

T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
JEOLJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YER RADARI VERİLERİNE UYGULANAN VERİ İŞLEM
BASAMAKLARININ İNCELENMESİ

TEZSİZ YÜKSEK LİSANS BİTİRME PROJESİ

OSMAN NURİ ARSLAN

DENİZLİ, TEMMUZ - 2016

T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
JEOLJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI



YER RADARI VERİLERİNE UYGULANAN VERİ İŞLEM
BASAMAKLARININ İNCELENMESİ

TEZSİZ YÜKSEK LİSANS BİTİRME PROJESİ

OSMAN NURİ ARSLAN

DENİZLİ, TEMMUZ - 2016

KABUL VE ONAY SAYFASI

OSMAN NURİ ARSLAN tarafından hazırlanan “YER RADARI VERİLERİNE UYGULANAN VERİ İŞLEM BASAMAKLARININ İNCELENMESİ” adlı proje çalışması yapılmış olup Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı Tezsiz Yüksek Lisans Projesi olarak kabul edilmiştir.

İmza

Danışman : Doç. Dr. Ali AYDIN

.....

Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun / / tarih ve / sayılı kararıyla onaylanmıştır.

.....

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğine beyan ederim.

OSMAN NURİ ARSLAN

ÖZET

YER RADARI VERİLERİNE UYGULANAN VERİ İŞLEM BASAMAKLARININ İNCELENMESİ TEZSİZ YÜKSEK LİSANS BİTİRME PROJESİ

PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

(TEZ DANIŞMANI : DOÇ. DR. ALİ AYDIN)

DENİZLİ, TEMMUZ – 2016

Günümüzde mühendislik çalışmalarında sığ yeraltının araştırılması giderek önem kazanmaktadır. Arkeolojik aramalarda, yapı sağlamlık araştırmasında, çevre kirliliği araştırmalarında özellikle tercih edilen jeofiziksel yöntem yer radarı (Ground Penetrating Radar, GPR) yöntemidir.

Bu çalışmada, yer radarı veri işlem aşamalarının, sismik veri işlem aşamalarına benzemesine rağmen, gerek ölçü düzeneği ve gerekse kullanılan ölçü birimlerindeki farklılıklar göz önüne alınarak verileri daha sağlıklı işlemek amacıyla veri işlem teknikleri irdelenmiş ve bu tekniklerin uygulamadaki etkileri gözlemlenmiştir.

Ham verilere uygulanan veri işleme tekniklerinden ilk zaman düzeltmesi, diğer genlik düzeltmelerinin parametre seçiminde gösterdikleri zorluklar, yanıl olayları ortadan kaldırması ve yerel olayların öne çıkarması gibi sorunlara veri işlem teknikleriyle çözüm getirilmekte ve bu çözümler de kesitlerin yorumlanmasında kolaylık sağlamaktadır.

ANAHTAR KELİMELELER: Yer Radarı, Veri İşlem, Sığ Yeraltı Yapısının Belirlenmesi

ABSTRACT

THE INVESTIGATION OF GROUND RADAR DATA TO DATA PROCESSING STEPS NON-THESIS MASTER'S PROGRAM OF DISSERTATION

**PAMUKKALE UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE
GEOLOGICAL ENGINEERING DEPARTMENT
(SUPERVISOR: ASSOC. PROF. DR. ALİ AYDIN)
DENİZLİ, JULY 2016**

Recently, the investigations of the shallow subsurface are increasingly important for engineering activities. An especially preferred geophysical method for the detection of archeological resource, strength of the structure and environmental pollution is GPR.

In this study, although GPR data processing steps are similar to seismic data processing, both measurement system and measurement unit are different. Hence, the data processing techniques have been investigated and the practical effect of this technique was observed.

The first time correction of the applied data processing techniques to the raw data, the challenges they show the parameter selection of other amplitude correction, to eliminate lateral events and bring solutions to problems such as assertion of local events and provide facilities for interpretation of these analyzes in sections.

KEYWORDS: Ground Penetrating Radar, Data Processing, Estimation of the Shallow Ground Structure

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİL LİSTESİ	iv
ÖNSÖZ	vi
1. GİRİŞ	1
2. YER RADARI YÖNTEMİ	2
2.1 GPR Yönteminin Tarihçesi ve Uygulama Alanları	2
2.2 Yer Radarı Yönteminin Çalışma Prensipleri	4
2.3 Yer Radarı Sinyallerinin Oluşturulması ve Yayınımı	5
2.4 Yer Radarı Ölçümlerini Etkileyen Parametreler	10
2.5 Yer Radarı Yöntemi ile Veri Toplama	14
2.6 Yer Radarı Yöntemi ile Yapılan Örnek Çalışmalar	18
2.6.1 Zemin/Kaya Ortamının Tanımlanması	18
2.6.2 Fay Yerlerinin Belirlenmesi	19
2.6.3 Su Tablasının Belirlenmesi	20
2.6.4 Gömülü Yapıların Belirlenmesi	21
2.6.5 Boşlukların Saptanması	22
2.7 Yer Radarı Verilerine Uygulanan Veri İşlem Adımları	24
2.7.1 Statik Düzeltme	25
2.7.2 Dewow (Düşük Frekanslı Olayların Giderilmesi)	26
2.7.3 Band Geçişli Süzgeçleme	29
2.7.4 Background Removal	32
2.7.5 Genlik Kazanç Uygulaması	32
2.7.6 Hız Analizi	34
2.7.7 Migrasyon(Göç)	35
3. BULGULAR	38
4. SONUÇ VE ÖNERİLER	43
5. KAYNAKLAR	45
6. EKLER	47
7. ÖZGEÇMİŞ	52

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Yer radarı yönteminin çalışma prensipleri (www.malags.com).....	4
Şekil 2.2 : Tarihi bir yapı araştırmasında alınan yer radarı profili. Ölçüm 400 MHz merkez frekanslı antenlerle alınmıştır (Conyers 2012).....	5
Şekil 2.3 : Standart yer radarı anteninden yeraltına gönderilen yayının örneği (Conyers ve Goodman 1997'den uyarlanmıştır)	7
Şekil 2.4 : Farklı bağıl dielektrik geçirgenlik değerlerine sahip bir ortamda 300 MHz merkez-frekanslı bir anten kullanılarak elde edilecek yatay çözünürlük büyüklükleri	8
Şekil 2.5 : Derinlikle bağıl dielektrik geçirgenlik katsayıları (a) artan ve (b) azalan yeraltı modeli için dalga kırılma etkileri.....	9
Şekil 2.6 : Kumlu bir alanda su tablasının Yer Radarı kesitindeki görünümü. 11	
Şekil 2.7 : Tabakalar arasındaki GPR izinin şematik gösterimi	12
Şekil 2.8 : Anten temas sorununu gösteren örnek GPR profili(A bitkilerden oluşan temas sorunlarını göstermekte, B ise bu sorunlar sonucunda yeraltında oluşan yansımaları göstermektedir.	14
Şekil 2.9 : Yer radarı anten dizilimleri (Reppert vd., 2000).	14
Şekil 2.10 : Yansıma profili (ortak ofset) yönteminin şematik gösterimi.	15
Şekil 2.11 : GAYK yönteminin şematik gösterimi (Reynolds 1997).....	15
Şekil 2.12 : ODN yönteminin şematik gösterimi (Reynolds 1997).....	16
Şekil 2.13 : Karşılıklı kuyular arası radar tomografi ölçümlerinin şematik gösterimi a) sıfır ofset profil ve b) çoklu ofset profil (Annan 2009; Kayen vd., 2002).....	17
Şekil 2.14: a ve b de GPR uygulama teknikleri kullanılarak Yeraltı su seviyesi, kum/ çakıl- anakaya arayüzeylerin haritalanması (Scaife ve Annan 1991).....	19
Şekil 2.15 : Neshet Ramle taşocağının görüntüsündeki stratigrafik birimlerin, yapıların ve fayların gösterimi ve GPR görüntüsünün yorumlanması.	20
Şekil 2.16 : Kumlu bir alanda su tablasının GPR kesitindeki görünümü.....	21
Şekil 2.17 : : Kapiler zonun kalınlığı (d),dielektrik sabiti (ϵ_r), yansıma katsayısı genliği (R)	21
Şekil 2.18 : Karayolu üzerindeki kaldırımlar arasında 200 MHz anten kullanılarak GPR çalışmaları ile alt yapı tesisatının belirlenmesi (Porsani vd 2012)..	22
Şekil 2.19 : Boşlukların oluşturduğu belirgin yansımalar.....	23
Şekil 2.20 : ybag2p4 Ham verisi(üstte) ve statik düzeltme uygulanmış veri. ...	26
Şekil 2.21 : a) Ham yer radarı kesitinden 3 m uzaklıkta alınan yer radarı izinin zaman ortamındaki görünümü b) Ham verinin genlik spektrumu.	27
Şekil 2.22: a) Ham yer radarı kesitinden 3 m uzaklıkta alınan yer radarı izinin zaman ortamındaki görünümü b) Ham verinin genlik spektrumu.....	28
Şekil 2.23 : statik düzeltme uygulanmış veri ve dewow uygulanmış veri.	29
Şekil 2.24 : Frekans ortamında basit bant geçişli filtre prensibi ve iki yaygın filtre fonksiyonu Notch filtre (Sadece tek bir frekansı durduran süzgeçler) ve Butterwoth filtre.	30
Şekil 2.25 : Yer radarı verisinde gürültü frekansların süzgeçlenmesi a) Ham	

Yer radarı sinyali. b) Uygun süzgeçlenmiş sinyal. c) Yanlış süzgeçlenmiş sinyal (Kadioğlu 2004).....	31
Şekil 2.26 : Doğru süzgeçlenmiş radargramYanlış süzgeçlenmiş radargram...	31
Şekil 2.27 : a) Ham radar profili, b) radar profiline background removal (temel gürültülerin kaldırılması) süzgeç uygulandıktan sonraki görünümü.	32
Şekil 2.28 : a) Doğru süzgeçlenmiş radagram b) Yanlış süzgeçlenmiş radagram (Kadioğlu 2003)	33
Şekil 2.29 : Arkeolojik bir mezar bölgesi üzerinde toplanan 450-MHz yer radarı (GPR) bölümüne uygulanan farklı kazanç fonksiyon örnekleri (AGC, SEC) (Cassidy 2009'den düzenlenmiştir).....	34
Şekil 2.30 : Hiperbol çakıştırma ile hız belirleme(Cassidy 2009'den düzenlenmiştir).....	35
Şekil 2.31 : a) Yatay yansıtıcı yüzeyde düşey yansıma b) radar kesidi	36
Şekil 2.32 : a) Eğimli yansıtıcı yüzeyde yansıma, b) radar kesidi.....	36
Şekil 2.33 : Orjinal pozisyonundaki olayın göç ettirilmiş yeri.....	36
Şekil 3.1 : ybag2p4 Ham verisi(üstte) ve statik düzeltme uygulanmış veri.	39
Şekil 3.2: ybag2p4 statik düzeltme uygulanmış veri (üstte) ve dewow uygulanmış veri.....	40
Şekil 3.3 : ybag2p4 yanlış band pass filtresi uygulanmış veri (üstte) ve doğru band pass filtresi uygulanmış veri.	40
Şekil 3.4 : ybag2p4 band geçişli süzgeç uygulanmış veri (üstte) ve background removal uygulanmış veri.	41
Şekil 3.5 : ybag2p4 yanlış gain uygulanmış veri (üstte) ve doğru gain uygulanmış veri.....	41
Şekil 3.6 : ybag2p4 hız analizi uygulanmış veri	41
Şekil3.7 : ybag2p4 yanlış migrasyon uygulanmış veri ve doğru migrasyon uygulanmış veri.	42
Şekil 4.1 : ybag1p verisine uygulanmış veri işlem basamakları.ham veri, statik düzeltme, dewow, band pass filtre, background removal, genlik kazancı ve migrasyon.	47
Şekil 4.2 : ybag1p3 verisine uygulanmış veri işlem basamakları sırasıyla; ham veri, statik düzeltme, dewow, band pass filtre, background removal, genlik kazancı ve migrasyon.	48
Şekil 4.3 : ybag2p1 verisine uygulanmış veri işlem basamakları sırasıyla; ham veri, statik düzeltme, dewow, band pass filtre, background removal, genlik kazancı ve migrasyon	49
Şekil 4.4 : ybag2p4 verisine uygulanmış veri işlem basamakları sırasıyla; ham veri, statik düzeltme, dewow, band pass filtre, background removal, genlik kazancı ve migrasyon.	50
Şekil 4.5 : ybag3p6 verisine uygulanmış veri işlem basamakları sırasıyla; ham veri, statik düzeltme, dewow, band pass filtre, background removal, genlik kazancı ve migrasyon	51

ÖNSÖZ

Bitirme projesi çalışmamın her aşamasında yol gösteren her türlü katkı ve desteği sağlayan bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, hocam Doç. Dr. Ali AYDIN' a,

Hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen, yüksek lisans projemi yazma aşamasında yanımda duran Anneme, Babama ve tüm aileme,

İçten teşekkürlerimi sunarım.

OSMAN NURİ ARSLAN

1. GİRİŞ

Yeraltı araştırma, yeraltı penetrasyon, yeraltı radarı, gibi birçok isim ile tanımlanan yeraltı radarı (GPR) sistem olarak elektromanyetik frekanslar ile yeraltından bilgi toplamaya dayanır. Diğer bir yönden en bilinen isim olarak GPR sistemi kullanılmaktadır. GPR sisteminin dizaynı çok geniş bir yelpazede tanımlanmakta ve genel olarak yapılacak uygulamaya uygun seçümlere göre yapılır. Bunlarda etkili olan hedef derinliği, hedef büyüklüğü ve araştırma yapılacak alandır. Bu sayede GPR yönteminin uygulama alanları doğru seçilecek sistem ile oldukça geniştir.

Genel olarak GPR dataları belirli aralıklar ile belirlenmiş grid alanlarında uygulanır. Metot genel olarak antenlerden üretilen elektromanyetik sinyallerin yeraltındaki gidiş-geliş yolculuğu sırasında uğradığı değişimlerin orijinal sinyallerden farkı ile ilgilenir (Conyers 2004). Radar sinyalleri seyahat ortamlarının fiziksel ve kimyasal özelliklerine göre hızlarını belirleyerek hedefe ulaşır ve hedef hakkında da bilgi toplar. Yolculuk zamanı bilindiği durumlarda ortamın hızı da bilindiğinden, hedef derinliği de hassas olarak belirlenebilmektedir. Radar sinyallerinin seyahat süreleri nanosaniye (10⁻⁹ sn) cinsinden belirlenir. Bu sayede yer üstündeki antenler 2 – 20 cm aralığında bazen sabit bazen ise değişken aralıklarla hareket ederek bilgi toplarlar. Radar antenlerinin nüfuz edeceği derinlik iki ana faktöre bağlıdır; 1) antenin frekansı ve 2) uygulama alanındaki toprak yapısının özellikleri (genel olarak su içeriği). İkinci faktör genel olarak anten seçimini de etkilemektedir. Elektromanyetik sinyalin seyahatinin etkileneceği ortamlar ve sinyal saçılımı en önemli unsurlardır. Enerji transferinin iki önemli bileşeni elektrik ve manyetik sabitlerdir. Bağımsız olarak yansıyan dalgalar (dalga formu olarak da adlandırılır) dijital olarak yeraltından yansiyarak toplanır, bu şekilde birçok iz elde edilerek bir araya getirilip 2 boyutlu düşey kesit olarak profil haline getirilir. Binlerce izin grid içerisinde bir araya profillerle elde edilmesi sayesinde de gerek 2 boyutlu gerekse 3 boyutlu yeraltı görüntüsüne ulaşılır.

2.YER RADARI YÖNTEMİ

2.1 GPR Yönteminin Tarihçesi ve Uygulama Alanları

James Clerk Maxwell 1864’de ve Heinrich Hertz 1886’da elektromanyetik dalgaların ve bunların yansımaları ile ilgili temel teoriyi ortaya koymuşlardır. Ancak 1924’e kadar, İngiliz fizikçi Sir Edward Victor Appleton’ın iyonosferin yüksekliğini elektromanyetik dalgalar ile belirlenmesini sağlayan denklemler oluşmamıştır. Daha sonra 1935’de İngiliz fizikçi Sir Robert Watson-Watt ilk pratik radar sistemini geliştirmiştir (Calligeros ve diğ. 1997). Olhoeft 2000’e göre ilk GPR ölçümleri 1929 yılında Alman jeofizikçi W. Stern tarafından gerçekleştirilmiştir. Ancak, GPR genel olarak 1950’lerin sonlarına kadar unutulmuştur, ta ki Amerika Hava kuvvetlerinin radar sistemlerinin Grönland üzerindeki buz tabakasından etkilenerek yanlış yükseklik hesabı sonucu yaşadıkları kazaya kadar. 1960 yılında John C. Cook yeraltındaki objelerin radar yöntemi ile belirlenebildiğini anlattığı “Tek dönümlü sinyal sunumu, VLF radar ile buz ve kar kalınlıklarının uçaktan belirlenmesi” isimli makalesi ile duyurusunu yapmıştır (Cook 1960). Cook ve diğerleri daha sonraları da yeraltındaki objeleri belirlemek için radar sistemleri geliştirmeye devam etmişlerdir.

En orijinal gelecek vaat eden yeraltı radar sistemi Moffatt ve Puskar tarafından 1976 yılında sunulmuştur. Sistemlerinde kullandıkları antenler sayesinde gürültünün hedefe oranını düşürerek yeraltından daha sağlıklı bilgiler elde etmişlerdir. Moffatt ve Puskar sistemlerini birçok uygulamada kullanmışlardır. GPR’ları ile gömülü bir tüneli, fayları ve maden yataklarını belirlemişlerdir. Bunların yanı sıra ıslak zonlar konusunda da çalışmalarda bulunmuşlardır. Sonuç olarak GPR yönteminin yeraltı çalışmalarında geniş bir alanda kullanılabileceğini ortaya koymuşlardır. Ulriksen 1982’deki çalışmasında GPR datalarının değerlendirilmesi ve sunulması için kullanılacak temel formülleri ortaya koymuştur. GPR işleminde esas olan ham datayı bozmadan işleyerek en anlaşılır hale getirmektir.

Yeni nesil GPR sistemleri genel olarak sığ jeofizik çalışmalarında tahribat yapmadan kullanılmaya yönelik geliştirilmektedir. Sığ jeofizik araştırmalarında GPR birçok başarılı çalışmaya imza atmıştır. Bununla beraber

tahribattan kaçınılan, tünel, yol inşaatı ve diğer bu tarz sivil mühendislik uygulamalarında GPR'in önemi gün geçtikçe artmaktadır. GPR aynı zamanda jeolojik, neotektonik, hidroloji, arkeolojik ve kirlilik alanlarındaki çalışmalarda da kullanılmaktadır. Örneğin birçok jeolojik oluşumların araştırılmasında kullanılmaktadır, bunlar Arktik ve Antarktik buz tabakalarının ve Kuzey Amerika'daki buzullardan, granit, kireçtaşı ve mermer gibi diğer sert kayaların haritalanmasıdır (Daniels 2004). Diğer bir yönden GPR günümüzde birçok başarılı aktif tektonik araştırma çalışmalarında da başarı ile uygulanmıştır (örn. Bano ve diğ., 2000, Audru ve diğ., 2001, Meghraoui ve diğ., 2001, Gross ve diğ. 2002 and Green ve diğ. 2003).

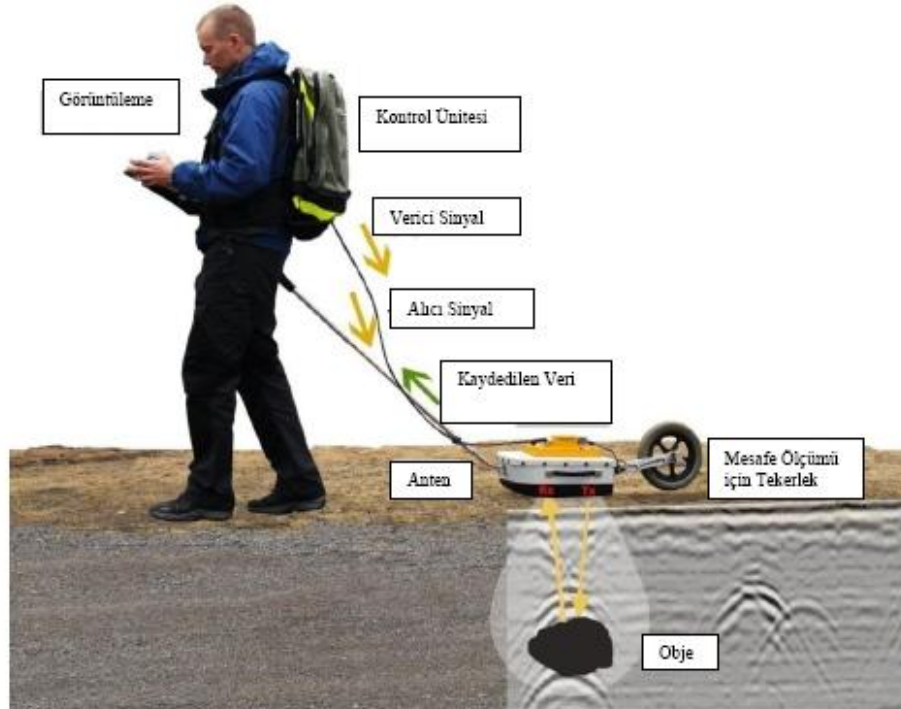
Yer radarları, günümüzde mikro teknolojinin gelişmesiyle birlikte hızla yaygınlaşmakta, özellikle değişik yerlerde uygulama alanları bulmaktadır. Aşağıda bu uygulama alanları listelenmiştir:

- Tarım alanlarında
- Arkeoloji ve antik kalıntılarda
- Biyoloji ve biyofizik alanlarında
- Köprü çözümlerinin belirlenmesinde
- İnşaatlarda
- Kara mayınları araştırılmasında
- Çevresel etkilerde ve çevresel görüntülemelerde
- Adli tıpta
- Jeoteknik araştırmalarda
- Mezar yeri aramalarında
- Yeraltı suyu tespitinde
- Altyapı incelemelerinde
- Buz dağlarının araştırılmasında
- Karstik yapıların bulunmasında
- Ay ve gezegenlerde
- Maden aramalarında
- Göl ve nehirlerin don kırıklarının araştırılmasında
- Karayolları, havaalanları, demiryolları ve kaldırımlarda
- Sedimentolojik yapıların incelenmesinde

- Atık borularının konumları ve geçtikleri yerlerin tespitinde
- Tünel aramalarında
- Patlamayan savaş gereçleri
- Alan taraması ve haritalanmasında
- Yeraltı boşluk taramasında

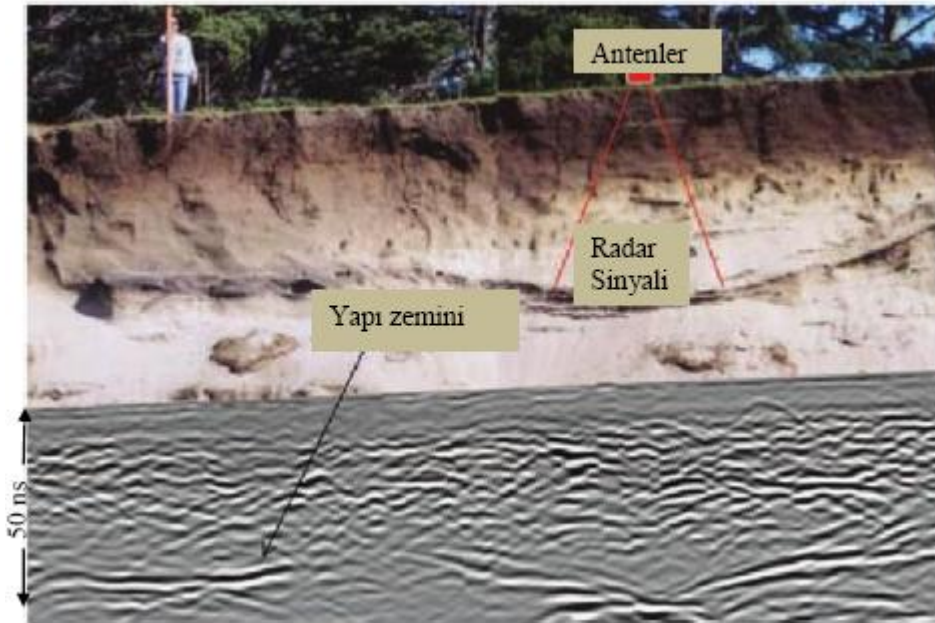
2.2 Yer Radarı Yönteminin Çalışma Prensibi

Yer radarı (GPR), yüzeye yakın yer altı özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan yüksek frekanslı olan ayırım gücü yüksek elektromanyetik, jeofizik yöntemdir (Griffin ve Pippet 2002). Bu yöntem, yatay doğrultuda elektrik alan vektörü olan bir verici anten aracılığı ile kaynak olarak kullanılan ve yer içine gönderilen çok yüksek frekanslı EM dalgalarının (radyo dalgaların) ara yüzeylerden yansımalarının (echoes) gözlenmesi ilkesine dayanmaktadır (Conyers 2004). GPR ölçüm sistemi, kontrol sistemi, verici anten, alıcı anten ve kayıtcıdan oluşmaktadır. Yer altında, her iki tarafı farklı dielektrik özellikte kayaçlardan oluşan bir ara yüzey bulunması halinde, elektromanyetik dalga bu ara yüzeyde yansıma ve iletme uğrayacaktır (Şekil 2.1). Dalga sürekli veya aralıklı olarak birkaç nanosaniye süreli sinyaller şeklinde kullanılır.



