

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRONİK VE HABERLEŞME MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

GPR B TARAMA GÖRÜNTÜLERİNDE GÖMÜLÜ
NESNELERİN BÖLÜTLENMESİ VE TESPİTİ

GÖZDE ALTIN

KOCAELİ 2020

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

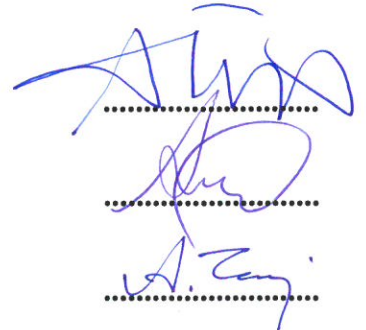
ELEKTRONİK VE HABERLEŞME MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

GPR B TARAMA GÖRÜNTÜLERİNDE GÖMÜLÜ
NESNELERİN BÖLÜTLENMESİ VE TESPİTİ

GÖZDE ALTIN

Dr. Öğr. Üyesi Arif DOLMA
Danışman, Kocaeli Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Aysun TAŞYAPI ÇELEBİ
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Yahya TEŞNELİ
Jüri Üyesi, Sakarya Üniversitesi



Tezin Savunulduğu Tarih: 31.01.2020

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Hazırladığım bu tez çalışmasında, yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen başta tez danışmanlarım DR. Öğr. Üyesi Arif DOLMA ve Prof. DR. Doğan DİBEKÇİ olmak üzere öğrenim hayatım boyunca emeği geçen tüm hocalarıma teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca makale ve tez çalışmalarında bana hep destek olan ve bana bu kutsal mesleği kazandıran en değerli varlığım biricik anneme ve varlığıyla yanımda olmasa da ruhuyla yanımda olduğunu bildiğim en yakın arkadaşım, 2010 yılında bölümümüzü de birincilikle bitirmiş olan rahmetli Tuğçe DERTOP'a hayatıma en güzel izleri bıraktıkları için teşekkürü bir borç bilirim.

Ocak– 2020

Gözde ALTIN

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iv
TABLolar DİZİNİ	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	vii
ÖZET.....	viii
ABSTRACT	ix
GİRİŞ	1
1. GENEL BİLGİLER	3
1.1. Çalışmanın Amacı	3
1.2. Çalışma Yöntemleri.....	3
1.3. Önceki Çalışmalar	3
2. MALZEME VE YÖNTEM	9
2.1. Malzeme	9
2.1.1. Radarlar.....	9
2.1.2. Yere nüfuz eden radar.....	9
2.1.3. Yere nüfuz eden radarları avantajları ve dezavantajları	13
2.1.4. Yere nüfuz eden radarların temel prensipleri	14
2.1.4.1. Yalıtkan malzemelerde elektromanyetik özellikler.....	14
2.1.4.2. Veri toplama parametreleri.....	16
2.1.5. Yere nüfuz eden radar veri tipleri.....	18
2.1.5.1. A-tarama.....	18
2.1.5.2. B-tarama	19
2.1.5.3. C-tarama	19
2.1.6. Yere nüfuz eden radar verisi.....	20
2.1.6.1. Simülasyon verisi	20
2.1.6.2. GprMax	20
2.1.6.3. GprMax ile modelleme.....	21
2.1.6.4. GprMax programında giriş dosyası özellikleri.....	22
2.1.6.5. Giriş dosyası komutları	23
2.2. Yöntem	26
2.2.1. Renk ve renk uzayları	26
2.2.1.1. RGB renk uzayı.....	27
2.2.1.2. CMY renk uzayı.....	27
2.2.1.3. HSV renk uzayı	28
2.2.1.4. HLS renk uzayı.....	29
2.2.1.5. HSI renk uzayı.....	30
2.2.1.6. CIE XYZ renk uzayı	30
2.2.1.7. CIE Lab renk uzayı	32
2.2.2. Görüntü Eşikleme	32
2.2.2.1. Otsu yöntemi	33
2.2.2.2. Çoklu eşikleme yöntemi.....	36
2.2.2.3. Gri ton düzgünlüğü ve düzensizliği ölçütü	38

2.2.3. Hough dönüşümü.....	39
2.3. Veri Seti ve Senaryolar.....	40
2.4. Önerilen Yöntem	45
3. BULGULAR VE TARTIŞMA	48
3.1. Deneysel Sonuçlar	48
3.2. Tasarlanan GUI Yapısı	55
3.3. Hesaplama Süreleri.....	56
4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	62
KAYNAKLAR	63
EKLER.....	67
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER	92
ÖZGEÇMİŞ	93



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1.	Tipik GPR Sistemi	10
Şekil 2.2.	GPR'ın İç yapısı ve Çalışma Prensibi	11
Şekil 2.3.	GPR A Tarama Sinyali.....	18
Şekil 2.4.	GPR B Tarama Görüntüsü	19
Şekil 2.5.	GPR C Tarama Görüntüsü	20
Şekil 2.6.	İki Boyutlu GprMax Simülasyonu	21
Şekil 2.7.	Giriş Dosyası	22
Şekil 2.8.	RGB Renk Uzayı.....	27
Şekil 2.9.	CMY Renk Uzayı.....	28
Şekil 2.10.	HSV Renk Uzayı.....	29
Şekil 2.11.	HLS Renk Uzayı	29
Şekil 2.12.	HSI Renk Uzayı	30
Şekil 2.13.	CIE XYZ renk uzayı	31
Şekil 2.14.	CIE Lab renk uzayı	32
Şekil 2.15.	(a) Örnek Görüntü ve (b) İkili Eşiklenmiş Görüntü	33
Şekil 2.16.	(a) Örnek Görüntü ve (b) Çoklu Eşiklenmiş Görüntü.....	36
Şekil 2.17.	Görüntüdeki Gri Seviyelerin Sınıflara Ayrımı.....	37
Şekil 2.18.	(a) Oluşturulan Senaryolar (b) Elde Edilen GPR B Tarama Görüntüleri	41
Şekil 2.19.	(a) Oluşturulan Senaryolar (b) Elde Edilen GPR B Tarama Görüntüleri	42
Şekil 2.20.	(a) Oluşturulan Senaryolar (b) Elde Edilen GPR B Tarama Görüntüleri	43
Şekil 2.21.	(a) Oluşturulan Senaryolar (b) Elde Edilen GPR B Tarama Görüntüleri	44
Şekil 2.22.	GPR Test Düzenegi.....	45
Şekil 2.23.	Önerilen Yöntem	46
Şekil 3.1.	(a) Orijinal Görüntü (b) Önerilen Yöntem Sonucu Bölütlenmiş GPR B Tarama Görüntüsü	49
Şekil 3.2.	(a) Orijinal Görüntü (b) Önerilen Yöntem Sonucu Bölütlenmiş GPR B Tarama Görüntüsü	49
Şekil 3.3.	(a) Orijinal Görüntü (b) Önerilen Yöntem Sonucu Bölütlenmiş GPR B Tarama Görüntüsü	50
Şekil 3.4.	(a) Orijinal Görüntü (b) Önerilen Yöntem Sonucu Bölütlenmiş GPR B Tarama Görüntüsü	50
Şekil 3.5.	(a) Orijinal Görüntü (b) Önerilen Yöntem Sonucu Bölütlenmiş GPR B Tarama Görüntüsü	51
Şekil 3.6.	(a) Orijinal Görüntü (b) Önerilen Yöntem Sonucu Bölütlenmiş GPR B Tarama Görüntüsü	51
Şekil 3.7.	(a) GPR B Tarama görüntüleri [29] (b) Sonuçları	52
Şekil 3.8.	(a) GPR B Tarama görüntüleri [29] (b) Sonuçları	52
Şekil 3.9.	(a) GPR B Tarama görüntüleri [29] (b) Sonuçları	53
Şekil 3.10.	(a) GPR B Tarama görüntüleri [29] (b) Sonuçları	53

Şekil 3.11. (a) GPR Cihazından Alınan B Tarama Görüntüleri, Oluşturulan Simülasyon Görüntüleri (b) Sonuçları	54
Şekil 3.12. (a) GPR Cihazından Alınan B Tarama Görüntüleri, Oluşturulan Simülasyon Görüntüleri (b) Sonuçları	54
Şekil 3.13. (a) GPR Cihazından Alınan B Tarama Görüntüleri, Oluşturulan Simülasyon Görüntüleri (b) Sonuçları	55
Şekil 3.14. Matlab Ortamında Tasarlanan Gui	56
Şekil 3.15. Görüntü İşleme Süreleri	58



TABLolar DİZİNİ

Tablo 3.1. Simülasyon GPR B Tarama Görüntülerinde Önerilen Algoritmanın Performansı.....	57
Tablo 3.2. GPR B Tarama Görüntülerinde Önerilen Algoritmanın Performansı [29].....	57
Tablo 3.3. GPR Cihazından Alınan GPR B Tarama ve Bu Görüntüler Kapsamında Oluşturulan Simülasyon Görüntüleri İçin Elde Edilen Performans Zamanı.....	58
Tablo 3.4. Performans Karşılaştırılması.....	59
Tablo 3.5. Literatürde yer alan benzer çalışmalar ile önerilen yöntemin karşılaştırılması	60

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Kısaltmalar

ADD	: Ayrık Dalgacık Dönüşümü
ASBDK	: Amerikan Standart Bilgi Değişimi Kodu
BBA	: Bağımsız Bileşen Analizi
BP	: Back Projeksiyon
CIE	: Commission Internationale de l'Eclairage(Uluslararası Aydınlatma Komisyonu)
CMY	: Cyan, Magenta, Yellow (Mavi, Kırmızı, Sarı)
ÇYDD	: Çift Yoğunluklu Dalgacık Dönüşümü
DD	: Dalgacık Dönüşümü
EM	: Elektromanyetik
EMG	: Elektromanyetik Girişim
EKK	: En Küçük Kareler
FD	: Fourier Dönüşümü
FDTD	: Finite Difference Time Domain(Sonlu Fark Zaman Alanı)
GPR	: Ground Penetrating Radar .(Yere Nüfuz Eden Radar)
GTD	: Gri Ton Düzgünlüğü
GTDS	: Gri Ton Düzensizliği
HSI	: Hue, Lightness, Intensity (Ton, Hafiflik, Yoğunluk)
HSV	: Hue, Saturation, Value (Ton, Doygunluk, Değer)
HLS	: Hue, Lightness, Saturation (Ton, Hafiflik, Doygunluk)
KT	: Kırınım Tomografisi
KZFD	: Kısa Zamanlı Fourier Dönüşümü
NUFFT	: Non-Uniform Fast Fourier Transform (Düzgün Olmayan Hızlı Fourier Dönüşümü)
PML	: Perfectly Matched Layer (Mükemmel uyumlu Katman)
RGB	: Red, Green, Blue
SGO	: Sinyal Gürültü Oranı
TBA	: Temel Bileşen Analizi
TDA	: Tekil Değer Ayırıştırma
YNR	: Yere Nüfuz eden Radar
YSA	: Yapay Sinir Ağı
YSK	: Yutucu Sınır Koşulu
2-B	: 2 Boyutlu

GPR B TARAMA GÖRÜNTÜLERİNDE GÖMÜLÜ NESNELERİN BÖLÜTLENMESİ VE TESPİTİ

ÖZET

Ground Penetrating Radar (GPR) diğer bir ifadeyle Yere nüfuz eden Radar (YNR), yer altında bulunan gömülü nesne ve katmanların elektromanyetik yöntemler ile analizini ve algılanmasını sağlayan bir radar çeşididir. GPR cihazının tarama sonrasında elde ettiği B tarama görüntülerinin içerisinde en çok dikkati çeken husus gömülü hedef tabanlı hiperbolik desenlerdir. Bu hiperbolik desenlerin analizi ile gömülü nesnelere tespiti gerçekleştirilmektedir.

Bu tez kapsamında 2 boyutlu (2-B) görüntülerini elde etmek için Python tabanlı çalışan GprMax programı kullanılmıştır. GprMax programı planlanan senaryodan B-Tarama görüntülerini oluşturmaktadır. Bu senaryolarda farklı şekillerde ve farklı derinliklerde cisimler yer almaktadır. 2 boyutlu B-Tarama görüntülerinde yer altındaki cisimler genel olarak hiperbol olarak gözlenmektedir. GprMax programı kullanılarak birbirinden farklı 15 adet B-Tarama görüntüsü üretilmiştir. Ayrıca 11 adet gerçek GPR B-Tarama görüntüsü kullanılmıştır. Bu görüntülerde yer altı cisimlerinin bölütlenmesi ve tahmini yerinin seçilebilmesi için bir dizi görüntü işleme algoritmalarının kullanılması gerekmektedir. İlk olarak B-Tarama görüntülerinin renk düzeni incelendiğinde görüntüdeki gürültüleri daha düşük seviyeye indirmek için renk uzayı değiştirilerek uzayın kırmızı kanalının seçilmesi gerekmektedir. Sonra otsu eşikleme yöntemi kullanarak ilgili cisimlerin ve toprak düzlemin bölütlenmesi gerçekleştirilmektedir. Tam olarak gömülü cisimlerin bölütlenmesinin yapılabilmesi için Hough dönüşümü kullanılarak B-Tarama görüntüsünde hiperbol olarak temsil edilen cisimlerin eğriliklerinin incelenmesi gerçekleştirilir. Son olarak ise cisimlerin tahmini yerini çizdirebilmek için bölge analizi gerekmektedir.

Sonuç olarak, önerilen görüntü işleme yöntemi ile B-tarama görüntülerindeki gürültüler giderilerek gömülü cisimlerin tahmini derinliğinin tespit edilebileceği anlaşılmıştır. Önerilen yöntemin tam olarak çalışması sayesinde üretilen 20 farklı B-tarama görüntülerinde yüksek performans elde edilebilmektedir. Ayrıca önerilen yöntemin hızlı sonuç verebilmesi sayesinde gerçek zamanlı sistemlere uyarlanabilmesi mümkündür.

Anahtar Kelimeler: Görüntü İşleme, GprMax, Hough Dönüşümü, Otsu Eşikleme, Yere Nüfuz Eden Radar.

BURIED OBJECTS SEGMENTATION AND DETECTION IN GPR B SCAN IMAGES

ABSTRACT

The Ground Penetrating Radar (GPR) can be expressed briefly as the perception and positioning of the buried objects and the ground surface layers by electromagnetic techniques. GPR has wide application areas such as buried land mines, unexploded military ammunition, power lines and underground layers. Hyperbolas are significant elements in GPR applications. It is the main goal to get these hyperbolas and ability to focus on real location of objects.

In this thesis, a Python-based GprMax program is used to obtain 2-dimensional (2-D) images. The GprMax program generates B-scan images that is taken from the planned scenario. In these scenarios there are different shapes and objects at different depths. In B-scan images, buried objects are generally observed as hyperbolas. 15 different B-scan images were generated via GprMax program. In these images, a number of image processing algorithms have to be used in order to segment the buried objects and select the estimated location. In addition, 11 real GPR B-Scan images were used. At first, the color space is changed to reduce the noise when the B-scan images are examined. Therefore, red channel of the color space must be selected. Segmentation of buried objects and ground plane is performed using application of Otsu thresholding on red channel of B-Scan Images. In order to be able to segment the buried objects, their eccentricities, which are represented as hyperbolas, are analyzed by means of Hough transform. Finally, region analysis is needed to draw the estimated location of buried objects.

As a result, it has been understood that the proposed image processing method can be used to determine the estimated depth of buried objects by noise removal in B-scan images. Due to the fully automatic operation of the proposed method, high performance can be achieved in 20 different B-scan images. It is also possible to adapt to the real-time systems thanks to the proposed method which can give fast results.

Keywords: Image Processing, GprMax, Hough Transform, Otsu Thresholding, Ground Penetrating Radar.

GİRİŞ

Radar, radyo dalgalarına dayalı bir nesneyi tespit etmek için kullanılır. Radar çalışmasının dayandığı elektromanyetizma teorisi, İskoç fizikçi James Clerk Maxwell tarafından ayrıntılı olarak açıklanmıştır. Maxwell denklemleri olarak adlandırılan dört denklem tarafından yönetilir. Radar prensibi, 1900'lü yılların başında, elektromanyetik (EM) dalgaların iletilmesi ve ışının yolundaki herhangi bir nesneden yansıyan sinyallerin alınmasından oluşan havadaki nesnelere saptanması için uygulanabilir bulunmuştur [1].

Ground Penetrating Radar (GPR) diğer adıyla Yere Nüfuz eden Radar (YNR), yerkürenin yüzeyinin ya da yeraltı yüzeyinin altında gömülü olan bir nesneyi bulmak için tasarlanmış olan ve elektromanyetik (EM) dalga yayılımını kullanan jeofizik yöntemidir. Son 30 yılda, GPR tekniği sığ gömülü hedefleri tespit etmek için etkili bir yöntem haline gelmiştir [2]. Saha ve zemin incelemelerinde çok çeşitli uygulamalara sahip tahribatsız jeofizik tekniktir.

Bir GPR sistemi, bir hedefi saptamak için hem hedefin hem de çevredeki ortamın elektriksel özellik farkını kullanır. GPR, toprak ortamında dielektrik veya iletkenlik özelliklerde yerel bir değişiklik tespit ederse, bir hedefin varlığı söz konusudur [3]. Veri toplanması sırasında, radar antenlerinin ortamın yüzeyiyle temas halinde olması gerekmez. Bu sayede hızlı araştırma yapmanın yanı sıra, zaman kaybını azaltmak amacıyla GPR'a fayda sağlar [4].

GPR araştırmalarına olan ilginin ve talebin yakın gelecekte daha da artacağı beklenmektedir. Bununla birlikte, temel olarak GPR testinin sonuçlarının yorumlanmasıyla ilgili bir takım sınırlamalar vardır [1];

- Yansıyan sinyaller kullanılarak elde edilen görüntüler, yeraltı özelliklerini tam olarak ifade edemeyebilir. Kullanıcı tanımlı renk kodları kullanılarak farklı dielektrik özelliklere sahip ara yüzlerden radar yansımaları sinyallerin genliğini tespit etmesi gerekir. Bu nedenle, yüzey altı radar sonuçlarını doğru bir şekilde yorumlamak için önemli miktarda deneyim ve operatör becerileri gereklidir.

- Yüzeyin altındaki bir yansıtma özelliğinin tam yerini belirlemek için malzemenin dielektrik özelliklerine ihtiyaç duyulabilir.
- Dielektrik sabitinin derinliği esas olarak nem mevcudiyeti nedeniyle değişir.
- Malzemelerde, özellikle de nem mevcudiyeti veya alt-tabakaların oluşmasından dolayı kayıplar oluşur.
- Katmanlar arasındaki yetersiz dielektrik farkın olması, altındaki tabakaların algılanmasını engelleyebilir.

GPR, bir ortamın EM özelliklerinde meydana gelen değişikliklere çok duyarlıdır, bu da hem metalik hem de metalik olmayan hedefleri tespit etme kabiliyetine sahiptir [5]. Bununla birlikte, birçok durumda hedef tarafından yansıyan sinyaller çok zayıftır ve genellikle hedef saçılma özelliklerine bağlı olmayan fakat hedefle aynı frekans bandını işgal eden gürültü ve sinyaller ile çakışır [5]. Bu durum, uygun sinyal işleme teknikleri uygulanmadan sinyalin gürültüden ayırt edilmesinde zorluklara neden olur.

GPR cihazındaki iki anten arasındaki sabit mesafeden dolayı, çapraz konuşma sinyali gürültü bileşenini ayırt etmeyi ve reddetmeyi kolaylaştıran herhangi bir sinyalden daha önce anten alıcısına ulaşır [6]. Zemin yüzeyinden gelen yansıma nedeniyle dağınıklık sinyali genellikle çok güçlüdür ve GPR sinyallerinin işlenmesinde önemli bir problemdir. Toprağın içindeki diğer nesnelere dağılmış olan sinyallerin çıkarılması da, karmaşıklık azaltma yöntemleri ile etkin bir şekilde ele alınamadığı için giderilmesi zor bir sorundur. Elde edilen verilerin kalitesini iyileştirmek ve incelenen alan içerisindeki gömülü nesnelere daha kolay tespit edilmesini sağlamak için son zamanlarda GPR sinyallerine sinyal ve görüntü işleme teknikleri uygulanmıştır.

1.GENEL BİLGİLER

1.1.Çalışmanın Amacı

Bu tez çalışmasında Ground Penetrating Radar B Tarama (GPR B) görüntülerinde bulunan gömülü nesnelere arka plandan ayrılarak bölütlenmesi ve tespit edilmesi amaçlanmıştır. Tez çalışmasında önerdiğimiz yöntem sayesinde B tarama görüntülerinde bulunan gömülü nesne desenleri hızlı ve doğru bir şekilde tespiti hedeflenmektedir. Bu sayede mayın tarama ve arkeolojik kazılar için kullanıcı desteği sağlanması amaçlanmaktadır.

1.2.Çalışma Yöntemleri

Tez kapsamında gprMax ve görüntü işleme tekniklerinden yararlanılmıştır. Matlab programında oluşturulan gömülü nesnelere bulunduğu senaryolar Finite Difference Time Domain (FDTD) yöntemini kullanan gprMax programı ile elektromanyetik saçılma çözümleri gerçekleştirilerek GPR B tarama görüntüleri elde edilmiştir. Elde edilen bu görüntüler renkli olup tez kapsamında önerilen görüntü işleme algoritması uygulanmıştır. Önerilen algoritma ilk olarak renkli ve üç kanala sahip GPR B tarama görüntülerinin Red (Kırmızı) kanalını kullanmaktadır. Bu kanalın seçiminin sebebi gömülü nesnelere özelliklerini daha çok içerisinde barındırmasıdır. Kanal seçiminden sonra Otsu Eşikleme yöntemi kullanılarak görüntü siyah ve beyaz olmak üzere iki seviyeye düşürülmüştür. Görüntüde bulunan toprak düzlemini yok etmek ve gömülü nesnelere ön plana çıkarmak için Hough dönüşümü uygulanmıştır. Son olarak bölge analizi gerçekleştirilerek gömülü nesnelere arkada plandan ayrılmış ve yerleri işaretlenmiştir.

1.3.Önceki Çalışmalar

Konu ile ilgili daha önceden gerçekleştirilen çalışmalar şu şekilde özetlenebilir;

Sinha ve arkadaşları (2006) gömülü borulardaki çatlakların tespiti için istatistiksel bir filtrenin geliştirilmesi önermektedirler. Yöntem iki aşamadan oluşmaktadır. İlk

aşama gömülü borulardaki çatlakların özelliklerini çıkarma işlemidir. Diğer aşama ise elde edilen özelliklere göre çatlak türünün ve onarılması için gereken işlemleri ifade eder. Çalışma kapsamında parametrelerin çatlak tespiti üzerindeki etkileri incelenmiş ve çeşitli boru görüntüleri için sonuçlar sunulmuştur [7].

Abujarad ve arkadaşları (2006) yapmış oldukları çalışmada anti personel mayın tespiti için frekans adımlı yere nüfuz eden radar verilerinde dağınıklığı azaltılmışlardır. Karmaşanın azaltılması amacıyla, deneysel veriler üzerine iki alt uzay izdüşümü tekniği olan Temel Bileşen Analizi (TBA) ve Bağımsız Bileşen Analizine (BBA) uygulanmıştır. Deneysel veriler 1 GHz ila 20 GHz frekans aralığında çalışan bir frekans adımlı yere nüfuz eden radar kullanılarak toplanmıştır. Elde edilen sinyal gürültü oranları karşılaştırılmıştır. Bu iki algoritma, metalik olmayan anti personel kara mayınlarıyla oluşturulan deneysel veriler için uygulanmış ve kayda değer sonuçlar elde edilmiştir [8].

Baili ve arkadaşları (2006) çalışmalarında GPR sinyallerini ifade etmek için ayrık Dalgacık Dönüşümü (DD) kullanma başarılarını araştırmışlardır. Çalışma kapsamında elde edilen deneysel GPR sinyallerini ortaya çıkarmak için farklı dalgacık yöntemleri kullanılmıştır. Aynı işlem seviyesinde Çift Yoğunluklu DD'nin (ÇYDD) yönteminin 6. Dereceden Daubechies ya da Haar DD'lerine göre GPR sinyallerindeki gürültü giderme işleminde denediğinde geride bıraktığı ispatlanmıştır. Bir dizi GPR sinyalinde ÇYDD tekniği uygulanarak, iki boyutlu gürültü seviyesi azaltılmış GPR B tarama görüntüleri elde edilmiştir [9].

HerHuat Lum ve arkadaşları (2008) gömülü nesnelere görüntülerini elde etmek için yere nüfuz eden radarlara Kırınım Tomografisi (KT) uygulanmışlardır. Amaç fonksiyonu için benzersiz bir çözüm elde etmek için, bir KT inversiyon rutininde maksimum frekans aralığı kullanılmalıdır. Çalışmada, iki boyutlu KT inversiyon rutini için Fourier Dönüşümü (FD) uygulanmış saçılmış alanın frekans aralığını uygun bir şekilde kesmek için bir yöntem önerilmiştir. FD bulunan dağınık alandaki fazın varyasyonunu belirleyerek elde edilir. Uzamsal eksen boyunca FD fazının sıfır geçiş sayısı sayılır ve uygun bant genişliği seçimini sağlamak için hareketli ortalama filtre uygulanır. Önerilen yöntem sentetik veriler üzerine uygulanmış ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir [10].

Ni ve arkadaşları (2010) gerçekleştirdikleri çalışmada daha yüksek kalitede tarama görüntüleri elde etmek ve GPR ham verilerini filtrelemek için Ayrık Dalgacık Dönüşümü (ADD) olarak adlandırılan bir sinyal işleme tekniği kullanmışlardır. Laboratuvar ortamında deneyler gerçekleştirilmiş ve farklı koşullar içerisinde gömülü boruların analizi yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar ADD uygulanmış verilerin ham verilere göre daha fazla bilgi sağladığı ispatlanmıştır. Gömülü boruların çapı ve pozisyonu hakkında önerilen yöntemin kullanıcıya daha fazla veri sağlamaktadır [11].

Pantoja ve arkadaşları (2011) çalışmalarında sinyal işleme ve özellik çıkarma tekniklerine dayanarak temel bileşen analizi ve yapay sinir ağlarının eşleştirilmiş kullanımını, GPR tabanlı elektromanyetik verilerin analiz edilmesi için etkin bir yöntem önermişlerdir. Yöntem çerçevesinde temel bileşen analizi ile GPR B tarama görüntülerinden özellik çıkarımı işlemi yapılmaktadır. Elde edilen özellikler ise tasarlanmış olan yapay sinir ağının eğitim ve test aşamasında kullanılmıştır [12].

Singh ve arkadaşları (2013) çalışmalarında GPR verilerini saniyede 8 sahne kaydederek elde etmişlerdir. Sonrasında veriler üzerine ön işleme teknikleri uygulanmıştır. Yer altındaki maden veya borulardan gerçekleşen yansımalar, yer altı radar görüntüsünde bir hiperbol ile karakterize edilir. Çalışma kapsamında, GPR görüntüsünde bulunan hiperbolik desenlerin yorumlanmasını basitleştirmeye, sinir ağları ve eğri uydurma tekniklerini kullanarak nesnelerin pozisyonunu tahmin etmeye odaklanılmıştır. Önerilen algoritma gerçek zamanlı olarak çalıştırılıp elde edilen sonuçlar gerçek veriler üzerinde test edilmiştir [13].

Ndoye ve arkadaşları (2013) gerçekleştirdikleri çalışmada GPR cihazı ölçümlerinden yer altı yansıma katsayılarını tespit etmek için En Küçük Kareler (EKK) yöntemini önermişlerdir. L_1 regülasyon düzenlenmiş EKK problemini basit ve etkili bir şekilde çözmek için yeni bir yinelemeli algoritma geliştirmişlerdir. Aynı zamanda önerilen yöntem, yansıma katsayılarının tahmini için paralel işlem uygulamasına imkân sağlar. Bu algoritma simüle edilmiş GPR veri kümeleri kullanılarak test edilmiştir [14].

Jing ve arkadaşları (2014) yapmış oldukları çalışmada yere nüfuz eden görüntülerinde hedefleri tanımak için yeni bir yaklaşım önerilmiştir. Hedef tanımının

performansı, kenar algılamanın doğruluğuna bağlıdır. Doğruluğu arttırmak için ayrılmış arka plan ve hedef sinyallerin çapraz korelasyon hesabı işlemine tabi tutulur. Gürültünün neden olduğu yanlış algılama olasılığını azaltmak için çapraz korelasyon profillerine dalgacık modülasyonuna dayalı tasarlanmış yeni bir kenar algılama şeması uygulanır. Hedefi arka plandan ayırmak için Tekil Değer Ayırıştırma (TDA) ve iki boyutlu dalgacık prosedürüne dayanan yeni bir filtreleme şeması önerilmiştir. Prosedür, sadece Sinyal Gürültü Oranını (SGO) artırarak gürültüyü baskılayarak değil, aynı zamanda arka plan ve yansıma sinyallerini ayırarak hedef yansımayı da geliştirebilir. Simülasyon ve alan uygulaması dahil olmak üzere deneysel sonuçlar, önerilen yöntemi ön plana çıkarmaktadır [15].

Chomdee ve arkadaşları (2014) yapmış oldukları makalede Tayland Güney Bölgesi'ndeki gömülü kara mayınlarının tespiti için hızlı ve verimli bir teknik sunmaktadır. Deneme kurulumu, değişen sayılarda ve kara mayınlarının bulunduğu alanlarda beş tür topraktan oluşmaktadır. Algılama oranı, işlem süresi 44 - 40 saniye arasındadır [16].

Haynie ve arkadaşları (2016) yapmış oldukları çalışmada GPR ve Elektromanyetik Girişim (EMG)'nin bir plaj ortamında sığ özelliklerini ayrı ayrı tespit edebilme yeteneğini araştırmışlardır. İki yapı arasındaki gerçekleştirilen korelasyon, yeraltı anormalliklerinin varlığına ilişkin daha güçlü kanıtlar ve elektriksel özellikleriyle ilgili bilgi sağlar. Ziftli toprakların ve kirlenmiş kumun varlığını doğrulayan saha gözlemleri ile GPR ve EMG verilerinde bulunan anomaliklerin, petrolün varlığına ilişkin bilgiler olduğunu doğrulamaktadır. Bu nedenle, yüksek frekanslı GPR ve EMG cihazları, gömülü petrol miktarını haritalayarak gelecekteki petrol sızıntısını engellemeye yardımcı olabilir [17].

