

**BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YERE NÜFUZ EDEN RADAR VERİLERİNİN İŞLENMESİ İLE  
HEDEF TESPİTİ**

**DENİZ ÇOLAK**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
2018**

**YERE NÜFUZ EDEN RADAR VERİLERİNİN İŞLENMESİ İLE  
HEDEF TESPİTİ**

**TARGET DETECTION USING GROUND PENETRATING  
DATAS**

**DENİZ ÇOLAK**

Başkent Üniversitesi  
Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin  
ELEKTRİK-ELEKTRONİK Mühendisliği Anabilim Dalı İçin Öngördüğü  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
olarak hazırlanmıştır.

**2018**

“Yere Nüfuz Eden Radar Verilerinin İşlenmesi İle Hedef Tespiti” başlıklı bu çalışma, jürimiz tarafından, 11/09/2018 tarihinde, **ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI 'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Başkan

:.....

Doç. Dr. Mustafa DOĞAN

Üye (Danışman)

: .....

Dr. Öğr. Üyesi Selda GÜNEY

Üye

: .....

Dr. Öğr. Üyesi Derya YILMAZ

**ONAY**

.../.../.....

Prof. Dr. Ömer Faruk ELALDI  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü



**BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**  
**YÜKSEK LİSANS / DOKTORA TEZ ÇALIŞMASI ORJİNALLİK RAPORU**

Tarih: 21/09/2018

Öğrencinin Adı, Soyadı : Deniz ÇOLAK  
Öğrencinin Numarası : 21520167  
Anabilim Dalı : Elektrik - Elektronik Mühendisliği  
Programı : Elektrik - Elektronik Mühendisliği Yüksek Lisans  
Danışmanın Adı, Soyadı : Dr. Öğr. Üyesi Selda GÜNEY  
Tez Başlığı : Yere Nüfuz Eden Radar Verilerinin İşlenmesi ile Hedef Tespiti

Yukarıda başlığı belirtilen Yüksek Lisans/Doktora tez çalışmamın; Giriş, Ana Bölümler ve Sonuç Bölümünden oluşan, toplam 78 sayfalık kısmına ilişkin, 21/09/2018 tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından Turnitin adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı %14'tür.

Uygulanan filtrelemeler:

1. Kaynakça hariç
2. Alıntılar hariç
3. Beş (5) kelimedenden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç

“Başkent Üniversitesi Enstitüleri Tez Çalışması Orijinallik Raporu Alınması ve Kullanılması Usul ve Esasları”nı inceledim ve bu uygulama esaslarında belirtilen azami benzerlik oranlarına tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Öğrenci İmzası

Onay

/ 09 / 2018

Dr. Öğr. Üyesi Selda GÜNEY

Öğrenci Danışmanı

## TEŐEKKÜR

En başından bana güvenerek tez danışmanım olmayı kabul eden ve çalışmamın sonuca ulaştırılmasında ve karşılaşılan güçlüklerin aşılmasında yardımcı ve destek olan Sayın Dr. Selda GÜNEY'e;

Bu tez çalışmasının gerçekleşmesine vesile olan, bunun için her zaman destek veren ve bana yol gösteren Sayın Doç. Dr. Mustafa DOĞAN'a;

Bu süreçte yanımda olan ve ilerlemem için g veren aileme ve arkadaşlarıma,

teőekkür ederim.

## ÖZ

### YERE NÜFUZ EDEN RADAR VERİLERİNİN İŞLENMESİ İLE HEDEF TESPİTİ

Deniz ÇOLAK

Başkent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Yere nüfuz eden radar sistemleri yaklaşık yirmi senedir arkeoloji, jeoloji, inşaat mühendisliği alanlarında yaygın olarak kullanılan bir teknolojidir. Yere nüfuz eden radar, yüzey altındaki nesnelerin ve katmanların elektromanyetik teknikler kullanarak algılanmasını ve konumlandırılmasını sağlayan önemli bir uzaktan algılama teknolojisidir. Yerin altının görüntülenmesine ihtiyaç duyulan tüm sivil ve askeri alanlardaki ihtiyaçların karşılanması kapsamında teknolojik gelişmeler doğrultusunda sistem geliştirme çalışmaları sürdürülmektedir.

Bu tez çalışmasında, radardan elde edilen verilerin işlenmesine yönelik görüntü işleme algoritma yapıları incelenmiştir. Ön görüntüleme aşamasında yapılacak görüntü iyileştirmelerinin sistem başarımının etkisine yönelik çalışmalar yapılmıştır. Sistemin gerçek zamanlı çalışmasına yönelik farklı yöntemler incelenmiş, çarpaz korelasyon yöntemi ile çok hızlı ve iyileştirilmiş sonuçlar elde edilmiştir. Yapılan çalışmalarda elde edilen iyileştirmeler ile daha hızlı ve başarılı tespitlerin yapılacağı öngörülmüştür.

**ANAHTAR SÖZCÜKLER:** Yere nüfuz eden radar, En küçük kareler, Kernel en küçük kareler, çarpaz korelasyon

**Danışman:** Dr. Öğr. Üyesi Selda GÜNEY, Başkent Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü.

## **ABSTRACT**

### **TARGET DETECTION USING GROUND PENETRATING RADAR DATAS**

Deniz ÇOLAK

Başkent University Institute of Science

Department of Electrical and Electronics Engineering

The ground penetrating radar systems have been widely used in the fields of archeology, geology, civil engineering for about twenty years. The ground penetrating radar is an important remote sensing technology that allows objects and layers under the surface to be perceived and positioned using electromagnetic techniques. System development studies are continuing in line with technological developments within the scope of meeting the needs of all civil and military areas required to display under the surface.

In this thesis study, image processing algorithms for processing the data obtained from the radar are examined. The effects of system improvements on the image enhancements to be made during the pre-screening phase have been studied. To run the system in real-time operations, different methods have been examined and as a result very fast and improved results have been obtained with the cross-correlation method compared to other methods.

**Keywords:** Target detection, GPR, LMS, KLMS, cross-correlation.

**Advisor:** Dr. Selda GÜNEY, Başkent University, Department of Electrical and Electronics Engineering

# İÇİNDEKİLER LİSTESİ

|   | <u>Sayfa</u> |
|---|--------------|
| ÖZ .....  | i            |
| ABSTRACT .....  | ii           |
| İÇİNDEKİLER LİSTESİ .....   | iii          |
| ŞEKİLLER LİSTESİ .....  | iv           |
| ÇİZELGELER LİSTESİ .....  | vi           |
| SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ .....                                   | vii          |
| 1 GİRİŞ .....   | 1            |
| 2 YERE NÜFUZ EDEN RADAR .....   | 5            |
| 3 VERİ İŞLEME ALGORİTMALARI .....                                       | 15           |
| 3.1 Ön İşleme Algoritmaları .....                                       | 16           |
| 3.1.1 Yer yüzeyi yansımasının silinmesi (Ground bounce removal) .....   | 16           |
| 3.1.2 Beyazlatma (Whitening) .....                                      | 19           |
| 3.2 Ön Görüntüleme (Pre Screening) .....                                | 20           |
| 3.2.1 En küçük ortalama kareler (Least mean square) .....               | 20           |
| 3.2.2 Kernel en küçük ortalama kareler (Kernel Least Mean Square) ..... | 25           |
| 3.3 Öznitelik çıkarma .....   | 27           |
| 3.4 Sınıflandırma .....   | 29           |
| 4 DENEYSEL ÇALIŞMALAR .....   | 31           |
| 4.1 Veri Tabanı .....   | 31           |
| 4.2 Çapraz korelasyon (Cross-Correlation) .....                         | 33           |
| 4.3 Benzetim Sonuçları .....  | 35           |
| 4.3.1 Senaryo 1: .....  | 37           |
| 4.3.2 Senaryo 2: .....  | 50           |
| 4.3.3 Senaryo 3: .....  | 63           |
| 5 SONUÇLAR VE GELECEK ÇALIŞMALAR .....                                  | 78           |
| KAYNAKLAR LİSTESİ .....   | 79           |



## ŞEKİLLER LİSTESİ

|   |    |
|---|----|
| Şekil 1.1 Dünya Geneli Mayın ve Patlayıcı Haritası .....      | 1  |
| Şekil 1.2 Anti Personel Mayınları.....                        | 3  |
| Şekil 1.3 Anti Tank Mayınları.....                            | 4  |
| Şekil 2.1 Yere Nüfuz Eden Radar Sistem Yapısı.....            | 5  |
| Şekil 2.2 YNR Sistemi .....                                   | 7  |
| Şekil 2.3 YNR Tarama Düzlemi .....                            | 8  |
| Şekil 2.4 YNR Veri Yapısı.....                                | 8  |
| Şekil 2.5 A-Tarama Sinyali .....                              | 9  |
| Şekil 2.6 B-Tarama Sinyali .....                              | 10 |
| Şekil 2.7 Hiperbol Sinyal Oluşumu .....                       | 11 |
| Şekil 2.8 C-tarama Sinyali .....                              | 11 |
| Şekil 2.9 YNR Tarama Veri Yapıları .....                      | 12 |
| Şekil 2.10 YNR Sistem Yapısı .....                            | 13 |
| Şekil 3.1 Veri işleme .....                                   | 15 |
| Şekil 3.2 Yer yüzeyi Yansımasının Silinmesi.....              | 16 |
| Şekil 3.3 GPS Sinyalinin Silinmesi .....                      | 17 |
| Şekil 3.4 EKOK Hata Grafiği.....                              | 21 |
| Şekil 3.5 EKOK.....   | 22 |
| Şekil 3.6 Veri Seçim Maskesi .....                            | 23 |
| Şekil 3.7 Öznitelik Çıkarma Algoritma Karşılaştırmaları ..... | 29 |
| Şekil 4.1 Toprak Tekstür Üçgeni .....                         | 32 |
| Şekil 4.2 Çapraz Korelasyon Algoritması .....                 | 34 |
| Şekil 4.3 Çapraz Korelasyon Akış Şeması .....                 | 35 |
| Şekil 4.4 Senaryo-1 Hedef yerleşimleri .....                  | 37 |
| Şekil 4.5 Senaryo-1 Kanal 1 .....                             | 38 |
| Şekil 4.6 Senaryo-1 Kanal 2.....                              | 39 |
| Şekil 4.7 Senaryo-1 Kanal 3.....                              | 40 |
| Şekil 4.8 Senaryo-1 Kanal 4.....                              | 41 |
| Şekil 4.9 Senaryo-1 Kanal 5.....                              | 42 |
| Şekil 4.10 Senaryo-1 Kanal 6.....                             | 43 |
| Şekil 4.11 Senaryo-1 Kanal 7 .....                            | 44 |
| Şekil 4.12 Senaryo-1 Kanal 8.....                             | 45 |
| Şekil 4.13 Senaryo-1 Kanal 9.....                             | 46 |
| Şekil 4.14 Senaryo-1 Kanal 10.....                            | 47 |
| Şekil 4.15 Senaryo-1 Kanal 11 .....                           | 48 |
| Şekil 4.16 Senaryo-1 Kanal 12.....                            | 49 |
| Şekil 4.17 Senaryo-2 Hedef yerleşimleri .....                 | 50 |
| Şekil 4.18 Senaryo-2 Kanal 1 .....                            | 51 |
| Şekil 4.19 Senaryo-2 Kanal 2 .....                            | 52 |
| Şekil 4.20 Senaryo-2 Kanal 3.....                             | 53 |
| Şekil 4.21 Senaryo-2 Kanal 4.....                             | 54 |
| Şekil 4.22 Senaryo-2 Kanal 5.....                             | 55 |
| Şekil 4.23 Senaryo-2 Kanal 6.....                             | 56 |
| Şekil 4.24 Senaryo-2 Kanal 7.....                             | 57 |

|            |                                    |    |
|------------|------------------------------------|----|
| Şekil 4.25 | Senaryo-2 Kanal 8 .....            | 58 |
| Şekil 4.26 | Senaryo-2 Kanal 9 .....            | 59 |
| Şekil 4.27 | Senaryo-2 Kanal 10 .....           | 60 |
| Şekil 4.28 | Senaryo-2 Kanal 11 .....           | 61 |
| Şekil 4.29 | Senaryo-2 Kanal 12 .....           | 62 |
| Şekil 4.30 | Senaryo-3 Hedef yerleşimleri ..... | 63 |
| Şekil 4.31 | Senaryo-3 Kanal 1 .....            | 64 |
| Şekil 4.32 | Senaryo-3 Kanal 2 .....            | 65 |
| Şekil 4.33 | Senaryo-3 Kanal 3 .....            | 66 |
| Şekil 4.34 | Senaryo-3 Kanal 4 .....            | 67 |
| Şekil 4.35 | Senaryo-3 Kanal 5 .....            | 68 |
| Şekil 4.36 | Senaryo-3 Kanal 6 .....            | 69 |
| Şekil 4.37 | Senaryo-3 Kanal 7 .....            | 70 |
| Şekil 4.38 | Senaryo-3 Kanal 8 .....            | 71 |
| Şekil 4.39 | Senaryo-3 Kanal 9 .....            | 72 |
| Şekil 4.40 | Senaryo-3 Kanal 10 .....           | 73 |
| Şekil 4.41 | Senaryo-3 Kanal 11 .....           | 74 |
| Şekil 4.42 | Senaryo-3 Kanal 12 .....           | 75 |

## ÇİZELGELER LİSTESİ

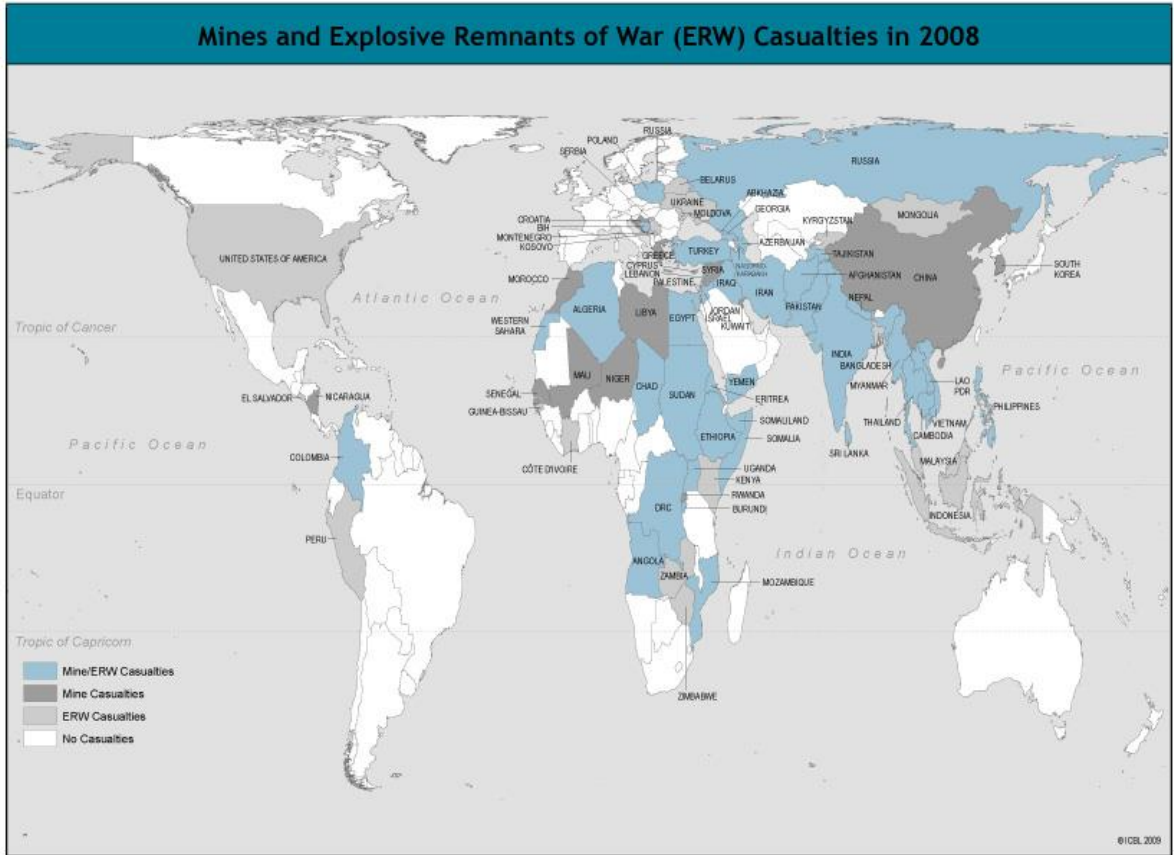
|           |   |    |
|-----------|---|----|
| Tablo 4.1 | Veri Listesi.....                                     | 31 |
| Tablo 4.2 | İşlem süreleri (EKOK/ KEKOK) .....                    | 36 |
| Tablo 4.3 | Kernel parametre değeri karşılaştırması.....          | 36 |
| Tablo 4.4 | İşlem süreleri (EKOK/ KEKOK/ Çapraz Korelasyon) ..... | 37 |
| Tablo 4.5 | Senaryo sonuçları karşılaştırmaları .....             | 76 |
| Tablo 4.6 | Hedef Tespit Tablosu .....                            | 76 |

## SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

|       |  |
|-------|--|
| AP    | Anti personel                            |
| AT    | Anti tank                                |
| BBA   | Bağımsız Bileşen Analizi                 |
| DVM   | Destek Vektör Makinesi                   |
| EKOK  | En Küçük Ortalama Kareler Yöntemi        |
| EM    | Elektro manyetik                         |
| EYP   | El yapımı patlayıcı                      |
| GPR   | Ground Penetrating Radar                 |
| HMM   | Hidden Markov Model                      |
| HOG   | Histogram of Oriented Gradients          |
| ICA   | Independent Component Analysis           |
| KEKOK | Kernel En Küçük Ortalama Kareler Yöntemi |
| KLMS  | Kernel Least Mean Square                 |
| LMS   | Least Mean Square                        |
| PCA   | Principal Component Analysis             |
| SIFT  | Scale Invariant Feature Transform        |
| SOOD  | Sabit Ölçekli Özellik Dönüşümü           |
| SVD   | Singular Value Decomposition             |
| SVM   | Support Vector Machine                   |
| TBA   | Temel Bileşen Analizi                    |
| TDA   | Tekil Değer Ayrışımı                     |
| YGH   | Yönlendirilmiş Gradyan Histogramı        |
| YNR   | Yere Nüfuz Eden Radar                    |

# 1 GİRİŞ

Çevresel güvenlik, II. Dünya Savaşı'ndan sonra genel olarak yayılan yeni bir olgudur. Savaş sonrasında en büyük sorunlardan biri, gömülü kara mayınları ve patlamamış mühimmatlardır. Birçok ülkede milyonlarca mayın dağılmış durumdadır. Uluslararası Kara Mayınlarını Yasaklama Kampanyası (ICBL), yılda 15.000-20.000 kişinin kara mayını tarafından öldürüldüğünü veya yaralandığını tespit etmiştir. ABD Dışişleri Bakanlığı tarafından, toplamda 45-50 milyon mayın temizlendiğini tahmin edilmektedir. Şekil 1.1'de görüldüğü üzere mayın ve patlayıcılar dünya genelinde yaygın olarak bulunmakta olup her yıl yaklaşık 100.000 mayın temizlenmektedir. Bu durumda, hiçbir yeni mayın döşenmediği varsayılarak, tüm dünyadaki 45-50 milyon mayının temizlenmesinin 450-500 yıl süreceği hesaplanmaktadır. Bazı tahminlere göre, yılda yaklaşık 1.9 milyon yeni mayın yerleştirilmekte ve bu da her yıl başına ek olarak 19 yıllık bir mayın temizleme çalışması gerektiğini ortaya koymaktadır [1].



Şekil 1.1 Dünya Geneli Mayın ve Patlayıcı Haritası

Bir kamu arazisinin tamamen temizlenmesi, kamuoyunun güvenliğini sağlamak için gereklidir. Bu nedenle, mayın tarama teknikleri son derece yüksek tespit oranları

gerektirir. Tespit teknolojilerine yönelik yıllardır süren araştırma ve geliştirme çalışmaları sonucu, tüm senaryolar için tek bir teknik uygun görülmemektedir.

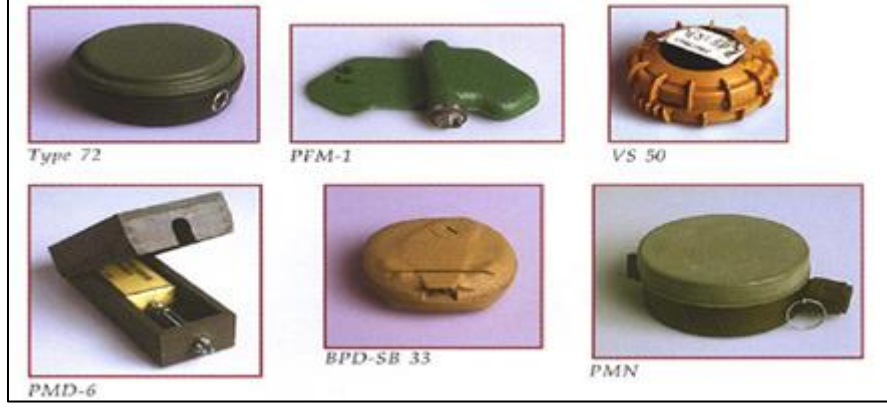
Yere Nüfuz Eden Radar (YNR, Ground Penetrating Radar (GPR)) sistemleri yaklaşık yirmi senedir arkeoloji, jeoloji, inşaat mühendisliği alanlarında yaygın olarak kullanılan bir teknolojidir. YNR, yüzey altındaki nesnelere ve katmanların elektromanyetik (EM) teknikler kullanarak algılanmasını ve konumlandırılmasını sağlayan önemli bir uzaktan algılama teknolojisidir. Yerin altına EM işaret gönderip yansıyan işaretleri toplayarak, bu yansıyan işaretleri işlenmesi ile yer altındaki nesneyi tespit etme prensibi ile çalışır. YNR teknolojisi tünel gibi yapıların tahribatsız incelenmesi, jeofizik araştırmaları, şehir alt yapılarının araştırılması, yer altındaki kablo ve boruların tespit edilmesi, arkeoloji araştırmaları gibi birçok alanda kullanılmaktadır [2]. Bu alanlarda elde edilen gelişmeler ve sonuçlardan yola çıkarak sistemin askeri alan araştırmalarında (mayın ve patlamamış askeri mühimmat tespiti) özellikle terör ile mücadele kapsamında kullanımı önem kazanmıştır.

Terör olaylarında önleme ve korunma teknolojilerinin geliştirilmesi öncelikli olsa da tespit teknolojilerinin geliştirilmesi savunma anlamında daha güçlü bir alan yaratmaktadır. Bu anlamda yer altında gömülü olan tehditlerin önlenmesinden ziyade hasar yaratmadan önce tespit edilmesi daha önemlidir.

II. Dünya Savaşı'nda kullanılan metal dedektörü yaklaşımı hala kara mayınlarını tespit etmek için kullanılan standart yaklaşımdır. Mayınlar ilk olarak metal içeriği fazlasıyla yoğun maddeler kullanılarak üretilmişlerdir fakat metal dedektörlerinin bu mayınları rahatlıkla tespit etmesi üzerine mayınlar metal içeriği çok az olacak ya da hiç metal içermeyecek şekilde plastik madde kullanılarak üretilmişlerdir. Tüm metalik nesnelere bir metal dedektörü tarafından tespit edilip tanımlanmış olsa da plastik veya düşük metal içerikli kara mayınlarını tespit etmek ve tanımlamak için metal dedektörü yaklaşımı sorun yaratmaktadır. YNR sistemi, plastik ve / veya düşük metal içerikli gömülü kara mayınlarının tespiti ve tanımlanması için en yetenekli teknolojilerden biridir.

Kara mayınlarının hedefi devre dışı bırakmak ve öldürmektir. Aralarında küçük farklar vardır.

- Anti personel mayınlar (Şekil 1.2), bir kişinin varlığı, yakınlığı veya temasıyla patlatılması ve bir ya da daha fazla kişiyi güçsüzleştirecek, yaralayacak ya da öldürecek şekilde tasarlanmış bir yapılardır. Yaklaşık 5-15 kg ağırlığındaki canlının oluşturacağı basınç yeryüzüne yakın (1-5 cm) gömülen mayının patlamasına sebep olmaktadır.



Şekil 1.2 Anti Personel Mayınları

Anti personel mayınları üç temel kategoriye ayrılır:

- Blast mayınları: Neredeyse toprağın yüzeyine gömülmüş olan ve genellikle baskı plakasına basan bir kişi tarafından tetiklenen ve patlayabilecek yaklaşık 5 ila 16 kg basınç gerektiren en yaygın mayın türüdür. Bu mayınların temel amacı, bir kişinin ayak veya bacağı gibi bir nesneyi yok etmektir. Bir patlama mayını, hedeflenen nesneyi parçalara ayırmak için tasarlanmıştır.
- Sınırlama mayınları: Genellikle ateşleyicinin zeminden çıkıntı yapan küçük bir kısmı ile gömülü olan bu tip mayınlar, basınç veya kablo ile etkinleşir. Etkinleştirildiğinde, ateşleyici, bir kişinin kafasına ve göğsüne zarar vermek için madeni yaklaşık 1 metre kaldırarak bir itici yükü ayarlar.
- Parçalanma mayınları: Bu tip mayınlar her yönden parçaları serbest bırakır veya parçaları bir yönde (yönlü parçalama mayınları) göndermek için düzenlenebilir. Bu mayınlar 200 metreye kadar yaralanmalara neden olabilir ve daha yakın mesafelerde öldürürler. Bu madenlerde kullanılan parçalar ya metal ya da camdır. Parçalanma mayınları sınırlayıcı veya toprak temelli olabilir.

- Anti tank mayınları (Şekil 1.3) ise tank gibi büyük zırlı araçlara zarar vermek için üretilmişlerdir ve bu mayınların patlaması için yaklaşık 150-500 kg ağırlığında bir aracın basınç oluşturması yeterlidir. Bu sebeple yeryüzünden daha derine gömülebilmektedir. Anti-tank mayınlarının patlaması için daha fazla baskı gerektiğinden bunların çoğu, yolların, köprülerin ve tankların gidebileceği büyük alanlarda bulunur.



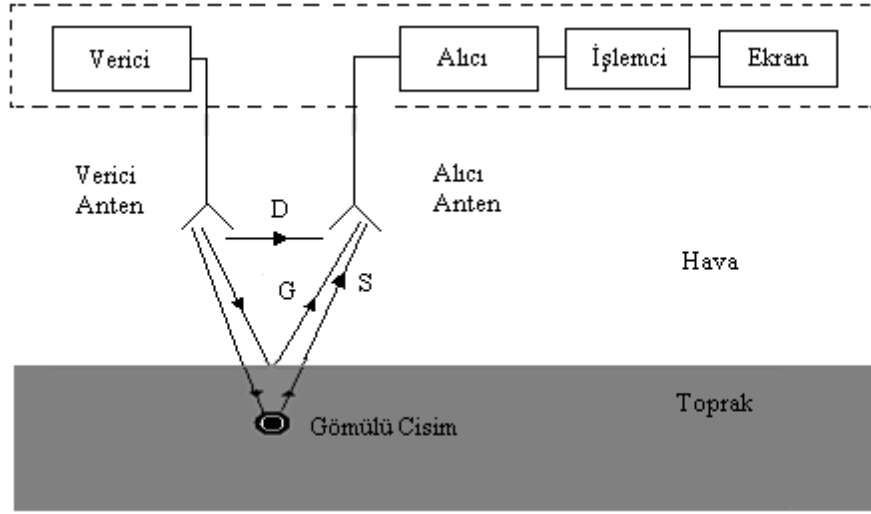
Şekil 1.3 Anti Tank Mayınları

Bununla birlikte, yer altına sadece mayın değil birçok yapıdaki el yapımı patlayıcı (EYP) düzenekler de yerleştirilmektedir. Bu sebeple, YNR sistemi yer altına yerleştirilen tüm tehdit unsurlarının tespit edilebilmesine yönelik önemli bir savunma sistemi teknolojisidir.



## 2 YERE NÜFUZ EDEN RADAR

YNR üniteleri (Şekil 2.1) temel olarak, antenlerdeki verici ve alıcı elektroniğine senkronize tetikleme darbeleri üreten bir kontrol ünitesinden oluşur. Bu darbeler, doğrulanmış radar sinyallerinin örneklenmiş bir dalga örneğini oluşturmak için verici ve alıcıyı kontrol eder. Ayrıca, sinyallerin iletimi ve alınması için bir (monostatik) veya iki (bistatik) anten içerir. Antenlerden toplanan işaretler sinyal işleme algoritmalarıyla işlenerek görüntüleme ekranında gösterilir.



Şekil 2.1 Yere Nüfuz Eden Radar Sistem Yapısı

Sistem üzerinde yer alan anten mimarisi sistem performansına etki eden bir parametredir. Aynı anteni alıcı ve verici olarak kullanan sistemlere mono-statik/bi-statik sistem denir. Ancak YNR sistemlerinde genellikle iki antenli tek girişli birleştirilmiş yapılar mevcuttur. YNR sistemi üzerindeki antenler, çalışma prensibine göre dört kategoriye ayrılabilir:

Bir darbe radarı, sabit bir darbe tekrarlama frekansında yüksek güçlü darbeleri kısa zaman aralıkları ile (birkaç nano saniyeden daha az) iletir. Bu spektrum, hedef yansıtıcılık oranını yüksek çözünürlükte ölçmek için geniş olmalıdır. Bu sebeple sistem geniş bant aralığına sahip bir radara sahip olmalıdır. Çok büyük menziller için kullanılır.

Bir kademeli frekans radarı, istenen bir bant boyunca frekansta homojen olarak basamaklanmış bir dizi taşıyıcıyı yaymak suretiyle gerekli çözünürlüğü sağlar.

Menzil çözünürlüğünü iyileştirmek için kullanılan radar tipleridir. Gönderim sinyali frekans bandı daha küçük bant genişliğine sahip alt-darbelere bölündüğünde ve alınan yansıma sinyali doğru olarak her bir taşıyıcı frekansa atanabilmişse, o zaman toplam sinyal (bireysel bant genişliklerinin toplamı olarak) etkili bir geniş bant genişliğine sahip olacaktır. Bu sayede iyi bir menzil çözünürlüğü elde edilir.

Darbeleri kademeli frekans radarı, belirli bir merkez frekansı olan bir sinyal spektrumu iletir ve yansımasını alır. Frekans, yüksek çözünürlük elde etmek için bir dizi frekans kapsayacak şekilde ardışık darbelerde artırılır. Darbeleri kademeli frekans yaklaşımının bir avantajı, radar sisteminin anlık bant genişliği ve örnekleme oranı gerekliliklerinin azaltılması ve harici girişim frekans kaynaklarından dolayı bozulabilen frekansların atlanması olasılığıdır.

Kademeli frekanslı sürekli dalga (SFCW) radarında ise sinyal, frekans ile ayrılmış bir dizi tekli frekans tonu iletilerek uygulanır. Her frekansta, alınan sinyalin genliği ve fazı örneklenir ve kaydedilir. Alınan sinyal sentezlenmiş bir darbe elde etmek için Ters Ayrık Fourier Dönüşümü kullanarak zaman alanına dönüştürülür. Kademeli frekanslı sürekli dalga radarının darbe radarına göre avantajı, sinyalin iletiminde daha yüksek yayılıma sahip olmasıdır.

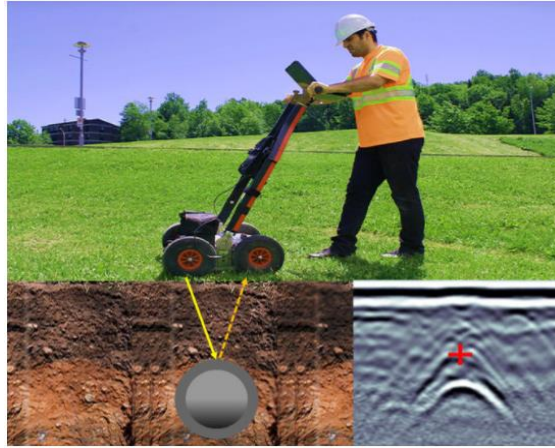
YNR yaklaşımı, hedefi tespit etmek için hem madenin hem de çevredeki ortamın dielektrik katsayısındaki farklılığı kullanır. Hedefin tespiti, EM dalgaların malzemelerden yansıma karakteristiğinin farklı olmasına bağlıdır.

YNR verilerinde bu karakteristiğe etki eden;

- İşaret/Parazit oranı
- İşaret/Gürültü oranı
- Hedefin konum çözünürlüğü
- Derinlik çözünürlüğü
- Menzil
- Toprak yapısı
- Parazitler
- Yatay Çözünürlük
- Derinlik Çözünürlüğü

gibi birçok parametre vardır. Sistem tasarımını yaparken bu parametrelerin hepsinin göz önünde bulundurulması gerekir. Örneğin; topraktaki nem oranı yükseldikçe toprağın iletkenliği artacağından EM dalgaların toprağa nüfuz etmesi zorlaşacaktır. Çoğu mühendislik malzemesinin elektriksel iletkenliği genellikle düşüktür ve demir açısından zengin olmayan malzemeler için manyetik geçirgenlik çoğu zaman göz ardı edilebilir. Toprağın manyetik içeriğinin eksikliği ve yayılan EM darbelerin düşük zıtlığından dolayı göreceli geçirgenlik herhangi bir yararlı bilgi vermez. Ortamın dielektrik sabitine karşılık gelen geçirgenlik, yansıyan dalgada en yüksek zıtlık derecesini içerir. Bu, toprağın iyi bir şekilde karakterize edilmesini sağlar ve bu nedenle EM darbede yansımaya yol açar.

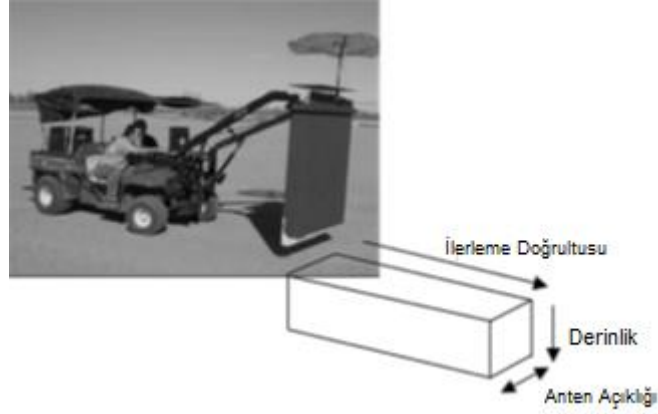
Bir başka parametre olarak, toprak iletken bir dielektrik ortam özelliği gösterdiğinden çalışma frekansı arttıkça dalga yayılım kaybı da artacak ve tespit derinliği düşecektir. Ancak gömülü cisimlerin radar kesit alanı değerleri frekansla birlikte yükseldiğinden, hem derindeki büyük boyutlu yapıları hem de yüzeye yakın küçük cisimleri algılayabilmek için yüksek ve alçak frekans bileşenlerini birlikte içeren çok geniş bantlı YNR sistemleri kullanılmaktadır [3]. Dolayısıyla yukarıda bahsedilen tüm parametrelerin sistem başarımına etkisi göz önünde bulundurulmalıdır.



Şekil 2.2 YNR Sistemi

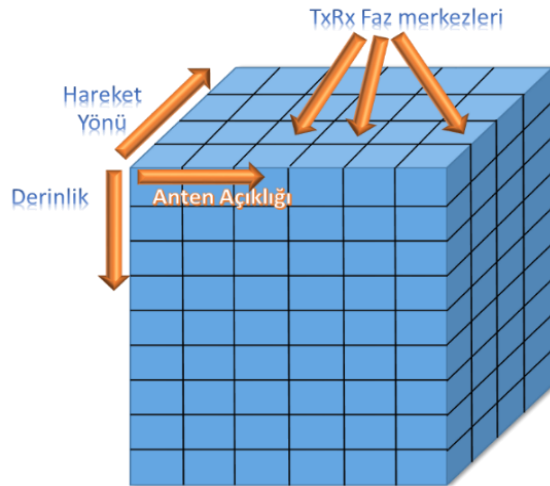
YNR sistemleri (Şekil 2.2), geniş bantlı antenler kullanılarak ölçüm yapılmak istenen yere (toprağa, duvara vs.) kısa darbeleri (1–20 ns) EM sinyaller (10 MHz - 8 GHz) gönderirler. Yerden yansıyan EM sinyaller gerçek zamanlı olarak algılanır ve saklanır. Şekil 2.3'te gösterildiği üzere YNR sisteminin ölçüm yapılan zemin üstündeki konumu değiştirilerek bu ölçümler tekrarlandığında ve elde edilen

yansıma sinyalleri yan yana konularak, ortaya zaman ve konuma bağlı olarak iki boyutlu bir resim çıkar. Böylece ölçüm yapılan yerin altında gizlenen dielektrik sabiti ve/veya iletkenliği, ortamdan farklı olan bir nesneden kaynaklanan yansımalar bu iki boyutlu resmin içinde algılanabilir [4].



Şekil 2.3 YNR Tarama Düzlemi

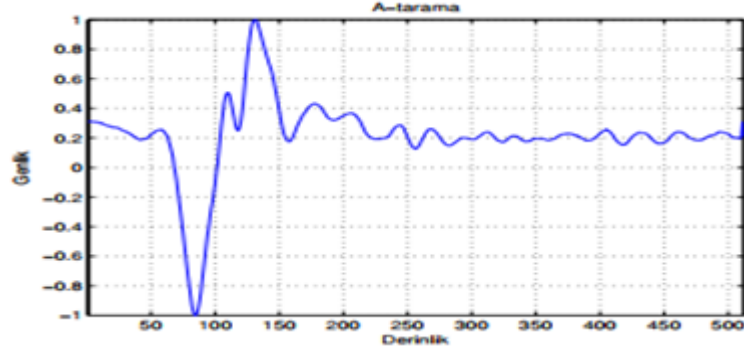
YNR uygulamalarında gömülü olan nesnelerin yeri, büyüklüğü ve EM saçılma özelliklerinin tespiti ana amaçtır. YNR verileri tarama boyutuna göre A, B ve C taramalar olarak üç değişik şekilde tanımlanmıştır. 3 boyutlu (3B) koordinat sisteminde (Şekil 2.4), X-Y düzlemi yer yüzeyini, Z eksenini de derinlik yönünü ifade etmektedir.



Şekil 2.4 YNR Veri Yapısı

A-tarama sinyali (Şekil 2.5), anteni ( $x'$ ,  $y'$ ) gibi spesifik bir konum üzerine yerleştirdikten sonra sabit bir ölçüm yapılarak elde edilir. y-ekseni A-tarama

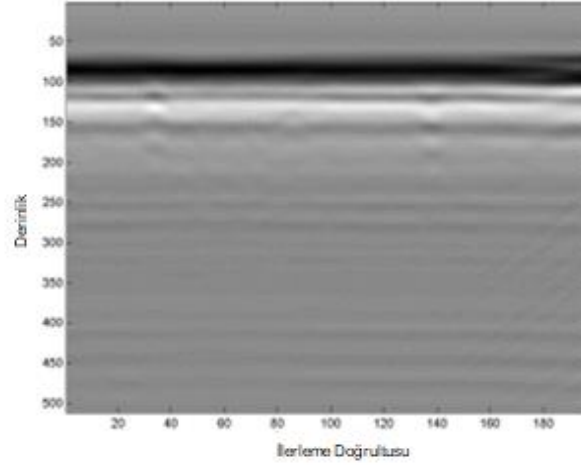
işaretinin genliğini, x-ekseni ise uzunluğunu göstermektedir. x-ekseni aynı zamanda derinlik bilgisi içinde kullanılmaktadır. Ancak radar sinyalinin ne kadar derine inebildiği bilinemediğinden birimsizdir.



şekil 2.5 A-Tarama Sinyali

B-tarama sinyali (şekil 2.6), yanal bir açıklık boyunca bir dizi A tarama limleri sonucu elde edilir. B-tarama görüntüsünde matrisin sütunlarında A-tarama işaretleri bulunmaktadır. y-ekseni A-tarama işaretinin x-eksenine karşı gelmekte ve derinlik bilgisini vermektedir. x-ekseni de B-taramanın kaç tane A-taramadan oluştuğunu ifade etmektedir ve ilerleme doğrultusunu göstermektedir. Her 1 cm'de bir A-tarama alındığı düşünülürse x-ekseninin birimi cm olarak kabul edilebilir.

B-tarama YNR konfigürasyonunda, radar yüzey boyunca doğrusal bir hat boyunca hareket ettirilirken, frekans da değiştirilerek iki boyutlu (2B) uzay-frekans matrisi elde edilir. B-tarama uygulamalarında, radar antenin demet açısı boyunca hedefi algılayabilmesi sonucunda elde edilen orijinal YNR görüntülerinde hiperbolik görüntüler oluşmaktadır [5].



Şekil 2.6 B-Tarama Sinyali

Hiperbol (Şekil 2.7), YNR enerjisinin derinlikle dışarıya doğru yayılan bir koni içinde yayılmasından kaynaklanan bir nokta kaynağı yansımasıdır. Bu şekilde, enerji doğrudan antenin altında olmayan nesnelere yansıtılır; ancak yansımalar, antenin doğrudan altında ve dalganın eğik geçişinden dolayı daha büyük bir derinlikte kaydedilir. Hiperbol şekli, yayılan anten ışınının geniş bir koni şekline sahip olması nedeniyle gerçekleşir, bu nedenle radar hedefin sadece üstüne değil, aynı zamanda bu pozisyondan önceki ve sonraki birkaç taramada da görülebilir. Hiperbolün tepe noktası, hedefin gerçek yerini gösterir. Hiperbolün şekli iki parametreye bağlıdır:

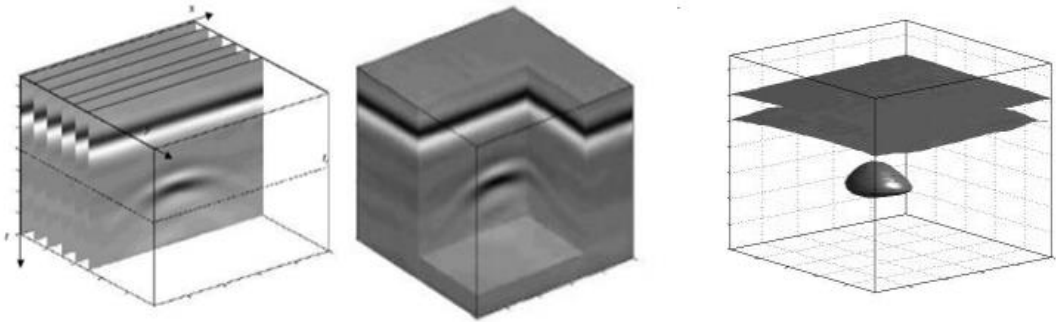
- tarama aralığı: daha küçük tarama aralığı (inç/cm başına daha fazla tarama) daha geniş hiperboller üretir;
- radar dalga hızı: daha yüksek hız (daha düşük dielektrik katsayısı) daha geniş hiperboller üretir.



Şekil 2.7 Hiperbol Sinyal Oluşumu

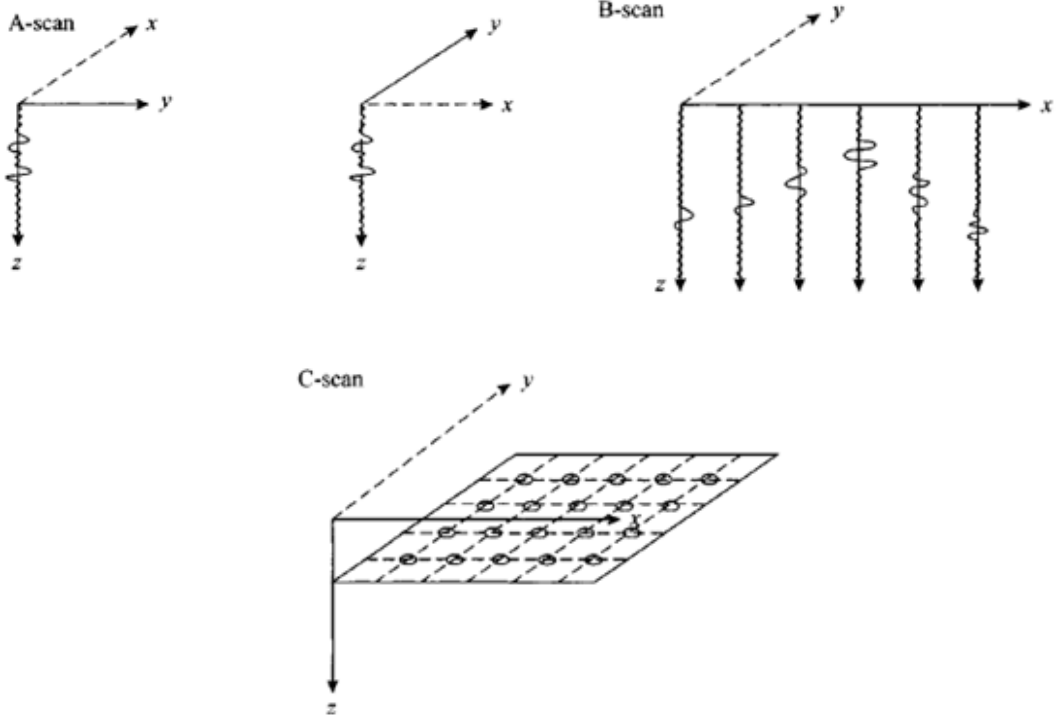
B-tarama görüntülerinin bir araya getirilmesiyle C-tarama verisi (Şekil 2.8) oluşturulmaktadır. B-tarama görüntüsü dikdörtgenler prizması olan C-tarama verisinin her bir dilimine karşı gelmektedir. Toplanan C tarama sinyali, 3B bir sinyaldir. 3B koordinat sisteminde, X ve Y sırasıyla yatay ve dikey hedef konumlarını ve Z eksenini de hedefin derinliğini gösterir.

