

**YERE NÜFUZ EDEN RADAR TEKNOLOJİLERİ
KULLANILARAK YÜZEYALTI SIVI KAÇAKLARININ
İKİ BOYUTLU RADAR GÖRÜNTÜLERİNİN
ELDE EDİLMESİ**

İSMAİL HAKKI ESKİDEMİR

**Mersin Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Elektrik-Elektronik Mühendisliği
Ana Bilim Dalı**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Tez Danışmanı
Prof. Dr. Caner ÖZDEMİR**

**MERSİN
Aralık - 2009**

Bu tezin gerek bilimsel içerik, gerekse elde edilen sonuçlar açısından tüm gerekleri sağladığı kanaatine ulaşan ve aşağıda imzaları bulunan biz jüri üyeleri, sunulan tezi oy birliği ile Yüksek Lisans Tezi olarak kabul ediyoruz.

Tez Danışmanı
Prof. Dr. Caner ÖZDEMİR



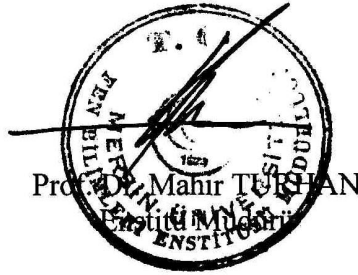
Jüri Üyesi
Doç. Dr. Muhsin EREN



Jüri Üyesi
Yrd. Doç. Dr. Ali YILDIZ



Bu tezin Fen Bilimleri Enstitüsü yazım kurallarına uygun olarak yazıldığı Enstitü Yönetim Kurulu'nun 03./..22./2019..tarih ve 290.83/....65.. sayılı kararıyla onaylanmıştır.



Not: Bu tezde kullanılan özgün bilgiler, şekil, çizelge ve fotoğraflardan kaynak göstermeden alıntı yapmak 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu hükümlerine tabidir.

ÖZ

Bu tez çalışmasında Yere Nüfuz Eden Radar (YNR) teknolojileri kullanılarak yüzey altı borularındaki sıvı kaçaklarının tespiti ve görüntülenmesi amaçlanmıştır. Bu amaca ulaşabilmek için iki ayrı metot kullanılmıştır. Birincisi B tarama yaparak, ikincisi ise A taramalar yapıp peşi sıra gelen iki A taramaların farkını alarak sızıntı yerini tespit etmektir. Bunun için hem laboratuvar ortamında hem de açık sahalarda deneyler yapılmıştır. Bu deneylerde toprak altına gömülen delinmiş borulara değişik zamanlarda su konularak boru üzerinde geri saçılma verileri toplanmıştır. B tarama yönteminde önce veriler doğrudan kullanılarak sızıntı yeri tespit edilmeye çalışılmış, sonra ise sızıntı yerlerini daha net belirlemek amacıyla B tarama geri saçılma verilerinden kargaşalar giderilmeye çalışılmıştır. Kargaşaları gidermek amacıyla istatistiksel yöntemlerden Basit Ortalama Çıkarımı, Tekil Değer Ayırıştırması ve Bağımsız Değişkenler Analizi teknikleri uygulanmıştır. Ayrıca ıslak toprakta kuru topraktan daha zayıf geri yansıma olduğu için B tarama matrislerinin tersleri alındıktan sonra kargaşalar giderilmeye çalışılmış, böylelikle sızıntı bölgesinden diğer yerlerden daha güçlü geri yansıma varmış gibi gösterilmiştir. A tarama verileri için ise peşi sıra gelen veriler birbirinden çıkarılarak fark matrisi oluşturulup görüntüler elde edilmiştir. Laboratuvar ortamındaki B tarama deneylerinde kumun homojen olması ve elektriksel geçirgenliğin bilinmesinden dolayı su sızıntısı gerçek pozisyonunda tespit edilebilmiştir. Arazide ise beklenildiği gibi laboratuvar ortamından daha düşük başarı elde edilmiştir (Gerçek toprak ortamı homojen değildir ve farklı ortamlar farklı elektriksel özellikler gösterir). Ayrıca A taramaların farkı metodunu kullanarak yüzey altı borularda sızıntı tespitinde başarı düşük olmuştur.

Anahtar Kelimeler: Yere Nüfuz Eden Radar (YNR), Su Sızıntı Tespiti, Radar Görüntüleme.

ABSTRACT

In this study, water leakage in underground pipes has been experimentally detected and imaged by using Ground Penetrating Radar (GPR) technology. Two different methods were employed for the aim of this thesis. In the first method, B-scan process has been used to detect the location of leakage. In the second method, multiples of A-scans have been utilized to detect the leakage location by imaging the differences of two consecutive A-scans. Experiments have been done both in laboratory and at outdoor conditions. In these experiments, perforated pipes were buried underground and back-scattered electric field data from the subsurface environment were collected by putting water inside them at different time instants. For the B-scan measurement, water leakage from the pipes were tried to be detected by the help of a direct Fourier transforming the back-scattered data. Then, the clutter cancellation routines were also applied to increase the quality of the images. To extract the clutter from the B-scan images, some statistical methods like Simple Mean Extraction, Singular Value decomposition and Independent Component Analysis techniques have been employed. For the A-scan data, the difference matrix was created by subtracting consecutive A-scans from each other and resulting images were presented. The real position of the water leakage was detected in laboratory conditions by applying the B-scan scheme thanks to the homogeneity and dryness of the sand that was used during the experiments. At the outdoor conditions; however, comparatively lesser success has been achieved due to inhomogeneity and varying electrical characteristics of different soils that were used during the experiments.

Keywords: Ground Penetrating Radar (GPR), Detecting Water Leakage, Radar Imaging.

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans tez çalışmasında emeği geçen başta tez danışmanım sayın Prof. Dr. Caner ÖZDEMİR'e, yardımlarını esirgemeyen arkadaşlarım sayın Arş. Gör. Şevket DEMİRCİ'ye, sayın Arş. Gör. Betül YILMAZ'a, sayın Öğr. Gör. Enes YİĞİT'e, bu çalışmanın yapılmasına olanak sağlayan Tarsus Meslek Yüksekokulu Müdürü sayın Doç. Dr. Mustafa Kemal KÜLEKÇİ ve çalışma arkadaşlarıma, ayrıca beni sabırla destekleyen eşime teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

| | |
|--|----------|
| ÖZ..... | i |
| ABSTRACT | ii |
| TEŞEKKÜR..... | iii |
| İÇİNDEKİLER..... | iv |
| ÇİZELGELER DİZİNİ | vi |
| ŞEKİLLER DİZİNİ | vii |
| SİMGE VE KISALTMALAR DİZİNİ..... | xii |
| | |
| 1. GİRİŞ | 1 |
| | |
| 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI..... | 3 |
| 2.1. SU KAÇAKLARININ TESPİTİ İÇİN KULLANILAN YÖNTEMLER .. | 3 |
| 2.2. DIELEKTRİK MALZEMELER VE DIELEKTRİK SABİTİ | 5 |
| 2.3. ELEKTROMANYETİK DALGALAR VE YAYILIMI..... | 6 |
| 2.4. ELEKTROMANYETİK DALGALARIN SAÇILMASI..... | 10 |
| 2.5. YERE NÜFUZ EDEN RADAR | 11 |
| 2.5.1. YNR Görüntüleme Teknikleri..... | 12 |
| 2.5.1.1. A – Tarama (A – scan) | 13 |
| 2.5.1.2. B – Tarama (B – scan)..... | 14 |
| 2.5.1.3. C – Tarama (C – scan)..... | 14 |
| 2.6. YNR GÖRÜNTÜLERİNDEKİ İSTENMEYEN YANKILAR..... | 14 |
| 2.7. KARGAŞALARI GİDERMEDE KULLANILAN TEKNİKLER | 15 |
| 2.7.1. Basit Ortalama Çıkarımı | 15 |
| 2.7.1.1. A-taramaların ortalaması çıkarımı | 15 |
| 2.7.2. Tekil Değer Ayrıştırması (Singular Value Decomposition) | 16 |
| 2.7.3. Bağımsız Bileşenler Analizi (Independent Component Analysis)... | 18 |
| 2.7.4.1. Bağımsız Bileşenler analizinin belirsizlikleri..... | 20 |
| 2.7.4.2. Bağımsızlık | 20 |
| 2.7.4.3. Normal dağılım (Gaussian dağılım)..... | 21 |
| 2.7.4.4. Normal Dağılımın Özellikleri..... | 22 |
| 2.7.4.5. ICA’da normal (Gaussian) dağılım..... | 23 |
| 2.7.4.6. ICA için ön işlemler | 24 |
| 2.7.4.7. Hızlı ICA Programı | 24 |

| | |
|---|-----|
| 3. MATERYAL VE METOD | 26 |
| 3.1. KULLANILAN MATERYAL | 26 |
| 3.1.1. Deney Düzenegi | 26 |
| 3.1.2. Kullanilan Yazılım | 29 |
| 3.2. UYGULANAN METOD | 30 |
| 3.2.1 YNR Görüntüleme Algoritması | 30 |
| 3.2.2. İstenmeyen Yankıların Giderilmesinde Kullanılan Teknikler | 30 |
| 3.2.3. Görüntülerin Tersleri | 31 |
| 3.2.4. B Tarama Deneylerinde Yapılanlar | 31 |
| 3.2.5. A Tarama Deneylerinde Yapılanlar..... | 32 |
| 4. BULGULAR VE TARTIŞMALAR | 33 |
| 4.1. LABORATUAR ORTAMINDA YAPILAN B TARAMA DENEYLERİNE AİT BULGULAR..... | 33 |
| 4.1.1. Laboratuar Ortamı 50mm Çaplı Plastik Boru Deneyleri | 33 |
| 4.1.2. Laboratuar Ortamı 20mm Çaplı Plastik Boru Deneyleri | 48 |
| 4.2. ARAZİDE YAPILAN B TARAMA DENEYLERİNE AİT BULGULAR..... | 56 |
| 4.2.1. Arazi Ortamı 1. Grup Deneyler | 56 |
| 4.2.2. Arazi Ortamı 2. Grup Deneyler | 71 |
| 4.2.3. Arazi Ortamı 3. Grup Deneyler | 92 |
| 4.3. LABORATUAR ORTAMI A TARAMA DENEY SONUÇLARI | 99 |
| 4.4. ARAZİ A TARAMA DENEYLERİNE AİT BULGULAR..... | 105 |
| 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER | 109 |
| KAYNAKLAR | 111 |
| ÖZGEÇMİŞ | 115 |

ÇİZELGELER DİZİNİ

ÇİZELGE

Sayfa

| | |
|---|----|
| Çizelge 2.1. Islak Ve Kuru Bazı Malzemelerde 100 MHz'de Zayıflama ve Bağlı Dielektrik Katsayısı değerleri..... | 9 |
| Çizelge 4.1. Laboratuvar ortamı 50mm çaplı plastik boru deneylerinin tarama zamanı, deneylerin adları ve deney koşulları..... | 33 |
| Çizelge 4.2. Laboratuvar ortamı 20mm çaplı plastik boru deneylerinin tarama zamanı, deneylerin adları ve deney koşulları..... | 49 |
| Çizelge 4.3. Arazi ortamı 1. grup deneylerinin tarama zamanı, deneylerin adları ve deney koşulları..... | 58 |
| Çizelge 4.4. Arazi ortamı 2. grup deneylerinin tarama zamanı, deneylerin adları ve deney koşulları..... | 74 |
| Çizelge 4.5. Arazi ortamı 3. grup deneylerinin tarama zamanı, deneylerin adları ve deney koşulları..... | 92 |

ŞEKİLLER DİZİNİ

| ŞEKİL | Sayfa |
|--|-------|
| Şekil 2.1. Yansıma saçılması..... | 11 |
| Şekil 2.2. Kırılma saçılması | 11 |
| Şekil 2.3. Rezonans saçılması | 11 |
| Şekil 2.4. Kırınım saçılması | 11 |
| Şekil 2.5. Elektromanyetik dalgaların farklı elektriksel özellikteki nesnelere Saçılması | 12 |
| Şekil 2.6. B tarama geometrisi | 14 |
| Şekil 2.7. Normal Dağılım Grafiği | 22 |
| Şekil 3.1. Laboratuvar ortamındaki deney düzeneği: Kum havuzu, anten ve Havuzla gömülen boru..... | 27 |
| Şekil 3.2. Deneylede kullanılan boruların geometrileri..... | 28 |
| Şekil 4.1. Laboratuvar ortamı 50mm çaplı plastik boru deneyleri deney geometrisi..... | 33 |
| Şekil 4.2. Laboratuvar ortamı 50mm çaplı plastik susuz boru B tarama görüntüleri..... | 35 |
| Şekil 4.3. Laboratuvar ortamı 50mm çaplı plastik susuz boru tersi B tarama görüntüleri..... | 35 |
| Şekil 4.4. t=0 dk. B tarama görüntüleri..... | 36 |
| Şekil 4.5. t=0 dk tersi B tarama görüntüleri | 36 |
| Şekil 4.6. t=5 dk B tarama görüntüleri..... | 37 |
| Şekil 4.7. t=5 dk tersi B tarama görüntüleri | 37 |
| Şekil 4.8. t=15 dk B tarama görüntüleri..... | 38 |
| Şekil 4.9. t=15 dk tersi B tarama görüntüleri | 38 |
| Şekil 4.10. t=25 dk B tarama görüntüleri..... | 39 |
| Şekil 4.11. t=25 dk tersi B tarama görüntüleri | 39 |
| Şekil 4.12. t=45 dk B tarama görüntüleri..... | 40 |
| Şekil 4.13. t=45 dk tersi B tarama görüntüleri | 40 |
| Şekil 4.14. t=50 dk B tarama görüntüleri..... | 41 |
| Şekil 4.15. t=50 dk tersi B tarama görüntüleri | 41 |

| | |
|---|----|
| Şekil 4.16. t=60 dk B tarama görüntüleri..... | 42 |
| Şekil 4.17. t=60 dk tersi B tarama görüntüleri | 42 |
| Şekil 4.18. t=125 dk B tarama görüntüleri..... | 43 |
| Şekil 4.19. t=125 dk tersi B tarama görüntüleri | 43 |
| Şekil 4.20. t=150 dk B tarama görüntüleri..... | 44 |
| Şekil 4.21. t=150 dk tersi B tarama görüntüleri | 44 |
| Şekil 4.22. t=165 dk B tarama görüntüleri..... | 45 |
| Şekil 4.23. t=165 dk tersi B tarama görüntüleri | 45 |
| Şekil 4.24. t=170 dk B tarama görüntüleri..... | 46 |
| Şekil 4.25. t=170 dk tersi B tarama görüntüleri | 46 |
| Şekil 4.26. t=190 dk B tarama görüntüleri..... | 47 |
| Şekil 4.27. t=190 dk tersi B tarama görüntüleri | 47 |
| Şekil 4.28. Laboratuar ortamı 20mm çaplı plastik boru deneyleri deney geometrisi..... | 48 |
| Şekil 4.29. Laboratuar ortamı 20mm çaplı plastik susuz boru B tarama görüntüleri..... | 50 |
| Şekil 4.30. Laboratuar ortamı 20mm çaplı plastik susuz boru tersi B tarama görüntüleri..... | 50 |
| Şekil 4.31. t=0 dk. B tarama görüntüleri..... | 51 |
| Şekil 4.32. t=0 dk tersi B tarama görüntüleri | 51 |
| Şekil 4.33. t=5 dk B tarama görüntüleri..... | 52 |
| Şekil 4.34. t=5 dk tersi B tarama görüntüleri | 52 |
| Şekil 4.35. t=10 dk B tarama görüntüleri..... | 53 |
| Şekil 4.36. t=10 dk tersi B tarama görüntüleri | 53 |
| Şekil 4.37. t=15 dk B tarama görüntüleri..... | 54 |
| Şekil 4.38. t=15 dk tersi B tarama görüntüleri | 54 |
| Şekil 4.39. t=20 dk B tarama görüntüleri..... | 55 |
| Şekil 4.40. t=20 dk tersi B tarama görüntüleri | 55 |
| Şekil 4.41. Arazi ortamı 1. grup deneyleri deney geometrisi..... | 57 |
| Şekil 4.42. Arazi ortamı 1. grup deney 1 B tarama görüntüleri | 59 |
| Şekil 4.43. Arazi ortamı 1. grup deney 1 tersi B tarama görüntüleri..... | 59 |
| Şekil 4.44. Arazi ortamı 1. grup deney 2 B tarama görüntüleri | 60 |
| Şekil 4.45. Arazi ortamı 1. grup deney 2 tersi B tarama görüntüleri..... | 60 |

| | |
|--|----|
| Şekil 4.46. Arazi ortamı 1. grup deney 3 B tarama görüntüleri | 61 |
| Şekil 4.47. Arazi ortamı 1. grup deney 3 tersi B tarama görüntüleri..... | 61 |
| Şekil 4.48. Arazi ortamı 1. grup deney 4 B tarama görüntüleri | 62 |
| Şekil 4.49. Arazi ortamı 1. grup deney 4 tersi B tarama görüntüleri..... | 62 |
| Şekil 4.50. Arazi ortamı 1. grup deney 5 (Susuz boru) B tarama görüntüleri..... | 63 |
| Şekil 4.51. Arazi ortamı 1. grup deney 5 (Susuz boru) tersi B tarama görüntüleri..... | 63 |
| Şekil 4.52. t=0 dk B tarama görüntüleri..... | 64 |
| Şekil 4.53. t=0 dk tersi B tarama görüntüleri | 64 |
| Şekil 4.54. t=10 dk B tarama görüntüleri..... | 65 |
| Şekil 4.55. t=10 dk tersi B tarama görüntüleri | 65 |
| Şekil 4.56. t=20 dk B tarama görüntüleri..... | 66 |
| Şekil 4.57. t=20 dk tersi B tarama görüntüleri | 66 |
| Şekil 4.58. t=40 dk B tarama görüntüleri..... | 67 |
| Şekil 4.59. t=40 dk tersi B tarama görüntüleri | 67 |
| Şekil 4.60 t=60 dk B tarama görüntüleri..... | 68 |
| Şekil 4.61. t=60 dk tersi B tarama görüntüleri | 68 |
| Şekil 4.62. t=80 dk B tarama görüntüleri..... | 69 |
| Şekil 4.63. t=80 dk tersi B tarama görüntüleri | 69 |
| Şekil 4.64. t=100 dk B tarama görüntüleri..... | 70 |
| Şekil 4.65. t=100 dk tersi B tarama görüntüleri | 70 |
| Şekil 4.66. Arazi ortamı 2. grup deneyleri deney geometrisi..... | 71 |
| Şekil 4.67. Arazi ortamı 2. grup deney 1 B tarama görüntüleri | 76 |
| Şekil 4.68. Arazi ortamı 2. grup deney 1 tersi B tarama görüntüleri..... | 76 |
| Şekil 4.69. Arazi ortamı 2. grup deney 2 B tarama görüntüleri | 77 |
| Şekil 4.70. Arazi ortamı 2. grup deney 2 tersi B tarama görüntüleri..... | 77 |
| Şekil 4.71. Arazi ortamı 2. grup deney 3 B tarama görüntüleri | 78 |
| Şekil 4.72. Arazi ortamı 2. grup deney 3 tersi B tarama görüntüleri..... | 78 |
| Şekil 4.73. Arazi ortamı 2. grup deney 4 B tarama görüntüleri | 79 |
| Şekil 4.74. Arazi ortamı 2. grup deney 4 tersi B tarama görüntüleri..... | 79 |
| Şekil 4.75. Arazi ortamı 2. grup deney 5 B tarama görüntüleri | 80 |
| Şekil 4.76. Arazi ortamı 2. grup deney 5 tersi B tarama görüntüleri..... | 80 |

| | |
|---|----|
| Şekil 4.77. Arazi ortamı 2. grup deney 6 B tarama görüntüleri | 81 |
| Şekil 4.78. Arazi ortamı 2. grup deney 6 tersi B tarama görüntüleri..... | 81 |
| Şekil 4.79. Arazi ortamı 2. grup deney 7 B tarama görüntüleri | 82 |
| Şekil 4.80. Arazi ortamı 2. grup deney 7 tersi B tarama görüntüleri..... | 82 |
| Şekil 4.81. Arazi ortamı 2. grup deney 8 B tarama görüntüleri | 83 |
| Şekil 4.82. Arazi ortamı 2. grup deney 8 tersi B tarama görüntüleri..... | 83 |
| Şekil 4.83. Arazi ortamı 2. grup deney 9 B tarama görüntüleri | 84 |
| Şekil 4.84. Arazi ortamı 2. grup deney 9 tersi B tarama görüntüleri..... | 84 |
| Şekil 4.85. Arazi ortamı 2. grup deney 10 (t=0) B tarama görüntüleri..... | 85 |
| Şekil 4.86 Arazi ortamı 2. grup deney 10 (t=0) tersi B tarama görüntüleri | 85 |
| Şekil 4.87. Arazi ortamı 2. grup deney 11 (t=10) B tarama görüntüleri..... | 86 |
| Şekil 4.88. Arazi ortamı 2. grup deney 11 (t=10) tersi B tarama görüntüleri | 86 |
| Şekil 4.89. Arazi ortamı 2. grup deney 12 (t=20) B tarama görüntüleri..... | 87 |
| Şekil 4.90. Arazi ortamı 2. grup deney 12 (t=20) tersi B tarama görüntüleri | 87 |
| Şekil 4.91. Arazi ortamı 2. grup deney 13 (t=30) B tarama görüntüleri..... | 88 |
| Şekil 4.92. Arazi ortamı 2. grup deney 13 (t=30) tersi B tarama görüntüleri | 88 |
| Şekil 4.93. Arazi ortamı 2. grup deney 14 (t=40, bs) B tarama görüntüleri | 89 |
| Şekil 4.94. Arazi ortamı 2. grup deney 14 (t=40, bs) tersi B tarama görüntüleri... 89 | |
| Şekil 4.95. Arazi ortamı 2. grup deney 15 (t=40, ms) B tarama görüntüleri | 90 |
| Şekil 4.96. Arazi ortamı 2. grup deney 15 (t=40, ms) tersi B tarama görüntüleri.. 90 | |
| Şekil 4.97. Arazi ortamı 2. grup deney 16 (t=70) B tarama görüntüleri..... | 91 |
| Şekil 4.98. Arazi ortamı 2. grup deney 16 (t=70) B tarama görüntüleri..... | 91 |
| Şekil 4.99. Arazi ortamı 3. grup deneyleri deney geometrisi..... | 92 |
| Şekil 4.100. Susuzb1 B tarama görüntüleri..... | 93 |
| Şekil 4.101. Susuzb1 tersi B tarama görüntüleri | 93 |
| Şekil 4.102. Susuzb2 B tarama görüntüleri..... | 94 |
| Şekil 4.103. Susuzb2 tersi B tarama görüntüleri | 94 |
| Şekil 4.104. Sulub0dk B tarama görüntüleri | 95 |
| Şekil 4.105. Sulub0dk tersi B tarama görüntüleri | 95 |
| Şekil 4.106. Sulub5dk B tarama görüntüleri | 96 |
| Şekil 4.107. Sulub5dk tersi B tarama görüntüleri | 96 |
| Şekil 4.108. Sulub10dk B tarama görüntüleri | 97 |

| | |
|---|-----|
| Şekil 4.109. Sulub10dk tersi B tarama görüntüleri..... | 97 |
| Şekil 4.110. Sulub15dk B tarama görüntüleri | 98 |
| Şekil 4.111. Sulub15dk tersi B tarama görüntüleri..... | 98 |
| Şekil 4.112. Laboratuvar ortamı A tarama deneyleri deney geometrisi | 100 |
| Şekil 4.113. A tarama laboratuvar 1. deneyin görüntüleri | 100 |
| Şekil 4.114. A tarama laboratuvar 2. deneyin görüntüleri | 101 |
| Şekil 4.115. A tarama laboratuvar 3. deneyin görüntüleri | 101 |
| Şekil 4.116. A tarama laboratuvar 4. deneyin görüntüleri | 102 |
| Şekil 4.117. A tarama laboratuvar 5. deneyin görüntüleri | 102 |
| Şekil 4.118. A tarama laboratuvar 6. deneyin görüntüleri | 102 |
| Şekil 4.119. A tarama laboratuvar 7. deneyin görüntüleri | 103 |
| Şekil 4.120. A tarama laboratuvar 8. deneyin görüntüleri | 103 |
| Şekil 4.121. A tarama laboratuvar 9. deneyin görüntüleri | 104 |
| Şekil 4.122. A tarama laboratuvar 10. deneyin görüntüleri | 104 |
| Şekil 4.123. A tarama laboratuvar 11. deneyin görüntüleri | 104 |
| Şekil 4.124. A tarama laboratuvar 12. deneyin görüntüleri | 105 |
| Şekil 4.125. A tarama laboratuvar 13. deneyin görüntüleri | 105 |
| Şekil 4.126. Arazi A tarama deneyleri deney geometrisi..... | 106 |
| Şekil 4.127. A tarama arazi 1. deneyin görüntüleri | 107 |
| Şekil 4.128. A tarama arazi 2. deneyin görüntüleri | 107 |
| Şekil 4.129. A tarama arazi 3. deneyin görüntüleri | 108 |

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

- YNR : Yere Nüfuz Eden Radar.
- GPR : Ground Penetrating Radar.
- ϵ : Elektriksel geçirgenlik (dielektrik sabiti).
- ϵ^* : Kompleks Elektriksel geçirgenlik (Kompleks dielektrik sabiti).
- ϵ' : Kompleks Elektriksel geçirgenliğin reel kısmı.
- ϵ'' : Kompleks Elektriksel geçirgenliğin sanal kısmı.
- ϵ_0 : Havanın (boşluğun) dielektrik sabiti.
- ϵ_r : Ortamın bağıl dielektrik sabiti.
- \vec{E} : Elektrik alan vektörü.
- \vec{B} : Manyetik akı yoğunluğu vektörü.
- \vec{H} : Manyetik alan şiddeti vektörü.
- \vec{D} : Elektrik akı yoğunluğu vektörü.
- \vec{J} : Akım yoğunluğu vektörü.
- ρ : Elektrik yük yoğunluğu.
- μ : Elektrikte manyetik geçirgenliği, istatistikte ortalamayı belirtmektedir.
- σ : Elektrikte ortamın iletkenliğini, istatistikte standart sapmayı belirtmektedir.
- μ_r : Bağıl manyetik geçirgenlik.
- μ_0 : Havanın (boşluğun) manyetik geçirgenliği.
- v : Elektromanyetik dalganın hızı.
- c : Işık hızı.
- k : Dalga numarası.
- λ : Dalga boyu.
- α : zayıflama faktörü.
- β : faz katsayısı.
- IFT : Inverse Fourier Transform.
- $\delta(\cdot)$: Birim darbe fonksiyonu.
- λ_i : i. özdeğer.
- σ_i : i. özdeğerin karekökü.
- SVD : Singular Value Decomposition (Tekil Değer Ayırıştırması).

- ICA : Independent Component Analysis (Bağımsız Değişkenler Analizi).
1B : Bir boyut.
2B : İki boyut
3B : Üç boyut.
pdf : Probability Density Function (Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu)
OYF : Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu

1. GİRİŞ

Tatlı su insanların ve ekosistemlerin varlığı için mutlaka gerekli olan tükenebilir bir kaynaktır. Halihazırda 800 milyon insan güvenli içme suyu kaynaklarından ve 2,5 milyar insan ise yeterli sanitasyondan yoksundur [1]. Dünyadaki su rezervleri gittikçe azalmakta ve insanlığın başlıca sorunlarından biri haline gelmektedir. Az olan bu kaynağın akıllıca değerlendirilmesi büyük önem arz etmektedir. Ülkemizdeki içme suyu dağıtım sistemlerinde kayıp oranı %45 civarındadır [2] ve doğal kaynaklardan elde edilen suların önemli oranı tüketiciye ulaşmadan tekrar yeraltına kaçmaktadır. Ülkemizde son iki yıldır su sıkıntısı önemli bir sorun haline gelmiştir. Özellikle İstanbul ve Ankara gibi büyük kentlerimizde barajlarda su seviyesi yıllar geçtikçe azalmakta ve bu sıkıntılar tüketiciye su kesintisi olarak yansımaktadır. Su yetersizliği problemini hafifletmenin en etkili yöntemlerinden biri tasarruf etme ve ayrıca dağıtım sistemindeki kaçakların belirlenerek hızla tamir edilmesidir.

Bu tez çalışmasında Yere Nüfuz Eden Radar, YNR (Ground Penetrating Radar, GPR) teknolojileri kullanılarak yüzey altı borularındaki sıvı kaçaklarının belirlenmesi ve görüntülenmesi amaçlanmıştır. YNR, özellikle yüksek frekanslarda kullanıldığında, yüzey altında gömülü nesnelere yüksek çözünürlükle görüntülenebilmesini sağlayan önemli bir elektromanyetik tekniktir [3–11]. Mersin Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği bölümü bünyesinde TÜBİTAK'ın katkılarıyla kurulmuş olan YNR deney düzeneği bulunmaktadır [10]. Bu tezde yüzey altındaki sıvı kaçaklarının belirlenmesi ve görüntülenmesine yönelik çalışmalar için YNR deney düzeneğinden de yararlanılmıştır.

Bu çalışmanın sonunda, YNR görüntüleme algoritmalarının yüzey altı sıvı kaçaklarının tespitine uygunluğu belirlenmiş ve YNR Teknolojileri kullanılarak yüzey altı borularındaki sıvı kaçaklarının tespiti ve görüntülenmesi sağlanmıştır. Literatürde YNR algoritmaları uygulanarak borulardaki su kaçaklarının tespitine yönelik az sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmada, değişik frekans bantları (800 MHz – 5 GHz, 3 GHz – 5 GHz ve 4.5 GHz – 8.5 GHz) kullanılarak, su kaçaklarının

değişik frekanslara tepkisi de araştırılmıştır. Söz konusu frekans bantlarında sıvı kaçağlarının 2 – B YNR görüntüleri, daha önce geliştirilen YNR odaklama algoritmalarıyla gerçekleştirilmiştir [11].

Bu tezde ilk olarak YNR görüntüleme algoritması gözden geçirilmiş ve yüzey altı sıvı kaçağlarının belirlenmesine uygunluğu araştırılmıştır. Daha sonra saha ölçümlerine geçilmiş ve toprak altı borulardaki su kaçağı deneyleri yapılmıştır. Bunun için deney düzeneği oluşturulmuştur. Deneyler hem laboratuvar ortamında, hem de Mersin Üniversitesi Çiftlikköy Yerleşkesinde arazide yapılmıştır. Bu yüzden her iki durum için ayrı ayrı deney düzenekleri oluşturulmuştur. Laboratuvar ortamında yapılan deneyde önceden hazırlanmış, tahtadan imal edilen kum havuzu kullanılmıştır. Sıvı kaçağını sağlamak için delinen çeşitli boyutlardaki plastik borular kum havuzuna gömülmüştür. Bu plastik boruların YNR B-tarama verileri borunun içinde su olmadan ve değişik zamanlarda, değişik miktarlarda su konularak hem monostatik hem de bistatik durumlar için Agilent 5071B tipi network analizör ve bilgisayar yardımıyla toplanmıştır. Daha sonra sinyal işleme teknikleriyle bu veriler işlenerek borulardaki sıvı kaçağının 2- B YNR görüntüleri sayesinde, söz konusu kaçağın yeri ve büyüklüğü tespit edilmeye çalışılmıştır. Aynı çalışmalar, borular Mersin Üniversitesi Çiftlikköy Yerleşkesinin değişik yerlerine gömülerek tekrar edilmiştir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. SU KAÇAKLARININ TESPİTİ İÇİN KULLANILAN YÖNTEMLER

Su kaçaklarının ve kaçak yerlerinin belirlenmesi için günümüzde çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemler Eyuboglu ve ark. [12] göre Bose ve Olson (1993), Carlson (1993) ve Turner (1991) tarafından sınıflandırılmıştır. Uygulanan tekniklerin farklılığına göre yapılan bu sınıflandırma aşağıdaki gibi verilebilir:

Biyolojik metodlar [12–13]: Bu metodlar en eski metodlardandır ve deneyimli personel veya eğitimli köpekler tarafından görsel yoklama, ses veya koku yardımıyla kaçakların belirlenmesini içerir.

Donanım temelli metodlar [14-27]: Ses (akustik) sensörleri, gaz detektörleri v.b. donanım temelli cihazlar yardımıyla kaçağın tespit edilmesidir. Kaçak tespitinde en yaygın kullanılan yöntem akustik cihazların kullanıldığı yöntemdir.

Yazılım temelli metodlar [28-32]: Değişik bilgisayar yazılım paketleri kullanılarak kaçağın tespit edilmesidir (Akış/basınç değişimi tespiti, basınç nokta analizi v.b.).

Yüzey altı borularındaki sıvı kaçaklarının tespiti için kullanılan yöntemlerden bazıları aşağıda sıralanmıştır:

Akustik Sızıntı Analizi [14-21]: Su dağıtım sistemi sistematik olarak bir akustik cihaz ile sızıntılar için kontrol edilebilir. Bu cihaz basınç altında hızla borudan sızan suyun ürettiği ses ya da titreşimi yakalar. Borudan geçen su sızıntı bölgesinde 500-800 Hz. aralığında bir sese neden olur. Sızıntı bölgesinde hızla toprağa çarpan su farklı bir sese neden olur (normalde 20-30 Hz aralığında) 3. bir ses (20-300 Hz. aralığında) sızıntının hemen yanında kalan suyun içinde sızan suyun hareketinden oluşur. Birinci ses boru boyunca çok uzağa iletilebilir. Böylece

başlangıç kaba araştırmaların yapılmasında önemli hale gelir. Diğer iki ses sızıntısının tam olduğu bölgeyle sınırlıdır ve sızıntı yerinin tam tespitinde önemli rol oynarlar. Akustik metod ve cihazların verimliliği metal borularda başarıyla gösterilmiştir. Fakat plastik boruların ses karakteristikleri metal borular gibi olmadığından plastik borularda pek etkili değillerdir.

İzleyici Gaz Metodları [22-23]: Bu metod, zehirsiz, suda çözünmeyen ve havadan hafif gazların su dağıtım sistemine konulmasından oluşur. Bu gazlar sızıntı yerlerinden dışarı çıkarlar. Havadan hafif olmaları sayesinde toprağın ve kaldırımın içinden geçerek yüzeye ulaşırlar. Yüksek hassasiyetteki gaz detektörleri sızıntının yerini bulmakta kullanılırlar.

Kızılötesi Termograf [24]: Yüksek çözünürlüklü sıcaklık ölçümleri sızıntı tespitinde kullanılabilir. Termografi kullanılmasının ardındaki gerekçe; bir borudaki su sızıntısının hemen yanındaki toprağın termal karakteristiğini değiştirmesidir. Kızılötesi tarayıcılar boru hatları üzerindeki topraktaki anormallikleri tespit ederler. Bu anormallikler sızıntının işareti olabilir.

Uzaktan Algılama Teknolojileri (UAT) [25-26]: Bu teknolojide, boru duvarından geçen elektromanyetik sinyaldeki faz gecikmesi ve zayıflama algılanarak boru kalınlığı ölçülür ve boru duvarındaki bozulmalar tespit edilir. Detektörden gelen sinyal tipik olarak çok küçük olduğu için çok hassas elektronik cihazlar gerektirir. UAT sadece Demir bazlı borularda kullanılabilir.

Nem ve Yoğunluk Probları Metodu [27]: toprak yoğunluğu ve nemi ölçülerek sızıntı araştırılmasında nem ve yoğunluk problemleri kullanılırlar. Bu sayede sızıntı yerleri tespit edilebilir.

Akış ve Basınç Değişimi Metodu [28]: Bu teknik sızıntının meydana geldiğini gösteren, giriş veya çıkıştaki akış ya da basınç değişim oranının yüksekliğine dayanır. Eğer akış ya da basınç değişim oranı önceden özel periyotlarda tanımlanandan daha yüksek ise sızıntı oluşmuş demektir.

Kütle-Hacim Denge Metodu [29-30]: Akıntıya karşı ve akıntı yönündeki akış ölçüm farkı oluşturulmuş olan toleranstan fazla değişirse sızıntı var demektir. Bu metod basınç veya akıştaki yüksek değişim oranına gerek duymaz. Bu metod kütle ve hacim dengesinin oluşturduğu akış farkına dayanır.

Yere Nüfuz Eden Radar (YNR) Metodu: Son yıllarda, YNR Teknolojileri kullanılarak yüzey altı borularındaki sıvı kaçağlarının belirlenmesi ve görüntülenmesi için önemli araştırmalar yürütülmektedir [4-5,12].

2.2. DİELEKTRİK MALZEMELER VE DİELEKTRİK SABİTİ

Eğer bir malzeme, dışardan bir elektrik alan uygulandığı zaman enerji depolama yeteneğine sahipse bu malzemeler “dielektrik” özelliğe sahiptir. Dielektrik malzemeler, içindeki yüklü parçacıkların onu oluşturan atomlara ve moleküllere çok sıkı bağlı olan, elektrik akımını oluşturabilecek serbest yük taşıyıcıları olmayan materyallerdir. Genel olarak şiddetli elektrik alanı etkisi altında dielektrik malzeme içerisinde belirli bir kutuplanma gözlenebilir. Dielektrik bir ortamı oluşturan yapılar; moleküller, atomik çekirdekler ve elektronlardır. Bu yüklü parçacıklar bir dış elektrik alan etkisi altında kaldıklarında denge konumlarından bir miktar ayrılırlar fakat bu parçacıklar birbirinden tamamen kopup bağımsız olarak hareket etmezler. Elektrik alan, dielektrik malzemeyi bu şekilde bir miktar kutuplar; pozitif ve negatif yükler, elektrik alanın yönüne göre birbirlerine zıt yönde hareket ederler ve materyal kutuplanmış olur. Kutuplanma, dış elektrik alan şiddetinin malzeme içinde yayılmasına neden olur. Bir dış elektrik alan etkisiyle kutuplanmaya zorlanan yükler, elektrik alanın kaldırılması durumunda zamanla eski denge konumlarına geri dönerler. Buna dielektrik durulma denir ve bu durulma esnasında materyal içinde çok az miktarda elektrik akımı meydana gelir. Tipik bir dielektrikte iletkenlik iyi bir iletkenle çok küçüktür ve bu nedenle dielektriklerde iletkenlik ihmal edilebilir.

Dielektrik sabiti (permitivite ya da elektriksel geçirgenlik), bir malzemenin elektriksel açıdan ne kadar yalıtkan olduğunun bir derecesidir ve ϵ ile gösterilir. Dielektrik sabiti bir alanın etkisi altında dış elektrik bölgede ne kadar enerji

saklandığını ve malzeme içerisinde ne kadar enerji kaybolduğunu gösterir. Sabit bir potansiyel altında yüklenen bir kondansatörün levhaları arasına bir dielektrik madde yerleştirildiğinde potansiyel farkı düşer. Çünkü dielektrik maddenin kutuplanması sonucunda oluşan kutuplanma alanı, dış alana zıt yönde olduğu için onu zayıflatır. Boşluktaki kondansatör alanının dielektrik ortamdaki ölçülen iç alana oranı veya boşluktaki potansiyel farkının maddesel ortamın bulunduğu haldeki potansiyel farkına oranı o maddenin dielektrik sabiti olarak adlandırılır [33].

Kayıplı ortamlar için genellikle $\epsilon^* = \epsilon' - j\epsilon''$ ile gösterilen kompleks dielektrik sabiti kullanılır. Burada, ϵ' dielektrik sabit ve ϵ'' ise kayıp faktörüdür. ϵ' elektrik alan enerjisini depolayabilmenin bir ölçüsüdür ve statik dielektrikle ilgilidir. ϵ'' ise Hertz başına materyaldeki enerji kaybını tanımlar ve ortamın iletkenliği ile elektromanyetik dalganın frekansına bağlıdır [3].

2.3. ELEKTROMANYETİK DALGALAR VE YAYILIMI

Elektrik ve manyetizma bir çok bilim adamının katkılarıyla belirli bir yere gelmiştir. Halen kullanılan model James Clerk Maxwell tarafından kurulmuştur. Maxwell denklemleri adı verilen denklemler ile EM alan teorisinde tüm olgular ifade edilebilmektedir. Bu denklemler aşağıda gösterilmiştir [11].

$$\nabla \times \vec{E}(\vec{r}, t) = -\frac{\partial \vec{B}(\vec{r}, t)}{\partial t} \quad (2.1)$$

$$\nabla \times \vec{H}(\vec{r}, t) = \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}(\vec{r}, t)}{\partial t} \quad (2.2)$$

$$\nabla \cdot \vec{D} = \rho \quad (2.3)$$

$$\nabla \cdot \vec{H} = 0 \quad (2.4)$$

Burada \vec{E} elektrik alan vektörünü, \vec{B} manyetik akı yoğunluğu vektörünü, \vec{H} manyetik alan şiddeti vektörünü, \vec{D} elektrik akı yoğunluğu vektörünü, \vec{J} akım

yoğunluğu vektörünü ve ρ elektrik yük yoğunluğunu göstermektedir. Ayrıca Dış alanlar ile kutuplanma (\vec{P}) ve magnetizasyon (\vec{M}) vektörlerinin doğrusal olduğu bir ortamda aşağıdaki denklemler yazılabilir[11]:

$$\vec{D} = \epsilon \vec{E} \quad (2.5)$$

$$\vec{B} = \mu \vec{H} \quad (2.6)$$

$$\vec{J} = \sigma \vec{E} \quad (2.7)$$

Burada ϵ dielektrik sabiti (elektriksel geçirgenlik), μ manyetik geçirgenlik, σ ortamın iletkenliğini göstermektedir. Herhangi bir ortam elektriksel olarak ϵ, μ ve σ parametreleri ile belirlidir. Boşluğun (hava da boşluk olarak kabul edilir.) parametreleri ($\epsilon_0 = 8.84 \times 10^{-12} [F/m]$, $\mu_0 = 1.26 \times 10^{-6} [H/m]$ ve $\sigma = 0$) genelde referans olarak kullanılır.

ϵ_r bağıl elektriksel geçirgenliktir, ϵ/ϵ_0 olarak tanımlanır ve çoğu jeolojik malzemeler için değeri 1-80 arasındadır [3]. μ_r ise bağıl manyetik geçirgenliktir, μ/μ_0 olarak tanımlanır ve manyetik olmayan malzemeler için değeri 1'dir [3].

Elektromanyetik dalga yayılımı bir boyutlu dalga denklemi olarak aşağıdaki biçimde gösterilebilir [3].

$$\frac{\partial^2 E}{\partial Z^2} = \mu \epsilon \frac{\partial^2 E}{\partial t^2} \quad (2.8)$$

Burada yayılma hızı $+z$ eksenini boyuncadır ve \vec{E} elektrik alanı ile \vec{H} manyetik alanı birbirine diktir. Elektromanyetik dalgaların yayılım hızı aşağıdaki formülle verilir [3].

$$v = \frac{1}{\sqrt{\mu \epsilon}} [m/s] \quad (2.9)$$

Işığın boş uzayda hızı denklem 2.10 ile verilir [3].

$$c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} \text{ [m/s]} \quad (2.10)$$

Elektromanyetik dalgaların hızı manyetik olmayan (non-magnetic, $\mu_r = 1$) ve kayıpsız ($\sigma / \omega \epsilon = 0$) ortamlarda, 2.9 ve 2.10 fomülleri kullanılarak aşağıdaki şekilde elde edilebilir.

$$v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}} \text{ [m/ns]} \quad (2.11)$$

$$v = \frac{0.3}{\sqrt{\epsilon_r}} \text{ [m/ns]} \quad (2.12)$$

Burada c ışık hızını göstermekte olup değeri yaklaşık 0.3 [m/ns] dir. Elektromanyetik dalganın kat ettiği mesafe aşağıdaki formülle bulunur [12].

$$x = v \cdot t \quad (2.13)$$

Burada x alınan mesafeyi, t zamanı, v elektromanyetik dalganın hızını göstermektedir. Mükemmel dielektriklerde $+z$ doğrultusunda bir dalga yayılımı aşağıdaki denklemle gösterilir [3].

$$E(z) = E_0 e^{-jkz} \quad (2.14)$$

Burada k birim uzunluk başına fazdaki değişimi tanımlar, dalga numarası adını alır ve aşağıdaki formülle değeri hesaplanır [3].

$$k = \omega \sqrt{\mu \epsilon} \quad (2.15)$$

veya

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} \quad (2.16)$$

Burada λ dalga boyunu belirtmektedir. Doğal ortam boyunca hareket eden elektromanyetik dalgalarda ortam kayıplıdır. Bu elektromanyetik dalganın zayıflamasına neden olur. Bu durumda $+z$ doğrultusunda bir elektromanyetik dalganın yayılımı aşağıdaki gibi gösterilir [3].

$$E(z,t) = E_0 e^{-\alpha z} e^{j(\omega t - \beta z)} \quad (2.17)$$

Burada ilk ekponansiyel terim zayıflamayı ikincisi ise yayılımı göstermektedir. α zayıflama faktörü ve β faz katsayısı adını alır. α ve β parametreleri iletkenlik, dielektrik ve frekansa bağlıdır ve aşağıdaki formüllerle verilirler [3].

$$\alpha = w \left[\frac{\mu \epsilon'}{2} \left(\sqrt{1 + \left(\frac{\epsilon''}{\epsilon'} \right)^2} - 1 \right) \right]^{1/2} \quad (2.18)$$

$$\beta = w \left[\frac{\mu \epsilon'}{2} \left(\sqrt{1 + \left(\frac{\epsilon''}{\epsilon'} \right)^2} + 1 \right) \right]^{1/2} \quad (2.19)$$

Genellikle zayıflama ve bağıl elektriksel geçirgenlik ıslak malzemelerde kurulardan daha büyük değerdedir. Daniels'e göre [3] bazı malzemelerin 100 MHz de zayıflama ve bağıl elektriksel geçirgenlikleri çizelge 2.1'de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Islak Ve Kuru Bazı Malzemelerde 100 MHz'de Zayıflama ve Bağıl Dielektrik Katsayısı değerleri

| Malzeme | Zayıflama (db/m) | Bağıl dielektrik katsayısı |
|---|------------------|----------------------------|
| Kuru kum | 0.1-2 | 4-6 |
| Islak kum | 1-5 | 15-30 |
| Kuru kum, killi ve organik maddeler içeren toprak | 0.5-3 | 4-6 |

Çizelge 2.1. (Devam) Islak Ve Kuru Bazı Malzemelerde 100 MHz'de Zayıflama ve Bağıl Dielektrik Katsayısı değerleri

| Malzeme | Zayıflama (db/m) | Bağıl dielektrik katsayısı |
|--|------------------|----------------------------|
| Islak kum, killi ve organik maddeler içeren toprak | 1-6 | 10-20 |
| Kuru killi toprak | 0.3-3 | 4-6 |
| Islak killi toprak | 5-30 | 10-15 |
| Kuru kumtaşı | 2-10 | 2-3 |
| Islak kumtaşı | 10-20 | 5-10 |
| Kuru kireçtaşı | 0.5-10 | 7 |
| Islak kireçtaşı | 10-25 | 8 |

2.4. ELEKTROMANYETİK DALGALARIN SAÇILMASI

Eğer elektromanyetik dalga malzemenin içinde bulunan farklı dielektrik sabitine sahip bir nesneye çarparsa dalganın bir kısmının doğrultusu değişir bu olaya saçılma (scattering) denir.

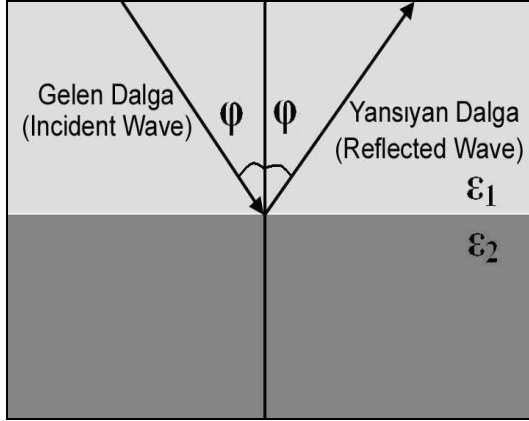
Nesne ve içinde bulunduğu malzeme arasındaki ara yüzdeki saçılmanın dört tipi vardır [3].

1. Yansıma saçılması (reflection scattering): Bir düzleme belli bir açıyla gelen bir elektromanyetik dalga düzlemlerle aynı açıya sahip olarak yansımasıdır.

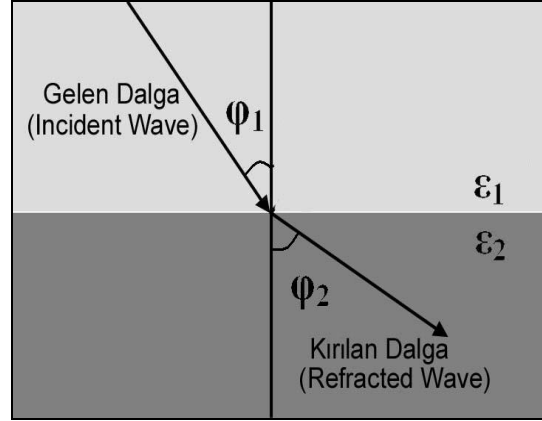
2. Kırılma saçılması (diffraction scattering): Bir düzleme belli bir açıyla gelen bir elektromanyetik dalga her iki ortamın parametrelerine bağlı olarak değişen bir açıyla ikinci ortama geçmesidir.

3. Kırınım saçılması (refraction scattering): Ortamlardaki süreksizliklerin ayrıntılarından (kenar, köşe gibi) değişik yönlere saçılmaları kapsar.

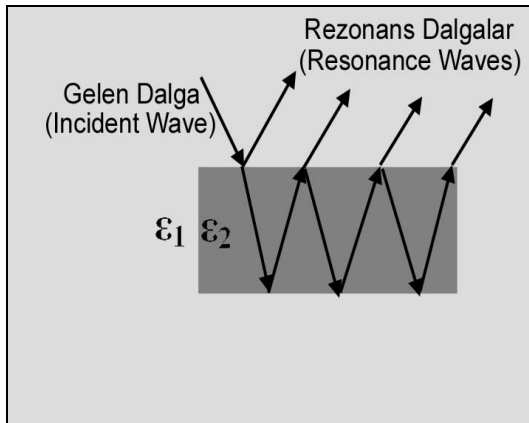
4. Rezonans saçılması (resonance scattering): Bir dalga kapalı bir nesneye (silindir veya küre gibi) çarparsa oluşur ve nesnenin sınırının farklı noktaları arasında salınım yapar. Dalga sınıra her çarptığında enerjinin bir kısmı geri geldiği malzemeye kırılır ve bir kısmı nesne içine geri yansır.



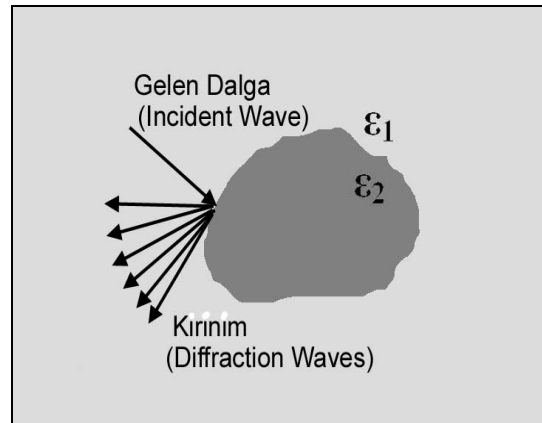
Şekil 2.1. Yansıma saçılması



Şekil 2.2. Kırılma saçılması



Şekil 2.3. Rezonans saçılması

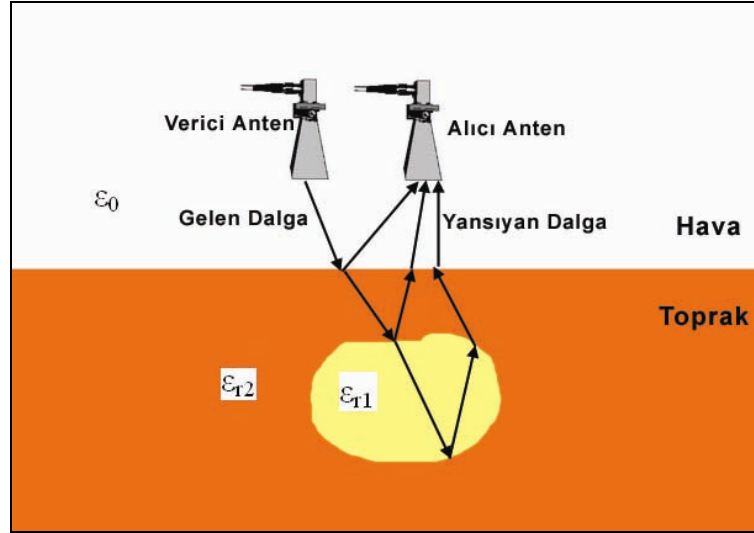


Şekil 2.4. Kırınım saçılması

2.5. YERE NÜFUZ EDEN RADAR

Yere Nüfuz Eden Radar (YNER) (Ground Penetrating Radar, GPR), temel olarak yüzey altı nesnelere algılamada ve görüntüleme için kullanılan önemli bir uzaktan algılama teknolojisi olarak açıklanabilir [3,10-11]. YNER elektromanyetik dalgaların gömülü nesnelere saçılması prensibini kullanır. Verici antenden yayılan elektromanyetik dalga, malzemenin dielektrik sabitiyle hesaplanan bir hızla

malzemenin içinden geçer. Dalga ortam tarafından çevrelenen elektriksel özellikleri farklı bir nesneye çarpına kadar aşağıya doğru ilerler. Nesneye çarpan dalganın bir kısmı kırılarak yoluna devam ederken bir kısmı yansır. Yansıyan dalga alıcı anten tarafından tespit edilir ve daha sonra sinyal işleme tekniklerini kullanabilmek için kayıt edilir. Şekil 2.5'te bu anlatılanlar gösterilmiştir.



Şekil 2.5. Elektromanyetik dalgaların farklı elektriksel özellikteki nesnelere saçılması

Dalganın gidiş geliş süresi, daha derindeki nesnelere daha sığdaki nesnelere göre daha fazladır. Bu nedenle EM dalgaların gidiş geliş süreleri gömülü nesnenin derinliğini belirlemede kullanılabilir. Eğer verici ve alıcı anten aynı antene (yani EM dalgayı hem göndermek hem de almak için aynı anten kullanılıyorsa) bu anten sistemine monostatik (monostatic) sistem denir. Eğer verici ve alıcı antenler farklı ise bu anten sistemine bistatik (bistatic) sistem denir.

2.5.1. YNR Görüntüleme Teknikleri

YNR görüntüleme teknikleri, tarama tipine göre genel olarak üç ayrı kategoride ele alınabilir [3,10-11].

- A – tarama (A – scan)
- B – tarama (B – scan)

- C – tarama (C – scan)

2.5.1.1 A – Tarama (A – scan)

A - tarama; radarın tek bir zaman palsı göndermesi ve yansıyan EM dalganın kaydedilmesiyle elde edilir. Diğer bir yöntem ise; frekans alanında çoklu frekans verisinin toplanması ve bu verinin Ters Fourier Dönüşümü (Inverse Fourier Transform - IFT)'nün alınarak “menzil profili”nin elde edilmesidir. Vericiden “ d ” mesafe uzaktaki noktasal bir hedeften yansıyan EM dalga için saçılan elektrik alan aşağıdaki gibi ifade edilebilir [10-11].

$$E(f) = A.e^{-j2kd} \quad (2.20)$$

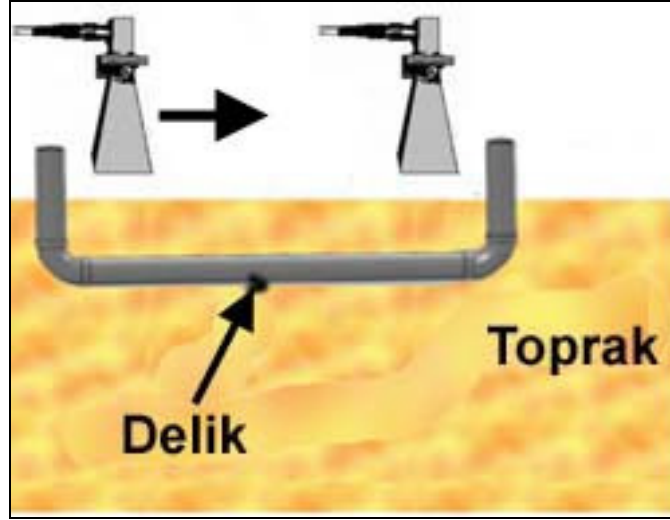
Burada f , frekansı; A , saçılan elektrik alanın karmaşık büyüklüğünü; k ise dalga numarasını vermektedir. Fazdaki ‘2’ sayısı, dalganın antenden hedefe ulaşması ve hedeften yansıtılarak geri gelmesinden dolayı oluşan çift-yönlü yayılım mekanizmasını temsil etmektedir. Saçılan elektrik alanın frekans ekseninde ($2k$)’ya göre ters Fourier dönüşümü (Inverse Fourier Transform – IFT) alındığında, saçıcının konum bilgisi aşağıdaki gibi elde edilebilir:

$$\begin{aligned} E(z) &= IFT\{E(f)\} \\ &= A.IFT\{e^{-j2kd}\} \\ &= A.\delta(z-d) \end{aligned} \quad (2.21)$$

Burada $\delta(\cdot)$, birim darbe fonksiyonudur (impulse function). Dolayısıyla bu ifade, “ d ” uzaklıktaki noktasal saçıcının konum bilgisini vermektedir. Elde edilen bu veri, menzil profili olarak da adlandırılmaktadır. Yukarıdaki sonuç, frekans verisinin tüm frekans bandında toplanmasıyla elde edilecektir. Ancak, pratikte söz konusu geri saçılma verisi ancak sınırlı bir bant genişliğinde toplanabileceğinden Fourier kuramına göre yukarıdaki birim darbe fonksiyonu, z_0 etrafında sinc (sinus cardinalis) fonksiyonuna dönüşecektir.