Toksoz ve arkadaşları (2016) çalışmalarında 250 MHz ve 800 MHz merkez frekanslı antenleri kullanılarak sığ derinliklerde gömülü nesnelere tespit etmek için GPR yönteminin uygulanabilirliğini değerlendirmişlerdir. Belirli bir test bölgesinin çeşitli yerlerinde farklı gömülü nesnelere ait GPR verileri, RAMAC CU II sistemi ile uyumlu 250 MHz ve 800 MHz antenleri kullanarak toplanmıştır. Yansıma profili verileri, ReflexW bilgisayar programı kullanılarak işlenmiştir. Verilerin işlenmesinden sonra, işlenmiş radargramlardaki dağınık yansımalar incelenmiş ve

yüzeiden nesnelere derinliklerini ve pozisyonlarını belirlenmiştir. Ayrıca 250 ve 800 MHz antenlerden elde edilen veriler karşılaştırılmış ve çözüm açısından aralarındaki farklar tartışılmıştır [18].

Qu ve arkadaşları (2016) çalışmalarında tehlikeli alanlarda veya bitki örtüsünün kapladığı ortamlarda yeraltı hedeflerini tespit etmek için yere nüfuz eden radar kullanmıştır. Back Projeksiyon (BP) görüntüleme yöntemi, elektromanyetik dalganın kırılma etkisini kolayca telafi edebildiği için, GPR sistemi için pratik bir görüntüleme yöntemi olabilir. Bununla birlikte, geleneksel BP görüntüleme yöntemi genellikle yüksek hesaplama yükü gerektirir. Hesaplama yükü ve karmaşıklığı azaltmak için Non-Uniform Fast Fourier Transform (NUFFT) tekniğine dayanan GPR-BP görüntüleme algoritması önerilmiştir. Önerilen görüntüleme yönteminin hesaplama verimliliğinin etkinliği ve iyileştirilmesi, FDTD yöntemiyle oluşturulan tam dalgalı sentetik verilerin işlenmesiyle doğrulanmaktadır [19].

Sharma ve arkadaşları (2016) yapmış oldukları makale çalışmasında arka planın çıkarılması ve düşük dielektrik sabitine sahip gömülü nesnenin tespit edilmesinin artırılması için standart sapma eşik tabanlı yaklaşıma bir yapay ağı ve istatistiksel ortalama önermektedir. Yapay Sinir Ağı (YSA) yaklaşımı, toprak nem değişimi ile büyük miktarda arka plan verilerinin toplanmasına dayanır. Bu arka plan verileri, ortalamadan standart sapma eşikliğini hesaplamak için istatistiksel olarak analiz edilmiştir. Bundan sonra, hareket filtresi doğrusal olarak PVC borunun gerçek piksel yoğunluğunu tahmin eder. Sonuçlar, gelişmiş hedef tespiti ve arka plan çıkarma işleminin doğrudan doğrulanmış eğitilmiş sinir ağı kullanarak gerçekleştirilmiştir [20].

Hoarau ve arkadaşları (2017) çalışmalarında gömülü nesnelere tespiti için yöntem önerilmektedir. Verilerde bulunan gürültüler azaltılırken aynı zamanda bağıl geçirgenlik tespiti yapılmaya çalışılmaktadır. İlgili sinyalin zemindeki dalga hızı tarafından parametreleneceği bir adaptif detektör kullanılmıştır. Bu detektör ile doğru bir tespit gerçekleştirmek için rasgele vektör dağılımı ile gürültü modellemesi yapılmıştır. Tahmin algoritması olarak maksimum olasılık tipi kovaryans matris tahminleyicileri kullanılmıştır. Elde edilen GPR verilerinde karşılaştırmalı bir analiz

yapılmış uygun bir yanlış alarm seviyesi ile düşük tepki seviyelerine sahip boruların tespit edilmesinde yöntemin yeteneği test edilmiştir [21].

Zhang ve arkadaşları (2017) çalışmalarında iki tip Bowtie-Omega şekilli RF etiketi tasarlamışlardır. Sonlu elemanlar metodu (SEM) simülasyonu ve tasarlanan etiketlerin ölçümü için GPR spektrumunda güçlü rezonanslar gösteren ve GPR B taramalarını gerçekleştirerek RF etiketlerinin kuru dolu 2.0x1.5x0.75 m³ tankında gömüldüğü durumlarda daha güçlü radar desenleri gözlemlenir. gömüldüğü durumlarda daha güçlü radar imzaları gözlemlenir. Ayrıca, Kısa Zamanlı Fourier Dönüşümü (KZFD) temelli basit bir işlem prosedürü uygulanmıştır. Bu şekilde, etiketlerin güçlü zaman-frekans alan tepkisi, tasarlanan rezonans frekanslarında açıkça görülür ve etiketler eklenmediğinde ortadan kalkar. Bununla birlikte yerleştirilmiş etikete bağlı olarak hem zaman hem de frekans alanlarındaki içi boş plastik boru belirgin bir şekilde ortaya çıkarılır [22].

Imposa ve arkadaşları (2018) arkeolojik kalıntıların varlığını keşfetmek amacıyla, Sicilya'nın kuzeydoğusundaki Messina limanının yakınında yer alan küçük bir alanda yere nüfuz eden radar araştırması gerçekleştirmişlerdir. Gözlemlenen yansımalar, oldukça küçük nesnelere ya da eserlerden kaynaklanmaktadır. Sadece bitişik taramalar arasındaki karşılaştırmalı analiz yoluyla yansımaların yanal sürekliliği gözlemlenebilir böylece olası duvar kalıntıları ile korelasyon sağlanmıştır. Araştırma kapsamında, çeşitli olası arkeolojik kalıntıların varlığını ortaya çıkarılmıştır. GPR cihazından elde edilen verileri çevre bölgelerde yapılan keşifler hakkında arkeolojik bilgilerle ilişkilendirerek, muhtemelen Hellenistik döneme tarihlenen duvar kalıntıları olarak yorumlanmıştır [23].

Guo ve arkadaşları (2018) çalışmalarında karmaşık araziler ve sonuçlarının yorumlanması ile pratik bir tarım arazisinde gömülü olan sert nesnelere tespit etme işleminde GPR radargram verilerini kullanmışlardır. Gerçekleştirdikleri GPR tarama işleminde birden fazla farklı gömülü malzemeleri tespit ederek arazi temizleme işlemini gerçekleştirmişlerdir [24].

2.MALZEME VE YÖNTEM

2.1.Malzeme

2.1.1. Radarlar

Literatürdeki radar kelimesinin ingilizce dilindeki karşılığı “RADio Detection And Ranging” şeklindedir. Radarların temelde kullanım amacı olarak uzayda belirli bir alan içerisinde cisimleri tanımadır. Bu uzaktan algılama işlemini antenler vasıtasıyla elektromanyetik dalgalar yayarak gerçekleştirir. Özellikle nesnelerin hızı ve konumunu belirlemek için kullanılan radarlar, farklı modülasyon teknikleri kullanılan radar sinyallerinin nesnelere geri dönen radar sinyallerini kullanarak işlem yaparlar.

Radarlar genelde insan gözünün gerçekleştiremediği uzun menzildeki cisimlerin tespiti için kullanılır. Yalnız radarlar tespit edilen cisimlerin renksel ve şekilsel özelliklerini tanıyamaz. Diğer yandan radarlar insan gözünün yetersiz kaldığı sis, yağmur ve kar gibi hava şartlarında önemli avantajlar sağlar. Bununla birlikte radarlar nesnenin konumunu ve menziline de belirleyebilir.

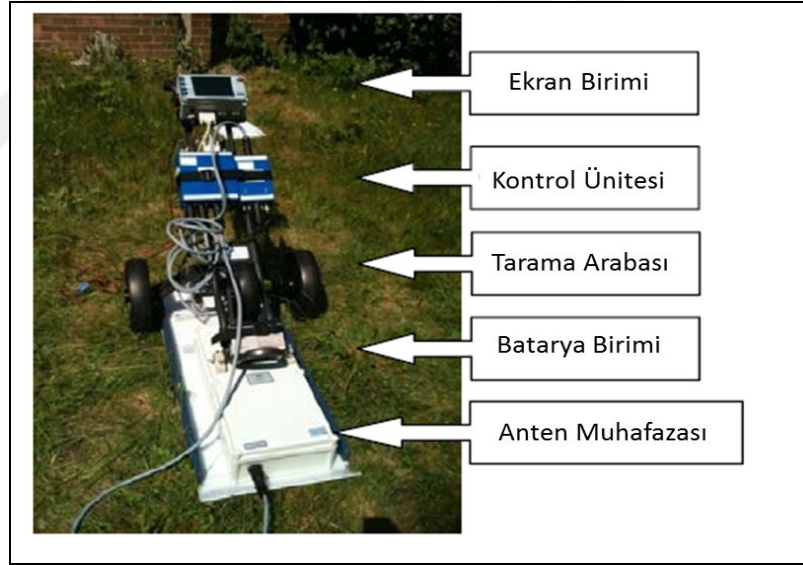
Radarlar, karmaşık elektromanyetik tabanlı cihazların birleşiminden oluşur. Ayrıca, kompleks mekanik sistemlerin radar sistemlerine entegre edilmesi gerekir. Bu nedenle radar sistemlerinin birçok alt sistem ve bileşenleri bulunmaktadır. Radar sistemleri arasında birçok farklılıklar bulunmaktadır.

2.1.2. Yere nüfuz eden radar

Yere Nüfuz Eden Radarlar, son 15 - 20 yıl boyunca teori, teknik ve teknolojinin gelişmesinde önemli ilerlemeler kaydederek hızla büyüyen bir araştırma alanı olmuştur. Görsel olarak görülemeyen gömülü nesnelerin veya yeraltı özelliklerinin derinliğini kaydetmek, belirlemek ve değerlendirmek için EM darbeleri üreten tahribatsız bir yöntemdir.

GPR sistemi normalde veri toplama ünitesi, verici ve alıcı antenler içerir. Aynı anten tarafından gerçekleştirilen iletim ve alma işlevlerini içeren sistem, tek-statik olarak bilinir, aksi takdirde bi-statik olarak adlandırılır. GPR sistemleri tipik olarak, iki anten arasındaki ayrımı çoğunlukla sabit hale getiren tek bir muhafazada birleştirilmiş iki antene sahiptirler [25]. Şekil 2.1'de gösterilen en yaygın GPR sistemi unsurları şunlardır;

- Dizüstü bilgisayar veya ayrılmış bir kontrol ünitesi gibi kaydedilmiş verilerin gerçek zamanlı olarak görüntüsünü sağlayan bir ekran birimi
- EM darbeleri üreten ve alınan enerjiyi kaydeden bir kontrol ünitesi
- Bazı konumlandırma cihazlarına sahip bir tarama arabası veya alternatif olarak, antenlerin yere manuel olarak çekilmesini sağlayan bir kızak
- GPR ünitesine güç sağlamak için bir batarya birimi
- İki veya daha fazla anten ünitesi içeren bir anten muhafazası

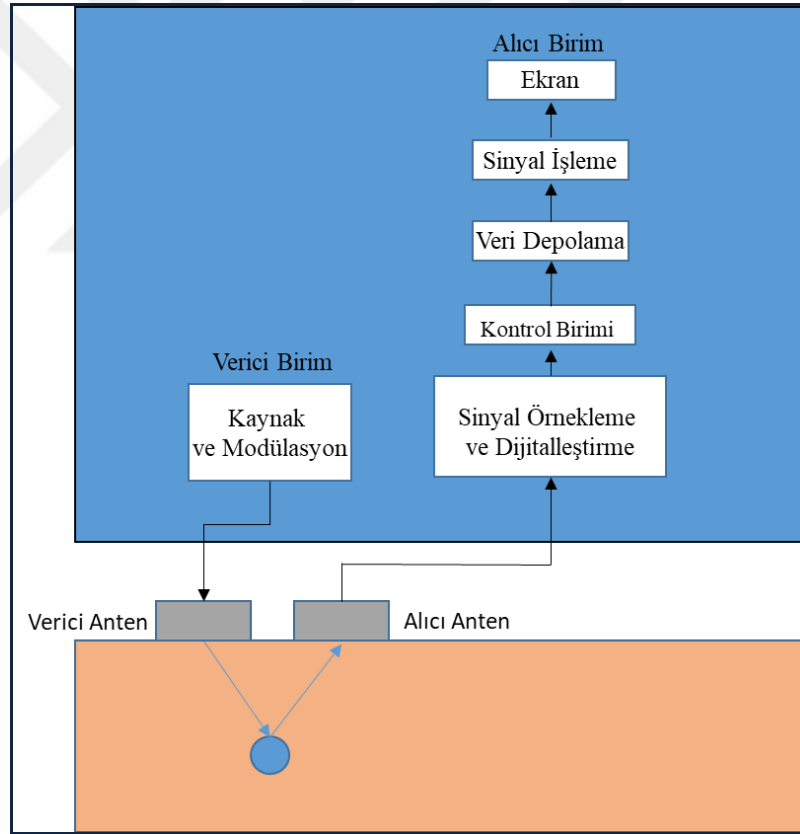


Şekil 2.1. Tipik GPR Sistemi [33]

Bir GPR cihazının çalışması, bir EM dalgasının malzeme içerisindeki darbenin yayılma ve yansıma özelliklerine dayanmaktadır. Bir EM dalgası, yeraltı yüzeyindeki EM özelliklerinde bir değişikliğin neden olduğu, nüfuz edilen malzemenin dielektrik sabiti (ϵ), manyetik geçirgenlik (μ) ve elektriksel iletkenlik (σ) özelliklerinin değiştiği pozisyonlarda yansır.

İletkenlik genellikle, ortamdaki radar sinyallerinin emilimine bağlı olarak GPR'nin nüfuzunu etkiler. Yüksek nem içeriğine sahip herhangi bir ortam elektriksel

iletkenliği arttırır, böylece nüfuz edebilme kabileyitini azaltır. Çoğu mühendislik malzemesinin elektriksel iletkenliği genellikle düşüktür ve demir-oksit açısından zengin olmayan materyaller için manyetik geçirgenlik genellikle ihmal edilebilir. Bu nedenle, yeryüzü toprağındaki manyetik içerik eksikliğinden dolayı, göreceli geçirgenlik, herhangi bir yararlı bilgi sağlamamaktadır çünkü yayılan EM darbelerini çok az etkiler. Ortamın dielektrik sabitine karşılık gelen nispi geçirgenlik, yansıyan dalgada en yüksek kontrastlık derecesini sağlar. Böylece toprak içerisinde yayılan EM darbesinde yansımalar ortaya çıkarır. GPR, navigasyon radar sistemlerine benzer bir şekilde çalışır ancak yeraltı özelliklerinin şeklini, boyutunu ve yerlerini tanımlamak için EM dalgalarının toprağa gönderir. Şekil 2.2'de gösterildiği gibi, GPR genel olarak bir vericinin anten aracılığıyla bir EM dalgayı incelenen yapılara ve toprağa gönderir. Alıcı antenler ile yansıyan EM dalgaları toplar [27].



Şekil 2.2. GPR'nin İç yapısı ve Çalışma Prensipleri [27]

EM dalgasının yüzey altı malzemelerde karşılaşması durumunda, dalganın özellikleri değiştirilir ve dalganın bir kısmı, genlik, dalga boyu ve iki yönlü seyahat süresi ile ilgili verilerin analiz için toplandığı yüzeye geri yansır. Buna göre yorumlama yapılır. Kontrol cihazı, farklı zamanlarda her konum için yansıyan enerjinin genliğini

ölçer. Yansımanın genliği ve fazı, hedefin saçılma özellikleri hakkında bilgi verebilirken, farklı darbeler geldiği zaman, reflektörlerin yüzey altı katmanlarına dolaylı olarak uzaklık bilgisi ulaşır. Bu işlem, izleme boyunca her ölçüm pozisyonu için belirli zamanlarda yansıma genliklerini içeren sütunlara sahip bir veri matrisi üretir. Bu şekilde GPR verileri iki boyutlu bir görüntüye dönüştürülür. GPR'ın performansı yüzeye ve yüzey altı özelliklere bağlıdır. Bir GPR'ın nesnelere algılaması, giriş sinyalinin dalga boyuna bağlıdır. Dalga boyu azaldıkça veya frekans artıkça elde edilen görüntünün kalitesi artar [26]. Yüksek frekanslarda, GPR sisteminin çözünürlüğü artar, ancak nüfuz etme derinliği azalır ve düşük frekanslar için bu durumun tersi geçerlidir.

Gömülü nesnenin tespiti edilmesinin zorlaştığı bazı durumlar şu şekilde sıralanabilir:

- Gömülü nesnenin zemin yüzeyine yakın olması
- Gömülü nesnenin çok küçük geometrik boyutlara sahip olması
- Gömülü nesnenin, zemine göre daha küçük geçirgenliğe sahip olması

Bütün bu durumlarda, hedefin yansıyan sinyali çok zayıftır ve genellikle dağınıklık ile örtüşür. Bu durum GPR sinyalinde mevcut istenmeyen yansımaları temsil eder ve diğer radyo dalgalarından kaynaklanan parazitler ile her iki sinyal ve gürültüyü ayırt etmek zorlaşır. Veri toplama sırasında incelenen alanda bulunan dalga yayıcı cihazların ürettiği dalgaların uygun sinyal işleme teknikleri ile ayrıştırılması gerekir. GPR sisteminden alınan veriler esas olarak aşağıdaki bileşenleri içerir:

- Alıcı ve verici antenlerde meydana gelen kuplajlar
- Zemin yüzeylerinden yansıma
- GPR sisteminin kendisinden veya çevreden gelen girişim
- Gömülü nesnelere yansıması
- Yer altı homojensizliklerinden meydana gelen yansıma

İlk iki bileşenlerin yoğun bir şekilde sinyal içerisindeki varlığı alıcı-verici antenler arasındaki mesafenin kısa olması ve gömülü nesne yansımasının toprak gibi yeraltı ortamı tarafından zayıflatılmasından kaynaklanır. Bu iki durum daha çok dağınıklık olarak bilinir. Bu nedenle, etkin bir şekilde doğru hedef tespiti ve tanımlanmasını sağlamak için, doğru dağınıklık azaltma yöntemlerinin kullanılmasına ihtiyaç duyulur.

2.1.3. Yere nüfuz eden radarları avantajları ve dezavantajları

GPR'ın saha incelemesinde jeofizik bir yöntem olarak kullanılması diğer yeraltı algılama teknolojilerine kıyasla bazı avantajlara sahiptir:

- Doğa tahribatının olmaması
- Araştırma verimliliğini en üst düzeye çıkarma ve maliyeti en aza indirme yeteneği
- Geniş alanları hızla bir şekilde tarama kabiliyeti
- Hem metalik hem de metalik olmayan hedefleri tespit edebilme yeteneği

GPR verilerinin grafik görüntüleri genellikle jeolojik kesitlere benzemektedir. Özellikle kültürel hassas olduğu insan gömümlerinin olduğu arkeoloji alanların korunmasında yarar sağlar. Aynı zamanda, önündeki bir alanı inceleme kabiliyeti ile birlikte yalnızca doğrudan yüzey altını araştırabilen diğer sensörlerden farklı olarak, yalnızca arkeolojik kazılar değil, sistem hareket etmeden önce tehlikeli nesnelere tespit etme yeteneğine de sahiptir. Diğer yeraltı algılama teknolojilerine kıyasla GPR, araştırmaları nispeten düşük maliyetle ve daha geniş alanları kaplayarak hızlı bir şekilde gerçekleştirerek araştırma verimliliğini artırma potansiyeline sahiptir. GPR antenlerinin kendisi elle ya da GPR ölçümlerinin nispeten kolay hale getirilmesini sağlayan bir araçla hareket ettirilebilir.

Daha önce açıklanan avantajlarına rağmen, GPR'ın bazı sınırlayıcı faktörleri bulunur:

- Homojen yapıya sahip olmayan toprak yapısında kullanımı yanlış alarm sayısını artırabilir ve sinyal nüfuz etme derinliği sınırlıdır.
- GPR yöntemi, çeşitli jeolojik yapıların ve çevresel faktörlerin neden olduğu istenmeyen sinyallere karşı duyarlıdır. Cep telefonlarından, iki yönlü telsizden, televizyondan ve mikrodalga vericiden alınan EM dalga iletimi, GPR kayıtlarında gürültüye neden olabilir
- GPR yöntemleriyle toplanan verilerde EM dalga girişimleri doğru bir şekilde tanımlanmıyorsa yanlış alarm olasılığı artmaktadır.

Yukarıda belirtilen sebeplerden ötürü hedef parametrelerin açık bir şekilde tanımlanması önem arz eder. Çünkü gömülü boru, gömülü maden veya bir boşluğun sinyal işleme stratejisi üzerinde büyük bir etkiye sahiptir. Gerçekleştirilmesi planlanan tarama işleminin frekansını ve bant genişliğini ayarlamak için çözünürlük

ve gerekli nüfuz etme derinliği açıkça tanımlanmalıdır. Bu değişkenlere göre gerekli modülasyon tekniğinin ve donanımın seçilmesi gerekir.

2.1.4. Yere nüfuz eden radarların temel prensipleri

GPR taramasında elde edilen ham verilerin sonucu ve kalitesi öncelikle iki faktöre bağlıdır;

- Zemine iletilen dalga formunu kontrol eden veri toplama parametreleri
- EM dalgasının yayıldığı malzemelerin özellikleri

Veri toplama parametrelerini doğru bir şekilde ayarlamak için, yayılan ortamın ve hedef nesnelere özelliklerinin doğru bir şekilde anlaşılması önemlidir.

2.1.4.1. Yalıtkan malzemelerde elektromanyetik özellikler

EM dalgalarının fiziksel ortamlarla etkileşimleri oldukça karmaşık olabilir ve EM etkileşimleri için bilinen en kesin modeller kuantum mekaniğini kullanır. Kuantum temsiline göre, Maxwell'in EM etkileşimlerini dalga olarak yayılan ve yansıyan elektrik (E) ve manyetik (H) alan vektörleri açısından açıklayan denklemler tarafından verilir. Çoğunlukla, EM dalgalarının yayılması, vektörler yerine skalerlerle temsil edilebilir.

Manyetik geçirgenlik;

Manyetik geçirgenlik (μ), bir malzemenin bir EM alanının varlığında manyetize olmasını sağlar. Henry/Metre (H / m) cinsinden ölçülen bir malzemenin manyetik polarizasyonunun bir ölçüsüdür. Manyetik olarak geçirgen olan malzemeler, EM dalgasının manyetik kısmına daha kolay müdahale ederek, dalga zayıflatılmasına ve sığ yeraltı görüntülerinin ortaya çıkmasına neden olacaktır. Göreceli manyetik geçirgenlik μ_r olarak, Denklem (2.1)'de gösterildiği gibi temsil edilir,

$$\mu_r = \mu / \mu_0 \quad (2.1)$$

Denklem (2.2) 'de gösterildiği gibi, μ_0 boş uzayın manyetik geçirgenliği temsil eder.

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \approx 1,256 \times 10^{-6} \text{ H/m} \quad (2.2)$$

Ferromanyetik malzemeler ($\mu_r \gg 1$) manyetik olarak kayıplı kabul edilir ve frekansa bağlı bir geçirgenliğe sahip olabilir [25]. Ancak asfalt ve beton, ferromanyetik olmayan malzemeler ($\mu_r \approx 1$) olarak kabul edilir, bu nedenle bu malzemelerin geçirgenliğinin boşluk alanı ($\mu_r = 1$) ile aynı olduğu varsayılabilir.

Dielektrik Sabiti;

Dielektrik sabiti (ϵ), malzemenin metre başına Farad cinsinden ölçülen bir EM alanı tarafından tetiklenen bir elektrik yükün (F/m) depolaması ve iletmesi yeteneğini açıklar. Radar enerjisinin bir malzemedan ne kadar hızlı geçtiğini gösteren bir değişkendir. Radar enerjisi her zaman bir malzeme ile mümkün olduğunca çabuk hareket eder, ancak bazı malzemeler enerjiyi diğerlerinden daha fazla yavaşlatır. Hızlı hareket eden GPR tarafından üretilen EM dalgası, dielektrik sabiti yüksek olduğu ortamlarda daha yavaş hareket eder. Malzemelerde su varlığı artıca radar sinyallerinde yavaşlama gerçekleşir. Bunun sebebi olarak su içeriğinin toplam dielektrik katsayısında artışa sebep olmasıdır.

Denklem (2.3) 'te gösterildiği gibi, boş uzayın (ϵ_0) dielektrik sabitinin, bir vakumda olduğu gibi olduğu varsayılırsa

$$\epsilon_0 = 1/c^2 \mu_0 \approx 8,854 \times 10^{-12} \text{ F/m} \quad (2.3)$$

Bu nedenle bir malzemenin bağıl dielektrik sabiti Denklem (2.4) 'te olduğu gibi kabul edilebilir ve birimsizdir.

$$\epsilon_r = \epsilon / \epsilon_0 \quad (2.4)$$

Elektriksel iletkenlik;

Elektriksel iletkenlik (σ), bir malzemenin EM dalgasının elektrik kısmını iletim kabiliyetini ve metre/Siemens (S/m) cinsinden ölçüldüğünü açıklar. Elektriksel olarak iletkenliği fazla olan malzemeler, EM dalgasının elektrik kısmını daha kolay bir şekilde iletcek, böylece dalgayı dağıtacak, zayıflatacak ve sığ yeraltı görüntülerine neden olacaktır. Aksi durumda ise düşük bir elektrik iletkenliğine sahip

malzemeler daha fazla EM dalganın geçişine izin vererek nüfuzu derinliğini arttıracaktır [14].

GPR bir EM enerjisi kaynağı olduğundan, bir malzemedan geçerken zayıflama (doğal emilim) söz konusudur. Sinyal çok kuru kum, buz veya kuru beton gibi dirençli (düşük iletkenlik) bir malzemedan geçiyorsa sinyal çok daha fazla malzemeye nüfuz edebilir. Bununla birlikte, eğer malzeme tuzlu su ve ıslak beton gibi iletkenliği fazla olan ortamlarda, GPR enerjisinin malzemeye çok fazla nüfuz etme şansına sahip olmadan emilecektir. Bu elektriksel iletkenliğe dayalı temel bir kural olarak, malzemenin su içeriği ne kadar fazla olursa, iletkenlik de o kadar artmaktadır.

2.1.4.2. Veri toplama parametreleri

GPR tarama sırasında hedeflenen derinlik ve çözünürlüğe ulaşmak için çeşitli ve kontrol edilebilen çok sayıda parametre vardır.

Dalga Hızı;

Denklem (2.5) 'te gösterildiği gibi, bir EM dalgasının açısal frekansı (ω) saniyede radyan cinsinden ölçülür (rad/s) ve Hertz cinsinden ölçülen frekans ile orantılıdır:

$$\omega = 2\pi f \quad (2.5)$$

Faz sabiti (β), metre başına radyan cinsinden ölçülür ve Denklem 2.6'daki gibi ifade edilir;

$$\beta = \omega \sqrt{\frac{\mu\epsilon}{2} \left[\sqrt{1 + \left[\frac{\sigma}{\omega\epsilon} \right]^2} + 1 \right]} \quad (2.6)$$

İletkenliği olmayan malzeme için, Denklem (2.6) Denklem (2.7) şeklinde güncellenir;

$$\beta = \omega \sqrt{\mu\epsilon} \quad (2.7)$$

Denklem (2.8) 'de gösterildiği gibi, bir dalganın bir malzemedden geçtiği hızı, saniyede metre cinsinden (v) ölçülür;

$$v = \frac{\omega}{\beta} \quad (2.8)$$

Denklem (2.9) 'da gösterildiği gibi, serbest alanın (c) dalga hızı, denklemlerden (2.7) ve (2.8) sırasıyla elde edilebilir [25];

$$c = \frac{\omega}{\beta_0} = \frac{\omega}{\omega \sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} \approx 3 \times 10^8 \text{ m/s} \quad (2.9)$$

İletkenliği olmayan materyaller ($\sigma = 0$) ve manyetik geçirgenliği boş uzayın ($\mu_r = 1$) değerine eşittir. Denklem (2.10)'da şu şekilde ifade edilebilir:

$$v = \frac{\omega}{\beta} = \frac{1}{\sqrt{\mu_r \mu_0 \epsilon_r \epsilon_0}} = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (2.10)$$

Dalga boyu;

Denklem (2.11) 'de gösterildiği gibi, dalga boyu (λ), belirli bir mesafede kendini tekrarlayan ve metre cinsinden ölçülen bir dalga olarak tanımlanabilir:

$$\lambda = \frac{2\pi}{\beta} = 2\pi \frac{v}{\omega} = \frac{v}{f} \quad (2.11)$$

GPR antenleri, dalga boyunun en az yarısı ($\lambda/2$) aralıklıysa, hareket yönüne dik olarak hizalanmış beton özellikleri boyunca hareket ederken ayırt edilebilir. Dalga boyunun en az dörtte biri ($\lambda/4$) ise, birbiri üzerine yığılmış yapılar ayırt edilebilir. Ancak, bu mesafelere daha yakın olan özellikler GPR verilerinde tek bir özellik olarak görünebilir.

Frekans ve nüfuz etme derinliği arasındaki ilişki;

GPR taraması için frekans seçimi oldukça önemlidir. Uzun dalga boylu daha düşük frekans, en derin nüfuzu sağlarken, kısa dalga boylarındaki yüksek frekans, sadece sığ görüntülemeye olanak sağlar.

