

**ANKARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**2 BOYUTLU YER RADARI GÖRÜNTÜLERİNDEN 3 BOYUTLU GÖRÜNTÜ
ELDE ETME TEKNİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI VE UYGULANMASI**

Erkan ŞENGÖNÜL

BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ANKARA
2016**

Her Hakkı Saklıdır

TEZ ONAYI

Erkan ŐENGÖNÖL tarafından hazırlanan “**2 Boyutlu Yer Radarı Görüntülerinden 3 Boyutlu Görüntü Elde Etme Tekniklerinin Araştırılması ve Uygulanması**” adlı tez çalışması 22/06/2016 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliğı ile Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bilgisayar Mühendisliğı Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Doç. Dr. Refik SAMET
Ankara Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliğı Anabilim Dalı

Jüri Üyeleri:

Başkan : Yrd. Doç. Dr. Ömer KARAL
Yıldırım Beyazıt Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliğı
Anabilim Dalı

Üye : Yrd. Doç. Dr. Bülent TUĞRUL
Ankara Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliğı Anabilim Dalı

Üye : Doç. Dr. Refik SAMET
Ankara Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliğı Anabilim Dalı

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. İbrahim DEMİR

Enstitü Müdürü V.

ETİK

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

29/06/2016

Erkan ŞENGÖNÜL

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

2 BOYUTLU YER RADARI GÖRÜNTÜLERİNDEN 3 BOYUTLU GÖRÜNTÜ ELDE ETME TEKNİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI VE UYGULANMASI

Erkan ŞENGÖNÜL

Ankara Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Refik Samet

Yer radarı (GPR), demiryolundan tünele, inşaat işlerinden arkeolojik kazılara kadar çok çeşitli alanlarda yakın yüzey araştırmaları için kullanılmaktadır. Yer radarı temelde 3 ana bileşenden oluşmaktadır. Bunların ilki yeraltına çok yüksek frekanslı elektromanyetik dalgaları gönderen verici anten, ikincisi dalgaların yeraltı yapılardan yansımalarını kaydeden alıcı anten ve sonuncusu ise veriyi işleyerek kayıt eden kontrol ünitesidir. Yer altında dalganın yansıması ve saçılması sonucunda oluşan veri ham veri olarak adlandırılmaktadır. Bu yöntem ile toplanan verilerin işlenmesi için iki tip yazılım mevcuttur. Birinci tip, cihaz ile birlikte eş zamanlı veri toplamayı sağlayan yazılımdır. Bu yazılımların esas amacı veri toplamaya yönelik olup veri işleme ve görüntüleme özellikleri çok kısıtlıdır. İkinci tip yazılım ise veri toplamadan bağımsız verinin analizi, işlenmesi, görüntülenmesi ve yorumlanması üzerine odaklanmıştır. Bu tip yazılımların veri analiz araçları, 2B ve 3B gösterim yetenekleri daha gelişmiştir. Bu yazılımlar, yer radar ile toplanan verilerin (radargram) gürültülerden temizlenmesi, kalitesinin artırılması ve yoruma hazır hale getirilmesi için gerekli işlemleri gerçekleştirmektedir. Bir boyutlu (1B) ve iki boyutlu (2B) yapılan bu işlemler kullanıcının yorumuna katkıda bulunmakta fakat yer altında bulunan yapıların cinsinin ve geometrisinin belirlenmesinde yeterli olamamaktadır. Bu maksatla üç boyutlu (3B) modelleme ve görüntüleme teknikleri kullanılmaktadır. Bu amaca yönelik mevcut yazılımlar tüm ihtiyaçları karşılamamakta ve ülkemizde bu söz konusu alanda henüz hiçbir profesyonel çalışma bulunmamaktadır. Bu sebeple bu tez çalışması ile 2 boyutlu yer radarı verilerinden 3 boyutlu görüntü elde etme metodolojisi önerilmektedir. 3 aşamadan oluşan metodoloji sayesinde önce ham yer radarı verileri okunarak çeşitli veri işlem aşamaları uygulanmakta, sonra profillerin konumlandırılması yapılarak zaman kesitlerinin üretimi sağlanmakta ve son olarak işlenmiş veriler 3B ortamda görüntülenmektedir. Önerilen metodoloji, "TÜBİTAK 1505 – Üniversite Sanayi İşbirliği Destek Programı" tarafından desteklenen 5130012 numaralı projesi kapsamında geliştirilen GPRVis yazılımı kullanılarak gerçek veriler üzerinde uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar yeraltı yapıların geometrisinin iyileştiğini ve yorumlanmasının kolaylaştığını kanıtlamıştır.

Haziran 2016, 57 sayfa

Anahtar Kelimeler: Yer Radarı, Radargram, Enterpolasyon, Sayısal Görüntü İşleme, Görüntü İyileştirme, Bilgisayarlı Görüntüleme, Hacimsel Gösterim, Yüzeysel Gösterim, Işın Atma, Yürüyen Küpler

ABSTRACT

Master Thesis

RESEARCH AND IMPLEMENTATION OF THE TECHNIQUES FOR 3 DIMENSIONAL IMAGES MODELING FROM 2 DIMENSIONAL IMAGES OF GROUND PANETRATING RADAR

Erkan ŞENGÖNÜL

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

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Refik Samet

Ground penetrating radar (GPR) is used for many near surfaces underground researches including railways, tunnels, construction works and archaeological excavations. GPR is basically consists of three main components. The first one is transmitter antenna which sends very high-frequency electromagnetic waves into underground, the second one is receiver antenna which records the reflection of the wave of underground structures and the last one is control unit which process and records data. The data resulting from reflection and scattering waves from underground is called raw data. There are two types of software for processing the data collected by this method. The first type of software provides data collection with the device at the same time. Main purpose of this software is for data collection so its data processing and imaging features are very limited. The second type of software focuses on only data analyzing, processing, visualizing and interpreting regardless of data collection. Data analysis tools of this type are more advanced concerning 2D and 3D visualization capabilities. This software performs various processes such as cleaning the noise from collected data (radargram) by GPR, improving the quality and making it ready to interpretation. These one-dimensional (1D) and two-dimensional (2D) processes contribute to the user's interpretation but are not sufficient to determine the exact kind and geometry of underground structures. Therefore, three-dimensional (3D) modeling and imaging techniques are used. Existing software used for this purpose do not meet all the requirements and there is no professional working in this area in our country yet. Thus, 3 dimensional image acquisition methodology from 2 dimensional images of ground penetrating radar is recommended by this thesis. Thanks to the methodology which consists of 3 stages, first, various data processing steps are implemented by reading raw ground radar data, then generating time slices by performing the positions of profiles and finally the processed data are visualized in a 3D environment. The proposed methodology, was applied on real data using GPRVis which was developed under the no. 5130012 project supported by "TUBITAK 1505 - University-Industry Collaboration Grant Programme". The results indicate considerable improvements in determining the geometry of underground structures and in interpretation of data.

June 2016, 57 pages

Key Words: Ground Penetrating Radar, Radargram, Interpolation, Digital Image Processing, Image Enhancement, Computerized Visualization, Volume Rendering, Surface Rendering, Ray Casting, Marching Cubes

TEŞEKKÜR

Çalışmalarımı yönlendiren, araştırmalarımın her aşamasında bilgi, öneri ve yardımlarını esirgemeyerek akademik ortamda olduğu kadar beşeri ilişkilerde de engin fikirleriyle yetişme ve gelişmeye katkıda bulunan danışman hocam sayın Doç. Dr. Refik Samet'e (Ankara Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı) en derin duygularla teşekkür ederim.

Çalışmalarım süresince maddi, manevi pek çok fedakârlık göstererek beni destekleyen ve her anımda yanımda olan başta eşim olmak üzere aileme ve dostlarıma tüm içtenliğimle minnettarlığımı belirterek, en derin duygularla teşekkür ederim.

Bu tez çalışması, "TÜBİTAK 1505 – Üniversite Sanayi İşbirliği Destek Programı" tarafından 5130012 numaralı ve "Yer Radarı Verilerinin 3 Boyutlu Ortamda İşlenmesi ve Görüntülenmesi için İnteraktif Yazılımın Tasarımı ve Geliştirilmesi" konulu projesi kapsamında desteklenmiştir.

Erkan ŞENGÖNÜL

Ankara, Haziran 2016

İÇİNDEKİLER

TEZ ONAY SAYFASI	
ETİK.....	i
ÖZET.....	ii
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	iv
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ.....	1
2. YER BİLİMLERİ VE BİLGİ TEKNOLOJİLERİ İLE İLGİLİ	
ÇALIŞMALAR	4
2.1 Yer Bilimleri Araştırmaları.....	4
2.2 Veri İşlemleri ve Analizi Araştırmaları	5
2.3 Bilgi Teknolojileri Araştırmaları.....	9
2.4 Bölüm Değerlendirmesi	12
3.2 BOYUTLU YER RADARI GÖRÜNTÜLERİNDEN 3 BOYUTLU	
GÖRÜNTÜ ELDE ETME METODOLOJİSİ	13
3.1 Yer Radarı Verilerinin Okunması ve Veri İşlem Tekniklerinin Yapılması	14
3.1.1 Ham Yer Radarı Verilerinin Okunması	14
3.1.2 Veri İşlemlerinin Yapılması	15
3.1.3 Verinin Normalizasyonu ve Görüntülenmesi	26
3.2 Profillerin Konumlandırılması ve Zaman Kesitlerinin Üretilmesi	27
3.2.1 Profillerin Konumlandırılması	27
3.2.2 Zaman Kesitlerinin Üretilmesi	28
3.3 Zaman Kesitlerinin 3B Görüntülenmesi.....	31
3.3.1 Hacimsel Gösterim Tekniği ile 3B Gösterim	33
3.3.2 Yüzeysel Gösterim Tekniği ile 3B Gösterim	36
3.4 Bölüm Değerlendirmesi	39
4. ÖNERİLEN METODOLOJİNİN UYGULANMASI VE SONUÇLARININ	
DEĞERLENDİRİLMESİ	41
4.1 Uygulama Platformu	41
4.2 Veri Kümesi	41
4.3 2B Yer Radarı Görüntülerinden 3B Görüntü Elde Etme Tekniklerinin	
Uygulanması	44
4.4 Sonuçların Değerlendirilmesi	51
5. SONUÇ.....	53
KAYNAKLAR	55
ÖZGEÇMİŞ.....	57

KISALTMALAR DİZİNİ

1B	Bir Boyut
1D	One Dimensional
2B	İki Boyut
2D	Two Dimensional
3B	Üç Boyut
3D	Three Dimensional
GPR	Ground Penetrating Radar
GPS	Global Positioning System
IDW	Inverse Distance Weighting
MAKS	Maksimum
MC	Marching Cubes
MIN	Minimum
VTK	Visualization Toolkit

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1 Hyperbolas automatic detection (HAD) algoritması (Simi vd. 2008).....	6
Şekil 2.2 Uygulamada kullanılan ışık akış şeması	8
Şekil 2.3 Chernyaev algoritmasının referans tablosu	10
Şekil 3.1 Metodolojinin akış şeması.....	14
Şekil 3.2.a. Profiller, b. İzler, c. Örnekleme değerleri.....	15
Şekil 3.3.a. 30 Hz, 80 Hz, 120 Hz ve 200 Hz’lik frekans bileşenleri içeren sinyal, b. alçak geçiş uygulanmış ve 100 Hz üzeri sinüzoidallerin atıldığı sinyal.....	17
Şekil 3.4.a. 30 Hz, 80 Hz, 120 Hz ve 200 Hz’lik frekans bileşenleri içeren sinyal, b. yüksek geçiş uygulanmış ve 100 Hz altındaki sinüzoidallerin atıldığı sinyal.....	17
Şekil 3.5.a. 30 Hz, 80 Hz, 120 Hz ve 200 Hz’lik frekans bileşenleri içeren sinyal, b. band geçiş uygulanmış ve 100 Hz ile 140 Hz arasındaki sinüzoidallerin geçtiği sinyal	18
Şekil 3.6.a. 30 Hz, 80 Hz, 120 Hz ve 200 Hz’lik frekans bileşenleri içeren sinyal, b. band durdurucu uygulanmış ve 60 Hz ile 150 Hz arasındaki sinüzoidallerin atıldığı sinyal	19
Şekil 3.7.a. İşlem öncesi radargram görüntüsü, b. Ortalama süzgeci uygulanmış radargram görüntüsü ...	19
Şekil 3.8.a. İşlem öncesi radargram görüntüsü, b. Ortanca süzgeci uygulanmış radargram görüntüsü	20
Şekil 3.9.a. İşlem öncesi radargram görüntüsü, b. Akım düzeltmesi uygulanmış radargram görüntüsü....	21
Şekil 3.10.a. İşlem öncesi radargram görüntüsü, b. Arkaplan kaldırma uygulanmış radargram görüntüsü	21
Şekil 3.11.a. İşlem öncesi radargram görüntüsü, b. DC öteleme uygulanmış radargram görüntüsü.....	22
Şekil 3.12.a. İşlem öncesi radargram görüntüsü, b. Otomatik kazanç kontrolü uygulanmış radargram görüntüsü	23
Şekil 3.13.a. İşlem öncesi radargram görüntüsü, b. Doğrusal kazanç uygulanmış radargram görüntüsü ..	23
Şekil 3.14.a. İşlem öncesi radargram görüntüsü, b. Üstel kazanç uygulanmış radargram görüntüsü.....	24
Şekil 3.15.a. İşlem öncesi radargram görüntüsü, b. Dekonvolüsyon uygulanmış radargram görüntüsü	24
Şekil 3.16.a. İşlem öncesi radargram görüntüsü, b. Migrasyon uygulanmış radargram görüntüsü	25
Şekil 3.17.a. İşlem öncesi radargram görüntüsü, b. Başlangıç noktası kaydırılan radargram görüntüsü ...	26
Şekil 3.18.a. Profillerin konumlandırılmış 2B ortamdaki, b. 3B ortamdaki görüntüsü	28
Şekil 3.19 Profillerin başlangıç, bitiş noktaları ve yönlerinin konumlanmış görüntüsü.....	29
Şekil 3.20 Zaman kesitlerinin üretilmesinde kullanılan matrisler	30
Şekil 3.21 .vti (VTK Image Data [Structured Points]) veri formatı	31
Şekil 3.22 VTK boru hattı (pipeline) mimarisi	32
Şekil 3.23 Işın atma tekniği çalışma prensibi (Anonymous 2015).....	33
Şekil 3.24 Bir pikselden geçen ışın denklemi	34
Şekil 3.25 Işığın nesneden yayılması	34
Şekil 3.26.a. Saydamlık, b. Renk transfer fonksiyon örnekleri	35

Şekil 3.27 Hacimsel gösterim tekniğinin kullanımını gösteren VTK kod adımları	36
Şekil 3.28 MC Algoritmasından örnek 15 durum (Shroeder vd. 1998)	37
Şekil 3.29 MC’de vokselin yüzey ile kesiştiği poligon örneği (Bourke, 1994).....	38
Şekil 3.30 MC’de grid boyu ile oluşan yüzey sayıları karşılaştırması (Bourke, 1994)	38
Şekil 3.31 MC algoritmasını kullanarak yüzeysel gösterim tekniğinin kullanımını gösteren VTK kod adımları	39
Şekil 4.1 Test sahası içerisinde bulunan malzemelerin yerleşim planı.....	42
Şekil 4.2 Test alanı krokisi 2a bölümünde bulunan taş oda	43
Şekil 4.3 Duvar yapısının tarama krokisi	43
Şekil 4.4 Veri işlemleri yapılmış radargram görüntüsü	44
Şekil 4.5 Normalizasyonu yapılmış ve renklendirilmiş radargram görüntüsü	45
Şekil 4.6 Radargramların uygulama üzerinde 2B düzlemde konumlandırılmış görüntüsü	46
Şekil 4.7 Radargramların uzamsal pozisyonlara yerleştirildikten sonraki görüntüleri	47
Şekil 4.8 Zaman kesitlerinin üretilmesinde kullanılan ayar ekranı	47
Şekil 4.9 Zaman kesitlerinin üretimindeki matris görüntüleri.....	49
Şekil 4.10 Farklı enterpolasyon teknikleriyle elde edilmiş zaman kesitleri	49
Şekil 4.11 Zaman kesitlerinin uzamsal pozisyonlara yerleştirildikten sonraki görüntüleri	50
Şekil 4.12 Zaman kesitlerinin hacimsel gösterim tekniği ile 3B görüntüsü	51
Şekil 4.13 Zaman kesitlerinin yüzeysel gösterim tekniği ile 3B görüntüleri.....	51
Şekil 4.14.a. Gerçek duvar yapısı görüntüsü, b. uygulama sonucu elde edilen isosurface görüntüsü	52

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1 Yer radarı verilerindeki gömülü köklerin tahmini çap sonuçları (Zhu vd. 2014).....	5
Çizelge 2.2 Farklı çap, özellik ve derinlikteki gömülü boruların yer radarı ile tespitlerinin başarı tablosu (Iswandy 2009).....	8



1. GİRİŞ

Uzun yıllar içerisinde doğal ve yapay yapılar yeryüzünün altında gömülü kalmış ve bunların tekrar bulunarak yüzeye çıkartılması için insanoğlu çeşitli yöntemler uygulamıştır. Jeofizik araştırmalarında incelenen bu konu ile hedeflenen, en az kayıpla, en hızlı ve doğru bir şekilde yapının yerinin ve niteliğinin tespit edilmesidir. Bu amaçla özellikle 1970’li yıllar itibari ile elektromanyetik yöntemlerden biri olan yer radarı kullanılmaya başlanmıştır.

Yer radarının çalışma prensibi düşey olarak yer altına gönderilen elektromanyetik dalgaların yansımalarına göre farklı genliklerde değerlerin ölçülerek veri kümelerinin oluşturulmasına dayanır. Belli bir hat üzerinde gidilerek toplanan veri grubu radargram olarak adlandırılmaktadır. Radargramın yatay eksenini başlangıç noktasına göre uzaklığını ve dikey eksenini ise kayıt zamanını (nanosaniye) temsil eder.

Büyük veri setine sahip çalışmalarda ve düzgün bir geometriye sahip olmayan çalışma alanlarında yer radarı ile toplanan sayısal veri setinin analizi, işlenmesi, görüntülenmesi ve yoruma hazır hale getirilmesi için harcanan süre, ölçüm için harcanan süreden daha uzun sürmektedir. Bu şekilde oluşturulan verinin, işlenmeden ve görselleştirilmesi olmadan anlamlandırılması ve yorumlanması çok zordur. Ancak, bu veriler çeşitli şekillerde görselleştirilebilir, hatta 3 boyutlu ifade edilebilir ise yorumlanması ve anlaşılması çok daha kolay olur.

Piyasada çok sayıda yer radarı yazılımı bulunmamaktadır. Bunlardan genel kabul gören ve en bilinenleri GPRsoft ve GPRslice yazılımlarıdır. Bu yazılımların avantaj ve dezavantajları aşağıda incelenmiştir.

GPRsoft yazılımının avantajları;

- Menü tasarımları ve ara yüz anlaşılır ve kullanıcı dostudur.
- Çok seçenekli işlemler hızlıca yapılabilmektedir.
- Aynı ekranda 3 eksendeki görüntü değişimleri görüntülenebilmektedir.

- Verilerde kesme-birleştirme özellikleri bulunmaktadır.

GPRsoft yazılımının dezavantajları;

- Herhangi bir enterpolasyon türü seçimi yapılamamakta ve uygulanan enterpolasyon yöntemi hakkında bilgi verilmemektedir.
- Derinlik seviye kat haritası (zaman kesiti) görüntülemesi orijinal veri boyutlarına göre yapılamamaktadır.
- Genlik renk ölçeği seçimi çok kısıtlı ve yetersizdir.
- Toplu veri işlemleri yapılamamaktadır.
- 3B veride yakınlaştırma özelliği bulunmamaktadır.
- 3B veri görüntüleme özelliklerinin kısıtlı olması sebebiyle 3B veri yorumu çok zor yapılmaktadır.

GPRslice (v7.0) yazılımının avantajları;

- Isosurface yüksek genlikli veri görüntüleme özelliği başarılıdır.
- Çeşitli 3B görüntüleme özellikleri bulunmaktadır.
- 2B veriler ile 3B verileri birlikte gösterebilmektedir.
- GPS verisine sahip veriler çizdirilebilmektedir.

GPRslice (v7.0) yazılımının dezavantajları;

- Verilerde farklı kaydet özelliği bulunmamaktadır.
- Karmaşık menü tasarımı ve kullanım zorluğu sebebiyle hızlı kullanım imkânı sağlanamamaktadır.
- Sadece doğrusal ve kübik enterpolasyon seçenekleri sunulmaktadır.
- Toplu veri işlemleri yapılamamaktadır.
- 2B görüntüleme özelliklerinin yeterli değildir.
- 3B görüntüleme de sıkça uygulama çökmesi vb. karşılaşılan sorunlarla karşılaşmaktadır.

Mevcut yazılımların incelenmesi sonucu, her yazılımın kendine has olumlu ve olumsuz yönleri olduğu görülmektedir. Bazı araçlar ve yetenekler sadece bir yazılımda

bulunmakla birlikte diğesinde mevcut değıildir. Bu sebeple kullanıcılar verileri işleyip yorumlayabilmesi için birden fazla yazılım kullanmak zorunda kalmaktadır. Mevcut yer radarı görüntüleme yazılımlarının kullanılabilirliğinin düşük olduğu görülmektedir. Bu amaca yönelik mevcut yazılımların tüm ihtiyaçları karşılamaması sebebi ve ülkemizde bu ihtiyaca yönelik söz konusu alanda henüz hiçbir profesyonel yazılım çalışmasının yapılmamış olmasından dolayı, yer radarı verilerinin 2B ve 3B ortamlarda analizi, işlenmesi, görüntülenmesi ve yorumlanması yönelik profesyonel yerli yazılıma ihtiyaç duyulmaktadır.

Bu tez kapsamında; 2 boyutlu yer radarı verilerinden 3 boyutlu görüntü elde etme metodolojisi önerilmektedir. Geliştirilen metodoloji, yer radarı verilerinin analizini, işlenmesini, görüntülenmesini ve yorumlanmasını kolaylaştırmaktadır.

Önerilen metodoloji üç aşamadan oluşmaktadır: (1) Yer radarı verilerinin okunması ve veri işlem tekniklerinin yapılması, (2) profillerin konumlandırılması ve zaman kesitlerinin üretilmesi, (3) zaman kesitlerinin 3B görüntülenmesidir.