3B bir verinin görüntülenmesi kolay olmadığından, C-tarama verisi genellikle, Z derinlik eksenini üzerindeki, ayırık spesifik konumlardaki, yatay X-Y dilimlerinin ardışık olarak gösterimi ile görüntülenebilir. Her bir dilim, B-taramanın dikey eksenine (y) eşdeğer olan belirli bir derinlik seviyesine karşılık gelir.



Şekil 2.8 C-tarama Sinyali

Şekil 2.9'da tüm tarama sinyal yapıları verilmiştir.



Şekil 2.9 YNR Tarama Veri Yapıları

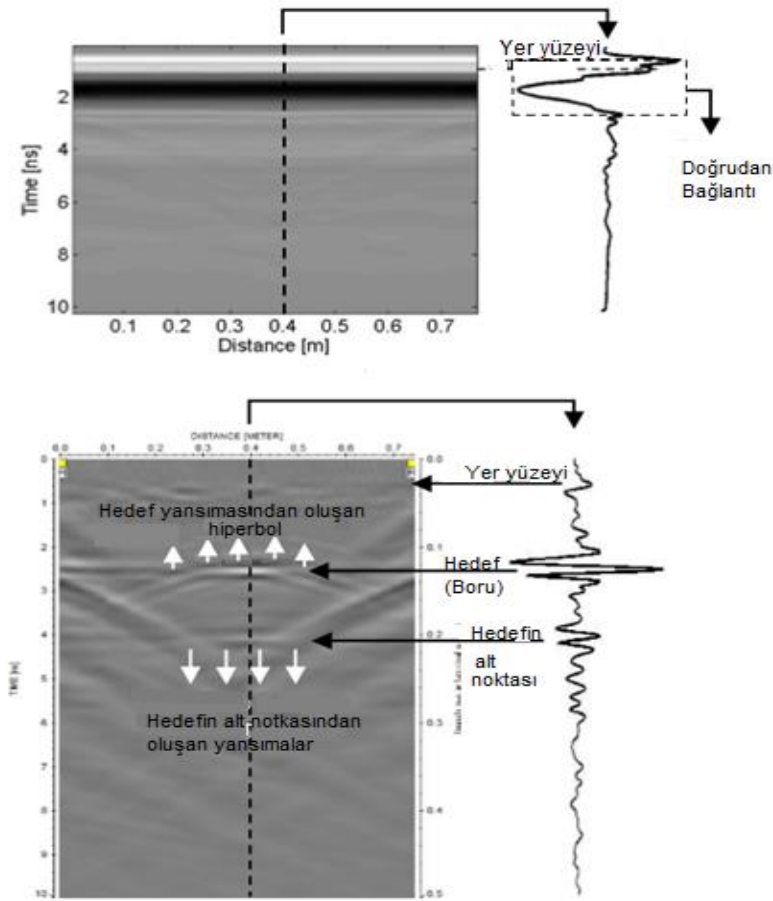
YNR sistemi yerin altındaki her şeyi görebilmektedir. Görüntülenmek istenen mayınlarla birlikte yerin altındaki düzensizlikler, ağaç kökleri, taşlar vb. cisimler ilgili bölgede mayın olmamasına rağmen mayın olduğu algısı oluşturarak yanlış alarmlara yol açmaktadır. Bunun yanı sıra, YNR sistemi ile elde edilen veri üzerinde karmaşaya yol açan sorunlardan biri yer yüzeyinden gelen yansıma sinyalidir. YNR taramasındaki ilk sinyal genellikle verici ve alıcı arasında “doğrudan bağlantı” olarak adlandırılır ve yüzey konumunu tanımlamak için kullanılır. Şekil 2.10 'da gösterilen doğrudan bağlantı sinyali, veri penceresinin üzerinde düz bir yatay bant gibi görünür. Havadaki iletim darbesinin ve malzemenin tepesinden gelen yüzey yansımasının (kontrplak) birleşimidir. Sinyal malzemeye nüfuz etmeden önce alıcıya ulaşır, bu yüzden doğrudan bağlantı sinyali, yapı hakkında çok az bilgi taşır.

Mayın tespitini zorlaştıran diğer bir problem, yeryüzünden geri yansıyan işaretin genliğinin yerin altından yansıyan işaretlerin genliğinden fazlasıyla büyük olmasıdır ve bu durum özellikle yeryüzüne yakın gömülen küçük boyutlu plastik anti-personel mayınların tespit edilmesini zorlaştırmaktadır çünkü yeryüzünden yansıyan işaret mayından yansıyan işareti bastırmaktadır.



YNR sistemlerinde kullanılan alıcı ve verici antenler genellikle birbirine yakın mesafededir ve alıcı ve verici anten arasında kuplaj meydana gelmektedir. Yani verici antenden gönderilen EM işaret yerin altına gidip yansımadan antenden çıkar çıkmaz alıcı anten tarafından alınmaktadır. Bu durum özellikle tarama işlemi yeryüzüne yakın mesafeden yapıldığında kuplaja neden olmakta ve yeryüzünden geri yansıyan işaret örtüşerek yeryüzüne yakın gömülen mayınlardan geri yansıyan işaretleri bastırmaktadır. Bu durum da YNR sistemlerinde mayın tespitini zorlaştırmaktadır. Bahsedilen bu önemli problemlere yol açan durumlar kargaşa olarak adlandırılmaktadır.

YNR sistemlerinin başarımı iklim şartlarından, toprak yapısından ve çevresel faktörlerden de etkilenmektedir. Örneğin nemli topraklarda gönderilen işaretle çok fazla kayıp olmaktadır ve YNR sisteminin başarımı düşmektedir.



Şekil 2.10 YNR Sistem Yapısı

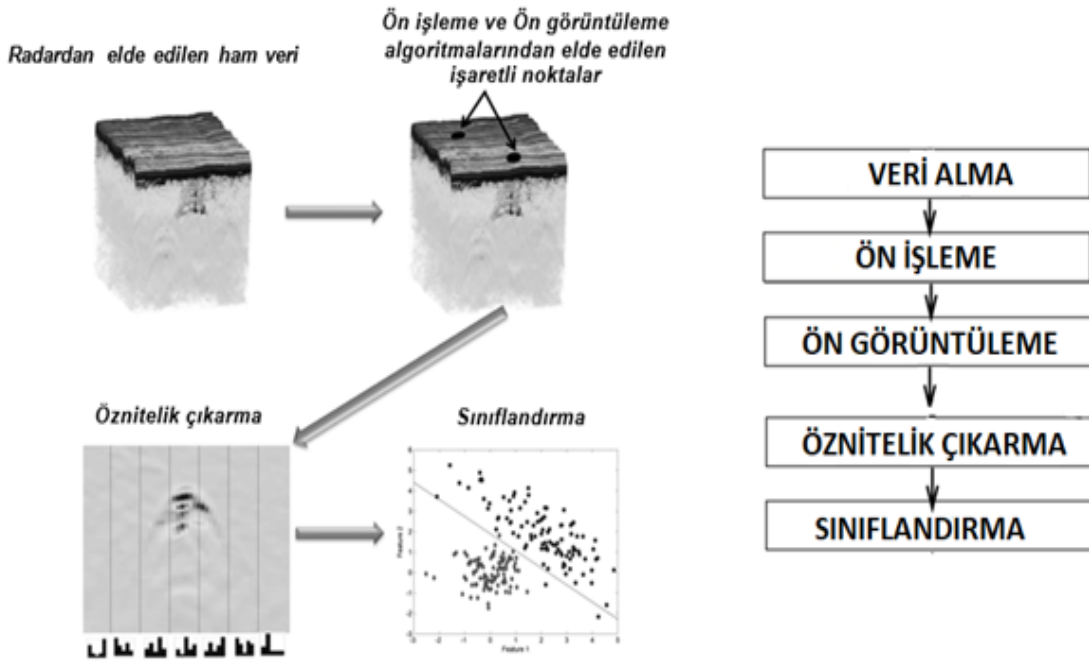
Özetle; YNR sisteminden alınan veriler aşağıdaki bilgileri içerir:

1. Alıcı ve verici antenler arasında oluşan kuplaj,
2. Radarın yer yüzeyinin üzerinde kalan alanda yaptığı tarama verisi,
3. YNR sisteminin kendisinden veya çevreden gelen girişim,
4. Yeraltı hedeflerine göre yeniden düzenleme,
5. Yeraltındaki homojensizliklerin dağılması veya yansması.

YNR sisteminden elde edilen bu veri ile, hedef tespit başarımını arttırmak, yanlış alarm olasılığını azaltmak ve hedefi tespit edip tanımlayabilmek için doğru kargaşa azaltma yöntemlerini kullanmak gereklidir.

### 3 VERİ İŞLEME ALGORİTMALARI

YNR sisteminden alınan veriler içerisindeki kargaşayı azaltabilmek ve hedef tespiti yapabilmek için bazı görüntü işleme algoritmalarının (Şekil 3.1) uygulanması gereklidir. YNR sistemi, uygulama esnasında genellikle bir aracın üzerine entegre bir yapıda olacağı için, sistem tespit işlemini yaklaşık gerçek zamanlı olarak yapmalıdır. Dolayısıyla bu büyük verinin kısa sürede işlenmesi için karmaşık yapıda algoritma bütününe ihtiyaç duyulmaktadır. YNR verisinin, zeminin etkileri en aza indirgenmiş, kargaşa bilgisinden arındırılmış düzeltilmiş bir veri yapısında olması hedefin tespitini büyük ölçüde etkilemektedir. Bu sebeple öncelikle YNR verisine yeryüzü yansımalarının silinmesi ve beyazlatma algoritmalarından oluşan ön işleme algoritmaları uygulanmaktadır. Daha sonra toprak altındaki anomaliyi tespit etmeye yönelik ön işleme uygulamasından elde edilen verilere ön görüntüleme algoritmaları uygulanır. Ön görüntülemeden elde edilen sonuçlara da anomalinin tespitine yönelik bilgi elde etmek için öznitelik çıkarma ve sınıflandırma algoritmaları uygulanarak sonuç elde edilir.



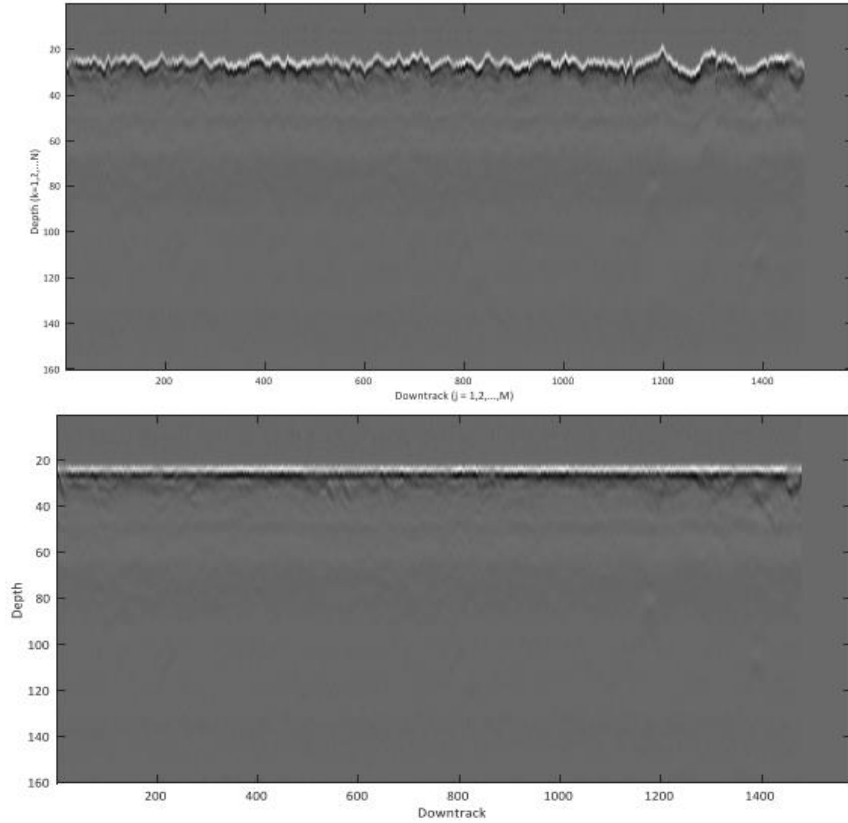
Şekil 3.1 Veri işleme

### 3.1 Ön İşleme Algoritmaları

#### 3.1.1 Yer yüzeyi yansımalarının silinmesi (Ground bounce removal)

Her verinin yer yansımalarının aynı derinliğe karşılık gelmesini sağlayan ve yeryüzeyi üzerinde kalan işlenmeyecek yer yüzeyi yansımalarının silinmesi işlemidir. Örnekleri yeryüzü yansımalarına yakın olarak görmezden gelme tekniği “kesim (haircutting)” olarak adlandırılır ve yok sayılan zeminden geçen örneklerin sayısı “kesim uzunluğu (haircut length)” olarak adlandırılır [6]. Bu hizalama gereklidir çünkü bir araca monteli sistem radar antenini yerden sabit bir mesafede tutamaz, böylece sinyaldeki yeryüzü yansıması taramadan taramaya geçebilir.

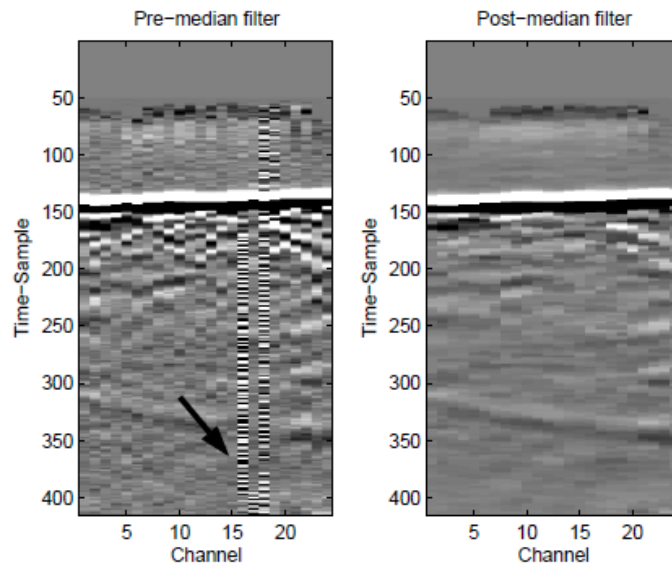
Yer yüzeyi yansımalarının silinmesi (Şekil 3.2) işleminde öncelikle her bir derinlik düzleminde, her bir kolonun maksimum yansımaları bulunur ve bulunan yansımalar ortalama yer yüzeyine karşılık gelen maksimum noktaların dikey konumlarının ortalama düzeyine çekilir. Ancak bu işlem uygulanırken yer yüzeyine yakın mayınlar veya mayın gibi yüksek enerjili yansımaya neden olabilecek cisimler maksimum noktasına karşılık gelebilmektedir.



Şekil 3.2 Yer yüzeyi Yansımalarının Silinmesi

Bununla birlikte, YNR sinyallerinden yeryüzü yansımalarının silinmesi yeraltındaki nesnenin algılanması için zor ve önemli bir adımdır. Ancak bunun için gerekli olan çoğu algoritma, hesaplama açısından maliyetlidir ve ön tarama algoritması için uygun değildir. Ancak verilerden hali hazırda ortalama bir yansıma değeri elde edildiğinden, tüm önceden belirlenmiş derinliklerin üzerindeki tüm örnekleri göz ardı ederek, yeryüzü yansımalarının önemli bir kısmını çıkarmak kolaydır. Ama bu verileri göz ardı etmek, sığ derinliklerde yer alan cisim/tehditlerden gelen yansımaları, yeryüzü yansımaları ile karıştırarak, yanlışlıkla göz ardı etme riskini ortaya çıkarır.

Yeryüzü sinyallerinin yanı sıra YNR sistemlerinde genellikle bulundurulmuş GPS sistemleri de elde edilen verilerin içine bilgi eklemektedir. Bu durumda GPS sinyallerinin de silinmesi ihtiyacı ortaya çıkmaktadır. Geniş bant radarların doğası gereği diğer radarlara nazaran radar sinyalleri karışmaya çok elverişlidir. GPS sistemi çok yüksek enerji üretmesinden dolayı çok yüksek frekansta bir ile üç kanallık noktasal gürültü yayabilmektedir. Medyan filtreler verinin yapısını korurken noktasal gürültüyü ortadan kaldırmak için kullanılan bir yöntemdir. Komşu çapraz kanallar eş zamanlı olarak gürültüden etkilenebileceği üzere, medyan filtre, derinlik ve hareket yönü yönleri boyunca uygulanır. GPS girişimi olan ve medyan filtre uygulanmış bir verinin görüntüsü Şekil 3.3'te yer almaktadır [7].



Şekil 3.3 GPS Sinyalinin Silinmesi

Literatürde yer alan çalışmalarda yeryüzü yansımalarını silmek için iki tip yaklaşım incelenmiştir. Kargaşayı modelleyen yöntemlerde yaklaşım, hedefin olmadığı bölgeden kargaşayı kestirerek tüm veriden kestirilen kargaşayı çıkarmaktadır. Kargaşa bu işlem sonucunda giderilerek sadece hedefin olduğu görüntüye ulaşılır. Kargaşayı modelleyen yöntemler için hedefin olmadığı bölge bilgisi gerekmektedir.

Bu yaklaşımlara örnek bazı yöntemler şunlardır:

- Ortalama Filtreleme [8] yönteminde hedefin olmadığı bir bölgeden A-tarama işaretlerinin ortalaması alınarak kargaşa kestirilmektedir. Kestirilen kargaşa değeri tüm A-tarama işaretlerinden çıkarılarak kargaşa giderme işlemi yapılır. Bu yöntem alıcı ve verici antenler arasındaki kuplaj ve yeryüzü yansımalarının giderilmesinde etkilidir. Ancak temiz bölge (hedefin olmadığı bölge) bilgisine ihtiyaç duyar. Yeryüzünün engebesiz olmasına, anten yüksekliğine ve toprak yapısına bağlı olarak başarı göstermektedir.
- Medyan Filtreleme yöntemi ile de ortalama filtreleme yöntemiyle benzer sonuçlar elde edildiği görülmüştür [9]. İki yöntem için de ortalama değer elde edilen kesitin büyüklüğü sonuca etki etmektedir.
- Wavelet [10] ve Kalman [11] yöntemleri de kargaşa modelleme yöntemi olarak kullanılmış yöntemlerdir. Hedefin olmadığı bölge bilgisi gerektirirler.
- Kalman yöntemi, Ortalama Filtreleme, Medyan Filtreleme ve Wavelet yöntemlerine daha yüksek başarı elde etmiştir [12]. Ancak Kalman yönteminin işlem yükü çok fazladır.

Hedefi modelleyen yöntemlerde ise hedef bilgisine ve eğitim sürecine ihtiyaç duyulmaktadır. İlgili hedefin iki boyutlu olarak modellenerek ilgili veri içerisinde var olup olmadığına bakılmaktadır. Ancak bu yöntemler sınırlı sayıda bilinen hedefler için geçerli olacağından başarımı düşmektedir. Hedefi modellemek için de literatürde Yönlendirilmiş Gradyan Histogramı (Histogram of Oriented Gradients-HOG) [13], Saklı Markov Modelleri (Hidden Markov Models –HMM) [14] ve Kenar Histogram Tanımlayıcısı (Edge Histogram Descriptors-EHD) [15] yöntemleri kullanılmıştır. Bu yöntemlerin işlem yükü çok olduğundan şüpheli bölgelerde kullanılması sistem etkinliğini arttırması açısından daha uygundur.

Yeryüzü yansımaları sorununa çok sayıda, genellikle daha karmaşık yöntemler uygulanmıştır, ancak deney sonuçları, ihmal edilme opsiyonundan daha iyi performans göstermediklerini göstermiştir [16].

### 3.1.2 Beyazlatma (Whitening)

Radar sinyallerinin yerin derinliklerine indikçe zayıflamasının etkisini ortadan kaldırmak amacıyla uygulanan işleme beyazlatma denir. Beyazlatma aslında YNR verilerini normalize etme işlemidir. Derinlik arttıkça sinyal gücü azalır. Beyazlatma uygulaması ile her derinlik için ortalama sinyal gücü ve sinyalin standart sapma değerleri bulunur. Söz konusu derinliğin her verisinden bu ortalama çıkarılır ve standart sapmaya bölünür. Bu sayede derinliğe bağlı olarak azalan sinyal gücü her derinlikte aynı seviyeye çekilmiş olur.

Sinyal yayılımı sırasında enerji kayıpları nedeniyle, hedeflerden ve yeraltı yansımalarından gelen yanıtlar, radardan uzaklığına bağlı olarak farklılık gösterir. Torriane et. al. [6]'nın yaptığı çalışmada, 6 inç'te gömülen hedeflerin tepkilerinin, sığ gömülü hedeflerden gelen tepkiden çok daha az enerjiye sahip olduğu görülmüştür. Adaptif beyazlatma, bu etkileri hafifletmek için kullanılabilir, fakat adaptif sinyal varyans tahminleri hesaplama açısından maliyetlidir ve çoğu zaman karmaşıklık ve diğer potansiyel hedeflerin varlığı ile engellenir.

Beyazlatma adımı, bir  $X$  vektörünü doğrusal olarak beyazlatmak istediğimizde, bileşenleri bağımsız ve varyansı 1 olan beyaz bir  $\tilde{X}$  vektörü elde ederiz. Yani başka bir deyişle kovaryans matrisi birlik matris olan bir  $\tilde{X}$  vektörü elde ederiz.

$$E\{\tilde{X}\tilde{X}^T\} = I \quad (3.1)$$

Bir vektörü beyazlatmak için en çok kullanılan yöntemlerden biri özdeğer ayrışımı (eigen value decomposition) yöntemidir.  $E$ ,  $E\{\tilde{X}\tilde{X}^T\}$ 'nin özdeğerlerinden oluşan ortogonal matris ve  $D$ 'de özdeğerlerinden oluşan diagonal matris olsun.

$$\tilde{X} = ED^{-1/2}E^T X \quad (3.2)$$

işlemi ile  $X$  vektörü beyazlatılarak  $\tilde{X}$  vektörü elde edilir.

### 3.2 Ön Görüntüleme (Pre Screening)

Ön işleme algoritmalarından sonra yer altındaki anomalilerin tespiti için verilere ön görüntüleme algoritmaları uygulanabilir. Ön görüntüleme algoritmaları, bir sonraki öznitelik çıkarma ve sınıflandırma adımlarında kullanılan yöntemlerin işlem yükü çok fazla olduğu için sınıflandırma adımında uygulanacak işlemi kolaylaştırmak amacıyla sadece şüpheli bölgelerin belirlenmesini hedefleyen algoritmalarlardır. Literatürde ön işleme algoritmalarından sonra ağırlıklı olarak öznitelik çıkarma ve sınıflandırma algoritmaları ile ilgili çalışmalara yoğunlaşıldığı gözlenmiştir. Ancak bu algoritmalarından önce veri ne kadar arındırılmış ve hedefe yönelik işlenmiş hale getirilirse hedefin doğru tespit oranı ve işlem süresi başarıyı optimize edilecektir. Literatürde bu adım için en çok kullanılan yöntem ise En Küçük Ortalama Kareler (EKOK) algoritmasıdır.

#### 3.2.1 En küçük ortalama kareler (Least mean square)

EKOK yöntemi, regresyon çözümlemesinde en yaygın olarak kullanılan istatistiki özelliklere sahip yöntemdir. Algoritmanın temeli, gözlem noktalarını temsil edebilen öyle bir doğru çizmeliyiz ki, gözlem noktalarının doğruya olan uzaklıklarının kareler toplamı minimum olsun. EKOK yöntemi bu durumu sağlayan yöntemlerden biridir. Belli ölçümler sonucunda  $i=1, 2, \dots, n$  için  $(x_i, y_i)$  verileri elde edilmiş olsun. Burada, her bir  $y_i$  nin  $x_i$  ye bağlı olarak değiştiğini varsayalım.  $(x_i, y_i)$  düzlemde noktalar olarak düşünüldüğünde, pratikte bu noktalar düzgün bir eğri üzerinde, başka bir deyimle, bilinen bir fonksiyonun grafiği üzerinde bulunmazlar. Hatta bazı durumlarda,  $(x_i, y_i)$ 'ler arasında ne tür bir bağlantı bulunduğu dahi bilinmeyebilir. Ancak, yapılan ölçümlerin doğası gereği, her  $i=1, 2, \dots, n$  için  $y_i = f(x_i)$  olacak biçimde bir fonksiyonun var olduğu, ölçümlerde yapılan hata nedeniyle bu eşitliklerin bazıları veya hepsinin sağlanmadığı kabul edilebilir.

Bu düşünceyle, ölçülen  $y_i$  değeri  $f(x_i)$  için yaklaşık değer kabul edilerek bu yaklaşımdaki hatanın minimum olduğu  $f$  fonksiyonu belirlenmeye çalışılır. Örneğin,  $f$  fonksiyonu;

$$y=f(x)=mx+b \quad (3.3)$$

ifadesinde olduğu gibi bir doğrusal fonksiyon veya



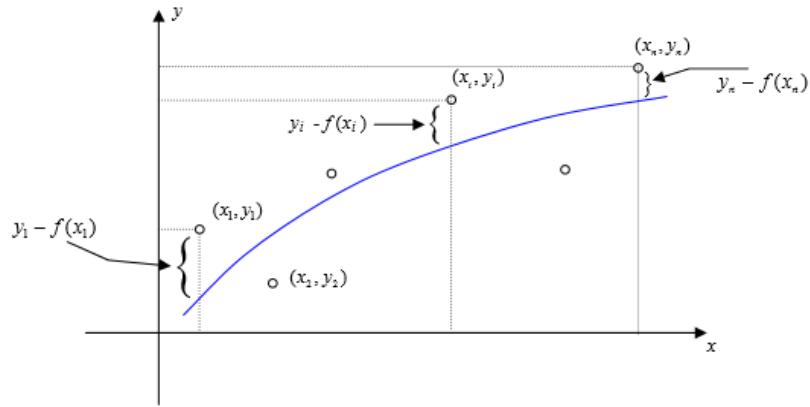
$$y = f(x) = ax^2 + bx + c \quad (3.4)$$

ifadesinde olduğu gibi bir karesel fonksiyon olabilir ki bu durumda belirlenmesi gereken parametreler a, b, c, m'dir.

$y_i$  değeri  $f(x_i)$  için yaklaşık değer,  $f(x_i)$   $y_i$ , kabul edilince hata değeri

$$y_i - f(x_i) \quad (3.5)$$

dir (Şekil 3.4) ve amaç, bu hatalar minimum olacak şekilde bir  $f$  fonksiyonu bulmaktır.

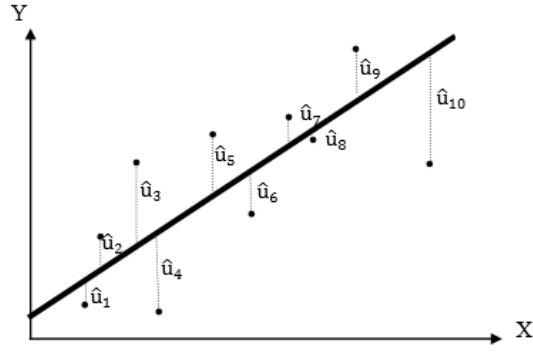


Şekil 3.4 EKOK Hata Grafiği

EKOK yönteminde aranan fonksiyon, ya da onun parametreleri, tüm artıkların kareleri toplamı olan

$$\sum_{i=1}^n (y_i - f(x_i))^2 + \dots + (y_n - f(x_n))^2 \quad (3.6)$$

ifadesini minimum yapacak şekilde belirlenir. Kareler toplamının minimum olması için her bir hatanın küçük olması gerekir (Şekil 3.5).

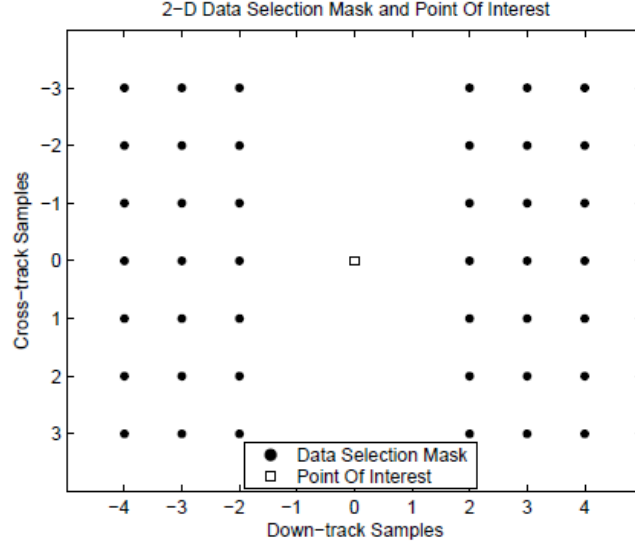


Şekil 3.5 EKOK

EKOK yönteminde YNR verisi üzerinde asıl hedeflenen işlem, hedef bilgisinin tüm veriden ayrışmasını sağlamaktır. İlgili gözlem noktası üzerine uygulanan bir maske ile o nokta etrafındaki bir uzayda oluşturulan x ve y vektörlerinden 2D yeni bir vektör oluşturularak veri ana imgeden ayrıştırılır.

2D EKOK algoritması, 2D verisine basitçe 1D EKOK algoritmasının uygulamasıdır. 2 boyutlu bir derinlik seviyesinde tek bir ilgi noktası (location of interest) düşünelim. Her bir ilgi alanı için, Şekil 3.6'daki gibi bir 2D veri seçim maskesi uygulanır ve sonuçta elde edilen veriler bir vektör için yeniden şekillendirilir. 2D veri seçimi maskeleri, anten açıklığı ve ilerleme doğrultusu eksenlerine (derinlik yönü hariç) yönlendirilir ve ilgilenilen yeri çevreleyen küçük bir koruma alanı sağlar.

Standart EKOK terminolojisinde, ilgilenilen konum, istenen sinyal olarak adlandırılır ve veri seçim maskesinden gelen veri vektörü, giriş vektörü olarak adlandırılır. EKOK aşamasından gelen çıktı, ağırlıklandırılmış giriş sinyalinin beklenen sinyalden farkını verir. Çıktı, EKOK algoritmasının adaptif ağırlıklı giriş vektörünü kullanarak ilgilenilen noktadaki değeri tahmin edebildiğinin bir ölçüsüdür.



Şekil 3.6 Veri Seçim Maskesi

$$F: X \subset \mathbb{R}^M \rightarrow \mathbb{R} \quad x_n \in X \subset \mathbb{R}^M, d_n \in \mathbb{R}, n \in \mathbb{N} \quad (3.7)$$

F fonksiyon (3.7), giriş vektörleri  $\{(x_1, d_1), (x_2, d_2), \dots, (x_n, d_n), \dots\}$  olan bir fonksiyon olsun. Adaptif öğrenme algoritmasında amaç, test verileri üzerinden giriş-çıkış vektörlerinin arasındaki ilişkiyi tanımlayarak  $(H = \{f_w: X \rightarrow \mathbb{R} \in \mathbb{R}^p\})$ , hata kayıp fonksiyonunu,  $L(w)$ , minimize etmektir.  $L(w)$ , her n adımda gerçek çıkış vektörü  $d_n$ , ile beklenen çıkış vektörü  $f_w(x_n)$  arasındaki hata oranını verir.  $d_n$  ilgi vektörünün adaptif tahmini  $y_n$  vektörü, giriş vektörü  $x_n$ 'nin  $w_n$  ağırlık vektörüyle filtrelenmiş halidir. Hata fonksiyonunu

$$H_1 = \{f_w(x) = w^T x, w \in \mathbb{R}^M\} \quad (3.8)$$

$$L(w) = E[|d_n - f_w(x)|^2] = E[|d_n - w^T x|^2] \quad (3.9)$$

$$e_n = d_n - w_{n-1}^T x_n \quad (3.10)$$

şeklinde tanımlayarak her  $n=1,2,\dots,N$  zamanda ortalama hatanın karesinin eğimini alırsak:

$$-\nabla L(w) = 2E[(d_n - w_{n-1}^T x_n)(x_n)] = 2E[e_n x_n] \quad (3.11)$$

$$E[e_n x_n] \approx e_n x_n \quad (3.12)$$

elde edilir ve adım güncelleme (veya ağırlık güncelleme) denklemi elde edilir,  $\mu$  düzeltme faktörü (öğrenme oranı) ile indirgeme yönüne doğru form alır:

$$w_n = w_{n-1} + \mu e_n x_n \quad (3.13)$$

Ağırlık vektörünü, bu hata oranını kullanarak giriş vektörüne uyguladığımızda ağırlık vektörünü güncelleyerek hata oranının giderek azalması sağlanır.

İteratif işlemin (3.13) denklemini değiştirerek normalleştirilmiş EKOK oluşturulur:

$$w = w + \frac{\mu e}{\|x_i\|^2} x_i \quad (3.14)$$

Bir  $n$  adımın eğitimi yapıldıktan sonra, her ağırlık  $w_n$ , önceki ve son girdi verilerinin doğrusal birleşimi olarak ifade edilir, bunların hepsi bir önceki hatalara karşılık gelir.

Bu sistemin giriş ve çıkışı arasındaki fark,

$$e_n = d_n - \mu \sum_{k=1}^{n-1} e_k x_k^T x_n \quad (3.15)$$

iken yalnızca iç çarpım olarak gösterilebilir. Çıkış fonksiyonunda yerine konulduğunda ise:

$$f(x_{n+1}) = w_n^T x_{n+1} = \mu \sum_{k=1}^n e_k x_k^T x_{n+1} \quad (3.16)$$

olacaktır. Literatürde en çok kullanılan EKOK yönteminden yola çıkılarak Kernel EKOK yöntemi ile bu işlem adımında iyileştirme yapılabileceği değerlendirilmiş olup bu tez çalışmasında bu yöntemle ilgili çalışmalar yürütülmüştür. Baydar vd. KEKOK

yöntemi ile EKOK'a nazaran daha hızlı ve %99 doğru tespit oranına sahip sonuçlar elde etmiştir [15].

### 3.2.2 Kernel en küçük ortalama kareler (Kernel Least Mean Square)

KEKOK algoritmasında, EKOK algortimasından farklı olarak hata oranının belirli bir kernel regülarizasyon katsayısı kullanılarak daha hızlı minimize edilmesi hedeflenmektedir.

Yukarıda EKOK için verilen fonksiyon tahmini (3.7) üzerinden fonksiyon:

$$H_2 = \left\{ T_w: \mathcal{H} \rightarrow \mathbb{R}, T_w(\Phi(x)) = \langle w, \Phi(x) \rangle_{\mathcal{H}}, w \in \mathcal{H} \right\} \quad (3.17)$$

ve yeni giriş vektörleri  $\{(\phi(x_1), d_1), \dots, (\phi(x_n), d_n)\}$  olsun.

$$f(x_n) \equiv T_w(\Phi(x_n)) = \langle w, \Phi(x_n) \rangle_{\mathcal{H}}, w \in \mathcal{H} \quad (3.18)$$

Hata fonksiyonu;

$$L(w) \equiv E\left[|d_n - f(x_n)|^2\right] = E\left[|d_n - \langle w, \Phi(x_n) \rangle_{\mathcal{H}}|^2\right] \quad (3.19)$$

$$e_n = d_n - f(x_n) \quad (3.20)$$

elde edilmektedir. Hata fonksiyonunu minimize etmek için türevi alındığında fonksiyon,

$$\nabla L(w) = -2E[e_n \Phi(x_n)] \quad (3.21)$$

olmaktadır. n adet noktada hata fonksiyonu ,

$$\nabla L(w) = -2e_n \Phi(x_n) \quad (3.22)$$

olacaktır ve minimize etme işleminin en sonunda ağırlık fonksiyonu:

$$w_n = w_{n-1} + \mu e_n \Phi(x_n) \quad (3.23)$$

olarak elde edilmektedir.  $n$ . nokta için çıkış fonksiyonu ise:

$$f(x_n) = T_{w_{n-1}}(\Phi(x_n)) = \langle w_{n-1}, \Phi(x_n) \rangle_{\mathcal{H}} \quad (3.24)$$

$$= \left\langle \mu \sum_{k=1}^{n-1} e_k \Phi(x_k), \Phi(x_n) \right\rangle_{\mathcal{H}}$$

$$= \mu \sum_{k=1}^{n-1} e_k \langle \Phi(x_k), \Phi(x_n) \rangle_{\mathcal{H}}$$

$$= \mu \sum_{k=1}^{n-1} e_k K(x_k, x_n)$$

olarak elde edilir.  $n$  adım sonunda ağırlık fonksiyonu ve çıkış fonksiyonu,

$$w_n = \mu \sum_{k=1}^n e_k \Phi(x_k) \quad (3.25)$$

$$f(x_n) = \mu \sum_{k=1}^{n-1} e_k K(x_k, x_n) \quad (3.26)$$

olacaktır. Yine normalleştirme yapıldığında ağırlık fonksiyonu;

$$w_n = w_{n-1} + \frac{\mu e_n}{K(x_k, x_n)} \Phi(x_n) \quad (3.27)$$

olarak elde edilir.

KEKOK algoritmasının dezavantajı; sonucun tahmini için sözlüğe katılan noktaların sayısının sürekli artması daha büyük bellek ihtiyacına ve daha yüksek hesaplama gücü ihtiyacına neden olur. Bunun için hesaplamaya katılacak noktaların belli kriterleri karşılayan merkez noktalar olması durumunda hesaplamaya katılması sözlük hacminin gereksiz biçimde büyümesini önleyecektir.

### 3.3 Öznitelik çıkarma

Sınıflandırmanın yapılması için verilerin özniteliklerinin çıkarılmasına ihtiyaç vardır. Öznitelik tanımlayıcı, ön görüntüleme ile filtrelenmiş verideki asıl ihtiyaç duyulan gerekli bilgiyi çıkaran bir yapıdır. Yani hedefi kargaşadan ayırmaya yarar. Veriyi alt uzaylara ayıran istatistiksel yöntemler içerisinde Tekil Değer Ayırımı (TDA), Temel Bileşen Analizi (TBA), Yönlendirilmiş Gradyan Histogramı (YGH), Saklı Markov Modeli (SMM) ve Sabit Ölçekli Özellik Dönüşümü (SOOD) yöntemleri yer almaktadır ve literatürde yaygın olarak YNR görüntülerinde kargaşa gidermek için kullanılmaktadır.

YNR verileri, çok sayıda değişken ve büyük veri boyutlarından oluşur. Bu nedenle, değişkenlerin birbirleriyle yüksek derecede ilişkili olması muhtemeldir. Veri yüksek korelasyonlu değişkenler veya ilgilenilen sonuçla ilgisiz değişkenler içeriyorsa algılama yöntemlerinin doğruluğu ve güvenilirliği sonuçlanacaktır. Gereksiz değişkenler, büyük veri tabanına sahip bir modelin dağıtımını için veri toplama ve veri işleme maliyetlerini artırabilir. YNR verilerindeki önemli adımlardan biri, boyutsallığı azaltmanın yollarını bulmaktır. TBA, sinyal işleme, veri sıkıştırma, veri görselleştirme, görüntü analizi ve örüntü tanıma için en popüler tekniklerden biridir. Temel bileşen teknikleri, kara mayınlarının saptanması için YNR veri analizine uygulanmıştır [16]. TBA bilgisayar kullanımının yavaş ve pahalı olduğu zamanlardan beri hızlı ve daha ucuz bir veri azaltma yöntemi olmuştur.

YGH, ilk olarak Shashua tarafından yaya tanıma sistemlerinde kullanılabilecek tanımlayıcılar olarak önerilmiş ve. Dalal ve Triggs tarafından bu yeni tanımlayıcıları başarı ile karmaşık ortamlarda insan tanıma problemine uyarlanmış [17]. YGH yöntemindeki temel amaç imgeyi bir grup lokal histogramlar olarak tanımlamaktır. Bu gruplar, imgenin lokal bir bölgesindeki gradyanların yönelimlerinde, gradyanların büyüklüklerinin toplandığı histogramlardır. Bu yöntem ile açıdan ve boyuttan bağımsız sınıflandırma gerçekleştirmek mümkündür. Böylece literatürde kullanılan farklı algoritmaların başarımını artırmak için açı düzeltmek (alignment) ve boyut sabitlemek (scale normalization) gibi gerekli ön işlemlerin uygulanmasına ihtiyaç hissedilmeyecektir.

Bazı problemlerin modellenmesi gizli ve gözlemlenemeyen bir istatistiksel işlem ile bu istatistiksel işlem sonucunda oluşan ve ölçülebilen gözlem sıralarını oluşturan başka istatistiksel işlemlerin birleşiminden oluşan çift katlı istatistiksel bir süreç halini alır ve SMM olarak bilinir. SMM modeli, verilerin sistemin mevcut durumuna ve bu durumla ilişkili dağılımlara göre üretildiğini varsayar. Bu durum bilgisi, bir olayı belirten gizli durumların ortak bir dizisini belirlemek için kullanılabilir.

Kara mayını verilerinde kullanılan SMM'ler, hedef B-taramalarında gösterildiği gibi hiperbolik bir kara mayını cevabını belirten gizli durumların bir dizisini tanımlamaya çalışır. SMM algoritması tarafından atanan ifadeler, çıkarılan özellikler göz önünde bulundurulduğunda, modelin arka plandan yükselen kenara, ortaya, arkaya doğru ve arka plana doğru ilerlediği ihtimalidir. Bu, mayın modeli olarak bilinir. Model üzerinde önemli bir kısıtlama, modelin sondaki kenar durumuna ulaşması için, modelin yükselen kenar ve merkez hallerinde ilerlemiş olması gerekir. Her bir B-taramasının kesinliği, bir mayın modeli ve bir arka plan modeli göz önüne alındığında gözlemlerin durum-olabilirliği arasındaki farktır.

SOOD algoritması aslında resimdeki lekeleri (blob) bularak buraların anahtar noktalar olduğunu kabul eder. Anahtar noktaları (yani lekeleri) bulurken Gaussian Farkı (Difference of Gaussian) yöntemini kullanır. Bu anahtar noktaların özneliklerini ise buradaki gradyanları bularak çıkartır. Aslında algoritmanın bu kısmı YGH yöntemine oldukça benzer.

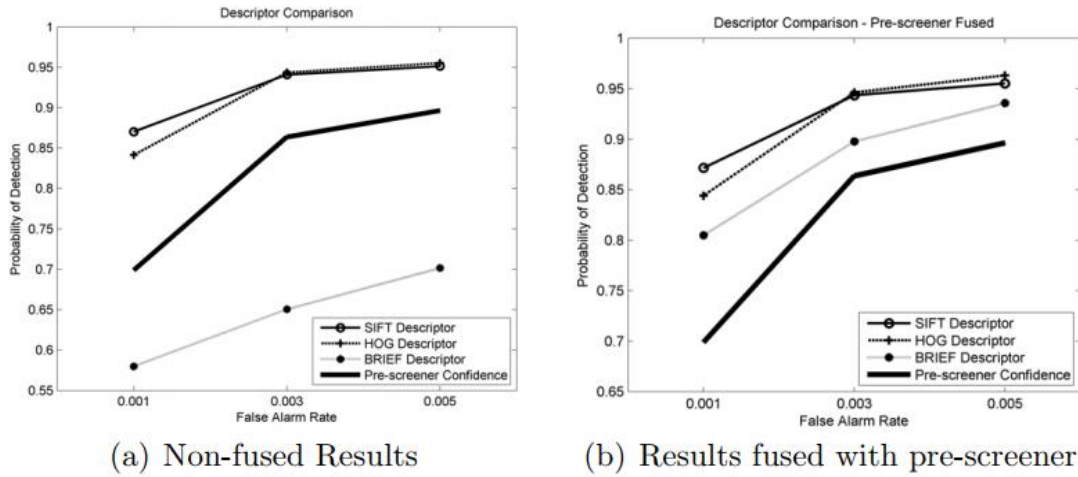
SOOD algoritması YNR görüntülerinde fazlaca gürültü olduğu için buralarda da leke bulabilmekte ve arka plandan seçilen bu anahtar noktaları bir mayın anahtar noktası ile eşleştirebilmektedir. Bunun önüne geçmek için, görüntüdeki enerjiyi de kullanarak özneliklerin arka plana denk gelenler eşlemiştir. Normal bir resimde SOOD algoritması uygulandığında ortalama 500 öznelik bulunurken mayınlarda bu oran çok düşüktür, 4-20 öznelik çıkar. Bu da eşleşmede karşılaştırılacak öznelik sayısını azaltmaktadır. Mayın verileri çok gürültülü verilerdir. Mayınlı bölgede öznelik çıkartılsa bile bunların çoğu mayınsız alandan çıkartılmış olabilmektedir. Bu da hata oranını artırmaktadır.