Frekans ve çözünürlük arasındaki ilişki;

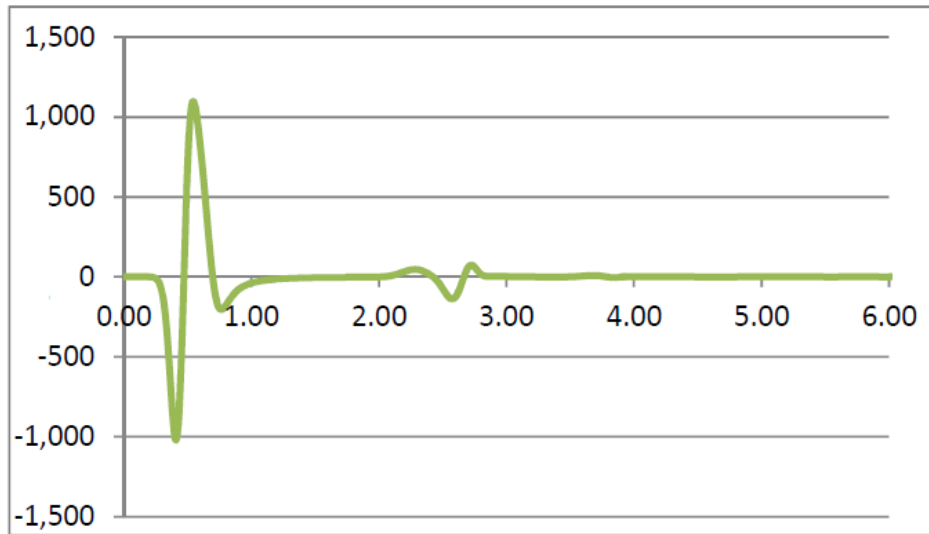
Yer altı özelliklerinin çözünürlüğü, kısmen frekansla doğrudan ilişkili olan anten dalga boyundan da etkilenir. Yüksek frekanslı radar, düşük frekanslı radardan daha yüksek çözünürlük sağlar. Yüksek frekansın daha kısa dalga boyları, daha dar bir iletim konisi üretir ve daha küçük alanlara odaklanma, böylece daha küçük özellikleri çözme yeteneği verir. Bu, daha uzun dalga boylarına bağlı olarak daha fazla yayılmış iletim konisine sahip olan daha düşük frekanslı radarlara göre farklılık gösterir.

2.1.5. Yere nüfuz eden radar veri tipleri

GPR veri sunumunun amacı, yüzeysel bir görüntüye yakın bir şekilde yaklaşan işlenmiş verilerin görsel bir gösterimini sağlamaktır. Veri görüntüleme, veri yorumlamanın bir anahtarıdır ve aslında iyi bir görüntü üretmek, yorumlamanın ayrılmaz bir parçasıdır. Bu bölümde, terminolojinin daha iyi anlaşılması için GPR'da kullanılan üç tip veri gösterimi açıklanmaktadır.

2.1.5.1. A-tarama

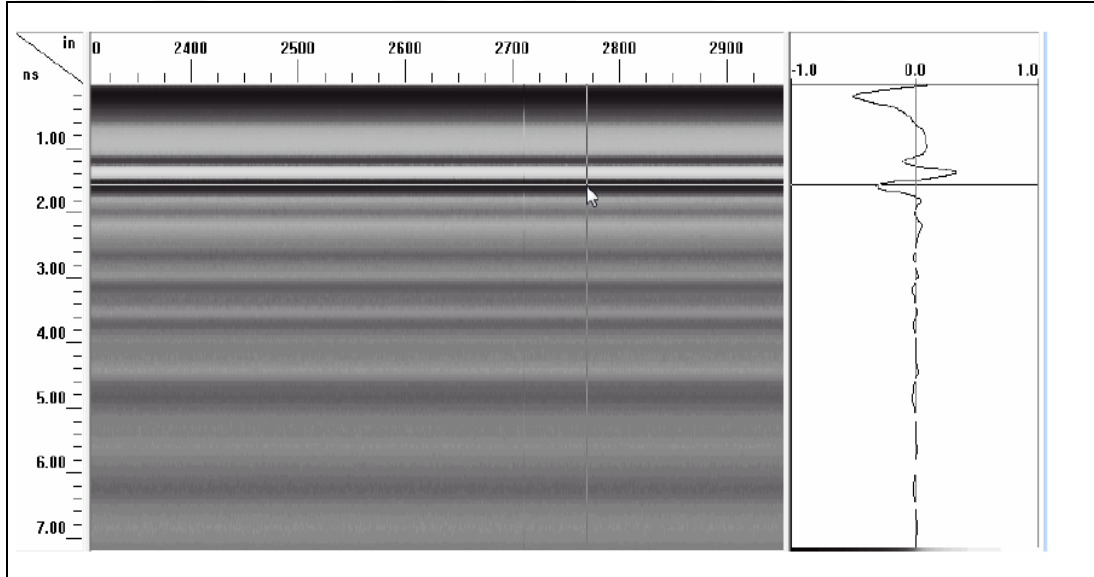
Şekil 2.3 'de gösterildiği gibi, A-taraması ya da tek-boyutlu veri sunumu, anteni ilgili pozisyona yerleştirdikten sonra, bir ölçüm, emisyon ve bir sinyalin toplanmasıyla elde edilen zaman-genlikli bir sinyaldir.



Şekil 2.3. GPR A Tarama Sinyali [32]

2.1.5.2. B-tarama

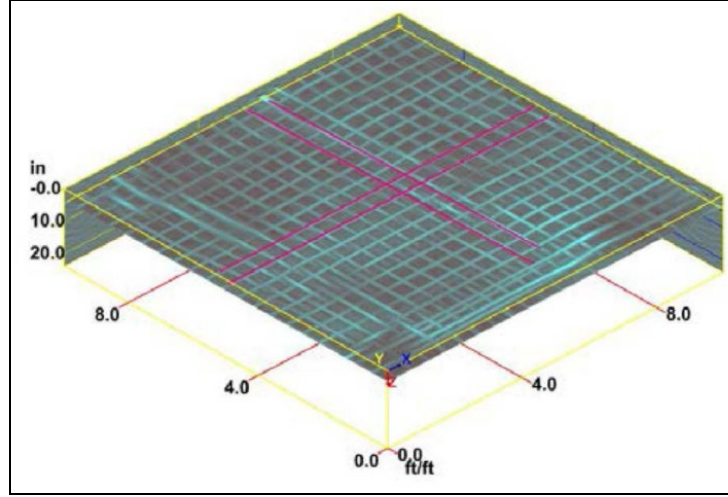
GPR veri analizinin çoğu, B-taraması olarak sunulan bir dizi GPR sinyalinin yorumlanmasına dayanmaktadır. Şekil 2.4 'de gösterildiği gibi, A Tarama topluluğunun yatay koleksiyonu olarak elde edilen iki boyutlu bir veri kümesi veya görüntüdür. İki boyutlu görüntünün yatay eksenini, yüzey pozisyonudur. Dikey eksen ise EM dalgasının gidiş-dönüş zamanıdır. Daha sonra her bir satırın bir örnek noktasını (veya zamanı) temsil ettiği ve kolonun bir izi temsil ettiği bir matris gerçekleştirilir. Matris elemanının değeri, ilgili iz ve numune noktası için voltajın genliğidir. Voltajın genliğine yoğunluk atama, matrisin bir görüntü olarak elde edilmesini sağlar.



Şekil 2.4. GPR B Tarama Görüntüsü [32]

2.1.5.3. C-tarama

Şekil 2.5 'te gösterildiği gibi, C-taraması veya üç boyutlu veri sunumu, düzlem boyunca tekrarlanan çizgi taramasıyla ölçülen B-taramalarının topluluğundan elde edilir. Üç boyutlu ekranlar, yüzeyde farklı konumlarda kaydedilmiş olan GPR izlerinin temel olarak görüntüleri birleştirir. İyi üç boyutlu görüntüler elde etmek, belirli hedefleri yorumlamak için çok kullanışlıdır. İlgili gömülü hedefleri, geleneksel iki boyutlu profil çizgilerine göre üç boyutlu veri kümelerini tanımlamak ve izole etmek için genellikle daha kolaydır.



Şekil 2.5. GPR C Tarama Görüntüsü [32]

2.1.6. Yere nüfuz eden radar verisi

2.1.6.1. Simülasyon verisi

Bu tez çalışmasında sunulan GPR simülasyonları, sadece iki-boyutlu olarak, GPRMax2D ile uygulanan FDTD algoritması ile hesaplanmıştır. FDTD sayısal yöntemine dayanan GPR modellemesi için bir EM dalga simülatörüdür.

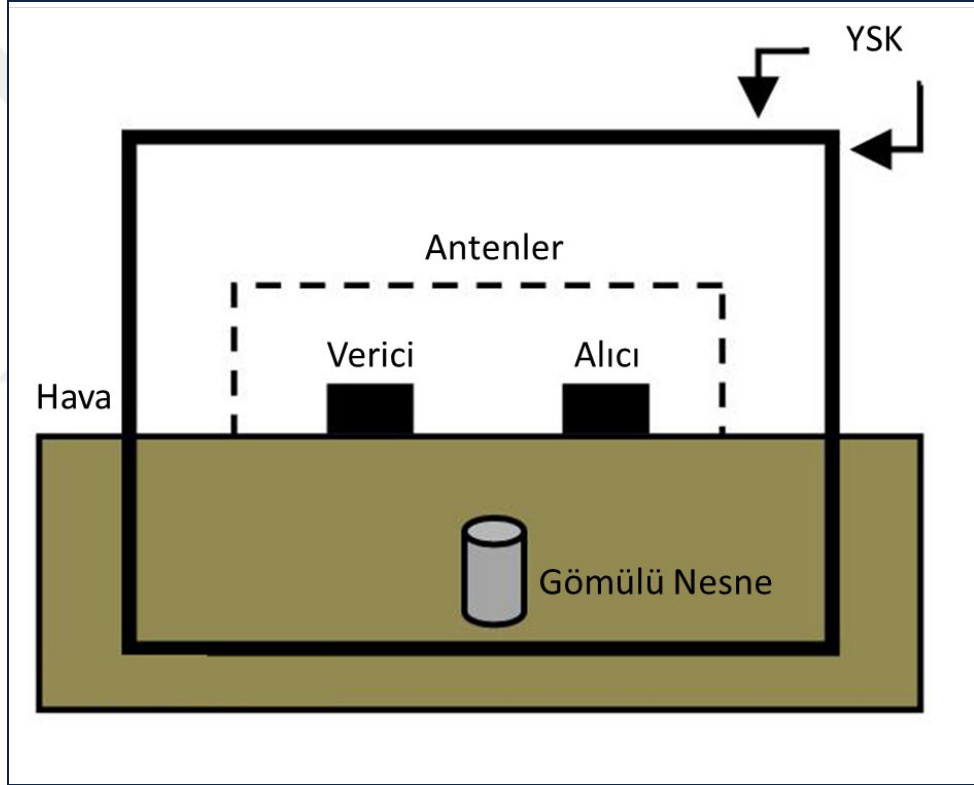
GprMax yazılımının bir giriş dosyasının (.in uzantılı) genel yapısı, herhangi bir editör veya kelime işleme programı ile hazırlanabilen sade bir Amerikan Standart Bilgi Değişimi Kodu (ASBDK) metin dosyasıdır. Yazılım, girdi dosyasının bir satırında kapsanan parametreleri ile bir komutun başlangıcını belirtmek için karma karakterini (#) kullanır. Giriş dosyasını yorumlamak veya açıklamak için diğer karakterler kullanılabilir. Yanlış yazılan komutun varlığında, program sonlandırılacak ve dolayısıyla bir hata mesajı verilecektir. Birden fazla parametre gerektiren bir komutu ayırmak için boşluk karakteri kullanılır [28].

2.1.6.2. GprMax

Belirli bir hedef veya hedef kümesinden GPR cevabı, problemin ve başlangıç durumunun geometrisine bağlı olan Maxwell denklemlerini çözerek simüle edilebilir. Başlangıç koşulu GPR verici antenin uyarılmasıyla, sonsuzlukta sıfır değerine ulaşan uzayda yayılmayı önlemek için tanımlanmıştır. Bunun nedeni, belirli sınır geometrisinin ve EM alanlarının önceden belirlenmiş bir değerin alınabilmesidir. Bu

nedenle GPR iletim problemi başlangıç değeri açık sınır problemi olarak da tanımlanabilir [28]. İki boyutlu GprMax simülasyonu Şekil 2.6 'da gösterilmiştir.

Genel olarak, FDTD'nin Maxwell denklemlerinin sayısal çözümüne yaklaşımı, hem alanı hem de süreyi ayrıştırmaktır [32]. Dolayısıyla, uzamsal olarak Δx , Δy ve Δz ve Δt adımları küçük olarak seçilmesi ile FDTD modelinin problemin gerçek bir temsiline ulaşılabilir. Bununla birlikte, bilgisayarların sınırlı miktarda depolama ve sınırlı işlem hızına sahip olmaları nedeniyle, ayrılma aşamalarının değerleri her zaman sınırlı olmalıdır. Bu nedenle, FDTD modeli gerçek problemin ve sınırlı boyutun ayrıklaştırılmış bir versiyonunu temsil eder.



Şekil 2.6. İki Boyutlu GprMax Simülasyonu [28]

2.1.6.3. GprMax ile modelleme

GprMax ile GPR'in modellenmesiyle ilgili en önemli husus YSK'dır. FDTD tabanlı GprMax programının kullanılmasında en temel yönleri kapsamak ve ortak hatalardan kaçınmak gerekir. Sayısal indüklenmiş dağılım ile ilişkili hatalar, ayrılmayı etkileyen bir başka faktördür. Bu durum, EM dalgalarının yön ve frekanslarından bağımsız olarak aynı hızda yayıldığı gerçek dünyadaki koşullar ile pek örtüşmez. Bu sebeple

yayılan EM alanlarının, Denklem (2.12) 'de gösterildiği gibi, en küçük dalga boyundan en az on kat daha küçük olması gerekir.

$$\Delta l = \frac{\lambda}{10} \quad (2.12)$$

2.1.6.4. GprMax programında giriş dosyası özellikleri

GprMax komutlarını ve parametrelerini tanımlamak için GPR modellemede bazı prensipler vardır. Simüle uzay ve mekansal koordinatlarla ilişkili parametreler, metre cinsinden belirtilmelidir. Zaman ve frekans parametreleri, saniye cinsinden ve Hertz cinsinden tanımlanır.

GprMax kullanarak bir model oluştururken giriş dosyası örneği Şekil 2.7'de gösterilmiştir. Çıktı dosyası giriş dosyasında saklanan bilgileri kullanarak oluşturulan model uzayının bir görüntü temsili ile birlikte gösterilmektedir. GPR izinin giriş dosyasındaki tanımlamalar bağlı olarak GPR alma anteni belirli bir zaman süresi için belirli bir örnekleme hızında genlik kayıtlarını kaydeder.

GprMax programı, metre ve saniye cinsinden verilen uzamsal ve zamansal parametreleri sırasıyla FDTD hücre koordinatlarına ve iterasyon sayılarına karşılık gelen tamsayı değerlerine dönüştürür.

```
#title: B-scan from a metal cylinder buried in a dielectric half-space
#domain: 1 0.3 0.001

#dx_dy_dz: 0.001 0.001 0.001
#time_window: 12.0e-9

#material: 20.0 0.1 1.0 0.0 wet_sand
#material: 3.0 0.01 1.0 0.0 plastic
#material: 2.2 0.01 1.0 0.0 wood

#waveform: ricker 1 2.6e9 my_ricker
#hertzian_dipole: z 0.1 0.2525 0 my_ricker
#rx: 0.14 0.2525 0
#src_steps: 0.005 0 0
#rx_steps: 0.005 0 0

#box: 0.0 0.0 0.0 1 0.25 0.001 wet_sand
#cylinder: 0.3 0.08 0.0 0.3 0.08 0.001 0.00695 pec
```

Şekil 2.7. Giriş Dosyası

2.1.6.5. Giriş dosyası komutları

#title:

İlgili Komut modelinize bir başlık eklemenizi sağlar. Bu başlık, çıktı dosyası içerisinde kaydedilir. Komutun kullanımı “#title: str1” şeklindedir. str1, tek tek kelimeleri ayırmak için boşluk karakterleri içerebilir. Ayrıca başlık tek bir satırda yer almalıdır.

#domain

Modelin boyutunu belirtmenizi sağlar. Komutun kullanımı “#domain: f1 f2 f3” şeklindedir. Burada f1 f2 f3, sırasıyla x, y ve z yönlerindeki modelin boyutudur. Örneğin 500 x 500 x 1000 mm model kullanımını belirtmek için “#domain: 0.5 0.5 1.0” komutu kullanılır.

#time_window

Toplam gerekli simüle edilmiş zamanı belirtmenizi sağlar. Komutun sözdizimi “#time_window: f1” şeklindedir. f1 parametresi, gerekli simüle edilmiş zamanı saniye cinsinden belirler. Örneğin, 20 nanosaniye bir GPR izi simüle etmek istiyorsanız #time_window: 20e-9 kullanılabilir. GprMax, gerekli simüle edilmiş süreye ulaşmak için gerekli sayıda iterasyon gerçekleştirecektir.

#material

Bir dizi yapıcı parametre tarafından tanımlanan modele bir malzeme eklemenizi sağlar. Komutun kullanımı “#material: f1 f2 f3 f4 str1” şeklindedir;

- f1: Bağlı dielektrik katsayısı, ϵ_r
- f2: İletkenlik (Siemens/Metre), σ
- f3: Bağlı manyetik geçirgenlik μ_r
- f4: Manyetik kayıp (Ohm/metre), σ^*
- str1: Kullanılan malzemenin ismi

Örneğin, “#material: 3 0,01 1 0 my_sand” komutunda frekanstan bağımsız olarak bağlı dielektrik katsayısı $\epsilon_r = 3$ olan, $\sigma = 0.01$ S / m iletkenliği olan ve manyetik olmayan, yani $\mu_r = 1$ ve $\sigma^* = 0$ olan my_sand adında bir malzeme oluşturulmuş olur.

#waveform

Modeldeki kaynaklarla kullanılacak dalga biçimlerini belirtmenize izin verir. Komutun kullanımı “#waveform: str1 f1 f2 str2” şeklindedir;

- str1: Olabilecek dalga şeklinin türüdür. Bu dalga türleri gaussian, ricker ve sinüs dalga formunda olabilir.
- f1: Dalga formunun maksimum genliğinin ölçeklenmesidir.
- f2: Dalga formunun merkez frekansıdır.
- str2: Bir kaynak için kullanılan dalga formu tanımlayıcısıdır.

#hertzian_dipole

Bir elektrik alanı konumunda bir akım yoğunluğu terimini belirtmemizi sağlar.

$$J_s = \frac{I\Delta l}{\Delta x\Delta y\Delta z} \quad (2.13)$$

Burada J_s akım yoğunluğudur. Δl , birim elektrik dipol uzunluğudur ve Δx , Δy ve Δz , ızgaranın uzamsal çözünürlüğüdür. Komutun kullanımı “#hertzian_dipole: c1 f1 f2 f3 str1 [f4 f5]” şeklindedir;

- c1: Kaynağın polarizasyonu gösterir. x, y veya z yönlerinde olabilir.
- f1 f2 f3: Modeldeki kaynağın (x, y, z) koordinatlarıdır.
- f4 f5: isteğe bağlı parametrelerdir. f4, kaynağın başlatılmasında zaman gecikmesidir. f5 kaynağı kaldırmak için bir zamandır. Zaman penceresi kaynak kaldırma süresinden daha uzunsa kaynak kaldırma süresinden sonra duracaktır. Kaynak kaldırma süresi, zaman penceresinden daha uzunsa, kaynak tüm zaman penceresi için aktif olacaktır. f4 f5 ihmal edilirse kaynak, zaman penceresinin başında başlar ve zaman penceresinin sonunda durur.
- str1: Kaynak ile kullanılması gereken dalga formunun tanımlayıcısıdır.

#rx

Bu komut ile çıktı noktalarını modelde tanımlanır. Bunlar, elektrik ve manyetik alan bileşenlerinin, modelin iterasyon sayısı üzerindeki değerlerini dosyaya kaydedileceği yerlerdir. “#rx: f1 f2 f3 [str1 str2]” şeklinde kullanılır;

- f1 f2 f3: Modeldeki alıcının (x, y, z) koordinatlarıdır.

- str1: Alıcının tanımlayıcısıdır.
- str2: Alıcı ile çıkışların bir listesidir. Ex, Ey, Ez, Hx, Hy, Hz, Ix, Iy veya Iz'den herhangi bir seçilebilir.

#src_steps ve #rx_steps

Tüm basit kaynakların (#src_steps) veya tüm alıcıların (#rx_steps) konumunu bir modelin içerisinde tanımlanmasını sağlar. “#src_steps: f1 f2 f3, #rx_steps: f1 f2 f3” şeklinde kullanılır;

- f1 f2 f3: Tüm basit kaynakları (#hertzian_dipole veya #magnetic_dipole) veya tüm alıcıları (#rx veya #rx_array komutlarını kullanarak oluşturulmuş) taşımak için (x, y, z) adımlardır.

#cylinder

Modele bir dairesel silindir eklemenizi sağlar. Silindir ekseninin yönelimi tasarımcıya bağlıdır, yani modelin Kartezyen eksenlerinden biriyle hizalanmamış olabilir. Komutun kullanımı “# silindir: f1 f2 f3 f4 f5 f6 f7 str1 [c1]” şeklindedir;

- f1 f2 f3: (x, y, z) düzleminde silindirin bir yüzünün merkezinin koordinatlarıdır
- f4 f5 f6: (x, y, z) düzleminde diğer yüzün merkezinin koordinatlarıdır.
- f7: Silindirin yarıçapıdır.
- str1: Girdi dosyasında önceden tanımlanmış olan malzemeye karşılık gelir.
- c1: Dielektrik düzleştirmeyi açmak ve kapatmak için kullanılan isteğe bağlı bir parametredir.

#box

Modele spesifik özelliklere sahip bir kuru eklemenizi sağlar. Komutun kullanımı “#box: f1 f2 f3 f4 f5 f6 str1 [c1]” şeklindedir.

- f1 f2 f3, paralel yüzün sol alt (x, y, z) koordinatlarıdır ve f4 f5 f6, paralel yüzün sağ üst (x, y, z) koordinatlarıdır.
- str1: giriş dosyasında önceden tanımlanmış olan malzemeye karşılık gelen bir malzeme tanımlayıcısıdır.
- c1: Dielektrik düzleştirmeyi açmak ve kapatmak için kullanılan isteğe bağlı bir parametredir.

triangle

Modele belirli özelliklere sahip üçgen bir yama veya üçgen bir prizma eklemenizi sağlar. Yama, basamaklı Yee hücrelerinin bir topluluğu olarak yapılan üçgen bir yüzeydir ve üçgen prizma üçgen yamayı düzleme dik yönde uzatır. Komutun kullanımını “#triangle: f1 f2 f3 f4 f5 f6 f7 f8 f9 f10 str1 [c1]” şeklindedir.

- f1 f2 f3: üçgenin ilk köşe koordinatlarıdır.
- f4 f5 f6: ikinci köşe koordinatlarıdır.
- f7 f8 f9: üçüncü köşe koordinatlarıdır.
- f10: Üçgen prizmanın kalınlığıdır. Kalınlık sıfır ise üçgen bir yama oluşturulur.
- str1: giriş dosyasında önceden tanımlanmış olan malzemeye karşılık gelen bir malzeme tanımlayıcısıdır.
- c1: Dielektrik düzleştirmeyi açmak ve kapatmak için kullanılan isteğe bağlı bir parametredir.

2.2. Yöntem

2.2.1. Renk ve renk uzayları

Renk, rengin oluşumunu sağlayan ışığın bir özelliğidir. Rengi algılama ise görsel algılamanın bir parçasıdır. Işık, bir ışık kaynağından doğrudan ya da bir yüzeyden yansıtılarak ya da bir nesneden geçerek göze gelir. Önemli olan, ışığın taşıdığı renk özelliklerinin algılanması, algılanma süreci ve doğurduğu renk duyulanmalarıdır. Renk kısaca, öznel olarak görsel algılamanın belli ayrımlara dönük bir niteliği, ya da nesnel olarak görünen ışınımın, gözlemciye belli nitel ayrımlar yapma imkânı sağlayan özelliği biçiminde açıklanabilir.

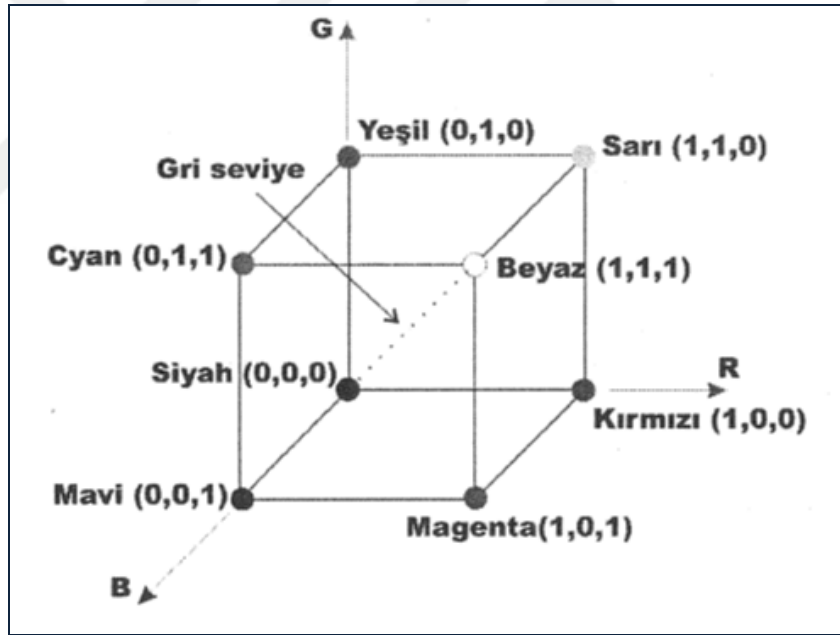
Renkleri tanımlayabilmek amacıyla farklı matematiksel modelleri bulunan renk uzayları kullanılır. Renk uzayları bütün renkleri temsil edebilme özelliğine sahiptir. Bütün renk uzayları üç boyutlu bir yapıya sahiptir. Bunun temel sebebi renkleri tanımlayabilmek için üç adet birbirinden bağımsız değişkenlere ihtiyaç duyulur. Renklerin uzay üzerindeki konumları bu değişkenlere göre farklılık gösterir. Her renk uzayı kendine özgü renk oluşturma standartları mevcuttur. Renk uzayı dönüşümü doğrusal veya doğrusal olmayan yöntemler ile gerçekleştirilebilir. Cihazlar içerisinde farklı renklerde görüntüleme ve farklı renk uzayları bulunabilir.

Renk uzayları temelde cihaza bağımlı ve cihazdan bağımsız olarak iki gruba ayrılır. Cihazın özelliklerine bağılı olarak cihaz bağımlı renk uzayları farklılık gösterir.

2.2.1.1. RGB renk uzayı

Red, Green, Blue (RGB) renk uzayında Şekil 2.8’de görüldüğü üzere birim küp üzerinde renkler tanımlanarak tasarlanmıştır. RGB renk uzayı toplamalı renk karışımı yöntemiyle renkleri elde eder. Bu renk uzay türü başlıca monitörlerde, televizyon tüplerinde ve tarayıcılar olmak üzere birçok kullanım alanları mevcuttur.

Bilgisayar ortamında herhangi bir rengi görüntülemek için üç renk belirli oranlar ile karıştırılır. RGB renk uzayının kanal veya boyutlarında kırmızı, yeşil ve mavi renkler bulunmaktadır. Oluşturulması planlanan renkler belirtilen üç ana kanal ile ifade edilir.

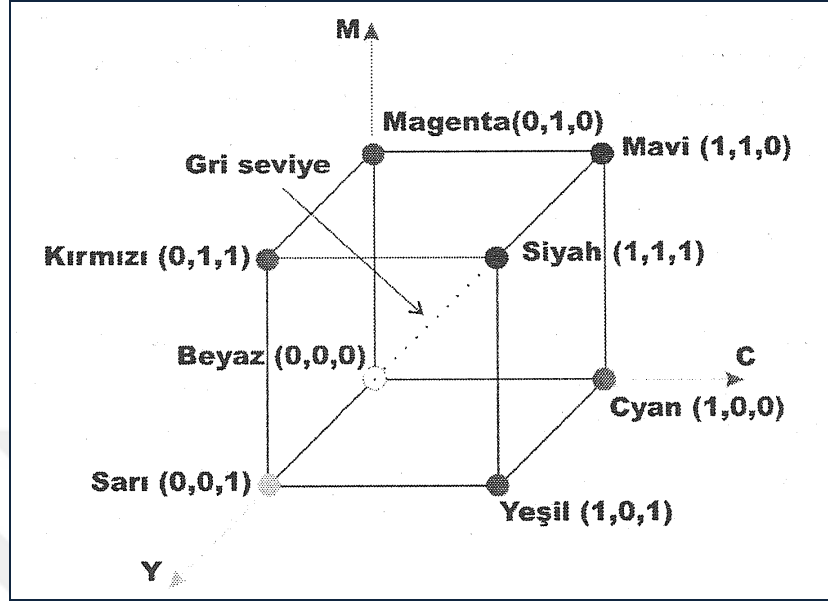


Şekil 2.8. RGB Renk Uzayı [30]

2.2.1.2. CMY renk uzayı

Cyan, Magenta, Yellow (CMY) renk uzayı birim küp üzerindeki renklerin karışımıyla oluşturulan bir modeldir. Şekil 2.9’da görüldüğü gibi, bu renk uzayının eksenleri Cyan, Magenta ve sarı renkleri temsil eder. CMY renk uzayı RGB renk uzayının tamamlayıcısı olarak oluşturulmuştur. Diğer bir ifadeyle CMY uzayındaki

iki renk bileşeninin karıştırılması ile RGB uzayındaki bir renk bileşeni elde edilebilmektedir.