Birinci aşamada yer radarı verileri okunmakta ve veri işlem teknikleri yapılmaktadır. İkinci aşama kapsamında, 2B enterpolasyon teknikleri kullanılarak radargramlardan derinlik seviyelerinde kesitler çıkartılmaktadır. Üçüncü aşamada ise üretilen zaman kesitlerinden 3B model oluşturulmakta, hacimsel gösterim ve yüzeysel gösterim teknikleriyle görüntü elde edilmektedir.

Tez çalışmasının kalan kısmı şu şekilde organize edilmiştir. İkinci bölümde, yer bilimleri, bilgi teknolojileri, veri işlemleri ve analizleri ile ilgili daha önce yapılmış olan çalışmalardan bahsedilmektedir. Üçüncü bölümünde, yer radarı verilerinin işlenmesi, görüntülenmesi ve yorumlanması için bir metodoloji önerilmektedir. Dördüncü bölümde, önerilen metodoloji, gerçek veriler üzerinde uygulanmakta ve elde edilen sonuçlar ve bulgular tartışılmaktadır. Son olarak beşinci bölümde ise, sonuç ve değerlendirmelere yer verilmektedir.

2. YER BİLİMLERİ VE BİLGİ TEKNOLOJİLERİ İLE İLGİLİ ÇALIŞMALAR

Bu bölüm, yer bilimleri, veri işlemleri ve bilgi teknolojileri alanlarındaki **yaklaşımlarından oluşmaktadır. Kullanılan mevcut yöntemlerden ve yapılan çalışmalardan bahsedilmektedir.**

2.1 Yer Bilimleri Araştırmaları

Bu bölümde Jeofizik, Jeoloji, vb. gibi benzer disiplinlerin oluşturduğu yer bilimleri alanların yer radarı konuları ile ilgili yaklaşımları ele alınmıştır.

Jang vd. (2011) yaptıkları kara mayınlarının tespiti konulu çalışmada, ilgili test alanındaki tarama, veri-işlem ve yoruma yönelik algoritma ile dikkat çekmektedir. Söz konusu kara mayınlarının yer radarı ile tespitlerinde ne gibi veri işlem basamaklarının kullanılması gerektiği betimlenmektedir. Özellikle Ayrık Fourier Dönüşümü (Discrete Fourier Transform [DFT]) ile radar sinyallerinde mayın olan kısımlardaki piklerin belirlenmesinde önemli sonuçlar ortaya konmuştur. Yine yer radarı veri işlemlerinde çok fazla kullanılmayan, hatta tanınmayan bir süzgeç olan Kalman Süzgeci ve sonuçları hakkında betimlemeler de verilmiştir. Bu bağlamda karar algoritması oluşturularak üç farklı kara mayınının konumlarının 3B olarak tablolaması dikkat çeken bir sonuçtur. Singular Values Decomposition (SVD), Discrete Fourier Transform (DFT) ve Principal Component Analysis (PCA) tabanlı üç özellik kullanılarak kara mayınlarının tespiti için yer radarı sinyalinde Mahalanobis mesafe yönteminin ortaya konulması da önemli bir sonuçtur.

3B GPR (yer radarı) kullanılarak iri ağaç köklerinin tespiti ve alandaki kök biokütlesinin tahmin edilmesi üzerine bir çalışma yapılmıştır (Zhu vd. 2014). Taramalar 500 MHz ve 800 MHz'lik antenler ile yapılmıştır. Ölçüm alanında 2 adet karaçam taranmış ve bunlardan bir tanesi tarama sonunda kazılmıştır. Kullanılan arama algoritması 3B alanda kök boyunca piksel yoğunluğunun takip edilmesine dayanmaktadır. Geliştirilen arama algoritması ile 5 cm ve daha yüksek çaptaki köklerin doğru bir şekilde tasvir edilmesi önerilmektedir. Farklı derinlik aralıklarındaki toplam

kök kütlelerinin tahmin edilmesinde lineer regresyon tavsiye edilmekte ve toplam hatanın %10'dan daha az olduğu görülmektedir.

Çizelge 2.1 Yer radarı verilerindeki gömülü köklerin tahmini çap sonuçları (Zhu vd. 2014)

Kök Örnekleri (Boyut: n)	Ortalama Büyüklük Uzunluk Δw (cm)	Tahmini Ortalama Çap (cm)	Gerçek Ortalama Çap (cm)	Hata
Kök 1 (20)	5.3	5.3	6.1	%13
Kök 2 (17)	5.5	4.8	5.7	%16

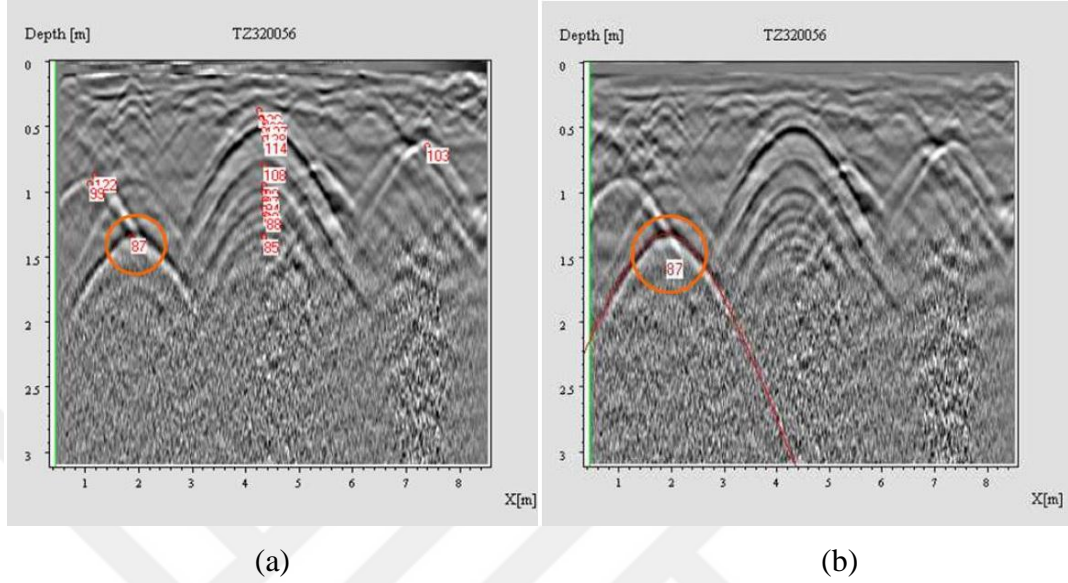
Çizelge 2.1'deki metodun uygulama sonuçlarına göre kök kalınlık tahminlerinin farklı derinlik seviyelerinde %13 ile %38'lik bir hata aralığında olduğu sonucuna varılmıştır. GPR kullanılarak köklerin kesin bir şekilde tespitinin zor olmasına rağmen hala basit ve uygulanabilir bir yöntem olduğu vurgulanmıştır (Zhu vd. 2014).

2.2 Veri İşlemleri ve Analizi Araştırmaları

Bu bölümde veri analizi ve işlemleri konuları ile ilgili yaklaşımlar ele alınmıştır.

Simi vd. (2008), GPR verilerinin yorumlanmasında insan faktörünün en önemli kısıtlama olduğunu vurgulamaktadır. Operatörlerin çok sayıda radargram yorumlamak zorunda kaldığını ve veri işleme aşamasında çok zaman harcadığını belirtmektedir. İşlem zamanının kısaltılması amacıyla Hyperbolas Automatic Detection (HAD) algoritması önermişlerdir. HAD algoritmasında, ilk aşama olarak her radargramdaki hedef bölgedeki hiperbollerin tanımlanması ve onların işaretlenmesi gerçekleştirilir. Daha sonra operatör yeraltı varlıklarının konumlarını bu sonuçlardan çıkartmaktadır. Ayrıca algoritma EM dalgasının topraktaki yayılma hızını da doğru bir şekilde tahmin edebilmekte ve böylece bu tahmin migrasyon algoritmasında gelişmiş bir tomografinin elde edilmesinde kullanılmaktadır. HAD algoritması ve tomografinin kullanılarak 3000m²'lik bir alanın 4 saatten daha kısa süre içerisinde analiz edilmesini sağlamıştır. Yapılan testlerde asfalt, çim gibi farklı alanlar kullanılmış ve en az %66'lık bir zaman kazancı sağlamıştır. Şekil 2.1'de HAD Algoritması sonucunda hiperbollerdeki yayılma

hızlarının hesaplanıp otomatik olarak gösterimi (a) ve bu hızların kullanımı ile hiperbollerin veriye oturtulması (b) gösterilmektedir.



Şekil 2.1 Hyperbolas automatic detection (HAD) algoritması (Simi vd. 2008)

a. yayılma hızlarının hesaplanması, b. hiperbollerin oturtulması

Zhang vd. (2008), karayolu döşemelerinde, köprü beton yapılarında, demiryolu döşemelerinde kullanılan taşların bulunduğu bölgelerin doğru tespitinde GPR kullanımının kullanışlı olduğunu göstermiştir. Özellikle büyük radargram verilerinin küçük bir parçasını oluşturan bir nesnenin yerinin tespiti için büyük zaman ve kaynak gerektirmektedir. Büyük radargram verilerindeki tespitlerde kullanılacak yer radarı veri işlem tekniğinin çok önemli olduğu vurgulanmaktadır. Bu sebeple Zhang vd. daha karmaşık verilerin işlenmesindeki maliyetlerin düşürülmesi amacıyla veri kapsamının daraltılmasında 2B entropi analizini önermiştir. Çalışmada kısa zamanlı Fourier dönüşümü kullanılarak hedef bölgenin tespiti ve ayrıştırılması farklı test ortamlarında uygulanmıştır.

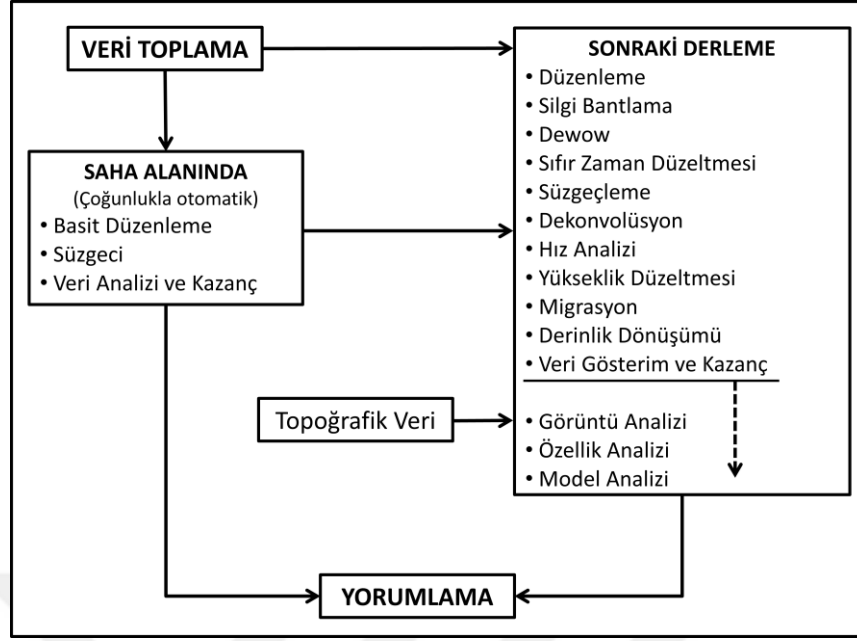
Pasolli vd. (2009), yer radarı verilerinin otomatik olarak analiz edilebilmesi için yeni bir sistem sunarlar. Bu sistem ile gömülü nesnelerin konumlarının ve tiplerinin tamamen otomatik olarak tahmin edilmesi sağlanır. Uygulanan Novel pattern-recognition sistemi 4 adımdan oluşur. Birinci adımda çoklu nesne tespiti için bir eşik değeri belirlenir.

İkinci adımda materyal tanımlama metodunun ayırt edici fonksiyonların doğru modellenmesi için yeterli sayıda örnek görüntü seçilir. Üçüncü adımda nesnelerin genetik optimizasyon altyapısı kullanılarak doğrusal ve hiperbolik desenlerin aranması ile otomatik olarak tanımlanması yapılır. Son adımda ise nesnenin tipinin ne olduğu probleminin bir sınıflandırma sorunu olduğu ve özellik çıkarma stratejisi ve bir sınıflandırıcı kullanılarak çözülebileceği vurgulanır. Yapılan çalışma ile %71 oranında nesnelerin tespitinin, %58 oranında ise nesnenin teşhisinin doğru yapıldığı belirtilmiştir.

GPR veri algoritmaları ve bazı yazılım şemalarının belirlenmesi Behar vd. (2008) çalışmalarında önemli sonuçlar olarak dikkat çekmektedir. Belirlenen yazılım araçları ile yer radarı veri sonuçlarının çizdirilmesine yönelik önerilen yöntem, çalışma sonunda SSA tabanlı algoritmaların incelenmesine imkân vermiştir. Ayrıca elde edilen sonuçlar oldukça tatminkârdır. Makalede aşağıdaki veri işlem basamaklarına değinilmektedir.

- 1) Ortalama süzgeci (dikey çalışma low pass süzgeç);
- 2) Çalışan ortalama (yatay çalışma low pass süzgeç);
- 3) Yığın izleri (yatay yönde sıkıştırma);
- 4) Medyan süzgeci (nokta gürültü azaltma);
- 5) Arka plan kaldırma (sığ nesnelere görünür halde mekânsal yüksek geçişli süzgeç);
- 6) Kazanç ayarı (zayıflama kayıplarını düzeltir ve derin nesnelere görünür olması).

Iswandy (2009), çalışmasında benzer test alanı yapımı ile toplanan verilerin değerlendirilmesi ve incelenmesi üzerine çalışma yapmıştır. Bu çalışmanın birinci aşamasında çeşitli ebatlardaki gömülü boru anomalileri irdelenmiştir. Boruların tespitinde şekil 2.2'deki veri işlem aşamalarının tespiti önemli bir sonuç olarak karşımıza çıkar.



Şekil 2.2 Uygulamada kullanılan iş akış şeması

0.5 m ve 1.0 m arası derinliklerde gömülü olan 15 cm'lik metal borular, radar taramaları sonucunda %90'ın üzerinde doğruluk oranıyla tespit edilmiştir. Iswandy'nin (2009) farklı çap, özellik ve derinlikteki gömülü boruların yer radarı ile tespitlerinin başarı ve tespit hassasiyetlerine ait sonuçlar çizelge 2.2'de verilmiştir.

Çizelge 2.2 Farklı çap, özellik ve derinlikteki gömülü boruların yer radarı ile tespitlerinin başarı tablosu (Iswandy 2009)

Hat 1	Gerçek Derinlik (m)	Radargram Derinliği (m)	Fark (m), (Doğruluk [%])
Boru A	2.0	1.8	0.2 (90%)
Boru B	2.0	1.7	0.3 (85%)
Boru C	2.0	2.2	-0.2 (90%)
Boru D	2.0	Onaylanmamış	-
Hat 2	Gerçek Derinlik (m)	Radargram Derinliği (m)	Fark (m), (Doğruluk [%])
Boru A	2.0	1.8	0.2 (90%)
Boru B	1.5	1.4	0.1 (95%)
Boru C	1.0	1.0	0.0 (100%)
Boru D	0.5	0.4	0.1 (98%)
Hat 3	Gerçek Derinlik (m)	Radargram Derinliği (m)	Fark (m), (Doğruluk [%])
Boru A	2.0	Onaylanmamış	-
Boru B	2.0	Onaylanmamış	-
Boru C	2.0	Onaylanmamış	-
Boru D	2.0	2.5	-0.5 (75%)

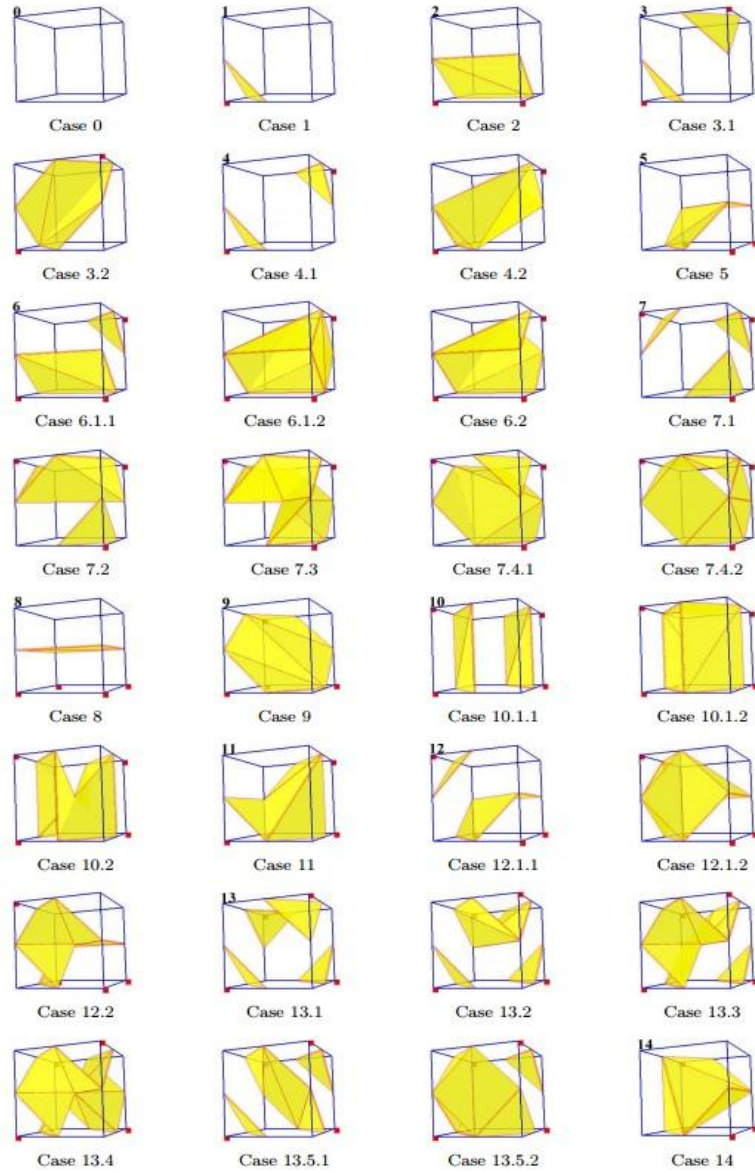
2.3 Bilgi Teknolojileri Araştırmaları

Bu bölümde yazılım açısından yer radarı verilerinin işlenmesi ve görüntülenmesi gibi bilgi teknolojileri konularına giren örnek çalışmalar ele alınmıştır.

Parker vd. (1998), geleneksel paylaşımli bellek ve çok işlemcili bir makinede, çok büyük doğrusal (rectilinear) veri kümelerine ışın izleme (ray tracing) algoritması kullanılarak etkileşimli olarak isosurface tekniğinin uygulanabileceği konusunda çalışma yapmışlardır. Yapılan çalışmada, geometrik nesnenin bütün olarak oluşturulması yerine her piksel için hacimsel veri içerisine gönderilen ışının izlenerek yüzeylerdeki kesişmelerin hesaplanması önerilmektedir. Bu yöntemin yüksek hesaplama maliyeti olmasına rağmen, sadeliği ve ölçeklenebilirliği sayesinde yüksek veri kümeleri için ideal bir yöntem olduğu iddia edilmektedir.

Lewiner vd. (2003), yürüyen küpler algoritması ile ilk kez deneysel verilerin görselleştirilmesini sağlamıştır. Ancak algoritmanın uygulamasının referans tablolarının kullanımına dayandığını ve birçok gelişmelere karşın bu referans tablolarının tutarsız topolojiye sebep olabileceğini de belirtmiştir. Bundan dolayı çalışmalarında Chernyaev tekniğinin uygulanması ile topolojinin doğru sonuç verdiğini göstermişlerdir.

Yürüyen küpler algoritması orijinal referans tablosunda 14 durum belirlenmesine rağmen Lewiner vd. bu 14 durumu genişleterek 33 farklı muhtemel topoloji (Şekil 2.3) tanımlamıştır.



Şekil 2.3 Chernyaev algoritmasının referans tablosu

Jonas vd. (2014), okyanusların 3B hacimli veri gösterimi için çok uygun bir alan olduğunu ifade etmişlerdir. Çalışmada deterministik (inverse distance, IDW) ve geoistatiksel (ordinary kriging, OK) enterpolasyon tekniklerinin performans ve sonuçları karşılaştırılmıştır. Çapraz kontrol ve nitelik yönünden incelenen sonuçlarda OK metodun optimum yöntem olduğu ancak verinin karmaşıklığının artmasıyla OK ile IDW arasındaki hata oranının düştüğü gözlemlenmiştir. 2 yöntemde avantaj ve dezavantajlarının olduğu sonucuna varılmıştır.

Bhalerao vd. (2015), farklı malzemelerden oluşan hacimsel verinin hızlı bir şekilde yeniden görüntülenmesi için bir yöntem önermişlerdir. Sundukları yöntem tüm hacimsel veriyi tekrar taramak yerine sabit açılardan görüntüleme ile hızlarını kolaylaştıran derinlik, renk ve şeffaflık bilgisinin depolanması ile ilgilidir. Işın yönündeki depolanan bilgi (süper-z derinlik tamponlama) malzemelerin hızlı şeffaflık ve renk değişikliklerini, alt nesnelerin konumlarını, çakışma bölgelerini, birbirine karışmış veya ayrı ayrı oluşan geometrilerini temsil eder. Söz konusu yöntem cerrahi planlama ve rehberlik için medikal verilerin görüntülenmesinde de kullanılmıştır. Yaklaşım eşiğinin azaltılmasında derinlik tamponlama tarafından kontrol edilen kodlanmış şeffaflık derecesi çıkış hatasını azaltmaktadır. Aynı zamanda, ara depolama ve birleştirme süresi miktarı da artmaktadır. Ayrıca yüksek şeffaflık birleştirmelerinde de hatalar artmaktadır.

Dokusal görüntüleme sistemleri (cerrahi simülatörler vb.) gibi sabit açılardan görüntülemelerin düşük öncelikli olduğu durumlarda, hızla değişen verinin yeniden görüntülenmesi ve hacmin yeniden üretilmesinde söz konusu yöntem önerilmektedir. Sürekli bakış açının değiştiği durumlarda ise uygun bir yöntem değildir (Bhalerao vd. 2015).