2.5.1.2. B – Tarama (B – scan)

B–tarama YNR verisi, A–tarama verilerinin belirli bir eksen boyunca yanyana konulmasıyla elde edilir. Bu şekilde bir doğru boyunca geri saçılma verileri toplanır. B–tarama işlevini açıklayan geometri Şekil 2.6’da gösterilmektedir.



Şekil 2.6. B tarama geometrisi

2.5.1.3. C – Tarama (C – scan)

C–tarama YNR işlevi kısaca, A–tarama işlevinin 2B yüzey üzerinde elde edilmesi olarak açıklanabilir. Diğer bir deyişle, birçok B–tarama verisinin yan yana konularak 3B bir tarama işleminin gerçekleştirilmesidir.

2.6. YNR GÖRÜNTÜLERİNDEKİ İSTENMEYEN YANKILAR

Kargaşa olarak da adlandırılan istenmeyen yankılar (Clutter) hedef nesnelere kaynaklanan asıl geri saçılma ile doğrudan ilintili olmayan tüm sinyal bileşenleri olarak tanımlanır [10-11]. Kargaşa birçok yansılardan kaynaklanmakla birlikte, üç başlık altında toplanabilir:

- Ölçüm gürültüsü ile anten gürültüsünün oluşturduğu gürültüler.
- Toprak yüzeyi yansıması.

- Yüzey altındaki hedef harici nesnelere kaynaklanan tüm yansımalar.

Yeraltında gömülü nesnelere algılanması sırasında karşılaşılan temel zorluklardan biri, hedeflere ait geri saçılma sinyallerinin ölçüm sinyalinden nasıl çıkarılacağıdır (istenmeyen yankıların ölçüm sinyalinden çıkarılarak hedeflere ait sinyallerin elde edilmesi). Hedeflerin etkili ve doğru olarak algılanabilmeleri için önşlem olarak bu kargaşaların YNR görüntülerinden mümkün olduğu kadar giderilmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada istenmeyen yankıların giderilmesi için istatistiksel metodlardan Basit Ortalama Çıkarımı (Simple Mean Extraction), Tekil Değer Ayrıştırması (Singular Value Decomposition) ve Bağımsız Bileşenler Analizi (Independent Component Analysis) yöntemleri kullanılmıştır. Aşağıda bu yöntemler anlatılmıştır.

2.7. KARGAŞALARI GİDERMEDE KULLANILAN TEKNİKLER

Bu kısımda kargaşaları gidermek için tezde kullanılan yöntemler anlatılmıştır.

2.7.1. Basit Ortalama Çıkarımı [3,10]

YNR verisinden kargaşaları gidermede basit bir metod, ölçüm verisinden, kargaşa verisinin ortalama değerini çıkarmaktır. Bu, toprak yüzeyi yansıması problemini gidermede en klasik ve yaygın olarak kullanılan bir metottur. Çeşitli türleri vardır. Bunlardan biri A-taramaların ortalaması çıkarımıdır.

2.7.1.1. A-taramaların ortalaması çıkarımı

Çeşitli sayıdaki A-tarama vektörlerinin ortalaması hesaplanır ve bu ortalama orijinal YNR görüntüsündeki her bir A-tarama verisinden çıkarılır. Matematiksel olarak ifadesi şu şekildedir:

$$\bar{A}_i(t) = A_i(t) - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N A_i(t) \quad (2.22)$$

Burada, $A_i(t)$ her bir i konumunda ölçülen A-tarama zaman-sinyallerini göstermektedir.

2.7.2. Tekil Değer Ayırıştırması (Singular Value Decomposition)[10,34].

Kargaşaların azaltılması için verinin sinyal ve gürültü yarı-uzaylarına ayrıştırıldığı bir alt-uzay (subspace) tekniği kullanılabilir. Toprak Yüzeyi yansımından sinyal bileşenlerini çıkarmak için öz değer ayrıştırması (SVD) metodu kullanılan yöntemlerden biridir. Yöntemin esası matrisin özdeğer ve özvektörlerine parçalanarak analiz edilmesine dayanır. Bir B tarama görüntü matrisi X_{ij} ile gösterilsin. Bu matrisin boyutları $M \times N$ olsun. ($i = 1, 2, \dots, M$; $j = 1, 2, \dots, N$). Burada i zaman indeksini, j anten pozisyon indeksini gösterir. $M \geq N$ olduğunu kabul edelim. Bu durumda matrisin rankı $r \leq N$ olur. X matrisinin tekil değer ayrıştırması aşağıdaki şekilde verilir:

$$X = U \cdot S \cdot V^T \quad (2.23)$$

Burada $\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_r \geq 0$ olmak üzere $S = \text{diag}(\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_r)$, U bir $M \times M$ boyutlarında matris ve V bir $N \times N$ boyutlarında matristir. U ve V matrislerinin sütunları sırasıyla sol ve sağ tekil (singular) vektörler olarak adlandırılır. Bu matrisler aşağıda belirtilen şekilde oluşturulur:

- $X^T X$ matrisinin özdeğerleri bulunur ve büyükten küçüğe doğru sıralanır.
- Elde edilen özdeğerlere karşılık gelen ortonormal özvektörler bulunur ve özdeğerlerle aynı sırada olacak şekilde sütunlara bu vektörler yerleştirilerek öz vektörler matrisi olan $N \times N$ boyutlu V matrisi elde edilir.
- $X^T X$ Matrisinden elde edilen ve büyükten küçüğe doğru sıralanan öz değerlerinin her birisinin karekökleri alınarak ($\sigma_i = \sqrt{\lambda_i}$) $M \times N$

boyutlu S köşegen matrisi oluşturulur (σ_1 en büyük özdeğerden elde edilir ve köşegendeki elemanlar büyüklüklerine göre sıraya dizilirler).

- U matrisinin sütunları (V matrisine benzer şekilde) XX^T matrisinin özdeğerleri bulunarak bunlara karşılık gelen ve normalize özvektörleri sütunlara yerleştirilerek elde edilir.

XX^T ve $X^T X$ matrislerinin her ikisi kare ve simetrik olduklarından özdeğerleri reel ve pozitifdir. Bu nedenle özvektörleri ortanormaldir.

$$UU^T = U^T U = I_M \quad (2.24)$$

$$VV^T = V^T V = I_N \quad (2.25)$$

Burada I_M ve I_N birim matrislerdir. S matrisi $M \times N$ boyutlu köşegen matristir. S matrisinin köşegen elemanları tekil değerler olarak isimlendirilir (singular values).

$$S = \text{diag}(S_1, S_2, \dots, S_N)$$

$$S_k > 0, \quad 1 \leq k \leq r \quad \text{için}$$

$$S_k = 0, \quad (r+1) \leq k \leq N \quad \text{için} \quad (2.26)$$

S matrisi iki alt matrisin birleşimi olarak gösterilebilir.

$$S = \begin{pmatrix} Z \\ 0 \end{pmatrix} \quad (2.27)$$

Burada Z $N \times N$ boyutunda köşegen matris ve 0 $(M - N) \times N$ boyutunda sıfır matrisidir. Z matrisinin ilk r köşegen elemanları tekil (singular) değerlerdir. Yani XX^T ve $X^T X$ matrislerinin özdeğerlerinin kareköküdür. $(r+1)$ 'den N 'ye kadar Z matrisinin köşegen elemanları sıfırdır. Temel denklemler aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$X = \sum_{i=1}^N \sigma_i U_i V_i^T \quad (2.28)$$

veya

$$X = M_1 + M_2 + \dots + M_N \quad (2.29)$$

Burada M_i matrisleri X matrisiyle aynı boyutludur ve X matrisinin modları olarak isimlendirilir. Bir B tarama görüntüsünün matrisi olan X_{ij} matrisine Tekil Değer Ayırıştırması metodu uygulayarak hedeften yansıyan sinyal ile kargaşaları ayırmaya çalışalım. (X_{ij} matrisin boyutları $M \times N$ idi ($i = 1, 2, \dots, M$; $j = 1, 2, \dots, N$) ve i zaman indeksini, j anten pozisyon indeksini gösteriyordu). Verimizi (X matrisini) hedef sinyali ve kargaşa olmak üzere iki sinyalin toplamı şeklinde gösterebiliriz.

$$X = R + N \quad (2.30)$$

Burada R hedef sinyali, N ise kargaşa sinyalini göstermektedir. Bizim amacımız modları hedef ve kargaşa sinyalleri olarak ikiye ayırmak. Yani ilk K adet modda hedef sinyali, geriye kalan $(N - K)$ adet modda da kargaşa olsun.

$$X = M_K + M_{(N-K)} \quad (2.31)$$

Burada temel sorun K değerini seçmektir. K 'yı seçmek için değişik yaklaşımlar vardır (Örneğin SNR değerini en uygun şekilde getiren K değerini kullanmak gibi). Biz bu çalışmada deneme yanılma yöntemine göre en iyi sonucu veren K değerini bulduk.

2.7.3. Bağımsız Bileşenler Analizi (Independent Component Analysis)

[35-38]

Tekil Değer Ayırıştırması tekniğinde olduğu gibi X 'in n bağımsız bileşenin n lineer karışımı olduğunu kabul edelim.

$$X_j = a_{j1}S_1 + a_{j2}S_2 + \dots + a_{jn}S_n \quad j = 1, 2, \dots, p \quad (2.32)$$

X_j değişkeni her bir S_k bağımsız bileşeni gibi rasgele değişkendir ve p adet olduğunu kabul edelim. Karışım değişkenlerin ve bağımsız bileşenlerin sıfır ortalamaya sahip olduklarını kabul ederiz. (Eğer gözlenebilen değişkenler sıfır ortalamalı değillerse daha sonra anlatılacak ön işlemlerle sıfır ortalamalı hale getirilirler.)

Yukardaki model vektör - matris gösterimi ile aşağıdaki gibi yazılır:

$$X = A \cdot S \quad (2.33)$$

Yukarıdaki eşitlikteki model Bağımsız Bileşen Analizi veya Bağımsız Değişkenler Analizi olarak adlandırılır. Bütün vektörler sütun vektörüdür. Böylece X^T satır vektörünü gösterir. Bazen A matrisinin sütunlarına ihtiyaç duyarız. a_j ile göstererek model şu şekilde yazılabilir:

$$X = \sum_{i=1}^n a_i S_i \quad (2.34)$$

Daha önceki tekniklere benzer şekilde bağımsız bileşenler doğrudan gözlemlenemezler. Ayrıca dönüşüm matrisinin (karışım matrisi, A matrisi) bilinmediği varsayılır. Gözlemediğimiz sadece X vektörüdür ve X vektörünü kullanarak A'yı ve S'yi elde etmeliyiz. Bu mümkün olduğunca genel varsayımlar altında yapılır. ICA'nın başlangıç noktası S_i bileşenlerinin istatistiksel olarak bağımsız oldukları varsayımına dayanır. Ayrıca bağımsız bileşenin gauss olmayan dağılıma sahip olduğu da varsayılır. Basitlik için bilinmeyen karışım matrisinin kare olduğunu da varsayabiliriz (fakat bu zorunlu değildir). Böylece A matrisini elde ettikten sonra onun tersi olan W matrisini hesaplayabiliriz ve bağımsız bileşenleri basitçe elde ederiz.

$$\begin{aligned}
X &= A \cdot S \\
W &= A^{-1} \\
S &= W \cdot X
\end{aligned}
\tag{2.35}$$

2.7.4.1. Bağımsız bileşenler analizinin belirsizlikleri

ICA modelinde aşağıdaki belirsizlikler olur:

1. Bağımsız bileşenlerin varyanslarını (enerjilerini) belirleyemeyiz. Çünkü A ve S matrislerini bilmiyoruz. S_i kaynaklarının herhangi bir skalar çarpanı A 'nın uygun gelen sütununa bölünmesiyle daima sadeleştirilebilir. Sonuç olarak bağımsız bileşenlerin büyüklüklerini sabitleyebiliriz. Bunu yapmanın en doğal yolu her birinin birim varyanslı olduğunu kabul etmektir $E\{S_i^2\}=1$. Fakat işaret hala belirsizdir (pozitif veya negatif olabilir). Bağımsız bileşeni (-1) ile modeli etkilemeden çarpabiliriz. Bu belirsizlik bir çok uygulamada önemsizdir.

2. Bağımsız bileşenlerin sıralarını bilemeyiz. S ve A bilinmediğinden toplamdaki terimlerin sıralarını değiştirebiliriz ve bağımsız bileşenlerden herhangi birini ilk sıraya getirebiliriz.

2.7.4.2. Bağımsızlık [37]

Bağımsızlık kavramını tanımlamak için iki skaler değerli değişken olan y_1 ve y_2 'yi ele alalım. Eğer y_1 'in değeriyle ilgili bir bilgi y_2 'nin değeriyle ilgili bir bilgi vermiyorsa veya y_2 'nin değeriyle ilgili bir bilgi y_1 'in değeriyle ilgili bir bilgi vermiyorsa y_1 ve y_2 değişkenlerine bağımsız değişkenler denir. Bağımsızlık olasılık yoğunluk fonksiyonları (OYF) tarafından tanımlanabilir (probability density function, pdf). $P(y_1, y_2)$ y_1 ve y_2 'nin ortak olasılık yoğunluk fonksiyonunu, $P(y_1)$ y_1 'in, $P(y_2)$ 'de y_2 'nin olasılık yoğunluk fonksiyonlarını gösterebilir. y_1 'in OYF'u tek başına düşünüldüğünde

$$P_1(y_1) = \int P(y_1, y_2) dy_2 \quad (2.36)$$

Ve benzer şekilde y_2 'nin OYF' u tek başına düşünülduğünde

$$P_2(y_2) = \int P(y_1, y_2) dy_1 \quad (2.37)$$

şeklinde gösterilirler.

y_1 ve y_2 'nin bağımsız oldukları şu şekilde tanımlanır: Eğer ortak yoğunluk fonksiyonu aşağıdaki şartı sağlarsa y_1 ve y_2 bağımsızdır.

$$P(y_1, y_2) = P_1(y_1) \cdot P_2(y_2) \quad (2.38)$$

Bu tanım herhangi bir n rasgele değişken için genişletilebilir. Bağımsızlığın zayıf bir formuda ilişkisizliktir (SVD ilişkisizliği kullanır). İki rasgele değişkenin kovaryansları sıfır ise bu iki değişkene ilişkisiz değişkenler denir. Diğer yandan ilişkisizlik her zaman bağımsızlık anlamına gelmez.

2.7.4.3. Normal dağılım (Gaussian dağılım) [39-40]

Normal dağılım, sürekli bir dağılımdır ve birbirlerinden farklılıkları tesadüften ileri gelen gözlem değerlerinin, ortalama etrafında simetrik olarak çan eğrisi şeklinde oluşturdukları özel dağılıma verilen bir isimdir. İstatistik teorisinin belki de en önemli dağılımı olan normal dağılımın μ ve σ olmak üzere iki parametresi vardır. Burada μ ortalamayı, σ standart sapmayı göstermektedir.

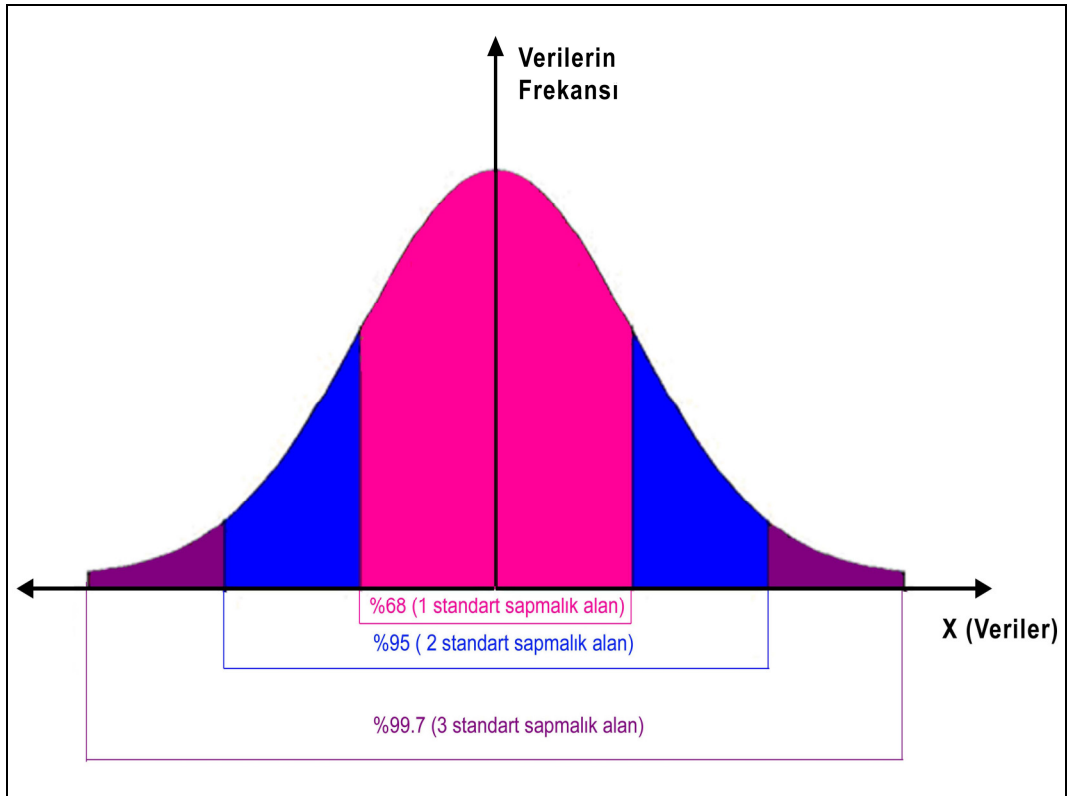
1809 yılında Gauss tarafından fizik ve astronomi problemleri üzerine çalışılırken bulunmuş sürekli bir dağılım şeklidir. Bu nedenle Gauss dağılımı (Gaussian dağılım) olarak da adlandırılır. Bir dağılımın ortalaması ve standart sapması biliniyorsa aşağıda verilen olasılık yoğunluk fonksiyonu kullanılarak belirli değerler arasındaki olasılıklar hesaplanabilir.

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right\} \quad (2.40)$$

2.7.4.4. Normal Dağılımın Özellikleri

Ortalaması, ortancası ve tepe değeri birbirine eşit olan simetrik bir dağılımdır. (Değerlerin yarısı ortalamadan küçük, yarısı ortalamadan büyüktür). Çan eğrisi şeklindedir. Sürekli bir dağılım gösterir. Bu nedenle $-\infty$ ile $+\infty$ arasında değerler alır. Tek tepelidir. Dağılımın kuyruk kısmı hızlı bir şekilde X eksenine yaklaşır ama asla X eksenini kesmez. Eğrinin altında kalan toplam alan 1'e eşittir.

Verilerin yaklaşık % 68,26'sı ortalamanın sağ ve solundaki 1 standart sapmalık alanda, % 95,44'ü 2 standart sapmalık alanda, % 99,74'ü ise 3 standart sapmalık alanda yer almaktadırlar



Şekil 2.7. Normal Dağılım Grafiği

Ortalaması ve standart sapması bilinen bir normal dağılımda herhangi bir x değerinin belirli sınırlar arasında olma olasılığı hesaplanmak istenirse olasılık yoğunluk fonksiyonunun integralinin alınması gerekir:

$$\int_a^b f(x)dx = \int_a^b \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp(-(x-\mu)^2 / 2\sigma^2) dx \quad (2.41)$$

2.7.4.5. ICA'da normal (Gaussian) dağılım.

ICA'daki temel sınırlama bağımsız bileşenler mümkün olduğunca gauss olmayan dağılıma sahip olmalıdır (gaussian olmamalıdır).

Merkezi limit teoremi [39-40], belli şartlar altında, bağımsız rasgele değişkenlerinin toplamının gauss dağılıma meyil ettiğini söyler. Böylece iki bağımsız rasgele değişkenin toplamı genellikle iki orijinal rasgele değişkenden gauss dağılıma daha yakın bir dağılıma sahiptir.

$X = A \cdot S$ olduğunu kabul edelim. Bağımsız bileşenlerden birini kestirmek istiyoruz.

$$Y = W^T \cdot X \text{ olsun.} \quad (2.42)$$

W matrisini A matrisinin tersinin satırlarından biri yapmak istiyoruz.

$$Z = A^T \cdot W \text{ olsun} \quad (2.43)$$

$$Y = W^T \cdot X = W^T \cdot A \cdot S = Z^T \cdot S \quad (2.44)$$

Y S 'nin doğrusal bir birleşimidir. Merkezi sınır teoremine göre $Z^T \cdot S$ S_i 'nin herhangi birinden daha gaussian dağılımlıdır ve S_i 'nin herhangi birine eşit olduğunda en az gaussian dağılımlıdır. Bu durumda Z 'nin Z_i elemanlarından

yalnızca biri sıfır değildir. Böylece W vektörünü $W^T \cdot X$ 'in normal dağılımdan uzaklığını (non gaussianiti'liğini) en üst düzeye (maksimuma) çıkaracak bir vektör olarak alabiliriz. Bu tür bir vektör ($W^T \cdot X$) sadece bir tane sıfır olmayan bileşeni olan bir Z 'ye karşılık gelir. Bu $W^T \cdot X = Z^T \cdot S$ bağımsız bileşenlerinden birine eşit olduğu anlamına gelir.

$W^T \cdot X$ 'in normal dağılımdan uzaklığının (non gaussianiti'liğinin) en üst düzeye (maksimuma) çıkması bize bağımsız bileşenlerden birini verir. Çeşitli bağımsız bileşenleri bulmak için bütün maksimumları bulmalıyız. Farklı bağımsız bileşenler ilişkisiz oldukları için, araştırmaya daima öncekilerle ilişkisiz hesaplamalar veren uzaya zorlayabiliriz. Bu uygun dönüşümlü bir uzayda (örneğin beyazlatılmış) ortogonalleştirmeye karşılık gelir.

2.7.4.6. ICA için ön işlemler

Veriye bir ICA algoritması uygulamadan önce bir takım ön işlemler uygulamak faydalı olmaktadır. Bu ön işlemler şunlardır:

Merkezleştirme (Centering): En temel ve gerekli ön işlem X 'in bir merkezde toplanmasıdır. Örneğin X 'i sıfır ortalamalı bir değişken yapmak için X 'in ortalama vektörü $m = E\{X\}$ 'i X değişkeninden çıkarırız. Bu aynı zamanda S 'nin de sıfır ortalamaya sahip olduğu anlamına gelir.

Beyazlatma (Whitening): Bir diğer ön işlem beyazlatmadır. Bu X vektörünü dönüştürerek varyansı bir ve ilişkisiz, yani kovaryansı birim matrise eşit yeni bir vektör elde etmek için kullanılır. Bu işlem merkezleştirmeden sonra yapılır.

2.7.4.7. Hızlı ICA Programı [37]

ICA kestirimleri için Helsinki Teknoloji Üniversitesi Bilgisayar Bilimi ve Mühendislik Biriminde (Department of Computer Science and Engineering at the

Helsinki University of Technology) Oja ve Hyvarinen tarafından Matlab programı için geliştirilen Hızlı ICA m-file dosyası kullanılmıştır [37].

Hızlı ICA'da $W^T \cdot X$ 'in non gaussianitesi maksimum seviyeye çıkarılır. Non gaussianite'nin ölçümü negentropi [37-38] yöntemiyle yapılır. Hızlı ICA $W^T \cdot X$ 'in non gaussianitesinin maksimumunu bulmak için bir bir sabit nokta iterasyonu kullanır.

3. MATERYAL VE METOD

3.1. KULLANILAN MATERYAL

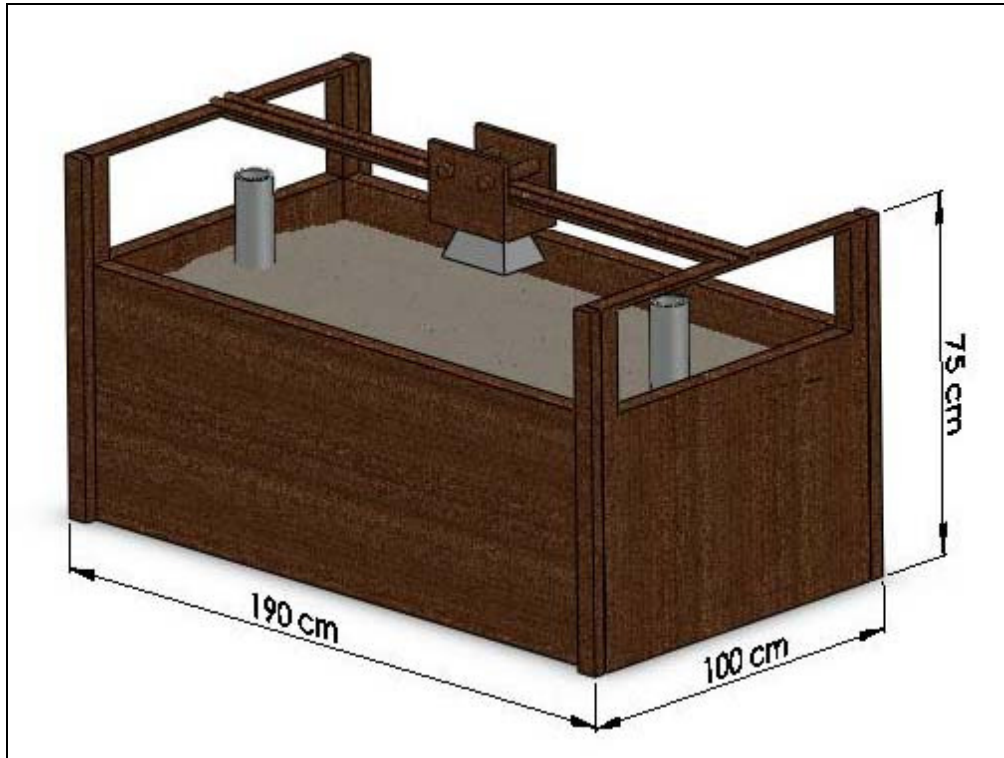
YNR uygulamalarında kullanılan düzenek için gerekli olan bazı cihazlar daha önce yapılmış olan proje ve tez çalışmalarında kullanılmak üzere Tübitak tarafından, EEEAG-104E085 proje koduyla desteklenerek Prof. Dr. Caner Özdemir tarafından satın alınmıştır. Yapılan deneylerde kullanılan kum havuzu Mersin Üniversitesi Makine Mühendisliği laboratuvarına yine daha önce yapılan proje ve tez çalışmalarında kullanılmak üzere kurulmuştur ve kum havuzu için gereken kum malzemesi de daha önceki çalışmalarda kullanılmak üzere Mersin Trakya Cam Sanayi A.Ş. tarafından hibe edilmiştir [10-11].

3.1.1. Deney Düzenegi

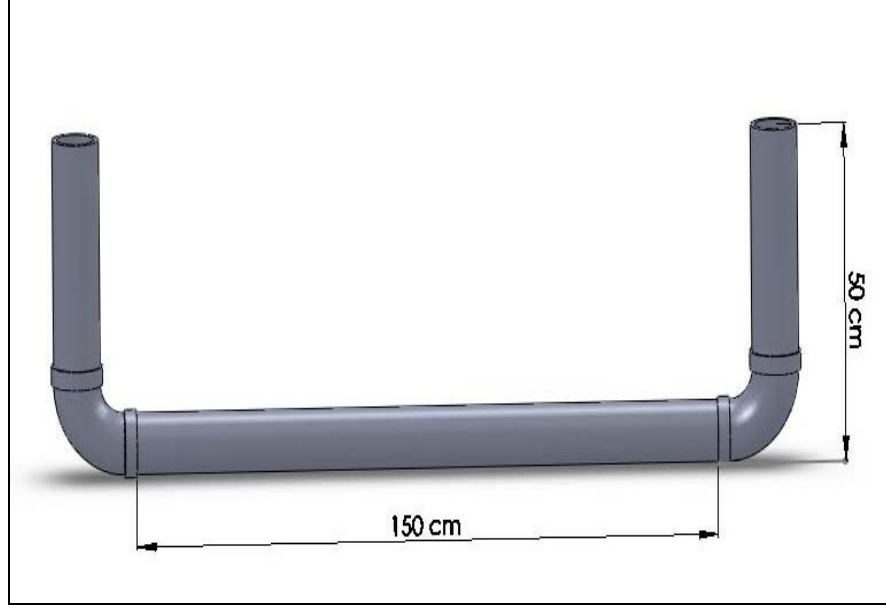
YNR deneylerinde kullanılan en önemli cihaz Network Analizördür. Agilent 5071B tipi Network Analizör ve aksesuarları (RF kablo, N-tipi kalibrasyon kiti, N tipi RF aksesuarları, GPIB ara yüzü, GPIB kablosu ve test/ölçüm yazılımı), 2 adet boynuz tipi anten (AHS systems SAS-584), 1 adet C-bant sirkulator, 3m uzunluğunda 3 adet N tipi kablo ve 2 adet tripod Mersin Üniversitesi Elektrik-Elektronik mühendisliği bölümüne Tübitak'ın desteğiyle yine yukarıda belirtilen çalışmalarda kullanılmak üzere daha önceden Prof. Dr. Caner Özdemir tarafından satın alınmıştır [10-11].

Laboratuar ortamında daha önceki araştırmalar için hazırlanmış olan kum havuzu kullanılmıştır. Kum havuzu 190 cm × 100cm × 75cm boyutlarında, tahta-
mdf den oluşmuştur. Kum havuzundaki kumun dielektrik sabiti C. Özdemir ve E. Yiğit tarafından 5.8-8.5 GHz frekansları arasında hemen hemen sabit olarak ortalama 2.43 değerinde ölçülmüştür [11]. Laboratuar ortamında yaptığımız çalışmalarda bu değer kullanılmıştır. AHS systems SAS-584 C-bant boynuz tipi antenin yarı-güç-demet genişliği (HPBW) 5.85-8.20 GHz frekans bandında 12° ile 16° arasında olduğu C. Özdemir ve E. Yiğit tarafından saptanmıştır [11]. Mersin Üniversitesi

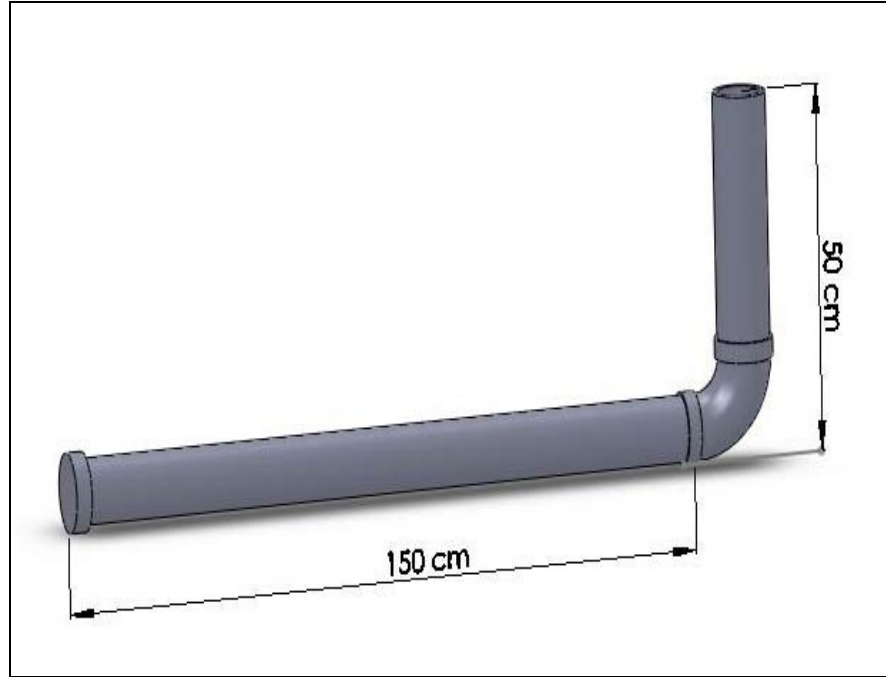
Elektrik-Elektronik mühendisliği bölümünde farklı bant genişliğinde ve farklı demet açılı antenlerde bulunmaktadır. Bu antenlerden band genişlikleri 2.17-4.17 GHz, 3.0-7.2 GHz, 3.1-5.2 GHz olan antenler Mersin Üniversitesi Elektrik-Elektronik mühendisliği bölümünde üretilmişlerdir [11]. Ayrıca Mersin Üniversitesi Elektrik-Elektronik mühendisliği bölümünde daha derine nüfuz edebilmek için 0.8-5 GHz, 2 adet çift sırtlı (Double Ridged) (EMC HA-085 antenler de mevcuttur). Bu çalışmada kullanılmak üzere 5 cm ve 2 cm çaplarında geometrisi şekil 3.2 de belirtilen 4'er adet plastik boru satın alınmıştır. Laboratuvar ortamında kullanılan deney düzeneği şekil 3.1 de ve açık sahada yapılan deneylerden bir görünüş resim 3.1. de gösterilmektedir. GPIB kablosu ile bilgisayara bağlı network analizör N-tipi kablolarla antenlere bağlanmıştır. Açık sahalarda yapılan deneylerde yukarıdaki düzenden farklı olarak kum havuzu kullanılmamıştır. Kum havuzu yerine dışarıdaki toprakta benzer düzenek hazırlanarak deneyler yapılmıştır.



Şekil 3.1. Laboratuvar ortamındaki deney düzeneği: Kum havuzu, anten ve Havuza gömülen boru



(a)



(b)

Şekil 3.2. (a) Deneyleerde kullanılan U boruların geometrisi

(b) Deneyleerde kullanılan L boruların geometrisi



Resim 3.1. Arazi Ortamı 2. Grup deneylerinden bir görünüş

3.1.2. Kullanılan Yazılım

Tez çalışmasında, tüm hesaplamalar, algoritmalar, veri analizleri ve grafikler için MATLAB [40] yazılım paketi kullanılmıştır. MATLAB'ın kullanım alanları aşağıda belirtilmiştir:

- Matematik veri hesaplama
- Algoritma geliştirme
- Veri edinme
- Modelleme, benzetim ve prototip oluşturma
- Veri analizi
- Bilimsel ve mühendislik tabanlı grafikler

Matlab, temel veri elemanı, boyutlandırmaya gerek duymayan dizi olan bir yazılımdır. Bu bir çok teknik hesaplama problemlerini, özellikle vektör ve matris formunda olanları çok az bir zamanda çözmeyi sağlar.

3.2. UYGULANAN METOD

Bu çalışmada iki ayrı metod kullanılmıştır. Birincisi B tarama yaparak sızan suyun yerini (sızıntı yerini) tespit etmek ikincisi ise A taramalar yaparak su sızıntısı olduğunda A taramaların farkını alarak sızıntı yerini tespit etmektir.

3.2.1 YNR Görüntüleme Algoritması

Burada B tarama deneylerinde uygulanan algoritma anlatılmıştır. Radar anteni yüzey eksenini boyunca hareket ettirilmekte ve her Δx mesafesinde geri saçılma verisi toplanmaktadır. Böylece toplam N tane “Yapay” dizi anten sisteminin (gönderici ve alıcı antenlerden oluşan sistem) toplayacağı kadar geri saçılma bilgisi sadece bir anten sistemi kullanılarak elde edilmektedir. Her mekansal veri toplanması sırasında; orta frekans; f_c civarında M adet değişik frekans çeşitliliğinde verinin kaydedilmesiyle 2-B mekan-frekans saçılma elektrik alanı; $E_s(x, f)$ elde edilmektedir. Elde edilen saçılan alanın bir boyutlu (1-B) Ters Fourier Dönüşümü, frekans boyutunda uygulandığında, veriyi mekan-mekan düzlemine taşımak mümkündür:

$$E_s(x, z) = IFT\{E_s(x, f)\} \quad (3.3)$$

Burada z eksenini derinlik bilgisini vermekte olup; derinlik çözünürlüğü; Δz frekans bant genişliği ile ters orantılıdır.

3.2.2. İstenmeyen Yankıların Giderilmesinde Kullanılan Teknikler

Bu çalışmada istenmeyen yankıların (kargaşa, clutter) giderilmesi için daha önce detaylı olarak anlatılan Basit Ortalama Çıkarımı, Tekil Değer Ayırıştırması (Singular Value Decomposition, SVD) ve Bağımsız Değişkenler Analizi (Independent Component Analysis, ICA) kullanılmıştır. Basit Ortalama Çıkarımı ve Tekil Değer Ayırıştırması için MATLAB programında m-file dosyaları oluşturulmuştur. Bağımsız Değişkenler Analizi için ise Helsinki Teknoloji

Üniversitesi Bilgisayar Bilimi ve Mühendislik Biriminde (Department of computer Science and Engineering at the Helsinki University of Technology) Oja ve Hyvarinen tarafından Matlab programı için geliştirilen Fast ICA m-file dosyası kullanılmıştır [37].

3.2.3. Görüntülerin Tersleri

Hiçbir sinyal işleme işlemlerinden biri kullanılmadan elde edilen YNR görüntüleri incelendiğinde, diğer taraflardan istenmeyen yankılar geri saçılmasına karşın su bulunan kısımda sanki hiç geri yansıma olmadığı görülür (Su – toprak sınırında yansıma var fakat elektromanyetik dalgalar ıslak bölgeye geldiklerinde zayıflıyorlar ve oradan yansıma olmuyor). Su bulunan bölge dışında her yerden yansımanın olması suyun yerini bildirecektir. Bunun dışında matris tersine çevrilerek (Burada tersinden kasıt geri saçılma matrisinin tersini bulmak değildir. Burada tersi kelimesiyle anlatılmak istenen matrisin elemanlarını tersine çevirmektir. Yani büyük değerleri küçük, küçük değerleri büyük yapmaktır. Ters matrisi elde etmek için matrisin en büyük değerlikli elemanından diğer elemanları çıkarmak yeterlidir.) geri saçılma olmayan yerlerde geri saçılma olmuş gibi ve geri saçılma olan yerlerde ise sanki geri saçılma olmamış gibi gösterilebilir. Bu bize su bulunan noktalarda sanki geri saçılma olmuş gibi ve geri saçılmanın olduğu diğer noktalarda da sanki geri saçılma olmamış gibi gösterir. Deney görüntülerinde hem normal şekiller hem de tersleri elde edilerek gösterilmiştir.

3.2.4. B Tarama Deneylerinde Yapılanlar

1. Arazi ölçümleri için toprak altı borulardaki su kaçağı deneyleri yapıldı. Bunun için deney düzeneği oluşturuldu. Laboratuvar ortamında yapılan deneyde daha önceden hazırlanmış, tahtadan imal edilen kum havuzu kullanıldı. Deney geometrisi şekil 3.2 de gösterilmektedir.

2. Sıvı kaçağını sağlamak için delinen çeşitli boyutlardaki plastik borular kum havuzuna gömüldü.

3. Bu plastik boruların YNR B-tarama verileri borunun içinde su olmadan ve değişik zamanlarda, değişik miktarlarda su konularak hem monostatik hem de bistatik durumlar için bir network analizör ve bilgisayar yardımıyla toplandı.

4. Daha sonra sinyal işleme teknikleriyle bu veriler işlenerek borulardaki sıvı kaçağının 2- B YNR görüntüleri sayesinde, söz konusu kaçağın yeri ve büyüklüğü tespit edilmeye çalışıldı.

5. Arazide yapılan deneyler ise Mersin Üniversitesi Çiftlikköy Yerleşkesinde çeşitli toprak ortamlarında yapıldı.

6. Arazide yapılan deneyler içinde 2-4 maddeleri tekrar edildi.

3.2.5. A Tarama Deneylerinde Yapılanlar

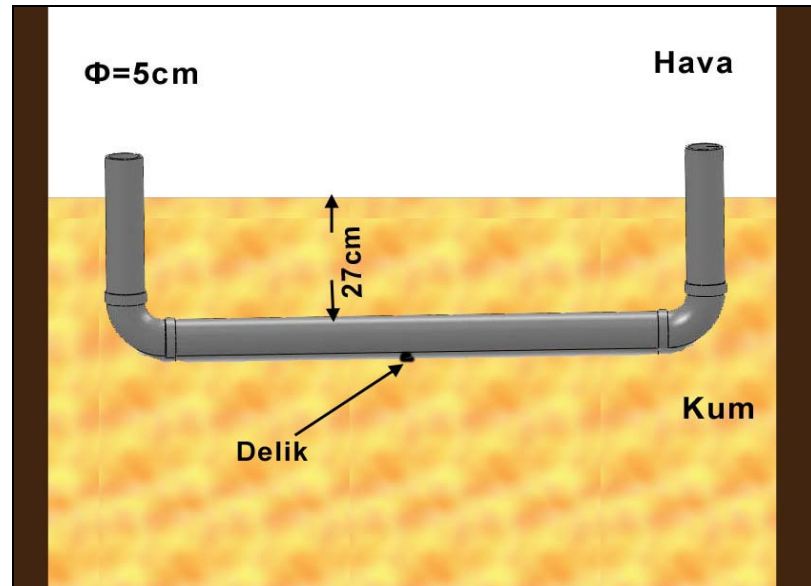
Bu çalışmada biri laboratuvar ortamında biride açık sahada olmak üzere iki adet A tarama deneyleri yapılmıştır. Bu deneylerde boru üzerinde değişik noktalarda olmak üzere her nokta için çok sayıda peşi sıra A taramalar yapılmıştır. Her noktada yapılan A taramalar yine o noktada yapılan bir önceki A taramalardan çıkartılarak fark görüntüleri oluşturulmuştur (Fark görüntüleri hem normal çıkarma işleminden sonra hem de mutlak değerleri alınıp çıkarma işlemi yapıldıktan sonra oluşturulmuşlardır). Buradaki amaç su sızan noktada iki zaman arasındaki farkların kuru noktalardaki farklardan ayırt edici özelliklerin olup olmadığını tespit etmektir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMALAR

4.1. LABORATUAR ORTAMINDA YAPILAN B TARAMA DENEYLERİNE AİT BULGULAR

4.1.1. Laboratuar Ortamı 50mm Çaplı Plastik Boru Deneyleri

5 cm çapında plastik bir borunun orta alt tarafından (75 cm' den) delik açıldı ve 3. bölümde belirtilen şekilde kum havuzunda 27 cm derinliğe susuz olarak gömüldü. Bistatik tarama yapmak için network analizörün iki port (two port) kalibrasyonu yapıldı (T=150 için tek port kalibrasyon yapılarak monostatik tarama yapıldı). Güç 5 dbm'e ayarlandı. Tüm deneylerde 110 cm yapay açıklık boyunca, 2'şer cm arayla ($\Delta x = 2$ cm) 56 adet geri saçılma elektrik alan verisi toplandı. Her bir nokta için (her bir A tarama için) frekans 4.5-8.5 GHz arasında değiştirilerek; eşit aralıklarda toplam 201 ayrı frekans noktası için geri saçılma elektrik alan verisi toplandı ve 201x56 boyutunda B tarama matrisleri oluşturuldu. Daha sonra, YNR görüntüleme algoritması ve istenmeyen yankıları giderme teknikleri uygulanarak B tarama YNR görüntüleri elde edildi. Tüm taramalar 2 saniye arayla yapılmıştır. Çizelge 4.1. deneylerin tarama zamanını, deneylerin adlarını ve deney koşullarını belirtmektedir. Çizelgedeki t boruya ilk su döküldükten sonra geçen zamanı göstermektedir.

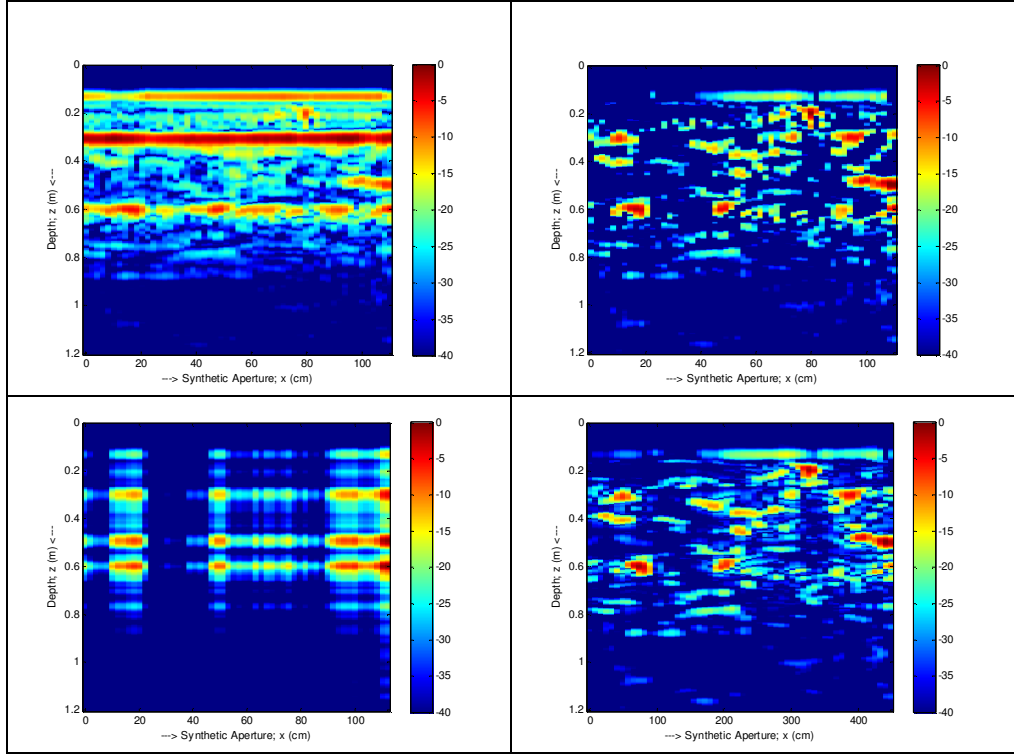


Şekil 4.1. Laboratuar ortamı 50mm çaplı plastik boru deneyleri deney geometrisi

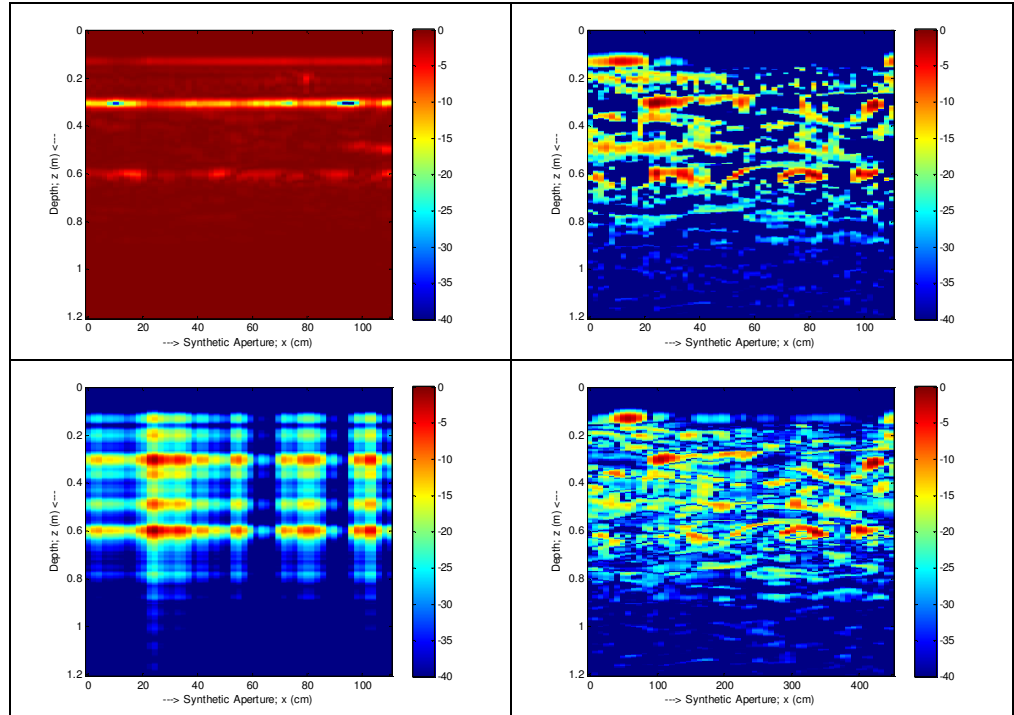
Çizelge 4.1. Laboratuvar ortamı 50mm Çaplı plastik boru deneylerinin tarama zamanı, deneylerin adları ve deney koşulları

| Tarama Zamanı | Deney Adı | Deney Koşulları |
|----------------------|------------------|--|
| 10:57 | Susuz boru | Su konulmadı. tarama yapıldı |
| 11:07 | t=0 | 3 LT su konulduktan sonra tarama yapıldı |
| 11:12 | t =5 | İlave su konulmadı. Tarama yapıldı |
| 11:22 | t =15 | İlave su konulmadı. Tarama yapıldı |
| 11:32 | t =25 | 1,5 LT ilave su konulduktan sonra tarama yapıldı |
| 11:52 | t =45 | İlave su konulmadı. Tarama yapıldı |
| 11:57 | t =50 | İlave su konulmadı. Tarama yapıldı |
| 12:07 | t =60 | 1,5 LT ilave su konulduktan sonra tarama yapıldı |
| 13:12 | t =125 | İlave su konulmadı. Tarama yapıldı |
| 13:37 | t =150 mono | İlave su konulmadı. Tarama yapıldı |
| 13:52 | t =165 boş | İlave su konulmadı. Tarama yapıldı |
| 13:57 | t =170 | İlave su konulmadı. Tarama yapıldı |
| 14:17 | t =190 | İlave su konulmadı. Tarama yapıldı |

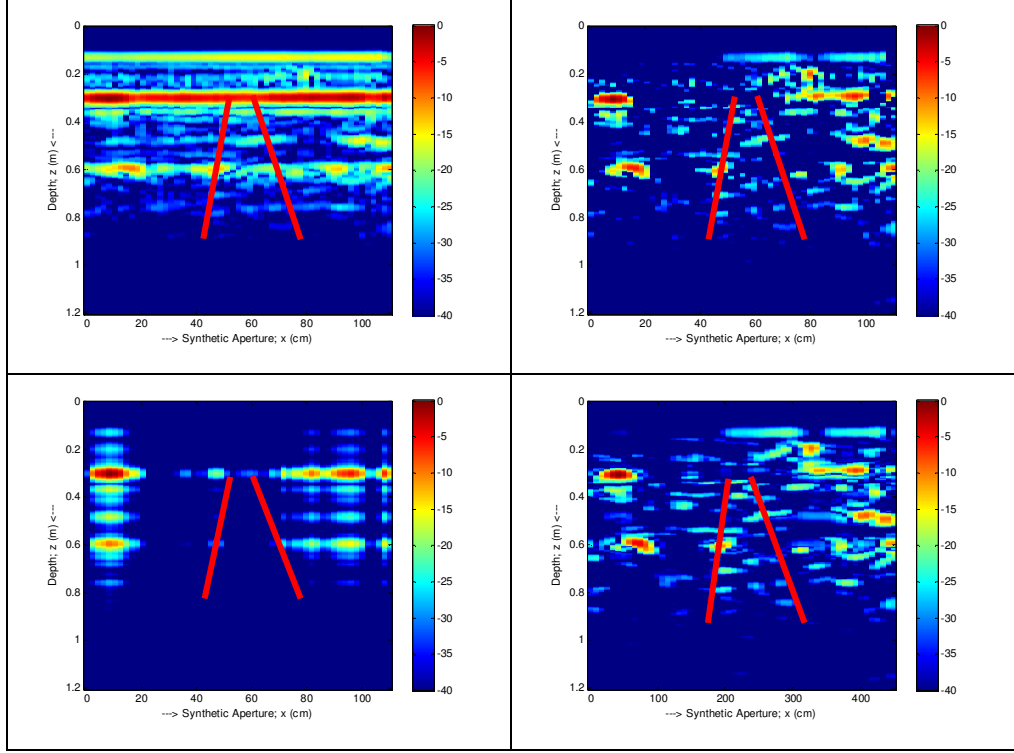
Görüntüler izleyen sayfadaki şekillerde gösterilmiştir. Tüm şekillerde kırmızı renkle gösterilen doğruların arasında kalan alan ıslak bölgeyi göstermektedir.



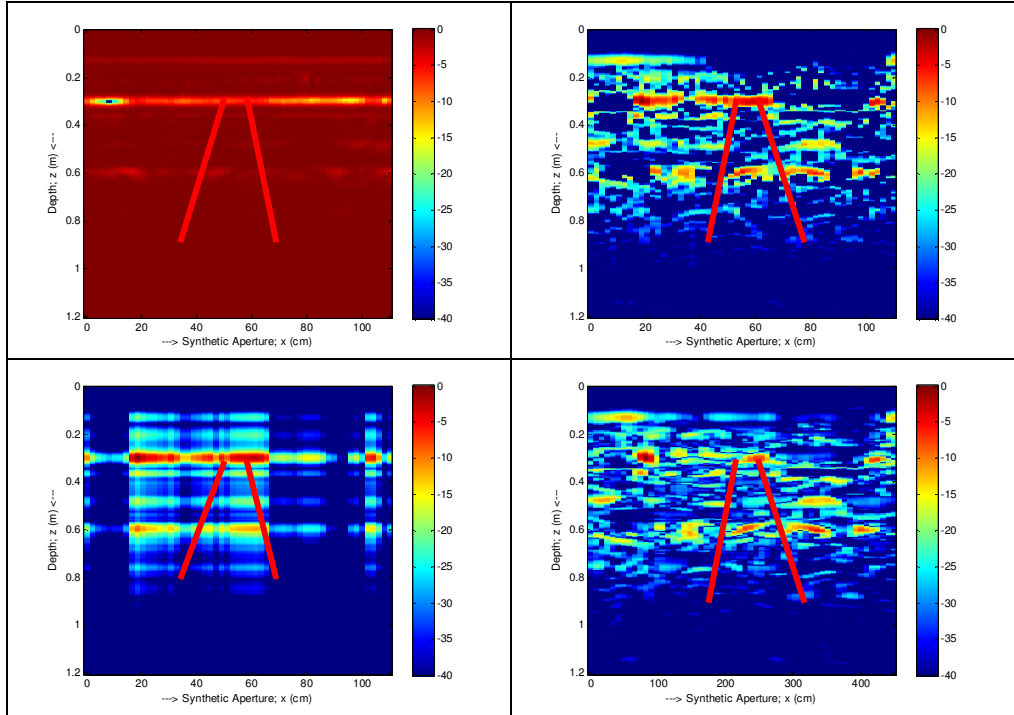
Şekil 4.2. Susuz boru B tarama görüntüleri: [sol üst] işlenmemiş görüntü, [sağ üst] ortalama çıkarımı sonucu, [sol alt] SVD/PCA sonucu ve [sağ alt] ICA sonucudur.



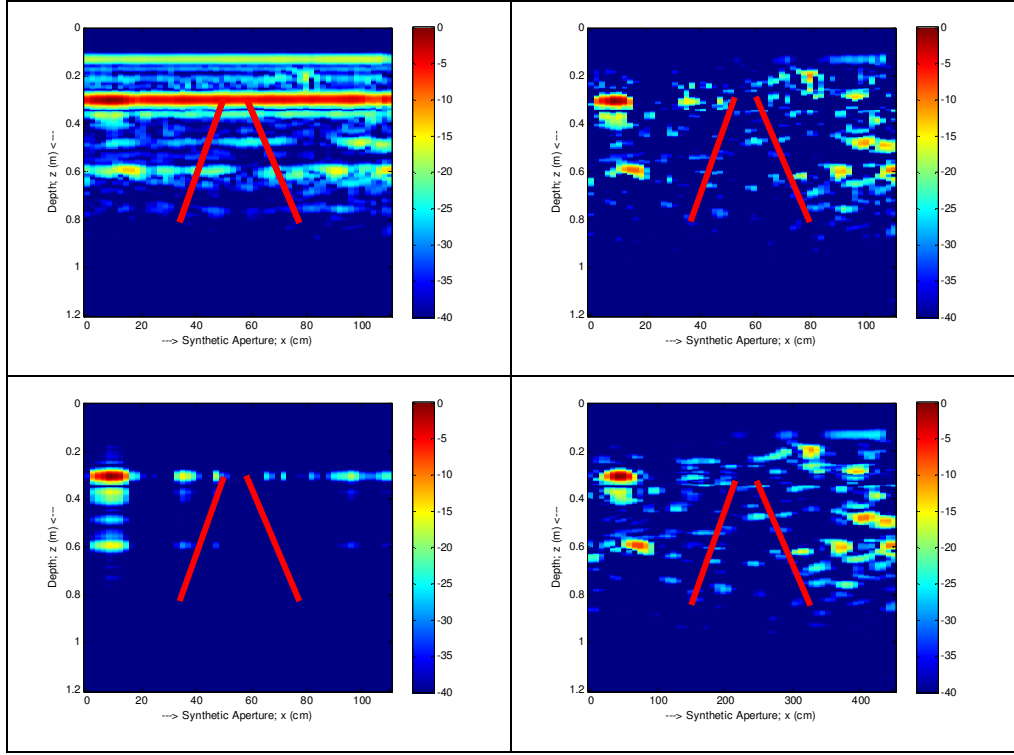
Şekil 4.3. Susuz boru tersi B tarama görüntüleri: [sol üst] ters görüntü, [sağ üst] ortalama çıkarımı sonucu, [sol alt] SVD/PCA sonucu ve [sağ alt] ICA sonucudur.



