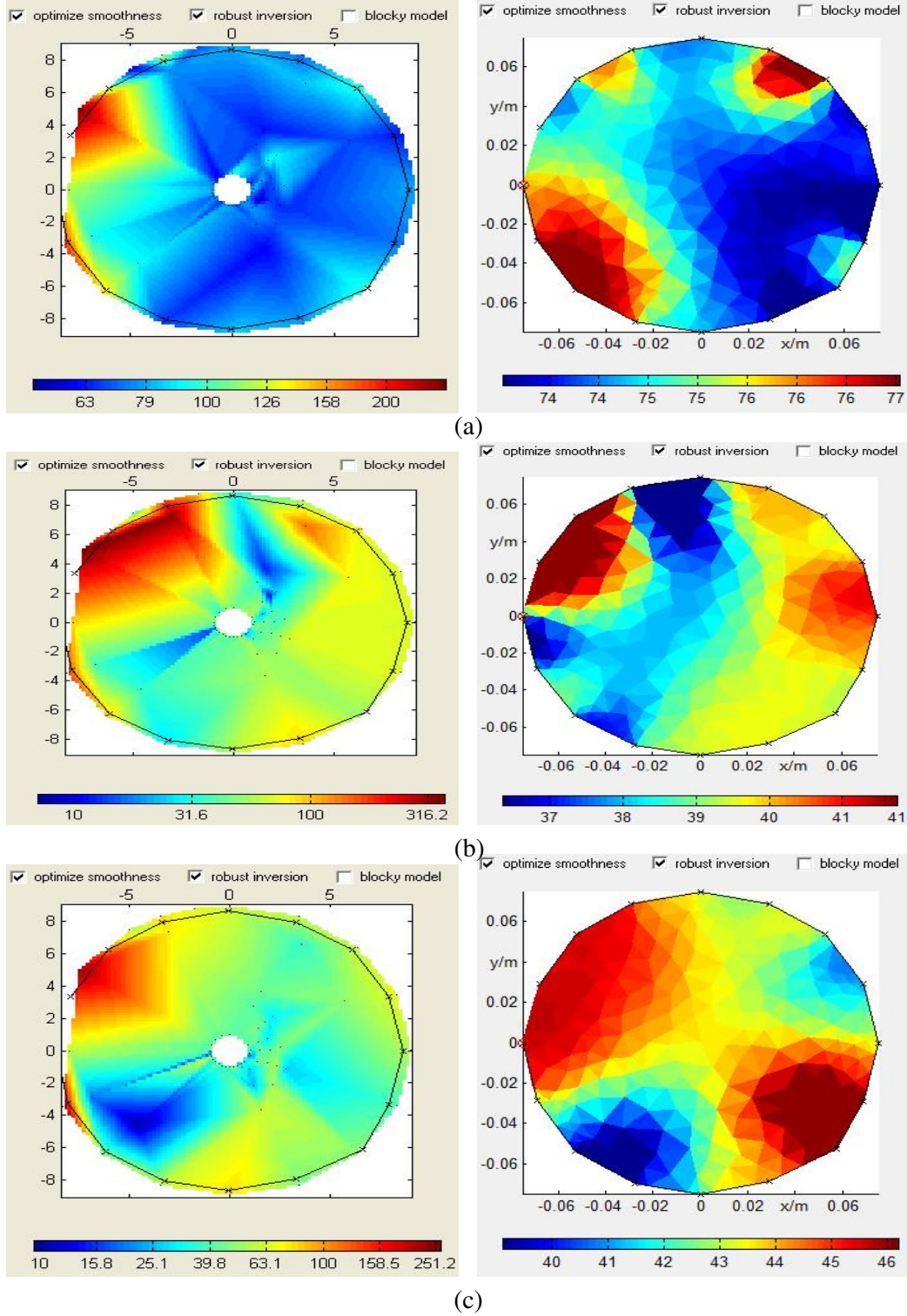
Şekil 48. Model 4 üzerinde Dipol-Dipol dizilimi uygulanarak elde edilen görünür öz direnç verisi ve iki boyutlu (2B) ters çözümü (a) A profili  $\chi^2=0.65$  ve iterasyon sayısı=2 (b) B profili  $\chi^2=0.786$  ve iterasyon sayısı=2 (c) C profili  $\chi^2=0.92$  ve iterasyon sayısı=5

### 2.6.5. Model 5 (Parça Sünger Donatılı Silindir)

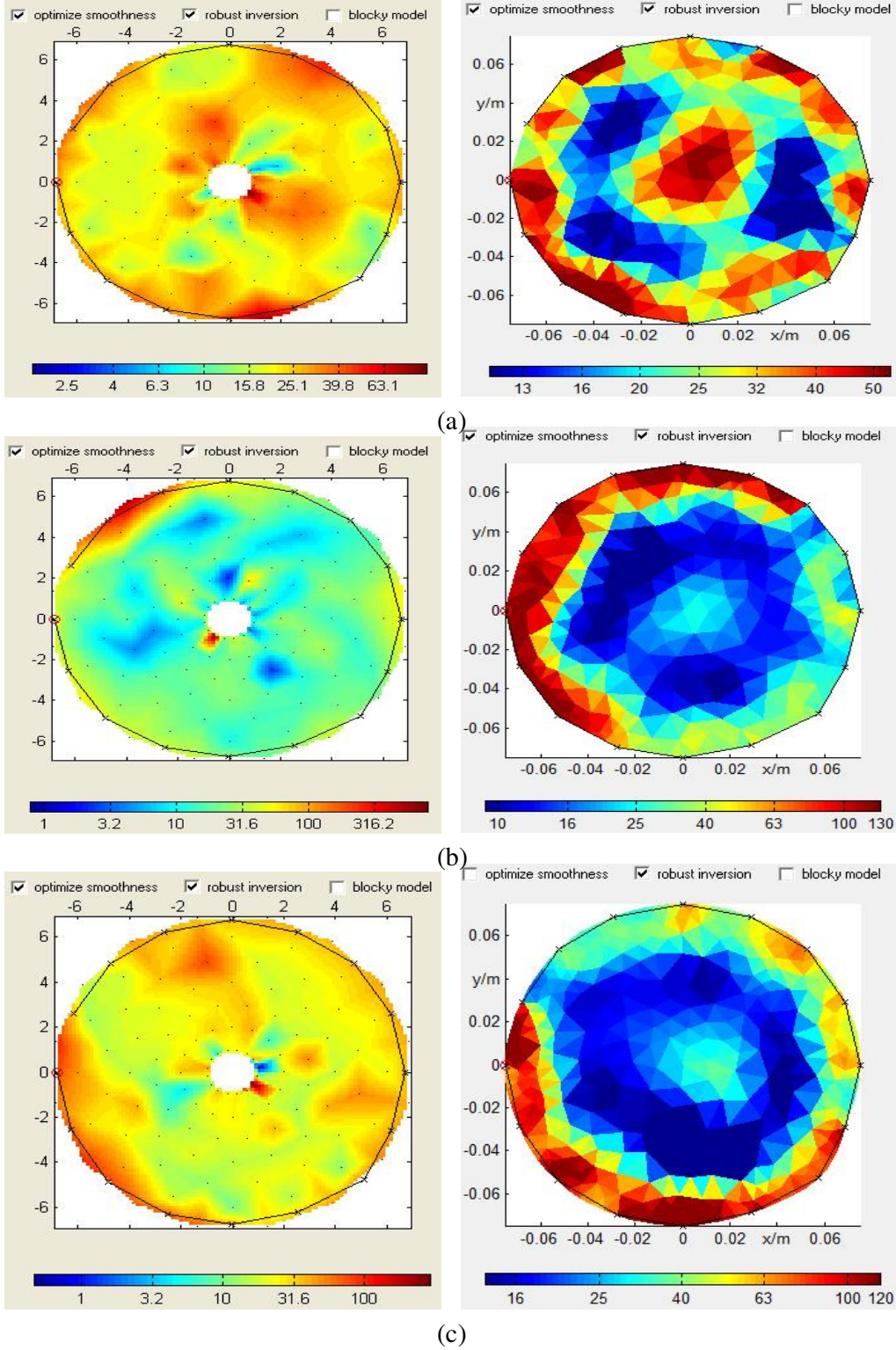
Şekil 49’da Model 5 üzerinde yapılan ultrasonik hız ölçümlerinden elde edilen kapanım haritası verilmektedir. Model 5 üzerinde 3 profilde Wenner ve Dipol-Dipol dizilimleri uygulanmıştır. Model 5 üzerinde A profilinde Wenner dizilimi kullanılarak elde edilen veri ve görünür özdirenç verisinin iki boyutlu (2B) ters çözümü Şekil 50a’da, B profilinde Wenner dizilimi kullanılarak elde edilen veri ve görünür özdirenç verisinin iki boyutlu (2B) ters çözümü Şekil 50b’de, C profilinde Wenner dizilimi kullanılarak elde edilen veri ve görünür özdirenç verisinin iki boyutlu (2B) ters çözümü Şekil 50c’de verilmektedir. Model 5 üzerinde A profilinde Dipol-Dipol dizilimi kullanılarak elde edilen veri ve görünür özdirenç verisinin iki boyutlu (2B) ters çözümü Şekil 51a’da verilmektedir. Şekil 51b’de B profilinde Dipol-Dipol dizilimi kullanılarak elde edilen veri ve görünür özdirenç verisinin iki boyutlu (2B) ters çözümü ve Şekil 51c’de C profilinde Dipol-Dipol dizilimi kullanılarak elde edilen veri ve görünür özdirenç verisinin iki boyutlu (2B) ters çözümü verilmektedir. Model 5 (parça sünger donatılı silindir) üzerinde yapılan Wenner dizilimi için  $n=5$ , Dipol-Dipol dizilimi için  $n=11$  seviyelerine kadar ölçümler alınmıştır.



Şekil 49. Model 5’in ultrasonik hız ölçümlerinden elde edilen kapanım haritası



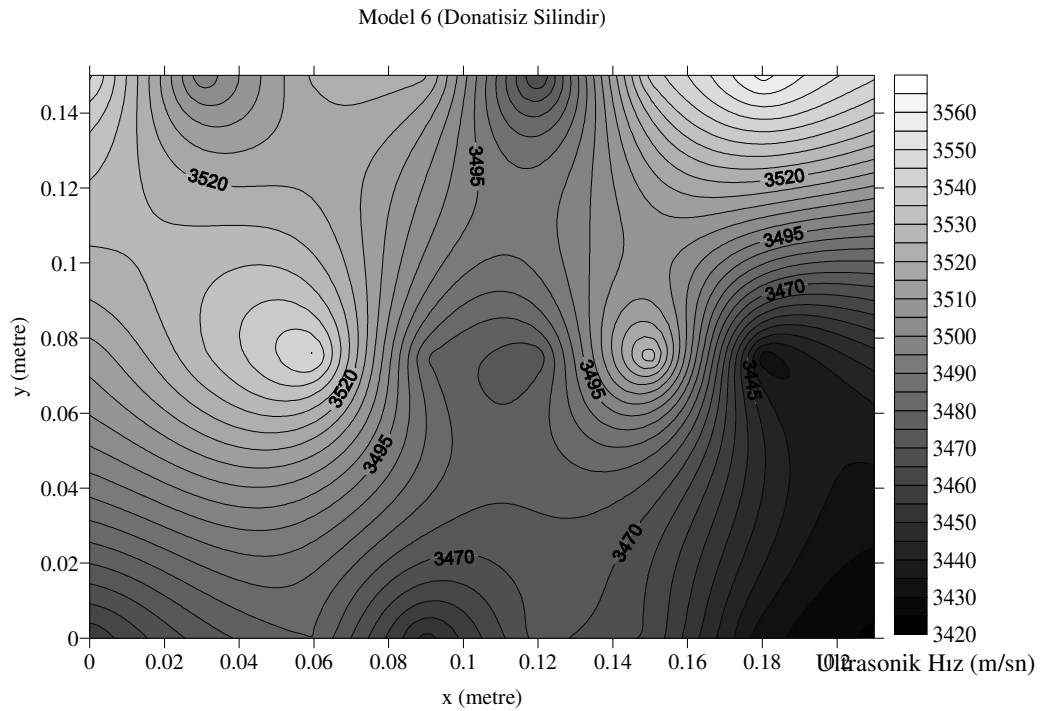
Şekil 50. Model 5 üzerinde Wenner dizilimi uygulanarak elde edilen görünür öz direnç verisi ve iki boyutlu (2B) ters çözümü (a) A profili  $\chi^2=0.496$  ve iterasyon sayısı=3 (b) B profili  $\chi^2=1.19$  ve iterasyon sayısı=7 (c) C profili  $\chi^2=0.77$  ve iterasyon sayısı=5



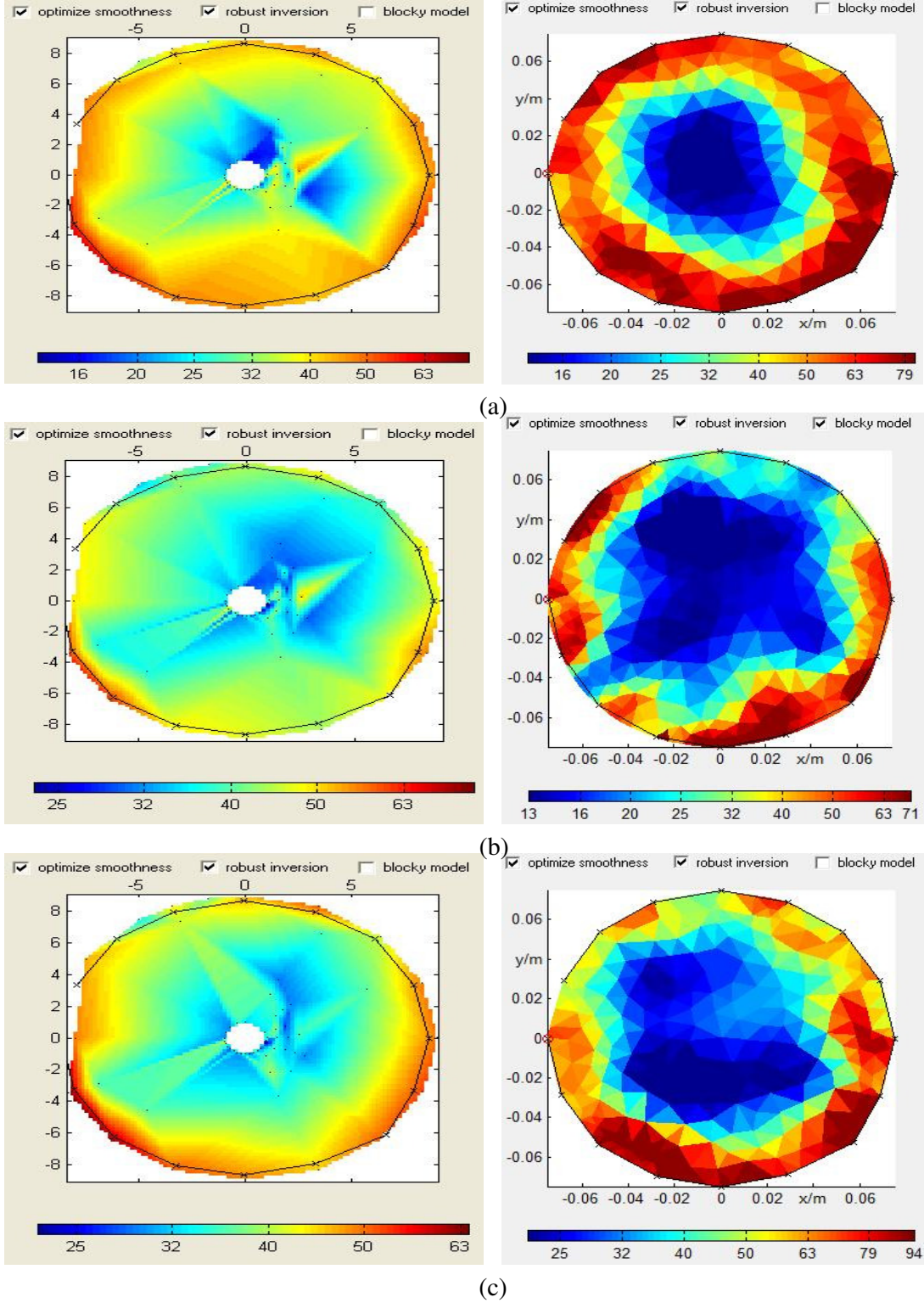
Şekil 51. Model 5 üzerinde Dipol-Dipol dizilimi uygulanarak elde edilen görünür öz direnç verisi ve iki boyutlu (2B) ters çözümü (a) A profili  $\chi^2=7.67$  ve iterasyon sayısı=10 (b) B profili  $\chi^2=9.98$  ve iterasyon sayısı=13 (c) C profili  $\chi^2=7.11$  ve iterasyon sayısı=5