Şekil 2.1: Yer radarı yönteminin çalışma prensipleri (www.malags.com).

Verici anten (transmitter antenna) birkaç nanosaniyeli bir elektromanyetik sinyal üreten bir anten olup, yatay doğrultuda elektrik alan vektörüne sahiptir. Yer içinde ilerleyen dalgalar anomali verecek herhangi bir cisim veya tabaka ile karşılaştıklarında yansıma veya saçılmaya uğrayarak tekrar yukarı çıkıp, yüzeydeki alıcı anten, kontrol ünitesi ve kayıt ünitesi tarafından zamanın bir fonksiyonu olarak kayıt edilirler (Şekil 2.2). Buna radar izi adı verilir ve birimi nanosaniyedir. Ölçümler genellikle bir profil üzerinde alınır. Bu profiller önceden belirlenen ölçüm noktalarında bulunmaktadır. Her ölçüm noktasındaki izler yan yana getirilerek radargram adı verilen radar kesitleri elde edilir (Şekil 2.2). Uygulama alanında profiller paralel olacak şekilde kullanılır ve ölçüm alınır. Elde edilen sonuçlar üç boyutlu olarak görüntülenir (Kadioğlu 2003).



Şekil 2.2: Tarihi bir yapı araştırmasında alınan yer radarı profili. Ölçümler 400 MHz merkez frekanslı antenlerle alınmıştır (Conyers 2012).

2.3 Yer Radarı Sinyallerinin Oluşturulması ve Yayınımı

Yer altında bulunan ve içerisinde su bulunduran Jeolojik malzemelerin fiziksel özellikleri ile elektromanyetik özelliklerin arasında güçlü bir ilişki vardır. Bu ilişki yardımıyla elektrik yöntemler kullanılarak yer altındaki fiziksel yapıların

tanımlanması sağlanır. (Smol 2002; Davis & Annan 1989; Dallimore & Davis 1987; Delaney & Arcone 1982; Scott 1978).

Çoğu jeolojik malzeme yarı iletken veya dielektrik madde olarak kabul edilir ve böylece üç elektromanyetik özellik karakterize edilir. Bunlar, elektriksel iletkenlik, elektriksel geçirgenlik ve manyetik geçirgenliktir. Malzemenin elektrik iletkenliği, doğru akım iletim yeteneğinin bir ölçüsüdür ve belirli bir doğru akım için belirli bir mesafe boyunca yaşanan gerilim düşümü ile ters orantılıdır. Manyetik geçirgenlik mıknatıslanma kuvveti ile manyetik akı indüksiyon oranı olarak tanımlanır. Bir malzemenin manyetik duyarlılığı (süseptibilitesi) geçirgenliğin bir fonksiyonudur. Elektrik geçirgenliği boşaltılmış benzer kondansatörlerin kapasitansı dielektrikle birlikte doldurulmuş elektrik kondansatörün kapasitansı oranıdır.

Mevcut yer radarı sistemlerinde çoğunlukla iki oktav bant genişliğine sahip dipol antenler kullanılır. Bunun anlamı, antenden üretilen frekansların merkez frekansın yarısı ile iki katı arasında çeşitlilik göstermesidir. Örneğin 300 MHz merkez-frekansına sahip bir anten, frekansı 150 ile 600 MHz arasında değişen dalga boylu sinyaller üretir (Conyers ve Goodman 1997).

Dipol antenler genellikle nikelle kaplı alüminyum metal çubuk seklindedir ve çapları birkaç milimetreden 20 mm'ye kadar değişir. Anten uzunluğu, antenden çıkan darbenin genişliğine bağlıdır. 8 ile 12 ns arasında değişen darbe genişliği için gereken anten boyu 0,9 ile 1,2 m arasında iken, 1-2 ns'lik daha ince darbeler için dipol antenin boyu 0,15 ile 0,4 m arasında değişmektedir. Bu yüzden, darbe genişliğini arttırmak için daha uzun anten gereklidir (Parasnis 1997).

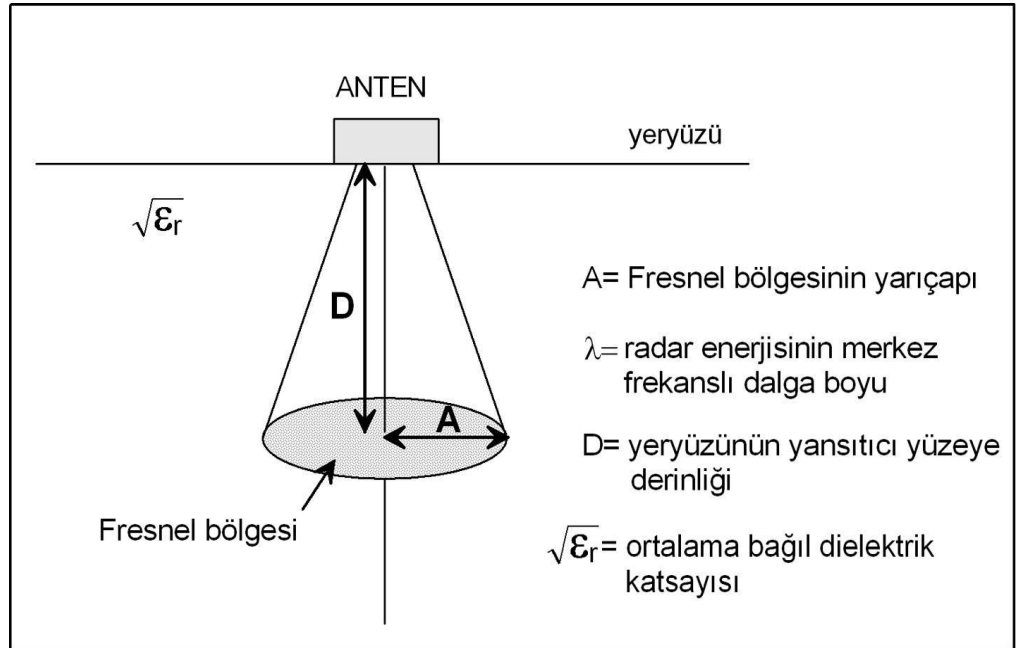
Bir yer radarı anteni sadece tek bir darbe değil, her biri aynı sekle ve süreye sahip, genellikle 2 den 50 μ s'ye değişen belirli aralıklarda ilerleyen darbeler dizisi oluşturur. Bu darbeler dizisinde arka arkaya gelen iki darbe arasındaki aralığın tersi tekrarlanma frekansı f_r olarak adlandırılır. Tipik tekrarlanma frekansı 20-500 kHz aralığındadır. Tek bir darbenin süresi genelde 1 ile 100 ns arasında değişir (Parasnis 1997).

Standart ticari yer radarı sistemleri yeraltına Şekil 2.3'de görülen elips sekinde bir koni biçiminde yayınan radar huzmeleri göndermektedirler ve bu yayınım doğrusal

bir hat değildir (Annan ve Cosway 1992, 1994; Arcone 1995; Davis ve Annan 1989). Elips şeklindeki iletim konisi genellikle ilerleme doğrultusuna ya da antenin uzun eksenine paralel doğrultuda uzanmaktadır.

Isınım örüntüsü, bir antenin ısınım gücünün konum ve açıya göre dağılımının bir ölçüsüdür ve korumalı ya da korumasız yatay elektrik dipol anteni tarafında üretilir. Korumalı antenler, ısınım örüntüsünün yukarı yönde yayılımını azaltır. Bu tür bir mekanizmaya sahip antenden yayılım enerjisi, anten üzerinde konumlandırılan düzenekler ile (metal plakalar ve benzeri) yüzeyden geri yansıtılır.

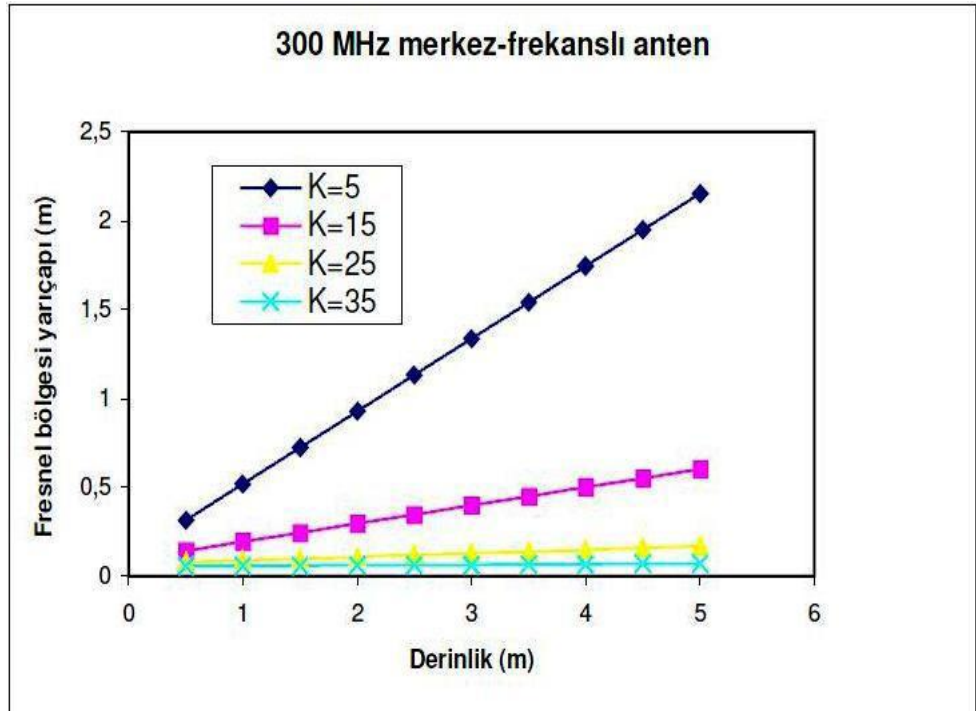
Teorik ve pratik çalışmalar, radar enerjisinin en yüksek değerinin anten dipolüne dik şekilde yayındığını göstermiştir. Bunun anlamı, yapılacak herhangi bir yer radarı çalışması mümkün olduğunca uzanımı bilinen ya da kestirilen yapılara dik yönde yapılmalıdır (Leckebush 2003).



Şekil 2.3: Standart yer radarı anteninden yeraltına gönderilen yayılım örneği (Conyers ve Goodman 1997'den uyarlanmıştır).

Burada A, oval Fresnel zonunun uzun ekseninin yarıçapını, d derinlik değerini ve ϵ_r ise ortamın dielektrik katsayısını göstermektedir. Oval Fresnel zonunun kısa eksenini, kabaca uzun eksen boyunun yarısı olarak verilmektedir. Ancak burada unutulmaması gereken, her iki eşitlikte de radar dalgalarının geçtiği ortamın bağıl

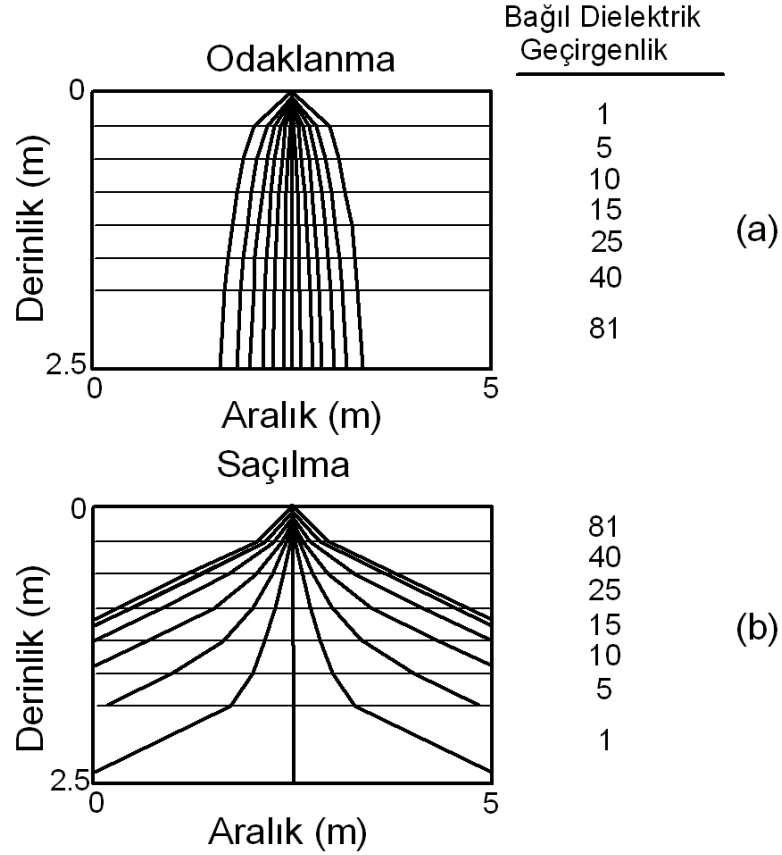
dielektrik geçirgenlik değerinin sabit ve tek değer alması nedeniyle, gerçek yer koşullarına sadece kaba bir yaklaşım olduğudur. Bu durum ancak kontrol edilebilen laboratuvar koşullarında geçerli olabilir. Şekil 2.4, 300 MHz merkez-frekanslı bir antenden yayınan radar dalgalarının farklı bağlı dielektrik geçirgenlik değerlerine sahip ortamlarda oluşan çözünürlüklerini göstermektedir. Elde edilen bu grafikten yararlanarak, artan derinlikle iletim konisinin dolayısıyla Fresnel zonunun genişlediği görülmektedir. Yine radar huzmelerinin yüksek dielektrik geçirgenlikli bir ortamdan daha düşük bağlı dielektrik geçirgenliğe sahip bir ortama geçmesiyle de, Fresnel zonunun büyüyeceği görülmektedir.



Şekil 2.4: Farklı bağlı dielektrik geçirgenlik değerlerine sahip bir ortamda 300 MHz merkez-frekanslı bir anten kullanılarak elde edilecek yatay çözünürlük büyüklükleri (Conyers ve Goodman 1997’den uyarlanmıştır).

Yeraltının dielektrik özelliğindeki değişimler radar dalgaların ara yüzeylerde farklı açılarda kırılmasına neden olmaktadır ve bu durum yansıyan radar dalgalarını etkilemektedir. Yeryüzünden yeraltına doğru bağlı dielektrik geçirgenlik katsayısının artışı, radar dalgalarının ara yüzeylerde daha dar bir açıyla kırılmasına ve konik radar

dalgalarının yer içine daha fazla odaklanmasına yol açar (Goodman 1994). Eğer radar dalgaları daha yüksek bağıl dielektrik geçirgenlikli ortamlara doğru hareket ediyorsa, bu odaklanma etkisi artan bir biçimde oluşmaya devam eder (Şekil 2.5).



Şekil 2.5: Derinlikle bağıl dielektrik geçirgenlik katsayıları (a) artan ve (b) azalan yeraltı modeli için dalga kırılma etkileri (Conyers ve Goodman 1997'den uyarlanmıştır).

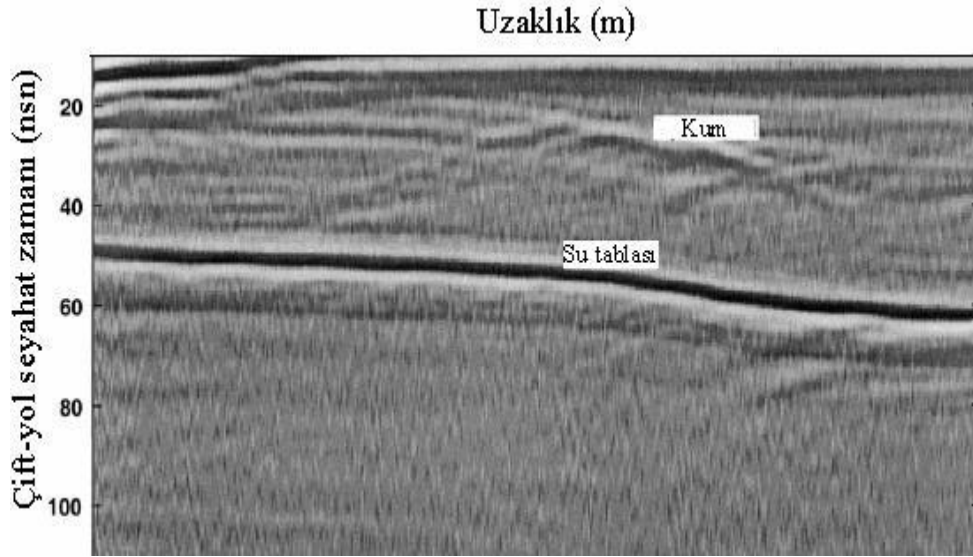
Derinlikle oluşan kırılma ve bunun sonucu oluşan odaklanma miktarı Snell Yasası ile açıklanabilir (Sheriff 1984). Snell Yasasında, iki ortam arasındaki sınırdaki meydana gelecek yansıma ya da kırılma miktarı, radar dalgasının bu ara yüzeye geliş açısına ve hızına bağlıdır. Artan derinlikle bağıl dielektrik geçirgenlik katsayılarındaki artış, radar dalgalarının ortamda ilerleme hızının azalmasına ve geliş açısının küçülerek, iletim konisinin daha fazla odaklanmasına neden olur. Radar dalgaları yeraltına artan derinlikle ilerlerken, yeraltının bağıl dielektrik geçirgenlik değeri yavaş yavaş azalıyor, iletim konisi her ara yüzeyde daha geniş açıda kırılarak, genişler ve saçılır. Yeraltının bağıl dielektrik geçirgenlik değeri artma eğilimi gösteriyorsa, radar huzmeleri odaklanma eğilimi gösterir. Bu nedenle, yüksek bağıl dielektrik geçirgenlik

değerine sahip alanlarda çalışma yapılırken, aranan tüm yer altı yapılarının belirlenebilmesi için radar profillerinin aralığı sıklaştırılmalıdır.

2.4 Yer Radarı Ölçümlerini Etkileyen Parametreler

Yer Radarı araştırmalarında, zemin iletkenliği ve dielektrik sabiti, yüzeysel özelliklerin bulunmasını etkileyen en önemli faktörlerdir. Bu iki parametre sudan önemli bir şekilde etkilenmektedir, bundan dolayı su GPR çalışma performansı üzerinde büyük etkiye sahiptir (Griffin ve Pippet 2002). Bir diğer faktör ise, yüksek iletkenliktir. Bu özellik radar çalışmalarını büyük ölçüde sınırlamaktadır. Yüksek iletkenlik değerine sahip zeminin (yüksek kil içerikli zemin) düşük iletkenlik değerine sahip zeminden (kuru kum) daha fazla enerji soğurduğu görülmektedir (Griffin vd., 2002). Yer radarı çalışmalarında çalışılan ortamın iletkenliğinin düşük olması istenir. Çünkü, yüksek iletkenli ortamlar, iletilen sinyalin soğurulmasına ve derinliğin azalmasına neden olmaktadır. Zemin yapısı, zemin yoğunluğu, zeminin içerdii suyun hacmi ve zemin tuz miktarı içindeki farklılıklar yer radarı sinyallerini etkilemektedir (Bristow ve Jol 2003).

Dielektrik sabiti bir ortamdaki elektromagnetik dalganın yayılma hızını belirlemektedir. Yayılma hızı ile dielektrik sabit arasında ters orantı vardır. Yer altına gönderilen elektromagnetik dalgaların hızı, dielektrik katsayısındaki ani bir azalma sonucunda artmaktadır. Böyle bir durumda oluşan ortam farklılığı sınırda bir yansıma yüzeyi oluşturur ve ilerleyen dalganın bir kısmı geri dönüp alıcı antene ulaşır. Dielektrik sabitin arttığı ortamlarda ise (Kil gibi su içeriğinin yüksek olduğu ortamlar), dalga hızı azalır ve enerji kaybına uğrar. Bu nedenle bu tür ortamlarda GPR ile çalışmak oldukça zordur (Weeds 1994). Su yüksek polarizetibilite özelliğine sahiptir. Bu nedenle de dielektrik katsayısı en yüksek değerdedir. Suyun bu özelliğinden dolayı elektromagnetik dalgaların bu direnç karşısında ilerlemesi oldukça zordur. Su tablası sınırı, kolay bir şekilde tespit edilebilmekte olup, Yer Radarı çalışmalarında elektromagnetik dalgalar için iyi bir yansıma yüzeyi oluşturmaktadır (şekil 2.6).