Şekil 2.9. CMY Renk Uzayı [30]

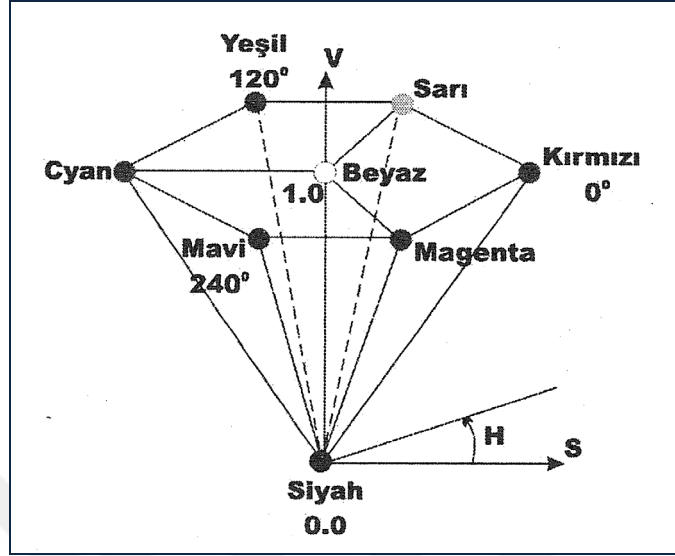
Cyan ve magenta karıştırılınca, cyanın emilmesiyle magenta kırmızıyı, magentanın emilmesiyle cyan yeşili yansıtır. Böylece sadece emilme olmayan bölgede mavi kalır. Benzer olarak cyan ve sarı karışımı yeşili ve magenta ve sarı karışımı kırmızıyı verir. CMY renk uzayı küpünün (1,1,1) noktası siyahı gösterir. Küpün orijini beyaz (0,0,0)'dır. Teorik olarak küpün beyaz ve siyah noktalarını birleştiren diyagonal çizgi boyunca ana renklerin eşit oranlarda katılmasıyla gri renkler oluşur.

CMY renk uzayı dönüşümü özellikle renkli baskılarda ve renkli yazıcılarda yaygın bir şekilde kullanılır.

2.2.1.3. HSV renk uzayı

Hue, Saturation, Value (HSV) renk uzayının bileşenleri olan H renk adını, S doygunluk ve V değeri temsil eder. Renklerin adları diğer renklerden ayırt edilmesini sağlayan bir özelliktir. Bu renkleri sınıflandırma işlemi tonajına veya çeşidine göre gerçekleştirilir. Doymunluk, renklerin birbirinden ayırım derecesini gösterir. Diğer bir adı da renksel doymuşluktur. Değer ise açık ve koyu tonajdaki renklerin ayırımını sağlar. Şekil 2.10'da görüldüğü gibi, HSV renk uzayını geometrik modeli altıgen koni olarak belirlenmiştir. HSV uzayının geometrisi RGB uzayının diyagonal çizgi

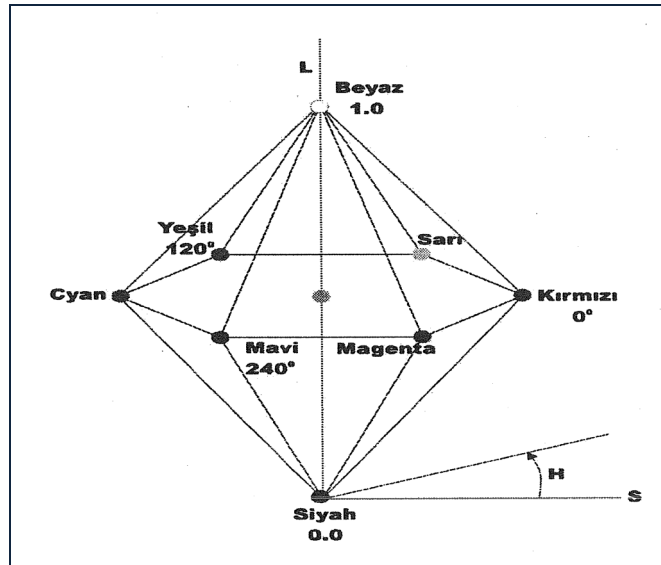
boyunca projeksiyonundan oluşur. Toplam veya çıkarma işlemi elde edilen renkler altıgen koninin köşelerinde bulunmaktadır.



Şekil 2.10. HSV Renk Uzayı [30]

2.2.1.4. HLS renk uzayı

Hue, Lightness, Saturation (HLS) renk uzayını bileşenleri olan H renk adını, L değeri, S doygunluğu temsil eder. HLS renk uzayı HSV uzayına oldukça benzer özellikler taşır. Renk ve doygunluk bileşenleri ile uzayda aynı sembolle gösterilir. Değer ise rengin açıklık veya koyuluk ayırımını gerçekleştirmede kullanılır. Şekil 2.11’de görüldüğü gibi, HLS renk uzayının geometrik modeli altıgen konidir.



Şekil 2.11. HLS Renk Uzayı [30]

$$\lambda = \frac{2\pi}{\beta} = 2\pi \frac{v}{\omega} = \frac{v}{f} \quad (2.14)$$

Denklem (2.15)'te görüldüğü gibi, yeşilin algılanma oranı,

$$y = \frac{Y}{X+Y+Z} \quad (2.15)$$

Denklem (2.16)'da görüldüğü gibi, mavinin algılanma oranı,

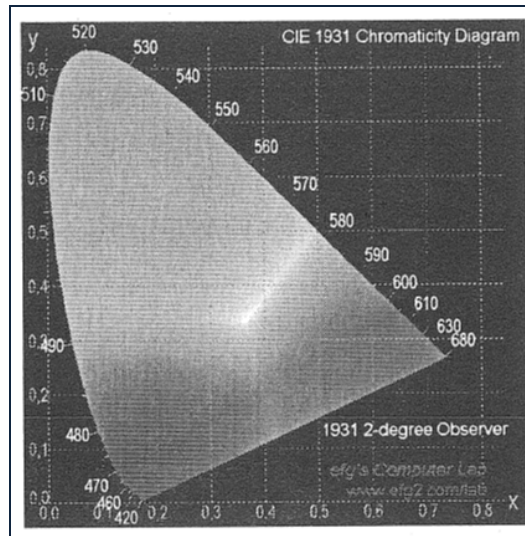
$$z = \frac{Z}{X+Y+Z} \quad (2.16)$$

ve;

$$x + y + z = 1 \quad (2.17)$$

dir. x,y ve z değerleri 0 ile 1 arasındadır.

$x=y=z=(1/3)$ noktası teorik olarak beyazdır. Bu noktadan uzaklaştıkça renklerin doymuşluğu artar. Commission Internationale de l'Eclairage (CIE) tarafından 1931 yılında standart aydınlatıcı (A, B, C, D50, D65, E, F) ve standart gözlemci (20, 100) tanımları üzerine kurulan CIE XYZ renk uzayının iki boyutlu gösterimi bu esasa dayanır. Şekil 2.13'te bulunan gamut yapısı renkmetride görüntü işlemeyi renkli olarak gerçekleştiren cihazlardaki renk skalası olarak tanımlanır.

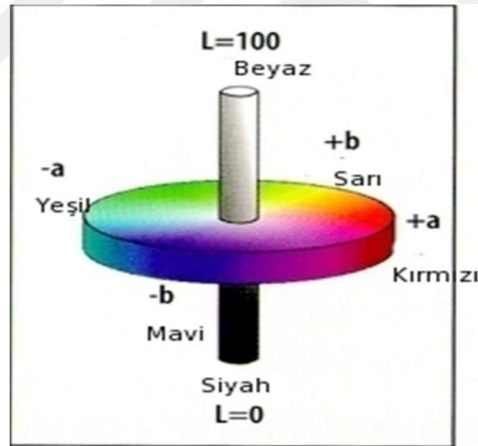


Şekil 2.13. CIE XYZ renk uzayı [30]

2.2.1.7. CIE Lab renk uzayı

Rengin uyarımında değişiklik meydana geldiğinde gözlemci tarafından belli bir süre zarfında bu farklılık algılanmaya başlar. CIE Lab uzayı, gözlemcilere algılama açısından renk uzayının düzgün değişimini sergiler. Bu renk uzayı temelde Munsell renk sistemini kullanır. Çeşitli uygulamalar kapsamında CIE Lab renk uzayı standart renk uzayı olarak tanımlanmıştır.

Şekil 2.14'te gösterildiği gibi CIE Lab renk uzayında üç adet farklı renk bileşeni bulunmaktadır. Bu bileşenler değer (L:Lightness), toplama (a) ve doygunluk (b) değişkenidir. Renk uzayındaki rengin açıklığını L belirler. A ve b değişkenleri ise rengi oluşturur. Bu değişkenler renk uzayında bağımlı olarak hesaplanır. Beyaz rengin CIE XYZ uzayında karşılık bulduğu değer ile bu değişkenlerin hesabı sağlanır. Bu hesaplama çerçevesinde X, Y, Z parametrelerinden L, a, b parametrelerine geçişte standart aydınlatıcı ve gözlemcinin rolü büyüktür.



Şekil 2.14. CIE Lab renk uzayı [30]

2.2.2. Görüntü Eşikleme

Görüntü bölütleme teknikleri arasında görüntü eşikleme, oldukça basit ve sıkça kullanılan bir yöntemdir. Görüntü bölütlemeye aynı özelliklere sahip alanlar arka plandan ayrılarak ön plana çıkartılır. Görüntü eşiklemede parlaklık değeri dikkate alınarak işlem yapılır. Diğer yöntemler ile kıyaslandığında eşikleme işlemi oldukça hızlı sonuç verir. Bu sebeple gerçek zamanlı uygulamalarda sıklıkla kullanılır. Fakat eşikleme işlemi ile tam otomatik şekilde görüntü bölütlemeyi gerçekleştirmek oldukça zordur. Eşikleme işlemindeki başarı kriterlerini etkileyen faktörlerin başında

eşik değeri gelir. Tam otomatik görüntü işleme yöntemlerinde görüntü üzerindeki bilgileri açığa çıkarmak amacıyla optimum eşik değerinin belirlenmesi gerekir.

Gri seviyeli görüntülerde nesne ve arka planı birbirinden farklı iki gruba ayırabilmek için ikili eşikleme yöntemlerine ihtiyaç duyulur. Tasarımcı tarafından belirlenmiş olan eşik değerinden küçük veya eşit piksel değerine sahip pikseller siyah, büyük olan piksel değerleri ise beyaz renk olarak tanımlanır. Böylece iki gri seviyeli görüntü elde edilmiş olur. Şekil 2.15' te örnek görüntü ve ikili eşiklenmiş görüntüye örnek verilmiştir.



Şekil 2.15. (a) Örnek Görüntü ve (b) İkili Eşiklenmiş Görüntü [31]

Farklı yöntemlere dayanarak geliştirilmiş birçok görüntü eşikleme yöntemi mevcuttur. Bu eşikleme yöntemleri, histogram, gri seviye, nesne özelliklerini ve uzamsal bilgileri kullanır. Aynı zamanda parametrik veya parametrik olmayan eşikleme yöntemleri olarak iki grup halinde incelenebilir. Parametrik eşikleme yöntemlerinde hesap yükü fazla olduğu için işlem süresi uzundur. Tasarlanan model parametreleri ile histogram arasındaki farkın artması başarının azalmasına sebebiyet verir. Parametrik olmayan eşikleme, entropi, bulanık benzerlik ölçütü veya sınıf içi değişimiyi kullanır. hata kriterleri kullanılarak optimum eşik değerinin tespiti amaçlanır. Parametrik olmayan yöntemlerde daha yüksek başarılar elde edilebilmektedir. Özellikle Otsu eşikleme yöntemi birçok uygulama alanına sahiptir.

2.2.2.1. Otsu yöntemi

Otsu eşikleme yöntemi görüntü eşikleme yöntemlerinin temelini oluşturan bir algoritmadır. Bu yöntem temelde gri seviye toplanmasını kullanır. Stabil ve eşikleme

kabiliyetinin yüksek olması sebebiyle birçok çalışmada referans olarak alınır. Güçlü ve stabil bir yöntem olması sebebiyle görüntü eşikleme alanında gerçekleştirilen çalışmalarda referans olarak kullanılmaktadır.

Yöntem ile ilgili notasyonlar ve temel tanımlar aşağıda belirtilmektedir:

$I(x,y)$: Gri Seviyeli bir görüntü

(x,y) : İmgenin uzamsal koordinatları

$L=\{0, 1, 2, \dots L-1\}$: Gri seviyeleri temsil eden pozitif tamsayı kümesi

$M \times N$: İmgenin boyutları

Boyutları olarak tanımlanan bir görüntünün gri seviye frekansları (gri seviyelerinin tekrarlanma sıklığı) f_0, f_1, \dots, f_{L-1} olarak tanımlanırsa i . gri seviyenin olasılık dağılımı olarak ifade edilen p_i , Denklem (2.18)'deki gibi hesaplanır;

$$p_i = \frac{f_i}{M \times N}, \quad \sum_{i=0}^{L-1} f_i = M \times N, \quad i = 0, 1, \dots, L-1 \quad (2.18)$$

Görüntü, seçilen bir t eşik değerine göre görüntü, nesne ($C_0=\{0, 1, \dots t\}$) ve arka plan ($C_B=\{t+1, \dots L-1\}$) olarak iki sınıfa ayrılmaktadır. Bu iki sınıfın olasılık yoğunlukları ise Denklem (2.19) ve (2.20)'ye göre hesaplanır.

$$w_0(t) = \sum_{i=0}^t p_i \quad (2.19)$$

$$w_B(t) = \sum_{i=t+1}^{L-1} p_i = 1 - w_0(t) \quad (2.20)$$

Bu iki sınıfın yoğunluklu ortalama gri seviye değerleri ise aşağıdaki Denklem (2.21) ve (2.22)'de ifade edilmektedir:

$$u_0(t) = \sum_{i=0}^t i \cdot p_i / w_0(t) \quad (2.21)$$

$$u_B(t) = \sum_{i=t+1}^{L-1} i \cdot p_i / w_B(t) \quad (2.22)$$

Otsu eşikleme yönteminde en optimum eşikleme değerinin tespitinde nesne (O) ve arka plan (B) pikselleri arasındaki sınıf içi değişinti fonksiyonunun minimize edilmesi kullanılır. Varyans veya değişinti değeri, elde edilen ölçüm değeri ile aritmetik ortalamanın farkının kareler ortalamasıdır. Nesne ve arka plana ait sınıfların değişintileri sırasıyla Denklem (2.23) ve (2.24)'deki şekilde hesaplanmaktadır:

$$\sigma_0^2(t) = \sum_{i=0}^t p_i \cdot (i - u_0(t))^2 / w_0 \quad (2.23)$$

$$\sigma_B^2(t) = \sum_{i=t+1}^{L-1} p_i \cdot (i - u_B(t))^2 / w_B \quad (2.24)$$

Buna göre minimize edilmesi gereken ağırlıklandırılmış toplam sınıf içi değişinti ($\sigma_{\text{sınıf_ici}}^2$) Denklem (2.25) ve (2.26)'ya göre tespit edilmektedir.

$$\sigma_{\text{sınıf_ici}}^2(t) = w_0(t) \cdot \sigma_0^2(t) + w_B(t) \cdot \sigma_B^2(t) \quad (2.25)$$

$$t = \text{ArgMin}_{t \in G} \sigma_{\text{sınıf_ici}}^2(t) \quad (2.26)$$

Sınıf içi değişintilerinin minimize edilmesi aynı zamanda sınıflar arası değişintinin ($\sigma_{\text{sınıf_ara}}^2(t)$) en büyüklenmesine karşılık geldiğinden bu yönteme ilişkin en uygun eşik değeri Denklem (2.27), Denklem (2.28) ve Denklem (2.29)'daki ifadeler yardımıyla da hesaplanabilmektedir:

$$\sigma_{\text{sınıf_ara}}^2(t) = w_0(t) \cdot [u_0(t) - u_T]^2 + w_B(t) \cdot [u_B(t) - u_T]^2 \quad (2.27)$$

$$u_T = \sum_{i=0}^{L-1} p_i \cdot i \quad (2.28)$$

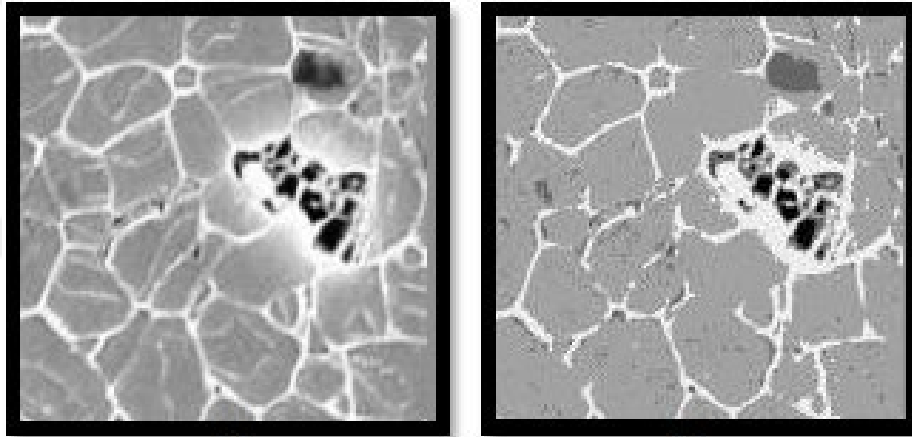
$$t = \text{ArgMax}_{t \in G} \sigma_{\text{sınıf_ara}}^2(t) \quad (2.29)$$

Sınıf içi ve sınıflar arası değişintinin toplamı, toplam değişintiye (σ_T^2) eşittir ve Denklem (2.30)'daki gibi ifade edilir:

$$\sigma_T^2 = \sigma_{\text{sınıfıci}}^2(t) + \sigma_{\text{sınıfiara}}^2(t) \text{ ve } \sigma_T^2 = \sum_{i=0}^{L-1} p_i \cdot (i - u_T)^2 \quad (2.30)$$

2.2.2.2. Çoklu eşikleme yöntemi

Çoklu görüntü eşikleme ile gri seviye görüntü ikiden fazla gri seviyeye ayrılır. Böylece görüntü içerisinde ikiden fazla gri seviye alanları bulunur. Genel olarak çoklu görüntü eşikleme yöntemi, bölütleme, nesne tanıma ve sınıflandırma uygulamalarında fazlaca kullanılır. Şekil 2.16'da örnek bir görüntü ve çoklu eşikleme sonrası çıktı görüntüsü görülmektedir.

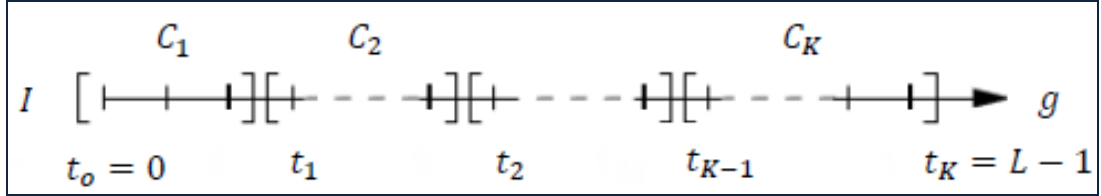


Şekil 2.16. (a) Örnek Görüntü ve (b) Çoklu Eşiklenmiş Görüntü [31]

Yapılan çalışmalardan görüntü eşikleme işlemini gerçekleştirmek amacıyla birçok amaç fonksiyonuna başvurulmuştur. Günümüzde de çoklu görüntü eşikleme yöntemleri sıklıkla kullanılıp, geliştirilmeye çalışılmıştır. Sadece histogramı temel olarak analiz eden ve değerlendiren eşikleme yöntemleri, her zaman basit, verimli ve gerçek zamanlı sistemlerde kullanılmak üzere uygundur. Bu yöntemlerden ikili eşikleme amaçlı geliştirilen Otsu'nun (1979) değişinti fonksiyonu, en popüler yöntemlerdendir.

Çoklu görüntü eşikleme, $M \times N$ adet $L = \{0, 1, \dots, L-1\}$ gri seviyeli piksele sahip I görüntüsünü, $K-1$ adet ($t_1 < t_2 < \dots < t_{K-1}$) eşik değerine sahip $T = (t_1, t_2, \dots, t_{K-1})$ eşik değerleri kümesini kullanarak K adet sınıfa (C_1, C_2, \dots, C_K) toplama işlemidir.

Burada sınırları belirten $t_0=g_{\min}$ ve $t_K=g_{\max}$ değerleri sırasıyla görüntüdeki minimum gri seviyeli pikselin değeri ve maksimum gri seviye değeri olarak tanımlanmaktadır ($g_{\min} = 0, g_{\max} = L-1$).



Şekil 2.17. Görüntüdeki Gri Seviyelerin Sınıflara Ayrımı [31]

Otsu'nun yöntemi, çoklu görüntü eşikleme problemini çözmek amacıyla uyarlanabilir. Bu durumda sınıfların olasılık yoğunlukları Denklem (2.31) ve (2.32)'den uyarlanarak şu şekilde ifade edilir:

$$\omega_k = \sum_{i \in C_k} p_i \quad (2.31)$$

$$\omega_k(t_{k-1}, t_k) = \sum_{i=(t_{k-1}+1)}^{t_k} p_i \quad (2.32)$$

Sınıfların yoğunluklu ortalama gri seviye değerleri, Denklem (2.33) ve (2.34)'deki gibi ifade edilir:

$$u_k = \sum_{i \in C_k} i \cdot p_i / \omega_k \quad (2.33)$$

$$u_k(t_{k-1}, t_k) = \sum_{i=(t_{k-1}+1)}^{t_k} i \cdot p_i / \omega_k(t_{k-1}, t_k) \quad (2.34)$$

Sınıflara ait değişimler Denklem (2.35) ve (2.36)'ya göre hesaplanır.

$$\sigma_k^2 = \sum_{i \in C_k} p_i \cdot (i - u_k)^2 / \omega_k \quad (2.35)$$

$$\sigma_k^2(t_{k-1}, t_k) = \sum_{i=(t_{k-1}+1)}^{t_k} p_i (i - u_k(t_{k-1}, t_k))^2 / \omega_k(t_{k-1}, t_k) \quad (2.36)$$

Sınıf içi ve sınıflar arası değışintiler sırasıyla Denklem (2.37) ve (2.38) göz önüne alınarak bulunur.

$$\sigma_{\text{sınıfıci}}^2(T) = \sum_{k=1}^K \omega_k \cdot \sigma_k^2 \quad (2.37)$$

$$\sigma_{\text{sınıfara}}^2(T) = \sum_{k=1}^K \omega_k \cdot (u_k - u_T)^2 \quad (2.38)$$

Çoklu görüntü eşikleme problemini çözmek amacıyla en uygun eşik değerlerini bulmak için ya sınıf içi değışintiyi minimize eden ya da sınıflar arası değışintiyi maksimize eden çözüm bulunmalıdır.

$$[t_1^*, t_2^*, \dots, t_{K-1}^*] = \text{ArgMin } \sigma_{\text{sınıfıci}}^2(t) = \text{ArgMax } \sigma_{\text{sınıfara}}^2(t) \quad (2.39)$$

2.2.2.3. Gri ton düzgünlüğü ve düzensizliği ölçütü

Görüntü eşikleme yöntemlerinin birçoğu yalnızca görüntü histogramı bilgilerinden faydalandığında elde edilen sonuçların değerlendirilmesi Levine, Nazif ve Tsai tarafından oluşturulan Gri Ton Düzgünlüğü (GTD) ölçütüne göre yapılır. Diğer bir ölçüt ise Gri Ton Düzensizliği (GTDS) olup eşikleme başarımı değerlendirilir. Bu ölçütler Denklem (2.40) ve (2.41)'deki gibi ifade edilmektedir;

$$\text{GTD} = 1 - \frac{\sum_{k=1}^K \omega_k \cdot \sigma_k^2}{\sigma^2 T} \quad (2.40)$$

$$\text{GTD} = \frac{\sum_{k=1}^K \omega_k \cdot \sigma_k^2}{\sigma^2 T} \quad (2.41)$$

$\sigma_{\text{sınıfıci}}^2$ ifadesini Denklem (2.40) ve (2.41)'de yerine koyulursa Denklem (2.42) ve (2.43)'deki ifadeler elde edilir.

$$\text{GTD} = 1 - \frac{\sigma_{\text{sınıfıci}}^2}{\sigma^2 T} = \frac{\sigma_{\text{sınıfara}}^2}{\sigma^2 T} \quad (2.42)$$

$$GTDS = \frac{\sigma_{\text{sınıfıci}}^2}{\sigma^2 T} \quad (2.43)$$

Birbirine yakın grilik değerine sahip bölgeleri aynı sınıf olarak bulma açısından iyi bölütlenmiş bir görüntünün GTD ölçütü 1 değerine, GTDS ölçütü ise 0 değerine daha yakın olacaktır.

Çoklu görüntü eşiklemede kullanılan Otsu yöntemindeki amaç fonksiyonu sırasıyla GTD ve GTDS ölçütlerine göre maksimize ve minimize edilerek optimum eşik değeri bulunur.

2.2.3. Hough dönüşümü

Hough dönüşümü ile uzayda bulunan x, y koordinatlarına sahip noktanın parametre uzayına geçişini sağlamaktadır. Dönüşümün sağlanacağı parametre uzayı ilgili nesnenin şekline göre belirlenir. Uzayda x_1 ve x_2 noktalarından geçen doğrunun matematiksel olarak ifade edilmesi Denklem (2.44)'de gösterilmektedir.

$$y_1 = ax_1 + b \quad (2.44)$$

Uzayda doğru denkleminin gösteriminde bulunan a ile b parametreleri doğrunun özelliklerini temsil eder. Doğru denklemlerinin gösteriminde kullanılan bu ifadeler Hough dönüşüm işleminde pek tercih edilmez. Y eksenine paralel olarak uzanan sonsuz uzunluktaki doğrular a değerlerine sahiptirler. Bu sebeple a ve b parametrelerinin sonsuz değerlerde olması gerekir. Bu sebeple doğruları ifade etmek için θ açısı ve p uzunluğu kullanılır. Hough dönüşümünde doğrular Denklem (2.45) kullanılarak ifade edilir.

$$p = x \cos(\theta) - y \sin(\theta) \quad (2.45)$$

Parametre uzayında dairelerin denklemler ile ifade edilmesi daha kolaydır. Bunun nedeni daire parametreleri kolayca parametre uzayına geçişinin yapılabilmesidir. Denklem (2.46)'da daire denklemi verilmiştir.

$$r^2 = (x - a)^2 + (y - b)^2 \quad (2.46)$$

Denklemdede görüldüğü üzere dairenin a, b ve r olmak üzere üç parametresi vardır. Burada a ve b, x-y düzleminde dairenin yönünü r ise yarıçapını belirtmektedir. Dairenin parametrik gösterimi Denklem (2.51) ve (2.52)'deki gibidir.

Denklem 2.50 incelendiğinde a, b ve r parametreleri daireyi ifade etmek için kullanılır. Denklemde a ve b parametreleri r yarıçapını belirlemede kullanılır. Parametrik uzayda dairenin gösterimi Denklem (2.47) ve (2.48) bulunmaktadır.

$$x = a + r \cos(\theta) \quad (2.47)$$

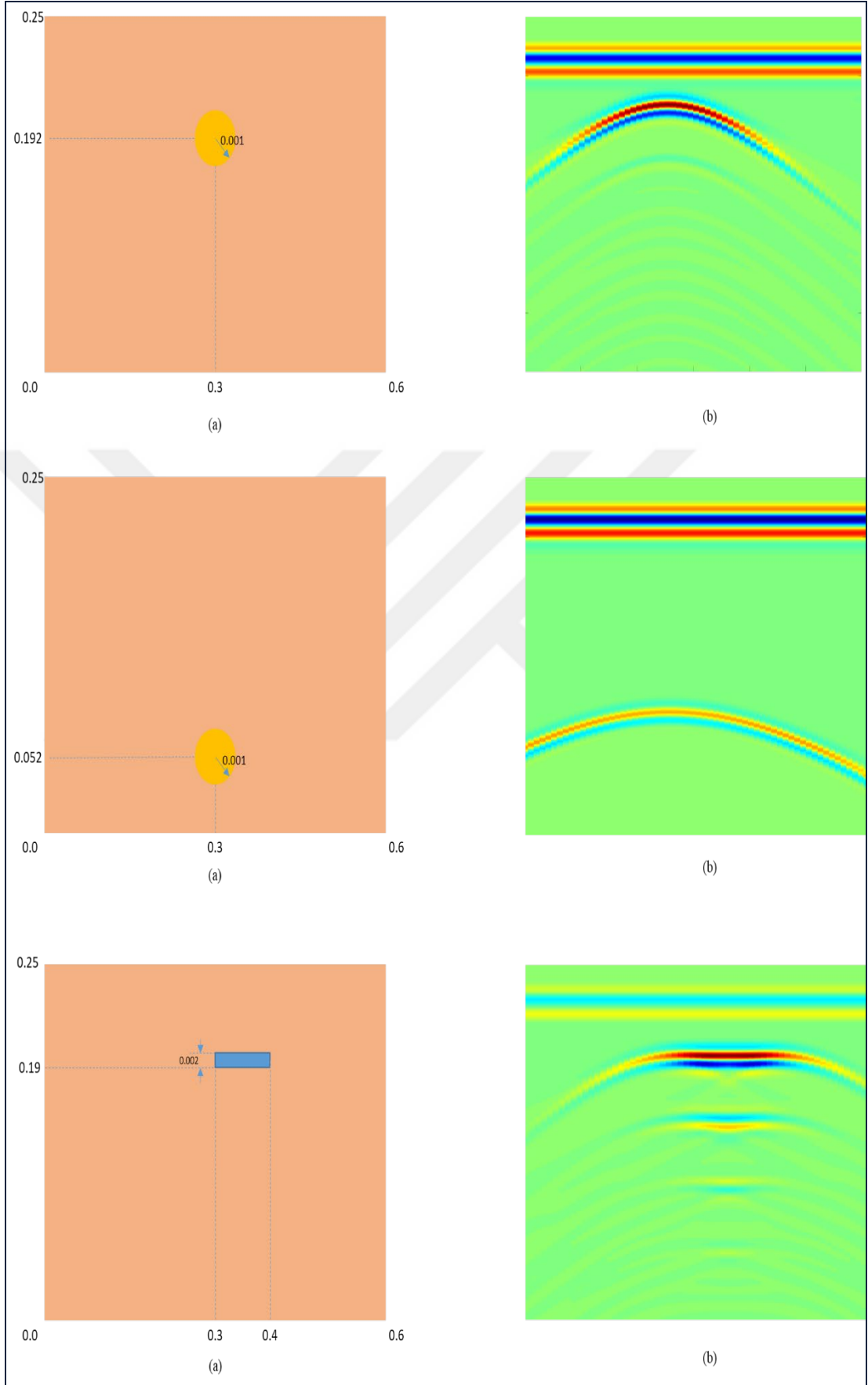
$$y = b + r \sin(\theta) \quad (2.48)$$

Dairenin denklemsel ifadesi R^3 uzayında bulunurken doğru denklemleri R^2 uzayında ifade edilir. İlgili şekli ifade eden parametre sayısı artıkça R uzayının boyutunda artış gerçekleşir. Parametre sayısı artıkça Hough dönüşümü daha kompleks hale gelir. Parametre uzayında a, b ve r parametreleri bulunur. Oluşturulan daireler a-b düzleminde herhangi bir noktayı daire merkezi olarak atayabilir. Dairenin yarıçapı olan r parametresi bilindiği takdirde daire parametre uzayında matematiksel olarak ifade edilebilir.