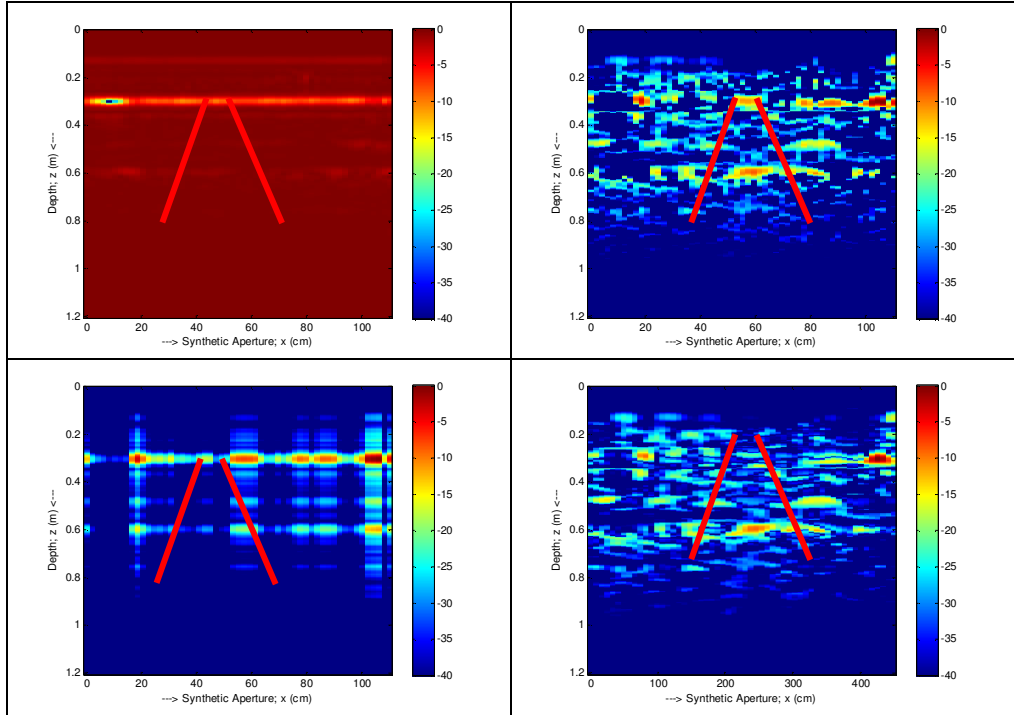
Şekil 4.4. $t=0$ dk. B tarama görüntüleri: [sol üst] işlenmemiş görüntü, [sağ üst] ortalama çıkarımı sonucu, [sol alt] SVD/PCA sonucu ve [sağ alt] ICA sonucudur.



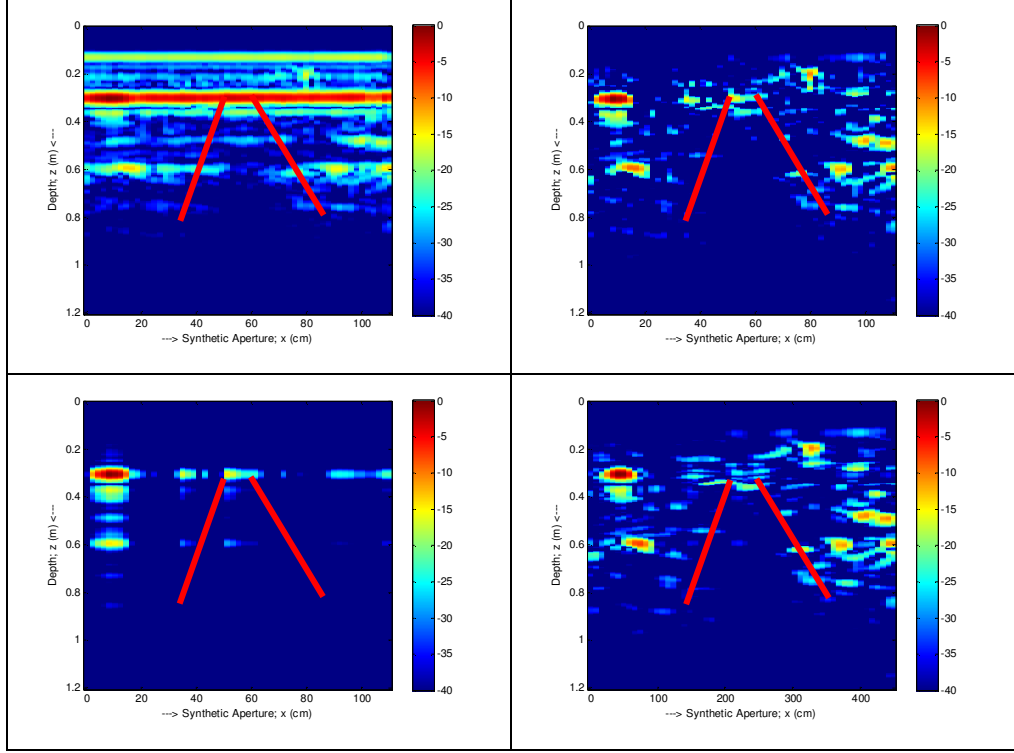
Şekil 4.5. $t=0$ dk tersi B tarama görüntüleri: [sol üst] ters görüntü, [sağ üst] ortalama çıkarımı sonucu, [sol alt] SVD/PCA sonucu ve [sağ alt] ICA sonucudur.



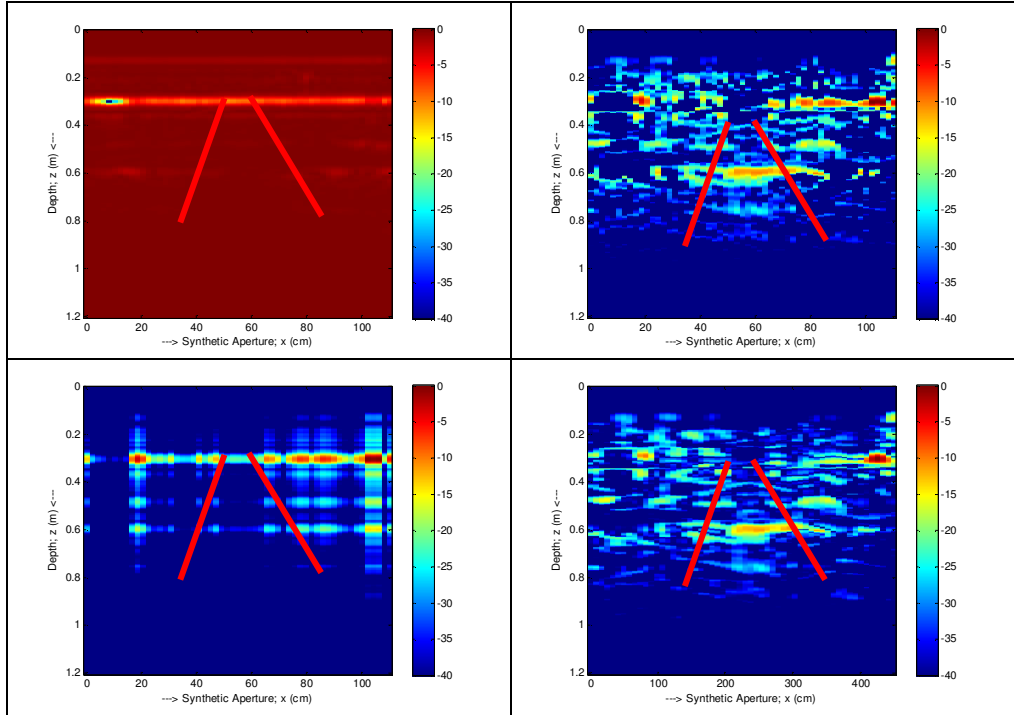
Şekil 4.6. $t=5$ dk B tarama görüntüleri: [sol üst] işlenmemiş görüntü, [sağ üst] ortalama çıkarımı sonucu, [sol alt] SVD/PCA sonucu ve [sağ alt] ICA sonucudur.



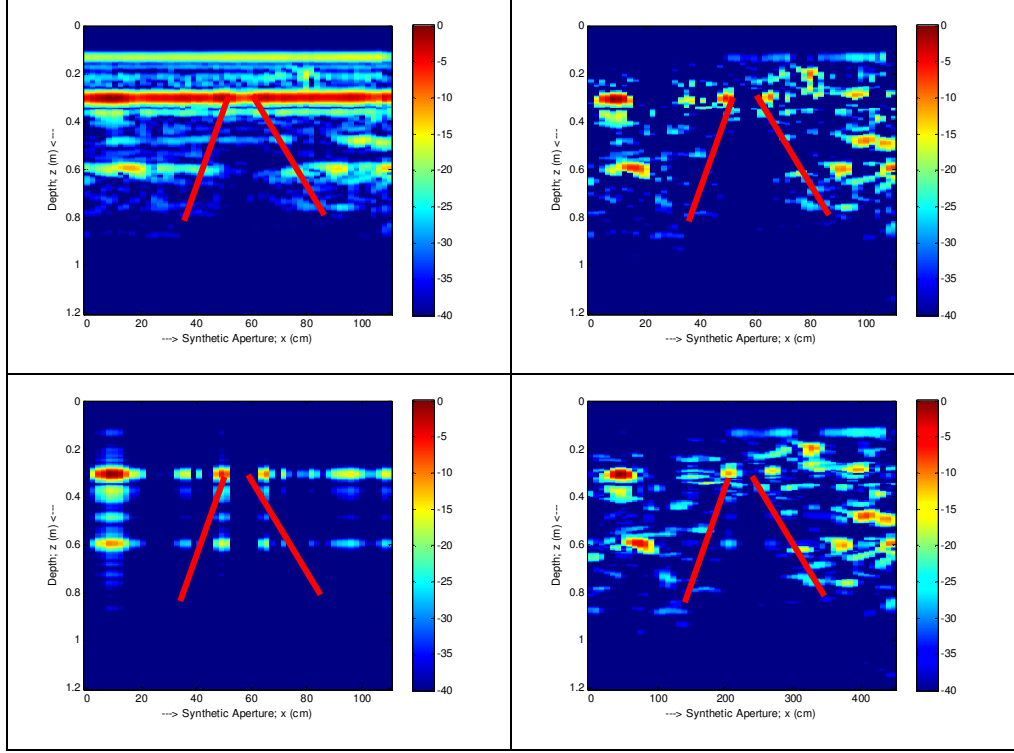
Şekil 4.7. $t=5$ dk tersi B tarama görüntüleri: [sol üst] ters görüntü, [sağ üst] ortalama çıkarımı sonucu, [sol alt] SVD/PCA sonucu ve [sağ alt] ICA sonucudur.



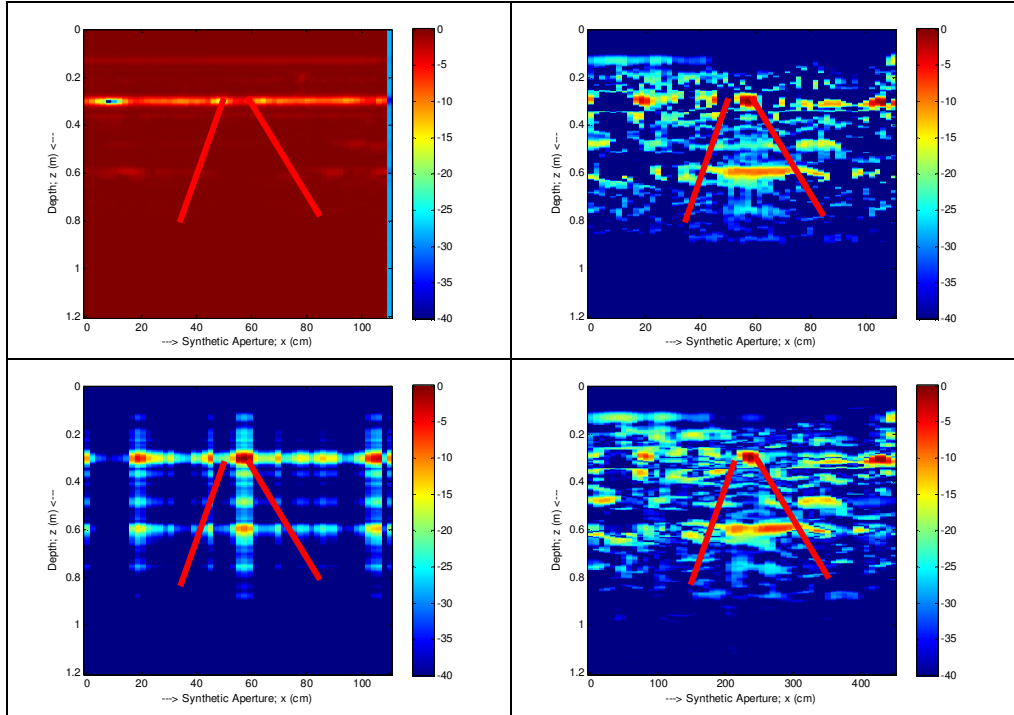
Şekil 4.8. $t=15$ dk B tarama görüntüleri: [sol üst] işlenmemiş görüntü, [sağ üst] ortalama çıkarımı sonucu, [sol alt] SVD/PCA sonucu ve [sağ alt] ICA sonucudur.



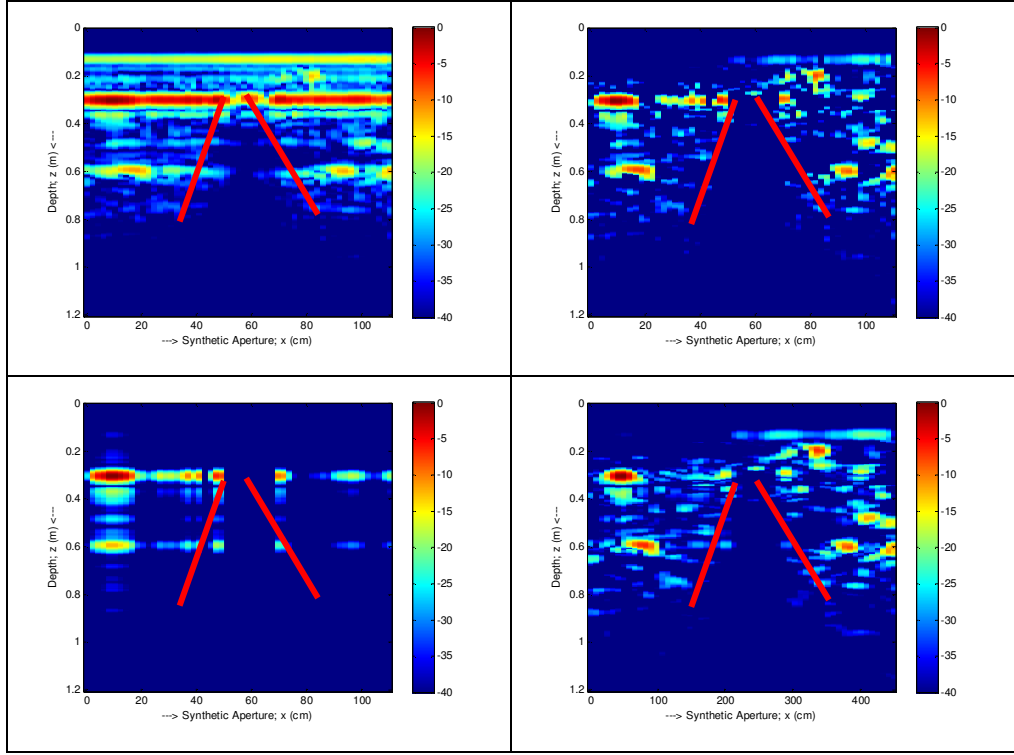
Şekil 4.9. $t=15$ dk tersi B tarama görüntüleri: [sol üst] ters görüntü, [sağ üst] ortalama çıkarımı sonucu, [sol alt] SVD/PCA sonucu ve [sağ alt] ICA sonucudur.



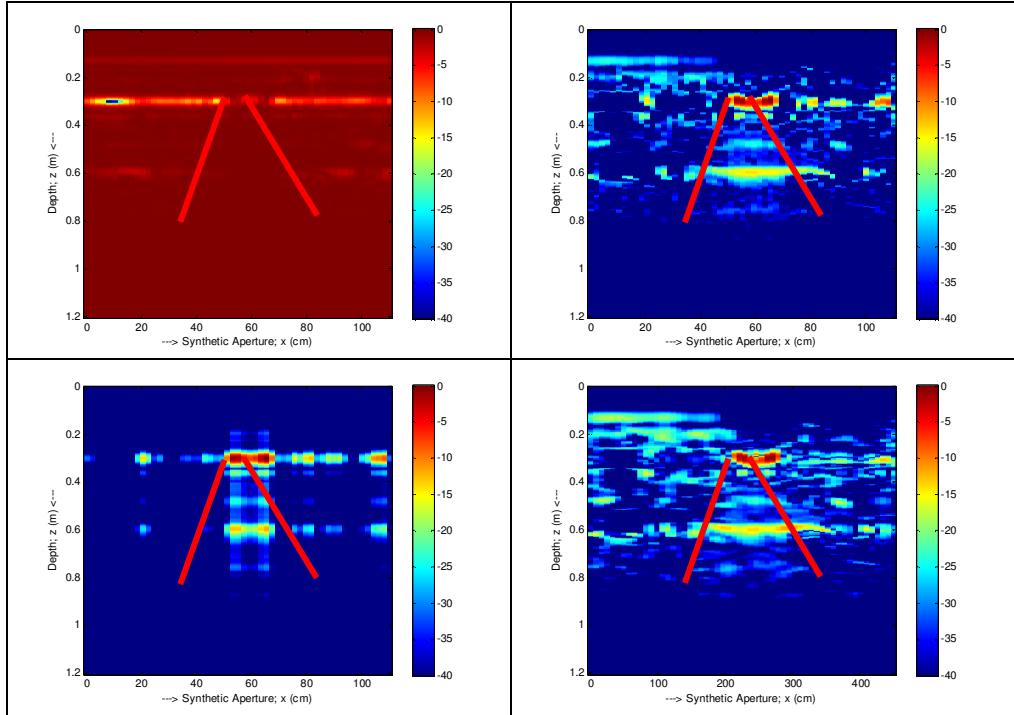
Şekil 4.10. $t=25$ dk B tarama görüntüleri: [sol üst] işlenmemiş görüntü, [sağ üst] ortalama çıkarımı sonucu, [sol alt] SVD/PCA sonucu ve [sağ alt] ICA sonucudur.



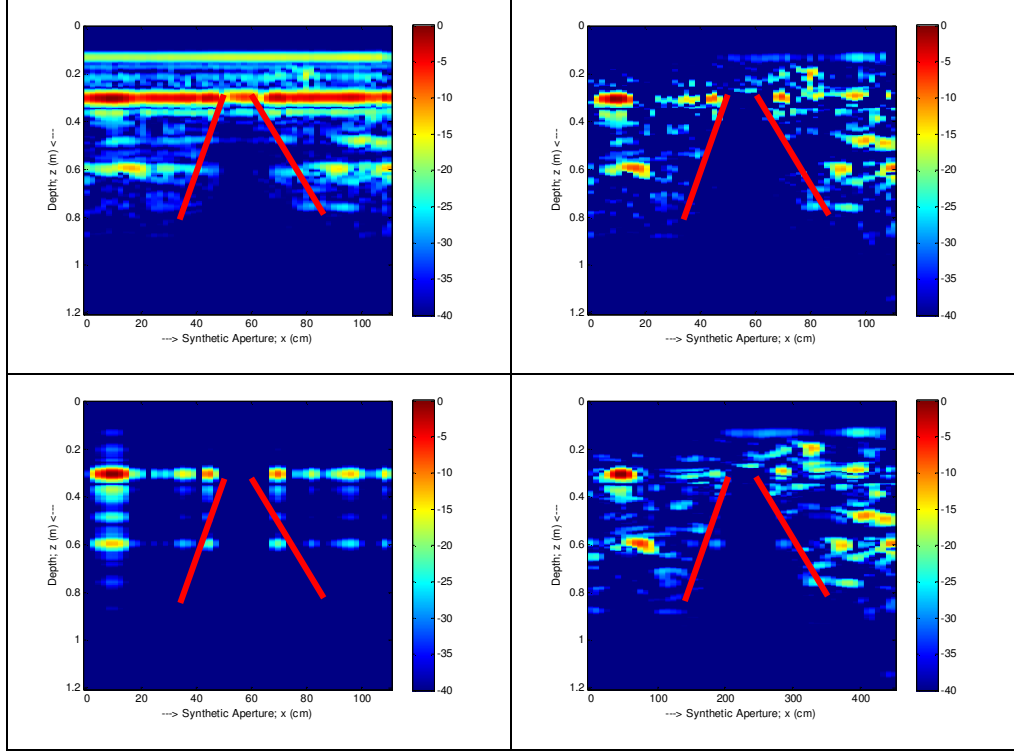
Şekil 4.11. $t=25$ dk tersi B tarama görüntüleri: [sol üst] ters görüntü, [sağ üst] ortalama çıkarımı sonucu, [sol alt] SVD/PCA sonucu ve [sağ alt] ICA sonucudur.



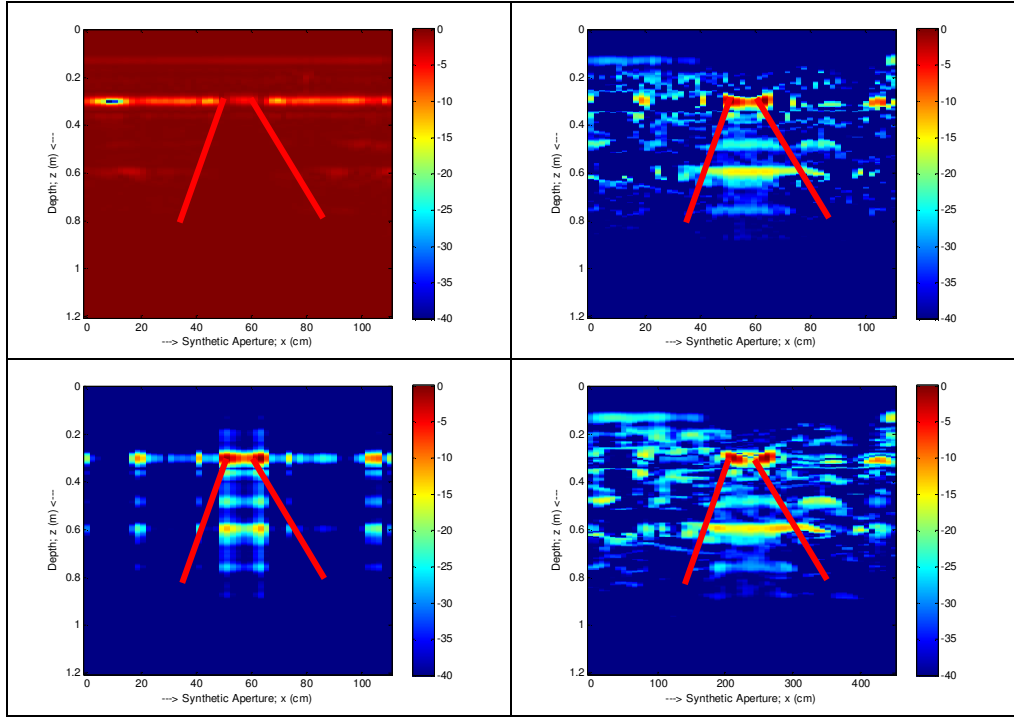
Şekil 4.12. $t=45$ dk B tarama görüntüleri: [sol üst] işlenmemiş görüntü, [sağ üst] ortalama çıkarımı sonucu, [sol alt] SVD/PCA sonucu ve [sağ alt] ICA sonucudur.



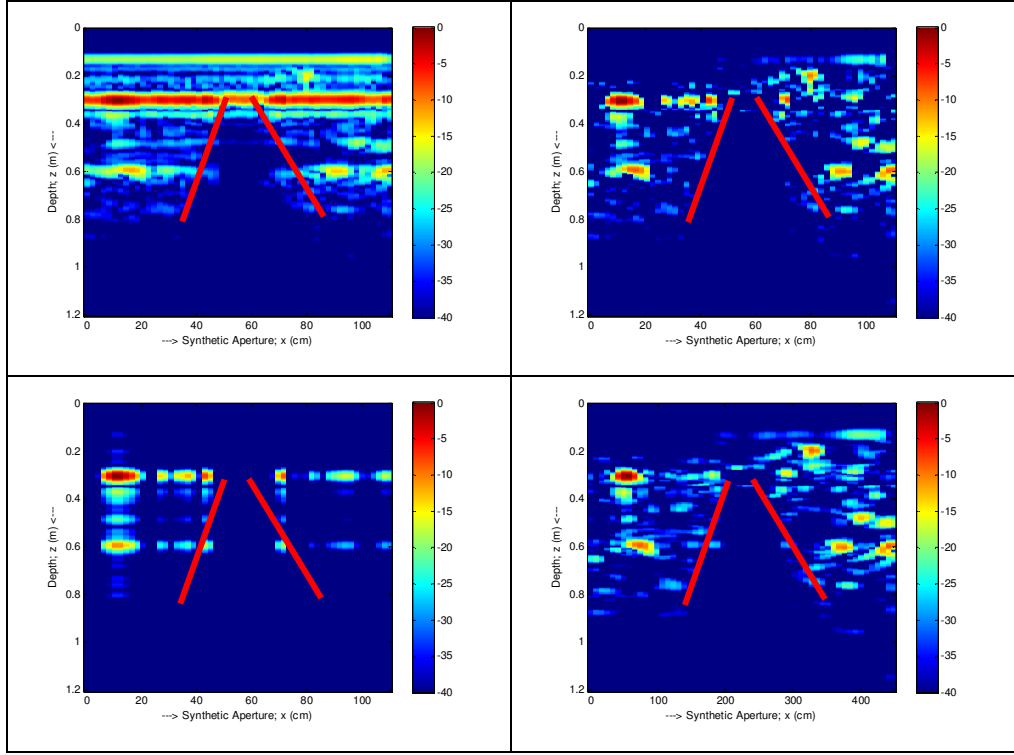
Şekil 4.13. $t=45$ dk tersi B tarama görüntüleri: [sol üst] ters görüntü, [sağ üst] ortalama çıkarımı sonucu, [sol alt] SVD/PCA sonucu ve [sağ alt] ICA sonucudur.



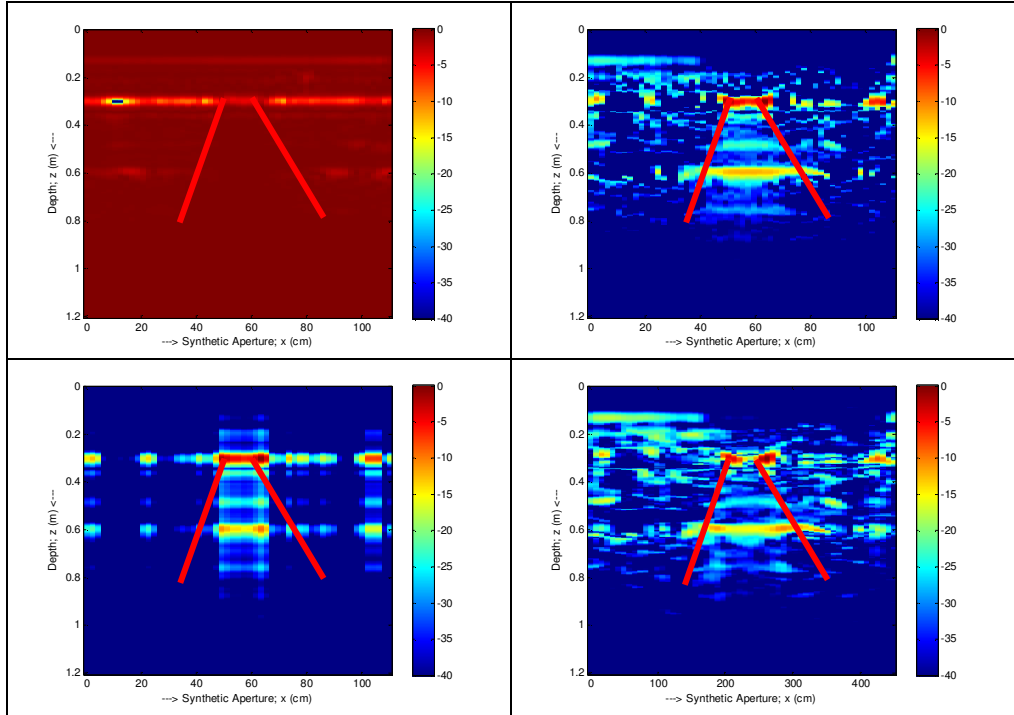
Şekil 4.14. $t=50$ dk B tarama görüntüleri: [sol üst] işlenmemiş görüntü, [sağ üst] ortalama çıkarımı sonucu, [sol alt] SVD/PCA sonucu ve [sağ alt] ICA sonucudur.



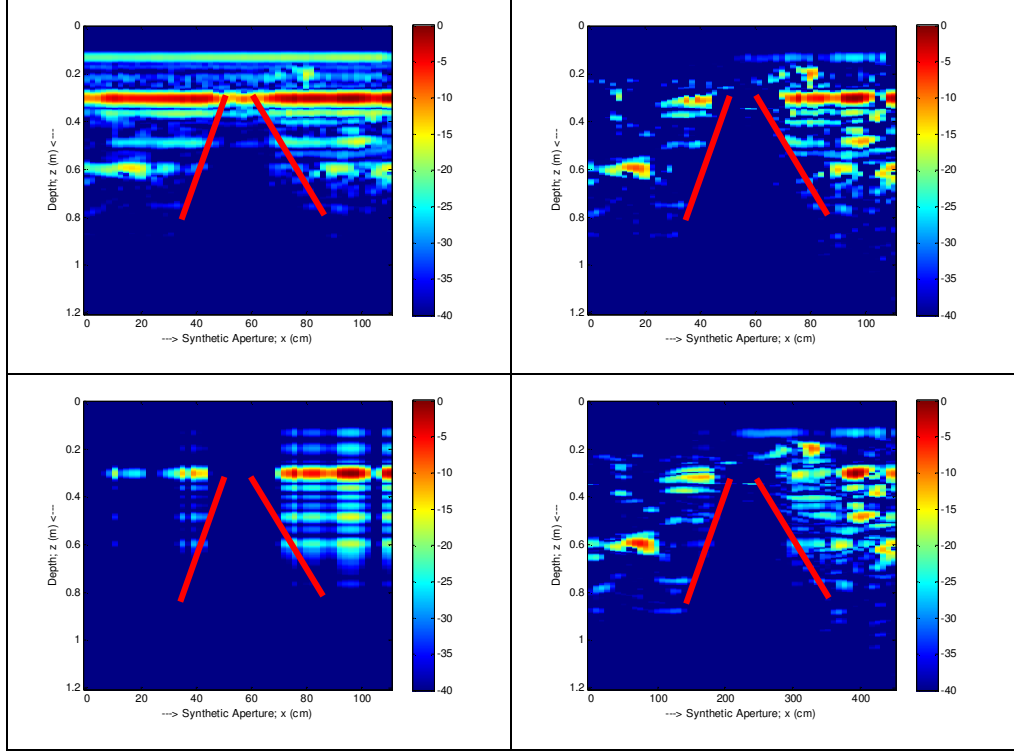
Şekil 4.15. $t=50$ dk tersi B tarama görüntüleri: [sol üst] ters görüntü, [sağ üst] ortalama çıkarımı sonucu, [sol alt] SVD/PCA sonucu ve [sağ alt] ICA sonucudur.



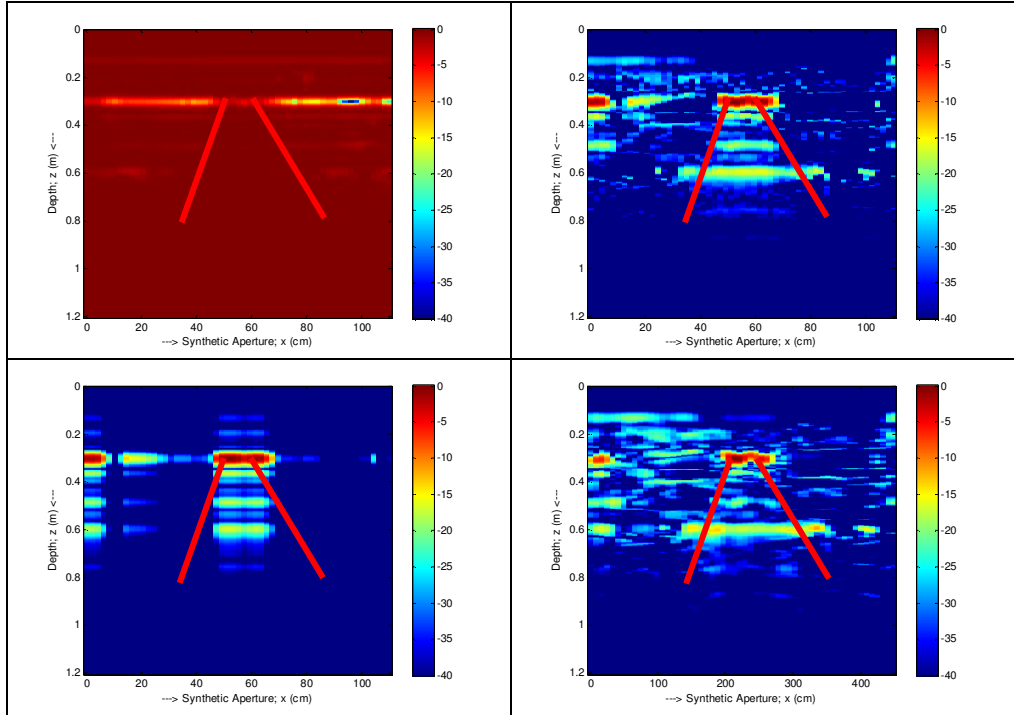
Şekil 4.16. $t=60$ dk B tarama görüntüleri: [sol üst] işlenmemiş görüntü, [sağ üst] ortalama çıkarımı sonucu, [sol alt] SVD/PCA sonucu ve [sağ alt] ICA sonucudur.



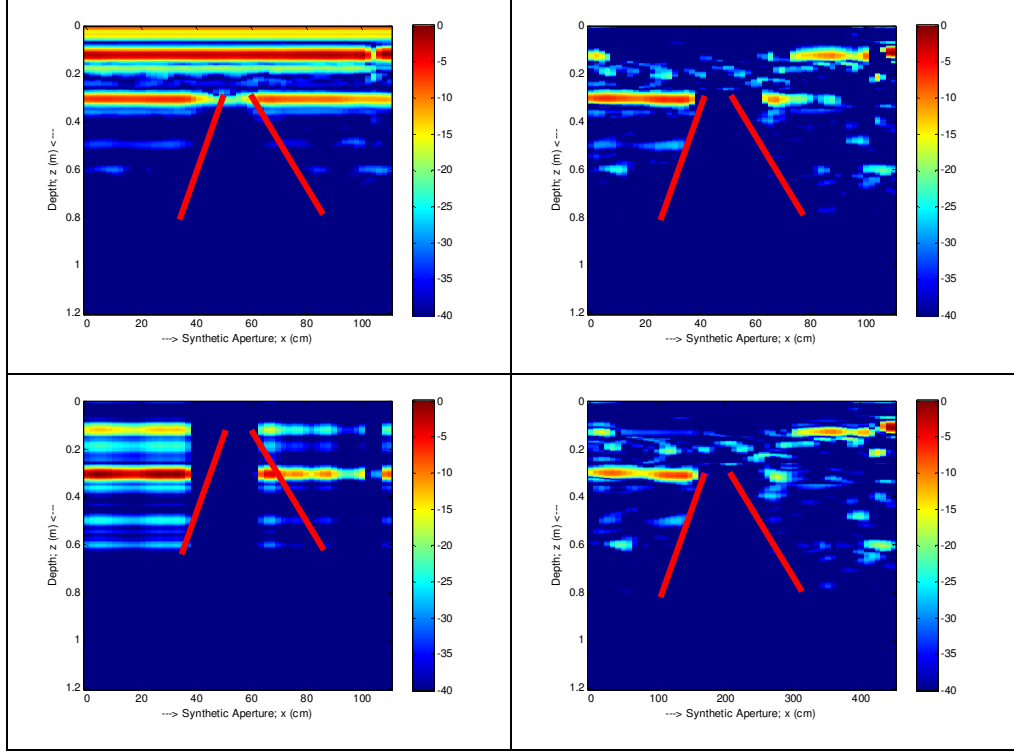
Şekil 4.17. $t=60$ dk tersi B tarama görüntüleri: [sol üst] ters görüntü, [sağ üst] ortalama çıkarımı sonucu, [sol alt] SVD/PCA sonucu ve [sağ alt] ICA sonucudur.



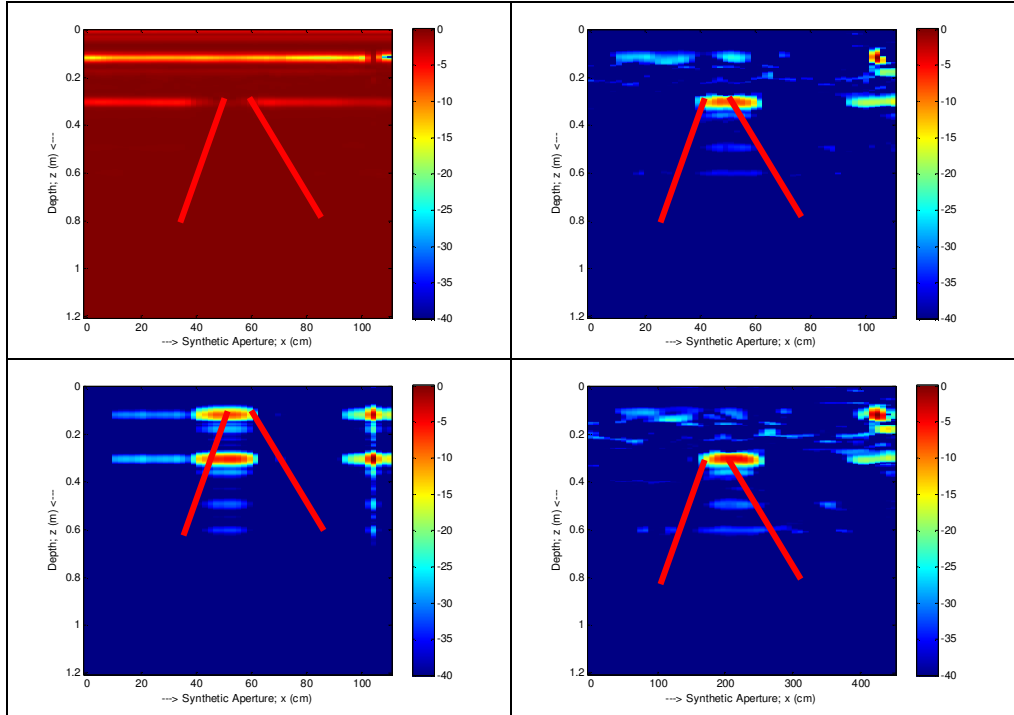
Şekil 4.18. $t=125$ dk B tarama görüntüleri: [sol üst] işlenmemiş görüntü, [sağ üst] ortalama çıkarımı sonucu, [sol alt] SVD/PCA sonucu ve [sağ alt] ICA sonucudur.



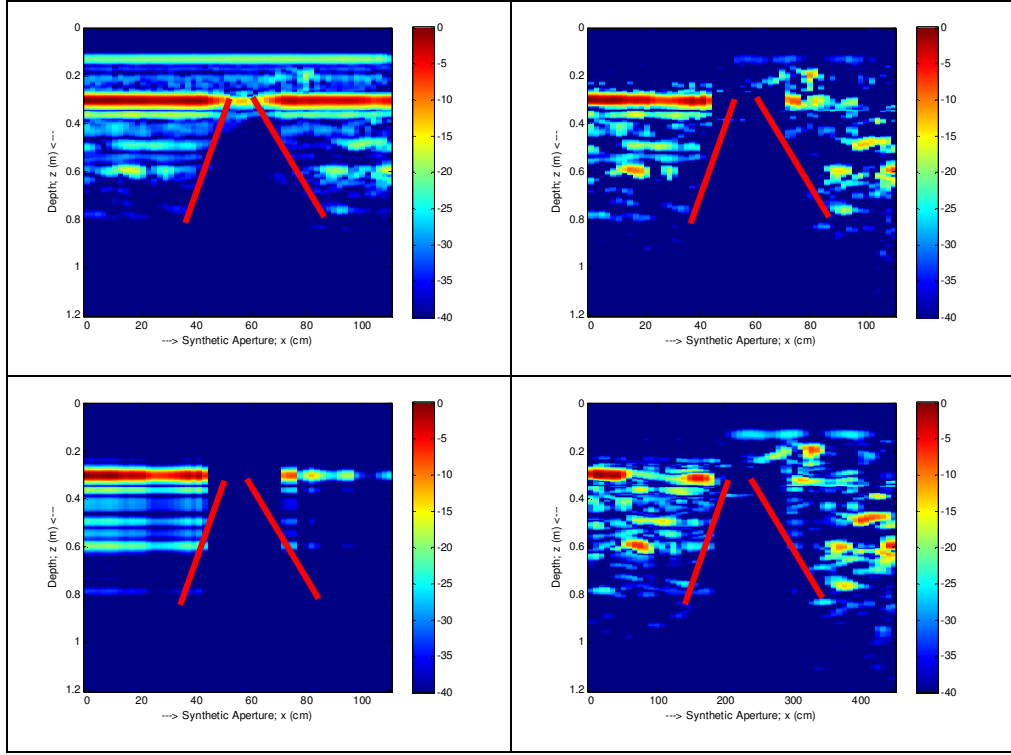
Şekil 4.19. $t=125$ dk tersi B tarama görüntüleri: [sol üst] ters görüntü, [sağ üst] ortalama çıkarımı sonucu, [sol alt] SVD/PCA sonucu ve [sağ alt] ICA sonucudur.



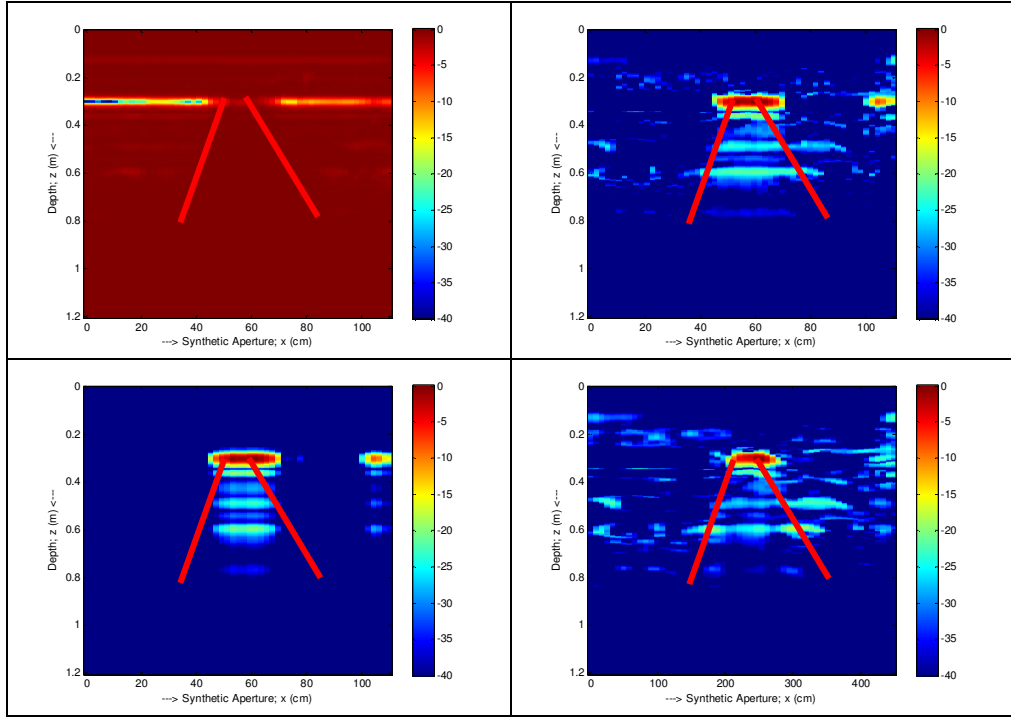
Şekil 4.20. $t=150$ dk B tarama görüntüleri: [sol üst] işlenmemiş görüntü, [sağ üst] ortalama çıkarımı sonucu, [sol alt] SVD/PCA sonucu ve [sağ alt] ICA sonucudur.



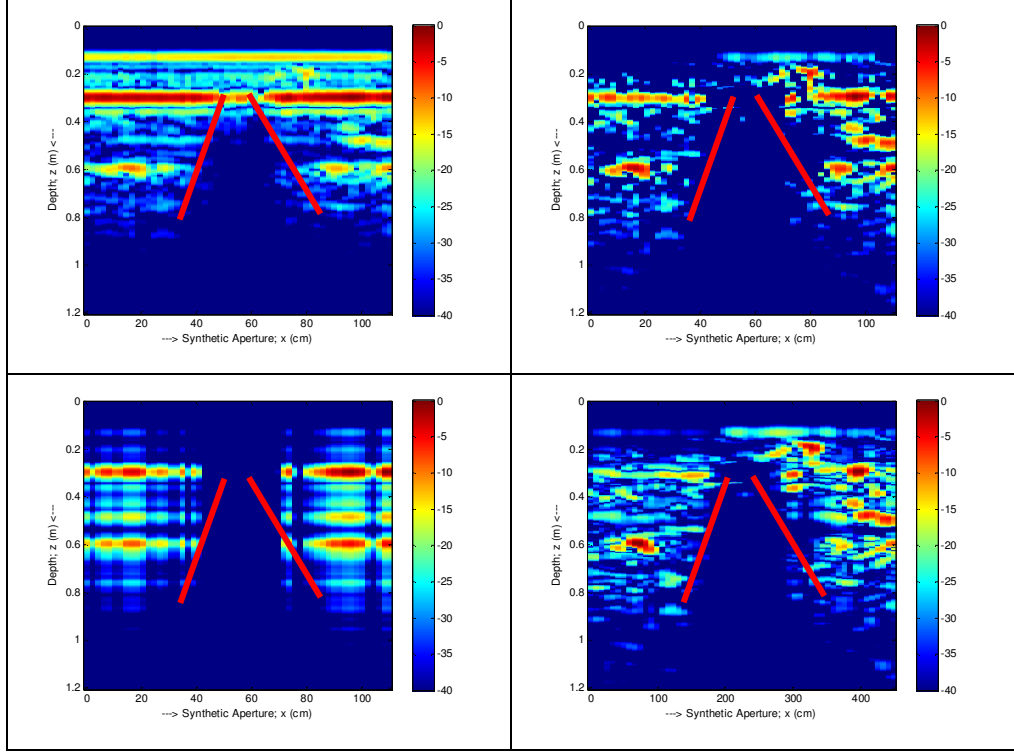
Şekil 4.21. $t=150$ dk tersi B tarama görüntüleri: [sol üst] ters görüntü, [sağ üst] ortalama çıkarımı sonucu, [sol alt] SVD/PCA sonucu ve [sağ alt] ICA sonucudur.



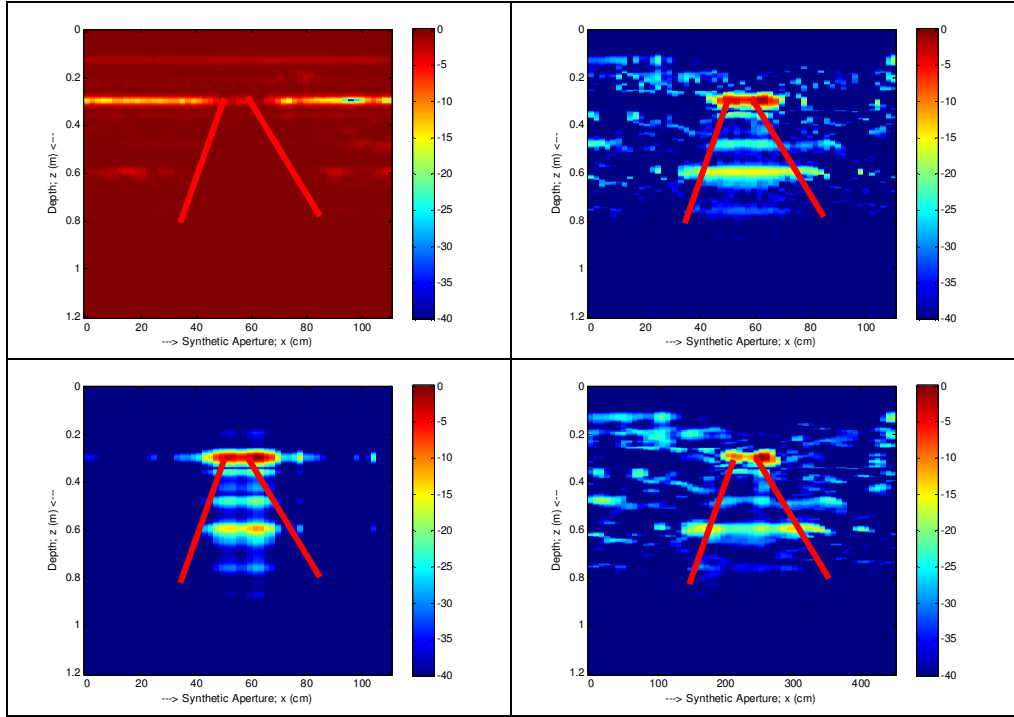
Şekil 4.22. $t=165$ dk B tarama görüntüleri: [sol üst] işlenmemiş görüntü, [sağ üst] ortalama çıkarımı sonucu, [sol alt] SVD/PCA sonucu ve [sağ alt] ICA sonucudur.



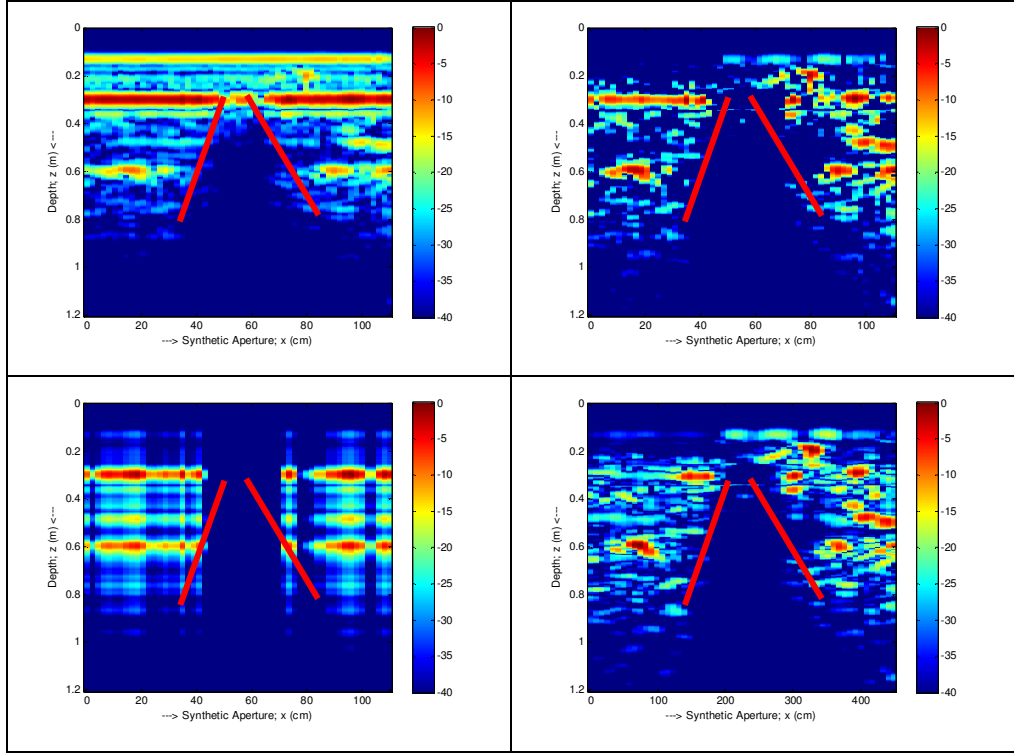
Şekil 4.23. $t=165$ dk tersi B tarama görüntüleri: [sol üst] ters görüntü, [sağ üst] ortalama çıkarımı sonucu, [sol alt] SVD/PCA sonucu ve [sağ alt] ICA sonucudur.



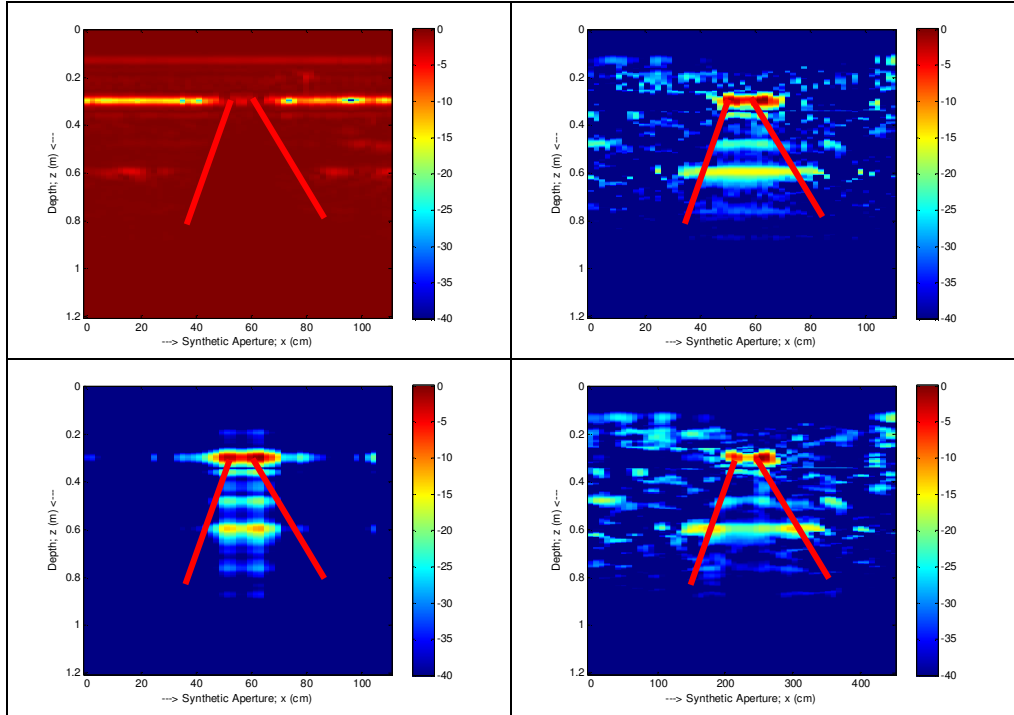
Şekil 4.24. $t=170$ dk B tarama görüntüleri: [sol üst] işlenmemiş görüntü, [sağ üst] ortalama çıkarımı sonucu, [sol alt] SVD/PCA sonucu ve [sağ alt] ICA sonucudur.



Şekil 4.25. $t=170$ dk tersi B tarama görüntüleri: [sol üst] ters görüntü, [sağ üst] ortalama çıkarımı sonucu, [sol alt] SVD/PCA sonucu ve [sağ alt] ICA sonucudur.