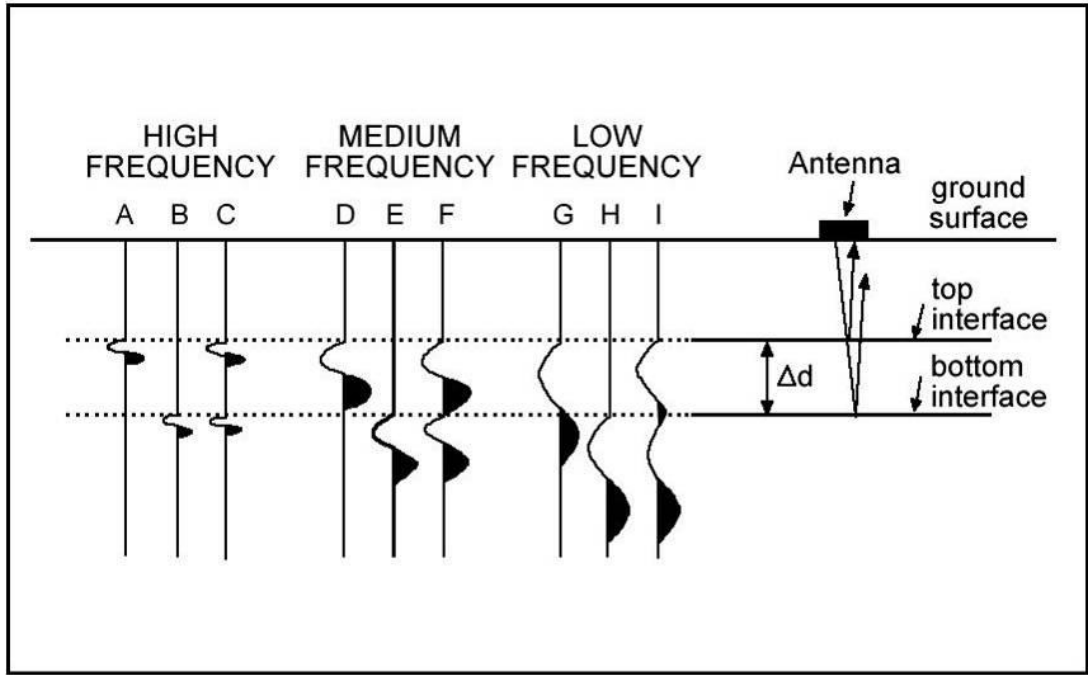


Şekil 2.6: Kumlu bir alanda su tablasının Yer Radarı kesitindeki görünümü (Stickley vd 2000).

Uygulamanın yapılacağı çevre Yer Radarı yöntemi açısından oldukça önemlidir. Çalışma alanındaki, elektromagnetik kaynaklar ile metalik yapıların varlığı önemli etkenlerdir. Ayrıca, diğer önemli faktörden biri de araştırma alanının koşullarıdır. Ölçüm alanında ekipmanla güvenli ve ekonomik bir biçimde çalışmanın yapılıp yapılmayacağı da önemli bir konudur. Eğer ortamda olağan dışı koşullar ya da tehlikeler mevcut ise (sıcaklık, soğukluk, kirlilik gibi) bunlar da göz önüne alınmalı ve çalışma esnasında dikkatlice not edilmelidir. Veri-işlem ve yorum aşamasında bu notlara özellikle dikkat edilerek işlemler yapılmalıdır (Annan 1999).

GPR çalışma performansına etki eden diğer bir faktör de kullanılan anten frekansdır. Uygulamalarda kullanılan anten frekansları uygulama derinliğine bağlı olarak 25 MHz ile 1000 MHz arasında değişmektedir. Antenin fiziksel boyutu iletilen dalgaların frekansını etkiler (Griffin vd 2002). Yer Radarında kullanılan anten frekansına bağlı olarak dalgalarının derinliği ve çözünürlüğü farklılık göstermektedir (Takahashi 2004). Şekil 2.6'da da gösterildiği üzere gönderilen frekansın enerjisine göre iki tabaka arasındaki kalınlık (Δd) ve düşey çözünürlük belirlenmektedir. Yüksek enerji (A) ve (B) tabakanın üstten ve alttan sınırlarını tespit etmekte yeterlidir ve ikisinin bileşkesi olan (C) ile de görüntü elde edilir. Orta frekans da ise daha uzun dalga boyuna sahip olduğu için sadece tabakanın üst sınırı tespit edilebilmektedir (D – E ve F). Düşük frekans tüm katmanları geçmesine rağmen çok

geniş dalga boyu sebebi ile net görüntü sağlamamaktadır (G – H ve I).



Şekil 2.7: Tabakalar arasındaki GPR izinin şematik gösterimi (Conyers 2004).

Ölçüm için seçilen anten frekansı ve anten tipi (korumalı yada korumasız) ve polaritesi bir çok faktöre bağlıdır, bunlar hedef objenin şekli, boyutları, ölçüm yapılan ortamın özellikleri en uygun ve ekonomik araştırma olanakları ve tabii ki araştırma yüzeyinin durumu (örn. Düzgün, bitki örtüsü kaplı, engebeli, eğimli). Bütün bu özellikler göz önünde bulundurularak en uygun sistem dizaynı gerçekleştirilir. Daha sonra polarizasyona ve hedefi en iyi tespit edecek yöne göre ölçüm doğrultuları tespit edilir. Çünkü dairesel frekans uygulandığından çevresel etkilerin datalardan temizlenmesi proses işlemi aşamasında zorluklara neden olabilir (Daniels 2004).

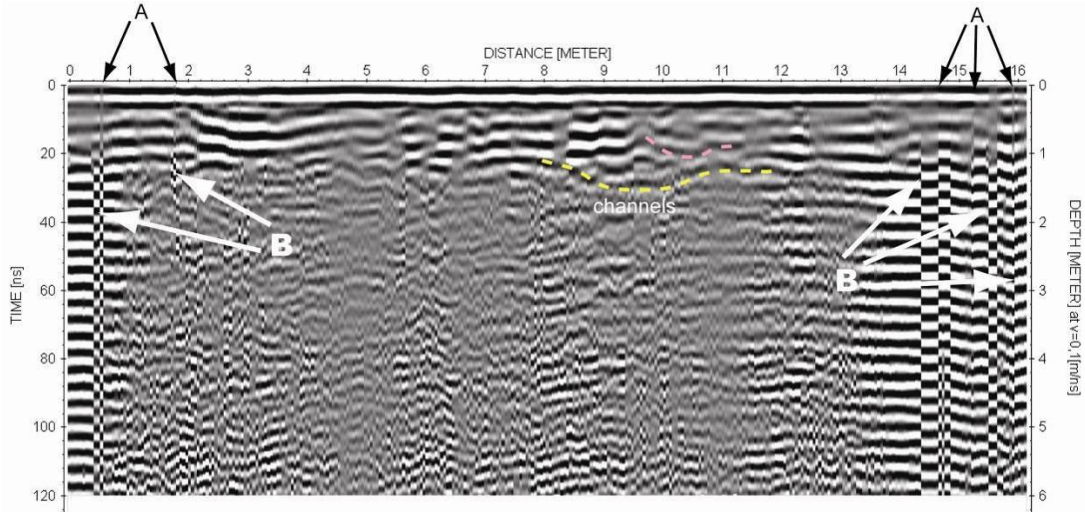
Yeraltında gömülü olan cisimlerin tespiti onlara gönderilen enerjinin ulaşması ile mümkündür. Genel olarak ulaşan enerjinin dalga boyunun cismin boyunun minimum % 75'ini kapsaması gerekir. Toprak altına gönderilen enerjinin frekansı yüzeydekinden daha düşük olur. Örneğin 250 MHz ile yollanan bir enerji yeraltında 180 MHz ile seyahat eder (Weymouth 1986).

Kullanılacak antenin frekans seçimi hedefin derinliğine bağlıdır, daha derindeki hedef için daha düşük frekans kullanılır. Bu genelde jeolojik GPR araştırmaları içindir.

Diğer yandan daha sığ hedefler için daha yüksek frekanslı antenler kullanılır. Bu da genelde arkeolojik çalışmalar için geçerlidir.

Ölçümlerin en sevilmeyen fakat en önemli kısmı anten çekimidir (yada itimi). Bu işlem sürekli ölçümlerde daha da zor hale gelmektedir. Özellikle düz bir hat üzerinde sabit bir hız ile ilerleyerek data toplamak oldukça önemlidir. Bazı ölçümlerde özel arabalar yada aparatlar kullanılabilir. Eğer data sürekli ölçümde belirlenen aralıklar ile program tarafından ölçüm yapılıyorsa anteni çeken kişinin hızı ile birlikte işaret edilecek noktalara dikkat etmesi gerekmektedir (direk, ağaç, kaldırım vb.). Bu profilin gerçel ortama yerleştirilmesine yardımcı olmaktadır. Ölçümlerde tetikleyici olarak bir tekerlek sistemi genelde daha kolay ve hızlı ölçüm imkânı sağlamaktadır. Grid ölçümlerinde diğer dikkat edilmesi gereken unsurda ölçümlerde tüm profillerde antenler aynı yönde ve yer ile mesafesi aynı miktarda olmalıdır. Anten doğrultusundaki düzensiz değişimler gerçek görüntülerin yeraltından toplanmasını engeller (Conyers 2004). Bu tarz anten sorunları temas problemi olarak adlandırılır. Temas sorunu aynı zamanda yeraltının görüntülenmesini de engellemektedir. Ölçüm anında gerçekleştiğinden data işleme esnasında elden çok fazla bir şey gelmez (Şekil 2.8).

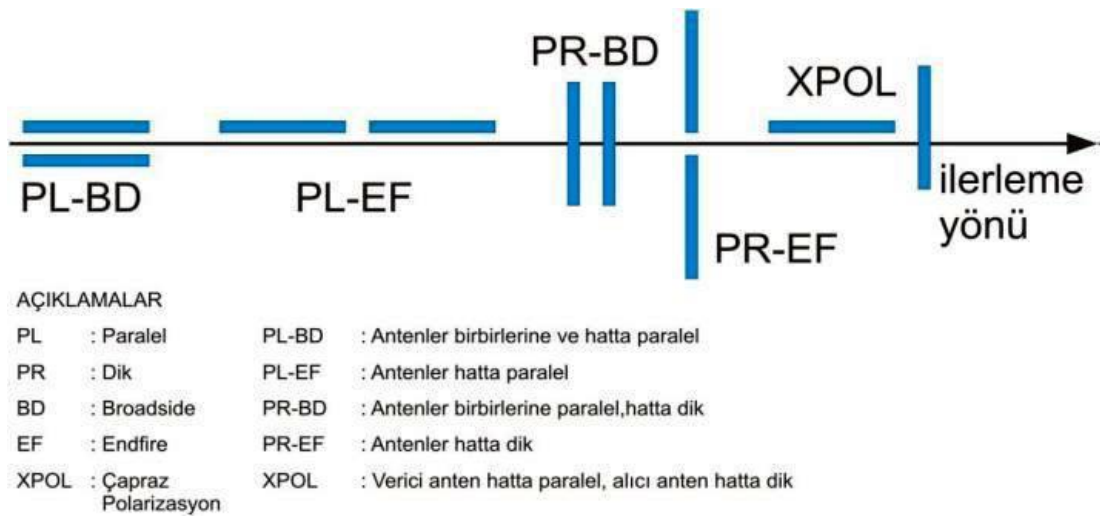
Antenlerin yukarı aşağı oynaması veya bitki örtüsünün rahatsız etmesi sonucu (Şekil 2.8'de A) profil üzerinde oluşan gürültü yansımaları (Şekil 2.8'de B) yeraltında bulunabilecek yapıların yanlış yorumlanmasına yada gözden kaçırılmasına neden olur.



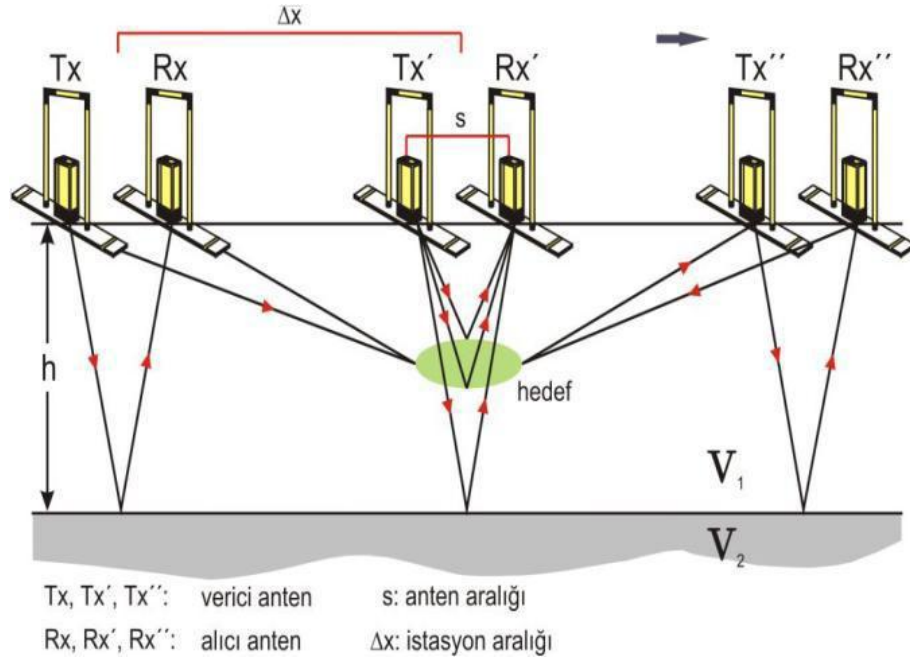
Şekil 2.8: Anten temas sorununu gösteren örnek GPR profili(A bitkilerden oluşan temas sorunlarını göstermekte, B ise bu sorunlar sonucunda yeraltında oluşan yansımaları göstermektedir).

2.5 Yer Radarı Yöntemi ile Veri Toplama

Yer radarı çalışmalarında veri toplama; yansıma profili/ortak ofset, geniş açılı yansıma ve kırılma (GAYK) veya ortak derinlik noktası, (ODN) yöntemini içeren çoklu ofset sistemleri ve radar tomografi ölçümleri olarak üç şekilde gerçekleştirilebilir (Reynolds, 1997). İlk iki yöntem ile veri toplama aşamasında, verici ve alıcı antenler, birbirlerine ve ilerleme yönüne göre farklı konumlarda olabilirler.

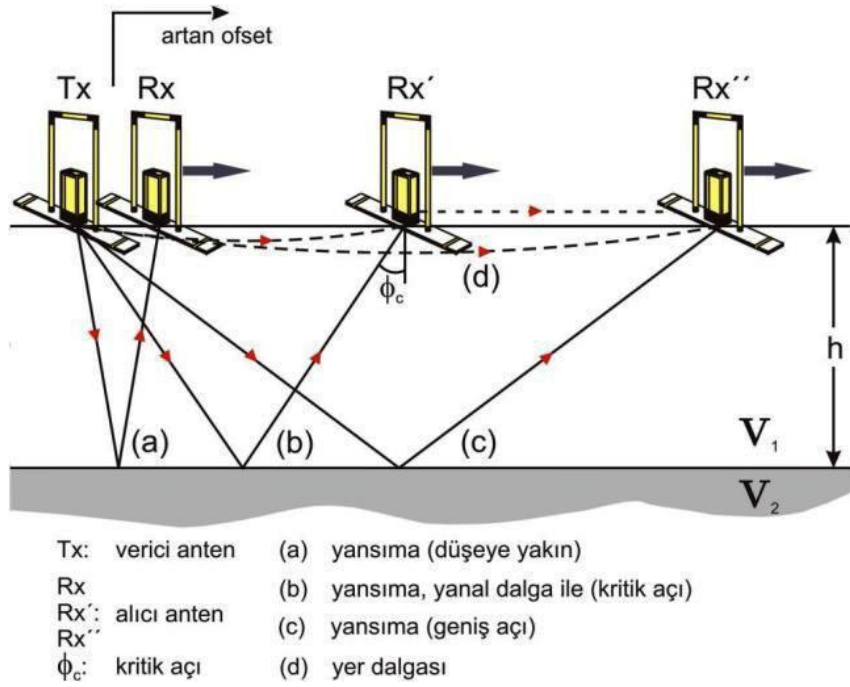


Şekil 2.9: Yer radarı anten dizilimleri (Reppert vd 2000).



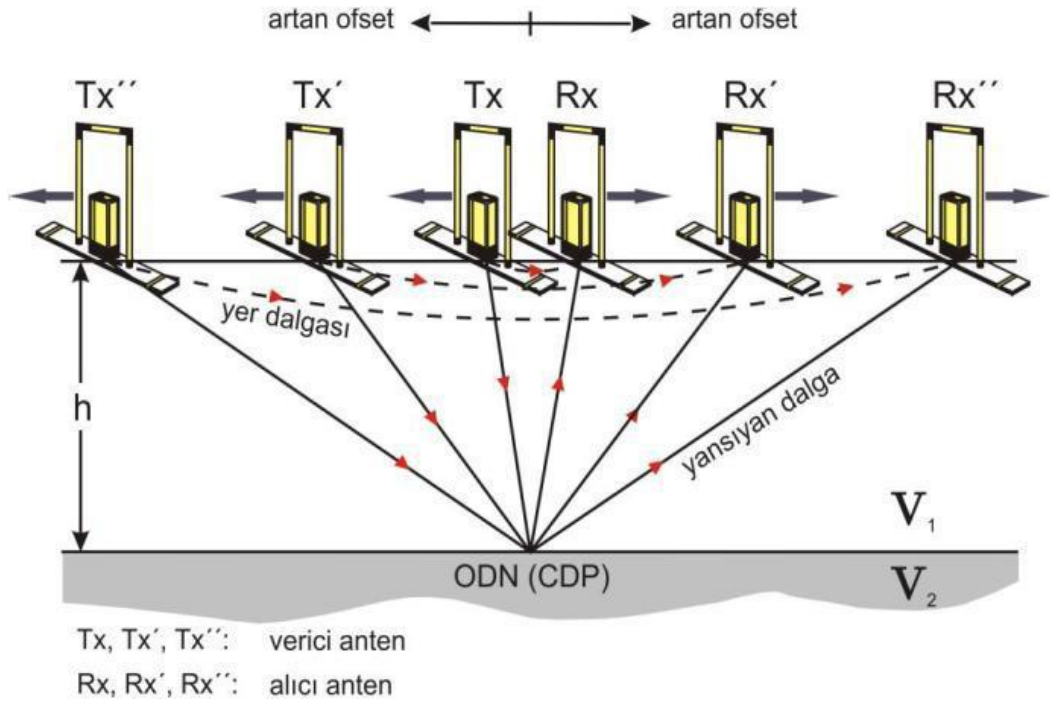
Şekil 2.10: Yansıma profili (ortak ofset) yönteminin şematik gösterimi (Annan 2005).

Tek bir anten kullanılarak sıfır ofsetli veri elde edilir. İki anten kullanılması durumunda (Şekil 2.10), antenler arasındaki mesafe, korumasız antenler için bir dalga boyu, korumalı antenler için ise dalga boyunun yarısı kadar olmalıdır (Blindow 2006).



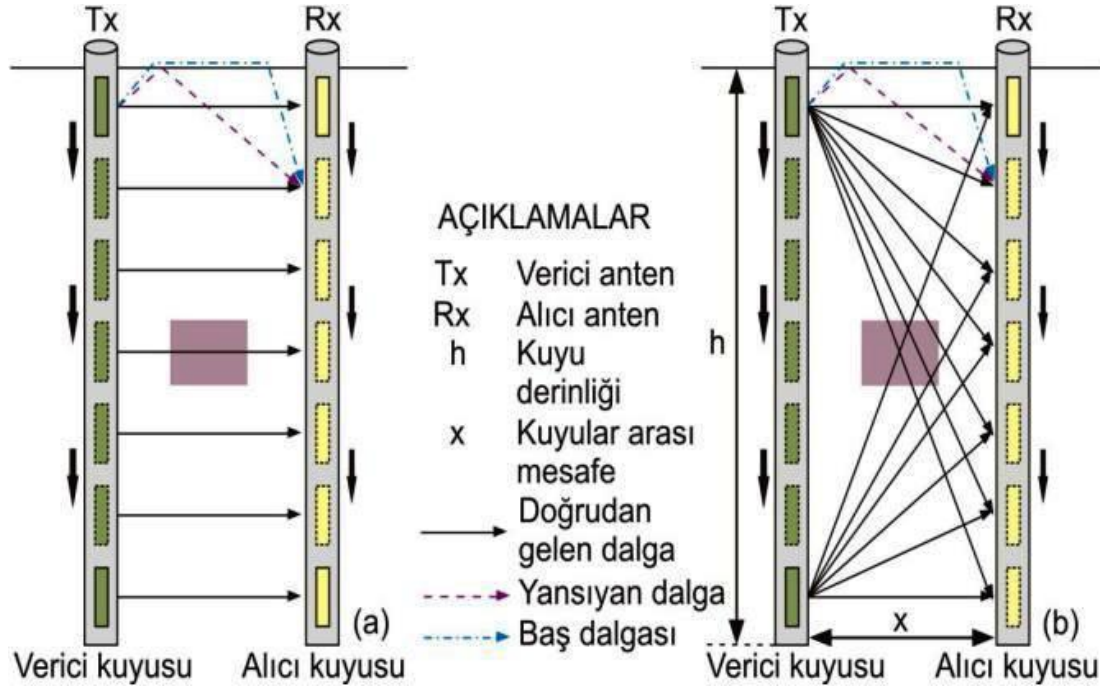
Şekil 2.11: GAYK yönteminin şematik gösterimi (Reynolds 1997).

Geniş açılı yansıma ve kırılma ölçümlerinde (GAYK) verici anten, başlangıç noktasında sabit kalırken, alıcı anten, ofsetin artırılmasıyla doğrultu boyunca ilerler (Şekil 2.11). Bu yöntemin uygulanabilmesi için, araştırma alanındaki temel yansıtıcı yüzeyin yatay veya eğiminin çok az olması gerekmektedir (Reynolds 1997).



Şekil 2.12: ODN yönteminin şematik gösterimi (Reynolds 1997).

Çoklu ofset ölçümleri için tercih edilen yöntem ortak derinlik noktası (ODN) ölçümleridir. Burada, verici ve alıcı antenler, bir doğrultu boyunca, ortak bir ortak noktadan, eş zamanlı ve eş adım aralıklarında zıt yönlerde hareket ederler (Şekil 2.12) (Blindow 2006).



Şekil 2.13: Karşılıklı kuyular arası radar tomografi ölçümlerinin şematik gösterimi a) sıfır ofset profil ve b) çoklu ofset profil (Annan 2009; Kayen vd 2002).

Yer radarı tomografi ölçümleri, karşılıklı kuyular arasında gerçekleştirilmektedir. Karşılıklı kuyular arasındaki veri toplama, sıfır ofset profil ve çoklu ofset profil gibi değişik düzenler ile gerçekleştirilebilir (Binley vd., 2001, Rucker ve Ferre 2004). Bunlardan ilkinde, alıcı ve verici bir istasyondan diğerine eşzamanlı olarak hareket eder (Şekil 2.13a). İkinci düzende ise verici anten, verici kuyusunda bir istasyonda sabit kalırken alıcı kuyusundaki alıcı anten sabit istasyon aralıkları ile kuyu içinde ilerler. Daha sonra, verici anten kuyu boyunca bir sonraki istasyona ilerlerken, alıcı anten ilk istasyondan itibaren aynı adımları tekrarlar (Şekil 2.13b). Her iki teknik avantaj ve dezavantajlara sahiptir (Binley vd., 2001; Rucker ve Ferre 2004; Cassiani vd 2006).