Samet vd. (2016), 4x4 metre karelik alan içerisinde bir gömülü yapı modeli oluşturmuştur. Ortam için toprak, nesnelere için ise beton, öz direnç ve dielektrik katsayıları kullanılmaktadır. Nesnelerin öz dirençleri 100 ohm. metre ve dielektrik katsayıları 6 farad/metre olarak belirlenmiştir. Model farklı profil aralıkları (0.1 m, 0.25 m, 0.5 m) ile paralel olarak ve aynı yönde taranmıştır. Sentetik veri üretilirken yüksek çözünürlük kullanıldığı için 400 MHz anten yeraltını tarama amacıyla kullanılmıştır. Tarama sonucu zaman kesitleri üretiminde kübik, spline ve doğrusal enterpolasyon teknikleri kullanılmıştır. Elde edilen modelin en küçük yapı kalınlığının 0.1 m'den büyük olmasından dolayı yeraltındaki yapının düzgün şekilde görüldüğü tespit edilmiştir. Elde edilen modelde 0.25 m profil aralığı ile üretilen sentetik veride yapının başlangıç, bitiş ve kalınlığı yüksek doğrulukla tespit edilmiştir. Yine modelde 0.5 m profil aralığında bazı bölgelerin olduğundan daha kalın görüldüğü ve bu aralıkta yapının düzgün şekilde elde edilemediği tespit edilmiştir. Sonuç olarak, sentetik veride kullanılan 0.25 m profil aralığının tarama için en uygun aralık olduğu belirtilmiştir.

2.4 Bölüm Değerlendirmesi

Bu bölümün birinci kısmında, yer bilimleri ile ilgili yaklaşımları inceleyen çalışmalar anlatılmıştır. Yaklaşımların avantajları ve dezavantajlarından bahsedilmiştir.

Yer radarlarının gömülü nesnelerin konumlarının bulunmasında ve tiplerinin tespitinde oldukça başarılı olduğundan bahsedilmiştir. Ancak birbiri ile çakışan nesnelerin ve belirli bir boyutun altında olan nesnelerin tespitinin zorlaştığı da belirtilmektedir.

İkinci kısmında, yer radarları verilerinin veri işlemleri ve analizleri ile ilgili yaklaşımları inceleyen çalışmalar anlatılmıştır. Yaklaşımların avantajları ve dezavantajlarından bahsedilmiştir.

Yer radarları ile toplanan çok sayıda radargramın yorumlanması için birçok veri işlem aşamasından geçtiği ve bu işlemler için çok zaman harcandığını vurgulanmaktadır. Bu işlemlerin kolaylaştırılması için çeşitli yöntemler geliştirildiği ve bu işlemlerin otomatize edilebildiği önerilen bir çalışmada görülmektedir (Pasolli vd. 2009). Buna ek olarak kullanılan yöntemlerin farklı yöntemler ile birlikte kullanılması ile daha iyi sonuçlar elde edilebileceği de belirtilmektedir (Zhu vd. 2014).

Son kısımda, özellikle verilerin görüntülenmesine yönelik olarak bilgi teknolojileri yaklaşımlarını inceleyen çalışmalar anlatılmıştır. Yaklaşımların avantajları ve dezavantajlarından bahsedilmiştir.

Bilgi teknolojilerine yönelik çalışmalar daha çok 3B modelleme ve görüntüleme üzerinedir. Burada karşılaşılan en önemli problem hacimsel verinin boyutunun yüksek olması ve iş yükünün fazla olmasıdır. Söz konusu problemleri çözmek amacıyla çeşitli yöntemler önerilmiştir (Lewiner vd. 2003). Özellikle yürüyen küpler ve ışın atma ve ışın izleme gibi algoritmalar verinin 3B olarak sadece ilgili alanlarının gösterimine dayanmaktadır.

3. 2 BOYUTLU YER RADARI GÖRÜNTÜLERİNDEN 3 BOYUTLU GÖRÜNTÜ ELDE ETME METODOLOJİSİ

Bu tez çalışmasında, 2B yer radarı verilerini işleyen, geliştiren ve yorumlanması kolay bir 3B görüntü oluşturan 3 aşamalı bir metodoloji önerilmektedir.

1. Yer radarı verilerinin okunması ve veri işlem tekniklerinin yapılması.

İlk aşama; değişik formatlarda toplanan ham verinin yorumlanabilir hale getirilmesi için gerekli işlemleri kapsar. Bu aşama ile hem gürültülerin temizlenmesi hem de anomalilerin ortaya çıkarılmasına yönelik sonuçlara yönelik işlemler gerçekleştirir. Bazı veri işlem teknikleri zorunlu olarak uygulanması gerekirken, bazılarının ise ihtiyaca ve deneyime bağlı olarak kullanıcının tercihine bırakılmıştır. Bölüm 3.1’de veri işlem teknikleri ayrıntılı olarak anlatılmaktadır.

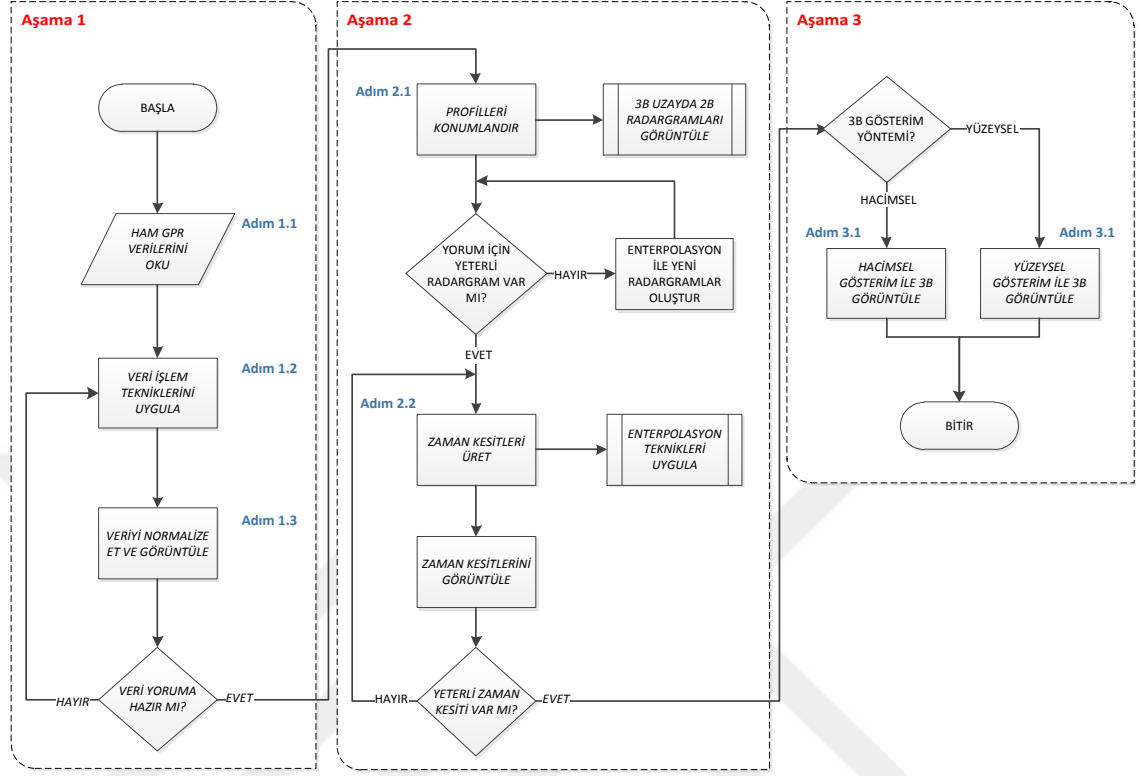
2. Profillerin konumlandırılması ve zaman kesitlerinin üretilmesi.

İkinci aşama; profillerin gerçeğe uygun konumlarına yerleştirilmesi ve enterpolasyon tekniklerinin uygulanması ile ilgili işlemleri kapsamaktadır. Bu aşamada ana hedef radargramların dikey yönde seviye katlarının çıkartılarak zaman kesitleri oluşturulur. Zaman kesitlerinin oluşturulmasında enterpolasyon teknikleri oldukça önemlidir. Anomalilerin bulunduğu bölge üzerine yoğunlaştırılması ve zaman kesiti sayısının doğru belirlenmesi de ayrıca önemlidir. Bölüm 3.2’de profillerin konumlandırılması ve zaman kesitlerinin oluşturulması aşaması ayrıntılı olarak anlatılmaktadır.

3. Zaman kesitlerinin 3B görüntülenmesi.

Üçüncü ve son aşama; işlenmiş verilerin 3B ortamda görüntülenmesi için gereken işlemleri kapsamaktadır. Bu aşamada “hacimsel gösterim” ve “yüzeysel gösterim” teknikleri kullanılmaktadır. Her iki teknik ile yorumlama açısından farklı 3B görüntüler elde edilir. Bölüm 3.3’de detaylı olarak verilen son aşama ile 3B hedef görüntünün nasıl elde edileceği anlatılmaktadır.

Geliştirilen metodolojinin akış şeması şekil 3.1’de verilmektedir.



Şekil 3.1 Metodolojinin akış şeması

Şekil 3.1’de görülen ilk aşamada ham yer radarı verileri okunur ve çeşitli veri işlem aşamaları uygulanır. İkinci aşamada profillerin konumlandırılması yapılır ve zaman kesitlerinin üretimi sağlanır. Üçüncü aşamada ise işlenmiş radargramların ve enterpole edilmiş zaman kesitlerinin 3B görüntülenmesi yapılır. Bu bölümde, üç aşama ile ilgili yöntemler ayrıntılı bir şekilde ele alınacaktır.

3.1 Yer Radarı Verilerinin Okunması ve Veri İşlem Tekniklerinin Yapılması

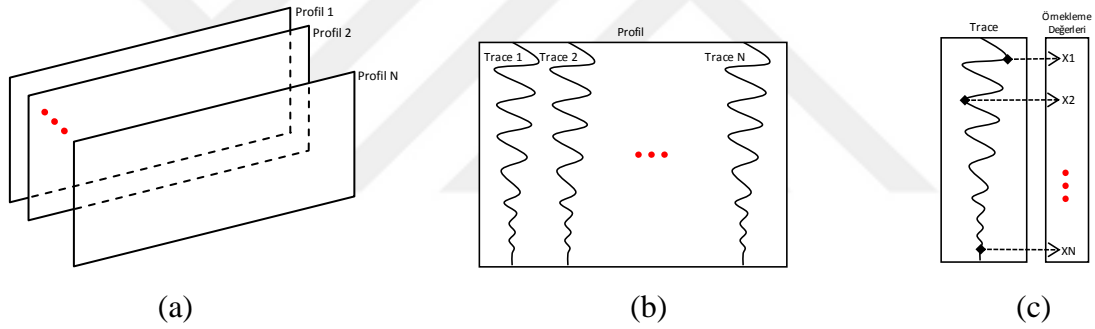
3.1.1 Ham Yer Radarı Verilerinin Okunması

Yer radarı üreten firmaların çoğu kendi veri formatını geliştirmiştir. Bu formatlardan bazılarının içeriği gizli, bazılarının içeriği ise açık olarak piyasaya sunulmuştur. Metodolojinin sonraki aşamalarında yer radarı ile toplanan verilerin kullanılabilmesi

maksadıyla çeşitli formatlardaki verilerin (örneğin; .dzt, .segy, .rd3, vb.) okunarak standart bir yapıya (örneğin; .vti vb.) dönüştürülmesi gerekmektedir.

Yer radarı veri formatlarının içeriği genel olarak 2 kısımdan oluşmaktadır. Dosya formatının ilk kısmı üst verileri tanımlayan başlık (header) bölümü, diğeri ise verinin sayısal değerlerini saklayan içerik (body) bölümüdür. Bu 2 bölüm tek bir dosyada olacağı gibi farklı dosyalarda da saklanabilir. Dosyanın başlık bilgileri ile kullanılan yer radarı ayar bilgileri, toplanan iz bilgisi, uzunluk ve derinlik bilgileri gibi önemli bilgilere ulaşılır.

Yer radarı ile toplanan veriler, profillerden, profiller izlerden, izler ise örnekleme değerlerinden oluşmaktadır (Şekil 3.2).



Şekil 3.2.a. Profiller, b. İzler, c. Örnekleme değerleri

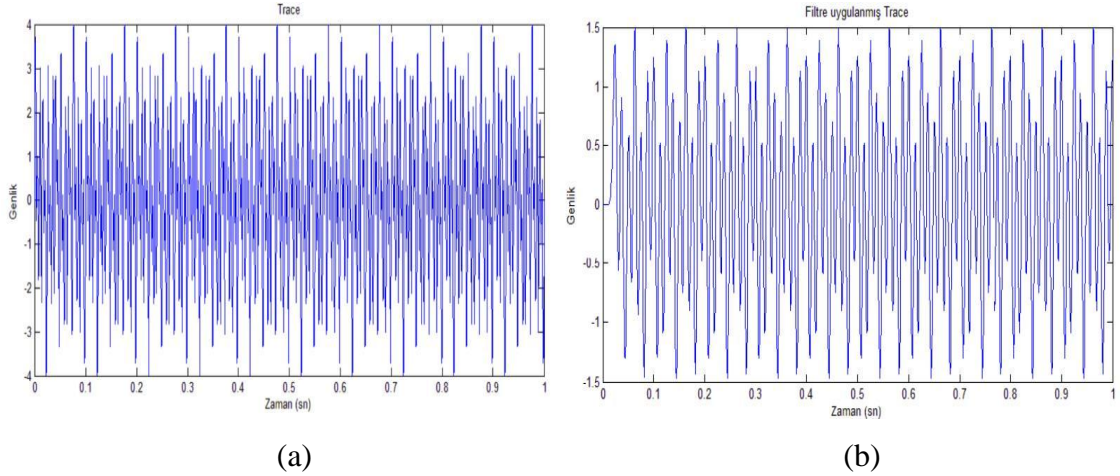
3.1.2 Veri İşlemlerinin Yapılması

Veri işlem teknikleri, çeşitli markalara ait yer radarı cihazları ile toplanan ham verilerin yorumlanmaya hazır hale getirilinceye kadar uygulanan bazı matematiksel işlemleri kapsar. Yer radarı verilerine uygulanacak veri işlem tekniklerinin bir kısmı gerekli iken bir kısmı ise verinin durumuna ve yorumcunun ihtiyaç ve deneyimlerine bağlı olarak uygulanmaktadır. Yaygın olarak uygulanan veri işlem teknikleri aşağıda sunulmaktadır. Veri işlem teknikleri örneklerindeki görüntülerin üretiminde Matlab MatGPR uygulamasından faydalanılmıştır.

- Alçak Geçişli Süzgeç (Low Pass Filter)
- Yüksek Geçişli Süzgeç (High Pass Filter)
- Band Geçişli Süzgeç (Band Pass Filter)
- Band Durdurucu Süzgeç (Band Stop Filter)
- Ortalama Süzgeci (Mean)
- Ortanca Süzgeci (Median)
- Akım Düzeltmesi (Dewow)
- Arkaplan Kaldırma (Background Removal)
- DC Öteleme (DC Shift)
- Yeniden Örnekleme (Resampling)
- Otomatik Kazanç Kontrolü (AGC)
- Doğrusal Kazanç (Linear Gain)
- Üstel Kazanç (Logarithmic Gain)
- Dekonvolüsyon
- Migrasyon
- Başlangıç Noktası Kaydırma (Move Start Time)

Alçak Geçişli Süzgeç (Low Pass Filter): Frekansları belirli bir frekanstan küçük verileri geçiren süzgeçlerdir. Şekil 3.3.a'da frekansları 30 Hz, 80 Hz, 120 Hz ve 200 Hz'lik sinüzoidaller oluşan bir sinyal görülmektedir.

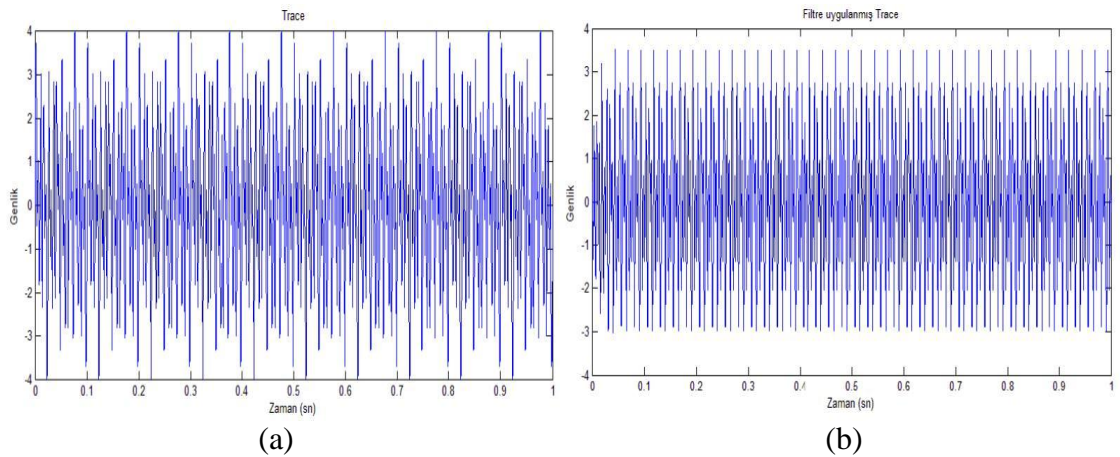
Bu sinyal için alçak kesme frekansı 100 Hz olarak belirlenmiştir. Süzgeç işlemi sonucunda 100 Hz'in altında kalan sinüzoidallerin (30 Hz ve 80 Hz) sinyalde kalması, diğerlerinin (120 Hz ve 200 Hz) sinyalden atılması beklenmektedir. Şekil 3.3.b'de alçak geçiş süzgeci uygulanmış sinyal görülmektedir.



Şekil 3.3.a. 30 Hz, 80 Hz, 120 Hz ve 200 Hz'lik frekans bileşenleri içeren sinyal, b. alçak geçiş uygulanmış ve 100 Hz üzeri sinüzoidallerin atıldığı sinyal

Yüksek Geçişli Süzgeç (High Pass Filter): Frekansları belirli bir frekanstan daha büyük olan verileri geçiren süzgeçlerdir. Şekil 3.4.a'da frekansları 30 Hz, 80 Hz, 120 Hz ve 200 Hz'lik sinüzoidaller oluşan bir sinyal görülmektedir. Bu sinyal için yüksek kesme frekansı 100 Hz olarak belirlenmiştir.

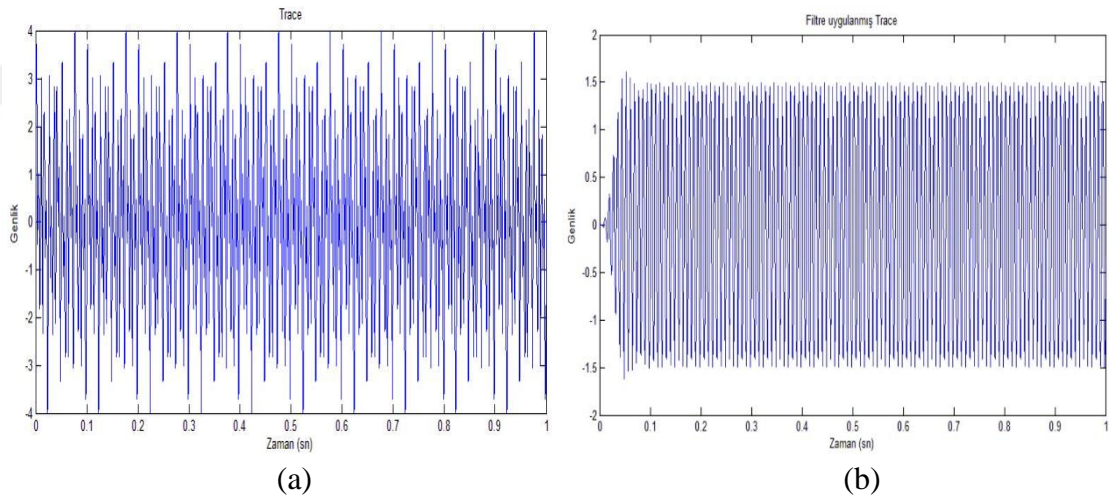
Süzgeç işlemi sonucunda 100 Hz'in üstündeki sinüzoidallerin (120 Hz ve 200 Hz) sinyalde kalması, diğerlerinin (30 Hz ve 80 Hz) sinyalden atılması beklenmektedir. Şekil 3.4.b'de yüksek geçiş süzgeci uygulanmış sinyal gözükmektedir.



Şekil 3.4.a. 30 Hz, 80 Hz, 120 Hz ve 200 Hz'lik frekans bileşenleri içeren sinyal, b. yüksek geçiş uygulanmış ve 100 Hz altındaki sinüzoidallerin atıldığı sinyal

Band Geçişli Süzgeç (Band Pass Filter): İki farklı frekans arasında olan verileri geçiren süzgeçlerdir. Şekil 3.5.a'da frekansları 30 Hz, 80 Hz, 120 Hz ve 200 Hz'lik sinüzoidaller oluşan bir sinyal görülmektedir.

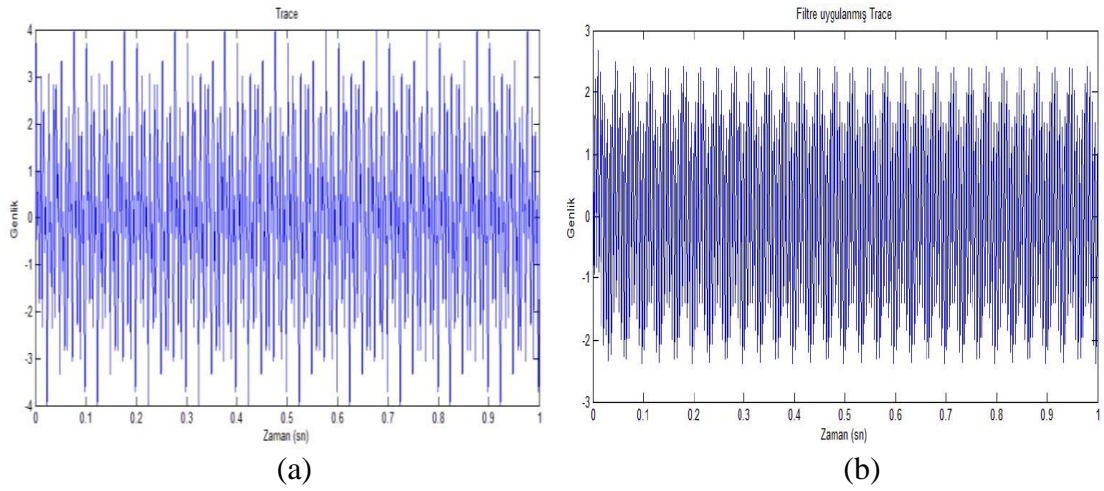
Alçak kesme frekansı 100 Hz, yüksek kesme frekansı 140 Hz olarak belirlenmiştir. Süzgeç işlemi sonucunda 100 Hz ile 140 Hz arasında olan 120 Hz lik sinüzoidalın sinyalde kalması, diğerlerinin (30 Hz, 80 Hz ve 200 Hz) sinyalden atılması beklenmektedir. Şekil 3.5.b'de band geçişli süzgeç uygulanmış sinyal görülmektedir.