### 2.6.6. Model 6 (Donatısız Silindir)

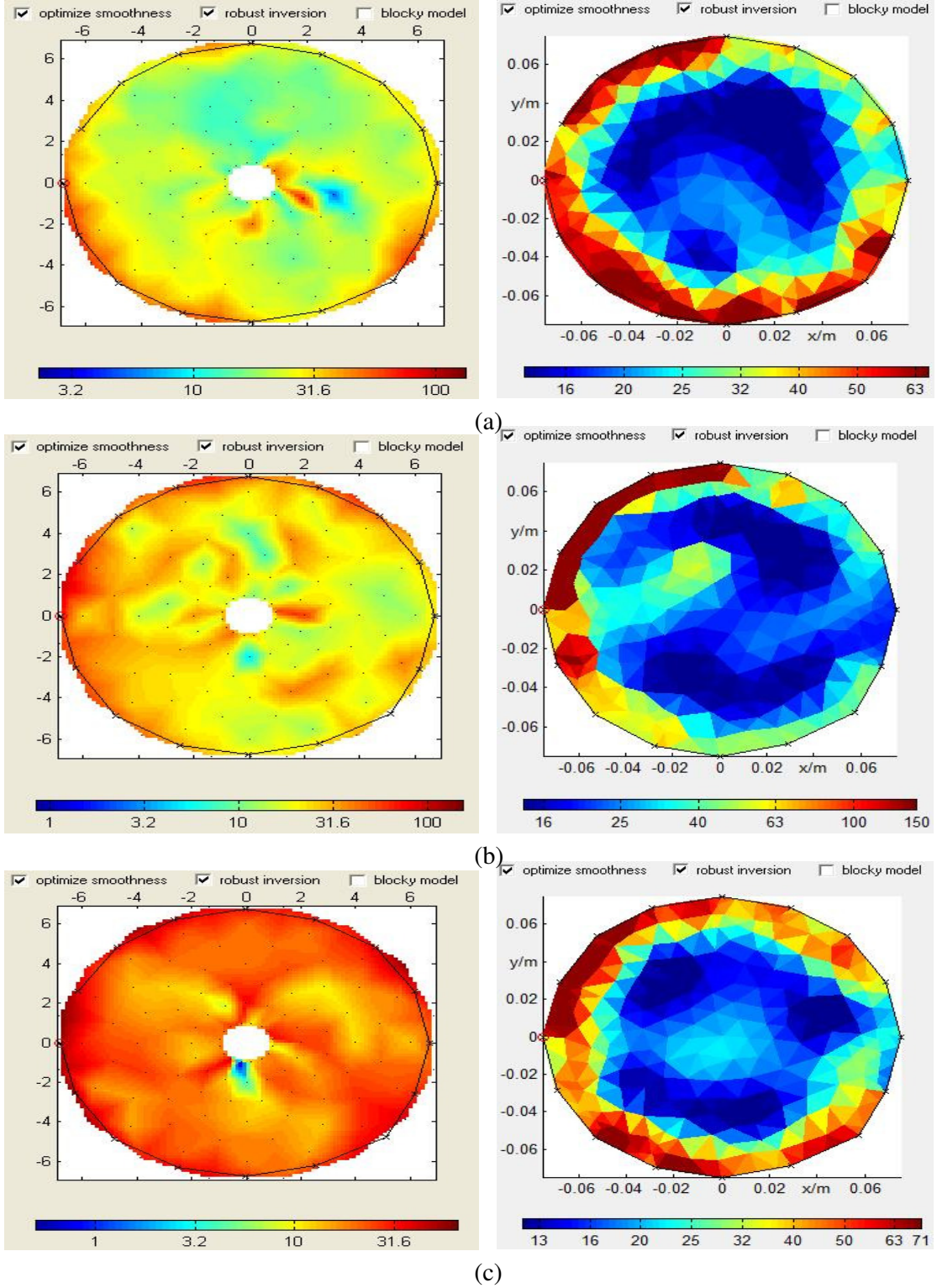
Şekil 52’de Model 6 üzerinde yapılan ultrasonik hız ölçümlerinden elde edilen kapanım haritası verilmektedir. Model 6 üzerinde 3 profilde Wenner ve Dipol-Dipol dizilimleri uygulanmıştır. Model 6 üzerinde A profilinde Wenner dizilimi kullanılarak elde edilen veri ve görünür özdirenç verisinin iki boyutlu (2B) ters çözümü Şekil 53a’da, B profilinde Wenner dizilimi kullanılarak elde edilen veri ve görünür özdirenç verisinin iki boyutlu (2B) ters çözümü Şekil 53b’de, C profilinde Wenner dizilimi kullanılarak elde edilen veri ve görünür özdirenç verisinin iki boyutlu (2B) ters çözümü Şekil 53c’de verilmektedir. Model 6 üzerinde A profilinde Dipol-Dipol dizilimi kullanılarak elde edilen veri ve görünür özdirenç verisinin iki boyutlu (2B) ters çözümü Şekil 54a’da verilmektedir. Şekil 54b’de B profilinde Dipol-Dipol dizilimi kullanılarak elde edilen veri ve görünür özdirenç verisinin iki boyutlu (2B) ters çözümü ve Şekil 54c’de C profilinde Dipol-Dipol dizilimi kullanılarak elde edilen veri ve görünür özdirenç verisinin iki boyutlu (2B) ters çözümü verilmektedir. Model 6 (donatısız silindir) üzerinde yapılan Wenner dizilimi için  $n=5$ , Dipol-Dipol dizilimi için  $n=11$  seviyelerine kadar ölçümler alınmıştır.



Şekil 52. Model 6’nın ultrasonik hız ölçümlerinden elde edilen kapanım haritası



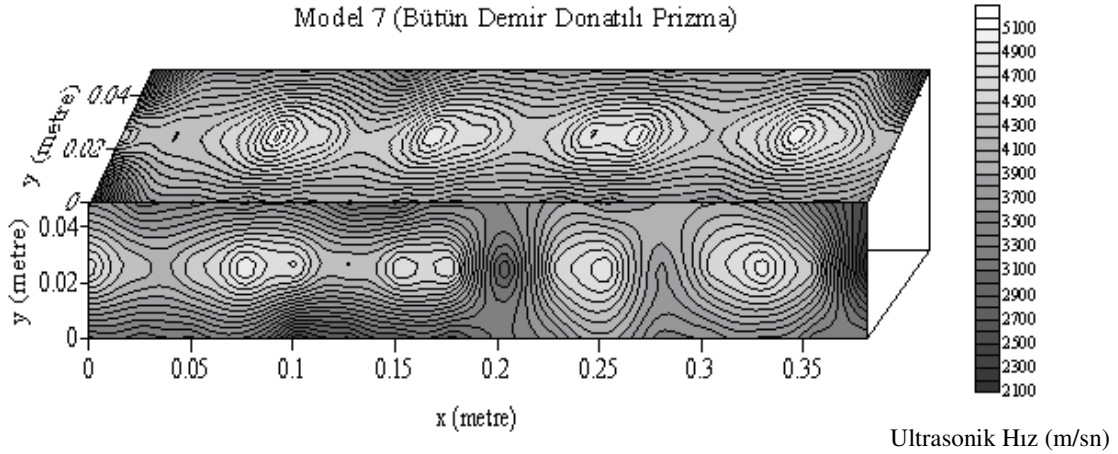
Şekil 53. Model 6 üzerinde Wenner dizilimi uygulanarak elde edilen görünür öz direnç verisi ve iki boyutlu (2B) ters çözümü (a) A profili  $\chi^2=4.82$  ve iterasyon sayısı=9 (b) B profili  $\chi^2=2.35$  ve iterasyon sayısı=10 (c) C profili  $\chi^2=0.87$  ve iterasyon sayısı=10



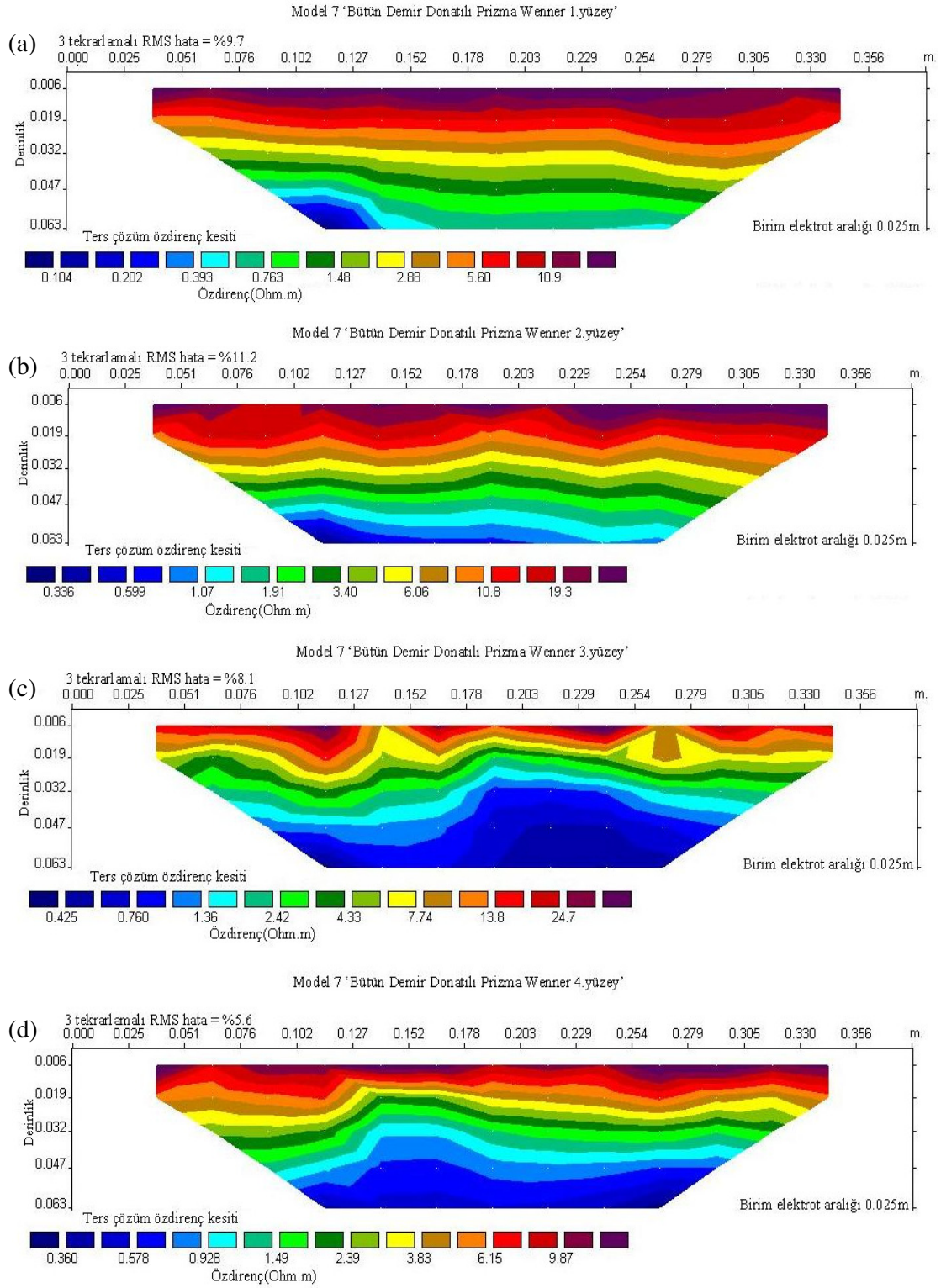
Şekil 54. Model 6 üzerinde Dipol-Dipol dizilimi uygulanarak elde edilen görünür öz direnç verisi ve iki boyutlu (2B) ters çözümü (a) A profili  $\chi^2=3.46$  ve iterasyon sayısı=63 (b) B profili  $\chi^2=15.58$  ve iterasyon sayısı=9 (c) C profili  $\chi^2=11.24$  ve iterasyon sayısı=9

### 2.6.7. Model 7 (Bütün Demir Donatılı Prizma)

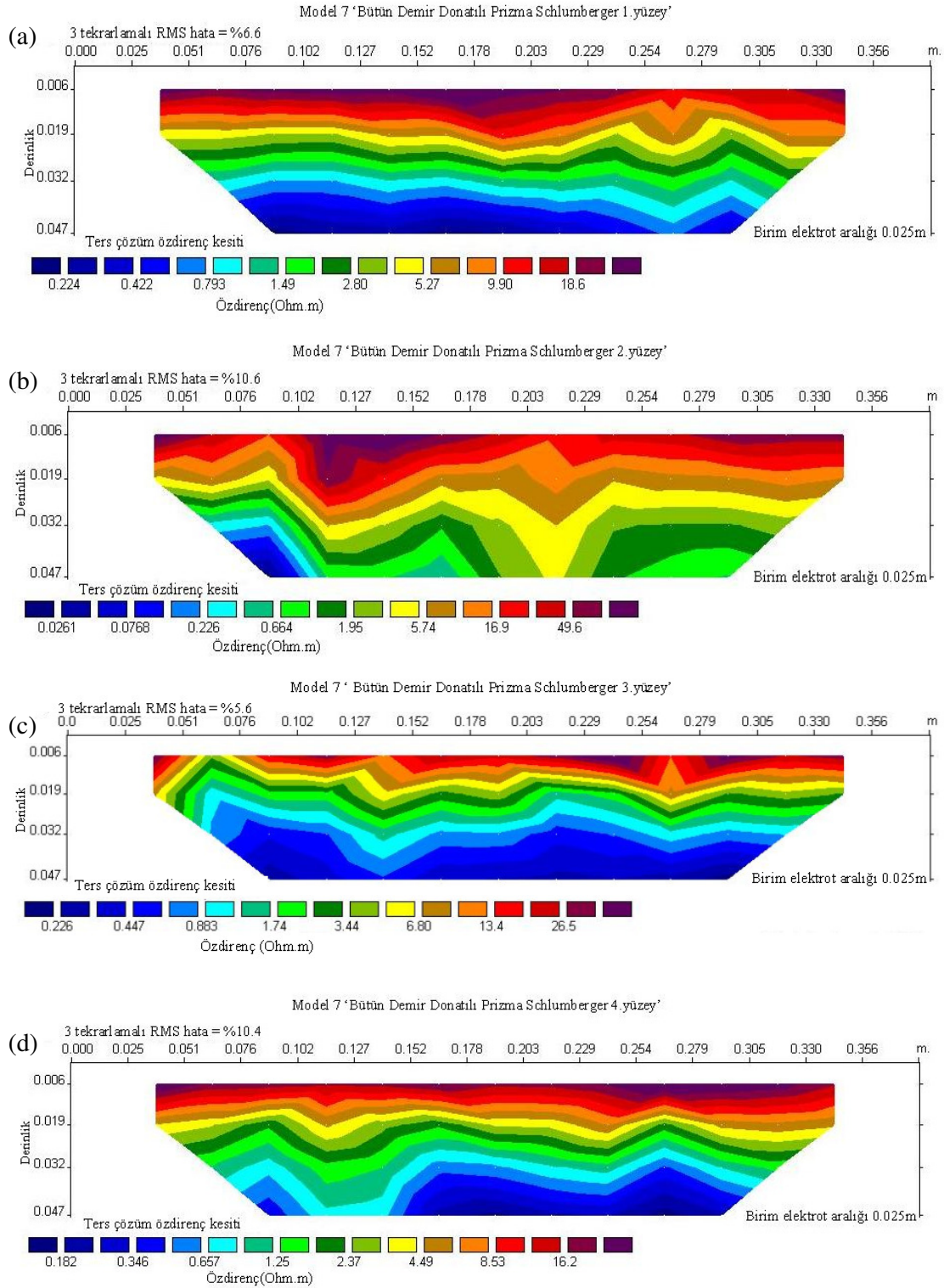
Şekil 55’de Model 7 üzerinde yapılan ultrasonik hız ölçümlerinden elde edilen kapanım haritası verilmektedir. Model 7’nin 4 yüzeyi üzerinde Wenner, Schlumberger ve Dipol-Dipol dizilimleri kullanılarak öz direnç ölçümleri alınmıştır. Şekil 56a’da 1. yüzeyin, Şekil 56b’de 2. yüzeyin, Şekil 56c’de 3. yüzeyin ve Şekil 56d’de 4. yüzeyin Wenner dizilimi kullanılarak elde edilen görünür öz direnç verisinin iki boyutlu (2B) ters çözümü verilmektedir. Şekil 57a’da 1. yüzeyin, Şekil 57b’de 2. yüzeyin, Şekil 57c’de 3. yüzeyin ve Şekil 57d’de 4. yüzeyin Schlumberger dizilimi kullanılarak elde edilen görünür öz direnç verisinin iki boyutlu (2B) ters çözümü verilmektedir. Şekil 58a’da 1. yüzeyin, Şekil 58b’de 2. yüzeyin, Şekil 58c’de 3. yüzeyin ve Şekil 58d’de 4. yüzeyin Dipol-Dipol dizilimi kullanılarak elde edilen görünür öz direnç verisinin iki boyutlu (2B) ters çözümü verilmektedir. Model 7 (bütün demir donatılı prizma) üzerinde yapılan Wenner dizilimi için  $n=5$ , Dipol-Dipol dizilimi için  $n=4$ , ve Schlumberger dizilimi için  $n=4$  seviyelerine kadar ölçümler alınmıştır.



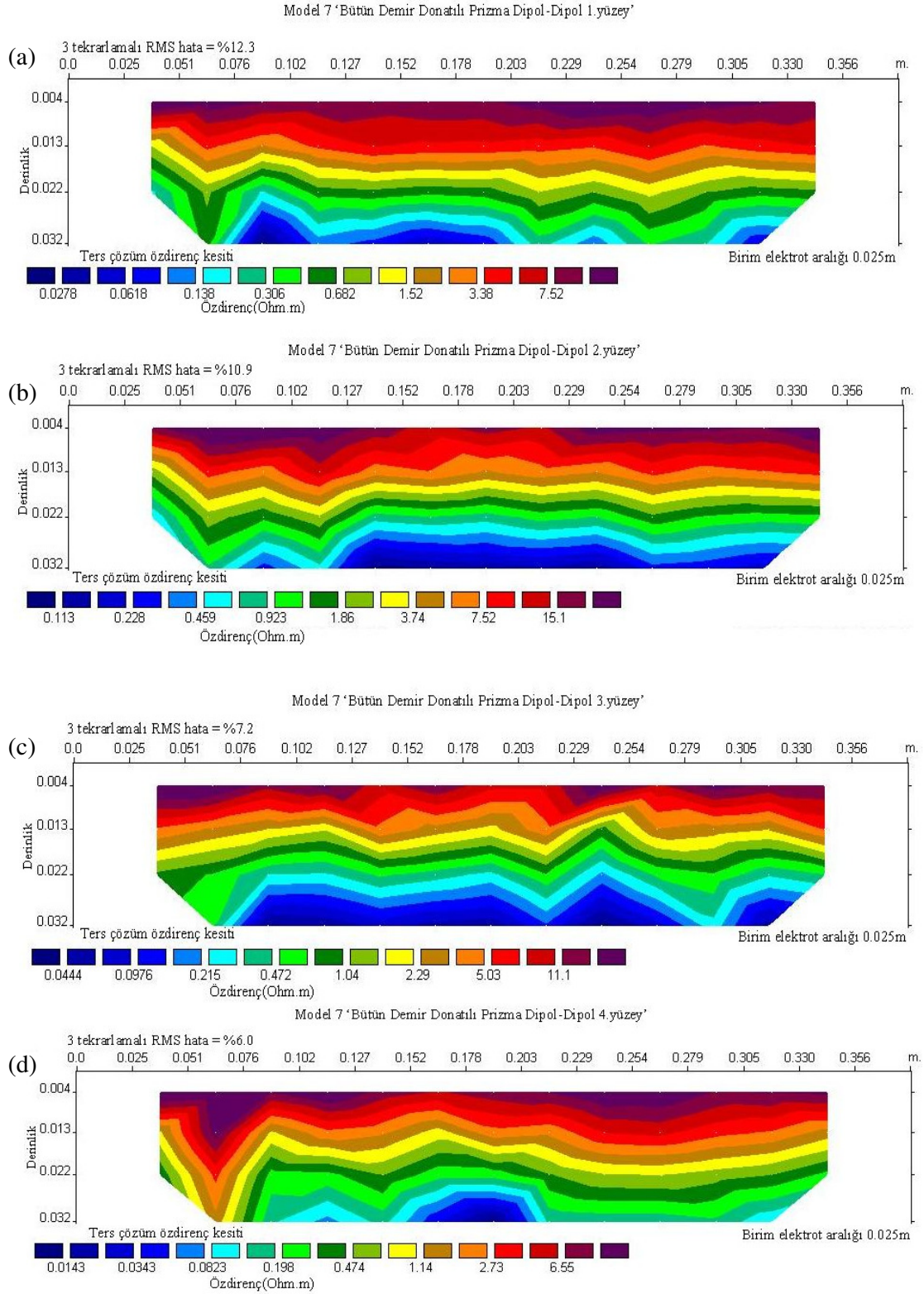
Şekil 55. Model 7 üzerinde yapılan ultrasonik hız ölçümlerinden elde edilen kapanım haritası



Şekil 56. Model 7 üzerinde Wenner dizilimi uygulanarak alınan öz direnç verilerinin ters çözümü (a) 1.yüzey (b) 2.yüzey (c) 3.yüzey (d) 4.yüzey