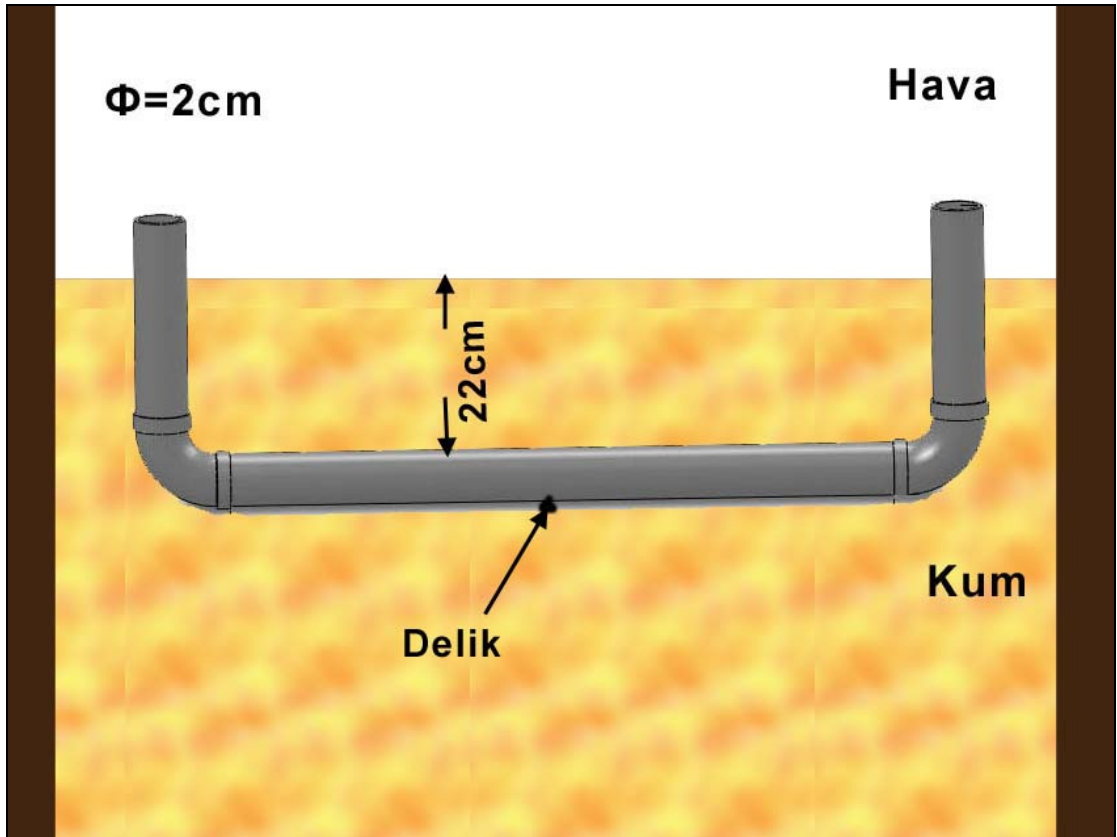
Şekil 4.26. $t=190$ dk B tarama görüntüleri: [sol üst] işlenmemiş görüntü, [sağ üst] ortalama çıkarımı sonucu, [sol alt] SVD/PCA sonucu ve [sağ alt] ICA sonucudur.



Şekil 4.27. $t=190$ dk tersi B tarama görüntüleri: [sol üst] ters görüntü, [sağ üst] ortalama çıkarımı sonucu, [sol alt] SVD/PCA sonucu ve [sağ alt] ICA sonucudur.

4.1.2. Laboratuvar Ortamı 20mm Çaplı Plastik Boru Deneyleri

2 cm çapında plastik bir borunun sağ ucundan 80 cm uzaklıkta delik açıldı. Boru kum havuzunda 22 cm derine susuz olarak gömüldü ve taramalar yapıldı. Bistatik tarama yapmak için network Analizörün iki port (two port) kalibrasyonu yapıldı Güç 5 dbm'e ayarlandı. Tüm deneylerde 69 cm yapay açıklık boyunca, 1'er cm arayla ($\Delta x = 1$ cm) 69 adet geri saçılma elektrik alan verisi toplandı. Her bir nokta için (her bir A tarama için) frekans 4.5-8.5 GHz arasında değiştirilerek; eşit aralıklarda toplam 201 ayrı frekans noktası için geri saçılma elektrik alan verisi toplandı ve 201x69 boyutunda B tarama matrisleri oluşturuldu. Daha sonra, YNR görüntüleme algoritması uygulanarak B tarama YNR görüntüleri elde edildi. Tüm taramalar 2 saniye aralıklarla yapılmıştır. Çizelge 4.2. deneylerin tarama zamanını, deneylerin adlarını ve deney koşullarını belirtmektedir. Çizelgedeki t boruya ilk su döküldükten sonra geçen zamanı göstermektedir.

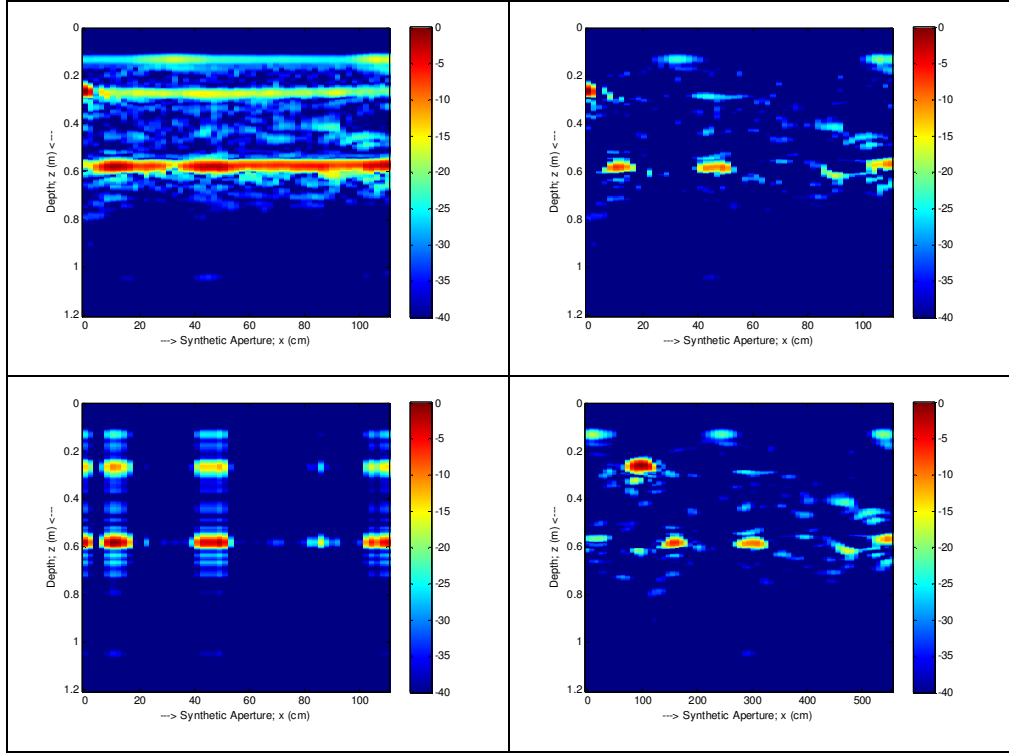


Şekil 4.28. Laboratuvar ortamı 20mm çaplı plastik boru deneyleri deney geometrisi

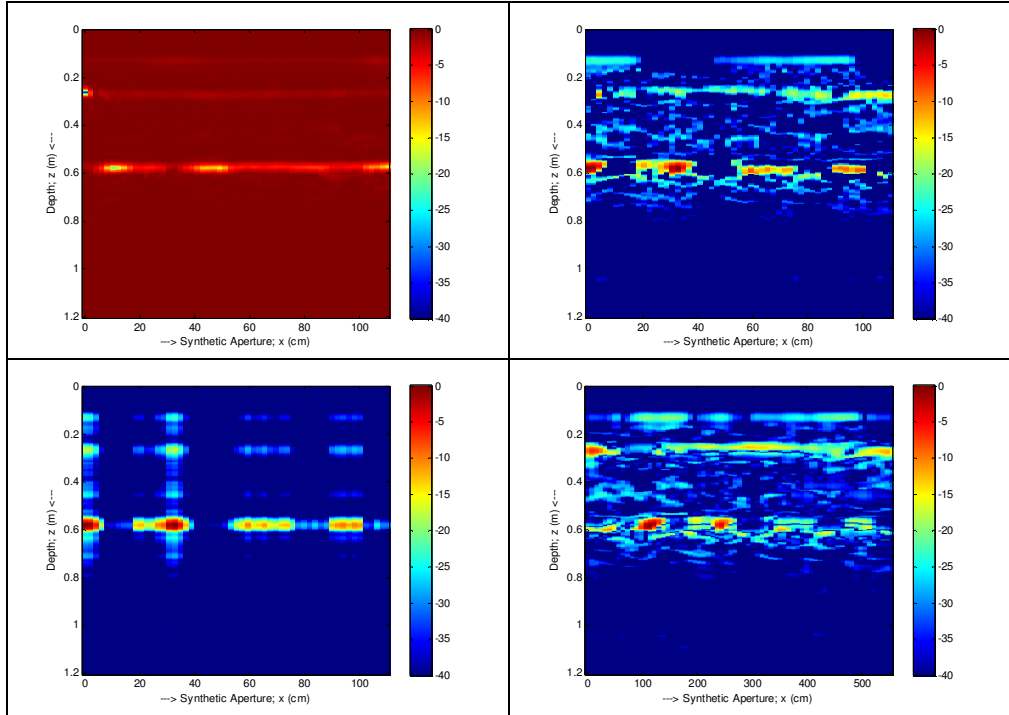
Çizelge 4.2. Laboratuvar ortamı 20mm çaplı plastik boru deneylerinin tarama zamanı, deneylerin adları ve deney koşulları

| Tarama Zamanı | Deney Adı | Deney Koşulları |
|----------------------|------------------|--|
| 12:10 | Susuz boru | Su konulmadı. tarama yapıldı |
| 12:19 | t=0 dk | 3 LT su konulduktan sonra tarama yapıldı |
| 12:24 | t=5 dk | İlave su konulmadı. Tarama yapıldı |
| 12:29 | t=10 dk | İlave su konulmadı. Tarama yapıldı |
| 12:34 | t=15 dk | 1,5 LT ilave su konulduktan sonra tarama yapıldı |
| 12:39 | t=20 dk | İlave su konulmadı. Tarama yapıldı |

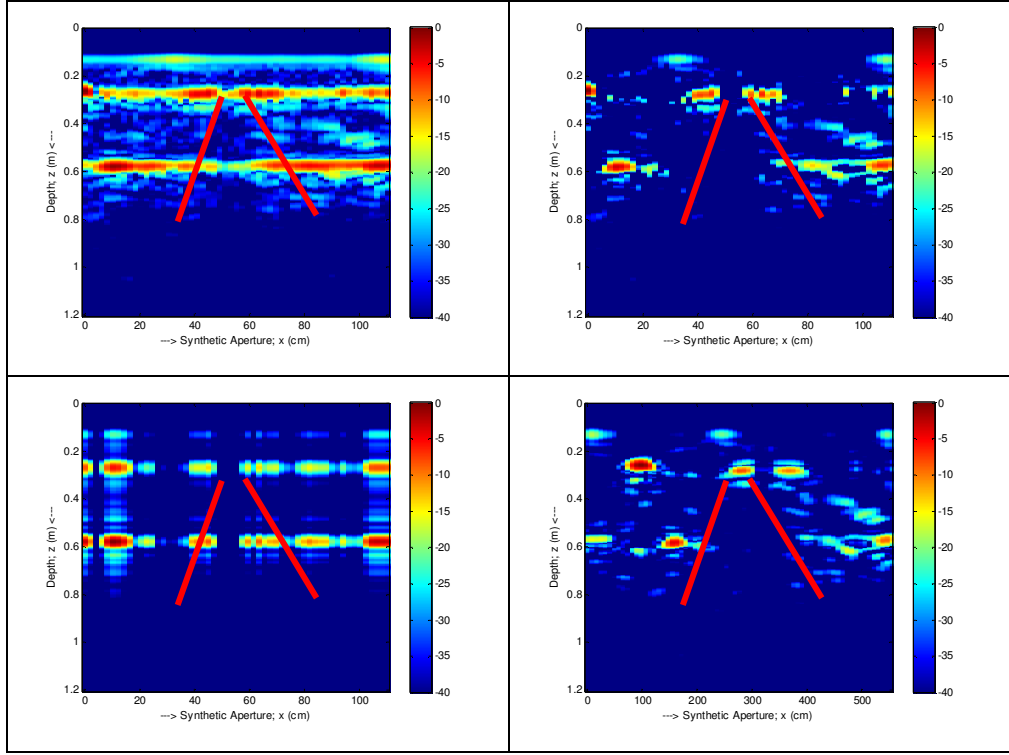
Görüntüler izleyen sayfadaki şekillerde gösterilmiştir. Tüm şekillerde kırmızı renkle gösterilen doğruların arasında kalan alan ıslak bölgeyi göstermektedir.



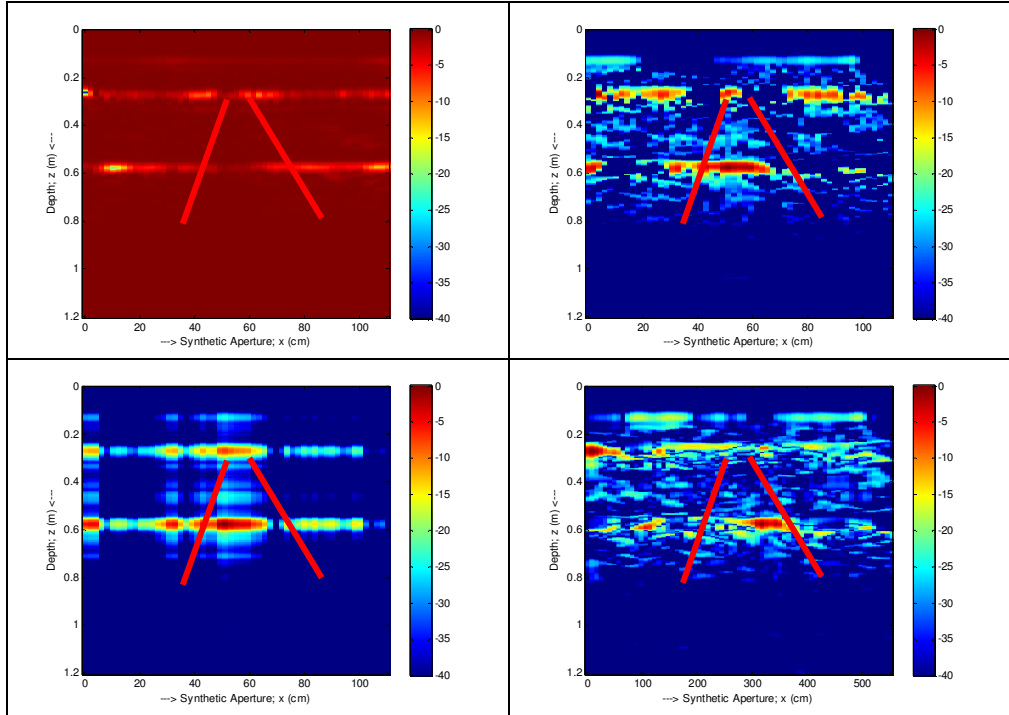
Şekil 4.29. Susuz boru B tarama görüntüleri: [sol üst] işlenmemiş görüntü, [sağ üst] ortalama çıkarımı sonucu, [sol alt] SVD/PCA sonucu ve [sağ alt] ICA sonucudur.



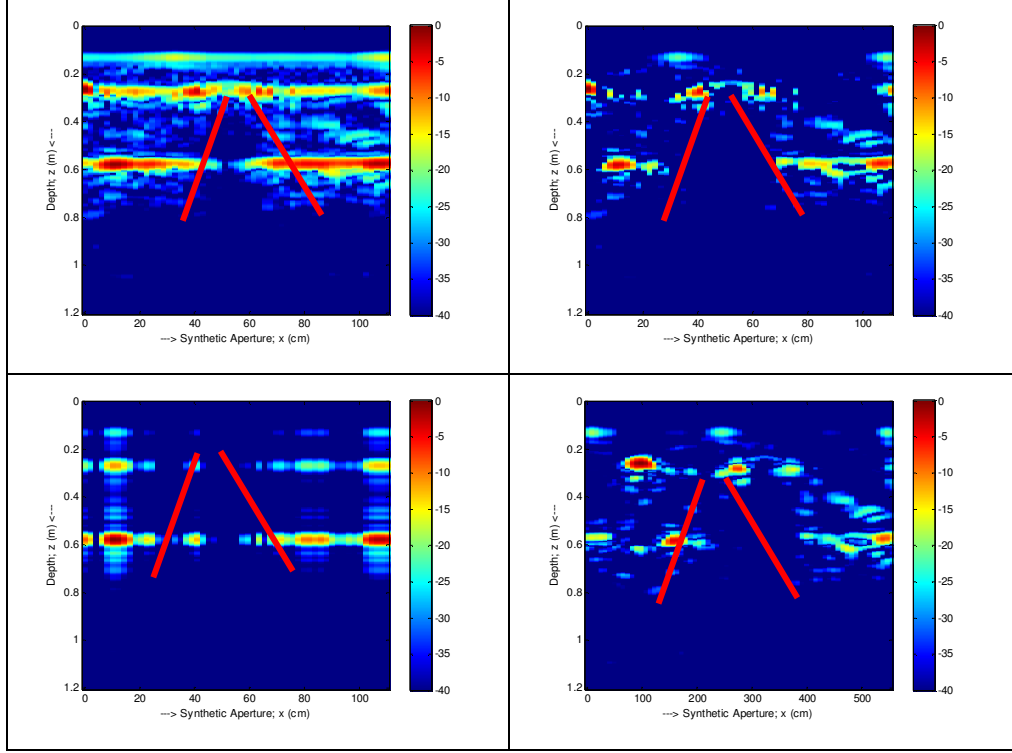
Şekil 4.30. Susuz boru tersi B tarama görüntüleri: [sol üst] ters görüntü, [sağ üst] ortalama çıkarımı sonucu, [sol alt] SVD/PCA sonucu ve [sağ alt] ICA sonucudur.



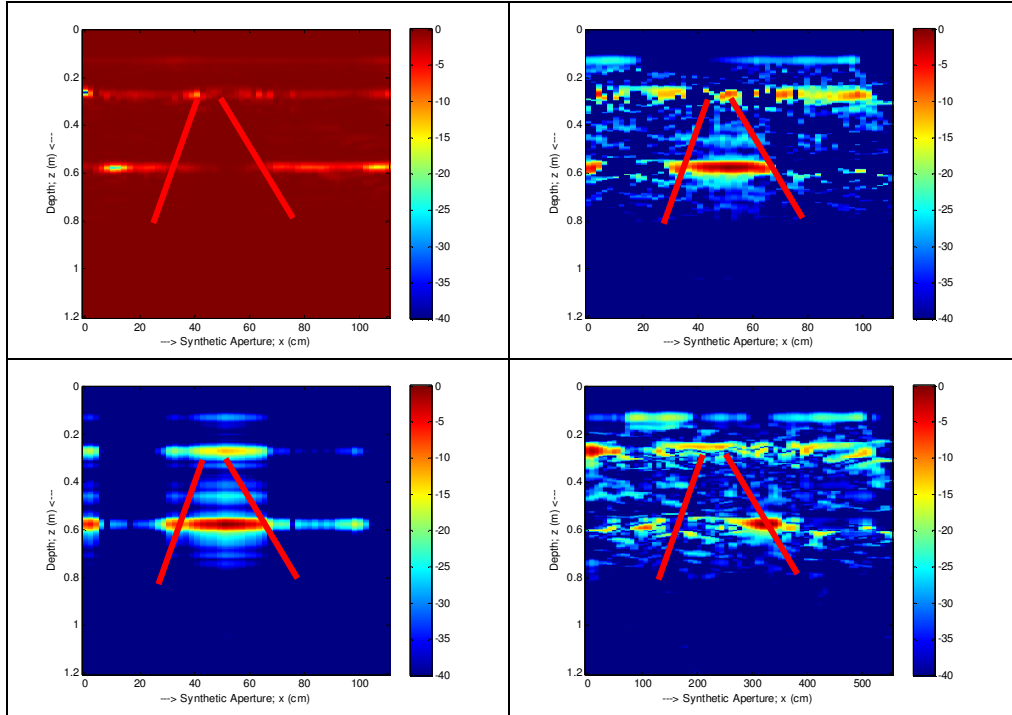
Şekil 4.31. $t=0$ dk. B tarama görüntüleri: [sol üst] işlenmemiş görüntü, [sağ üst] ortalama çıkarımı sonucu, [sol alt] SVD/PCA sonucu ve [sağ alt] ICA sonucudur.



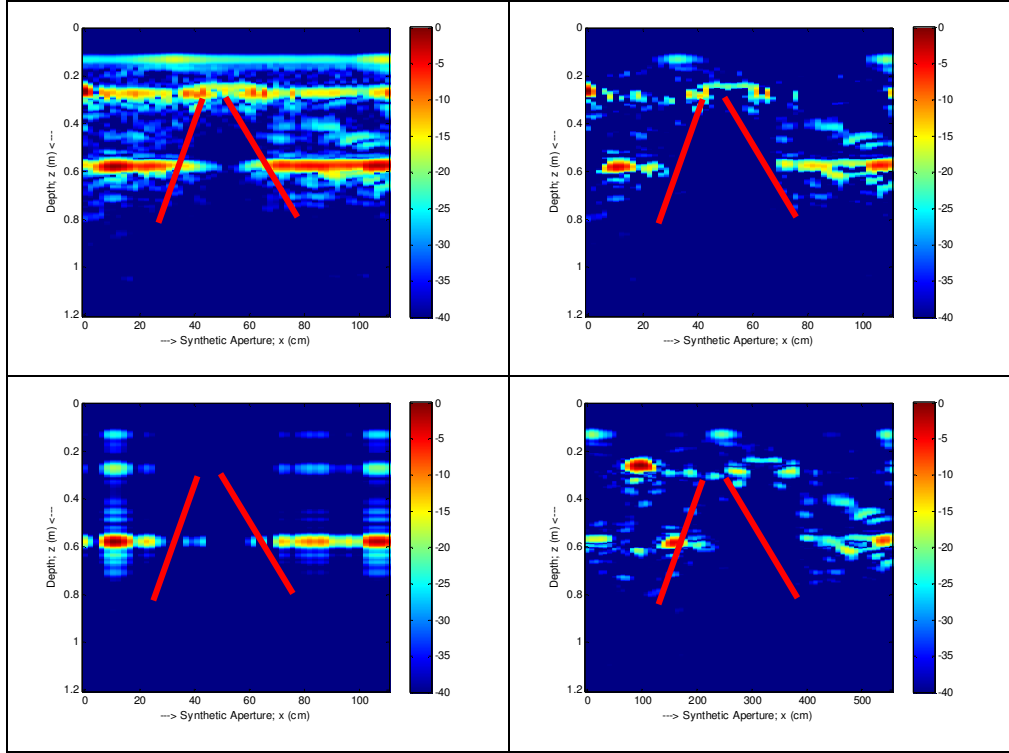
Şekil 4.32. $t=0$ dk tersi B tarama görüntüleri: [sol üst] ters görüntü, [sağ üst] ortalama çıkarımı sonucu, [sol alt] SVD/PCA sonucu ve [sağ alt] ICA sonucudur.



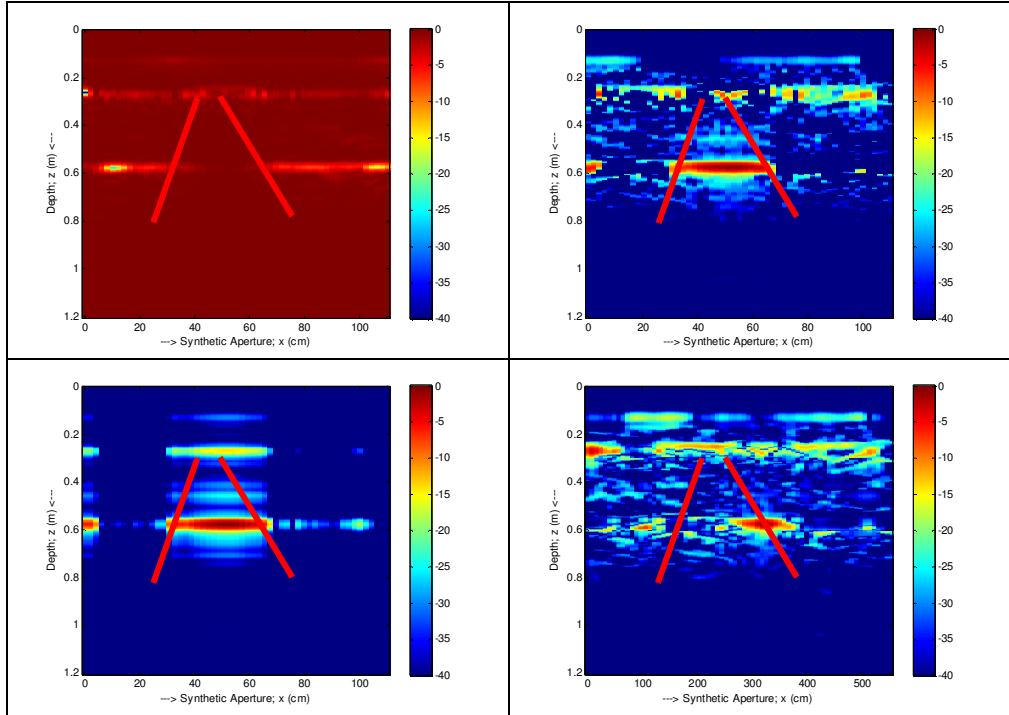
Şekil 4.33. $t=5$ dk B tarama görüntüleri: [sol üst] işlenmemiş görüntü, [sağ üst] ortalama çıkarımı sonucu, [sol alt] SVD/PCA sonucu ve [sağ alt] ICA sonucudur.



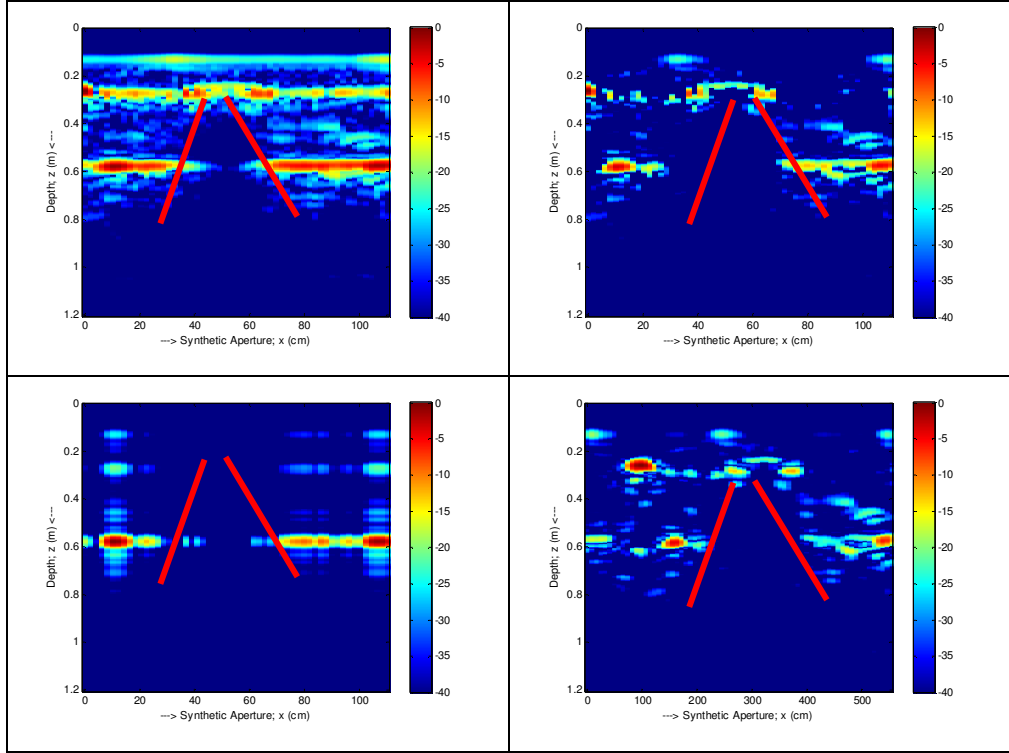
Şekil 4.34. $t=5$ dk tersi B tarama görüntüleri: [sol üst] ters görüntü, [sağ üst] ortalama çıkarımı sonucu, [sol alt] SVD/PCA sonucu ve [sağ alt] ICA sonucudur.



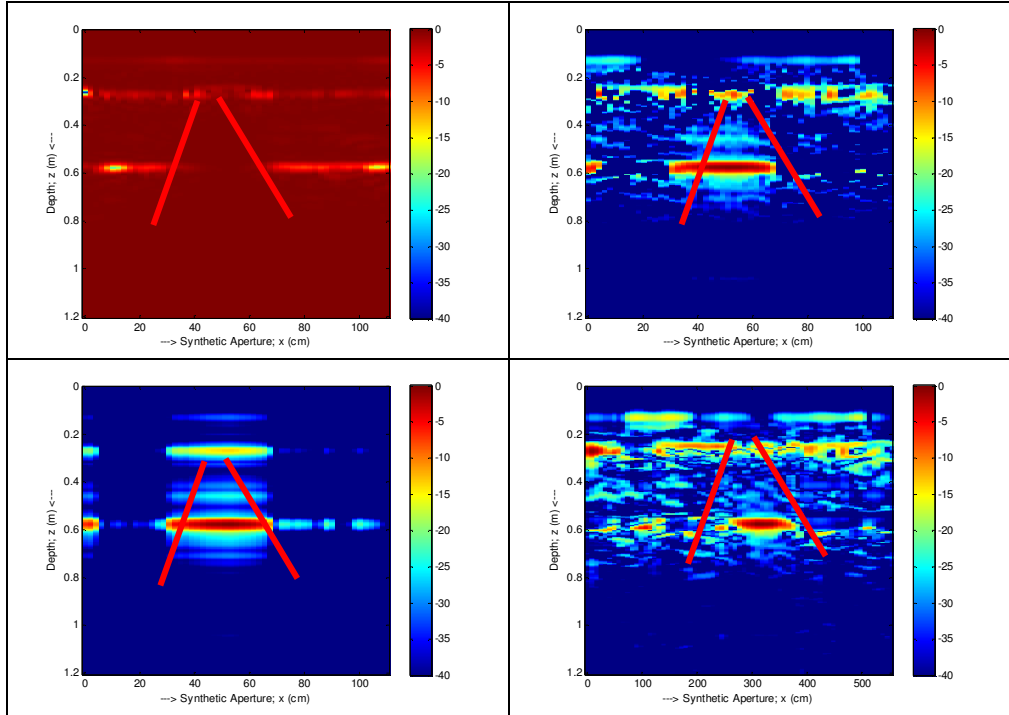
Şekil 4.35. $t=10$ dk B tarama görüntüleri: [sol üst] işlenmemiş görüntü, [sağ üst] ortalama çıkarımı sonucu, [sol alt] SVD/PCA sonucu ve [sağ alt] ICA sonucudur.



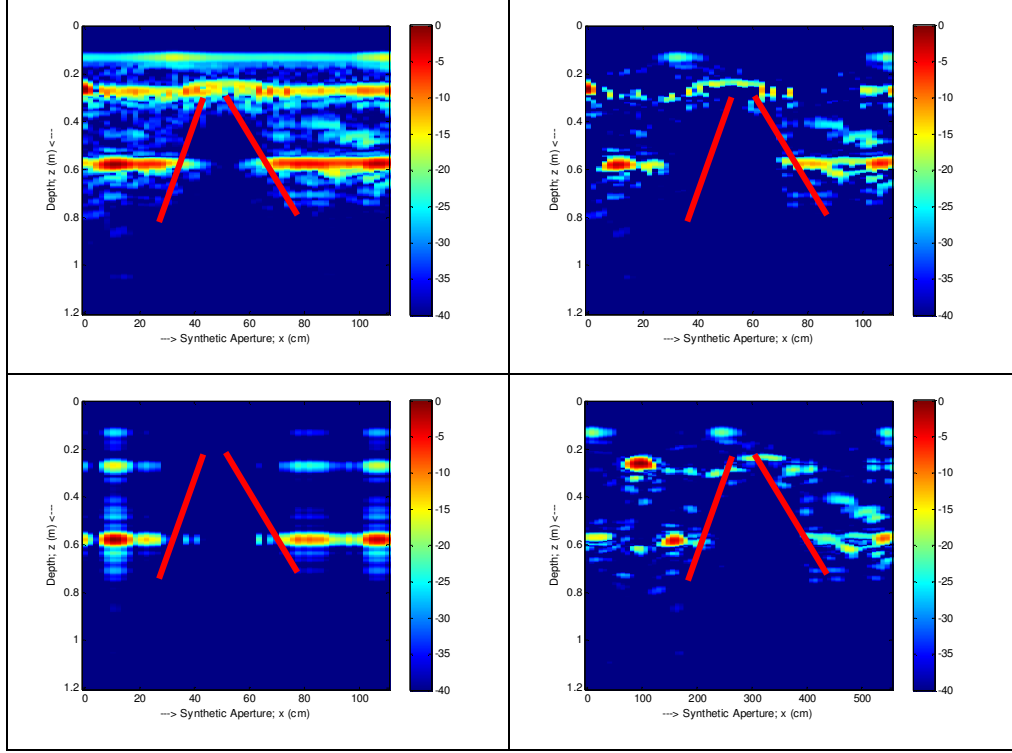
Şekil 4.36. $t=10$ dk tersi B tarama görüntüleri: [sol üst] ters görüntü, [sağ üst] ortalama çıkarımı sonucu, [sol alt] SVD/PCA sonucu ve [sağ alt] ICA sonucudur.



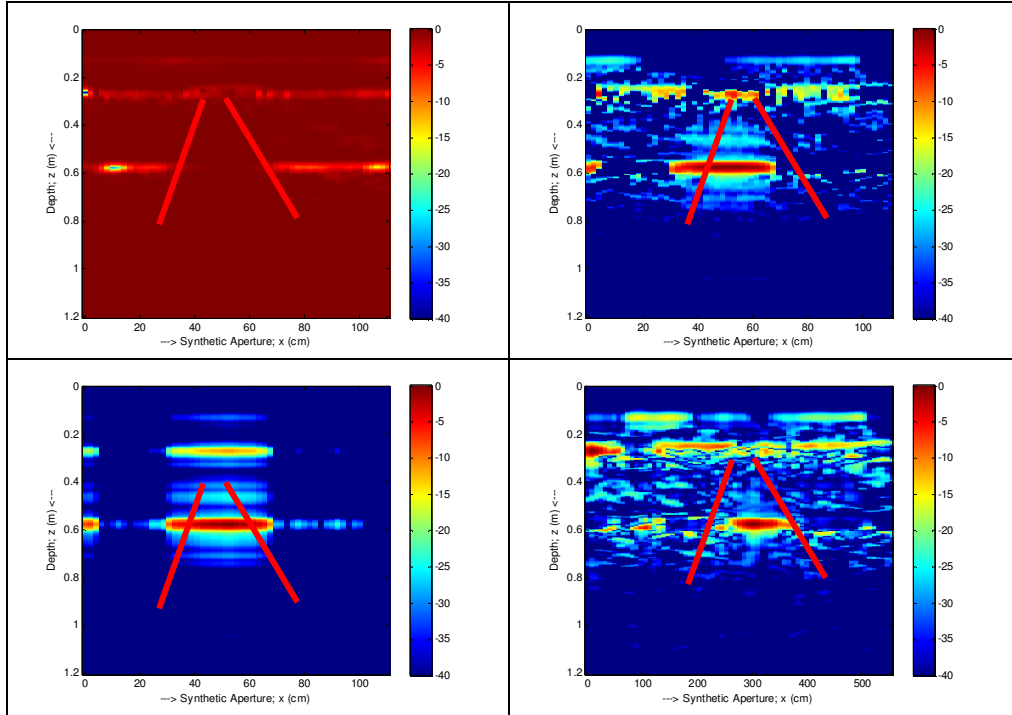
Şekil 4.37. $t=15$ dk B tarama görüntüleri: [sol üst] işlenmemiş görüntü, [sağ üst] ortalama çıkarımı sonucu, [sol alt] SVD/PCA sonucu ve [sağ alt] ICA sonucudur.



Şekil 4.38. $t=15$ dk tersi B tarama görüntüleri: [sol üst] ters görüntü, [sağ üst] ortalama çıkarımı sonucu, [sol alt] SVD/PCA sonucu ve [sağ alt] ICA sonucudur.



Şekil 4.39. $t=20$ dk B tarama görüntüleri: [sol üst] işlenmemiş görüntü, [sağ üst] ortalama çıkarımı sonucu, [sol alt] SVD/PCA sonucu ve [sağ alt] ICA sonucudur.



Şekil 4.40. $t=20$ dk tersi B tarama görüntüleri: [sol üst] ters görüntü, [sağ üst] ortalama çıkarımı sonucu, [sol alt] SVD/PCA sonucu ve [sağ alt] ICA sonucudur.

4.2. ARAZİDE YAPILAN B TARAMA DENEYLERİNE AİT BULGULAR

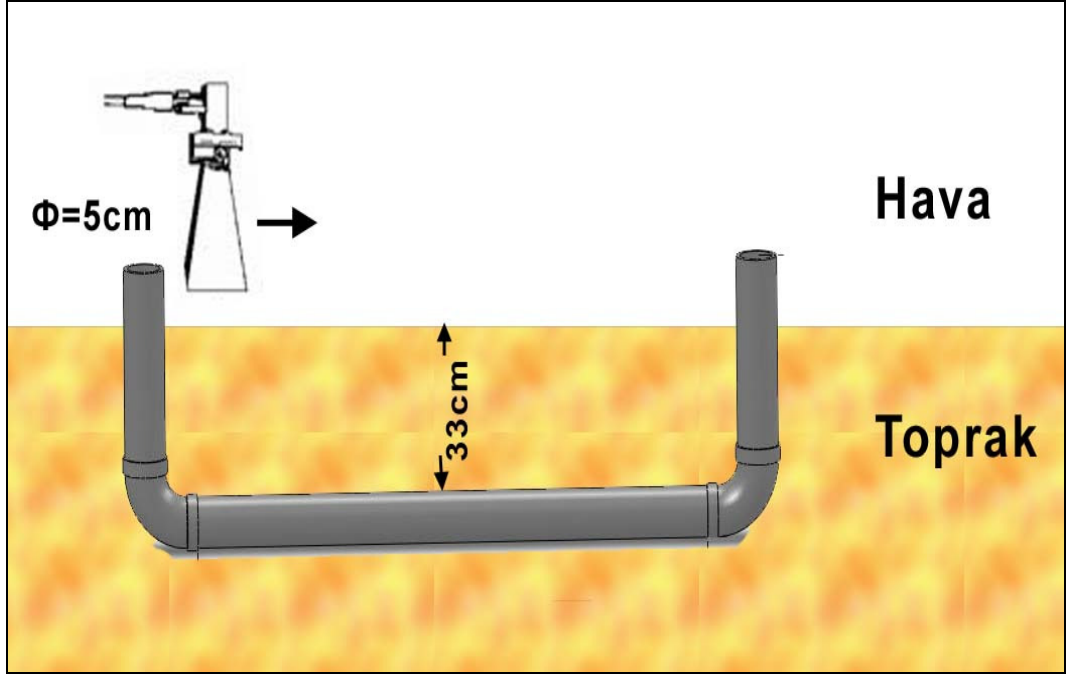
Mersin Üniversitesinin Çiftlikköy yerleşkesi içinde kalan değişik bölgelerde değişik YNR deneyleri yapıldı. Bu deneylerde 5 cm çapındaki kalın borular kullanıldı.

4.2.1. Arazi Ortamı 1. Grup Deneyler

Bu deneyler Mersin Üniversitesi Çiftlik Köy Yerleşkesindeki Teknopark yanında bulunan kumlarla yapılmıştır. Boru önce orta alt tarafından (75 cm'den) delindi ve 33 cm derinliğe susuz olarak gömüldü. Borunun sağ tarafından 25 cm uzağa borunun tam üzerine referans metal plaka yerleştirildi. Network Analizörün kalibrasyonu yapıldı Güç 6 dbm'e ayarlandı (Gerekli durumlarda kalibrasyon tekrar yapıldı). Resim 4.1. de bu deneylere ait bir fotoğraf görülmektedir.



Resim 4.1. Arazi Ortamı 1. Grup deneylerinden bir görünüş.



Şekil 4.41. Arazi ortamı 1. grup deneyleri deney geometrisi.

Arazi ortamı 1. grup deney 1 ve Arazi ortamı 1. grup deney 2 adlı deneylerde 130 cm yapay açıklık boyunca, 2'şer cm arayla ($\Delta x = 2$ cm) 66 adet geri saçılma elektrik alan verisi toplandı. Her bir nokta için (her bir A tarama için) frekans 0.8-5 GHz arasında değiştirilerek eşit aralıklarda toplam 501 ayrı frekans noktası için geri saçılma elektrik alan verisi toplandı ve 501x66 boyutunda B tarama matrisleri oluşturuldu.

Arazi ortamı 1. grup deney 3 adlı deneyde 128 cm yapay açıklık boyunca, 2'şer cm arayla ($\Delta x = 2$ cm) 65 adet geri saçılma elektrik alan verisi toplandı. Her bir nokta için (her bir A tarama için) frekans 3-5 GHz arasında değiştirilerek eşit aralıklarda toplam 501 ayrı frekans noktası için geri saçılma elektrik alan verisi toplandı ve 501x65 boyutunda B tarama matrisleri oluşturuldu.

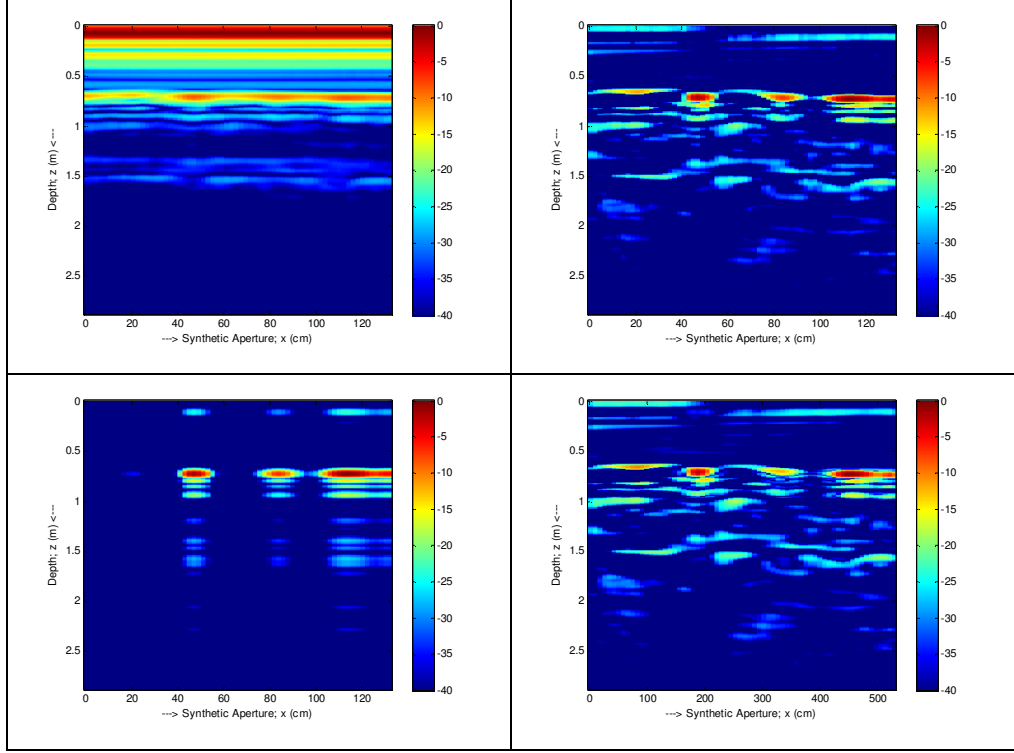
Arazi ortamı 1. grup deney 4 adlı deneyde 110 cm yapay açıklık boyunca, 2'şer cm arayla ($\Delta x = 2$ cm) 56 adet geri saçılma elektrik alan verisi toplandı. Her bir nokta için (her bir A tarama için) frekans 3-5 GHz arasında değiştirilerek eşit aralıklarda toplam 501 ayrı frekans noktası için geri saçılma elektrik alan verisi toplandı ve 501x65 boyutunda B tarama matrisleri oluşturuldu.

Yapılan diğer tüm deneylerde 108 cm yapay açıklık boyunca, 2'şer cm arayla ($\Delta x = 2$ cm) 55 adet geri saçılma elektrik alan verisi toplandı. Her bir nokta için (her bir A tarama için) frekans 0.8-5 GHz arasında değiştirilerek; eşit aralıklarda toplam 501 ayrı frekans noktası için geri saçılma elektrik alan verisi toplandı ve 501x55 boyutunda B tarama matrisleri oluşturuldu. Daha sonra, YNR görüntüleme algoritması uygulanarak B tarama YNR görüntüleri elde edildi. Çizelge 4.3. deneylerin tarama zamanını, deneylerin adlarını ve deneylerde ne kadar su konulduğunu belirtmektedir.

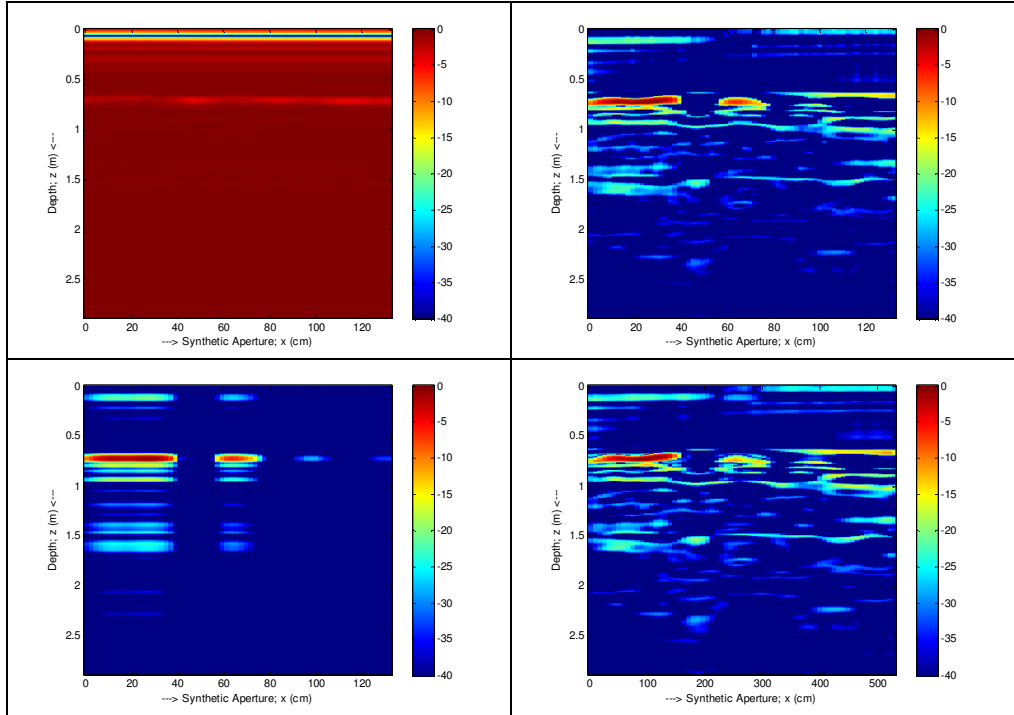
Çizelge 4.3. Arazi ortamı 1. grup deneylerinin tarama zamanı, deneylerin adları ve deney koşulları

| Tarama Zamanı | Deney Adı | Deney Koşulları |
|---------------|---|--|
| 12:05 | Arazi ortamı 1. grup deney 1 | Su konulmadı |
| 12:30 | Arazi ortamı 1. grup deney 2 | Su konulmadı |
| 12:50 | Arazi ortamı 1. grup deney 3 | Su konulmadı |
| 13:09 | Arazi ortamı 1. grup deney 4 | Su konulmadı |
| 13:32 | Arazi ortamı 1. grup deney 5 (susuz boru) | Su konulmadı |
| 13:42 | Arazi ortamı 1. grup deney 6 (t=0) | 2 LT su konulduktan sonra tarama yapıldı. |
| 13:52 | Arazi ortamı 1. grup deney 7 (t=10) | 1.5 LT su konulduktan sonra tarama yapıldı |
| 14:02 | Arazi ortamı 1. grup deney 8 (t=20) | 1 LT su konulduktan sonra tarama yapıldı |
| 14:22 | Arazi ortamı 1. grup deney 9 (t=40) | 2 LT su konulduktan sonra tarama yapıldı |
| 14:42 | Arazi ortamı 1. grup deney 10 (t=60) | 2LT su konulduktan sonra tarama yapıldı |
| 15:02 | Arazi ortamı 1. grup deney 11 (t=80) | 1.5 LT su konulduktan sonra tarama yapıldı |
| 13:22 | Arazi ortamı 1. grup deney 12 (t=100) | 1 LT su konulduktan sonra tarama yapıldı |

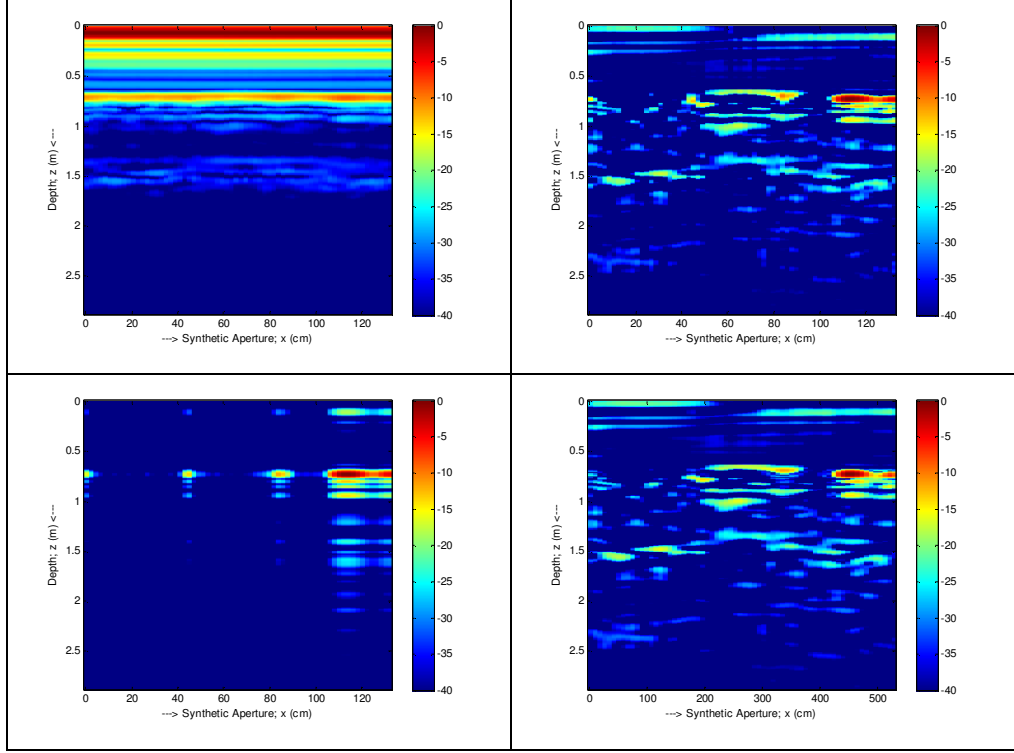
Görüntüler izleyen sayfadaki şekillerde gösterilmiştir. Tüm şekillerde kırmızı renkle gösterilen doğruların arasında kalan alan ıslak bölgeyi göstermektedir.



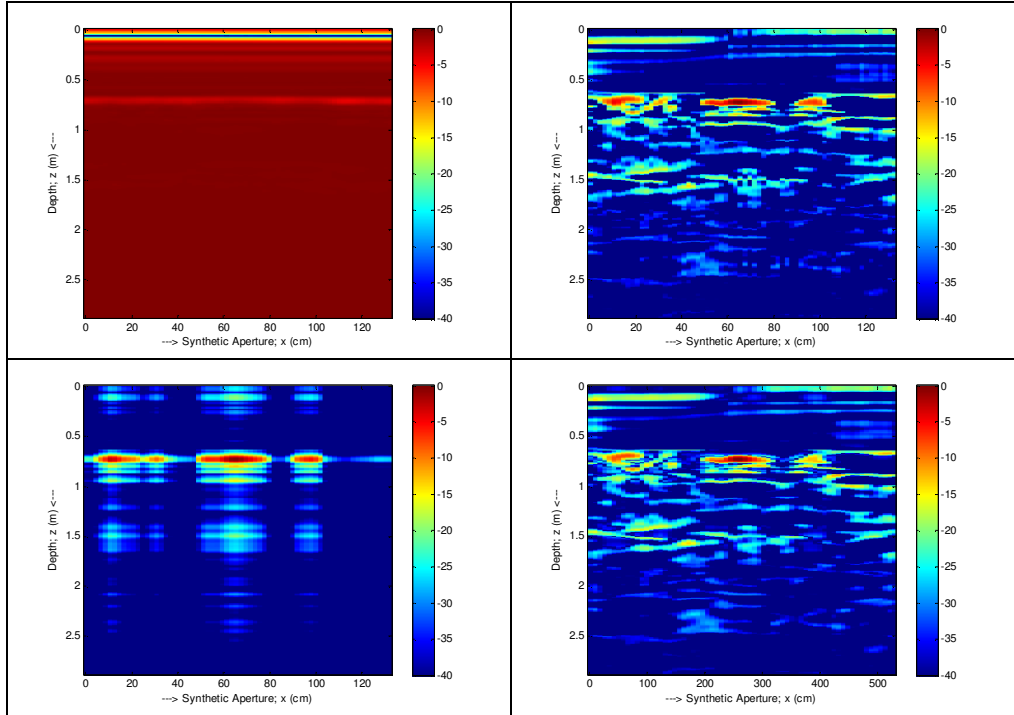
Şekil 4.42. Arazi ortamı 1. grup deney 1 B tarama görüntüleri: [sol üst] işlenmemiş görüntü, [sağ üst] ortalama çıkarımı sonucu, [sol alt] SVD/PCA sonucu ve [sağ alt] ICA sonucudur.



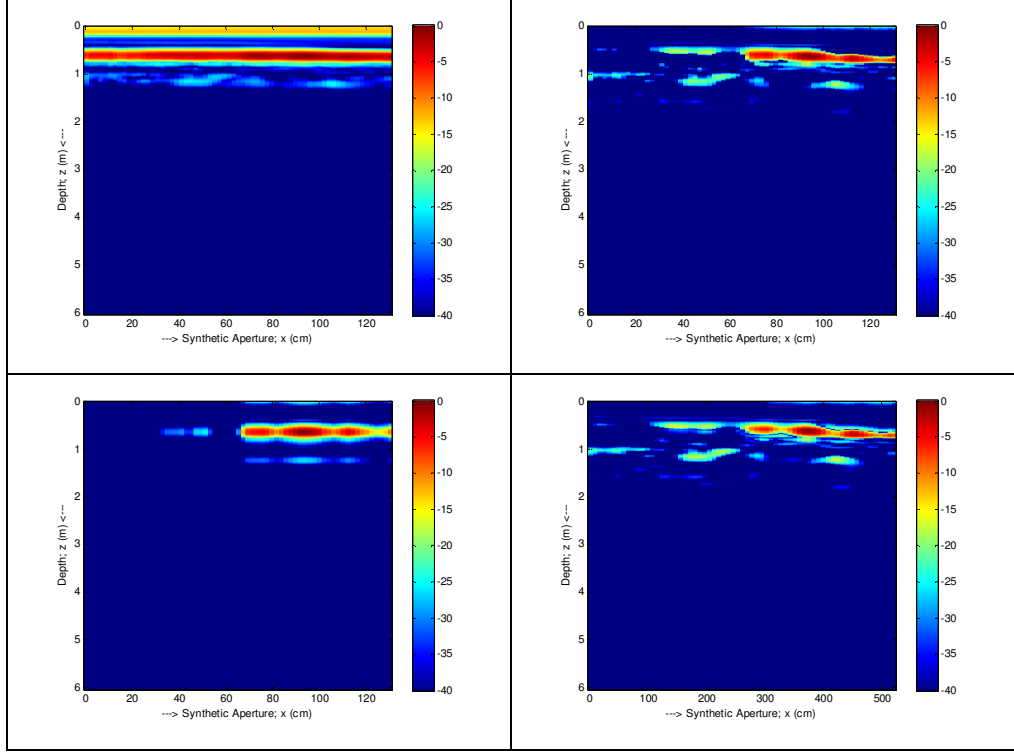
Şekil 4.43. Arazi ortamı 1. grup deney 1 tersi B tarama görüntüleri: [sol üst] ters görüntü, [sağ üst] ortalama çıkarımı sonucu, [sol alt] SVD/PCA sonucu ve [sağ alt] ICA sonucudur.