TDA yöntemi gürültü giderme, veri sıkıştırma gibi çok sayıda görüntü işleme uygulamalarında kullanılan matris ayrıştırma yöntemidir. TDA yöntemi veri matrisini



sinyal ve gürültü şeklinde alt uzaylara ayırarak sinyal-gürültü oranını arttırmak amacıyla kullanılmaktadır. Bu şekilde veri içerisindeki kargaşayı ayırt etmektedir. B-tarama görüntüsü, öz görüntüler kullanılarak hedef, kargaşa ve gürültü şeklinde bileşenlere ayrılmaktadır fakat hedef, kargaşa ve gürültüyü ifade ederken hangi öz görüntülerin kullanılacağı kesin olarak bilinmemektedir.

Literatürde istatistiksel algoritmalar üzerine çok fazla çalışma mevcuttur. Bu yöntemlerin farklı birçok test ortamı, hedef üzerinde yapılan çalışmalarda birbirleri ile karşılaştırmaları da yer almaktadır. Her ortam ve hedefe göre algoritmalar farklı çözüm vermektedir. Örneğin, Sakaguchi [18] çalışmasında Şekil 3.7'de verilen grafikte bu yöntemlerden birkaçı arasında karşılaştırma yapmıştır. SOOD ve YGH, benzer yapıdaki algoritmaya sahip olmalarına rağmen SOOD, birlikte uygulanan sınıflandırma algoritmasından dolayı en iyi sonucu vermiştir.



Şekil 3.7 Öznitelik Çıkarma Algoritma Karşılaştırmaları

### 3.4 Sınıflandırma

Literatürde yeryüzeyi altındaki cisimleri sınıflandırmak için en çok kullanılan yöntem Destek Vektör Makinesi (DVM)'dir. DVM, Vapnik istatistiksel öğrenme teorisine dayanan bir öğrenme metodolojisidir. Öğrenme verilerini en verimli şekilde kullanarak en optimal sınıflandırma sonucunu veren başarılı bir sınıflandırma yöntemidir. Basit olarak öznitelik uzayındaki iki sınıfı, aralarında maksimum boşluk kalacak şekilde ayıran bir düzlem (çok boyutlu öznitelik uzayı ise hiper düzlem) veya küre bulur. Bu hiper düzlemin bulunması sırasında daha önceden sınıfı bilinen veriler kullanılır ve bu şekilde algoritma eğitilmiş olur. Daha sonra sınıflandırma

sırasında bir verinin öznitelikleri düzlemin hangi tarafında kalıyor ise veri o taraftaki sınıfa aittir denir.

YNR verilerinde sınıflandırıcılar, olası tehdit bölgelerinin tehdit ve/veya yanlış alarm olarak ayrılmasında kullanılır. DVM algoritmasının elde edilen öznitelikler üzerine uygulanması gerekmektedir. Bunun yanı sıra YNR verileri üzerinde geriye yayımlı derin öğrenme modelleri, yapay sinir ağları, konvolüsyonel sinir ağlarına yönelik çalışmalarda yer almaktadır.

## 4 DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Yurt içinde; YNR teknolojisini kullanarak toprağın altındaki hedefi tespit eden ürünler olsa da bu ürünler objenin ne olduğunun teşhis aşamasını son kullanıcıya bırakmaktadır. Bu sebeple teşhis aşamasında kullanıcıya temiz, anlaşılabilir bir görüntü sağlanması önem arz etmektedir.

Literatür araştırmalarında incelendiği üzere, YNR sistemleri gibi en kısa sürede en etkin sonucu vermesi gereken sistemler için gerçek zamanlı veri işleme yapılması çok önemli bir parametredir. YNR veri yapısına bakıldığında ön işleme sürecinde gerçek görüntüyü tüm gürültü/kargaşa parametrelerinden ayırıştırabilmenin sonraki işlem algoritmalarında gerçekleştirilebilecek iyileştirme adımlarına nazaran daha zaman etkin bir çözüm olabileceği tespit edilmiştir. Bu sebeple ön işleme sürecinde algoritmalar içerisinde en etkili sonucu verecek yöntemi bulmak üzerine çalışmalar yürütülmüştür. Bu tez çalışması kapsamında, mevcut ön işleme algoritmalarının optimizasyonu ve gerçek zamanlı bir algoritma çalışması konusu hedef alınmıştır.

### 4.1 Veri Tabanı

Çalışmada, 3 farklı toprak tekstürüne sahip zemine gömülmüş, farklı sayıda ve çeşitli yapıdaki hedeflere ilişkin 20 adet radar verisi incelenmiştir. Kullanılan veri tabanına ilişkin bilgiler Tablo 4.1'de yer almaktadır.

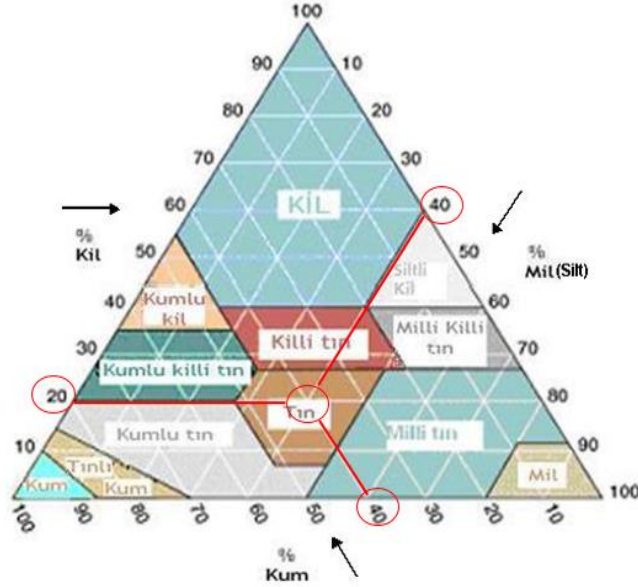
Tablo 4.1 Veri Listesi

| Veri Seti | Toprak Tipi | Hedef Sayısı | Hedef Tipleri                     |
|-----------|-------------|--------------|-----------------------------------|
| 1         | Kum         | 5            | EYP, AT, Tahta düzenek, Su şişesi |
| 2         | Kum         | 6            | EYP, AT, AP                       |
| 3         | Kum         | 4            | AT, AP                            |
| 4         | Kum         | 7            | EYP, AT, AP, Kürek                |
| 5         | Kum         | 5            | EYP, AT, AP                       |
| 6         | Kum         | 3            | EYP, Tuğla                        |
| 7         | Tınlı       | 9            | EYP, AT, AP                       |
| 8         | Tınlı       | 10           | EYP, AT, AP                       |
| 9         | Tınlı       | 15           | EYP, AT, AP, Tahta düzenek, Tuğla |
| 10        | Tınlı       | 5            | EYP, AT, AP                       |
| 11        | Tınlı       | 12           | EYP, AT, AP, Su şişesi            |
| 12        | Tınlı       | 6            | AT, AP                            |
| 13        | Tınlı       | 8            | EYP, AT, AP, Kürek, Tahta düzenek |
| 14        | Tınlı       | 6            | AT,                               |
| 15        | Tınlı kum   | 7            | EYP, AT, AP                       |

|    |           |   |                            |
|----|-----------|---|----------------------------|
| 16 | Tınlı kum | 8 | EYP, AT, AP                |
| 17 | Tınlı kum | 4 | AP                         |
| 18 | Tınlı kum | 9 | EYP, AT, AP, Tahta düzenek |
| 19 | Tınlı kum | 8 | EYP, AT, AP                |
| 20 | Tınlı kum | 5 | EYP, AT                    |

Çalışma için elde edilen verilerin alındığı radarın genişliği 1.2 mt olup 5cm anten aralığına sahip 24 adet antenden, 12 adet kanaldan oluşmaktadır. Radar, 200 MHz - 6 Ghz frekans bandında çalışmaktadır.

Daha önce de belirtildiği üzere toprak tipi başarımı etkileyen bir parametredir. Toprak tekstürü, birim toprak kütlesi içerisindeki kum, mil ve kil miktarlarının oransal durumunu ifade etmek için kullanılan bir tanım olup toprağın kısa sürede değişmeyen özelliklerindedir. Topraklar, sahip oldukları içerik oranlarına bağlı olarak farklı isimler ile adlandırılmakta olup %40 Mil, %40 Kum, %20 Kil barındıran örnek bir toprağa ilişkin sınıflandırma Şekil 4.1'de gösterilen toprak tekstür üçgeninde verilmiştir.



Şekil 4.1 Toprak Tekstür Üçgeni

Ön işleme aşaması için literatürde yer alan algoritmalar kullanılarak yer yüzeyi gürültüsünden ayrıştırılmış ve beyazlatma uygulanmış YNR verisine EKOK ve KEKOK yöntemleri uygulanarak sonuçlar değerlendirilmiştir. Kernel parametresinin sistem işlem süresine etkisine yönelik çalışılmıştır.

EKOK ve KEKOK yöntemlerinin incelenmesi sonrasında sisteme daha hız kazandıracak ve gerçek zamanlı sonuç verebilecek algoritmalar üzerinde çalışmalar yapılmış olup Wang and Su [19]'nun çalışmasında Hough dönüşümü ile birlikte kullanılan çapraz korelasyon yöntemi sistem algoritmasına dahil edilmiştir.

#### 4.2 Çapraz korelasyon (Cross-Correlation)

Buradaki amaç, bağımsız değişkenler arasındaki korelasyon katsayılarının değerini tespiti ile iki değişken arasındaki bağlantıyı ortaya çıkarmaktır. Çapraz korelasyon fonksiyonu, verilen bir  $u(t)$  ve bir referans  $v(t)$  sinyali arasındaki benzerliğin ölçüsüdür.

$$R_{uv}(\tau) = \int u(t - \tau)v(t)dt = u(-t)*v \quad (4.1)$$

Bu fonksiyon, aralarında  $\tau$  zaman kayması olan iki özdeş olmayan dalga formu arasındaki diğer teknikler tarafından tespit edilemeyen benzerlikleri ortaya çıkaran benzerliği gösterir. Çapraz korelasyon örnekleme yöntemi aşağıdaki şekilde ifade edilebilir:

$$R_{uv}(\tau) = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N u(n\Delta t - \tau)v(n\Delta t) \quad (4.2)$$

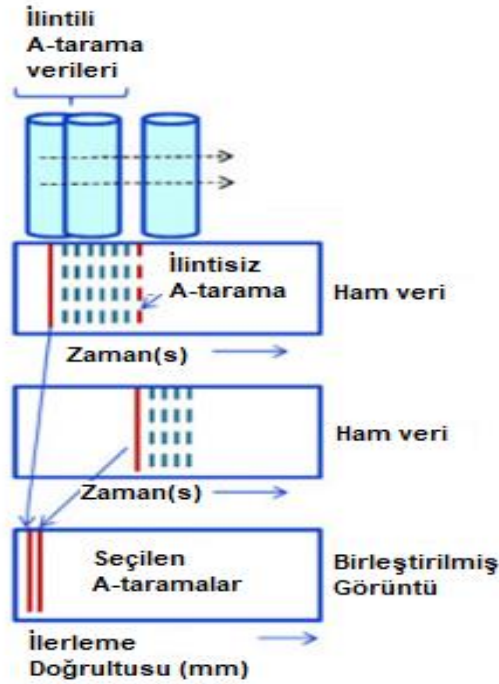
Önceki tanımdan, çapraz korelasyonun aslında bir sinyal ile gecikmeli ikinci bir sinyalin çarpımlarının toplamlarının ortalaması olduğu görülmektedir. Bu fonksiyon,  $u(t)$  giriş sinyalinin büyüklüğüne doğrusal olarak bağlıdır. Ama sinyalin genliğinden ya da enerjisinden hedefe özgü bir özellik elde edilemez ve sadece hedefin şekli ile bilgiye ihtiyaç duyulur. Daha sonra, sinyallerin karşılaştırılmasından önce giriş ve referans sinyallerine normalizasyon uygulanması gerekmektedir. Ancak eğer yeryüzü yansıması ve doğrudan bağlantı sinyalleri silinmez ise giriş sinyalinin genliği en büyük genliğe sahip olmayacağından normalizasyon işleminin yapılması doğru bir sonuca ulaştırmayacaktır. Daha sonra sadece şekil bilgisini tutmak istediğimizden, giriş sinyali benzetim ölçümünü gerçekleştirmeden önce zaman içinde pencerelenmeli ve normalleştirilmelidir:

$$\bar{u}(t,T) = \begin{cases} \frac{u(T)}{\max\{|u(T)|\}}, & \text{for } t_1 \leq T \leq t_2 \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4.3)$$

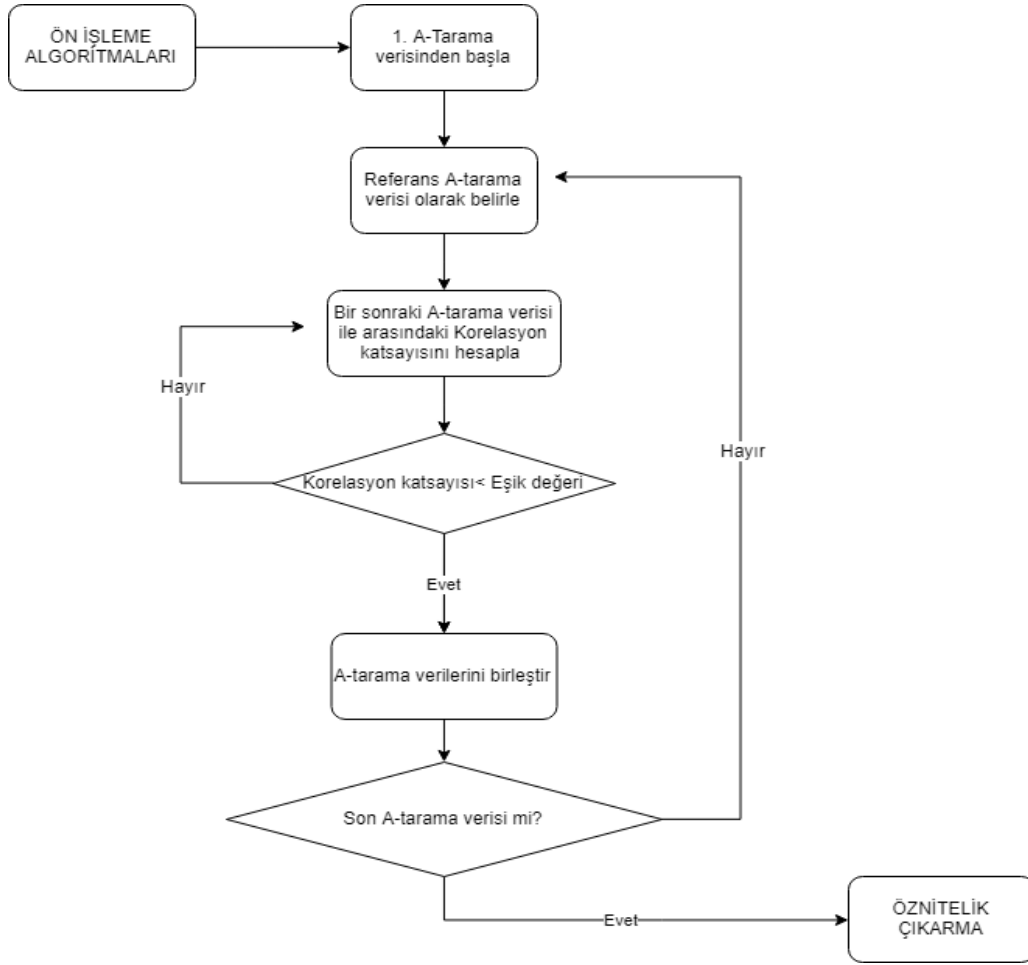
$u(t,T)$  çapraz korelasyon işlemi için yeni giriş sinyali,  $T$  ise zaman penceresidir. Bir A-tarama sinyalinin normalize edilmiş kısmının ayrık çapraz korelasyonun uygulanması ile yüksek kaliteli normalize referans bir dalgacık belirlenir. Daha sonra, çapraz korelasyon vektörünün maksimum mutlak değeri her iki sinyal arasındaki korelasyon katsayısını belirler:

$$\rho_{uv} = \max\{R_{uv}\} \quad (4.4)$$

YNR verileri üzerinde çapraz korelasyon yönteminin algoritması ve akış şeması Şekil 4.2 ve Şekil 4.3'te verilmiştir.



Şekil 4.2 Çapraz Korelasyon Algoritması



Şekil 4.3 Çapraz Korelasyon Akış Şeması

### 4.3 Benzetim Sonuçları

Literatürde en çok kullanılan EKOK yöntemi ile yeni bir yaklaşım olarak KEKOK algoritması incelenmiştir. Eldeki veri seti üzerinden alınan sonuçlarda Tablo 4.2’de verildiği üzere KEKOK algoritması ile EKOK algoritmasına göre daha hızlı işlem süreleri elde edilmiştir. En büyük veri hacmine sahip veri üzerinde EKOK algoritması ile 14.83 dakikada sonuç elde edilirken KEKOK algoritması ile 2.37 dakika iyileştirme elde edilerek 12.46 dakikada sonuç alınmıştır. Sisteme işlem süresini kısaltma açısından bir iyileştirme kazandırılacağı görülmüştür.

Tablo 4.2 İşlem süreleri (EKOK/ KEKOK)

| Dosya boyutu (MB) | İşlem süresi (sn) |          |
|-------------------|-------------------|----------|
|                   | EKOK              | KEKOK    |
| 50.792            | 890,3945          | 747,8075 |
| 32.473            | 386,2789          | 376,0224 |
| 27.975            | 311,7751          | 295,321  |
| 21.458            | 283,3895          | 254,4839 |
| 17.078            | 240,6583          | 234,4687 |
| 12.226            | 156,7434          | 153,2377 |
| 7.679             | 230,5681          | 212,6611 |
| 6.955             | 198,2478          | 192,5018 |
| 4.068             | 113,952           | 112,6921 |
| 3.188             | 79,1021           | 68,759   |

Çalışmada KEKOK'da kernel değişkeni de bir başka optimizasyon parametresi olarak ele alınmış birçok değer ile çalışmalar yapılmış 0-1 arasındaki değer aralığı için optimum sonuçların elde edildiği görülmüştür. Yine parametre değişikliği ile elde edilen doğru tespit ve yanlış alarm oranlarına ilişkin sonuçlar Tablo 4.3'te yer almaktadır. Kernel değerinin çok düşük olduğu durumda sistem ulaşması beklenen sonuca çok geç ulaşmaktadır. Çok yüksek bir kernel değişkeni tanımlandığı durumda da sistem olması gerekenden çok daha çabuk doyumluğa ulaştığından doğru sonuç verememektedir. Bu sebeple kernel değişkeninin belirlenmesi bu algoritma için önemli bir noktadır.

Tablo 4.3 Kernel parametre değeri karşılaştırması

| Kernel parametresi | Hedef sayısı:8 |             | Hedef sayısı:4 |             |
|--------------------|----------------|-------------|----------------|-------------|
|                    | Yanlış alarm   | Doğru Alarm | Yanlış alarm   | Doğru Alarm |
| 0.280              | 0              | 8           | 0              | 4           |
| 0.756              | 0              | 8           | 0              | 4           |
| 5                  | 2              | 8           | 1              | 4           |

Bununla birlikte, KEKOK algoritması için elde edilen sonuçlara göre hala yüksek işlem süreleri gerekmektedir. Ayrıca bu algoritma için bölgede taramanın yapılması sonrasında görüntü işleme algoritmalarının çalıştırılmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu da çalışmayı bir sonraki adıma taşımıştır.

Gerçek zamanlı olarak anlık elde edilen veriyi işleme alabilecek çapraz korelasyon yöntemi ile yine aynı veri seti üzerine uygulanan işlemlerden elde edilen sürelerin diğer iki algoritmaya göre dramatik bir fark yarattığı gözlenmiştir (Tablo 4.4).



Tablo 4.4 İşlem süreleri (EKOK/ KEKOK/ Çapraz Korelasyon)

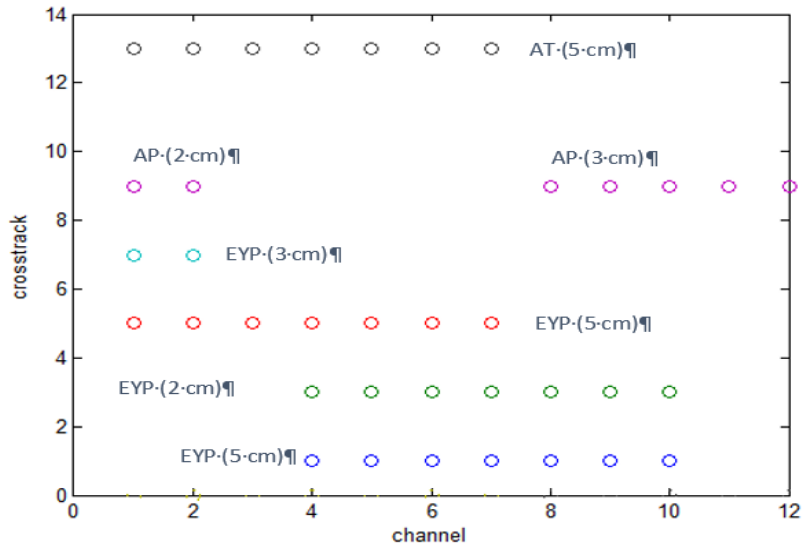
| Dosya boyutu (MB) | İşlem süresi (sn) |          |                   |
|-------------------|-------------------|----------|-------------------|
|                   | EKOK              | KEKOK    | Çapraz Korelasyon |
| 50.792            | 890,3945          | 747,8075 | 111,0541          |
| 32.473            | 386,2789          | 376,0224 | 58,9146           |
| 27.975            | 311,7751          | 295,321  | 33,2165           |
| 21.458            | 283,3895          | 254,4839 | 21,7341           |
| 17.078            | 240,6583          | 234,4687 | 35,5304           |
| 12.226            | 156,7434          | 153,2377 | 24,2525           |
| 7.679             | 230,5681          | 212,6611 | 7,7004            |
| 6.955             | 198,2478          | 192,5018 | 11,7338           |
| 4.068             | 113,952           | 112,6921 | 7,0028            |
| 3.188             | 79,1021           | 68,759   | 5,4738            |

İşlem süreleri ve parametre çalışmalarının yanı sıra farklı toprak tiplerinde sistem etkinliği de incelenmiştir.

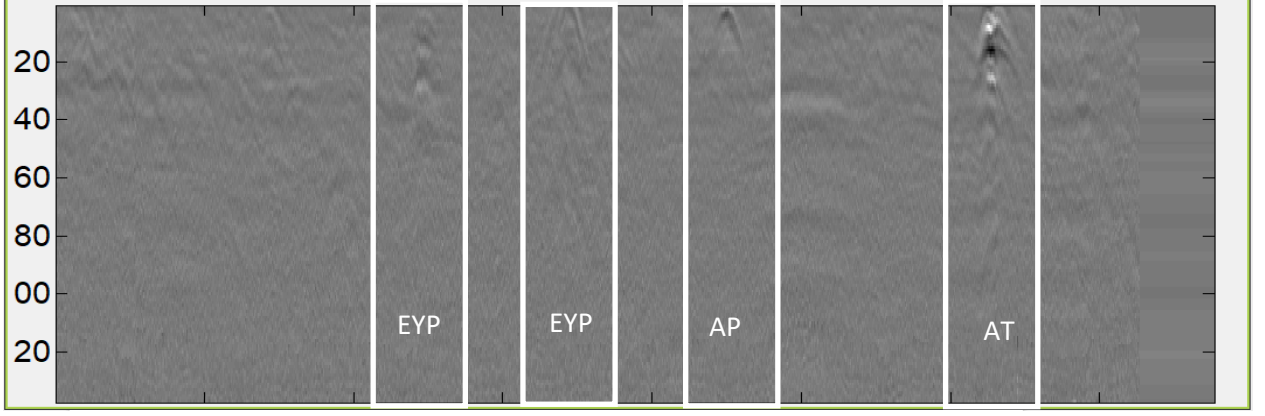
Aşağıda 3 farklı toprak tipinde zemine gömülen çeşitli tehditler için elde edilen radar verilerine tez çalışması kapsamında incelenen KEKOK ve çapraz korelasyon yöntemlerinin uygulanması sonucu elde edilen sonuçlar yer almaktadır.

#### 4.3.1 Senaryo 1:

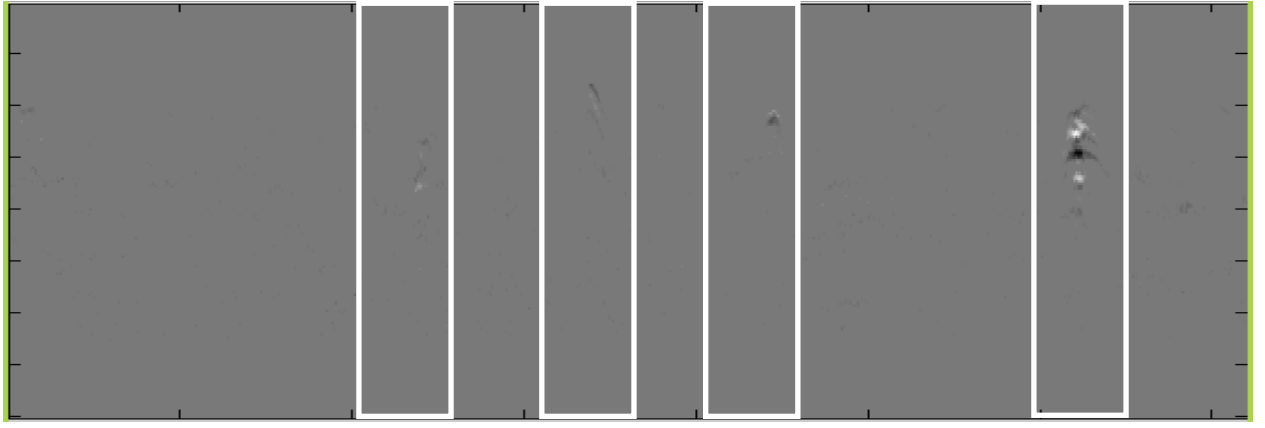
Test alanında tınlı kum zemin kullanılarak toplamda 7 adet farklı yapıdaki hedefler Şekil-4.4'te verilen noktalara yerleştirilmiştir. y-ekseni radarın ilerleme yönünü, x-ekseni de radarın kanal bilgilerini vermektedir. Tınlı kum, kum zeminden biraz daha büyük parçacıklar içeren yapıda bir zemindir.



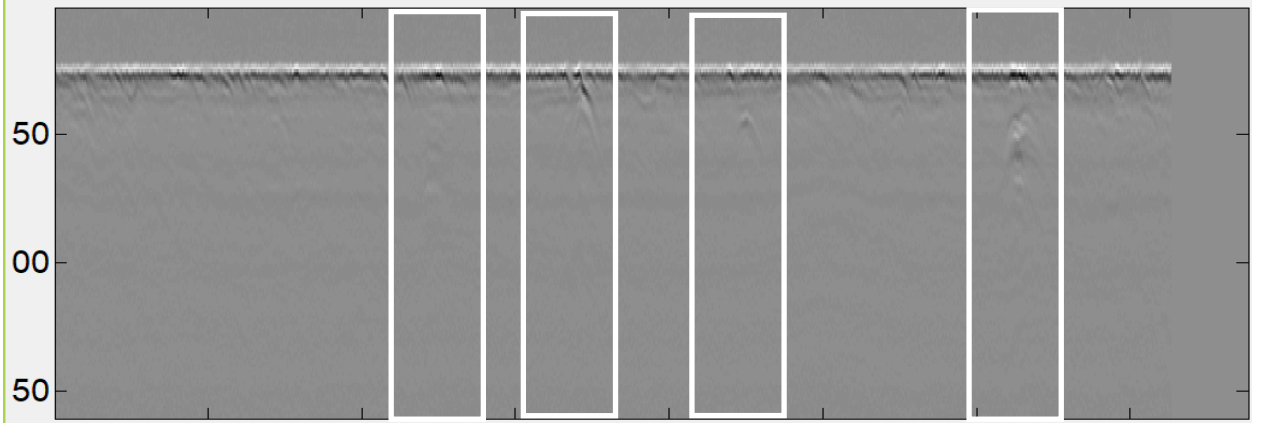
Şekil 4.4 Senaryo-1 Hedef yerleşimleri



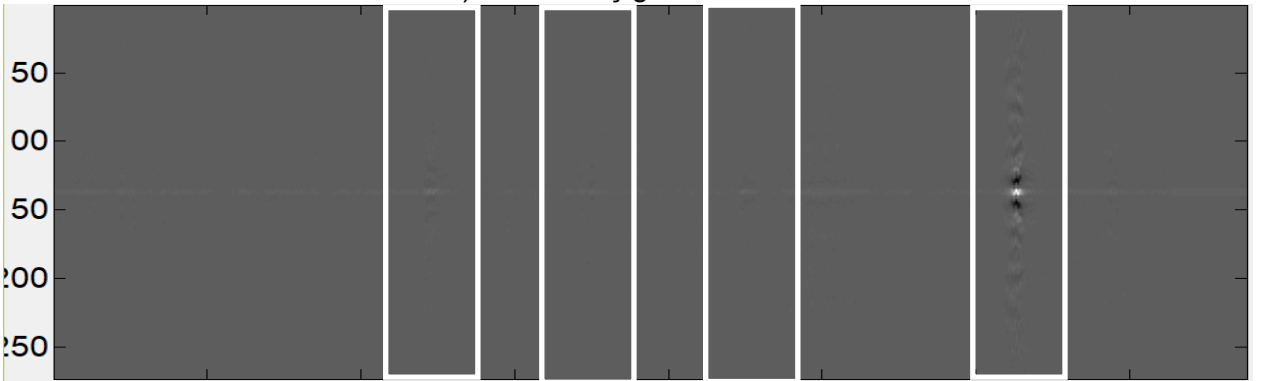
a) Yer yüzeyi yansımaları temizlenmiş ve beyazlatma uygulanmış görüntü



b) KEKOK algoritması hata fonksiyonu görüntüsü

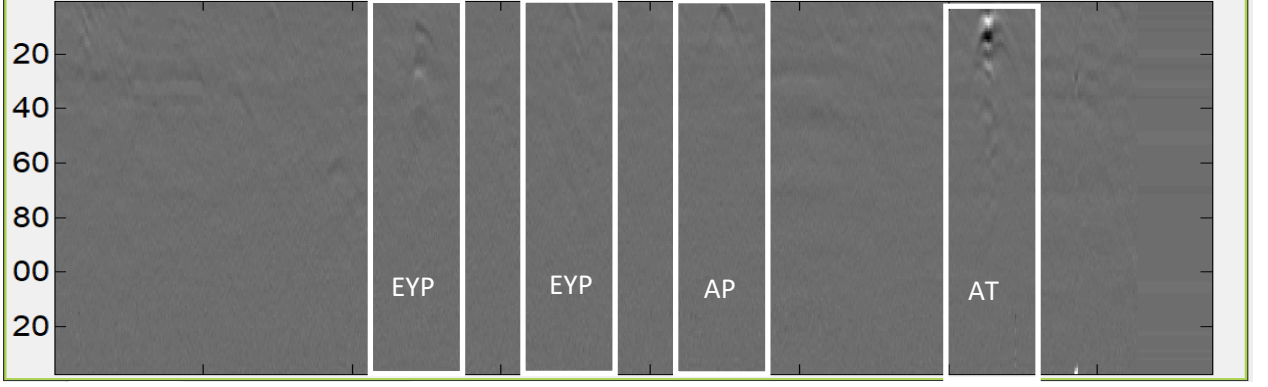


c) Hizalanmış görüntü

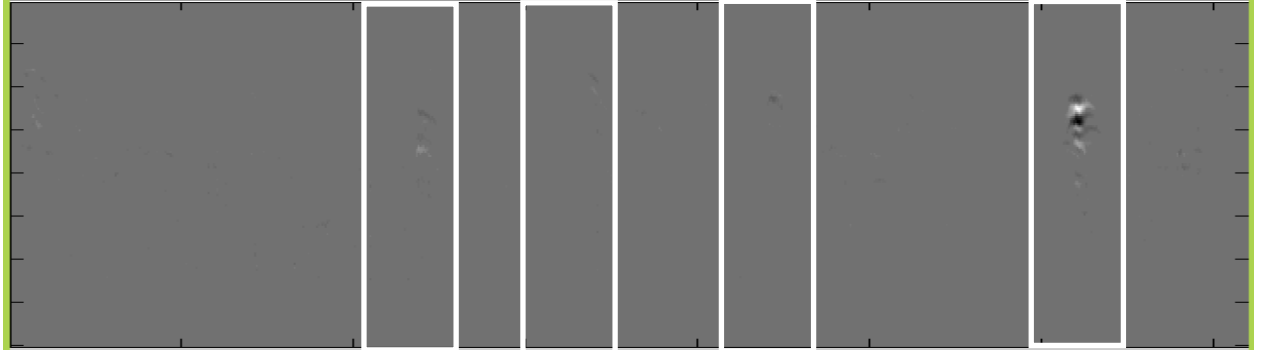


d) Çapraz korelasyon algoritması uygulanmış görüntü

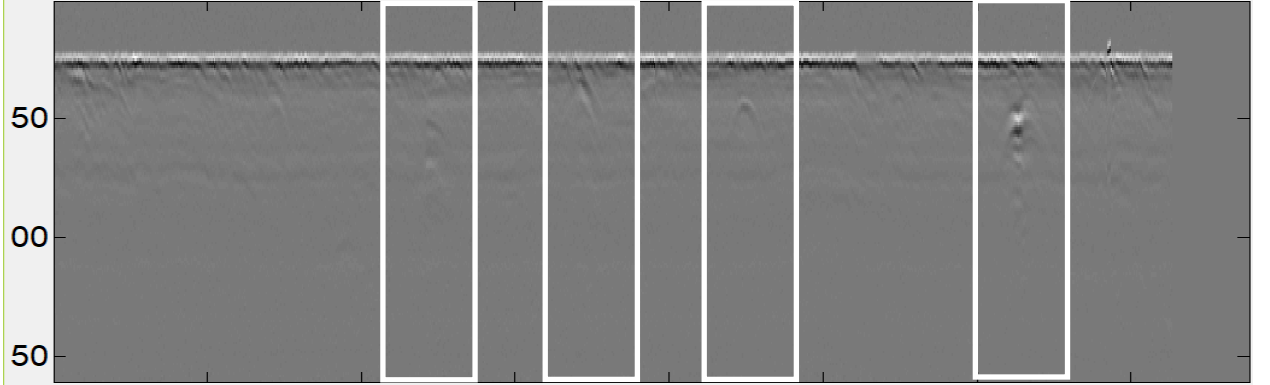
Şekil 4.5 Senaryo-1 Kanal 1



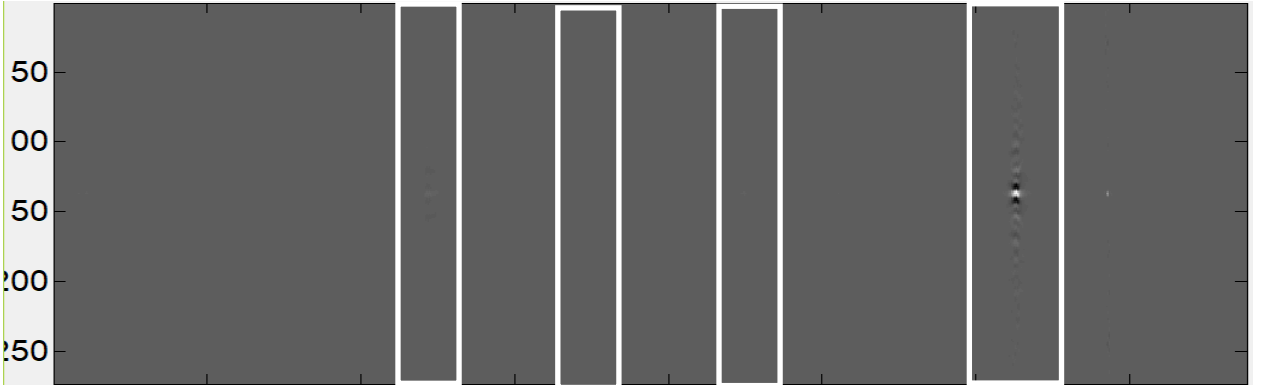
a) Yer yüzeyi yansımaları temizlenmiş ve beyazlatma uygulanmış görüntü



b) KEKOK algoritması hata fonksiyonu görüntüsü

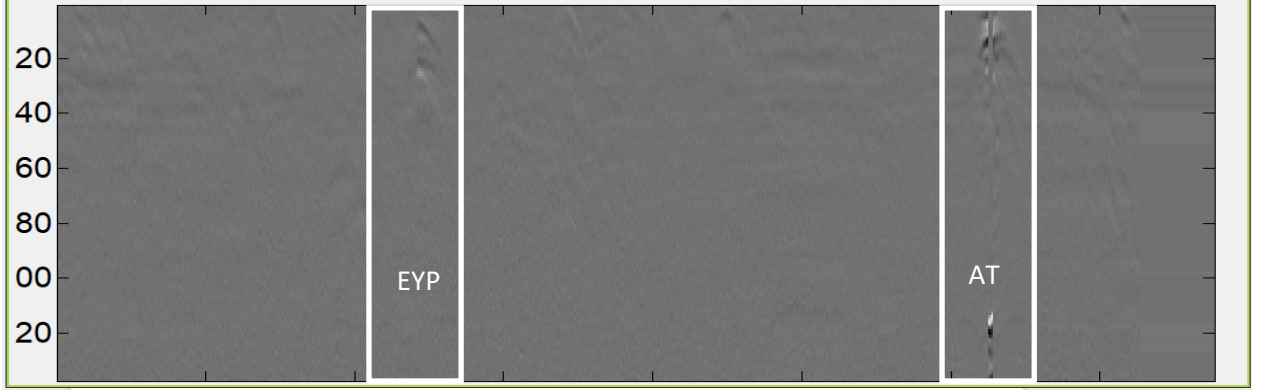


c) Hizalanmış görüntü

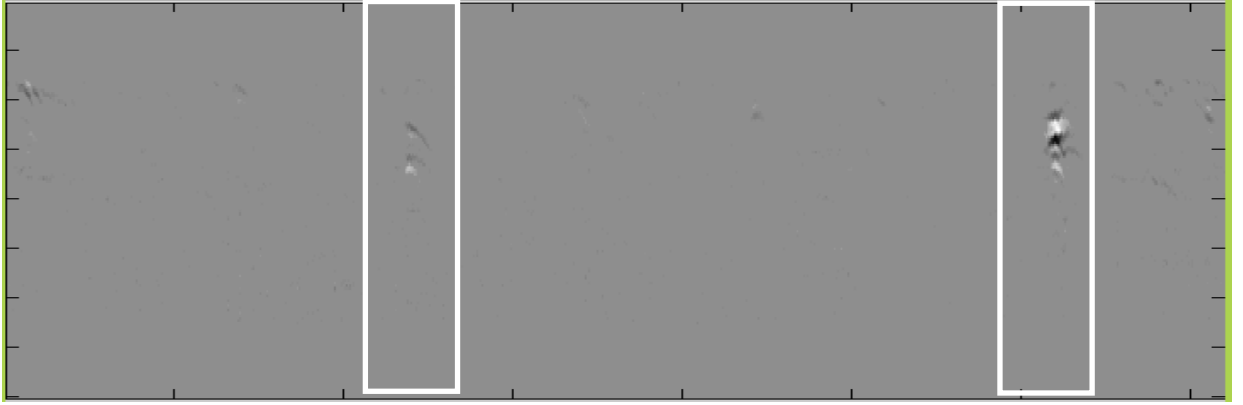


d) Çapraz korelasyon algoritması uygulanmış görüntü

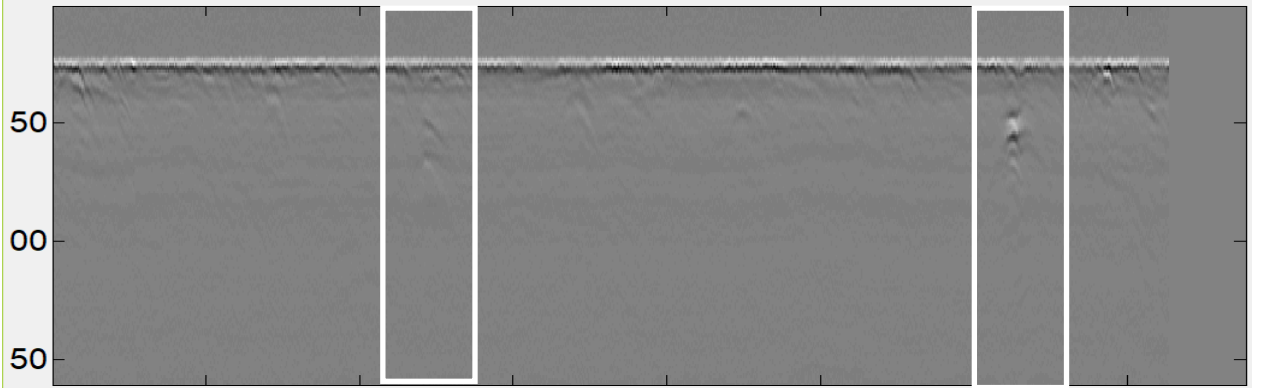
Şekil 4.6 Senaryo-1 Kanal 2



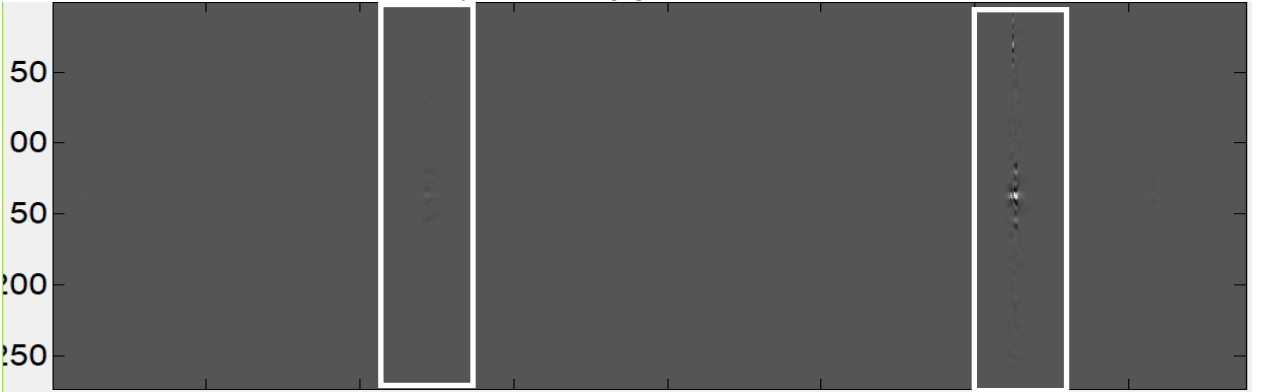
a) Yer yüzeyi yansımaları temizlenmiş ve beyazlatma uygulanmış görüntü