2.6 Yer Radarı Yöntemi ile Yapılan Örnek Çalışmalar

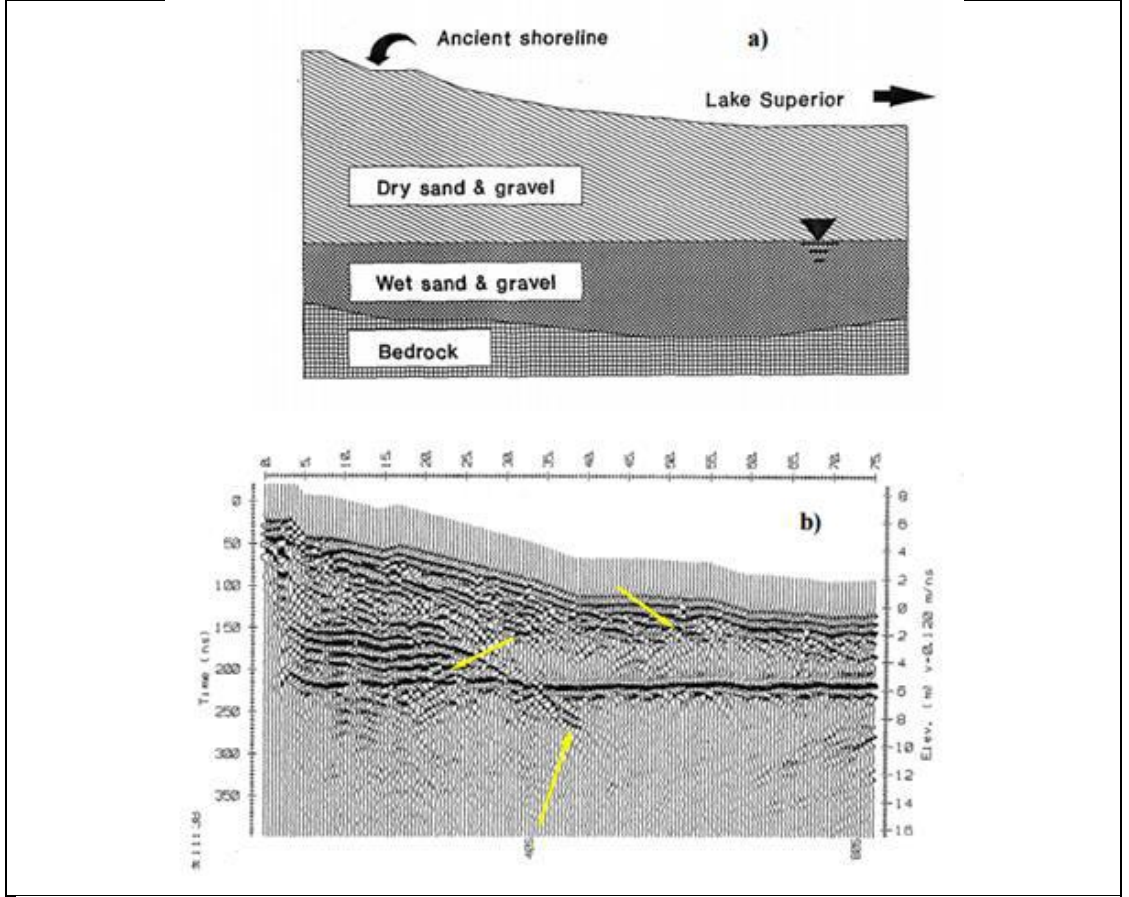
GPR yöntemi statik ve depremsellik açısından en az risk taşıyan temel derinliği ve güzergâh yolunu belirlemek için yüksek ayırım duyarlılığı ile sığ derinlikteki tabakalanmalar, süreksizlikler, faylanmalar, boşuklar, su tablası seviyesi, gevşek birimleri ve çok ince ayrışım zonlarının konumları, derinliklerinin belirlenmesinde oldukça etkili bir yöntemdir.

2.6.1 Zemin/Kaya Ortamının Tanımlanması

Zemin, kaya farklı elektrik özellikler (dielektrik sabiti ve iletkenlik) taşıdığından radar sinyal hızı, yansıma ve sönüm değerlerini ara yüzeylerde değişmesine yol açacaktır. Hem dielektrik sabiti hem de iletkenlik büyük ölçüde sudan etkilenir (toprağın nem içeriği), dolayısıyla suyun genel olarak GPR performansı üzerinde önemli bir etkisi vardır. Zemin iletkenliği enerji emilim hızını etkilediğinden maksimum nüfuz derinliği enerjisini de sınırlar. Daha iletken zemin (nemli ya da yüksek kil içeriği) , örneğin kuru kum gibi iletkenliği düşük zeminden çok daha büyük oranda enerjisi soğrulmaktadır. Kuru killi zeminlerin penetrasyon derinliği genelde bir ya da iki metre aralığında ve ıslak kil 1 metre ya da daha az nüfuz derinliğini sınırlandırmaktadır, oysa kuru kumlu zeminlerde 10 metreden daha fazla derinliklere kadar ulaşabilmektedir. İletkenliği düşük olan kaya çeşitleri kireçtaşı, kömür, granit ve diğer kristal kayalar içerirken, daha iletken olan kaya türleri ise bazalt, şeyl ve çamurtaşı ya da oldukça yüksek poroziteli ayrışmış zemin içerir (Griffin ve diğ., 2002).

Yer altı su seviyesinin yüksek olduğu (şekil 2.14), özellikle genç çökellerden oluşan gevşek zeminlerin özellikleri, derinlikleri ve kalınlıkların belirlenmesinde GPR yöntemi ile tabakalar arasındaki sınırların elektriksel özelliklerinden yararlanılarak cm kalınlığındaki ince tabakaları yüksek ayrımlı görüntülerinin elde edilmesini sağlar.

Genelde yüzeydeki gevşek zon alttaki nispeten pekişmiş zon ile iyi bir dielektrik sabit farkı oluşturmaktadır. GPR uygulamalarında kullanılan elektromanyetik dalgalar için iyi bir kontrast oluşturan bu sınır kayıtlarda kolaylıkla gözlenebilmektedir (Daniels 1989).



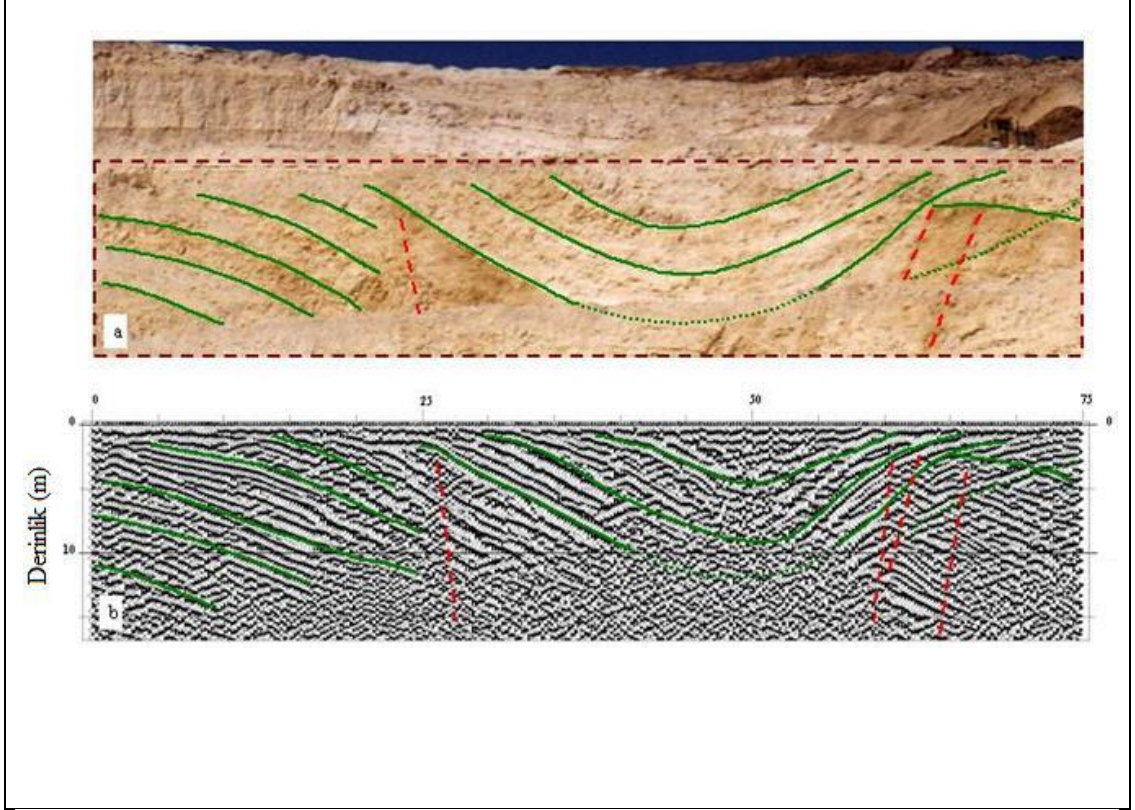
Şekil 2.14: a ve b de GPR uygulama teknikleri kullanılarak Yeraltı su seviyesi, kum/çakıl-anakaya arayüzeylerin haritalanması (Scaife ve Annan 1991).

2.6.2 Fay Yerlerinin Belirlenmesi

Paleosismolojik, hendek çalışması ile bir fay üzerinde oluşmuş eski deprem izlerini (yüzey kırığının yeri, depremin büyüklüğü, atım miktarı, büyük depremlerin tekrarlanma aralığı vb) belirler. Hendek çalışmasını kolaylaştırmak, açılan hendegın boyunu daha kısa tutabilmek ve fayın genç birimler içerisindeki konumu tespit etmek amacıyla süreksizlik düzlemlerinin yerlerini GPR yöntemi ile belirlenir (Yalçın ve diğ., 2007; Yönlü Ö.,2008).

Hatay ve çevresindeki aktif fayların GPR metodu kullanılarak incelenip bölgenin aktif tektoniği araştırılmıştır. Bölge içinde yüzey kırığı oluşturmuş veya ötelenmeye neden olmuş fayların güncel birimler ile üzerlenip örtülmesi sonucu takibi güçleşmektedir. Özellikle alüvyon birimlerin altında devam ettiği düşünülen fayların geometrilerinin incelenmesi fayların genç birimler ile örtüldüğü alanlarda söz konusu fayların uzanımı, dalımı hakkında bilgi sahibi olmak için ölçümler alınmıştır (Lom 2011).

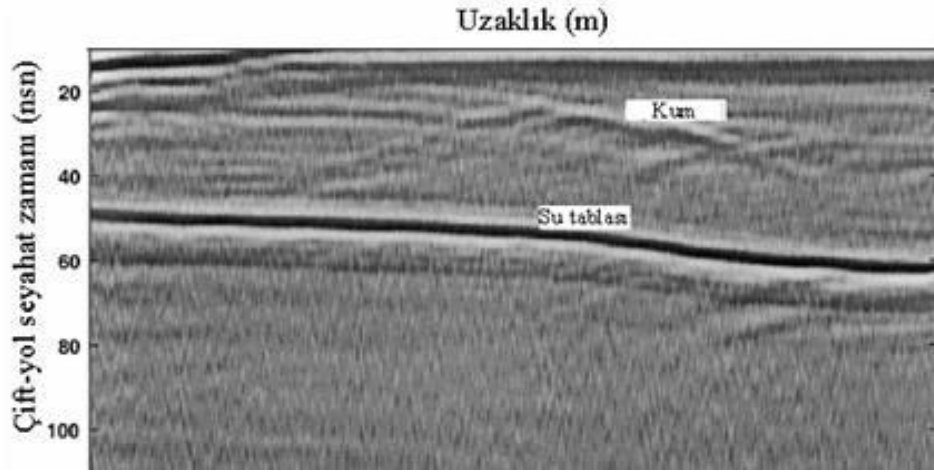
Şekil 2.15'te Nesher Ramle taÇocağının görüntüsündeki stratigrafik birimlerin, yapıların ve fayların gösterimi GPR yöntemi uygulanarak belirlenmiştir (Davis ve Annan 1989).



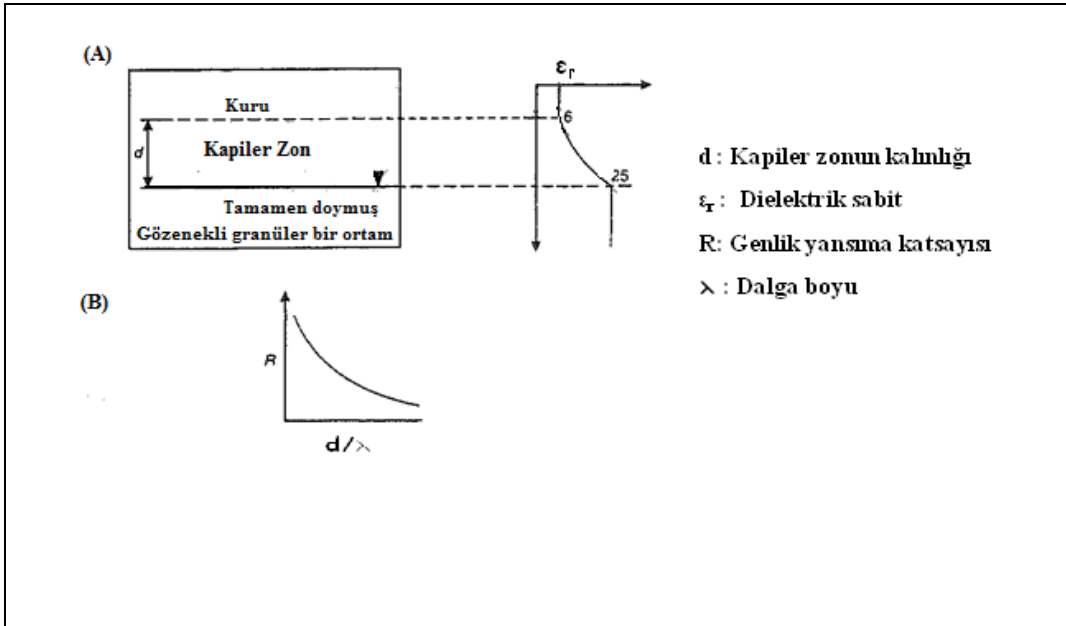
Şekil 2.15: Nesher Ramle taşocağının görüntüsündeki stratigrafik birimlerin, yapıların ve fayların gösterimi ve GPR görüntüsünün yorumlanması (Davis ve Annan 1989).

2.6.2 Su Tablasının Belirlenmesi

Su sahip olduğu yüksek polarizetibilite nedeniyle en yüksek dielektrik sabite sahiptir. Bu nedenle elektromagnetik dalgaların bu direnç karşısında ilerlemesi oldukça zordur. Diğer yandan, su tablası sınırı, GPR çalışmalarında elektromagnetik dalgalar için iyi bir yansımaya yüzeyi oluşturmaktadır ve şekil 2.16'da görüldüğü üzere bu sınır kolay bir şekilde tespit edilebilmektedir (Bozkurt ve Kurtuluş 2007).



Şekil 2.16: Kumlu bir alanda su tablasının GPR kesitindeki görünümü (Stickley ve diğ., 2000).



Şekil 2.17: Kapiler zonun kalınlığı (d), dielektrik sabiti (ϵ_r), yansınası katsayısı genliği (R), (Reynolds 1997'den düzenlenmiştir).

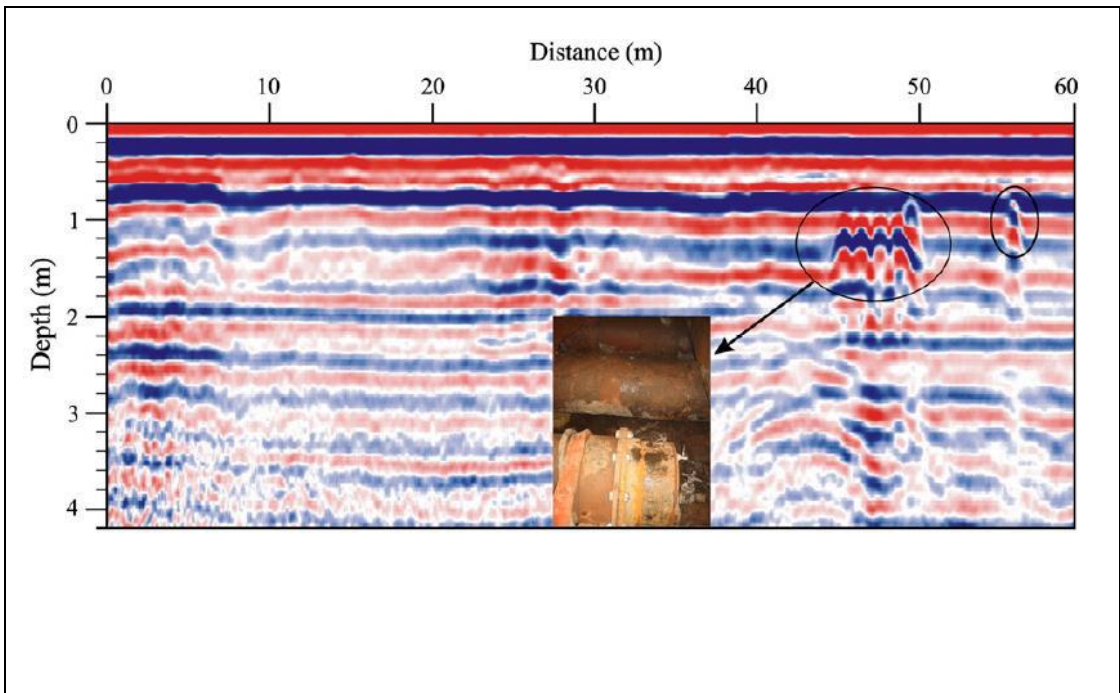
Suyun dielektrik sabiti yüksektir ve dielektrik sabitinin arttığı ortamlarda dalga hızı azalmakta ve enerji kaybına uğramaktadır (şekil 2.17).

2.6.3 Gömülü Yapıların Belirlenmesi

Marmaray tüp geçitinin ana istasyon yeri olan Yenikapı'da açılacak tünel çalışmaları için vurulan kazılar sonucu çok sayıda arkeolojik kalıntılar ortaya

çıkılmıştır, olası mevcut kalıntılara zarar verilmeyecek şekilde yerlerinin belirlenmesi için tahribatsız, hızlı ve ekonomik yöntem olan Yer Radarı çalışmaları uygulanmıştır.

Yeraltına gömülü elektrik ve telefon kabloları, su ve gaz boruları, yağmur kanalizasyonu gibi alt yapı tesisatları tünel/metro inşaatları sırasında problem oluşturur. Brezilya, Sao Paulo metro inşaat çalışmasının yönünü belirlemek amaçlı mevcut alt yapı hakkında bilgi almak için 200 MHz anten kullanılarak yüzeyden GPR çalışmaları yapılmıştır (şekil 2.18). Yeraltının 2 m derinliğindeki su boruları, gömülü altyapı ağları, ve beton temel sütunları ya da kazıkların yerleri tespit edilmiştir (Porsani vd 2012).



Şekil 2.18: Karayolu üzerindeki kaldırımlar arasında 200 MHz anten kullanılarak GPR çalışmaları ile alt yapı tesisatının belirlenmesi (Porsani vd 2012).

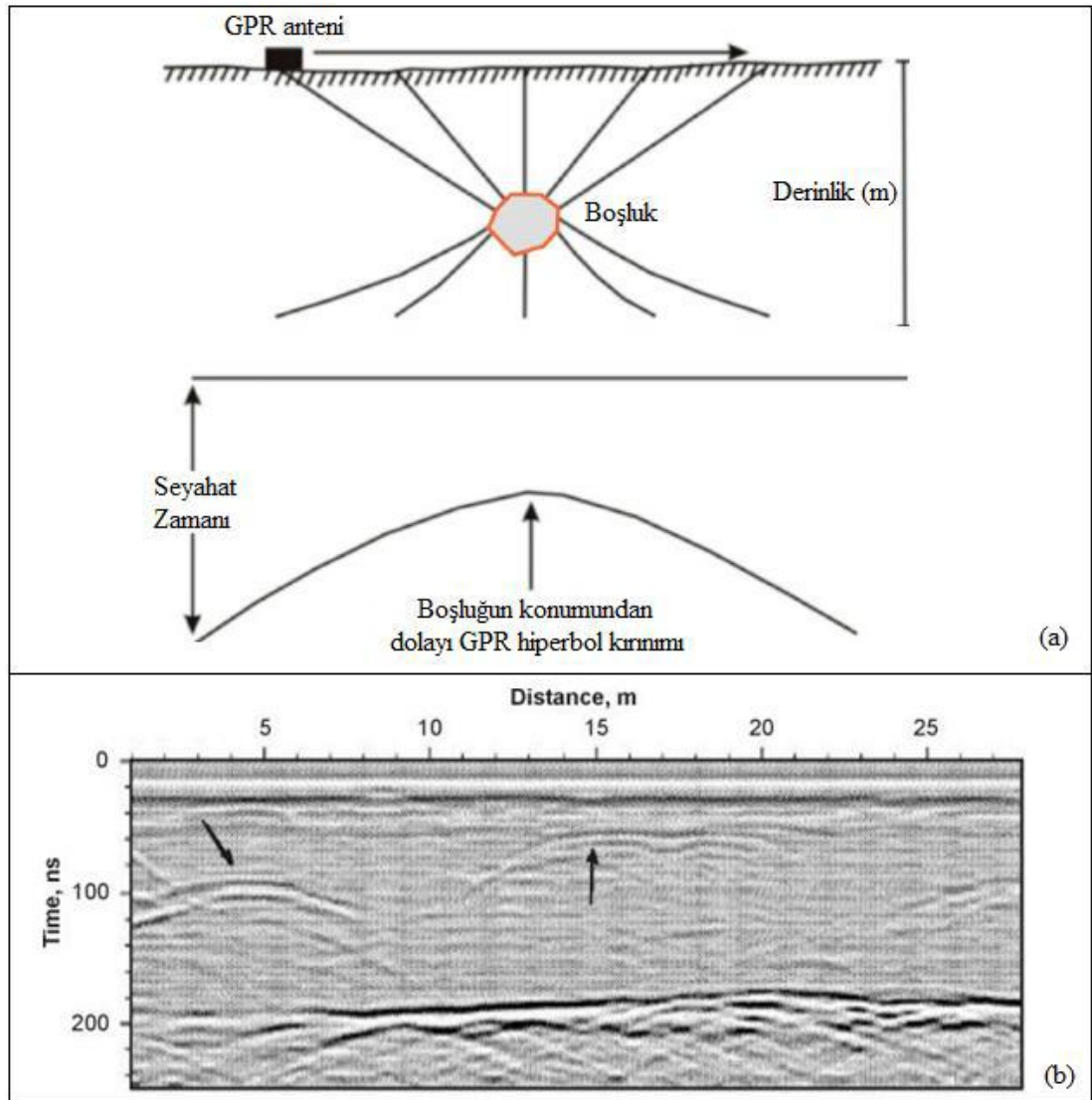
2.6.4 Boşlukların Saptanması

Yer altındaki oda-mezar, mahsen, tünel, kuyu, mağara veya benzer boşlukları ve özellikle karstik sahalardaki hava boşlukları gizli tehlikeleri önlemek ve tünel yapısının, çevresinin emniyetini sağlamak için GPR etkili bir yöntemdir.

GPR yöntemi, kentsel yeraltı boşluklarının konumu ve geometrisini algılamada ve kentsel olmayan alanlardaki farklı jeolojik yerleri tanımlamada çok

kullanışlı olduğu kanıtlanmıştır (Ulugergerli and Akça 2006; Mochales et al.,2008;Wadhwa et al 2008).

Hava, elektromanyetik dalganın yayılması için ideal bir ortamdır. Bir hava boşluğu ile karşılaşan elektromanyetik dalgalar aniden hızlanmakta ve bu yeni ortamın ara yüzeyinden kuvvetli yansımalar göndermektedir (şekil 2.19). Bu nedenle hava boşluklarının GPR yöntemi ile saptanması mümkündür (Koçaslan 2008).