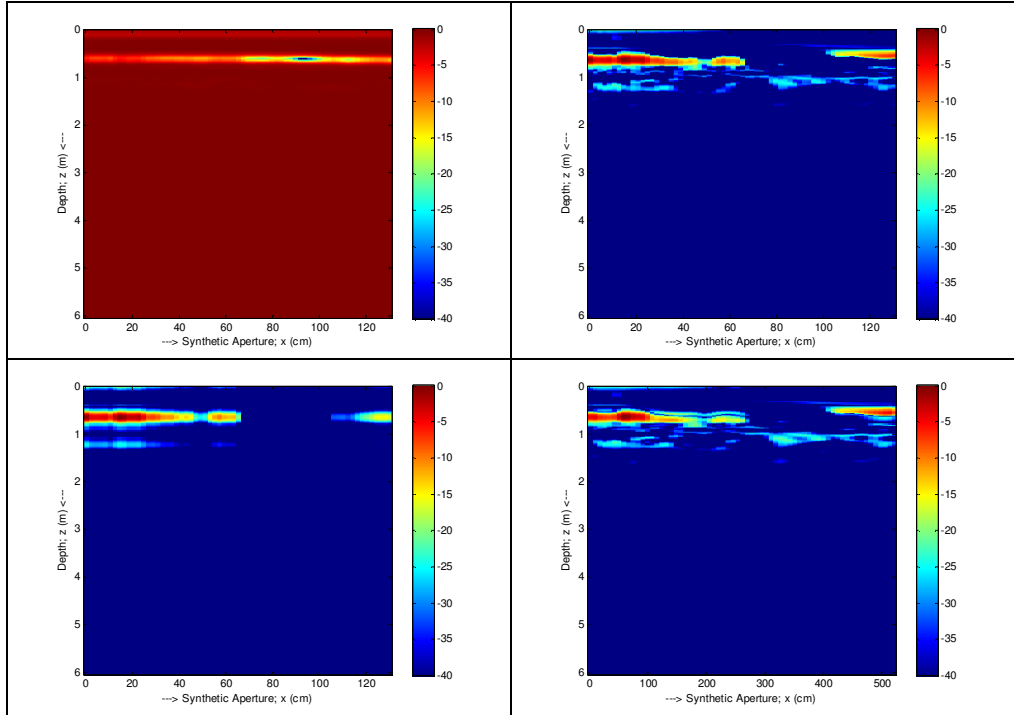
Şekil 4.44. Arazi ortamı 1. grup deney 2 B tarama görüntüleri: [sol üst] işlenmemiş görüntü, [sağ üst] ortalama çıkarımı sonucu, [sol alt] SVD/PCA sonucu ve [sağ alt] ICA sonucudur.



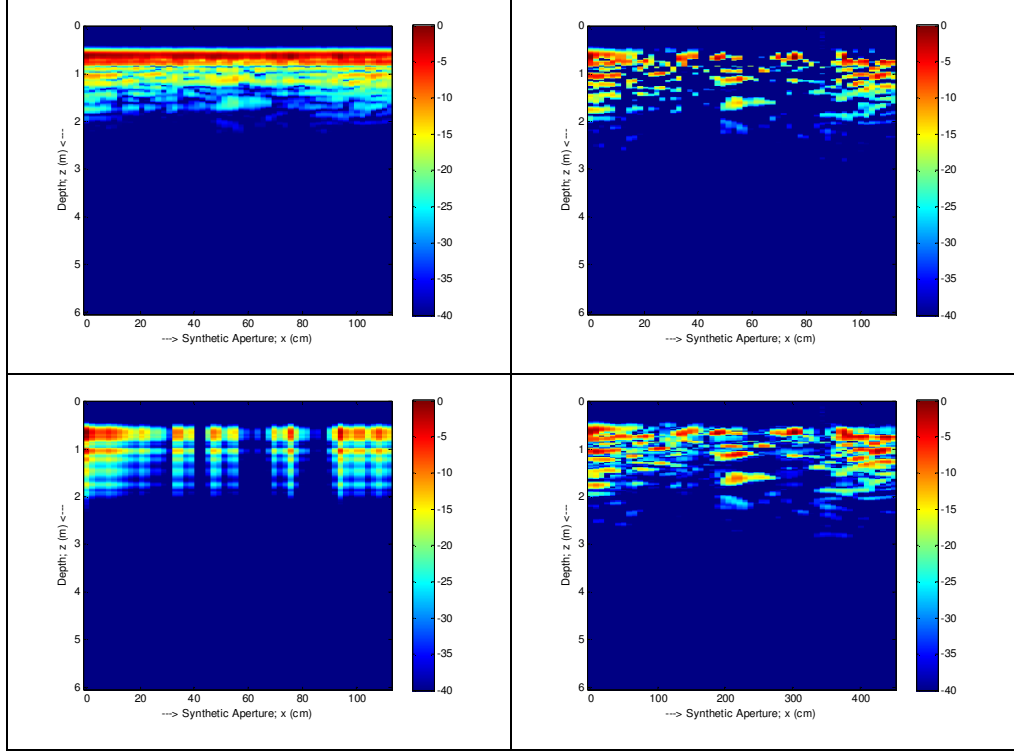
Şekil 4.45. Arazi ortamı 1. grup deney 2 tersi B tarama görüntüleri: [sol üst] işlenmemiş görüntü, [sağ üst] ortalama çıkarımı sonucu, [sol alt] SVD/PCA sonucu ve [sağ alt] ICA sonucudur.



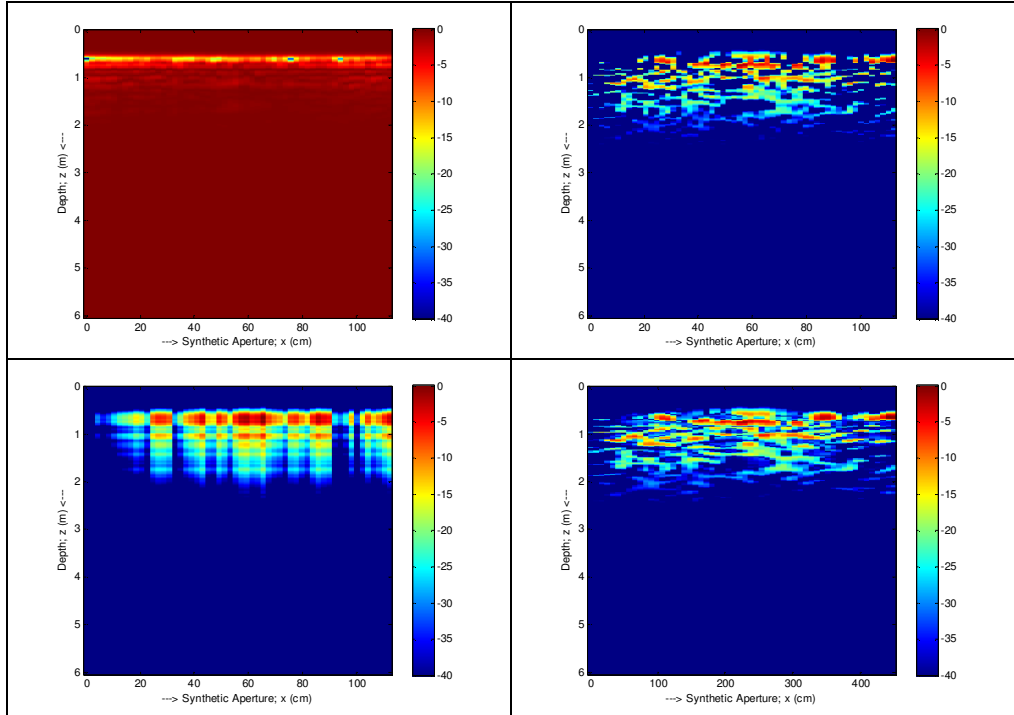
Şekil 4.46. Arazi ortamı 1. grup deney 3 B tarama görüntüleri: [sol üst] işlenmemiş görüntü, [sağ üst] ortalama çıkarımı sonucu, [sol alt] SVD/PCA sonucu ve [sağ alt] ICA sonucudur.



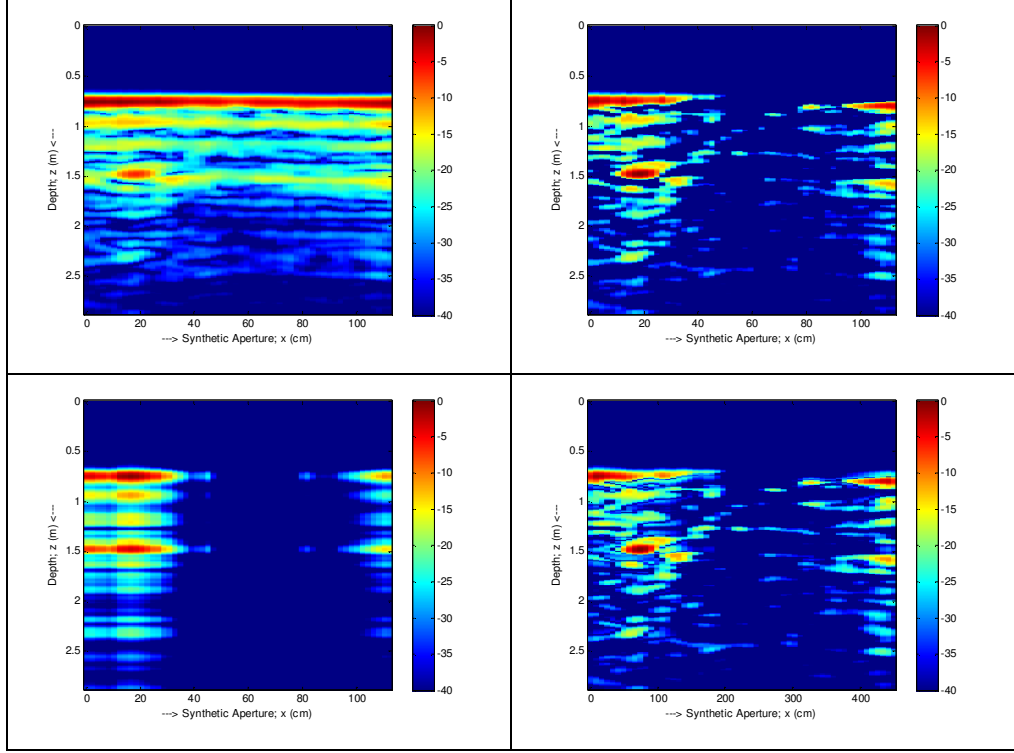
Şekil 4.47. Arazi ortamı 1. grup deney 3 tersi B tarama görüntüleri: [sol üst] işlenmemiş görüntü, [sağ üst] ortalama çıkarımı sonucu, [sol alt] SVD/PCA sonucu ve [sağ alt] ICA sonucudur.



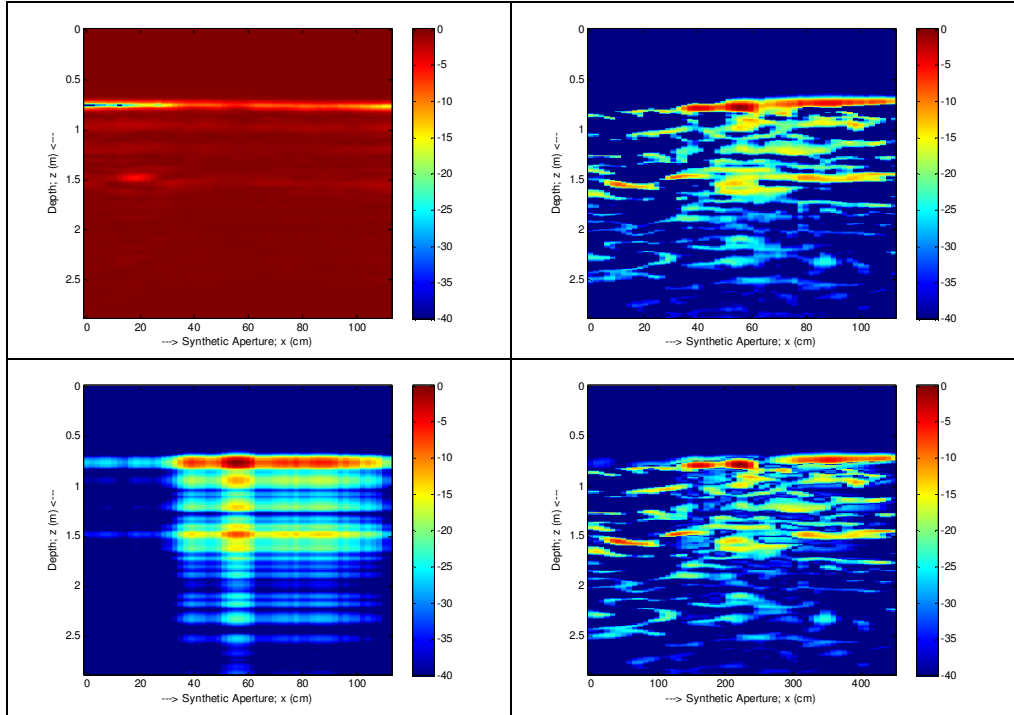
Şekil 4.48. Arazi ortamı 1. grup deney 4 B tarama görüntüleri: [sol üst] işlenmemiş görüntü, [sağ üst] ortalama çıkarımı sonucu, [sol alt] SVD/PCA sonucu ve [sağ alt] ICA sonucudur.



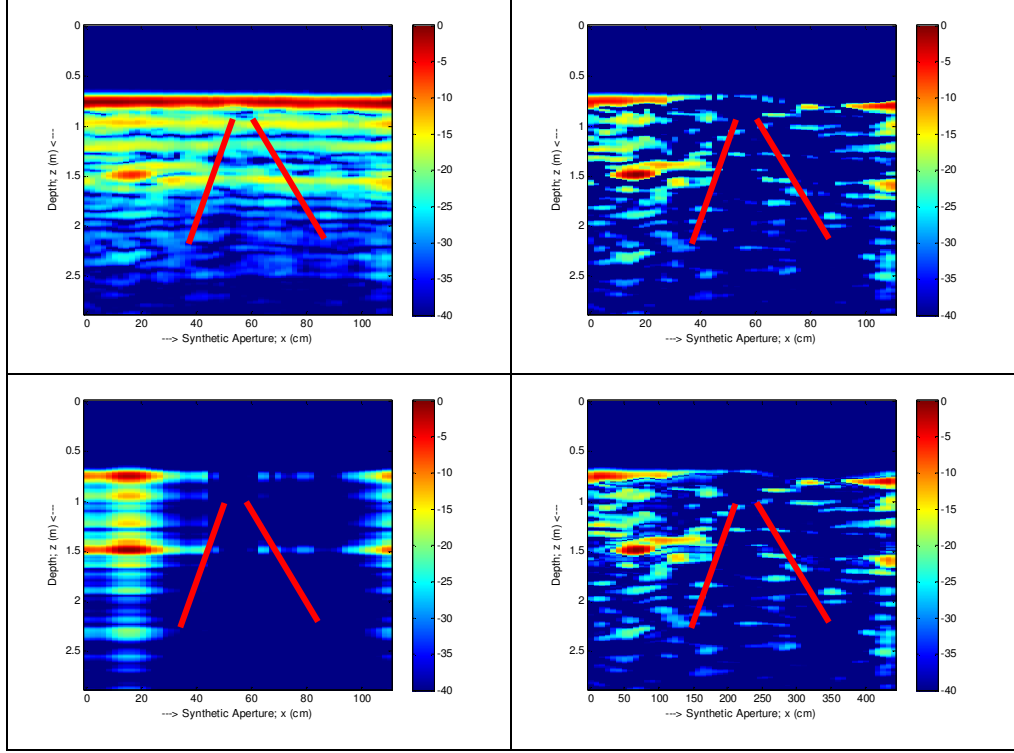
Şekil 4.49. Arazi ortamı 1. grup deney 4 tersi B tarama görüntüleri: [sol üst] işlenmemiş görüntü, [sağ üst] ortalama çıkarımı sonucu, [sol alt] SVD/PCA sonucu ve [sağ alt] ICA sonucudur.



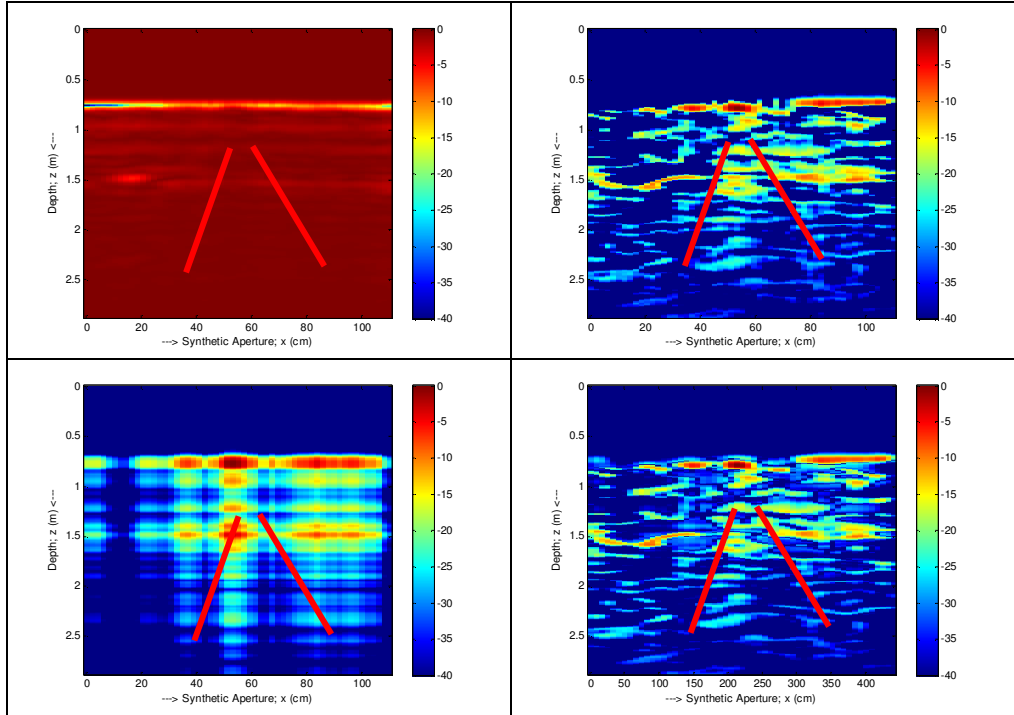
Şekil 4.50. Arazi ortamı 1. grup deney 5 (susuz boru) B tarama görüntüleri: [sol üst] işlenmemiş görüntü, [sağ üst] ortalama çıkarımı sonucu, [sol alt] SVD/PCA sonucu ve [sağ alt] ICA sonucudur.



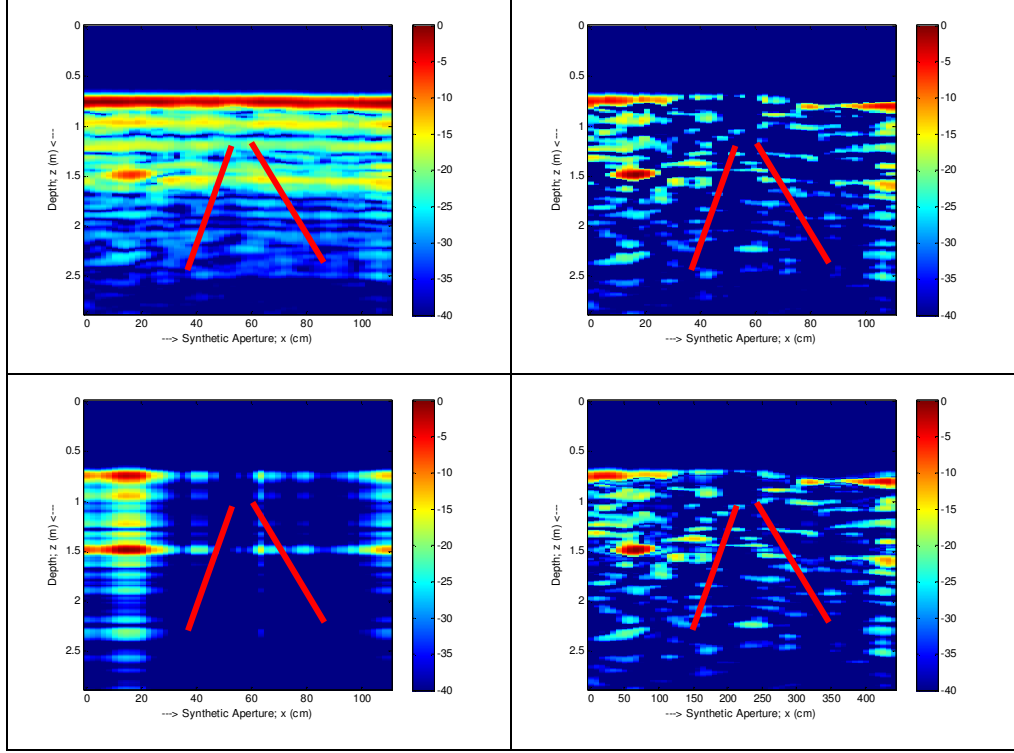
Şekil 4.51. Arazi ortamı 1. grup deney 5 (susuz boru) tersi B tarama görüntüleri: sol üst] ters görüntü, [sağ üst] ortalama çıkarımı sonucu, [sol alt] SVD/PCA sonucu ve [sağ alt] ICA sonucudur.



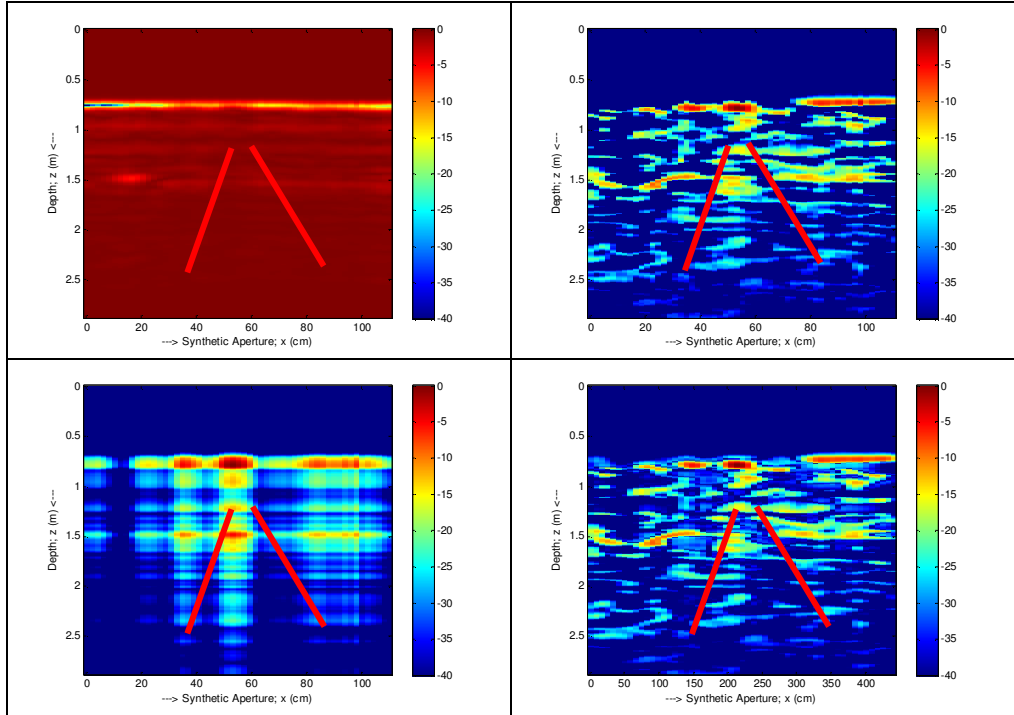
Şekil 4.52. $t=0$ dk B tarama görüntüleri: [sol üst] işlenmemiş görüntü, [sağ üst] ortalama çıkarımı sonucu, [sol alt] SVD/PCA sonucu ve [sağ alt] ICA sonucudur.



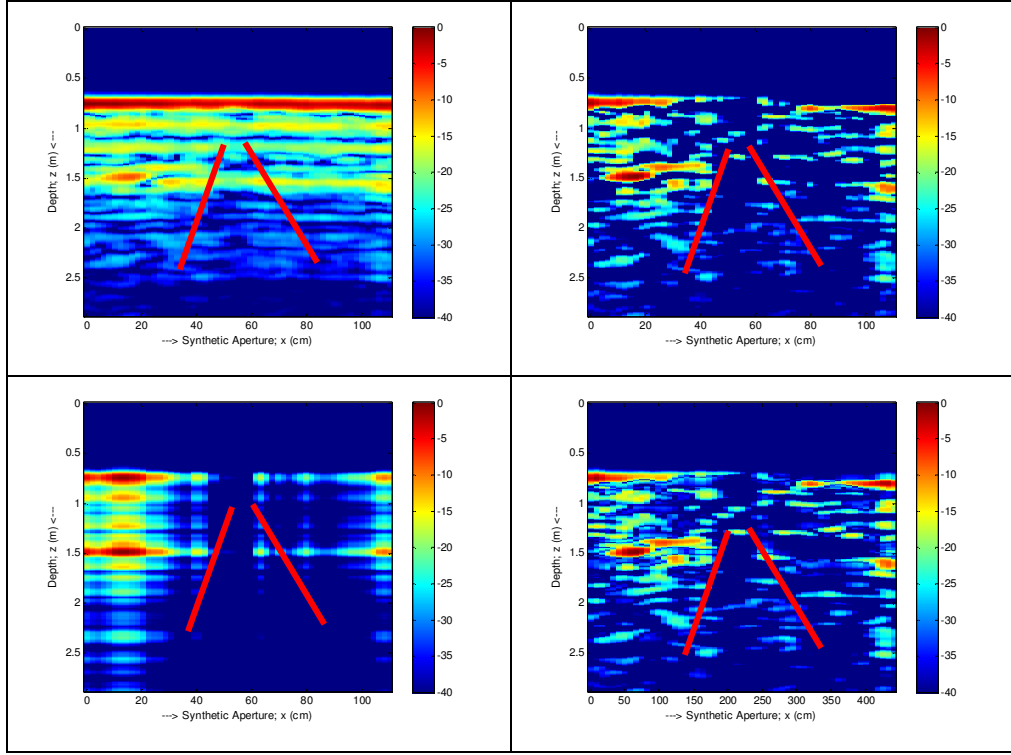
Şekil 4.53. $t=0$ dk tersi B tarama görüntüleri: [sol üst] ters görüntü, [sağ üst] ortalama çıkarımı sonucu, [sol alt] SVD/PCA sonucu ve [sağ alt] ICA sonucudur.



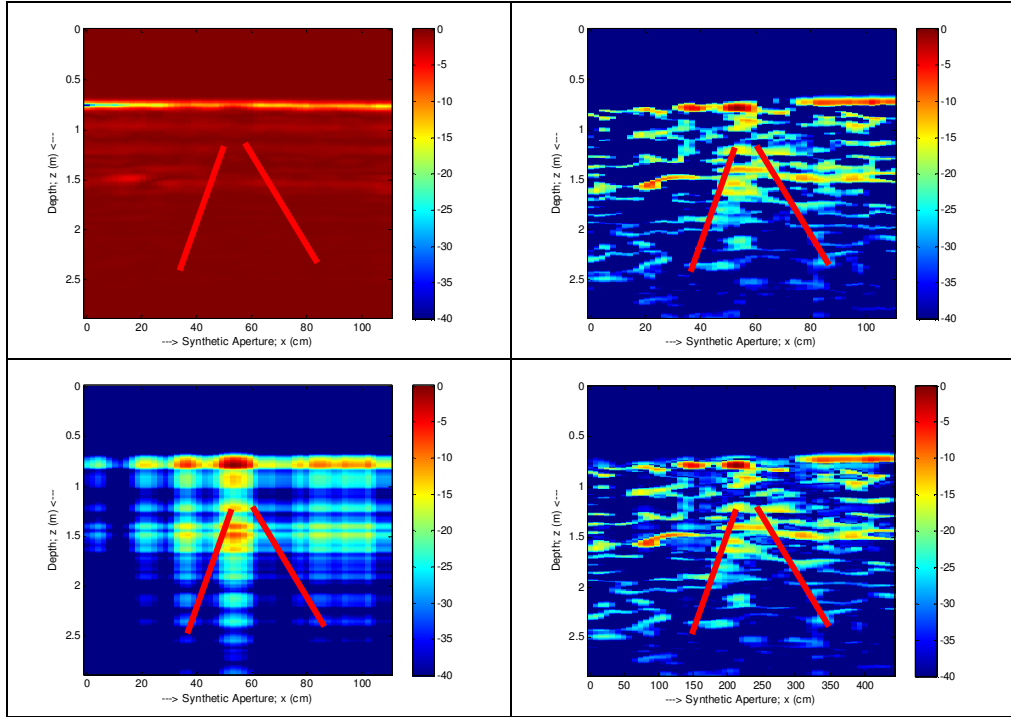
Şekil 4.54. $t=10$ dk B tarama görüntüleri: [sol üst] işlenmemiş görüntü, [sağ üst] ortalama çıkarımı sonucu, [sol alt] SVD/PCA sonucu ve [sağ alt] ICA sonucudur.



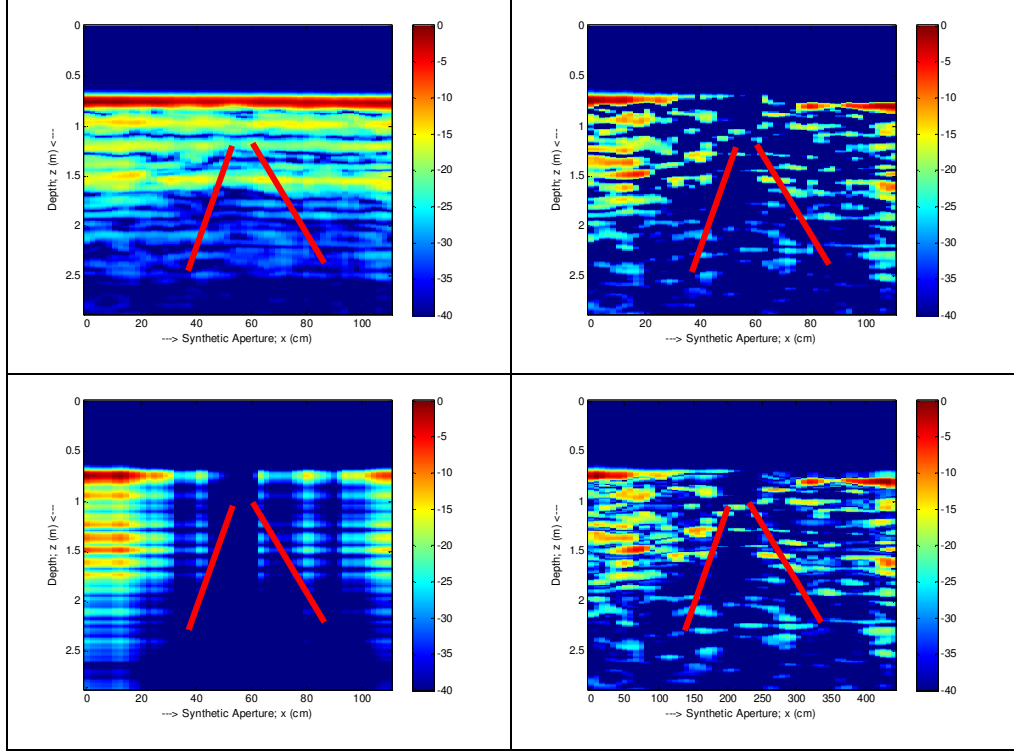
Şekil 4.55. $t=10$ dk tersi B tarama görüntüleri: [sol üst] ters görüntü, [sağ üst] ortalama çıkarımı sonucu, [sol alt] SVD/PCA sonucu ve [sağ alt] ICA sonucudur.



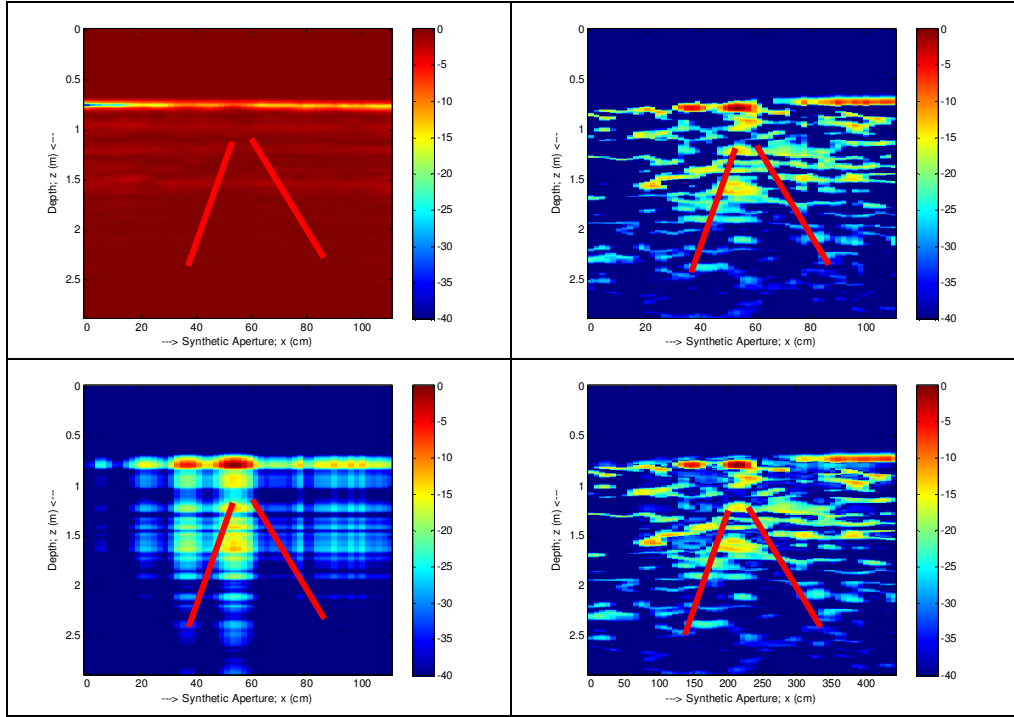
Şekil 4.56. $t=20$ dk B tarama görüntüleri: [sol üst] işlenmemiş görüntü, [sağ üst] ortalama çıkarımı sonucu, [sol alt] SVD/PCA sonucu ve [sağ alt] ICA sonucudur.



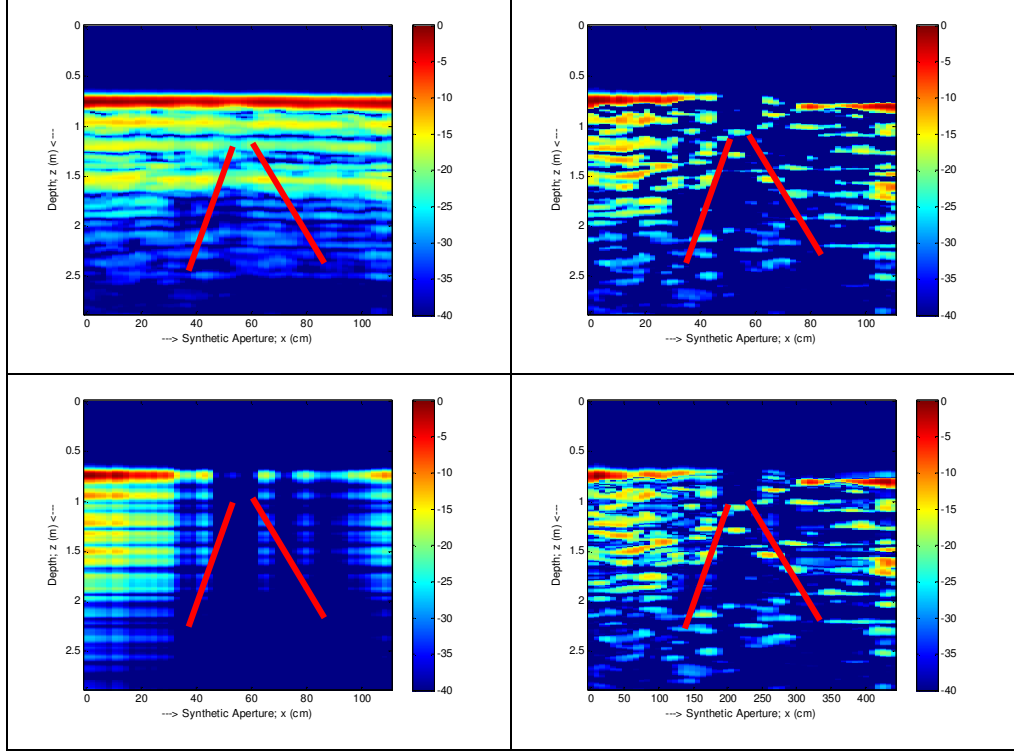
Şekil 4.57. $t=20$ dk tersi B tarama görüntüleri: [sol üst] ters görüntü, [sağ üst] ortalama çıkarımı sonucu, [sol alt] SVD/PCA sonucu ve [sağ alt] ICA sonucudur.



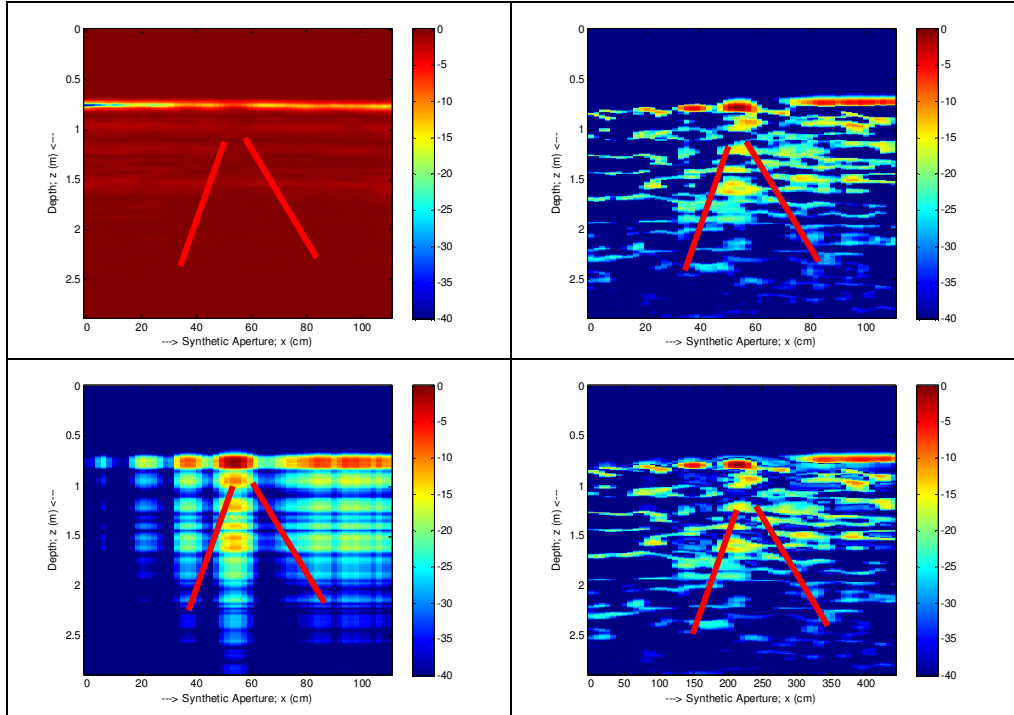
Şekil 4.58. $t=40$ dk B tarama görüntüleri: [sol üst] işlenmemiş görüntü, [sağ üst] ortalama çıkarımı sonucu, [sol alt] SVD/PCA sonucu ve [sağ alt] ICA sonucudur.



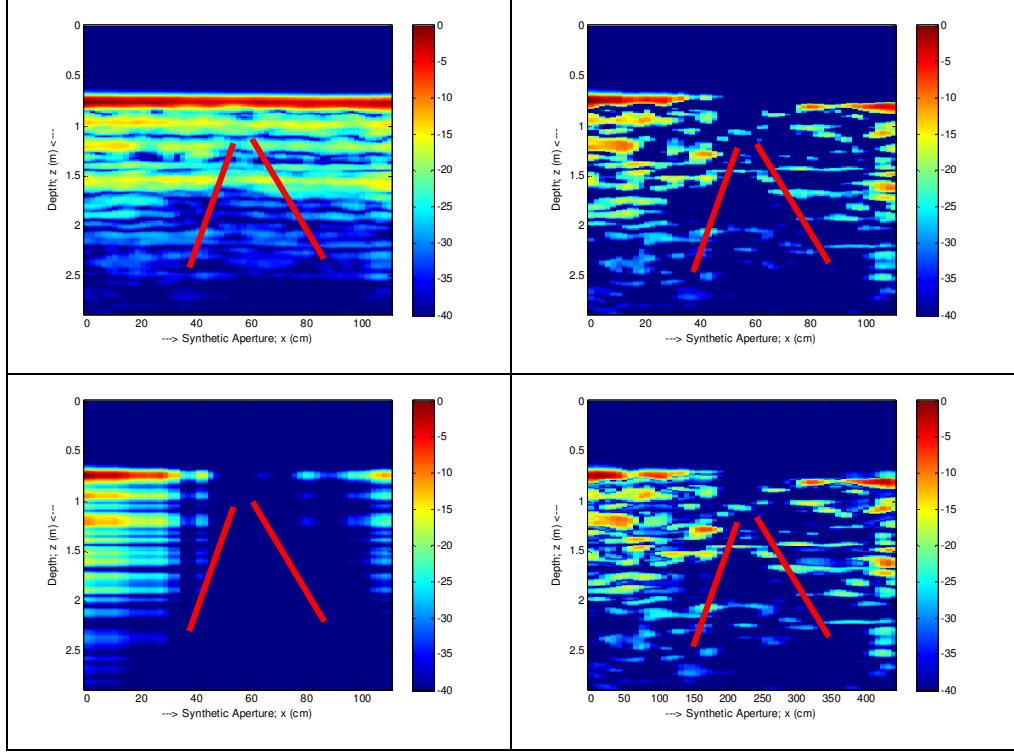
Şekil 4.59. $t=40$ dk tersi B tarama görüntüleri: [sol üst] ters görüntü, [sağ üst] ortalama çıkarımı sonucu, [sol alt] SVD/PCA sonucu ve [sağ alt] ICA sonucudur.



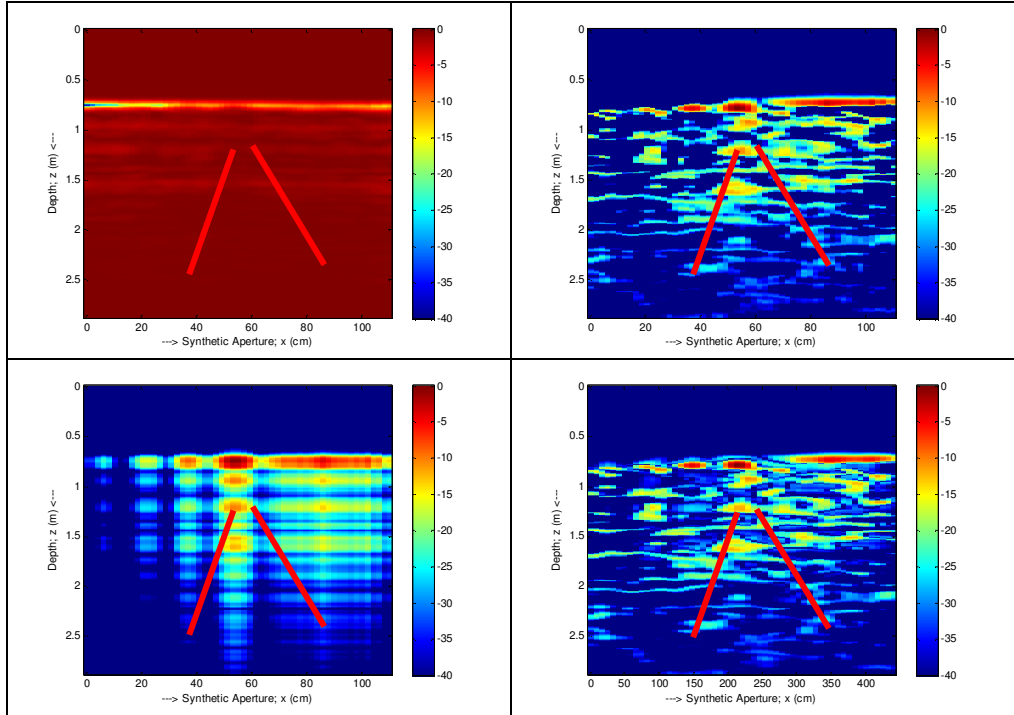
Şekil 4.60 $t=60$ dk B tarama görüntüleri: [sol üst] işlenmemiş görüntü, [sağ üst] ortalama çıkarımı sonucu, [sol alt] SVD/PCA sonucu ve [sağ alt] ICA sonucudur.



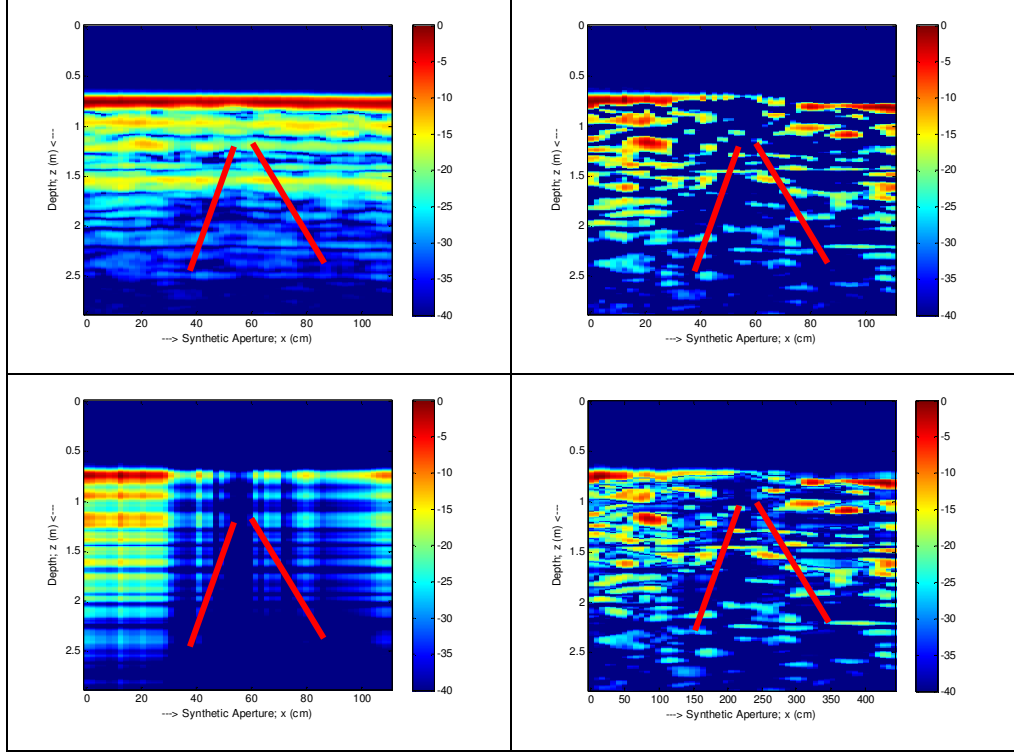
Şekil 4.61. $t=60$ dk tersi B tarama görüntüleri: [sol üst] ters görüntü, [sağ üst] ortalama çıkarımı sonucu, [sol alt] SVD/PCA sonucu ve [sağ alt] ICA sonucudur.



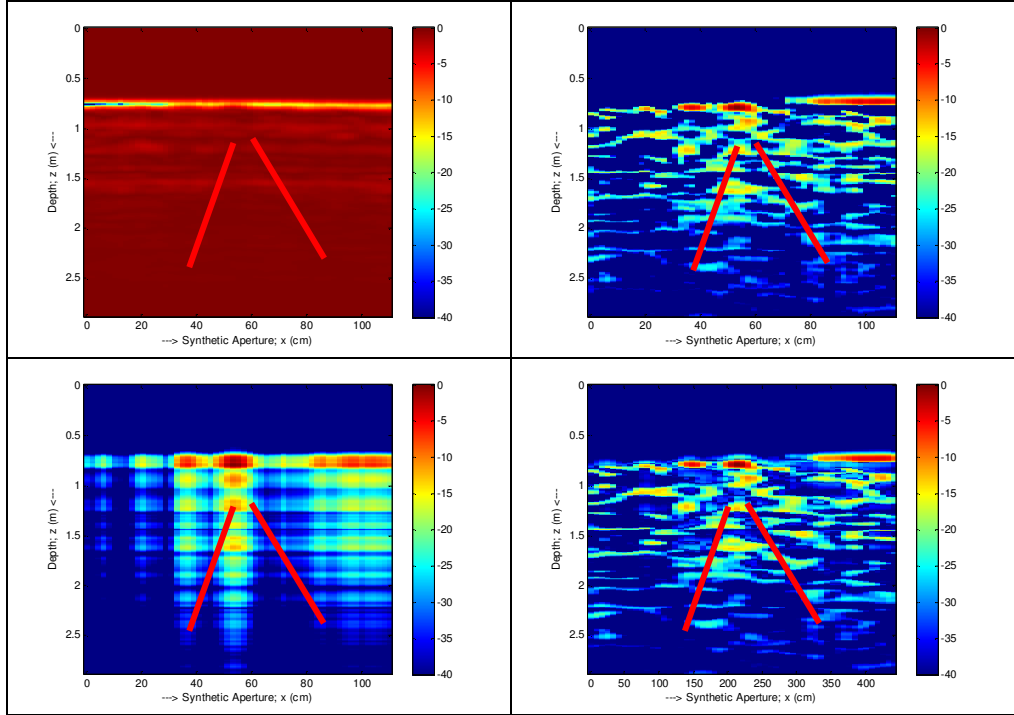
Şekil 4.62. $t=80$ dk B tarama görüntüleri: [sol üst] işlenmemiş görüntü, [sağ üst] ortalama çıkarımı sonucu, [sol alt] SVD/PCA sonucu ve [sağ alt] ICA sonucudur.



Şekil 4.63. $t=80$ dk tersi B tarama görüntüleri: [sol üst] ters görüntü, [sağ üst] ortalama çıkarımı sonucu, [sol alt] SVD/PCA sonucu ve [sağ alt] ICA sonucudur.



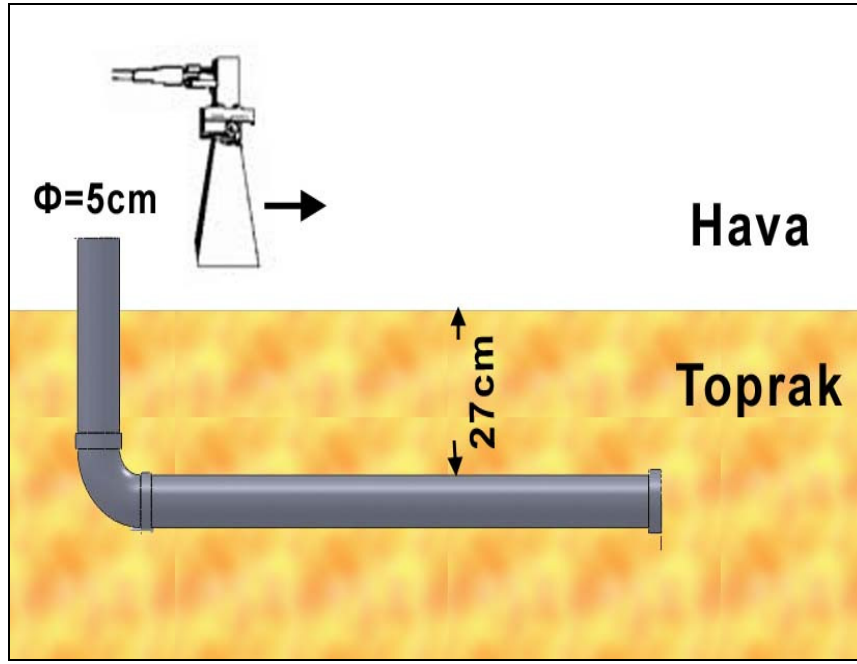
Şekil 4.64. $t=100$ dk B tarama görüntüleri: [sol üst] işlenmemiş görüntü, [sağ üst] ortalama çıkarımı sonucu, [sol alt] SVD/PCA sonucu ve [sağ alt] ICA sonucudur.



Şekil 4.65. $t=100$ dk tersi B tarama görüntüleri: [sol üst] ters görüntü, [sağ üst] ortalama çıkarımı sonucu, [sol alt] SVD/PCA sonucu ve [sağ alt] ICA sonucudur.

4.2.2. Arazi Ortamı 2. Grup Deneyler

Bu gruptaki deneyler Mersin Üniversitesi Çiftlik Köy Yerleşkesindeki Mühendislik Fakültesi Binası Balkonunda bulunan toprakta yapılmıştır. Boru önce orta alt tarafından (75 cm' den) delindi ve 27 cm derinliğe susuz olarak gömüldü. Borunun sağ tarafından 25 cm uzağa borunun tam üzerine referans metal plaka yerleştirildi. Network Analizörün kalibrasyonu yapıldı (Gereken yerlerde tekrar kalibrasyon yapıldı). Güç 7 dbm'e ayarlandı.



Şekil 4.66. Arazi ortamı 2. grup deneyleri deney geometrisi.

Arazi ortamı 2. grup deney 1 adlı deneyde borunun içi su dolu olarak, 118 cm yapay açıklık boyunca, 2'şer cm arayla ($\Delta x = 2$ cm) 60 adet geri saçılma elektrik alan verisi toplandı. Her bir nokta için (her bir A tarama için) frekans 3-5 GHz arasında değiştirilerek; eşit aralıklarda toplam 501 ayrı frekans noktası için geri saçılma elektrik alan verisi toplandı ve 501x60 boyutunda B tarama matrisleri oluşturuldu. Bu deneyde 2 saniyede bir tarama yapılmıştır.

Arazi ortamı 2. grup deney 2 adlı deneyde borunun içi su dolu olarak 82 cm yapay açıklık boyunca, 2'şer cm arayla ($\Delta x = 2$ cm) 42 adet bistatik geri saçılma

elektrik alan verisi toplandı. Her bir nokta için (her bir A tarama için) frekans 0.8-5 GHz arasında değiştirilerek; eşit aralıklarda toplam 501 ayrı frekans noktası için geri saçılma elektrik alan verisi toplandı ve 501x42 boyutunda B tarama matrisleri oluşturuldu. Bu deneyde 2 saniyede bir tarama yapılmıştır.

Arazi ortamı 2. grup deney 3 adlı deneyde borunun içi su dolu olarak 82 cm yapay açıklık boyunca, 2'şer cm arayla ($\Delta x = 2$ cm) 42 adet bistatik geri saçılma elektrik alan verisi toplandı. Her bir nokta için (her bir A tarama için) frekans 0.8-5 GHz arasında değiştirilerek; eşit aralıklarda toplam 501 ayrı frekans noktası için geri saçılma elektrik alan verisi toplandı ve 501x42 boyutunda B tarama matrisleri oluşturuldu. Bu deneyde 4 saniyede bir tarama yapılmıştır.

Arazi ortamı 2. grup deney 4 adlı deneyde borunun içi su dolu olarak 102 cm yapay açıklık boyunca, 2'şer cm arayla ($\Delta x = 2$ cm) 52 adet monostatik geri saçılma elektrik alan verisi toplandı. Her bir nokta için (her bir A tarama için) frekans 0.8-5 GHz arasında değiştirilerek; eşit aralıklarda toplam 501 ayrı frekans noktası için geri saçılma elektrik alan verisi toplandı ve 501x52 boyutunda B tarama matrisleri oluşturuldu. Bu deneyde 3 saniyede bir tarama yapılmıştır.

Arazi ortamı 2. grup deney 5 adlı deneyde borunun içi su dolu olarak 90 cm yapay açıklık boyunca, 2'şer cm arayla ($\Delta x = 2$ cm) 46 adet bistatik geri saçılma elektrik alan verisi toplandı. Her bir nokta için (her bir A tarama için) frekans 3-5 GHz arasında değiştirilerek; eşit aralıklarda toplam 301 ayrı frekans noktası için geri saçılma elektrik alan verisi toplandı ve 301x46 boyutunda B tarama matrisleri oluşturuldu. Bu deneyde 3 saniyede bir tarama yapılmıştır.

Arazi ortamı 2. grup deney 6 adlı deneyde borunun içi su dolu olarak 78 cm yapay açıklık boyunca, 2'şer cm arayla ($\Delta x = 2$ cm) 40 adet monostatik geri saçılma elektrik alan verisi toplandı. Her bir nokta için (her bir A tarama için) frekans 3-5 GHz arasında değiştirilerek; eşit aralıklarda toplam 301 ayrı frekans noktası için geri saçılma elektrik alan verisi toplandı ve 301x40 boyutunda B tarama matrisleri oluşturuldu. Bu deneyde 3 saniyede bir tarama yapılmıştır.

Arazi ortamı 2. grup deney 7 adlı deneyde borunun içi boş olarak 94 cm yapay açıklık boyunca, 2'şer cm arayla ($\Delta x = 2$ cm) 48 adet monostatik geri saçılma elektrik alan verisi toplandı. Her bir nokta için (her bir A tarama için) frekans 0.8-5 GHz arasında değiştirilerek; eşit aralıklarda toplam 301 ayrı frekans noktası için geri saçılma elektrik alan verisi toplandı ve 301x48 boyutunda B tarama matrisleri oluşturuldu. Bu deneyde 4 saniyede bir tarama yapılmıştır.

Arazi ortamı 2. grup deney 8 adlı deneyde boru 40 cm derinliğe gömüldü. Borunun içi su dolu olarak, 72 cm yapay açıklık boyunca, 2'şer cm arayla ($\Delta x = 2$ cm) 37 adet bistatik geri saçılma elektrik alan verisi toplandı. Her bir nokta için (her bir A tarama için) frekans 0.8-5 GHz arasında değiştirilerek; eşit aralıklarda toplam 301 ayrı frekans noktası için geri saçılma elektrik alan verisi toplandı ve 301x37 boyutunda B tarama matrisleri oluşturuldu. Bu deneyde 4 saniyede bir tarama yapılmıştır.