b) KEKOK algoritması hata fonksiyonu görüntüsü

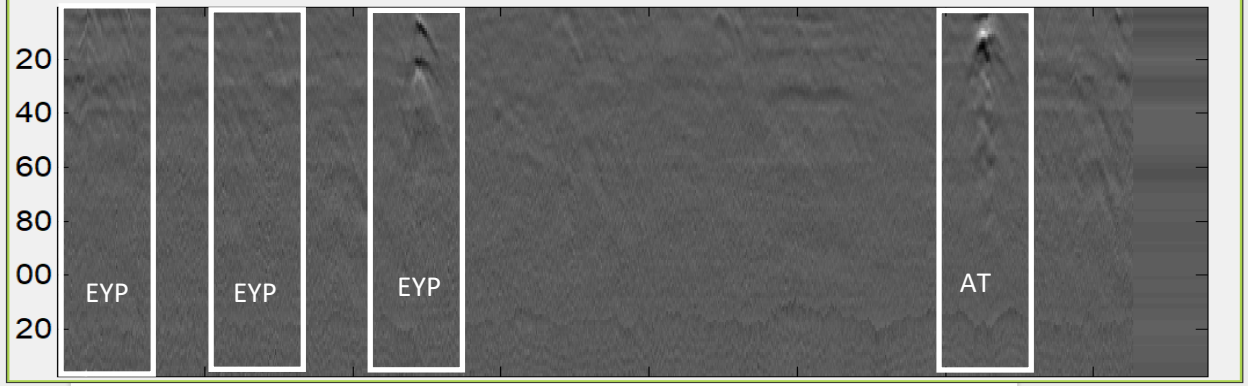


c) Hizalanmış görüntü

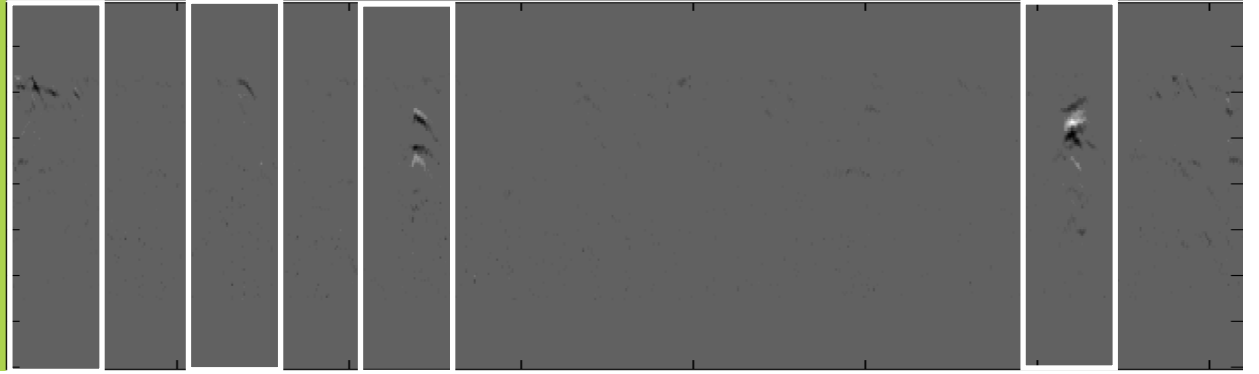


d) Çapraz korelasyon algoritması uygulanmış görüntü

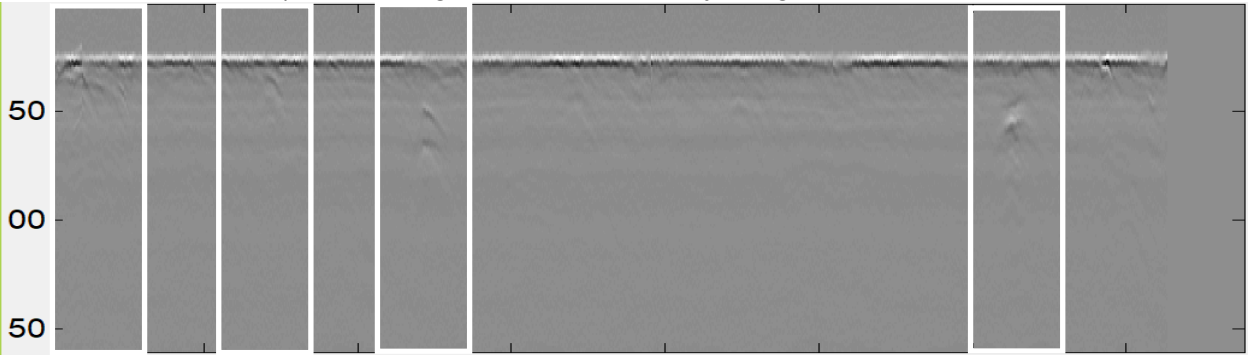
Şekil 4.7 Senaryo-1 Kanal 3



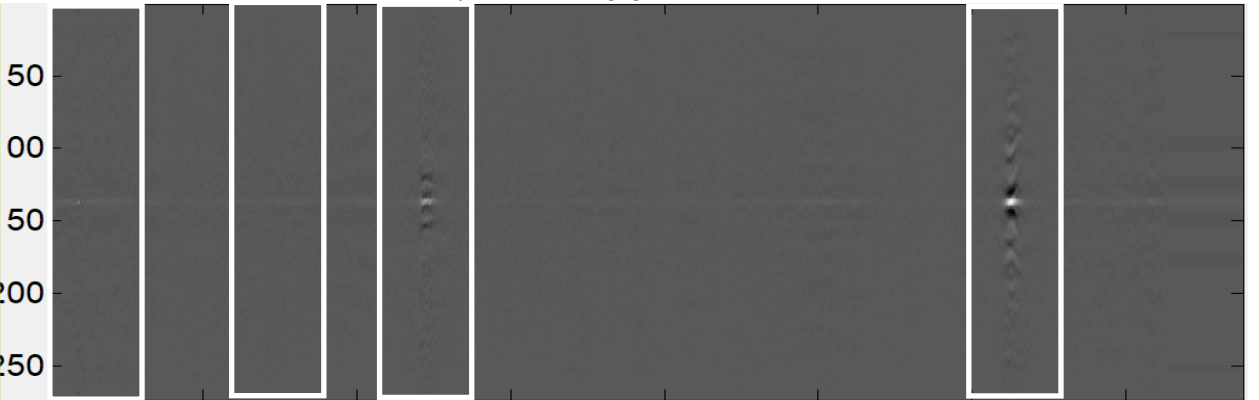
a) Yer yüzeyi yansımı temizlenmiş ve beyazlatma uygulanmış görüntü



b) KEKOK algoritması hata fonksiyonu görüntüsü

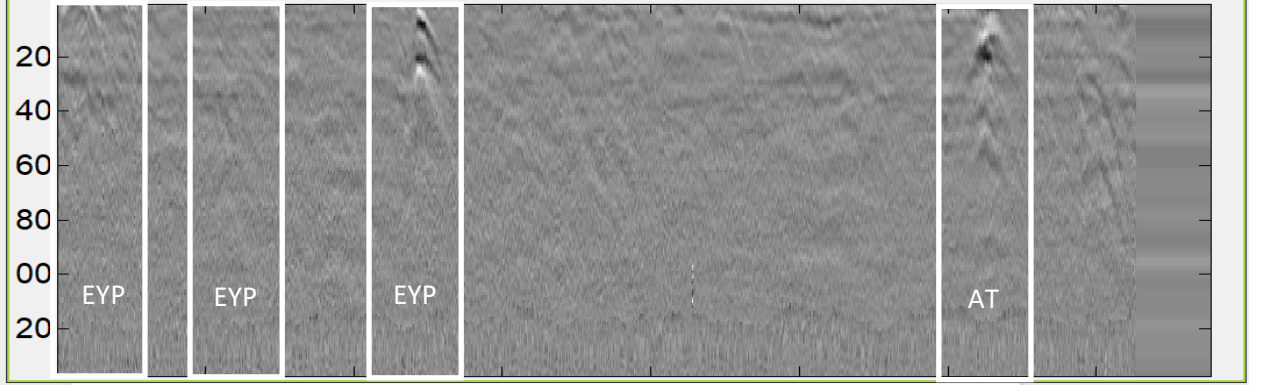


c) Hizalanmış görüntü

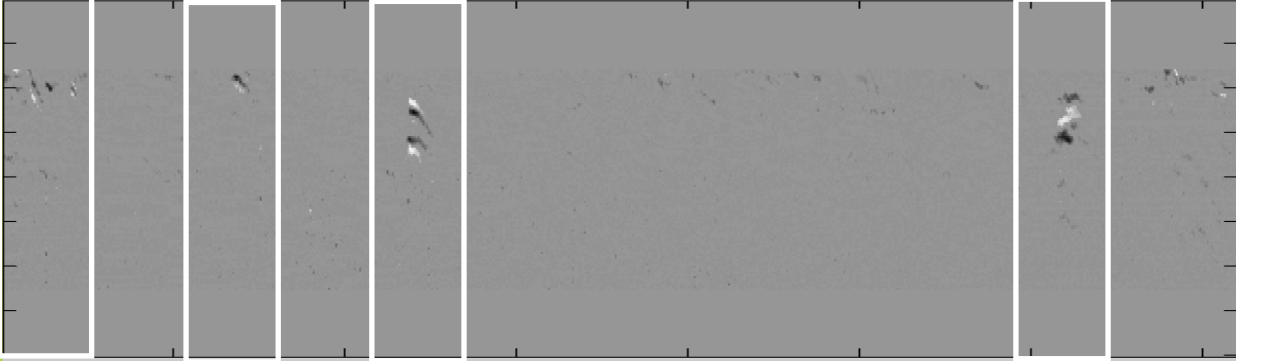


d) Çapraz korelasyon algoritması uygulanmış görüntü

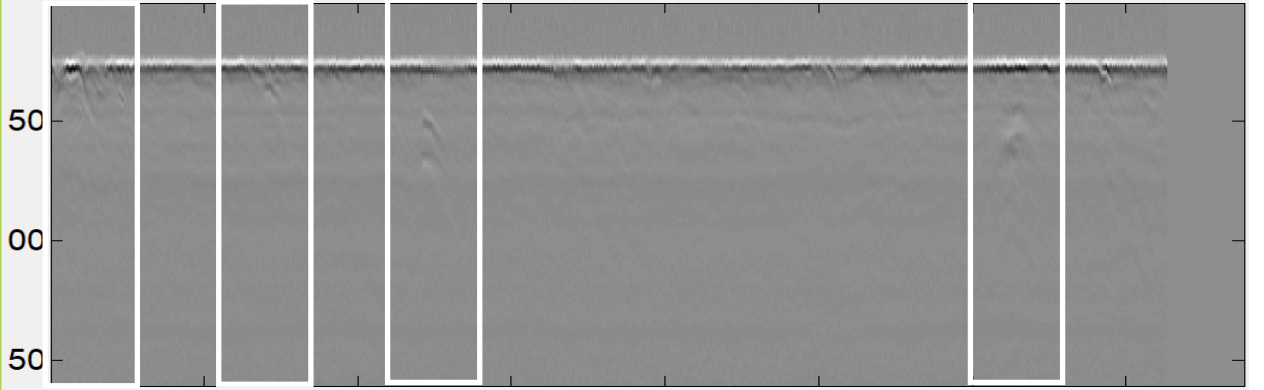
Şekil 4.8 Senaryo-1 Kanal 4



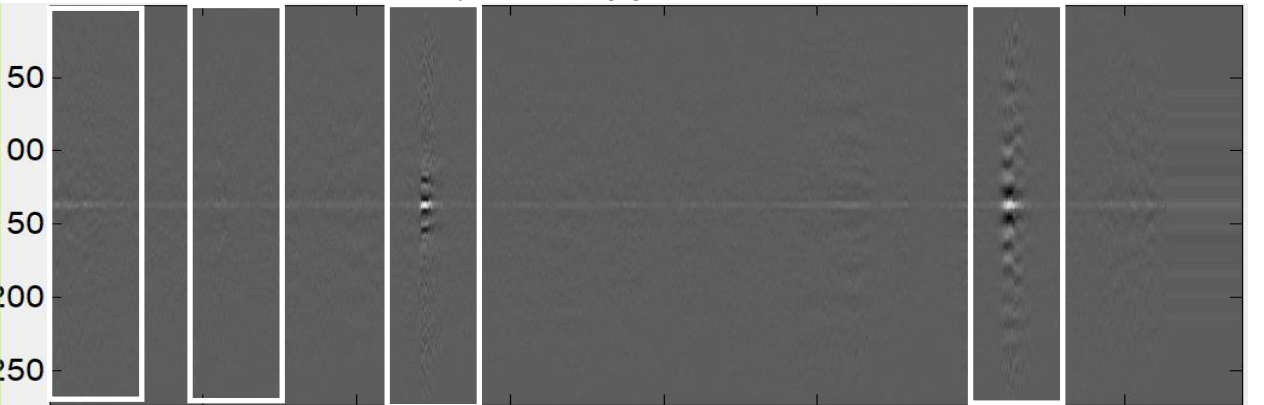
a) Yer yüzeyi yansımaları temizlenmiş ve beyazlatma uygulanmış görüntü



b) KEKOK algoritması hata fonksiyonu görüntüsü

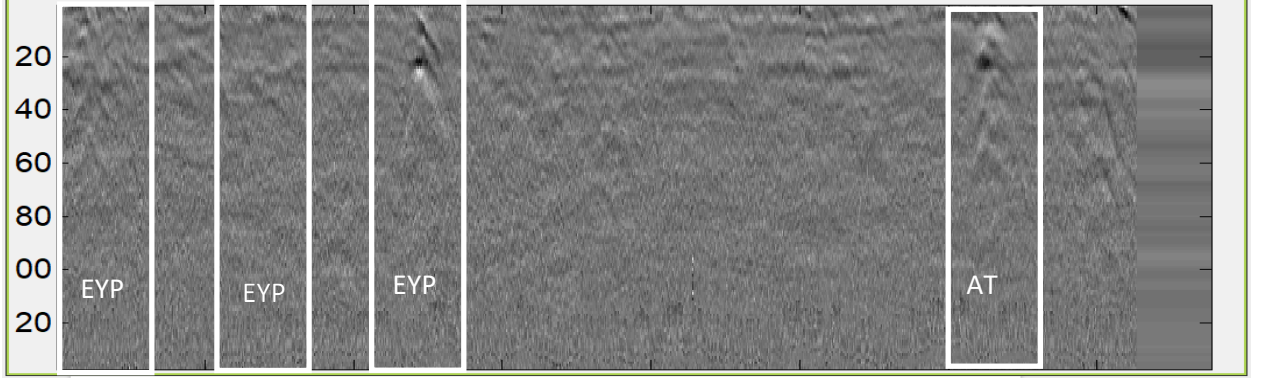


c) Hizalanmış görüntü

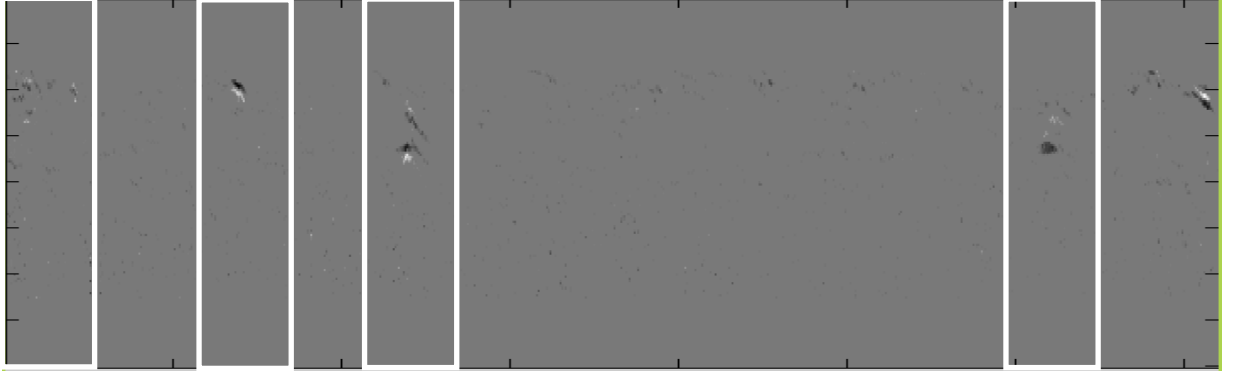


d) Çapraz korelasyon algoritması uygulanmış görüntü

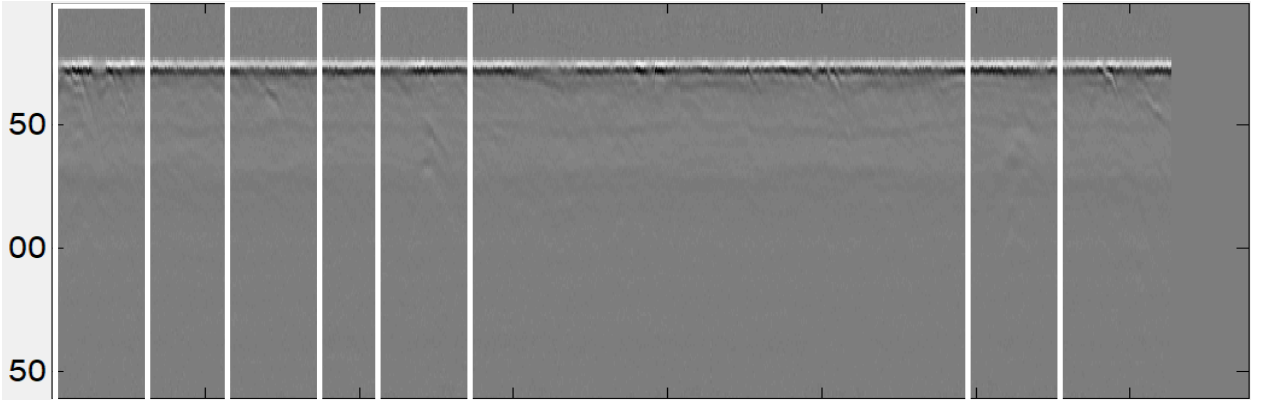
Şekil 4.9 Senaryo-1 Kanal 5



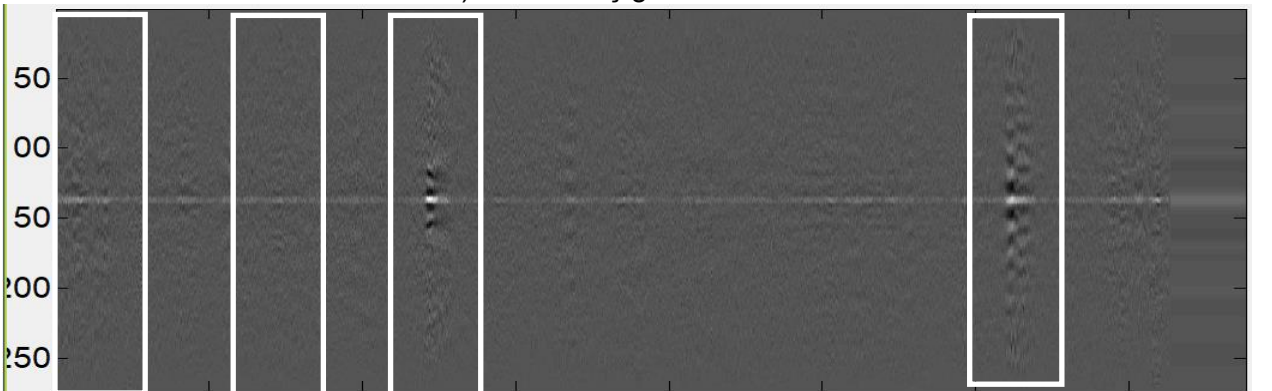
a) Yer yüzeyi yansımı temizlenmiş ve beyazlatma uygulanmış görüntü



b) KEKOK algoritması hata fonksiyonu görüntüsü

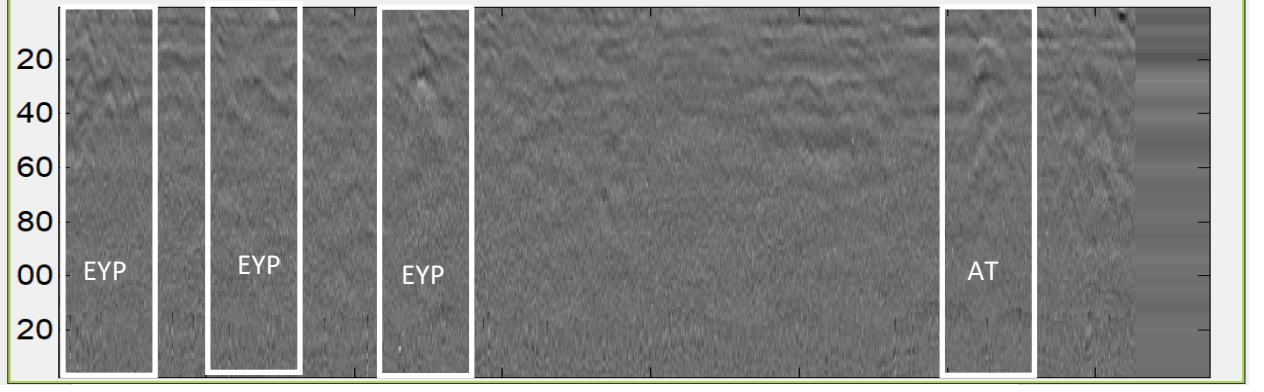


c) Hizalanmış görüntü

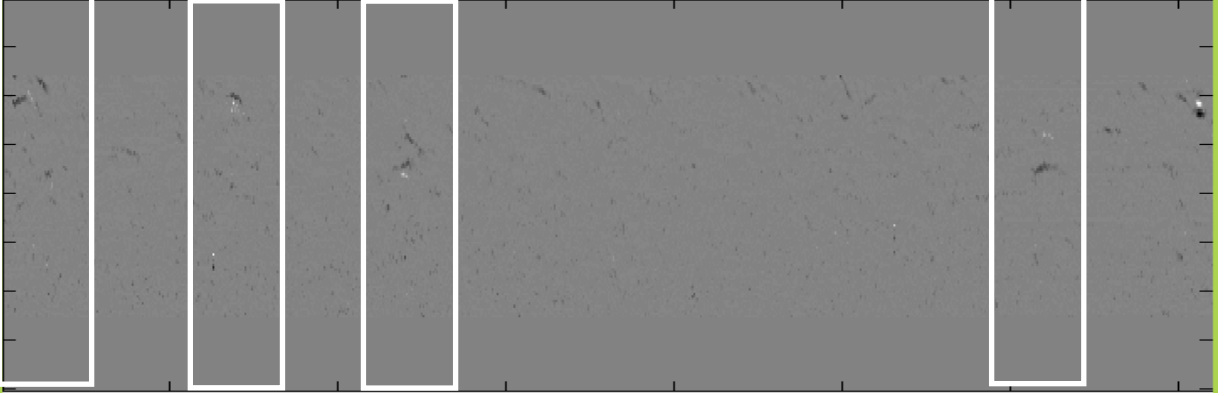


d) Çapraz korelasyon algoritması uygulanmış görüntü

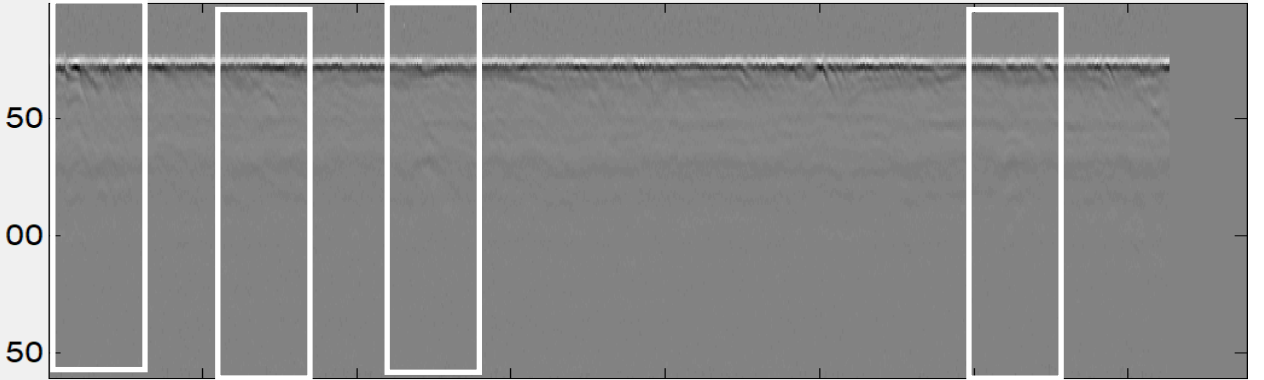
Şekil 4.10 Senaryo-1 Kanal 6



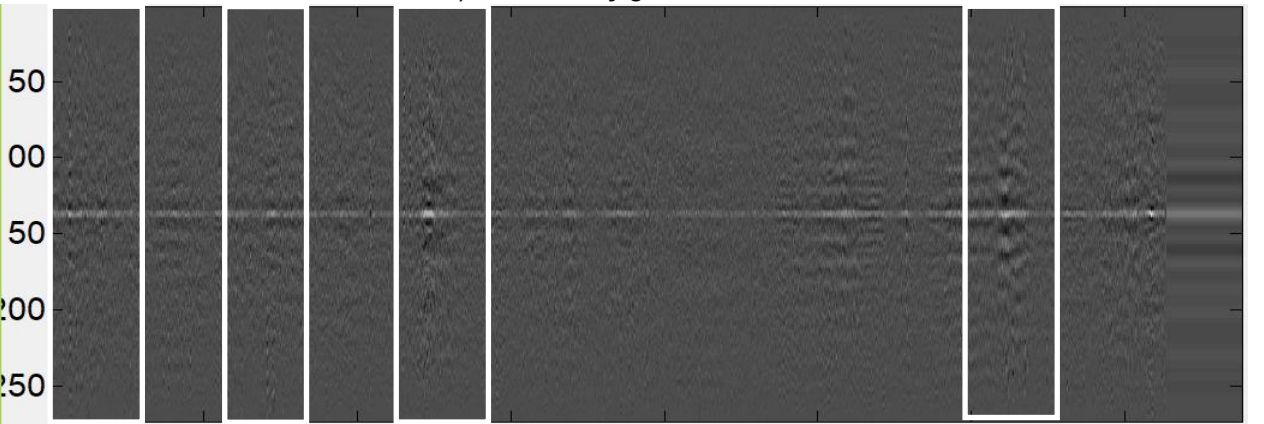
a) Yer yüzeyi yansımaları temizlenmiş ve beyazlatma uygulanmış görüntü



b) KEKOK algoritması hata fonksiyonu görüntüsü



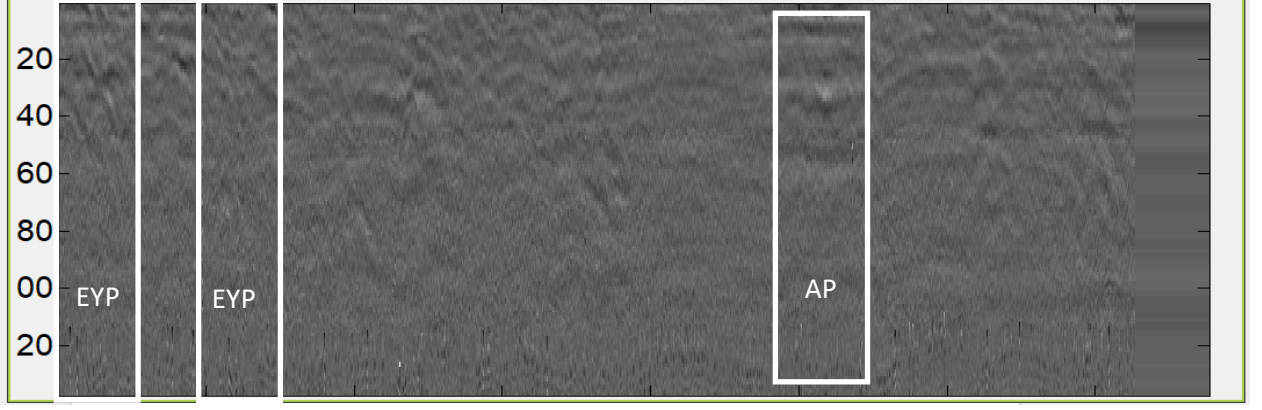
c) Hizalanmış görüntü



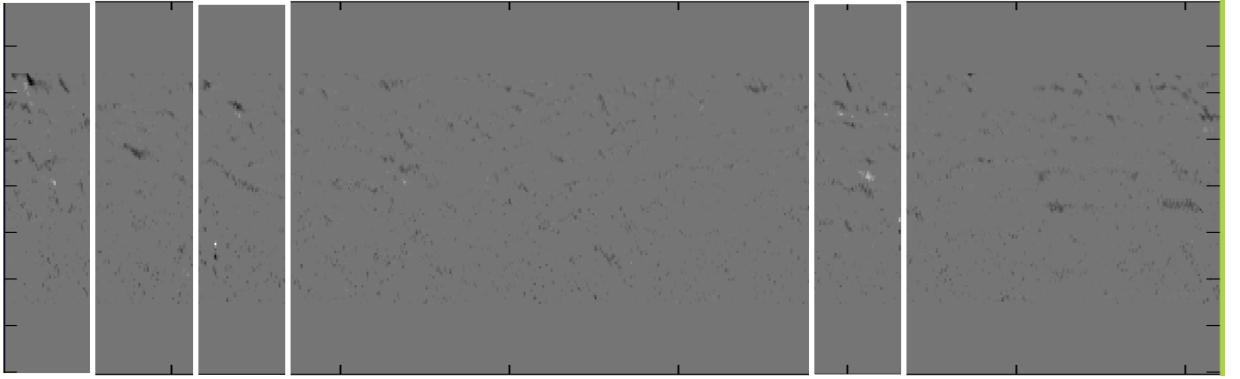
d) Çapraz korelasyon algoritması uygulanmış görüntü

Şekil 4.11 Senaryo-1 Kanal 7

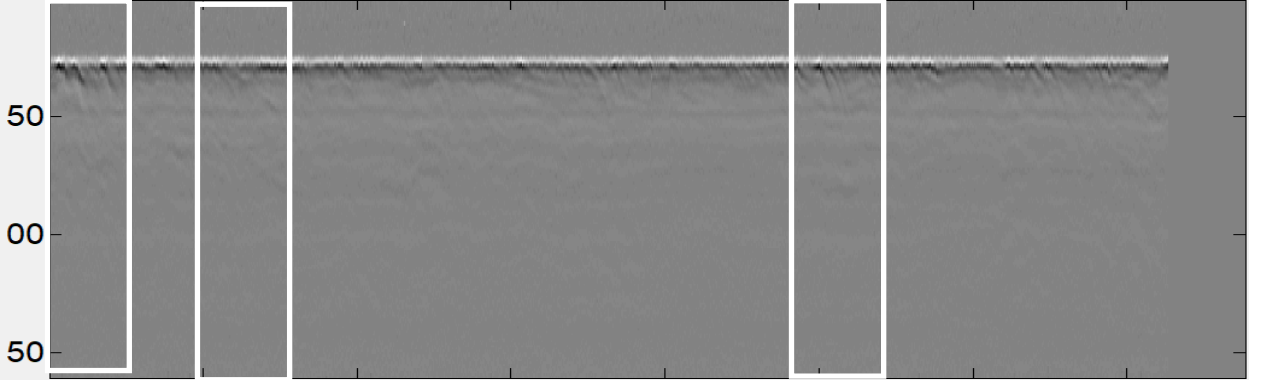




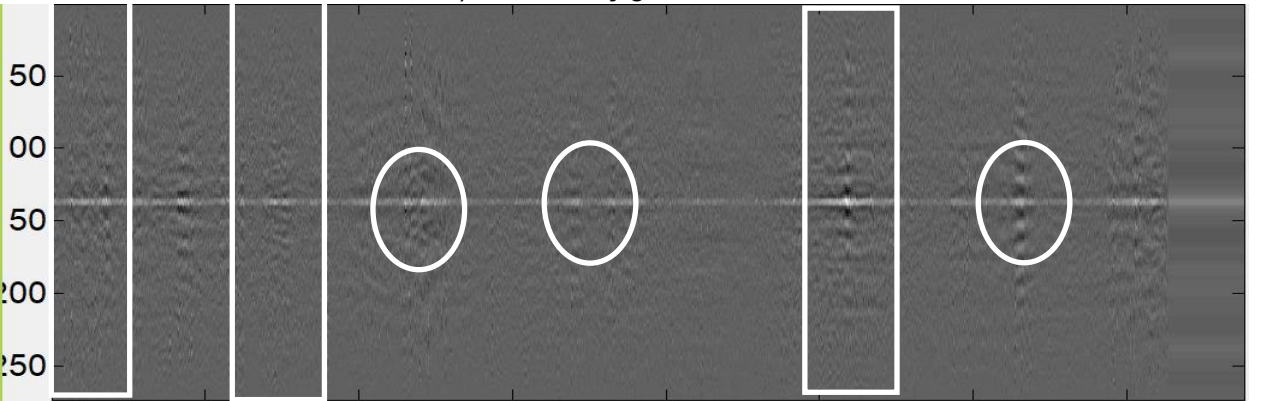
a) Yer yüzeyi yansımı temizlenmiş ve beyazlatma uygulanmış görüntü



b) KEKOK algoritması hata fonksiyonu görüntüsü

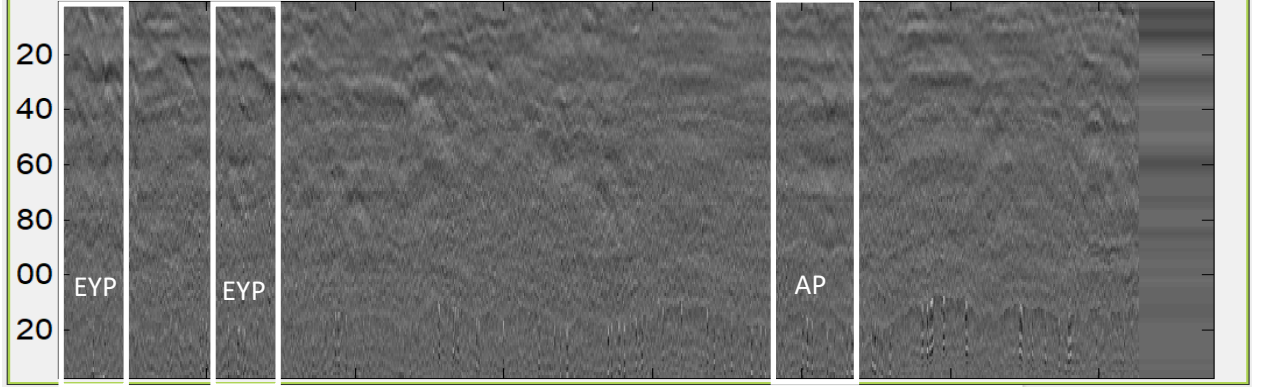


c) Hizalanmış görüntü

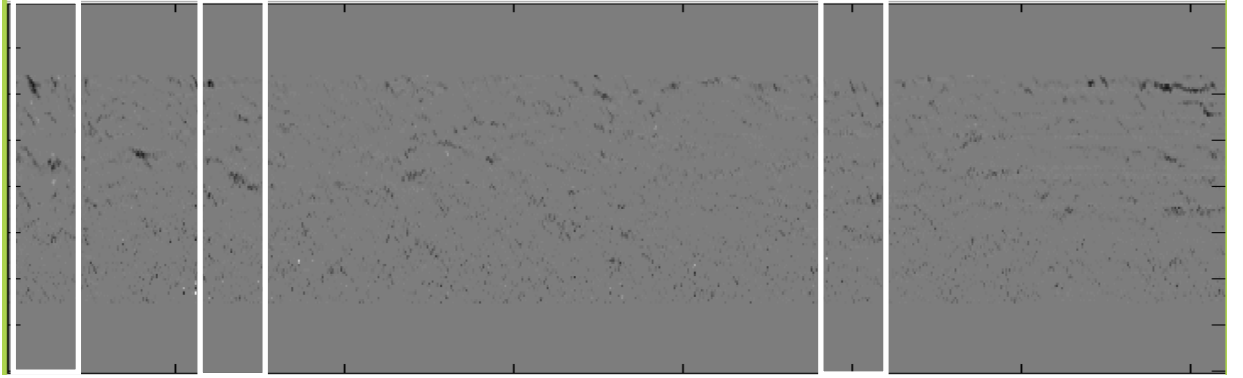


d) Çapraz korelasyon algoritması uygulanmış görüntü

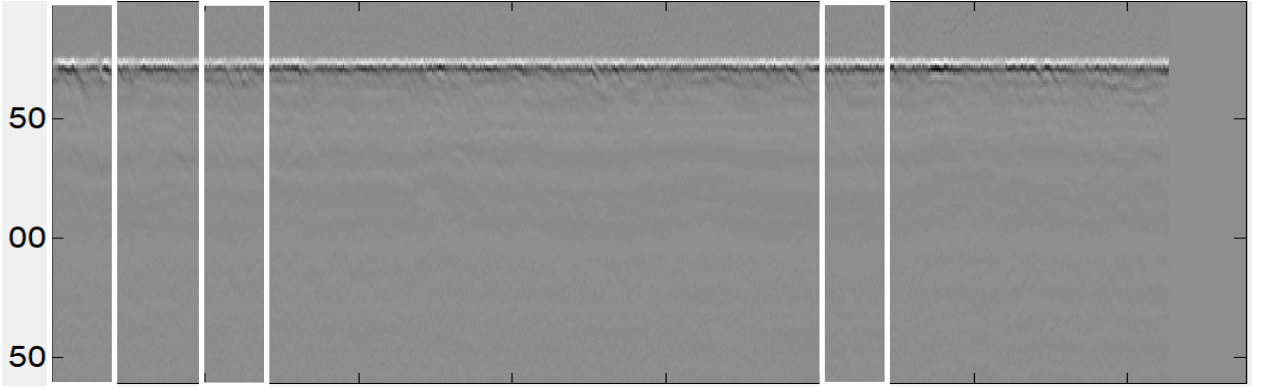
Şekil 4.12 Senaryo-1 Kanal 8



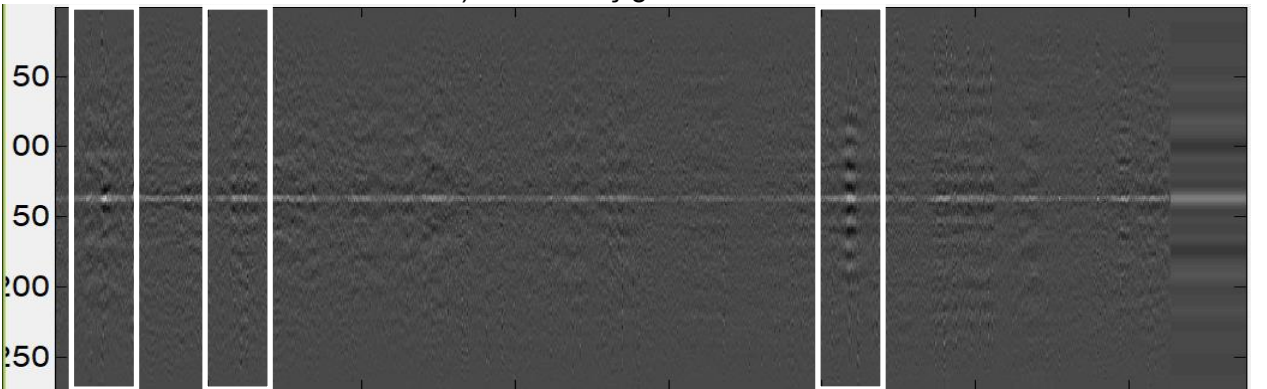
a) Yer yüzeyi yansımaları temizlenmiş ve beyazlatma uygulanmış görüntü



b) KEKOK algoritması hata fonksiyonu görüntüsü

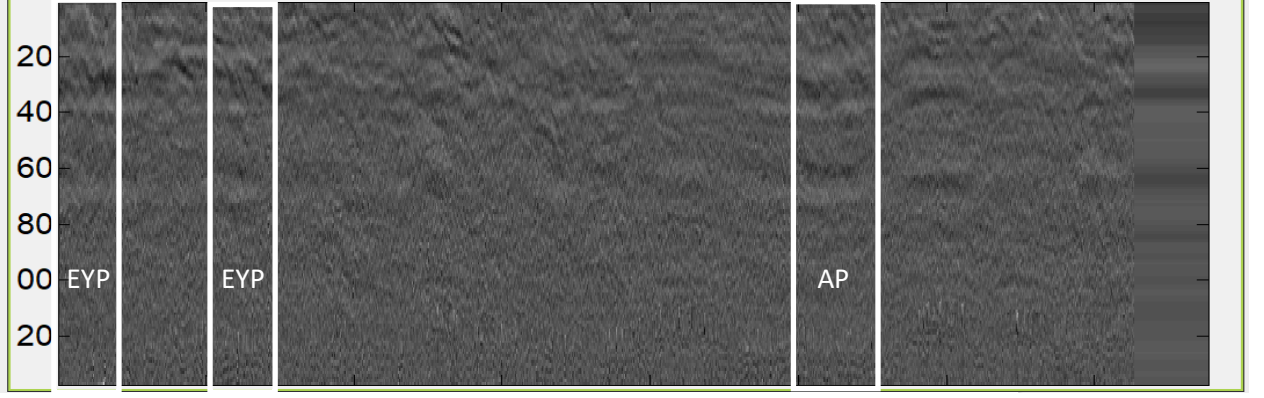


c) Hizalanmış görüntü

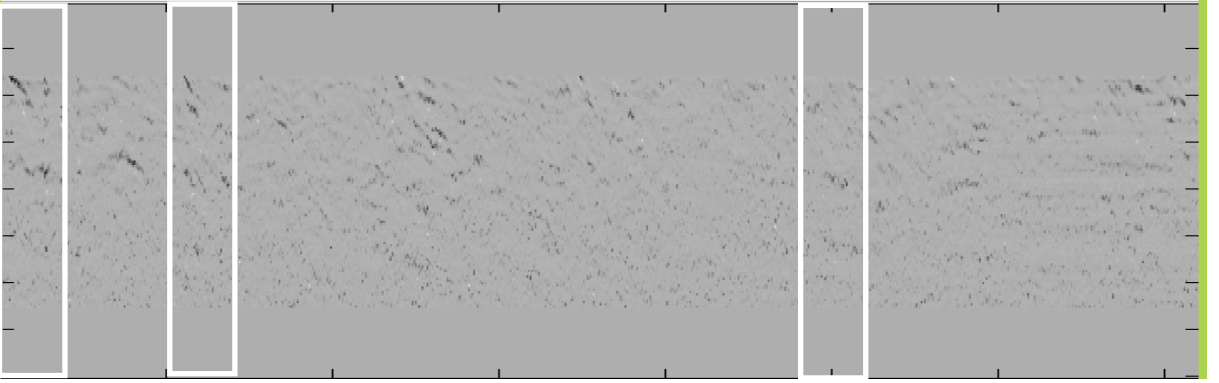


d) Çapraz korelasyon algoritması uygulanmış görüntü

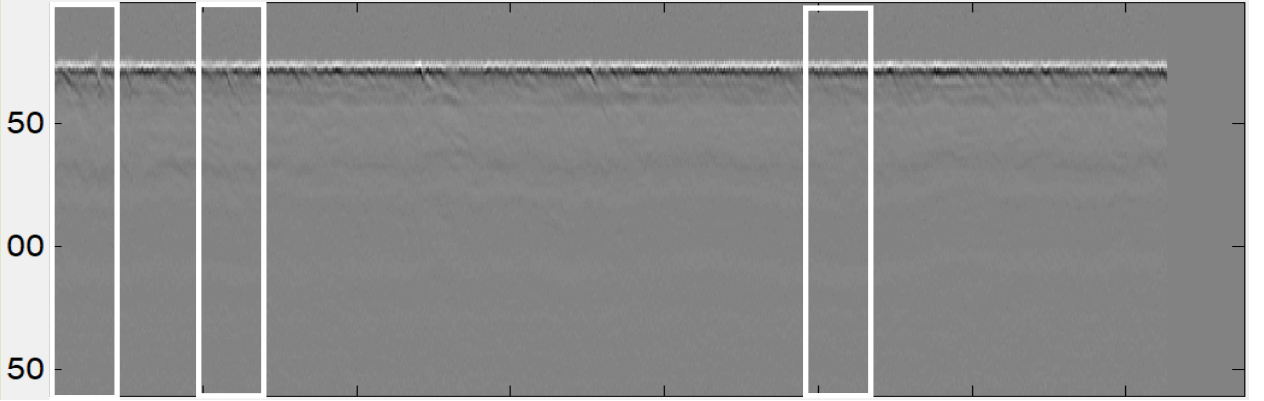
Şekil 4.13 Senaryo-1 Kanal 9



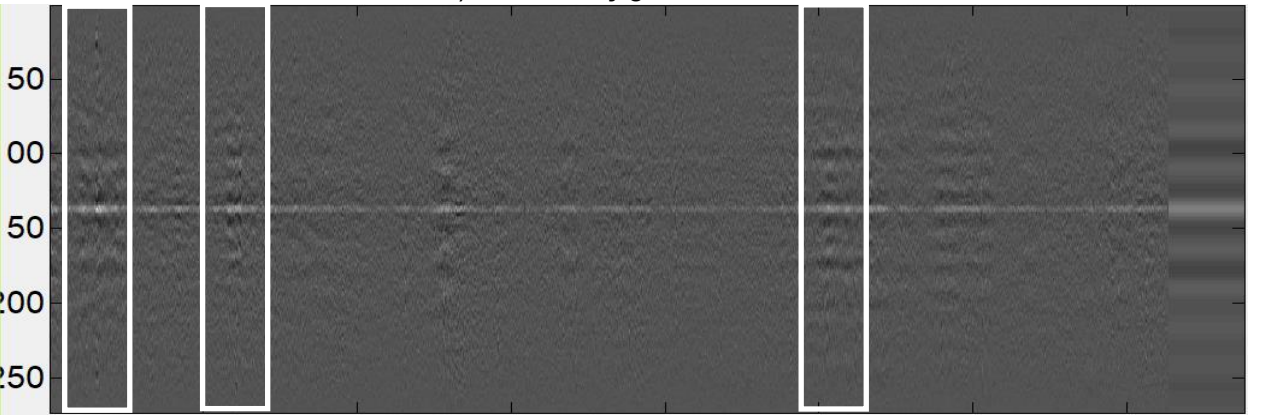
a) Yer yüzeyi yansması temizlenmiş ve beyazlatma uygulanmış görüntü