Şekil 2.19: Boşlukların oluşturduğu belirgin yansımalar (<http://www.cflhd.gov/resources/agm/engApplications/RoadwaySubsidence/512GroundPenetratRaadar.cfm>).

2.6.5 Tünel Patlatma Tasarımının İyileştirilmesi

GPR yöntemi sağlam kaya ortamlarında açılan tünellerde kullanılan patlatma çalışmalarının kontrollü bir şekilde hem tünel yapısına hem de tünel çevresine zarar vermeden uygulanabilmesini sağlar. Uygun bir patlatma tasarımı (delgi aygıtı, patlayıcı maddenin cinsi ve miktarı, delik dizaynı) için kayacın değişken yapısal jeolojik süreksizlikleri GPR yöntemi ile yüksek çözünürlüklü görüntüleme sağlayarak hem ekonomik verim hem de istenilen parçalama verimi sağlanmış olur.

Ankara yakınlarında bir taş ocağında GPR yöntemi ile uygun patlatma tasarımı gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın amacı, patlatmanın var olan süreksizliklerden daha az etkilenmesi sağlamak amaçlı ocaktaki süreksizliklerin yeraltındaki uzanımlarının GPR ile belirlenmesi ve bu süreksizliklerin konumları dikkate alınarak patlatma tasarımlarında değişiklikler yapılabileceğinin gösterilmesidir. GPR profilleri, çalışma alanında gözlenen kırığa dik olacak şekilde oluşturulmuştur. Pulse EKKO100A radar sistemi (Sensor & Software) ve merkez frekansı 25 MHz olan açık sistem anten kullanılarak çalışma alanında 44-46 m derinliklere ulaşılmış ve zayıf, kırıklı ve sağlam bölgeler belirlenmiştir. Basamak yüksekliği, patlayıcı deliklerin konumları, dilim kalınlığı/delikler arası mesafe oranının, kullanılacak patlayıcı miktarı belirlenerek parça boyutunda iyileşme olduğu görülmüştür (Kadioğlu 2004).

2.6 Yer Radarı Verilerine Uygulanan Veri İşlem Adımları

Sayısal olarak kayıt edilir GPR verisi fazla sayıda veri - işlem gerektirir. Yüksek tekrarlanma oranı ile istenilen sayıda iz elde edilip yığma yapılabilir. Arazi koşullarına göre yığma sayısı belirlenir. Yığma işleminden sonra alçak geçişli süzgeçler yardımı ile uyartım (inductive) etkiler, yüksek geçişli süzgeçler ile de veriden gürültüler temizlenir. Zaman değişkenli (time-variant) veri-işlem yapılarak iz genliğinde zamanla oluşan sönümlenme giderilir. Veriler genelde ham olarak saklanır. Arazi çalışmalarının sonrasında veri işleme yapılır. Günümüzde GPR sonuçlarının yorumu sismik yorumda kullanılan birçok veri işlem yöntemi ile benzerlik gösterir.

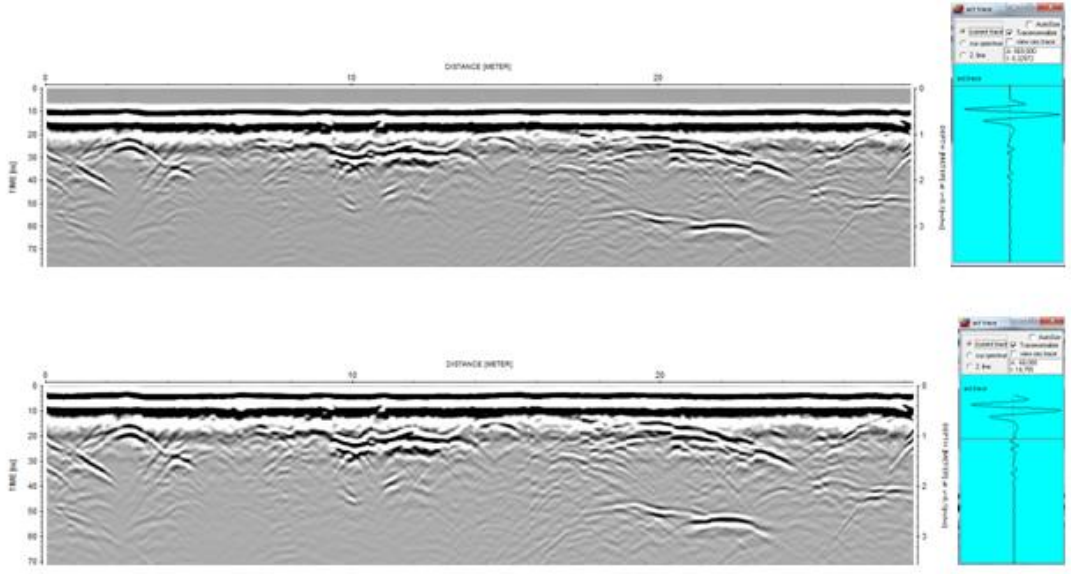
Yer Radarı izi eş aralıklı sayısal değerler olarak kayıt edilir. Radar kesitleri, her bir izin yan yana getirilmesiyle oluşturulur. Bu durumda yatay eksen uzaklığı, düşey eksen ise gidiş geliş zamanını ifade eder. Düşeyde kullanılan birimin nanosaniye olması kesitin sismikte kullanılan ses (acoustic) dalgasından değil de radar tarafından üretildiğini gösterir. Elde edilen radar verileri sismik yöntemle benzer olarak kesitler haline sunulur. Birbirine paralel ölçüm hatları olması halinde zaman seviye haritaları oluşturulabilir. Genlik değerleri belli bir zaman değeri için bütün ölçümlerden çıkartılır ve ölçüm noktalarına harita üzerinde işlenir.

Amaca en uygun görüntüye ulaşabilmek için GPR çalışmalarının en önemli kısımlarından olan veri işlem aşamalarında çeşitli filtre parametreleri ve teknikleri kullanılmaktadır (Leucci ve Negri 2006). Dikkat edilmesi gereken bir başka unsur ise ölçüm yapılan ortama uygun donanım kullanılmasıdır. Bu yöntem, elektromanyetik frekanslar ile çalıştığından, çevresel olarak ortamda bulunan frekanslardan ayrıştırılmalıdır. Ayrıştırmanın mümkün olmadığı durumlarda ise uygun filtreler ile gürültü frekansları veriden temizlenmelidir.

Özet olarak, yer radarı verisi toplandıktan sonra elde edilen veri genellikle gürültüdür. Veri işlem aşamaları ise bu noktada oldukça önemli bir süreç olarak ortaya çıkmaktadır. Veri işlem için çeşitli geliştiriciler tarafından sunulan veri işlem paketleri kullanılmaktadır. Veri işlem aşamaları aşağıda ki anlatılmıştır.

2.6.1 Statik Düzeltme

Bu düzeltme yer radarının dizaynından ileri gelmektedir. Alıcı ve verici antenler arasında bulunan boşluk sebebiyle alıcı anten ölçüme başladığı andan doğrudan gelen dalga alıcıya ulaşana kadar bir zaman geçmektedir. Bu sebeple radargramlarda anten ve yer yüzeyi arasında veri bulunmayan bir bölüm bulunmaktadır. Bu durumda veri negatif zaman kadar ötelenerek gürültü giderilebilir.

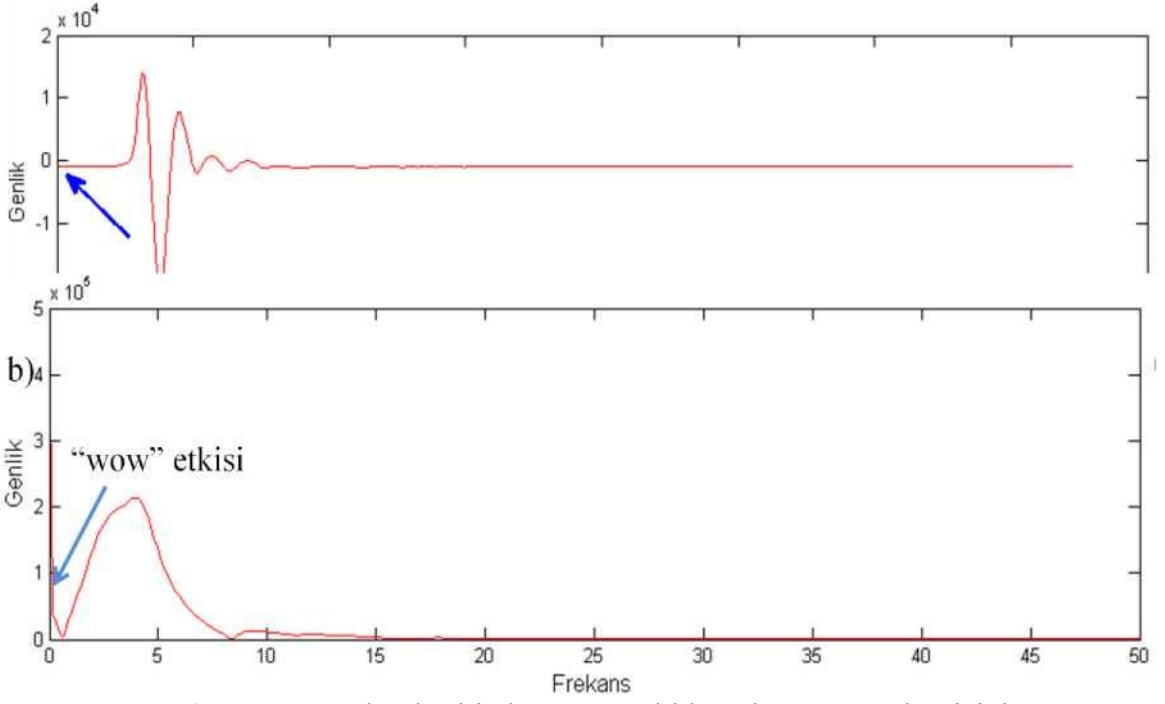


Şekil 2.20: ybag2p4 Ham verisi(üstte) ve statik düzeltme uygulanmış veri.

2.6.2 Dewow (Düşük Frekanslı Olayların Giderilmesi)

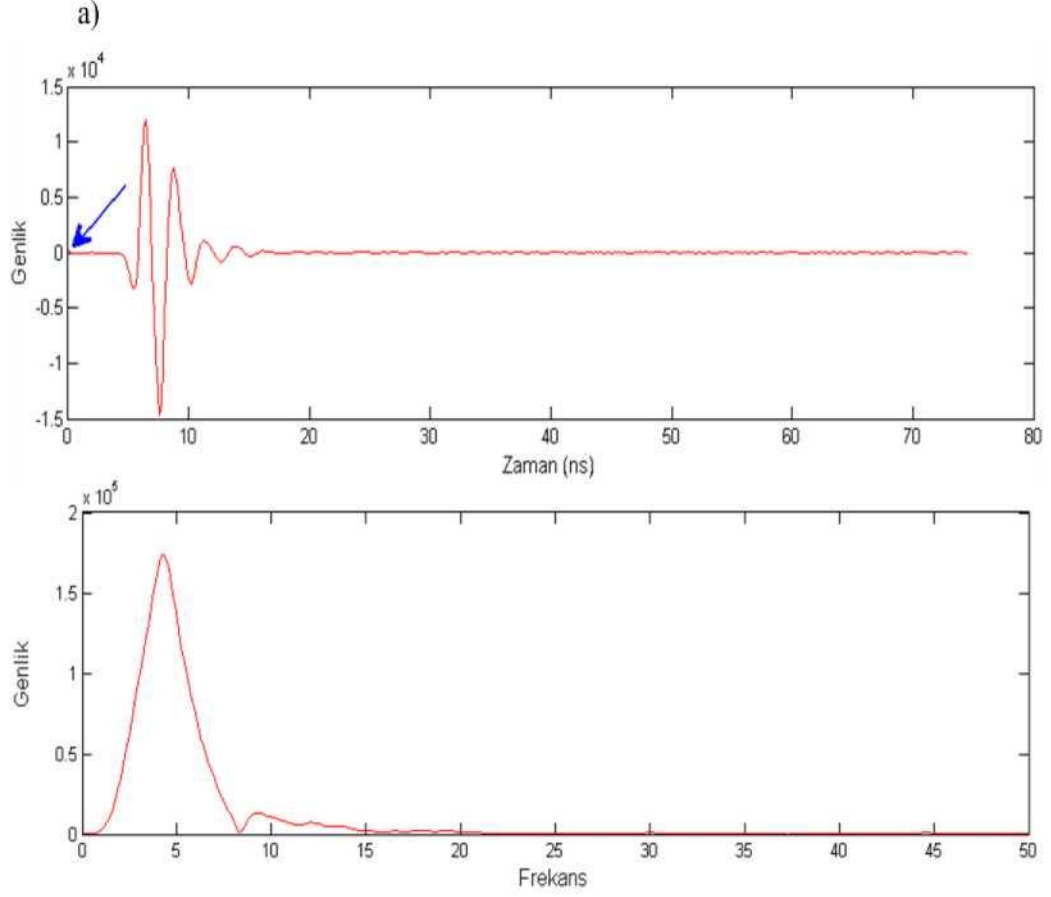
Yer radarı verilerinde çok düşük frekanslı gürültüler verinin görüntülenmesini engellemektedir. Verilerin çok düşük frekanslarında oluşan ve ilerleyen frekanslardaki genlikleri bastıran bileşenine “wow” etkisi denir. Bu etkinin giderilmesi işlemine “dewow” denir. Dewow veriyi ortalama-sıfır seviyesine indirgemede önemli bir adımdır. Ham yer radarı kesitinden 3 m uzaklıkta alınan bir yer radarı izinin zaman (Şekil 2.21a) ve frekans ortamındaki görünümü (Şekil 2.21b), Şekil 2.21’de gösterilmektedir.

a)



Şekil 2.21: a) Ham yer radarı kesitinden 3 m uzaklıkta alınan yer radarı izinin zaman ortamındaki görünümü b) Ham verinin genlik spektrumu

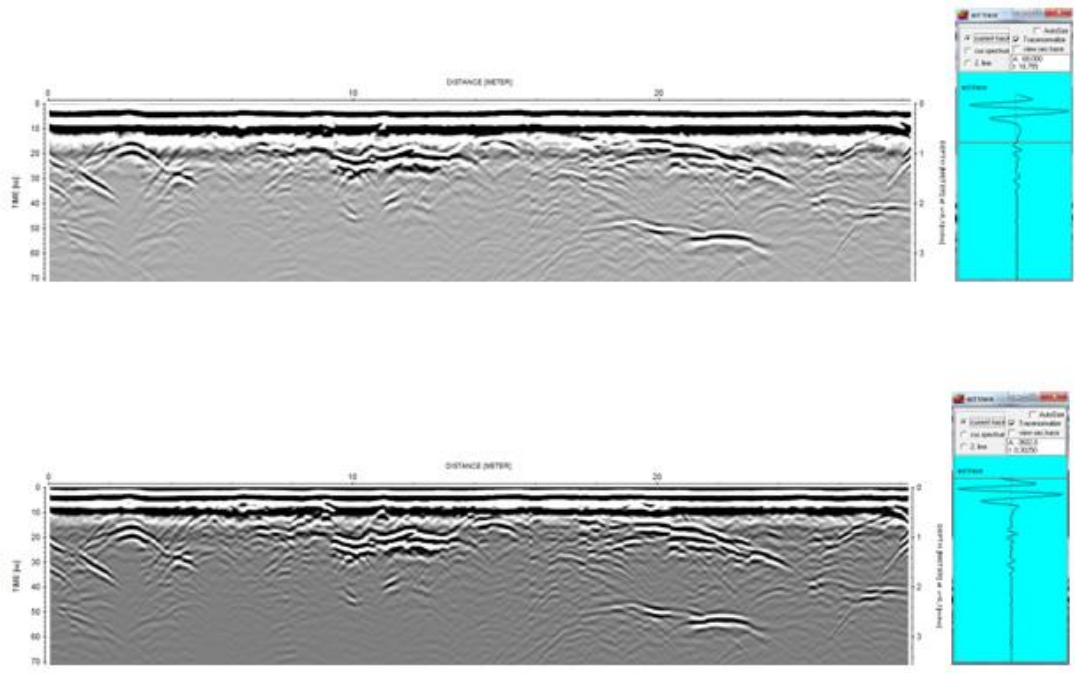
Dewow uygulanmış yer radarı kesitinden aynı uzaklıktaki yer radarı izinin zaman ve frekans ortamındaki gösterimi ise Şekil 2.22 a ve b'deki gibidir.



Şekil 2.22: a) Ham yer radarı kesitinden 3 m uzaklıkta alınan yer radarı izinin zaman ortamındaki görünümü b) Ham verinin genlik spektrumu

Şekil 2.21b ve Şekil 2.22b karşılaştırıldığında, “wow” bileşeninin atılıp ilerleyen frekans içeriğindeki genlik artışı sağlanmıştır.

Şekil 2.20’da verilen ham veriye dewow işlemi uygulandıktan sonra elde edilen yer radarı kesiti Şekil 2.23’de verilmiştir.



Şekil 2.23: ybag2p4 statik düzeltme uygulanmış veri (üstte) ve dewow uygulanmış veri.

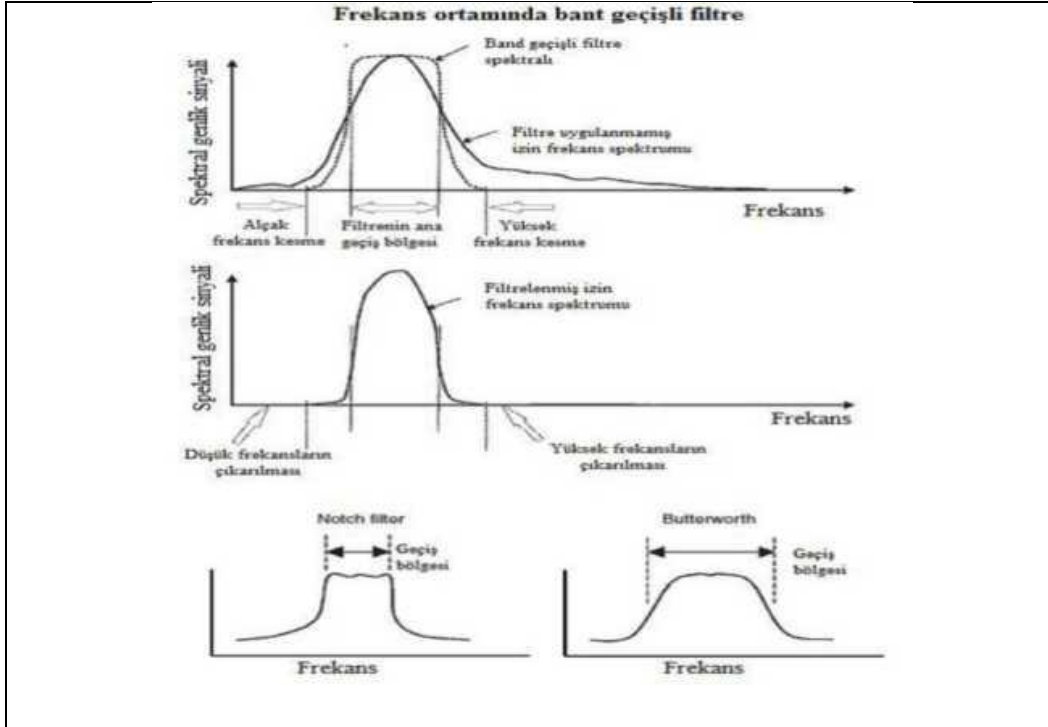
2.6.2 Band Geçişli Süzgeçleme

Süzgeçleme işleminin gerçekleştirilebilmesi için kullanılan çeşitli süzgeçler bulunmaktadır. Bunların en temel ve basit olanları, alçak geçişli, yüksek geçişli, bant geçişli süzgeçlerdir. Bu süzgeçlerle filtreleme işlemleri, insan kaynaklı çevresel gürültüleri veya sistemden kaynaklanan bozucu etkileri veriden atarak, verilerin görsel kalitesini artırmaktadır (Jol 2009).

Alçak geçişli süzgeçlemede, genellikle gürültüleri filtreleme ve derin etkileri ortaya çıkarmakta ideal olan bu filtreleme çeşidinde, uzun dalga boylu olayları veride tutularak, belli bir frekanstan daha alçak frekanslı değişimler geçirilip, diğer frekanslı değişimleri süzülür. Genellikle yatay uzanan olayları baskın hale getirmek amacıyla uygulanırlar.

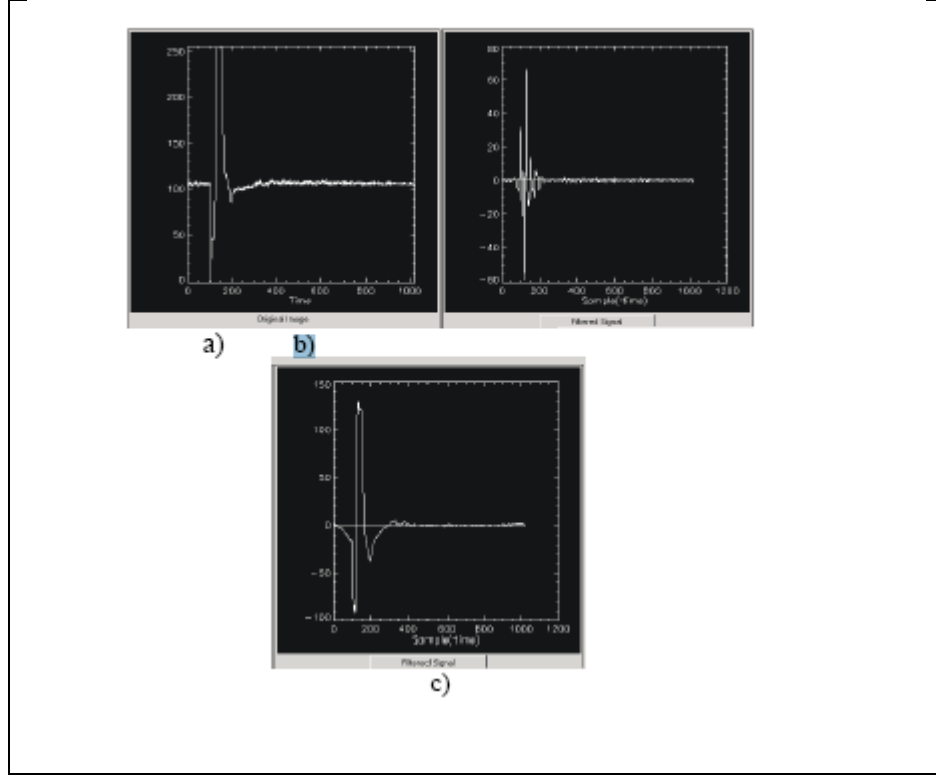
Yüksek geçişli süzgeçleme, belli bir frekanstan daha yüksek değişimleri geçirip, diğer frekanslı değişimleri süzer. Bu süzgeçleme sisteminde sinyal sapması ve düşük frekanslar ortadan kaldırılmaktadır. Dalga boyu kısa olan olayları daha belirgin hale getirmek amacıyla yapılır.

Band geçişli süzgeçleme, bir filtreleme kombinasyonu olan bu süzgeçleme çeşidinde hem yüksek hem de alçak geçişli filtre özelliği görölmektedir. Burada bir geçiş bölgesi tanımlanır ve belirli iki frekans arasındaki değişimler geçirilip bu alanın dışındakiler süzölür. Bu sayede fazla düşük veya fazla yüksek frekanslı olaylar veriden atılmış olur.

