

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**BAHÇECİK (GÜMÜŞHANE-TEKKE) TRAVERTEN OCAĞINDAKİ KIRIK,
ÇATLAK, BOŞLUK VE SÜREKSİZLİKLERİN YER RADARI (GPR) YÖNTEMİ İLE
ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hilal ALEMDAĞ

HAZİRAN 2018
TRABZON



**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**BAHÇECİK (GÜMÜŞHANE-TEKKE) TRAVERTEN OCAĞINDAKİ KIRIK,
ÇATLAK, BOŞLUK VE SÜREKSİZLİKLERİN YER RADARI (GPR) YÖNTEMİ İLE
ARAŞTIRILMASI**

Hilal ALEMDAĞ

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
“JEOFİZİK YÜKSEK MÜHENDİSİ”
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 21.05.2018
Tezin Savunma Tarihi : 07.06.2018**

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Aysel ŞEREN

Trabzon 2018

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalında
Hilal ALEMDAĞ Tarafından Hazırlanan**

**BAHÇECİK (GÜMÜŞHANE-TEKKE) TRAVERTEN OCAĞINDAKİ KIRIK, ÇATLAK,
BOŞLUK VE SÜREKSİZLİKLERİN YER RADARI (GPR) YÖNTEMİ İLE
ARAŞTIRILMASI**

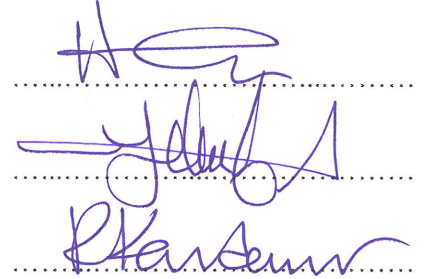
**başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 22 / 05 / 2018 gün ve 1754 sayılı
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda
YÜKSEK LİSANS TEZİ
olarak kabul edilmiştir.**

Jüri Üyeleri

Başkan : Prof. Dr. Hakan KARSLI

Üye : Prof. Dr. Aysel ŞEREN

Üye : Doç. Dr. Raif KANDEMİR



**Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ
Enstitü Müdürü**

ÖNSÖZ

“Bahçecik (Gümüşhane-Tekke) Traverten Ocağındaki Kırık, Çatlak, Boşluk ve Süreksizliklerin Yer Radarı Yöntemi ile Araştırılması” isimli bu çalışma Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır.

Tez çalışmamın her aşamasında yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren danışman hocam sayın Prof. Dr. Aysel ŞEREN’e, veri işlem çalışmalarında hiçbir yardımını esirgemeyen sayın Prof. Dr. Hakan KARSLI’ya, arazi çalışma alanımın ve jeolojisi bilgisinin belirlenmesinde yardımcı olan Doç. Dr. Hakan ERSOY’a ve Arş. Gör. Murat KARAHAN’a, arazide veri toplama ve işleme aşamalarında yardım eden Arş. Gör. Zeynep ÖĞRETMEN AYDIN’a, Dr. Erdem BAYRAK’a, Dr. Recep GÜNEY’e ve çalışmamın her aşamasında desteğini hissettiğim aileme çok teşekkür ederim.

Hilal ALEMDAĞ
Trabzon, 2018

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Bahçecik (Gümüşhane-Tekke) Traverten Ocağındaki Kırık, Çatlak, Boşluk ve Süreksizliklerin Yer Radarı (GPR) Yöntemi ile Araştırılması” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. Aysel ŞEREN’in sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 07 /06/2018

Hilal ALEMDAĞ

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	VII
SUMMARY	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ	IX
TABLolar DİZİNİ.....	XVI
SEMBOLLER DİZİNİ	XVII
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş	1
1.2. Amaç ve Kapsam.....	3
1.3. Traverten Oluşumu	4
1.4. Yer Radarı Yöntemi.....	5
1.5. Yer Radarının Tarihçesi.....	8
1.6. Yer Radarı Yönteminin Üstünlük ve Zayıflıkları.....	10
1.7. Yer Radarı Yönteminin Kullanıldığı Alanlar	11
1.8. Yer Radarı Yönteminin Dayandığı Temel Elektromanyetik (EM) Alan Yayılm Teorisi.....	12
1.8.1. EM Dalganın Oluşumu ve Özellikleri	12
1.8.2. Elektromanyetik Dalganın Yayılımı.....	14
1.8.3. Elektromanyetik Dalgaların Yayılımını Etkileyen Dielektrik Malzemelerin Fiziksel Özellikleri	15
1.8.3.1. Manyetik Geçirgenlik (μ)	16
1.8.3.2. Elektriksel İletkenlik (σ).....	16
1.8.3.3. Elektriksel Geçirgenlik (ϵ).....	17
1.8.4. Elektromanyetik Empedans	17
1.9. Yer Radarı Yönteminin Temel İlkeleri.....	18
1.9.1. Maxwell Denklemleri ve Katkı Eşitlikleri.....	18
1.9.2. Zaman Ortamında EM Dalga Denklemleri.....	19
1.10. Yer Radarı Sinyal Ölçümü.....	20
1.10.1. Zaman Aralığı ve Bant Genişliği	21
1.10.2. Merkez Frekansı	22

1.10.3.	Penetrasyon Derinliği	23
1.10.4.	GPR Sinyalinin Sönümlenmesi	25
1.11.	Yer Radarı Veri Toplama Yöntemleri	27
1.11.1.	Yansıma Profili (Ortak Ofset)	27
1.11.2.	Çoklu Ofset Sistemleri.....	28
1.11.3.	Tomografi Ölçümleri	29
1.12.	Yer Radarı Verilerine Uygulanan Veri İşlem Adımları	30
1.12.1.	Düşük Frekanslı İzlerin Giderilmesi (Dewow).....	31
1.12.2.	Kazanç (Gain).....	33
1.12.3.	Background Removal	35
1.12.4.	Sıfır Kayma Düzeltmesi	36
1.13.	Aynı Profilde Farklı Merkez Frekanslı Antenlerle Toplanan Radargramlardan Birleşik Radargram Elde Edilmesi.....	37
1.13.1.	Spektral Uyum.....	39
1.13.2.	Ara Değer Bulma (Enterpolasyon)	39
1.13.3.	Genlik Ölçeklenmesi	40
1.13.4.	Toplama	41
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	42
2.1.	Coğrafi Konum	42
2.2.	Bahçecik Traverteninin Genel Jeolojisi.....	42
2.3.	Yer Radarı Verilerinin Toplanması	44
2.3.1.	Çalışma Alanı 1	46
2.3.2.	Çalışma Alanı 2	47
2.3.3.	Çalışma Alanı 3	47
2.4.	Verilerin Değerlendirilmesi	48
2.5.	Arazi Verilerinin Birleştirilmesi	57
3.	BULGULAR VE TARTIŞMA.....	69
3.1.	Çalışma Alanı 1 Sahasından Elde Edilen GPR Verilerinin Yorumlanması.....	69
3.2.	Çalışma Alanı 2 Sahasından Elde Edilen GPR Verilerinin Yorumlanması.....	79
3.3.	Çalışma Alanı 3 Sahasından Elde Edilen GPR Verilerinin Yorumlanması.....	89
4.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	117
5.	KAYNAKLAR	120

ÖZGEÇMİŞ

Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

BAHÇECİK (GÜMÜŞHANE-TEKKE) TRAVERTEN OCAĞINDAKİ KIRIK, ÇATLAK, BOŞLUK VE SÜREKSİZLİKLERİN YER RADARI (GPR) YÖNTEMİ İLE ARAŞTIRILMASI

Hilal ALEMDAĞ

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Aysel ŞEREN
2018, 124 Sayfa

Bu tezde, Gümüşhane ili Tekke beldesinde işletilmesi durdurulmuş Bahçecik Traverten ocağının verimliliğinin araştırılmasında; kırık, çatlak, boşluk ve süreksizliklerin belirlenmesi için yer radarı yöntemi (GPR) uygulanmıştır. İncelenen 3 çalışma alanında belirlenen 18 profilde 100 ve 250 MHz antenlerle GPR verileri toplanmıştır. Elde edilen radargramlarda; 4-10 m derinliklere kadar gözlenen farklı genlikli ve boyutlu yansıtıcı yüzeylerin traverten içindeki kırık-çatlaklı yapıları ve daha derin kısımların ise türbitit birimlerini gösterdiği tespit edilmiştir. Ayrıca aynı profilde farklı frekanslı antenlerle toplanan verilerine birleştirme işlemleri uygulanıp tek bir kesitte sunulmuştur. Bu işlem, 4 farklı yapay test için, farklı frekanslı üç dalgacık hesaplanmıştır. Bu dalgacıklar basit ve zaman kaydırmalı toplama işlemleri ile birleştirilmiştir. Zaman kaydırmalı toplamanın spektral olarak iyi bir dengeleme sağladığı ve delta fonksiyonuna yaklaşan birleşik bir dalgacık oluşturduğu gözlenmiştir. Aynı işlem, gerçek arazi verilerine de uygulanmıştır. Birleştirilmiş verilerin görüntü kalitesini iyileştirmek için elde edilen sonuçlar süzgeçleme ve genlik kazanımı uygulandıktan sonra 2 boyutlu görüntülenerek, genlik ve f-k spektrumları hesaplanarak karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, zaman kaydırmalı toplamın zaman-uzaklık kesitinin, genlik ve f-k spektrumlarının daha ayrımlı görüntüler sunduğu gözlenmiştir. Böylece aynı anda hem derin hemde sığ seviyeler aynı kesit üzerinde kolaylıkla yorumlanabilmektedir.

Anahtar Kelimeler: GPR, Traverten, Kırık-çatlak, Basit ve Zaman Kaydırmalı Birleştirme.

Master Thesis

SUMMARY

INVESTIGATION OF FRACTURES, CRACKS, VOIDS AND DISCONTINUITIES IN
BAHÇECİK (GÜMÜŞHANE-TEKKE) TRAVERTINE QUARRY WITH GROUND
PENETRATING RADAR (GPR) METHOD

Hilal ALEMDAĞ

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Geophysical Engineering Department
Supervisor: Prof. Dr. Aysel ŞEREN
2018, 124 Pages

In this thesis, determining the efficiency of the Bahcecik Travertine quarry in Gumushane province of Tekke, whose operation has been suspended, ground penetrating radar (GPR) method has been applied to detect cracks, fractures, voids and discontinuities in this structure. GPR data were collected with 100 and 250 MHz antennas in 18 profiles determined in 3 study areas. In the obtained radargrams; It has been found that different amplitude and size of reflective surfaces observed up to 4-10 m depths were shown fracture-cracked structures in the travertine and the deeper parts were shown turbidite units. In addition, the compositing process was applied to the data collected with different frequency antennas on the same profile and presented on a section. In this process, three wavelets with different frequencies was calculated for 4 different artificial tests. These wavelets were combined by applying simple and time shifting summations. It has been observed that the time-shift summation provides good balanced as spectrally and constitutes a combined wavelet approaching the delta function. The same procedure was also applied to real field data. To improve the image quality of the composited data, obtained results was shown as 2D after filters and amplitude gain were applied. Then, these results were compared by calculated amplitude and f-k spectrums. As a result, it is considered that amplitude and f-k spectrums was presented more resolution images in distance-time section of time shifting summations. In this way, simultaneous both deep and shallow levels can be easily interpreted on the same section.

Key Words: GPR, Travertine, Crack-Fracture, Simple and Time Shifting Compositing.

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1. Yer Radarı ölçüm düzeneği.....	6
Şekil 1.2. Traverten bloğu ve üzerinden elde edilen radargram örneği.....	6
Şekil 1.3. Elektrik (E) ve manyetik (B) alanın gösterimi	12
Şekil 1.4. (a) Hız ve (b) sönümlenme değerlerinin frekansa bağlı olarak değişimi	13
Şekil 1.5. Dalga cepheleri bir kaynaktan dışa doğru seyahat eden dalgalar için eş seyahat süreli ya da fazlı yüzeylerdir. Işımlar dalga cephelerine diktir ve yörüngeden dışa doğru çizilmektedirler	15
Şekil 1.6. Yer radarı sisteminin ana bileşenlerini tanımlayan blok diyagramı.....	21
Şekil 1.7. (a) verici kesilmesi, direk sinyalin vericiden alıcıya giderken yansıma sinyali ile üst üste binerek örtmesi sonucunda oluşur. (b) eğer iki hedef benzer yol uzunlukları gösteriyorsa, varış zamanındaki farklar küçük olabilir, buda yansıyan sinyallerin maskelenmesine neden olmaktadır. Bu iki olayın çözülmesi için, yol uzunlukları farkı hız ile çarpılmış sinyal genişliğinin yarısını aşmalıdır.....	22
Şekil 1.8. Elektromanyetik enerjinin yayıldığı ortamın elektrik iletkenliği ile enerjinin nüfuz derinliği ilişkisi	24
Şekil 1.9. Sinyalin sönümlenmesi (Reynolds, 1997'den düzenlenmiştir).....	26
Şekil 1.10. Yer radarı anten dizilimleri ; (a) antenler birbirine ve hatta paralel (XX modu), (b) antenler hatta paralel, (c) antenler birbirine paralel hatta dik (YY modu), (d) antenler hatta dik, (e) verici anten hatta paralel, alıcı anten hatta dik.....	27
Şekil 1.11. Yansıma profili ölçümü.....	28
Şekil 1.12. Geniş açılı yansıma profili ölçümü	29
Şekil 1.13. Ortak derinlik noktası ölçümü.....	29
Şekil 1.14. Tomografi ölçümü.....	30
Şekil 1.15. Çalışma alanı 2 alanındaki 1.profilin ham radargramı	31
Şekil 1.16. GPR verisi akış şeması.....	31
Şekil 1.17. Ham GPR izindeki dewow süzgeç düzeltilmesi; (a) dewow süzgeç uygulanmadan önce, (b) dewow süzgeç uygulandıktan sonra	32
Şekil 1.18. Çalışma alanı 2 alanındaki 1.profilin dewow veri işlem adımı uygulandıktan sonraki radargramı.....	33
Şekil 1.19. (a) Genlik kazancı uygulanmayan GPR izi, (b) genlik kazancı uygulanan GPR izi	34
Şekil 1.20. Çalışma alanı 2 alanındaki 1.profilin gain veri işlem adımı uygulandıktan sonraki radargramı.....	35

Şekil 1.21.	Çalışma alanı 2 alanındaki 1.profilin background removal veri işlem adımı uygulandıktan sonraki radargramı.....	36
Şekil 1.22.	Çalışma alanı 2 alanındaki 1.profilin, sıfır kayma düzeltmesi veri işlem adımı uygulandıktan sonraki radargramı	37
Şekil 1.23.	Sentetik dalgacıklara genlik ölçeklendirme için zaman kaydırması uygulandı. Sonuçta delta fonksiyonuna çok benzer bir birleşik dalga oluştu. Delta fonksiyonu dekonvolüsyon için ideal bir dalgacıktır (Bancroft, 2010).	38
Şekil 1.24.	a) 50 MHz'in genlik spektrumu, b)100 MHz in genlik spektrumu, c) 200 MHz in genlik spektrumu, d) 50, 100 ve 200 MHz birleştirilmesiyle elde edilen genlik spektrumu	40
Şekil 2.1.	Çalışma alanı yer bulduru haritası.....	42
Şekil 2.2.	Bahçecik ve yakın yöresinin jeoloji haritası	44
Şekil 2.3.	Çalışma alanlarının genel görünümü.....	45
Şekil 2.4.	Çalışma alanı 1, 2 ve 3' ün ölçü krokisi.....	45
Şekil 2.5.	Çalışma alanı 1 ve GPR ölçü profilleri	46
Şekil 2.6.	Çalışma alanı 2 ve GPR ölçü profiller	47
Şekil 2.7.	Çalışma alanı 3 ve GPR ölçü profilleri	48
Şekil 2.8.	Kaynak dalgacıklar (a) 225 MHz, (b) 450 ve (c) 900 MHz.....	49
Şekil 2.9.	Çoklu frekans birleşiminin yapay araştırması için yapay GPR dalgacıkları; (a) 225 MHz Berlage dalgacığı, (b) 450 MHz Berlage dalgacığı, (c) 900 MHz Berlage dalgacığı, (d) 225, 450 ve 900 MHz dalgacıklarının genlik spektrumları.....	50
Şekil 2.10.	(a) Basit toplama, (b) Zaman kayma toplamı, (c) a'nın genlik spektrumu, (d) b'nin genlik spektrumu.....	51
Şekil 2.11.	Konvolüsyon sonucu elde edilen yapay GPR izleri; (a) 225 MHz Berlage izi, (b) 450 MHz Berlage izi, (c) 900 MHz Berlage izi, (d) 225,450 ve 900 MHz izlerinin genlik spektrumları	52
Şekil 2.12.	(a) Basit toplama, (b) Zaman denge toplamı, (c) a'nın genlik spektrumu, (d) b'nin genlik spektrumu.....	53
Şekil 2.13.	Gürültü içeren GPR izleri; (a) 225 MHz Berlage izi, (b) 450 MHz Berlage izi, (c) 900 MHz Berlage izi, (d) 225,450 ve 900 MHz izlerinin genlik spektrumları	54
Şekil 2.14.	(a) Basit toplama, (b) Zaman kaydırmalı toplama, (c) a'nın genlik spektrumu, (d) b'nin genlik spektrumu.....	55
Şekil 2.15.	Enterpole edilerek örnekleme aralıkları ve zamanları eşitlenen GPR izleri; (a) 225 MHz radar izi, (b) 450 MHz radar izi, (c) 900 MHz radar izi, (d) 225,450 ve 900 MHz dalgacıklarının orijinal genlik spektrumları, (e) 225,450 ve 900 MHz radar izlerinin genlik eşitleme sonucu elde edilen genlik spektrumları.....	56