b) KEKOK algoritması hata fonksiyonu görüntüsü

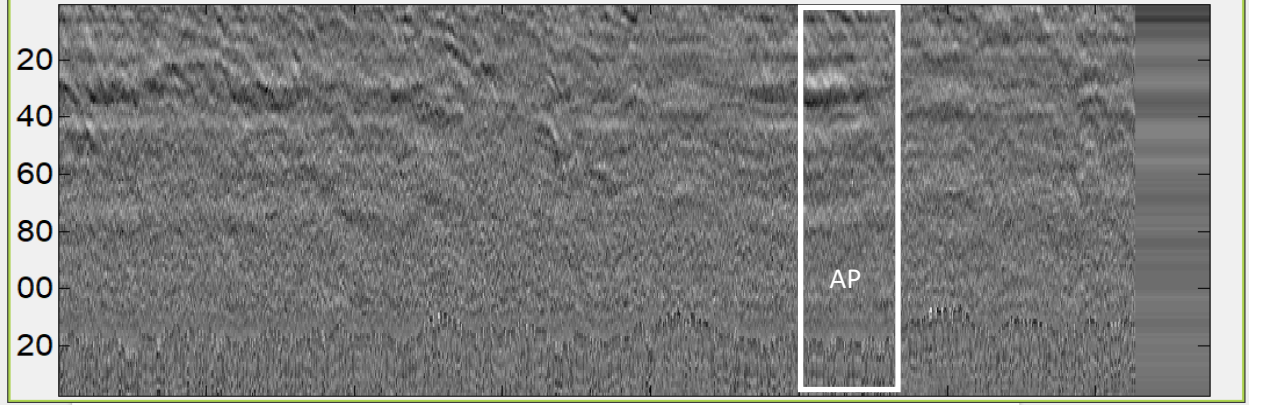


c) Hizalanmış görüntü

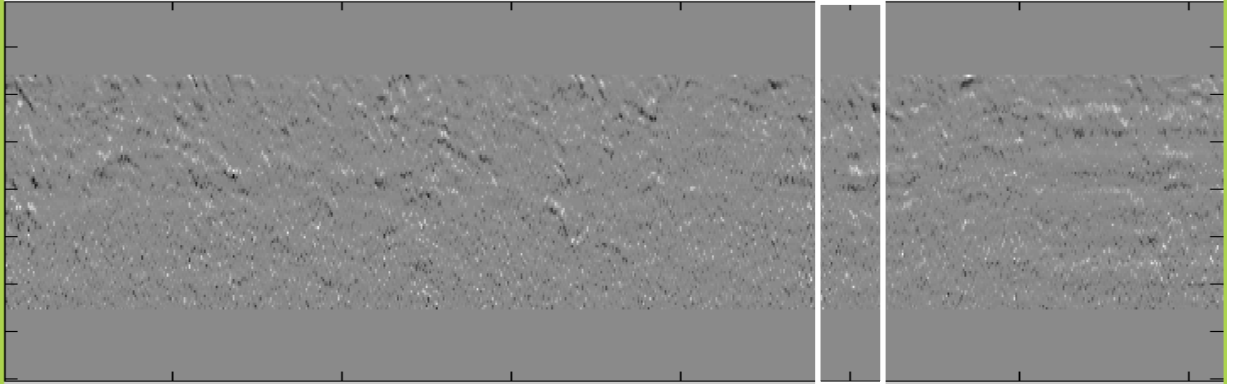


d) Çapraz korelasyon algoritması uygulanmış görüntü

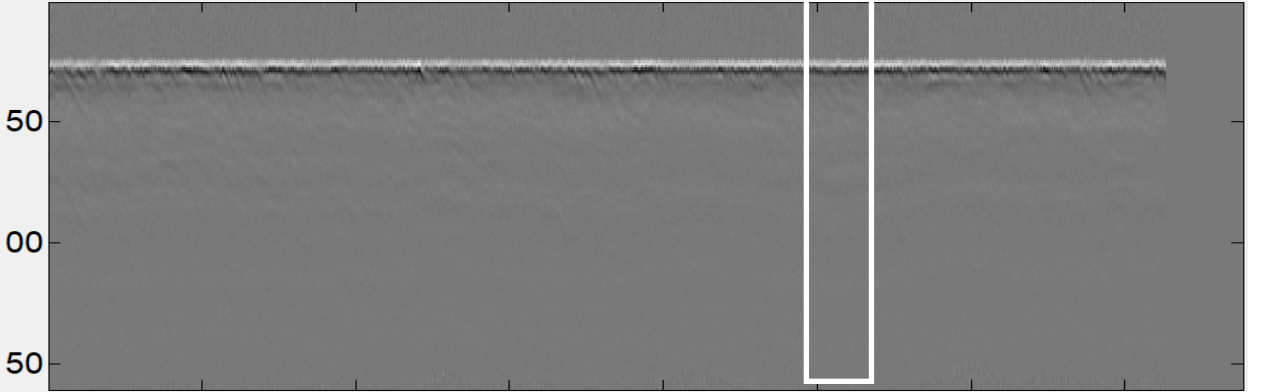
Şekil 4.14 Senaryo-1 Kanal 10



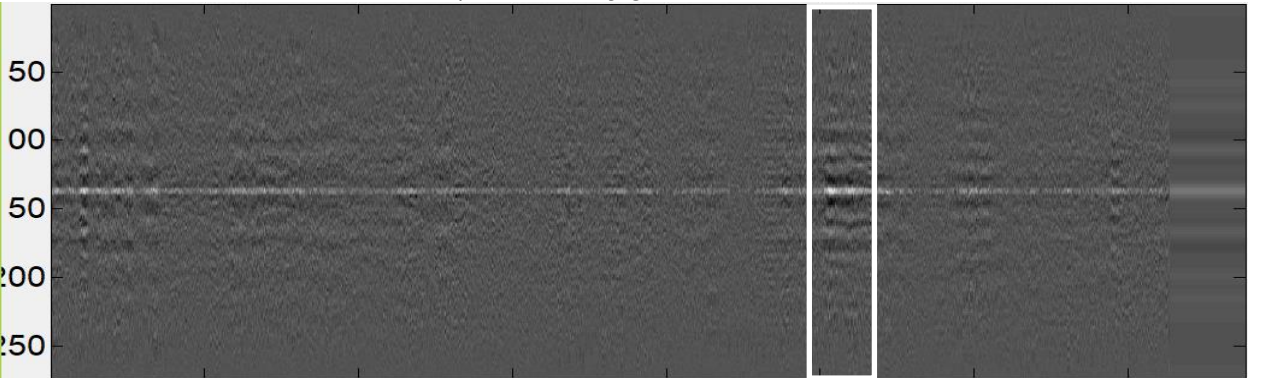
a) Yer yüzeyi yansımaları temizlenmiş ve beyazlatma uygulanmış görüntü



b) KEKOK algoritması hata fonksiyonu görüntüsü

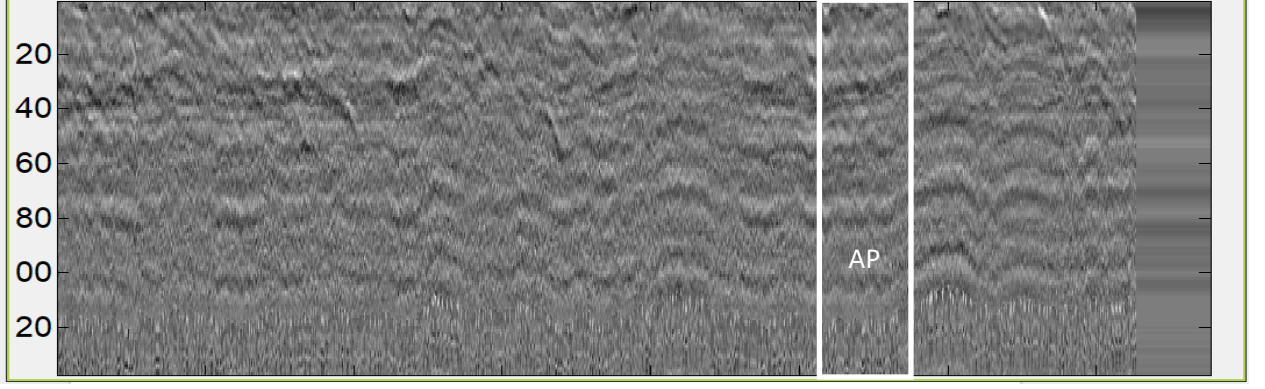


c) Hizalanmış görüntü

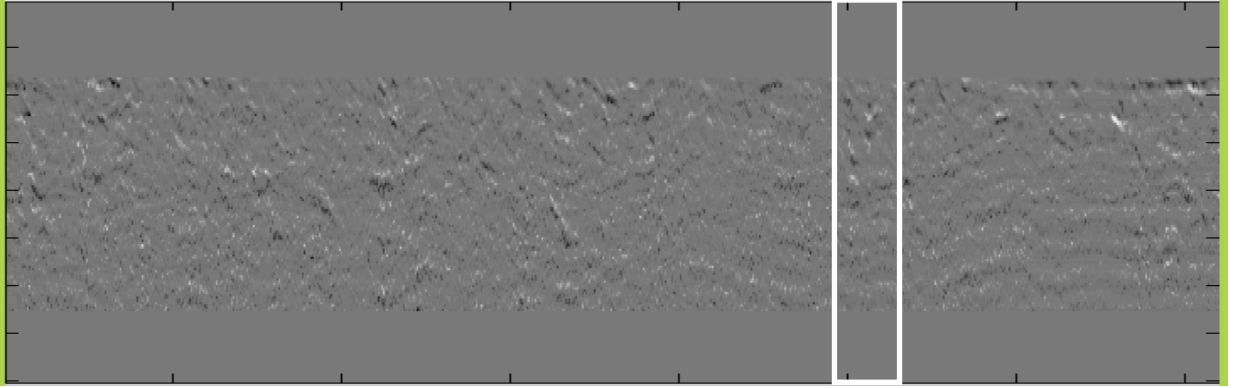


d) Çapraz korelasyon algoritması uygulanmış görüntü

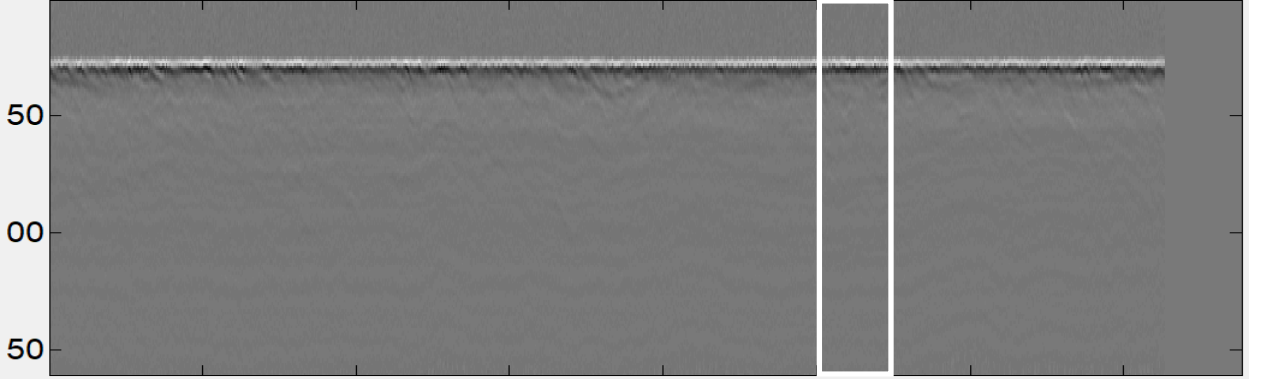
Şekil 4.15 Senaryo-1 Kanal 11



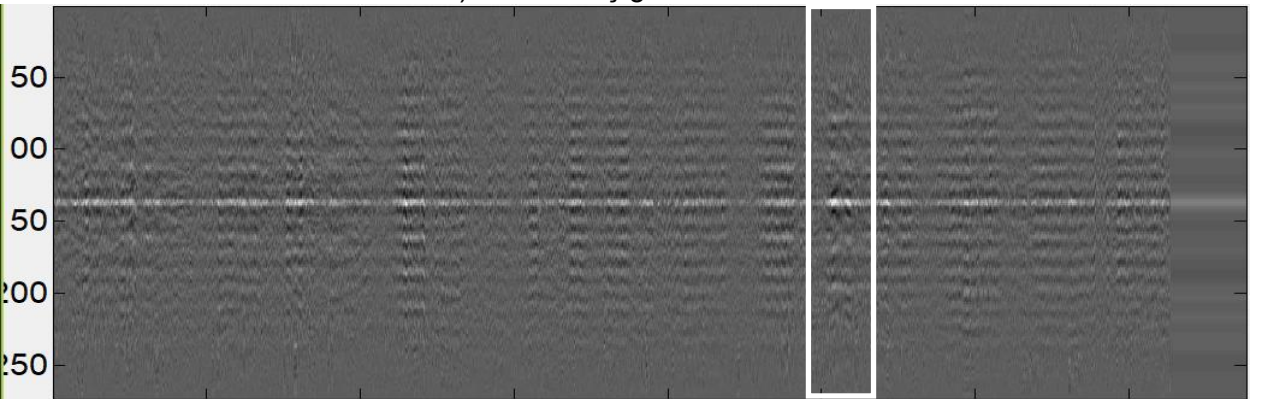
a) Yer yüzeyi yansımaları temizlenmiş ve beyazlatma uygulanmış görüntü



b) KEKOK algoritması hata fonksiyonu görüntüsü



c) Hizalanmış görüntü



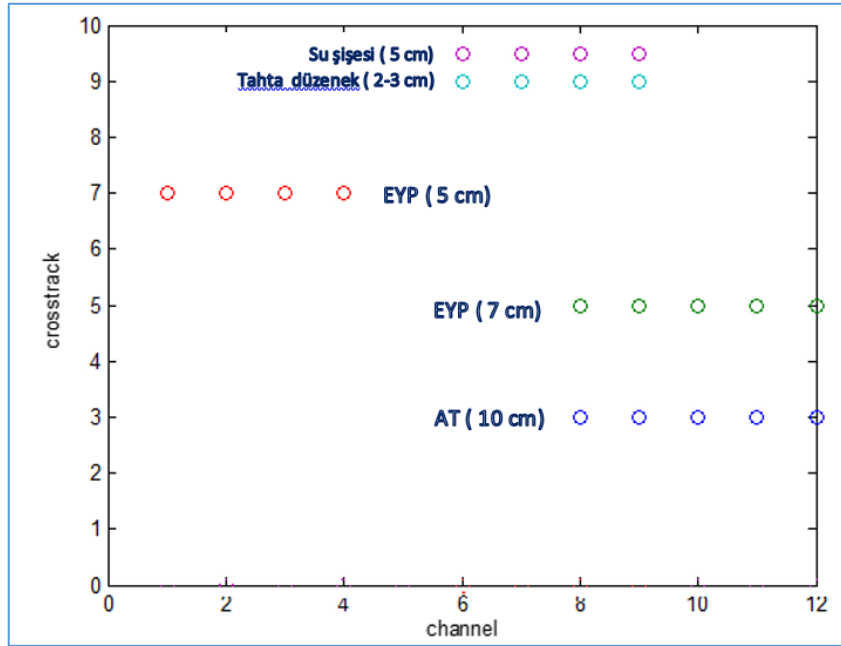
d) Çapraz korelasyon algoritması uygulanmış görüntü

Şekil 4.16 Senaryo-1 Kanal 12

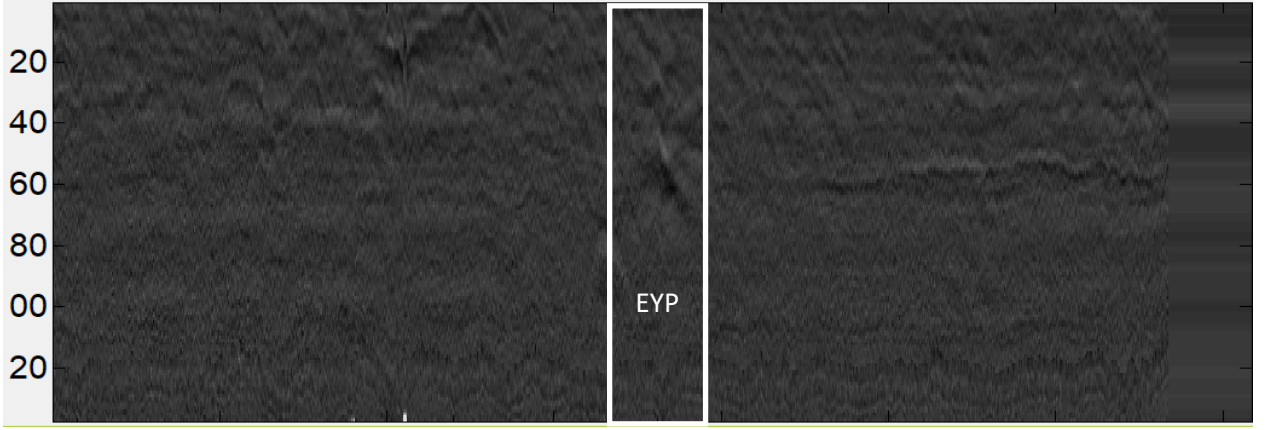
Senaryo-1 'de tınlı kum zeminde 7 adet hedef gömülmüş 12 kanaldan elde edilen görüntüler Şekil 4.5 -Şekil 4.16 arasında verilmiştir. Çapraz korelasyon yöntemi ile elde edilen sonuçlarda hedeflerin tespiti sağlanmıştır. Ancak 8. kanalda toprak zemindeki kargaşadan dolayı yanlış alarmlar tespit edilmiştir. Toprak zeminindeki kargaşa miktarının yüksek olduğu 9-12 kanal aralığında (Şekil 4.13-Şekil 4.16), KEKOK algoritmasında veri kaybı olmuş olup bu kanallarda yer alan hedef bilgisi bu yöntem ile tespit edilememiştir. (İlgili kanal görüntülerinde doğru alarmlar dikdörtgen, yanlış alarmlar yuvarlak olarak işaretlenmiştir.)

#### 4.3.2 Senaryo 2:

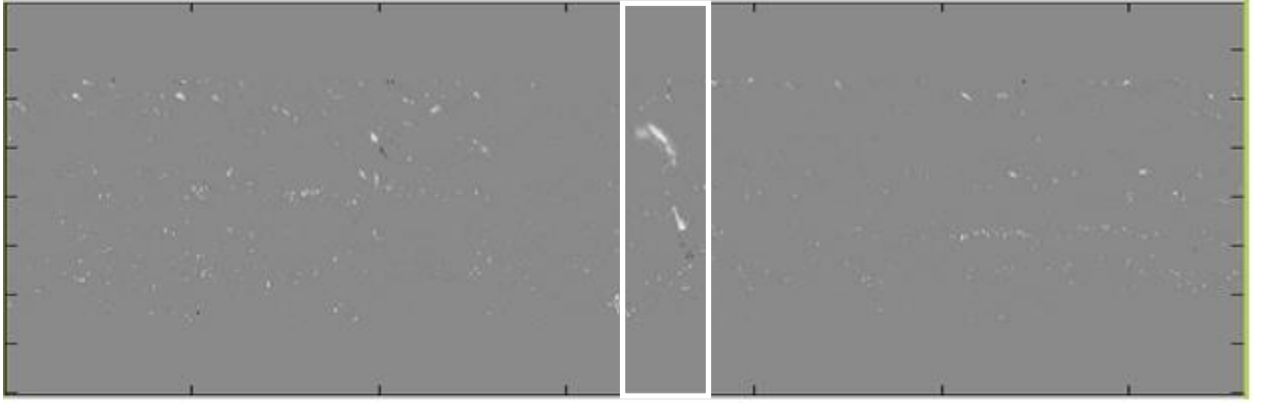
Test alanında ince kum zemine toplamda 5 adet farklı hedef Şekil 4.17'de verilen noktalara yerleştirilmiştir. İnce kum, tarama sonuçlarda en az kargaşa verisi bulunduran en az kayıp yaşanması beklenen toprak yapısıdır.



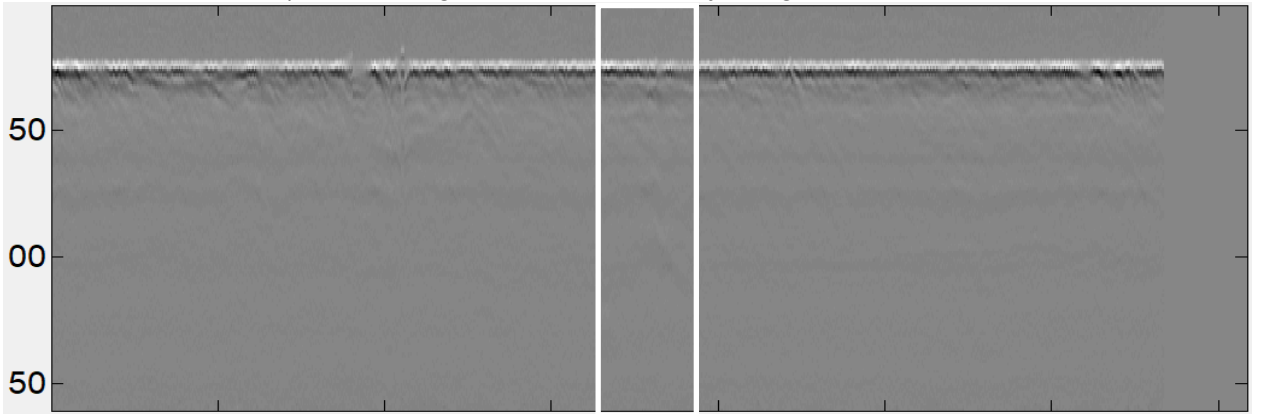
Şekil 4.17 Senaryo-2 Hedef yerleşimleri



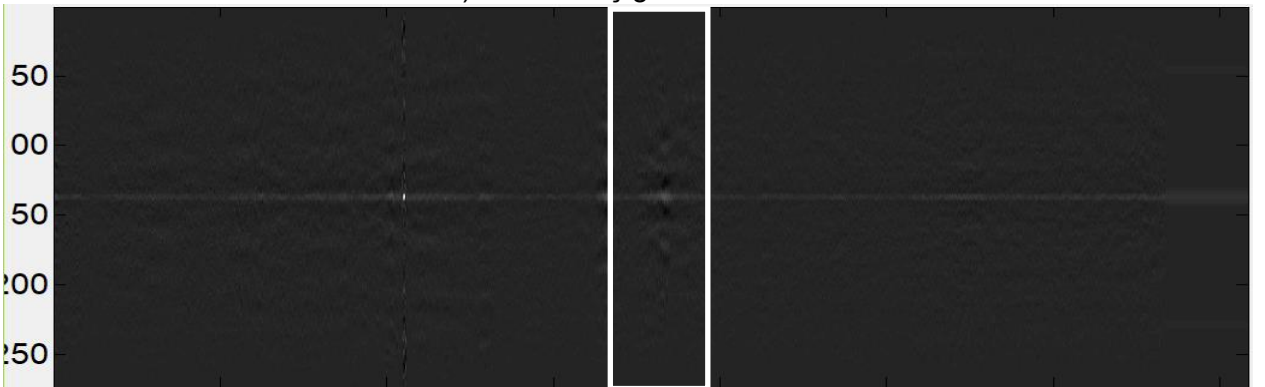
a) Yer yüzeyi yansımaları temizlenmiş ve beyazlatma uygulanmış görüntü



b) KEKOK algoritması hata fonksiyonu görüntüsü

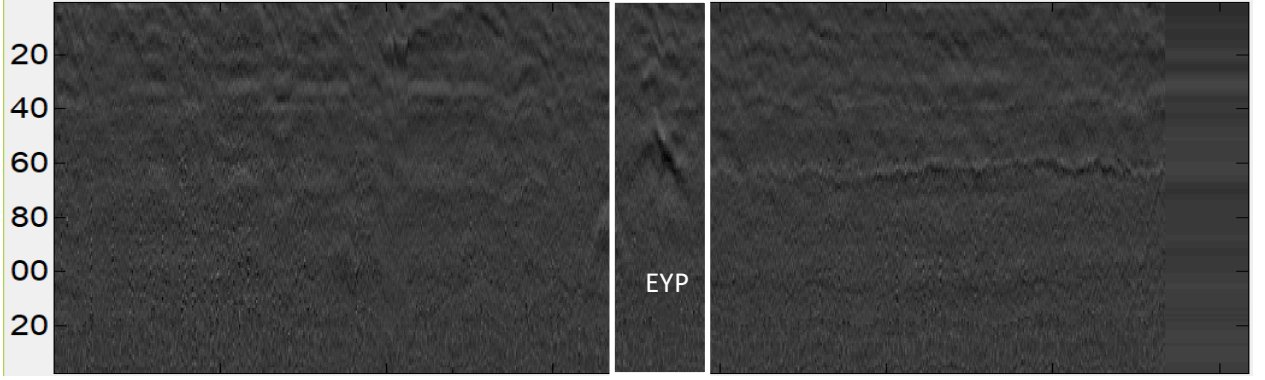


c) Hizalanmış görüntü

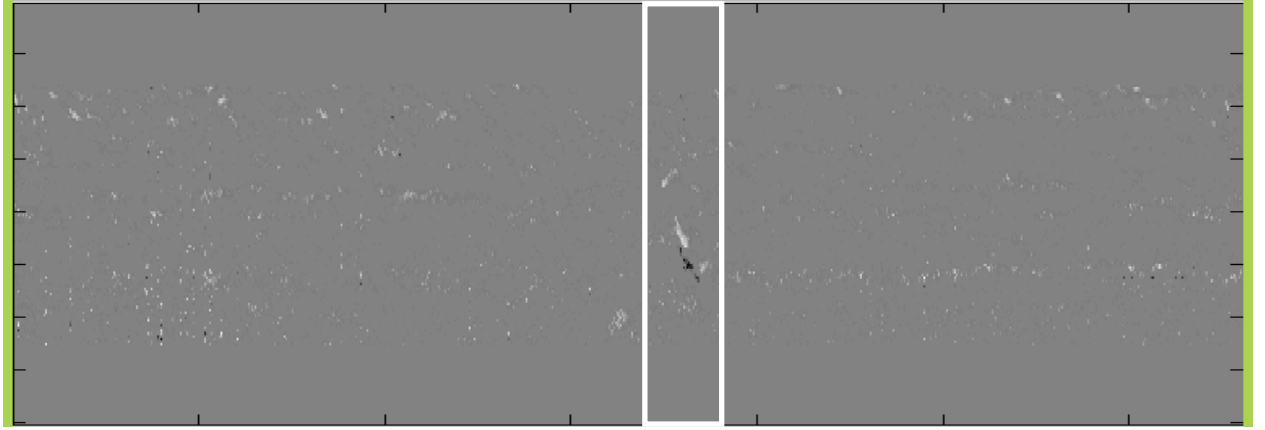


d) Çapraz korelasyon algoritması uygulanmış görüntü

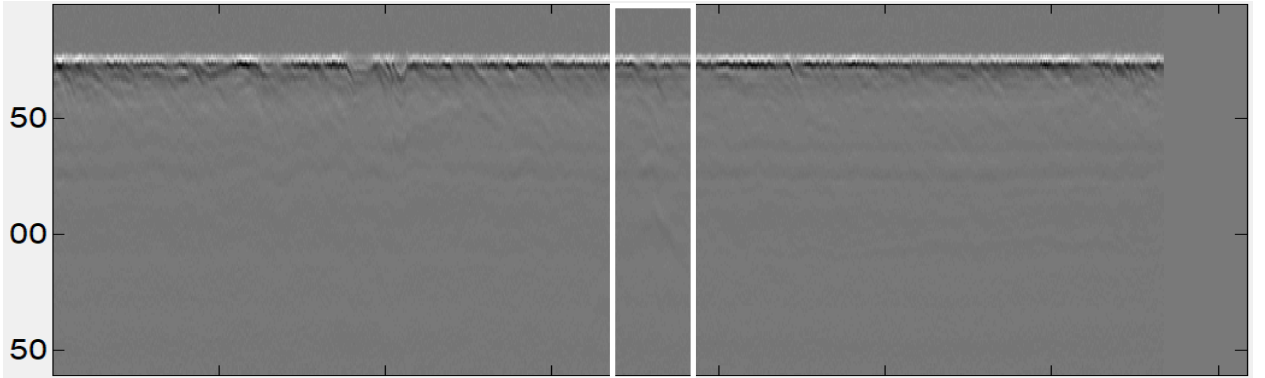
Şekil 4.18 Senaryo-2 Kanal 1



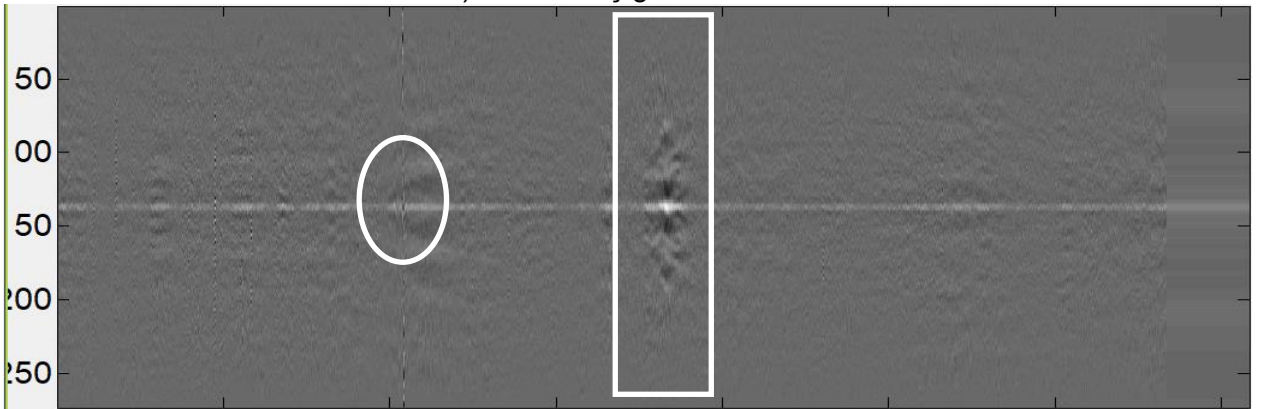
a) Yer yüzeyi yansması temizlenmiş ve beyazlatma uygulanmış görüntü



b) KEKOK algoritması hata fonksiyonu görüntüsü



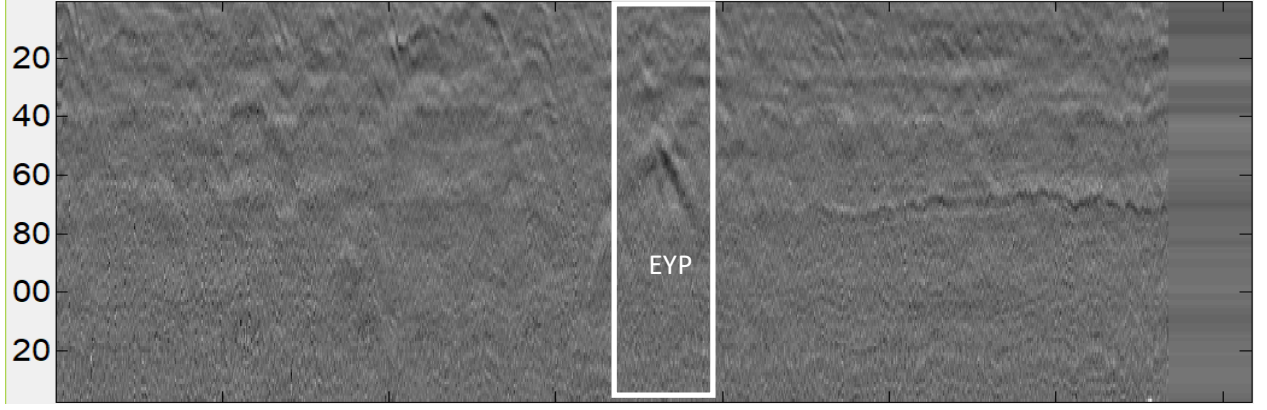
c) Hizalanmış görüntü



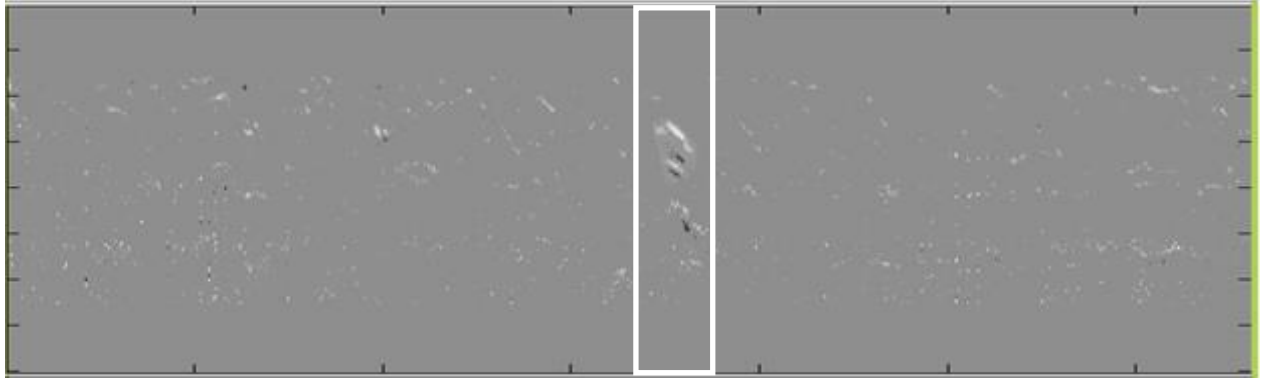
d) Çapraz korelasyon algoritması uygulanmış görüntü

Şekil 4.19 Senaryo-2 Kanal 2

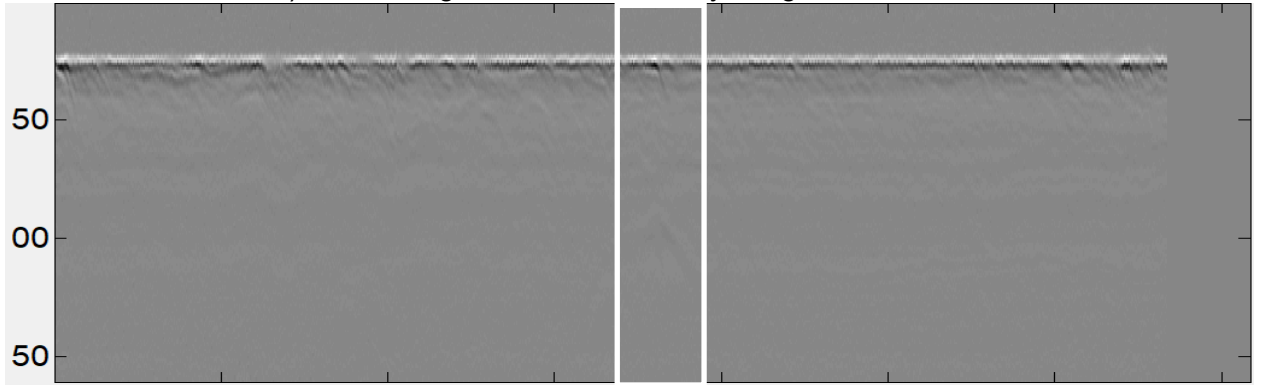




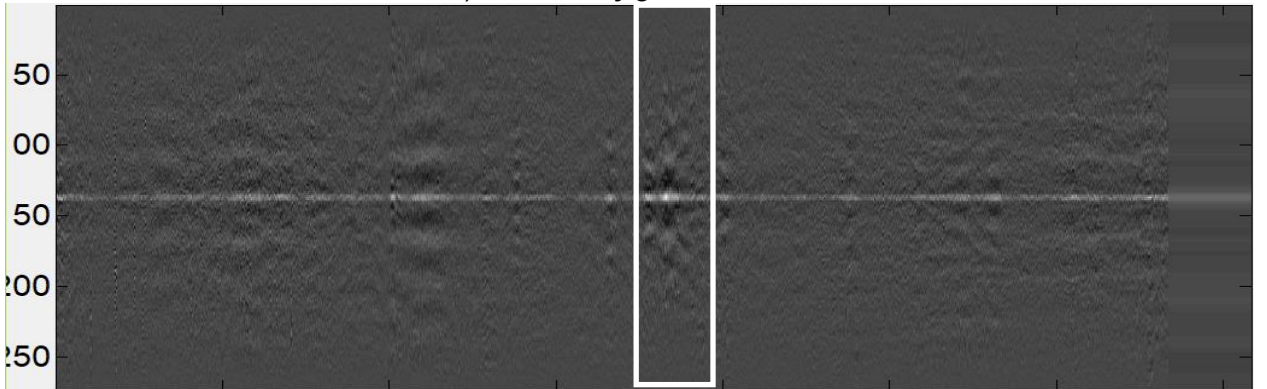
a) Yer yüzeyi yansıması temizlenmiş ve beyazlatma uygulanmış görüntü



b) KEKOK algoritması hata fonksiyonu görüntüsü

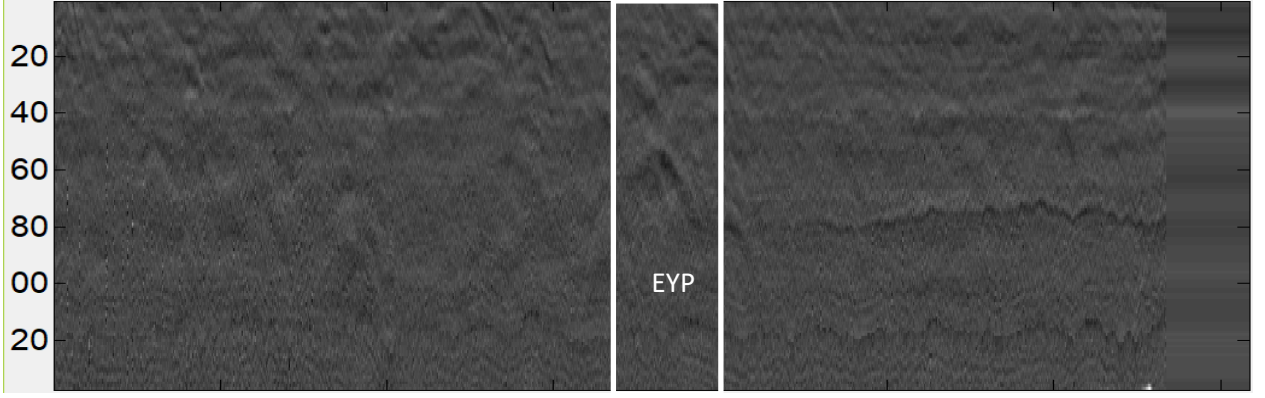


c) Hizalanmış görüntü

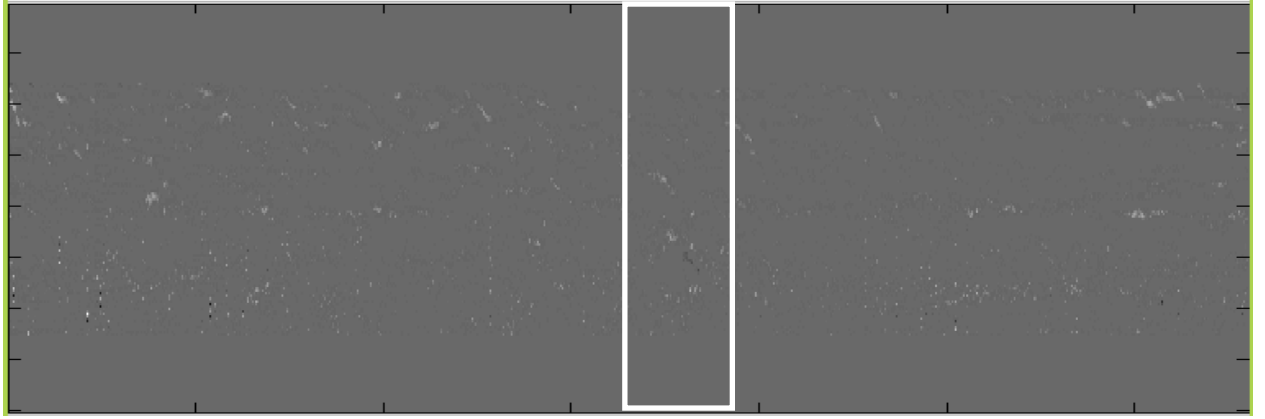


d) Çapraz korelasyon algoritması uygulanmış görüntü

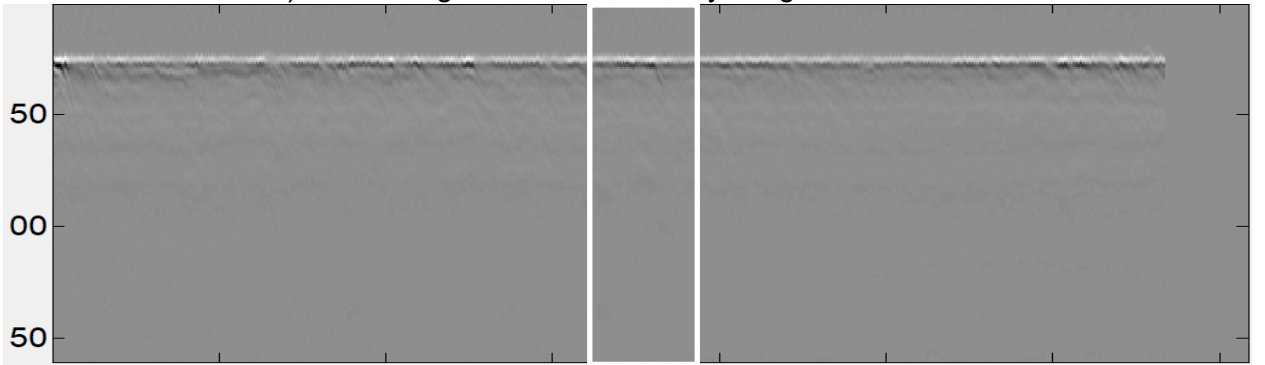
Şekil 4.20 Senaryo-2 Kanal 3



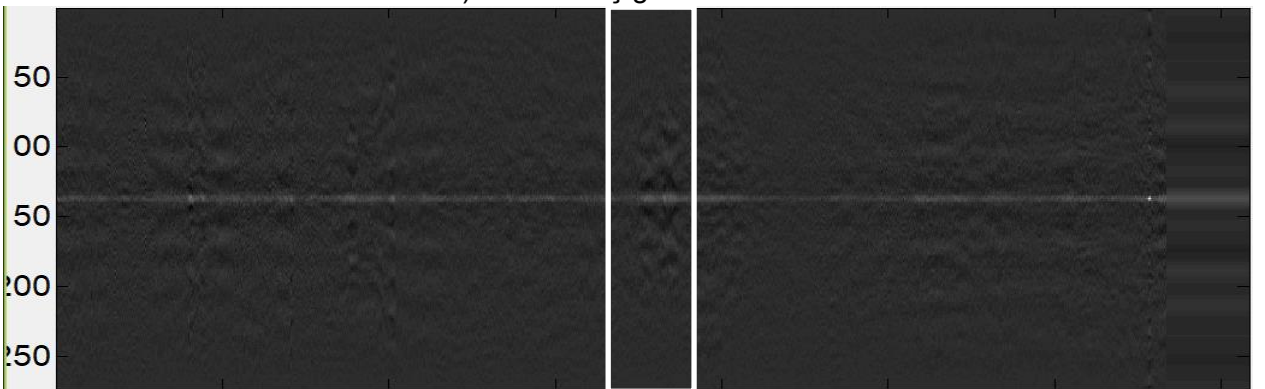
a) Yer yüzeyi yansıması temizlenmiş ve beyazlatma uygulanmış görüntü