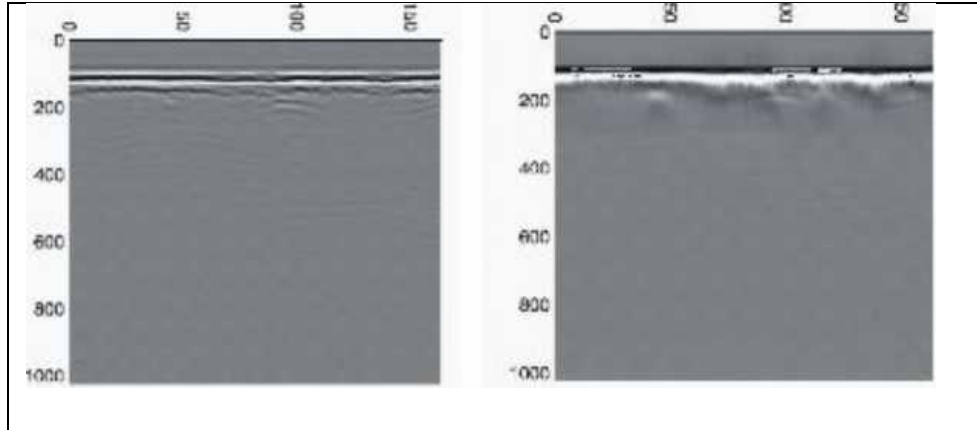


Şekil 2.24: Frekans ortamında basit bant geçişli filtre prensibi ve iki yaygın filtre fonksiyonu: Notch filtre (Sadece tek bir frekansı durduran süzgeçler) ve Butterwoth filtre (Cassidy 2009'den düzenlenmiştir).

Süzgeçleme işlemi çok önemli bir veri-işlem aşamasıdır. Mutlaka uygun filtre seçilmelidir. Aksi halde yorumcuyu yanlış yorumlamaya sevk etmektedir. Şekil 2.25 ve 2.26'da yanlış süzgeç uygulaması ile doğru uygulama arasındaki farklar görölmektedir.



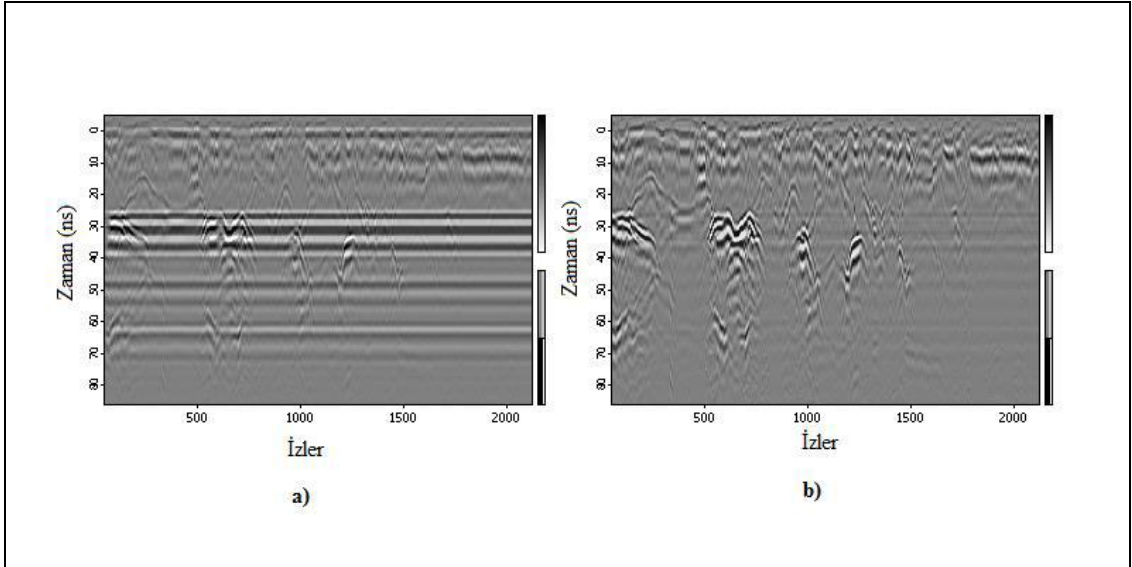
Şekil 2.25: Yer radarı verisinde gürültü frekansların süzgeçlenmesi a) Ham Yer radarı sinyali. b) Uygun süzgeçlenmiş sinyal. c) Yanlış süzgeçlenmiş sinyal (Kadıoğlu 2004).



Şekil 2.26: a) Doğru süzgeçlenmiş radargram, b) Yanlış süzgeçlenmiş radargram (Kadıoğlu 2004).

2.6.2 Background Removal

GPR verileri için veri-işlem tekniklerinin önemli bir adımınıdır. GPR verilerinde genellikle uyumlu gürültünün genel bir türü olan “ringing etkisi” görülmekte ve radargramlardaki sinyaller olumsuz olarak etkilenmektedir. Ayrıca, uyumsuz gürültünün bu tür izlerde kuvvetli olduğu zaman giderilmeyebilir ve bu durumda daha derin yapıları tamamen maskeleyebilir. Bundan dolayı kesitlerde yatay ve periyodik olaylar olarak görülen ringing; veri işleme kaldırılması gereken en önemli olaylardan birisidir. Yansıma olayları; daha rastgele olduğunda, ringing etkisinin tüm GPR kesiti boyunca hemen hemen uyumlu olduğu kabul edilerek, sadece ringing gürültüsünü içeren bir iz için tüm kesitin ortalama bir izi dikkate alınmaktadır. Yapılan kabul ışığında, bu ortalama izin basit bir şekilde çıkarılmasıyla radargramda ringing’ in yatay görünümü giderilmiş olur (Kim 2007).

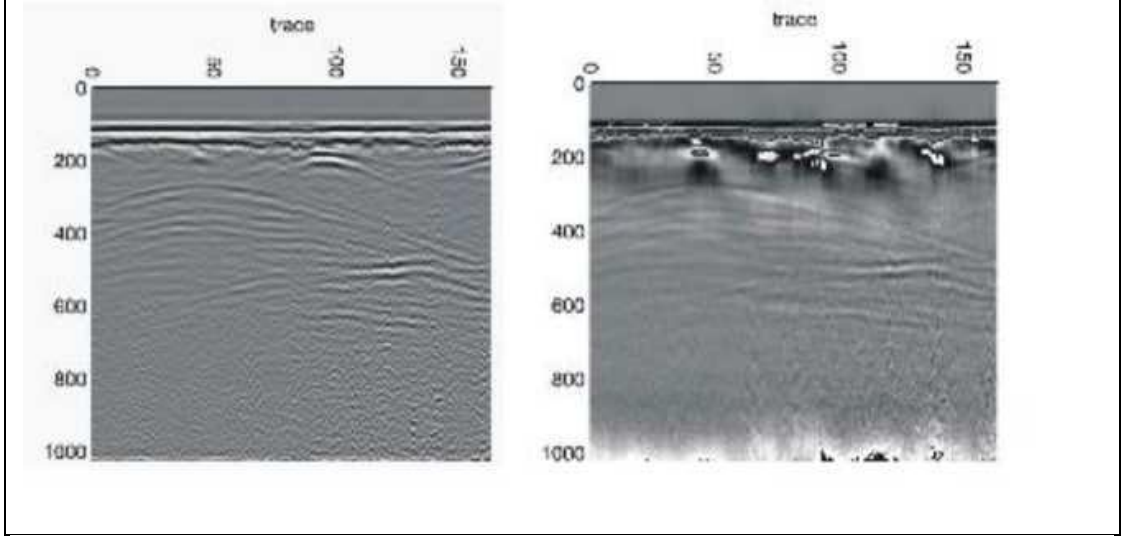


Şekil 2.27: a) Ham radar profili, b) radar profiline background removal (temel gürültülerin kaldırılması) süzgeç uygulandıktan sonraki görünümü (Prism kullanım kılavuzundan alınmıştır).

2.6.3 Genlik Kazanç Uygulaması

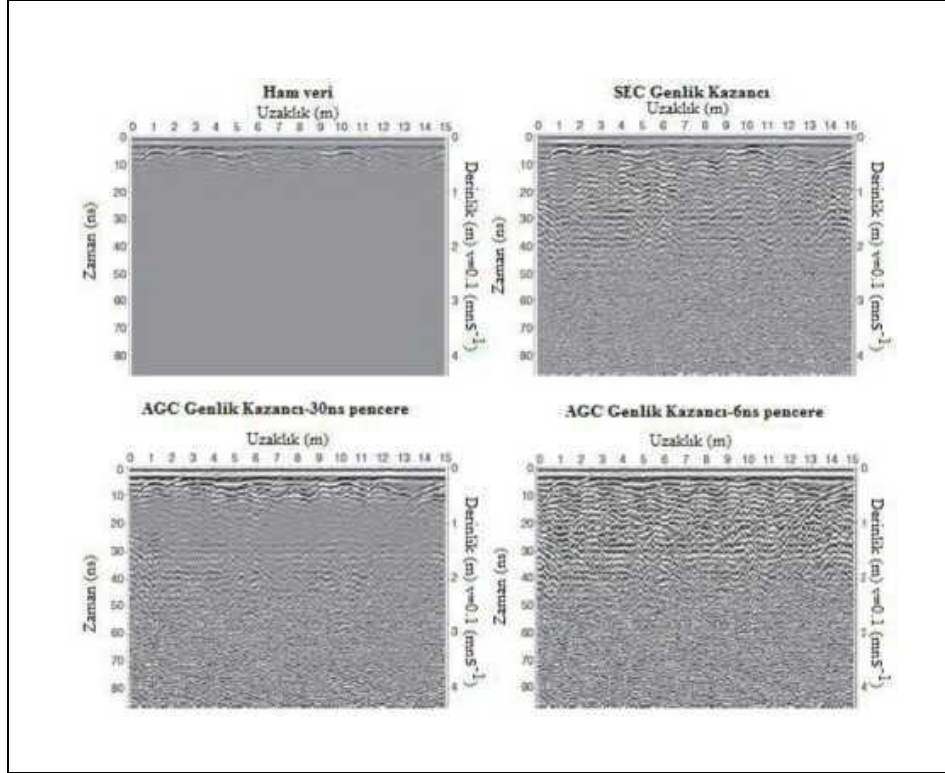
Radar verisi zamanla çok hızlı sönümlenir. Bu nedenle derinlerden gelen genlik bilgisi yüzeye yakın bölgelere göre daha zayıf olmaktadır. Bu olumsuzluğu gidermek amacıyla veriye genlik kazanç düzeltmesi uygulanır (Kadioğlu 2004).

Zamansal kazançlar sinyal zayıflaması ve geometrik yayılma kayıpları etkisi nedeniyle sonradan gelenlerin görünümünü güçlendirmek için gereklidir. Kazanç fonksiyonu her yorumcuya göre farklılık gösterebilir. Şekil 2.28’de aynı genlik kazanç uygulamasının doğru ve yanlış süzgeçlenmiş halleri görüntülenmektedir.



Şekil 2.28: a) Doğru süzgeçlenmiş radagram , b) Yanlış süzgeçlenmiş radagram (Kadioğlu 2003).

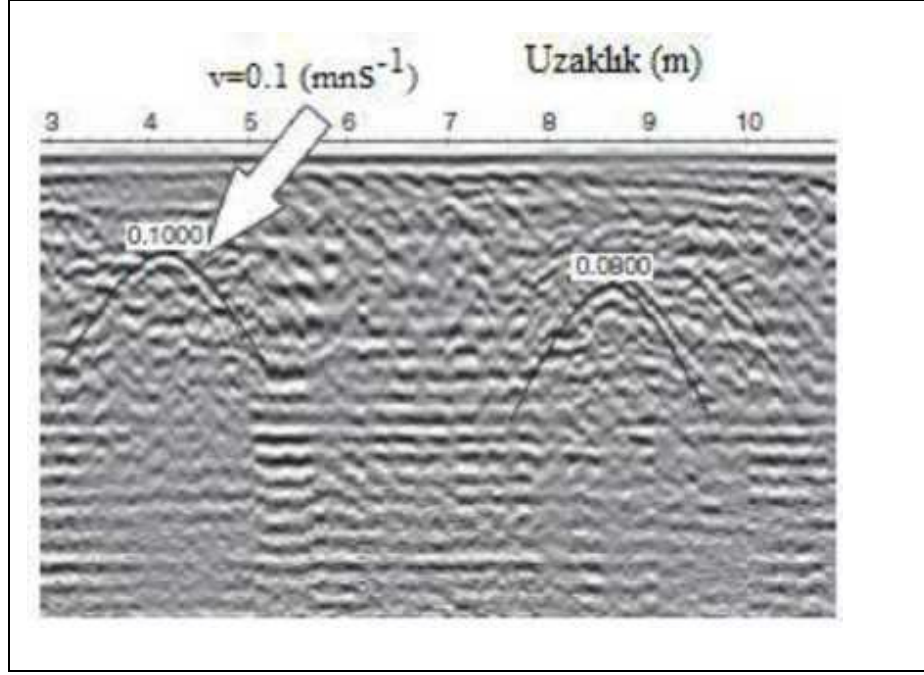
Genlik kazanç uygulamasının farklı türleri bulunmaktadır. Örneğin, sabit kazanç, üstel kazanç, SEC, AGC. Bunların da her biri farklı özelliklere sahiptir (Cassidy, 2009). Küresel ve Üstel Düzeltme (SEC), Otomatik olarak yayılan bir dalga cephesinin geometrik yayılma etkisine bağlı enerji kaybından dolayı sinyal genliğini düzeltir (yaklaşık, $1/r^2$). Kısacası küresel açılmayı ve enerjinin üstel sönümlenmesini geri kazanmaya çalışır. Otomatik Genlik Düzeltmesi (AGC), Otomatik kazanç işlevi, genel olarak belli bir zaman penceresi içinde ortalama sinyal genliği ve izin maksimum genliği arasındaki farklılıklara dayalı her bir iz için uygulanır. Amaç iz içerisindeki tüm sinyalleri aynı seviyeye getirmektir (Şekil 2.29).



Şekil 2.29: Arkeolojik bir mezar bölgesi üzerinde toplanan 450-MHz yer radarı (GPR) bölümüne uygulanan farklı kazanç fonksiyon örnekleri (AGC, SEC) (Cassidy 2009'den düzenlenmiştir).

2.6.4 Hız Analizi

Saçılmayı meydana getiren nesnenin yarattığı hiperbol, ortamın hızı hakkında bilgi verir ve ortamın hızı GPR verileri üzerindeki hiperbollerden yararlanarak hiperbol çakıştırma işlemi ile hesaplanır. Radargramlar üzerindeki bir hiperbolün tepe noktası ve yan açılımı üzerindeki bir noktanın işaretlenmesi suretiyle belirtilen hiperbole neden olan olaya ait hız belirlenmektedir (Kadioğlu 2003).

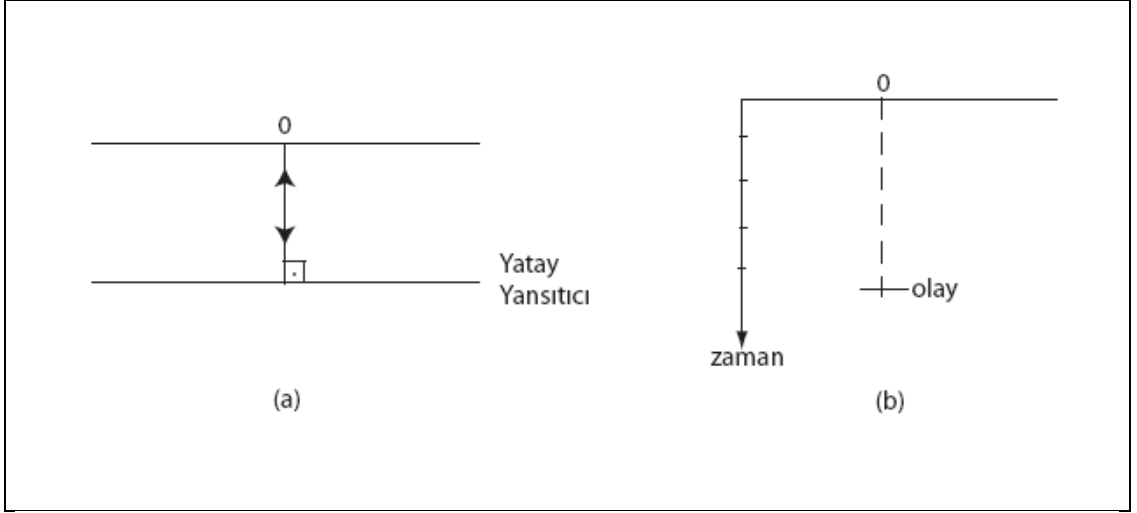


Şekil 2.30: Hiperbol çakıştırma ile hız belirleme (Cassidy 2009'den düzenlenmiştir).

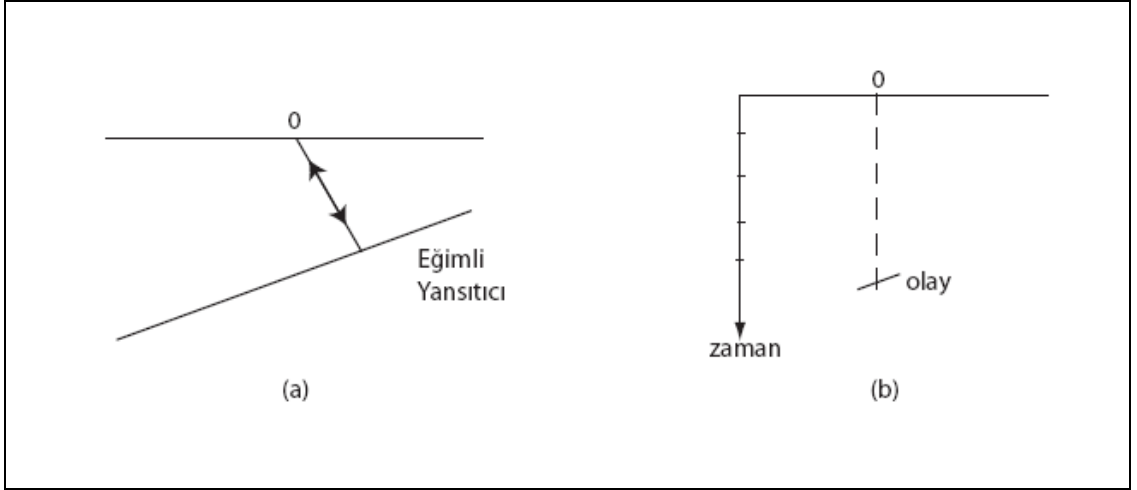
2.6.4 Göç (Migrasyon)

Gözlem noktalasına göre kaydedilen verinin yansıma noktalarına göre yeniden düzenlenmesine göç işlemi denir. Sismik ya da yer radarında kaydedilen bir yansıma izi sadece yansımanın zamanını ve genliğini gösterir fakat yansımanın nereden geldiği konusunda doğrudan bir bilgi içermez. Kayıta görülen yansımalar her zaman alıcının doğrudan altında oluşmamaktadır. Bu yüzden sinyalin gerçekten nereden yansıdığı göç (migrasyon) işlemi ile bulunur. Herhangi bir sismik ya da yer radarı verisine göç işlemi uygulanması ile birlikte yansımanın gerçek noktası ve dolayısıyla da hedef yapı bulunabilir.

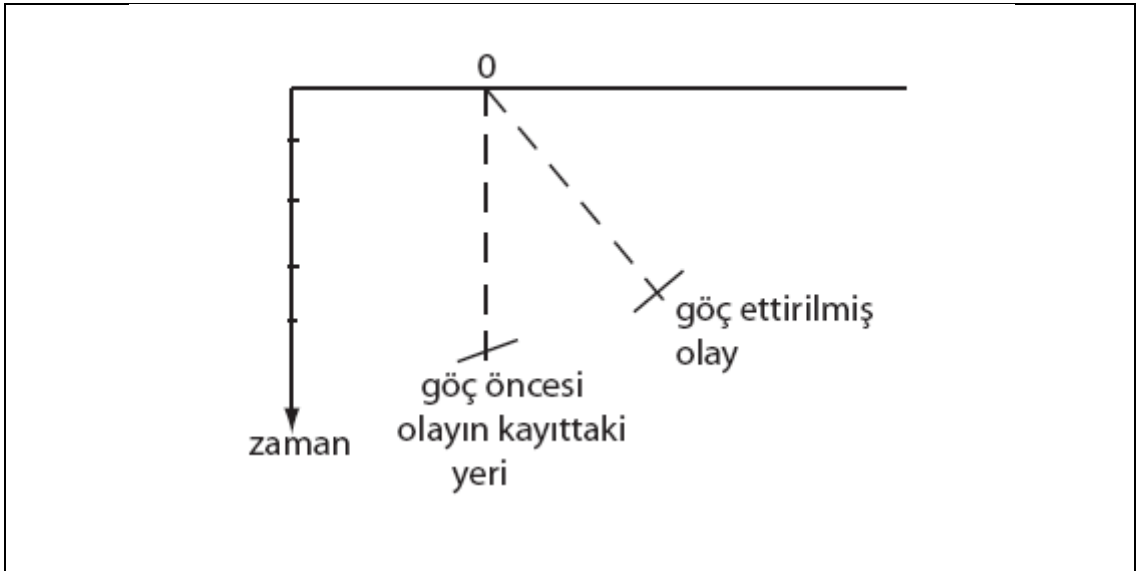
Radargramlarda görülen yansıma olayları elektromanyetik dalga düşey olarak yol alıyormuş gibi gözlenir. Bu varsayım ancak yatay yansıtıcıların olması durumunda doğrudur (Şekil 2.31). Fakat yansıtıcıların eğimli olması durumunda bu varsayım doğru değildir (Şekil 2.32). Bunun düzeltilmesi için yansıma noktalarının gerçek yerlerine taşınması yani göç ettirilmesi gerekir (Şekil 2.33) (Kurtuluş 2002).



Şekil 2.31: a) Yatay yansıtıcı yüzeyde düşey yansıma, b) radar kesidi (Kurtuluş 2002).



Şekil 2.32: a) Eğimli yansıtıcı yüzeyde yansıma, b) radar kesidi (Kurtuluş 2002).



Şekil 2.33: Orjinal pozisyonundaki olayın göç ettirilmiş yeri (Kurtuluş 2002).

Elektromanyetik dalga hızı yeriçinde tabakaların sabit hızlardan oluşmamasından dolayı yanal ve düşey yönde değişim gösterebilir. Yer radarı yönteminde kaydedilen yansımalar, farklı dalga hızlarına sahip tabaka arayüzeylerinden kaynaklanmaktadır. Hız bilgisi derinlik, eğim ve yansıtıcıların yatay konumlarının belirlenmesi için temel parametredir. Göç işlemi uygulanmadan önce ise yer altının hız değerlerinin bilinmesi gerekmektedir. Hız değeri radargramlarda görülen hiperbollerden ya da ortak derinlik noktası (ODN) ölçümleri sonucu oluşan hiperbollerden hesaplanabilir.

Göç uygulanmış radargramda saçılmalar azalmış ve yansımalar gerçek yerlerine taşınmıştır. Göç uygulandıktan sonra yeraltı yapısının radargramda belirgin bir şekilde ortaya çıktığı ve yoruma kolay hale geldiği görülmektedir.