Şekil 3.5.a. 30 Hz, 80 Hz, 120 Hz ve 200 Hz'lik frekans bileşenleri içeren sinyal, b. band geçiş uygulanmış ve 100 Hz ile 140 Hz arasındaki sinüzoidallerin geçtiği sinyal

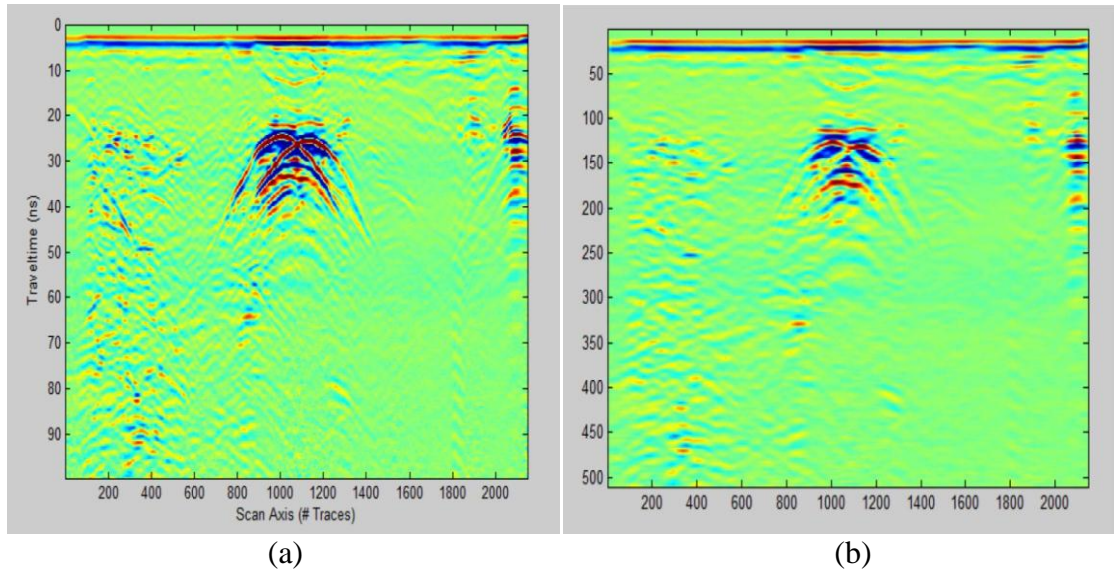
Band Durdurucu Süzgeç (Band Stop Filter): İki farklı frekans arasında olan verileri yok eden süzgeçlerdir. Şekil 3.6.a'da frekansları 30 Hz, 80 Hz, 120 Hz ve 200 Hz'lik sinüzoidaller oluşan bir sinyal görülmektedir.

Alçak kesme frekansı 60 Hz, yüksek kesme frekansı 150 Hz olarak belirlenmiştir. Süzgeç işlemi sonucunda 60 Hz ile 150 Hz arasında olan sinüzoidallerin (80 Hz ve 120 Hz) sinyalden atılması, diğerlerinin (30 Hz ve 200 Hz) sinyalde kalması beklenmektedir. Şekil 3.6.b'de band durdurucu süzgeç uygulanmış sinyal görülmektedir.



Şekil 3.6.a. 30 Hz, 80 Hz, 120 Hz ve 200 Hz'lik frekans bileşenleri içeren sinyal, b. band durdurucu uygulanmış ve 60 Hz ile 150 Hz arasındaki sinüzoidallerin atıldığı sinyal

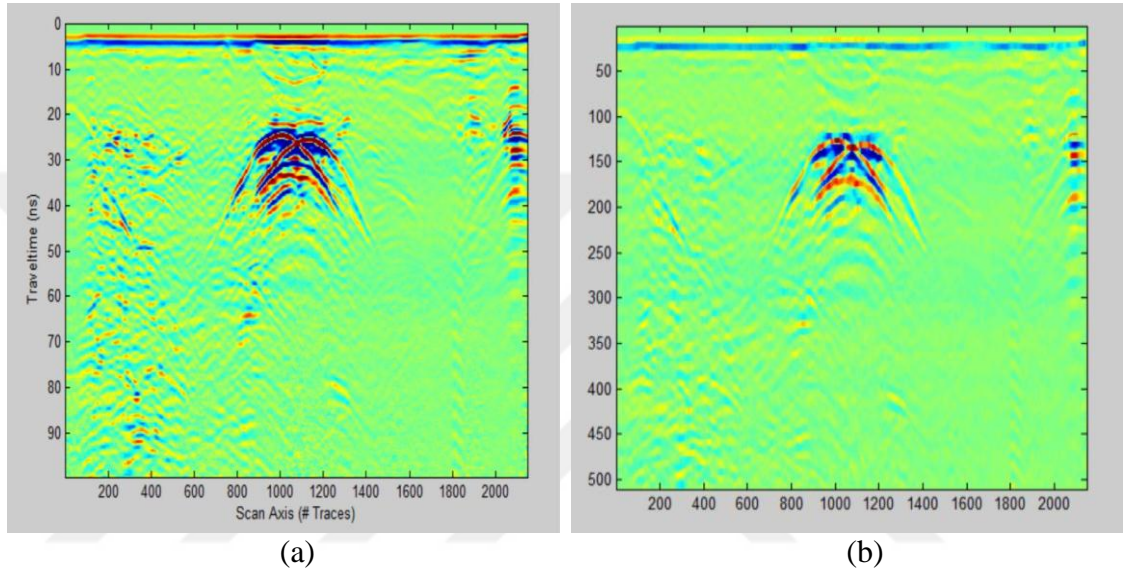
Ortalama Süzgeci (Mean): Ortalama süzgeci, radargramda her bir satırın ortalaması çıkarılarak görüntüyü gürültüden ayırmak amacıyla kullanılmaktadır. Bu süzgeç her bir ize (trace) uygulanabileceği gibi tüm radargrama da uygulanabilir. Ortalama süzgeci uygulandıktan sonra şekil 3.7.b'deki görüntüde yumuşama ve gürültülerin yok olduğu görülmektedir.



Şekil 3.7.a. İşlem öncesi radargram görüntüsü, b. Ortalama süzgeci uygulanmış radargram görüntüsü

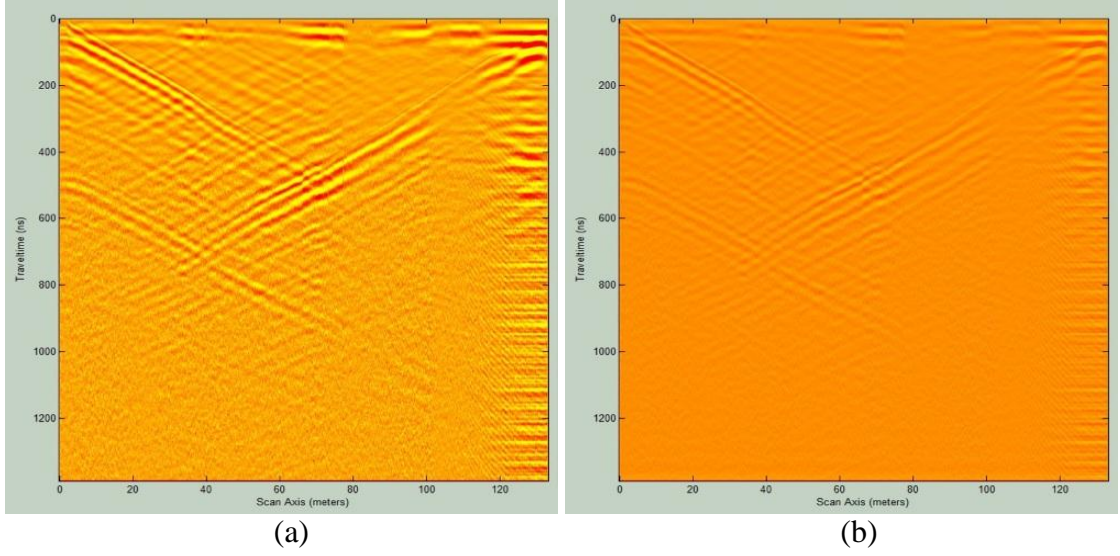
Ortanca Süzgeci (Median): Ortanca süzgeci, radargramda her bir satırın medyanı çıkarılarak görüntüyü gürültüden ayırmak amacıyla kullanılmaktadır. Bu filtre her bir ize (trace) uygulanabileceği gibi tüm radargram verisine de uygulanabilir.

Ortanca Süzgeci uygulandıktan sonra şekil 3.8.b'deki görüntüde yumuşama ve gürültülerin yok olduğu görülmektedir.



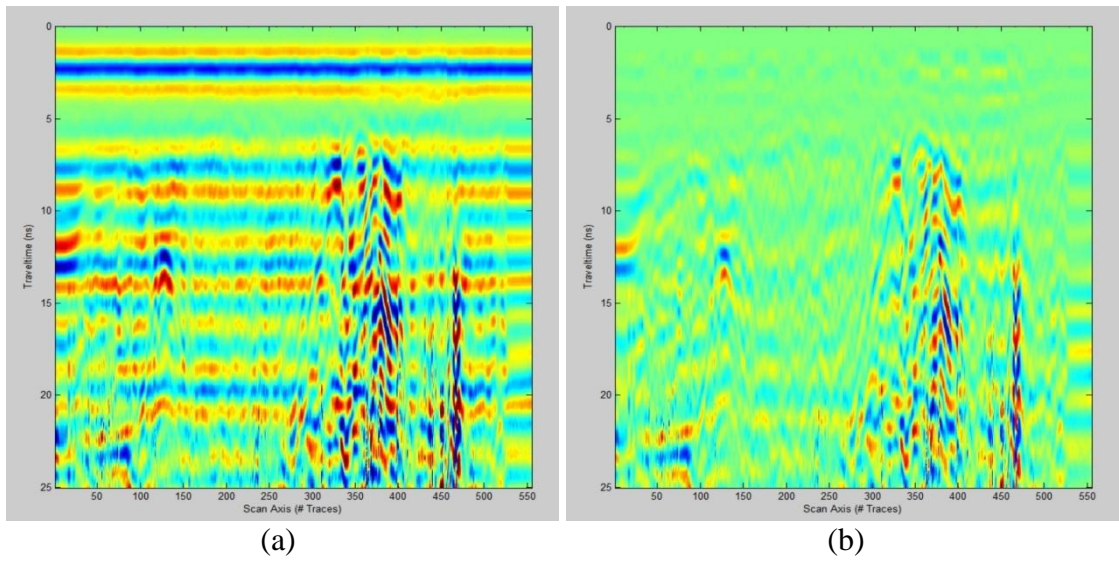
Şekil 3.8.a. İşlem öncesi radargram görüntüsü, b. Ortanca süzgeci uygulanmış radargram görüntüsü

Akım Düzeltmesi (Dewow): Yer radarı verilerinde çok düşük frekanslı gürültüler gerçek olayları örtmektedir. Buna “wow” etkisi denir. Bu etkiyi gidermek amacıyla yapılan süzgeçlemeye “dewow” adı verilir. Bu süzgeç düşük frekanslı sinyallerin atılması amacıyla kullanılmaktadır. Akım düzeltmesi uygulandıktan sonra şekil 3.9.b'deki görüntüde yumuşama ve gürültülerin yok olduğu görülmektedir.



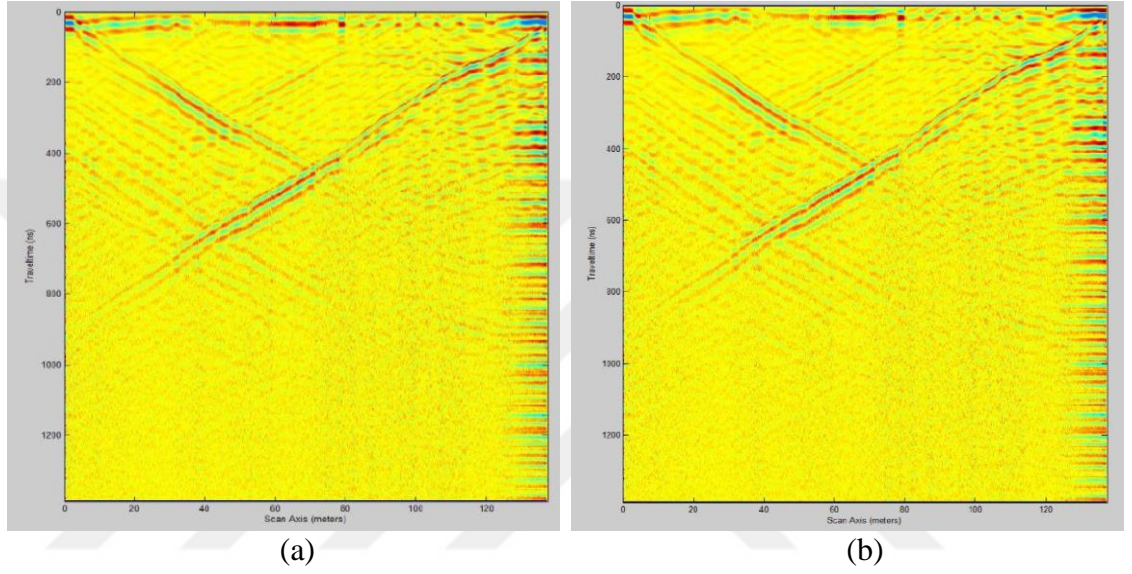
Şekil 3.9.a. İşlem öncesi radargram görüntüsü, b. Akım düzeltmesi uygulanmış radargram görüntüsü

Arkaplan Kaldırma (Background Removal): Yer altına gönderilen dalgaların sert zeminlerden yansıyan dalganın frekans bandı ve genliğine çok yakın yüzeyden yansıyan dalganın tekrarlanması sonucunda yatay eksenli gürültüler oluşmaktadır. Arkaplan kaldırma işlemi sonrası eğimli olaylar daha belirgin hale gelirken, yatay olaylar da kaybolmaktadır. Şekil 3.10.b'deki verinin üst kısmındaki yatay olayların kaybolduğu, orta kısımlardaki eğimli olayların ise belirgin hale geldiği görülmektedir.



Şekil 3.10.a. İşlem öncesi radargram görüntüsü, b. Arkaplan kaldırma uygulanmış radargram görüntüsü

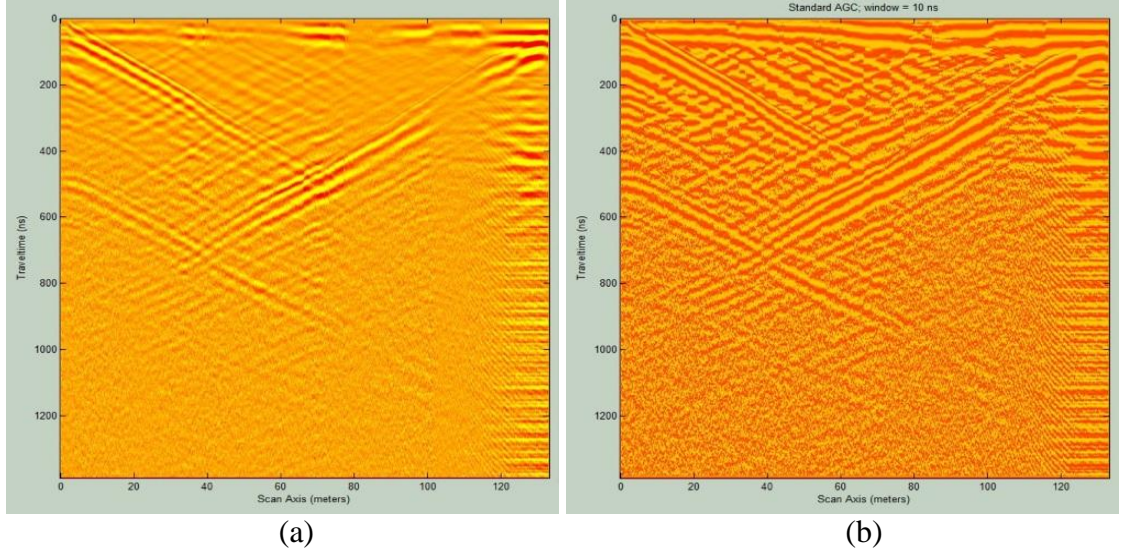
DC Öteleme (DC Shift): Radar aletinin ölçümleme hatalarından dolayı alınan ölçüm değerleri dikey olan sıfır çizgisinden sağa veya sola kaymış şekilde konumlanır. Bu olay “DC öteleme” olarak adlandırılır. DC öteleme uygulamasında, giriş verisindeki her bir izin ortalaması alınır ve izin kendisinden çıkartılır. Radar aletinin kalibrasyonları tam olduğunda DC öteleme uygulaması veriyi etkilemez. Şekil 3.11’de DC öteleme örneği gözükmemektedir.



Şekil 3.11.a. İşlem öncesi radargram görüntüsü, b. DC öteleme uygulanmış radargram görüntüsü

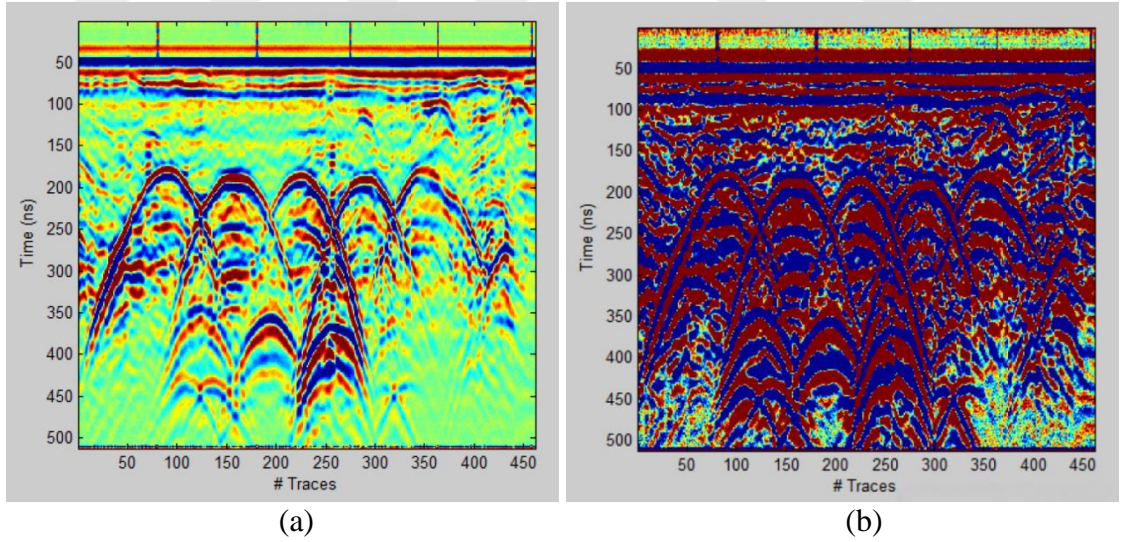
Yeniden Örnekleme (Resampling): Saniyede alınan örnek sayısının yeniden düzenlenerek çözünürlüğünün artırılması amacıyla kullanılır. Basit anlamda bir enterpolasyon yani ara değer bulma işlemidir. Yer radarı verisi için, düzey ekseninde (zaman) yeniden örnekleme yapılabileceği gibi, yatay ekseninde de (profil boyu) yeniden örnekleme yapılabilir.

Otomatik Kazanç Kontrolü (AGC): Radar verisi zamanla çok hızlı sönümlendiği için derinlerden gelen genlik bilgisi yüzeye yakın bölgelere göre daha zayıf olur. Bu olumsuzluğu gidermek amacıyla veriye genlik kazanç düzeltmesi uygulanır. Şekil 3.12’de AGC örneği gözükmemektedir.



Şekil 3.12.a. İşlem öncesi radargram görüntüsü, b. Otomatik kazanç kontrolü uygulanmış radargram görüntüsü

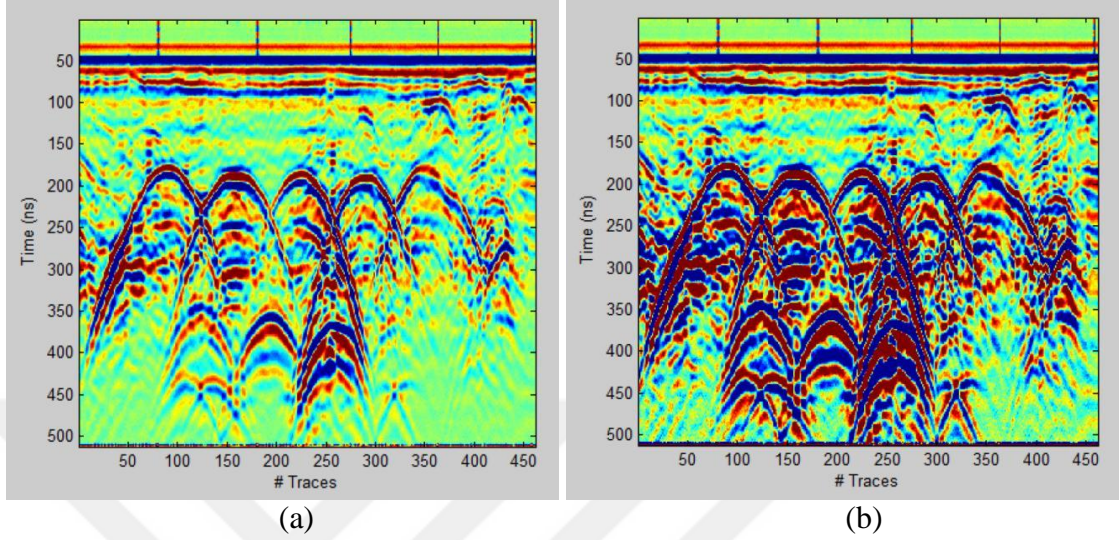
Doğrusal Kazanç (Linear Gain): Radar verisinde zayıf olan derinlerdeki veriyi kuvvetlendirmek için uygulanır. Şekil 3.13’de doğrusal kazanç örneği görülmektedir.