b) KEKOK algoritması hata fonksiyonu görüntüsü

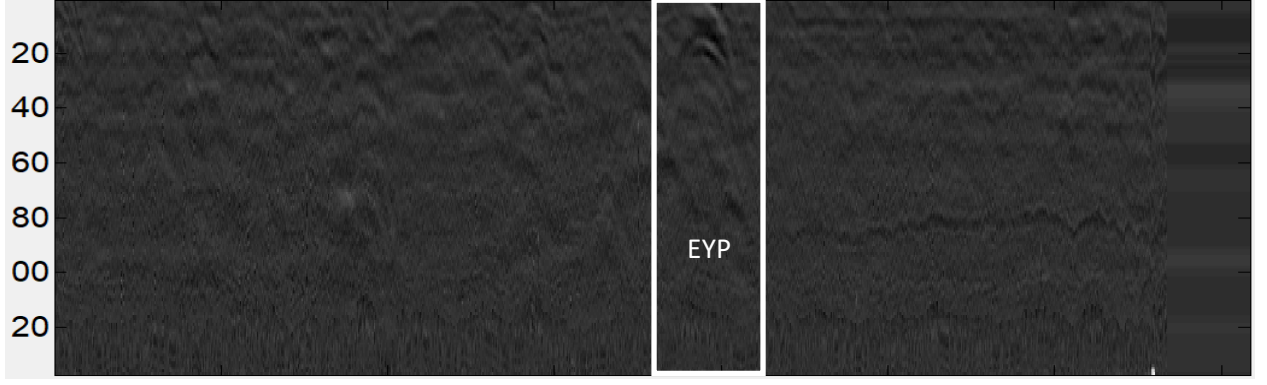


c) Hizalanmış görüntü

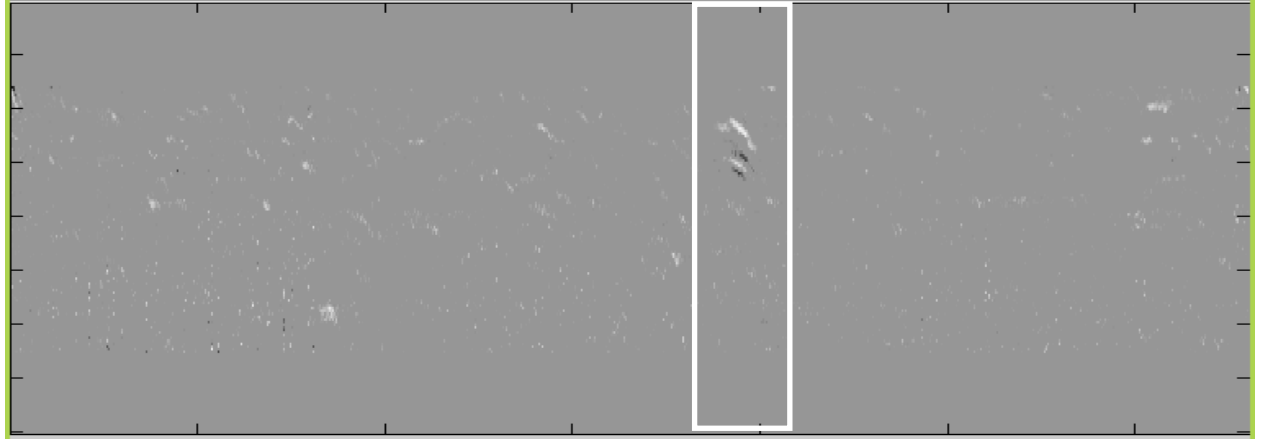


d) Çapraz korelasyon algoritması uygulanmış görüntü

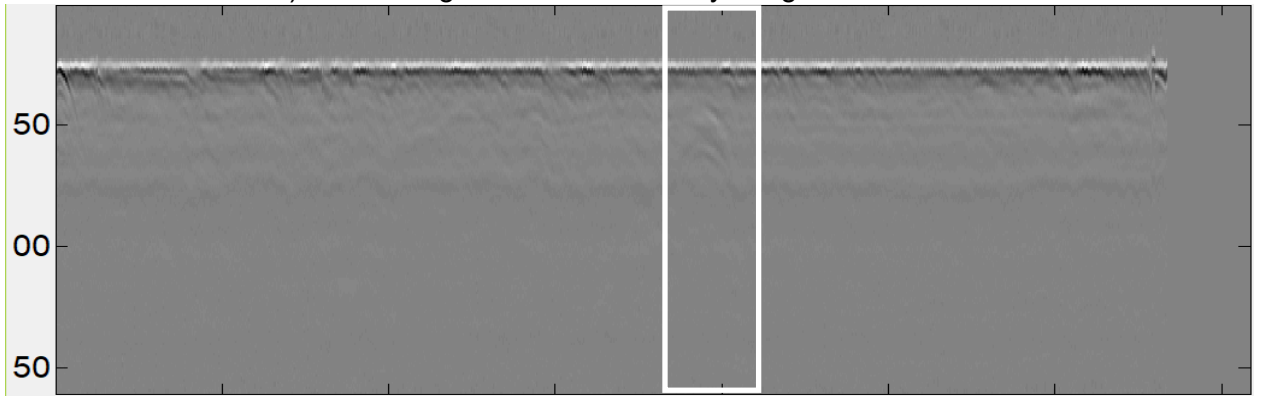
Şekil 4.21 Senaryo-2 Kanal 4



a) Yer yüzeyi yansması temizlenmiş ve beyazlatma uygulanmış görüntü



b) KEKOK algoritması hata fonksiyonu görüntüsü

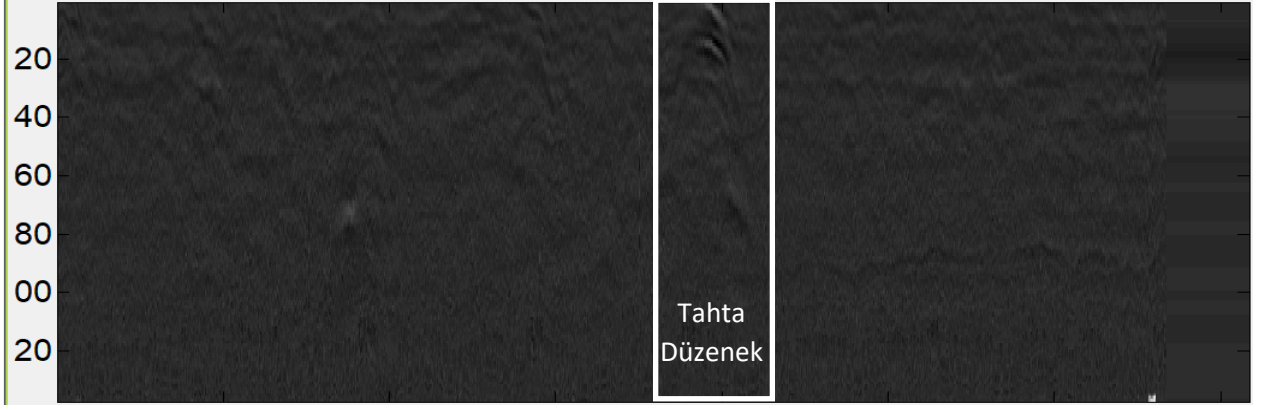


c) Hizalanmış görüntü

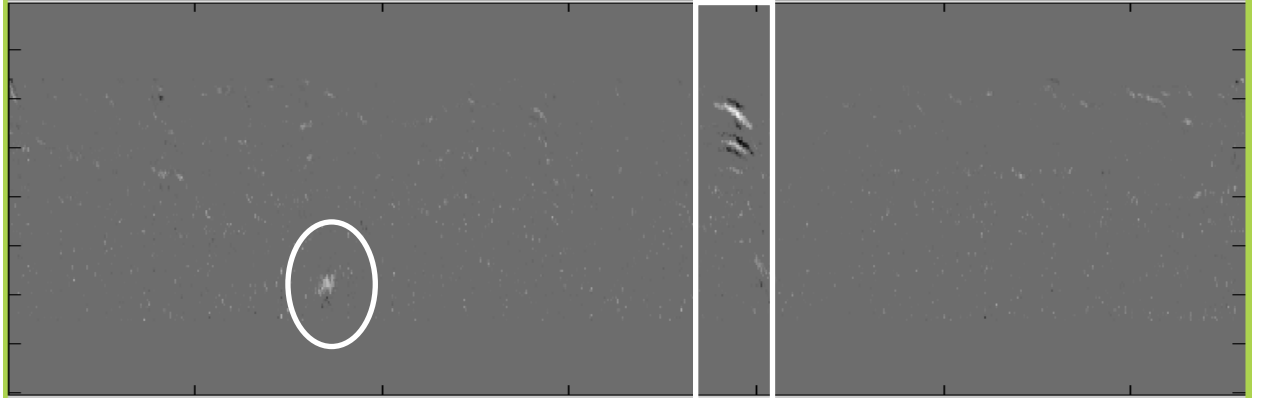


d) Çapraz korelasyon algoritması uygulanmış görüntü

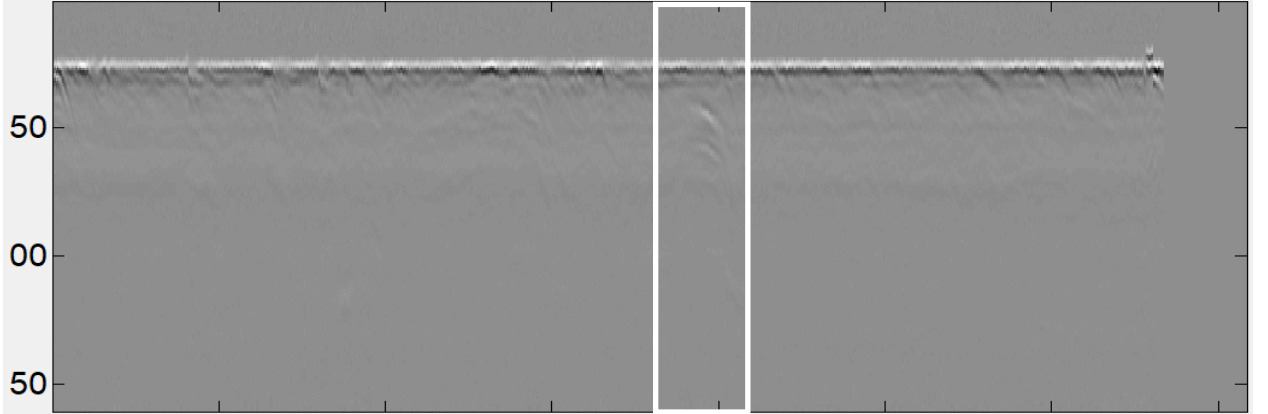
Şekil 4.22 Senaryo-2 Kanal 5



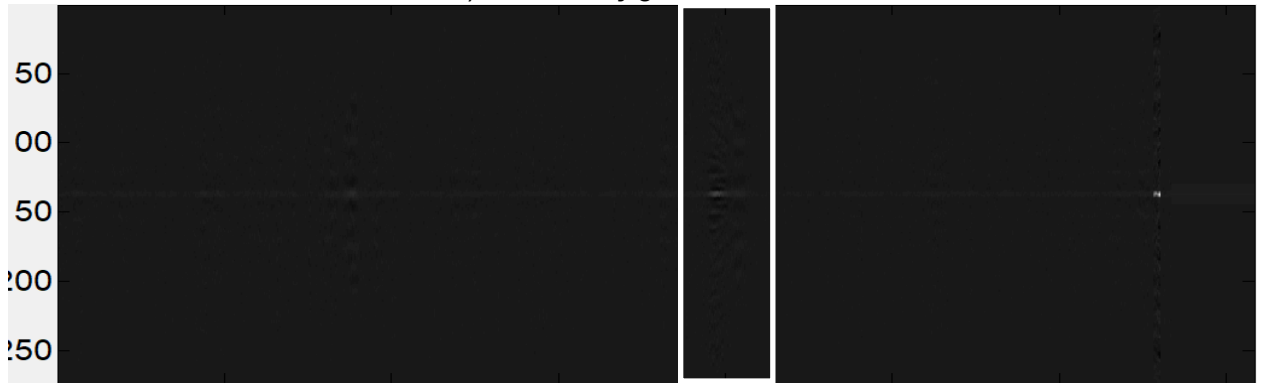
a) Yer yüzeyi yansımaları temizlenmiş ve beyazlatma uygulanmış görüntü



b) KEKOK algoritması hata fonksiyonu görüntüsü

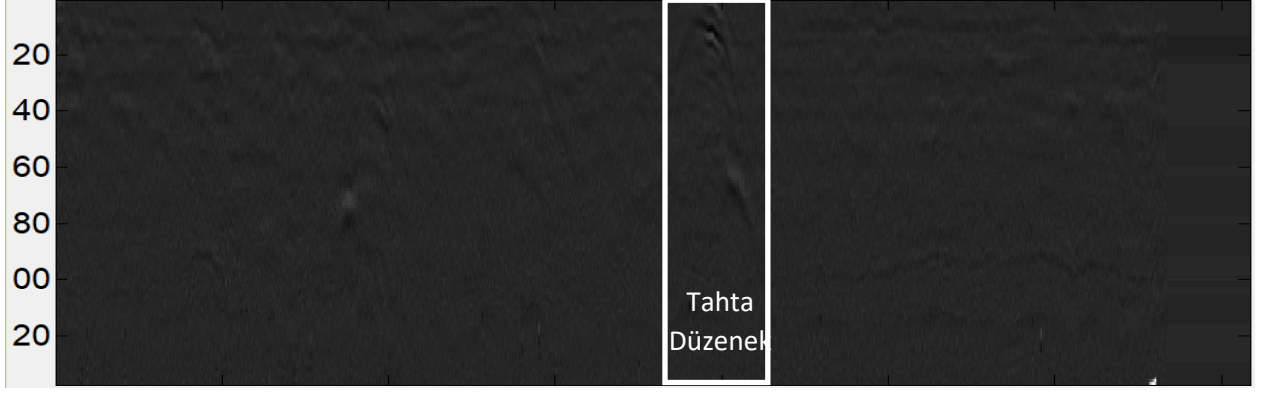


c) Hizalanmış görüntü

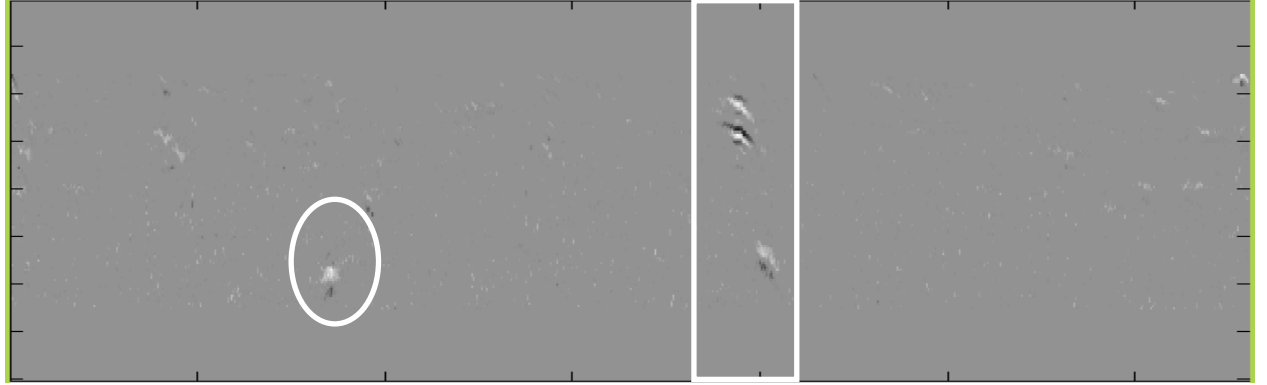


d) Çapraz korelasyon algoritması uygulanmış görüntü

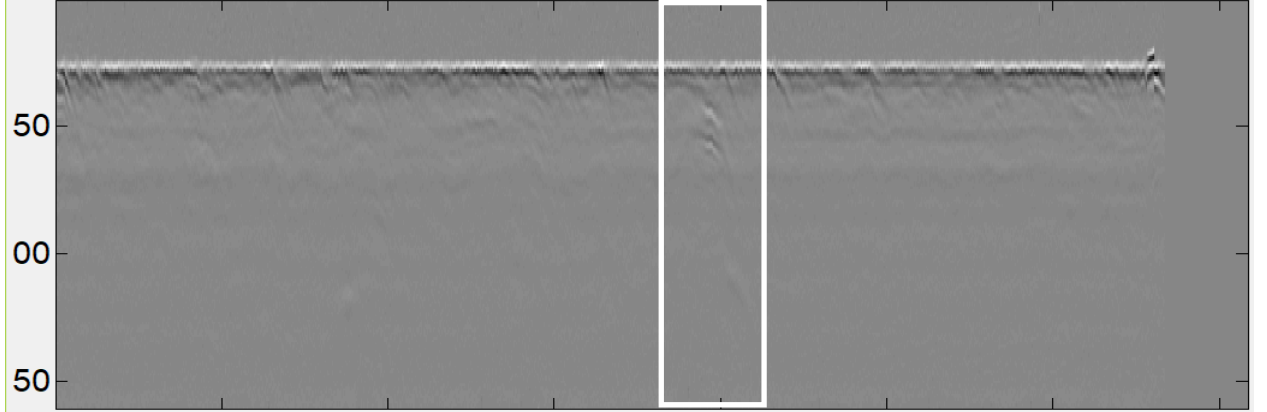
Şekil 4.23 Senaryo-2 Kanal 6



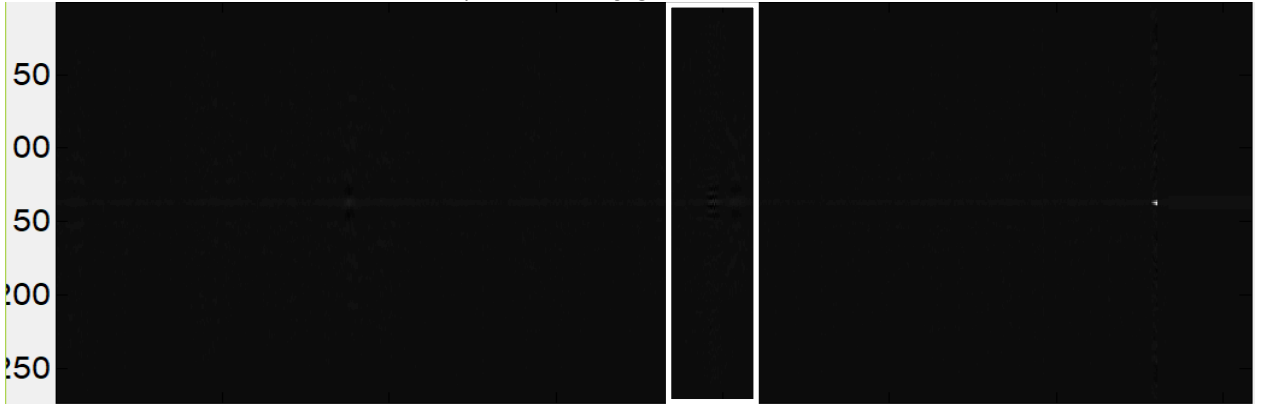
a) Yer yüzeyi yansımaları temizlenmiş ve beyazlatma uygulanmış görüntü



b) KEKOK algoritması hata fonksiyonu görüntüsü

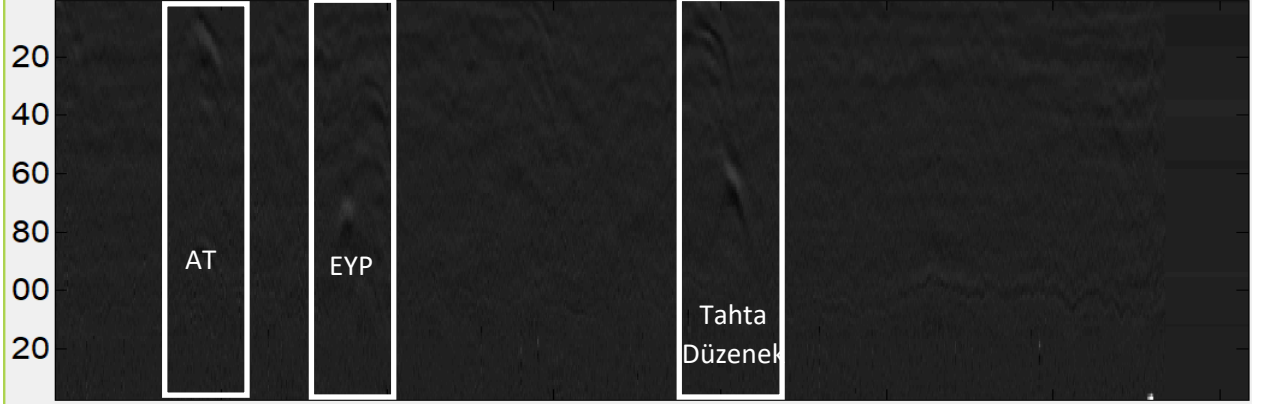


c) Hizalanmış görüntü

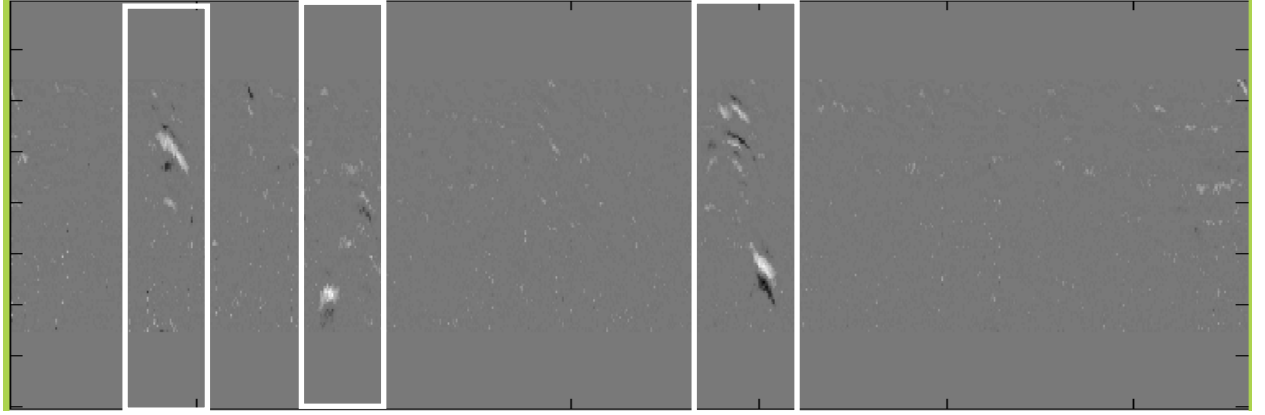


d) Çapraz korelasyon algoritması uygulanmış görüntü

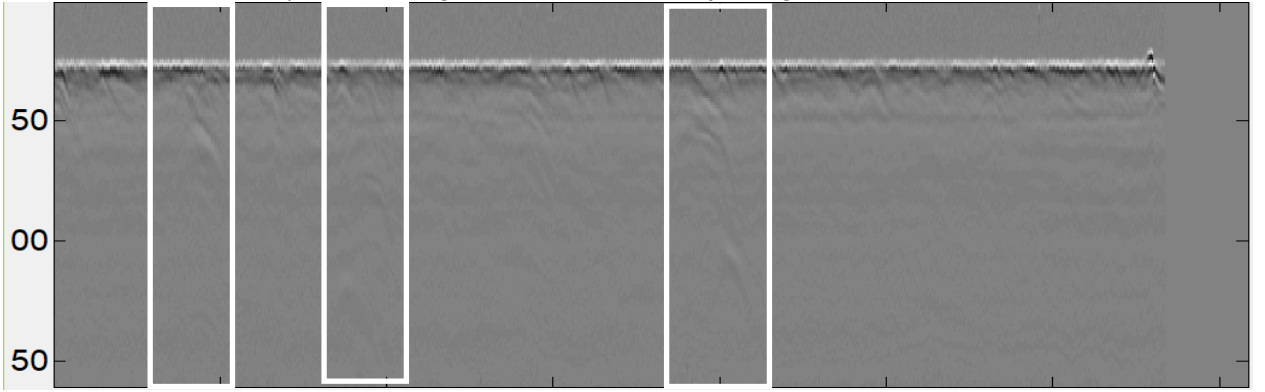
Şekil 4.24 Senaryo-2 Kanal 7



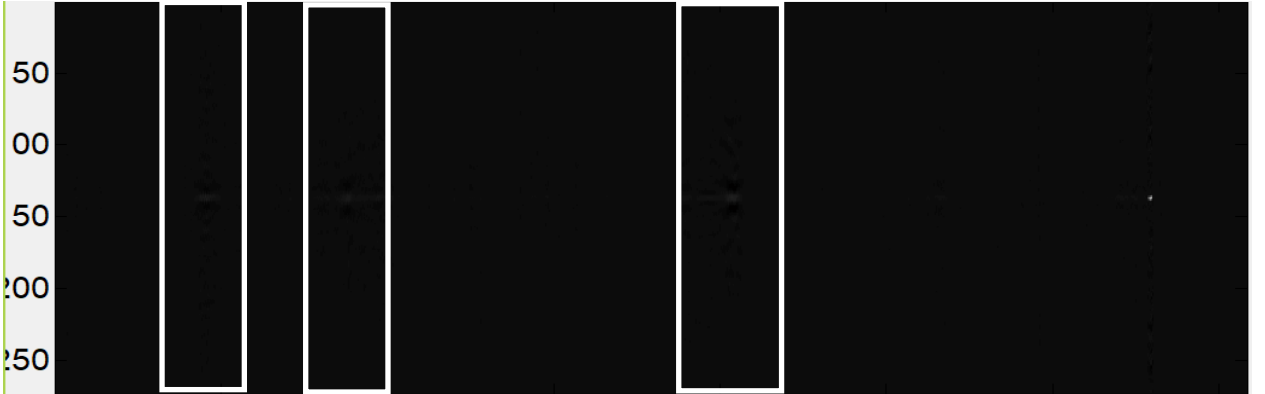
a) Yer yüzeyi yansımaları temizlenmiş ve beyazlatma uygulanmış görüntü



b) KEKOK algoritması hata fonksiyonu görüntüsü



c) Hizalanmış görüntü

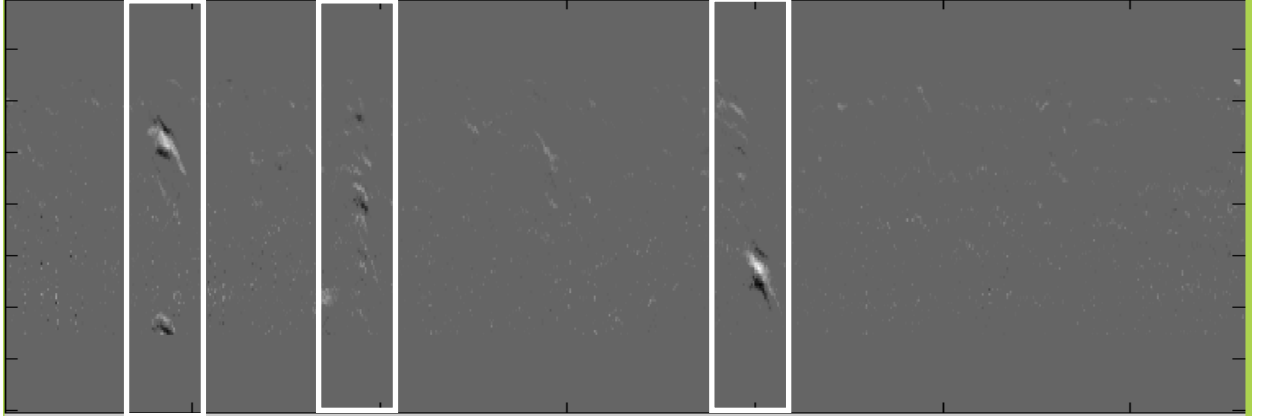


d) Çapraz korelasyon algoritması uygulanmış görüntü

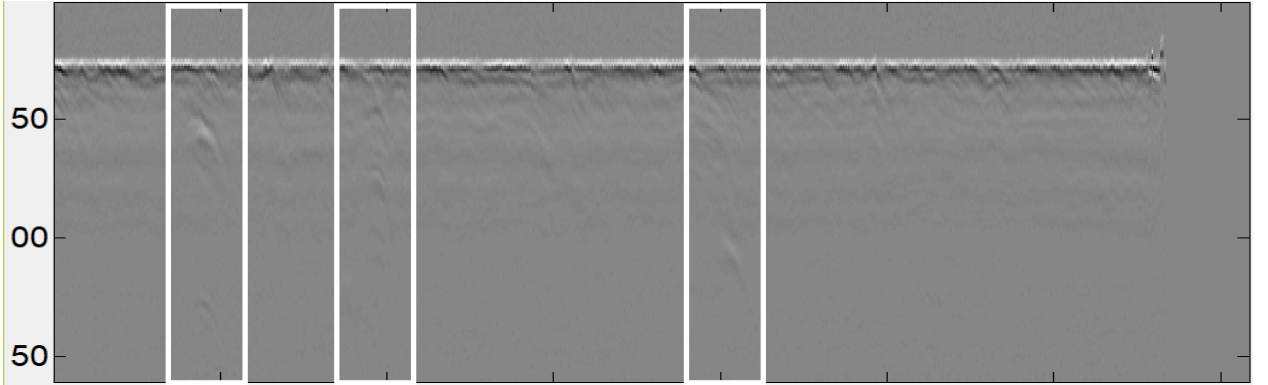
Şekil 4.25 Senaryo-2 Kanal 8



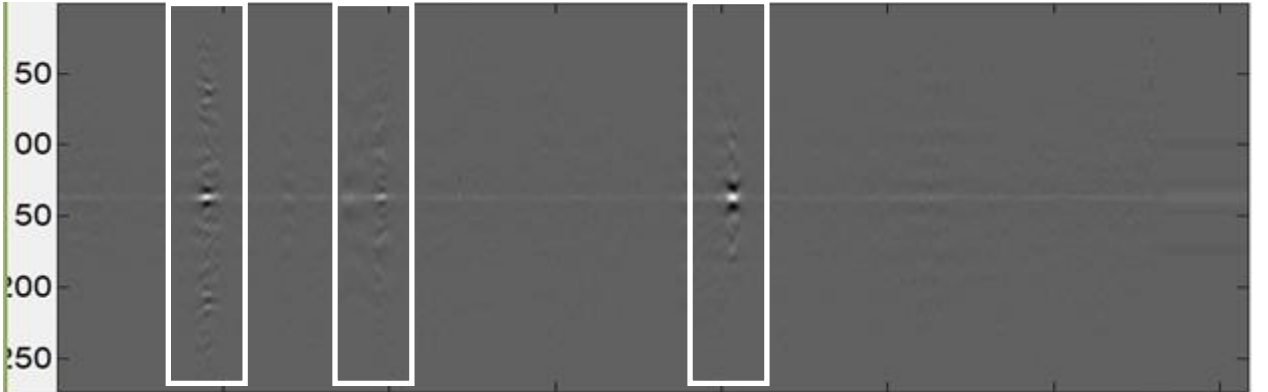
a) Yer yüzeyi yansımaları temizlenmiş ve beyazlatma uygulanmış görüntü



b) KEKOK algoritması hata fonksiyonu görüntüsü

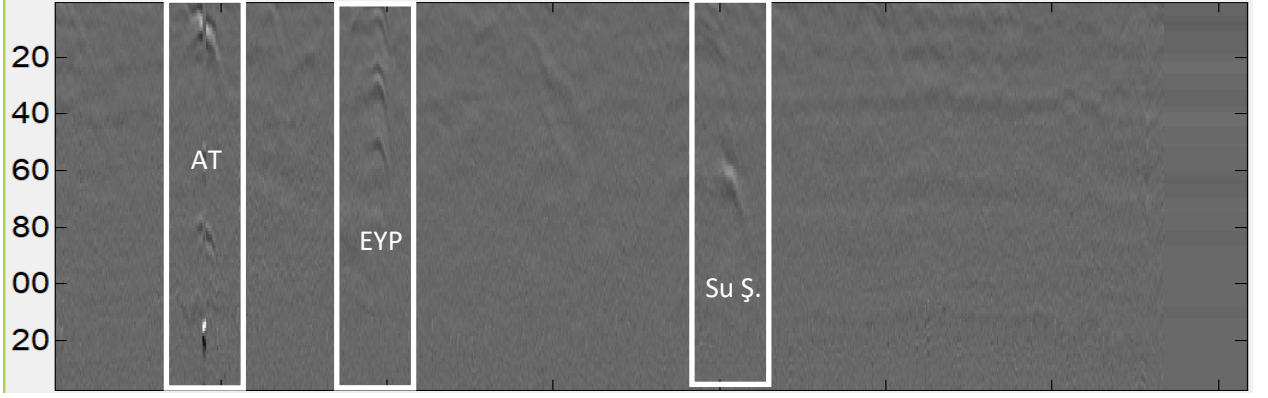


c) Hizalanmış görüntü

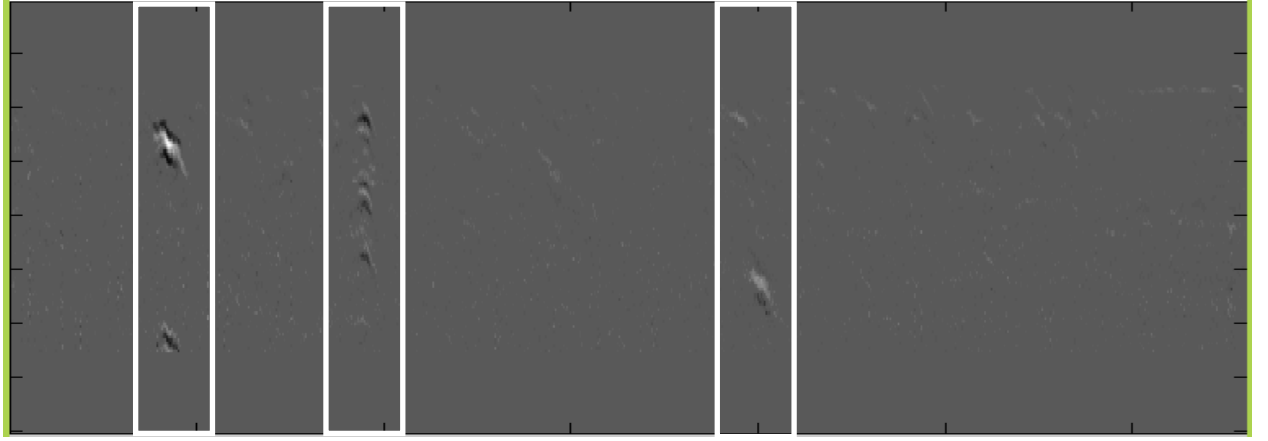


d) Çapraz korelasyon algoritması uygulanmış görüntü

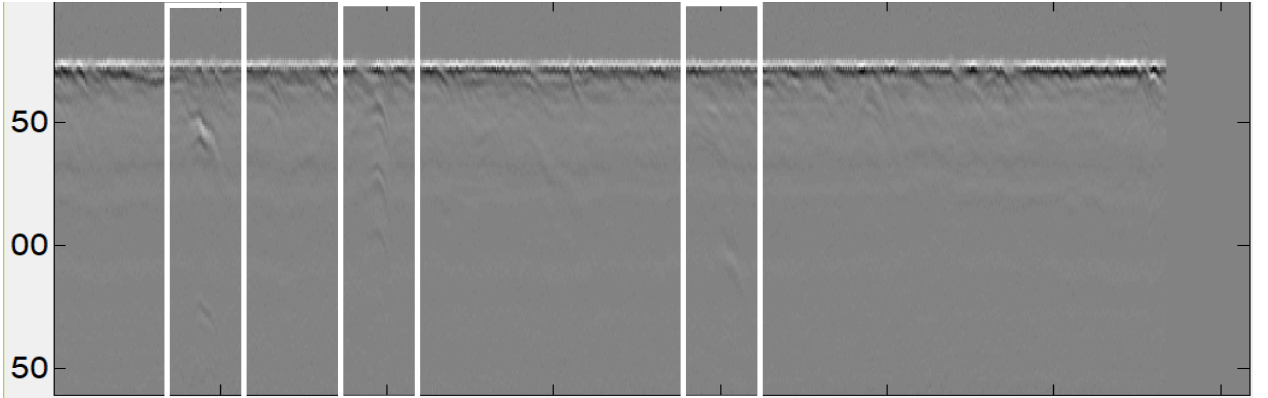
Şekil 4.26 Senaryo-2 Kanal 9



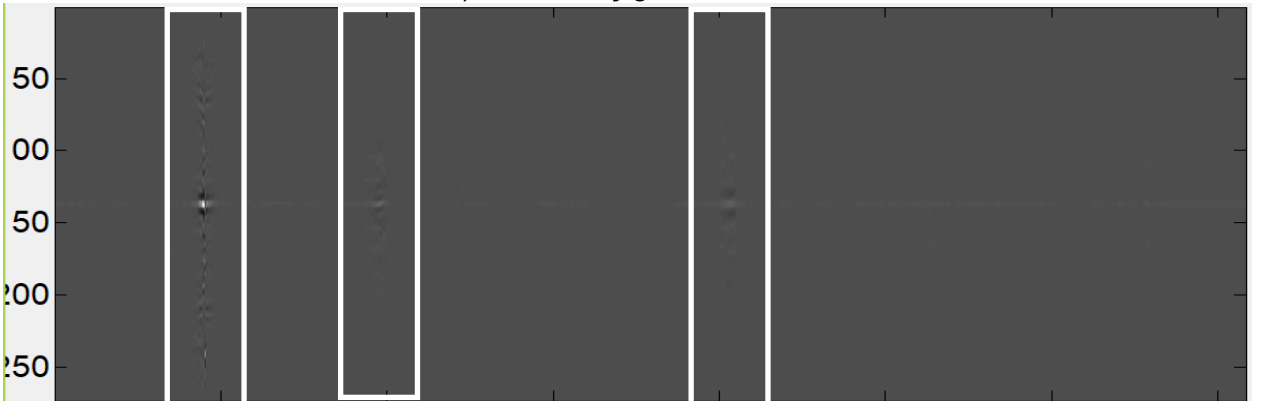
a) Yer yüzeyi yansımaları temizlenmiş ve beyazlatma uygulanmış görüntü



b) KEKOK algoritması hata fonksiyonu görüntüsü



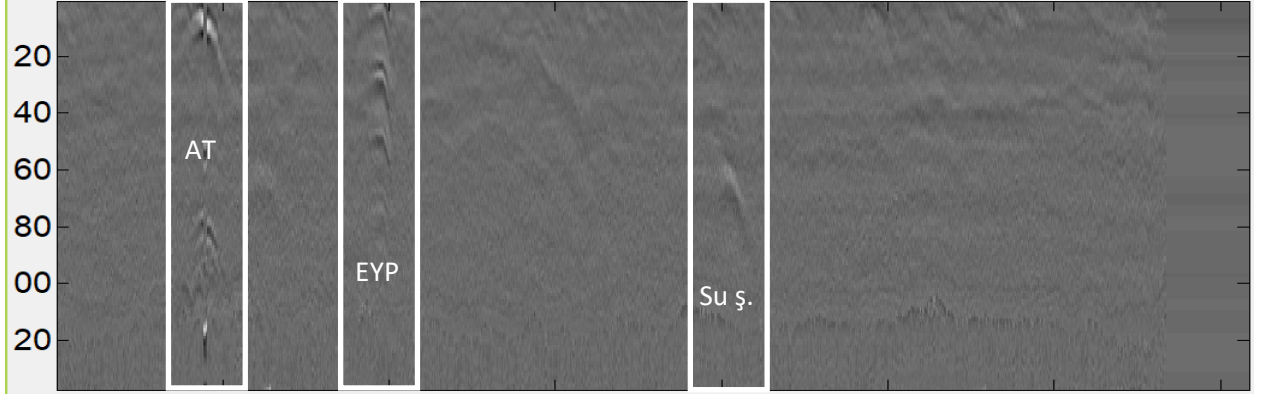
c) Hizalanmış görüntü



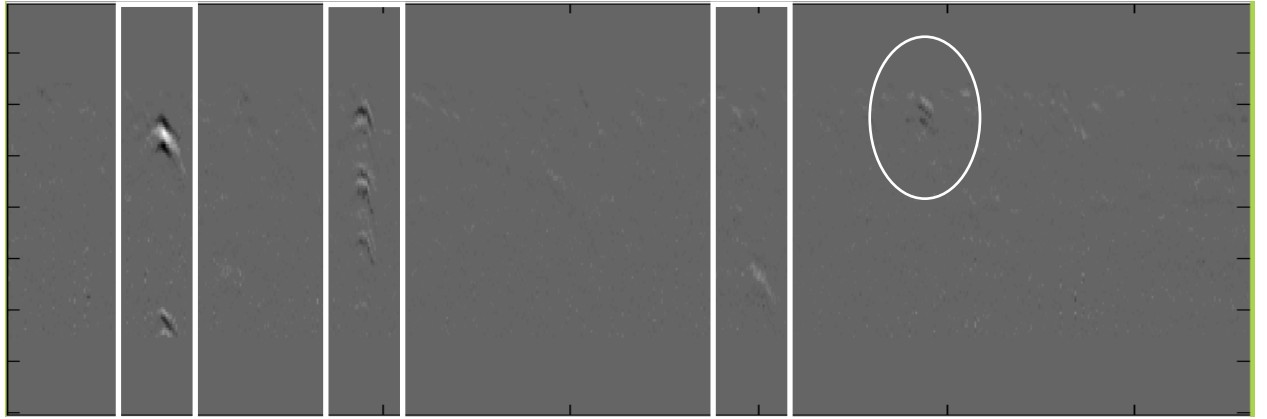
d) Çapraz korelasyon algoritması uygulanmış görüntü