Arazi ortamı 2. grup deney 9 ve Arazi ortamı 2. grup deney 10 adlı deneylerde boru 40 cm derinliğe gömüldü. Borunun içi su dolu olarak, 118 cm yapay açıklık boyunca, 2'şer cm arayla ($\Delta x = 2$ cm) 60 adet monostatik geri saçılma elektrik alan verisi toplandı. Her bir nokta için (her bir A tarama için) frekans 0.8-5 GHz arasında değiştirilerek; eşit aralıklarda toplam 301 ayrı frekans noktası için geri saçılma elektrik alan verisi toplandı ve 301x60 boyutunda B tarama matrisleri oluşturuldu. Bu deneyde 4 saniyede bir tarama yapılmıştır.

Arazi ortamı 2. grup deney 11 adlı deneyde borunun içi boş olarak 64 cm yapay açıklık boyunca, 2'şer cm arayla ($\Delta x = 2$ cm) 33 adet bistatik geri saçılma elektrik alan verisi toplandı. Her bir nokta için (her bir A tarama için) frekans 0.8-5 GHz arasında değiştirilerek; eşit aralıklarda toplam 301 ayrı frekans noktası için geri saçılma elektrik alan verisi toplandı ve 301x33 boyutunda B tarama matrisleri oluşturuldu. Bu deneyde 4 saniyede bir tarama yapılmıştır.

Diğer tüm deneylerde borunun içi su dolu olarak 64 cm yapay açıklık boyunca, 2'şer cm arayla ($\Delta x = 2$ cm) 33 adet bistatik geri saçılma elektrik alan

verisi toplandı. Her bir nokta için (her bir A tarama için) frekans 0.8-5 GHz arasında değiştirilerek; eşit aralıklarda toplam 301 ayrı frekans noktası için geri saçılma elektrik alan verisi toplandı ve 301x33 boyutunda B tarama matrisleri oluşturuldu. Bu deneylerde 4 saniyede bir tarama yapılmıştır. Çizelge 4.4. deneylerin numaralarını, deneylerin adlarını ve deneylerde ne kadar su konulduğunu belirtmektedir.

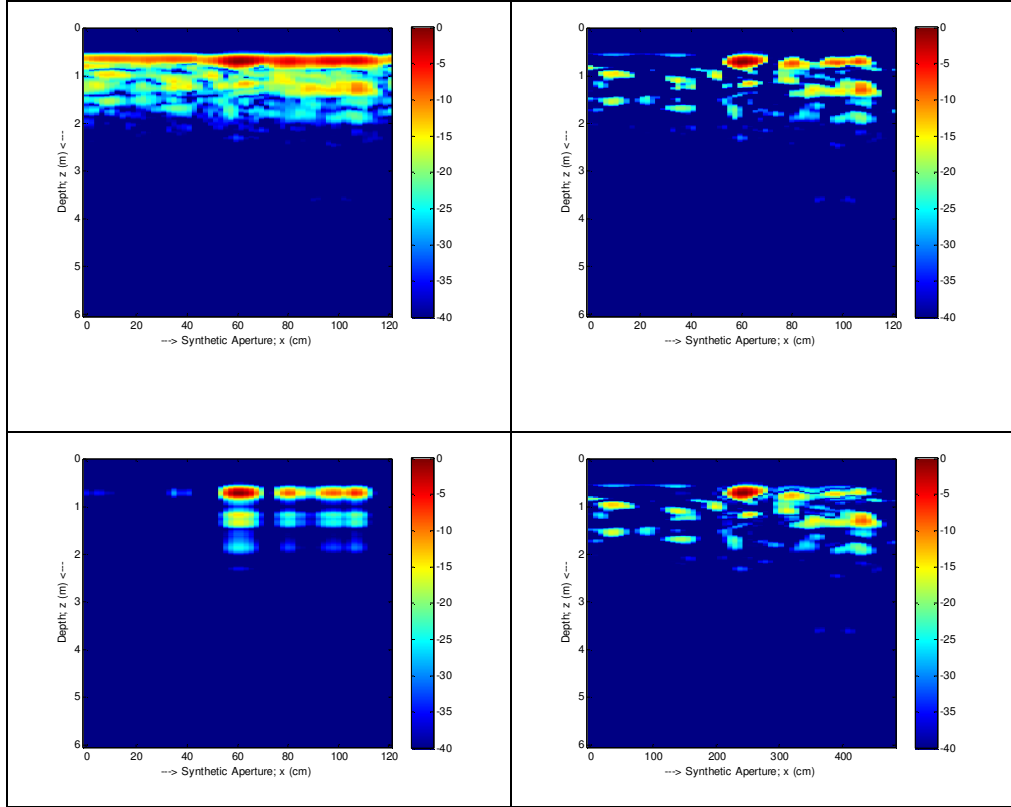
Çizelge 4.4. Arazi ortamı 2. grup deneylerinin tarama zamanı, deneylerin adları ve deney koşulları

| Deney No | Deney Adı | Deney Koşulları |
|-----------------|---|----------------------------------|
| 1 | Arazi ortamı 2. grup deney 1 | Boru içi su dolu fakat delik yok |
| 2 | Arazi ortamı 2. grup deney 2 | Boru içi su dolu fakat delik yok |
| 3 | Arazi ortamı 2. grup deney 3 | Boru içi su dolu fakat delik yok |
| 4 | Arazi ortamı 2. grup deney 4 | Boru içi su dolu fakat delik yok |
| 5 | Arazi ortamı 2. grup deney 5 | Boru içi su dolu fakat delik yok |
| 6 | Arazi ortamı 2. grup deney 6 | Boru içi su dolu fakat delik yok |
| 7 | Arazi ortamı 2. grup deney 7 | Boru içinde su yok |
| 8 | Arazi ortamı 2. grup deney 8 | Boru içinde su yok |
| 9 | Arazi ortamı 2. grup deney 9 (susuz boru) | Boru içinde su yok |
| 10 | Arazi ortamı 2. grup deney 10 (t=0) | Delikli Boru su ile dolduruldu |
| 11 | Arazi ortamı 2. grup deney 11 (t=10) | 1 LT su konuldu |
| 12 | Arazi ortamı 2. grup deney 12 (t=20) | 1 LT su konuldu |
| 13 | Arazi ortamı 2. grup deney 13 (t=30) | 0.5 LT su konuldu |
| 14 | Arazi ortamı 2. grup deney 14 (t=40 bs) | 0.5 LT su konuldu |
| 15 | Arazi ortamı 2. grup deney 15 (t=40 ms) | İlave su konulmadı |
| 16 | Arazi ortamı 2. grup deney 16 (t=70) | 2 LT su konuldu |

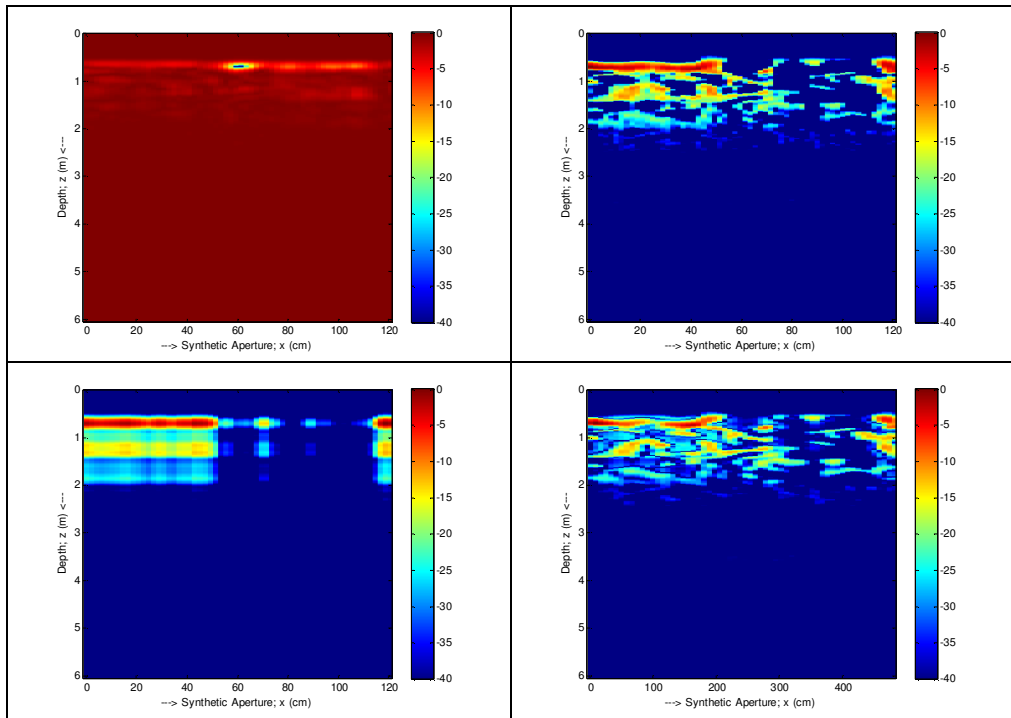


Resim 4.2. Arazi Ortamı 2. Grup Deneylerinden bir görünüş.

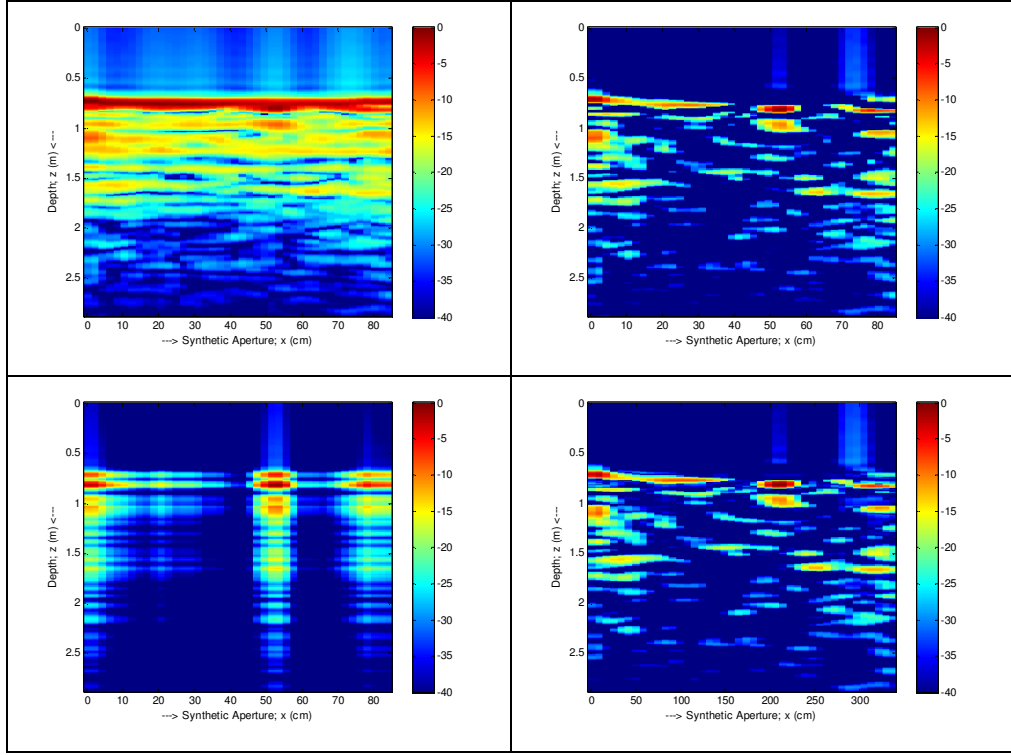
Görüntüler izleyen sayfadaki şekillerde gösterilmiştir. Tüm şekillerde kırmızı renkle gösterilen doğruların arasında kalan alan ıslak bölgeyi göstermektedir.



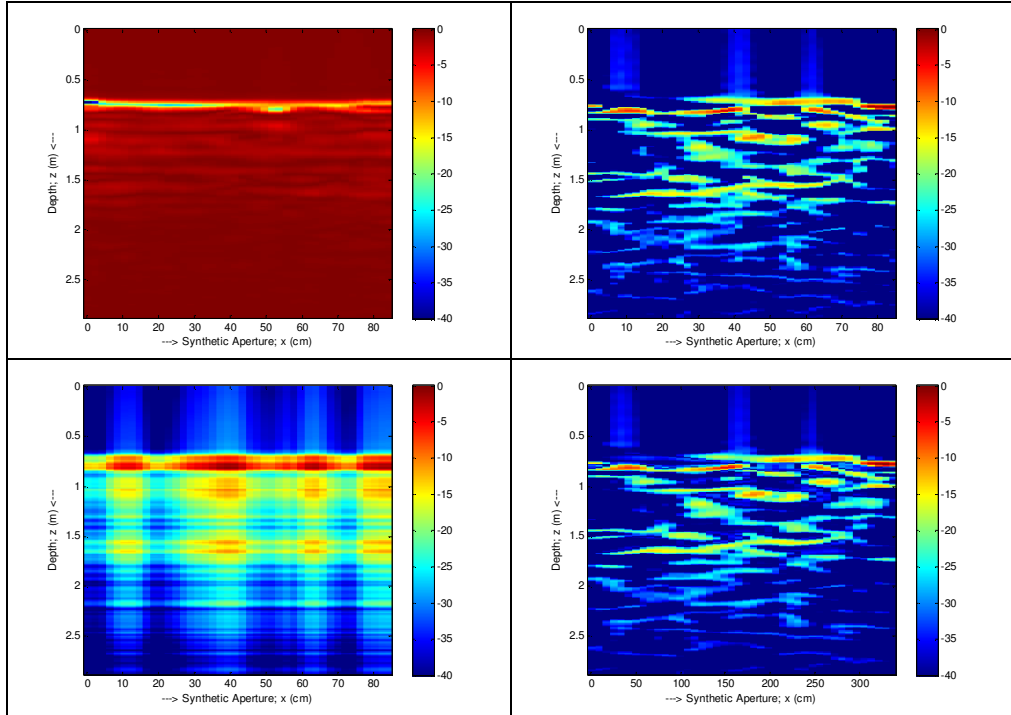
Şekil 4.67. Arazi ortamı 2. grup deney 1 B tarama görüntüleri: [sol üst] işlenmemiş görüntü, [sağ üst] ortalama çıkarımı sonucu, [sol alt] SVD/PCA sonucu ve [sağ alt] ICA sonucudur.



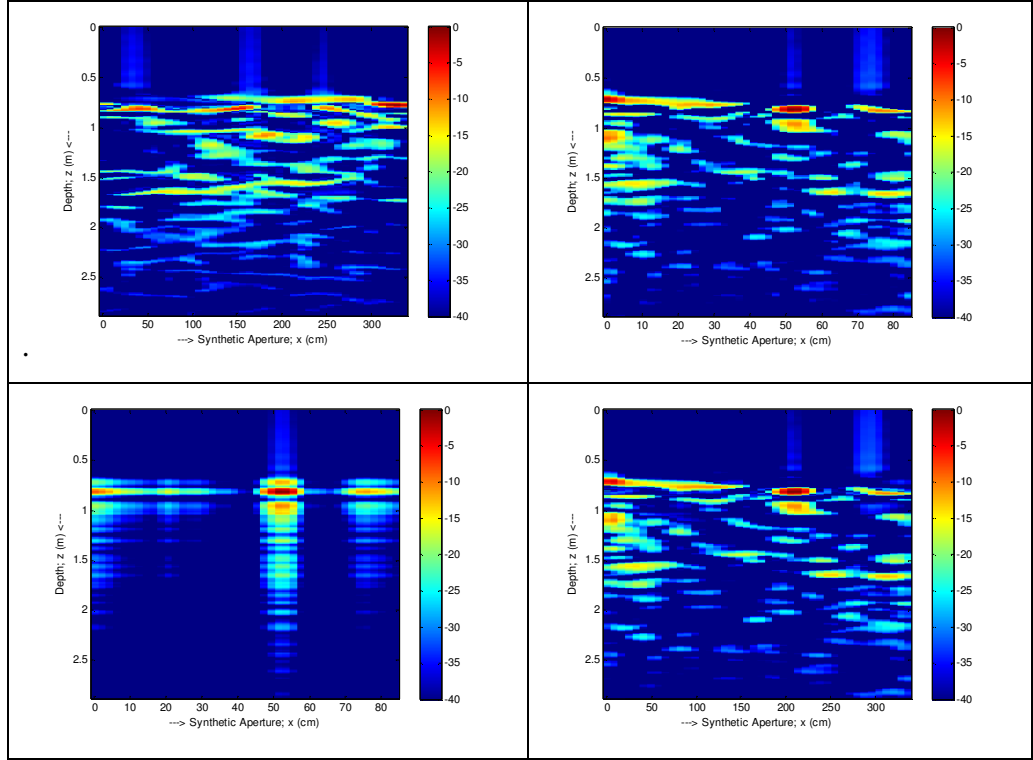
Şekil 4.68. Arazi ortamı 2. grup deney 1 tersi B tarama görüntüleri: [sol üst] işlenmemiş görüntü, [sağ üst] ortalama çıkarımı sonucu, [sol alt] SVD/PCA sonucu ve [sağ alt] ICA sonucudur.



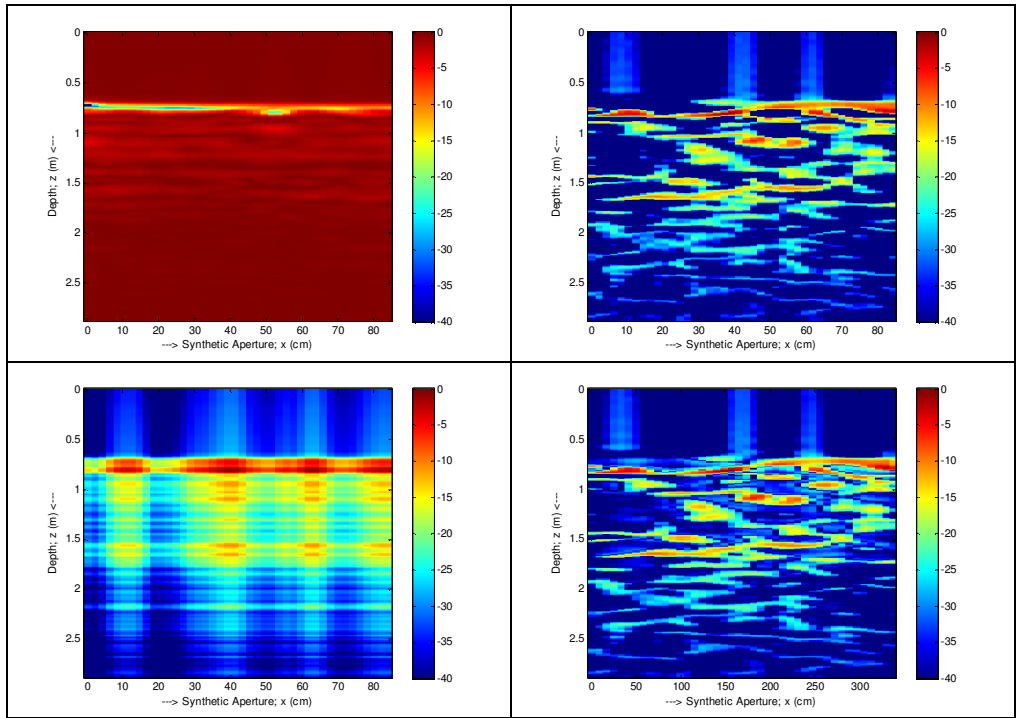
Şekil 4.69. Arazi ortamı 2. grup deney 2 B tarama görüntüleri: [sol üst] işlenmemiş görüntü, [sağ üst] ortalama çıkarımı sonucu, [sol alt] SVD/PCA sonucu ve [sağ alt] ICA sonucudur.



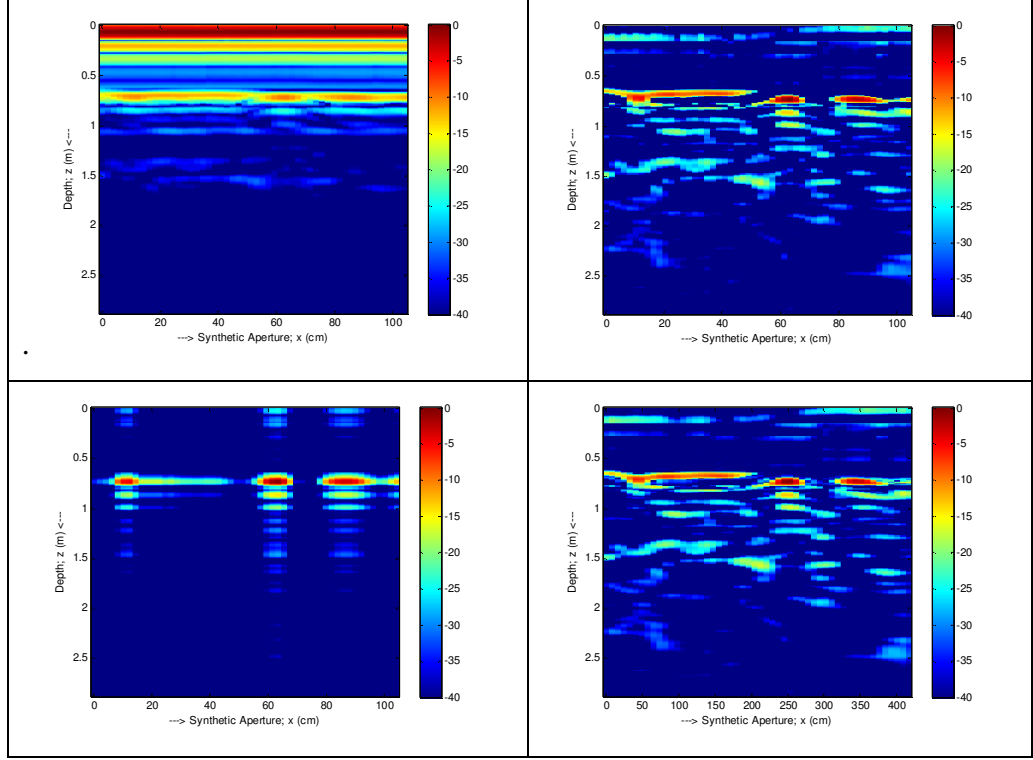
Şekil 4.70. Arazi ortamı 2. grup deney 2 tersi B tarama görüntüleri: [sol üst] işlenmemiş görüntü, [sağ üst] ortalama çıkarımı sonucu, [sol alt] SVD/PCA sonucu ve [sağ alt] ICA sonucudur.



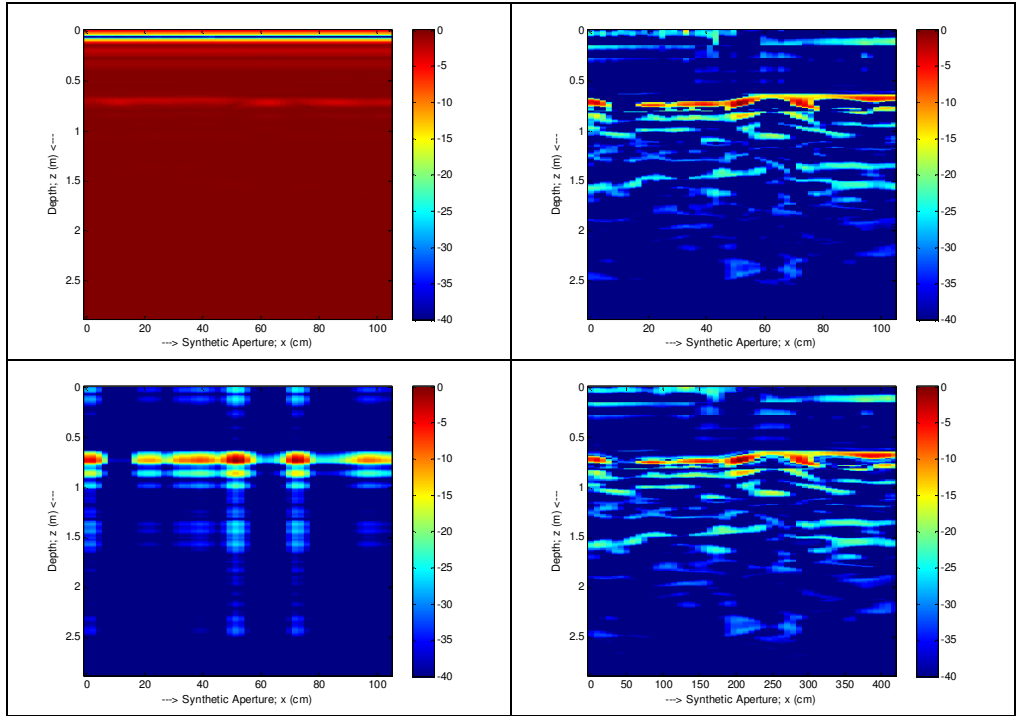
Şekil 4.71. Arazi ortamı 2. grup deney 3 B tarama görüntüleri: [sol üst] işlenmemiş görüntü, [sağ üst] ortalama çıkarımı sonucu, [sol alt] SVD/PCA sonucu ve [sağ alt] ICA sonucudur.



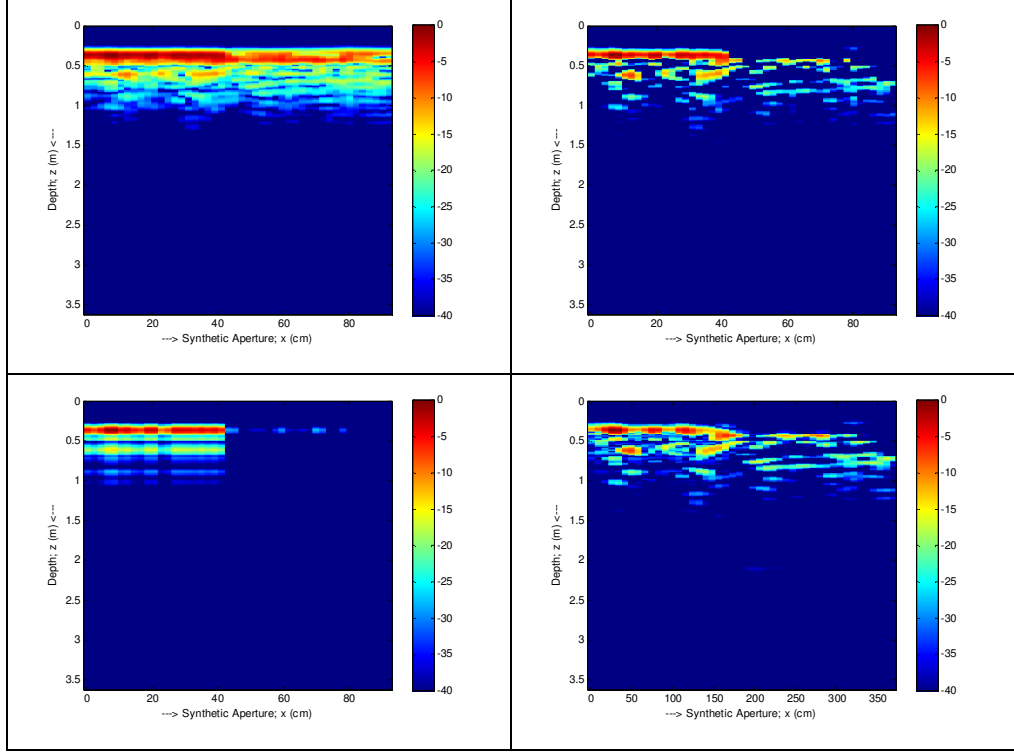
Şekil 4.72. Arazi ortamı 2. grup deney 3 tersi B tarama görüntüleri: [sol üst] işlenmemiş görüntü, [sağ üst] ortalama çıkarımı sonucu, [sol alt] SVD/PCA sonucu ve [sağ alt] ICA sonucudur.



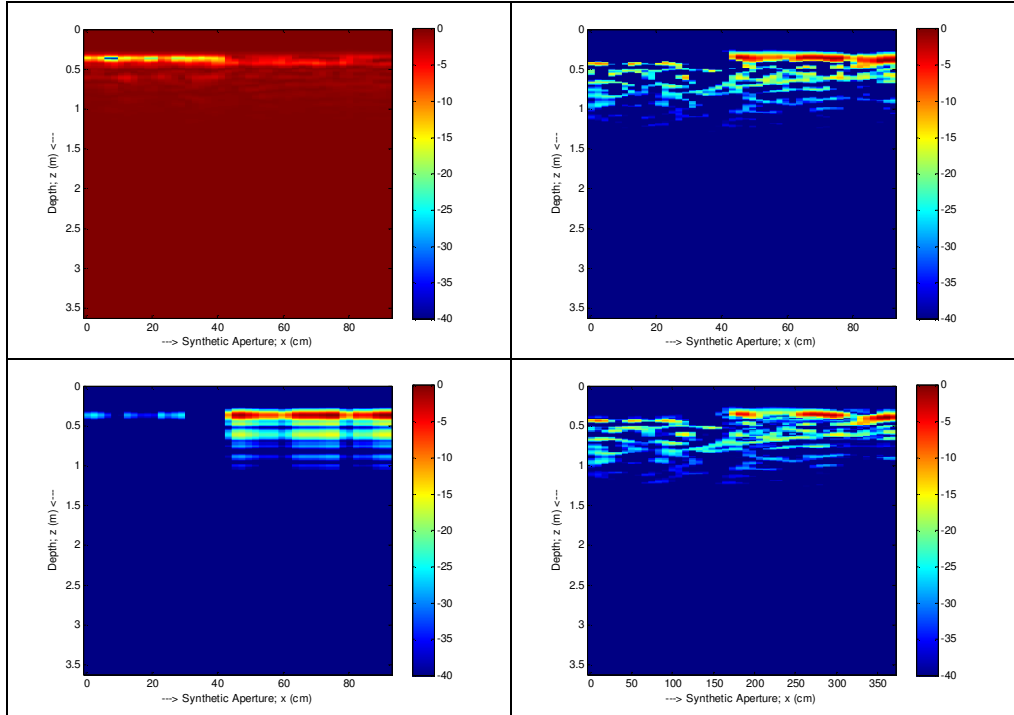
Şekil 4.73. Arazi ortamı 2. grup deney 4 B tarama görüntüleri: [sol üst] işlenmemiş görüntü, [sağ üst] ortalama çıkarımı sonucu, [sol alt] SVD/PCA sonucu ve [sağ alt] ICA sonucudur.



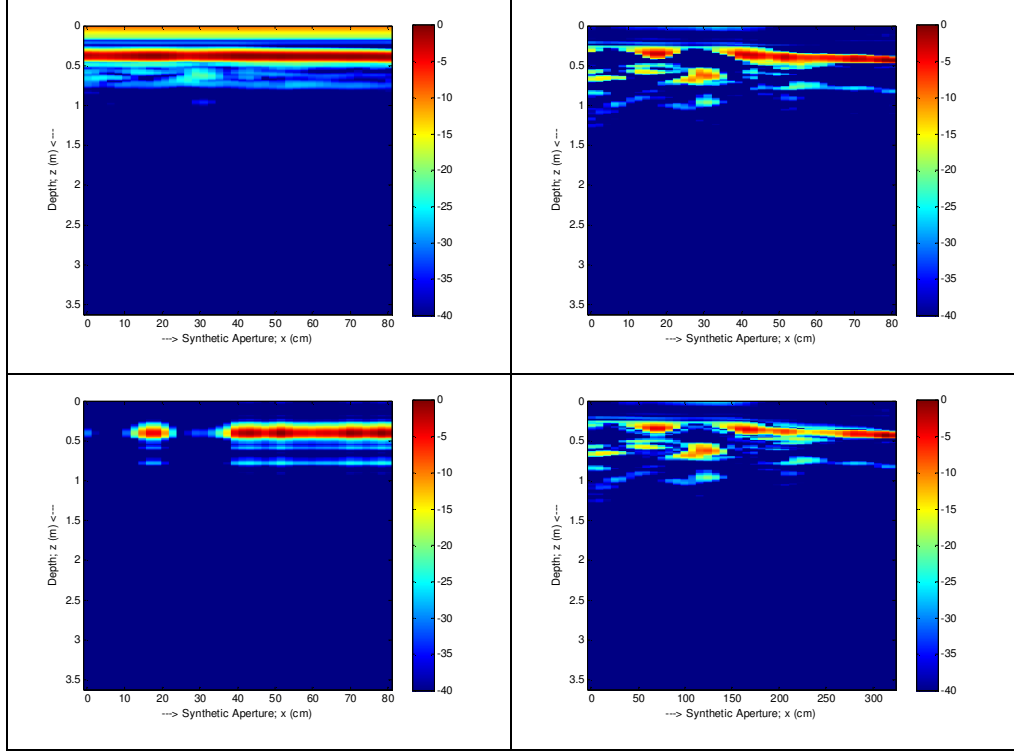
Şekil 4.74. Arazi ortamı 2. grup deney 4 tersi B tarama görüntüleri: [sol üst] işlenmemiş görüntü, [sağ üst] ortalama çıkarımı sonucu, [sol alt] SVD/PCA sonucu ve [sağ alt] ICA sonucudur.



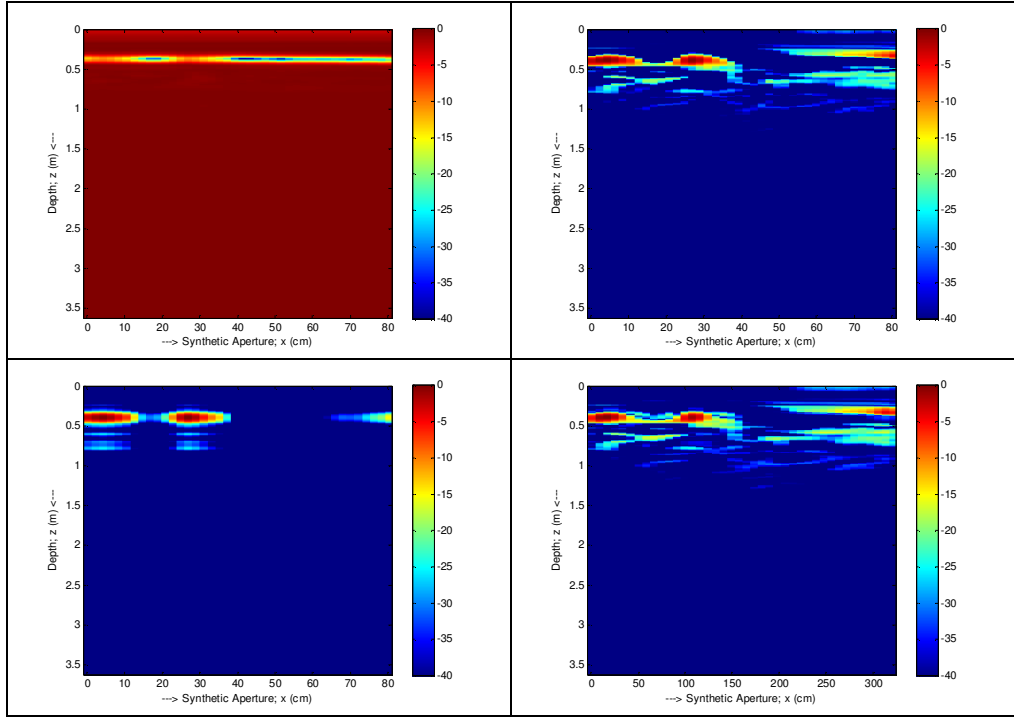
Şekil 4.75. Arazi ortamı 2. grup deney 5 B tarama görüntüleri: [sol üst] işlenmemiş görüntü, [sağ üst] ortalama çıkarımı sonucu, [sol alt] SVD/PCA sonucu ve [sağ alt] ICA sonucudur.



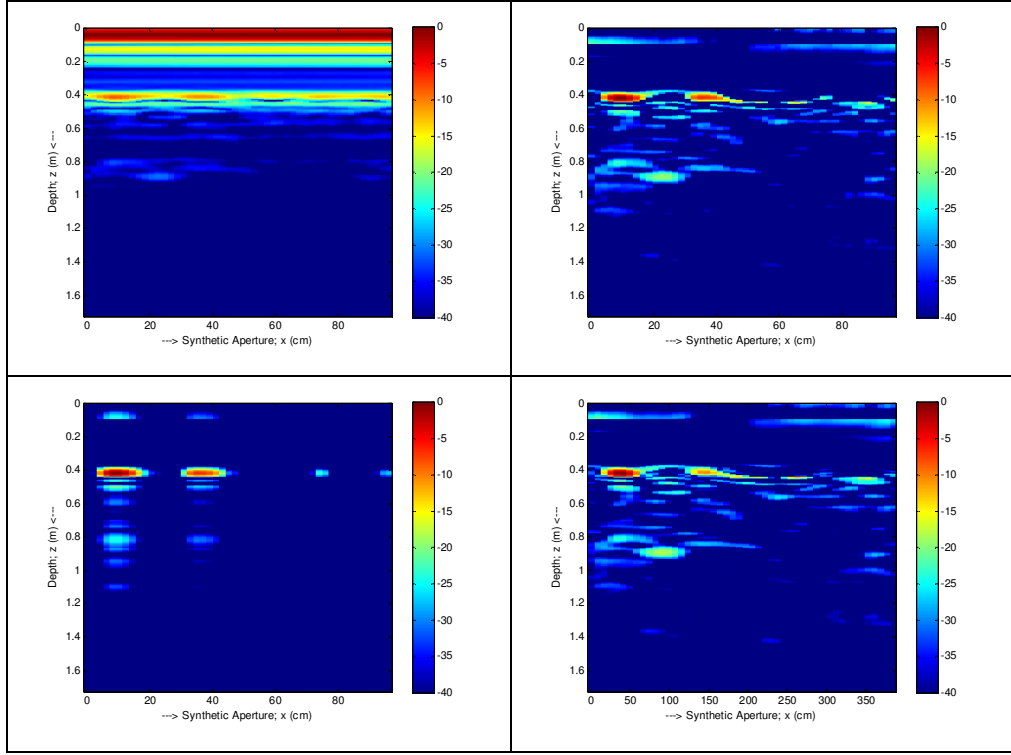
Şekil 4.76. Arazi ortamı 2. grup deney 5 tersi B tarama görüntüleri: [sol üst] işlenmemiş görüntü, [sağ üst] ortalama çıkarımı sonucu, [sol alt] SVD/PCA sonucu ve [sağ alt] ICA sonucudur.



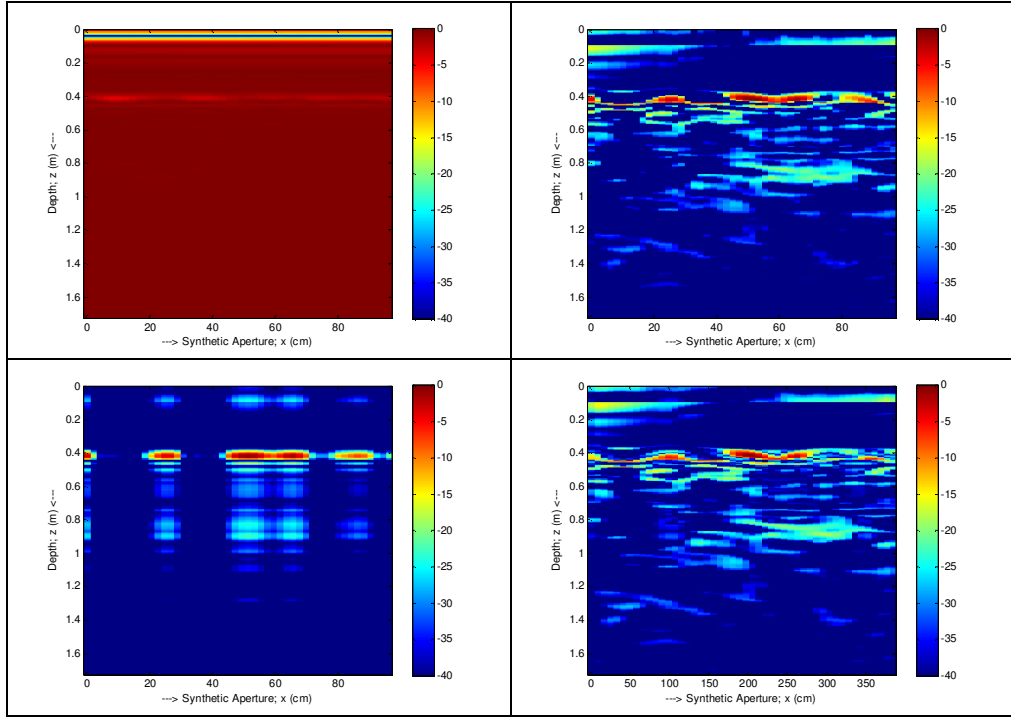
Şekil 4.77. Arazi ortamı 2. grup deney 6 B tarama görüntüleri: [sol üst] işlenmemiş görüntü, [sağ üst] ortalama çıkarımı sonucu, [sol alt] SVD/PCA sonucu ve [sağ alt] ICA sonucudur.



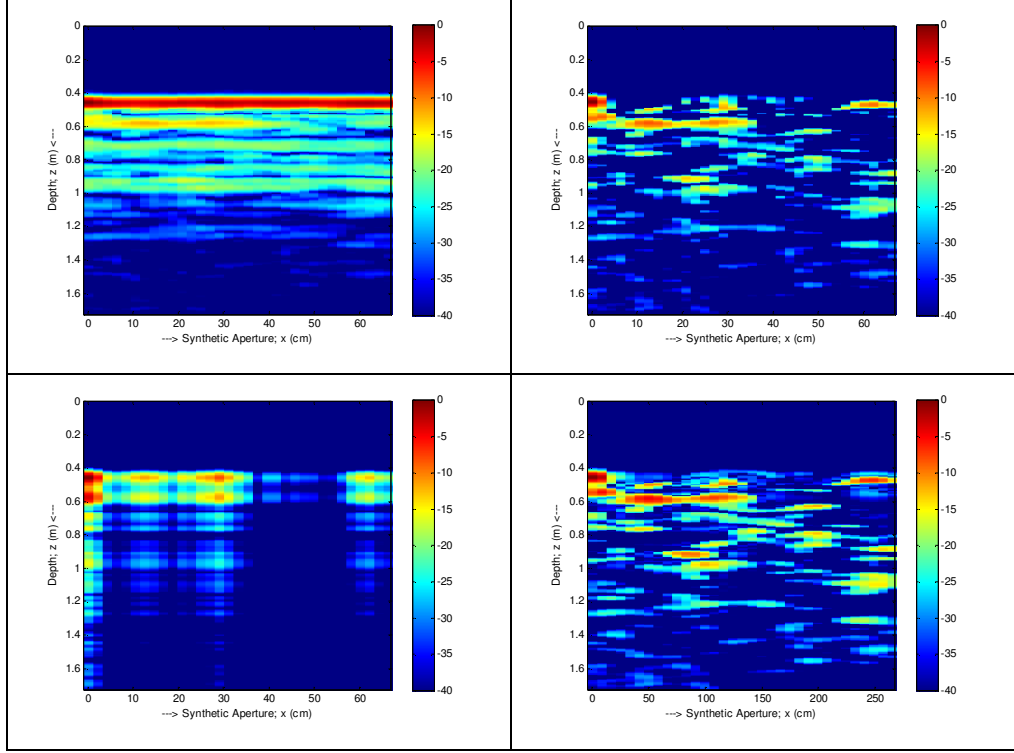
Şekil 4.78. Arazi ortamı 2. grup deney 6 tersi B tarama görüntüleri: [sol üst] işlenmemiş görüntü, [sağ üst] ortalama çıkarımı sonucu, [sol alt] SVD/PCA sonucu ve [sağ alt] ICA sonucudur.



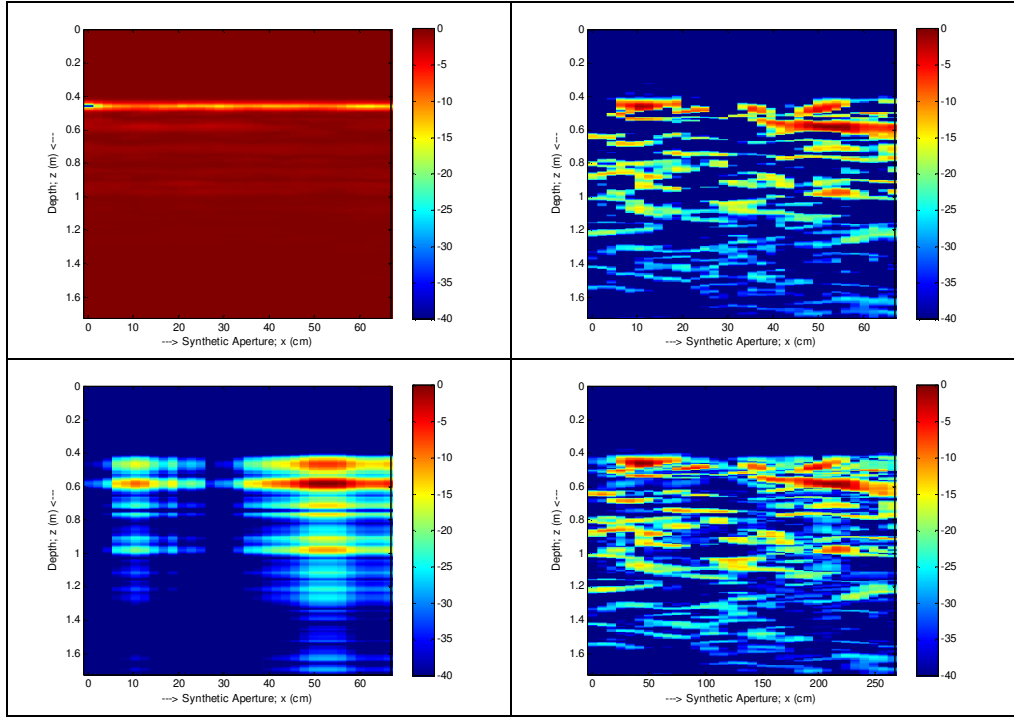
Şekil 4.79. Arazi ortamı 2. grup deney 7 B tarama görüntüleri: [sol üst] işlenmemiş görüntü, [sağ üst] ortalama çıkarımı sonucu, [sol alt] SVD/PCA sonucu ve [sağ alt] ICA sonucudur.



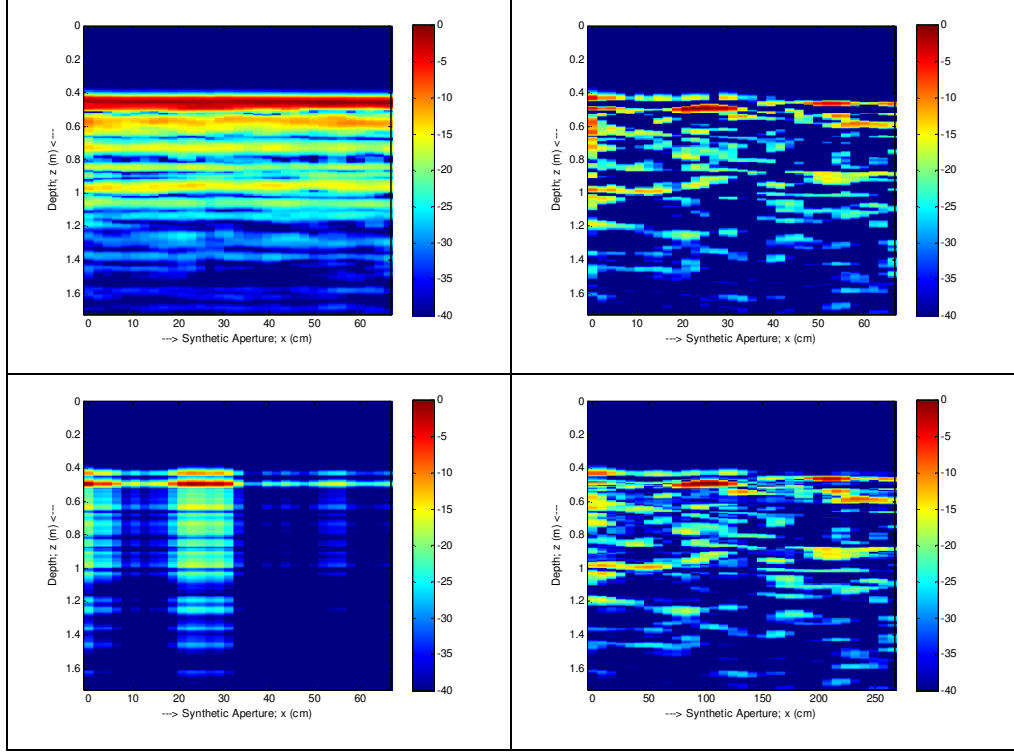
Şekil 4.80. Arazi ortamı 2. grup deney 7 tersi B tarama görüntüleri: [sol üst] işlenmemiş görüntü, [sağ üst] ortalama çıkarımı sonucu, [sol alt] SVD/PCA sonucu ve [sağ alt] ICA sonucudur.



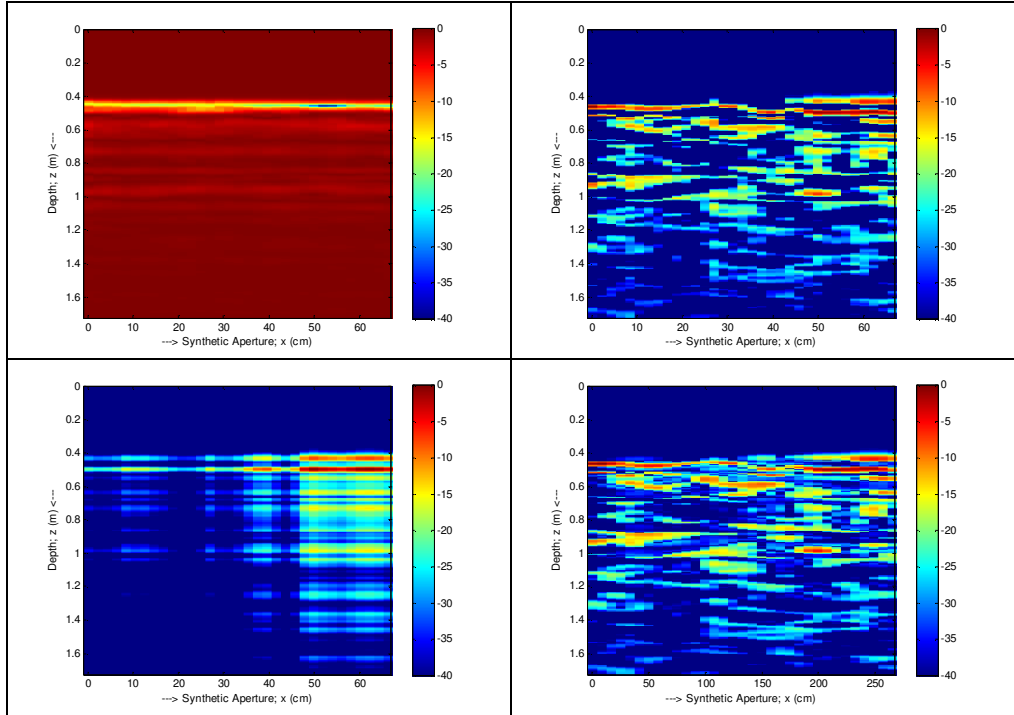
Şekil 4.81. Arazi ortamı 2. grup deney 8 B tarama görüntüleri: [sol üst] işlenmemiş görüntü, [sağ üst] ortalama çıkarımı sonucu, [sol alt] SVD/PCA sonucu ve [sağ alt] ICA sonucudur.



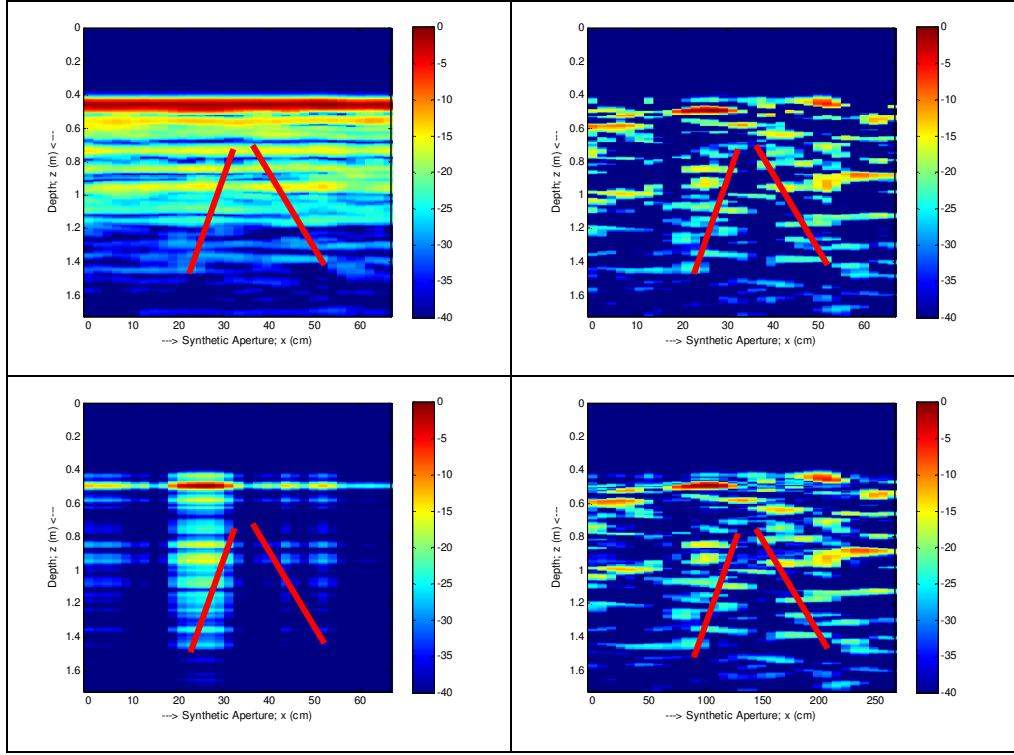
Şekil 4.82. Arazi ortamı 2. grup deney 8 tersi B tarama görüntüleri: [sol üst] işlenmemiş görüntü, [sağ üst] ortalama çıkarımı sonucu, [sol alt] SVD/PCA sonucu ve [sağ alt] ICA sonucudur.



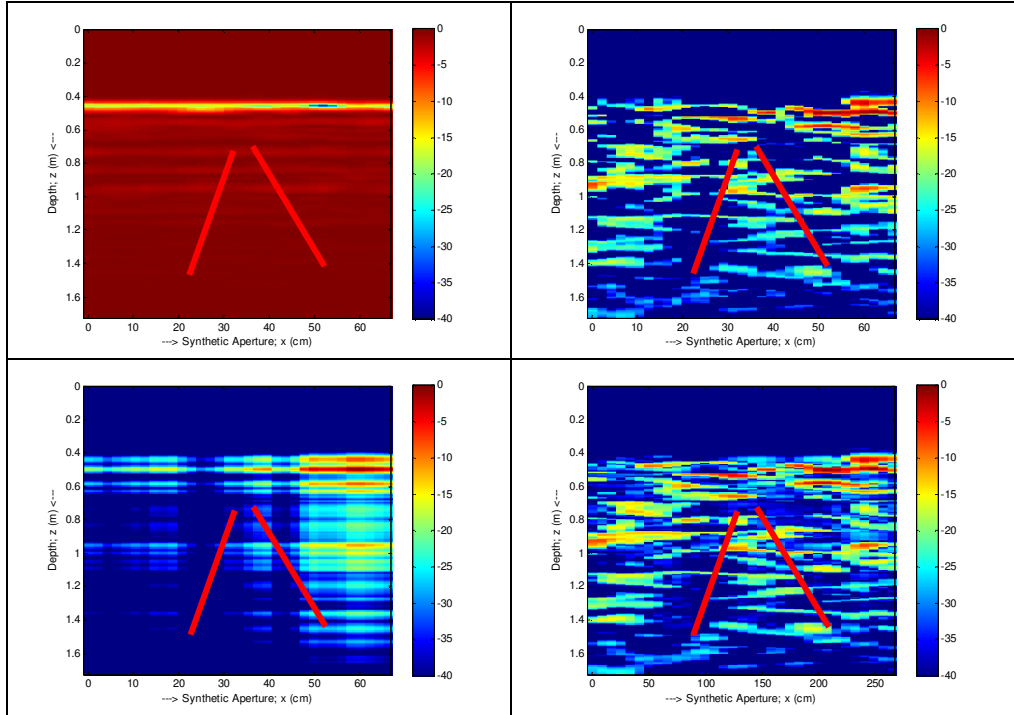
Şekil 4.83. Arazi ortamı 2. grup deney 9 B tarama görüntüleri: [sol üst] işlenmemiş görüntü, [sağ üst] ortalama çıkarımı sonucu, [sol alt] SVD/PCA sonucu ve [sağ alt] ICA sonucudur.