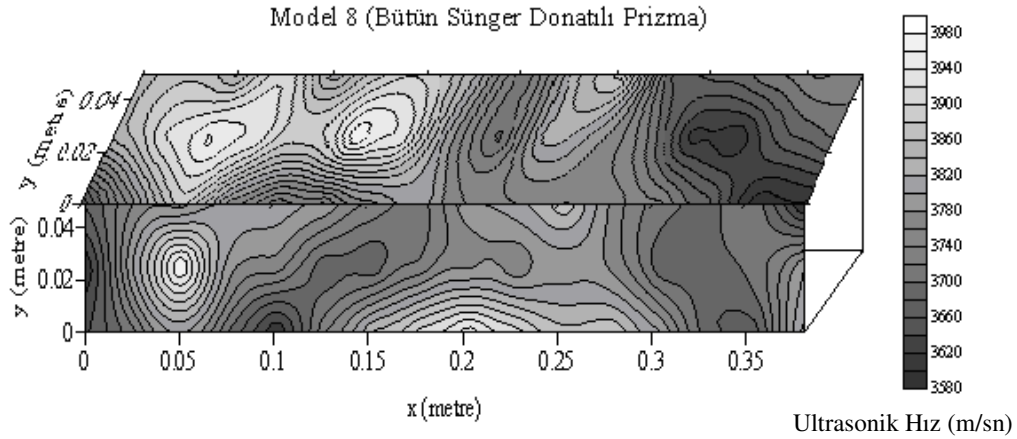
Şekil 57. Model 7 üzerinde Schlumberger dizilimi uygulanarak alınan öz direnç verilerinin ters çözümü (a) 1.yüzey (b) 2.yüzey (c) 3.yüzey (d) 4.yüzey



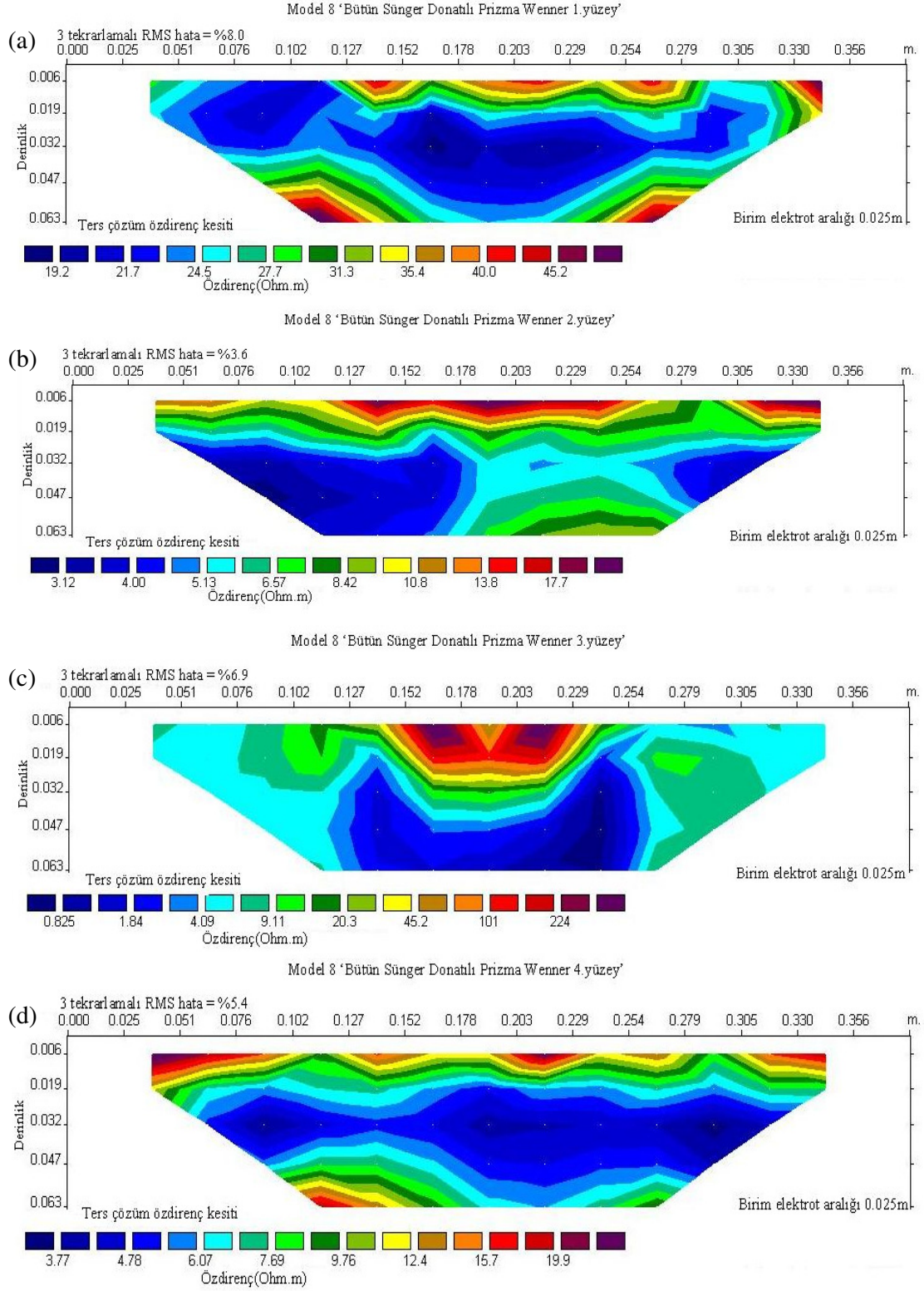
Şekil 58. Model 7 üzerinde Dipol-Dipol dizilimi uygulanarak alınan öz direnç verilerinin ters çözümü (a) 1.yüzey (b) 2.yüzey (c) 3.yüzey (d) 4.yüzey

### 2.6.8. Model 8 (Bütün Sünger Donatılı Prizma)

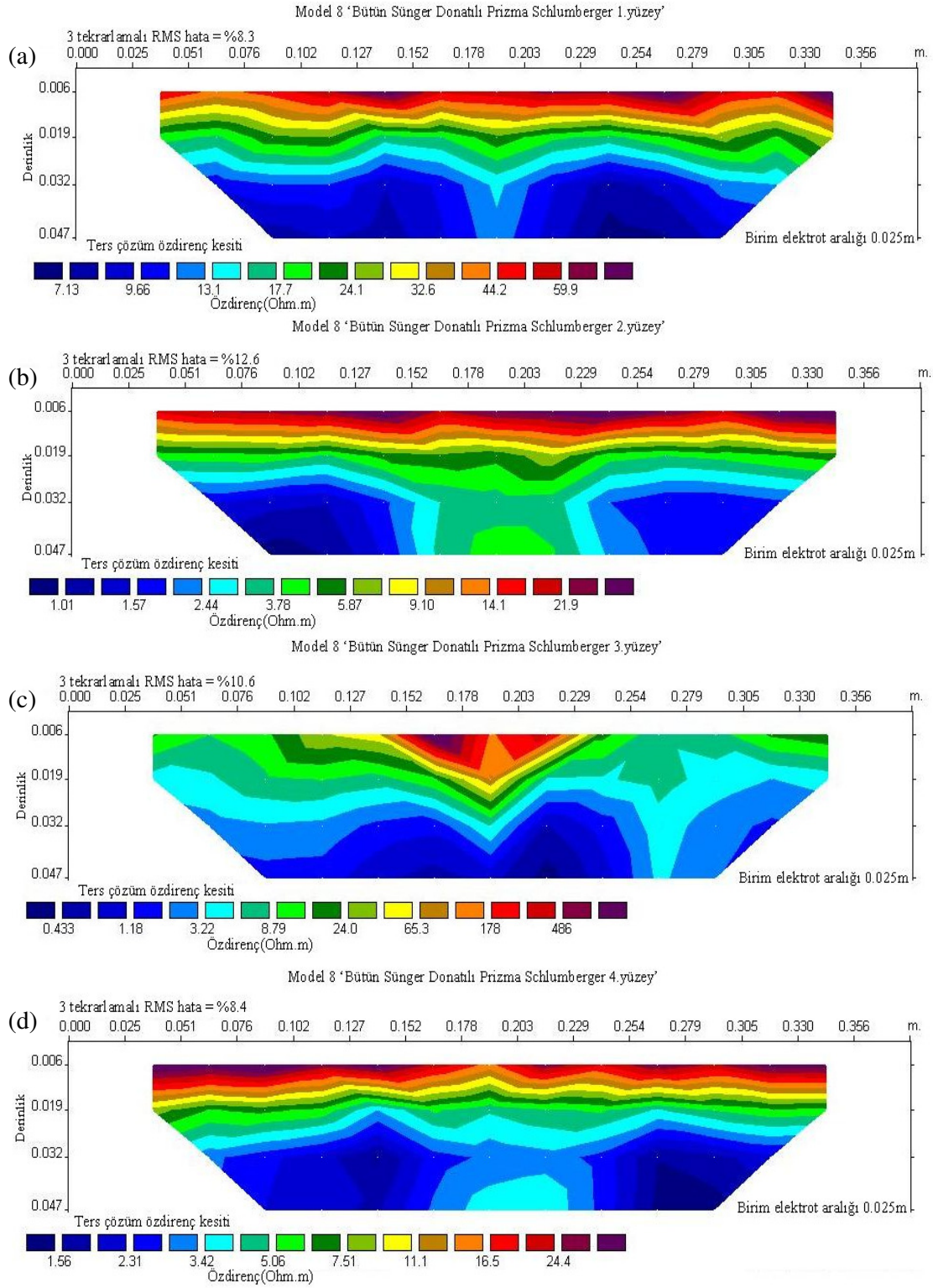
Şekil 59'da Model 8 üzerinde yapılan ultrasonik hız ölçümlerinden elde edilen kapanım haritası verilmektedir. Model 8'in 4 yüzeyi üzerinde Wenner, Schlumberger ve Dipol-Dipol dizilimleri kullanılarak öz direnç ölçümleri alınmıştır. Şekil 60a'da 1. yüzeyin, Şekil 60b'de 2. yüzeyin, Şekil 60c'de 3. yüzeyin ve Şekil 60d'de 4. yüzeyin Wenner dizilimi kullanılarak elde edilen görünür öz direnç verisinin iki boyutlu (2B) ters çözümü verilmektedir. Şekil 61a'da 1. yüzeyin, Şekil 61b'de 2. yüzeyin, Şekil 61c'de 3. yüzeyin ve Şekil 61d'de 4. yüzeyin Schlumberger dizilimi kullanılarak elde edilen görünür öz direnç verisinin iki boyutlu (2B) ters çözümü verilmektedir. Şekil 62a'da 1. yüzeyin, Şekil 62b'de 2. yüzeyin, Şekil 62c'de 3. yüzeyin ve Şekil 62d'de 4. yüzeyin Dipol-Dipol dizilimi kullanılarak elde edilen görünür öz direnç verisinin iki boyutlu (2B) ters çözümü verilmektedir. Model 8 (bütün sünger donatılı prizma) üzerinde yapılan Wenner dizilimi için  $n=5$ , Dipol-Dipol dizilimi için  $n=4$  ve Schlumberger dizilimi için  $n=4$  seviyelerine kadar ölçümler alınmıştır.



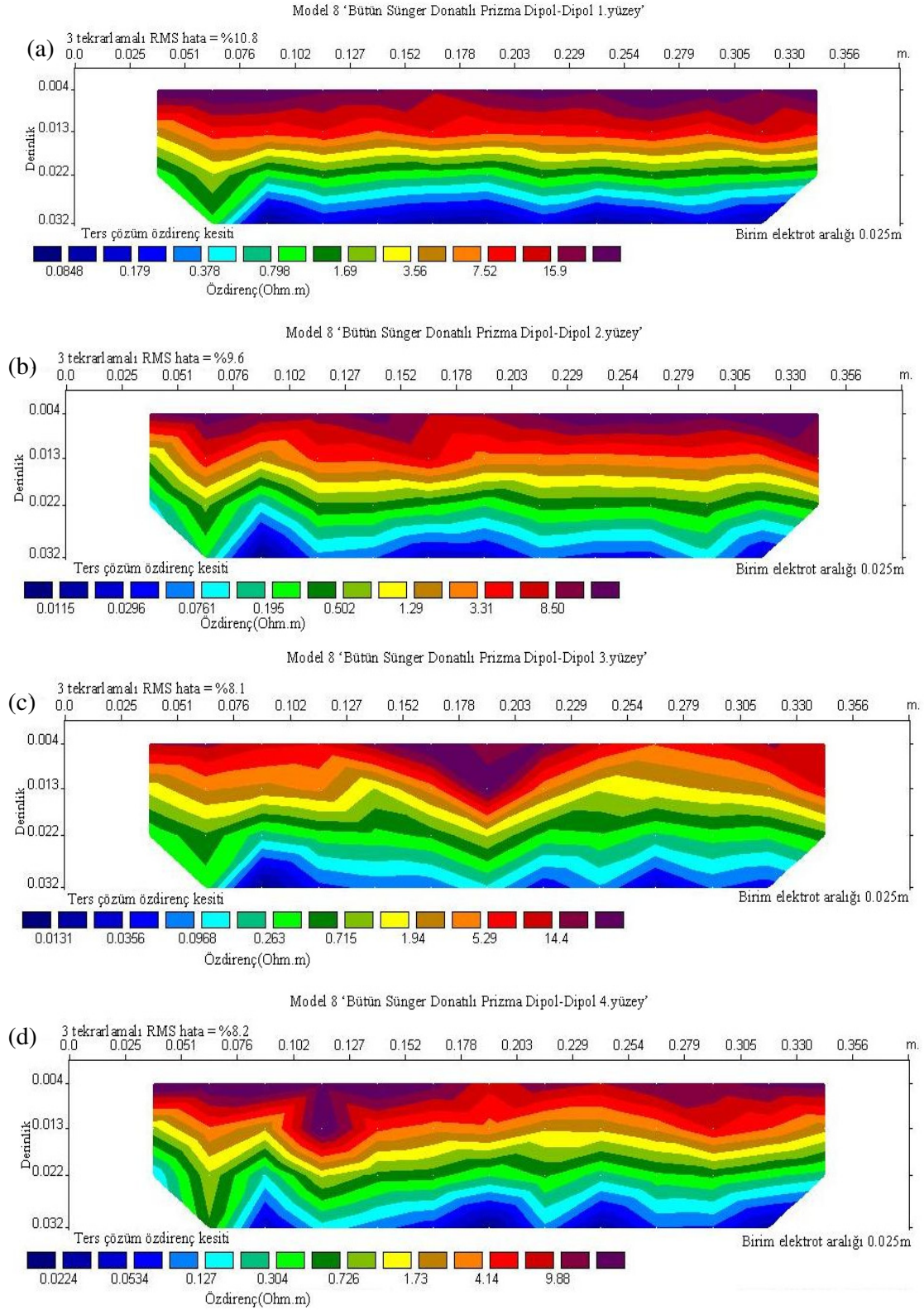
Şekil 59. Model 8 üzerinde yapılan ultrasonik hız ölçümlerinden elde edilen kapanım haritası



Şekil 60. Model 8 üzerinde Wenner dizilimi uygulanarak alınan öz direnç verilerinin ters çözümü (a) 1.yüzey (b) 2.yüzey (c) 3.yüzey (d) 4.yüzey



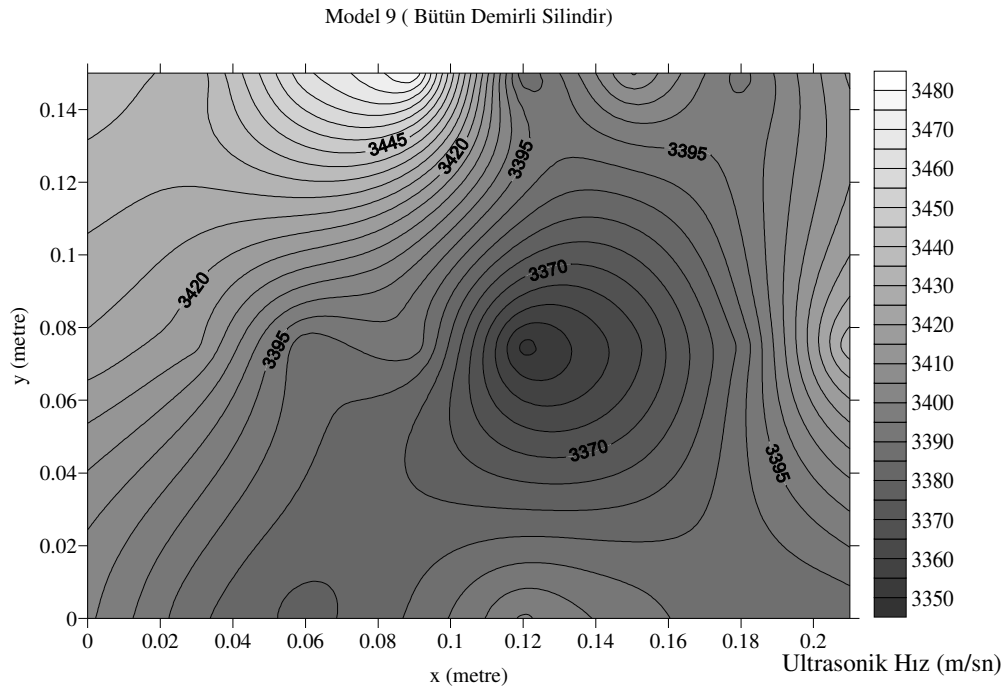
Şekil 61. Model 8 üzerinde Schlumberger dizilimi uygulanarak alınan öz direnç verilerinin ters çözümü (a) 1.yüzey (b) 2.yüzey (c) 3.yüzey (d) 4.yüzey