Şekil 2.16.	(a) Basit toplama, (b) Zaman kaydırmalı toplama, (c) a'nın genlik spektrumu, (d) b'nin genlik spektrumu.....	57
Şekil 2.17.	Arazi verisine uygulanan işlemlerin akış şeması	58
Şekil 2.18.	(a) 100 MHz' lik anten frekansıyla elde edilen radargram, (b) 250 MHz'lik anten frekansıyla elde edilen ham radargram.....	60
Şekil 2.19.	(a) Basit toplama, (b) Zaman kaydırmalı toplama	60
Şekil 2.20.	(a) Basit toplamanın ortalama genlik spektrumu, (b) Zaman kaydırmalı toplamanın ortalama genlik spektrumu, (c) Basit toplamanın f-k spektrumu, (d) Zaman kaydırmalı toplamanın f-k spektrumu.....	61
Şekil 2.21.	(a) Lokal Mean Notch süzgeç, fx filtre ve genlik kazancı uygulanan basit toplama oluşan radargram, (b) Lokal Mean Notch süzgeç, fx süzgeç ve genlik kazancı uygulanan zaman kaydırmalı toplama oluşan radargram.....	62
Şekil 2.22.	200 ns lik kısmın daha ayrıntılı görünümü; (a) Basit toplamanın, (b) Zaman kaydırmalı toplama.....	63
Şekil 2.23.	200 ns'lik kesit üzerinde gözlenen belirgin yansımaların gösterimi; (a) Basit toplamanın. (b) Zaman kaydırmalı toplamanın	64
Şekil 2.24.	(a) Basit toplamanın genlik spektrumu, (b) Zaman Kaydırmalı toplamanın genlik spektrumu, (c) Basit toplamanın f-k spektrumu, (d) Zaman kaydırmalı toplamanın f-k spektrumu.....	65
Şekil 2.25.	(a) 100 MHz' lik anten frekansıyla elde edilen radargram, (b) 250 MHz'lik anten frekansıyla elde edilen radargram.....	66
Şekil 2.26.	(a) Lokal Mean Notch süzgeç, fx süzgeç ve genlik kazancı uygulanan basit toplama oluşan radargram, (b) Lokal Mean Notch süzgeç, fx süzgeç ve genlik kazancı uygulanan zaman kaydırmalı toplama oluşan radargram.....	67
Şekil 2.27.	(a) Basit toplamanın, (b) Zaman kaydırmalı toplamanın genlik spektrumu, (c) Basit toplamanın, (d) Zaman kaydırmalı toplamanın f-k spektrumu.....	68
Şekil 3.1.	Çalışma alanı 1, 1. profilde 100 MHz'lik antenle XX modunda alınan ölçümden elde edilen radargram (a) ve aynı kesit üzerinde gözlenen belirgin yansımaların gösterimi (b).	69
Şekil 3.2.	Çalışma alanı 1, 1. profilde 100 MHz'lik antenle YY modunda alınan ölçümden elde edilen radargram (a) ve aynı kesit üzerinde gözlenen belirgin yansımaların gösterimi (b).	70
Şekil 3.3.	Çalışma alanı 1, 1 profilde 250 MHz'lik antenle alınan ölçümden elde edilen radargram (a) ve aynı kesit üzerinde gözlenen belirgin yansımaların gösterimi (b).	70
Şekil 3.4.	Çalışma alanı 1, 2. profilde 100 MHz'lik antenle XX modunda alınan ölçümden elde edilen radargram (a) ve aynı kesit üzerinde gözlenen belirgin yansımaların gösterimi (b).	71

Şekil 3.5.	Çalışma alanı 1, 2. profilde 100 MHz'lik antenle YY modunda alınan ölçümden elde edilen radargram (a) ve aynı kesit üzerinde gözlenen belirgin yansımaların gösterimi (b).	72
Şekil 3.6.	Çalışma alanı 1, 2. profilde 250 MHz'lik antenle alınan ölçümden elde edilen radargram (a) ve aynı kesit üzerinde gözlenen belirgin yansımaların gösterimi (b).	72
Şekil 3.7.	Çalışma alanı 1, 3. profilde 100 MHz'lik antenle XX modunda alınan ölçümden elde edilen radargram (a) ve aynı kesit üzerinde gözlenen belirgin yansımaların gösterimi (b).	73
Şekil 3.8.	Çalışma alanı 1, 3. profilde 100 MHz'lik antenle YY modunda alınan ölçümden elde edilen radargram (a) ve aynı kesit üzerinde gözlenen belirgin yansımaların gösterimi (b).	74
Şekil 3.9.	Çalışma alanı 1,3. profilde 250 MHz'lik antenle alınan ölçümden elde edilen radargram (a) ve aynı kesit üzerinde gözlenen belirgin yansımaların gösterimi (b).	74
Şekil 3.10.	Çalışma alanı 1, 4. profilde 100 MHz'lik antenle XX modunda alınan ölçümden elde edilen radargram (a) ve aynı kesit üzerinde gözlenen belirgin yansımaların gösterimi (b).	75
Şekil 3.11.	Çalışma alanı 1, 4. profilde 100 MHz'lik antenle YY modunda alınan ölçümden elde edilen radargram (a) ve aynı kesit üzerinde gözlenen belirgin yansımaların gösterimi (b).	76
Şekil 3.12.	Çalışma alanı 1,4. profilde 250 MHz'lik antenle alınan ölçümden elde edilen radargram (a) ve aynı kesit üzerinde gözlenen belirgin yansımaların gösterimi (b).	76
Şekil 3.13.	Çalışma alanı 1, 5. profilde 100 MHz'lik antenle XX modunda alınan ölçümden elde edilen radargram (a) ve aynı kesit üzerinde gözlenen belirgin yansımaların gösterimi (b).	77
Şekil 3.14.	Çalışma alanı 1, 5. profilde 100 MHz'lik antenle YY modunda alınan ölçümden elde edilen radargram (a) ve aynı kesit üzerinde gözlenen belirgin yansımaların gösterimi (b).	78
Şekil 3.15.	Çalışma alanı 1, 5. profilde 250 MHz'lik antenle alınan ölçümden elde edilen radargram(a) ve aynı kesit üzerinde gözlenen belirgin yansımaların gösterimi (b).	78
Şekil 3.16.	Çalışma alanı 2, 1. profilde 100 MHz'lik antenle XX modunda alınan ölçümden elde edilen radargram (a) ve aynı kesit üzerinde gözlenen belirgin yansımaların gösterimi (b).	79
Şekil 3.17.	Çalışma alanı 2, 1. profilde 100 MHz'lik antenle YY modunda alınan ölçümden elde edilen radargram (a) ve aynı kesit üzerinde gözlenen belirgin yansımaların gösterimi (b).	80
Şekil 3.18.	Çalışma alanı 2,1. profilde 250 MHz'lik antenle alınan ölçümden elde edilen radargram (a) ve aynı kesit üzerinde gözlenen belirgin yansımaların gösterimi (b).	81

Şekil 3.19.	Çalışma alanı 2, 2. profilde 100 MHz'lik antenle XX modunda alınan ölçümden elde edilen radargram (a) ve aynı kesit üzerinde gözlenen belirgin yansımaların gösterimi (b).	81
Şekil 3.20.	Çalışma alanı 2, 2. profilde 100 MHz'lik antenle YY modunda alınan ölçümden elde edilen radargram (a) ve aynı kesit üzerinde gözlenen belirgin yansımaların gösterimi (b).	82
Şekil 3.21.	Çalışma alanı 2, 2. profilde 250 MHz'lik antenle alınan ölçümden elde edilen radargram (a) ve aynı kesit üzerinde gözlenen belirgin yansımaların gösterimi (b).	83
Şekil 3.22.	Çalışma alanı 2, 3. profilde 100 MHz'lik antenle XX modunda alınan ölçümden elde edilen radargram (a) ve aynı kesit üzerinde gözlenen belirgin yansımaların gösterimi (b).	83
Şekil 3.23.	Çalışma alanı 2, 3. profilde 100 MHz'lik antenle YY modunda alınan ölçümden elde edilen radargram (a) ve aynı kesit üzerinde gözlenen belirgin yansımaların gösterimi (b).	84
Şekil 3.24.	Çalışma alanı 2, 3. profilde 250 MHz'lik antenle alınan ölçümden elde edilen radargram (a) ve aynı kesit üzerinde gözlenen belirgin yansımaların gösterimi (b).	85
Şekil 3.25.	Çalışma alanı 2, 4. profilde 100 MHz'lik antenle XX modunda alınan ölçümden elde edilen radargram (a) ve aynı kesit üzerinde gözlenen belirgin yansımaların gösterimi (b).	85
Şekil 3.26.	Çalışma alanı 2, 4. profilde 100 MHz'lik antenle YY modunda alınan ölçümden elde edilen radargram (a) ve aynı kesit üzerinde gözlenen belirgin yansımaların gösterimi (b).	86
Şekil 3.27.	Çalışma alanı 2, 4. profilde 250 MHz'lik antenle alınan ölçümden elde edilen radargram (a) ve aynı kesit üzerinde gözlenen belirgin yansımaların gösterimi (b).	87
Şekil 3.28.	Çalışma alanı 2, 5. profilde 100 MHz'lik antenle XX modunda alınan ölçümden elde edilen radargram (a) ve aynı kesit üzerinde gözlenen belirgin yansımaların gösterimi (b).	87
Şekil 3.29.	Çalışma alanı 2, 5. profilde 100 MHz'lik antenle YY modunda alınan ölçümden elde edilen radargram (a) ve aynı kesit üzerinde gözlenen belirgin yansımaların gösterimi (b).	88
Şekil 3.30.	Çalışma alanı 2, 5. profilde 250 MHz'lik antenle alınan ölçümden elde edilen radargram (a) ve aynı kesit üzerinde gözlenen belirgin yansımaların gösterimi (b).	89
Şekil 3.31.	Çalışma alanı 3, 1. profilde 100 MHz'lik antenle XX modunda alınan ölçümden elde edilen radargram (a) ve aynı kesit üzerinde gözlenen belirgin yansımaların gösterimi (b).	90
Şekil 3.32.	Çalışma alanı 3, 1. profilde 100 MHz'lik antenle YY modunda alınan ölçümden elde edilen radargram (a) ve aynı kesit üzerinde gözlenen belirgin yansımaların gösterimi (b).	90

Şekil 3.33.	Çalışma alanı 3, 1. profilde 250 MHz'lik antenle alınan ölçümden elde edilen radargram (a) ve aynı kesit üzerinde gözlenen belirgin yansımaların gösterimi (b).	91
Şekil 3.34.	Çalışma alanı 3, 2. profilde 100 MHz'lik antenle XX modunda alınan ölçümden elde edilen radargram (a) ve aynı kesit üzerinde gözlenen belirgin yansımaların gösterimi (b).	92
Şekil 3.35.	Çalışma alanı 3, 2. profilde 100 MHz'lik antenle YY modunda alınan ölçümden elde edilen radargram (a) ve aynı kesit üzerinde gözlenen belirgin yansımaların gösterimi (b).	92
Şekil 3.36.	Çalışma alanı 3, 2. profilde 250 MHz'lik antenle alınan ölçümden elde edilen radargram (a) ve aynı kesit üzerinde gözlenen belirgin yansımaların gösterimi (b).	93
Şekil 3.37.	Çalışma alanı 3, 3. profilde 100 MHz'lik antenle XX modunda alınan ölçümden elde edilen radargram (a) ve aynı kesit üzerinde gözlenen belirgin yansımaların gösterimi (b).	94
Şekil 3.38.	Çalışma alanı 3, 3. profilde 100 MHz'lik antenle YY modunda alınan ölçümden elde edilen radargram (a) ve aynı kesit üzerinde gözlenen belirgin yansımaların gösterimi (b).	94
Şekil 3.39.	Çalışma alanı 3, 3. Profilde 250 MHz'lik antenle alınan ölçümden elde edilen radargram (a) ve aynı kesit üzerinde gözlenen belirgin yansımaların gösterimi (b).	95
Şekil 3.40.	Çalışma alanı 3, 4. profilde 100 MHz'lik antenle XX modunda alınan ölçümden elde edilen radargram (a) ve aynı kesit üzerinde gözlenen belirgin yansımaların gösterimi (b).	96
Şekil 3.41.	Çalışma alanı 3, 4. profilde 100 MHz'lik antenle YY modunda alınan ölçümden elde edilen radargram (a) ve aynı kesit üzerinde gözlenen belirgin yansımaların gösterimi (b).	96
Şekil 3.42.	Çalışma alanı 3, 4. profilde 250 MHz'lik antenle alınan ölçümden elde edilen radargram(a) ve aynı kesit üzerinde gözlenen belirgin yansımaların gösterimi (b).	97
Şekil 3.43.	Çalışma alanı 3, 5. profilde 100 MHz'lik antenle XX modunda alınan ölçümden elde edilen radargram (a) ve aynı kesit üzerinde gözlenen belirgin yansımaların gösterimi (b).	98
Şekil 3.44.	Çalışma alanı 3, 5. profilde 100 MHz'lik antenle YY modunda alınan ölçümden elde edilen radargram (a) ve aynı kesit üzerinde gözlenen belirgin yansımaların gösterimi (b).	98
Şekil 3.45.	Çalışma alanı 3, 5. profilde 250 MHz'lik antenle alınan ölçümden elde edilen radargram (a) ve aynı kesit üzerinde gözlenen belirgin yansımaların gösterimi (b).	99
Şekil 3.46.	Çalışma alanı 3, 6. profilde 100 MHz'lik antenle XX modunda alınan ölçümden elde edilen radargram (a) ve aynı kesit üzerinde gözlenen belirgin yansımaların gösterimi (b).	100

Şekil 3.47.	Çalışma alanı 3, 6. profilde 100 MHz'lik antenle YY modunda alınan ölçümden elde edilen radargram (a) ve aynı kesit üzerinde gözlenen belirgin yansımaların gösterimi (b).	100
Şekil 3.48.	Çalışma alanı 3, 6. profilde 250 MHz'lik antenle alınan ölçümden elde edilen radargram (a) ve aynı kesit üzerinde gözlenen belirgin yansımaların gösterimi (b).	101
Şekil 3.49.	Çalışma alanı 3, 7. profilde 100 MHz'lik antenle XX modunda alınan ölçümden elde edilen radargram (a) ve aynı kesit üzerinde gözlenen belirgin yansımaların gösterimi (b).	102
Şekil 3.50.	Çalışma alanı 3, 7. profilde 100 MHz'lik antenle YY modunda alınan ölçümden elde edilen radargram (a) ve aynı kesit üzerinde gözlenen belirgin yansımaların gösterimi (b).	102
Şekil 3.51.	Çalışma alanı 3, 7. profilde 250 MHz'lik antenle alınan ölçümden elde edilen radargram (a) ve aynı kesit üzerinde gözlenen belirgin yansımaların gösterimi (b).	103
Şekil 3.52.	Çalışma alanı 3, 8. profilde 100 MHz'lik antenle XX modunda alınan ölçümden elde edilen radargram (a) ve aynı kesit üzerinde gözlenen belirgin yansımaların gösterimi (b).	104
Şekil 3.53.	Çalışma alanı 3, 8. profilde 100 MHz'lik antenle YY modunda alınan ölçümden elde edilen radargram (a) ve aynı kesit üzerinde gözlenen belirgin yansımaların gösterimi (b).	104
Şekil 3.54.	Çalışma alanı 3, 8. profilde 250 MHz'lik antenle alınan ölçümden elde edilen radargram (a) ve aynı kesit üzerinde gözlenen belirgin yansımaların gösterimi (b).	105
Şekil 3.55.	Çalışma alanı 1, XX modunda 100 MHz'lik antenle elde edilen iki boyutlu yer radarı kesitlerinin birlikte gösterimi.....	106
Şekil 3.56.	Çalışma alanı 1, YY modunda 100 MHz'lik antenle elde edilen iki boyutlu yer radarı kesitlerinin birlikte gösterimi.....	107
Şekil 3.57.	Çalışma alanı 1, 250 MHz'lik antenle elde edilen iki boyutlu yer radarı kesitlerinin birlikte gösterimi	108
Şekil 3.58.	Çalışma alanı 2, XX modunda 100 MHz'lik antenle elde edilen iki boyutlu yer radarı kesitlerinin birlikte gösterimi.....	109
Şekil 3.59.	Çalışma alanı 2, YY modunda 100 MHz'lik antenle elde edilen iki boyutlu yer radarı kesitlerinin birlikte gösterimi.....	110
Şekil 3.60.	Çalışma alanı 2, 250 MHz'lik antenle elde edilen iki boyutlu yer radarı kesitlerinin birlikte gösterimi	111
Şekil 3.61.	Çalışma alanı 3, XX modunda 100 MHz'lik antenle elde edilen iki boyutlu yer radarı kesitlerinin birlikte gösterimi.....	112
Şekil 3.62.	Çalışma alanı 3, YY modunda 100 MHz'lik antenle elde edilen iki boyutlu yer radarı kesitlerinin birlikte gösterimi.....	113

TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1.1. Yaygın yer altı malzemelerinin dielektrik sabiti, iletkenliği, hızı ve sönümlenme değerleri	7
Tablo 1.2. Frekansa göre penetrasyon derinliği	25



SEMBOLLER DİZİNİ

E	: Elektrik Alan
B	: Manyetik Alan
v	: Faz hızı
α	: Sönümlenme
Z	: Elektromanyetik empedans
W	: Açısal frekans
Z₀	: Boşluğun empedansı
c	: Işık hızı
μ	: Manyetik geçirgenlik
μ_r	: Malzemenin göreceli geçirgenlik
μ_0	: Havanın geçirgenliği
σ	: Elektriksel iletkenlik
ϵ	: Elektriksel geçirgenlik
ϵ_0	: Serbest uzayın elektriksel geçirgenliği
ϵ_r	: Malzemenin göreceli elektriksel geçirgenliği
D	: Elektrik Akı yoğunluğu
B	: Manyetik akı yoğunluğu
J	: Akım yoğunluğu
q	: Yük yoğunluğu
B	: Bant genişliği
Δr	: Çözünürlük uzunluğu
V	: Hız
R	: Sönüm
f_c	: Merkez frekansı
Δx	: İki iz arası uzaklık
ns	: Nanosaniye
H(t)	: Heaviside basamak fonksiyonu
f₀	: Baskın frekans
n	: Zaman genlik zarfı
dt	: Örnekleme zamanı
θ_0	: Faz açısı

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Günümüzde, endüstriyel alanda, kireç ve çimento imalatında, yapıtaşı ve hediyelik eşya yapımında hammadde olarak kullanılan travertenin elde edilmesi için işletilmek istenen ocaklardaki en önemli amaç, işletilmeye değer sağlam (kırıksız, çatlaksız vb.) ve arzu edilen boyutlardaki bloklara ulaşmaktır. İşletilmek istenen bir ocağın verimliliğinin önceden ortaya koyulabilmesi ve kazı işlemi yapmadan önce ocak bloklarının homojenlik ve kalitesinin belirlenmesi, işletme açısından son derece önemlidir. Bu amaca yönelik, yapılan bu çalışmada işletilmesi durdurulmuş bir ocağın verimliliğini ortaya koyabilmek için traverten içindeki kırık, çatlak, boşluk gibi süreksizliklerin ve bu yapı içerisindeki olası zayıf/ayırışmış zonların belirlenebilmesi için yer radarı (GPR) yöntemi kullanılmıştır. Açılması düşünülen ya da işletilmekte olan mermer, traverten, granit vb. ocaklarda; sığ yeraltı derinliklerini yüksek çözünürlükte, çok hızlı ve araştırma yaptığı ortama zarar vermeden görüntüleyebilen GPR yöntemi kullanılmaktadır. Literatürde mevcut bu tür GPR çalışmalarının birkaçı aşağıda özetlenmiştir.

Gradjean ve Gourry (1996), Yunanistan'ın Thassos adasındaki mermer ocaklarındaki kırıkları görüntülemek ve haritalamak için GPR yöntemi kullanmışlardır. Bu yöntem ile mermer işletmesini geliştirmek için kırıklı olan bölgelerden, bozulmamış ve pazarlanabilir mermeri hızlıca ayırt etmeyi amaçlamışlardır. Yapılan çalışma sonucunda, bozulmamış ve pazarlanabilir mermer ocakları başarılı bir şekilde ayırt edilmiştir.