2.3. Veri Seti ve Senaryolar

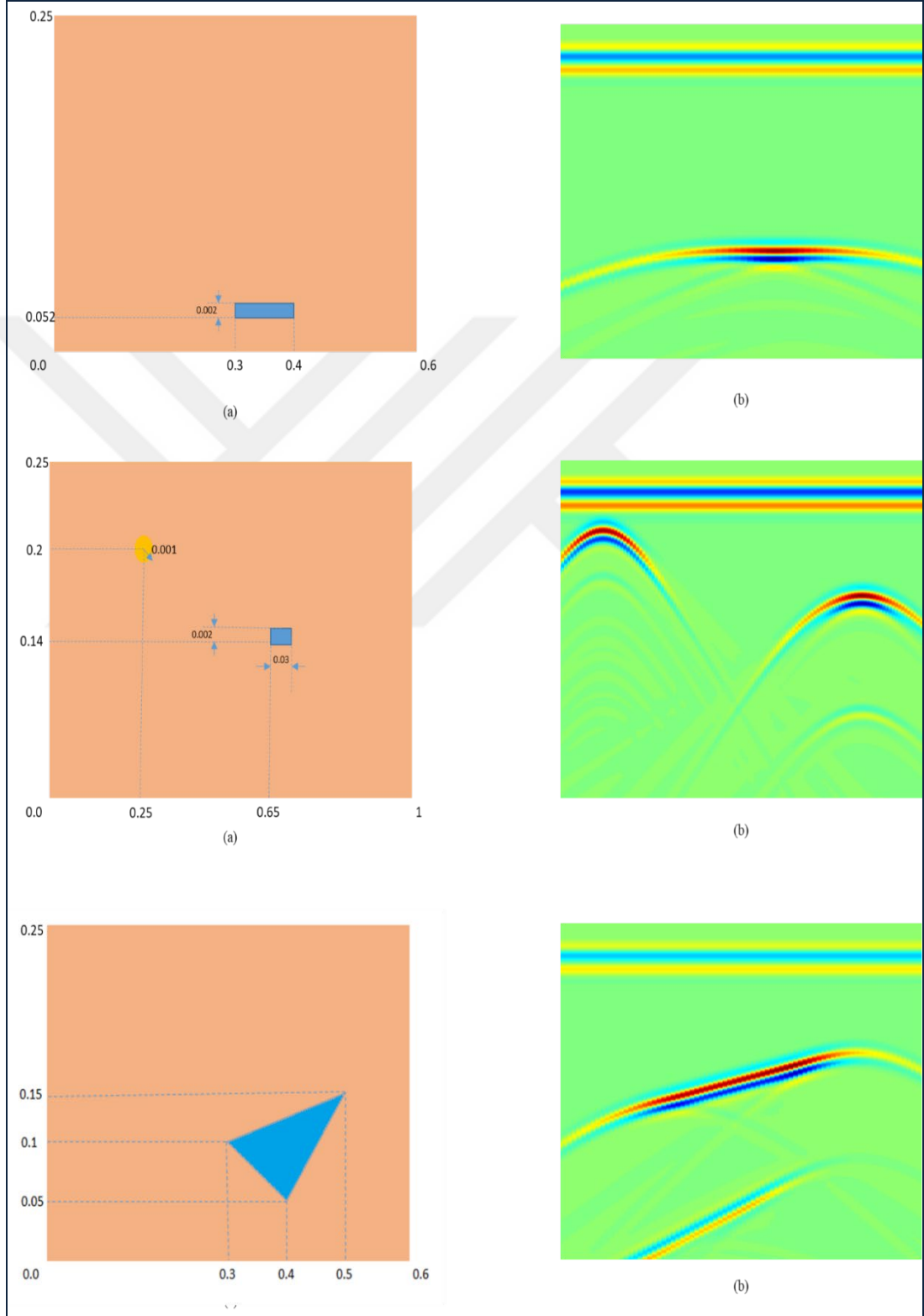
Python tabanlı GprMax programından çeşitli senaryolar oluşturularak GPR B tarama görüntüleri elde edilmiştir. Bu senaryolarda nemli toprak ($\epsilon_r=7$, $\mu_r=1$) içine gömülü farklı derinlikte bulunan farklı şekillerdeki mükemmel iletken malzemeler ($\epsilon_r=1$, $\mu_r=1$) kullanılmıştır. GprMax programında boyutlar metre cinsinden girilerek senaryolar elde edilmektedir. Ayrıca toprak başlangıç düzlemi 0,25 m referans olarak başlayıp derinlik artıkça bu değer azalmaktadır. GPR tarama senaryoları Şekil 2.18-2.21 arasında gösterilmiştir. Δx tarama adımı oluşturulan her senaryo için farklılık gösterebilmektedir.

Oluşturulan senaryolar incelendiğinde bir ya da iki gömülü cisimler bulunmaktadır. Gömülü cisimler dikdörtgen, daire veya üçgen kesitlere sahiptirler. Nemli toprak ortamı kullanılarak oluşturulan senaryolarda gömülü nesnelere farklı derinlik seviyelerinde bulunabilmektedirler.



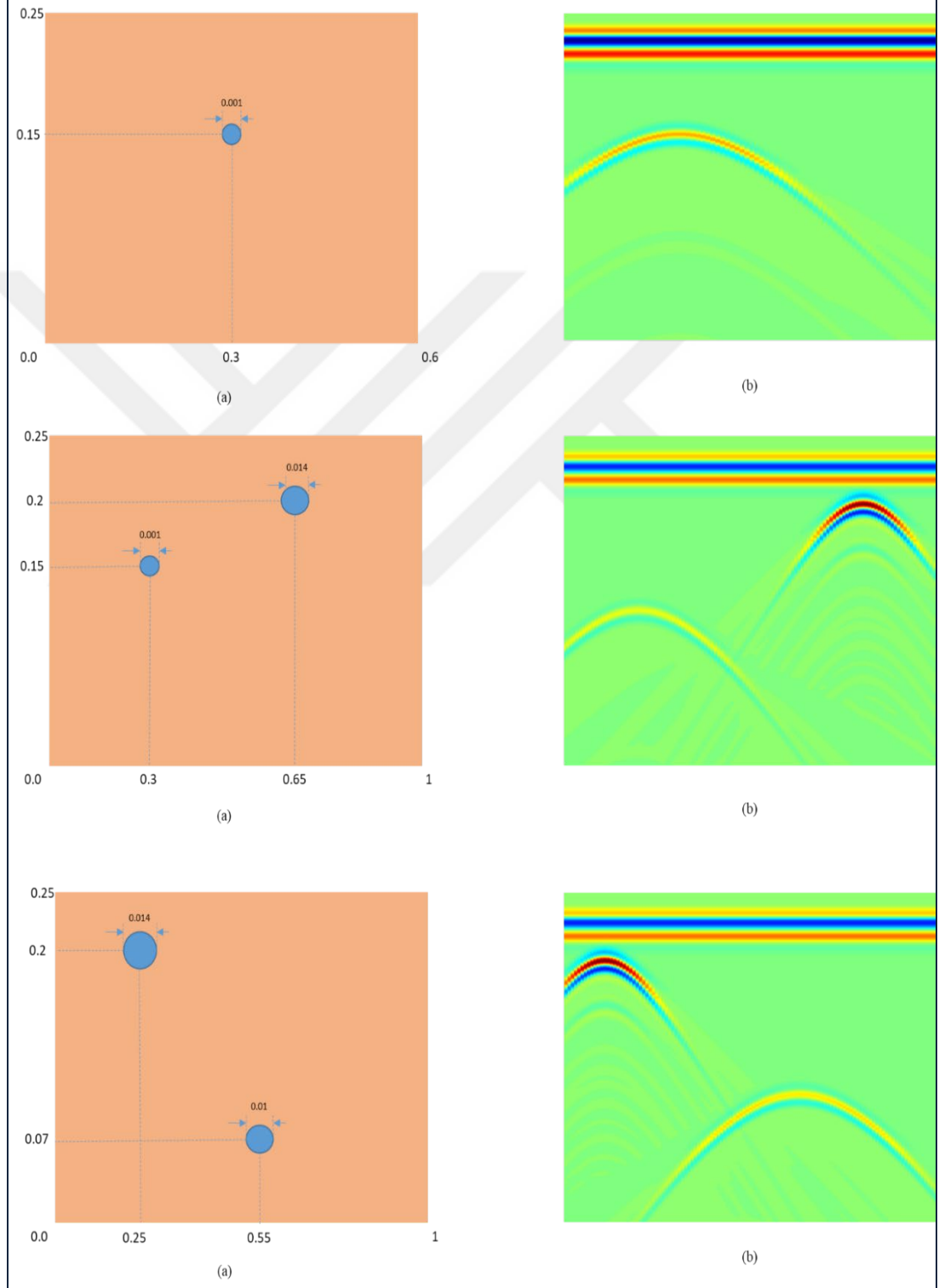
Şekil 2.18. (a) Oluşturulan Senaryolar (b) Elde Edilen GPR B Tarama Görüntüleri

Elde edilen GPR B tarama görüntülerinin dört tanesinde yalnızca gömülü silindir cisim bulunmaktadır. Bu gömülü silindirlerin yarıçapları 0,005-0,001 m arasında değişmektedir.

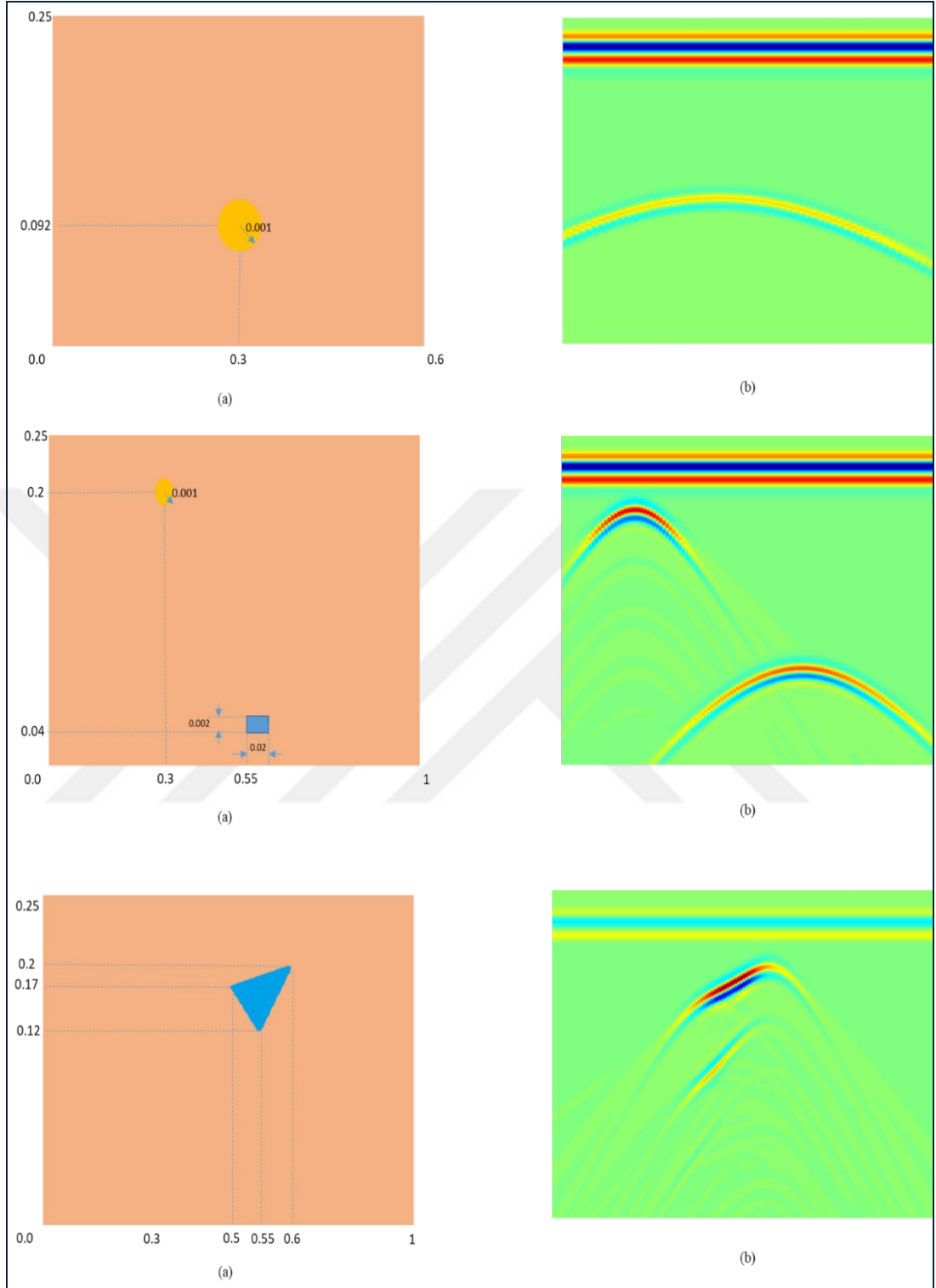


Şekil 2.19. (a) Oluşturulan Senaryolar (b) Elde Edilen GPR B Tarama Görüntüleri

İki adet GPR B tarama görüntülerin dikdörtgen kesitli gömülü nesnelere mevcuttur. İki adet gömülü cisimlerin bulunduğu GPR B tarama görüntüleri dört adettir. Bu çoklu gömülü cisimlerin bulunduğu senaryolarda gömülü nesne kesitleri dairesel veya dikdörtgen şeklindedir.



Şekil 2.20. (a) Oluşturulan Senaryolar (b) Elde Edilen GPR B Tarama Görüntüleri



Şekil 2.21. (a) Oluşturulan Senaryolar (b) Elde Edilen GPR B Tarama Görüntüleri

Üçgen kesitli gömülü cisimlerin bulunduğu senaryolar iki tanedir. Toplamda on iki adet senaryo oluşturulmuş ve bu senaryolardan GPR B tarama görüntüleri elde edilmiştir. GPR B tarama görüntüleri incelendiğinde dairesel kesitli gömülü cisimler hiperbolik desenler oluşturmaktadır. Dikdörtgen kesite sahip gömülü cisimlerin

oluşturdukları hiperbolik desenlerde doğrusallık görülmektedir. Üçgen kesitli gömülü nesnelere oluşturdukları desenler diğer gömülü cisimlere göre daha farklıdır. Meydana getirdikleri desenler daha çok üçgen şeklini anımsatmaktadır.

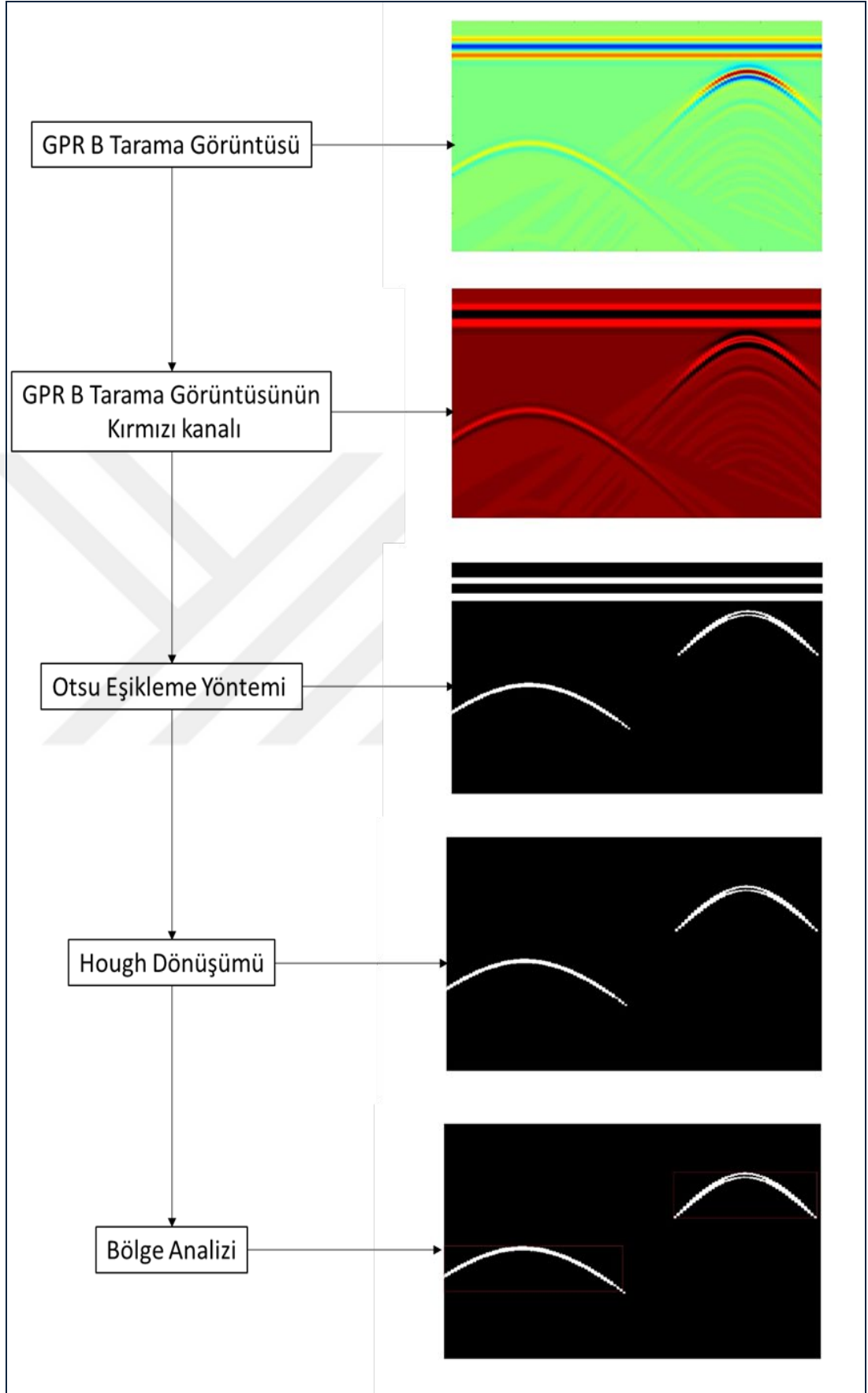
Ayrıca gerçek GPR B tarama görüntüleri elde etmek için Yıldız Teknik Üniversitesi Davutpaşa Kampüsünde Elektrik Elektronik Mühendisliği bölümüne ait bir kum havuzunda gerçek GPR cihazı ile metal plaka, su şişesi, dışı alüminyum ile çevrili top, güç kaynağı gibi cisimleri toprak altına gömerek, içinde elenmiş kum bulunan kum havuzunda test yapıldı. Bu işlem 12 Şubat 2019 gününde gerçekleştirildi. Gerçek GPR B tarama görüntülerinin alındığı düzenek Şekil 2.22'de verilmektedir.



Şekil 2.22. GPR Test Düzenegi

2.4. Önerilen Yöntem

GPR B tarama görüntülerinde toprak düzleminin görüntüden çıkarılması ve cisimlerin tahmini yerinin çizdirilmesinde birçok farklı yöntemler önerilmiştir. Bu çalışma kapsamında RGB renk uzayında çalışarak ilk olarak toprak düzlemi ve cisimlerin yerinin bölütlenmesine elverişli bir ortam sağlanmıştır. Bu sebeple RGB uzayında kırmızı (Red) kanal seçilmiş ve otsu eşikleme yöntemi ile toprak ve cisimlerin bölütlenmesi sağlanmıştır. Hough dönüşümü ile toprak düzlemleri yok edilmiş sadece cisimler elde edilerek tahmini yerin etrafı çizdirilmiştir. Şekil 2.23'de önerilen bir GPR B tarama görüntüsü için yöntem aşamaları gösterilmektedir.



Şekil 2.23. Önerilen Yöntem

Önerilen yöntem kapsamında belirli bir sıralamaya göre uygulanan yöntemlerin her birinin farklı görevleri bulunmaktadır. İlk olarak RGB kanallarına sahip olan GPR B tarama görüntülerinin Red kanalının seçimi gerçekleştirilmiştir. Bu kanalın seçiminin ana nedeni tarama görüntüsü içerisindeki gömülü cisimlerin oluşturdukları hiperbolik desenlerin özelliklerini daha iyi yansıtmasından kaynaklanmaktadır. Bu kanal değişiminden sonra tarama görüntülerinde gömülü cisimlerden kaynaklanan yansımaları en aza indirmek ve yok etmek amacıyla Otsu eşikleme yöntemi kullanılmıştır. Otsu eşikleme yöntemi iki seviyeli (0-1) eşikleme gerçekleştirmektedir. Yani arka planı gösteren piksellere “0” değeri atanarak siyah renk almasına, toprak düzlemi ve gömülü nesnelere “1” beyaz renk atanmıştır. Bu sayede arka plan ile ilgili kısımlar birbirinden ayrılmaktadır. Elde edilen görüntüde yalnızca gömülü nesnelere ve toprak düzlemi bulunmaktadır. GPR taramalarında genelde gömülü nesnelere ile ilgilenilir. Bu sebeple toprak düzleminin bir önemi yoktur ve görüntüden çıkarılması gerekir. Elde edilen GPR B tarama görüntüleri incelendiğinde gömülü nesnelere hiperboller oluşturduğu gözlemlenmektedir. Bu hiperboller belirli bir eğrilığe sahiptirler. Bu eğriliklerin analizi ve toprak düzleminin görüntüden yok edilmesi için Hough dönüşümü uygulanmıştır. Hough dönüşümü görüntü içerisinde eğrilikleri incelemektedir. Hough dönüşümü kullanılarak görüntü içerisinde sadece gömülü cisimler ön plana çıkarılmıştır. Bu gömülü cisimlerin işaretlenmesi ve tahmini yerinin belirlenmesi için bölge analizi yapılmıştır. Bölge analizlerin Matlab programının ‘regionprompt’ komutu ile gerçekleştirilmiştir. Böylece gömülü cisimlerin tahmini yerinin etrafı çizdirilmiştir.

3.BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, araştırma sonuçları iki başlık altında değerlendirilmiştir. Birinci bölümde önerilen algoritma sonucunda elde edilen GPR B tarama görüntülerin analizi yapılmıştır. İkinci bölümde ise öncelikle araştırmanın performansı ortaya konmuş ve literatürde yapılmış çalışmalar ile kıyaslanması gerçekleştirilmiştir. Önerilen algoritma Python tabanlı GprMax programı kullanılarak elde edilen 15 adet simülasyon, 8 adet gerçek görüntüye [29] ve 3 adet gerçek GPR cihazından alınan görüntülere uygulanmıştır. Uygulama öncesinde tüm görüntüler tekrardan ölçeklenerek aynı boyuta getirilmiştir.

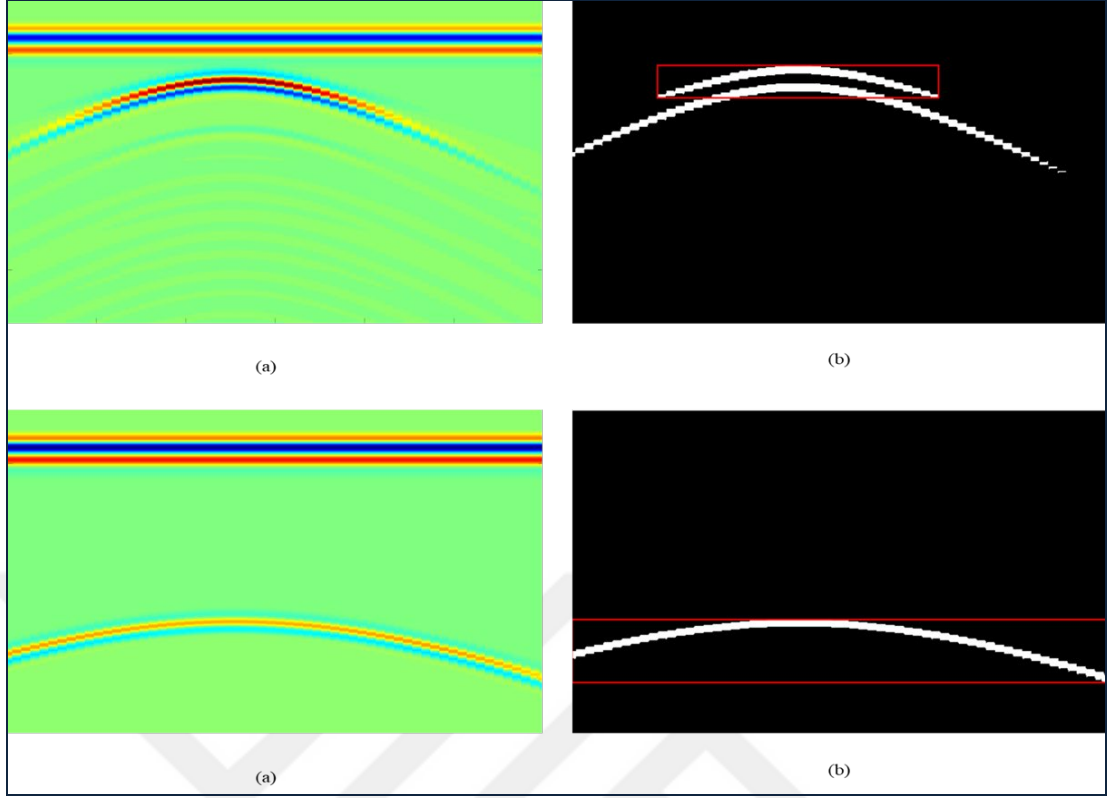
GprMax programının kullanımı ve görüntü işleme için kullanılan bilgisayar özellikleri aşağıda belirtilmiştir.

- AMD FX X8 8320 Soket AM3+ 3.5 GHz 16 MB Önbellek 125 W 32nm İşlemci
- ASUS M5A99FX PRO R2.0 AMD 990FX/SB950 DDR3 2133 MHz Anakart
- Kingston 32 GB Hyperx Savage Red DDR3 1600 MHz CL9 PC RAM
- ASUS 4 GB AMD R9 270X DirectICU II Top DC2T-4GD5 DDR5 256 Bit HDMI Dual DVI Displayport 16X (PC 3.0)
- KINGSTON 240 GB 2.5" V300 SV300S37A/240G 450 MB/S 450 MB/s Sata III SSD Harddisk
- SEAGATE 3,5" 2TB ST200DM001 7200 rpm 64 MB SATA III

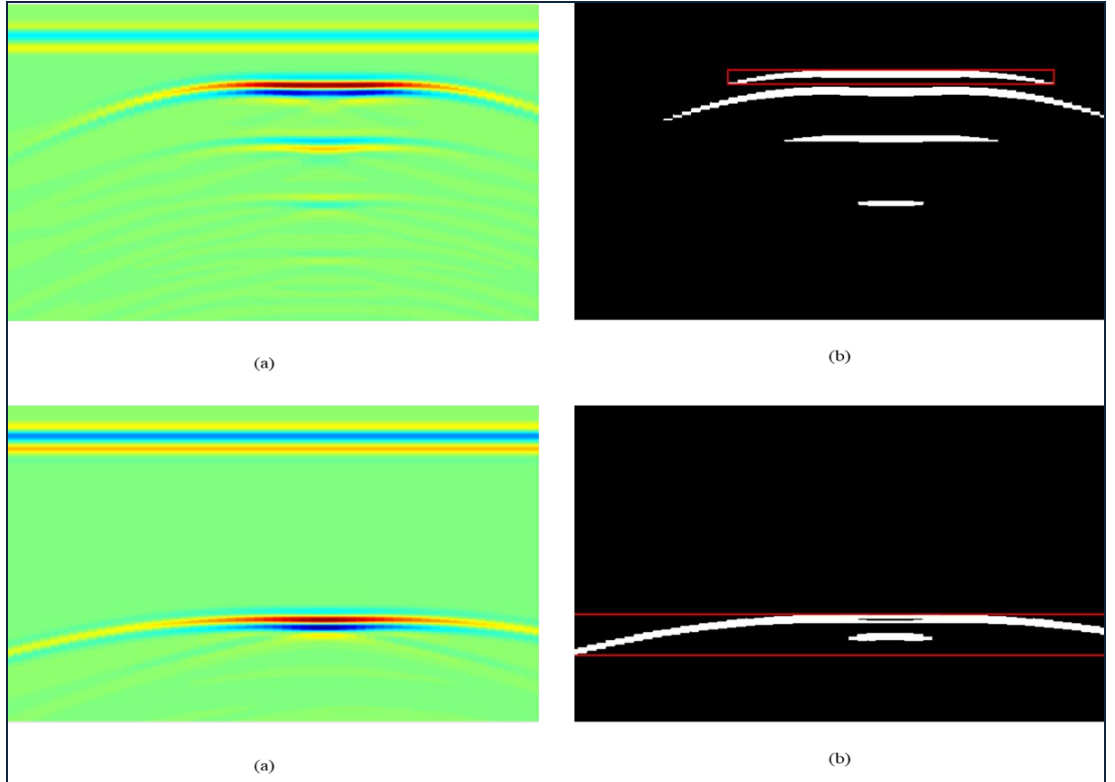
Çalışmada kullanılan simülasyon ve gerçek GPR B tarama görüntüsü ve önerilen yöntem sonucu bölütlenmiş GPR B Tarama görüntüleri Şekil 3.1-3.13'da verilmiştir. Ayrıca Şekil 3.14'de gösterilen Matlab ortamında hazırlanan bir gui oluşturulmuştur.