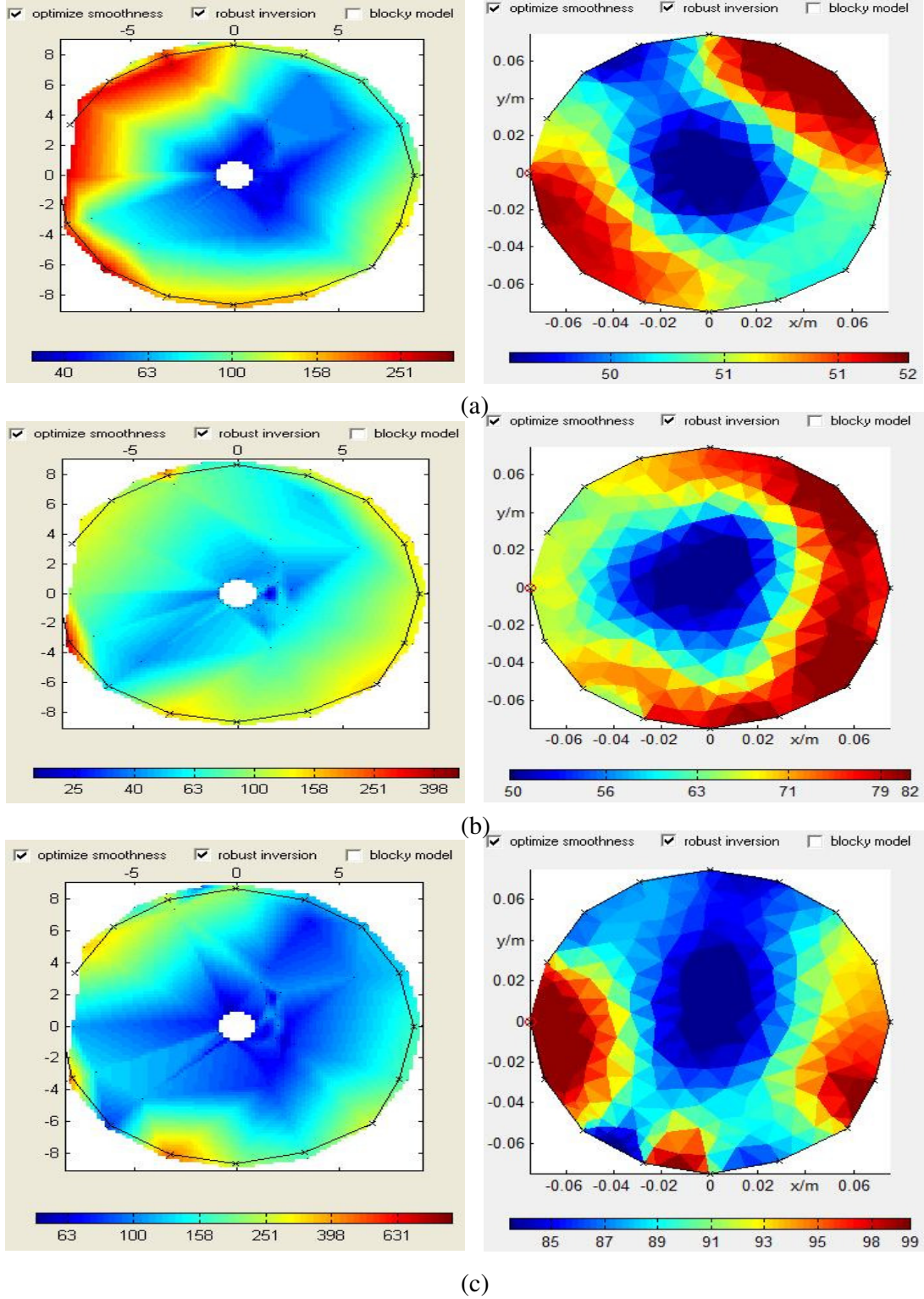
Şekil 62. Model 8 üzerinde Dipol-Dipol dizilimi uygulanarak alınan öz direnç verilerinin ters çözümü (a) 1.yüzey (b) 2.yüzey (c) 3.yüzey (d) 4.yüze

### 2.6.9. Model 9 (Bütün Demir Donatılı Silindir)

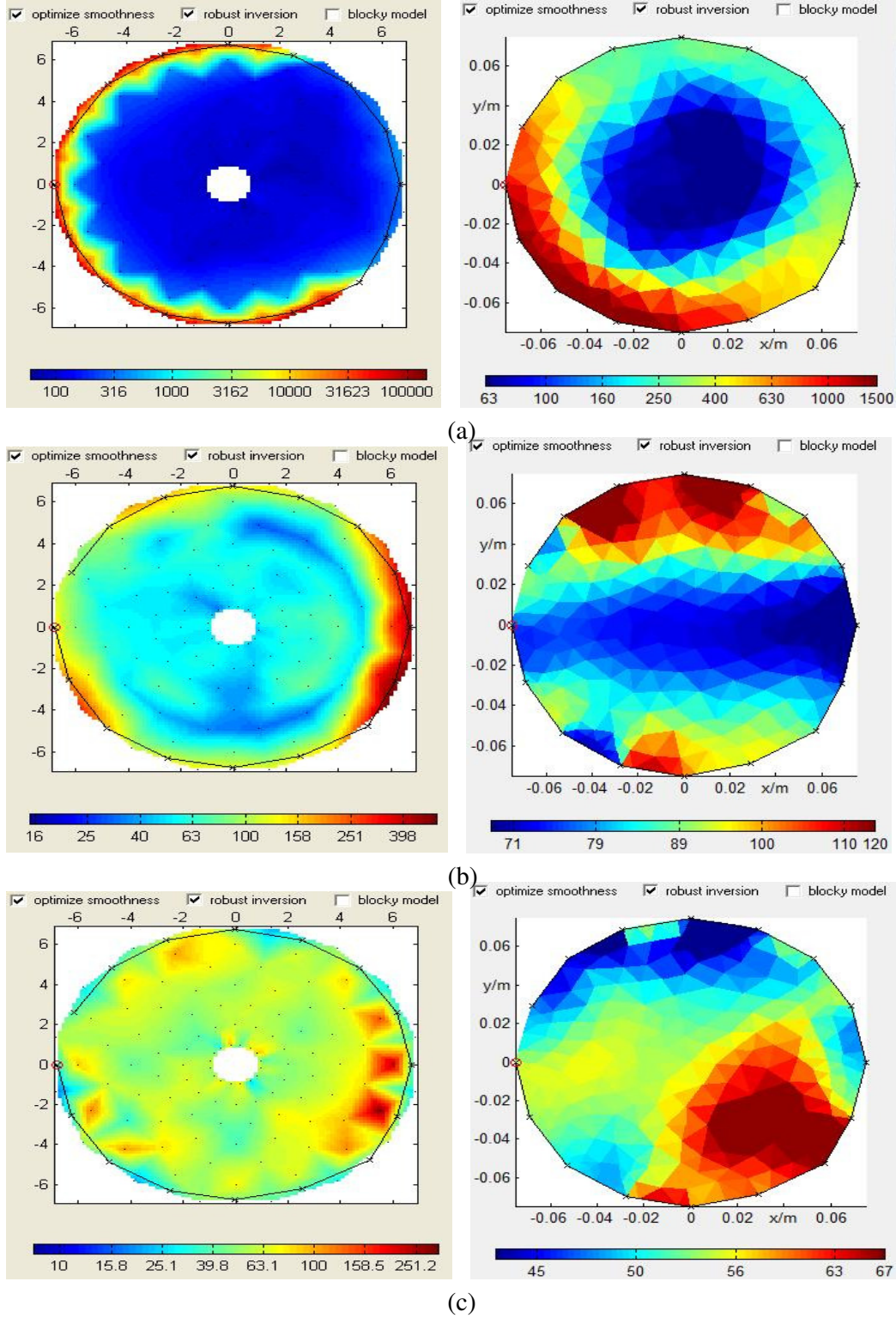
Şekil 63’de Model 9 üzerinde yapılan ultrasonik hız ölçümlerinden elde edilen kapanım haritası verilmektedir. Model 9 üzerinde 3 profilde Wenner ve Dipol-Dipol dizilimleri uygulanmıştır. Model 9 üzerinde A profilinde Wenner dizilimi kullanılarak elde edilen veri ve görünür özdirenç verisinin iki boyutlu (2B) ters çözümü Şekil 64a’da, B profilinde Wenner dizilimi kullanılarak elde edilen veri ve görünür özdirenç verisinin iki boyutlu (2B) ters çözümü Şekil 64b’de, C profilinde Wenner dizilimi kullanılarak elde edilen veri ve görünür özdirenç verisinin iki boyutlu (2B) ters çözümü Şekil 64c’de verilmektedir. Model 9 üzerinde A profilinde Dipol-Dipol dizilimi kullanılarak elde edilen veri ve görünür özdirenç verisinin iki boyutlu (2B) ters çözümü Şekil 65a’da verilmektedir. Şekil 65b’de B profilinde Dipol-Dipol dizilimi kullanılarak elde edilen veri ve görünür özdirenç verisinin iki boyutlu (2B) ters çözümü ve Şekil 65c’de C profilinde Dipol-Dipol dizilimi kullanılarak elde edilen veri ve görünür özdirenç verisinin iki boyutlu (2B) ters çözümü verilmektedir. Model 9 (bütün demir donatılı silindir) üzerinde yapılan Wenner dizilimi için  $n=5$ , Dipol-Dipol dizilimi için  $n=11$  seviyelerine kadar ölçümler alınmıştır.



Şekil 63. Model 9’un ultrasonik hız ölçümlerinden elde edilen kapanım haritası



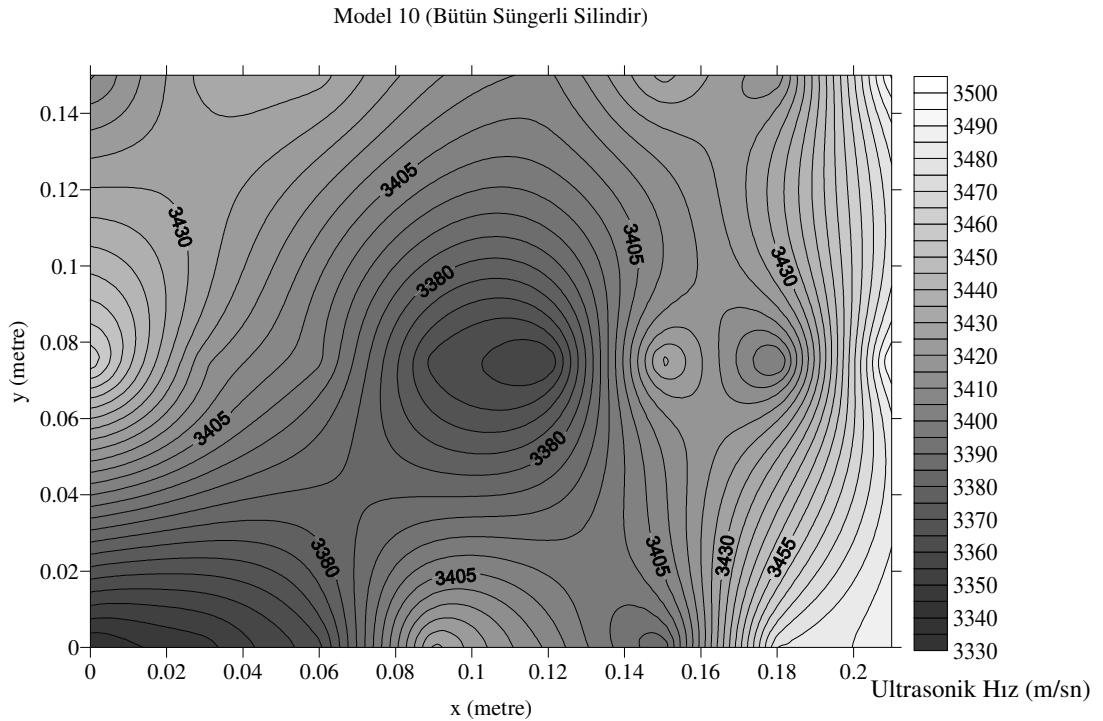
Şekil 64. Model 9 üzerinde Wenner dizilimi uygulanarak elde edilen görünür öz direnç verisi ve iki boyutlu (2B) ters çözümü (a) A profili  $\chi^2=0.98$  ve iterasyon sayısı=5 (b) B profili  $\chi^2=7.22$  ve iterasyon sayısı=1 (c) C profili  $\chi^2=1.66$  ve iterasyon sayısı=3



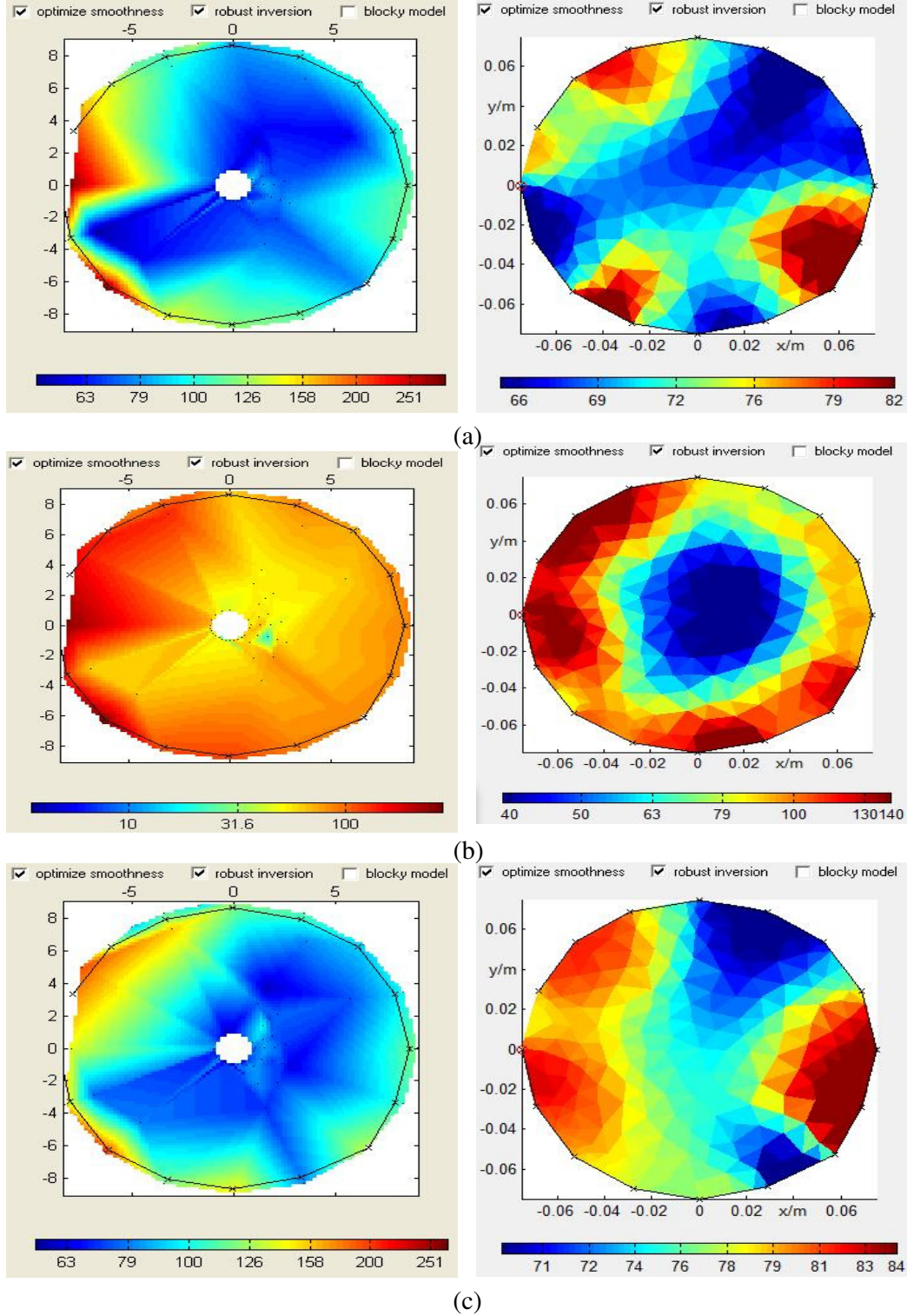
Şekil 65. Model 9 üzerinde Dipol-Dipol dizilimi uygulanarak elde edilen görünür öz direnç verisi ve iki boyutlu (2B) ters çözümü (a) A profili  $\chi^2=11.79$  ve iterasyon sayısı=9 (b) B profili  $\chi^2=0.725$  ve iterasyon sayısı=4 (c) C profili  $\chi^2=0.416$  ve iterasyon sayısı=1

### 2.6.10. Model 10 (Bütün Sünger Donatılı Silindir)

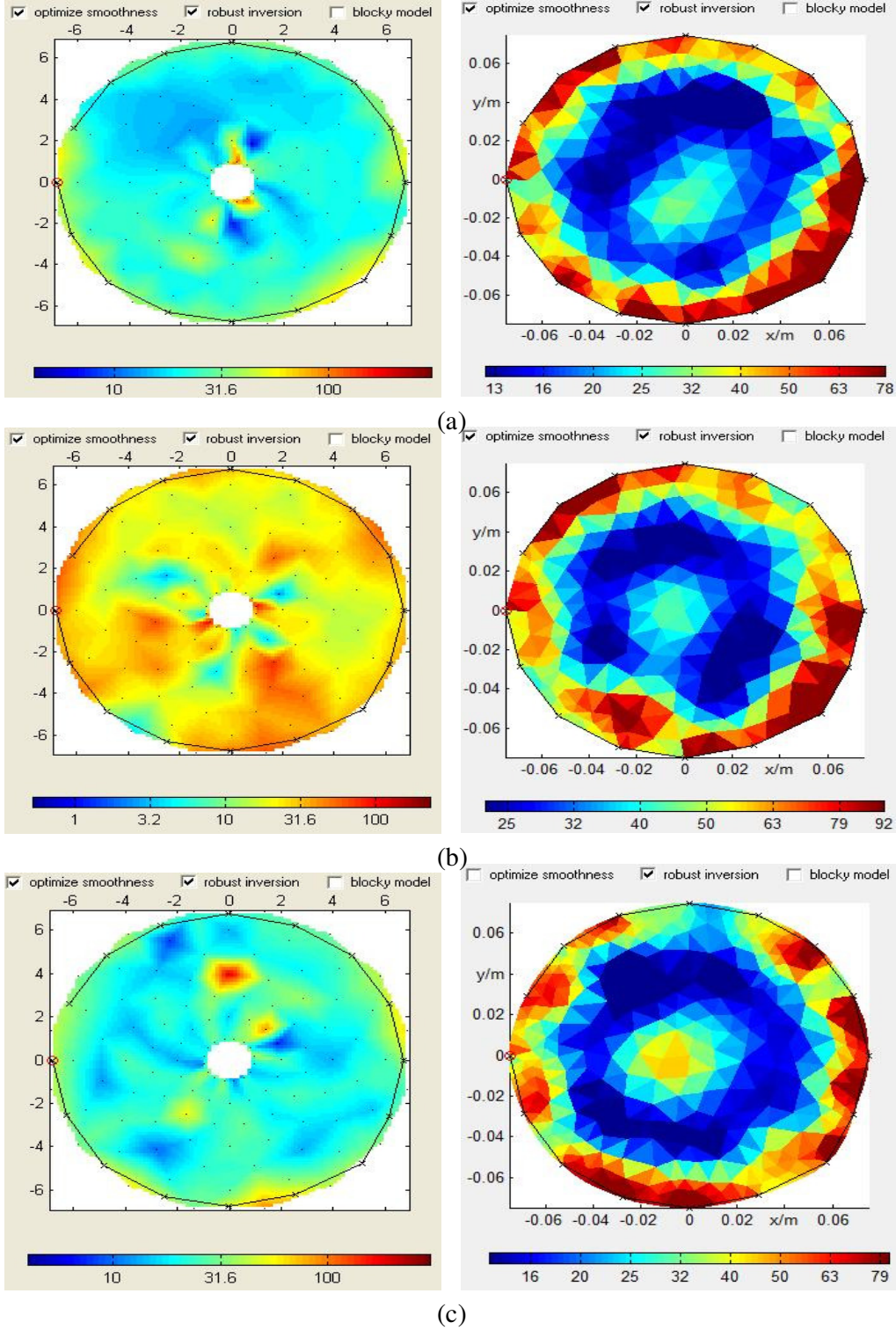
Şekil 66'da Model 10 üzerinde yapılan ultrasonik hız ölçümlerinden elde edilen kapanım haritası verilmektedir. Model 10 üzerinde 3 profilde Wenner ve Dipol-Dipol dizilimleri uygulanmıştır. Model 10 üzerinde A profilinde Wenner dizilimi kullanılarak elde edilen veri ve görünür özdirenç verisinin iki boyutlu (2B) ters çözümü Şekil 67a'da, B profilinde Wenner dizilimi kullanılarak elde edilen veri ve görünür özdirenç verisinin iki boyutlu (2B) ters çözümü Şekil 67b'de, C profilinde Wenner dizilimi kullanılarak elde edilen veri ve görünür özdirenç verisinin iki boyutlu (2B) ters çözümü Şekil 67c'de verilmektedir. Model 10 üzerinde A profilinde Dipol-Dipol dizilimi kullanılarak elde edilen veri ve görünür özdirenç verisinin iki boyutlu (2B) ters çözümü Şekil 68a'da verilmektedir. Şekil 68b'de B profilinde Dipol-Dipol dizilimi kullanılarak elde edilen veri ve görünür özdirenç verisinin iki boyutlu (2B) ters çözümü ve Şekil 68c'de C profilinde Dipol-Dipol dizilimi kullanılarak elde edilen veri ve görünür özdirenç verisinin iki boyutlu (2B) ters çözümü verilmektedir. Model 10 (bütün sünger donatılı silindir) üzerinde yapılan Wenner dizilimi için  $n=5$ , Dipol-Dipol dizilimi için  $n=11$  seviyelerine kadar ölçümler alınmıştır.