Pipan vd., (2000), İtalyanın Triesta bölgesinde bulunan Periadriyatik karbonik platformundaki kireçtaşları içerisindeki tabakalanma düzlemlerinin, kırıkların ve oyukların daha iyi görüntülenmesi için GPR yöntemi kullanmışlardır. 2B ve 3B GPR verileri çalışma alanındaki, kireçtaşı içerisindeki tabaka düzlemlerini, karbonat birikimlerini, kırıkları ve oyukları başarıyla görüntülenmiştir.

Porsani vd., (2006), Brezilya'nın güneyindeki Sao Paulo Eyaletinin, Capa'ao Bonito bölgesindeki bir granit ocağının kırıklı yapılarının araştırılması için GPR yöntemi kullanmışlardır. Yapısal süreksizliklerin, kırıkların bulunduğu yerler ve bozulmamış-yüksek kaliteli granitin olduğu yerler belirlenmiştir. Elde edilen bu bilgi ocağın işletilmesi için maden çıkarma maliyetini en aza indirerek maden işletmecisi için önemli bir miktarda ekonomik tasarruf sağlamaktadır.

Açıkgöz (2008), Ankara'nın Haymana ilçesinde mermer ocağı olarak açılması düşünülen bir arazide yer altındaki malzemenin kırıklarının ve çatlaklarının belirlenmesi amacıyla GPR yöntemi kullanmıştır. Yapılan bu çalışma ile kaliteli sağlam blokların yerleri ve yapısal süreksizlik dağılımları başarılı bir şekilde görüntülenmiş ve bu sayede ocağın işletmeye açılıp açılmayacağına karar verilmesinde katkı sağlanmıştır.

Kadıoğlu (2008), Ankara'nın Polatlı ilçesindeki bir mermer ocağındaki kireç taşının kalınlığını, süreksizliğini ve boşluklarını araştırmak için GPR yöntemi uygulamıştır. Bu yöntemle derinliğe göre mermer tabakaları içindeki boşluklar ile kırıkları görüntülemeyi başarmıştır.

Öğretmen (2012), Bayburt'un, Kıratlı Traverteninde işletilmesi planlanan bölgelere kısa sürede en az maliyetle sağlam, kırıksız ve bozulmamış blokların elde edilmesi amacıyla yer radarı (GPR) yöntemi uygulanmıştır. Bu yöntemle elde edilen verileri değerlendirerek, ocak işletmecisine yol gösterecek şekilde başarılı sonuçlar ortaya koymuştur.

Literatür araştırmasında incelenen çalışma içeriklerinde farklı frekanslı antenlerin aynı hat üzerinde ölçü alınarak değerlendirilmesi yapılmaktadır. Bu tür çalışmaların yorum aşamasında çok sayıda radargramın birlikte irdelenmesi zaman alıcı ve karmaşa oluşturabilmektedir. Bu konuya yönelik olarak literatürde yer alan bazı çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

Doughterty vd. (1994), sinyal işleme yoluyla GPR verisinin güçlendirilmesi için aynı hat üzerinde farklı frekanslarla toplanan verileri tek bir radargramda sunmayı amaçlamıştır. Ancak yüksek frekanslı verilerin birleşik radargramdaki beklentisini ortaya koyamamıştır. Yüksek frekanslı radar sinyallerinin göreceli genlikleri, benzer derinliklerdeki düşük frekanslı radar sinyallerinden daha küçük olduğundan bu sinyalleri herhangi bir genlik ölçeklendirme yapılmaksızın toplamak; uzaysal çözünürlükte az bir iyileşme sağlamıştır.

Booth vd. (2009), Kanada'nın Ontoria şehrinin Waterloo Moraine alanı üzerinden aynı hat üzerinde farklı frekanslı antenlerle topladığı GPR verilerini, çoklu frekans birleşimi kullanarak GPR verilerinin spektral bant genişliğini artırmayı amaçlamışlardır. İlk olarak birleştirme işleminin sentetik bir araştırmasını yapmış ve en iyi sonuçları, birleştirme işlemi yapmadan önce, farklı frekanslara sahip dalgacıkları frekans bileşenlerine uygun ağırlıklandırma ve kayma uygulayarak elde etmişlerdir. Gerçek arazi verilerindeki en başarılı birleştirme stratejisini ise farklı frekanslara sahip veri setlerinin genlik spektrumlarının zaman değişkenli en küçük kareler analizinden ağırlıklandırma

faktörlerini elde ederek başarmışlardır. Böylece her bir farklı frekanslı veri setinin birleşik radargramdaki katkılarını net olarak ortaya koyabilmişler ve birleşik radargrama iğnecik dekonvolüsyonu uygulayarak, dalgacığın çözünürlüğünü artırmayı başarmışlardır.

Bancroft (2010), Florida'nın Santra Rosa adasındaki bir alandan aynı profilde farklı frekanslarla elde ettiği GPR verilerini, tek bir radargram da birleştirmeyi amaçlamıştır. Birleştirme işlemi yapmasının amaçları, dekonvolüsyonun etkinliğini artırmak için GPR verisinin bant genişliğini artırmak ve GPR verisinin derinliğini ve çözünürlüğünü geliştirmektir. Spektral bant genişliğini artırmayı optimal spektral beyazlatma uygulayarak elde etmiş ve farklı frekanslı veri setleri eğimli toplama yöntemini kullanarak birleştirmiştir. GPR verisinin derinliğini ve çözünürlüğünü artırmayı genlik zarfı dengelemesi (AEE) uygulayarak başarmış ve çift eğimli süzgeçler kullanarak toplamıştır. Yapılan çalışma sonucunda, AEE ve çift eğimli süzgeçlerle oluşturulan birleşik radargram, GPR verisinin çözünürlüğü başarılı bir şekilde genişletmiştir.

1.2. Amaç ve Kapsam

Gümüşhane ili Tekke beldesindeki Bahçecik Traverteninin kırık, çatlak, boşluk gibi süreksizliklerinin ve bu yapı içerisindeki olası zayıf/ayrışmış zonların yer radarı (GPR) yöntemi ile araştırılması bu çalışmanın ana amacını oluşturmaktadır. Elde edilen sonuçların değerlendirilerek ocağın işletme açısından verimliliğinin ortaya konulması hedeflenmektedir.

Ayrıca incelenen alanda aynı profil üzerinde farklı iki anten için farklı örnekleme zamanı ve iz aralığı ile toplanan veriler ara değer bulma işlemi yapılarak aynı örnekleme zamanı ve iz aralığına getirilip, basit ve zaman kaydırmalı toplama işlemleri uygulanarak verilerin birleştirilmesi gerçekleştirilmiştir. Böylece aynı hat üzerinde elde edilen iki radargram, yorum kolaylığı sağlamak için ayrı ayrı değil birlikte aynı çözünürlüğe sahip tek radargram olarak birleştirilmesi sağlanmıştır.

Tez kapsamında Gümüşhane Bahçecik travertenin günümüzde işletmesi durdurulmuş olan ocağının iç alanında, çalışma alanı 1, çalışma alanı 2 ve çalışma alanı 3 olarak adlandırılan kısımlarında, toplam 18 profilde Batı (B)-Doğu (D)yönünde ve D-B yönünde, 1m aralıklarla 100 MHz anten ve aynı profillerde sadece B-D yönünde 250 MHz merkez frekanslı anten kullanılarak toplamda 54 ölçü profili seçilerek veriler toplanmıştır. Bu

veriler standart veri işlem aşamalarından geçirilerek traverten ocağının içyapısındaki kırık-çatlak ve ayrılmış kısımlar görüntülenmeye çalışılmıştır.

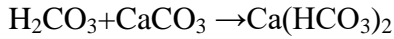
1.3. Traverten Oluşumu

Türkiye’de oldukça zengin traverten yatakları bulunmaktadır. Daha çok endüstriyel alanda, kireç ve çimento imalatında, yapıtaşı, hediyelik eşya yapımında hammadde olarak kullanılmaktadır. Traverten; kalsiyum bikarbonat $\text{Ca}(\text{HCO}_3)$ içeren soğuk ve sıcak su kaynakları tarafından çökeltilen karbonatlı oluşumlardır. Travertenlerin esası CaCO_3 olup, Ca^{+2} ve HCO_3^- ce zengin yeraltı sularının genellikle bir faydan, çatlaktan ya da yarıktan yeryüzüne çıktıkları yerde fizikokimyasal, biyokimyasal olarak bünyelerindeki CaCO_3 ’ı çökeltmesiyle oluşur (Polat, 2011). Travertenlerin oluşum modeli aşağıdaki gibidir (Efe vd., 2008; Polat, 2011):

Atmosferden veya diğer kaynaklardan, yağmur yoluyla kalkerli kayaçların bünyesinde bulunan sulara ulaşan karbondioksit, karbonik asit (H_2CO_3) oluşturmakta ve suyun eritme özelliğini artırmaktadır.



Eritme özelliği artan karbonik asitçe zengin bu sular, kalker boyunca ilerlerken onlarda bulunan kalsiyum karbonatı (CaCO_3) çözüp kendisine katarak kalsiyum bikarbonatça $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ yoğun hale gelmektedir.



Çeşitli yollarla kalsiyum bikarbonatça zengin sular, yeryüzüne ulaştıklarında, değişen sıcaklık ve basınç koşullarına bağlı olarak karasal ortamlarda, bünyelerindeki karbondioksit buharlaşarak atmosfere karışmakta ve ikincil kalsiyum karbonat çökelişi gerçekleşmektedir. Bu çökelişin ürünü olan oluşum travertenleri oluşturmaktadır.



Traverten oluşumu sıcak ve soğuk su kaynaklarının her ikisi tarafından oluşturulabilir. Soğuk su kaynakları tarafından oluşturulan travertenler tufa olarak adlandırılmaktadır. Traverten ve tufa terimleri çoğunlukla birbirinin yerine kullanılan terimler olmasına rağmen oluşum koşulları açısından farklıdırlar (Pedley, 1990). Tufa, göl içinde veya kıyısında, karbonatlı ırmak kenarlarında, sıcak ve soğuk kalkerli kaynak ağzlarında çökelen kalın, soğansı yapıda ve yığışimli şekilde, bazen ince kabuksu yapıda, kırılğan ve süngerimsi, gözenekli olan kimyasal kökenli sedimanter kayaç olarak adlandırılmaktadır (Bates ve Jackson, 1980). Tufalar algler veya bakterilerce çökeltirilir. Travertenler ise karstik veya sıcak su kaynakların etrafında, küçük nehirler ve bataklıklarda oluşabilen, çimentolanmayla ve/veya biyokimyasal yolla çökelebilen kalsiyum karbonat birikimleridir. Travertenler gözenekli yapısı veya yoğunluğuna bakılmaksızın bitki kalıntıları üzerindeki tüm karbonat kabuklanmaları olarak tanımlanmaktadır. Çoğu fosil travertenler çok sayıda boşluğun tamamının bir arada çimentolanmasıyla oluşmuş olup, sık dokuludurlar.

Açık veya açılması planlanan traverten ocağının verimliliğinin ortaya konulabilmesi, blokların sağlamlığının ve kalitesinin belirlenmesi, işletmeci açısından oldukça önem taşımaktadır. Travertenin kırık-çatlak durumunu herhangi bir sondaj veya delgi yapmaksızın, 2 ve 3 boyutlu olarak görüntülemek için yer radarı (GPR) yöntemi kullanılmaktadır

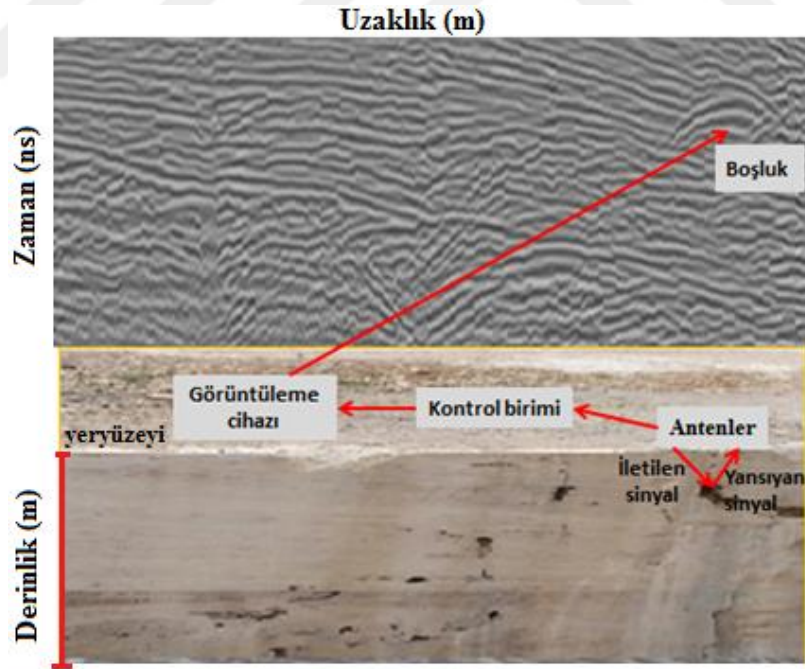
1.4. Yer Radarı Yöntemi

Yer radarı, sığ yüzeylerdeki elektriksel özelliklerin değişimlerini tanımlamak için yüksek frekanslı elektromanyetik dalgalarını kullanan, hasarsız bir jeofizik yöntemdir. Yer radarı yönteminde bir kaynak kullanılarak araştırılan ortama iletilen ve zamanla değişkenlik gösteren yüksek frekanslı elektromanyetik alanlar kullanılarak araştırmalar yapılmaktadır. Zamanla değişen elektromanyetik alanlar, manyetik ve elektrik alanların bileşeninden oluşmaktadır. Bu alanlar, yeraltında mevcut olan malzemelerin etkisi ile değişmekte ve yer altındaki yapıların elektriksel özelliklerinin değişimi izlenmektedir. GPR ölçümlerinde, Şekil 1.1'de gösterilen bir kontrol birimi, korumalı/korumasız alıcı ve verici antenler, radar verilerini toplamak, kayıt etmek ve görüntülemek için kullanılan bilgisayar/görüntüleme cihazları kullanılmaktadır (Bancroft, 2010). Elektromanyetik sinyal verici anten tarafından üretilmekte ve yeraltı yüzeyi boyunca bir dalga olarak yayılmaktadır. Yayılan dalga elektriksel geçirgenliği zıt bir ara yüzey veya nokta ile

karşılaştığında, dalganın elektromanyetik enerjisinin bir kısmı alıcı antene doğru yansımakta veya saçılmaktadır (Baker vd., 2007). Alıcı anten ise, çift yol seyahat zamanını ve yansıyan enerji dalgasının genliği kaydetmektedir (Şekil 1.2).



Şekil 1.1. Yer Radarı ölçüm düzeneği



Şekil 1.2. Traverten bloğu ve üzerinden elde edilen radargram örneği

Seyahat zamanı yeraltındaki malzemenin yayılma hızını belirlemek için kullanılmaktadır. EM dalganın hızı atmosferde veya deniz seviyesinde 0.33 m/ns'dir.

Yerdeki tüm malzemelerin göreceli elektriksel geçirgenliği, havanın geçirgenliğinden daha büyük olduğu için yerde bulunan bütün malzemelerin EM dalga hızı, havadaki EM yayılım hızından daha az olmaktadır. Yerdeki malzemeleri hız aralığı 0.05-0.15 m/ns'dir (Baker vd, 2007). Bilindiği üzere, elektriksel geçirgenlikle hız arasında ters bir ilişki vardır. Yer altına iletilen elektromanyetik dalganın hızı, elektriksel geçirgenliğin ani olarak düştüğü yerlerde hızla artmaktadır. Elektriksel geçirgenliğin arttığı ortamlarda (ıslak, nemli vb.), dalga hızı azalmakta ve enerji kaybı olmaktadır. Bu nedenle elektriksel geçirgenliğin arttığı ortamlarda GPR ile çalışmak oldukça zordur (Weeds,1994).

EM dalganın ilerleme hızı malzemenin göreceli elektriksel geçirgenliğine bağlı olmasına rağmen, yayılan dalganın genliği ve sönümlenmesi malzemenin manyetik geçirgenliğine ve elektriksel iletkenliğine de bağlıdır. Manyetik geçirgenlik arttığında genlik sönümlenmesi artmakta ve bu yüzden veri kalitesi ve penetrasyon derinliği zayıflamaktadır. Ayrıca elektriksel iletkenlikte EM dalga yayılımını etkilemektedir. Yüksek elektriksel iletkenliğe sahip malzemeler, EM sinyallerini sönümletme eğilimi göstermektedir. Böylece yüksek iletkenliğe sahip olan malzemeler zayıf GPR verisi oluşturmakta ve penetrasyon derinliğini azaltmaktadır (Tablo 1.1).

Aynı zamanda penetrasyon derinliği, kullanılan antenin frekansına da bağlıdır. Düşük frekanslı antenler yeraltında daha derinden yansımalar almakta fakat elde edilen radargramların çözünürlüğü düşük olmaktadır. Yüksek frekanslı anten kullanımında ise çözünürlük artarken araştırma derinliği azalmaktadır (Davis ve Annan, 1989; Annan, 2004).

Tablo 1.1. Yaygın yer altı malzemelerinin dielektrik sabiti, iletkenliği, hızı ve sönümlenme değerleri (Robinson vd., 2013).

Malzemeler	Dielektrik Sabit	Elektrik İletkenliği (mSm ⁻¹)	Hız (m ns ⁻¹)	Sönümlenme (dB m ⁻¹)
Hava	1	0	0.3	0
Tuzlu su	80	3000	0.033	600
Tatlı su	80	0.5	0.033	0.1
Buz	3-4	0.01	0.16	0.01
Granit (kuru)	5	0.01	0.13	0.01
Kireçtaşı	4-8	0.5-2	0.12	0.4-1
Şist	5-15	1-100	0.09	1-100
Kum (kuru)	5	0.01	0.13	0.01
Kum (nemli)	20-30	0.1-1.0	0.06	0.03-0.3
Kil (nemli)	10	500	0.095	300

Tablo 1.1'in devamı

Malzemeler	Dielektrik Sabit	Elektrik İletkenliği (mSm ⁻¹)	Hız (m ns ⁻¹)	Sönümlenme (dB m ⁻¹)
Topraklar:				
Kumlu (kuru)	2.6	1.4	0.19	1
Kumlu (nemli)	25	69	0.06	23
Killi (kuru)	2.5	2.7	0.19	3
Killi (nemli)	19	500	0.07	200
Donmuş	6	0.1	0.12	0.1

1.5. Yer Radarının Tarihçesi

Radar tarihi, ışığın bir elektromanyetik dalga olduğunun anlaşılmasıyla başlamıştır. 1826 yılında Andre Marie Ampere, bir elektrik akımının bir manyetik alan yarattığını keşfetmiştir. Beş yıl sonra Michael Faraday bir elektrik alanın, değişen bir manyetik alan tarafından üretildiğini keşfetmiştir. 1855 yılında Wilhelm Weber ve Rudolf Kohlraush elektromanyetik yükün elektrostatik yüke oranını hesaplamak için doğrudan ölçümlerden bir deney gerçekleştirmiş ve bu oranı 3.107×10^8 m/s olarak hesaplanmıştır. Bu olaydan birkaç yıl önce Armand Fizeau ve Léon Foucault ışık hızını ölçmek için deneyler yapmış ve ölçülen değerleri sırasıyla 3.149×10^8 m/s ve 2.98×10^8 m/s olarak elde etmişti. Weber ve Kohlrausch tarafından yapılan keşfin önemi hemen fark edilemediğinden, bir süre fizikçiler bu oranın ışığın hızıyla çok yakın olduğu konusunda bir tesadüf olduğuna inanmışlardı. 1861 yılında Clerk Maxwell 'On Physical Lines of Force' kitabında elektrodinamik eşitliklerinin kendi oluşturduğu set içerisinde Amper kanununa düzeltme yapmıştır. Amper kanununun orijinal şeklinde, elektrik akım tarafından manyetik bir alan oluşturulduğu belirtilmiştir. Maxwell'in düzeltmesiyle, değişen bir elektrik alan tarafından bir manyetik alan oluşturulduğu belirtilmiştir. Aslında bu Faraday kanununun bir sonucuydu. Maxwell, daha önce 'On Physical Lines of Force' de yayımlanan denklemlerden yola çıkarak, elektromanyetik Alanın Dinamik Teorisinde dalga denkleminin matematiksel bir türevini yayınlamıştır. Bu türev, hızlanan bir elektrik alanının dikey bir manyetik alan oluşturacağını kanıtlamaktadır. Bu alanlar birlikte boş bir alana yayılabilen elektromanyetik dalga oluşturmaktadır. Boşluktaki dalga hızı için Maxwell'in elektromanyetik dalga eşitlikleri çözülmesi, bir dalganın ışığın hızında ilerlediğini ortaya koymaktadır. Maxwell denklemleri şu anki optik, elektrodinamik ve elektrik devrelerin anlaşılmasının temelini oluşturmaktadır. Ayrıca Maxwell'in

elektromanyetik dalga teorisi, ışığın niçin boşlukta çok hızlı seyahat ettiğini, bir ortam boyunca ilerlerken ise niçin yavaşladığını açıklamaktadır. Elektromanyetik dalga teorisi ve Maxwell denklemleri tüm radar uygulamalarının teorik temelini oluşturmaktadır.