Şekil 4.27 Senaryo-2 Kanal 10

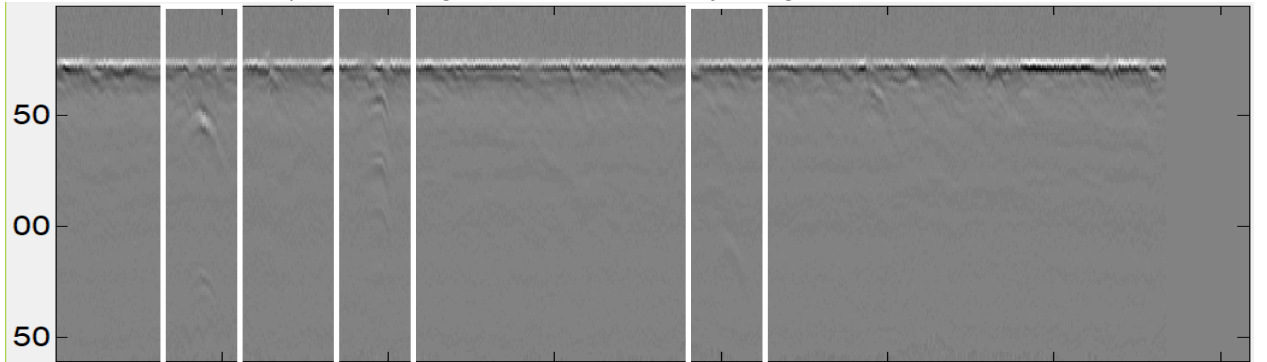




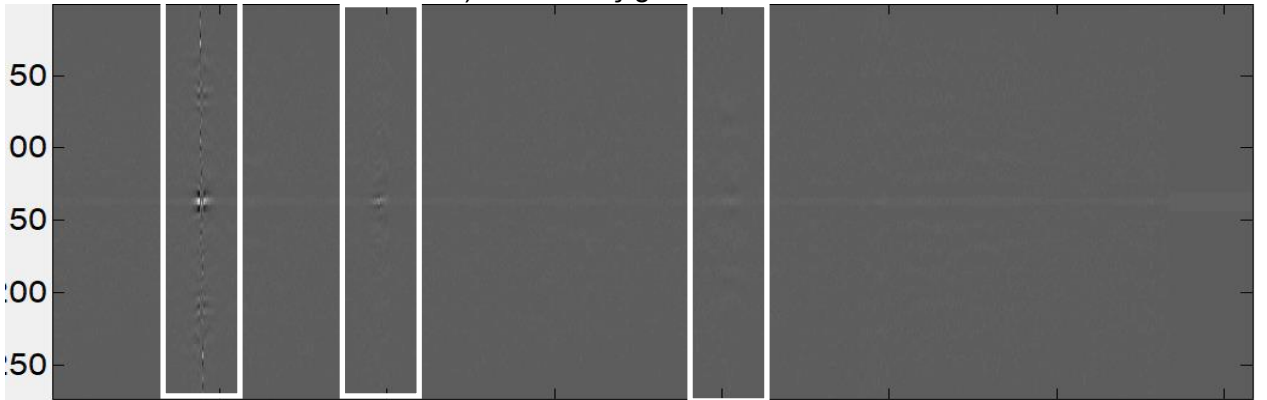
a) Yer yüzeyi yansımaları temizlenmiş ve beyazlatma uygulanmış görüntü



b) KEKOK algoritması hata fonksiyonu görüntüsü

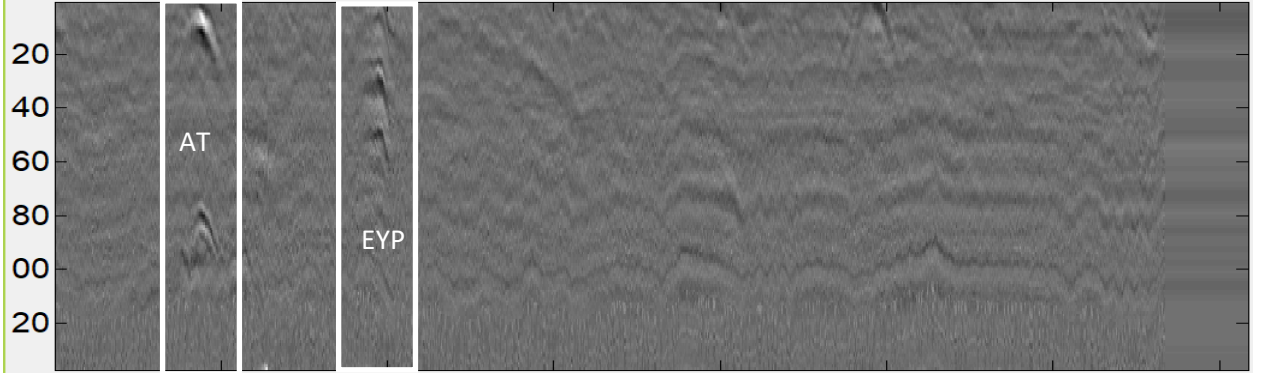


c) Hizalanmış görüntü

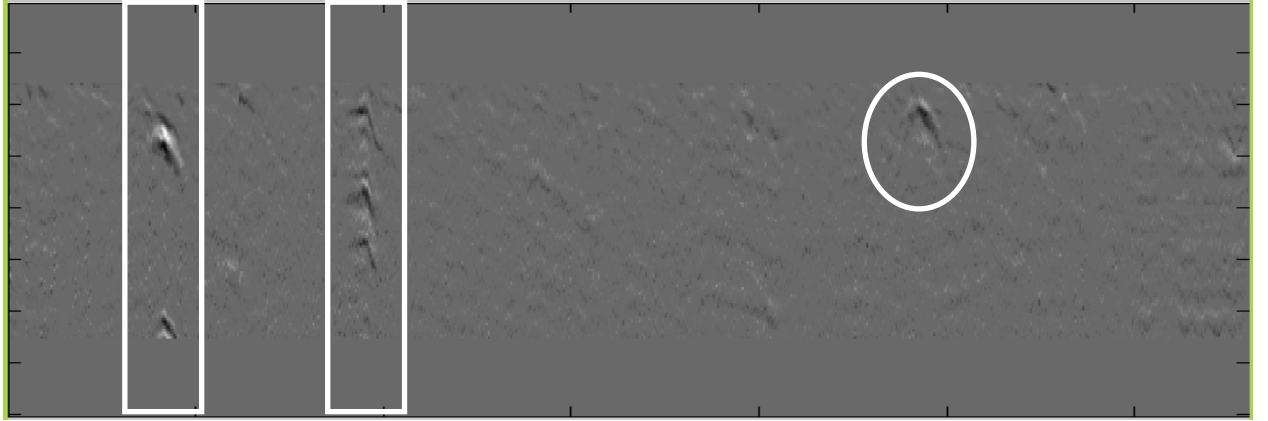


d) Çapraz korelasyon algoritması uygulanmış görüntü

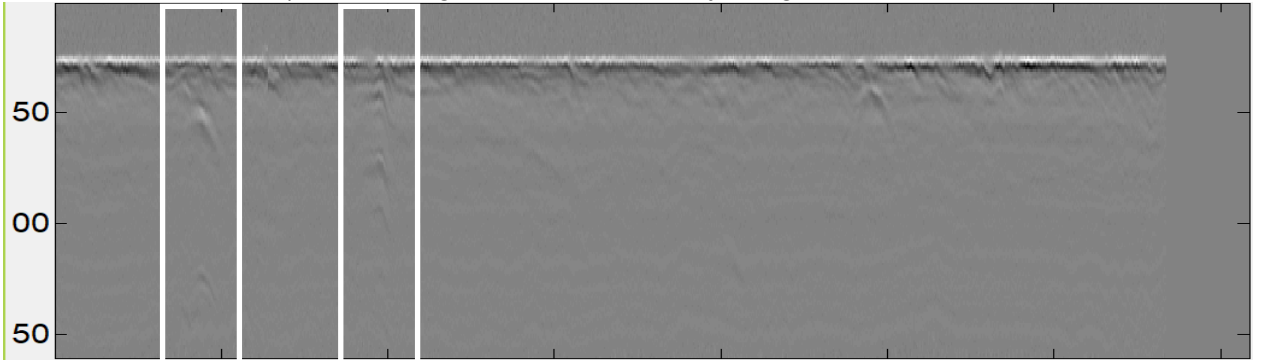
Şekil 4.28 Senaryo-2 Kanal 11



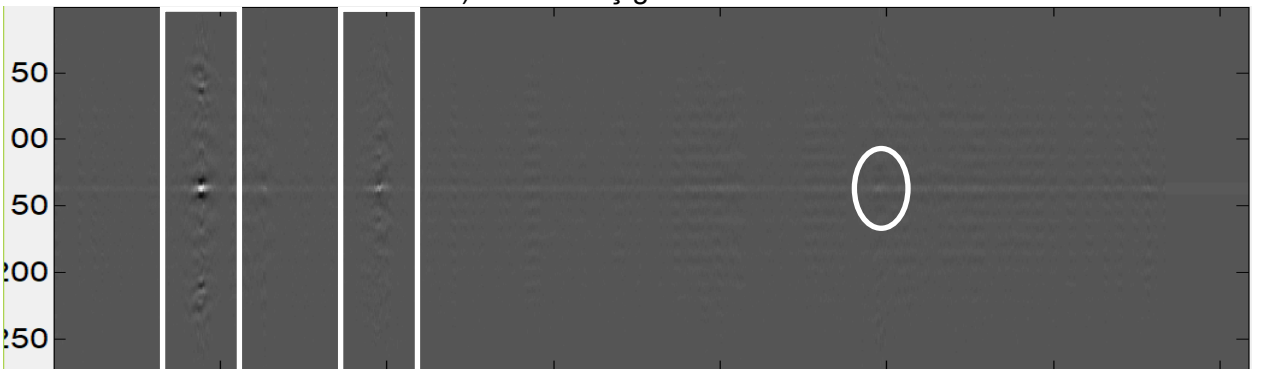
a) Yer yüzeyi yansması temizlenmiş ve beyazlatma uygulanmış görüntü



b) KEKOK algoritması hata fonksiyonu görüntüsü



c) Hizalanmış görüntü



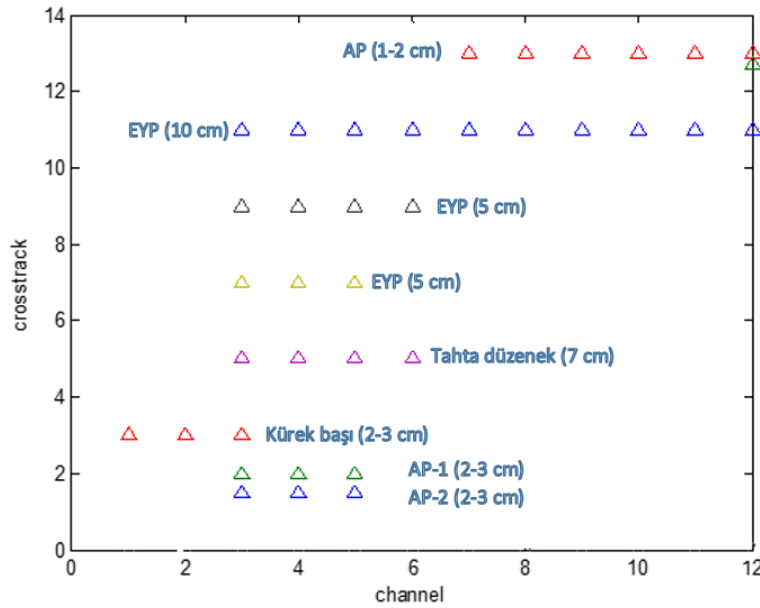
d) Çapraz korelasyon algoritması uygulanmış görüntü

Şekil 4.29 Senaryo-2 Kanal 12

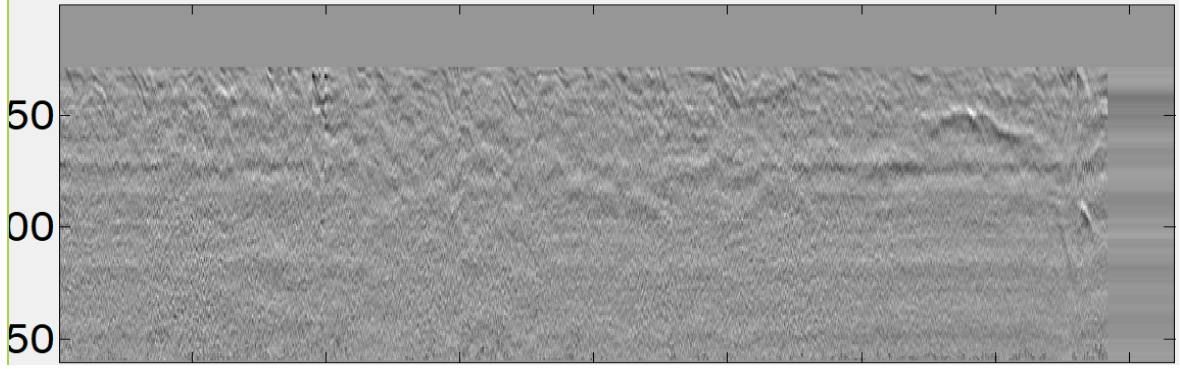
Senaryo-2'de kum zemine 5 adet hedef gömülmüştür. Bir adet yarısı su dolu su şişesi sahte hedef olarak kullanılmıştır. Mevcut EYP düzeneklerinde metal içermeyen malzemeler, su şişesi, çuval gibi büyük yapıdaki malzemelerin kullanımının daha tercih edilir olması sebebiyle bu yapıdaki malzemelerin tespit edilmesi önemlidir. Hedeflerin hepsi iki algoritma ile kolaylıkla tespit edilmiştir. (İlgili kanal görüntülerinde doğru alarmlar dikdörtgen, yanlış alarmlar yuvarlak olarak işaretlenmiştir.) 5, 11 ve 12 no'lu kanallarda (Şekil 4.22, Şekil 4.28 ve Şekil 4.29) yer altında yer alan kargaşa dediğimiz yansımaları da net olarak görebilmekteyiz. Bu yanlış alarm olan noktalarının bir sonraki öznetelik çıkarma ve sınıflandırma evrelerinde değerlendirilip sistemin etkinliğini düşürmemesi önemlidir. Ancak ön görüntüleme evresinde incelenmesi gereken işaret noktalarının iyi tespit edilmesi sınıflandırma evresinde daha doğru sonuçlar elde edilmesini sağlayacağı için bu işlem adımı için bu tüm alarmların tespit edilmesi önemlidir.

#### 4.3.3 Senaryo 3:

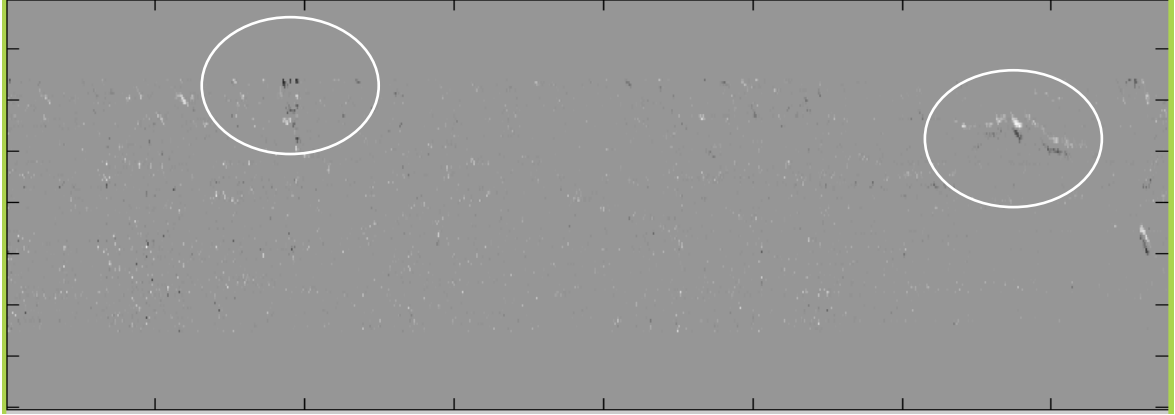
Test alanında tınlı toprak zemini kullanılarak toplamda 8 adet hedef Şekil 4.30.'da verilen noktalara yerleştirilmiştir. Tınlı toprak tekstürü kum, kil ve milli topraktan oluşan bir yapıdır. Diğer incelenen toprak tiplerine göre daha çok kargaşa bilgisi barındıran toprak çeşididir.



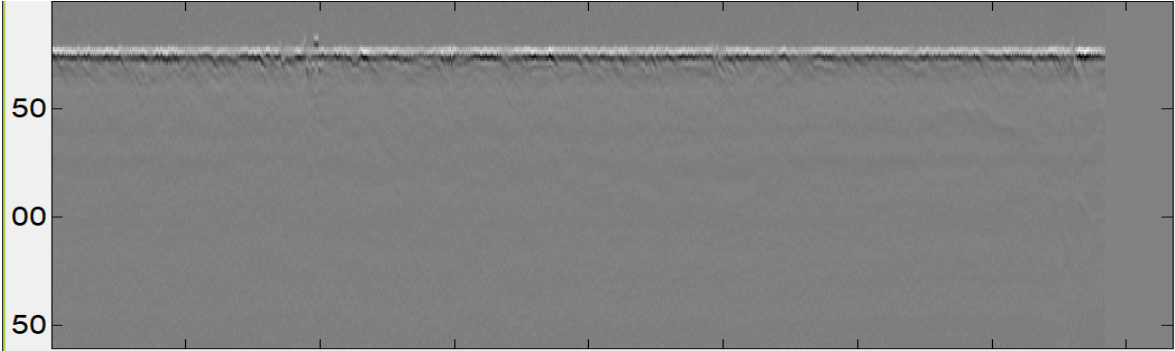
Şekil 4.30 Senaryo-3 Hedef yerleşimleri



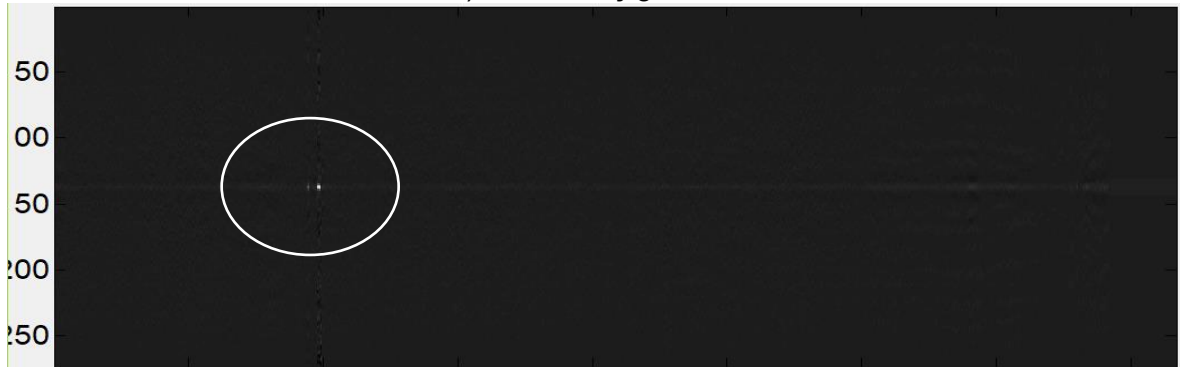
a) Yer yüzeyi yansıması temizlenmiş ve beyazlatma uygulanmış görüntü



b) KEKOK algoritması hata fonksiyonu görüntüsü

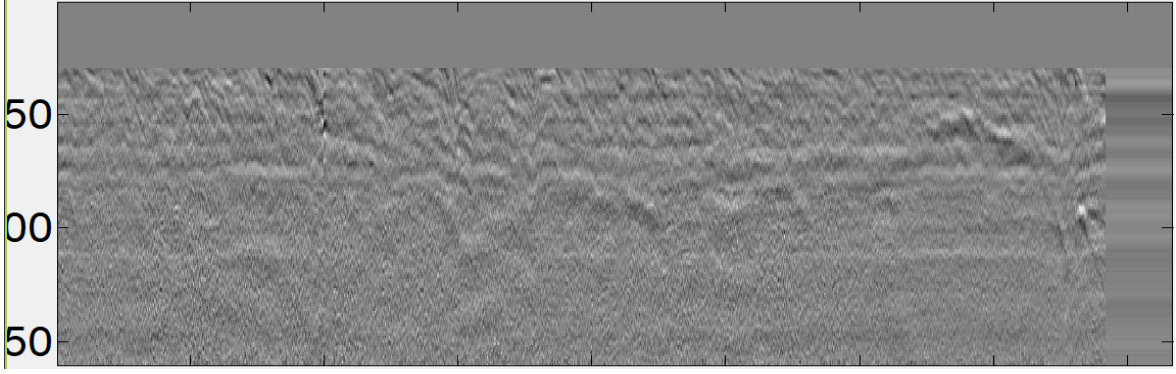


c) Hizalanmış görüntü

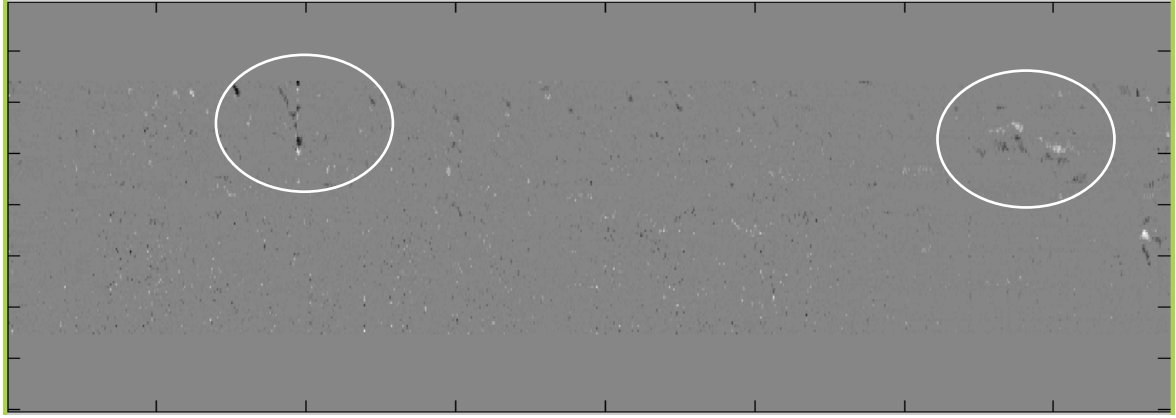


d) Çapraz korelasyon algoritması uygulanmış görüntü

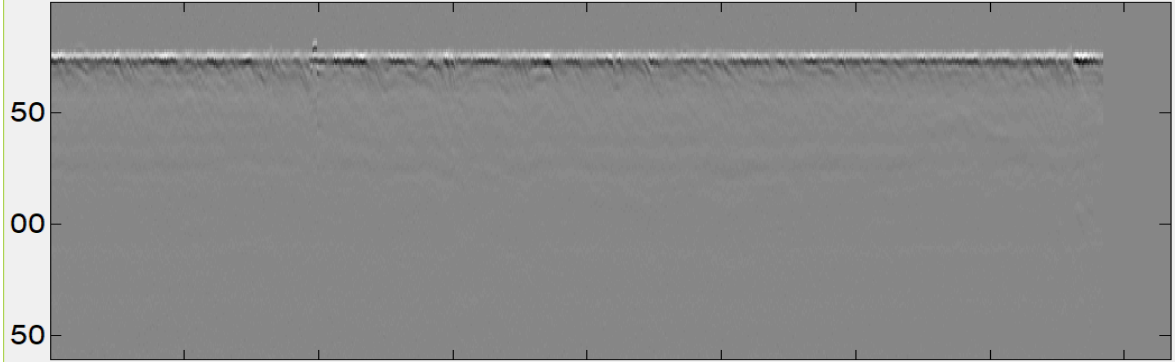
Şekil 4.31 Senaryo-3 Kanal 1



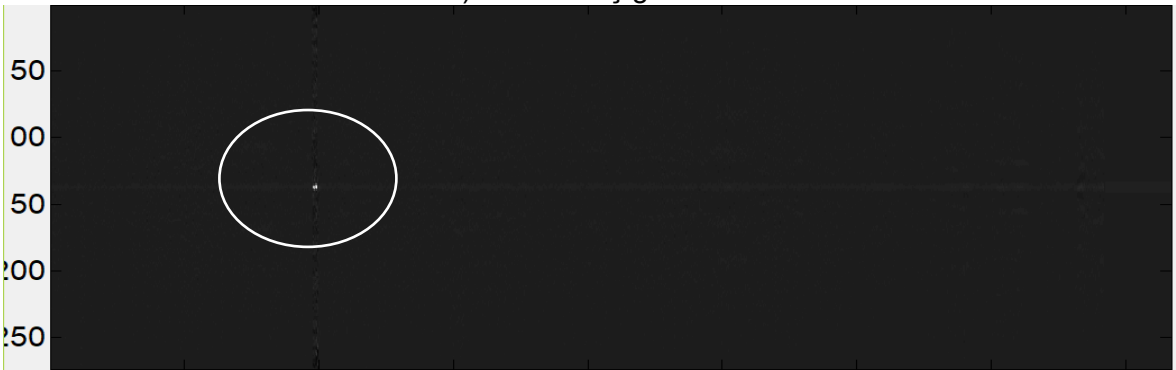
a) Yer yüzeyi yansımaları temizlenmiş ve beyazlatma uygulanmış görüntü



b) KEKOK algoritması hata fonksiyonu görüntüsü

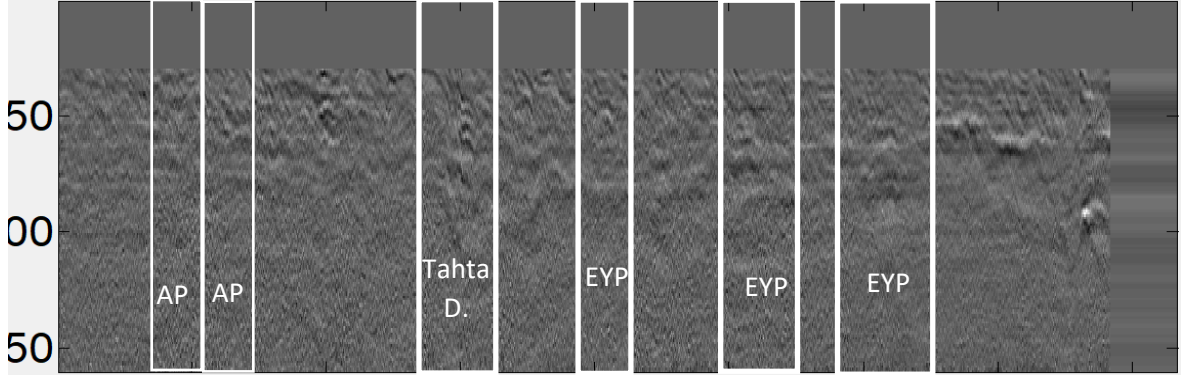


c) Hizalanmış görüntü

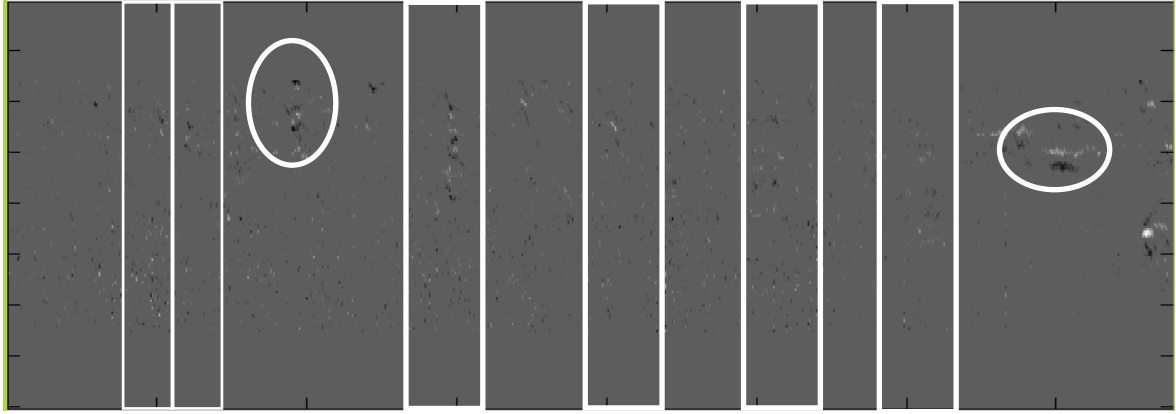


d) Çapraz korelasyon algoritması uygulanmış görüntü

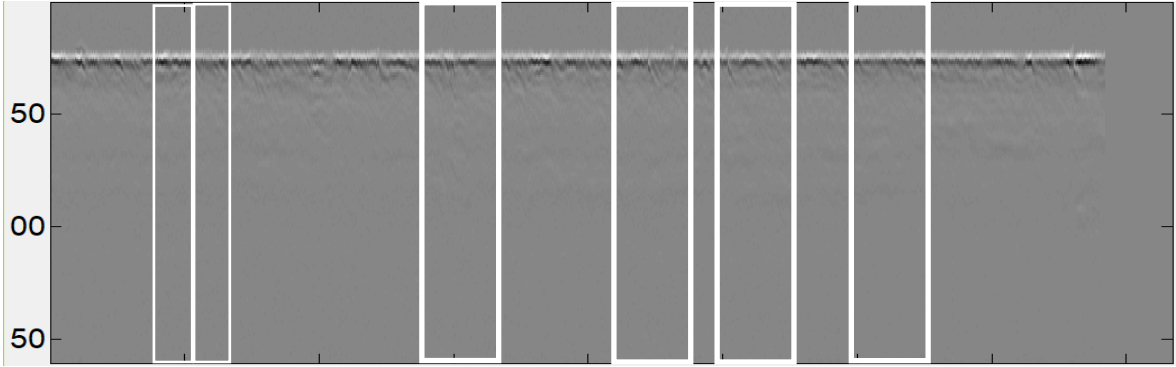
Şekil 4.32 Senaryo-3 Kanal 2



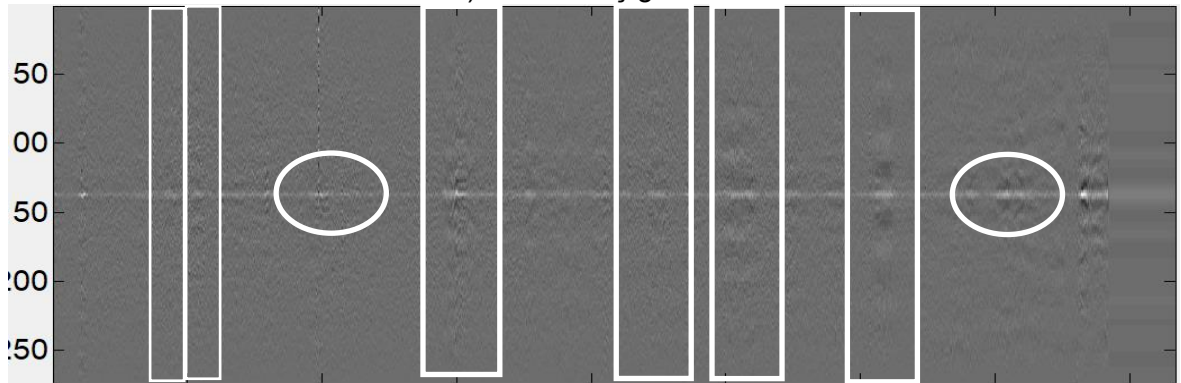
a) Yer yüzeyi yansımı temizlenmiş ve beyazlatma uygulanmış görüntü:



b) KEKOK algoritması hata fonksiyonu görüntüsü

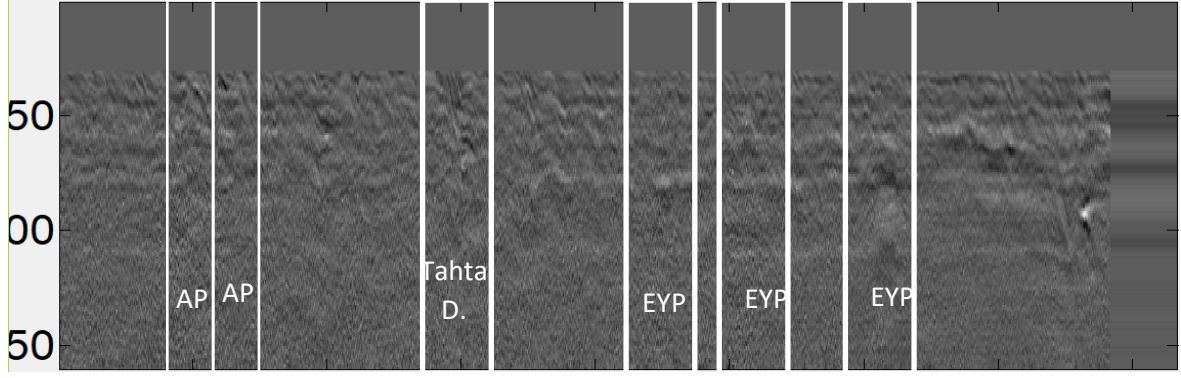


c) Hizalanmış görüntü

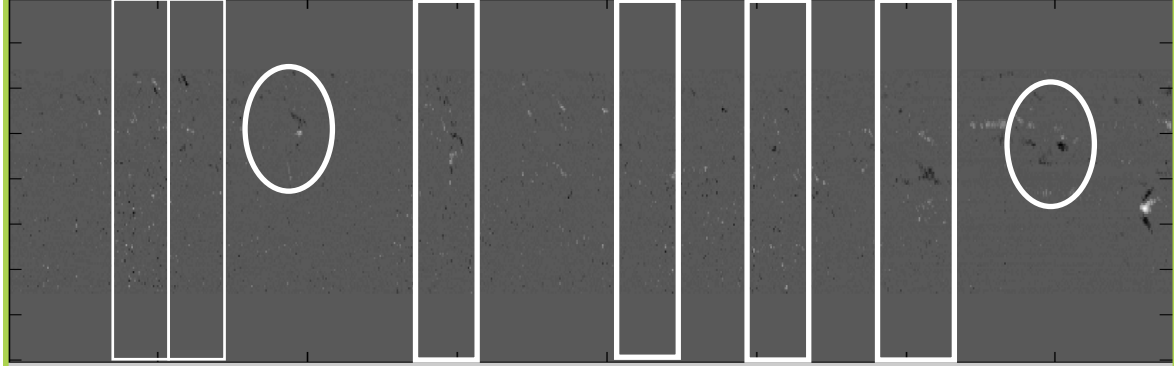


d) Çapraz korelasyon algoritması uygulanmış görüntü

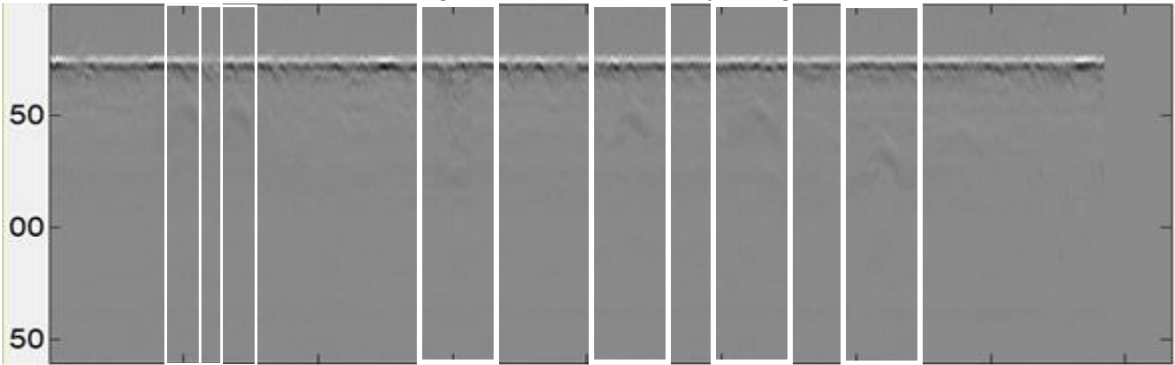
Şekil 4.33 Senaryo-3 Kanal 3



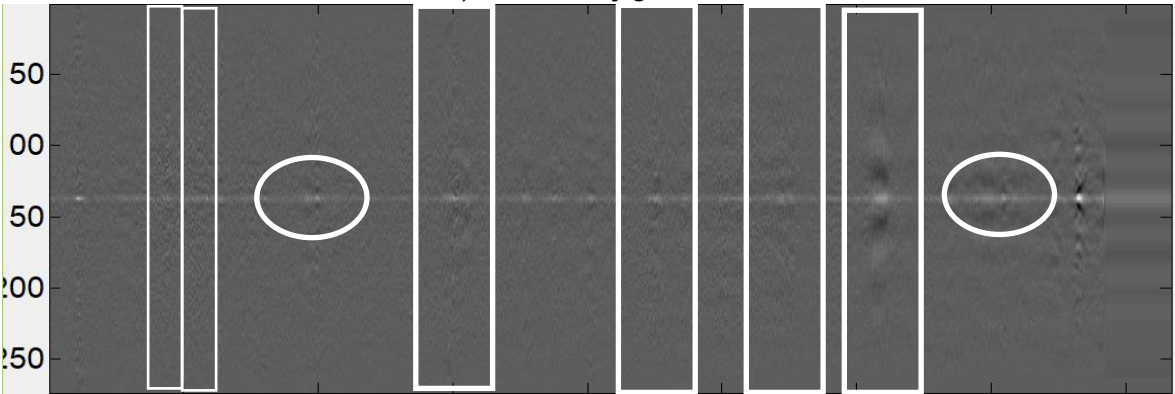
a) Yer yüzeyi yansımaları temizlenmiş ve beyazlatma uygulanmış görüntü:



b) KEKOK algoritması hata fonksiyonu görüntüsü

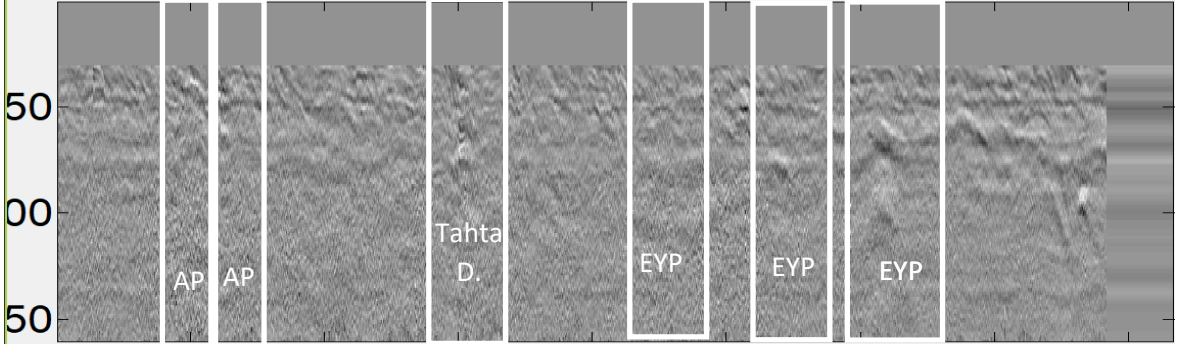


c) Hizalanmış görüntü

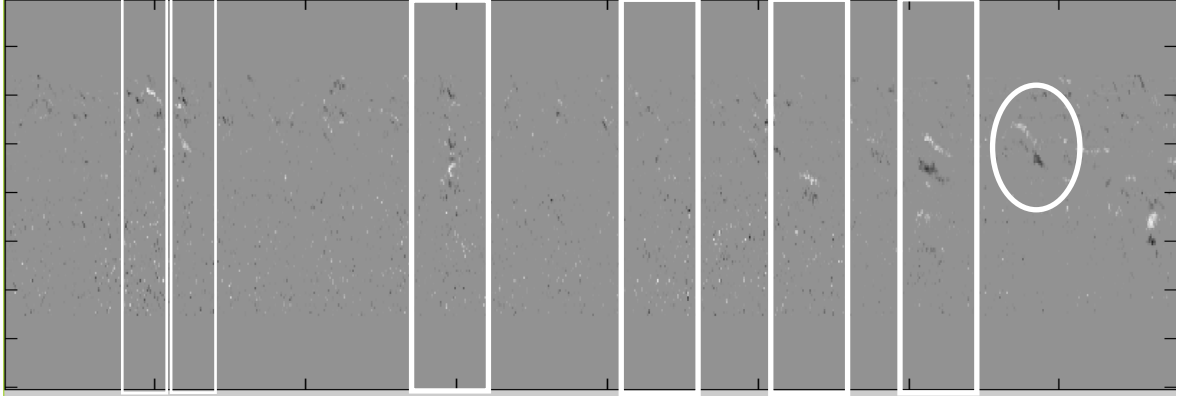


d) Çapraz korelasyon algoritması uygulanmış görüntü

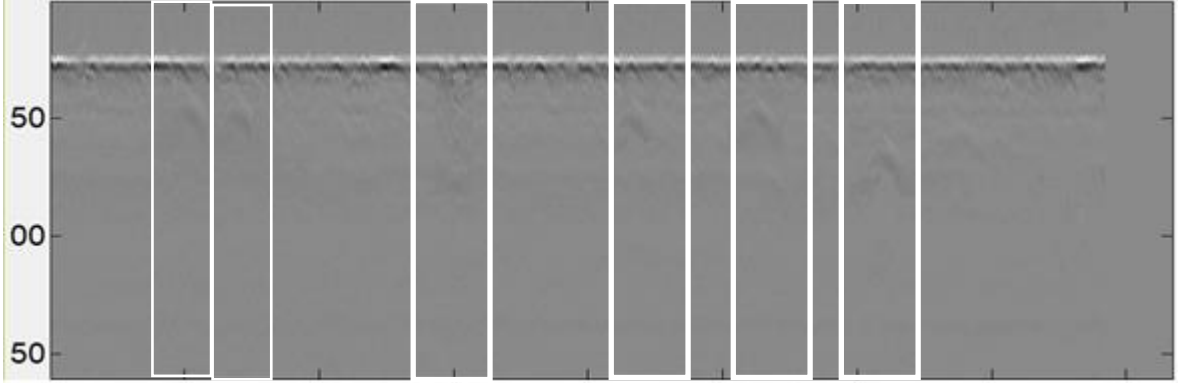
Şekil 4.34 Senaryo-3 Kanal 4



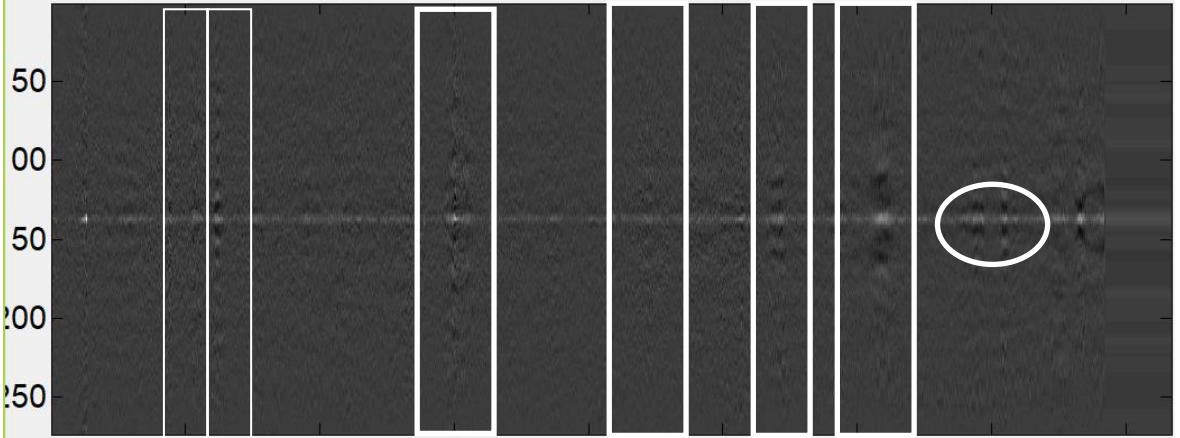
a) Yer yüzeyi yansımı temizlenmiş ve beyazlatma uygulanmış görüntü:



b) KEKOK algoritması hata fonksiyonu görüntüsü



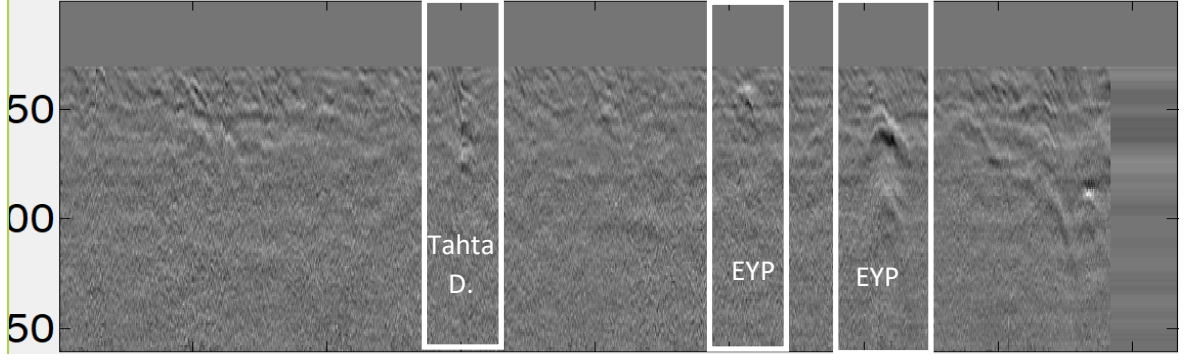
c) Hizalanmış görüntü



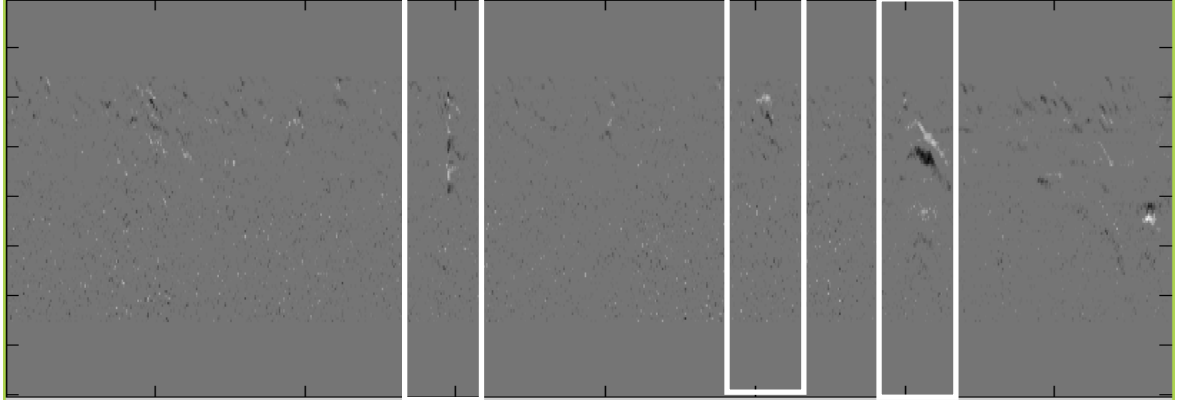
d) Çapraz korelasyon algoritması uygulanmış görüntü