Şekil 66. Model 10'nun ultrasonik hız ölçümlerinden elde edilen kapanım haritası



Şekil 67. Model 10 üzerinde Wenner dizilimi uygulanarak elde edilen görünür öz direnç verisi ve iki boyutlu (2B) ters çözümü (a) A profili  $\chi^2=0.78$  ve iterasyon sayısı=4 (b) B profili  $\chi^2=0.898$  ve iterasyon sayısı=3 (c) C profili  $\chi^2=0.92$  ve iterasyon sayısı=2



Şekil 68. Model 10 üzerinde Dipol-Dipol dizilimi uygulanarak elde edilen görünür özdirenç verisi ve iki boyutlu (2B) ters çözümü (a) A profili  $\chi^2=6.57$  ve iterasyon sayısı=12 (b) B profili  $\chi^2=6.9$  ve iterasyon sayısı=13 (c) C profili  $\chi^2=8.46$  ve iterasyon sayısı=11

### 3. ARAŞTIRMA BULGULARI

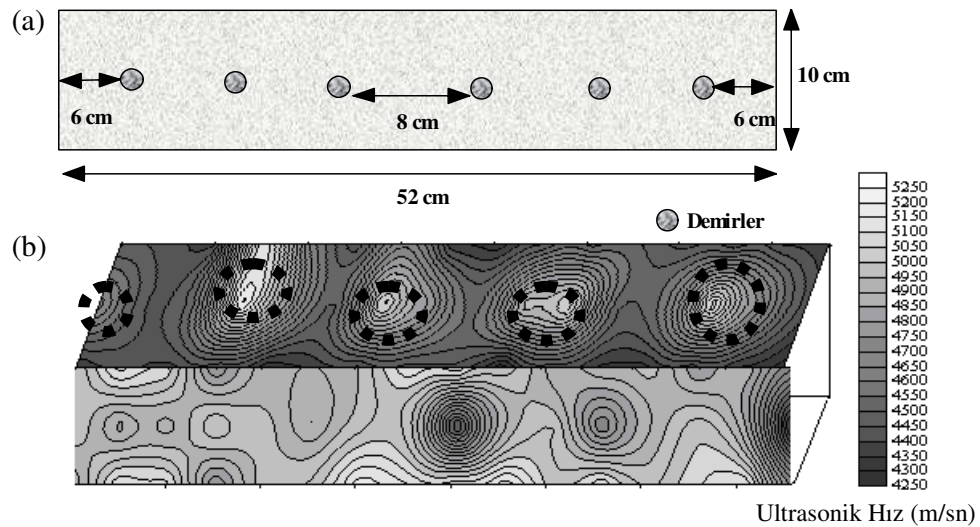
#### 3.1. Fiziksel Özellikler

Daha önce de değinildiği gibi 10 ayrı beton model üretilmiş ve her modelin üzerinde tahribatsız deney yöntemleri uygulanmıştır. Bu yöntemlerle betondan oluşturulan deney numunelerinin özdirenç, ultrasonik hız ve yüklenebilirlik gibi fiziksel özellikleri belirlenmiştir. Çalışmada jeofiziksel veriler ile deneysel veriler korele edilmeye çalışılmıştır. Tablo 9’da tüm modellerin ultrasonik hız değerleri verilmektedir.

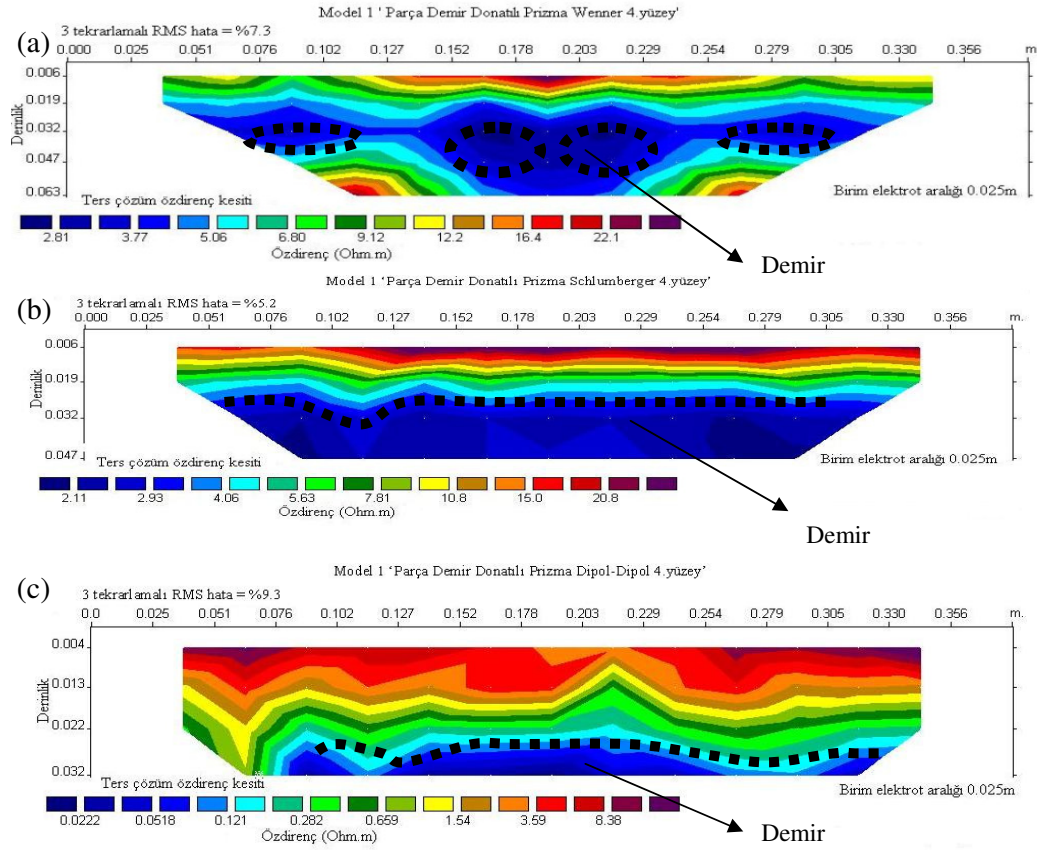
Tablo 9. Beton numunelerin ultrasonik hız değerleri

| Numune adı | Numune şekli | Alıcı-Verici arası uzaklık (cm) | Ortalama hız (m/sn) | Numunenin iki ucu arasındaki uzaklık (cm) | Numunenin iki ucu arasında ölçülen hız (m/sn) |
|------------|--------------|---------------------------------|---------------------|-------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| Model 1    | Prizma       | 10                              | 4500                | 52                                        | 2500                                          |
| Model 2    | Prizma       | 10                              | 4458                | 52                                        | 2490                                          |
| Model 3    | Prizma       | 10                              | 3829                | 52                                        | 2913                                          |
| Model 4    | Silindir     | 15                              | 3500                | 30                                        | 1650                                          |
| Model 5    | Silindir     | 15                              | 3503                | 30                                        | 1537                                          |
| Model 6    | Silindir     | 15                              | 3404                | 30                                        | 1756                                          |
| Model 7    | Prizma       | 10                              | 4000                | 52                                        | 2654                                          |
| Model 8    | Prizma       | 10                              | 3781                | 52                                        | 2370                                          |
| Model 9    | Silindir     | 15                              | 3404                | 30                                        | 1605                                          |
| Model 10   | Silindir     | 15                              | 3417                | 30                                        | 1535                                          |

Model 1 içerisinde parçalar halinde demir donatı bulunan prizmatik bir yapıyı temsil etmektedir. Model 1'e ait ultrasonik hız kapanım haritasına bakıldığında kapanımların olduğu bölgede hız değerinin yaklaşık olarak 5200 m/sn olduğu gözlenmiştir. Şekil 69'da model ve ultrasonik hız ölçümleri sonucu elde edilmiş olası donatı yerleri siyah kesikli dairelerle gösterilmektedir. Tüm dizilimler için görünür özdirenç verilerinin ters çözümlerine bakıldığında model içindeki değişimi en iyi temsil eden dizilimin Wenner dizilimi, daha sonra sırasıyla Schlumberger ve Dipol-Dipol dizilimlerinin olduğu görülmektedir. Wenner dizilimiyle 6.3 cm, Schlumberger ile 4.7 cm ve Dipol-Dipol dizilimi ile 3.2 cm derinliğe kadar inilmiştir. Kesitler incelendiğinde, yapının üst kısımlarının oldukça dirençli olduğu gözlenmiştir. Özdirençlere bakıldığında, ters çözüm sonucunda ultrasonik hız kontur haritasındaki kapanımlara karşılık gelen bölgelerin görünür özdirenci Wenner diziliminde ~2.9 Ohm.m, Dipol-Dipol diziliminde ~0.02 Ohm.m ve Schlumberger diziliminde ~2.2 Ohm.m olarak bulunmuştur. İP verilerinin ters çözümüne bakıldığında ise yapı içindeki donatıdan kaynaklanan farklılık en iyi Wenner diziliminde yakalanmıştır ve kapanımlara karşılık gelen alanda İP değerinin ~3.5 ms olduğu gözlemlenmiştir. Şekil 70'de modelin 4.yüzeyinde 3 dizilim için görünür özdirenç verilerinin ters çözüm sonuçları gösterilmektedir.

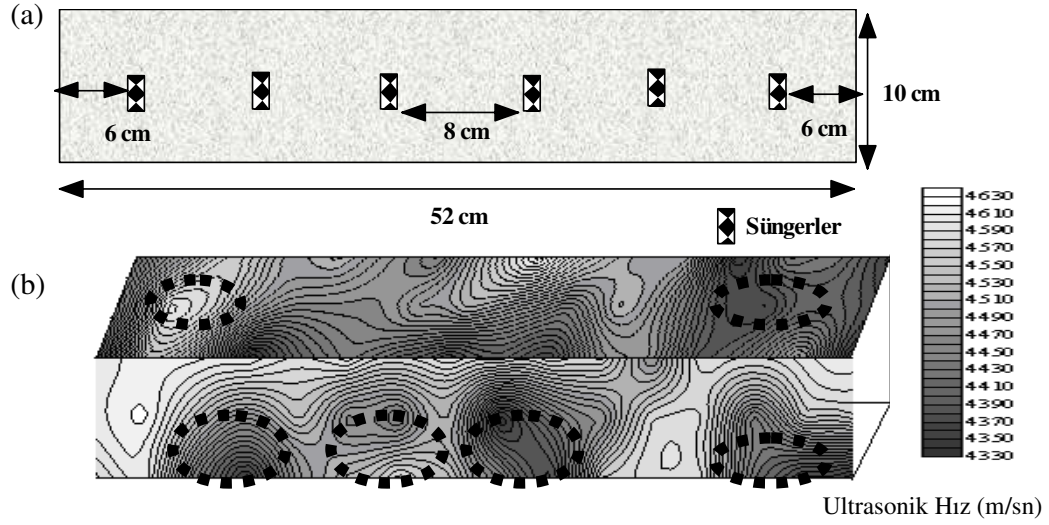


Şekil 69. (a) Model 1 (b) Ultrasonik hız ölçümleri sonucu elde edilmiş donatı yerleri

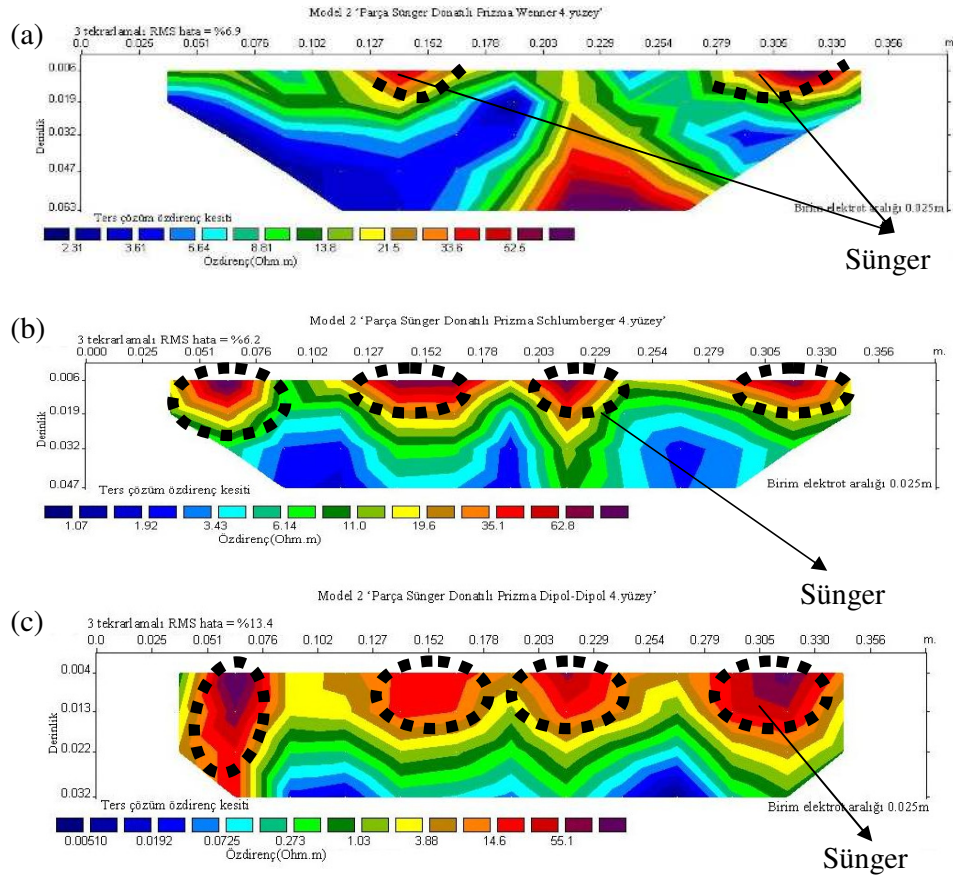


Şekil 70. Model 1'in 4.yüzeyinde 3 dizilim için görünür özdirenç verilerinin ters çözümleri (a) Wenner dizilimi (b) Schlumberger dizilimi (c) Dipol-Dipol dizilimi

Model 2 içerisinde parçalar halinde sünger donatı bulunan prizmatik bir yapıyı temsil etmektedir. Model 2'ye ait ultrasonik hız kapanım haritasında kapanımların olduğu bölgede hız değerinin yaklaşık olarak 4500 m/sn olduğu gözlenmiştir. Şekil 71'de model ve ultrasonik hız ölçümleri sonucu elde edilmiş olası donatı yerleri siyah kesikli dairelerle gösterilmektedir. Tüm dizilimler için görünür özdirenç verilerinin ters çözümlerine bakıldığında modelin içindeki donatıdan kaynaklanan değişim en iyi Schlumberger de daha sonra sırasıyla Dipol-Dipol ve Wenner dizilimlerinde görülmektedir. Özdirençlere bakıldığında, ters çözüm sonucunda Schlumberger diziliminde yapı içindeki donatının görünür özdirenci ~60 Ohm.m, Dipol-Dipol ile ~55 Ohm.m ve Wenner de ise ~52 Ohm.m olarak bulunmuştur. Şekil 72'de modelin 4.yüzeyinde 3 dizilim için görünür özdirenç verilerinin ters çözüm sonuçları gösterilmektedir. İP verilerinin ters çözümüne bakıldığında ise değişim en iyi Dipol-Dipol diziliminde yakalanmıştır.