Maxwell elektromanyetik dalgaların varlığını düşünmüş ancak radyo dalgalarının var olduğunu, görülebilir ışıkla aynı şekilde iletilebildiğini, yansıyabildiğini ve kırılabildiğini Heinrich Hertz göstermiştir. 1897 yılında Alexander Popov, şimşek çakması tesbit etmek için cihazını test ederken, bir gemi geçtiğinde bozucu bir etkileşim gördü. Popov nesnelere bulmak için doğa olaylarından yararlanabileceğini rapor etmiş fakat bunu daha fazla keşfedememiştir. 1904 yılında Christian Hülsmeier, gemi varlığını tespit etmek için radyo dalgalarını kullandı. 1922 yılının Eylül'ünde ABD Deniz Kuvvetleri araştırmacıları Albert Taylor ve Leo Young, Popov gibi, geçen bir geminin, telsiz iletişimini kesintiye uğrattığını gözlemlemiş ve potansiyel uygulamayı fark edip düşük görünürlükteki gemileri tespit etmek için radyo vericilerinin ve alıcılarının kullanılması gerektiğini önerdi.

Lawrence Hyland, 1930 yılında havadaki bir uçağın radyo iletişimini kesintiye uğrattığını gözlemlemesi ABD ordusunun radyo dalgalarını kullanarak cisimlerin tespit edilmesine ciddi ilgi duymasına neden olmuştur.

İlk yer radarını (GPR), Hülsmeier'in çalışmalarının farkında olan Walter Stern geliştirmiş ve onu 1929 yılında Avusturya'da bir buzul üzerinde araştırma yapmak için kullanmıştır. ABD Hava Kuvvetlerine ait birkaç uçak yanlış irtifa okuması yapması sonucunda pilotlar Grönland'da buz üzerine inmeye çalışırken düşmüştür. Bu olaya kadar, yer altı haritalamasında radyo dalgalarının kullanılması aslında birkaç yıldır unutulmuştur. Yenilenen bu bilgi sayesinde buz, yeraltı suyu tablolarını ve yeraltı özelliklerini haritalamak için radar kullanımı ile araştırmalar başlatılmıştır. 1929'da Stern tarafından kullanılan benzer bir GPR sistemi, Apollo 17 misyonunun ay yüzeyini araştırması için geliştirilmiştir. GPR ilk 1972'de ticari olarak piyasaya çıkmıştır ve o zamandan beri GPR uygulamaları konusunda çok fazla araştırma yapılmıştır. Günümüzde ise GPR, gömülü patlayıcıları tespit etmek, olası arkeolojik kazı yerlerinin bulunması, gömülü boruları bulmak, gömülü takviye çeliğinin yerini belirleme, kaldırımların muayene edilmesi, toprak katmanlarını haritalama, kirlenici madde yığınlarını haritalama, yeraltı suyu seviyelerini haritalama, buz kalınlıklarının haritalanmasında kullanılmaktadır (URL 1).

1.6. Yer Radarı Yöteminin Üstünlük ve Zayıflıkları

Teknolojinin ilerlemesine bağlı olarak, sığ yer araştırmalarında oldukça yaygın kullanılan GPR yöntemi, bazı üstünlüklere ve zayıflıklara sahiptir.

Yer radarı yönteminin üstünlükleri;

- GPR ekipmanları, araştırma alanında kullanılmak için oldukça hafiftir ve kolay taşınabilmektedir.
- GPR çalışmaları, her yerde yapılabilmekte, kayıtları hemen temin edilebilmekte ve bu kayıtlar hemen işlenebilmektedir.
- GPR çalışmalarında, yüksek frekanslı anten kullanılması ve yığma yapabilme olanağı çözünürlüğünü artırmaktadır.
- İlerleyen teknolojiyle beraber yöntemin frekans aralığının genişlemesi, aynı profilde farklı merkezi frekansa sahip antenlerle ölçüm imkanı verdiği için daha güvenilir yorumlar yapılabilir.
- Çalışma sahasında hedeflenen nesnenin derinliği, nesnenin elektriksel özelliklerine, içinde bulunulan ortamın jeolojik özelliklerine ve seçilen elektromanyetik dalganın merkezi frekansına bağlı olarak hesaplanabilir.
- Uygulama sırasında, insanlar tarafından oluşturulan gürültüler, veri işlem teknikleri ile veriden kolayca uzaklaştırılabilir.
- GPR yöntemi, diğer jeofizik yöntemlerin aksine araştırdığı sahaya herhangi bir hasar vermeden uygulanmaktadır.

Yer radarı yönteminin zayıflıkları;

- Yöntemde kullanılan elektromanyetik dalganın yüksek frekanslı olması çözünürlüğü artırmasına rağmen, araştırma derinliğini azaltmaktadır.
- GPR yöntemi nemli ve ıslak ortamlarda güzel sonuçlar vermemektedir. İletkenlik arttıkça, elde edilen görüntülerin kalitesi düşmektedir. İletkenliği çok yüksek olan ara yüzeylerde enerji yayılırken keskin yansıma sinyalleri oluşabilmekte ve böylece bilgi alınması zorlaşabilmektedir. Ayrıca ani bir iletkenlik artışı, elektromanyetik dalganın genliği ve yüksek frekansında soğrulmaya neden olmakta ve görüntü kalitesini düşürmektedir.
- Araştırma yapılan ortamdaki radyo vericileri, istenmeyen gürültüler oluşturabilirler ve ölçülen sinyalleri kayıt aygıtının ölçüm aralığı dışına çıkarabilirler.

- Araştırma yapılan alanda var olan metalik nesnelere, keskin yansımalara neden olmakta ve elde edilen kesitleri bozmaktadır.

1.7. Yer Radarı Yönteminin Kullanıldığı Alanlar

GPR, kullanımının çok kolay olması, hızlı, ekonomik ve yüksek doğrulukla sonuç vermesi nedeniyle mühendislik çalışmalarında oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır.

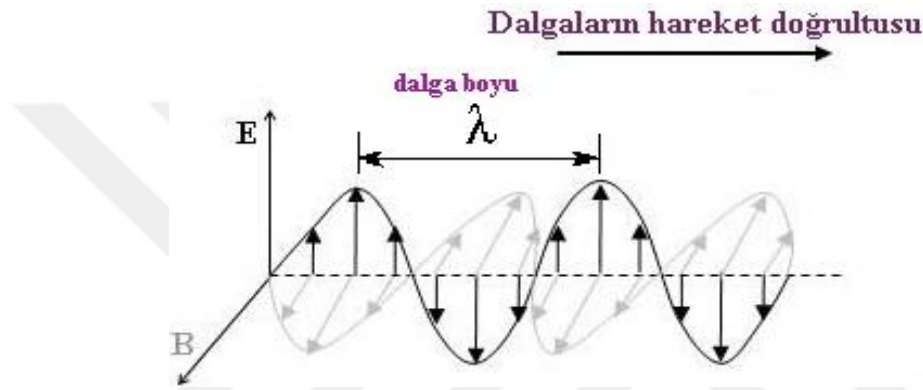
GPR'nin başlıca kullanım alanları aşağıdaki gibidir:

- Buz kalınlığının belirlenmesinde
- Gömülü veya gün yüzüne çıkmış arkeolojik yapıların (tapınak, mezar, duvar, temel vb. tarihi kalıntılar) tahribatsız bir şekilde tespit edilmesi ve incelenmesinde (Sambuelli, vd., 1999),
- Yapısal araştırmalarda (toprak stratigrafisinin ve jeolojik kesitlerin ortaya çıkarılmasında (Davis ve Annan, 1989; Daniels, 2004), yüzeye yakın jeolojik birimlerin tespitinde (Daniels, 2004), fay, kırık ve çatlakların haritalanmasında (Green, vd., 2003), yeraltı su dağılımı ve seviyesinin tespitinde (Harari, 1996; Aspiro ve Aigner, 1999), yüzeye yakın sıvı hidrokarbon aramalarında (Changryol vd., 2000),
- Alt yapı çalışmalarında (gömülü boru, su veya akaryakıt tankı ve eski endüstriyel atık alanlarının belirlenmesinde (Daniels, 2004),
- Adli tıp olaylarında (yeraltındaki insan, silah, mayın, vb. kalıntılarını belirlemede (Hammon vd., 2000),
- Zemin ve tünel araştırmalarında,
- Karayolu, demiryolu, su tünelleri, tüp geçitler, galeriler içinde duvar cephelerinin sağlamlık derecesinin belirlenmesinde (Cardelli vd., 2003),
- Tarım alanlarında (Hubbard vd., 2005),
- Mermer ocaklarındaki kırık-çatlak sistemlerinin araştırılmasında (Gradjean ve Gourry, 1996, Kadioğlu, 2008, Açıkgöz (2008),
- Traverten incelemelerinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Öğretmen, 2012).

1.8. Yer Radarı Yönteminin Dayandığı Temel Elektromanyetik (EM) Alan Yayılım Teorisi

1.8.1. EM Dalganın Oluşumu ve Özellikleri

Elektromanyetik dalgalar ivmelendirilmiş elektrik yükleri tarafından oluşturulurlar. Elektromanyetik dalgalar birbirlerine ve dalganın yayılma doğrultusuna dik olan ve titreşen elektrik ve manyetik alanlardan oluşan enine dalgalardır (URL 2).

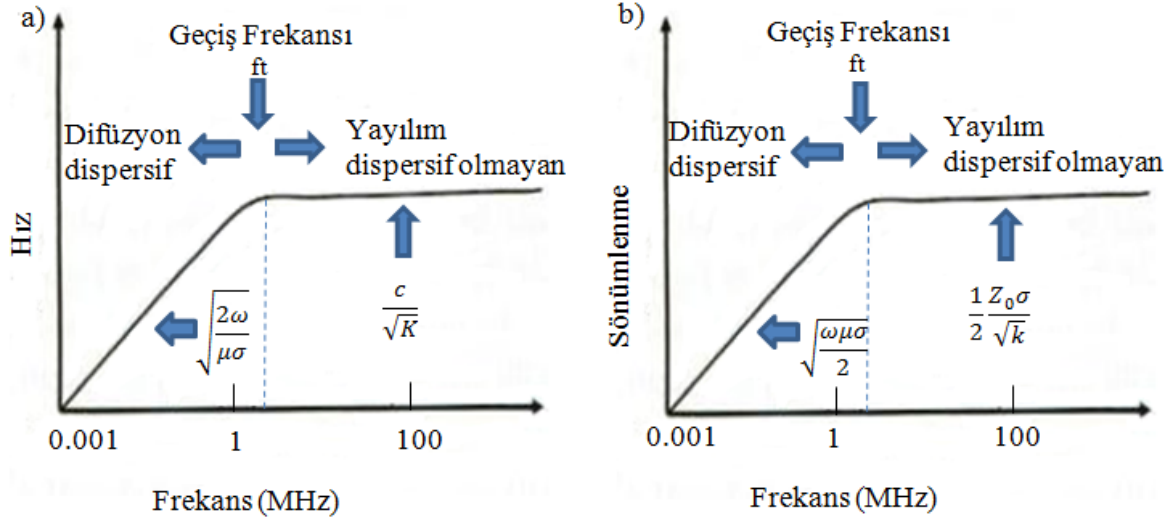


Şekil 1.3. Elektrik (E) ve manyetik (B) alanın gösterimi (URL 3).

Işık, ısı dalgaları, X ışınları, radyo dalgaları, gamma ışınları, ultraviyole ışınların hepsi birer elektromanyetik dalgadan ibarettir. Tüm elektromanyetik dalgalar uzay boyunca aynı hızla yayılmaktadırlar. Bu hız değeri 3×10^8 m/s dir. Elektromanyetik dalgalar uzayda aynı hızla ilerleselerde, dalga boyları, frekansları ve enerji seviyeleri bakımından farklılık göstermektedirler. Dalga boyu, bitişik dalgaların karşılıklı gelen noktaları arasındaki mesafedir. Dalga frekansı ise belirli bir süre içerisinde sabit bir noktadan geçen dalgaların sayısıdır. Birimi Hertz (Hz)'dir. Uzun dalga boylu elektromanyetik dalgalar düşük frekans değerlerine sahipken, daha kısa boylu elektromanyetik dalgalar yüksek frekans değerlerine sahiptir. Elektromanyetik dalganın enerjisi onların frekansına bağlıdır. Düşük frekanslı dalgalar çok az enerjiye sahip ve zararsızken, yüksek frekanslı dalgalar fazla enerjiye sahip olup çok zararlıdırlar. Bir dalganın, hızı dalganın dalga boyu ve frekansının bir ürünüdür. Bu ilişki aşağıdaki (1) bağıntısı ile ifade edilmektedir (URL 4).

$$\text{Hız} = \text{dalga boyu} \times \text{frekans} \quad (1)$$

Elektromanyetik dalga alan özellikleri, faz hızı (v), sönümlenme (α) ve elektromanyetik empedanstır (Z). Eğer sinüzoidal bir zaman değişimi varsa, sabit elektriksel geçirgenlik, iletkenlik ve manyetik geçirgenliğe sahip basit bir ortam için elektromanyetik dalga özellikleri kolaylıkla ifade edilebilmektedir. Hız ve sönümlenmenin frekansa karşı değişimi şekil (1.4) de gösterilmektedir.



Şekil 1.4. (a) Hız ve (b) sönümlenme değerlerinin frekansa bağlı olarak değişimi (Özdemir, 2015).

Dalga özelliklerinin tümü benzer davranış göstermektedir. Düşük frekanslarda tüm özellikler açılmal frekansa (\sqrt{w} şeklinde) bağlı olmakta ve elektromanyetik alanlar düşük frekanslarda dispersif yayılım göstererek difüzyon hareketi ile ilerlemektedir. Yüksek frekanslarda eğer elektriksel geçirgenlik, manyetik geçirgenlik ve iletkenlik sabitse elektromanyetik özellikler frekanstan bağımsızdır. Yüksek frekans davranışı, GPR için en önemli özelliktir. Düşük frekanslarda elektrik alanlar malzemenin içerisine doğru yayılmakta ve enerji kendini ısı olarak dağıtmaktadır. Bu ortamdaki bir dürtü sinyali, bu sinyalin frekans bileşenlerinin farklılaşan faz hızlarında seyahat etmesi ve farklı oranlarda sönümlenmesine bağlı olarak saçılmaya başlar. Faz hızı, sönümlenme ve elektromanyetik empedansın matematiksel formülleri (2-4) bağıntılarıyla tanımlanmaktadır.

$$V = \sqrt{\frac{2 \cdot w}{\mu \cdot \sigma}} \quad (2)$$

$$\alpha = \sqrt{\frac{w \cdot \sigma \cdot \mu}{2}} \quad (3)$$

$$Z = (1+i) \sqrt{\frac{w \mu}{2 \sigma}} \quad (4)$$

Yüksek frekanslarda, elektromanyetik alanlar ortamda dalga olarak yayılmakta olup tüm frekans bileşenleri aynı hızda seyahat etmekte ve aynı sönümlenmeden etkilenmektedir. Dürtü sinyali şeklini bozmadan seyahatine devam etmektedir. Bu seyahat saçılmadan yayılım olarak adlandırılır. Faz hızı, sönümlenme ve elektromanyetik empedansın matematiksel formülleri (5-7) bağıntıları ile tanımlanmaktadır. Burada ortamın manyetik özellikleri dikkate alınmamıştır. (8) bağıntısıyla ifade edilen Z_0 ise boşluğun empedansını ifade etmektedir (Jol, 2009).

$$v = \frac{1}{\sqrt{\epsilon \mu}} = \frac{c}{\sqrt{K}} \quad (5)$$

$$\alpha = \sqrt{\frac{\mu \cdot \sigma}{\epsilon \cdot 2}} = Z_0 \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{K}} \quad (6)$$

$$z = \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}} = \frac{Z_0}{\sqrt{K}} \quad (7)$$

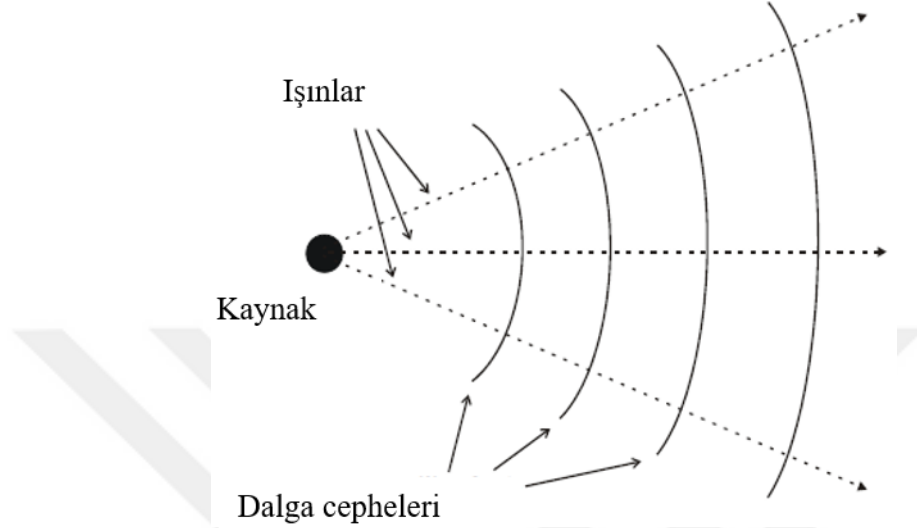
$$Z_0 = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} = 377 \text{ ohms} \quad (8)$$

1.8.2. Elektromanyetik Dalganın Yayılımı

Elektromanyetik alanlar dalgalar halinde yayıldığında ışınlar veya dalga cepheleri tarafından tanımlanabilir. Bu kavramların her ikisi Şekil 1.5 de gösterilmektedir. Dalga cephesi, sinyallerin tümünün aynı fazda olduğu uzaysal bir yüzeyi göstermektedir. Yerel bir kaynaktan yayılan geçici sinyal için uzaysal yüzeyin eşit seyahat süresi dalga cephesini tanımlamaktadır.