3. BULGULAR

Bu tez çalışmasında 5 adet yer radarı verisi değerlendirilmiştir. Ölçümler Ramac\Mala markalı 250 MHz. kapalı sistem yer radarı cihazı ile alınmıştır. Verilerin işlenmesi ve yorumlanması amacıyla kullanılan ReflexW v.3.5.8 (Sandmeier, 2008) programı kullanılmıştır.

Yer radarı yöntemi ile toplanan verilere uygulanan veri işlem adımları

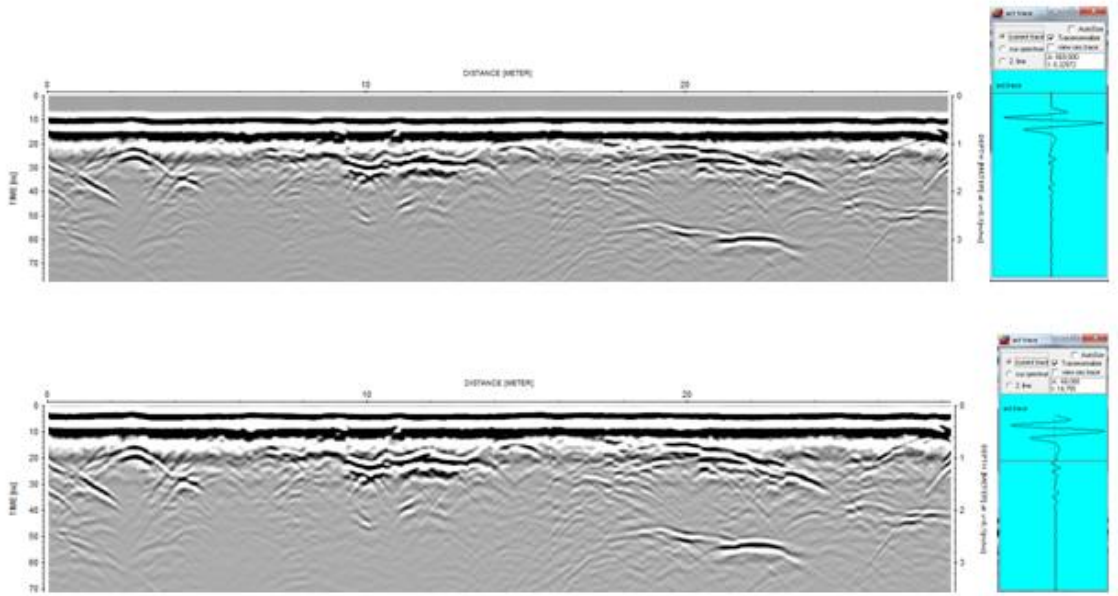
- Statik düzeltme,
- Çok düşük frekansların giderilmesi- dewow,
- Band geçişli ikinci düzen butterworth süzgeç ile süzgeçleme,
- Background removal
- Genlik kazanç işlemi,
- Hız analizi ve
- Göç işlemi

şeklinde verilebilir.

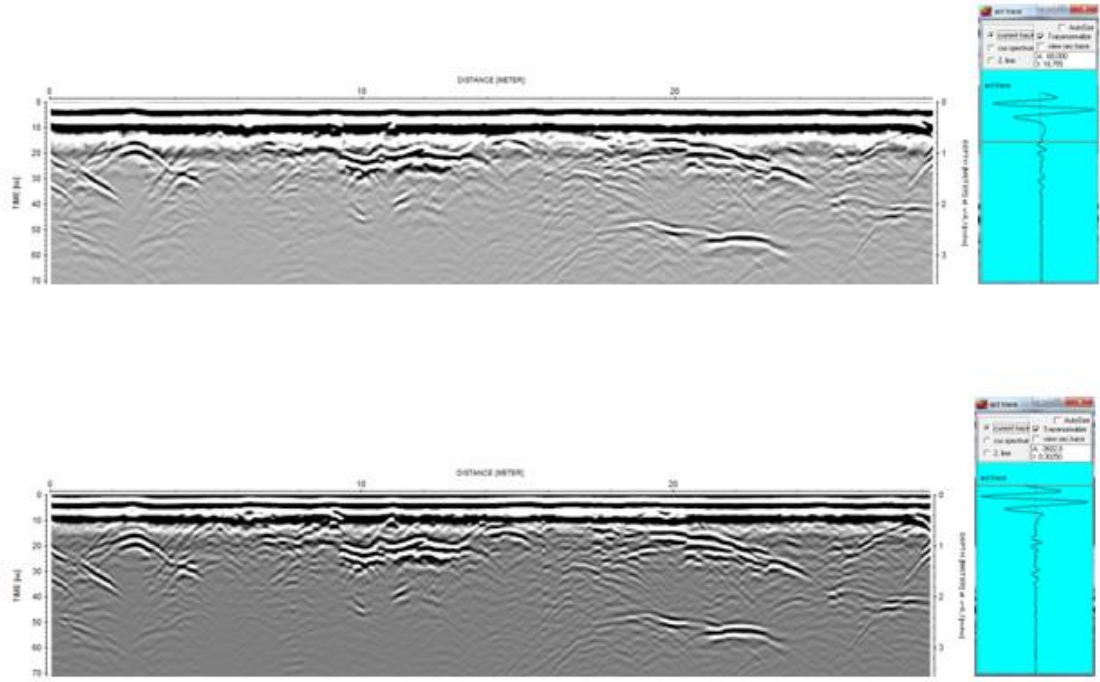
Yer radarı verilerine ilk uygulanan işlemlerden biriside sıfır zamanı düzeltmesidir. Yer radarı sinyallerinin fiber optik kablo boyunca aldığı yolu ve yer radarı ölçü aletinin ısınma etkisinden kaynaklanan gecikme düzensizliklerini ortadan kaldırmak gerekir. Bunun için ilk gelen dalgaların geliş zamanları belirlenerek zaman yönünde bu oranda bir kaydırma yapılır. Böylelikle gecikmeler sıfırlanmış olur. Bu bölüm veriden atılarak başlangıç zamanı sıfır zaman düzeltmesi ile zaman ekseninin başlangıcına taşınmıştır. Yer radarı verilerinde asıl olayları örten çok düşük frekanslı gürültülerin, istenilen sinyalleri örtüp engellemesini ortadan kaldırmak için verilere dewow işlemi uygulanmıştır. Yapılan bu uygulamadan sonra yer radarı arazi verilerinde görülen bir diğer sorun ise, ilerleyen zamanlarda sinyalin sönümlemesinin giderilmesine karşın rastgele gürültünün ön plana çıkmasıdır. Dolayısıyla bu etkinin giderilmesi için bant geçiren süzgeç uygulanması yapılmıştır. Radar verilerinin

içerisinde yer alan gerçek sinyalleri önemli ölçüde maskelenmesine yol açabilen yatay gürültü (ringing) olarak adlandırılan bozucu sinyallerdir. Yatay gürültülerin kaldırılması için background removal uygulanmıştır.

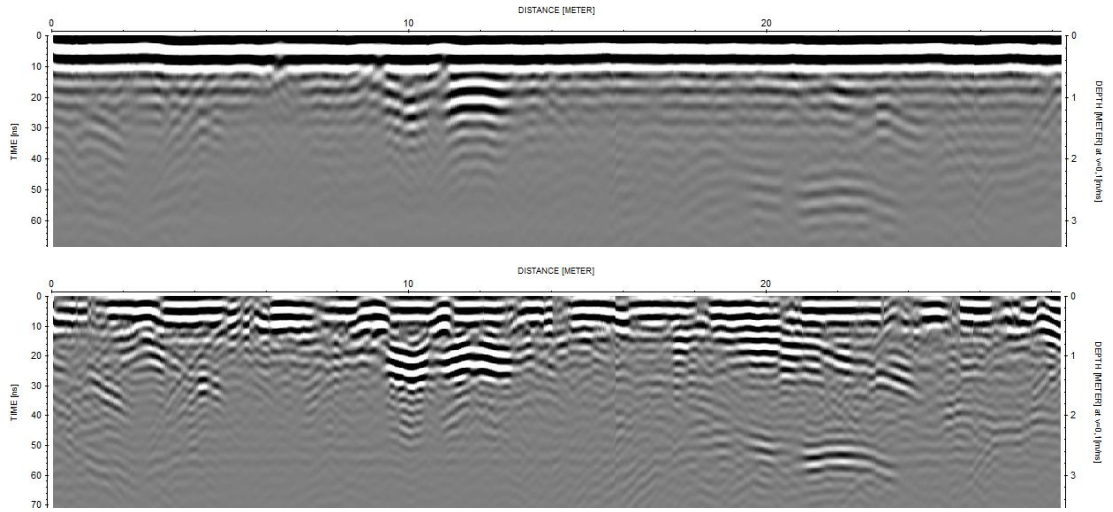
Derinlerden gelen genlik bilgisi yüzeye yakın bölgelere göre daha zayıf olmaktadır. Bu durumu düzeltmek için ise verilere genlik kazanç düzeltmesi uygulanmıştır. Son olarak hız analizi yapılmış ve elde edilen hız değerlerine göre migrasyon işlemi uygulanmıştır.



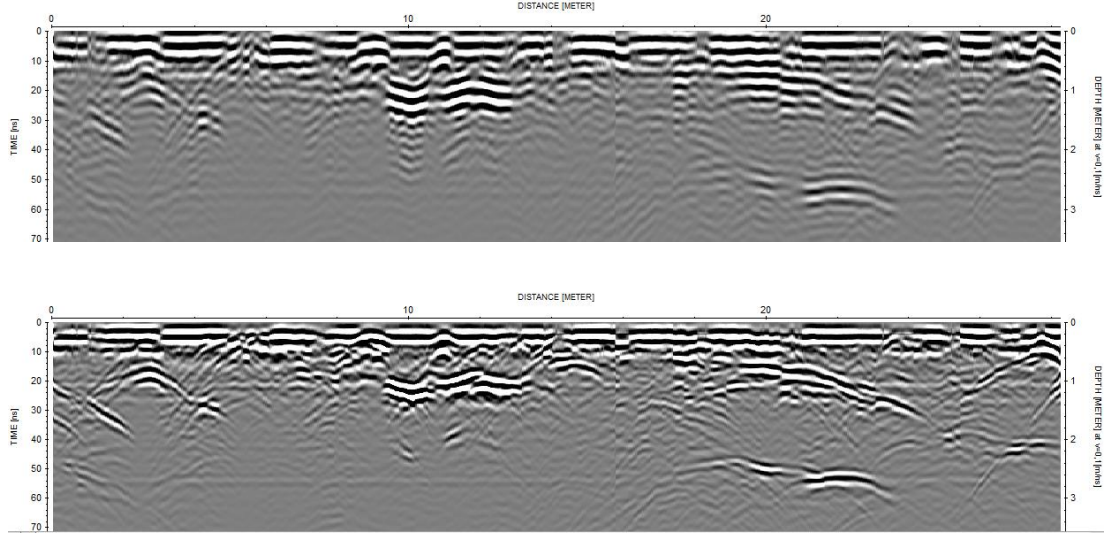
Şekil 3.1: ybag2p4 Ham verisi(üstte) ve statik düzeltme uygulanmış veri.



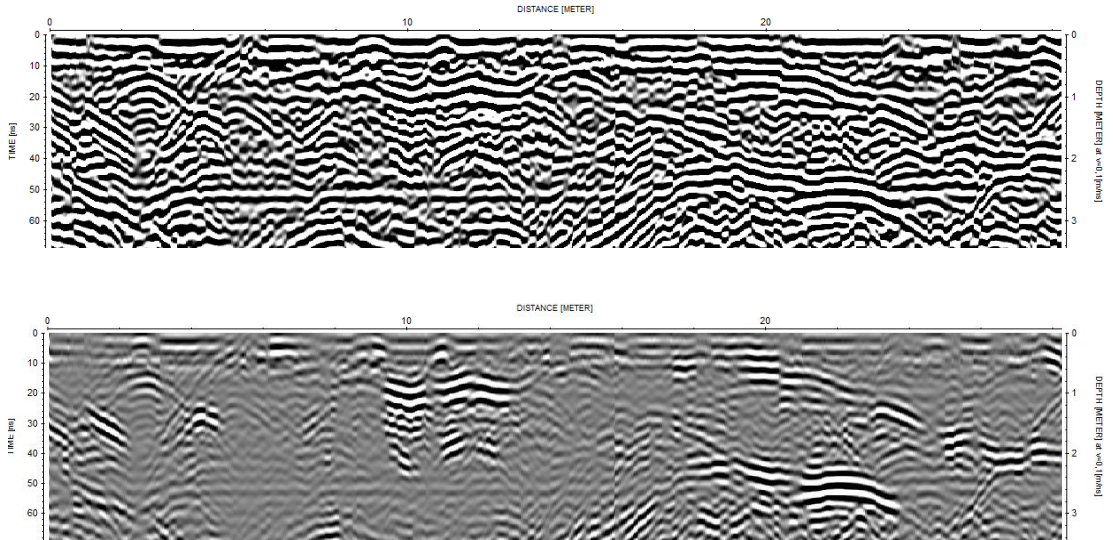
Şekil 3.2: ybag2p4 statik düzeltme uygulanmış veri (üstte) ve dewow uygulanmış veri.



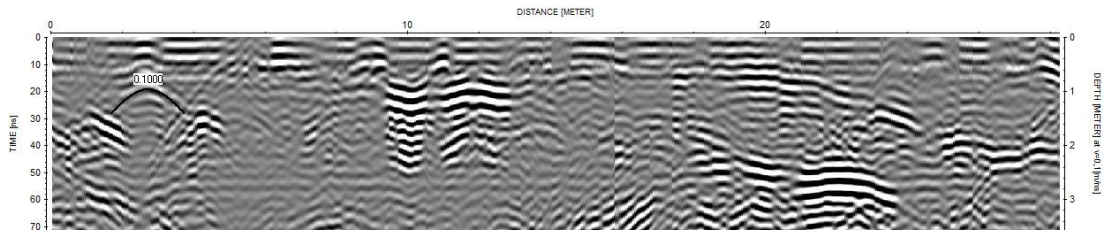
Şekil 3.3: ybag2p4 yanlış band geçişli süzgeç uygulanmış veri (üstte) ve doğru band geçişli süzgeç uygulanmış veri.



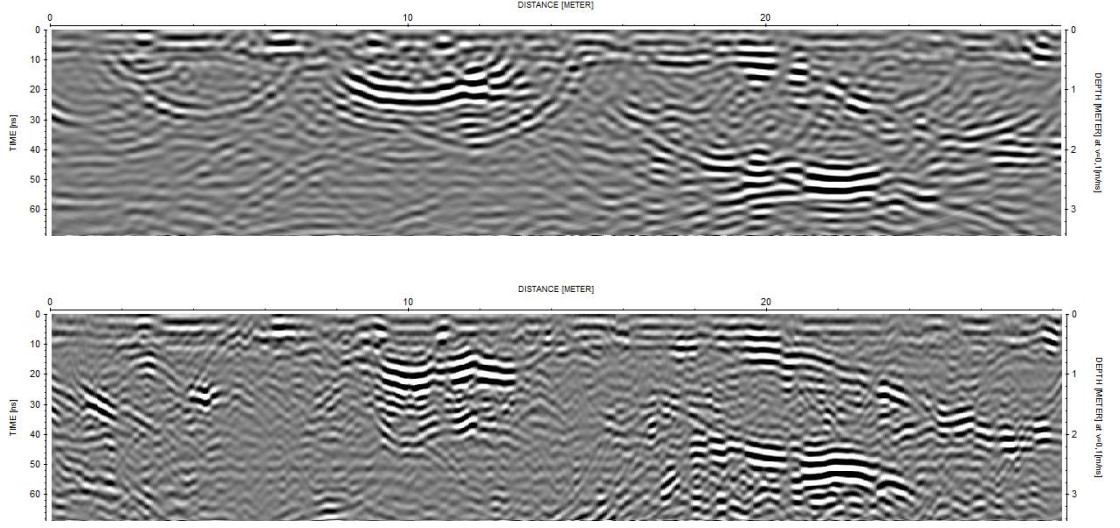
Şekil 3.4: ybag2p4 band geçişli süzgeç uygulanmış veri (üstte) ve background removal uygulanmış veri.



Şekil 3.5: ybag2p4 yanlış gain uygulanmış veri (üstte) ve doğru gain uygulanmış veri.



Şekil 3.6: ybag2p4 hız analizi uygulanmış veri



Şekil 3.7: ybag2p4 yanlış migrasyon uygulanmış veri (üstte) ve doğru migrasyon uygulanmış veri.

3. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yeraltı araştırma, yeraltı penetrasyon, yeraltı radarı, gibi birçok isim ile tanımlanan yeraltı radarı (GPR) sistem olarak elektromanyetik frekanslar ile yeraltından bilgi toplamaya dayanır. Diğer bir yönden en bilinen isim olarak GPR sistemi kullanılmaktadır. GPR sisteminin dizaynı çok geniş bir yelpazede tanımlanmakta ve genel olarak yapılacak uygulamaya uygun seçimlere göre yapılır. Bunlarda etkili olan hedef derinliği, hedef büyüklüğü ve araştırma yapılacak alandır. Bu sayede GPR yönteminin uygulama alanları doğru seçilecek sistem ile oldukça geniştir.

Sayısal olarak kayıt edilir GPR verisi fazla sayıda veri - işlem gerektirir. Yüksek tekrarlanma oranı ile istenilen sayıda iz elde edilip yığma yapılabilir. Arazi koşullarına göre yığma sayısı belirlenir. Yığma işleminden sonra alçak geçişli süzgeçler yardımı ile uyartım (inductive) etkiler, yüksek geçişli süzgeçler ile de veriden gürültüler temizlenir. Zaman değişkenli (time-variant) veri-işlem yapılarak iz genişliğinde zamanla oluşan sönümlenme giderilir. Veriler genelde ham olarak saklanır. Arazi çalışmalarının sonrasında veri işleme yapılır. Günümüzde GPR sonuçlarının yorumu sismik yorumda kullanılan birçok veri işlem yöntemi ile benzerlik gösterir.

Yer Radarı izi eş aralıklı sayısal değerler olarak kayıt edilir. Radar kesitleri, her bir izin yan yana getirilmesiyle oluşturulur. Bu durumda yatay eksen uzaklığı, düşey eksen ise gidiş geliş zamanını ifade eder. Düşeyde kullanılan birimin nanosaniye olması kesitin sismikte kullanılan ses (acoustic) dalgasından değil de radar tarafından üretildiğini gösterir. Elde edilen radar verileri sismik yönteme benzer olarak kesitler haline sunulur.

Amaca en uygun görüntüye ulaşabilmek için GPR çalışmalarının en önemli kısımlarından olan veri işlem aşamalarında çeşitli filtre parametreleri ve teknikleri kullanılmaktadır. Dikkat edilmesi gereken bir başka unsur ise ölçüm yapılan ortama uygun donanım kullanılmasıdır. Bu yöntem, elektromanyetik frekanslar ile

çalıştığından, çevresel olarak ortamda bulunan frekanslardan ayrıştırılmalıdır. Ayrıştırmanın mümkün olmadığı durumlarda ise uygun filtreler ile gürültü frekansları veriden temizlenmelidir.

Veri işlem teknikleri uygulanırken, istenilen olaya göre bir teknik seçilmelidir. Örneğin, sizin için yeraltı yapısı önemliyse ona göre veri işlem teknikleri, sadece gömülü nesnelere önemliyse ona göre veri işlem teknikleri kullanılmalıdır. Ayrıca ince tabakalı yapılarla veya ince borularla ilgileniyorsanız o zaman ayrımlılık üzerine veri işlem teknikleri kullanılmalıdır. Ölçümler sırasında araştırılan derinliğe göre zamansal ve uzaysal örnekleme aralığı seçilmeli ve ona göre değişik frekanslarda antenler kullanılmalıdır. Mecbur kalmadıkça ıslak zeminlerde ölçü alınmamalı. Islaklık aranan malzemenin elektriksel özelliklerini etkileyeceği için yanlış sonuçlar çıkabilir. Sürekli ölçü alınırken ölçü alan kişi ile antenlerin hareket hızının eşit olmasına dikkat edilmelidir. Ölçü alırken çevre yüzeydeki nesnelere ölçü karnesine not edilmesi ihmal edilmemelidir. Böylelikle veri işlem aşamasından sonra kesitlerin yorumlanması daha kolay ve gerçekçi olur.

Yanal doğrusal olayları (artalan) temizlerken yeraltında istenen yatay tabaka bilgisinin yok olmaması için artalan temizleme işleminin belli zaman aralıklarında uygulanması önerilmektedir. Geleneksel genlik düzeltme yöntemleri, rasgele gürültüleri şişirerek verilerin iyi okunmasını engellemektedir. Bu gürültüler yüksek frekanslı olduğunda bunları frekans süzgeçleri ile yok etmek olanaklı olurken, sinyal ile aynı frekansa sahip gürültüleri ayıklamak o kadar da kolay olmamaktadır. Belki de SEC genlik düzeltmesi bu sorun için çözüm olabilir. Fakat bu yöntemin parametrelerini belirlemek deneyimsiz bir veri işlemci için oldukça güç olmaktadır.

Yapılan ölçümler sonucu elde edilen verilerin değerlendirilmesinde uygulanacak filtre operasyonları sırasında veri işlem sırasının sonuç radargramı oldukça değiştirebileceği gözlemlenmiştir. Uygulanan veri işlem aşaması kullanılmaya başlanırken, araştırılan derinlik, obje ve saha şartları göz önüne alınarak belirlenmesi gerekmektedir. Tez kapsamında alınan veri seti için statik düzeltme, dewow, bant geçiren filtre, arka plan gürültüsü çıkarma, genlik kazanımı, hız analizi ve migrasyon (göç) filtre sırası en iyi sonuçları vermiştir.

4. KAYNAKLAR

Aldaş, G.G.U. Kadioğlu, S., ve Ulugergerli, E.U. "*Yer radarı (GPR) yöntemi ile patlatma tasarımlarının iyileştirilmesi*" 2004 KAYAMEK'2004-VII. Bölgesel Kaya Mekaniği Sempozyumu / ROCKMEC'2004-VIIth Regional Rock Mechanics Symposium, Sivas.

Alp, İ., Gelişli, K., Yılmaz, A.O. Kaya., R. ve Çavuşoğlu., İ.2003; "*Mermer İşletmeciliğinde Yer Radarı Uygulamaları*".

Annan, A.P. 2000; "*Ground penetrating radar workshop notes*". Sensors and Software Inc., Canada.

Conyers, L.B. and Goodman., D. 1997; "*Ground-Penetrating Radar, An Introduction for Archaeologists*", Altimira Press, California.

Çolakoğlu, A.R. Kadioğlu, Y.K. Çiftçi, Y. ve Kadioğlu., S. 2009; "*Hidrotermal Yatakların incelenmesinde Yer Radarı*" Pb-Zn (Hasbey-Van) ve Fe (Altınsaç- Van) Cevherleşmeleri.

Elsürer, İ., 2007; "*Yer Radarı Yöntemiyle Karstik Boşlukların Araştırılması*"

Kadioğlu, S., 2008; "*Photographing layer thicknesses and discontinuities in a marble quarry with 3D Yer Radarı visualisation, Journal of Applied Geophysics*" 64(3), 109-114.

Kadioğlu, S., 2004; "*Yer Radarı (GPR) Yöntemi Ankara Üniversitesi Jeofizik Mühendisliği Bölümü Ders Notları*".