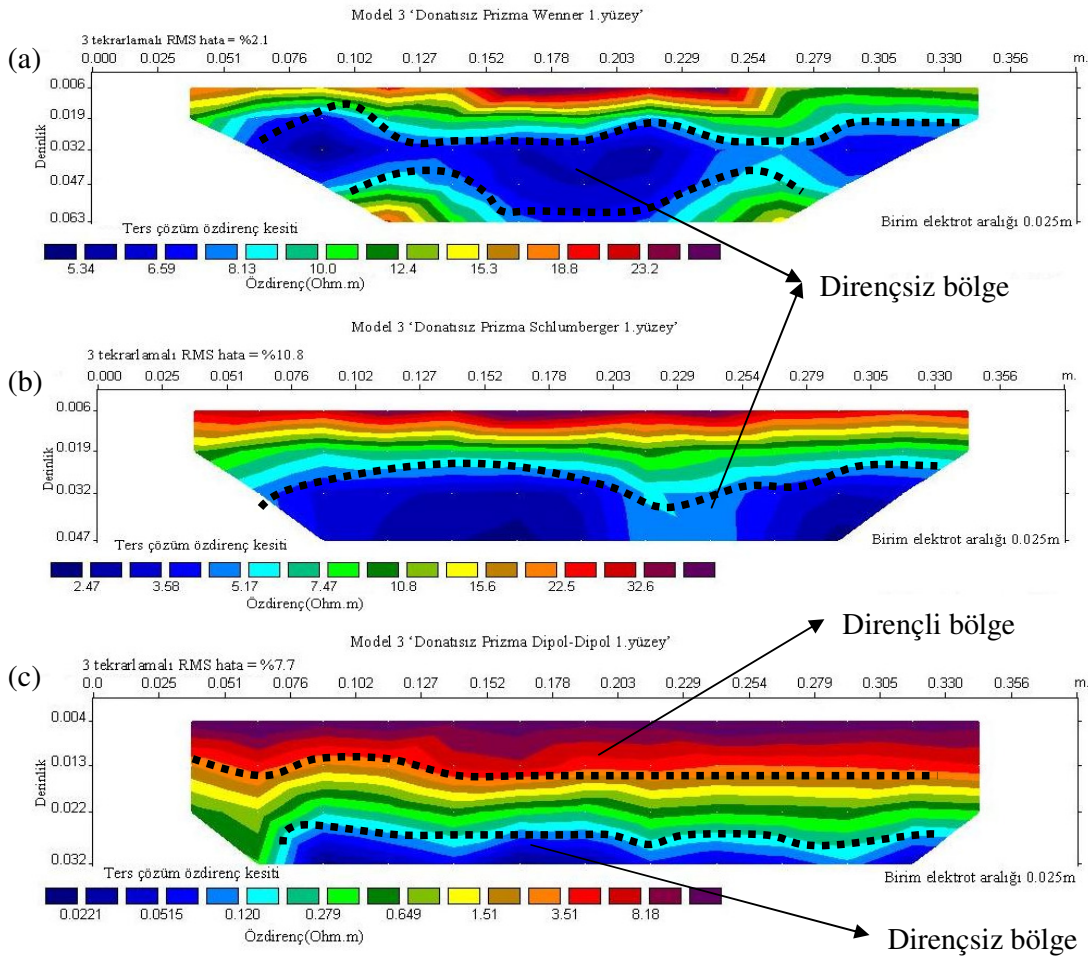


Şekil 71. (a) Model 2 (b) Ultrasonik hız ölçümleri sonucu elde edilmiş donatı yerleri



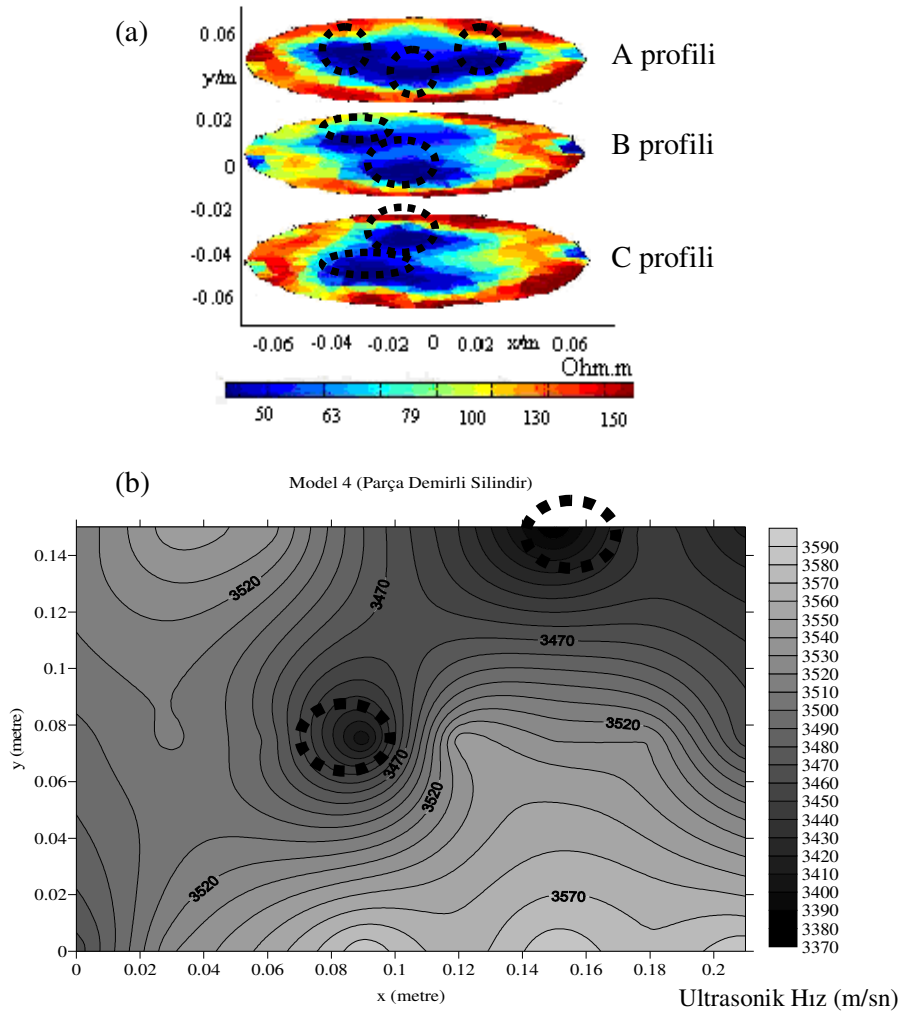
Şekil 72. Model 2'nin 4.yüzeyinde 3 dizilim için görünür öz direnç verilerinin ters çözüm sonuçları (a) Wenner dizilimi (b) Schlumberger dizilimi (c) Dipol-Dipol dizilimi

Model 3 donatısız prizmatik bir yapıyı temsil etmektedir. Ultrasonik hız verileriyle yapının içi ortaya çıkarılmaya çalışılmıştır. Model 3'e ait ultrasonik hız kapanım haritasında yapının hız değerinin  $\sim 3830$  m/sn olduğu gözlenmiştir. Tüm dizilimler için görünür özdirenç verilerinin ters çözümlerine bakıldığında modelin şeklini en iyi temsil eden dizilimin Dipol-Dipol dizilimi olduğu görünmektedir. Kesitte tabakalı bir yapı görülmektedir. Yapının üst kısmı oldukça dirençli orta kısımlar ise dirençsiz bir görünüm sergilemektedir. Dirençli kısımlarda görünür özdirenç değeri  $\sim 50$  Ohm.m, dirençsiz kısımlarda ise bu değer  $\sim 2$  Ohm.m olmaktadır. Kesitlere bakıldığında yapının orta kısmının tam kurumadığı gözlenmektedir. Daha sonra sırasıyla modelin şeklini en iyi temsil eden dizilimler Schlumberger ve Wenner dizilimleridir. Şekil 73'de modelin 1.yüzeyinde 3 dizilim için görünür özdirenç verilerinin ters çözüm sonuçları gösterilmektedir.



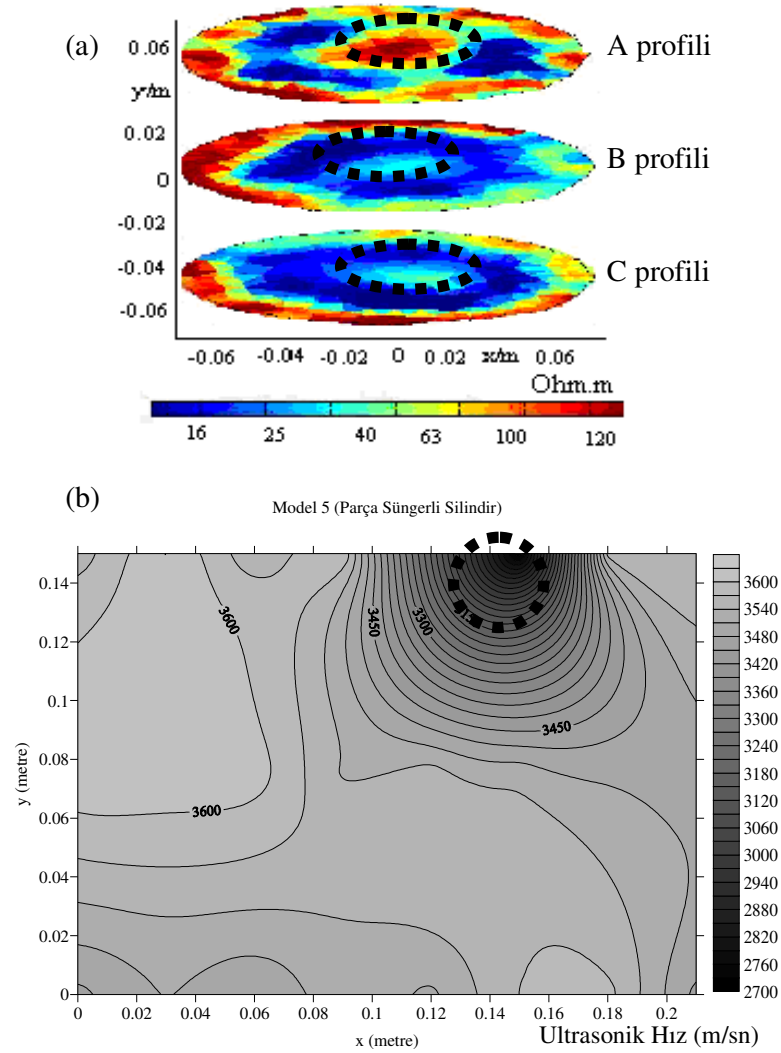
Şekil 73. Model 3'ün 1.yüzeyinde 3 dizilim için görünür özdirenç verilerinin ters çözümü  
(a) Wenner dizilimi (b) Schlumberger dizilimi (c) Dipol-Dipol dizilimi

Model 4 içerisinde parça halinde demir donatılar bulunan silindirik bir yapıyı temsil etmektedir. Model 4'e ait ultrasonik hız kapanım haritasında kapanımların olduğu bölgede (siyah kesikli daireler) hız değerinin  $\sim 3400$  m/sn olduğu gözlenmiştir. Her iki dizilim için görünür özdirenç verilerinin ters çözüm kesitlerinde küçük kapanımlar halinde özdirenci düşük olan alanlar dikkat çekmektedir. Özdirenç değerlerine bakıldığında, ters çözüm sonucunda ultrasonik hız kontur haritasındaki kapanımlara karşılık gelen bölgelerin (siyah kesikli daireler) görünür özdirenci Wenner diziliminde  $\sim 45$  Ohm.m, Dipol-Dipol diziliminde  $\sim 20$  Ohm.m olarak bulunmuştur. Şekil 74'de modelin Wenner dizilimi için görünür özdirenç verilerinin ters çözüm sonuçları ve ultrasonik hız ölçüm sonuçları gösterilmektedir.



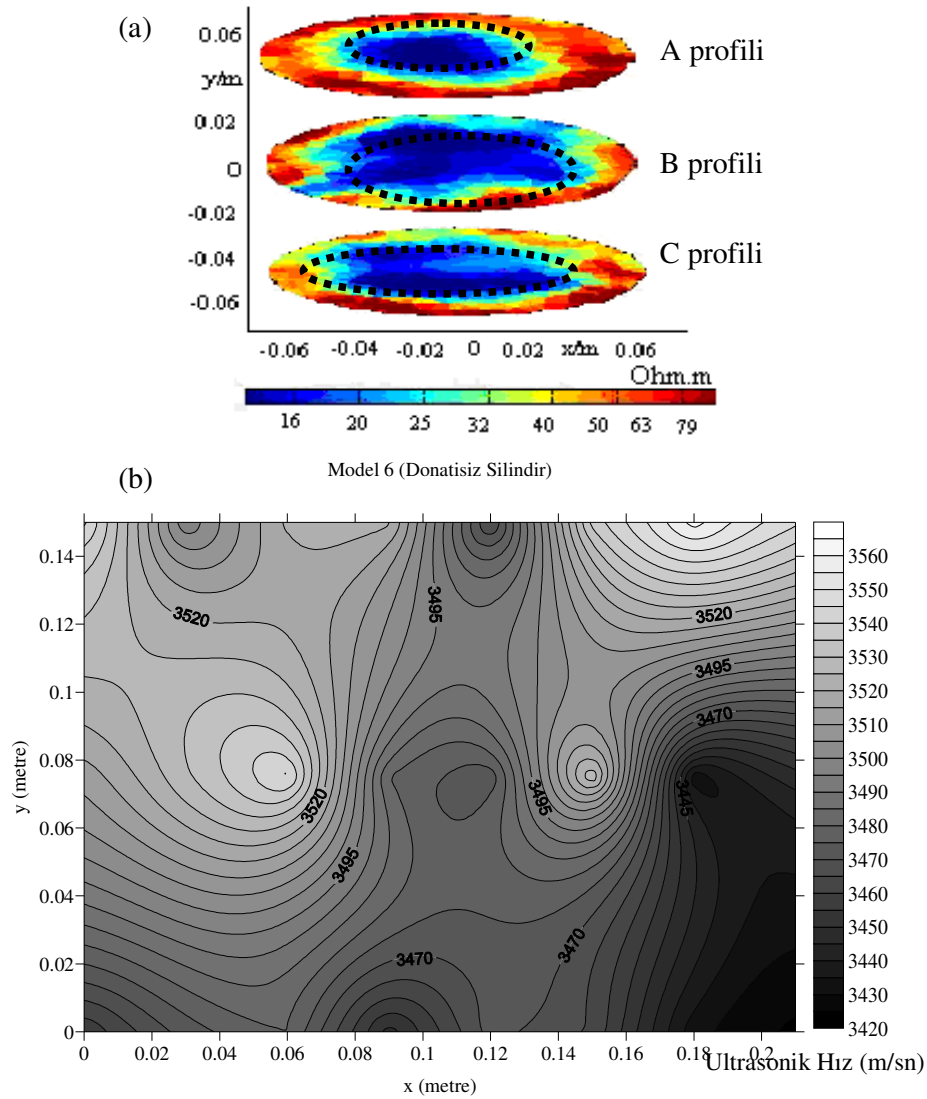
Şekil 74. (a) Model 4 Wenner dizilimi için görünür özdirenç verilerinin ters çözüm sonuçları (b) Ultrasonik hız ölçüm sonuçları

Model 5 içerisinde parça halinde sünger donatılar bulunan silindirik bir yapıyı temsil etmektedir. Model 5'e ait ultrasonik hız kapanım haritasında kapanımların olduğu bölgede (siyah kesikli daireler) hız değerinin  $\sim 2700$  m/sn olduğu gözlenmiştir. Dipol-Dipol dizilimi için görünür öz direnç verilerinin ters çözüm kesitinde orta kısımda (siyah kesikli daireler)  $\sim 30$  Ohm.m öz direnç değerine sahip alanlar gözükmemektedir. Yapının kenar kısımları ise oldukça dirençli bir görünüm sergilemektedir ve bu alanlar  $\sim 100$  Ohm.m değerine sahiptir. Şekil 75'de modelin Dipol-Dipol dizilimi için görünür öz direnç verilerinin ters çözüm sonuçları ve ultrasonik hız ölçüm sonuçları gösterilmektedir.



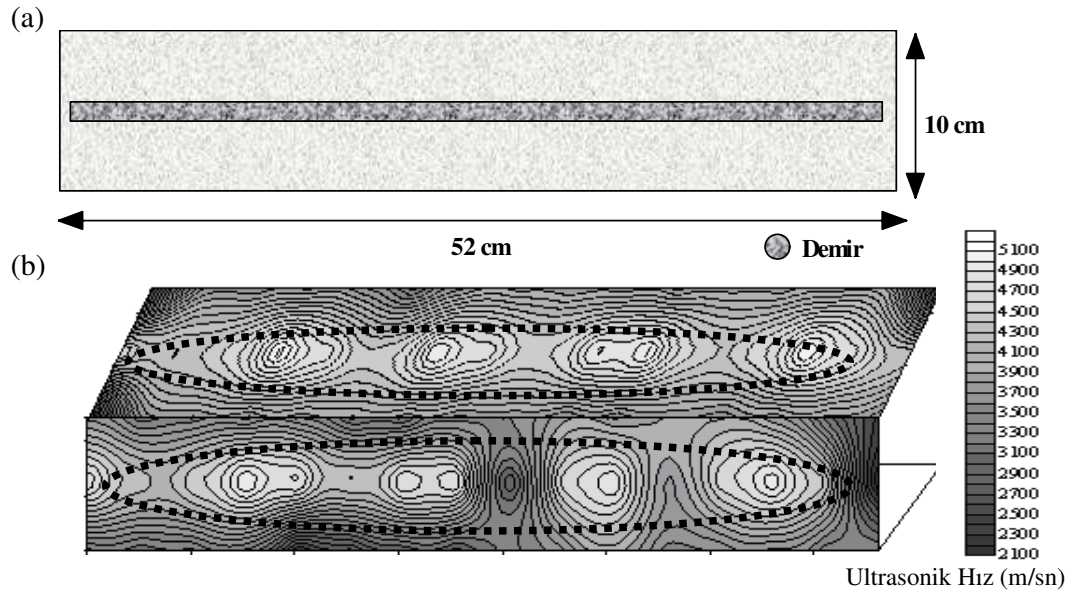
Şekil 75. (a) Model 5 Dipol-Dipol dizilimi için görünür öz direnç verilerinin ters çözüm sonuçları (b) Ultrasonik hız ölçüm sonuçları

Model 6 donatısız silindirik bir yapıyı temsil etmektedir. Ultrasonik hız verileriyle modelin iç yapısı belirlenmeye çalışılmıştır. Kesitlere bakıldığında yapının orta kısmının tam kurumadığı tahmin edilmektedir. Bu kısım kırmızı kesikli çizgili dairelerle gösterilmiştir. Modelin orta kısmının görünür öz direnci  $\sim 20$  Ohm.m ve oldukça dirençli gözüken kenar kısımlar ise  $\sim 80$  Ohm.m değerine sahiptir. Görünür öz direnç verilerinin ters çözümlerine bakıldığında hem Dipol-Dipol hem de Wenner diziliminin yapıyı iyi yansıttığı görülmektedir. Şekil 76'da modelin Wenner dizilimi için görünür öz direnç verilerinin ters çözüm sonuçları ve ultrasonik hız ölçüm sonuçları gösterilmektedir.

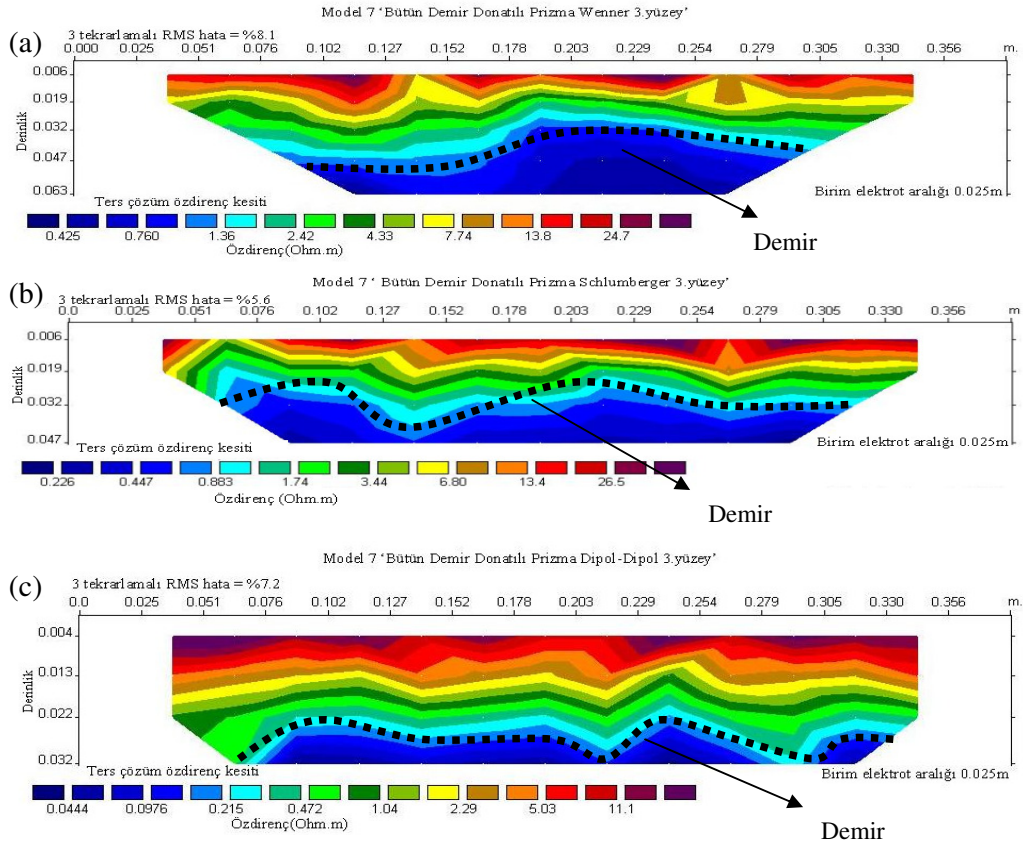


Şekil 76. (a) Model 6 Wenner dizilimi için görünür öz direnç verilerinin ters çözüm sonuçları (b) Ultrasonik hız ölçüm sonuçları

Model 7 içerisinde bütün halinde demir donatı bulunan prizmatik bir yapıyı temsil etmektedir. Ultrasonik hız verileriyle modelin yapısı görüntülenmeye çalışılmıştır. Model 7'ye ait kapanım haritasında kapanımların olduğu bölgede (siyah kesikli daireler) hız değerinin yaklaşık olarak 5000 m/sn olduğu gözlenmiştir. Şekil 77'de model ve ultrasonik hız ölçümleri sonucu elde edilmiş olası donatı yeri siyah kesikli dairelerle gösterilmektedir. Ters çözüm kesitlerinde yapının üst kısmının dirençli, orta kısımlarının daha dirençsiz olduğu görülmektedir. Wenner dizilimiyle 6.3 cm, Schlumberger ile 4.7 cm ve Dipol-Dipol dizilimi ile 3.2 cm derinliğe kadar inilmiştir. Özdirençlere bakıldığında, ters çözüm sonucunda ultrasonik hız kontur haritasındaki kapanımlara karşılık gelen bölgelerin (siyah kesikli çizgiler) görünür özdirenci Wenner diziliminde  $\sim 0.4$  Ohm.m, Dipol-Dipol diziliminde  $\sim 0.02$  Ohm.m ve Schlumberger diziliminde  $\sim 0.2$  Ohm.m olarak bulunmuştur. Demir donatının etkisi kırmızı kesikli çizgilerle gösterilmektedir. Şekil 78'de modelin 3.yüzeyinde 3 dizilim için görünür özdirenç verilerinin ters çözüm sonuçları gösterilmektedir.