Şekil 3.13.a. İşlem öncesi radargram görüntüsü, b. Doğrusal kazanç uygulanmış radargram görüntüsü

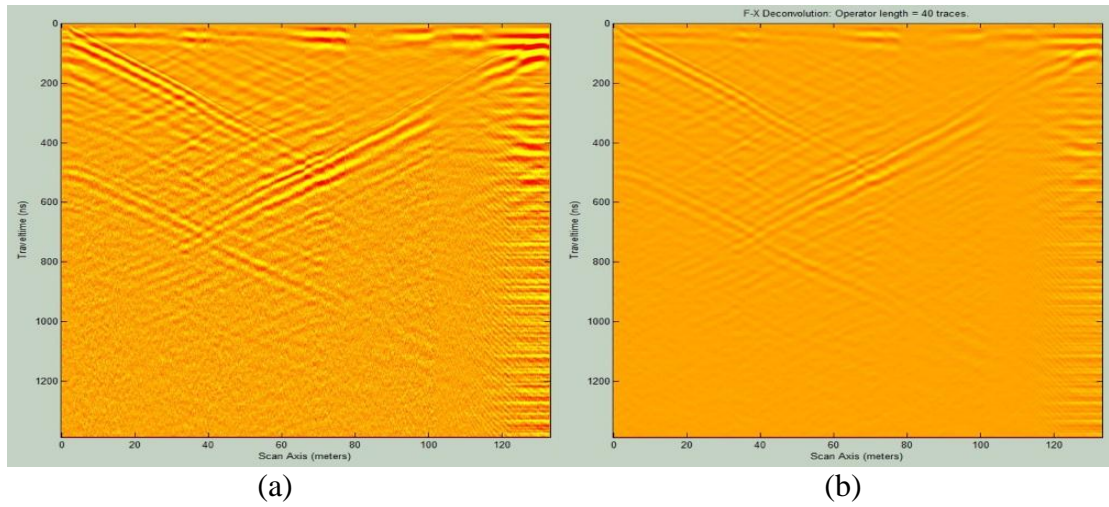
Üstel Kazanç (Logarithmic Gain): GPR verilerinde, derinlere doğru dalga soğrulmasından dolayı genlik kaybı gözlenmektedir. Dalga soğrulması da, derinlikle üstel olarak gerçekleşir. Üstel kazanç uygulanırken, yüzeye yakın kısımlardaki genlik

değerleri fazla değiştirilmezken derinlere doğru logaritmik olarak artırılır. Şekil 3.14’de üstel kazanç örneği gözükmemektedir.



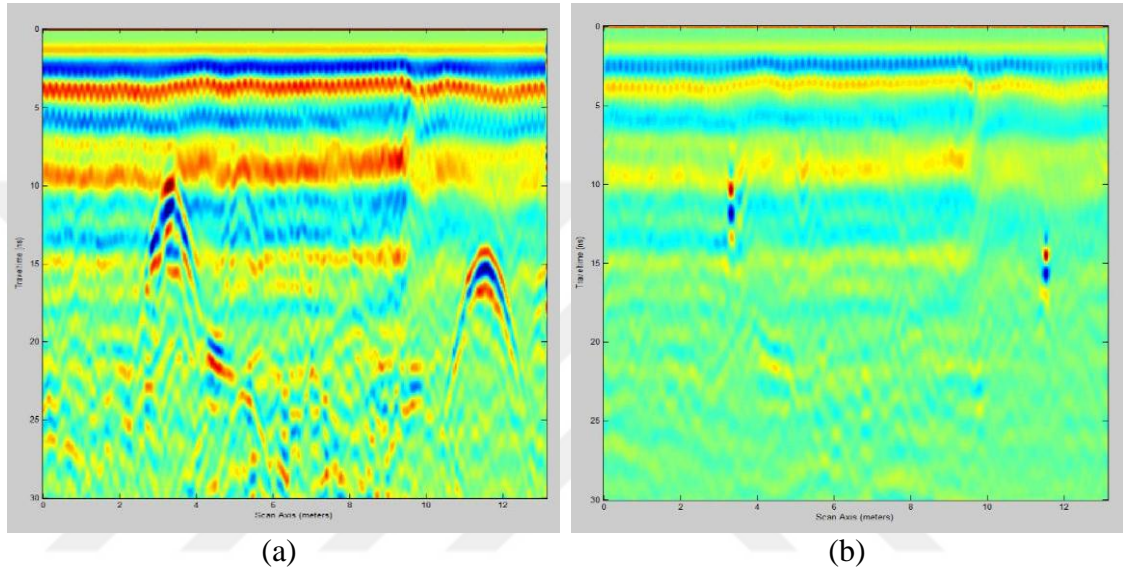
Şekil 3.14.a. İşlem öncesi radargram görüntüsü, b. Üstel kazanç uygulanmış radargram görüntüsü

Dekonvolüsyon: Veri çözünürlüğünü arttırmak için yapılan bir işlemdir. Elektromanyetik dalgalar yer altına doğru ilerledikçe soğrulmadan dolayı genişler. Dekonvolüsyon, genişleyen dalgacığı sıkıştırarak yansıma katsayılarının elde edilmesi için kullanılır. Şekil 3.15.b’de yansımaların belirgin hale geldiği görülmektedir.



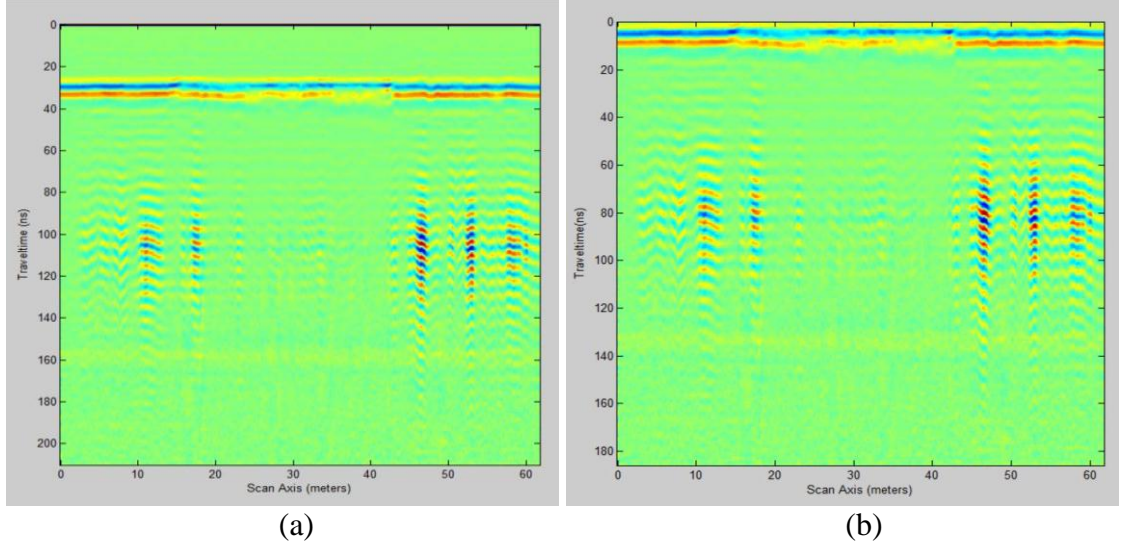
Şekil 3.15.a. İşlem öncesi radargram görüntüsü, b. Dekonvolüsyon uygulanmış radargram görüntüsü

Migrasyon: Yer altının eğimli tabakalardan oluştuğu durumlarda kaydedilen veri gerçek yerinde değildir. Migrasyon, verileri gerçek yerlerine taşıyan bir işlemdir. GPR verilerinde yer altındaki bir cisim veride hiperbol şeklinde görülür. Migrasyon işlemi sonucunda bu hiperboldeki genlikler tepe noktasında toplanır. Şekil 3.16.b’de hiperbol şeklindeki görüntülerin kaybolduğu ve tepe noktasında toplandığı, yansımaların belirgin hale geldiği görülmektedir.



Şekil 3.16.a. İşlem öncesi radargram görüntüsü, b. Migrasyon uygulanmış radargram görüntüsü

Başlangıç Noktası Kaydırma (Move Start Time): Direk gelen elektromanyetik dalganın, alıcıya ulaşması sırasında geçen zamanın veriden atılması işlemidir. Diğer bir ifadeyle, verinin $t = 0$ zamanını değiştirme işlemidir. Şekil 3.17.b’de ilk gelen genlikler radargramın en üst kısmına yerleşmektedir.



Şekil 3.17.a. İşlem öncesi radargram görüntüsü, b. Başlangıç noktası kaydırılan radargram görüntüsü

3.1.3 Verinin Normalizasyonu ve Görüntülenmesi

Veri işlem teknikleri aşamasında ve sonrasında verinin görselleştirilmesi oldukça önemlidir. Farklı genlikler sonucu farklı sayısal veriler içeren yer radarı verilerinin yorumcu gözüyle anlaşılabilir olması için veriler görselleştirilir.

Yer radarı verilerindeki örnekleme değerleri (Şekil 3.2 (c)), genellikle tek kanal olarak 8 veya 16 bitlik veri içerir. Bu değerler görüntülenirken 256 ila 65.536 farklı değeri temsil eder ve gri bir görüntü oluşmasını sağlar. Bu verilerin RGB renk uzayında görüntülenebilmesi için bu değerlerin 3 kanala dağıtılması ve her bir veri aralığına bir renk ataması yapılması gerekir. Bu renk ataması doğrusal artan/azalan olabileceği gibi keskin geçişlerle de yapılabilir. Doğrusal olması görüntünün daha yumuşak geçişli olmasını ve daha fazla renk sunmasını sağlar.

Verinin görüntülenmesi sırasında genellikle veriler 3 kanalda 0-255 değerleri arasına normalleştirilir. Veri işlem aşaması sonucunda radargram verileri orijinale kıyasla farklı bir veri aralığında oluşabilir. Minimum ve maksimum değerlerin bu şekilde değişmesi sonucunda farklı renklere görüntüler oluşabilmekte ve bu da yorum yapmayı

zorlaştırmaktadır. Bu konuda yorumcunun hangi aralıklarda hangi renklerle çalıştığına dikkat etmesi gerekir.

Diğer bir problem ise yer radarı verilerinin küçük bir aralıkta yoğunlaşması ve anomalinin bulunduğu bölgelerin diğer bölgelerden ayrıştırılamamasıdır. Böyle bir durumda iki çözüm uygulanır. İlk çözüm, yoğunlaşan verinin geniş bir aralığa normalleştirilmesidir. Burada dikkat edilmesi gereken durum genliklerin artması veya azalmasıyla anomali olmayan bölgelerin anomali varmış gibi gözükmesidir. Diğer çözüm ise, renk aralıklarının dinamik olarak atanması ile daha küçük aralıkta daha çok renk seçeneği sunulmasıdır.

3.2 Profillerin Konumlandırılması ve Zaman Kesitlerinin Üretilmesi

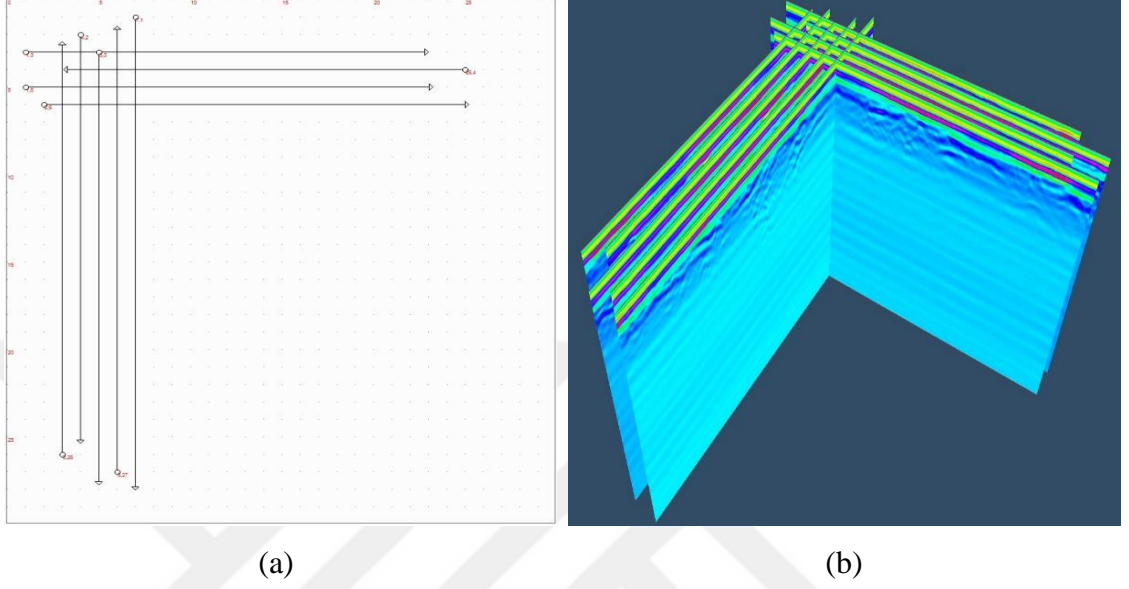
Radargramlara Bölüm 3.1’de bahsedilen veri işlem teknikleri uygulanarak yoruma hazır hale getirilir, sonrasında profillerin konumlandırılması ve zaman kesitlerinin üretilmesi (Şekil 3.1, Aşama 2) aşamasına geçilir.

3.2.1 Profillerin Konumlandırılması

Yer radarı ile ölçüm yapılacağı zaman önce veri toplanacak alanın sınırları, daha sonra ise alanda birbirine paralel veya dik doğrusal ölçüm hatları (profil) belirlenir. Bu profillerin başlangıç ve bitiş noktaları, ölçüm alanının engebeli olması, yer radarının yürütülmesindeki engelleyici unsurlar (duvar, kaya, su akıntısı vb.) veya kullanıcı hataları (gözle tespitteki yanılmalar vb.) gibi durumlarda değişiklik gösterir. Bundan dolayı, kullanıcılar genellikle profillerin başlangıç, bitiş noktalarını ve yönlerini ölçüm esnasında bir ortama kayıt eder ya da GPS destekli yer radarları kullanır.

Hassas ölçümlerle elde edilen radargramların profil konumlarının düzgün bir şekilde sanal ortama aktarılması bir oldukça zor bir işlemdir. Bu durumda aranan nesnenin gözden kaçması, şeklinin farklı algılanması veya konumunun yanlış tespit edilmesi gibi durumlarla karşılaşılır.

Bu adımda profil konumlarının hassas olarak girilebilmesi için ölçeklenebilir bir alan üzerinde profil başlangıç, bitiş noktaları ve yönü belirlenmelidir. Şekil 3.18'de profillerin 2B ve 3B ortamlarındaki konumlanmış görüntüleri gösterilmektedir.



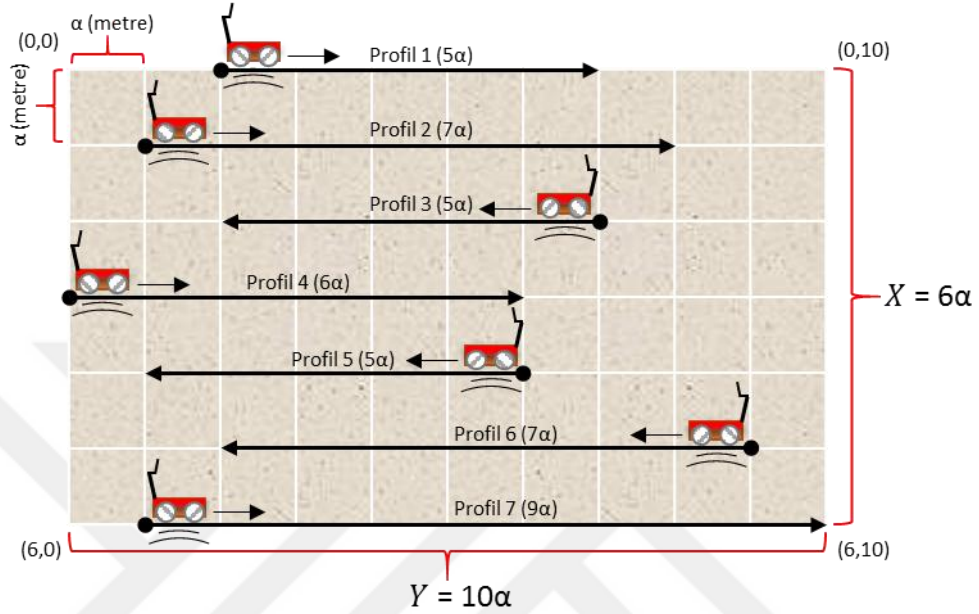
Şekil 3.18.a. Profillerin konumlandırılmış 2B ortamdaki, b. 3B ortamdaki görüntüsü

3.2.2 Zaman Kesitlerinin Üretilmesi

Yer radarının çalışma prensibi yer altına düşey olarak gönderilen elektromanyetik dalgaların yansıması prensibine dayanır. Bundan dolayı, yer radarı kullanıcıya düşey kesit verisi sunar. Düşey kesit, zaman ve derinlik ile ifade edilir. Bu veri kullanıcıya yer altındaki mevcut yapının sadece o profil ile kesiştiği noktalar üzerinde ölçülen bilgileri verebilir. Kullanıcının tüm yapıyı ele alabilmesi için ölçüm yapılan tüm profiller üzerinde radargram verilerini kullanması gerekmektedir.

Zaman kesitlerinin üretilmesi adımı, radargramların eşit derinlik seviyelerindeki verileri iki boyutlu matrislere aktarılır. İki adımda üretilen matrislerden ilki orijinal verileri saklayan ilk matris ($M_{m,n}^1$) ve diğeri ise enterpole edilmiş veriler ile zenginleştirilen ikinci matris ($M_{m,n}^2$) olarak adlandırılır.

Şekil 3.19’de verilen örnekte, birbirine paralel olarak ölçüm yapılan bir alanda, profillerin farklı başlangıç-bitiş noktaları ve yönlerinin olabileceği görülmektedir. Zaman kesit matrislerinin boyutu bu değerler kullanılarak hesaplanır.



Şekil 3.19 Profillerin başlangıç, bitiş noktaları ve yönlerinin konumlanmış görüntüsü

Tarama alanındaki değişkenler aşağıdaki gibidir:

- Profil Sayısı (P) : 7
 Izgara Birim Boyutu (a) : 1 metre
 Tarama Alanı Uzunluğu (Y) : 10 metre
 Tarama Alanı Genişliği (X) : 6 metre
 Profil Uzunlukları (sırası ile) : 5 m, 7 m, 5 m, 6 m, 5 m, 7 m ve 9 m.
 Metre Başına İz Sayısı (T) : 29

1) İlk matrisin oluşturulması:

Orijinal verileri saklayan ilk matrisin ($M_{m,n}^1$) satır sayısı (m) profil sayısına (P)’e eşittir. Sütun sayısı (n) hesaplanmasında ise profillerin min-maks başlangıç ve bitiş noktaları arasındaki uzunluktan faydalanılır. Bu uzunluk tarama alanı uzunluğuna (Y) eşittir. Sütun sayısı, tarama alanı uzunluğunun metre başına iz sayısı ile çarpımına eşittir

($n = Y * T$). Bu değerler kullanılarak ilk matrisin boyutları eşitlik 3.1'deki gibi hesaplanır.

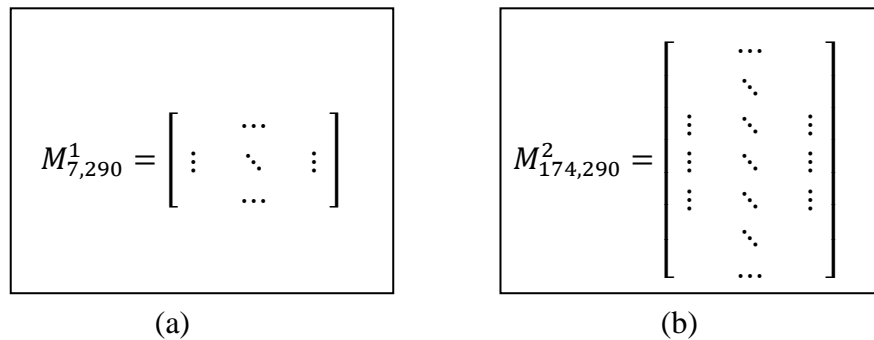
$$\begin{aligned} M_{m,n}^1 &= M_{P,(Y*T)}^1 \\ &= M_{7,(10*29)}^1 \\ &= M_{7,290}^1 \end{aligned} \quad (3.1)$$

2) İkinci matrisin oluşturulması:

Birinci matrisin satır sayısı 7, sütun sayısı ise 290 olduğundan satırlardaki veri miktarı, sütunlardaki veri miktarına oranla düşüktür. Bu sebeple, satır sayısındaki verinin anlaşılır, yorumu kolay bir miktara çıkarılması ve verilerin enterpole edilmesi gerekmektedir. Satır sayısındaki verinin ne oranda enterpole edileceğinin bulunması için ölçüm alanındaki en, boy oranı ($6x10$) ikinci matrise uyarlanmalıdır. Bu değerler kullanılarak ikinci matrisin boyutları eşitlik 3.2'deki gibi hesaplanır.

$$\begin{aligned} M_{m,n}^2 &= M_{n_1 * \frac{x}{y}, n_1}^2 \\ &= M_{290 * (\frac{6}{10}), 290}^2 \\ &= M_{174, 290}^2 \end{aligned} \quad (3.2)$$

Eşitlik 3.2'nin hesaplanması ile 7 olan ilk matrisin satır sayısı 174'e çıkartılmıştır. Sonuç olarak her bir zaman kesitinde kullanılan iki matris şekil 3.20'de gösterilmektedir.