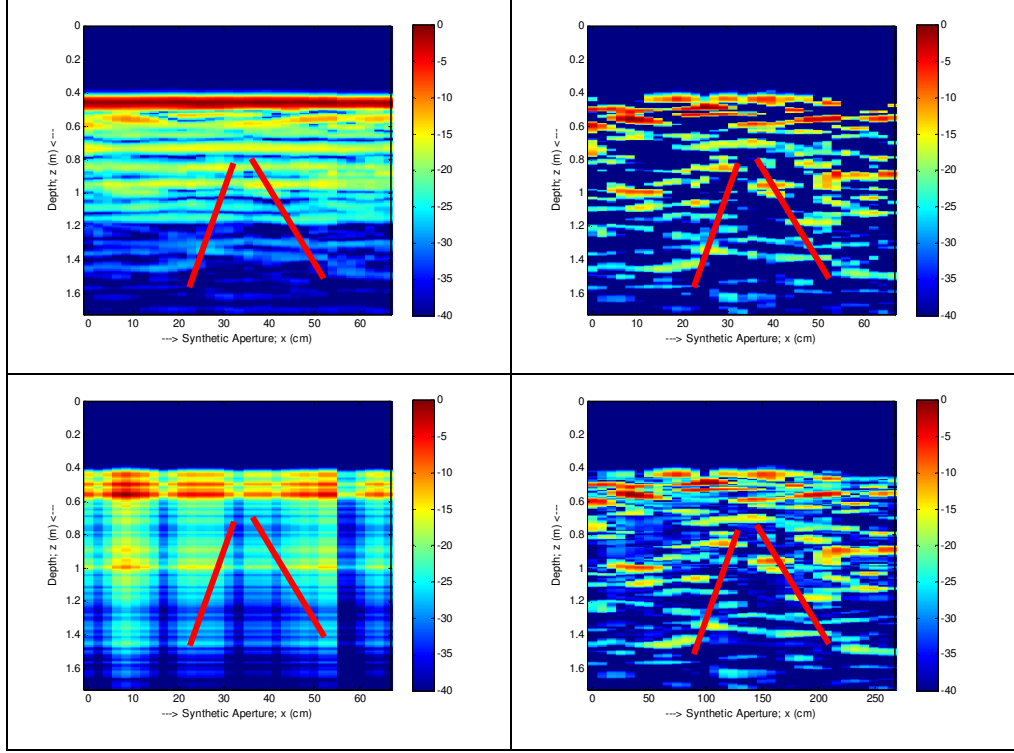
Şekil 4.84. Arazi ortamı 2. grup deney 9 tersi B tarama görüntüleri: [sol üst] işlenmemiş görüntü, [sağ üst] ortalama çıkarımı sonucu, [sol alt] SVD/PCA sonucu ve [sağ alt] ICA sonucudur.



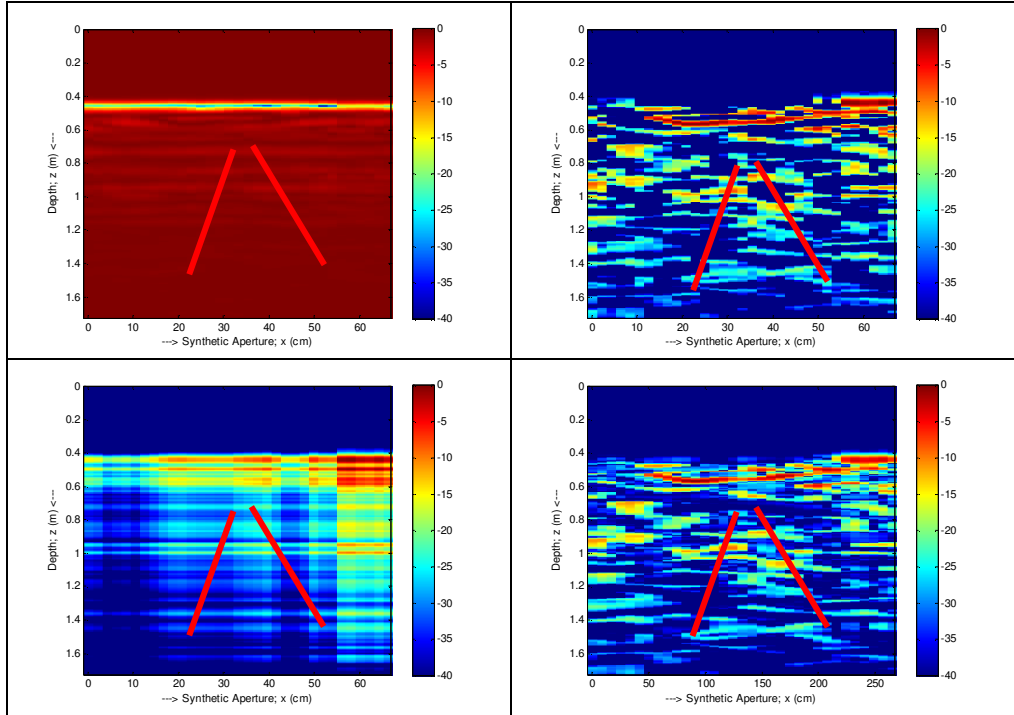
Şekil 4.85. Arazi ortamı 2. grup deney 10 ($t=0$) B tarama görüntüleri: [sol üst] işlenmemiş görüntü, [sağ üst] ortalama çıkarımı sonucu, [sol alt] SVD/PCA sonucu ve [sağ alt] ICA sonucudur.



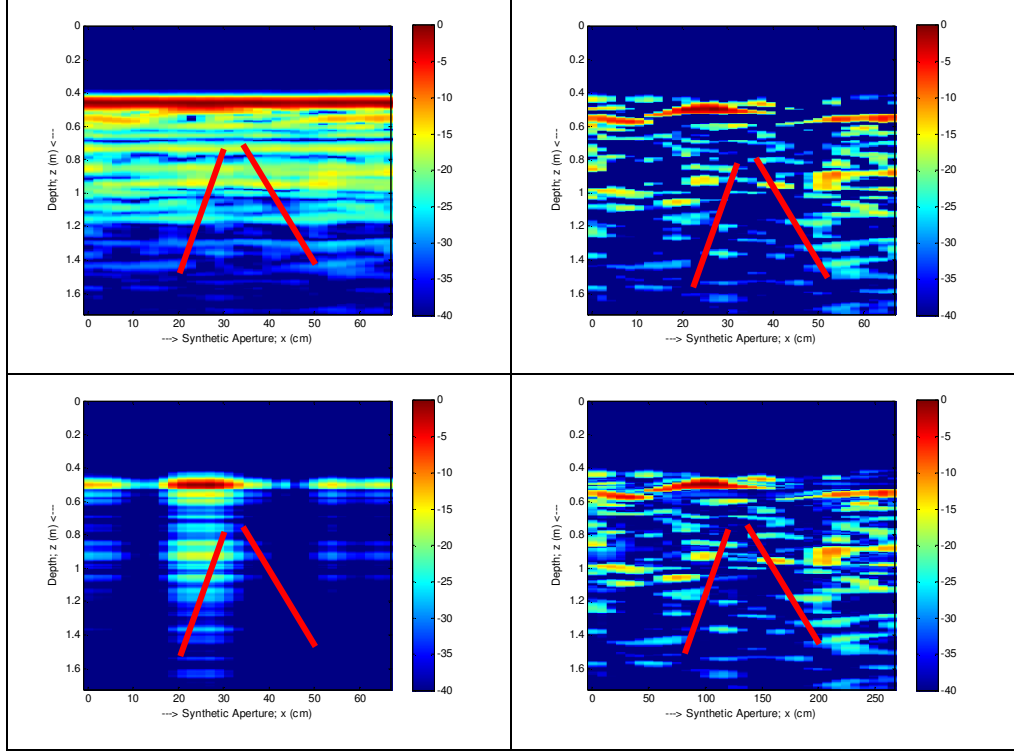
Şekil 4.86. Arazi ortamı 2. grup deney 10 ($t=0$) tersi B tarama görüntüleri: [sol üst] işlenmemiş görüntü, [sağ üst] ortalama çıkarımı sonucu, [sol alt] SVD/PCA sonucu ve [sağ alt] ICA sonucudur.



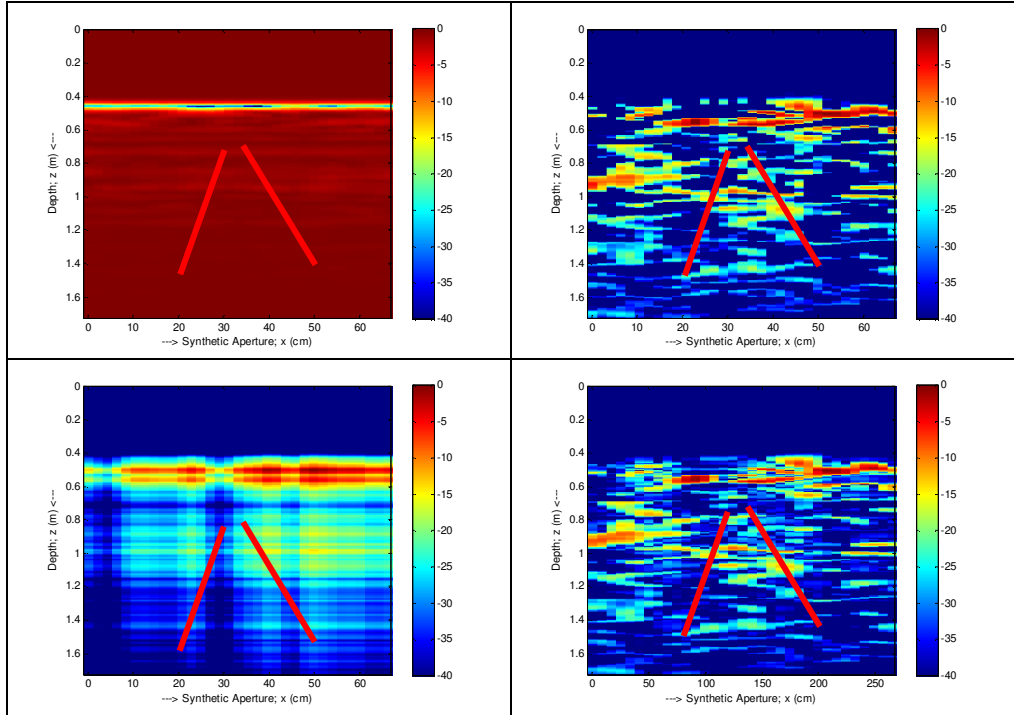
Şekil 4.87. Arazi ortamı 2. grup deney 11 ($t=10$) B tarama görüntüleri: [sol üst] işlenmemiş görüntü, [sağ üst] ortalama çıkarımı sonucu, [sol alt] SVD/PCA sonucu ve [sağ alt] ICA sonucudur.



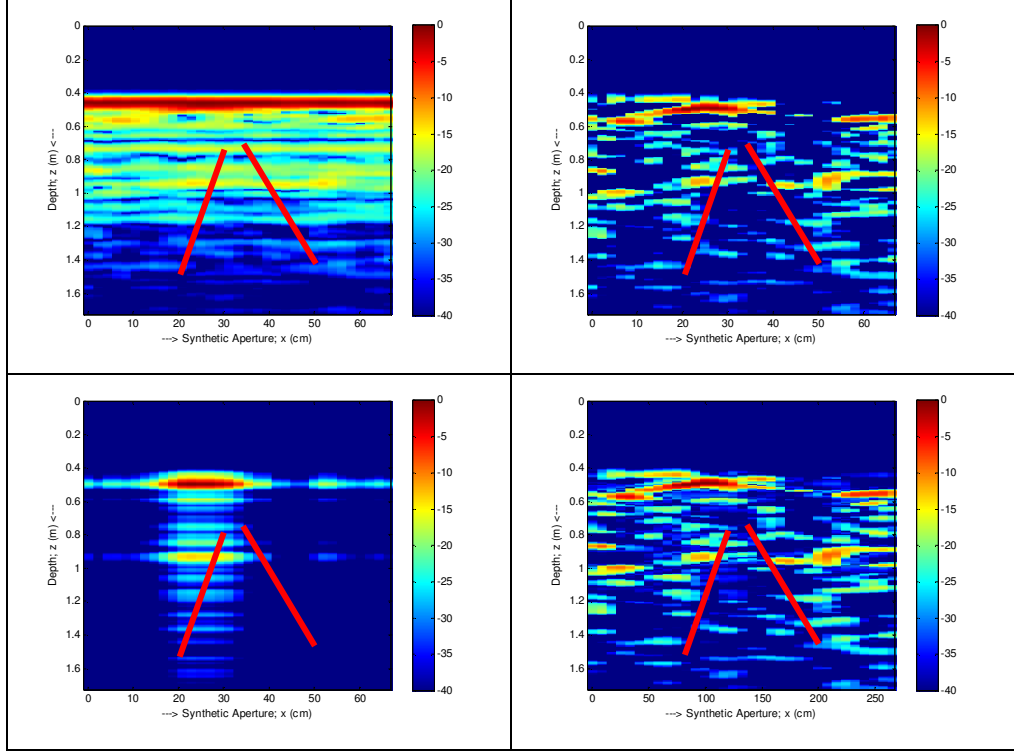
Şekil 4.88. Arazi ortamı 2. grup deney 11 ($t=10$) tersi B tarama görüntüleri: [sol üst] işlenmemiş görüntü, [sağ üst] ortalama çıkarımı sonucu, [sol alt] SVD/PCA sonucu ve [sağ alt] ICA sonucudur.



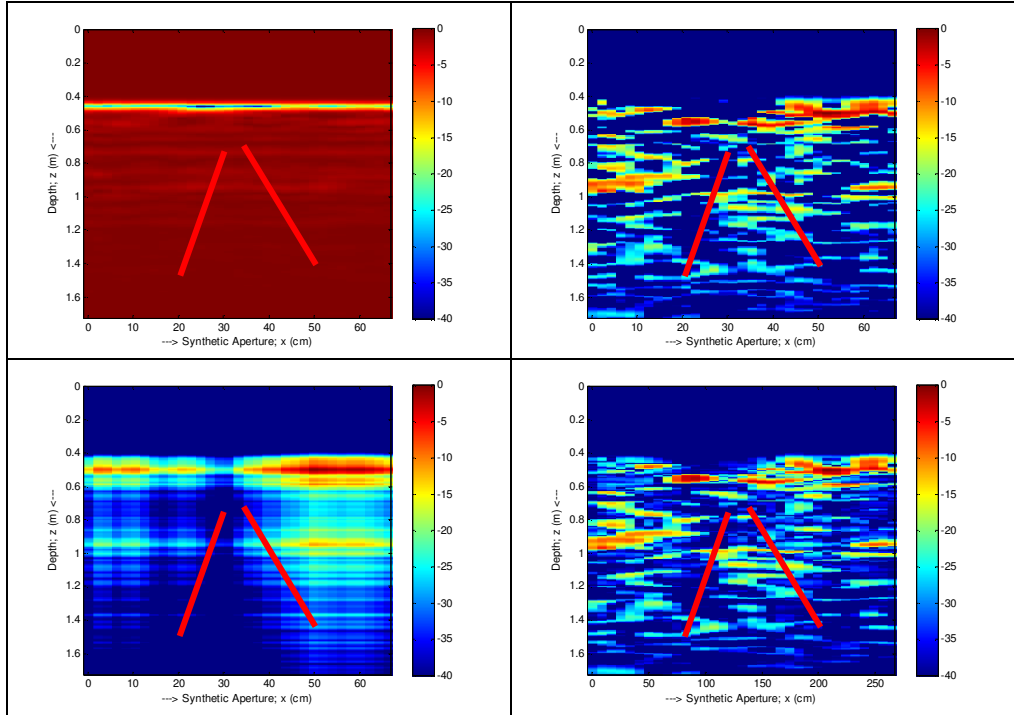
Şekil 4.89. Arazi ortamı 2. grup deney 12 ($t=20$) B tarama görüntüleri: [sol üst] işlenmemiş görüntü, [sağ üst] ortalama çıkarımı sonucu, [sol alt] SVD/PCA sonucu ve [sağ alt] ICA sonucudur.



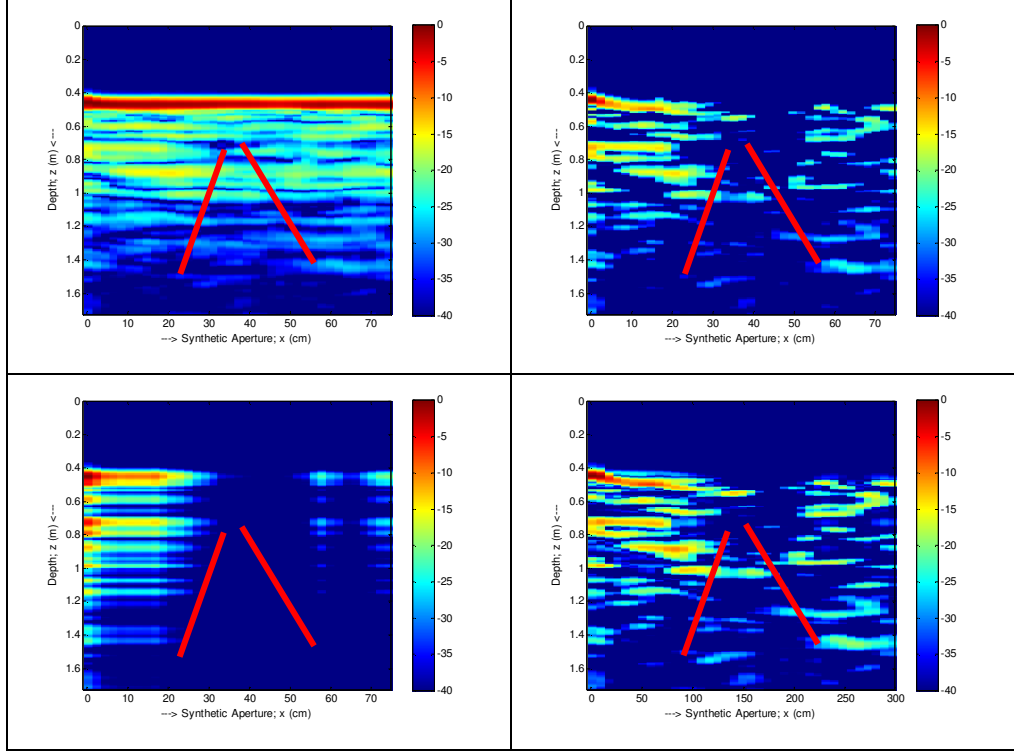
Şekil 4.90. Arazi ortamı 2. grup deney 12 ($t=20$) tersi B tarama görüntüleri: [sol üst] işlenmemiş görüntü, [sağ üst] ortalama çıkarımı sonucu, [sol alt] SVD/PCA sonucu ve [sağ alt] ICA sonucudur.



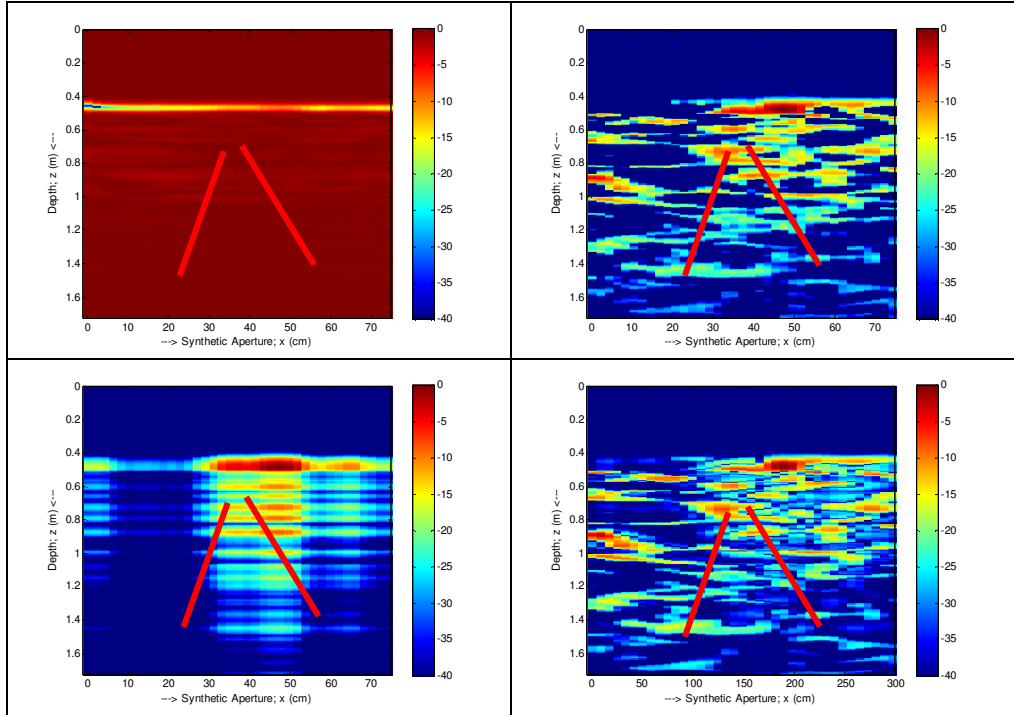
Şekil 4.91. Arazi ortamı 2. grup deney 13 ($t=30$) B tarama görüntüleri: [sol üst] işlenmemiş görüntü, [sağ üst] ortalama çıkarımı sonucu, [sol alt] SVD/PCA sonucu ve [sağ alt] ICA sonucudur.



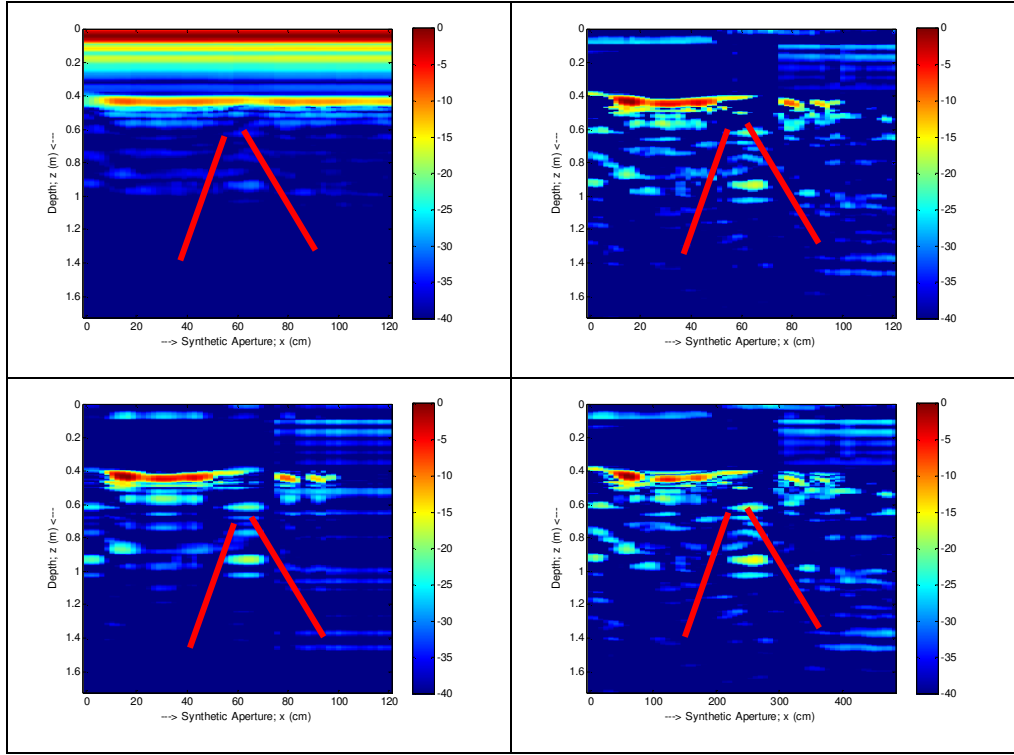
Şekil 4.92. Arazi ortamı 2. grup deney 13 ($t=30$) tersi B tarama görüntüleri: [sol üst] işlenmemiş görüntü, [sağ üst] ortalama çıkarımı sonucu, [sol alt] SVD/PCA sonucu ve [sağ alt] ICA sonucudur.



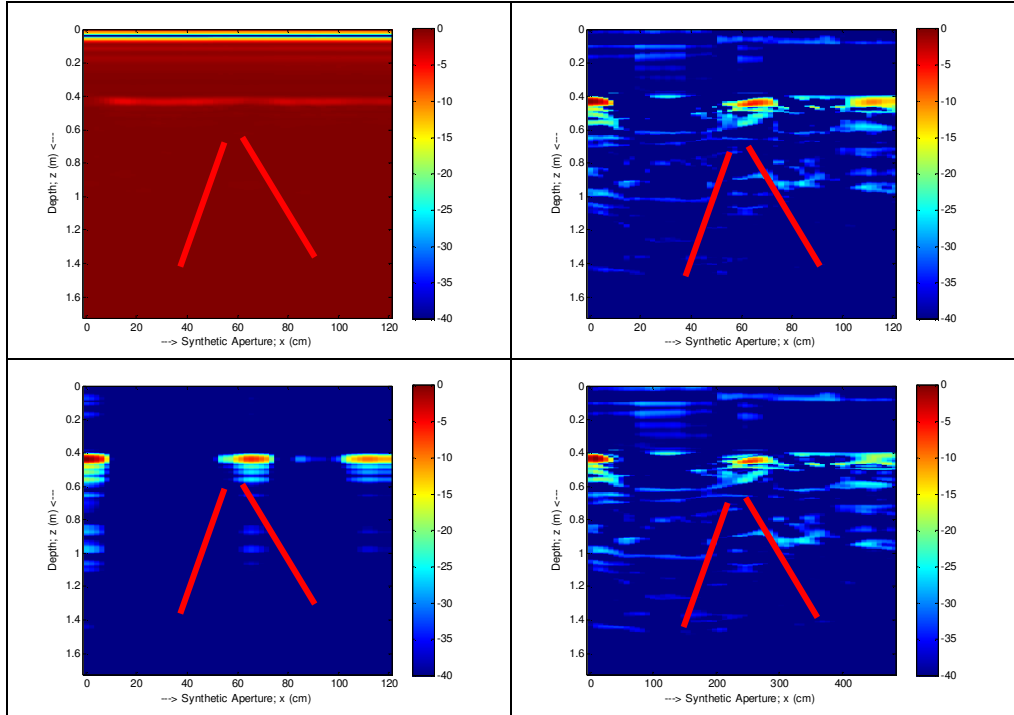
Şekil 4.93. Arazi ortamı 2. grup deney 14 ($t=40$, bs) B tarama görüntüleri: [sol üst] işlenmemiş görüntü, [sağ üst] ortalama çıkarımı sonucu, [sol alt] SVD/PCA sonucu ve [sağ alt] ICA sonucudur.



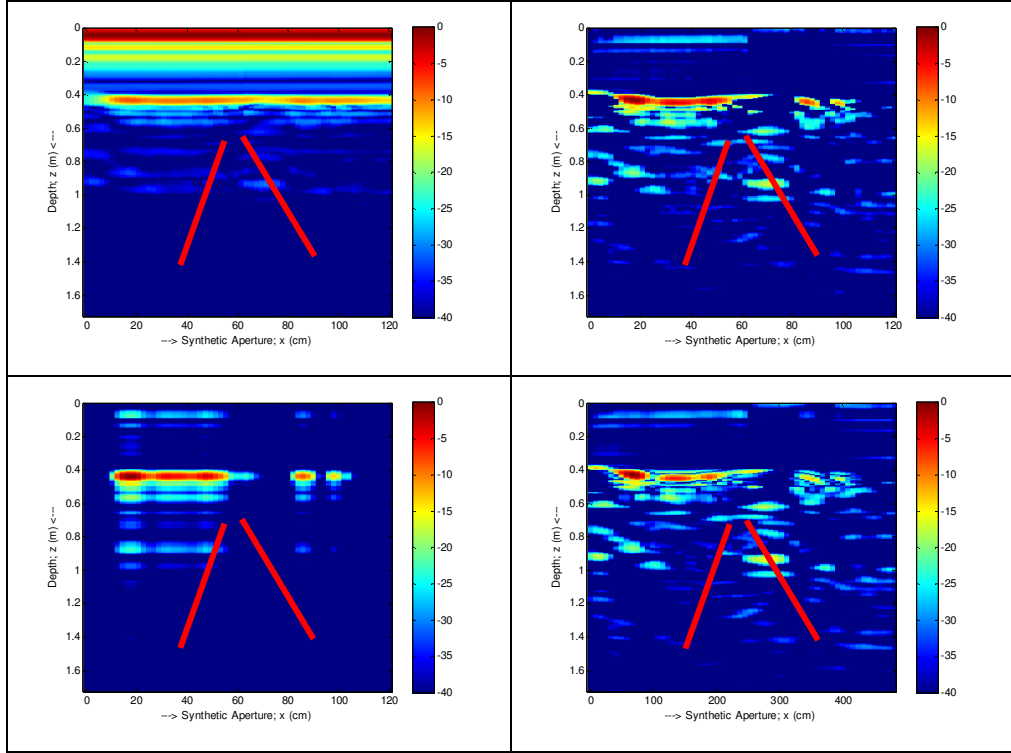
Şekil 4.94. Arazi ortamı 2. grup deney 14 ($t=40$, bs) tersi B tarama görüntüleri: [sol üst] işlenmemiş görüntü, [sağ üst] ortalama çıkarımı sonucu, [sol alt] SVD/PCA sonucu ve [sağ alt] ICA sonucudur.



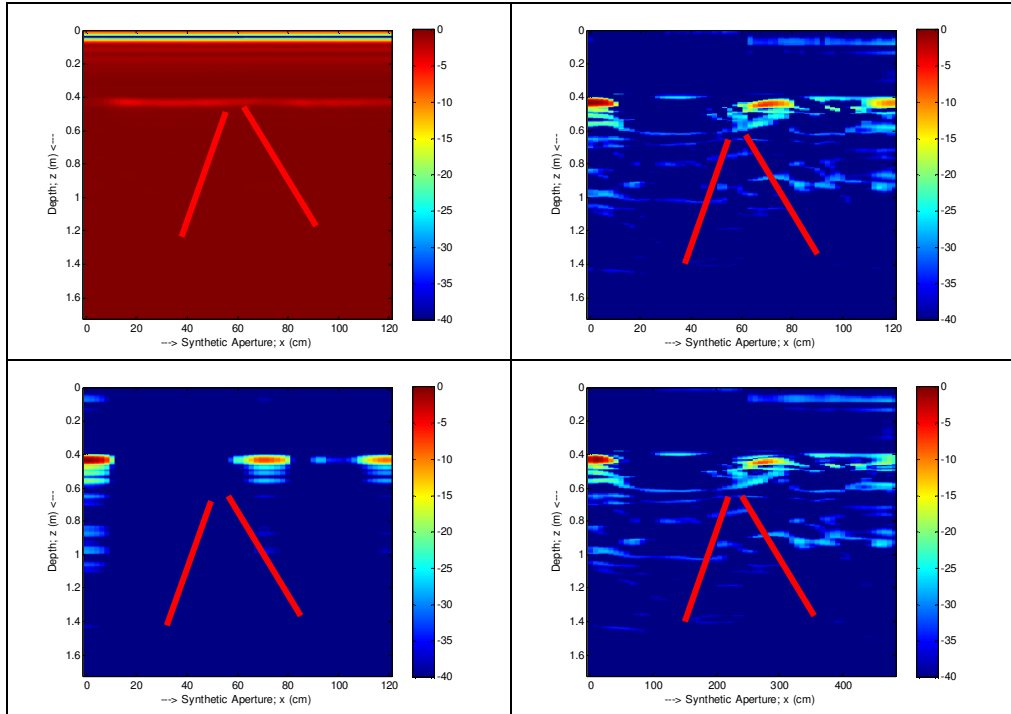
Şekil 4.95. Arazi ortamı 2. grup deney 15 ($t=40$, ms) B tarama görüntüleri: [sol üst] işlenmemiş görüntü, [sağ üst] ortalama çıkarımı sonucu, [sol alt] SVD/PCA sonucu ve [sağ alt] ICA sonucudur.



Şekil 4.96. Arazi ortamı 2. grup deney 15 ($t=40$, ms) tersi B tarama görüntüleri: [sol üst] işlenmemiş görüntü, [sağ üst] ortalama çıkarımı sonucu, [sol alt] SVD/PCA sonucu ve [sağ alt] ICA sonucudur.



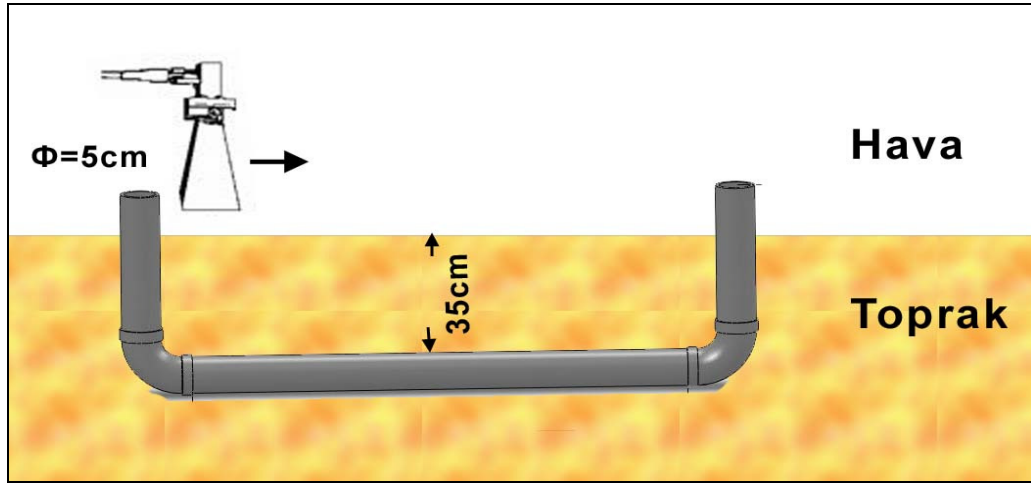
Şekil 4.97. Arazi ortamı 2. grup deney 16 ($t=70$) B tarama görüntüleri: [sol üst] işlenmemiş görüntü, [sağ üst] ortalama çıkarımı sonucu, [sol alt] SVD/PCA sonucu ve [sağ alt] ICA sonucudur.



Şekil 4.98. Arazi ortamı 2. grup deney 16 ($t=70$) B tarama görüntüleri: [sol üst] işlenmemiş görüntü, [sağ üst] ortalama çıkarımı sonucu, [sol alt] SVD/PCA sonucu ve [sağ alt] ICA sonucudur.

4.2.3. Arazi Ortamı 3. Grup Deneyle

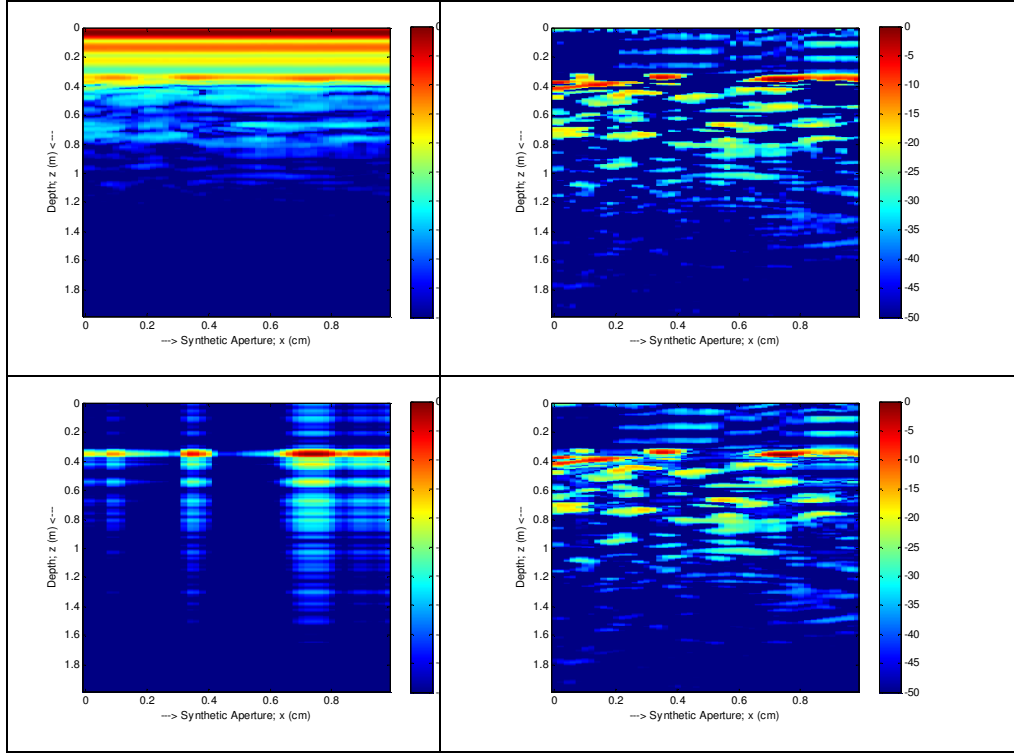
Bu gruptaki deneyler Mersin Üniversitesi Çiftlik Köy Yerleşkesindeki Spor Kompleksi içinde bulunan uzun atlama kum havuzunda yapılmıştır. Boru önce sağdan 80 cm' den delindi ve 35 cm derinliğe susuz olarak gömüldü. Network Analizörün kalibrasyonu yapıldı (Gereken durumlarda tekrar kalibrasyon yapıldı). Güç 6 dbm'e ayarlandı. Tüm deneylerde 98 cm yapay açıklık boyunca, 2'şer cm arayla ($\Delta x = 2$ cm) 50 adet geri saçılma elektrik alan verisi toplandı. Her bir nokta için (her bir A tarama için) frekans 0.8-5 GHz arasında değiştirilerek; eşit aralıklarda toplam 201 ayrı frekans noktası için geri saçılma elektrik alan verisi toplandı ve 201x50 boyutunda B tarama matrisleri oluşturuldu. Daha sonra, YNR görüntüleme algoritması uygulanarak B tarama YNR görüntüleri elde edildi. Çizelge 4.5. deneylerin tarama zamanını, deneylerin adlarını ve deneylerde ne kadar su konulduğunu belirtmektedir. Görüntüler izleyen sayfadaki şekillerde gösterilmiştir.



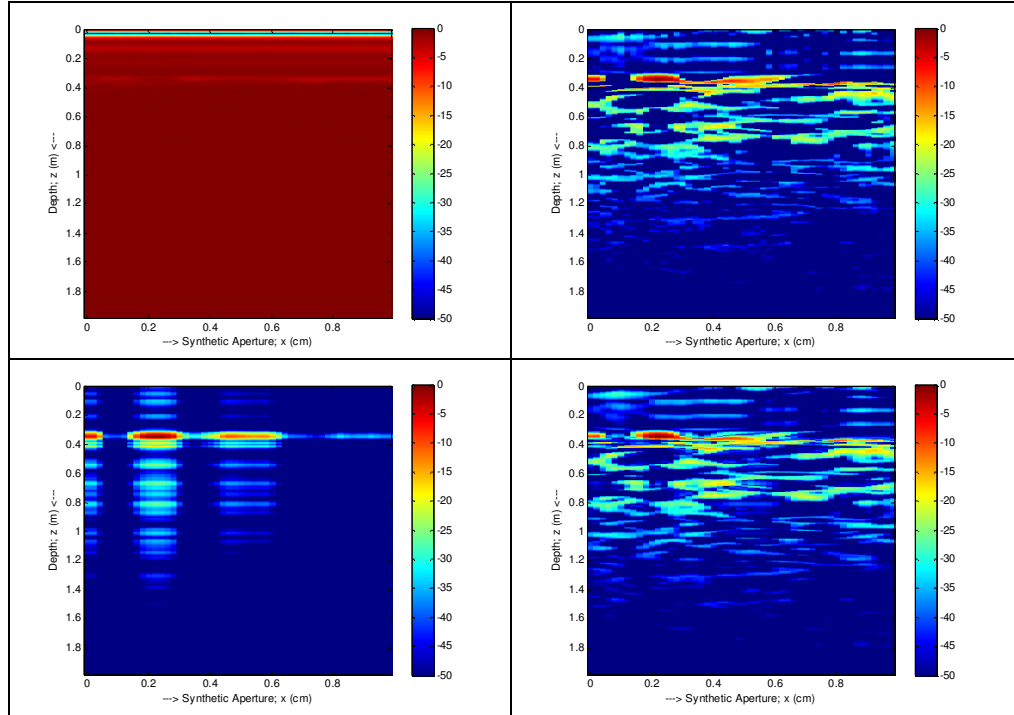
Şekil 4.99. Arazi ortamı 3. grup deneyleri deney geometrisi.

Çizelge 4.5. Arazi ortamı 3. grup deneylerinin tarama zamanı, deneylerin adları ve deney koşulları

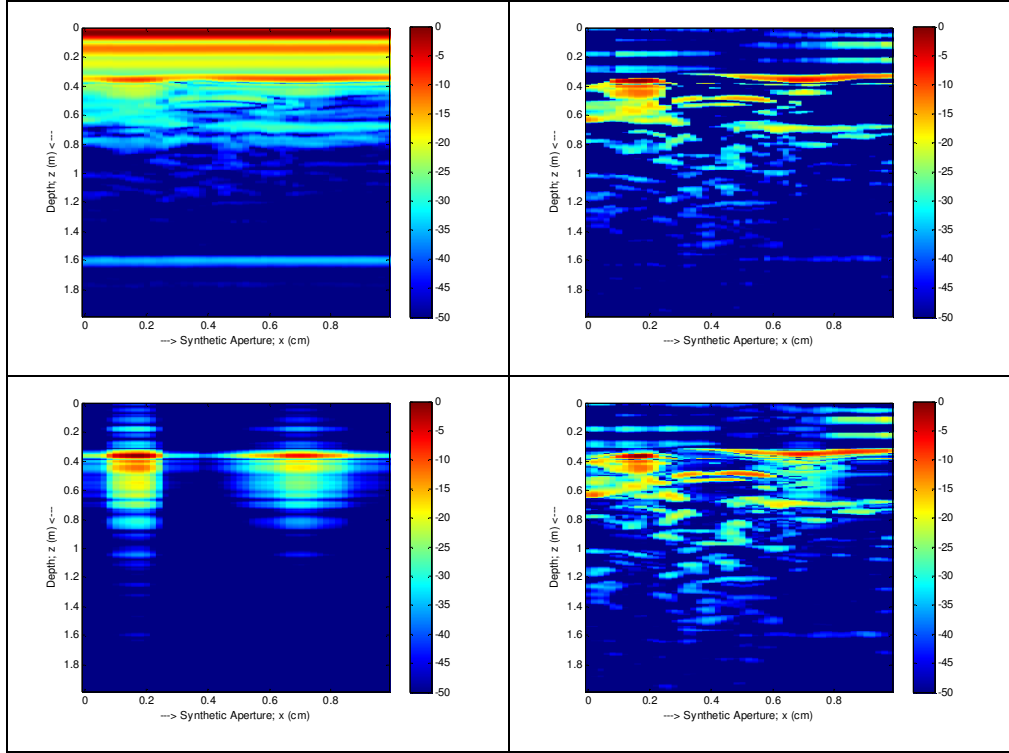
| Tarama Zamanı | Deney Adı | Deney Koşulları |
|---------------|-----------|---|
| 19:05 | Susuzb1 | Su konulmadı |
| 19:10 | Susuzb2 | Su konulmadı |
| 19:15 | Sulub0dk | 30 data alındıktan sonra 2 Lt. su konuldu |
| 19:20 | Sulub5dk | 1 Lt su konuldu |
| 19:25 | Sulub10dk | 1 Lt su konuldu |
| 19:30 | Sulub15dk | 2 LT su konulduktan sonra tarama yapıldı. |



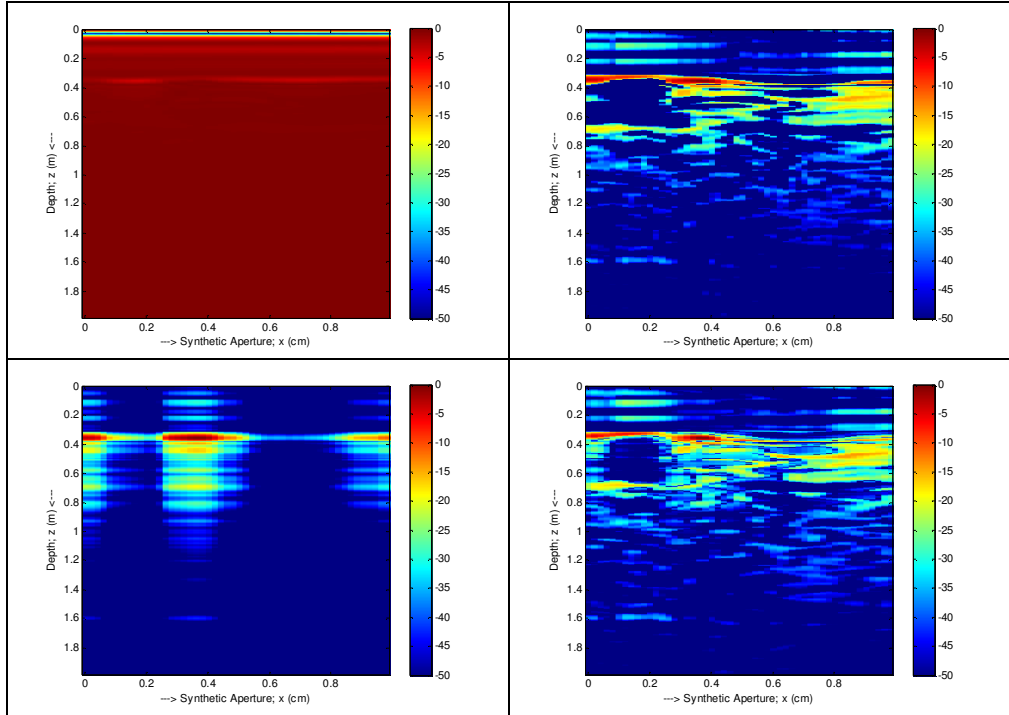
Şekil 4.100. Susuzbl B tarama görüntüleri: [sol üst] işlenmemiş görüntü, [sağ üst] ortalama çıkarımı sonucu, [sol alt] SVD/PCA sonucu ve [sağ alt] ICA sonucudur.



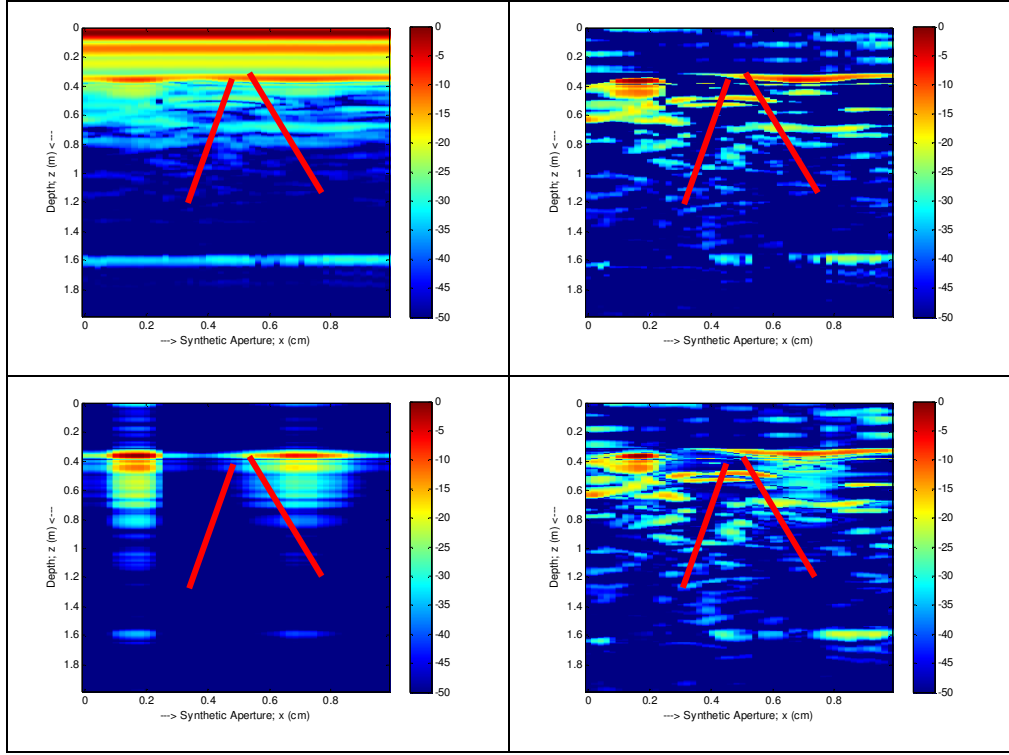
Şekil 4.101. Susuzbl tersi B tarama görüntüleri: [sol üst] ters görüntü, [sağ üst] ortalama çıkarımı sonucu, [sol alt] SVD/PCA sonucu ve [sağ alt] ICA sonucudur.



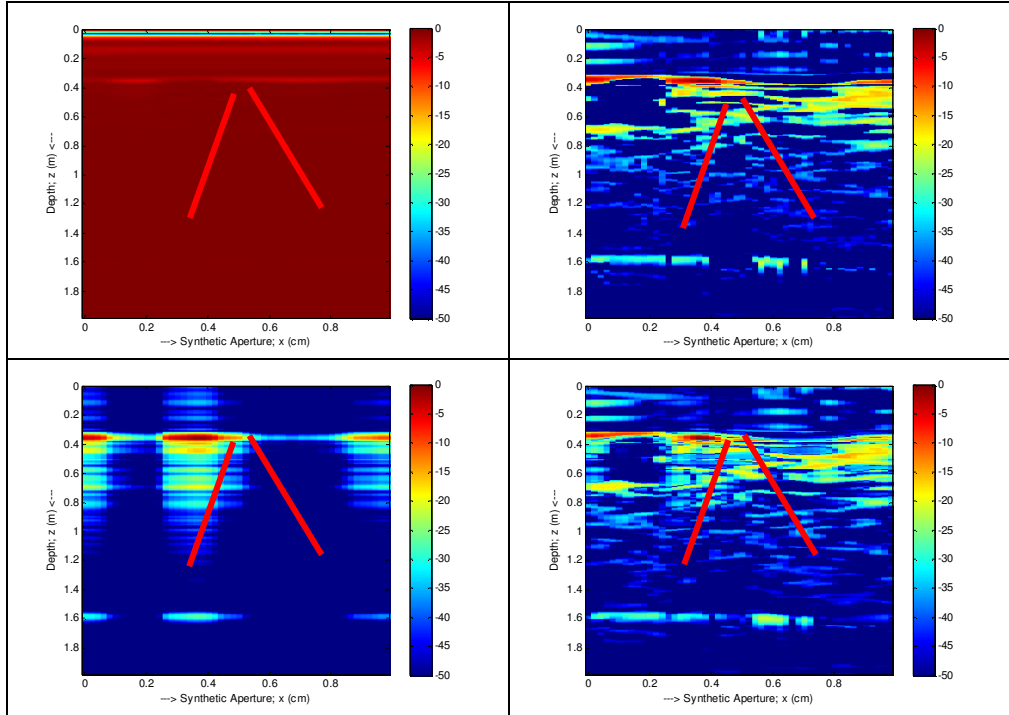
Şekil 4.102. Susuzb2 B tarama görüntüleri: [sol üst] işlenmemiş görüntü, [sağ üst] ortalama çıkarımı sonucu, [sol alt] SVD/PCA sonucu ve [sağ alt] ICA sonucudur.



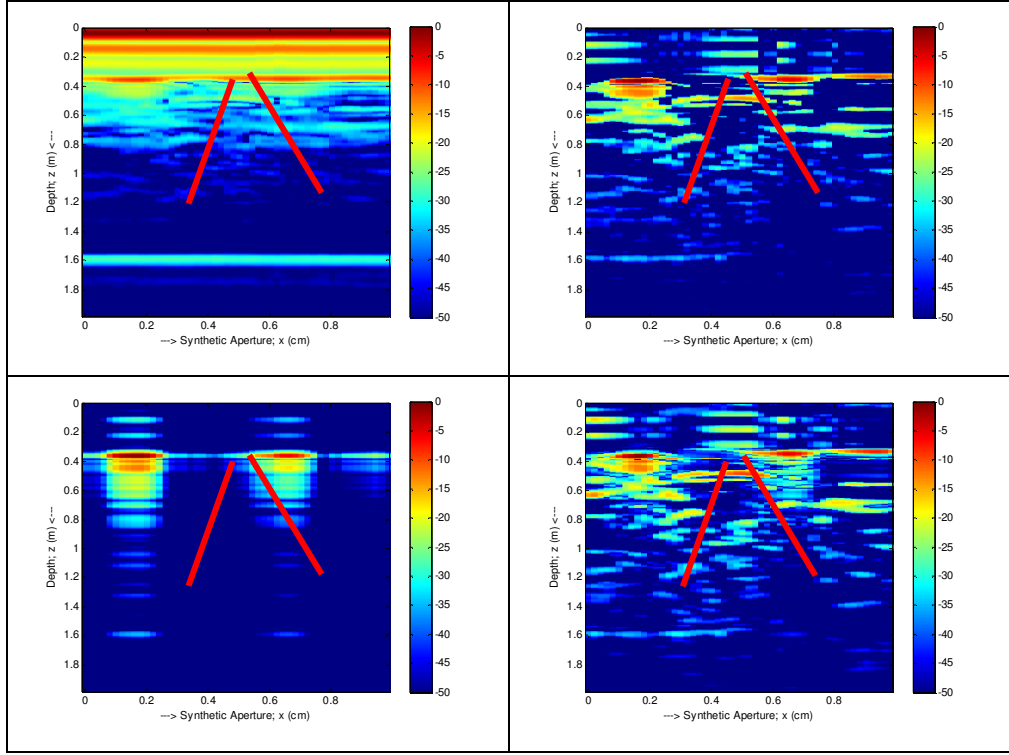
Şekil 4.103. Susuzb2 tersi B tarama görüntüleri: [sol üst] işlenmemiş görüntü, [sağ üst] ortalama çıkarımı sonucu, [sol alt] SVD/PCA sonucu ve [sağ alt] ICA sonucudur.



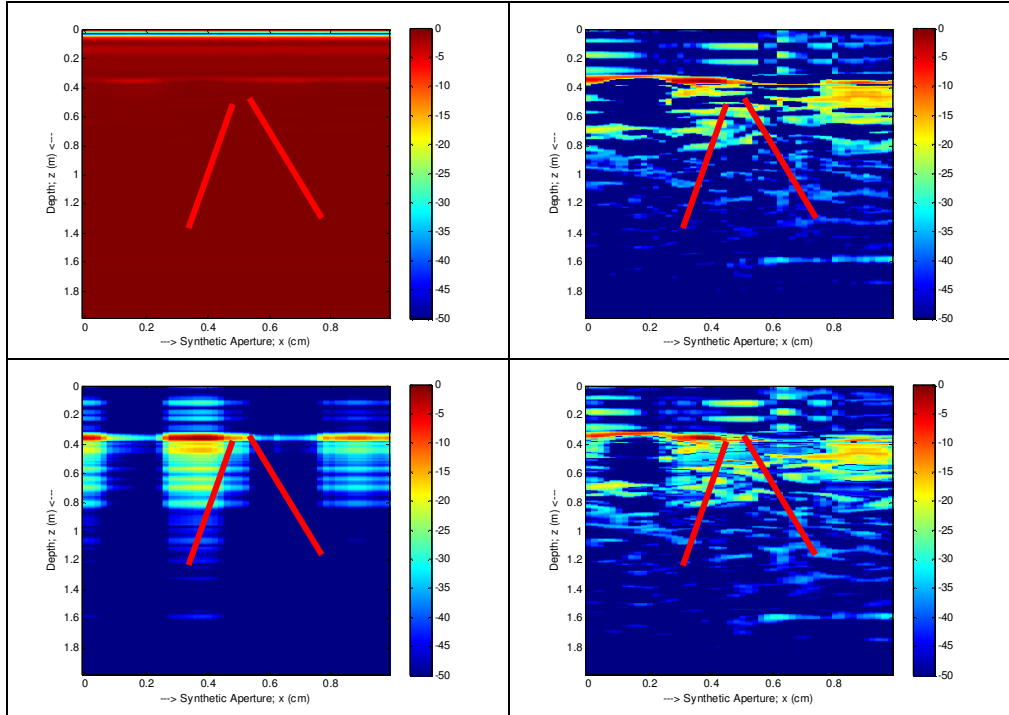
Şekil 4.104. Sulub0dk B tarama görüntüleri: [sol üst] işlenmemiş görüntü, [sağ üst] ortalama çıkarımı sonucu, [sol alt] SVD/PCA sonucu ve [sağ alt] ICA sonucudur.