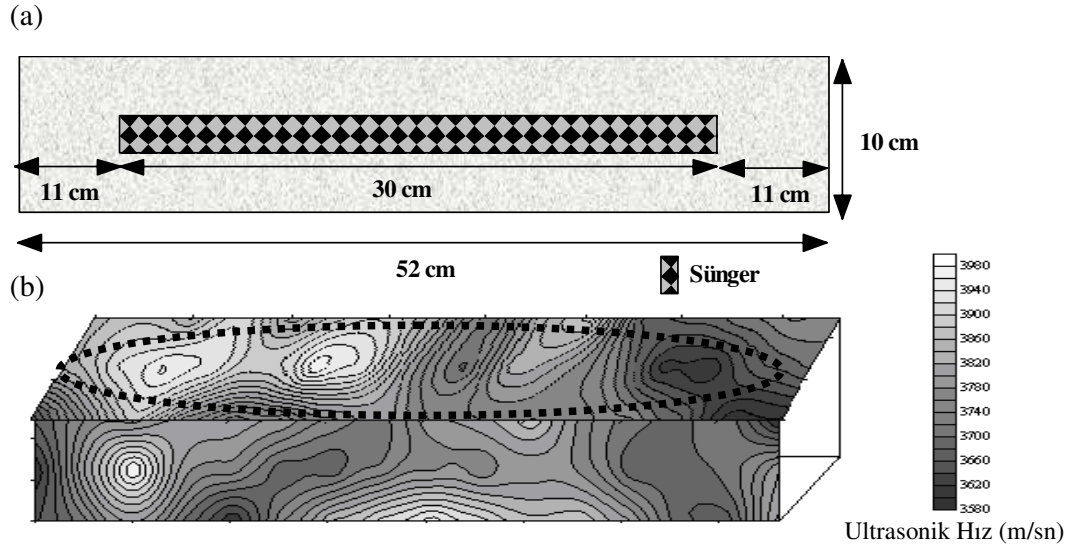


Şekil 77. (a) Model 7 (b) Ultrasonik hız ölçümleri sonucu elde edilmiş donatı yerleri

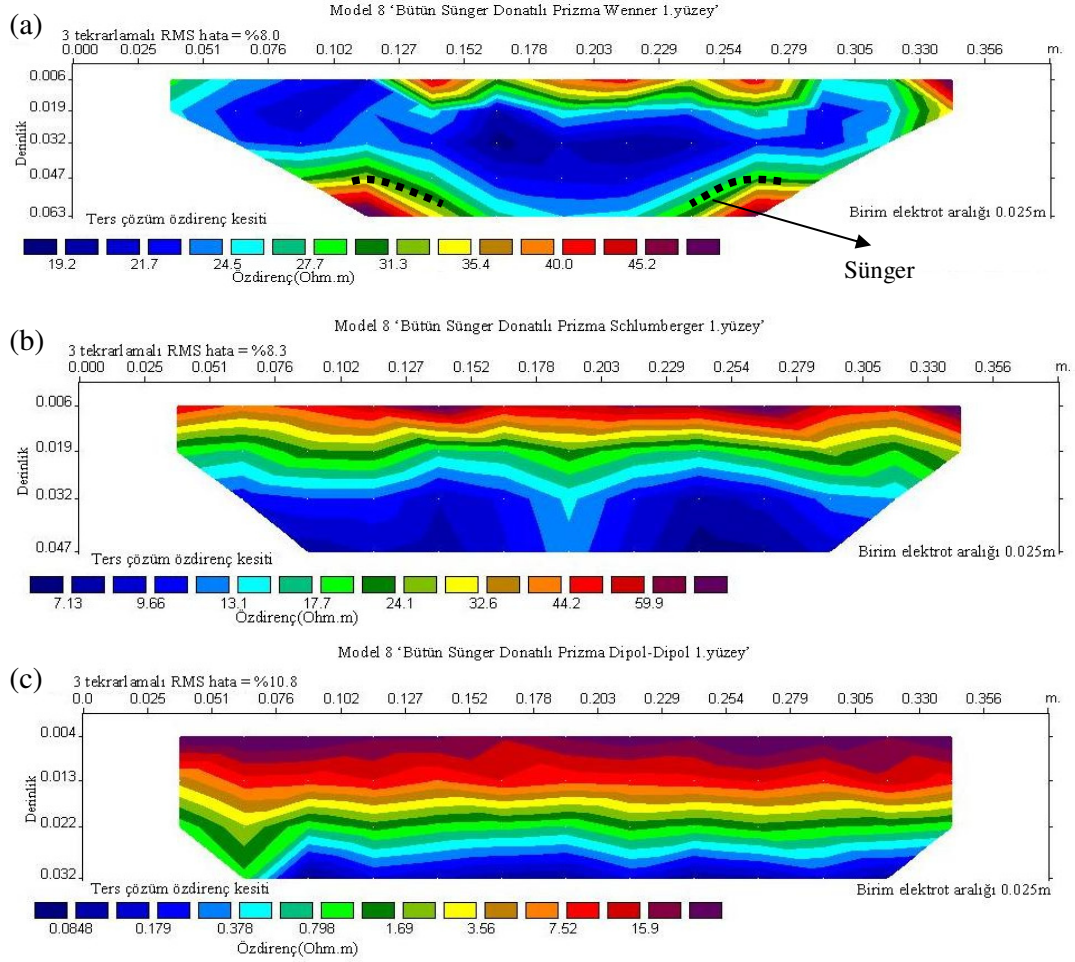


Şekil 78. Model 7'nin 3.yüzeyinde 3 dizilim için görünür öz direnç verilerinin ters çözümü (a) Wenner dizilimi (b) Schlumberger dizilimi (c) Dipol-Dipol dizilimi

Model 8 içerisinde bütün halinde sünger donatı bulunan prizmatik bir yapıyı temsil etmektedir. Ultrasonik hız verileriyle model görüntülenmeye çalışılmıştır. Model 8'e ait kapanım haritasında kapanımların olduğu bölgede (siyah kesikli daireler) hız değerinin yaklaşık olarak 3900 m/sn olduğu gözlenmiştir. Şekil 79'da model ve ultrasonik hız ölçümleri sonucu elde edilmiş olası donatı yerleri kırmızı kesikli dairelerle gösterilmektedir. Schlumberger ve Dipol-Dipol dizilimleriyle oluşturulan ters çözüm kesitlerinde yapının üst kısımları dirençli orta kısımlarının ise dirençsiz olduğu gözlenmektedir. Wenner ile oluşturulan kesite bakıldığında ise üst kısımların dirençli, orta kısmın dirençsiz olduğu ama bu dirençsiz bölgede dirençli sokulumların olduğu görülmektedir. Öz dirençlere bakıldığında, Wenner ile oluşturulan kesitte dirençsiz alanın görünür öz direnci ~19 Ohm.m, dirençli sokulumların öz direnç değeri ise ~45 Ohm.m olarak bulunmuştur. Şekil 80'de modelin 1.yüzeyinde 3 dizilim için görünür öz direnç verilerinin ters çözüm sonuçları gösterilmektedir.

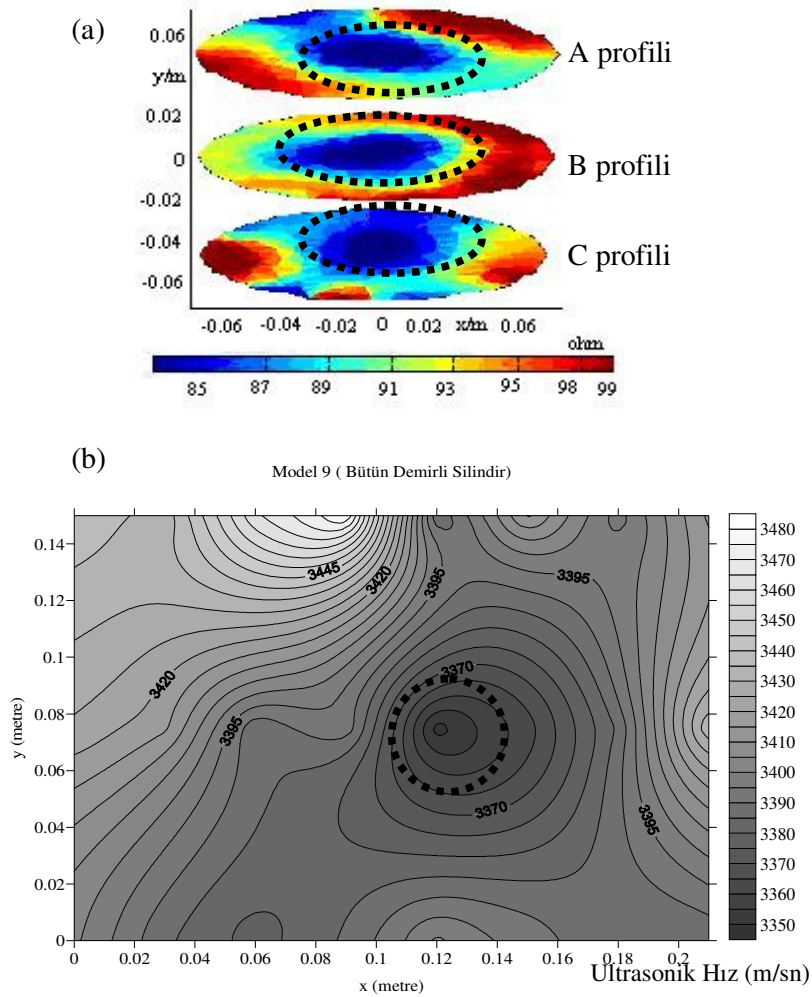


Şekil 79. (a) Model 8 (b) Ultrasonik hız ölçümleri sonucu elde edilmiş donatı yerleri



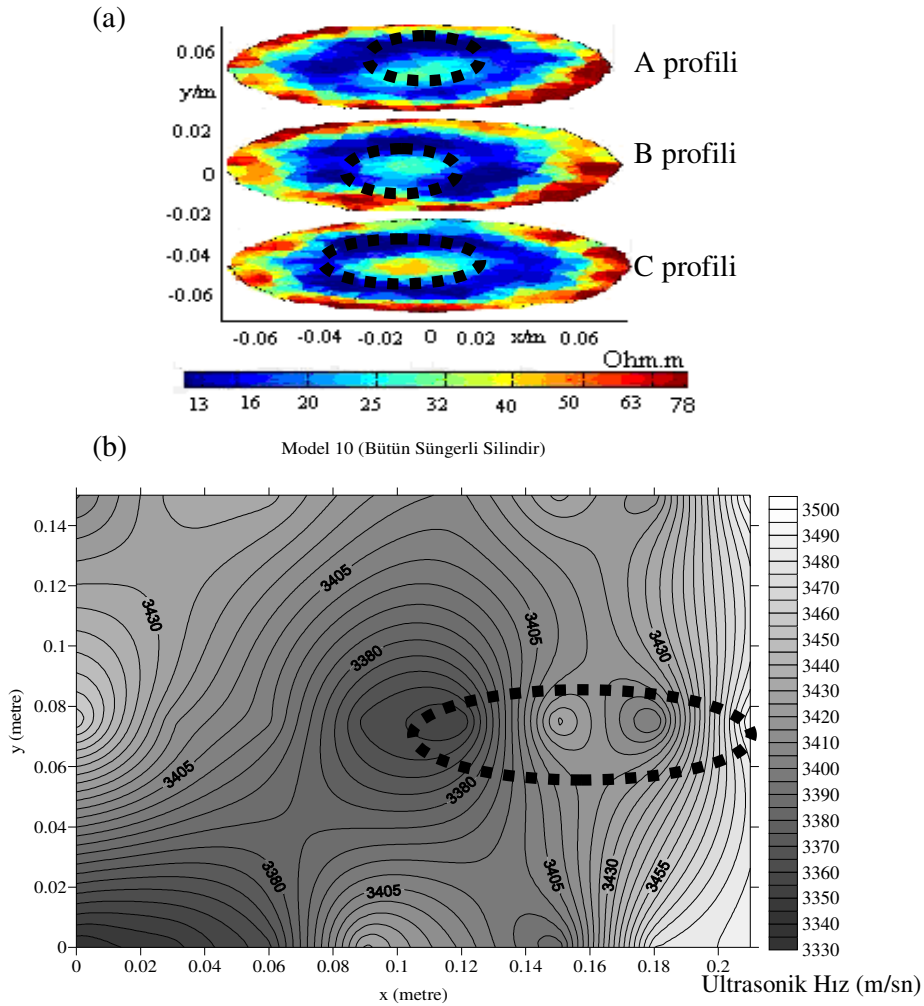
Şekil 80. Model 8'in 1.yüzeyinde 3 dizilim için görünür öz direnç verilerinin ters çözümü  
(a) Wenner dizilimi (b) Schlumberger dizilimi (c) Dipol-Dipol dizilimi

Model 9 içerisinde bütün halinde demir donatı bulunan silindirik bir yapıyı temsil etmektedir. Ultrasonik hız verileriyle modelin içyapısı belirlenmeye çalışılmıştır. Model 9'a ait kapanım haritasında kapanımların olduğu bölgede (siyah kesikli daireler) hız değerinin  $\sim 3360$  m/sn olduğu gözlenmiştir. Görünür öz direnç verilerinin ters çözüm kesitlerinde yapının orta kısmındaki dirençsiz bölge dikkat çekmektedir. Öz direnç değerlerine bakıldığında, ters çözüm sonucunda ultrasonik hız kontur haritasındaki kapanıma karşılık gelen bölgenin görünür öz direnci Wenner diziliminde  $\sim 50$  Ohm.m, Dipol-Dipol diziliminde  $\sim 60$  Ohm.m olarak bulunmuştur. Bu alanlar siyah kesikli dairelerle gösterilmektedir. Şekil 81'de modelin Wenner dizilimi için görünür öz direnç verilerinin ters çözüm sonuçları ve ultrasonik hız ölçüm sonuçları gösterilmektedir.



Şekil 81. (a) Model 9 Wenner dizilimi için görünür öz direnç verilerinin ters çözüm sonuçları (b) Ultrasonik hız ölçüm sonuçları

Model 10 içerisinde bütün halinde sünger donatı bulunan silindirik bir yapıyı temsil etmektedir. Model 10'a ait ultrasonik hız kapanım haritasında kapanımın olduğu bölgede (siyah kesikli daireler) hız değerinin  $\sim 3450$  m/sn olduğu gözlenmiştir. Görünür özdirenç verilerinin ters çözüm kesitlerinde yapının orta kısmındaki dirençli bölge dikkat çekmektedir. Özdirenç değerlerine bakıldığında, ters çözüm sonucunda ultrasonik hız kontur haritasındaki kapanıma karşılık gelen bölgenin görünür özdirenci Dipol-Dipol diziliminde  $\sim 30$  Ohm.m olarak bulunmuştur. Bu alanlar siyah kesikli dairelerle gösterilmektedir. Şekil 82'de modelin Dipol-Dipol dizilimi için görünür özdirenç verilerinin ters çözüm sonuçları ve ultrasonik hız ölçüm sonuçları gösterilmektedir.



Şekil 82. Model 10 Dipol-Dipol dizilimi için görünür özdirenç verilerinin ters çözüm sonuçları ve ultrasonik hız ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması

### 3.2. Mekanik Özellikler

Beton numunelerin mekanik özellikleri Karadeniz Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı laboratuvarında deneylerle tespit edilerek sonuçlar tablolar halinde sunulmuştur.

#### 3.2.1. Tek Eksenli Basınç Dayanımı Deney Sonuçları

Silindir numuneler için yapılan tek eksenli basınç dayanımı deneyi sonuçları Tablo 10'da verilmiştir. Deneylerde en yüksek basınç dayanımına sahip olan Model 5 (parça sünger donatılı silindir), en düşük basınç dayanımı ise Model 4'de (parça demir donatılı silindir) gözlenmiştir.

Tablo 10. Beton numunelerin tek eksenli basınç dayanımı değerleri

| Numune adı | Numune yüksekliği (mm) | Numune çapı (mm) | Uygulanan kuvvet (kN) | Ortalama basınç dayanımı (MPa) |
|------------|------------------------|------------------|-----------------------|--------------------------------|
| Model 4    | 300                    | 150              | 189,02                | 10,7                           |
| Model 5    | 300                    | 150              | 622,87                | 35,25                          |
| Model 6    | 300                    | 150              | 548,69                | 31,05                          |
| Model 9    | 300                    | 150              | 206,93                | 11,71                          |

#### 3.2.2. Yarmada Çekme Dayanımı Deney Sonuçları

Beton numunelerin çekme gerilmeleri karşısındaki dayanımları, kayaçların çekme gerilmelerinin belirlenmesinde en kolay ve pratik yöntem olan Brazilian yönteminden yararlanılarak belirlenmiştir. Model 10 üzerinde yapılan yarma deneyi sonrasında modelin çekme dayanımı 2.26 MPa olarak bulunmuştur.

### 3.2.3. Eğilme Dayanımı Deney Sonuçları

Prizma şeklindeki numuneler için yapılan eğilme dayanımı deneyi sonuçları Tablo 11’de verilmiştir. Eğilme dayanımı deney sonuçları en fazla eğilme dayanımının Model 8’de, en az eğilme dayanımının da Model 3’de olduğunu göstermektedir.