Şekil 3.20 Zaman kesitlerinin üretilmesinde kullanılan matrisler

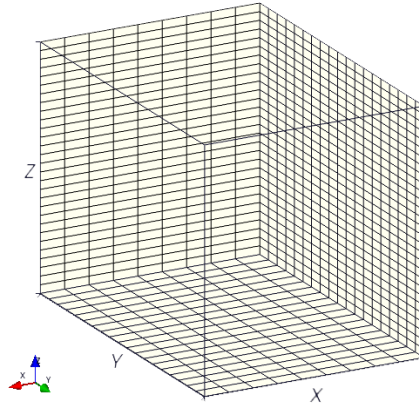
a. Orijinal verileri saklayan ilk matris, b. Enterpole edilmiş ikinci matris

Üretilen zaman kesiti sayısının hesaplanmasında radar verisinin başlık (header) bilgisinden faydalanılır. Burada “Sample Number” değeri bize derinlikteki örnekleme sayısını verir. Maksimum zaman kesiti sayısı genellikle örnekleme sayısını geçmemelidir. Çünkü örnekleme değerleri (derinlik yönünde) arasında üretilen veriler yorumlamada yanılsamalara yol açabilir.

3.3 Zaman Kesitlerinin 3B Görüntülenmesi

Üretilen zaman kesitlerinin 3B olarak görüntülenebilmesi aşamasında VTK kütüphanesinden faydalanılır. VTK kütüphanesi 3B bilgisayar grafikleri, modelleme, görüntü işleme, hacimsel görüntüleme ve görselleştirmede kullanılan açık kaynak bir kütüphanedir.

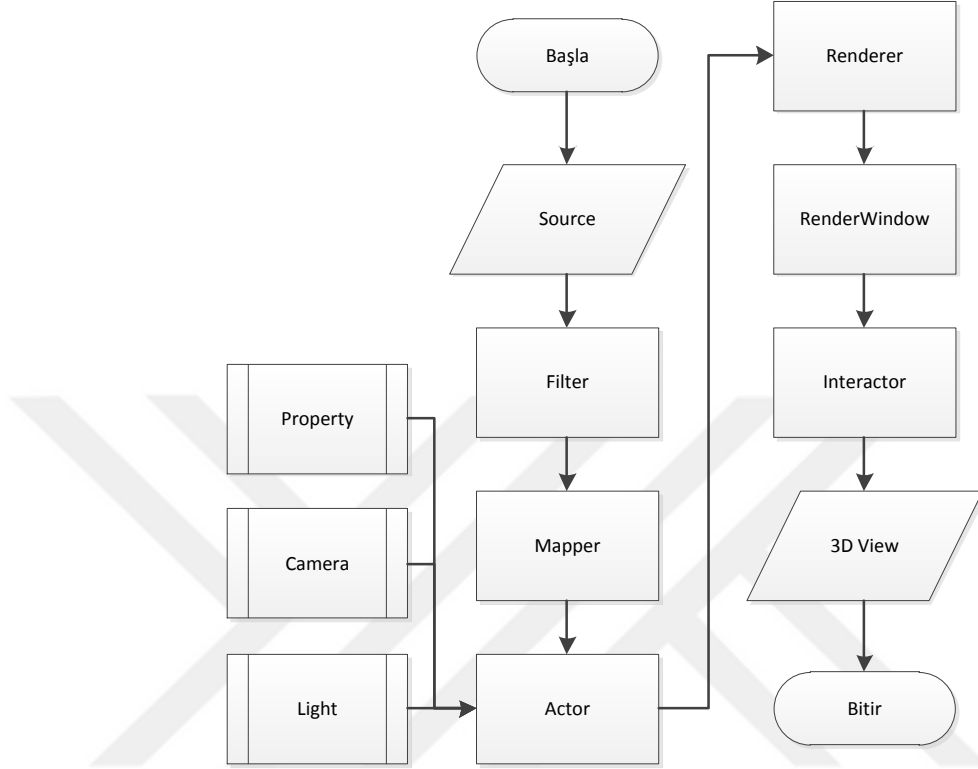
Bu çalışmada kütüphanenin görselleştirme araçlarından faydalanılır. Farklı yer radarı veri formatlarının standart bir formata dönüştürülmesi için öncelikle veri “Visualization Toolkit” veri tiplerinden bir tanesi olan .vti (Image Data [Structured Points]) formatına dönüştürülür (Şekil 3.21). Bu veri formatı yapısal bir tip olmakla birlikte veriler düzenli ve eşit aralıklarda yerleştirilir.



Şekil 3.21 .vti (VTK Image Data [Structured Points]) veri formatı

Veri .vti veri formatına dönüştürüldükten sonra görselleştirme yöntemi seçilir. Bu yöntemler hacimsel gösterim ve yüzeysel gösterimden oluşur. Bu iki görselleştirme yöntemi daha sonra açıklanacaktır. Son adımda ise kullanıcının veriyi anlayabilmesi

için seçilen parametreler kullanılarak bir görselleştirme oluşturulur. VTK’da görselleştirme şekil 3.22’de gösterildiği gibi boru hattı mimarisinden oluşur.



Şekil 3.22 VTK boru hattı (pipeline) mimarisi

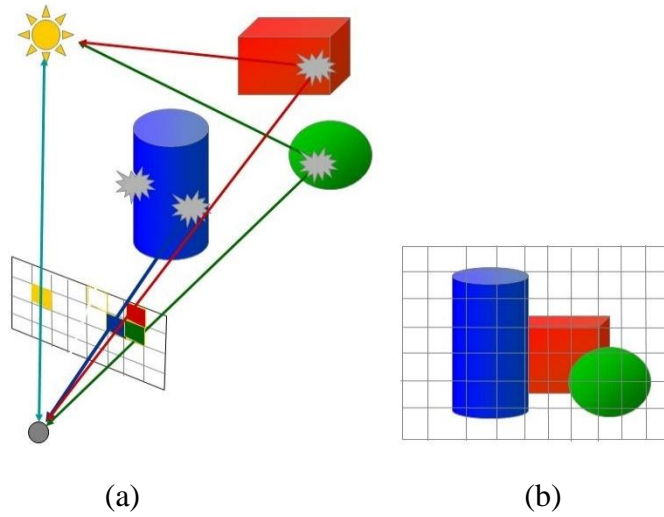
- 1) “Source” adımı, işlem yapılacak kaynak verinin akışa girmesi sağlar.
- 2) “Filter” adımı, verinin çeşitli araçlar ile değiştirilmesi gerçekleşir. Bu araçlar veri dönüşümü, indirgeme ve enterpolasyon gibi araçlardan oluşur.
- 3) “Mapper” adımı, verinin somut nesnelere dönüşümü yapar.
- 4) Somut nesnelere oluşturulduktan sonra “Actor” adımı, görsel özelliklerin ayarlanması sağlar. Bu aşamada gerçekçiliğin sağlanması için gölgelendirme, yansımalar, şeffaflık, aydınlatma (doğal, ışık alanı vb.), gerçekçi materyaller (kadife, cam, boya vb.) gibi efektlerin uygulanması sağlanır.
- 5) “Render” sahnenin yönetilmesini sağlar.
- 6) “RenderWindow” adımı ise grafik pencerelerin yönetilmesi gerçekleştirilir.
- 7) Klavye ve fare gibi etkileşimli bileşenlerin kullanılması da “Interactor” adımıyla gerçekleştirilir.

3.3.1 Hacimsel Gösterim Tekniği ile 3B Gösterim

Hacimsel gösterim hacimli veri setinin iki boyutlu izdüşümlerini görüntüleme tekniđidir.

Hacimsel veriler bilgisayar belleğine sığmayacak kadar büyük olabilmektedir. Bu sebeple verilerin sadece bakış noktasından 2B görüntülenecek şekilde izdüşümü alınması gerekir. Hacimsel verilerin görüntülenmesinde çeşitli görüntüleme teknikleri kullanılmaktadır.

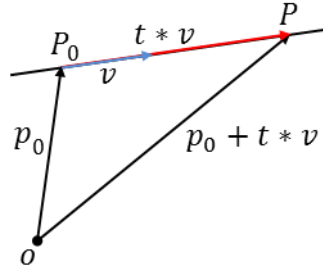
Bu çalışmada ışın atma tekniği kullanılmıştır. Öncelikle bakış noktasından 2B görüntü düzleminde geçecek şekilde ışınlar atılır. Işın görüntü üzerinden geçerken karşılaştığı voksellerin izdüşümünü 2B görüntü düzlemine iz düşürür. Böylelikle görünmeyen verilerin ve başka bir nesne tarafından örtülen verilerin görüntülenmesi de önlenmiş olur. Daha sonra ise kesişen noktadaki rengin hesaplanması yapılır. Şekil 3.23’de ışın atma tekniği çalışma prensibi gösterilmektedir.



Şekil 3.23 Işın atma tekniği çalışma prensibi (Anonymous 2015)

a. Işının hareketi ve yansımaları, b. Işınların 2B düzlemde oluşturduğu görüntü

Eşitlik 3.3’de bir pikselden geçen ışının denklemi hesaplanmaktadır.



Şekil 3.24 Bir pikselden geçen ışın denklemi

$$p = p_0 + t * v \quad (3.3)$$

Burada;

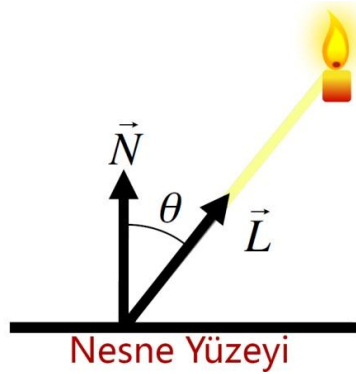
p : Işının düzlemle kesiştiği nokta

p_0 : Bakış noktası (kamera) pozisyonu

v : o noktasından başlayan ve (i, j) pikselinden geçen vektör

t : Zaman

Son adımda, materyalin ışığı nasıl yansıttığı, nesne yüzeyindeki her bir noktanın yansımaya katsayısı ve renginin hesaplanması gerekir (Şekil 3.25).



Şekil 3.25 Işığın nesneden yayılması

Yansıyan ışık için eşitlik 3.4’deki denklem kullanılmaktadır.

$$L_D = K_D * (\vec{N} \cdot \vec{L}) * I \quad (3.4)$$

Burada;

K_D : Yansımaya katsayısı

N : Normal vektör

L : Işık vektörü

Işığın dağılmasında Lambert Modeli kullanılır. Burada öncelikle eşitlik 3.5'deki Lambert katsayısı hesaplanır.

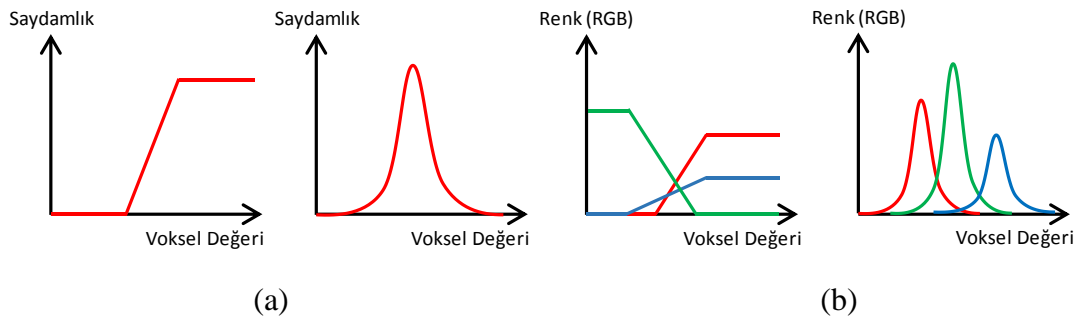
$$\text{float } K = K_D * (\vec{N} \cdot \vec{L}) \quad (3.5)$$

Daha sonra ise pikselin rengi eşitlik 3.6'daki gibi hesaplanır.

$$\begin{aligned} \text{red} &+= K * \text{Light.red} * \text{Materyal.red}; \\ \text{green} &+= K * \text{Light.green} * \text{Materyal.green}; \\ \text{blue} &+= K * \text{Light.blue} * \text{Materyal.blue}; \end{aligned} \quad (3.6)$$

Tüm pikseller için yukarıdaki hesaplamalar yapılmaktadır. Sonuçta bir açıdan görüntülenen 3B nesneden 2B bir görüntü oluşmaktadır. Eğer bu işlem farklı bakış açılarından seri bir şekilde 3B nesneye uygulanırsa algıda nesne 3B olarak görüntülenir.

Görüntülenmek istenen yapı haricinde birçok verinin de 3B hacimsel veri içerisinde olmasından dolayı yapıyı oluşturan genliklerin dışında kalan veriyi görüntüden çıkarmak gerekmektedir. Bu maksatla istenmeyen değer aralıklarının saydamlığı ayarlanarak görüntüden çıkartılması sağlanır. Voksellerin renk ve saydamlık seviyelerini değiştirmek için çeşitli transfer fonksiyonları kullanılır (Şekil 3.26).



Şekil 3.26.a. Saydamlık, b. Renk transfer fonksiyon örnekleri

Hacimsel gösterim tekniğinin VTK’da kullanımını betimleyen temel kod adımları şekil 3.27’de gösterilmiştir.

```
vtkImageData imageData = new vtkImageData();  
CreateImageData(imageData);  
vtkSmartVolumeMapper mapper = vtkSmartVolumeMapper.New();  
vtkVolumeProperty volumeProperty = vtkVolumeProperty.New();  
volumeProperty.ShadeOff();  
vtkVolume volume = new vtkVolume();  
volume.SetMapper(mapper);  
volume.SetProperty(volumeProperty);  
vtkRenderWindow renderWindow = renderWindowControl.RenderWindow;  
vtkRenderer renderer = renderWindow.GetRenderers().GetFirstRenderer();  
renderer.AddVolume(volume);  
renderer.Render();
```

Şekil 3.27 Hacimsel gösterim tekniğinin kullanımını gösteren VTK kod adımları

3.3.2 Yüzeysel Gösterim Tekniği ile 3B Gösterim

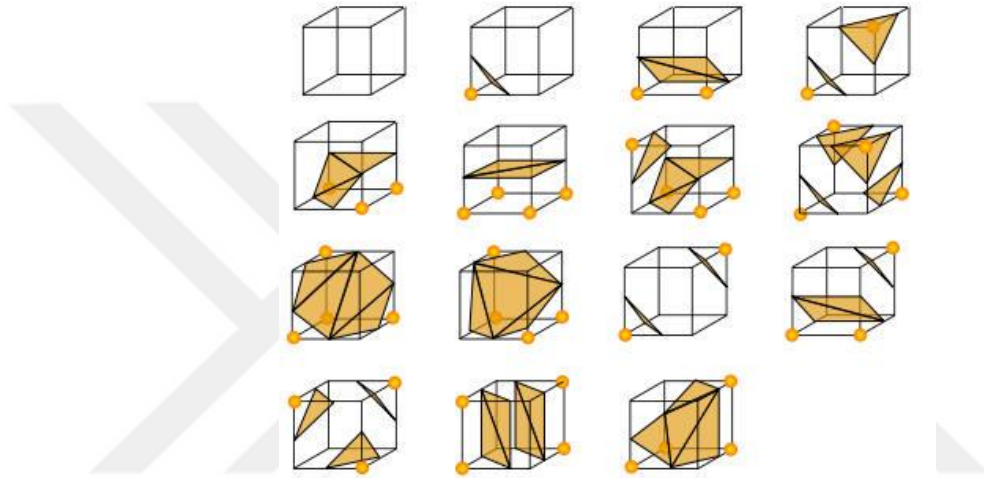
Yüzeysel gösterim tekniği, aynı değerlere sahip alanda yüzeysel bir yapı oluşturma ve gösterim yöntemine dayanır.

Düzgün yapıya sahip olmayan nesnelere kesin fonksiyonlarla gösterilemezler. Bu nesnelere ifade edilebilmeleri için küçük yüzey elemanlarının birleştirilmesi gerekir. Bu tip nesnelere yüzey modelinin oluşturulabilmesi için kullanılacak noktaların gerçek yüzeyi iyi bir biçimde simgelemesi gerekmektedir. Bunun için ilk aşama nesnenin parçalara ayrılması ve eş yüzey eğrilerinin (isosurface) çıkartılmasıdır. Bu eğrilerin çıkartılmasında nesne parçalarındaki yüzey değerlerinden faydalanılır. Bu değer bulunduğundan sonra aynı değerlerdeki noktalar ve arasındaki değerler enterpolasyon yöntemi ile birleştirilirler. Oluşturulan bu farklı değer aralıklarını temsil eden yüzeyle renklendirilerek ve ışıklandırılarak gösterilirler.

Bu çalışmada, yüzey modelinin oluşturulmasında, yürüyen küpler algoritması kullanılmaktadır. Bu algoritma W.E.Lorensan ve H.E.Cline tarafından 1987’de geliştirilmiştir. Bu algoritma ile öncelikle model birim zamanda eş boyutlu küplere

ayrılmaktadır. Her bir küpe voksel adı verilir. Bu vokseller sayısal verinin sekiz komşuluğunu ifade eder. Bu sayısal verinin nesnenin içinde olduğu durumda voksel küpünün içerisine en fazla dört adet üçgen poligon oluşturulur. Aynı işlem nesne ile kesişen diğer küplerdeki noktalar için de yapılır.

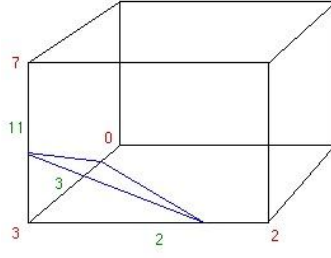
İlk geliştirilen yürüyen küpler algoritmasında 15 tekil durum (Şekil 3.28) üretilmiş olsa da zamanla bu durum 33 duruma kadar genişletilmiştir.



Şekil 3.28 MC Algoritmasından örnek 15 durum (Shroeder vd. 1998)

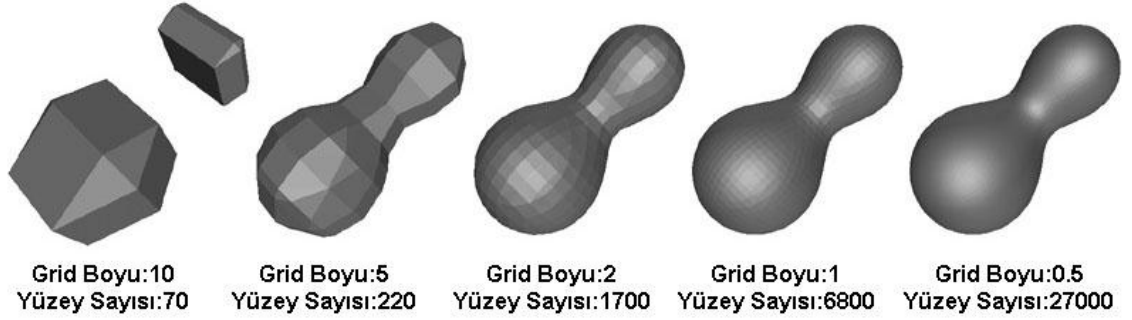
Her bir vokselde 8 köşe bulunduğundan köşe bilgisi 8 bit ile gösterilir ve bu yapı “cubeindex” olarak adlandırılır. Kenar bilgisi ise 12 bit ile temsil edilmekte ve bu yapı “edgetable” olarak adlandırılır. Kenar tablosunun her bir indeksindeki değer 1 ise bu kenar yüzeyini kestiği, 0 ise kesmediği anlamına gelir.

Örneğin; sadece 3 numaralı köşe, yüzeye ait olduğu düşünüldüğünde (Şekil 3.29) $cubeindex = 0000\ 1000$ 'dir. Burada sağ baştan ve sıfıncı rakamdan başlayarak sayıldığında sadece 3 numaralı köşenin varlığı görülmektedir. Ayrıca $edgetable = 1000\ 0000\ 1100$ olmaktadır. Aynı şekilde sağ baştan sayıldığında 2,3 ve 11 numaralı kenarların yüzey ile kesiştiği anlaşılmaktadır.



Şekil 3.29 MC’de vokselin yüzey ile kesiştiği poligon örneği (Bourke, 1994)

Voksellerin oluşturulmasında kullanılan ızgara boyu oldukça önemlidir. Izgara boyu azaldıkça voksellerin yüzeyle kesiştiği bölgelerde oluşturulan poligon sayısı artacağından, nesnenin gerçek görüntüsüne daha da yaklaşılabilecek ve hata katsayısı düşecektir. Şekil 3.30’de görüldüğü gibi ızgara boyunun en küçük olduğu durumda nesne daha geometrik bir şekle sahip olmaktadır.



Şekil 3.30 MC’de grid boyu ile oluşan yüzey sayıları karşılaştırması (Bourke, 1994)

Üretilen zaman kesitlerinin anomali bölgeleri benzer genlik değerleri sunar. Bu değerlerin birbiri ile ilişkisi kurularak yüzey oluşturma tekniği uygulanabilir. Ayrıca farklı yüzey değerlerinin farklı renk ve ışıkla görselleştirilmesi de mümkündür. Yüzeysel gösterim tekniğinin VTK’da kullanımını betimleyen temel kod adımları şekil 3.31’de gösterilmektedir.

```

vtkImageData imageData = new vtkImageData();

CreateImageData(imageData);

vtkMarchingCubes mc = vtkMarchingCubes.New();
mc.GenerateValues(numContours, rangeStart, rangeEnd);

vtkPolyDataMapper mapper = vtkPolyDataMapper.New();
mapper.SetInputConnection(mc.GetOutputPort());

vtkRenderWindow renderWindow = renderWindowControl.RenderWindow;
vtkRenderer renderere = renderWindow.GetRenderers().GetFirstRenderer();

vtkActor actor = vtkActor.New();
actor.SetMapper(mapper);

renderere.AddActor(actor);
renderere.Render();

```

Şekil 3.31 MC algoritmasını kullanarak yüzeysel gösterim tekniğinin kullanımını gösteren VTK kod adımları

3.4 Bölüm Değerlendirmesi

Bu bölümde önerilen metodolojinin adımları incelenmiştir.

İlk aşamada ham yer radarı verilerinin okunması ve veri işlem analizlerinin uygulanması gerçekleştirilmiştir. Bu veri işlemleri aşaması alçak geçişli süzgeç (low-pass filter), yüksek geçişli süzgeç (high-pass filter), band geçişli süzgeç (band-pass filter), band durdurucu süzgeç (band stop filter), ortalama süzgeci (mean), ortanca süzgeci (median), akım düzeltmesi (dewow), arkaplan kaldırma (background removal), DC öteleme (DC shift), yeniden örnekleme (resampling), otomatik kazanç kontrolü (AGC), doğrusal kazanç (linear gain), üstel kazanç (logarithmic gain), dekonvolüsyon, migrasyon ve başlangıç noktası kaydırmadan (move start time) bir veya birkaçının uygulanmasından oluşmaktadır.