Dalga boyu ve geçici sinyal süresinin çok küçük olması ışın yolları için en uygun durumdur. Işın yolları dalga cephesine diktir. Elektromanyetik alanlar, ışınlar olarak ele

alındığında, ışın tarafından tanımlanan yol boyunca kavramsal olarak ilerlemektedirler. Elektrik ve manyetik alanlar ışın yollarına diktir. Dalga cepheleri ve ışın yolları EM alanlarının bir ortamdan geçerken görselleştirilmesinde oldukça yararlıdır (Annan, 2003).



Şekil 1.5. Dalga cepheleri bir kaynaktan dışa doğru seyahat eden dalgalar için eş seyahat süreli ya da fazlı yüzeylerdir. Işınlar dalga cephelerine diktir ve yörüngeden dışa doğru çizilmektedirler (Annan, 2003).

1.8.3. Elektromanyetik Dalgaların Yayılımını Etkileyen Dielektrik Malzemelerin Fiziksel Özellikleri

EM dalgaların fiziksel ortamla olan etkileşimleri oldukça karmaşık olmaktadır. Madde ve ışığın, atom ve atom altı seviyelerdeki davranışlarını inceleyen Kuantum mekaniği bilim dalı (dalga mekaniği adlarıyla da anılan); çok küçük atom altı parçacıkların davranışlarını (mekaniğini) ele alan kurallarını esas almaktadır. EM etkileşimler için bilinen en kesin modeller bu mekaniği kullanmaktadır. Quantum gösterimine en yakın yaklaşımı, dalgalar halinde yansıyan ve yayılan elektrik alan (E) ve manyetik alan (B) vektörleri açısından EM etkileşimini tanımlayan Maxwell eşitlikleri vermektedir. Çoğu zaman, EM dalgaların yayılımı vektörler yerine skaler olarak gösterilebilir.

1.8.3.1. Manyetik Geçirgenlik (μ)

Manyetik geçirgenlik, bir malzemenin bir EM alanının varlığında manyetize olma kabiliyetini tanımlamaktadır. Malzemenin manyetik polarizasyonunun bir ölçüsüdür. Birimi Henry/metre dir. Manyetik geçirgenliği daha çok olan malzemeler EM dalganın manyetik kısmıyla daha çok karışmaktadır. Böylece dalga sönümlenmekte ve sığ yeraltı görüntülerinin elde edilmesine neden olmaktadır. Bir malzemenin göreceli geçirgenliği (μ_r);

$$\mu_r = \mu / \mu_0$$

formülü ile ifade edilmektedir (Bostanudin, 2013). Buradaki μ_0 ; havanın geçirgenliğini temsil etmekte ve $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \approx 1.256 \times 10^{-6}$ H/m olarak ifade edilmektedir.

Ferromanyetik malzemeler ($\mu_r \gg 1$) manyetiklik açısından kayıplı olarak düşünülmekte ve frekans bağımlı bir geçirgenliğe sahip olabilmektedirler. Fakat, asfalt, beton ve traverten ferromanyetik olmayan malzemeler olarak düşünülmektedir ($\mu_r \approx 1$). Bu yüzden bu malzemelerin geçirgenliğinin boşlukla aynı olduğu varsayılabilir ($\mu_r = 1$) (Bostanudin, 2013).

1.8.3.2. Elektriksel İletkenlik (σ)

Elektriksel iletkenlik, bir malzemenin EM dalgasının elektrik kısmını iletme yeteneği olarak tanımlar. Metre başına Siemens (S/m) cinsinden ölçülür. Elektriksel iletkenliği daha fazla olan malzemeler EM dalganın elektrik kısmını daha kolay iletacaktır. Böylece dalga sönümlenir veya dağılır ve sığ yeraltı görüntülerinin elde edilmesine neden olmaktadır. Aksine düşük elektriksel iletkenliğe sahip malzemeler, EM dalga nüfuzunun daha derinlere gitmesine izin verecektir.

GPR uygulamalarında bir elektromanyetik dalga enerjisi kullanılmakta ve bir malzemedan geçilirken sönümlenmeye (doğal soğurulma) maruz kalabilmektedir. Enerji, sinyalin daha uzun süre bozulmadan kalmasını sağlayan kuru kum, buz veya kuru buz gibi dirençli bir malzemedan geçiyorsa, sinyal malzemenin büyük bir kısmına nüfuz edebilir. Böylece malzemenin içerisinde daha ileri gidilebilir. Bununla birlikte tuzlu su ve ıslak beton gibi malzemeler iletken, GPR enerjisi malzemenin çok ilerisine gitmeden önce

soğurulur. Bu elektrik iletkenliğine dayalı bir kural olarak, malzemenin su içeriği ne kadar büyük olursa, iletkenlik de o kadar yüksek olur (Bostanudin, 2013).

1.8.3.3. Elektriksel Geçirgenlik (ϵ)

Elektriksel geçirgenlik (ϵ), bir maddenin bir EM alanı tarafından indüklenen bir elektrik yükünü depolaması ve iletme kabiliyetini tanımlar. Metre başına Farad (F/m) olarak ölçülür. Malzeme boyunca seyahat eden radar enerjisinin nasıl hızlı olduğunu gösteren belirtici bir sayıdır. Radar enerjisi mümkün olduğunca malzeme boyunca aynı hızda devam etmektedir. Fakat bazı malzemeler enerjiyi diğerlerinden daha fazla yavaşlatmaktadır.

GPR enerjisinin hızı, geçirgenlik değerini bilmek suretiyle türetilebilir. Örneğin elektriksel geçirgenlik ne kadar yüksek olursa radar dalgası ortam boyunca çok yavaş hareket etmektedir. Malzemenin toplam dielektriğinin yükselmesine sebep olan suyun varlığından dolayı ıslak malzemeler, radar sinyalini yavaşlatmaktadır (Bostanudin,2013).

Serbest uzayın elektriksel geçirgenliği (ϵ_0);

$$\epsilon_0 = 1/c^2 \mu_0 \approx 8.854 \times 10^{-12} (\text{F/m})$$

formülü ile ifade edilmektedir.

Malzemenin göreceli elektriksel geçirgenliği ise $\epsilon_r = \epsilon / \epsilon_0$ formülü ile ifade edilmektedir.

1.8.4. Elektromanyetik Empedans

Elektrik ve manyetik alanlar birbirlerine dik yönde olup, her iki alana da dik bir yönde hareket etmektedirler. Manyetik alanın genliği, elektrik alanla doğrudan ilişkilidir. Bu durumun tam tersi, bir alanın diğer alan üzerindeki etkisi nedeniyle ortaya çıkabilir. Bu olay, elektrik mühendisliğinde yaygın olarak kullanılan elektromanyetik empedans terimi (Z) ile tanımlanmakta olup matematiksel ifadesi (9) bağıntısıyla gösterilmektedir.

$$Z = \frac{E}{H} \quad (9)$$

Elektrik ve manyetik alanların göreceli genlikleri ortamın özellikleri tarafından etkilenmektedir. Ortamın iletkenliği önemli olduğunda, matematiğin basit olabilmesi için sinüs sinyalleriyle ilgilenilmesi gerekir. Düşük kayıplı ortamlarda ise elektromanyetik empedans kavramının matematiksel formülü (10, 11) bağıntıları ile ifade edilmektedir (Annan, 2003).

$$Z = \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon + i\frac{\sigma}{\omega}}} \quad (10)$$

$$Z = \sqrt{\frac{\mu}{\sigma} \left(1 - i\frac{\sigma}{2\omega\epsilon}\right)} \quad (11)$$

1.9. Yer Radarı Yöntemimin Temel İlkeleri

1.9.1. Maxwell Denklemleri ve Katkı Eşitlikleri

EM dalga yayılımının fiziksel ilkelerinin temelini Maxwell denklemleri oluşturmaktadır. Bu denklemler bir elektromanyetik dalga oluşturmak için elektrik ve manyetik dalgaların nasıl etkileşim kurduğunu açıklamaktadır. Maxwell denklemleri (12-14) bağıntıları ile ifade edilmektedir (Bancroft, 2010).

$$\text{Amper kanunu:} \quad \nabla \times \mathbf{H} = \mathbf{J} + (\partial \mathbf{D} / \partial t) \quad (12)$$

$$\text{Faraday kanunu:} \quad \nabla \times \mathbf{E} = -\partial \mathbf{B} / \partial t \quad (13)$$

$$\text{Elektrik alan için Gauss kanunu :} \quad \nabla \cdot \mathbf{D} = q \quad (14)$$

$$\text{Manyetik alan için Gauss kanunu:} \quad \nabla \cdot \mathbf{B} = 0 \quad (15)$$

E= elektrik alan uzunluğu (Vm^{-1})

H= manyetik alan uzunluğu (Am^{-1})

D= elektrik akı yoğunluğu (Cm^{-2})

B= manyetik akı yoğunluğu (T)

J = akım yoğunluk vektörü (Am^{-2})

q = yük yoğunluğu (Cm^{-3})

(12) bağıntısıyla tanımlı Amper kanuna göre zamanla değişen bir elektrik alan ya da akım döngüsünden manyetik alan indüklenebilir. (13) bağıntısıyla tanımlı Faraday kanununa göre zamanla değişen manyetik alandan bir elektrik alan indüklenebilir. (14) bağıntısıyla tanımlı Elektrik alan için Gauss kanununa göre, elektrik alan akısı alandan sorumlu olan yüke eşittir. (15) bağıntısıyla tanımlı Manyetik alan için Gauss kanuna göre manyetik tek kutuplara hiç rastlanmamıştır.

Elektromanyetik dalganın iletildiği ortamın özellikleri dalgayı etkilemektedir. Daha öncede belirtildiği gibi, manyetik geçirgenlik, elektriksel geçirgenlik ve iletkenliğin kurucu bileşenleri sinyal yayılımını etkileyen malzeme parametrelerini temsil etmektedir. Katkı eşitlikleri bir malzemenin elektromanyetik ortamdaki tepkisini tanımlamak için kullanılmaktadır. Bu eşitlikler, bir EM alanının uygulanmasına, elektronların, atomların ve moleküllerin topluca nasıl tepki verdiğinin açıklamasını sağlar. Katkı eşitlikleri (16-18) bağıntıları ile tanımlanmaktadır (Benter, 2014).

$$D=\epsilon E \quad (16)$$

$$J=\sigma E \quad (17)$$

$$B=\mu H \quad (18)$$

Buradaki;

ϵ =Malzemenin elektriksel geçirgenliği (Fm^{-1})

σ =Malzemenin iletkenliğini (Sm^{-1})

μ =Malzemenin manyetik geçirgenliğini (Hm^{-1}) ifade etmektedir.

Yayılm ortamındaki değişiklikler, bu özelliklerin sinyal üzerindeki etkisini anlayarak sinyal değişiklikleriyle tanımlanabilir

1.9.2. Zaman Ortamında EM Dalga Denklemleri

Maxwell denklemlerinin manipüle edilmesi sonucunda elektromanyetik dalga denklemi türetilmektedir. Bu denklem, elektromanyetik dalgaların dielektrik ortam

boyunca nasıl yayıldığını tanımlamaktadır. Zaman ortamında elektromanyetik dalga denklemi manyetik ve elektrik alan açısından iki farklı biçimde elde edilmektedir. Zaman ortamında elektrik alan ve manyetik alan dalga denklemlerini bulmak için Maxwell eşitlikleri ve katkı eşitliklerini beraber kullanmak gerekmektedir. Zaman ortamında Elektrik alan dalga denklemi (19) bağıntısıyla ifade edilmektedir (Sadiku, 1992).

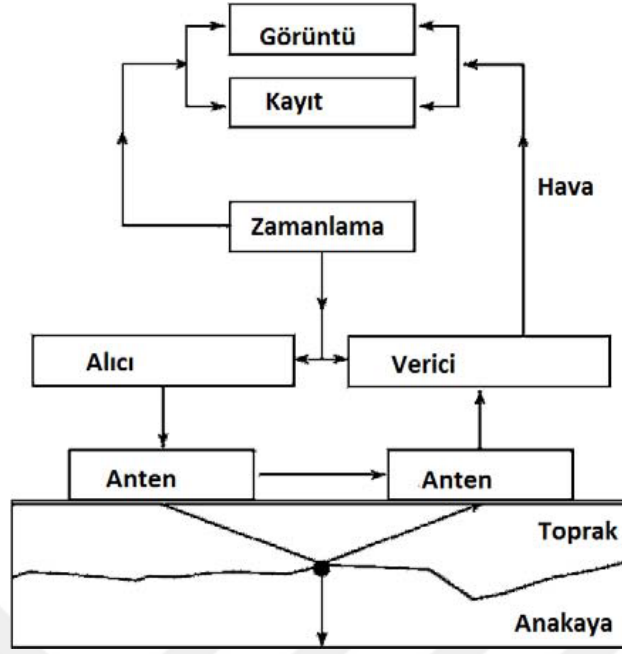
$$\nabla^2 \vec{E} = \mu\sigma \left(\frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \right) + \mu\varepsilon \left(\frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} \right). \quad (19)$$

Zaman Ortamında Manyetik Alan Dalga Denklemi ise (20) bağıntısıyla ifade edilmektedir (Sadiku, 1992).

$$\nabla^2 \vec{H} = \mu\sigma \left(\frac{\partial \vec{H}}{\partial t} \right) + \mu\varepsilon \left(\frac{\partial^2 \vec{H}}{\partial t^2} \right). \quad (20)$$

1.10. Yer Radarı Sinyal Ölçümü

Kavramsal olarak yer radarı sistemleri çok yalın olup, hedef alan genliğinin zamana karşı ölçmesidir. GPR sisteminin temel bileşeni, sinyallerin üretilmesi ve belirlenmesini kontrol eden zamanlama birimidir (Şekil 1.6). Genellikle GPR ölçümleri, zaman ortamında çalışmasına rağmen, zaman ortamı tepkisini sentezlemek için frekans ortamı ölçümleri de kullanılmaktadır.



Şekil 1.6. Yer radarı sisteminin ana bileşenlerini tanımlayan blok diyagramı (Öğretmen, 2012).

Radar sisteminin tanımlanması, sistemin kullanılması ve çalışmasını etkileyen birçok konu olduğu için oldukça karmaşık bir konudur. GPR karakterizasyonu yöneten elektronik alet unsurları sinyal üretme, sinyal yakalama yöntemi, sinyal işleme, performans faktörü, dinamik aralık, merkez frekansı ve bant genişliği, dayanıklılık ve taşınabilirliktir (Jol, 2009).

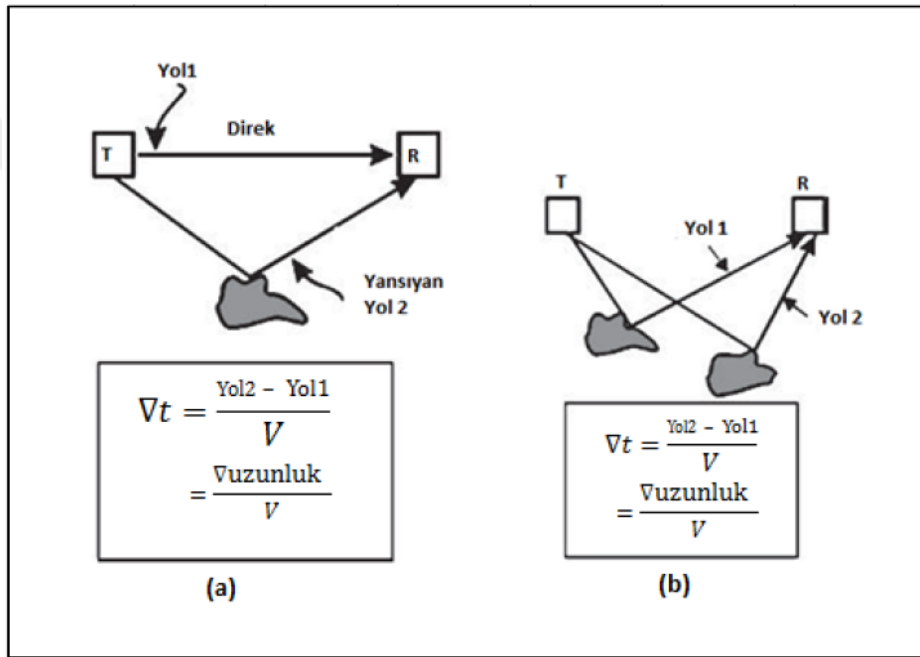
1.10.1. Zaman Aralığı ve Bant Genişliği

GPR sistemlerinin genellikle 10 ps den az ve 10000 ns süresine kadar zamanlama hassasiyeti ile verileri kaydetmesi gerekmektedir. Ölçüm bant genişliği, uygulamaya bağlı ve aynı zamanda da çözünürlükle ilişkilidir. Şekil 1.7’de görüldüğü gibi, çözünürlük; verici kesilmesi ve hedef ayrımlılığı konularını kapsamaktadır. Verici kesilmesi, bir alıcının verici iletimi bitene kadar sinyal algılayamamasından kaynaklanmaktadır. Verici kesilmesi hem bir bant genişliği hem de dinamik aralık sorunudur. Verici anten genellikle geniş sinyal göndermektedir. Alıcı vericiye çok yakınsa, alıcı çok büyük olan doğrudan iletilen sinyali görecektir. Eğer sinyal yeterince genişse alıcı elektroniği aşırı yüklenmekte ve yansıma sinyallerini belirleyememektedir. İletilen pulsun süresi, bant genişliği ile ters

orantılı olarak değişmektedir. Çözünürlük uzunluğu (Δr) gerekli olan bant genişliğini belirlemektedir. Bu ilişki;

$$B \geq \frac{v}{4\Delta r} \quad (21)$$

(21) bağıntısı ile ifade edilmektedir (Jol, 2009). Bağıntıdaki B; Bant genişliğini, V ise elektromanyetik dalganın yayılım hızını göstermektedir.



Şekil 1.7. (a) verici kesilmesi, direkt sinyalin vericiden alıcıya giderken yansıma sinyali ile üst üste binerek örtmesi sonucunda oluşur. (b) eğer iki hedef benzer yol uzunlukları gösteriyorsa, varış zamanındaki farklar küçük olabilir, buda yansıyan sinyallerin maskelenmesine neden olmaktadır. Bu iki olayın çözülmesi için, yol uzunlukları farkı hız ile çarpılmış sinyal genişliğinin yarısını aşmalıdır (Öğretmen, 2012).