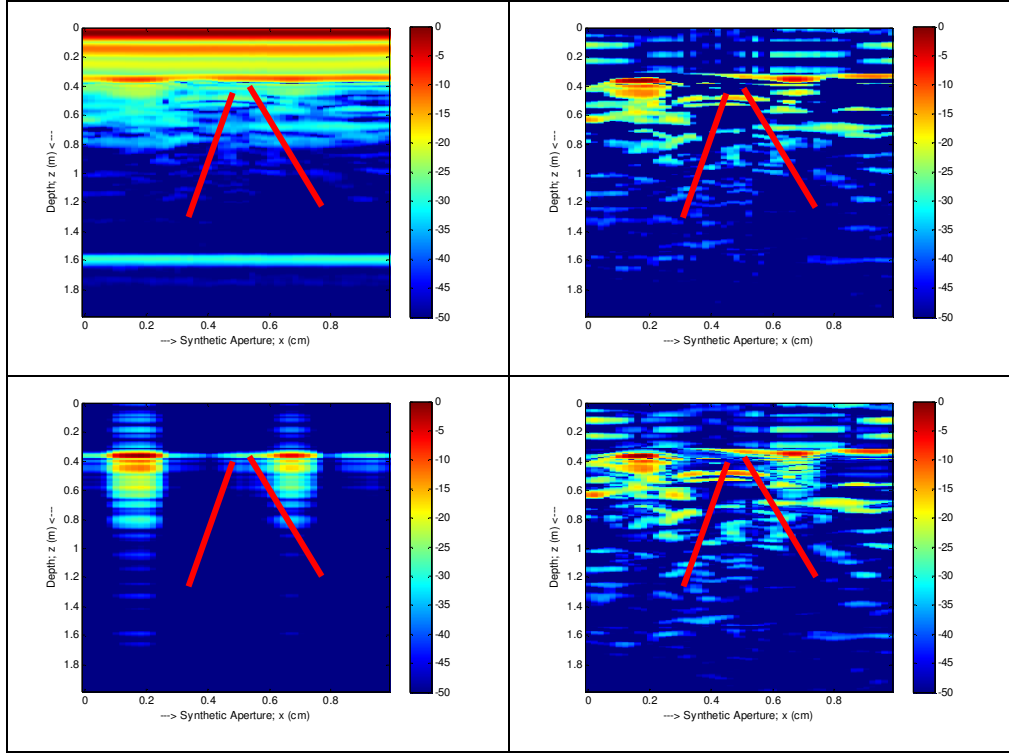
Şekil 4.105. Sulub0dk tersi B tarama görüntüleri: [sol üst] işlenmemiş görüntü, [sağ üst] ortalama çıkarımı sonucu, [sol alt] SVD/PCA sonucu ve [sağ alt] ICA sonucudur.



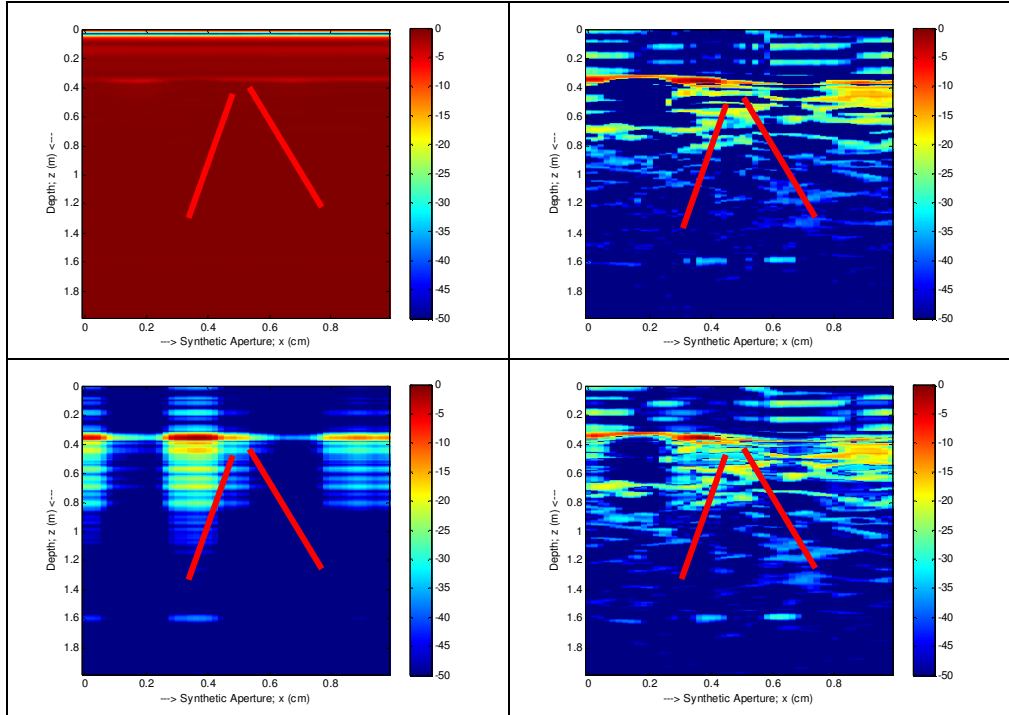
Şekil 4.106. Sulub5dk B tarama görüntüleri: [sol üst] işlenmemiş görüntü, [sağ üst] ortalama çıkarımı sonucu, [sol alt] SVD/PCA sonucu ve [sağ alt] ICA sonucudur.



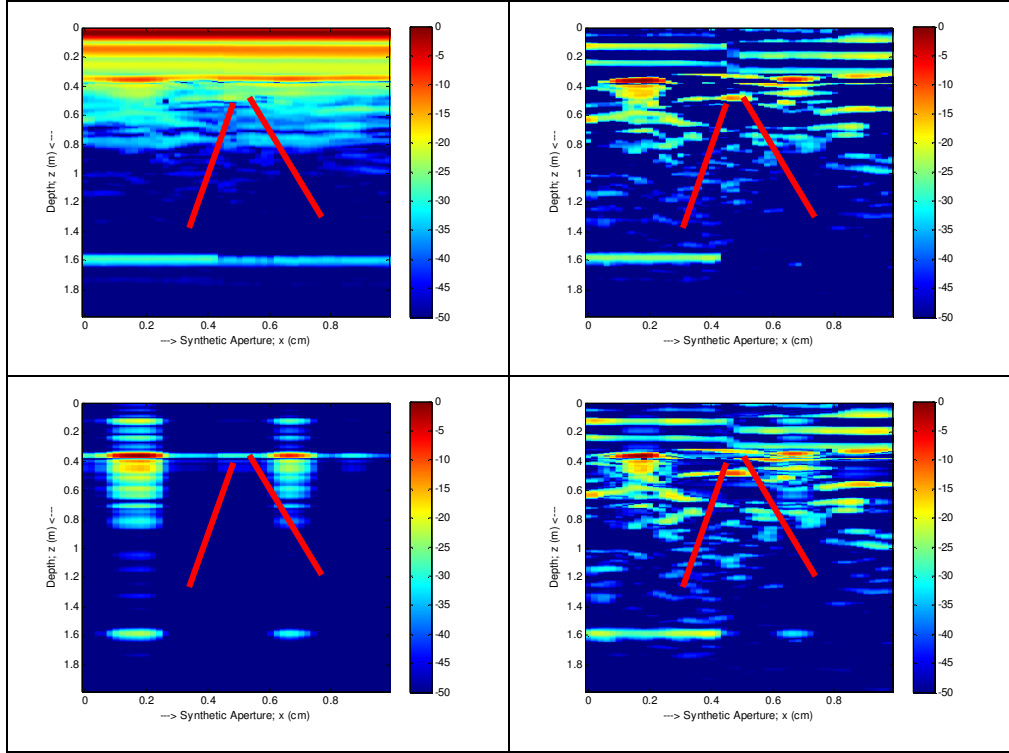
Şekil 4.107. Sulub5dk tersi B tarama görüntüleri: [sol üst] işlenmemiş görüntü, [sağ üst] ortalama çıkarımı sonucu, [sol alt] SVD/PCA sonucu ve [sağ alt] ICA sonucudur.



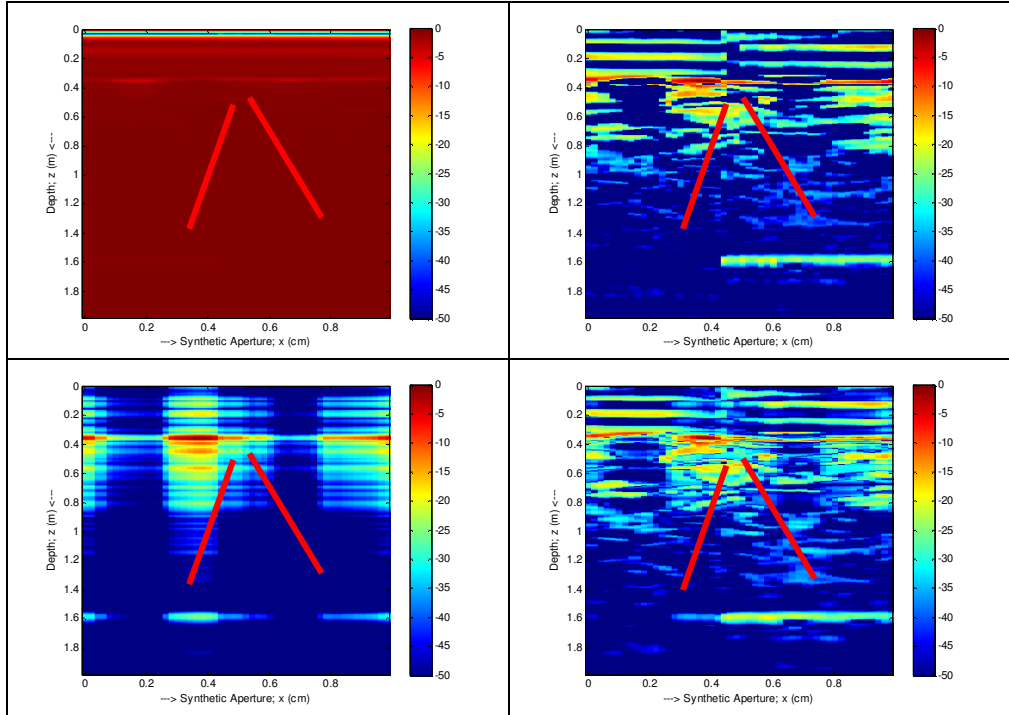
Şekil 4.108. Sulub10dk B tarama görüntüleri: [sol üst] işlenmemiş görüntü, [sağ üst] ortalama çıkarımı sonucu, [sol alt] SVD/PCA sonucu ve [sağ alt] ICA sonucudur.



Şekil 4.109. Sulub10dk tersi B tarama görüntüleri: [sol üst] işlenmemiş görüntü, [sağ üst] ortalama çıkarımı sonucu, [sol alt] SVD/PCA sonucu ve [sağ alt] ICA sonucudur.



Şekil 4.110. Sulub15dk B tarama görüntüleri: [sol üst] işlenmemiş görüntü, [sağ üst] ortalama çıkarımı sonucu, [sol alt] SVD/PCA sonucu ve [sağ alt] ICA sonucudur.



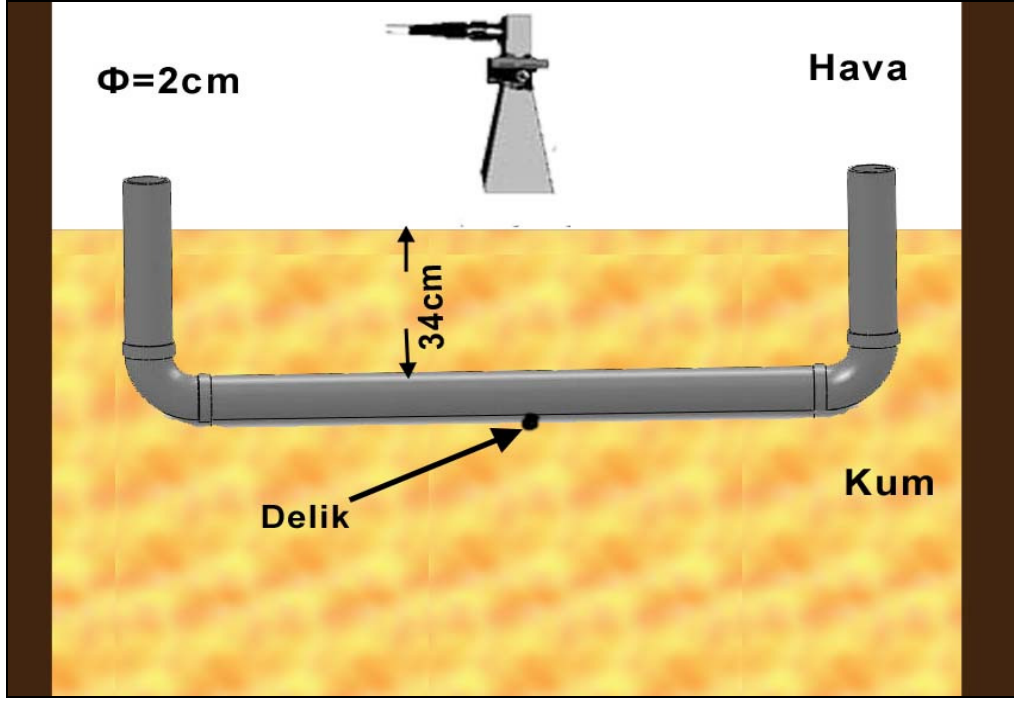
Şekil 4.111. Sulub15dk tersi B tarama görüntüleri: [sol üst] işlenmemiş görüntü, [sağ üst] ortalama çıkarımı sonucu, [sol alt] SVD/PCA sonucu ve [sağ alt] ICA sonucudur.

4.3. LABORATUAR ORTAMI A TARAMA DENEY SONUÇLARI

Toplam 13 deney yapıldı. Deneyler için 4,8 – 8,5 Ghz arasında 201 frekans noktasında sinyaller gönderildi. Güç 5dbm olarak ayarlandı. İnce boru (çapı 2 cm) kumdan 34 cm derine gömüldü. Her deneyde 500 A tarama yapıldı. İki A taraması arasındaki süre 1 sn olarak ayarlandı. İlk sekiz deneyde (Toplam 4000 A taraması) borudaki deliğin bulunduğu yerde ölçümler yapıldı. Daha sonraki deneylerde ıslak olmayan yerlerdeki verileri almak için antenin yeri değiştirildi. Birinci deneyde ilk 20 A taramasından sonra boruya su dökülmeye başlandı ve borunun dolu tutulması için sürekli su döküldü (tüm deneyler boyunca yaklaşık 30 Lt. su döküldü).



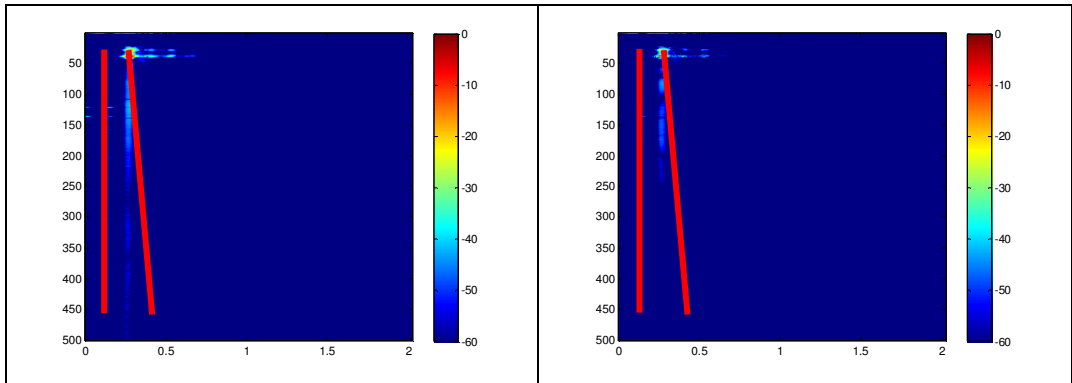
Resim 4.3. Laboratuar ortamı A tarama deneylerinden bir görünüş



Şekil 4.112. Laboratuvar ortamı A tarama deneyleri deney geometrisi

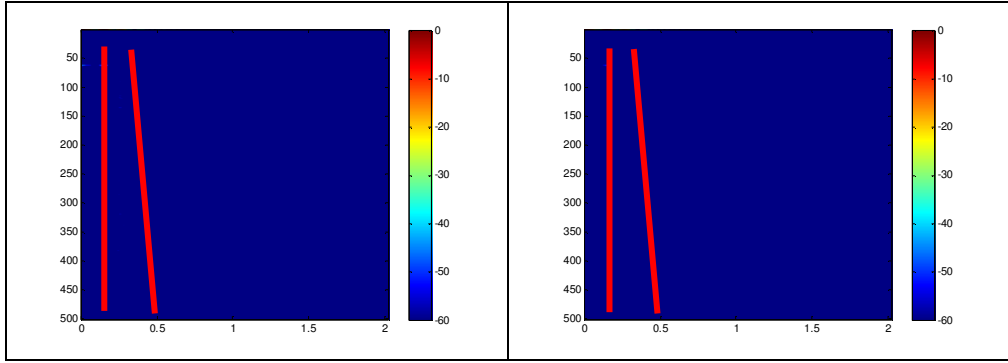
Birbiri ardına yapılan iki A taraması arasındaki farkların grafikleri aşağıdadır. Tüm şekillerde kırmızı renkle gösterilen doğruların arasında kalan alan ıslak bölgeyi göstermektedir.

Deney1: Toplam 500 A taraması yapıldı. İlk 20 A taramasından sonra boruya su dökülmeye başlandı ve borunun dolu kalması için sürekli su döküldü. Birbiri ardına yapılan iki A taraması arasındaki farkın grafiği şekil 4.107 de görülmektedir. Antenin yeri borudaki deliğin bulunduğu yerdedir. Soldaki normal çıkarma, sağdaki mutlak değerler alındıktan sonra çıkarmadır.



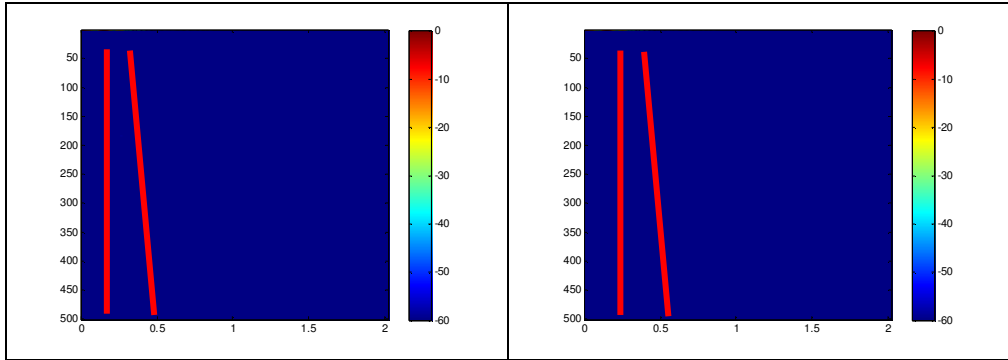
Şekil 4.113. A tarama laboratuvar 1. deneyin görüntüleri

Deney2: Toplam 500 A taraması yapıldı. Borunun dolu tutulması için sürekli su döküldü. Birbiri ardına yapılan iki A taraması arasındaki farkın grafiği şekil 4.108 de görülmektedir. Antenin yeri borudaki deliğin bulunduğu yerdedir. Soldaki normal çıkarma, sağdaki mutlak değerler alındıktan sonra çıkarmadır.



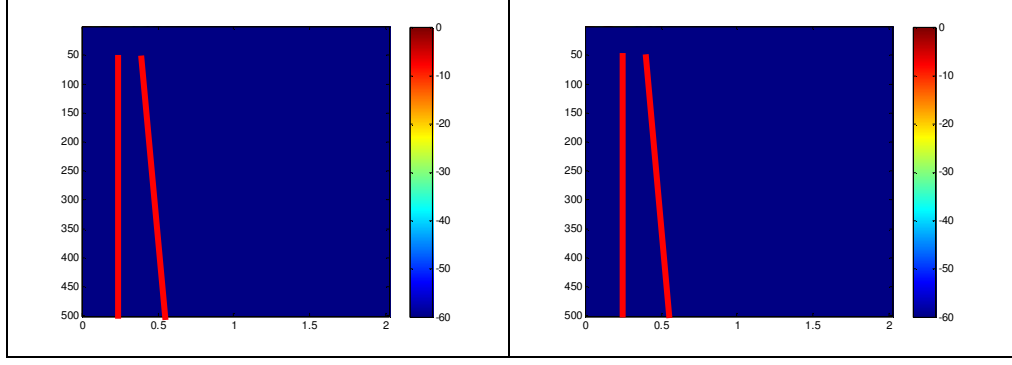
Şekil 4.114. A tarama laboratuvar 2. deneyin görüntüleri

Deney3: Toplam 500 A taraması yapıldı. Borunun dolu tutulması için sürekli su döküldü. Birbiri ardına yapılan iki A taraması arasındaki farkın grafiği şekil 4.109 da görülmektedir. Antenin yeri borudaki deliğin bulunduğu yerdedir. Soldaki normal çıkarma, sağdaki mutlak değerler alındıktan sonra çıkarmadır.



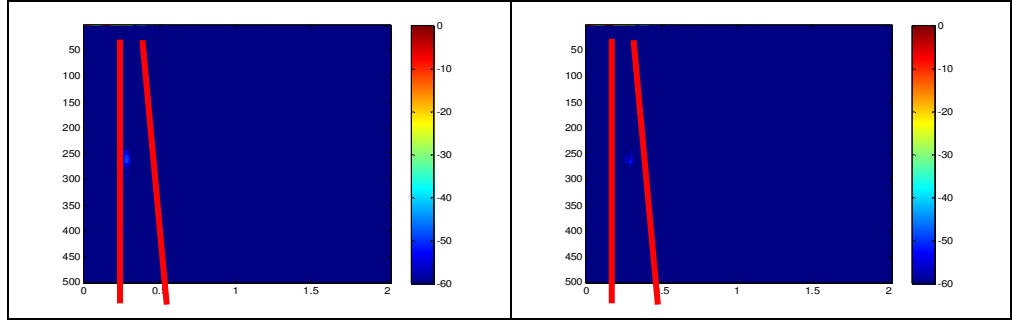
Şekil 4.115. A tarama laboratuvar 3. deneyin görüntüleri

Deney4: Toplam 500 A taraması yapıldı. Borunun dolu tutulması için sürekli su döküldü. Birbiri ardına yapılan iki A taraması arasındaki farkın grafiği şekil 4.110 da görülmektedir. Antenin yeri borudaki deliğin bulunduğu yerdedir. Soldaki normal çıkarma, sağdaki mutlak değerler alındıktan sonra çıkarmadır.



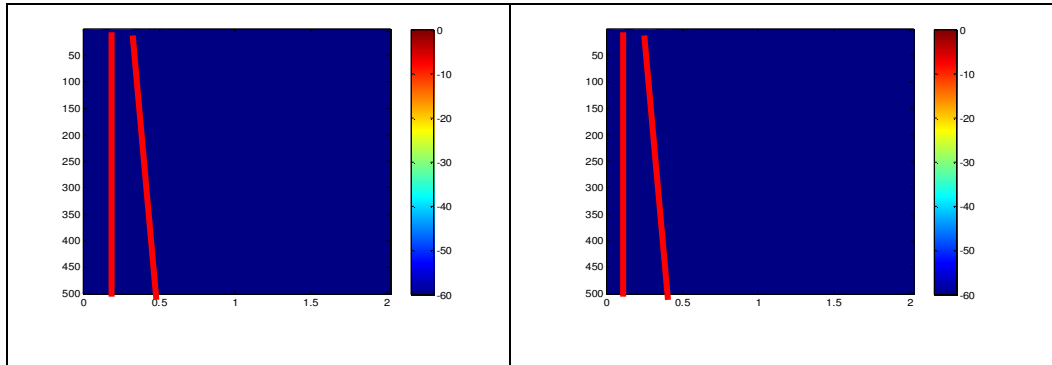
Şekil 4.116. A tarama laboratuar 4. deneyin görüntüleri

Deney5: Toplam 500 A taraması yapıldı. Boruya artık su dökülmedi. Birbiri ardına yapılan iki A taraması arasındaki farkın grafiği şekil 4.111 de görülmektedir. Antenin yeri borudaki deliğin bulunduğu yerdedir. Soldaki normal çıkarma, sağdaki mutlak değerler alındıktan sonra çıkarmadır.



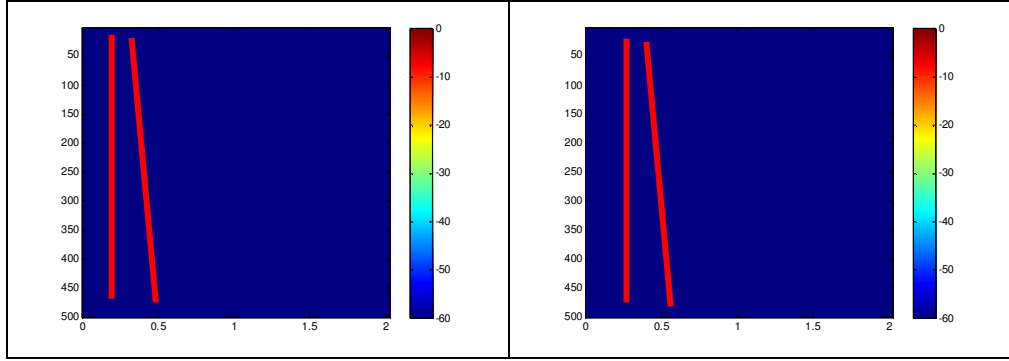
Şekil 4.117. A tarama laboratuar 5. deneyin görüntüleri

Deney6: Toplam 500 A taraması yapıldı. Boruya su dökülmedi. Birbiri ardına yapılan iki A taraması arasındaki farkın grafiği şekil 4.112 de görülmektedir. Antenin yeri borudaki deliğin bulunduğu yerdedir. Soldaki normal çıkarma, sağdaki mutlak değerler alındıktan sonra çıkarmadır.



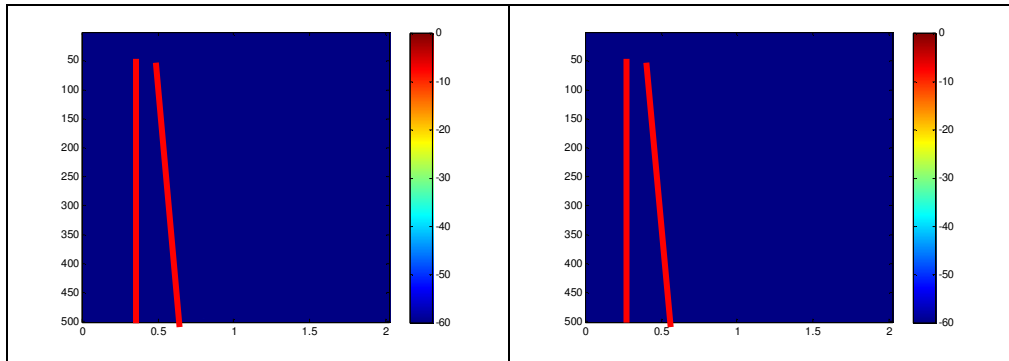
Şekil 4.118. A tarama laboratuar 6. deneyin görüntüleri

Deney7: Toplam 500 A taraması yapıldı. Boruya su dökülmedi. Birbiri ardına yapılan iki A taraması arasındaki farkın grafiği şekil 4.113 te görülmektedir. Antenin yeri borudaki deliğin bulunduğu yerdedir. Soldaki normal çıkarma, sağdaki mutlak değerler alındıktan sonra çıkarmadır.



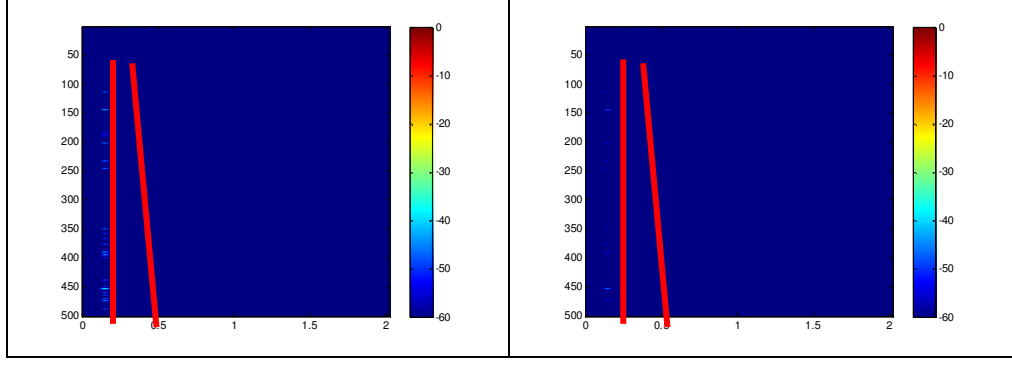
Şekil 4.119. A tarama laboratuvar 7. deneyin görüntüleri

Deney8: Toplam 500 A taraması yapıldı. Boruya su dökülmedi. Birbiri ardına yapılan iki A taraması arasındaki farkın grafiği şekil 4.114 de görülmektedir. Antenin yeri borudaki deliğin bulunduğu yerdedir. Soldaki normal çıkarma, sağdaki mutlak değerler alındıktan sonra çıkarmadır.



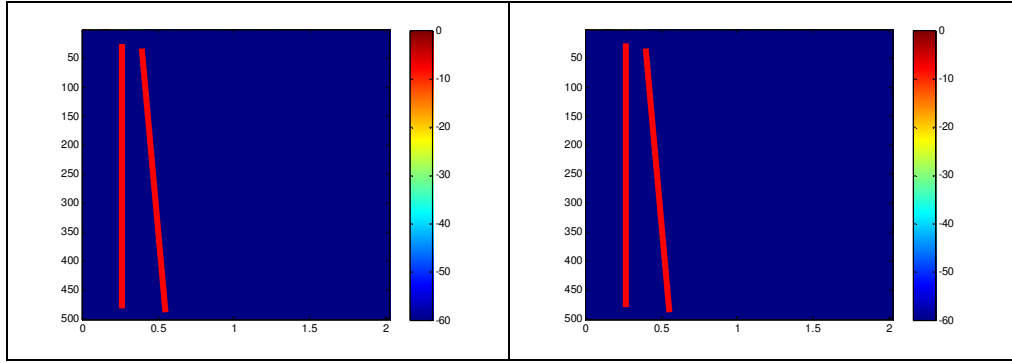
Şekil 4.120. A tarama laboratuvar 8. deneyin görüntüleri

Deney9: Toplam 500 A taraması yapıldı. Boruya su dökülmedi. Birbiri ardına yapılan iki A taraması arasındaki farkın grafiği şekil 4.115 te görülmektedir. Antenin yeri borudaki deliğin 20 cm sağındadır. Soldaki normal çıkarma, sağdaki mutlak değerler alındıktan sonra çıkarmadır.



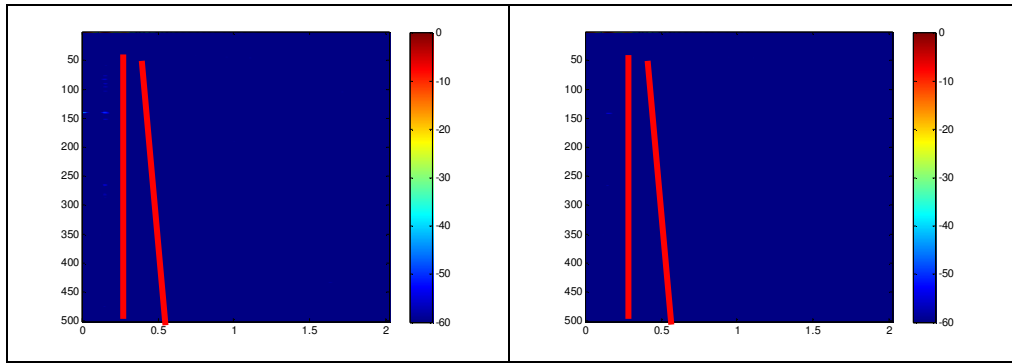
Şekil 4.121. A tarama laboratuvar 9. deneyin görüntüleri

Deney10: Toplam 500 A taraması yapıldı. Boruya su dökülmedi. Birbiri ardına yapılan iki A taraması arasındaki farkın grafiği şekil 4.116 da görülmektedir. Antenin yeri borudaki deliğin 40 cm sağındadır. Soldaki normal çıkarma, sağdaki mutlak değerler alındıktan sonra çıkarmadır.



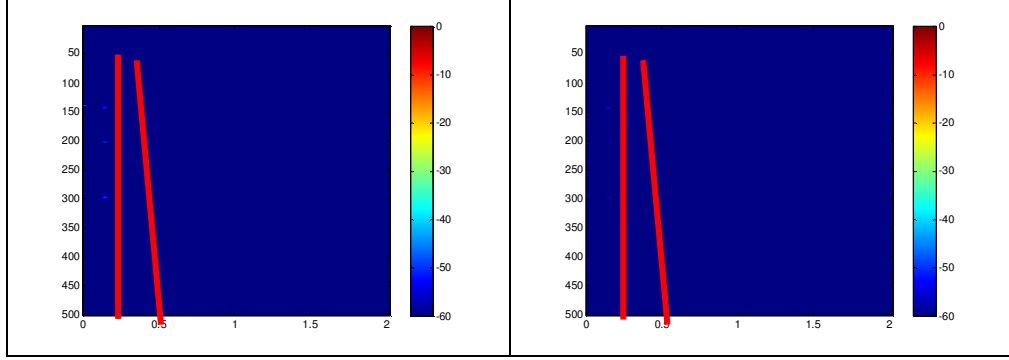
Şekil 4.122. A tarama laboratuvar 10. deneyin görüntüleri

Deney11: Toplam 500 A taraması yapıldı. Boruya su dökülmedi. Birbiri ardına yapılan iki A taraması arasındaki farkın grafiği şekil 4.117 de görülmektedir. Antenin yeri borudaki deliğin 60 cm sağındadır. Soldaki normal çıkarma, sağdaki mutlak değerler alındıktan sonra çıkarmadır.



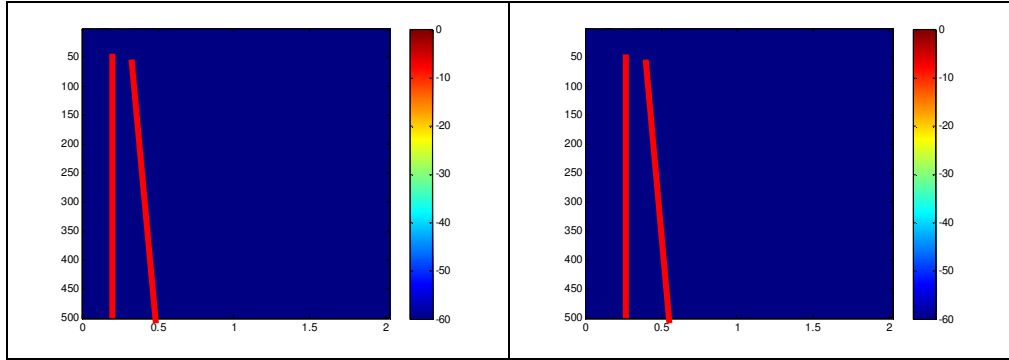
Şekil 4.123. A tarama laboratuvar 11. deneyin görüntüleri

Deney12: Toplam 500 A taraması yapıldı. Boruya su dökülmedi. Birbiri ardına yapılan iki A taraması arasındaki farkın grafiği şekil 4.118 de görülmektedir. Antenin yeri borudaki deliğin 20 cm solundadır. Soldaki normal çıkarma, sağdaki mutlak değerler alındıktan sonra çıkarmadır.



Şekil 4.124. A tarama laboratuvar 12. deneyin görüntüleri

Deney13: Toplam 500 A taraması yapıldı. Boruya su dökülmedi. Birbiri ardına yapılan iki A taraması arasındaki farkın grafiği şekil 4.119 da görülmektedir. Antenin yeri borudaki deliğin 40 cm solundadır. Soldaki normal çıkarma, sağdaki mutlak değerler alındıktan sonra çıkarmadır.

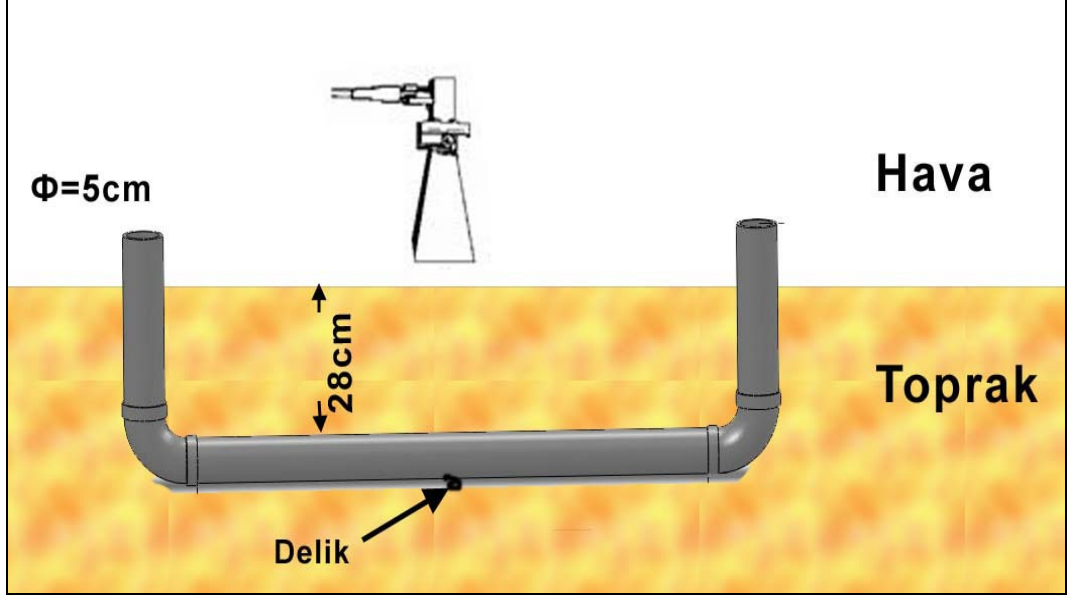


Şekil 4.125. A tarama laboratuvar 13. deneyin görüntüleri

4.4. ARAZİ A TARAMA DENEYLERİNE AİT BULGULAR

Bu deneyler Mersin Üniversitesi Çiftlik Köy Yerleşkesindeki Spor Kompleksi içinde bulunan uzun atlama kum havuzunda yapılmıştır. Toplam 3 deney yapıldı. Deneyler için 1 – 5 Ghz arasında 201 frekans noktasında sinyaller gönderildi. Güç 6 dbm olarak ayarlandı. Kalın boru (Çapı 5 cm) kumdan 28 cm derine gömüldü. Her deneyde 500 A tarama yapıldı. İki A taraması arasındaki süre

0.5 sn olarak ayarlandı. Birinci deneyde ilk 20 A taramasından sonra boruya su dökülmeye başlandı ve borunun dolu tutulması için sürekli su döküldü.



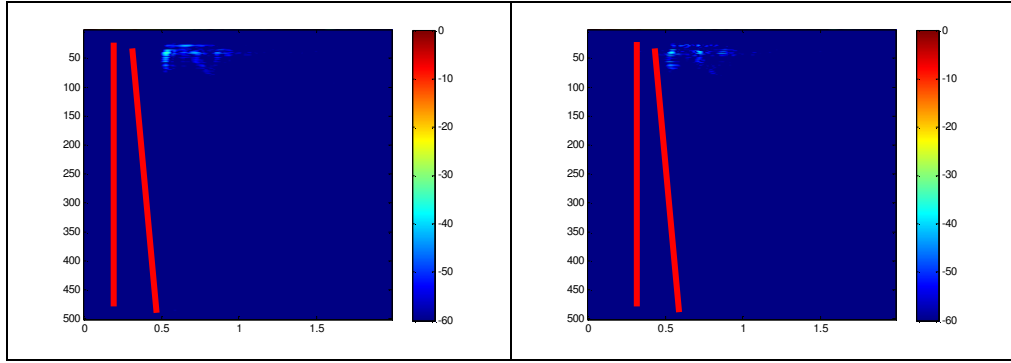
Şekil 4.126. Arazi A tarama deneyleri deney geometrisi.



Resim 4.4. Arazide yapılan A tarama deneylerinden bir görünüş

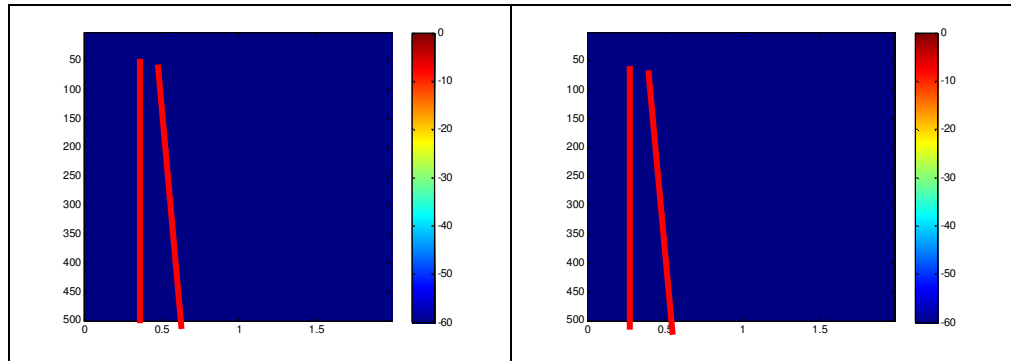
Görüntüler izleyen sayfadaki şekillerde gösterilmiştir. Tüm şekillerde kırmızı renkle gösterilen doğruların arasında kalan alan ıslak bölgeyi göstermektedir.

Deney1: Toplam 500 A taraması yapıldı. İlk 20 A taramasından sonra boruya su dökülmeye başlandı ve borunun dolu tutulması için sürekli su döküldü. Birbiri ardına yapılan iki A taraması arasındaki farkın grafiği şekil 4.120 de görülmektedir. Antenin yeri borudaki deliğin bulunduğu yerdedir. Soldaki normal çıkarma, sağdaki mutlak değerler alındıktan sonra çıkarmadır.



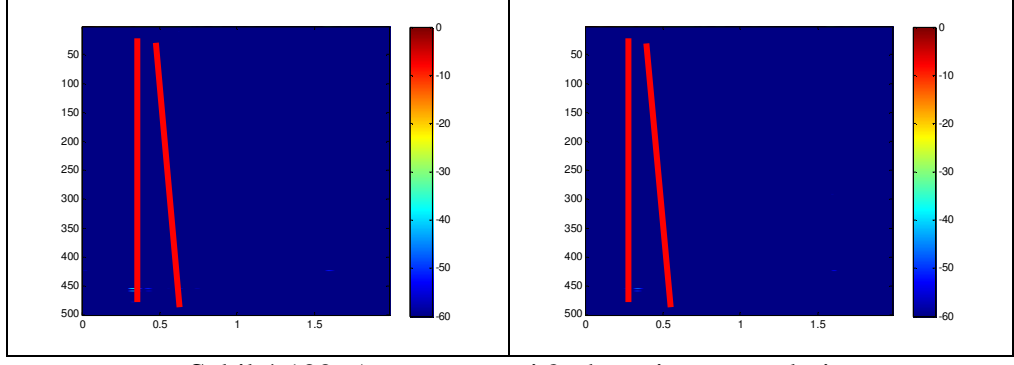
Şekil 4.127. A tarama arazi 1. deneyin görüntüleri

Deney2: Toplam 500 A taraması yapıldı. Borunun dolu tutulması için sürekli su döküldü. Birbiri ardına yapılan iki A taraması arasındaki farkın grafiği şekil 4.121 de görülmektedir. Antenin yeri borudaki deliğin bulunduğu yerdedir. Soldaki normal çıkarma, sağdaki mutlak değerler alındıktan sonra çıkarmadır.



Şekil 4.128. A tarama arazi 2. deneyin görüntüleri

Deney3: Toplam 500 A taraması yapıldı. Borunun dolu tutulması için sürekli su döküldü. Birbiri ardına yapılan iki A taraması arasındaki farkın grafiği şekil 4.122 de görülmektedir. Antenin yeri borudaki deliğin bulunduğu yerdedir. Soldaki normal çıkarma, sağdaki mutlak değerler alındıktan sonra çıkarmadır.



Şekil 4.129. A tarama arazi 3. deneyin görüntüleri

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada YNR teknolojisi kullanılarak yüzey altı borulardaki sıvı kaçaqları farklı deney koşullarında belirlenmeye çalışılmıştır.

Yapılan deneylerde YNR görüntüleme algoritmalarının bu çalışmada kullanılabileceği tespit edilmiştir. Laboratuvar ortamındaki B tarama deneylerinde, kullanılan kum havuzundaki kumun homojen olması ve elektriksel geçirgenliğin (permitivite) bilinmesinden dolayı, su sızıntısı gerçek pozisyonunda tespit edilebilmiştir. Yapılan B tarama deneylerinde su sızıntısı olan bölgede kum ıslanmış ve bu ıslak kumun elektromanyetik dalgayı kuru bölgeden çok daha fazla zayıflattığı tespit edilmiştir. Dolayısıyla ıslak bölgeden elektromanyetik dalgaların geri yansıması görülmemişken, kuru bölgeden kargaşa (clutter) yansımalarının olduğu gözlenmiştir. Laboratuvar ortamında bu şekilde de (Geri yansıma olmayan yerlerin ıslak bölgeleri gösterdiği bilindiği için) sızıntı yerlerinin tespiti mümkün olmasına rağmen B tarama matrisinin tersi alınarak (Buradaki ters kavramı Doğrusal Cebirde kullanılan matris tersi kavramından farklıdır. Buradaki ters matris kavramı bölüm 3'te anlatıldığı gibi geri yansıma olan yerlerde olmamış gibi, yansıma olmayan yerlerde ise yansıma olmuş gibi göstermek amacıyla elde edilen yeni matrisi tanımlamaktadır. Bu şekilde tanımlanan matrisin tersi, matrisin en büyük elemanından matrisin diğer elemanlarının çıkarılmasıyla bulunabilir.) ıslak bölgelerden yansıma olmuş gibi gösterilmiştir. Bu şekilde geri yansımanın olduğu yerlerde su sızıntısı olduğu anlaşılır.

Daha sonra sızıntı yerini daha net tespit edebilmek için kargaşaların giderilmesine çalışılmıştır. Bunun için istatistiksel tekniklerden Basit Ortalama Çıkarımı, Tekil Değer Ayırıştırması (SVD) ve Bağımsız Değişkenler Analizi teknikleri kullanılarak bu tekniklerin sızıntı yerinin daha net tespit edilmesinde kullanılabileceği saptanmıştır.

Laboratuvarda yapılan deneylerden sonra arazide gerçek toprak ortamlarda deneyler yapılmıştır. Bu deneylerde de laboratuvardakine benzer işlemler yapılmıştır. Beklenildiği şekilde açık sahalarda laboratuvarda olduğundan daha düşük başarı elde

edilmiştir (Gerçek toprak ortamı homojen değildir ve farklı ortamlar farklı elektriksel özellikler gösterir).

B tarama deneylerinden sonra su sızan noktada iki zaman arasındaki farkların kuru noktalardaki farklılardan ayırt edici özelliklerin olup olmadığını tespit etmek amacıyla A tarama deneyleri yapıldı. A tarama deneyleri B tarama deneylerinde olduğu gibi hem laboratuarda hem de arazide yapıldı. İlk deneyde toprak başlangıçta kuruydu. 20. A taramadan sonra su koymaya başlandı ve toprak ıslandığı için dielektrik sabiti değişti. Bu sırada taramalar arasında fark oluştu. Şekil 4.113 den bu görülmektedir. Fakat daha sonraki taramalarda toprak iyice ıslandığı için fark görülmemektedir. İlk anlardaki taramalarda fark olmasına karşın gerçek uygulamalardaki sızıntılarda bu anları yakalamak çok zordur. Bu nedenle iki zaman arasındaki A tarama farklarına bakarak yüzey altı borularda sızıntı tespiti yapılmasında başarısız olunmuştur.

Kargaşaları giderme tekniklerindeki gelişmeler açık sahalarda da laboratuarda olduğu gibi başarılı sonuçlar almayı sağlayabilir. Daha farklı frekans bandları denenmesi hem A tarama hem de B tarama deneylerinde daha iyi sonuçlar elde edilmesini sağlayabilir. Bu nedenle farklı frekans aralıkları denenmelidir.

KAYNAKLAR

- [1] Dünya Su Forumu Bülteni, 5. Dünya Su Forumu Özet Raporu, “Küresel Su Sorunları ile İlgili Kısa Bir Tarihçe”, s:1-2, İstanbul, (2009).
- [2] Toprak, S., Koç, A. C., Bacanlı, Ü. G., Dikbaş, F., Fırat, M. ve Dizdar, A., “İçme Suyu Dağıtım Sistemlerindeki Kayıplar ve PROWAT Projesi”, 5. Kentsel Altyapı Ulusal Sempozyumu, Antakya, 1-2 Kasım 2007.
- [3] Daniels,D.J., “Surface-Penetrating Radar”, IEE Press, London, 300 s., (1996).
- [4] Nakhsh, M. and Zadeh, M. R. M., “Water Leak Detection Using Ground Penetrating Radar”, Tenth International Conference on Ground Penetrating Radar, Delft, The Netherlands, 21-24 June, 2004.
- [5] Kim, S. W. and Kim, S.Y., “Comparison of FMCW and Pulse Type Ground Penetrating Radar (GPR) for Water Leakage Detection”, IEEE International Geosciences and Remote Sensing Symposium, Vol. 7, p. 4596-4599, (25-29 July 2005).
- [6] Özdemir, C., Lim, S. and Ling, H., “A Synthetic Aperture Algorithm for Ground Penetrating Radar Imaging”, Microwave Opt. Tech. Letters, 42, No.5, 412-414,(2004).
- [7] Demirci, Ş., Yiğit, E., Özdemir, C. and Kavak, A., “A Synthetic Aperture Radar Based Focusing Algorithm for B-Scan Ground Penetrating Radar Imagery”, Microwave Opt. Tech. Letters, 49, No.10, 2534-2540, 2007.
- [8] Özdemir, C., Demirci, Ş., Yiğit, E. and Kavak, A., “A Hyperbolic Summation Method to Focus B-Scan Ground Penetrating Radar Images: An Experimental Study with a Stepped Frequency System”, Microwave Opt. Tech. Letters, 49, No.3, 671-676,(2007).
- [9] Özdemir, C. and Ling, H., “An Experimental Investigation of Buried Object Imaging in a Homogeneous Medium Using Synthetic Aperture Radar Concepts”, Microwave Opt. Tech. Letters, 48, No.6, 1209-1214,(2006).
- [10] Özdemir, C., “Yeni Bir ‘Yere Nüfuz Eden Radar (YNR)’ Algoritması için Deneysel Düzeninin Oluşturulması, Saha Uygulamaları ve 3 Boyutlu Gerçek YNR Görüntülerinin Elde Edilmesi”, TÜBİTAK, Proje No: EEEAG-104E085, 2005
- [11] Yiğit,E., “Elektromagnetik Alan Ölçümleriyle Yeraltındaki Nesnelerin Tespit Edilmesi ve Yere Nüfuz Eden Radar (YNR) Görüntülerinin Elde Edilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, MEÜ- Fen Bilimleri Enstitüsü, Mersin, 89s., (2007).

- [12] Eyuboglu, S., Mahdi, H. and Al-Shukri, H., "Detection of Water Leaks Using Ground Penetrating Radar", The 3rd International Conference on Applied Geophysics.
- [13] Zhang, J., "Designing a Cost Effective and Reliable Pipeline Leak Detection System", Pipeline Reliability Conference, Houston, USA, 1997, vol. 42, no1, pp. 20-26, November 19-22, 1996.
- [14] Hough, J.E., "Leak testing of pipelines uses pressure and acoustic velocity", Oil and Gas Journal, Vol. 86, No. 47, 1988, p35-41.
- [15] Burn, L. S., DeSilva, D., Erswirth, M., Hunaidi, O., Speers, A. and Thornton, J., "Pipe leakage-Future Challenges and Solutions". Proc. Pipes Wagga Wagga Conf., Australia, October 1999.
- [16] Klein, W. R., "Acoustic leak detection", American Society of Mechanical Engineers, Petroleum Division, 1993, Vol.55, p57-61.
- [17] Fantozzi, M., DI Chirico, G., Fontana, E. and Tonolini, F., "Leak Inspection on Water Pipelines by Acoustic Emission with Cross-Correlation method.", Proc. AWWA Anual Conf., pp 609-621, 1993.
- [18] Fuchs, H. V. and Riehle, R., "Ten Years of Experience with Leak detection by Acoustic Signal Analysis.", Applied Acoustic, 33: 1-19, 1991.
- [19] Liston, D. A. and Liston, J. D., "Leak Detection Techniques", J. New England Water Works Assoc. 106(2): 103, 1992.
- [20] Hunaidi, O. and Chu, W., "Acoustical Characteristics of Leak Signals in Plastic Water Distribution Pipes.", J. Applied Acoustic, 58: 235-254, 1999.
- [21] Hunaidi, O., Chu, W. Wang, A. and Guan, W., "Leak Detection Methods for Plastic Water Distribution Pipes." Proc. AWWA Research Foundation Technology Transfer Conf., FortLauderdale, Florida, pp. 249-264, 18-19 Feb. 1999.
- [22] Sperl, J. L., "System pinpoints leaks on Point Arguello offshore line", Oil & Gas Journal, p 47-52, Sept 9, 1991.
- [23] Turner, N. C., "Hardware and software techniques for pipeline integrity and leak detection monitoring", Proceedings of Offshore Europe 91, Aberdeen, Scotland, 1991.
- [24] Weil, G.J , "Non contact, remote sensing of buried water pipeline leaks using infrared thermography", Water Resources Planning and Management and Urban Water Resources, p.404-407, 1993.

- [25] Ferguson, P.H. and Nicholas, D.M.F., "External Corrosion of Buried Iron and Steel Water Mains.", Corrosion Australasia, 17(4), p. 7-10, 1992.
- [26] Ferguson, P. H., Heathcote, M. J. and Shaw, D.E., "Statistical Correlation of Pitting Measurements in Buried Iron Pipes.", Corrosion Australasia, 18(6):6-9, 1993.
- [27] Eiswirth, M., Heske, C., Burn, L.S. and Desilva, D., "New Methods for Water Pipeline Assessment", IWA 2. World Water Congress, 15-19, Berlin, Germany, Oct. 2001.
- [28] Mears, M. N., "Real world applications of pipeline leak detection", Pipeline Infrastructure II, Proceedings of the International Conference, ASCE, 1993
- [29] Liou, C. P., "Pipeline leak detection based on mass balance", Pipeline Infrastructure II, Proceedings of the International Conference, ASCE, 1993.
- [30] Parry, B., Mactaggart, R. And Toerper, C., "Compensated Volume Balance Leak Detection on a Batched LPG Pipeline.", Proceedings of offshore Mechanics & Arctic Engineering Conference (OMAE), 1992.
- [31] Griebenow, G., Mears, M., "Leak detection implementation: modeling and tuning methods", American Society of Mechanical Engineers, Petroleum Division, Vol.19,p.9-18, 1988.
- [32] Hamande, A., Cie, S. and Sambre, J., "New system pinpoints leaks in ethylene pipeline", Pipeline & Gas Journal, Vol. 222, No. 4, p38-41, April 1995.
- [33] Çavuş, M. S. , "Kesirli (Fractional) Diferansiyel Denklemler Teorisi ve Dielektrik Durulmanın Kesirli Master Denklemi Yöntemiyle Analizi", Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi-Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 77s., (2006).
- [34] Abujarad F., Nadim G. ve Omar A., "Clutter Reduction and Detection of Landmine Objects in Ground Penetrating Radar Data Using Singular Value Decomposition (SVD).", Proc. 3rd international workshop on advanced ground-penetrating radar, Delft-Netherlands, s. 37-41., (2005).
- [35] Abujarad F. ve Omar A., "Comparison of Independent-Component-Analysis (ICA) Algorithms for GPR Detection of Non-metallic Land Mines", Proc. SPIE Image and Signal Processing for Remote Sensing XII, Stockholm-Sweden, 6365: 636516, (2006).
- [36] Abujarad F. ve Omar A., "GPR Data Processing Using the Component-Separation Methods PCA and ICA" , International Workshop on Imaging Systems and Techniques, Minori,Italy, 60-64, 29 April 2006.

- [37] Hyvärinen, A. ve Oja, E., “Independent Component Analysis: Algorithms and Applications”, Neural Networks Research Centre, Helsinki University of Technology Finland. (Yayınlanmamış).
- [38] Hyvärinen, A., “Survey on Independent Component Analysis”, Neural Computing Survey, vol. 2, pp. 94-128, (1999).
- [39] Johnson, R. A. ve Bhattacharyya, G. K., “Statistics Principles and Methods”, John Wiley & Sons Inc, New York, 686 s., (1992).
- [40] Önver, Ö. ve Gamgam, H., “Uygulamalı İstatistik Yöntemler”, Siyasal Kitabevi, Ankara, 413 s., (1996)
- [41] Çetin, A. E., “Herkes İçin Matlab”, Alfa Yayınları, İstanbul, 788 s., (2003).

ÖZGEÇMİŞ

e-posta ieskidemir@mersin.edu.tr

İ S M A İ L H A K K I E S K İ D E M İ R

KİŞİSEL BİLGİ

Doğum Yeri ve Tarihi: Mersin 13.12.1970

İŞ DENEYİMİ

14.08.2009 – : Mersin Üniversitesi Tarsus Meslek Yüksekokulu
Tarsus/Mersin
[Öğr. Gör.]

EĞİTİMİ

Lisans: Anadolu Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü [1988-1993]

Ortaöğretim: Mersin Tevfik Sırrı Gür Lisesi [1982-1987]

İlköğretim: Mersin Kurtuluş İlkokulu [1977-1982]

İLGİ ALANLARI

Mikrobilgisayar, Mikroşlemciler, Antenler

BİLDİĞİ DİLLER

İngilizce