İkinci aşamada verinin istenilen aralığa normalizasyonu ve görüntülenmesi yapılır. İlk iki aşama sonucunda yer radarı verisinden yorumlanmaya hazır 2B görüntüsü elde edilir.

Üçüncü aşamada ise, radargramların gerçek profil konumlarına uygun olarak uzamsal pozisyonları üzerinde konumlandırılması sağlanır. Radargramların

konumlandırılmasının ardından zaman kesitlerinin oluşturularak hacimsel gösterim (ışın atma algoritması) ve yüzeysel gösterim (yürüyen küpler algoritması) teknikleri ile 3B olarak görüntülenmesi sağlanır. Sonuçta kullanıcı etkileşimli, 3B ve yorumlanması kolay bir yeraltı yapı görüntüsü elde edilmektedir.



4. ÖNERİLEN METODOLOJİNİN UYGULANMASI VE SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

4.1 Uygulama Platformu

Tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen sistemi uygulamak için kullanılan kişisel bilgisayarın ve yazılımın platformu aşağıdadır.

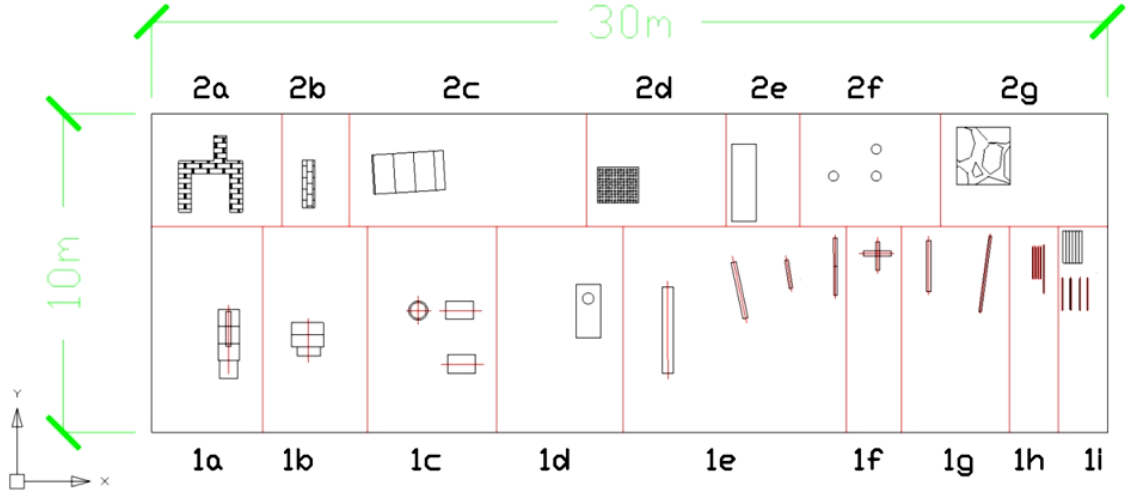
- Intel Core i7-4700QM,
- 2.4 GHz CPU,
- NVIDIA GT755M SLI GPU,
- 8 GB RAM,
- Visual Studio 2015

Yazılım dili olarak, C# nesne yönelimli programlama dili kullanılmıştır. Ayrıca aşağıdaki kütüphanelerden yararlanılmıştır.

- ActiViz.NET Library (.NET Wrappers for VTK objects),
- Math.Net,

4.2 Veri Kümesi

“TÜBİTAK 1505 – Üniversite Sanayi İşbirliği Destek Programı” tarafından desteklenen 5130012 numaralı projesi kapsamında Ankara Üniversitesi Gölbaşı Yerleşkesi içerisinde test sahası yapılmıştır (Şekil 4.1). Test sahası 30 m boy ve 10 m eninde olmak üzere toplam 300 m²’lik bir alanda yer almaktadır. Test sahasına yağmur ızgarasından metal varile, plastik borudan taş mezara kadar 33 adet nesne gömülmüştür.



Şekil 4.1 Test sahası içerisinde bulunan malzemelerin yerleşim planı

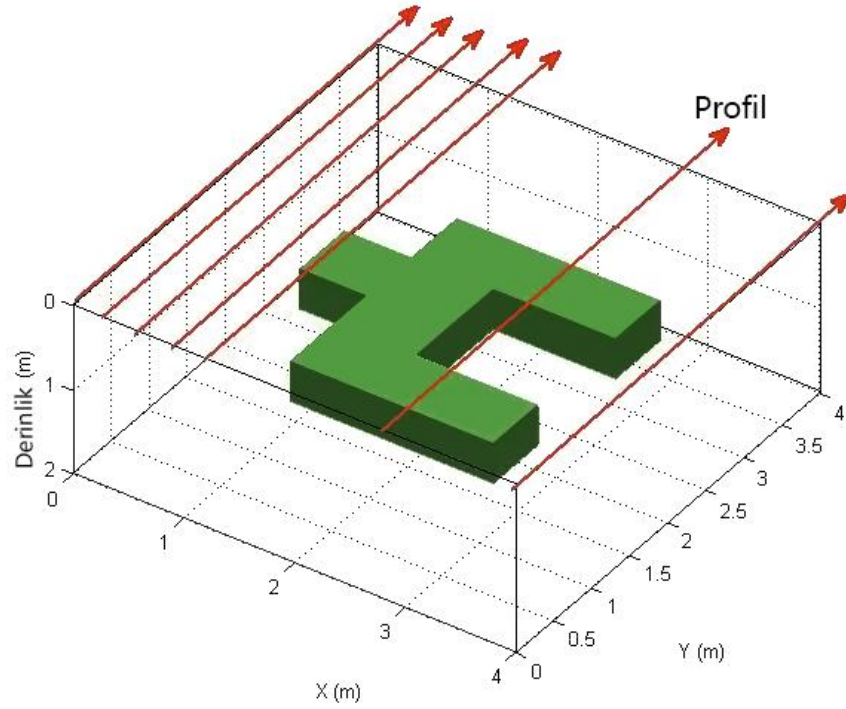
Test sahasından iki farklı marka ve merkez frekansına sahip anten düzeneği ile veriler toplanmıştır. Bunlar; (A) Mala / Ramac Marka ProEx Ana Ünite ve 250 MHz Kapalı anten ve (B) Geoscanners AB Marka Akula 9000B Ana Ünite ve 400 MHz Kapalı anten sistemleridir. (A) sistemi ile toplanan veriler birbirine paralel 50 cm, (B) sistemi ile toplanan veriler birbirine paralel 25cm aralıklı olarak kaydedilmiştir.

Tezde, test sahasından elde edilen bu veriler ile çalışılmış ve uygulamada şekil 4.1'deki krokinin 2a bölümünde bulunan taş duvar yapısı (Şekil 4.2) kullanılmıştır. Duvar, 200 cm eninde, 200 cm boyunda ve yaklaşık 60 cm kalınlığında ve 50 cm yüksekliğindedir. Gömülü taban derinliği yaklaşık 120 cm, gömülü tavan derinliği ise 70 cm'dir.



Şekil 4.2 Test alanı krokisi 2a bölümünde bulunan taş oda

Yer radarı ile duvar yapısı şekil 4.3'deki gibi birbirine paralel olarak ve aynı doğrultuda taranmıştır. Tarama sonucu 16 adet radargram elde edilmiştir.



Şekil 4.3 Duvar yapısının tarama krokisi

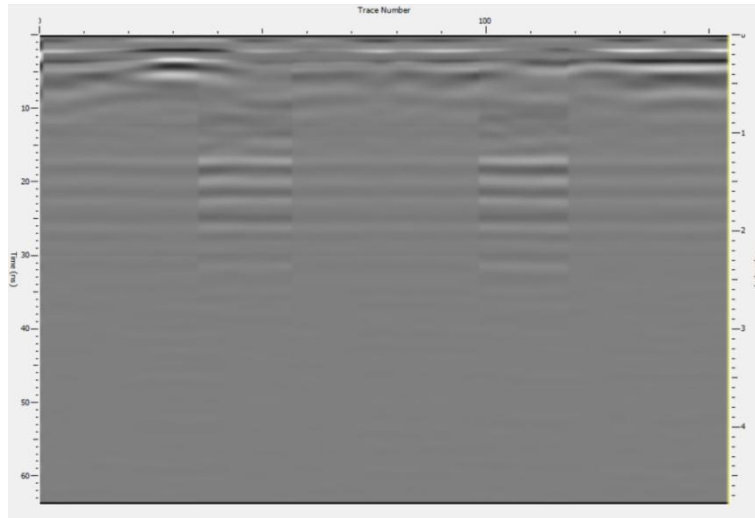
4.3 2B Yer Radarı Görüntülerinden 3B Görüntü Elde Etme Tekniklerinin Uygulanması

Bu bölümde, 2B yer radarı verilerinin analizi, işlenmesi, görüntülenmesi ve yorumlanması aşamalarının adım adım uygulaması gerçekleştirilecektir.

Birinci aşama üç adımda gerçekleşir.

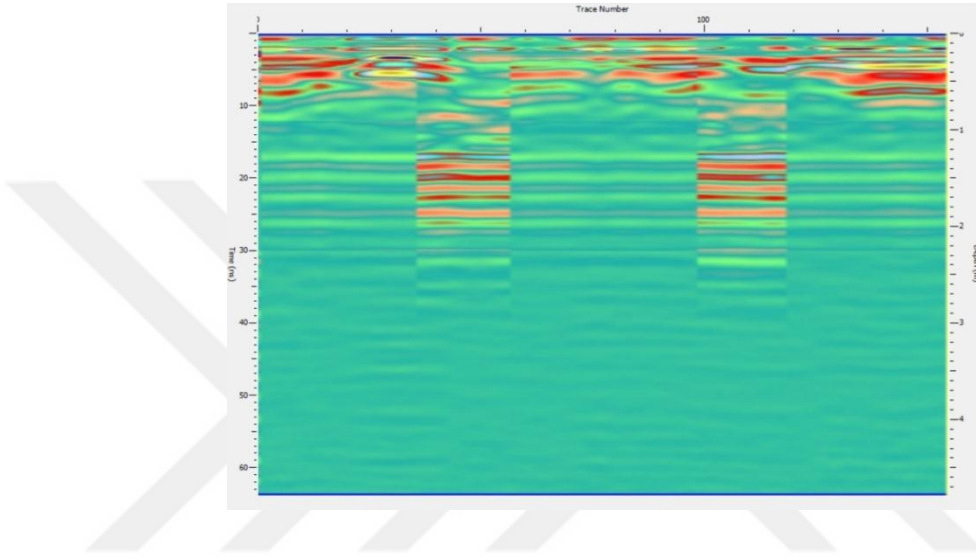
1. Adım: Ham yer radarı verilerinin okunmasıdır. Test sahasından toplanan .dzt formatındaki duvar yapısına ait 16 adet yer radarı verisi okunarak VTK'nın veri dosyası olan .vti dosya formatına dönüştürülür. Örnekleme değerleri 16 bit olup 0 ile 65.535 arasında genlik değerlerine sahiptir.

2. Adım: Radargram verileri çevresel gürültüler (radyo vericileri, metalik nesnelere vb.) ve yerden yansıma paraziti olarak adlandırılan gürültüler içerir. Verilerin analiz edilip yorumlanmaya hazır hale gelebilmesi için bölüm 3.1.2'deki veri işlem analizleri uygulanır. Bu uygulama sonucunda şekil 4.4'de görüldüğü gibi yorumlanabilir görüntüler elde edilir.



Şekil 4.4 Veri işlemleri yapılmış radargram görüntüsü

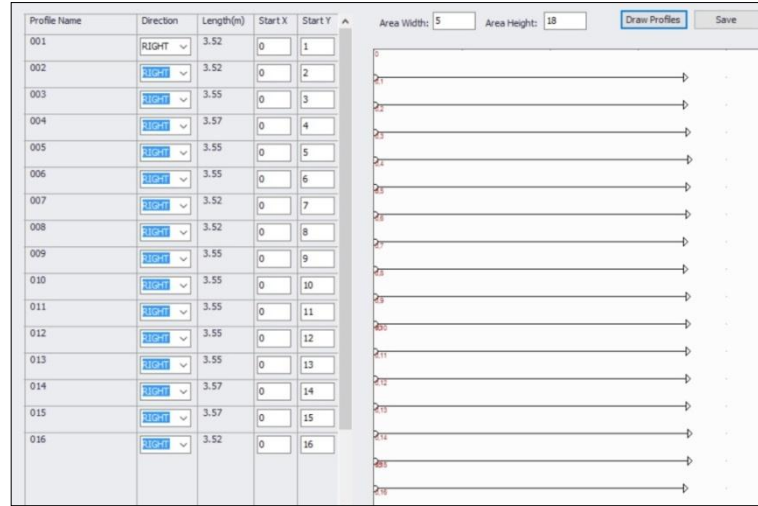
3. Adım: Farklı genlik değerlerine sahip yer radarı verilerinin renklendirilmesidir. Şekil 4.4'de oluşturulan ve gri tonlarına sahip işlenmiş radargram verisi 0-255 genlik aralığındadır. Bu aralıktaki verilere renk ataması yapılarak renklendirmesi sağlanır. Böylece anomaliler insan gözünün daha iyi algılayabileceği bir biçime getirilir. Şekil 4.5'de duvar yapısının bir bölümünün radargram üzerindeki yansıması renklendirilerek daha belirgin bir şekilde görüntülenmiştir.



Şekil 4.5 Normalizasyonu yapılmış ve renklendirilmiş radargram görüntüsü

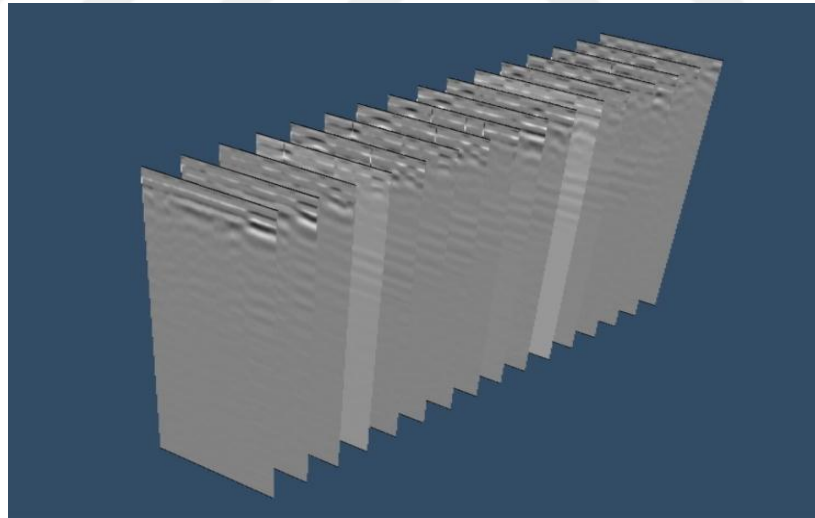
İkinci aşama iki adımda gerçekleşmektedir.

1. Adım: Profillerin gerçek konumlarına uygun olarak uzamsal pozisyonları üzerinde konumlandırılmasıdır. Her bir profilin uzunluğu, başlangıcı, bitişi ve yönü farklı olabilir. Şekil 4.6'daki uygulamada kullandığımız profillerin başlangıç ve yönü aynı, uzunlukları ve bitiş noktaları farklıdır.

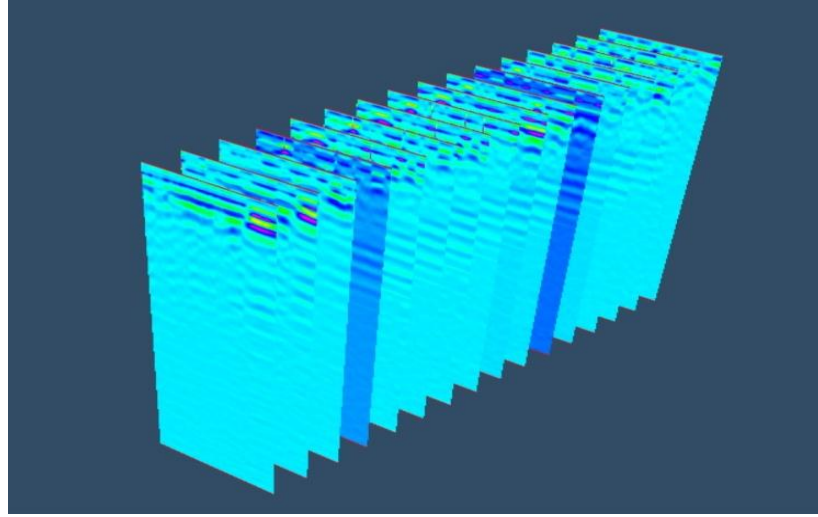


Şekil 4.6 Radargramların uygulama üzerinde 2B düzlemde konumlandırılmış görüntüsü

Radargramların uzamsal pozisyonlarına yerleştirildikten sonraki görüntüsü şekil 4.7'deki gibidir. Bu görüntünün renklendirilmesi ile birlikte kısmen duvar yapısına ait izler takip edilebilir. Fakat yapının algısı için bu yeterli değildir.



(a)



(b)

Şekil 4.7 Radargramların uzamsal pozisyonlara yerleştirildikten sonraki görüntüleri
a. Renklendirilmemiş görüntüler, b. Renklendirilmiş görüntüler

2. Adım: Duvar yapısının belirli zaman seviyelerindeki görüntüsünün elde edilmesidir. Uzamsal olarak konumlandırılan radargramlardan istenilen seviyeler arasında istenilen miktarda zaman kesiti üretilir. Şekil 4.8’de örnek bir radargram görüntüsünden faydalanılarak zaman kesiti üretim parametreleri tespit edilmektedir. İlgili alanının duvar yapısı olmasından dolayı 100 ile 256’ncı örnekleme numaraları (Şekil 4.8’de gösterilen yeşil çizgiler) arasında üretim yapılacaktır. Bu iki seviye arasında 50 (Sample slice count) adet zaman kesiti üretilecektir.



Şekil 4.8 Zaman kesitlerinin üretilmesinde kullanılan ayar ekranı

Radargramlar arasında çözünürlük çok az olduğu için kübik spline enterpolasyon metodundan faydalanılacaktır. Zaman kesitlerinin üretiminde kullanılan iki matris boyutlarının hesaplanması aşağıdaki gibidir.

Tarama alanındaki değişkenler aşağıdaki gibidir:

Profil Sayısı (P) : 16

Tarama Alanı Uzunluğu (Y) : 3.6 metre

Tarama Alanı Genişliği (X) : 5.15 metre

Profil Uzunlukları (sırası ile) : 3.52m, 3.52m, 3.55m, 3.57m, 3.55m, 3.55m, 3.52m, 3.52m, 3.55m, 3.55m, 3.55m, 3.55m, 3.57m, 3.57m ve 3.52m.

Metre Başına İz Sayısı (T) : 44

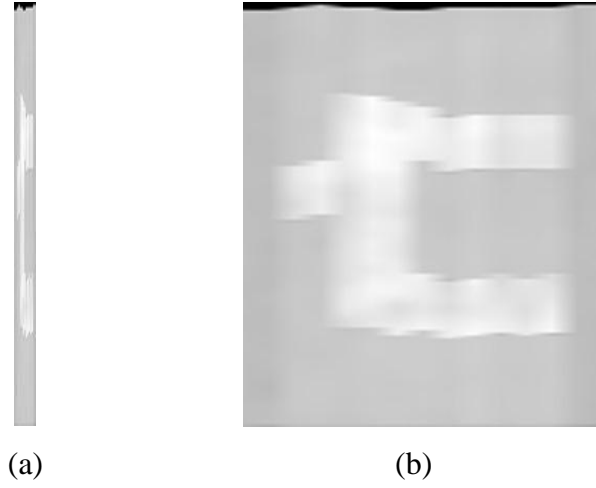
Orijinal verileri saklayan ilk matris hesaplanmasında eşitlik 4.1 kullanılır.

$$\begin{aligned} M_{m,n}^1 &= M_{P,(Y*T)}^1 \\ &= M_{16,(3.6*44)}^1 \\ &= M_{16,158}^1 \end{aligned} \quad (4.1)$$

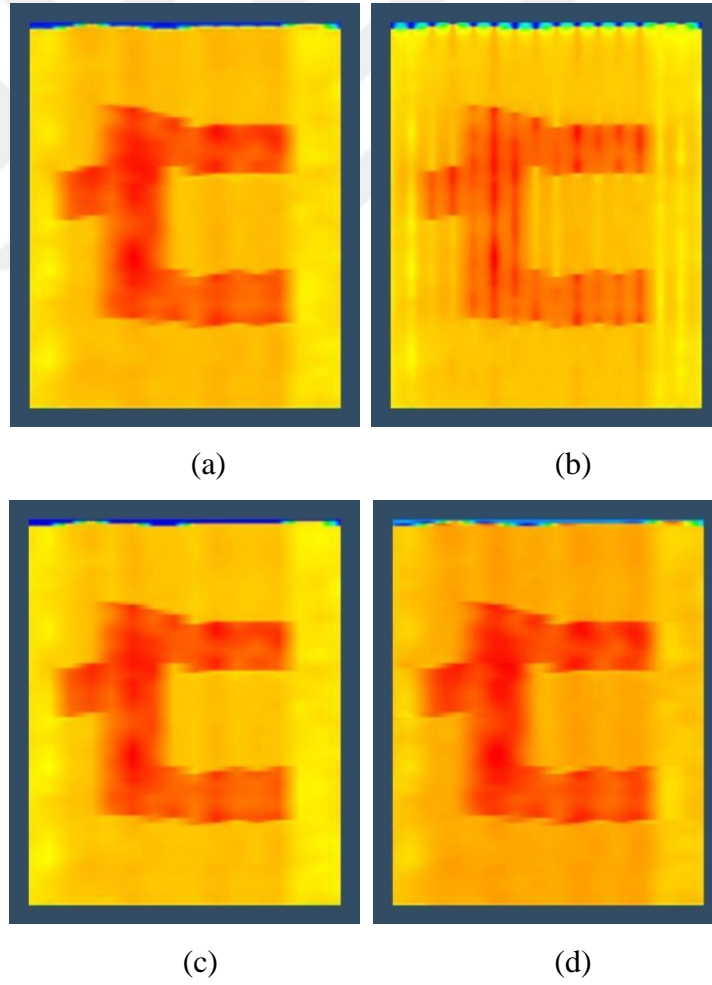
Enterpole edilmiş ikinci matris hesaplanmasında eşitlik 4.2 kullanılır.

$$\begin{aligned} M_{m,n}^2 &= M_{n_1 * \frac{X}{Y}, n_1}^2 \\ &= M_{158 * (\frac{5.15}{3.6}), 158}^2 \\ &= M_{226,290}^2 \end{aligned} \quad (4.2)$$

Üretim sonucunda 50 adet duvar yapısının bulunduğu alanı içeren enterpole edilmiş kesitler oluşmuştur. Matrislerin hesaplamaları sonucunda oluşan örnek kesit görüntüleri şekil 4.9'da gösterilmiştir. Farklı enterpolasyon teknikleriyle üretilen zaman kesitlerinin karşılaştırmalı örneği ise şekil 4.10'da sunulmaktadır.