1.10.2. Merkez Frekansı

Bant genişliği, GPR frekansını tanımlamamaktadır. Spektrumun herhangi bir yerindeki bir frekans bandı, gerekli çözünürlüğü sağlamaktadır. GPR'ın etkili olabilmesi için, araştırılan ortamdaki sönümlenme, kullanılacak frekansın geçiş frekansının üzerinde mümkün olduğunca düşük tutulmaya zorlanmaktadır. Doğal malzemelerdeki sönümlenme,

yükselen frekansla birlikte artan elektriksel kayıpların ve saçılma kayıplarının bir bileşimidir. Çok düşük frekans kullanılırsa, ortam içerisinde sinyal oldukça derinlere nüfuz etmektedir. GPR sinyallerinin sönümü bant genişliğinin merkez frekansa oranı (22) bağıntısıyla tanımlanmaktadır (Jol, 2009).

$$R=B/fc \quad (22)$$

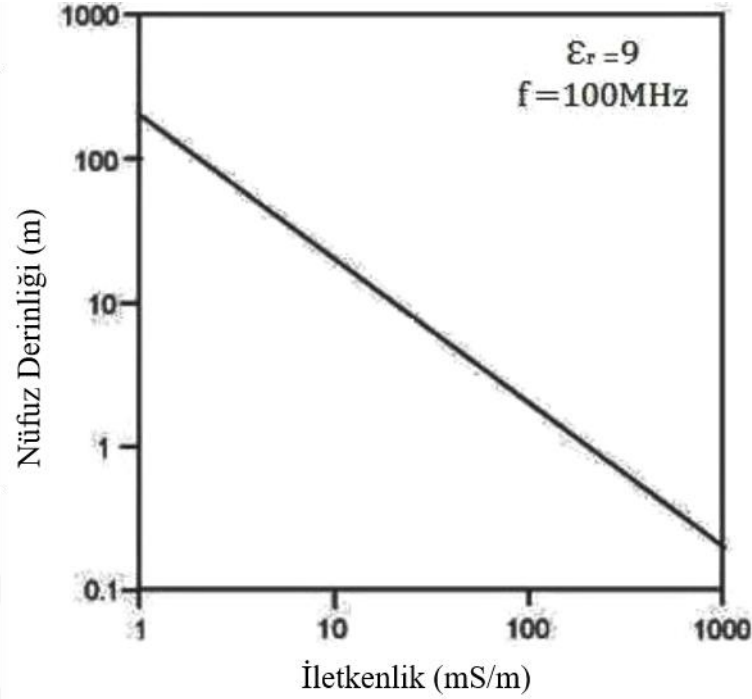
Bu bağıntıda R; sönüm, B; bant genişliği ve fc; merkez frekansını ifade etmektedir.

1.10.3. Penetrasyon Derinliği

Araştırılan ortamdaki ara yüzeylerin sayısı ve bu ara yüzeyler arasındaki dielektrik farklılık; sinyalin sönümlenme oranını, kullanılan antenin merkez frekansını ve yer radarının yeraltını görüntüleyebilme kabiliyetini etkiler. Dielektrik farklılık ayrıca yer içinde ilerleyen radar dalgalarının nüfuz derinliği üzerinde de etkiye sahiptir (Özdemir, 2015).

Radar dalgaları her bir ara yüzeye ulaştığında, dalgaların bir kısmı yüzeye geri dönmekte, geri kalan kısmı da daha derindeki tabaka içine doğru yol almaya devam etmektedir. Mevcut olan ara yüzeylerin sayısı arttıkça, derinlere doğru yayılım gösteren enerji miktarında azalma olur. Özellikle çökel tabakalardaki bölgesel dielektrik farklılıklar, karmaşık yansımalar meydana getirebilmektedir. İlgilenilen yansımalar bu karmaşık yapı nedeniyle maskelenebilmekte ve bu durumda araştırma derinliği azalabilmektedir. (Moorman, 2001).

Elektromanyetik enerjinin ilerlediği ortamın elektrik iletkenliği arttıkça, enerji çok hızlı şekilde sönümlenmekte ve bu nedenle elektromanyetik enerjinin nüfuz derinliği azalmaktadır. Bundan dolayı, yer radarı sinyalinin içerisinde geçtiği maddenin iletkenliği sinyalin nüfuz edeceği derinlik üzerinde oldukça büyük bir etkiye sahiptir. Enerji nüfuz derinliği ile elektrik iletkenlik arasındaki ilişki Şekil 1.8’de verilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi, ortamın iletkenliğinin artması radar dalgalarının nüfuz derinliğini çok hızlı bir biçimde azaltmaktadır (Moorman, 2001).



Şekil 1.8. Elektromanyetik enerjinin yayıldığı ortamın elektrik iletkenliği ile enerjinin nüfuz derinliği ilişkisi (Moorman, 2001).

Aynı zamanda kullanılan antenin frekansında, nüfuz derinliğini etkileyen bir diğer önemli unsurdur. Düşük merkez-frekanslı antenler daha uzun dalga boylu sinyaller üretir. Bunun sonucu olarak iletkenlik kayıpları ve ortamda bulunan küçük boyutlu yapılardan kaynaklanan saçılmanın azalması nedeniyle, daha az sönümlenme gerçekleşir. Bu yüzden, radar dalgaları yerin daha derin kısımlarına ulaşabilir (Tablo 1.2). Ancak düşük frekanslı dalga boyları kullanmanın en büyük dezavantajları, yeraltındaki küçük nesnelerin belirlenememesi ve ince tabaka kalınlıklarının ölçülememesidir. Bu durum, yeraltının çözünürlüğünü azaltır (Conyers ve Goodman, 1997).

Eğer araştırmada çözünürlüğü istenilen derinlik d alınırsa uygun frekans;

$$f = 150/d\sqrt{\epsilon} \text{ MHz} \quad (23)$$

(23) bağıntısı ile bulunur. Burada d derinlik, çözünürlüğü hedeflenen derinliğin %25 i olarak alınır. Çözünürlük ölçütü ve nüfuz derinliği koşulları genelde karmaşa yaratır. Uygulamada buna dikkat edilmelidir. Çözünürlük iz aralığından da etkilenir. Eğer sabit aralıklı profillerde iki iz arası uzaklık (D_x), dalga boyunun $\frac{1}{4}$ ünden daha büyük ise kuramsal olarak tanımlanabilir hedefler belirlenemez. Bu koşul yaklaşık olarak,

$$D_x = 75/f\sqrt{\epsilon} \text{ (m)} \quad (24)$$

(24) bağıntısı ile verilebilir. Diğer bir yaklaşımla her iki işlemde D_x in en fazla araştırma derinliğinin 1/8'i kadar veya daha az olması gerektiği görülebilir.

Anten dizilimleri genelde yan yana olarak yapılmasına rağmen uygulamada uç uca konularak da kullanılmaktadır. Jeolojik yapının uzanımının bilinmesi durumlarında antenler yapıya paralel olarak tutulmalıdır. Uygulamalarda anten aralığı (D_{anten}) araştırma derinliğinin 1/5 veya daha azı alındığında iyi sonuç verdiği görülmüştür. Derinliğe bağlı olarak ampirik bağıntı ise aşağıdaki gibidir.

$$D_{\text{anten}} = (2d)/\sqrt{(\epsilon - 1)} \text{ (m)} \quad (25)$$

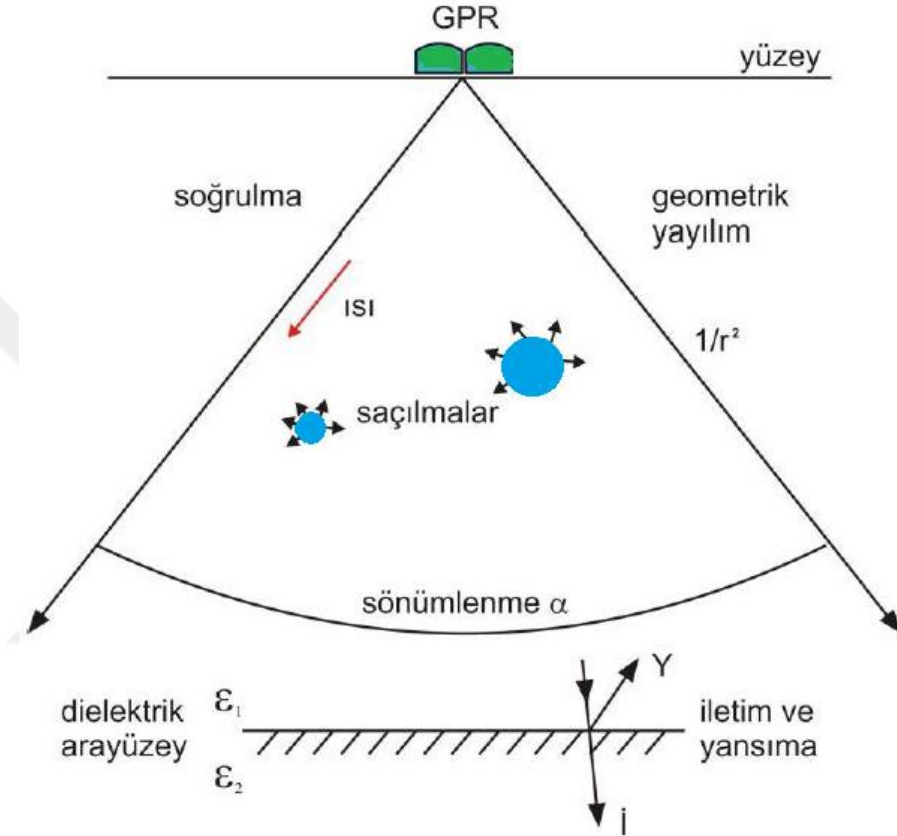
Tablo 1.2. Frekansa göre penetrasyon derinliği

Frekans (MHz)	Çözünürlük (m)	Toprak (m)	Kaya ortamı (m)
25	1.000	35-40 arası	50-60 arası
50	0.500	20-25 arası	30-40 arası
75	0.375	12-20 arası	25-30 arası
100	0.250	10-12 arası	20-25 arası
150	0.200	6-10 arası	15-20 arası
250	0.100	4-6 arası	12-15 arası
500	0.050	3.5-4 arası	5-7 arası
750	0.040	1.5-3 arası	3-4 arası
800	0.030	1-2 arası	3
1200	0.020	1	2

1.10.4. GPR Sinyalinin Sönümlenmesi

Tabakalı bir ortamda elektromanyetik radar sinyali, herhangi bir ara yüzey ile karşılaştığında, radar sinyalinin bir bölümü bu ara yüzeyden yansımakta, geri kalan bölümü ise diğer ortama geçmektedir. Bu durumda derinliğin artmasıyla, diğer ortama geçen radar enerjisinin genliğinde azalmalar olmaktadır. Sinyalin iletiildiği ortamda,

sinyalin dalga boyu ile eşit büyüklükte nesnelere olduğunda, bu nesnelere rastgele enerji saçılmaları meydana gelmektedir (Reynolds, 1997). Ek olarak, elektromanyetik enerji, ısı enerjisine dönüşerek kaybolmaktadır. Radar sinyali ise 90 derecelik açı ile konik biçimde ilerlerken enerjisi birim alanda $1/r^2$ oranında azalmaktadır (Şekil 1.9).



Şekil 1.9. Sinyalin sönümlenmesi (Reynolds, 1997'den düzenlenmiştir).

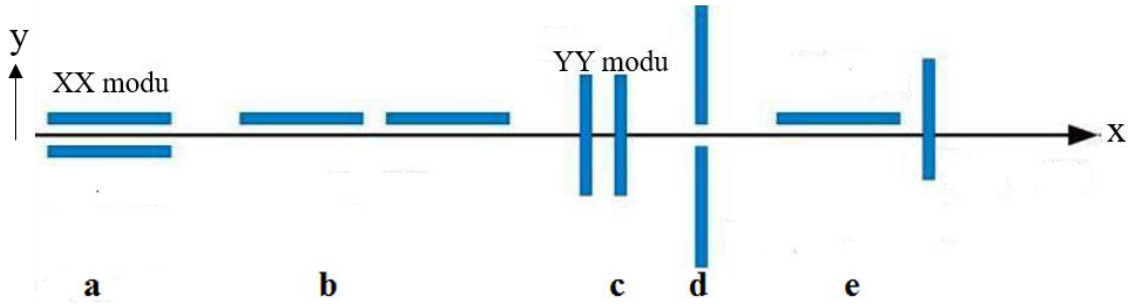
Bir sinyalin enerjisinin kaybolmasının en önemli nedeni sönümlenmedir. Sönümlenme, sinyalin ilerlediği ortamın elektrik özelliklerinin karmaşık bir fonksiyonu olarak adlandırılabilir (Reynolds, 1997). Bu nedenle sönümlenme (α), içinde bulunduğu ortamın manyetik, elektrik ve dielektrik özelliklerine bağlı olarak değişmektedir. Artan derinlikle beraber radar sinyallerinin hızlıca bir şekilde sönümlendiğini ve genliklerinin ise çabuk bir biçimde azaldığını Leckebush (2003) söylemiş ve bu durumu dalgaların küresel yayılımının uzaklığı ile ters orantılı biçimde azalmasıyla ifade etmiştir. Leckebush (2003)'a göre ortamın bağıl dielektrik katsayısı ve iletkenlik değeri biliniyorsa bir x mesafesindeki sönümlenme (α);

$$e^{-\alpha x}, \alpha = 1.69 \frac{\sigma}{\sqrt{\epsilon r}} \quad (26)$$

(26) bağıntısı kullanılarak belirlenebilir.

1.11. Yer Radarı Veri Toplama Yöntemleri

Yer radarı araştırmalarında kullanılan veri toplama yöntemleri; yansıma profili (ortak ofset), çoklu ofset sistemleri (geniş açılı yansıma ve kırılma ölçümleri ve ortak derinlik noktası ölçümleri) ve tomografi ölçümleridir. Yansıma profili ve çoklu ofset ölçü teknikleri ile veri toplanırken, verici ve alıcı antenler birbirine ve ilerleme yönüne göre farklı konumlarda bulunabilirler (Şekil 1.10). Şekil 10a'da antenler birbirine hatta paralel (XX modu), şekil 1.10b'de antenler hatta paralel, şekil 1.10c'de antenler birbirine paralel hatta dik (YY modu), şekil 1.10 d'de antenler hatta dik ve şekil 1.10e'de verici anten hatta paralel, alıcı anten hatta dik olacak şekilde konumlanmıştır. Yapılan çalışmalarda antenin yönelim özelliğinden dolayı YY modunun XX moduna göre daha iyi sonuç verebilmektedir (Seren, 2008).

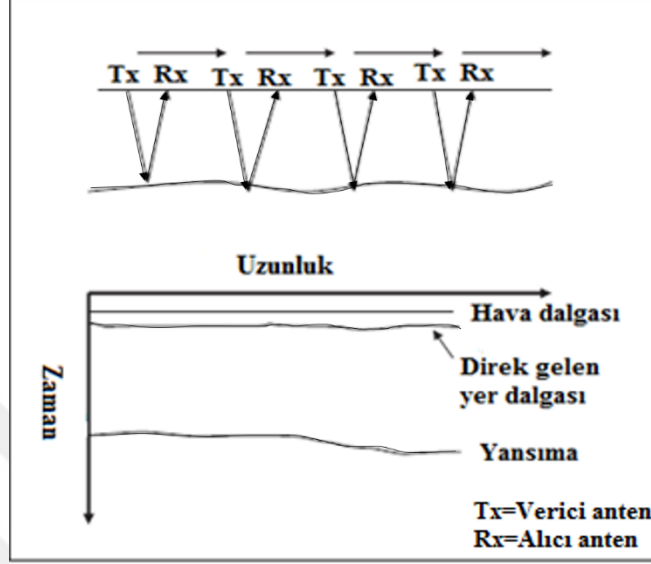


Şekil 1.10. Yer radarı anten dizilimleri ; (a) antenler birbirine ve hatta paralel (XX modu), (b) antenler hatta paralel, (c) antenler birbirine paralel hatta dik (YY modu), (d) antenler hatta dik, (e) verici anten hatta paralel, alıcı anten hatta dik (Reppert vd.,2000).

1.11.1. Yansıma Profili (Ortak Ofset)

Yer radarı araştırmalarında veri toplamak için en çok kullanılan yöntem yansıma profili ölçümüdür. Bu ölçüm tekniğinde antenler zemine sabit bir aralıkla yerleştirmekte ve bir araştırma profili boyunca sabit aralıklarla hareket ettirilmektedirler (Şekil 1.11).

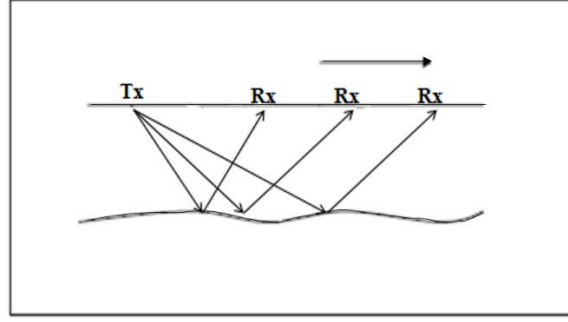
Yansıtma profili ölçümü tüm araştırma profili boyunca zıt elektromanyetik özelliklere sahip olan yer altındaki ara yüzeyleri veya nesnelere tanımlamaktadır (Baker vd., 2007).



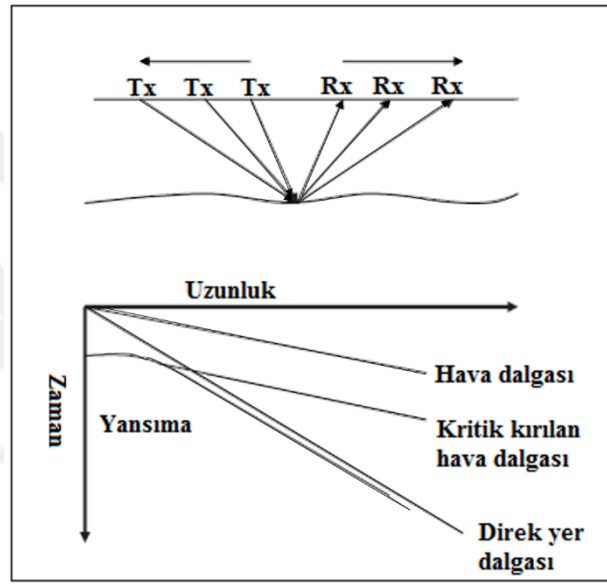
Şekil 1.11. Yansıtma profili ölçümü (Baker vd., 2007).

1.11.2. Çoklu Ofset Sistemleri

Çoklu ofset sistemleri kullanılarak veri toplama işlemi, geniş açılı yansıtma / kırılma ölçümleri (GAYK) ve ortak derinlik noktası ölçümleri (ODN) olmak üzere iki şekilde gerçekleştirilmektedir. GAYK ile veri toplama ölçümlerinde verici anten, başlangıç noktasında sabit kalırken, alıcı anten, ofsetin artırılmasıyla doğrultu boyunca ilerlemektedir (Şekil 1.12), (Baker vd., 2007). ODN ile veri toplama ölçümlerinde ise, verici ve alıcı antenler, bir doğrultu boyunca, ortak bir noktadan eş zamanlı ve eş adım aralıklarında zıt yönlerde hareket ettirilmektedir (Şekil 1.13), (Blindow, 2006). Bu veri toplama teknikleri daha çok EM dalga yayılım hızını belirlemek için kullanılmaktadır.