Kadioğlu, S. Aldaş., G.U. Karpuz., C. Düzgün., Ş.B. ve Kadioğlu., Y.K. 2005; "*Taş Ocağı Yer Seçiminde Mühendislik Disiplinin Önemi: Gölbaşı Andezitlerinde Bir Uygulama*", Madencilik, Cilt 44, Sayı 3, Sayfa 25-33.

Kadioğlu, S., Y. K. 2006; "*Yer radarı yöntemi ile bir mermer sahasındaki kırıkların, sağlam ve bozuk alanların belirlenmesi*", Selçuk Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi,21(1-2), 127-135.

Kadioğlu, S., Kadioğlu Y.K. 2006; "*Yer Radarı (GPR) Yöntemi ile Bir Mermer Ocağındaki Kalınlıkları ve Süreksizlikleri Görüntüleme*", 59. Türkiye Jeoloji Kurultayı.

Kadioğlu S., ve Ulugergerli E. U. 2004; "Dalaman Akk6pru baraji rezervuar alanındaki boşlukların yer radarı yöntemiyle belirlenmesi", Türkiye 16.Jeofizik Kongre ve Sergisi Bildiri özetleri Kitabı. 7-10 Aralık 2004, MTA Kongre Merkezi, Ankara.

Koçaslan, A., 2008; "Sonlu Farklar Yöntemi ile Çok Yüksek Frekanslı Elektromanyetik Dalga Alanı Hesabı", Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2008.

Kurt, B. B. 2009; " Zaman Ortamında Sonlu Farklar Yöntemi ile İki Boyutlu Yer Radarı Modelleme", Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Şubat-2009.

Kurt, B. B. Kadioğlu., S. and Ekincioğlu., E. E. 2009; " Yer Radarı Yöntemi ile G6m6l6 Boruların Konum, B6y6kl6k ve Fiziksel 6zellikleri ile Belirlenmesi", Hacettepe Üniversitesi YEBİM Dergisi, 30, 1.

Kurtulmuş, T.Ö. Drahor., M.G. 2008; "Yer radarı modellemesinde fiziksel ve geometric parameter etkilerinin araştırılması".

Şahinkaya Armağan., D.S., Bechteler Aydınlık., S. Ertuğrul., M. Türk., A.S. 2004; " Dielektrik Cisimlerin Tespiti için Geniş Frekans Bantlı Yere N6fuz Eden Radar Tasarımı".

Özkap, K., "Arkeojeofizik alışmalarda GPR Verilerine G6ncel Veri-İşlem Yöntemlerinin Uygulanması", Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, (2008).

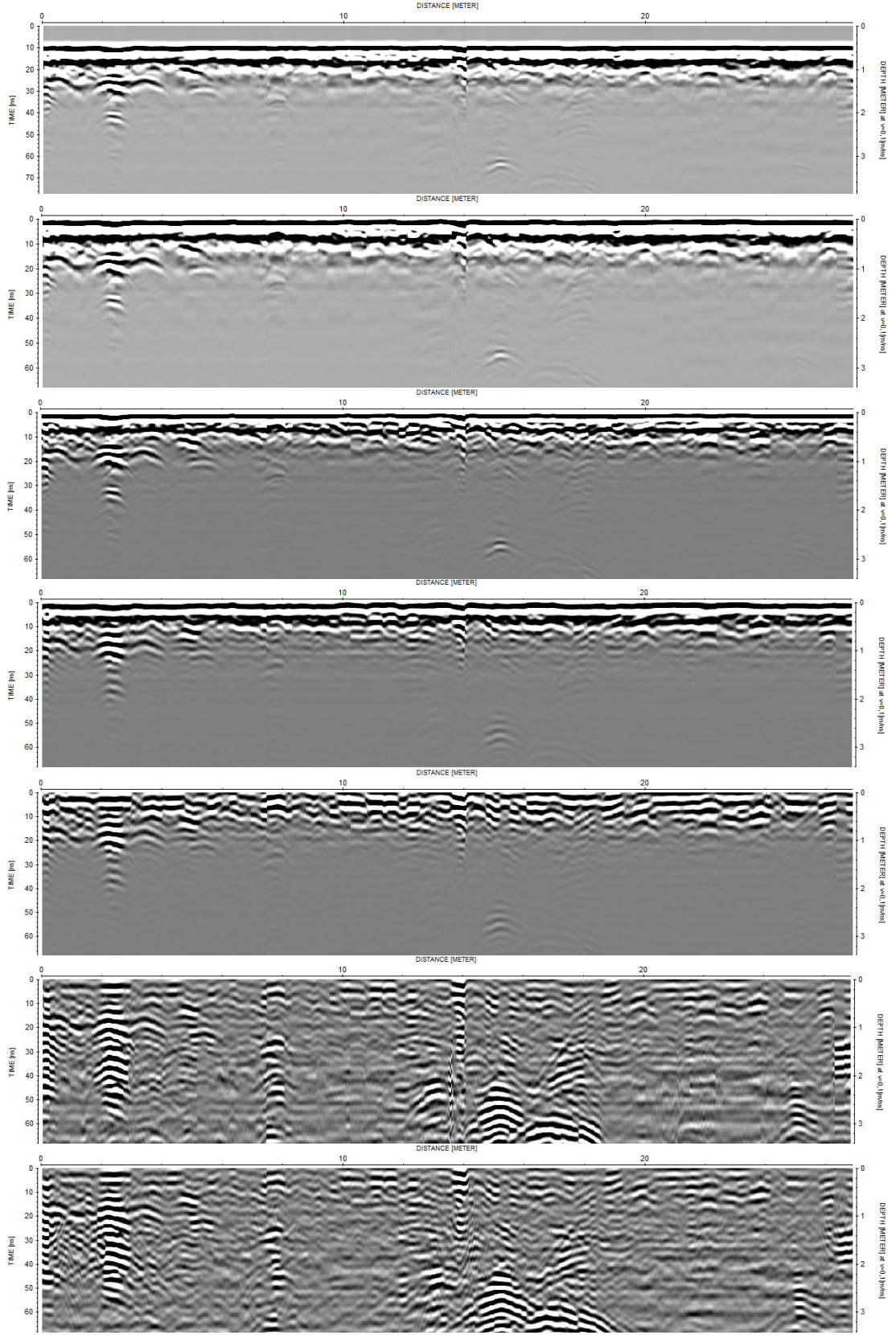
Öztürk, K., "Elektrik ve Elektromanyetik Prospeksiyon Yöntemleri, Temel Kavramlar, Uygulama ve Yorumlama", İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fak6ltesi, Jeofizik Mühendisliği B6l6m6, İstanbul, (1995).

Tuzer M., (2012). "Yer Radarı Verilerini İki Boyutlu Modelleme alışmaları Lisans Tez"i, İstanbul Teknik Üniversitesi Lisans Tez Arşivi.

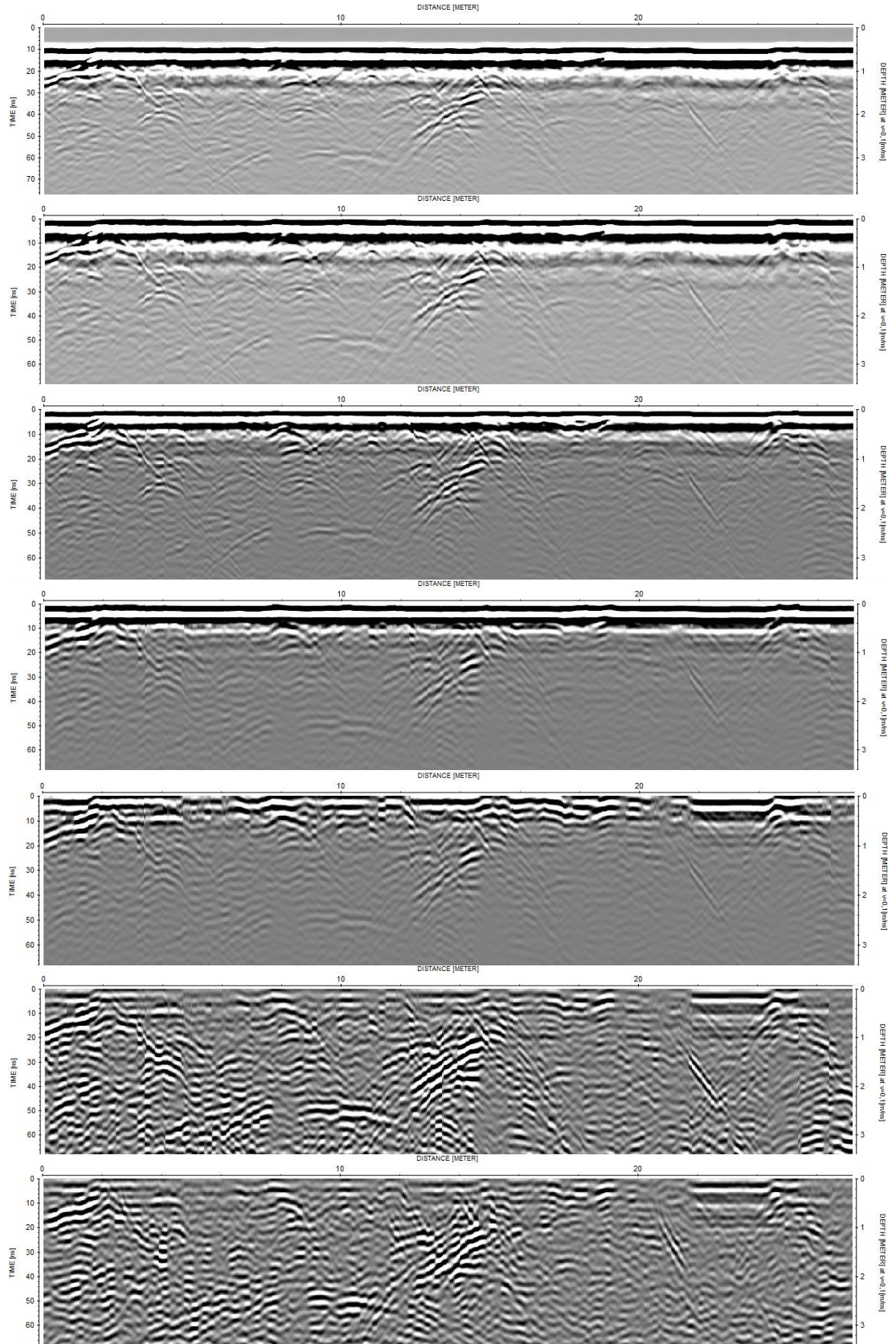
Yalçın, C. ., 2009; " G6m6l6 Yapıların Yeraltı Radarı (Gpr) Yöntemi İle Araştırılması: B6y6k Menderes Grabeni'nde Paleosismolojik Ve Arkeosismolojik Uygulamalar",Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Osmangazi Üniversitesi.

Yüksel, F.A. Belli, O., Tarhan-Bal, O., 2009;" Van-Yoncatepe 2008 Yılı Arkeojeofizik Uygulamaları" , 25. Arkeometri Sonuçları Toplantısı, 151-164.

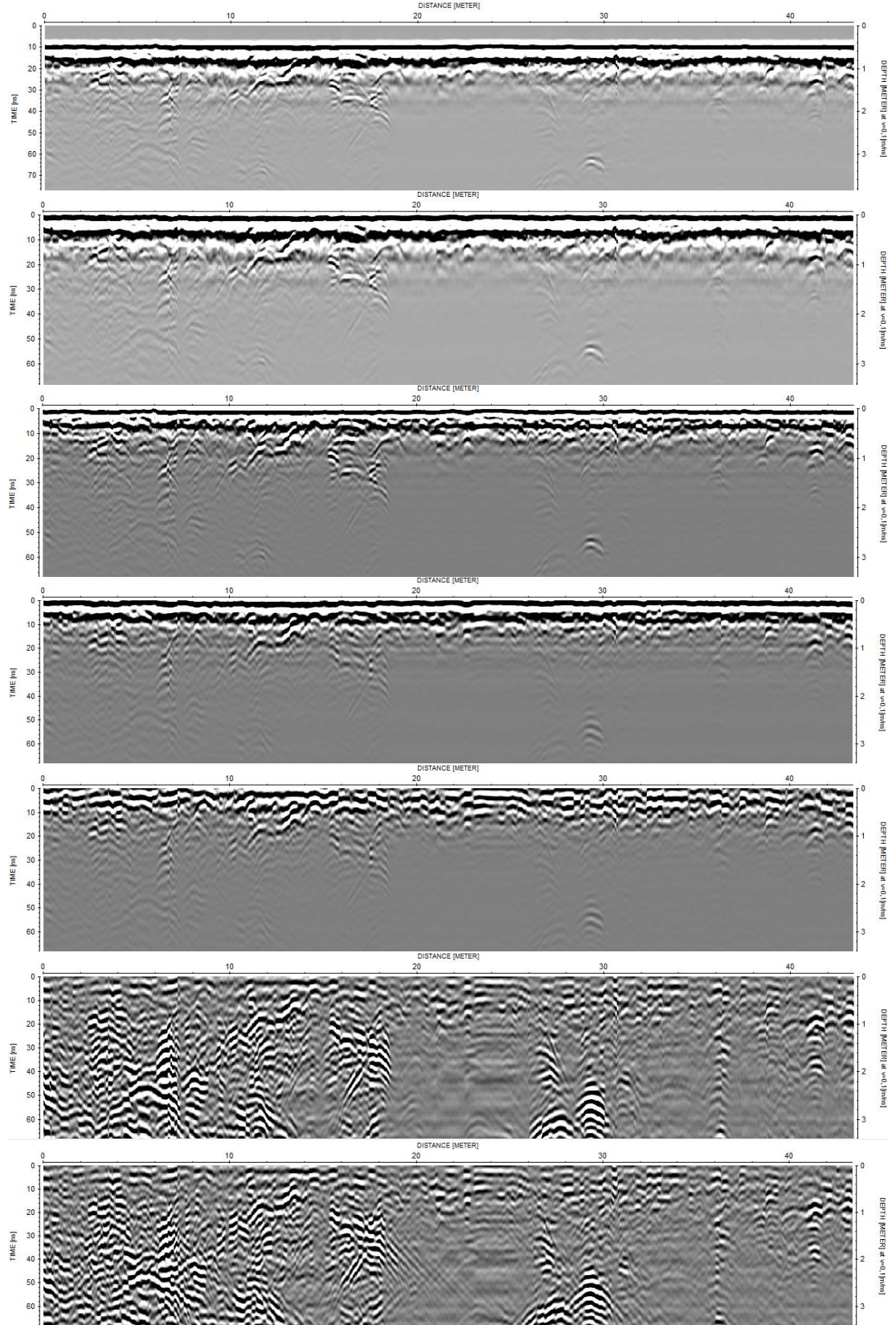
4. EKLER



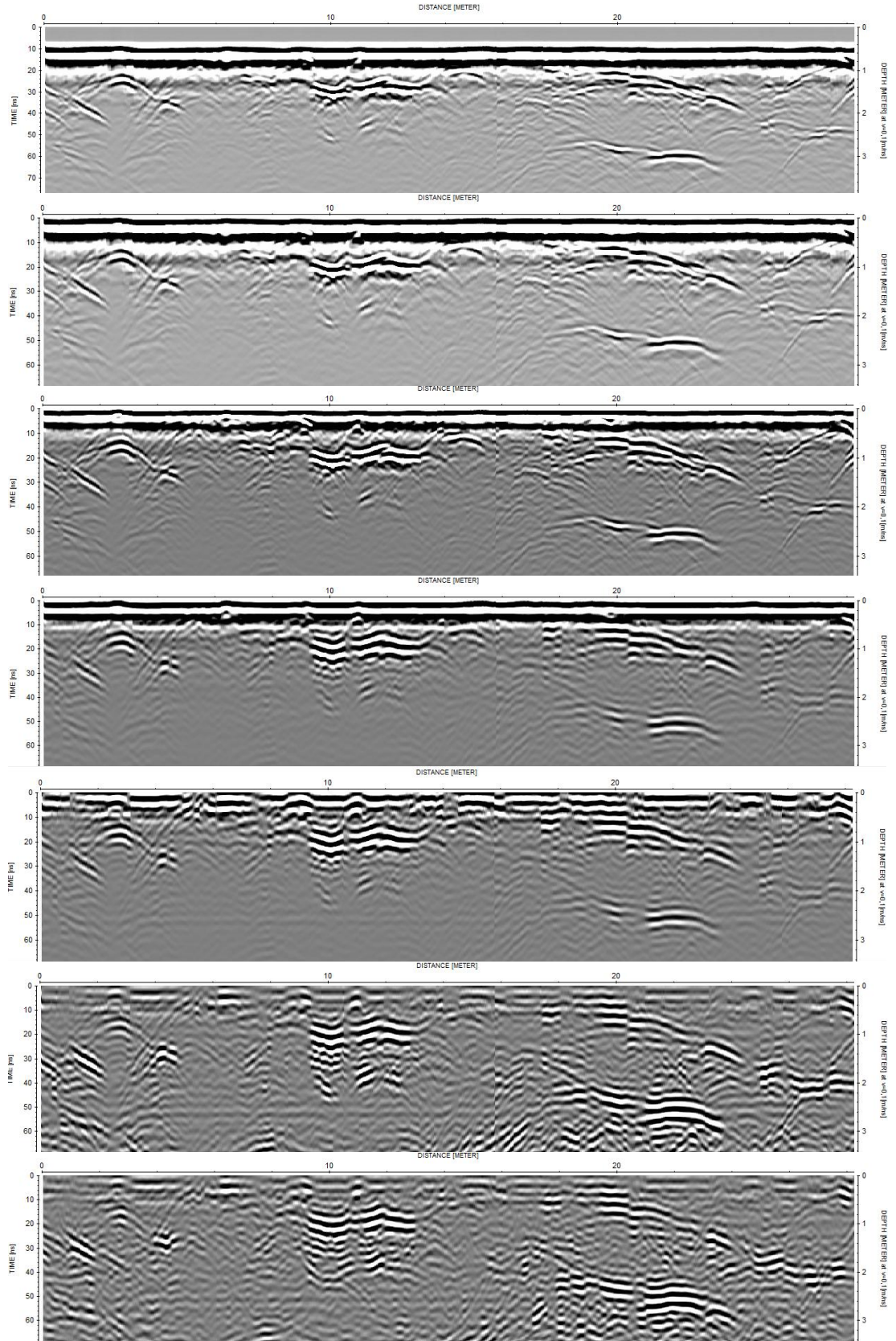
Şekil 4.1: ybag1p verisine uygulanmış veri işlem basamakları.ham veri, statik düzeltme, dewow, band pass filtre, background removal, genlik kazancı ve migrasyon.



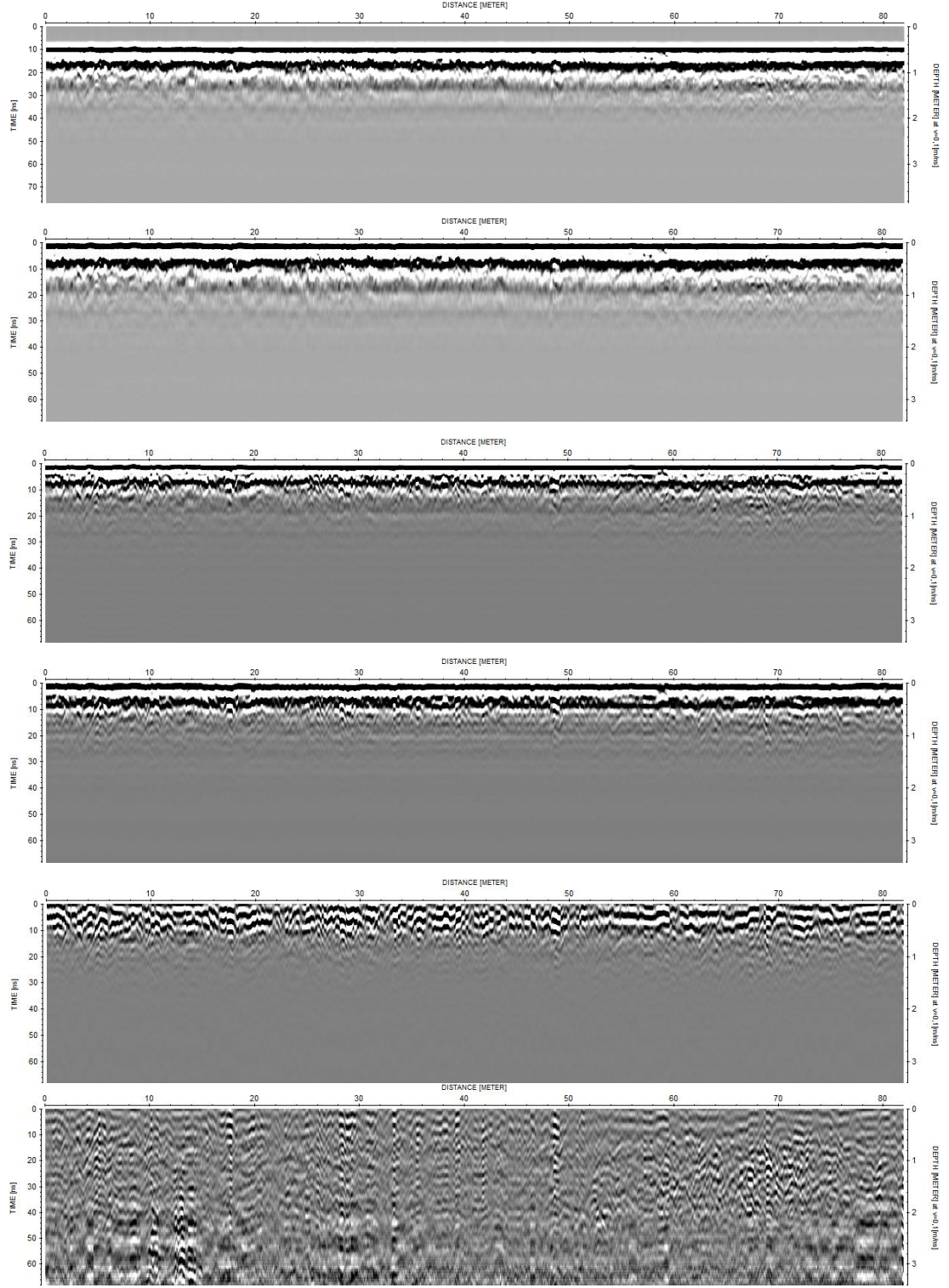
Şekil 4.2: ybag1p3 verisine uygulanmış veri işlem basamakları sırasıyla; ham veri, statik düzeltme, dewow, band pass filtre, background removal, genlik kazancı ve migrasyon.



Şekil 4.3: ybag2p1 verisine uygulanmış veri işlem basamakları sırasıyla; ham veri, statik düzeltme, dewow, band pass filtre, background removal, genlik kazancı ve migrasyon.



Şekil 4.4: ybag2p4 verisine uygulanmış veri işlem basamakları sırasıyla; ham veri, statik düzeltme, dewow, band pass filtre, background removal, genlik kazancı ve migrasyon.



Şekil 4.5: ybag3p6 verisine uygulanmış veri işlem basamakları sırasıyla; ham veri, statik düzeltme, dewow, band pass filtre, background removal ve genlik kazancı

6. ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Osman Nuri ARSLAN

Doğum Yeri ve Tarihi : Şırnak, 19.05.1990

Lisans Üniversite : Süleyman Demirel Üniversitesi

Elektronik posta : osmannuriarslan20@hotmail.com

İletişim Adresi : Kayıhan Mah. 2067 Sok. No:3 Kat:2
Merkez/Denizli