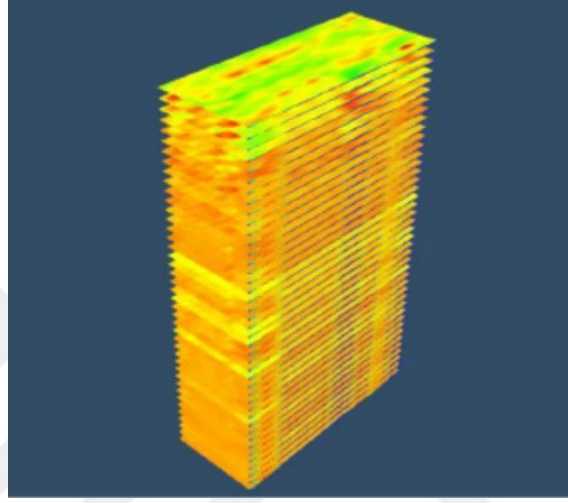
Şekil 4.9 Zaman kesitlerinin üretimindeki matris görüntüleri
a. Birinci matris görüntüsü, b. Enterpole edilmiş ikinci matris görüntüsü



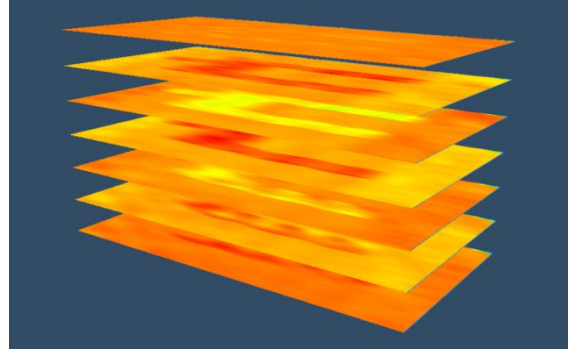
Şekil 4.10 Farklı enterpolasyon teknikleriyle elde edilmiş zaman kesitleri
a. Kriging, b. IDW, c. Lineard, d. Cubic spline

Görüntüler arasında benzerlikler olsa da yapının durumu, yer radarı cinsi ve tarama sıklığı gibi parametreler görüntünün analiz edilmesine etki etmektedir.

Zaman kesitlerinin birlikte gösterilmesi de kullanıcıya yapının durumu hakkında bilgi verebilir. Zaman kesitlerinin uzamsal pozisyonlarına yerleştirildikten sonraki görüntüsü şekil 4.11'deki gibidir.



(a)

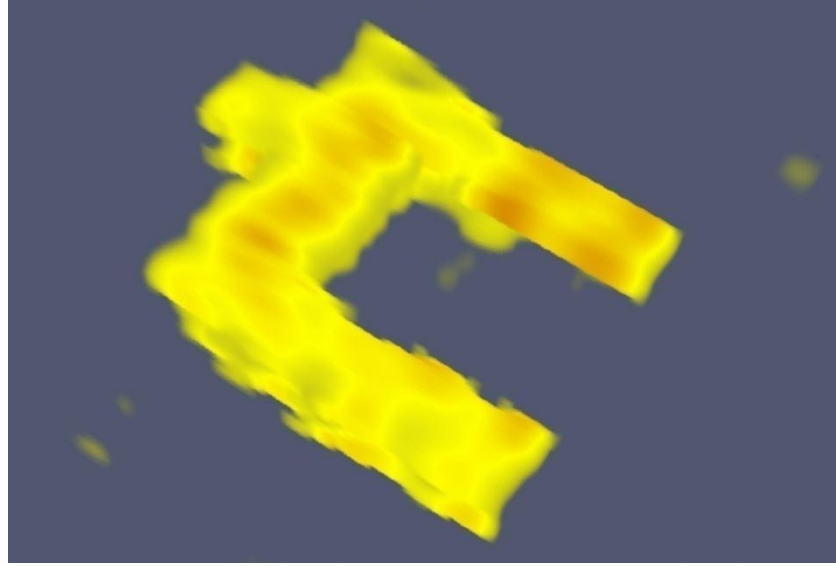


(b)

Şekil 4.11 Zaman kesitlerinin uzamsal pozisyonlara yerleştirildikten sonraki görüntüleri
a. Tüm kesitler, b. Sayısı azaltılmış kesitler

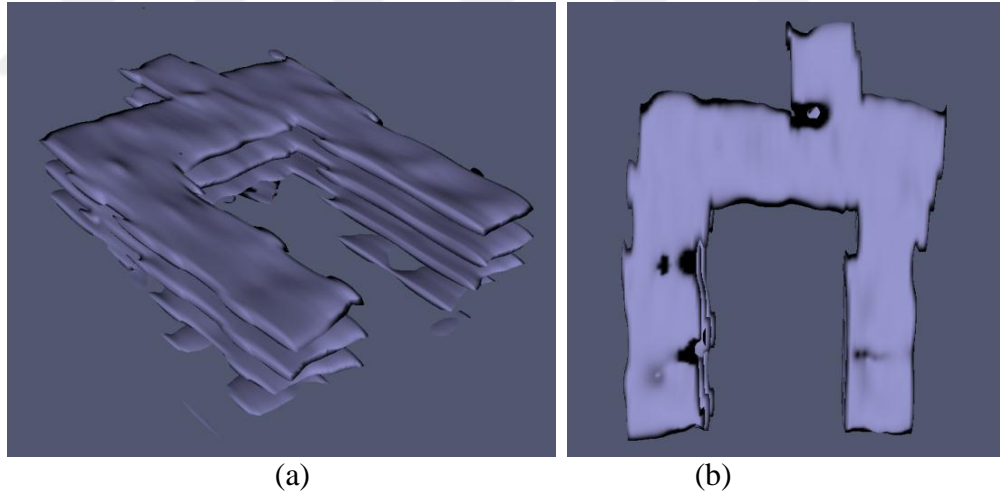
Üçüncü aşama iki adımda gerçekleşmektedir.

1. Adım: Üretilen zaman kesitlerinin, hacimsel gösterim tekniği ile 3B gösterimidir. Elde edilen sonuçlar aşağıda gösterilmektedir.



Şekil 4.12 Zaman kesitlerinin hacimsel gösterim tekniği ile 3B görüntüsü

2. Adım: Üretilen zaman kesitlerinin yüzeysel gösterim tekniği ile 3B gösterimidir. Elde edilen sonuçlar aşağıda gösterilmektedir (Şekil 4.13).



Şekil 4.13 Zaman kesitlerinin yüzeysel gösterim tekniği ile 3B görüntüleri

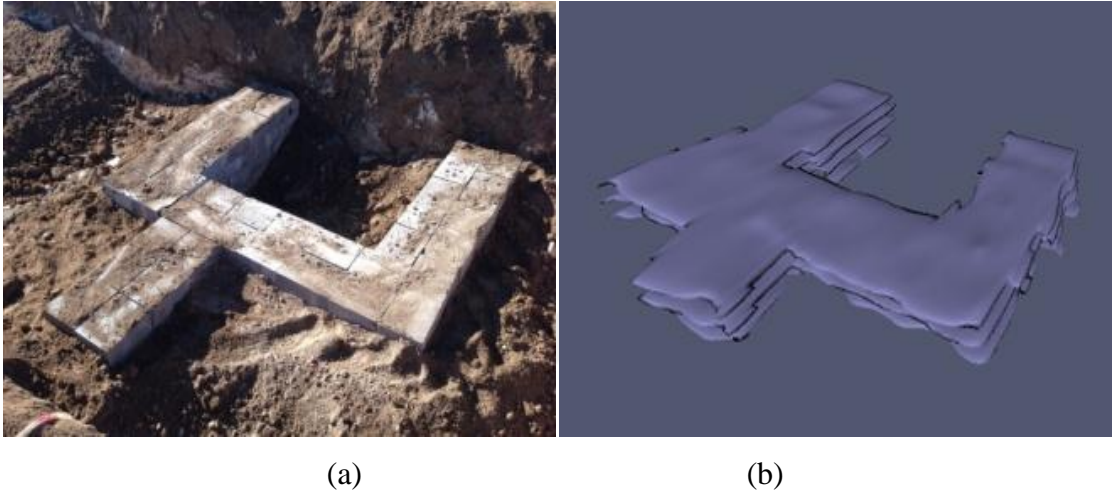
a. Çapraz bakış açısından görünüm, b. Üst bakış açısından görünüm

4.4 Sonuçların Değerlendirilmesi

Bu bölümde uygulanan metodolojinin sonuçları değerlendirilmektedir. Analiz edilecek hale getirilmiş 2B radargramlardan üretilen 50 adet zaman kesitlerine hacimsel gösterim

ve yüzeysel gösterim tekniği uygulanmış ve sonuçlar gerçek duvar yapısı ile karşılaştırılmıştır (Şekil 4.14).

Toprak altına yerleştirilen tuğlalar arasında herhangi bir harç kullanılmadığından özellikle isosurface uygulamasında tuğla katlarının belirgin bir şekilde ayrıştığı görülmektedir (Şekil 4.14.b). Ayrıca, yine harç kullanılmamasından kaynaklı olarak bazı taşların toprak altında kaydığı ve köşegenli yapının biraz bozulduğu görülmüştür. Sonuçlar karşılaştırılmış ve benzer sonuçlar verdiği görülmüştür.



Şekil 4.14.a. Gerçek duvar yapısı görüntüsü, b. uygulama sonucu elde edilen isosurface görüntüsü

5. SONUÇ

Yer radarı çalışmalarında, özellikle verinin toplanması ile birlikte başlayan süreçteki aşamalar önem kazanmaktadır. Bu sürecin uygulanmasında işinde uzmanlaşmış kişilerin bile uzun zaman ve kaynak harcadığı görülmektedir. Tarama alanının sanal ortama aktarılması, birçok karmaşık veri işlem tekniklerinin yapılması, 3B yapının görüntülenmesi ve bu işlemlerin etkileşimli olarak yapılması aşamalarında birden fazla yazılım kullanmak zorunda kalınmaktadır. Bu tez çalışmasında, 2 boyutlu yer radarı verilerinden 3 boyutlu görüntü elde etme metodolojisi önerilir. Bu metodoloji ile yer radarı verilerinin analiz ve değerlendirmesine yardımcı olmak, yer altı yapılarının gerçeğe yakın bir doğrulukta görüntülenmesi hedeflenmektedir.

Metodoloji temelde üç aşamada gerçekleştirilmektedir.

Birinci aşama, yer radarı verilerinin okunarak veri işlem tekniklerinin yapılması ile verinin hazır hale getirilmesi ve görüntülenmesidir. Bu aşamadaki problemlerden ilki farklı formatlarda tutulan yer radarı verilerinin standart bir formata aktarılmasıdır. Bu çalışmada dosya başlık bilgisi tanımlanmakta ve veriler .vti formatına dönüştürülmektedir. Diğer bir problem ise çoklu veri işlem uygulama araçlarının olmaması ve farklı verilere farklı tekniklerin yapılmasında sıkıntılar yaşanmasıdır. Bu metodolojide farklı radargramlara farklı veri işlem tekniklerinin çoklu işlem yapan araçlar ile uygulanması sağlanmıştır. Son problem ise belirli aralıklarda sıkışan verinin geniş bir skalaya dağıtılması ve bu aralıklara renk değerlerinin atanması ile renkli bir görüntünün elde edilmesidir. Bu metodolojide, hazır renk paletlerinin kullanımı ve aralıkların dinamik olarak tanımlanması önerilmektedir.

İkinci aşamada, yer radarının ölçüm yaptığı profillerin gerçek konumlarının yazılım üzerine simüle edilmesi sağlanmasıdır. Burada profillerin farklı başlangıç noktası, uzunluk ve yön gibi değerlerin sanal düzleme aktarılması problemi ile karşılaşmıştır. Bu çalışmada ölçüm sahasının bilgilerini sanal ortama giren ve böylece gerçek ortama uygun bir model oluşturmayı sağlayan bir yöntem önerilmiştir. Diğer adımda derinlik seviye katlarının (zaman kesitleri) üretimi yapılmıştır. Buradaki en büyük problem

taramaların tek düze hatlar üzerinden sağlanmasından dolayı ölçüm alanında çözünürlük farklılığının oluşmasıdır. Burada kesitlerin çözünürlük probleminin çeşitli enterpolasyon yöntemlerinin kullanılması ile verinin zenginleştirilmesi önerilir. Ayrıca kullanılan parametrelerde özellikle anomalilerin bulunduğu bölgenin zaman kesitlerinin üretilmesi ve yeterli sayıda zaman kesitinin üretimi önem kazanır.

Son aşamada ise zaman kesitleri 3B olarak görüntülenmektedir. Verinin hacimsel bir yapıya kavuşabilmesi için hacimsel gösterim tekniği olan ışın atma algoritması uygulanmıştır. Buradaki problemlerden ilki verinin büyük boyutlarda oluşu ve bu verinin işlenmesi için kullanılan kaynak miktarının çok olmasıdır. Bu problem için metodolojide hacimsel gösterim tekniği olan ışın atma algoritması önerilmiştir. Böylece, sadece bakılan açıdan geçen ışınların pikseller üzerindeki çakışmaları yakalaması ve 2B düzlemde görüntü oluşturması sağlanmıştır. Diğer bir problem ise gömülü yapının geometrik şeklinin ortaya çıkartılması ve istenmeyen verinin işlenmesini engellemektir. Bu çalışmada birbiriyle ilişkili olan verinin yürüyen küpler algoritması ile yüzeyler oluşturularak gösterimi önerilmektedir. Böylece istenmeyen veri aralıkları için kaynak tüketimi olmamaktadır. Ayrıca her iki teknik ile oluşturulan görüntüde veri aralıkları arasındaki renklendirme ve istenmeyen bölgelerin şeffaflığının ayarlanması ile de hedef bölgenin 3B olarak görüntülenmesi sağlanmaktadır.

Bu çalışmada ham yer radarı verilerinin işlenmesi aşamasından görüntülenme aşamasına kadarki yapılan işlemler ve kullanılan yöntemler ele alınmıştır. Özellikle profil konumlarının interaktif olarak girilmesi, çoklu veri işlem tekniklerini gerçekleştirecek bir mimari ve interaktif 3B görüntüleme tekniklerinin kullanılabilmesi gibi aşamaların faydalı olacağı öngörülmektedir. Ayrıca bu aşamaların geliştirilmesi ile daha etkin sonuçlar da elde edilebilecektir.

Bu kapsamda bir yazılım (GPRVis) geliştirilmiş ve önerilen metodoloji bu yazılım vasıtası ile somut gerçek veriler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar yeraltı nesnelerin geometrisini netleştirmekte ve yorumunu kolaylaştırmaktadır.

KAYNAKLAR

- Anonymous. 2015. Web Sitesi: PBRT core Digital Image Synthesis Yung-Yu Chuang with slides by Pat Hanrahan., <http://slideplayer.com/slide/5946612/>, Erişim Tarihi: 31.05.2016.
- Behar, V., Vassileva, B. and Kabakchiev, C. 2008. A Software Tool for GPR Data Simulation and Basic Processing. *Cybernetics and Information Technologies*. 8(4): p. 69-76.
- Bhalerao, A., Pfister, H., Halle, M. and Kikinis, R. 2000. Fast re-rendering of volume and surface graphics by depth, color, and opacity buffering, *Medical Image Analysis* 4.
- Bostanudin, N. J. F. 2013. Computational Methods for Processing Ground Penetrating Radar Data. PhD Thesis, University of Portsmouth, Portsmouth.
- Bourke, P. 1994. Polygonising a scalar field, 3D Contouring, Marching Cubes, Surface Reconstruction.
- Doğan, S. and Altan, O. 2003. CT MR Kesitleri ve Dijital Görüntüler Kullanılarak Tümörlerin Belirlenmesi, *İTÜ Dergisi*, Cilt 2 Sayı 4, sayfa 45-55, İstanbul.
- Iswandy, A., Serma, A. and Setan, H. 2009. Ground penetrating radar (GPR) for subsurface mapping: preliminary result, *Geoinformation Science Journal*, Vol. 9, No. 2, pp. 45-62.
- Jang, G., Kim K. and Ko K.H. 2011. Multi-feature based landmine identification using ground penetrating radar, 3rd International Asia-Pacific Conference on Synthetic Aperture Radar (APSAR), 1-3.
- Jonas, S., Abolfazl, M. M., Alexandre, F. and Marcel, B. 2014. Assessment of 3D Spatial Interpolation Methods for Study of the Marine Pelagic Environment, *Marine Geodesy*, Vol. 37 Issue 2, p238-266. 29p.
- Kadıoğlu, S. and Demirci, B. B. 2012. Yapı denetim sektöründe yer radarı yöntemi: *Jeofizik Bülteni*, 31–40.
- Knoph, K. 2011. Ground-penetrating Radar Imaging of Depositional and Diagenetic Features in an Upper Miocene Carbonate Reservoir Analog, SE Spain: M.S. Thesis.
- Lewiner, T., Lopes, H., Vieira, A. W. and Tavares, G. 2003. Efficient implementation of marching cubes' cases with topological guarantees. *Journal of Graphics Tools*, 8(2), 1-15.
- Parker, S., Shirley, P., Livnat, Y., Hansen, C. and Sloan, P.-P. 1998. Interactive Ray Tracing for Isosurface Rendering. In *IEEE Visualization '98*, pages 233–238.

- Pasolli, E., Melgani, F. and Donelli, M. 2009. Automatic Analysis of GPR Images: A Pattern-Recognition Approach, *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on*, vol.47, no.7, pp.2206-2217, doi: 10.1109/TGRS.2009.2012701.
- Samet, R., Çelik, E., Şengönül, E. and Tural, S. 2016. GPRVis: New Software for Analyzing, Processing, Visualization and Interpretation of GPR Data, *Geoinformatics 2016, XVth International Conference – Mathematical methods and computer technologies in Geophysics and Geology*, Kiev, Ukraine, May, 10-13, 2016.
- Samet, R., Çelik, E., Tural, S. and Şengönül, E. 2015. A New Multi Purpose Easy and Quick GPR Data Processing and Visualization Software, *Geoinformatics 2015, XIVth International Conference – Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects*, Kiev, Ukraine, May, 11-14, 2015.
- Samet, R., Çelik, E., Tural, S. and Şengönül, E., Ozkan, M. 2015. Interpolation Approach to Search Hidden Results in GPR Data, *The 5th International Conference on Control and Optimization with Industrial Applications (COIA-2015)*, Baku, Azerbaijan, August, 27-29, 2015.
- Samet, R., Çelik, R., Tural, S., Şengönül, E., Ergün, E. and Özkan, M. 2016. Determining the optimal profile interval by using interpolation techniques in GPR applications, *Journal of Applied Geophysics*, Manuscript, (2016).
- Schroeder, W., Martin, K. and Lorenson, W. 1997. *The Visualization Toolkit An Object Oriented Approach to 3D Graphics*, Prentice Hall PTR, New Jersey.
- Simi, A., S. Bracciali and Manacorda, G. 2008. Hough transform based automatic pipe detection for array GPR: Algorithm development and on-site tests, *IEEE Radar Conference*, 1-6, Rome.
- Zhang, Y., Candra, P., Wang, G. and Xia, T. 2015. 2-D Entropy and Short-Time Fourier Transform to Leverage GPR Data Analysis Efficiency. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 10.1109/TIM.2014.2331429, 103-111.
- Zhu SP, Huang CL., Su Y. and Sato M. 2014. 3D ground penetrating radar to detect tree roots and estimate root biomass in the field. *Remote Sens* 6:5754–5773.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Erkan ŞENGÖNÜL
Doğum Yeri : Konya
Doğum Tarihi : 01.01.1984
Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu

Lise : Konya Meram Anadolu Lisesi (2003-2007)
Lisans : Konya Selçuk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü (2002-2006)
Lisans 2 : Eskişehir Anadolu Üniversitesi İşletme Fakültesi İşletme Bölümü (2004 – 2010)
Yüksek Lisans : Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı (Eylül 2011 – Haziran 2016)

Çalıştığı Kurumlar

Genelkurmay Başkanlığı Yazılım Geliştirme Merkezi, 2007 – (Devam etmekte)

Yayınlar

1. Samet, R., Çelik, E., Tural, S. and **Şengönül, E.** 2015 “A New Multi Purpose Easy and Quick GPR Data Processing and Visualization Software”, Geoinformatics 2015, XIVth International Conference – Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects, Kiev, Ukraine, May, 11-14, 2015.
2. Samet, R., Çelik, E., Tural, S., **Şengönül, E.** and Ozkan, M. 2015 ”Interpolation Approach to Search Hidden Results in GPR Data”, The 5th International Conference on Control and Optimization with Industrial Applications (COIA-2015), Baku, Azerbaijan, August, 27-29, 2015.
3. Samet, R., Çelik, R., Tural, S., **Şengönül, E.**, Ergün, E. and Özkan, M. 2016 “Determining the optimal profile interval by using interpolation techniques in GPR applications”, Journal of Applied Geophysics, Manuscript, (2016).
4. Samet, R., Çelik, E., **Şengönül, E.** and Tural, S. 2016 “GPRVis: New Software for Analyzing, Processing, Visualization and Interpretation of GPR Data”, Geoinformatics 2016, XVth International Conference – Mathematical methods and computer technologies in Geophysics and Geology, Kiev, Ukraine, May, 10-13, 2016.