3.1. Deneysel Sonuçlar

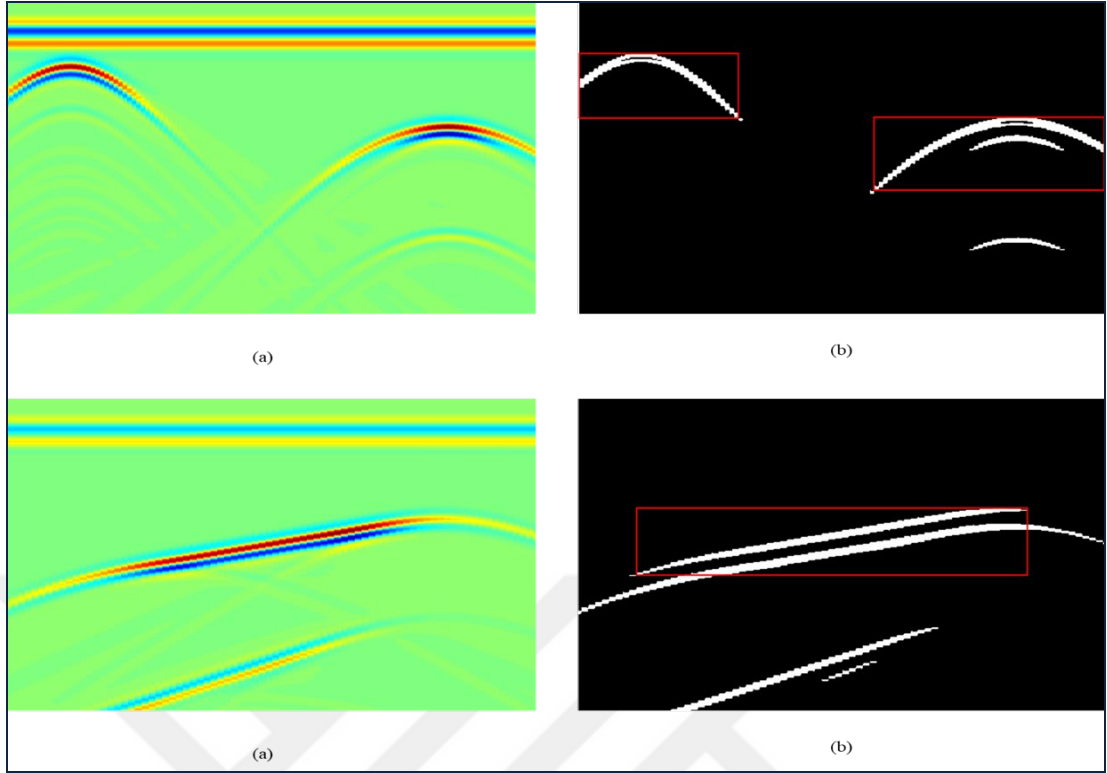
Tez çalışması kapsamında kullanılan simülasyon görüntüleri, gerçek GPR B tarama görüntüleri ve önerilen yöntem sonucunda işlenmiş sonuçları ile birlikte aşağıdaki gibi Şekil 3.1-3.13'da gösterilmiştir.



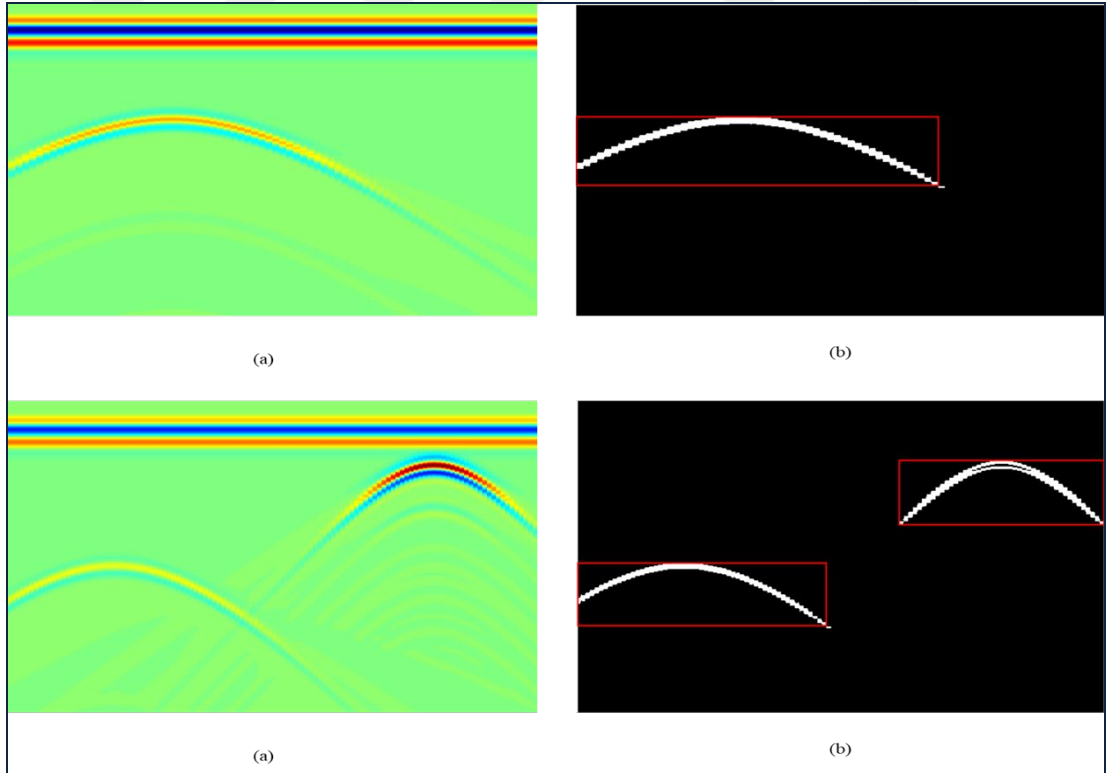
Şekil 3.1. (a) Orijinal Görüntü (b) Önerilen Yöntem Sonucu Bölütlenmiş GPR B Tarama Görüntüsü



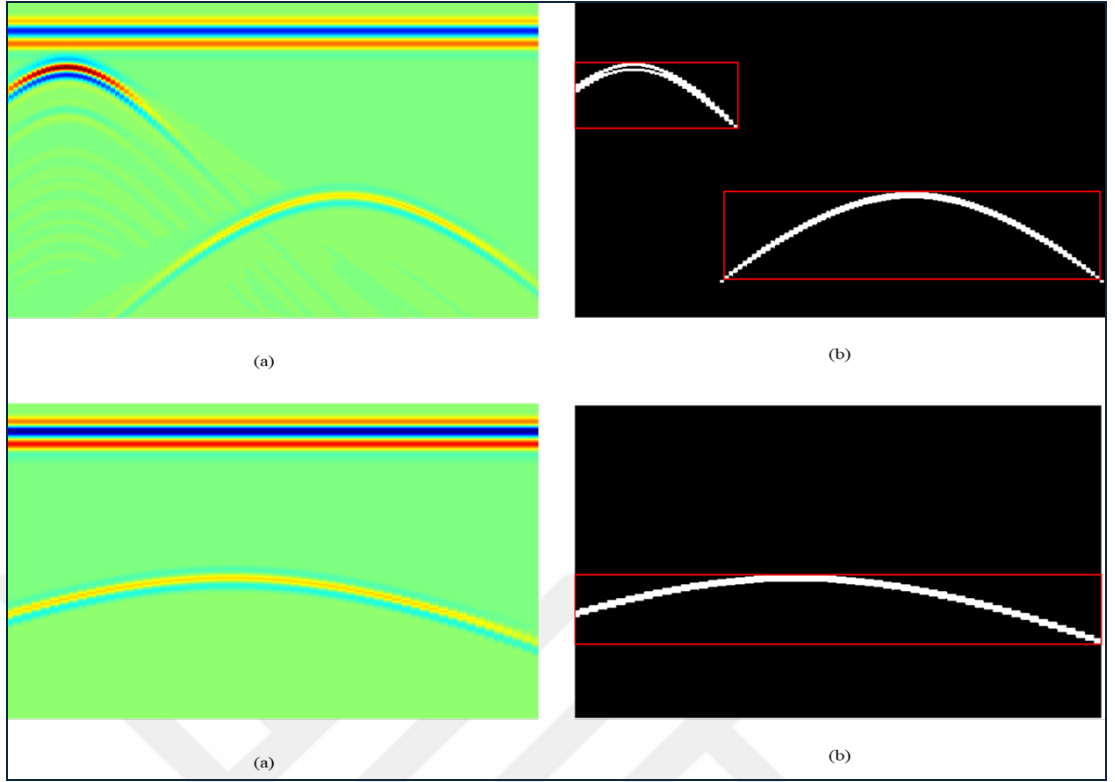
Şekil 3.2. (a) Orijinal Görüntü (b) Önerilen Yöntem Sonucu Bölütlenmiş GPR B Tarama Görüntüsü



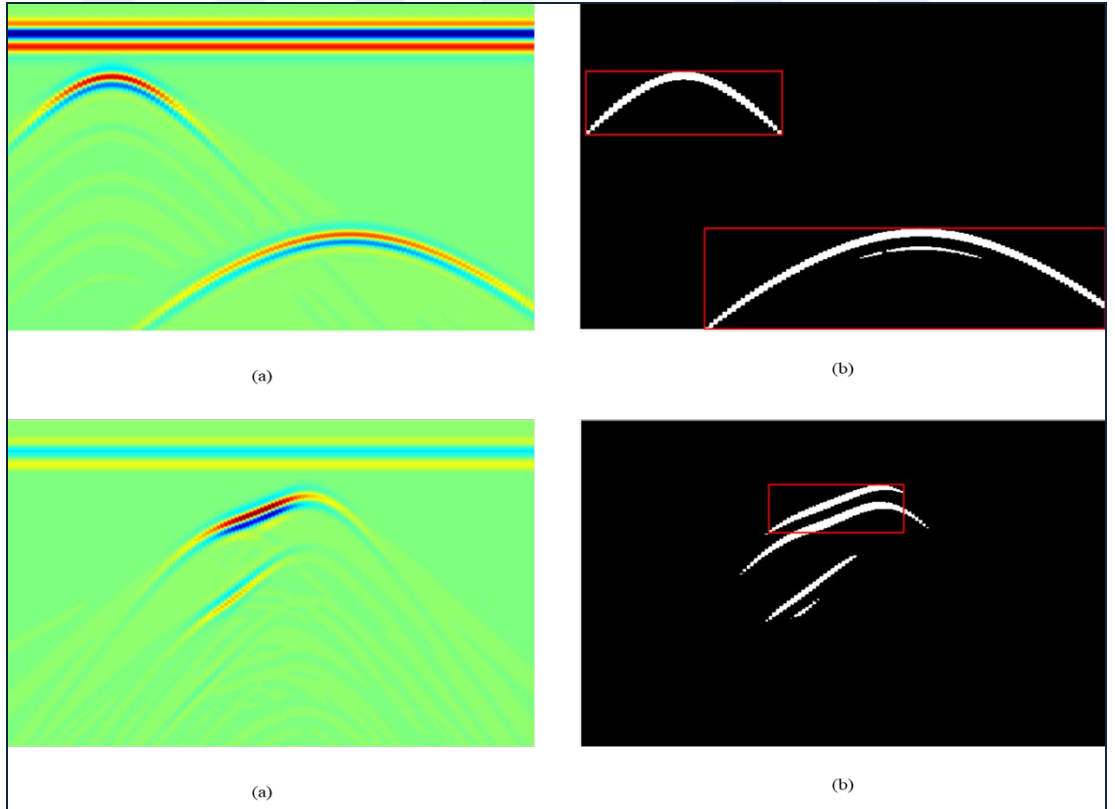
Şekil 3.3. (a) Orijinal Görüntü (b) Önerilen Yöntem Sonucu Bölütlenmiş GPR B Tarama Görüntüsü



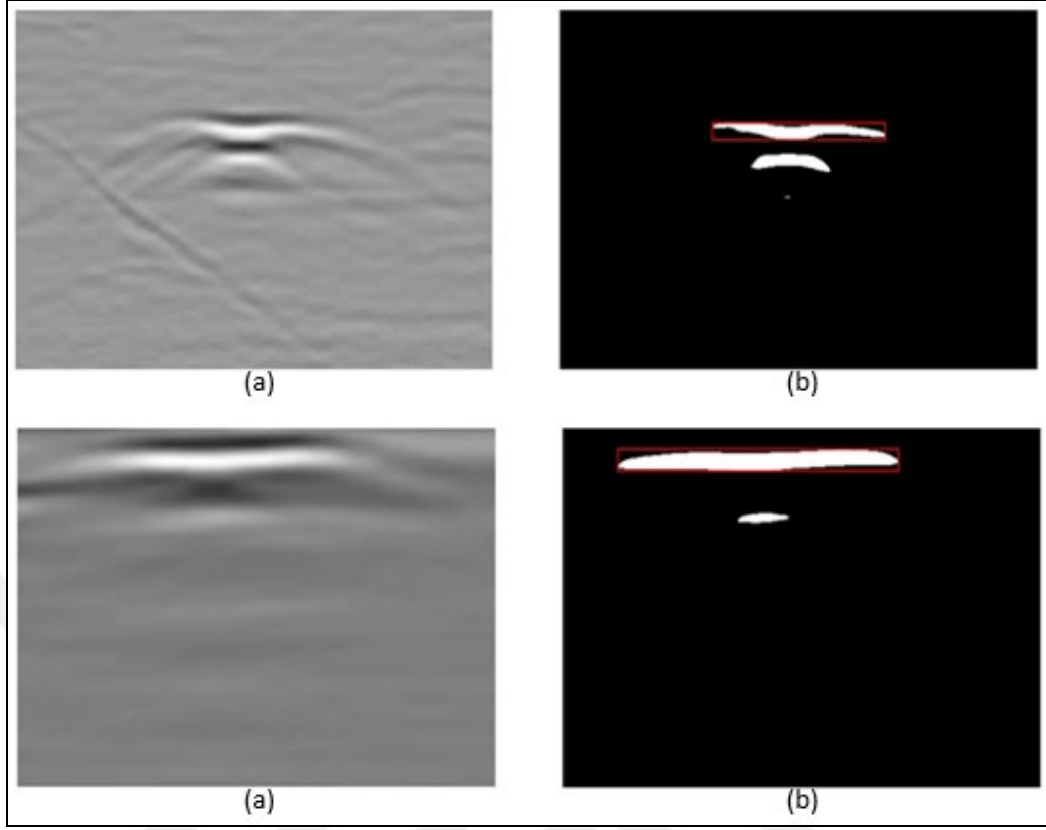
Şekil 3.4. (a) Orijinal Görüntü (b) Önerilen Yöntem Sonucu Bölütlenmiş GPR B Tarama Görüntüsü



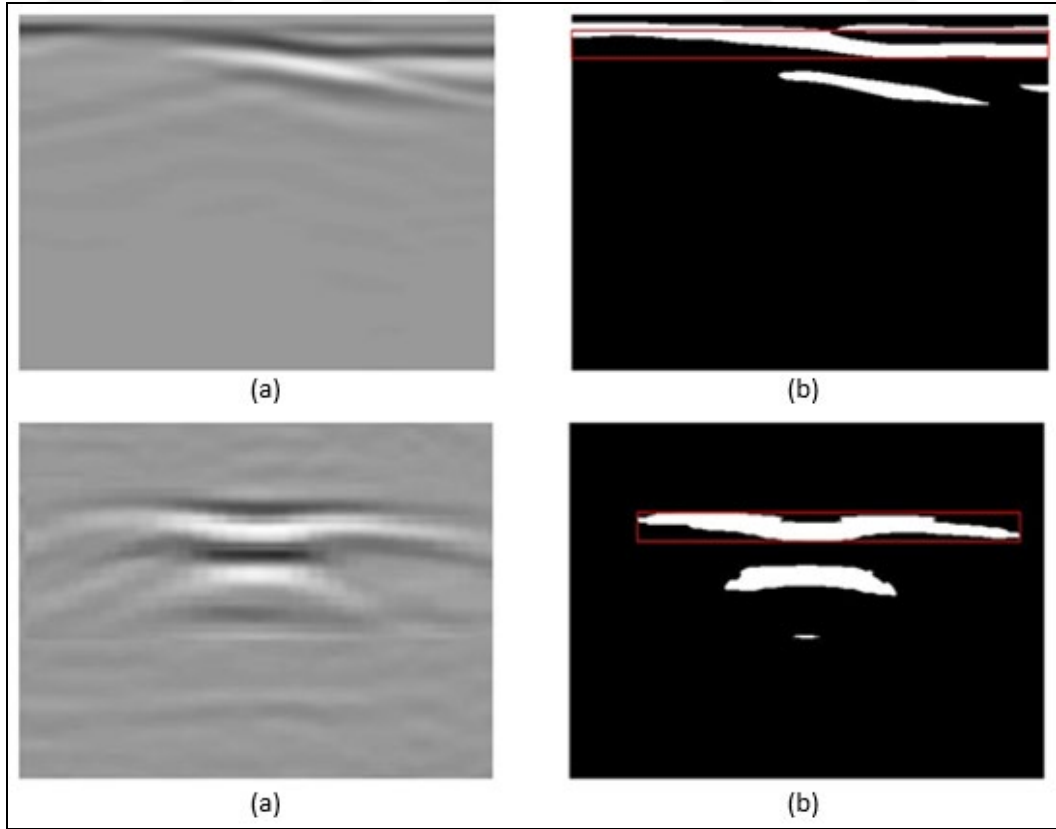
Şekil 3.5. (a) Orijinal Görüntü (b) Önerilen Yöntem Sonucu Bölütlenmiş GPR B Tarama Görüntüsü



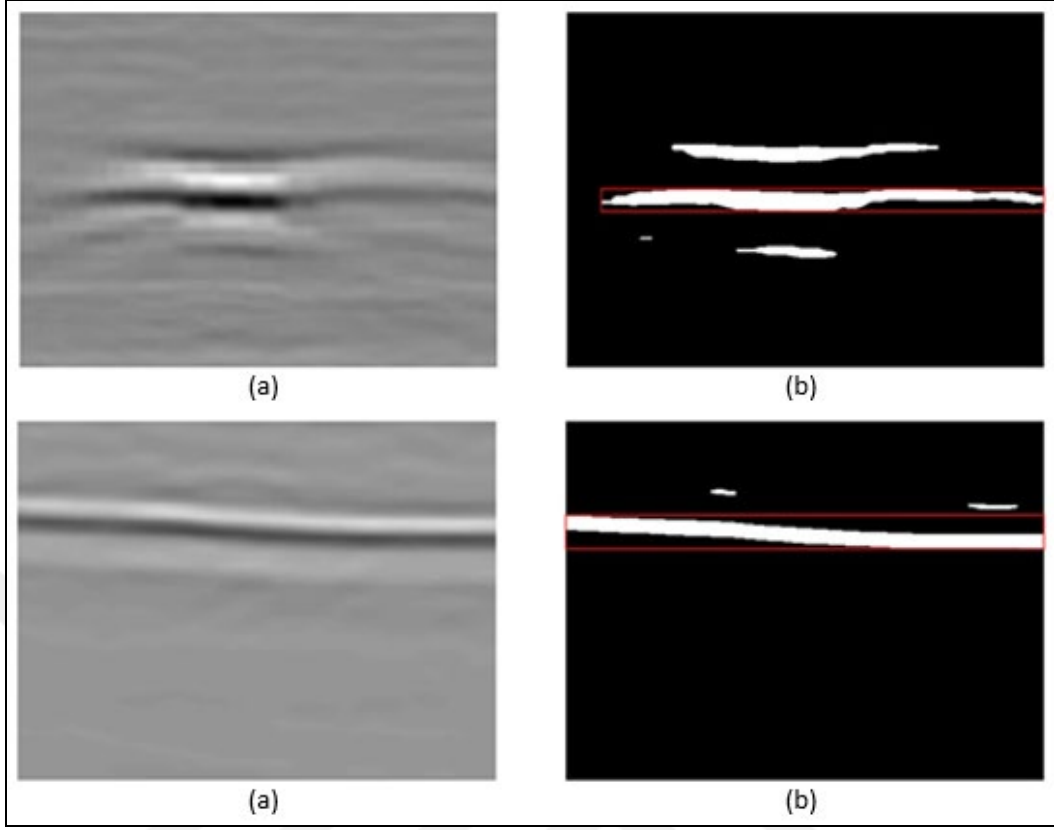
Şekil 3.6. (a) Orijinal Görüntü (b) Önerilen Yöntem Sonucu Bölütlenmiş GPR B Tarama Görüntüsü



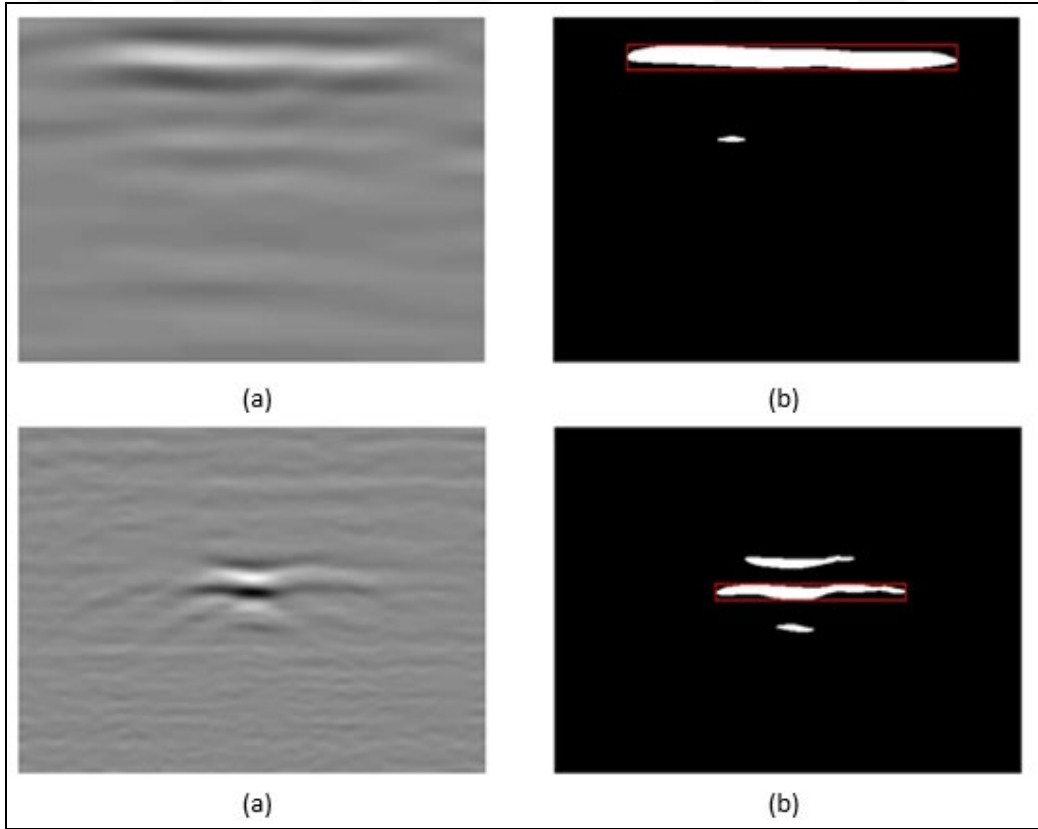
Şekil 3.7. (a) GPR B Tarama görüntüleri [29] (b) Sonuçları



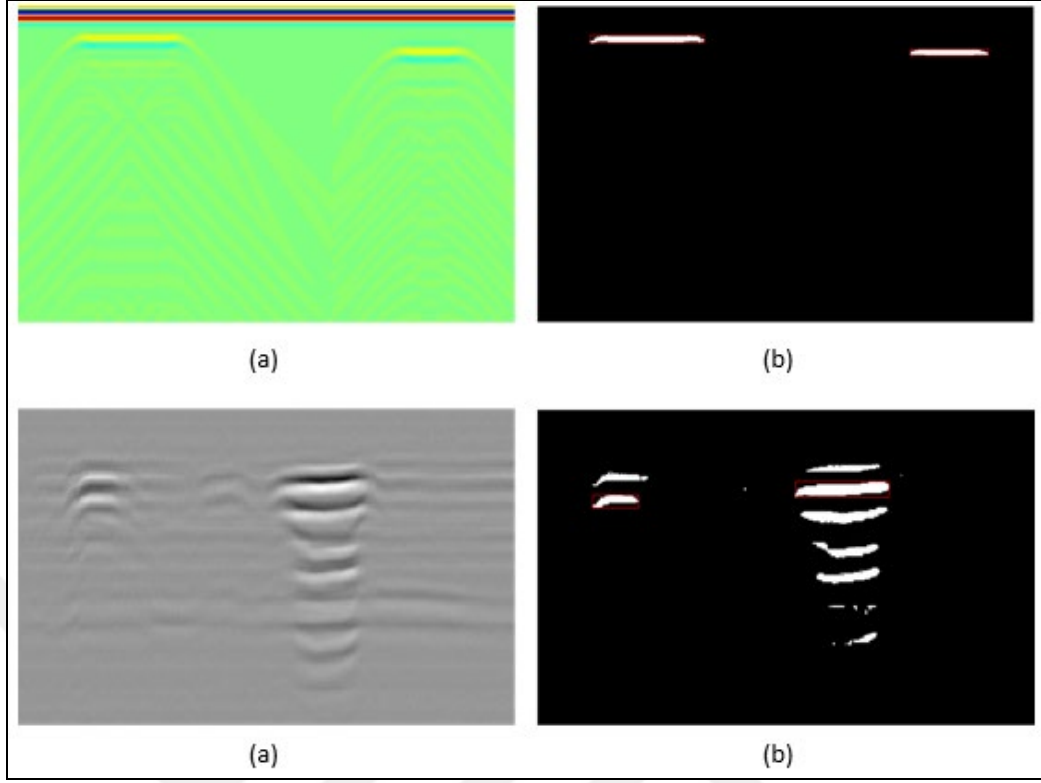
Şekil 3.8. (a) GPR B Tarama görüntüleri [29] (b) Sonuçları



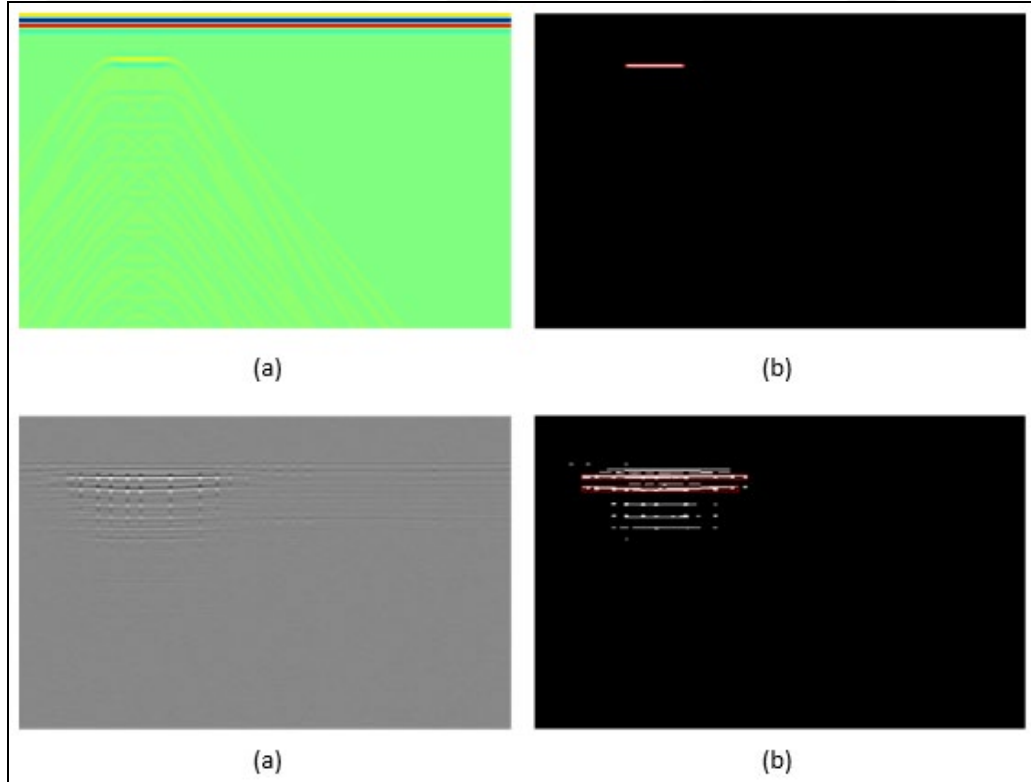
Şekil 3.9. (a) GPR B Tarama görüntüleri [29] (b) Sonuçları