Şekil 4.35 Senaryo-3 Kanal 5

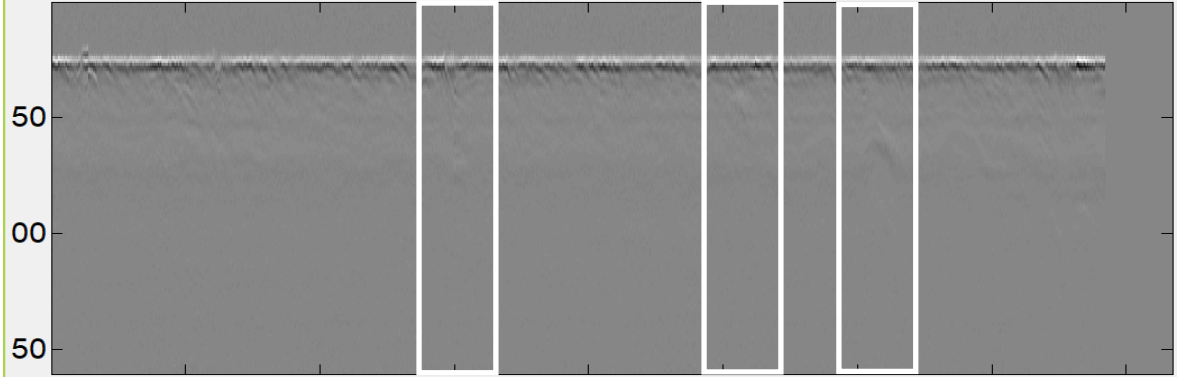




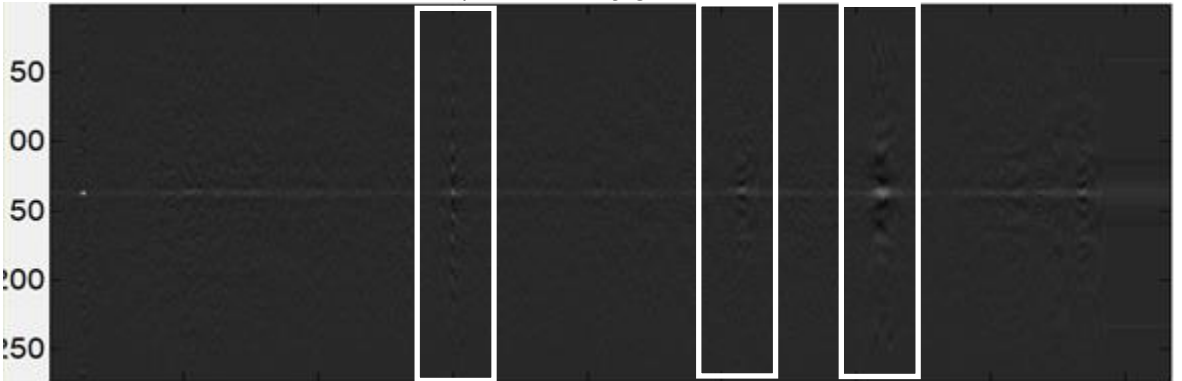
a) Yer yüzeyi yansımaları temizlenmiş ve beyazlatma uygulanmış görüntü:



b) KEKOK algoritması hata fonksiyonu görüntüsü

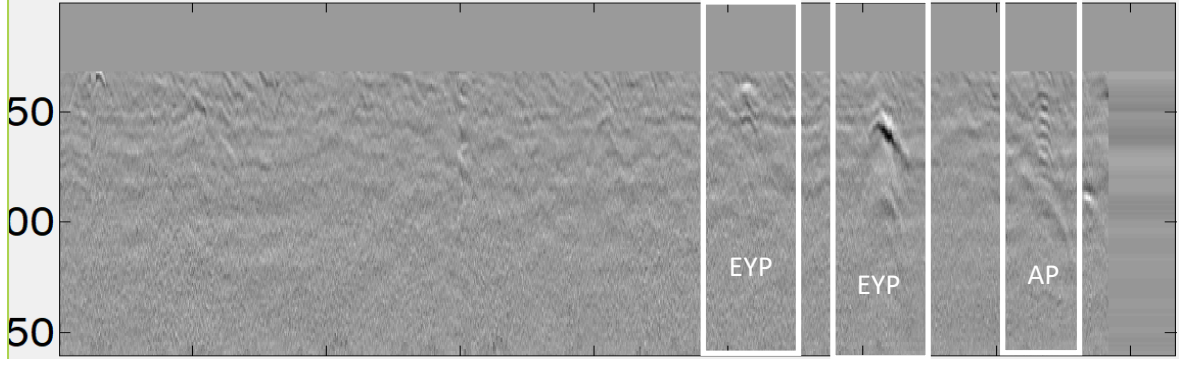


c) Hizalanmış görüntü

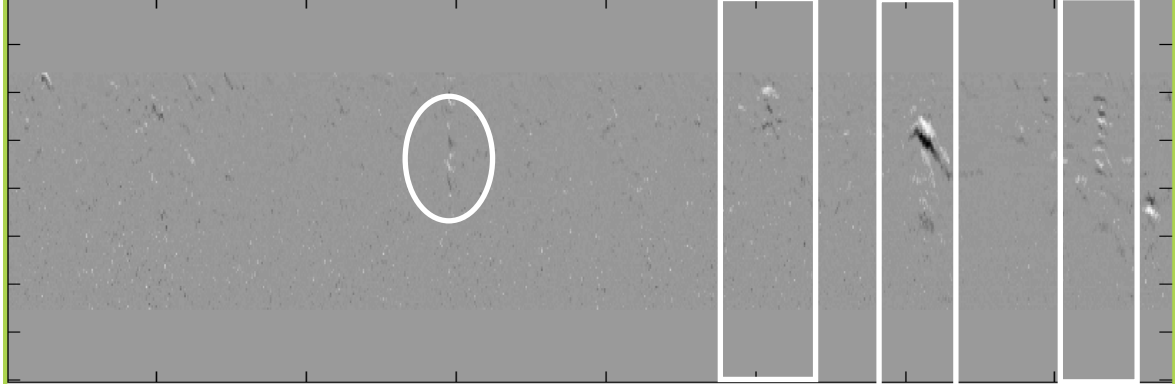


d) Çapraz korelasyon algoritması uygulanmış görüntü

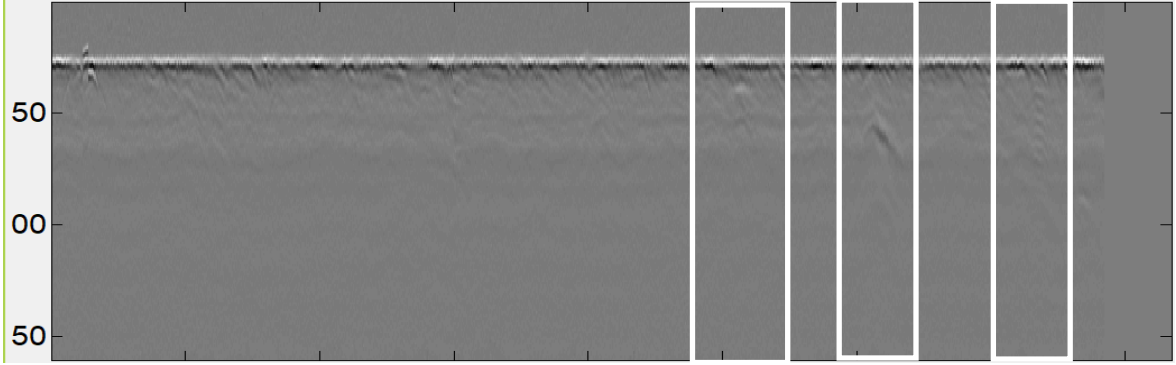
Şekil 4.36 Senaryo-3 Kanal 6



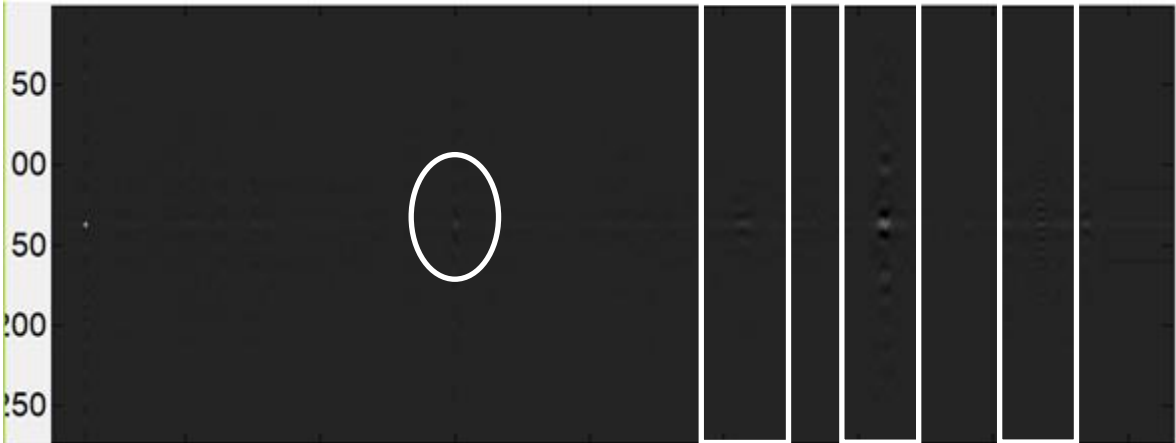
a) Yer yüzeyi yansımaları temizlenmiş ve beyazlatma uygulanmış görüntü



b) KEKOK algoritması hata fonksiyonu görüntüsü

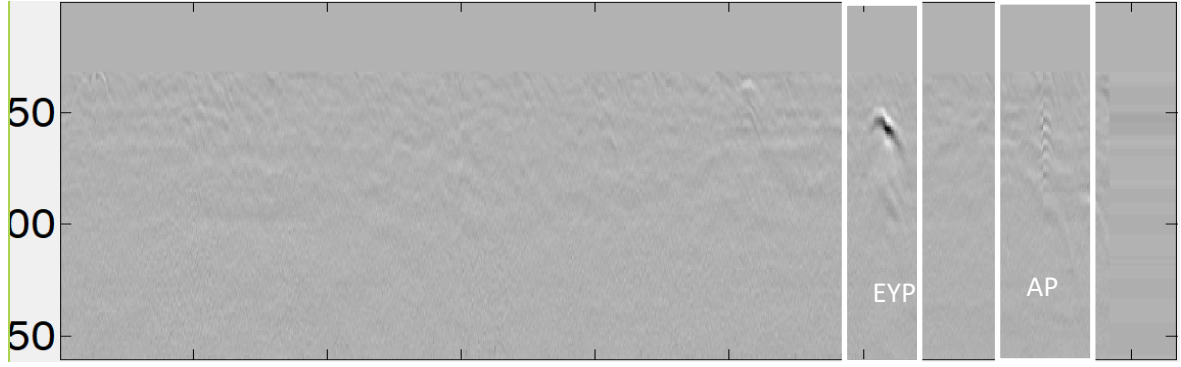


c) Hizalanmış görüntü

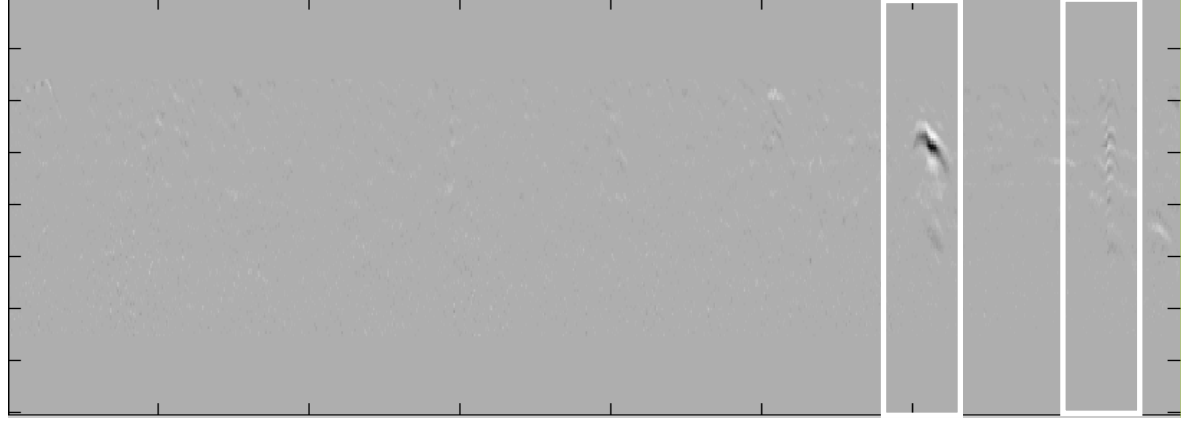


d) Çapraz korelasyon algoritması uygulanmış görüntü

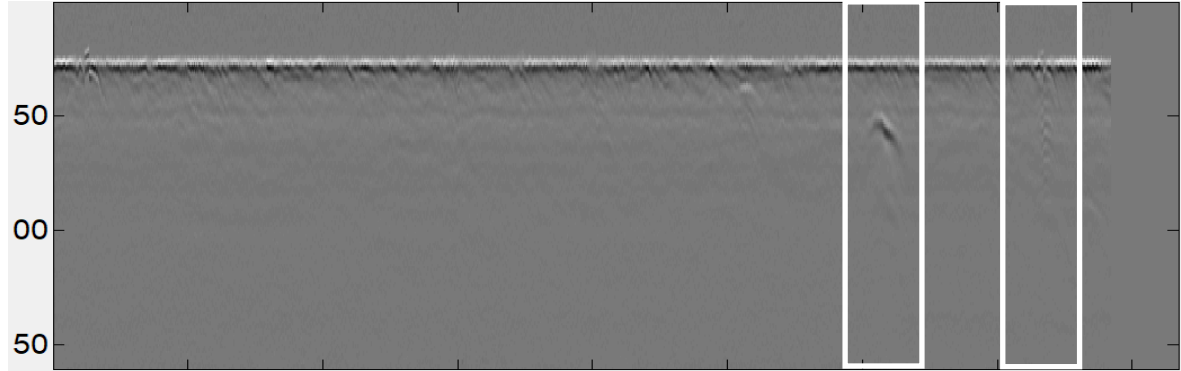
Şekil 4.37 Senaryo-3 Kanal 7



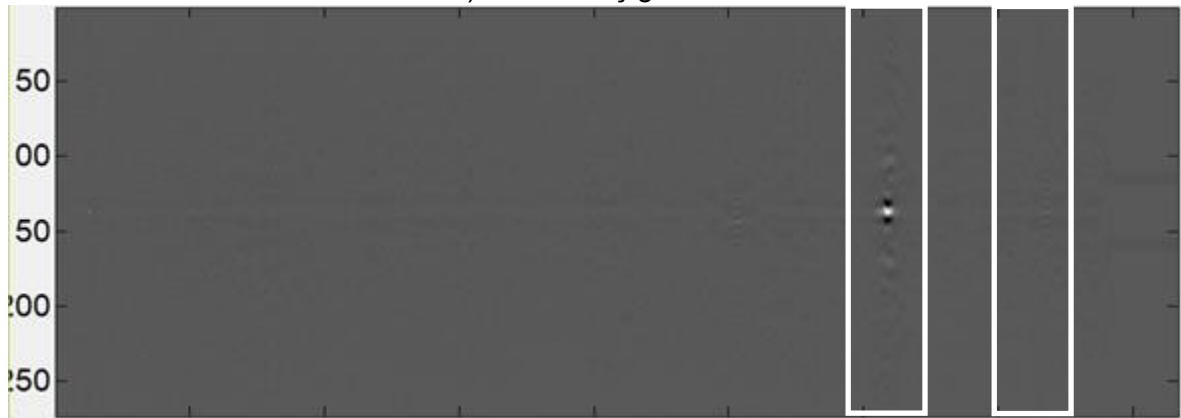
a) Yer yüzeyi yansımaları temizlenmiş ve beyazlatma uygulanmış görüntü



b) KEKOK algoritması hata fonksiyonu görüntüsü

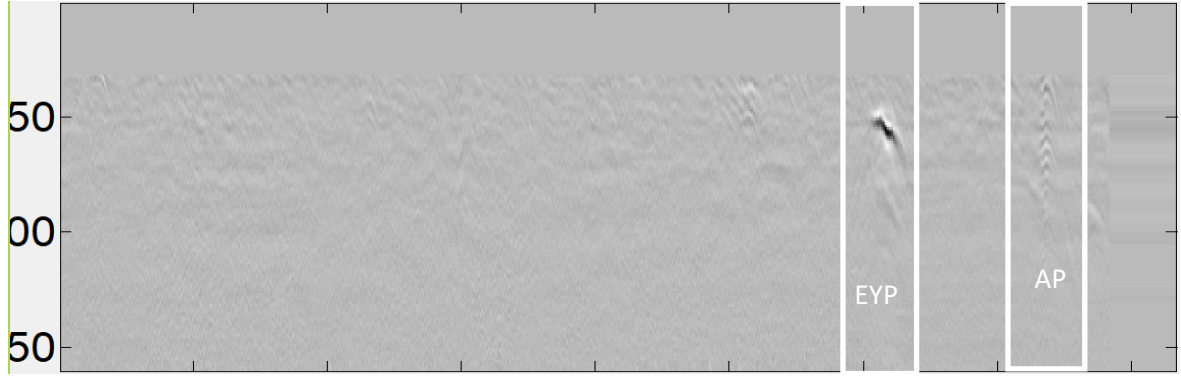


c) Hizalanmış görüntü

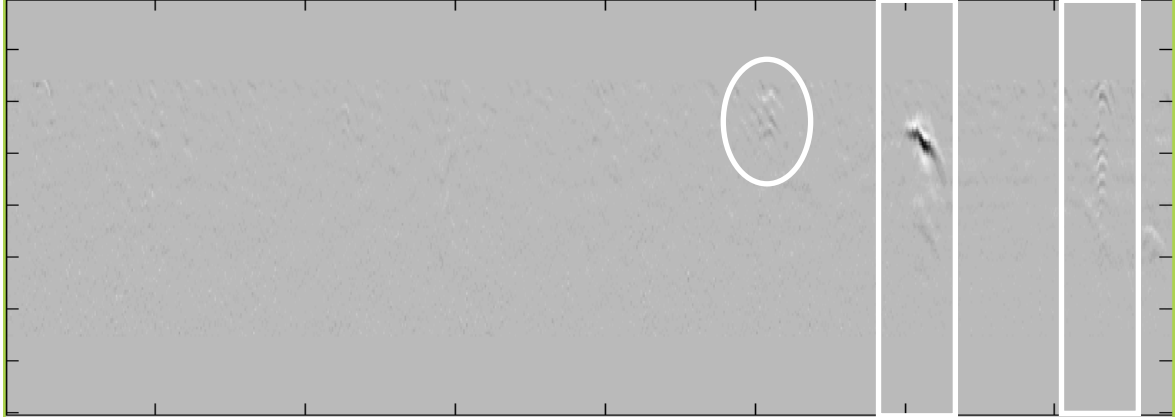


d) Çapraz korelasyon algoritması uygulanmış görüntü

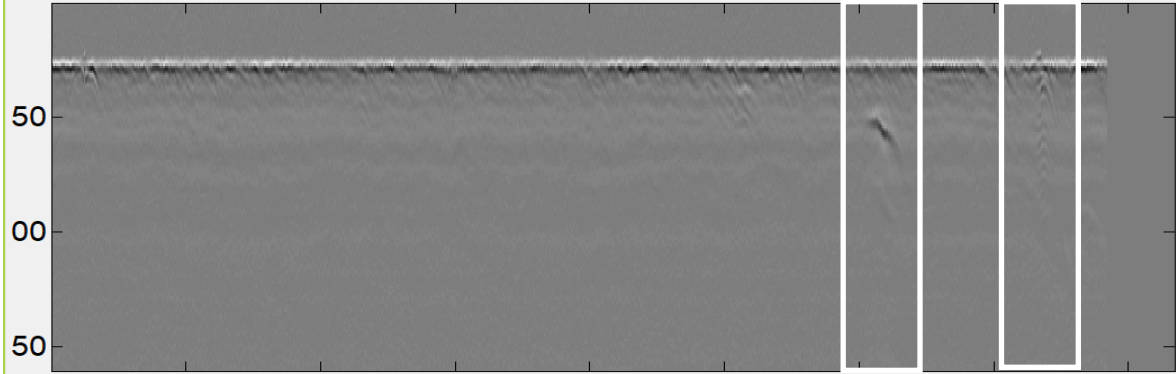
Şekil 4.38 Senaryo-3 Kanal 8



a) Yer yüzeyi yansımaları temizlenmiş ve beyazlatma uygulanmış görüntü



b) KEKOK algoritması hata fonksiyonu görüntüsü

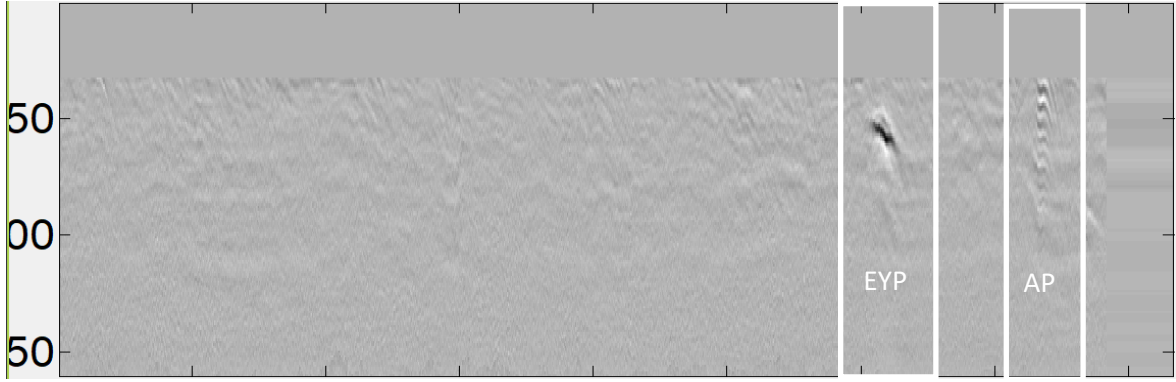


c) Hizalanmış görüntü

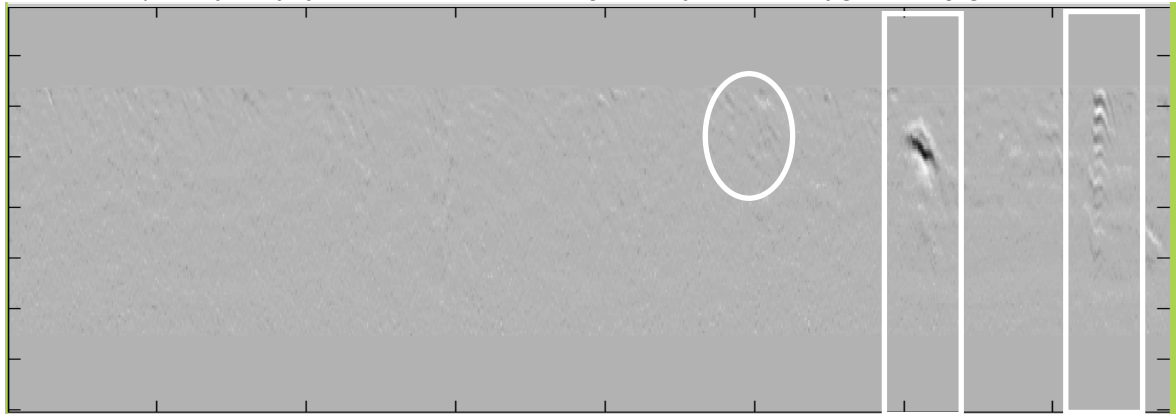


d) Çapraz korelasyon algoritması uygulanmış görüntü

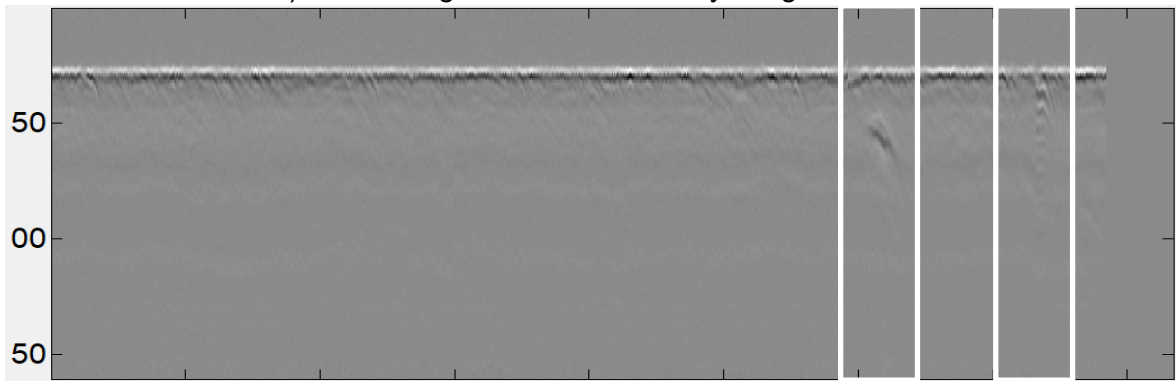
Şekil 4.39 Senaryo-3 Kanal 9



a) Yer yüzeyi yansımaları temizlenmiş ve beyazlatma uygulanmış görüntü



b) KEKOK algoritması hata fonksiyonu görüntüsü

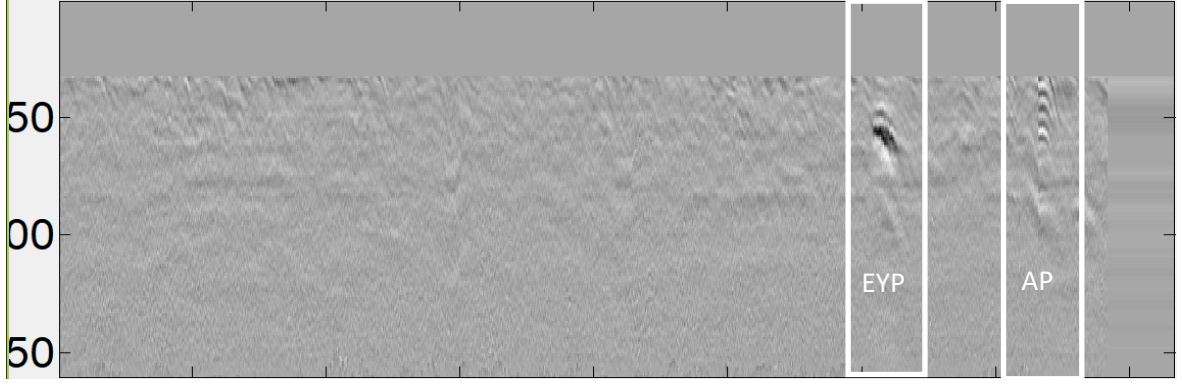


c) Hizalanmış görüntü

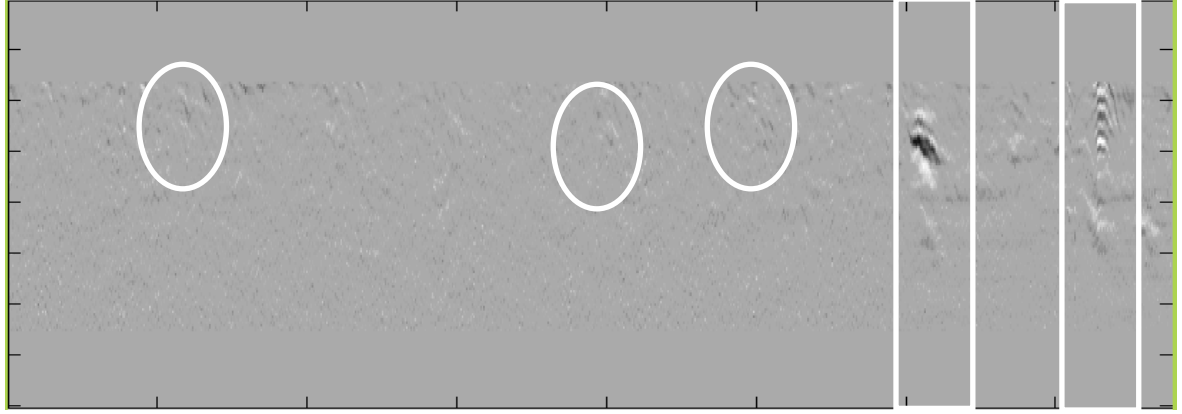


d) Çapraz korelasyon algoritması uygulanmış görüntü

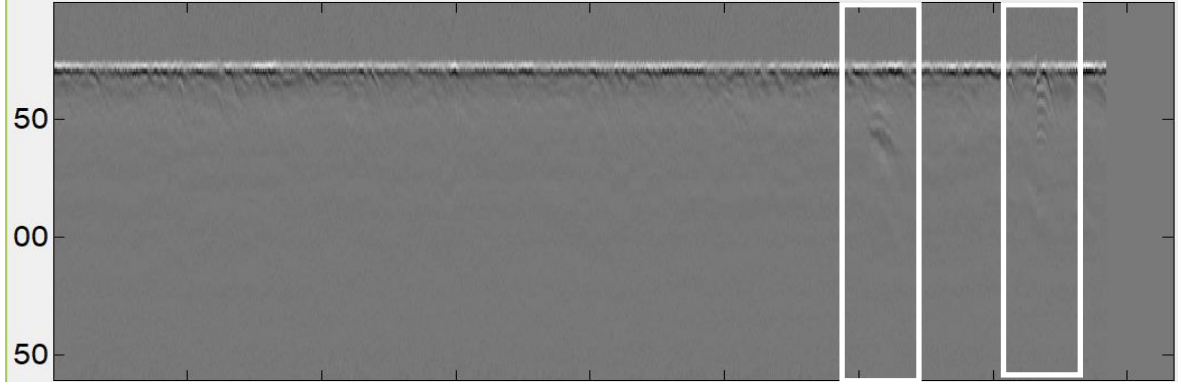
Şekil 4.40 Senaryo-3 Kanal 10



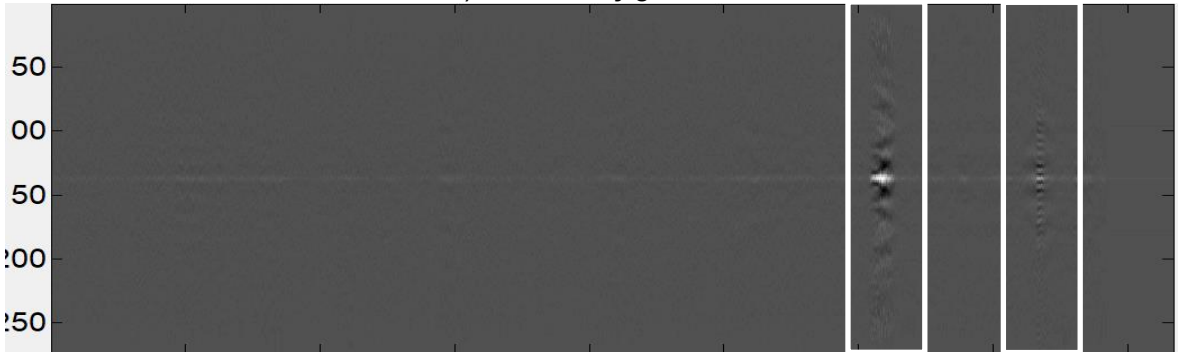
a) Yer yüzeyi yansımaları temizlenmiş ve beyazlatma uygulanmış görüntü



b) KEKOK algoritması hata fonksiyonu görüntüsü

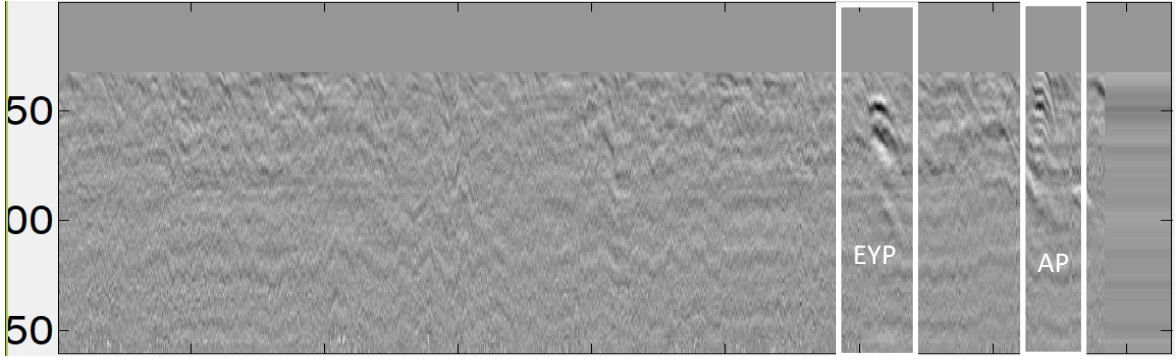


c) Hizalanmış görüntü

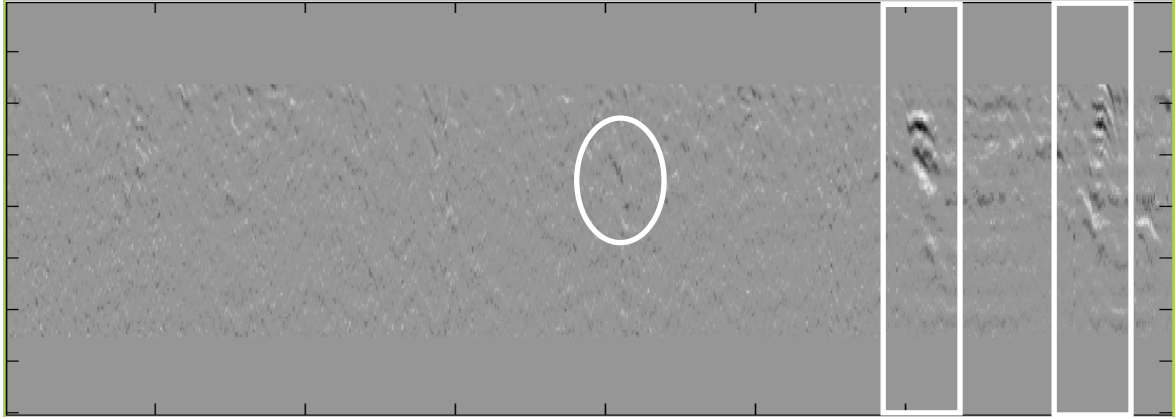


d) Çapraz korelasyon algoritması uygulanmış görüntü

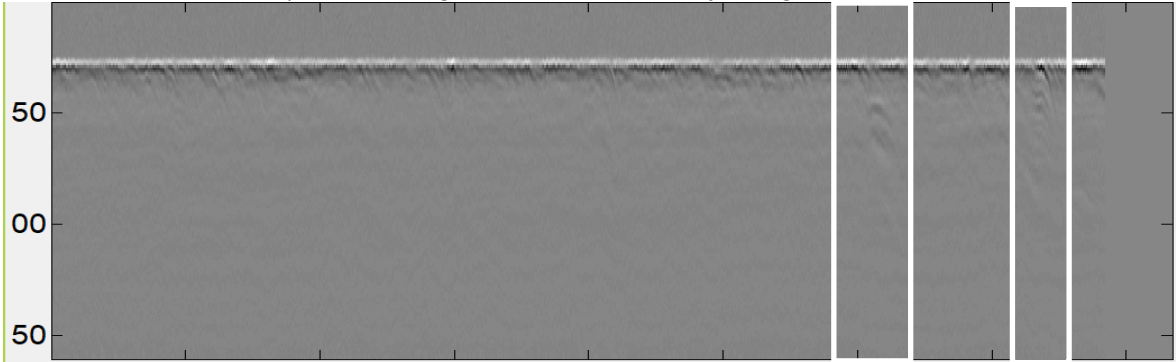
Şekil 4.41 Senaryo-3 Kanal 11



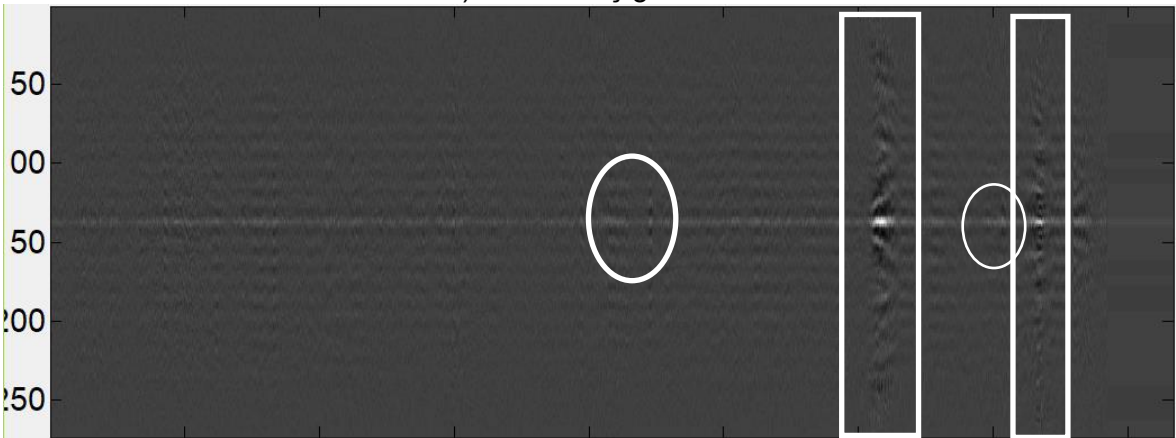
a) Yer yüzeyi yansımaları temizlenmiş ve beyazlatma uygulanmış görüntü



b) KEKOK algoritması hata fonksiyonu görüntüsü



c) Hizalanmış görüntü



d) Çapraz korelasyon algoritması uygulanmış görüntü

Şekil 4.42 Senaryo-3 Kanal 12

Senaryo-3 için kullanılan zemin karmaşık toprak yapısına sahip dolayısıyla tespit algoritmalarını en zorlayan senaryo olmuştur. Toplamda 8 adet hedef yerleştirilmiş 12 kanaldan elde edilen görüntüler Şekil 4.31-Şekil 4.42 arasında verilmiştir. Hedeflerin tespitleri iki algoritma ile de gerçekleştirilmiştir. Zemindeki kargaşa oranının yüksek olması iki algoritmada da yanlış alarm sayısını arttırmıştır. Ancak KEKOK algoritmasında elde edilen görüntünün gürültü oranı daha yüksektir. Bu hedeflerin tespitini zorlaştırmış olup hata oranını da arttırmıştır. (İlgili kanal görüntülerinde doğru alarmlar dikdörtgen, yanlış alarmlar yuvarlak olarak işaretlenmiştir.)

Yukarıda verilen senaryolar için EKOK, KEKOK ve çapraz korelasyon işlem süreleri Tablo 4.5'de verilmiştir. Korelasyon yönteminin getirdiği işlem süresi iyileştirmesi bu yöntemi tercih edilir kılmaktadır.

Tablo 4.5 Senaryo sonuçları karşılaştırmaları

| Senaryo          | Dosya Boyutu (MB) | İşlem süresi (sn) |          |                   |
|------------------|-------------------|-------------------|----------|-------------------|
|                  |                   | EKOK              | KEKOK    | Çapraz Korelasyon |
| <b>Senaryo 1</b> | 5.33              | 162.3987          | 180.5892 | <b>11.5692</b>    |
| <b>Senaryo 2</b> | 5.77              | 149.5047          | 137.2980 | <b>8.2075</b>     |
| <b>Senaryo 3</b> | 6.21              | 170.5022          | 119.679  | <b>11.444</b>     |

Yukarıda verilen örnek veri setinin yanı sıra, tüm veri seti üzerinde yapılan çalışmalar doğrultusunda gözlem yöntemi ile elde edilen doğru ve yanlış alarmlara ilişkin bilgiler Tablo 4.6 Hedef Tespit Tablosu'nda verilmiştir.

Tablo 4.6 Hedef Tespit Tablosu

| Veri Seti | Toprak Tipi | Hedef Sayısı | KEKOK       |              | Çapraz Korelasyon |              |
|-----------|-------------|--------------|-------------|--------------|-------------------|--------------|
|           |             |              | Doğru Alarm | Yanlış Alarm | Doğru Alarm       | Yanlış Alarm |
| 1         | Kum         | 5            | 5           | 0            | 5                 | 0            |
| 2         | Kum         | 6            | 6           | 0            | 6                 | 0            |
| 3         | Kum         | 4            | 4           | 0            | 4                 | 0            |
| 4         | Kum         | 7            | 7           | 1            | 7                 | 1            |
| 5         | Kum         | 5            | 5           | 0            | 5                 | 0            |
| 6         | Kum         | 3            | 3           | 0            | 3                 | 0            |
| 7         | Tınlı       | 9            | 8           | 1            | 9                 | 1            |
| 8         | Tınlı       | 10           | 10          | 2            | 10                | 2            |
| 9         | Tınlı       | 15           | 13          | 4            | 15                | 1            |
| 10        | Tınlı       | 5            | 5           | 0            | 5                 | 0            |
| 11        | Tınlı       | 12           | 10          | 2            | 12                | 1            |
| 12        | Tınlı       | 6            | 6           | 1            | 6                 | 0            |



|    |           |   |   |   |   |   |
|----|-----------|---|---|---|---|---|
| 13 | Tınlı     | 8 | 6 | 0 | 8 | 1 |
| 14 | Tınlı     | 6 | 6 | 1 | 6 | 1 |
| 15 | Tınlı kum | 7 | 7 | 1 | 7 | 1 |
| 16 | Tınlı kum | 8 | 7 | 0 | 8 | 0 |
| 17 | Tınlı kum | 4 | 4 | 0 | 4 | 0 |
| 18 | Tınlı kum | 9 | 7 | 1 | 8 | 2 |
| 19 | Tınlı kum | 8 | 6 | 0 | 6 | 1 |
| 20 | Tınlı kum | 5 | 5 | 0 | 4 | 0 |

Gözlem yöntemiyle yaptığımız tespit durumlarına baktığımızda KEKOK yönteminde doğru alarm-hedef sayısı oranı %92'lik bir oran iken çapraz korelasyon ile %99'luk bir doğruluk oranı elde edilebilmektedir. Ancak bu işlem seviyesinde amaç yöntemlerin doğruluk oranlarını kıyaslamak değil sınıflandırma adımından önce ne kadar kontrol edilmesi gereken hedef olduğunu hızlı ve kayıpsız tespit etmektir. Yanlış alarm oranının ve doğru tespit oranının kıyaslanabilmesi için öznitelik bilgilerine ve daha fazla veri seti ile çalışma yapılmasına ihtiyaç duyulmaktadır.

## 5 SONUÇLAR VE GELECEK ÇALIŞMALAR

Yeraltındaki materyallerin tespit ve teşhisi önemli bir konu olup dünya genelinde buna yönelik çalışmalar uzun yıllardır devam etmektedir. Sistem tasarımına etki eden çok fazla parametre olması kapsamlı bir işlem algoritması gerektirmektedir. Bu algoritma yapısı içerisinde teşhis adımı olan sınıflandırma uzun süren bir adımdır. Bu nedenle, olası tehdit alanlarının bulunması için YNR verileri öncelikle bir ön görüntüleyiciden geçirilir. Çalışmada B-tarama için ön görüntüleyici olarak EKOK, KEKOK ve Çapraz korelasyon yöntemleri uygulanmıştır. Ekstra bir regularizasyon terimine gerek kalmadan iyi konumlandırılmış çözümler sunabilen KEKOK algoritmasının olası tehdit noktalarının tespitinde kullanılabildiği gözlemlenmiştir. KEKOK yönteminin EKOK'a nazaran daha hızlı sonuç verdiği yönünde sonuçlar elde edilmiştir. Bunun yanı sıra, sistemin gerçek zamanlı olarak veriyi işleyebilmesi çok kritik ve önemli bir yetenek olacağından EKOK ve KEKOK gibi yöntemlerin yanı sıra gerçek zamanlı bir yöntem olan çapraz korelasyon yönteminin uygulanabilir olduğu değerlendirilmiş ve çok daha hızlı ve düşük yanlış alarm oranı ile çözüm sunduğu hedeflenen doğrultuda gösterilmiştir. Çapraz korelasyon yönteminin YNR verilerine uygulanması ile çok daha kısa sürede hedeflerin bulunduğu bölgeler tespit edilmekte olup bu algoritma sistemin bu evredeki işlem süresini kısaltmaktadır. Mevcutta çalışılan YNR tasarımları ve İleri bakan YNR teknolojilerinin geliştirilmesi ile birlikte sistem etkinliğini arttıracak bir yetenek olacağı öngörülmektedir. Ek olarak, farklı toprak tipleri ile yapılan çalışmalarda bu parametrenin sistem başarımını etkilediği tespit edilmiştir. Özellikle, Türkiye'de farklı bölgelerde farklı toprak yapılarının olması YNR sisteminin her toprak tipi için kalibre edilme ihtiyacı olduğu ortaya çıkmıştır. Farklı toprak tipleri için farklı çözüm algoritmalarının yürütülebileceği göz önünde bulundurulmalıdır. Aksi takdirde, tek bir toprak tipine göre tasarlanacak sistemin farklı koşullar için etkisiz kalabileceği bilinmektedir. Daha sonra yapılabilecek çalışmalarda veri setinin genişletilmesi ile sistemin sonraki öznetelik çıkarma ve sınıflandırma evrelerinde sistem eğitilerek hedeflerin ayrımı, teşhis edilmesi sağlanabilecektir.

## KAYNAKLAR LİSTESİ

- [1] <http://www.the-monitor.org/>
- [2] D. J. Daniels, "Ground Penetrating Radar-2nd Edition Edited by," 2004.
- [3] A.S.Türk,"Yere Nüfuz Eden Darbe Radarı için Geniş Bantlı Anten Tasarımları", 2004
- [4] Bilkent Üniversitesi MTS Proje Grubu , "Mayın Tespit Sistemleri (MTS) Geliştirilmesi Projesi GPR Simülasyonu Sonuç Raporu", 1999.
- [5] E.Temlioğlu, "Yere Nüfuz Eden Radar Görüntülerinde Morfolojik Bileşen Analiz Yöntemi Analizi Yöntemi ile Kargaşa Giderme", 2015
- [6] P. Torrione, L. Collins, F. Clodfelter, S. Frasier, and I. Starnes, "Application of the LMS Algorithm to Anomaly Detection Using the Wichmann/Niitek Ground Penetrating Radar," 2003.
- [7] B. Karlsen, J. Larsen, H.B.D. Sirensen, and K.B. Jakobsen., " Comparison of PCA and ICA based clutter reduction in GPR systems for anti-personal landmine detection". 2001.
- [8] S. Tjora, E. Eide, ve L. Lundheim," Evaluation of methods for ground bounce removal in GPR utility mapping, Tenth International Conference on Ground Penetrating Radar",2004
- [9] F. Abujarad, A. Jöstingmeier ve A. Omar, "Clutter removal for landmine using different signal processing techniques",2004.
- [10] F. Abujarad, G. Nadim ve A. Omar, "Wavelet packets for GPR detection of non-metallic anti-personnel landmines based on higher-order-statistics", 2005
- [11] Y. Luo, ve G.Y. Fang, "GPR clutter reduction and buried target detection by improved kalman filter technique",2005
- [12] A. Zoubir,, I.J. Chant, C. Brown, B. Barkat ve C. Abeynayake,"Signal processing techniques for landmine detection using impulse ground penetrating radar", 2002
- [13] P.A. Torrione, D. Morton, R. Sakaguchi ve L.M. Collins, "Histograms of oriented gradients for landmine detection in ground-penetrating radar data", 2014
- [14] P.D. Gader, M. Mystkowski ve Y. Zhao, "Landmine detection with ground penetrating radar using hidden markov models, 2001
- [15] H. Frigui ve P.D Gader," Detection and discrimination of land mines in ground penetrating radar based on edge histogram descriptors and a possibilistic k-nearest neighbor classifier", 2009

- [16] B. Baydar, G. B. Akar, S. E. Yüksel, ve S. Öztürk, "Fusion of KLMS and blob based pre-screener for buried landmine detection using ground penetrating radar," 2016.
- [17] M. Peker and H. Altun, "HOG Temelli Bir Yöntem ile Ölçek ve Yönden Bağımsız Gerçek Zamanlı Nesne Tanıma How to teach computational thinking View project Instructional technology View project," 2012.
- [18] Rayn Sakaguchi, "Image Processing Methods Applied to Landmine Detection in Ground Penetrating Radar"
- [19] J. Wang and Y. Su, "Fast Detection Of Gpr Objects With Cross Correlation and Hough Transform," Prog., 2013.