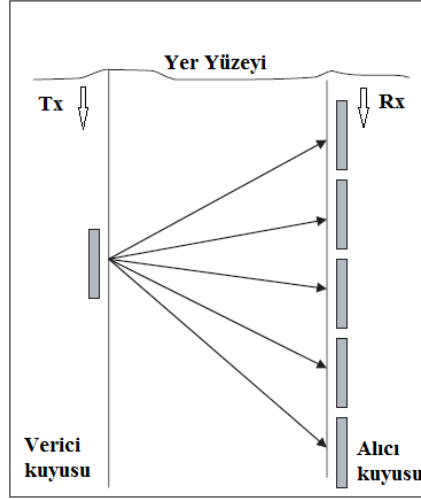
Şekil 1.12. Geniş açılı yansıma profili ölçümü (Baker vd., 2007).



Şekil 1.13. Ortak derinlik noktası ölçümü (Baker vd., 2007).

1.11.3. Tomografi Ölçümleri

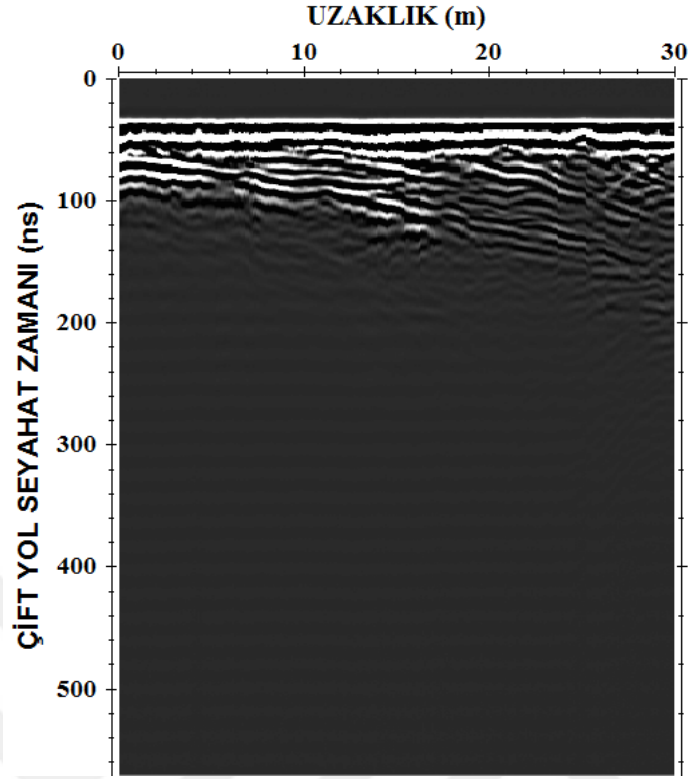
Tomografi ölçümleri, birine alıcı anten diğerine ise verici anten indirilen iki sondaj kuyusunda gerçekleştirilir. Antenler iki sondaj kuyusu arasında kalan yüzeyin farklı bölümlerini görüntülemek için çeşitli artışlarla birbirine göre hareket ettirilerek ölçüm alınmaktadır (Şekil 1.14). Bu yöntem yansımadan çok iletim modunda çalışmaktadır. Çünkü alıcıdan algılanan enerji yansıtılmak yerine yüzey boyunca yayılmaktadır (Baker vd.,2007).



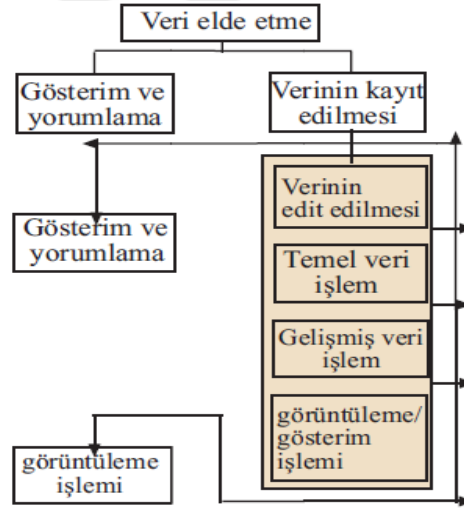
Şekil 1.14. Tomografi ölçümü (Baker vd., 2007).

1.12. Yer Radarı Verilerine Uygulanan Veri İşlem Adımları

GPR yöntemi ile elde edilen ham verilerden, ölçüm yapılan ortamın yapısal durumunu incelemek ve yorumlamak kolay değildir. Bu yüzden, bu verilerin daha iyi yorumlanabilir hale gelmesi için temel ve gelişmiş veri işlem uygulanmasından geçmesi gerekmektedir. Burada temel veri işlem adımları uygulanmıştır. Şekil 1.15’de ölçülen bir ham yer radarı kesiti gösterilmektedir. Bu kesite bakıldığında çok iyi bir yorumlama yapılamamaktadır. Bu olayın sebebi, yer radarı yöntemi gereği oluşan hava ve yer dalgası genliklerinin erken zamanda yüksek genlikli kayıt edilmesi, daha geç zamanlarda ulaşan ortam içerisinden yansıyan sinyallerin genliklerinin zayıf olması ve veri toplarken çeşitli nedenlerle oluşan yatay bantlaşmaların baskın olmasıdır. Bu yüzden elde edilen ham yer radarı verilerine temel ve ileri veri işlem adımlarının uygulanması gerekmektedir. Şekil 1.16’de bir verinin akış şeması gösterilmektedir (Annan, 2003).



Şekil 1.15. Çalışma alanı 2 alanındaki 1.profilin ham radargramı



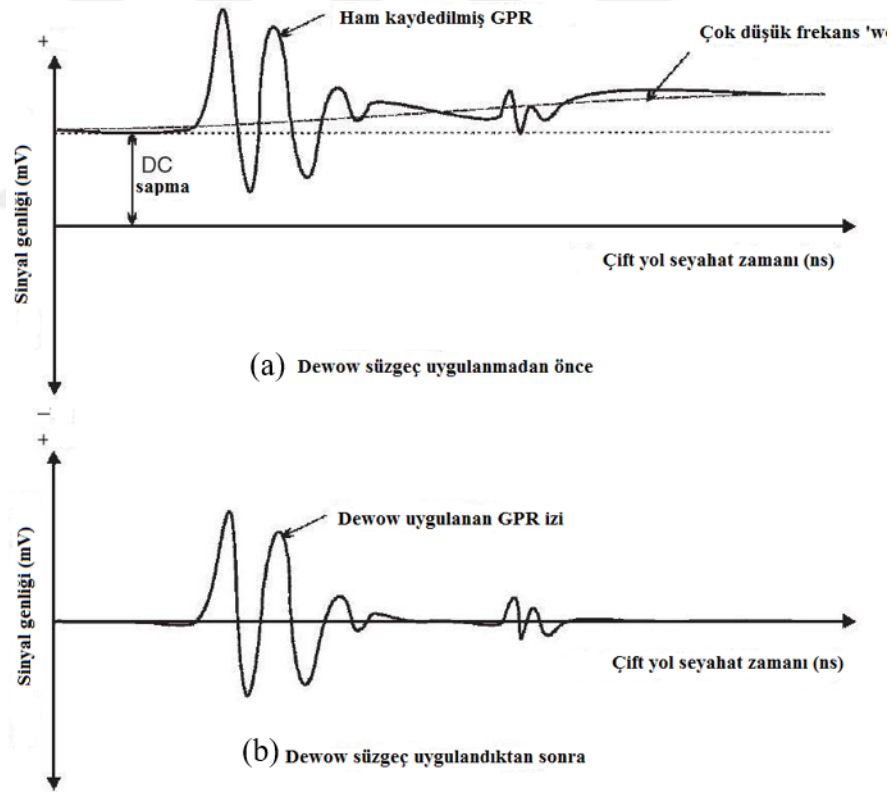
Şekil 1.16. GPR verisi akış şeması (Annan, 2003).

1.12.1. Düşük Frekanslı İzlerin Giderilmesi (Dewow)

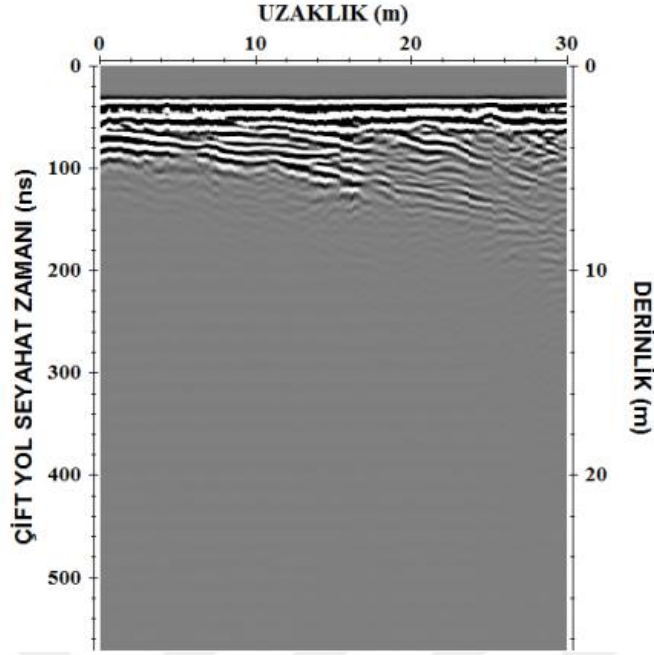
GPR verilerinin benzersiz bir özelliği, alıcının vericiye yakın olması nedeniyle ortaya çıkarmaktadır. Verici yakınındaki alanlar, mesafeyle birlikte hızla azalan elektrostatik ve

indüktif alanlarla ilişkili düşük frekanslı enerjiyi içermektedir. Bu düşük frekanslı enerji, alınan sinyalin temel seviyesinin yukarı veya aşağı doğru kaymasına neden olmaktadır. Bu etki GPR terminolojisinde 'wow' etkisi olarak bilinmektedir. Bu etki, sinyal işleme sırasında alçak geçişli süzgeçler kullanılarak bastırılabilir. Bu işlem dewow olarak adlandırılmaktadır (Jol, 2009). Dewow veriyi ortalama sıfır seviyesine indirdiği için önemli bir adımdır (Şekil 1.17).

Dewow süzgeci, veride var olan düşük frekans bileşenini kaldırmak için kullanılmaktadır. Bu süzgeçleme yönteminde her bir izin her bir değeri için hareketli ortalama değer hesaplanmakta ve hesaplanan hareketli ortalama değer merkez noktasından çıkarılmaktadır. Hareketli ortalama değer hesaplanması için zaman aralığı, süzgeç parametresi olarak girilmelidir (Jol, 2009). Dewow işleminden geçirilen bir verinin görünümü şekil 1.18 de görülmektedir.



Şekil 1.17. Ham GPR izindeki dewow süzgeç düzeltmesi; (a) dewow süzgeç uygulanmadan önce, (b) dewow süzgeç uygulandıktan sonra (Bostanidun, 2013).



Şekil 1.18. Çalışma alanı 2 alanındaki 1.profilin dewow veri işlem adımı uygulandıktan sonraki radargramı

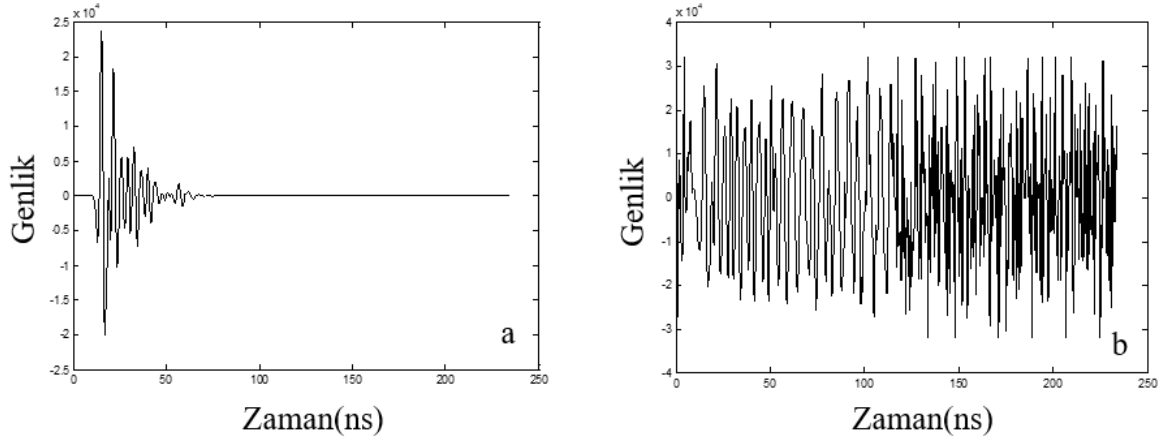
1.12.2. Kazanç (Gain)

Radar sinyalleri yer içerisinde ilerlemeleri esnasında hızlıca zayıflamaktadır. Daha derinlerdeki sinyaller, sığ derinlikteki sinyallere kıyasla daha küçüktür (Jol, 2009). Bu yüzden derinlerdeki sinyal genliklerini güçlendirmek ve bütün sinyal genliklerini eşit duruma getirmek amacıyla veriye kazanç işlemi uygulanmaktadır (Mertzanides vd., 2014). Böylece ilgili genlik bilgileri, daha derinlerdeki sinyal kayıplarını telafi etmek için kazanç işlevi uygulanarak dengelenmektedir (Behar vd., 2008).

Kazanç işlevinin uygulanmasıyla veri yapısı bir şekilde (örneğin, bağıl genlikler ve/veya faz ilişkileri değişir) değişmektedir (Jol, 2009, Dojack, 2012). Bu nedenle, kazanç fonksiyonlarının etkilerinin önemi, kazanç fonksiyonu uygulanmasından önce anlaşılmalı ve veri yorumlanırken dikkat edilmelidir (Annan, 1999).

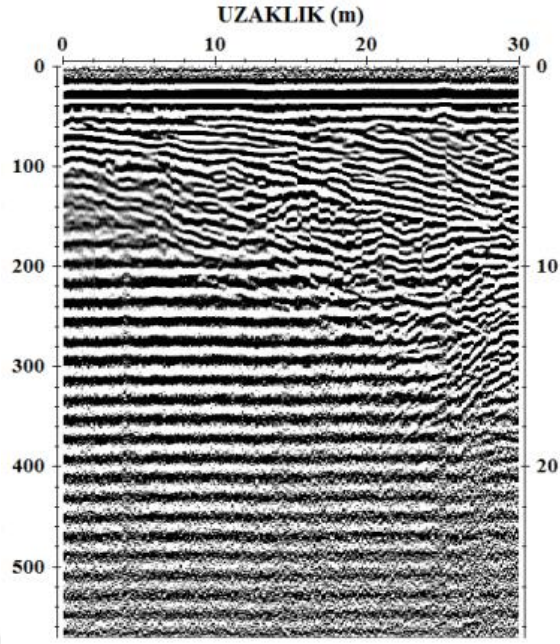
Şekil (1.19) de, artan seyahat süresiyle azalan sinyal genliğinin kazanç işlemi uygulandıktan sonraki kazanımı görülmektedir.

İletilen sinyalden sonra zamanla azalan genliklere kazanç işlemi uygulanmalıdır. Bilindiği üzere, kazanç fonksiyonunun artımı, zamana karşı sinyal genliğindeki azalımı geri kazanmak için uygulayıcı tarafından ayarlanmaktadır (Annan, 2001).



Şekil 1.19. (a) Genlik kazancı uygulanmayan GPR izi, (b) genlik kazancı uygulanan GPR izi

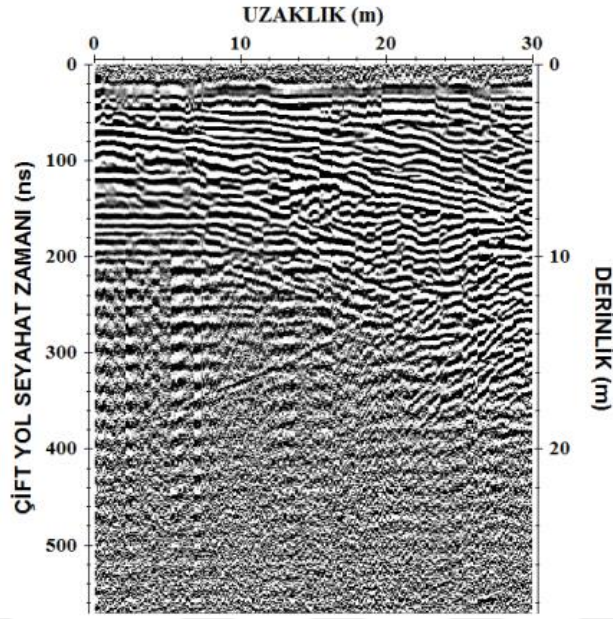
Kazanç fonksiyonunda sabit kazanç, üssel kazanç (SEC) ve otomatik kazanç kontrolü (AGC) gibi çeşitli kazanımlar kullanılmaktadır. Tüm kazanç fonksiyonları, benzer bir şekilde, zaman ortamında (zaman penceresi olarak adlandırılır) izin ardışık bölgeleri için bazı çarpım faktörleri uygulanarak oluşturulmaktadır. Tipik pencere uzunlukları (ns cinsinden), işlem türü (doğrusal, üssel vb.) ve izin verilen maksimum genlik kazancı kolaylıkla değiştirilebilir. Genellikle hem gürültü hem de uyumlu sinyaller rasgele bir yolla bir araya getirilerek güçlendirilir (Jol, 2009). Kazanç esnasında kazanç fonksiyonu uygulamanın seçimi veri işleme bağlıdır. Kazanç, radar operatörleri arasında en yaygın olan, yerinde yorumlama için verilerin görünürlüğünü artırmak üzere tasarlanabilir. Genlik düzeltilmesi aşamasından geçirilen veri şekil 1.20 görülmektedir.



Şekil 1.20. Çalışma alanı 2 alanındaki 1.profilin gain veri işlem adımı uygulandıktan sonraki radargramı

1.12.3. Background Removal

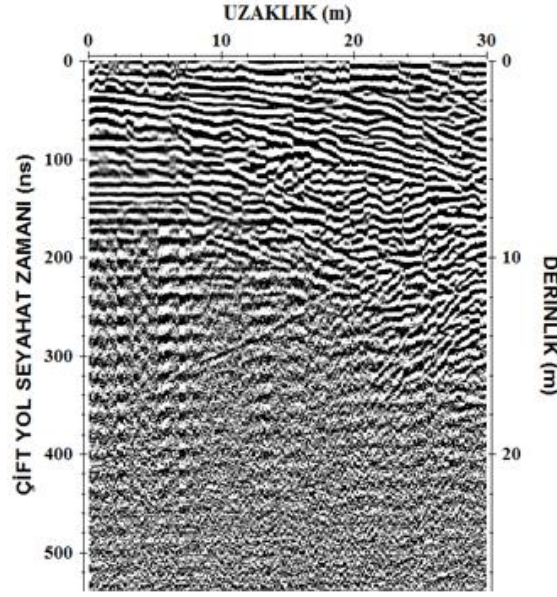
Ringin GPR verileri içinde bulunan uyumlu gürültülerin yaygın bir çeşididir. Uyumlu gürültünün bu çeşidi güçlü olduğunda ve uygun bir şekilde veriden atılmadığında daha derinlerdeki yapıları maskeleyebilir. Bu gürültü olaylarından yansıma olaylarını ayırt etmek güçtür. Ringin olayları veride neredeyse yatay ve periyodik olarak görülmektedirler. Yansıma olayları; daha rastgele olduğunda, ringin etkisinin tüm GPR kesiti boyunca hemen hemen uyumlu olduğu varsayılarak, sadece ringin gürültüsünü içeren bir iz için tüm kesitin ortalama bir izi dikkate alınmaktadır. Yapılan varsayımda, bu ortalama izin basit bir şekilde çıkarılmasıyla radargramda ringin'in yatay görünümü giderilmiştir (Kim vd., 2007). Background removal aşamasından geçirilen veri Şekil 1.21'de görülmektedir.