Tablo 11. Beton numunelerin eğilme dayanımı değerleri

| Numune adı | Numune genişliği (cm) | Numune kalınlığı (cm) | Mesnetler arası mesafe (cm) | Kırılmaya neden olan yük (kN) | Eğilme dayanımı (N/mm <sup>2</sup> ) |
|------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------------|-------------------------------|--------------------------------------|
| Model 1    | 10                    | 10                    | 42                          | 10,27                         | 6,47                                 |
| Model 3    | 10                    | 10                    | 42                          | 8,78                          | 5,53                                 |
| Model 7    | 10                    | 10                    | 42                          | 11,8                          | 7,23                                 |
| Model 8    | 10                    | 10                    | 42                          | 16,84                         | 10,61                                |

Yapılan çalışmada tüm modeller üzerinde uygulanan tahribatlı ve tahribatsız yöntemler sonucu elde edilen veriler Tablo 12’de kısaca verilmektedir.

Tablo 12. Tüm modeller üzerinde uygulanan tahribatlı ve tahribatsız yöntemler sonucu elde edilen veriler

| Model Adı<br><br><br><br>Ölçülen<br>Büyüklik | Tahribatsız Yöntemler                                         |       |      |                                                               |       |       |                                     |                     | Tahribatlı Yöntemler   |                               |                        | Beton Kalitesi<br><br>(Basınç dayanımı ve ultrasonik hız verilerine göre) |
|----------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|-------|------|---------------------------------------------------------------|-------|-------|-------------------------------------|---------------------|------------------------|-------------------------------|------------------------|---------------------------------------------------------------------------|
|                                              | Elektrik Özdirenç Yöntemi                                     |       |      | İP Yöntemi                                                    |       |       | UPV Yöntemi                         |                     | Basınç Dayanımı Deneyi | Yarmada Çekme Dayanımı Deneyi | Eğilme Dayanımı Deneyi |                                                                           |
|                                              | Özdirenç (Ohm.m)<br>(Donatı anomalisine karşılık gelen değer) |       |      | Şarzabilite (ms)<br>(Donatı anomalisine karşılık gelen değer) |       |       | Hız (m/sn)<br>(Donatı anomali hızı) | Ortalama Hız (m/sn) | Basınç Dayanımı (MPa)  | Çekme Dayanımı (MPa)          | Eğilme Dayanımı (MPa)  |                                                                           |
|                                              | W                                                             | S     | DD   | W                                                             | S     | DD    |                                     |                     |                        |                               |                        |                                                                           |
| Model 1                                      | 2.9                                                           | 2.2   | 0.02 | 7.5                                                           | 25    | 8     | 5200                                | 4500                | -----                  | -----                         | 6,47                   | Çok iyi                                                                   |
| Model 2                                      | 52                                                            | 60    | 55   | 0.8                                                           | 0.5   | 0.4   | 4500                                | 4458                | -----                  | -----                         | -----                  | Çok iyi                                                                   |
| Model 3                                      | Dirençli:2<br>Dirençsiz:50                                    |       |      | -----                                                         | ----- | ----- | 3830                                | 3829                | -----                  | -----                         | 5,53                   | İyi                                                                       |
| Model 4                                      | 45                                                            | ----- | 20   | -----                                                         | ----- | ----- | 3400                                | 3500                | 10,7                   | -----                         | -----                  | Orta                                                                      |
| Model 5                                      | 40                                                            | ----- | 30   | -----                                                         | ----- | ----- | 2700                                | 3503                | 35,25                  | -----                         | -----                  | İyi                                                                       |
| Model 6                                      | Dirençli:80<br>Dirençsiz:20                                   |       |      | -----                                                         | ----- | ----- | 3500                                | 3404                | 31,05                  | -----                         | -----                  | İyi                                                                       |
| Model 7                                      | 0.4                                                           | 0.2   | 0.02 | -----                                                         | ----- | ----- | 5000                                | 4000                | -----                  | -----                         | 7,23                   | İyi                                                                       |
| Model 8                                      | 45                                                            | 30    | 15   | -----                                                         | ----- | ----- | 3900                                | 3781                | -----                  | -----                         | 10,61                  | İyi                                                                       |
| Model 9                                      | 50                                                            | ----- | 60   | -----                                                         | ----- | ----- | 3360                                | 3404                | 11,71                  | -----                         | -----                  | Orta                                                                      |
| Model 10                                     | 65                                                            | ----- | 30   | -----                                                         | ----- | ----- | 3450                                | 3417                | -----                  | 2.26                          | -----                  | Orta                                                                      |

(W:Wenner, S:Schlumberger, DD: Dipol-Dipol ve (-----) ise beton model üzerinde uygulanmayan yöntemi göstermektedir.)

#### 4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Beton numunelerin içyapısını görüntüleyerek beton numune hakkında bilgi sahibi olmak ve yapının dayanımı ile kalitesini belirlemek için laboratuarda 10 adet beton numune üretilmiştir. Üretilen bu numunelerin fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenerek elde edilen tüm veriler değerlendirilmiştir. Ultrasonik hız ve beton numuneler üzerinde yapılan tahribatlı deney sonuçları Tablo 5'e göre değerlendirilerek deney numunelerinin kalitesi belirlenmeye çalışılmıştır. Yapılan bu değerlendirmelerden elde edilen sonuç ve öneriler şu şekilde sıralanabilir;

1. Parça demir donatılı prizma modeli (model 1) üzerinde uygulanan İP ve özdirenc yönteminde modelin içinde bulunan donatıdan kaynaklanan farklılığı en iyi Wenner dizilimi belirlemiştir. Model 1 üzerinde yapılan ultrasonik hız ölçümü sonuçlarına göre modelin ortalama hızı 4500 m/sn olarak belirlenmiştir. Bu sonuç Tablo 5'e göre değerlendirildiğinde beton kalitesinin çok iyi olduğu ortaya çıkmaktadır. Ayrıca elde edilen kapanım haritasında donatı yerleri çok açıkça görülmektedir.

2. Parça sünger donatılı prizma modeli (model 2) üzerinde uygulanan özdirenc yönteminde modelin içinde bulunan donatıdan kaynaklanan farklılığı en iyi Wenner dizilimi belirlemiştir. Diğer dizilimlerle tam olarak belirgin bir sonuç alınamamıştır. İP ölçümlerinde Dipol-Dipol dizilimi ile belirti yakalanabilmiş fakat diğer dizilimler başarılı olamamıştır. Model 2 üzerinde yapılan ultrasonik hız ölçümü sonuçlarına göre modelin ortalama hızı 4458 m/sn olarak belirlenmiştir. Bu sonuç Tablo 5'e göre değerlendirildiğinde beton kalitesinin çok iyi olduğu ortaya çıkmaktadır.

3. Donatısız prizma modeli (model 3) üzerinde uygulanan İP ve özdirenc yönteminde modelin içyapısını en iyi Dipol-Dipol dizilimi belirlemiştir. Model 3 üzerinde yapılan ultrasonik hız ölçümü sonuçlarına göre modelin ortalama hızı 3829 m/sn olarak belirlenmiştir. Bu sonuç Tablo 5'e göre değerlendirildiğinde beton kalitesinin iyi olduğu ortaya çıkmaktadır.

4. Parça demir donatılı silindir modeli (model 4) üzerinde uygulanan özdirenc yönteminde modelin içinde bulunan donatıdan kaynaklanan farklılıklar hem Wenner hem de Dipol-Dipol dizilimi ile belirlemiştir. Model 4 üzerinde yapılan ultrasonik hız ölçümü sonuçlarına göre modelin ortalama hızı 3500 m/sn ve tek

eksenli basınç dayanımı deneyi sonucu betonun basınç dayanımı 10,7 MPa olarak belirlenmiştir. Bu değer Tablo 5'e göre değerlendirildiğinde beton kalitesinin orta olduğu ortaya çıkmaktadır. Ayrıca elde edilen kontur haritasında donatı yerleri çok açıkça görülmektedir.

5. Parça sünger donatılı silindir modeli (model 5) üzerinde uygulanan özdirenç yönteminde modelin içinde bulunan donatıdan kaynaklanan farklılıklar Dipol-Dipol dizilimi ile belirlemiştir. Model 5 üzerinde yapılan ultrasonik hız ölçümü sonuçlarına göre modelin ortalama hızı 3503 m/sn ve tek eksenli basınç dayanımı deneyi sonucu betonun basınç dayanımı 35,25 MPa olarak belirlenmiştir. Bu değer Tablo 5'e göre değerlendirildiğinde beton kalitesinin iyi olduğu ortaya çıkmaktadır.

6. Donatısız silindir modeli (model 6) üzerinde uygulanan özdirenç yönteminde modelin içyapısı hem Wenner hem de Dipol-Dipol dizilimi ile belirlemiştir. Model 6 üzerinde yapılan ultrasonik hız ölçümü sonuçlarına göre modelin ortalama hızı 3404 m/sn ve tek eksenli basınç dayanımı deneyi sonucu betonun basınç dayanımı 31,05 MPa olarak belirlenmiştir. Bu değer Tablo 5'e göre değerlendirildiğinde beton kalitesinin iyi olduğu ortaya çıkmaktadır.

7. Bütün demir donatılı prizma modeli (model 7) üzerinde uygulanan özdirenç yönteminde modelin içinde bulunan donatıdan kaynaklanan farklılığı en iyi Wenner dizilimi belirlemiştir. Model 7 üzerinde yapılan ultrasonik hız ölçümü sonuçlarına göre modelin ortalama hızı 4000 m/sn olarak belirlenmiştir. Bu sonuç Tablo 5'e göre değerlendirildiğinde beton kalitesinin iyi olduğu ortaya çıkmaktadır. Ayrıca elde edilen kapanım haritasında donatı yeri çok açıkça görülmektedir.

8. Bütün sünger donatılı prizma modeli (model 8) üzerinde uygulanan özdirenç yönteminde modelin içinde bulunan donatıdan kaynaklanan farklılığı en iyi Wenner dizilimi belirlemiştir. Diğer dizilimlerle tam olarak belirgin bir sonuç alınamamıştır. Model 8 üzerinde yapılan ultrasonik hız ölçümü sonuçlarına göre modelin ortalama hızı 3781 m/sn olarak belirlenmiştir. Bu sonuç Tablo 5'e göre değerlendirildiğinde beton kalitesinin iyi olduğu ortaya çıkmaktadır.

9. Bütün demir donatılı silindir modeli (model 9) üzerinde uygulanan İP ve özdirenç yönteminde modelin içinde bulunan donatıdan kaynaklanan farklılık Wenner dizilimi ile belirlemiştir. Dipol-Dipol diziliminde ise donatı etkisi A ve B profillerinde gözlenmiş C profilinde etki gözlenememiştir. Model 9 üzerinde yapılan ultrasonik hız ölçümü sonuçlarına göre modelin ortalama hızı 3404 m/sn ve tek eksenli basınç dayanımı deneyi

sonucu betonun basınç dayanımı 11,71 MPa olarak belirlenmiştir. Bu sonuç Tablo 5'e göre değerlendirildiğinde beton kalitesinin orta olduğu ortaya çıkmaktadır. Ayrıca elde edilen kapanım haritasında donatı yeri açıkça görülmektedir.

10. Bütün sünger donatılı silindir modeli (model 10) üzerinde uygulanan özdirenç yönteminde modelin içinde bulunan donatıdan kaynaklanan farklılıklar Dipol-Dipol dizilimi ile belirlemiştir. Wenner dizilimi ile bu etki gözlenememiştir. Model 10 üzerinde yapılan ultrasonik hız ölçümü sonuçlarına göre modelin ortalama hızı 3417 m/sn olarak belirlenmiştir. Bu sonuç Tablo 5'e göre değerlendirildiğinde beton kalitesinin orta olduğu ortaya çıkmaktadır.

11. Yapılan çalışmada modeller üzerinde uygulanan yöntemlerle elde edilen verilerin yorumlanması sonucu oluşturulan kesitlerle gerçek model arasında bir korelasyon sağlanması amacıyla Model üzerinde hiçbir tahribatlı deney uygulanmamıştır. Model 2 beton kesme aletiyle 3.yüzeyin orta kısmından kesilmiştir. İşlem sonucunda model içindeki sünger donatıların modelin 4.yüzeyine çok yakın olduğu gözlemlenmiştir.

12. Laboratuarda yapılan İP ve Özdirenç ölçümlerinde çalışmanın kesilmemesi için her yeni ölçümden önce ölçüm aletlerinin (ölçü aletinin şarjı, gerekiyorsa akü bağlantısı, kablo ve elektrotlar) yeniden kontrolü gerekmektedir.

13. Kullanılan tüm modeller yeni modeller oluşturulmaya açıktır. Daha ilerdeki çalışmalarda modeller üzerinde farklı değişiklikler yapılarak (farklı donatılar, paslandırma, su enjekte) ölçümler alınabilir. Burada, benzer çalışmaların daha farklı beton türleri üzerinde de yapılmasının faydalı olacağını belirtmek gerekmektedir.

14. Özellikle silindir numuneler üzerinde sadece Wenner ve Dipol-Dipol dizilimleri alınmıştır. Pol-Pol ve Pol-Dipol gibi diğer dizilimlerin bu alanda uygulanıp karşılaştırma yapılması önerilmektedir.

## 5. KAYNAKLAR

1. Lataste, J.F., Breyse, D., Sireix, C., Frappa, M. and Bournazel, J.P., 2002 Cracking of Reinforced Concrete Structures: Investigation by means of Electrical Resistivity Measurements, Bulletin DES Laboratoires DES Ponts et Chaussees
2. Buyle-Bodin, F., Ammouche, A. and Garciaz, J.L., Contribution of Coupling Non-Destructive Methods for The Diagnosis of Concrete Structures, International Symposium (NDT-CE), France, 2003.
3. Chouteau, M. and Beaulieu, S., An Investigation on Application of The Electrical Resistivity Tomography Method to Concrete Structures, Canada, 2003.
4. Lataste, J.F., Breyse, D., Sireix and Abraham. O., Sensitivity to Crack Parameters of Two Non-Destructive Techniques: Electrical Resistivity Measurements and Acoustic Methods, International Symposium (NDT-CE), France, 2003.
5. Daily, W., Ramirez, A., Binley, A. and Henry-Poulter, S., Electrical Resistance Tomography of Concrete Structures, Lawrence Livermore National Laboratory, Portugal, 1993.
6. Buettner, M., Daily, W. and Ramirez, A., Electrical Resistance Tomography for Imaging Concrete Structures, Lawrence Livermore National Laboratory, A.B.D.,1996.
7. Naffa, O.S., Goueygou, M., Piwakowski, B., and Bodin, F., Detection of Chemical Damage in Concrete Using Ultrasound, 2002, 247-251
8. Şengül, Ö., Taşdemir, M.A. ve Gjorv, O.E., Puzolanik Malzemelerin Betonun Mekanik Özellikleri ve Klor İyonu Yayınımına Etkisi, İ.T.Ü. Mühendislik Dergisi, 6,1 (2007) 53-64
9. Ergün, A., Kürklü, G., Mevcut Betonarme Yapılarda Beton Dayanımının Belirlenmesi, Deprem Sempozyumu, Mart 2005, Kocaeli, 817-826
10. Erdal, M. ve Şimşek,O., Bazı Tahribatsız Deney Metotlarının Vakum Uygulanmış Betonların Basınç Dayanımlarının Belirlenmesinde Performanslarının İncelenmesi, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 21,1 (2006) 65-73
11. Tekmen, T., Kireçtaşlarından Üretilen Kilitli Beton Parke Bloklarının Mekanik Özelliklerinin Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 2006.
12. Çebi, Y.M., Geleneksel ve Yüksek Dayanımlı Betonlarda Dayanım Gelişiminin Farklı Kür Koşulları Altında İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2009.

13. Binler Kerim, Ü., Çevre Jeofiziği Kapsamında Temel Kayaç Topografyasının Elektrik Özdirenç Yöntemlerle Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2002.
14. Öğretmen, Z., Yılmaz, Ş., ve Akbulut, M., K.T.Ü. Kanuni Kampüsünde Elektrik Özdirenç Yöntemiyle Anomali Avlama, Bitirme Tezi, K.T.Ü. Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği, 2008.
15. Guidebook on Nondestructive Testing of Concrete Structures, Training Course Series, No:17, International Atomic Energy Agency, Vienna, 2002.
16. Carino, N.J., Member ASCE, Nondestructive Techniques to Investigate Corrosion Status in Concrete Structure, Journal of Performance of Constructed Facilities, 1999, 96-106.
17. Electrochemical Techniques to Detect Corrosion in Concrete Structures in Nuclear Installations Tehnical Note, NEA/CSNI/R, 2002.
18. Coşkun, N., Yer Elektrik Yöntemler III: İndüksiyon Polarizasyon Yöntemi, K.T.Ü. Mühendislik Fakültesi, Fakülte Ders Notları Serisi, No:5, Trabzon, 2009,12-06.
19. Gündoğdu, N.Y., Zaman Ortamı Yapay Uçlaşma Verilerinin Mühendislik Jeofiziğinde Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, A.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2005.
20. Song, H.W. and Saraswathy, V., Corrosion Monitoring of Reinforced Concrete Structures- A Review, International Journal of Electrochemical Science, 2, 2007, 1-28
21. Abdik, Y., Ultrasonik Hız Ölçüm Yöntemleri, Bitirme Tezi, K.T.Ü. Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği, 2008.
22. Onur, A.H. ve Bakraç, S., Mermer Bloklarında Mevcut Çatlak ve Kırkların Pundit Cihazıyla Tespiti, Türkiye 15. Madencilik Kongresi, 1997.
23. Ün, H., Taze ve Sertleşmiş Beton Deneyleri, Yapı Malzemesi 9. Ders Notları, Pamukkale üniversitesi, 2007.
24. Hüsem, M., Pul, S. ve Görkem, S.E., Bileşik Eğilme Etkisindeki Yüksek Performanslı Betonarme Kolonların Davranışlarının Araştırılması, Araştırma Projesi Sonuç Raporu, K.T.Ü. Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi, Trabzon, 2006.
25. TS EN 12390-3, Beton- Sertleşmiş Beton Deneyleri- Bölüm 3: Deney Numunelerinde Basınç Dayanımının Tayini, TSE, Ankara, 2002.
26. Tutuş, M., Çukurova Yöresinde Bulunan Bazı Mermerlere Ait Fiziko-Mekanik Özelliklerin İstatistiksel Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 2007.

27. Loke, M.H., RES2DINV, Two Dimensional Resistivity Inversion, Software Demonstration Copy
28. Günther, T., DC2DTREE, Two Dimensional Resistivity Inversion Software

## **ÖZGEÇMİŞ**

1982 yılında Trabzon'da doğdu. İlk ve orta öğreniminin ardından lise öğrenimini Trabzon Lisesinde tamamladıktan sonra 2002 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Jeofizik Mühendisliği bölümüne girmeye hak kazandı. 2006 yılında dönem üçüncüsü olarak mezun oldu. Aynı yıl Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeofizik Mühendisliği Anabilim dalında yüksek lisans eğitimine başlamış olan Suna ALTUNDAŞ iyi derecede İngilizce bilmektedir.