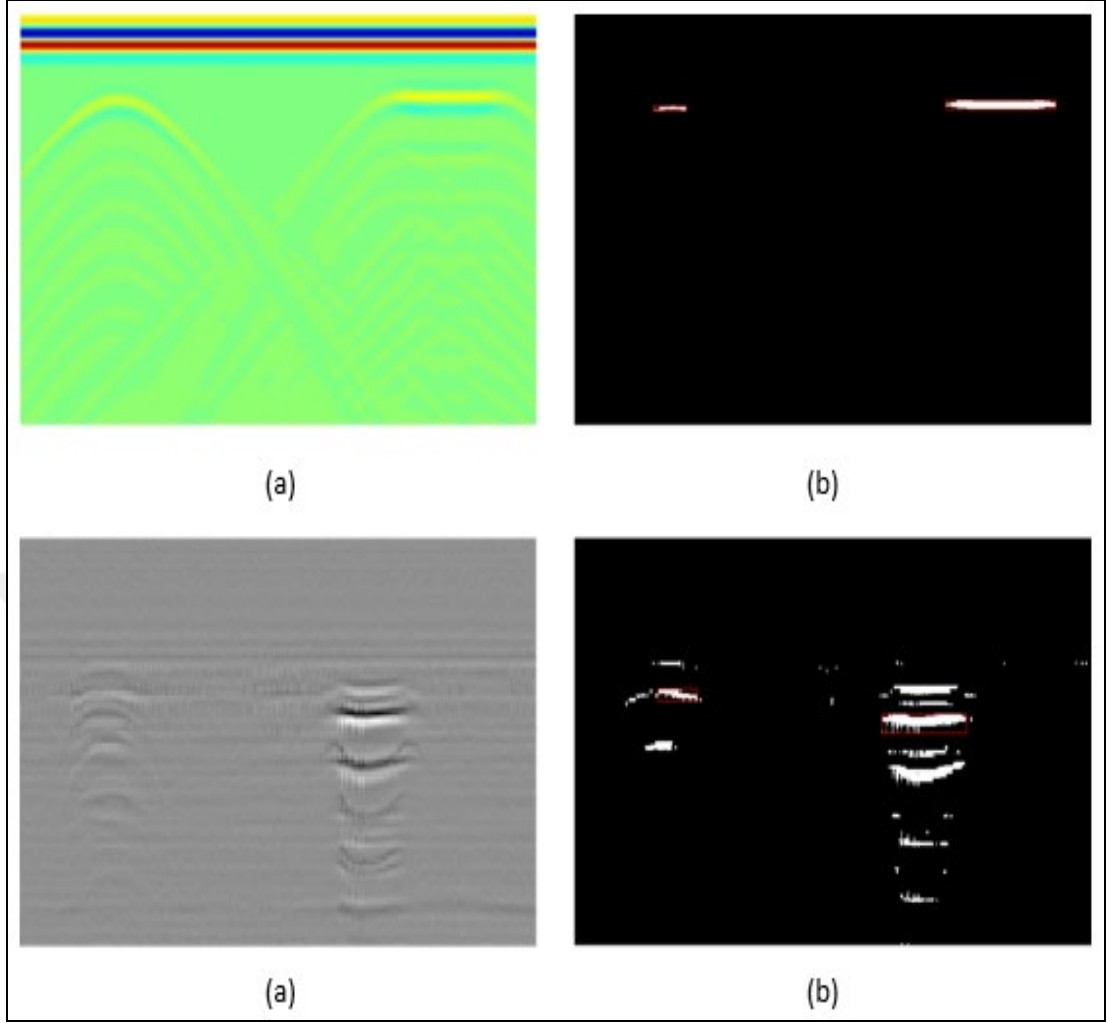
Şekil 3.10. (a) GPR B Tarama görüntüleri [29] (b) Sonuçları



Şekil 3.11. (a) GPR Cihazından Alınan B Tarama Görüntüleri, Oluşturulan Simülasyon Görüntüleri (b) Sonuçları



Şekil 3.12. (a) GPR Cihazından Alınan B Tarama Görüntüleri, Oluşturulan Simülasyon Görüntüleri (b) Sonuçları



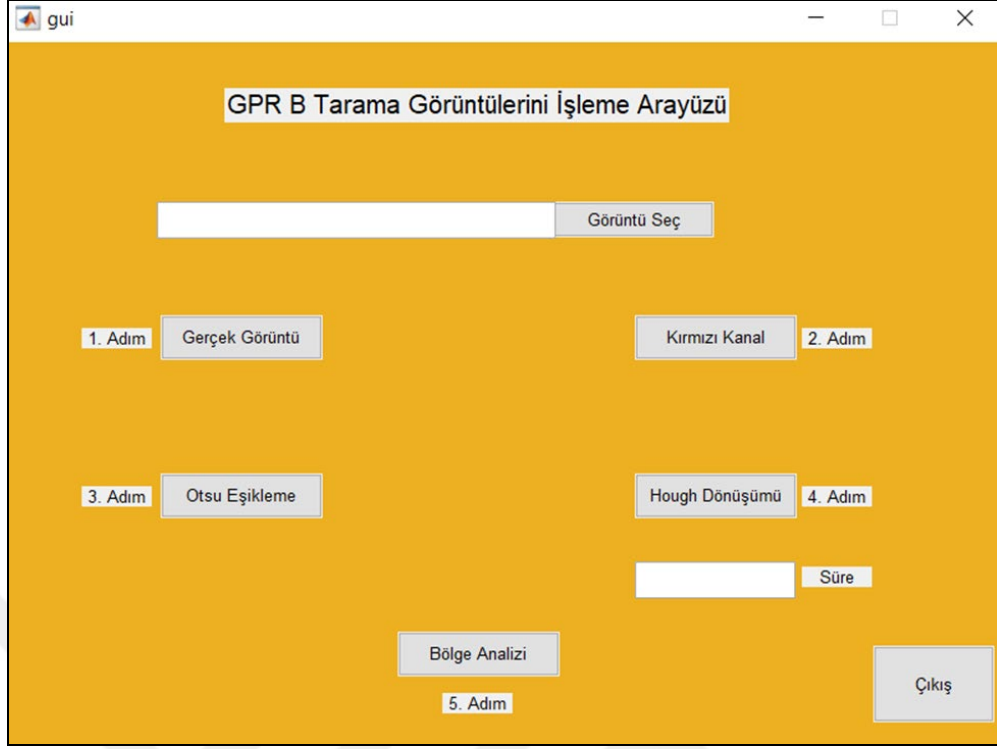
Şekil 3.13. (a) GPR Cihazından Alınan B Tarama Görüntüleri, Oluşturulan Simülasyon Görüntüleri (b) Sonuçları

3.2. Tasarlanan GUI Yapısı

Tez çalışma kapsamında kullanım kolaylığı sağlaması için Şekil 3.14’de gösterilen Matlab platformunda bir arayüz tasarlanmıştır. Bu arayüzde kullanıcılar istediği GPR B tarama görüntüsünü seçip önerilen yöntemin her aşamasını görebilme imkanı vardır;

- 1. Adımda kullanılan ham GPR B tarama görüntüsü gösterilir.
- 2. Adımda bu görüntünün kırmızı kanalı elde edilmektedir.
- 3. Adımda otsu eşikleme yöntemi uygulanır.
- 4. Adımda Hough dönüşümü ile toprak düzlemi yok edilir.
- 5. Adımda ise gömülü cisimlerin konumları çizdirilir.

Aynı zamanda her görüntü için işlem süreside bulunmaktadır.



Şekil 3.14. Matlab Ortamında Tasarlanan Gui

3.3. Hesaplama Süreleri

Orijinal ve bölütlenmiş görüntüler dikkate alındığında önerilen yöntemin adaptif bir algoritma olduğu kanıtlanmıştır. Önerilen algoritma yalnızca tek gömülü nesnelere bölütlemek ve tahmini yerini işaretlemekten ziyade daha fazla gömülü cisimler içinde etkin bir şekilde çalışmaktadır. İki adet gömülü nesnenin bulunduğu dört adet GPR B tarama görüntüsünde hiperbol desenleri bölütlenmiş ve tahmini yerini işaretlenebilmiştir. Kullanılan görüntülerde malzemenin konumundan ve et kalınlığından kaynaklanan harici yansımalarla rağmen önerilen algoritma malzemenin konumunu doğru bir şekilde işaretleyebilmektedir. Önerilen algoritmanın performansı simülasyon görüntüleri için 0.3794s ile 2.232s arasında değişmektedir. Ortalama performans zamanı 1.0260s'dir. Tablo 3.1'de önerilen algoritmanın performansı kullanılan bütün simülasyon GPR B Tarama görüntüleri için verilmiştir. Bütün görüntülerin işlenmesi için gereken toplam süre 12.3131s'dir. Tablo 3.1'de genel itibarıyla incelendiğinde görüntüler 1s'nin altında bir sürede işlenmektedir. Yalnızca 1 adet GPR B tarama görüntüsünde 2s'nin üstünde bir süre ile işleyebilmiştir. Diğer görüntülerin hepsi 2s'nin altında bir süredir. Şekil 3.15'de Simülasyon ve gerçek görüntüler için performans zamanı grafiksel olarak verilmiştir.

Tablo 3.1. Simülasyon GPR B Tarama Görüntülerinde Önerilen Algoritmanın Performansı

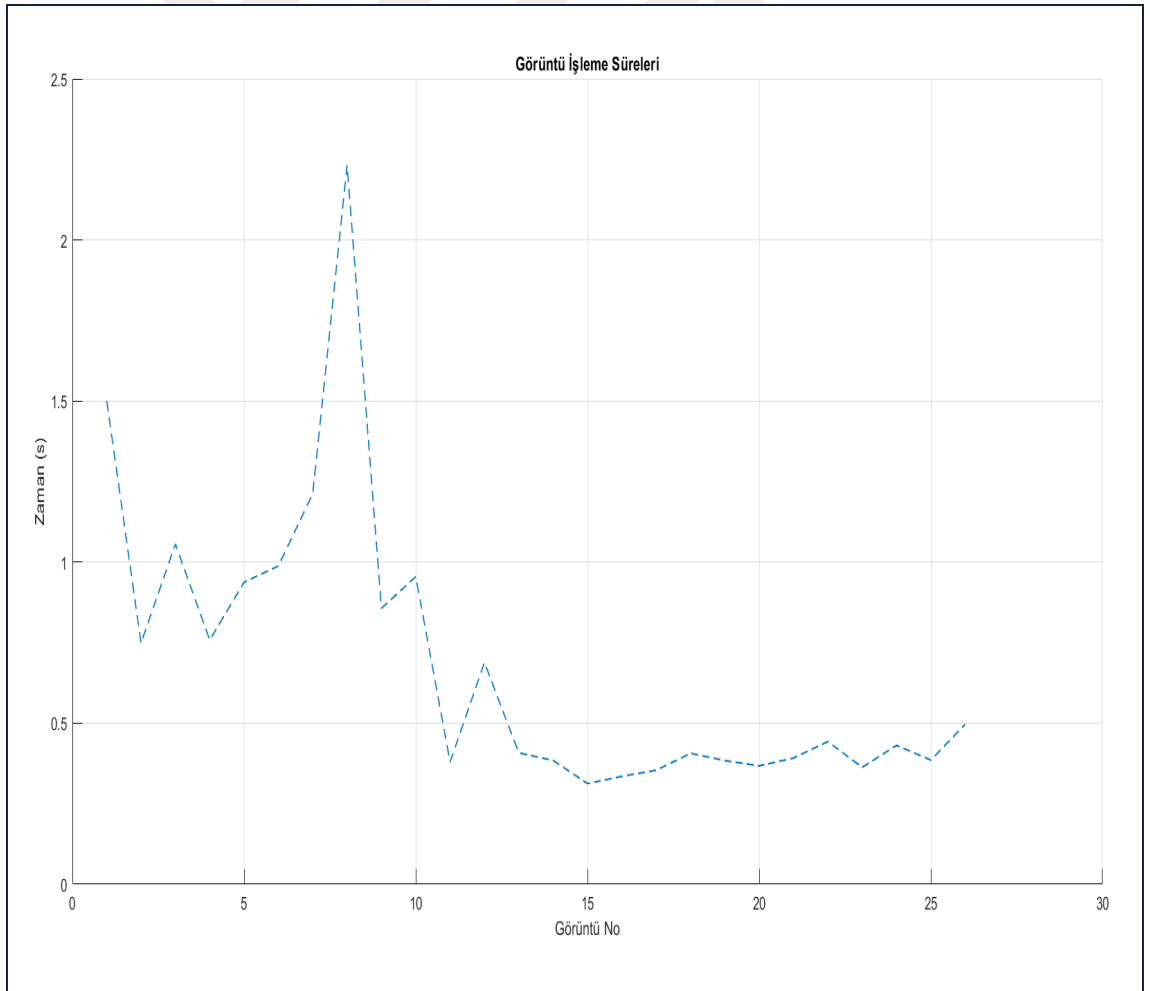
Görüntü No	Performans Zamanı (s)
1	1.5009
2	0.7490
3	1.0557
4	0.7583
5	0.9374
6	0.9883
7	1.2123
8	2.2320
9	0.8567
10	0.9547
11	0.3794
12	0.6884
Ortalama Süre	1.0260

Tablo 3.2. GPR B Tarama Görüntülerinde Önerilen Algoritmanın Performansı [29]

Görüntü No	Performans Zamanı (s)
13	0.4079
14	0.3845
15	0.3126
16	0.3350
17	0.3537
18	0.4064
19	0.3841
20	0.3676
Ortalama Süre	0.3689

Tablo 3.3 GPR Cihazından Alınan GPR B Tarama ve Bu Görüntüler Kapsamında Oluşturulan Simülasyon Görüntüleri İçin Elde Edilen Performans Zamanı

Görüntü No	Performans Zamanı (s)
21	0.3918
22	0.4430
23	0.3630
24	0.4311
25	0.3856
26	0.4966
Ortalama Süre	0.4185



Şekil 3.15 Görüntü İşleme Süreleri

Önerilen algoritmanın gerçek GPR B Tarama görüntüleri için performansı 0.3126s ile 0.4079s arasında değişmektedir. Ortalama performans zamanı 1.0260s'dir. Bütün görüntülerin işlenmesi için gereken toplam süre 2.9518s'dir.

Tablo 3.2'de incelendiğinde görüntüler 0.5s'nin altında bir sürede işlenmektedir. Literatürde yapılan çalışmalar ile önerilen algoritmanın performansı Tablo 3.3'de verilmiştir.

Tablo 3.4 Performans Karşılaştırılması

Çalışma	Performans Zamanı
Singh ve Nene, 2013 [13]	8s
Chomdee ve ark., 2014 [16]	43,8s – 255,6s
Önerilen Algoritma	0,3126s-2,2320s

Yapılan çalışmaların performansları ile karşılaştırıldığında önerilen yöntemin daha yüksek performansa sahip olduğu görülmektedir. Chomdee ve arkadaşlarının gerçekleştirdikleri çalışmada 43,8s – 255,6s arasında bir süre ile görüntüleri işleyebilmişlerdir. Bu süre gerçek zamanlı uygulamalarda kullanılmasına pek imkân vermemektedir. Singh ve Nene yaptıkları çalışmada GPR B Tarama görüntülerini 8s civarında bir süre ile işleyebilmektedir. Diğer çalışmaya kıyasla performans artışı gerçekleştirilmesine rağmen hayati önem arz eden gerçek zamanlı uygulamalar için bu süre oldukça uzundur.

Önerdiğimiz yöntemde GPR B Tarama 0,3126s-2,2320s arasında sürede işlenebilmektedir. Mevcut literatürde bulunan çalışmalara göre önerilen yöntemin performans süresi açısından hız durumu görülmektedir. Aynı zamanda önerilen yöntemin gösterdiği performans ile hayati önem arz eden uygulamalarda kullanılabileceği görülmektedir.

3.3.1. Önerilen Yöntemin Literatür ile Performans Kıyaslaması

Yapılan çalışmalar ile önerilen yöntemin genel bir kıyaslaması aşağıdaki Tablo 3.5'de belirtilmektedir.

Tablo 3.5. Literatürde yer alan benzer çalışmalar ile önerilen yöntemin karşılaştırılması

	Edoardo Pasolli ve Arkadaşlarının Çalışması, 2008 [39]	Gülay ve Arkadaşlarının Çalışması, 2010 [34]	Singh&Nene Çalışması, 2013	Chomdee ve Arkadaşlarının Çalışması, 2014	Rajath Kumar ve Arkadaşlarının Çalışması, 2016 [36]	Shaokun Zhang ve Arkadaşlarının Çalışması, 2018 [37]	Aziz ve Arkadaşlarının Çalışması, 2018 [38]	Liu ve Guo Çalışması, 2019 [35]	Önerilen Yöntem
Yöntemleri	Ön işleme algoritmaları, Segmentasyon, Tek nesne algılama/Hough Dönüşümü, Çoklu nesne algılama/Bulanık küme dönüşümü	Yapay Sinir Ağları	Eğri Uydurma ve Yapay Sinir Ağları	Difference of Scale (DS)- Ölçek Farkı tekniği	Wiener Filtresi, Gray Threshold Yöntemi, Negate, Morfolojik Dönüşüm, Negate&Threshold, Bölgesel Maximum, Eğri Segmentasyonu	Encoding Based Back Projection Yöntemi	-	FDTD Tekniği	RGB Renk Uzayı, Otsu Eşikleme, Hough Dönüşümü, Bölge Analizi
Kullanım alanları/amaçları	Arkeolojik çalışmalar, metal tespiti	Nesne tipi ayırtılmeksizin (metal-nonmetal)	Nesne tipi ayırtılmeksizin (metal-nonmetal)	Sadece kara mayınları (metal) tespitinde kullanılmıştır.	Sadece kara mayınları (metal) tespitinde kullanılmıştır.	Nesne tespiti yerine yeraltı deliklerini bulmak amaçlı çalışılmıştır.	Yeraltında gömülü Porang Tuber (bitki yumrusu ve borusunun) tespiti amaçlı A-scan görüntüler kullanılarak çalışılmıştır.	Beton ve kil tespitinde kullanılmışlardır.	Nesne tipi ayırtılmeksizin (metal-nonmetal) cismin yerini
Görüntüdeki renklilik durumu	Görüntünün siyah-beyaz veya renkli olma durumuna göre etkileniyor.	Görüntünün siyah-beyaz veya renkli olma durumuna göre etkileniyor.	Görüntünün siyah-beyaz veya renkli olma durumuna göre etkileniyor.	Görüntünün siyah-beyaz veya renkli olma durumuna göre etkileniyor.	Görüntünün siyah-beyaz veya renkli olma durumuna göre etkileniyor.	Görüntünün siyah-beyaz veya renkli olma durumuna göre etkileniyor.	Görüntünün siyah-beyaz veya renkli olma durumuna göre etkileniyor.	Görüntünün siyah-beyaz veya renkli olma durumuna göre etkileniyor.	Görüntünün siyah-beyaz veya renkli olma durumuna göre etkileniyor.
Çalıştıkları Görüntü Sayıları	120 nesnenin bulunduğu 40 adet rastgele senaryo kullanılmıştır.	AP mayınları için 4 adet, AT mayınları için 4 adet, Diğerleri (cam şişe ve taş) için 2 adet olmak üzere 10 nesne ile 20 görüntü alınarak çalışılmıştır.	1 adet gerçek görüntü ile 8 sahne olarak çalışılmıştır.	3 tane gerçek görüntü ile çalışılmıştır.	1D FFT ile üretilmiş simülasyon görüntüleri ile 6 senaryo oluşturularak çalışılmıştır.	Sadece simülasyon kullanılarak deneme yapılmıştır. Oran verilmenden başarılı bulunduğu belirtilmiştir.	Sadece simülasyon kullanılarak 10 görüntü ile 20 kez deneme yapılmış, A-scan kullanılmıştır.	Geometrik cisimler gömülü simülasyon senaryosu ile çalışılmıştır.	15 adet simülasyon ve 11 adet gerçek GPR B Tarama görüntüleri işlenerek toplam 26 görüntü üzerinde çalışıldı.
Performans süreleri	-	-	8s	43.8s – 255.6s	0,7794s	-	-	-	0.3126s-2.2320s
Tespit Doğruluk (%)	80	99	-	-	100	-	90 (Hata oranı %10dan az olarak ifade edilmiş)	-	100

Tablo 3.5’de literatürdeki konuya uygun bazı çalışmalar ve sonuçları yer almaktadır. Gömülü cisimlerin tespiti konusunda kullanılan algoritmaların performansları yer almaktadır. Her ne kadar aynı veriler üzerinde denemeler gerçekleştirilemese de bazı performans ölçütleri analiz edilmiştir. Kıyaslama amaçlı bilgi verilmiştir.

Tablo 3.5’de kıyaslama amaçlı farklı çalışmalara da yer verilmiştir. Örneğin; önerilen yöntem doğruluk oranı açısından en yakın çalışma ise Gülay ve arkadaşlarının olup, kullandıkları 10 nesne ile (4 adet AP mayın, 4 adet AT mayın ve 2 adet diğer olarak tanımladıkları cam şişe ve taş için) elde ettikleri 20 görüntü üzerinden % 99 tespit yüzdesi elde etmişlerdir.

Başka bir örnek ise; Rajath Kumar ve arkadaşlarına ait, sadece simülasyon görüntüleri kullanılarak, metal tespiti amaçlı 6 adet senaryo oluşturulan ve 0,7794s süre ile %100 doğruluk oranı verilen çalışmadır.

Shokun Zhang ve arkadaşlarının Encoding Based Back Projection Yöntemi kullanarak sayı belirtmedikleri simülatör görüntüleri ile denemeler yaptıklarını ve gömülü nesne tespiti yerine yeraltı deliklerini bulmaya çalıştıkları ile ilgili bilgi vermişlerdir.

Aziz ve arkadaşlarının yeraltında gömülü Porang Tuber (bitki yumrusu ve borusunun) tespiti amaçlı sadece simülasyon görüntüleri ile A-scan kullanılarak 10 görüntü üzerinde 20 adet senaryo ile çalışılmıştır. %10’dan az (yaklaşık %90) hata oranı ile tespit ettiklerini belirtmişlerdir. Kendi çalışmalarını için iyileşme önerisi olarak B-scan kullanmayı önermişlerdir.

Edoardo Pasolli ve arkadaşlarının hem simülasyon hem de gerçek görüntülerle 40 senaryo denedikleri çalışmada ortalama %80 tespit yüzdesi elde etmişlerdir.

Önerilen algoritmanın (Şekil 2.23) performans süresi 0.3126s-2.2320s olup kendisine en yakın literatürdeki Singh ve Nene çalışması ve Chomdee’nin çalışması ile kıyaslanmıştır. Gömülü nesne tespitinde de kullanılan 15 adet simülasyon ve 11 adet gerçek GPR cihazı ile elde edilmiş toplam da 26 görüntü için geçerli olan GPR B tarama görüntülerindeki gömülü nesnelerin tamamını doğru bir şekilde (%100) saptayabilmiştir.

4.SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Çalışma kapsamında etkin, GPR B Tarama görüntülerinin etkin, hızlı ve tam otomatik olarak bölütleyebilen bir görüntü işleme algoritması önerilmiştir. Önerilen algoritma temel olarak segmentasyon ve Hough dönüşümüne dayanmaktadır. Algoritmanın amacı GPR B tarama görüntülerinde hiperbol olarak görünen gömülü cisimlerin daha belirgin hale getirilebilmesi için görüntülerdeki gürültü giderimini sağlamaktır. Denetimsiz olarak gerçekleştirilen bu işlemde toprak düzlemi ile gömülü cisim hiperbollerini birbirinden ayırmak gerekir. Sonuç olarak 15 adet simülasyon ve 11 adet gerçek GPR B Tarama görüntüleri üzerinde önerilen algoritmanın gösterdiği performans sayesinde birçok GPR B Tarama görüntüleri içinde kullanabileceği anlamına gelmektedir. Önerilen algoritmanın performans zamanı 0,3126s-2,2320s arasında olup literatürde yapılmış birçok çalışmaya ile direkt olarak kıyaslanamasa da, kendi içerisinde yüksek performans göstermiştir.

Araştırma sonuçları dikkate alındığında önerilen görüntü işleme algoritmasının yüksek performans zamanına sahip olması sebebiyle gerçek zamanlı sistemlere uygulanabilmesi mümkündür. Ayrıca farklı senaryolar içeren ve daha fazla sayıda GPR B Taraması görüntüleri kullanarak derin öğrenme ve denetimli görüntü işleme algoritmaları kullanarak daha kapsamlı çalışabilen algoritmalar geliştirilebilir. GPR B Tarama görüntüleri üzerinden özellikler elde edilerek gömülü nesne şekil ve malzeme tespiti yapılabilir.

KAYNAKLAR

- [1] Loulizi A., Development of Ground Penetrating Radar Signal Modeling and Implementation for Transportation Infrastructure Assessment, PhD Thesis, Virginia Polytechnic Institute and State University, Polytechnic Institute, Faculty of the Virginia, Blacksburg, Virginia, 2001.
- [2] Luo Y., Fang G.Y., GPR Clutter Reduction and Buried Target Detection by Improved Kalman Filter Technique, *Proceedings of 2005 International Conference on Machine Learning and Cybernetics*, Guangzhou, China 18-21 Aug. 2005.
- [3] Zhao A., Jiang Y., Wang W., Exploring Independent Component Analysis for GPR Signal Processing, *Progress In Electromagnetics Research Symposium*, Hangzhou, China, 22-26 Aug. 2005.
- [4] Al-Nuaimy W., Automatic Feature Detection and Interpretation in Ground-Penetrating Radar Data, PhD Thesis, University of Liverpool, Department of Electrical Engineering and Electronics, Liverpool, 1999.
- [5] Daniels D.J., Surface-Penetrating Radar, *Electronics & Communication Engineering Journal*, 1996, **8**(4), 165-182.
- [6] Nadim G., Clutter Reduction and Detection of Landmine Objects in Ground Penetrating Radar Data Using Likelihood Method, *3rd International Symposium on Communications, Control and Signal Processing*, St Julians, Malta, 12-14 March 2008.
- [7] Sinha S. K., Fieguth P.W., Automated detection of cracks in buried concrete pipe images, *Automation in Construction*, 2006, **15**, 58 – 72.
- [8] Abujarad F., Omar A., GPR Data Processing Using the Component-Separation Methods PCA and ICA, *Proceedings of the 2006 IEEE International Workshop on Imaging Systems and Techniques (IST 2006)*, Minori, Italy, 29-29 April 2006.
- [9] Baili J., Lahouar S., Hergli M., Amimi A., Besbes K., Application of The Discrete Wavelet Transforms to Denoise GPR Signals, *International Symposium on Communications, Control and Signal Processing (ISCCSP)*, Marrakech, Morocco, 13-15 March 2006.
- [10] Lum S. H., Tang T., Lyall J., Improved GPR Image Quality by Truncating the Bandwidth of the Fourier Transform in 2D Diffraction Tomographic Inversion, *IEEE International Rf And Microwave Conference*, Kuala Lumpur, Malaysia, 2-4 December 2008.

- [11] Ni S., Huang Y., Lo K., Lin D., Buried pipe detection by ground penetrating radar using the discrete wavelet transform, *Computers and Geotechnics*, 2010, **37**, 440–448.
- [12] Pantoja M. F., Rodríguez J.B., Bretones A. R., de Jong C. M., García S. G., Martín R.G., Vieira D. A. G., Application of Neural Network and Principal Component Analysis to GPR Data, *6th International Workshop on Advanced Ground Penetrating Radar (IWAGPR)*, Aachen, Germany, 22-24 June 2011.
- [13] Singh N. P., Manisha J. N., Buried Object Detection and Analysis of GPR Images: Using Neural Network and Curve Fitting, *International Conference on Emerging Research Areas and 2013 International Conference on Microelectronics, Communications and Renewable Energy*, Kanjirapally, India, 4-6 June 2013.
- [14] Ndoye M., Anderson J.M., Greene D.J., An MM-Based Algorithm for L₁-Regularized Least-Squares Estimation With an Application to Ground Penetrating Radar Image Reconstruction, *IEEE Transactions on Image Processing*, 2016, **25**(5), 2206-2221.
- [15] Jing Z., Su-Ping P., Fenga Y., A Novel Edge Detection for Buried Target Extraction After SVD-2D Wavelet Processing, *Journal of Applied Geophysics*, 2014, **106**, 106–113.
- [16] Chomdee P., Boonpoonga A., Prayote A., Fast and Efficient Detection of Buried Object for GPR Image, *The 20th Asia-Pacific Conference on Communication (APCC2014)*, Pattaya, Thailand, 1-3 Oct. 2014.
- [17] Haynie K. L., Khan S. D., Shallow Subsurface Detection of Buried Weathered Hydrocarbons using GPR and EMI, *Marine and Petroleum Geology*, 2016, **77**, 116-123.
- [18] Toksoz D., Yilmaz I., Seren A., Mataraci I., A study on the Performance of GPR for Detection of Different Types of Buried Objects, *Procedia Engineering*, 2016, **161**, 399 – 406.
- [19] Qu L., Yin Y., Sun Y., Zhang L., Efficient Back Projection Imaging Approach for Airborne GPR Using NUFFT Technique, *16th International Conference on Ground Penetrating Radar (GPR)*, Hong Kong, China, 13-16 June 2016.
- [20] Sharma P., Kumar B., Singh D., Gaba S.P., Non-Metallic Pipe Detection Using SF-GPR: A New Approach Using Neural Network, *2016 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*, Beijing, China, 10-15 July 2016.
- [21] Hoarau Q., Ginolhac G., Atto A. M., Nicolas J.M., Robust Adaptive Detection of Buried Pipes Using GPR., *Signal Processing*, 2017, **132**, 293–305.
- [22] Zhang W.Y., Hao T., Chang Y., Zhao Y.H., Time-Frequency Analysis of Enhanced GPR Detection of RF Tagged Buried Plastic Pipes, *NDT & E International*, 2017, **92**, 88–96.

- [23] Imposa, S., Grassi S., Patti G. ve Boso D. (2018). “New Data on Buried Archaeological Ruins in Messina Area (Sicily-Italy) from a Ground Penetrating Radar Survey.” *Journal of Archaeological Science: Reports*, vol. 17, 2018, pp. 358–365., doi:10.1016/j.jasrep.2017.11.031.
- [24] Y. Guo, X. Zhao ve X. Ke, (2018). “Exploration of Hard Objects in Superficial Farmland Soil using GPR”, *IFAC PapersOnLine* 51-17 (2018), 582-585.
- [25] Belli, K.M., (2008). “Ground Penetrating Radar Bridge Deck Investigations Using Computational Modeling”, in *College of Engineering, Department of Mechanical and Industrial Engineering*. Northeastern University: Boston. p. 235.
- [26] Abujarad, F., (2007). “Ground Penetrating Radar Signal Processing For Landmine Detection”, in *Institute of Electronics, Signal Processing and Communications Engineering (IESK)*. University of Magdeburg: Magdeburg, Germany. p. 124.
- [27] Alani, A. and V. Utsi, (2007). “Preliminary Investigation of Detection of Leakage from Joints and Cracks in Water Reservoirs Using Ground Penetrating Radar”, *University of Portsmouth: Portsmouth*. p. 25.
- [28] Giannopoulos, A. (2005). “GprMax2D/3D User Guide Version 2.0.”, 69.
- [29] Dérobert, X.; Pajewski, L., (2018). “TU1208 Open Database of Radargrams: The Dataset of the IFSTTAR Geophysical Test Site”. *Remote Sens.* 2018, 10, 530., <https://zenodo.org/record/1211173#.WsluC1k0uUk> (Ziyaret tarihi: 2 Nisan 2018).
- [30] Yılmaz, İ , Güllü, M , Baybura, T , Erdoğan, A . (2002). “Renk Uzayları ve Renk Dönüşüm Programı (RDP)”. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi* , 2 (2) , 19-35.
- [31] Pekdemir, G., (2012). “Çoklu İmge Eşikleme Problemlerinde Metasezgisel Algoritmaların Performans Analizi”, *Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi*.
- [32] Hasan, M. I. (2015). “Quantitative Non-Destructive Evaluation Of Rebar Diameter And Corrosion Damage In Concrete Using” (Doctoral Dissertation, *University Of Texas At Arlington*).
- [33] Bostanudin, N.J. (2013). “Computational methods for processing ground penetrating radar data”.
- [34] Kaplan G. B., Yoldemir A. B., İçoğlu O., Sezgin M. (2011). “Discrimination of Buried Objects Using Angular Radial Transform and Multi-layer Perceptrons”. *2011 12th International Radar Symposium (IRS), İstanbul, Turkey, 5-7 Mayıs 2011*.

- [35] Liu Y. ve Guo L. X. (2019). "FDTD Investigation on GPR Detecting of Underground Subsurface Layers and Buried Objects". *2019 8th International Conference on Modeling Simulation and Applied Optimization (ICMSAO), Manama, Bahrain, 15-17 Nisan 2019*.
- [36] Rajath Kumar M. P., Nishanth N. B., Smitha N., Sridhara S. N., Vipula S., An Efficient Algorithm for Peak Detection on B-scan data generated using GPR, *International Conference on Computer Communication and Informatics, Coimbatore, India, 7-9 January 2016*.
- [37] Zhang S., Hong Z., Chen Y., Kang Z., Luo Z., Li J., An Encoding-based Back Projection Algorithm for Underground Holes Detection via Ground Penetrating Radar, *2016 10th IAPR Workshop on Pattern Recognition in Remote Sensing, Beijing, China, 19-20 August 2018*.
- [38] Aziz A., Setyawati O., Rahmadwati O., Bangert A., Model Simulation of Ground Penetrating Radar using GPRMax to Detect Porang Tuber, *2018 Electrical Power, Electronics, Communications, Controls and Informatics Seminar (EECCIS), Beijing, China, 9-11 Oct. 2018*.
- [39] Pasolli E., Melgani F., Donelli M., Attaoui R., Automatic Detection and Classification of Buried Objects in GPR Images Using Genetic Algorithms and Support Vector Machines, *IGARSS 2008 - 2008 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Boston, MA, USA, 7-11 July 2018*.



EKLER

EK-A: Senaryo Modelleri Matlab Kodu:

Senaryo Model 1:

```
1 |#title: B-scan from a metal cylinder buried in a dielectric half-space
2 |#domain: 0.6 0.3 0.001
3 |
4 |#dx_dy_dz: 0.001 0.001 0.001
5 |#time_window: 6.0e-9
6 |
7 |#material: 7 0 1 0 damp_soil
8 |
9 |
10|#waveform: ricker 1 2.6e9 my_ricker
11|#hertzian_dipole: z 0.155 0.2525 0 my_ricker
12|#rx: 0.195 0.2525 0
13|#src_steps: 0.005 0 0
14|#rx_steps: 0.005 0 0
15 |
16|#box: 0.0 0.0 0.0 0.6 0.25 0.001 damp_soil
17|#cylinder: 0.3 0.192 0.0 0.3 0.192 0.001 0.00695 pec
```

Senaryo Model 2:

```
1 |#title: B-scan from a metal cylinder buried in a dielectric half-space
2 |#domain: 0.6 0.3 0.001
3 |
4 |#dx_dy_dz: 0.001 0.001 0.001
5 |#time_window: 6.0e-9
6 |
7 |#material: 7 0 1 0 damp_soil
8 |
9 |
10|#waveform: ricker 1 2.6e9 my_ricker
11|#hertzian_dipole: z 0.155 0.2525 0 my_ricker
12|#rx: 0.195 0.2525 0
13|#src_steps: 0.005 0 0
14|#rx_steps: 0.005 0 0
15 |
16|#box: 0.0 0.0 0.0 0.6 0.25 0.001 damp_soil
17|#cylinder: 0.3 0.192 0.0 0.3 0.192 0.001 0.00695 pec
```

Senaryo Model 3:

```
1 |#title: B-scan from a metal cylinder buried in a dielectric half-space
2 |#domain: 0.6 0.3 0.001
3
4 |#dx_dy_dz: 0.001 0.001 0.001
5 |#time_window: 6.0e-9
6
7 |#material: 7 0 1 0 damp_soil
8
9
10|#waveform: ricker 1 2.6e9 my_ricker
11|#hertzian_dipole: z 0.155 0.2525 0 my_ricker
12|#rx: 0.195 0.2525 0
13|#src_steps: 0.005 0 0
14|#rx_steps: 0.005 0 0
15
16|#box: 0.0 0.0 0.0 0.6 0.25 0.001 damp_soil
17|#box: 0.3 0.19 0.0 0.4 0.192 0.001 pec
```

Senaryo Model 4:

```
1 |#title: B-scan from a metal cylinder buried in a dielectric half-space
2 |#domain: 0.6 0.3 0.001
3
4 |#dx_dy_dz: 0.001 0.001 0.001
5 |#time_window: 6.0e-9
6
7 |#material: 7 0 1 0 damp_soil
8
9
10|#waveform: ricker 1 2.6e9 my_ricker
11|#hertzian_dipole: z 0.155 0.2525 0 my_ricker
12|#rx: 0.195 0.2525 0
13|#src_steps: 0.005 0 0
14|#rx_steps: 0.005 0 0
15
16|#box: 0.0 0.0 0.0 0.6 0.25 0.001 damp_soil
17|#box: 0.3 0.0520 0 0.4 0.054 0.001 pec
```


Senaryo Model 5:

```
1 |#title: B-scan from a metal cylinder buried in a dielectric half-space
2 |#domain: 1 0.3 0.001
3
4 |#dx_dy_dz: 0.001 0.001 0.001
5 |#time_window: 6.0e-9
6
7 |#material: 7 0 1 0 damp_soil
8
9
10|#waveform: ricker 1 2.6e9 my_ricker
11|#hertzian_dipole: z 0.155 0.2525 0 my_ricker
12|#rx: 0.195 0.2525 0
13|#src_steps: 0.005 0 0
14|#rx_steps: 0.005 0 0
15
16|#box: 0.0 0.0 0.0 1 0.25 0.001 damp_soil
17|#box: 0.65 0.14 0.0 0.68 0.142 0.001 pec
18|#cylinder: 0.25 0.2 0.0 0.25 0.2 0.001 0.00695 pec
19
```

Senaryo Model 6:

```
1 |#title: B-scan from a metal cylinder buried in a dielectric half-space
2 |#domain: 0.6 0.3 0.001
3
4 |#dx_dy_dz: 0.001 0.001 0.001
5 |#time_window: 6.0e-9
6
7 |#material: 7 0 1 0 damp_soil
8
9
10|#waveform: ricker 1 2.6e9 my_ricker
11|#hertzian_dipole: z 0.155 0.2525 0 my_ricker
12|#rx: 0.195 0.2525 0
13|#src_steps: 0.005 0 0
14|#rx_steps: 0.005 0 0
15
16|#box: 0.0 0.0 0.0 0.6 0.25 0.001 damp_soil
17|#triangle: 0.3 0.1 0 0.4 0.05 0 0.5 0.15 0 0.001 pec
18
```

Senaryo Model 7:

```
1 | #title: B-scan from a metal cylinder buried in a dielectric half-space
2 | #domain: 0.6 0.3 0.001
3 |
4 | #dx_dy_dz: 0.001 0.001 0.001
5 | #time_window: 6.0e-9
6 |
7 | #material: 7 0 1 0 damp_soil
8 |
9 |
10 | #waveform: ricker 1 2.6e9 my_ricker
11 | #hertzian_dipole: z 0.155 0.2525 0 my_ricker
12 | #rx: 0.195 0.2525 0
13 | #src_steps: 0.005 0 0
14 | #rx_steps: 0.005 0 0
15 |
16 | #box: 0.0 0.0 0.0 0.6 0.25 0.001 damp_soil
17 | #sphere: 0.3 0.15 0.0005 0.0005 pec
```

Senaryo Model 8:

```
1 | #title: B-scan from a metal cylinder buried in a dielectric half-space
2 | #domain: 1 0.3 0.001
3 |
4 | #dx_dy_dz: 0.001 0.001 0.001
5 | #time_window: 6.0e-9
6 |
7 | #material: 7 0 1 0 damp_soil
8 |
9 |
10 | #waveform: ricker 1 2.6e9 my_ricker
11 | #hertzian_dipole: z 0.155 0.2525 0 my_ricker
12 | #rx: 0.195 0.2525 0
13 | #src_steps: 0.005 0 0
14 | #rx_steps: 0.005 0 0
15 |
16 | #box: 0.0 0.0 0.0 1 0.25 0.001 damp_soil
17 | #cylinder: 0.65 0.2 0.0 0.65 0.2 0.001 0.00695 pec
18 | #sphere: 0.3 0.1 0.0005 0.0005 pec
```

Senaryo Model 9:

```
1 | #title: B-scan from a metal cylinder buried in a dielectric half-space
2 | #domain: 1 0.3 0.001
3 |
4 | #dx_dy_dz: 0.001 0.001 0.001
5 | #time_window: 6.0e-9
6 |
7 | #material: 7 0 1 0 damp_soil
8 |
9 |
10 | #waveform: ricker 1 2.6e9 my_ricker
11 | #hertzian_dipole: z 0.155 0.2525 0 my_ricker
12 | #rx: 0.195 0.2525 0
13 | #src_steps: 0.005 0 0
14 | #rx_steps: 0.005 0 0
15 |
16 | #box: 0.0 0.0 0.0 1 0.25 0.001 damp_soil
17 | #cylinder: 0.55 0.07 0.0 0.55 0.07 0.001 0.005 pec
18 | #cylinder: 0.25 0.2 0.0 0.25 0.2 0.001 0.00695 pec
```

Senaryo Model 10:

```
1 | #title: B-scan from a metal cylinder buried in a dielectric half-space
2 | #domain: 0.6 0.3 0.001
3 |
4 | #dx_dy_dz: 0.001 0.001 0.001
5 | #time_window: 6.0e-9
6 |
7 | #material: 7 0 1 0 damp_soil
8 |
9 |
10 | #waveform: ricker 1 2.6e9 my_ricker
11 | #hertzian_dipole: z 0.155 0.2525 0 my_ricker
12 | #rx: 0.195 0.2525 0
13 | #src_steps: 0.005 0 0
14 | #rx_steps: 0.005 0 0
15 |
16 | #box: 0.0 0.0 0.0 0.6 0.25 0.001 damp_soil
17 | #cylinder: 0.3 0.092 0.0 0.3 0.092 0.001 0.001 pec
```

Senaryo Model 11:

```
1 |#title: B-scan from a metal cylinder buried in a dielectric half-space
2 |#domain: 1 0.3 0.001
3 |
4 |#dx_dy_dz: 0.001 0.001 0.001
5 |#time_window: 6.0e-9
6 |
7 |#material: 7 0 1 0 damp_soil
8 |
9 |
10|#waveform: ricker 1 2.6e9 my_ricker
11|#hertzian_dipole: z 0.155 0.2525 0 my_ricker
12|#rx: 0.195 0.2525 0
13|#src_steps: 0.005 0 0
14|#rx_steps: 0.005 0 0
15 |
16|#box: 0.0 0.0 0.0 1 0.25 0.001 damp_soil
17|#box: 0.55 0.04 0.0 0.57 0.042 0.001 pec
18|#cylinder: 0.3 0.2 0.0 0.3 0.2 0.001 0.001 pec
```

Senaryo Model 12:

```
1 |#title: B-scan from a metal cylinder buried in a dielectric half-space
2 |#domain: 1 0.3 0.001
3 |
4 |#dx_dy_dz: 0.001 0.001 0.001
5 |#time_window: 6.0e-9
6 |
7 |#material: 7 0 1 0 damp_soil
8 |
9 |
10|#waveform: ricker 1 2.6e9 my_ricker
11|#hertzian_dipole: z 0.155 0.2525 0 my_ricker
12|#rx: 0.195 0.2525 0
13|#src_steps: 0.005 0 0
14|#rx_steps: 0.005 0 0
15 |
16|#box: 0.0 0.0 0.0 1 0.25 0.001 damp_soil
17|#triangle: 0.5 0.17 0 0.55 0.12 0 0.6 0.2 0 0.001 pec
```

EK-B: GprMax Simülasyonu Çalıştırma Kodları:

```
C:\Users\MSI>cd desktop
C:\Users\MSI\Desktop>cd gprmax
C:\Users\MSI\Desktop\gprMax>activate gprmax
(gprmax) C:\Users\MSI\Desktop\gprMax>python -m gprMax user_models/cylinder_Bscan_2D.in -n 60
```

```
Output file: C:\Users\MSI\Desktop\gprMax\user_models\cylinder_Bscan_2D60.out
Running simulation, model 60 of 60: 100%|#####| 637/637 [00:00<00:00, 1274.70it/s]
Memory (RAM) used: ~41.6MB
=== Simulation completed in [HH:MM:SS]: 0:00:33 =====
(gprmax) C:\Users\MSI\Desktop\gprMax>python -m tools.outputfiles_merge user_models/cylinder_Bscan_2D
```

```
(gprmax) C:\Users\MSI\Desktop\gprMax>python -m tools.outputfiles_merge user_models/cylinder_Bscan_2D
Found 60 files to merge
Do you want to remove the multiple individual output files? [y] or n:y
(gprmax) C:\Users\MSI\Desktop\gprMax>python -m tools.plot_Bscan user_models/cylinder_Bscan_2D_merged.out Ez
```

EK-C: Matlab Kodu:

% Ekrandaki sonuçlar ve değişkenlerin silinmesi için kullanılır.

```
clear all;  
close all;  
clc;
```

% Görüntülerin dosya yolunu okumak amacıyla kullanılır.

```
digitDatasetPath = fullfile('C:\Users\LENOVO\Desktop\Gözde altın GPR tez\Yeni  
klasör\kod');
```

```
imds = imageDatastore(digitDatasetPath,...  
    'IncludeSubfolders',true,'LabelSource','foldernames');
```

% for döngüsü ile her görüntüyü önerdiğimiz algoritma uygulanır.

```
for z=1:length(imds.Files)
```

```
    id(z,1)=z;  
    tic;% İşleme zamanı başlangıç
```

```
x= imread(imds.Files{z, 1}); % Görüntü sayısal olarak yüklendi  
x=imresize(x,[360 650]); % Görüntü tekrardan boyutlandırıldı.
```

% Görüntünün gösterilmesi

```
figure;  
imshow(x)
```

% Görüntünün R-G-B Kanallarına ayrıştırılması

```
x_size=size(x);  
r=x(:,:,1);
```

```
g=x(:,:,2);
```

```
b=x(:,:,3);
```

```
a = zeros(size(x, 1), size(x, 2));  
just_red = cat(3, r, a, a);
```

```
%figure, imshow(just_red);
```

%Otsu Eşiklemenin Yapılması

```

level = graythresh(r);

x = im2bw(r,level);

%figure;imshow(x);

%Hough Dönüşümü ve Bölge analizinin gerçekleştirilmesi

num_siyah=0;
num_beyaz=0;

for k=1:x_size(1,1)
    for i=1:x_size(1,2)
        if x(k,i)==0
            num_siyah=num_siyah+1;
        else
            num_beyaz=num_beyaz+1;
        end
    end
end
for k=1:x_size(1,1)
    beyaz=0;
    siyah=0;
    for i=1:x_size(1,2)
        if x(k,i)==0
            siyah=siyah+1;
            num_siyah=num_siyah+1;
        else
            beyaz=beyaz+1;
            num_beyaz=num_beyaz+1;
        end
    end
end
if beyaz==x_size(1,2) || siyah==x_size(1,2)
    if num_siyah>num_beyaz
        x(k,:)=0;
    else
        x(k,:)=1;
    end
end
end

% Görüntü Tersleme işlemi
if num_beyaz> num_siyah
    x=~x;
end

for m=1:360

```

```

if x(m,:)==1
    x(m,:)=0;
end
end

figure;imshow(x);

% Eğrilik ve Alan büyüklüklerinin belirlenmesi

BW=x;

[labeled_1,numObjects_1] = bwlabel(BW,8);

stats_1 = regionprops(labeled_1,'all');

eccentricities_1 = [stats_1.Eccentricity];
bound_1=[stats_1.BoundingBox];

Area_1 = [stats_1.Area];

area=sort(Area_1);

length(area);

for i=1:length(area)

    if length(Area_1)>=2
    if Area_1(1,i)==area(1,length(area))

        index(1,1)=i;

    end

    if Area_1(1,i)==area(1,length(area)-1)

        index(1,2)=i;
    end
    end
end

for i=1:2

if length(eccentricities_1)>=2
eccent_1(1,i)=eccentricities_1(1,index(1,i));
ar(1,i)=Area_1(1,index(1,i));
end

```



```
end
```

```
%Sınır koordinatlarının kaydedilmesi
```

```
yeni_bound=[];  
o=1;
```

```
for i=1:4:length(bound_1)  
    yeni_bound(o,1:4)=bound_1(1,i:i+3);  
    o=o+1;  
end
```

```
dat=[];  
dat_s=[];  
dat_l=[];  
mm=1;  
if length(Area_1)>2  
    [N M]=size(yeni_bound);  
    for i=1:N  
  
        if yeni_bound(i,1)<650/2  
  
            dat(mm,1:4)=yeni_bound(i,:);  
            mm=mm+1;  
        end  
    end  
end
```

```
[N1 M1]=size(dat)
```

```
dat_l=[dat transpose(Area_1(1,1:N1))];  
dat_s=[yeni_bound(N1+1:end,:) transpose(Area_1(1,N1+1:end))];
```

```
[Y1 I1]=max(Area_1(1,1:N1));
```

```
[Y2 I2]=max(Area_1(1,N1+1:end));  
Ar_1=[Y1 Y2];
```

```
end
```

```
bound(1,1:4)=bound_1(1,1:4);
```

```
if length(bound_1)>4  
    bound(2,1:4)=bound_1(1,5:8);  
end
```

```
if length(Area_1)>=10  
    bound(1,1:4)=dat(I1,1:4);
```

```

if length(dat_s)>0
bound(2,1:4)=dat_s(I2,1:4);
end
end

% kare içine alınması
for i = 1:2

    if length(Area_1)==1

        rectangle('Position', stats_1(1).BoundingBox, ...
'Linewidth', 1, 'EdgeColor', 'r', 'LineStyle', '-');

    end

    if length(Area_1)>1

        if max(eccent_1)-min(eccent_1)<0.0002 || min(ar)>1400 && abs(bound (1,2)-
bound(2,2))>65 && abs(bound (1,1)-bound(2,1))>30 && length(bound_1)>4

rectangle('Position', stats_1(index(1,i)).BoundingBox, ...
'Linewidth', 1, 'EdgeColor', 'r', 'LineStyle', '-');

        elseif eccent_1(1,i)==max(eccent_1)

rectangle('Position', stats_1(index(1,i)).BoundingBox, ...
'Linewidth', 1, 'EdgeColor', 'r', 'LineStyle', '-');

        end

        if abs(bound (1,1)-bound(2,1))>220 && length(bound_1)>4

rectangle('Position', bound(1,1:4), ...
'Linewidth', 1, 'EdgeColor', 'r', 'LineStyle', '-');

rectangle('Position', bound(2,1:4), ...
'Linewidth', 1, 'EdgeColor', 'r', 'LineStyle', '-');

        end

    end
end
end

```

```
%Süre Hesabı

time(z,1)=toc;

    end

    figure;
    hold on
    plot(id(:,1), time(:,1), '--', 'LineWidth', 1)

    hold off
    grid on

    xlabel('Görüntü No')
    ylabel('Zaman (s)')
    title('Görüntü İşleme Süreleri')
```

EK-D: GUI Matlab Kodu:

```
function varargout = gui(varargin)
% GUI MATLAB code for gui.fig
%   GUI, by itself, creates a new GUI or raises the existing
%   singleton*.
%
%   H = GUI returns the handle to a new GUI or the handle to
%   the existing singleton*.
%
%   GUI('CALLBACK',hObject,eventData,handles,...) calls the local
%   function named CALLBACK in GUI.M with the given input arguments.
%
%   GUI('Property','Value',...) creates a new GUI or raises the
%   existing singleton*. Starting from the left, property value pairs are
%   applied to the GUI before gui_OpeningFcn gets called. An
%   unrecognized property name or invalid value makes property application
%   stop. All inputs are passed to gui_OpeningFcn via varargin.
%
%   *See GUI Options on GUIDE's Tools menu. Choose "GUI allows only one
%   instance to run (singleton)".
%
% See also: GUIDE, GUIDATA, GUIHANDLES

% Edit the above text to modify the response to help gui

% Last Modified by GUIDE v2.5 10-Mar-2019 00:41:55

% Begin initialization code - DO NOT EDIT
gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name',    mfilename, ...
                  'gui_Singleton', gui_Singleton, ...
                  'gui_OpeningFcn', @gui_OpeningFcn, ...
                  'gui_OutputFcn', @gui_OutputFcn, ...
                  'gui_LayoutFcn', [] , ...
                  'gui_Callback', []);
if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end

if nargout
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end
% End initialization code - DO NOT EDIT
```

```

% --- Executes just before gui is made visible.
function gui_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles, varargin)
% This function has no output args, see OutputFcn.
% hObject handle to figure
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)
% varargin command line arguments to gui (see VARARGIN)

% Choose default command line output for gui
handles.output = hObject;

% Update handles structure
guidata(hObject, handles);

% UIWAIT makes gui wait for user response (see UIRESUME)
% uiwait(handles.figure1);

% --- Outputs from this function are returned to the command line.
function varargout = gui_OutputFcn(hObject, eventdata, handles)
% varargout cell array for returning output args (see VARARGOUT);
% hObject handle to figure
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Get default command line output from handles structure
varargout{1} = handles.output;

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function figure1_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to figure1 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles empty - handles not created until after all CreateFcns called

% --- Executes on button press in pushbutton2.
function pushbutton2_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to pushbutton2 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)
[filename, pathname] = uigetfile('*.png', 'Select gprMax output file to plot B-scan',
'MultiSelect', 'on');
filename = fullfile(pathname, filename);
set(handles.edit2,'String',filename);
global gParameter

```

```

gParameter = filename;

% --- Executes on button press in pushbutton1.
function pushbutton1_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to pushbutton1 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)
%filename=get(handles.pushbutton1,'String');

global gParameter
global t1

tic;
x=imread(gParameter);
x=imresize(x,[360 650]); % Görüntü tekrardan boyutlandırıldı.

% Görüntünün gösterilmesi

figure;
imshow(x)

global x_resim

x_resim=x;
t1=toc;

%set(handles.pushbutton3,'CData',x);

% --- Executes on button press in pushbutton3.
function pushbutton3_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to pushbutton3 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)
% Görüntünün R-G-B Kanallarına ayrıştırılması
global x_resim
global t1
global t2
tic;
x=x_resim;

x_size=size(x);
r=x(:, :, 1);

g=x(:, :, 2);

b=x(:, :, 3);

a = zeros(size(x, 1), size(x, 2));

```

```

just_red = cat(3, r, a, a);

figure, imshow(just_red);

global r_resim

r_resim=r;
t=toc;
t2=t1+t;

% --- Executes on button press in pushbutton4.

function pushbutton4_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to pushbutton4 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
global r_resim
global t2
global t3
tic;
r=r_resim;
%Otsu Eşiklemenin Yapılması

level = graythresh(r);

x = im2bw(r,level);
m=round(mean(mean(x)));

if m==1
    x_son=x;
    x=~x;
else
    x_son=~x;
end

figure;imshow(x);

global x_h

x_h=x_son;

t=toc;
t3=t2+t;

% --- Executes on button press in pushbutton5.
function pushbutton5_Callback(hObject, eventdata, handles)

```

```
% hObject handle to pushbutton5 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)
```

```
%Hough Dönüşümü ve Bölge analizinin gerçekleştirilmesi
```

```
global x_h
global t3
global t4
tic;
x=x_h;
x_size=size(x);
num_siyah=0;
num_beyaz=0;

for k=1:x_size(1,1)
    for i=1:x_size(1,2)
        if x(k,i)==0
            num_siyah=num_siyah+1;
        else
            num_beyaz=num_beyaz+1;
        end
    end
end

for k=1:x_size(1,1)
    beyaz=0;
    siyah=0;
    for i=1:x_size(1,2)
        if x(k,i)==0
            siyah=siyah+1;
            num_siyah=num_siyah+1;
        else
            beyaz=beyaz+1;
            num_beyaz=num_beyaz+1;
        end
    end
end

if beyaz==x_size(1,2) || siyah==x_size(1,2)
    if num_siyah>num_beyaz
        x(k,:)=0;
    else
        x(k,:)=1;
    end
end
end

    % Görüntü Tersleme işlemi
if num_beyaz> num_siyah
    x=~x;
end
```



```

for m=1:360

    if x(m,')==1

        x(m,:)=0;

    end

end

figure;imshow(x);

global x_alan

x_alan=x;
t=toc;
t4=t3+t;

% --- Executes on button press in pushbutton6.
function pushbutton6_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to pushbutton6 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
global x_alan
global t4
global t5
tic;
x=x_alan;

figure;imshow(x);
% Eğrilik ve Alan büyüklüklerinin belirlenmesi

BW=x;

[labeled_1,numObjects_1] = bwlabel(BW,8);

stats_1 = regionprops(labeled_1,'all');

eccentricities_1 = [stats_1.Eccentricity];
bound_1=[stats_1.BoundingBox];

Area_1 = [stats_1.Area];

area=sort(Area_1);

length(area);

```

```

for i=1:length(area)

    if length(Area_1)>=2
    if Area_1(1,i)==area(1,length(area))

        index(1,1)=i;

    end

    if Area_1(1,i)==area(1,length(area)-1)

        index(1,2)=i;
    end
    end
end

for i=1:2

if length(eccentricities_1)>=2
    eccent_1(1,i)=eccentricities_1(1,index(1,i));
    ar(1,i)=Area_1(1,index(1,i));
end

end

%Sınır koordinatlarının kaydedilmesi

yeni_bound=[];
o=1;

for i=1:4:length(bound_1)
    yeni_bound(o,1:4)=bound_1(1,i:i+3);
    o=o+1;
end

dat=[];
dat_s=[];
dat_l=[];
mm=1;
if length(Area_1)>2
    [N M]=size(yeni_bound);
    for i=1:N

        if yeni_bound(i,1)<650/2

            dat(mm,1:4)=yeni_bound(i,:);
            mm=mm+1;
        end
    end
end

```

```

[N1 M1]=size(dat)

dat_1=[dat transpose(Area_1(1,1:N1))];
dat_s=[yeni_bound(N1+1:end,:) transpose(Area_1(1,N1+1:end))];

[Y1 I1]=max(Area_1(1,1:N1));

[Y2 I2]=max(Area_1(1,N1+1:end));
Ar_1=[Y1 Y2];

end

bound(1,1:4)=bound_1(1,1:4);

if length(bound_1)>4
bound(2,1:4)=bound_1(1,5:8);
end

if length(Area_1)>=10
bound(1,1:4)=dat(I1,1:4);
if length(dat_s)>0
bound(2,1:4)=dat_s(I2,1:4);
end
end

% kare içine alınması
for i = 1:2

    if length(Area_1)==1

        rectangle('Position', stats_1(1).BoundingBox, ...
'Linewidth', 1, 'EdgeColor', 'r', 'LineStyle', '-');

    end

    if length(Area_1)>1

        if max(eccent_1)-min(eccent_1)<0.0002 || min(ar)>1400 && abs(bound(1,2)-
bound(2,2))>65 && abs(bound(1,1)-bound(2,1))>30 && length(bound_1)>4

            rectangle('Position', stats_1(index(1,i)).BoundingBox, ...
'Linewidth', 1, 'EdgeColor', 'r', 'LineStyle', '-');

        elseif eccent_1(1,i)==max(eccent_1)

```

```
rectangle('Position', stats_1(index(1,i)).BoundingBox, ...
'Linewidth', 1, 'EdgeColor', 'r', 'LineStyle', '-');
```

```
end
```

```
if abs(bound(1,1)-bound(2,1))>220 && length(bound_1)>4
```

```
rectangle('Position', bound(1,1:4), ...
'Linewidth', 1, 'EdgeColor', 'r', 'LineStyle', '-');
```

```
rectangle('Position', bound(2,1:4), ...
'Linewidth', 1, 'EdgeColor', 'r', 'LineStyle', '-');
```

```
end
```

```
end
```

```
end
```

```
t=toc;
```

```
t5=t4+t;
```

```
time=num2str(t5);
```

```
set(handles.edit3,'String',time);
```

```
function edit1_Callback(hObject, eventdata, handles)
```

```
% hObject handle to edit1 (see GCBO)
```

```
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
```

```
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)
```

```
% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit1 as text
```

```
% str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit1 as a double
```

```
% --- Executes during object creation, after setting all properties.
```

```
function edit1_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
```

```
% hObject handle to edit1 (see GCBO)
```

```
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
```

```
% handles empty - handles not created until after all CreateFcns called
```

```
% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
```

```
% See ISPC and COMPUTER.
```

```

if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit2_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit2 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
filename=set(handles.edit2,'String',filename);
% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit2 as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit2 as a double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit2_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit2 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

% --- Executes on button press in pushbutton8.
function pushbutton8_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to pushbutton8 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
close all;
close(gui);

function edit3_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit3 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit3 as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit3 as a double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit3_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit3 (see GCBO)

```

```
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
% See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
```



KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

[1] **Altın G.**, Dolma A., Gömülü Nesnelerin Bölütlenmesi ve Tespiti, *SIU2019 Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı*, Sivas, 24-26 Nisan 2019.

[2] **Altın G.**, Dolma A., Buried Objects Segmentation and Detection in GPR B Scan Images, *The Eurasia Proceedings of Science Technology Engineering and Mathematics*, 2019, **6**, 11-17.



ÖZGEÇMİŞ

1988 yılında Antakya'da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Kastamonu'da, lise öğrenimini Adana'da tamamladı. 2006 yılında girdiği Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü'nden 2010 yılında Elektronik ve Haberleşme Mühendisi olarak mezun oldu. 2009-2011 yılları arasında, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans öğrenimine başladı. 2010 yılından beri iş hayatında ve 2017 yılından itibaren HAVELSAN A.Ş. şirketinde Analist olarak görev yapmaktadır.