Şekil 1.21. Çalışma alanı 2 alanındaki 1.profilin background removal veri işlem adımı uygulandıktan sonraki radargramı

1.12.4. Sıfır Kayma Düzeltmesi

Sıfır zamanı ölçüm alanındaki alet tarafından tam olarak belirlenememiş olabilir. Bu nedenle profil boyunca doğru derinliklerden emin olmak için sıfır zamanı tekrar ayarlanmalıdır. Ayrıca, cihaz elektroniği ile hava sıcaklığı veya hasar görmüş kablolar arasındaki sıcaklık farkından dolayı profil boyunca sıfır süresinde kayma meydana gelebilir. Kayma, yansımaların hizalanamamasına neden olmaktadır. Bu yüzden profil boyunca tüm izler için sıfır süresinin yeniden konumlandırılması gerekmektedir (Kirsch, 2006). Genellikle sıfır zamanı konumlandırma, hava dalgasının ilk kırılma noktası veya izin ilk negatif piki gibi bazı özel ölçütler kullanılarak gerçekleştirilmektedir (Jol, 2009). Sıfır kayma düzeltmesi yapılan veri şekil 1.22 görülmektedir.



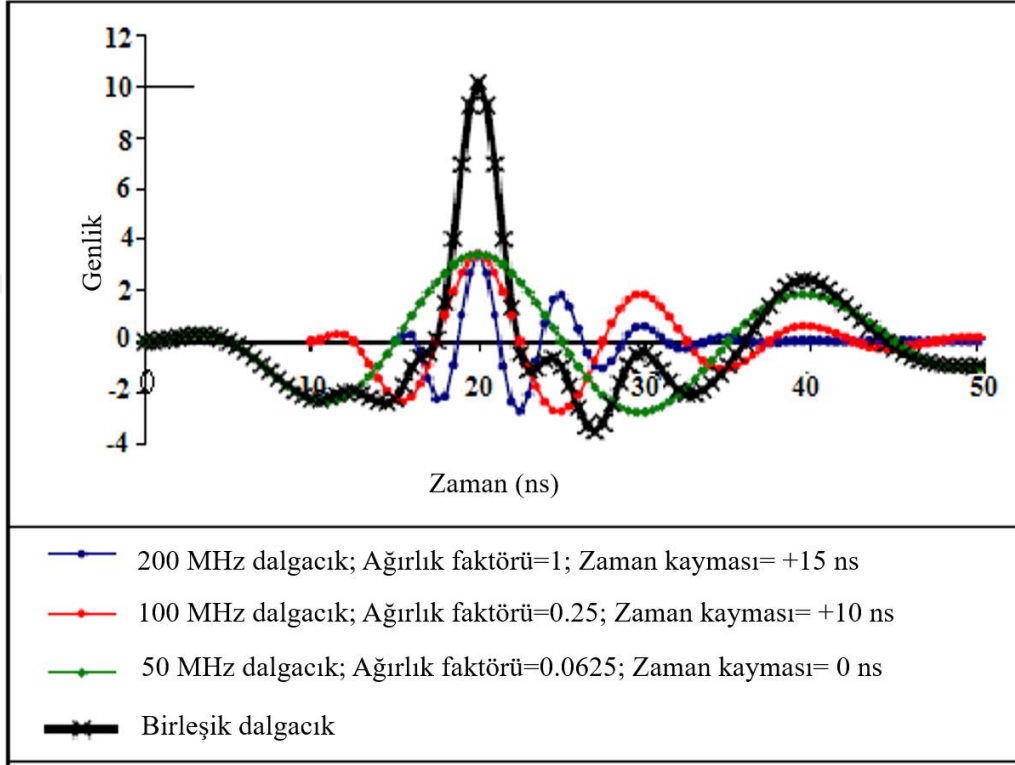
Şekil 1.22. Çalışma alanı 2 alanındaki 1.profilin, sıfır kayma düzeltmesi veri işlem adımı uygulandıktan sonraki radargramı

1.13. Aynı Profilde Farklı Merkez Frekanslı Antenlerle Toplanan Radargramlardan Birleşik Radargram Elde Edilmesi

Birçok frekanslı antenle toplanan radargramların, tek bir radargram içerisinde toplanmasıyla birleşik bir radargram oluşturulabilir. Aynı hatta yüksek ve düşük frekanslı antenlerle toplanan verilerin birleştirilmesi, kısmen çözünürlük aralığındaki farklılıkların uyumlaştırılması işlemi gerektirmektedir. Daha derinliklerdeki radargramların birleştirilmesi yüksek uzaysal (yanal) çözünürlük sağlamamasına rağmen, sığ ve orta derinlikli yapılar eş zamanlı olarak özel yapıları görüntüleyebilen en yüksek anten frekansı tarafından belirlenen bir çözünürlükle görüntülenebilir.

Radargramları birleştirerek yeraltının oldukça ayrıntılı bir görünümünün hedeflenmesine rağmen, çok az araştırmacı bu konuda çalışmıştır (Dougherty vd., 1994; Thompson, 2000; Noble, 2001; Booth vd., 2009). Dougherty (1994), yüksek frekanslı verilerin birleşik radargramdaki etkinliğini ortaya koyamamıştır. Yüksek frekanslı radar sinyallerinin göreceli genlikleri, benzer derinliklerdeki düşük frekanslı radar sinyallerinden daha küçüktür. Bu sinyalleri herhangi bir genlik ölçeklendirme yapılmaksızın toplamak; ortamsal çözünürlükte az bir iyileşme sağlamıştır. Thompson (2000), bu konu üzerine yaptığı çalışmasında, birleşik radargramda yapılan az bir gelişmeye ilişkin olarak artan

işlem süresini irdlemiştir. Noble (2001)'in yapmış olduğu daha teorik bir yaklaşım: yapıcı girişimi en üst düzeye çıkarmak için dalgacık pulslarının tepe noktalarının zaman kaydırmalarını ve genlik ölçeklemesinin, büyük ölçüde geliştirilmiş bir birleşik radargram oluşturacağını tespit etmiştir (Şekil 1.23) (Bancroft, 2010).



Şekil 1.23. Sentetik dalgacıklara genlik ölçeklendirme için zaman kaydırması uygulandı. Sonuçta delta fonksiyonuna çok benzer bir birleşik dalga oluştu. Delta fonksiyonu dekonvolüsyon için ideal bir dalgacıktır (Bancroft, 2010).

Birleşik bir radargram oluşturmak için yapılacak temel adımlar sırası ile aşağıdaki gibidir.

- 1) Temel veri işlem adımları (dewow, gain, background removal, move time)
- 2) Spektral uyum (enterpolasyon yoluyla her bir tek frekanslı veri kümesinin ortak bir mekânsal diziler kümesiyle temsil edilmesi)
- 3) Genlik ölçeklenmesi
- 4) Toplama

1.13.1. Spektral Uyum

Standart işlem tekniklerinin GPR verilerine uygulaması kolay ve hızlı olduğu için ReflexW programı tercih edilmektedir. Daha ileri ve isteğe uyarlanmış işlem teknikleri uygulamak MATLAB gibi programları kullanmayı gerektirir. MATLAB, GPR verilerini kullanıcıların matrislere, vektörlere veya zaman serilerine dönüştürmesini sağlar. Bu formlardaki veriler matris cebiri ve sayısal sinyal işlemlerinin çeşitli teknikleri ile ayarlanabilmektedir. Radargramları bir araya getirerek toplamak, GPR anteni tarafından alınan enerjinin genliğini temsil eden bazı matris formlarını toplamayı içermektedir. Toplama için ön şart, bu matrislerin aynı boyutta olması ve mekânsal olarak birbiri ile çakışması gerekliliğidir. 2B GPR görüntüleri x gibi tek bir mekânsal boyuta sahip olmasına rağmen, zaman(t) da mekânsal bir boyut olarak düşünülebilir. Çünkü zaman, yer altı hızı kullanılarak derinliğe dönüştürülmektedir. Spektral uyumu elde etmek için aynı hat üzerinden farklı merkezi frekanslı antenler kullanılarak elde edilen verilerin boylarının aynı uzunlukta ve eşit sayıda iz içermesine dikkat edilmelidir. Ayrıca yüksek frekanslı veri kümesinin örnekleme aralığı için diğer veri setleri yeniden enterpole edilmesi gerekmektedir.

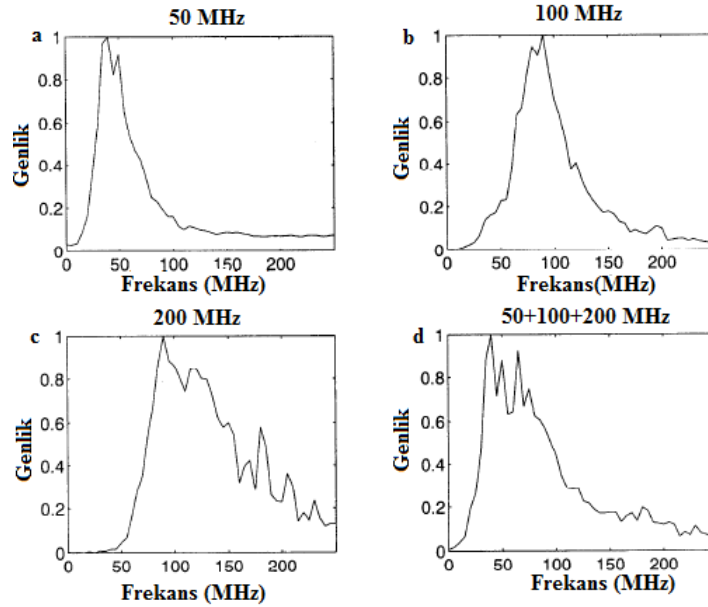
1.13.2. Ara Değer Bulma (Enterpolasyon)

Her antene ait veri kümeleri aynı yerde olduğunda bile, 2B profiller arasındaki farklı hat aralığı, her bir anten için farklı örnekleme ve farklı iz aralıkları nedeniyle, matris boyutları farklı olmaktadır. Tüm veri grubu enterpole edilerek bu durumun üstesinden gelinebilir. Böylece her bir veri kümesi, ortak uzunluk ve zaman dizileri kümesi ile temsil edilebilmektedir. Düşük örnekleme oranı kullanan diğer veri setleri, en yüksek örnekleme oranı kullanan veri setinin zaman artışına eşitlenmesi için yeniden enterpolasyona tabi tutulmaktadır. Yüksek frekanslı anten ölçümü çok küçük hat aralığı ve iz aralığı gerektirdiği için, ortak uzaklık veri setini oluştururken kullanılan en yüksek MHz' li veri kümesinin uzaklık dizisi seçilmektedir. Farklı antenlerle toplanan zaman dizileri; çeşitli örnekleme aralıklarına ve farklı nüfus derinliklerine sahiptir. Her bir zaman dizisinin farklı maksimum nüfus derinliği değerleri, her bir antenin farklı penetrasyon özelliğinden dolayı oluşmaktadır. Kazanç parametreleri, nüfus derinliğini aşan kayıtları durdurmak için ayarlanmaktadır. Ortak zaman dizisi, en yüksek frekanslı veri seti zaman örnekleme aralığı

ve en düşük frekanslı veri setinin kaydettiği maksimum zaman değeri kullanılarak oluşturulmaktadır. Ortak zaman ve uzaklık dizileri oluşturulduğunda, genlik dizileri ortak dizilere uyacak şekilde yeniden enterpole edilmektedir.

1.13.3. Genlik Ölçeklenmesi

Herhangi bir genlik ölçeklenmesi yapılmadan, daha düşük frekanslı veri ile yüksek frekanslı veri toplandığında, elde edilen veride düşük frekanslı verinin mevcut baskınlığı Dougherty (1994) tarafından tanımlanmıştır. Ancak yüksek frekanslı verinin birleşik radargramdaki katkısını tam olarak ortaya koyamamıştır (Şekil 1.24). Buna yönelik olarak; daha başarılı birleştirme işlemi yapmak için, tek tek radargramların içindeki genliklerin toplama yapılmadan önce ağırlıklandırılması düşünülmüştür. Ağırlık faktörleri, birleştirme yapılmadan önce, tek tek radargramların spektral genlikleri göz önüne alınarak belirlenmektedir (Booth vd., 2009). Bu faktörler her bir radargramın iz ortalamalı genlik spektrumundaki maksimum genlikleri eşitlemek için gerekli olan çarpanlardır. Böylece tek tek genlik spektrumlarının maksimum genlikleri eşitlenmiş olur.



Şekil 1.24. a) 50 MHz'in genlik spektrumu, b)100 MHz in genlik spektrumu, c) 200 MHz in genlik spektrumu, d) 50, 100 ve 200 MHz birleştirilmesiyle elde edilen genlik spektrumu (Dougherty vd., 1994).

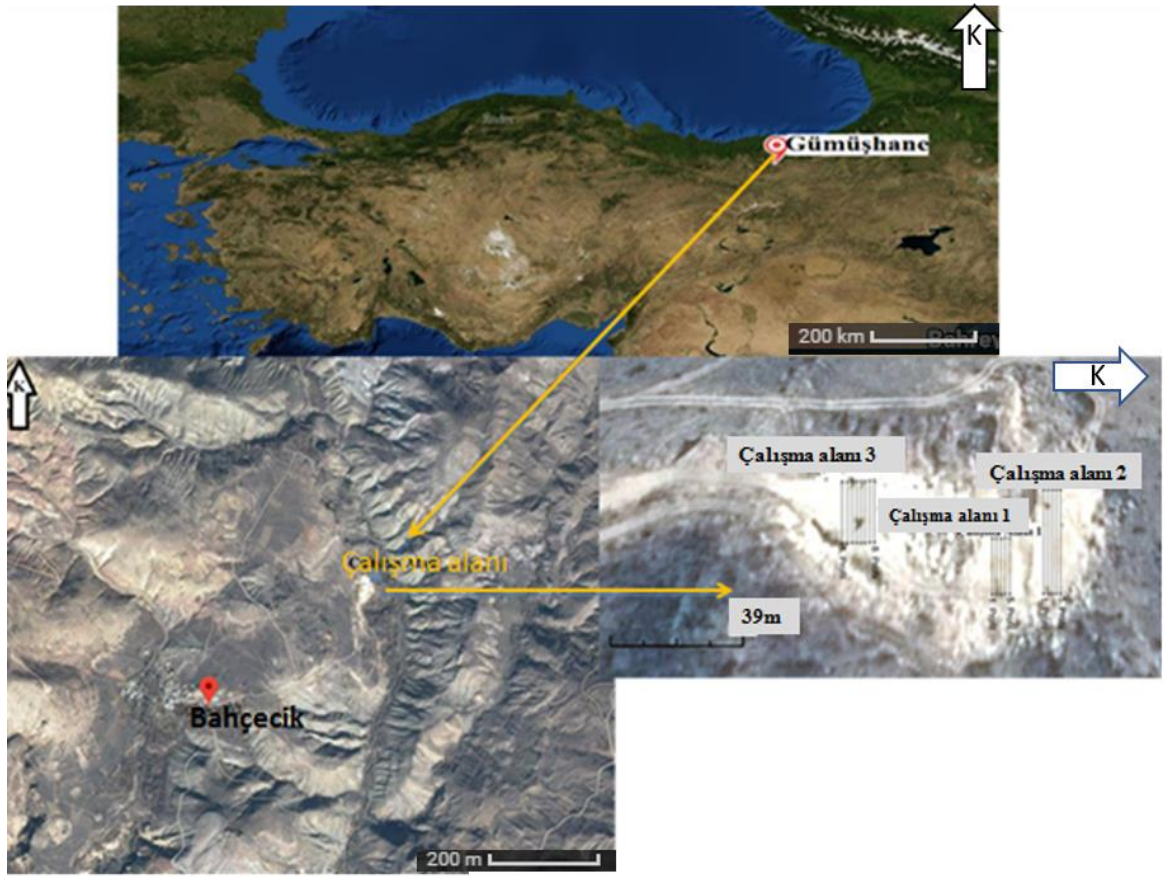
1.13.4. Toplama

Aynı hat üzerinde farklı frekanslı dalgacıkları birleştirmenin başlıca amacı, birim delta fonksiyonuna yaklaşan bileşik bir GPR dalgacı üretmektir. Bu dalgacık zaman ortamında en düşük yan salınım enerjili, kısa süreli ve yüksek genlikli ana pik değerine sahip, frekans ortamında ise, bu dalgacığın genlik spektrumu geniş ve düz olan bir bant genişliğine sahip olmalıdır. Bu çalışmada amaca yönelik olarak iki farklı birleştirme yaklaşımı irdelenmiştir. Bunlardan ilki; Dougherty vd. (1994) tarafından uygulanan basit toplama yöntemidir. Bu yöntemde, oluşturulan dalgacıklara herhangi bir işlem uygulanmadan direk toplanma işlemi gerçekleştirilmektedir. Diğer yaklaşım ise, zaman kaydırmalı toplama işlemi, dalgacıkların en büyük genliklerinin olduğu zamanlar belirlenip tüm dalgacıkların en büyük genlikleri, dalgacıklar içerisindeki en büyük genliğe sahip olan dalgacığın zamanına kaydırılmaktadır. Ardından dalgacıkların genlik spektrumundaki genlikler dengelenerek toplama işlemi gerçekleştirilmektedir (Booth vd., 2009).

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Coğrafi Konum

Çalışma alanı; Doğu Karadeniz Bölgesi, Gümüşhane il sınırları içerisinde yer almakta olup, Gümüşhane Bayburt devlet karayolunun 10. km'sinde bulunan Tekkeköy Beldesi'nin yaklaşık 5 km doğusunda bulunmakta olan Bahçecik travertenidir (Şekil 2.1).



Şekil 2.1. Çalışma alanı yer bulduru haritası

2.2. Bahçecik Traverteninin Genel Jeolojisi

Çalışma alanı ve çevresinde Erken-Orta Jura yaşlı Berdiga Formasyonu, Geç Kretece yaşlı Kermutdere Formasyonu, Eosen yaşlı Kabaköy Formasyonu, Kuvaterner yaşlı travertenler ve alüvyonlar yer almaktadır (Şekil 2.2).

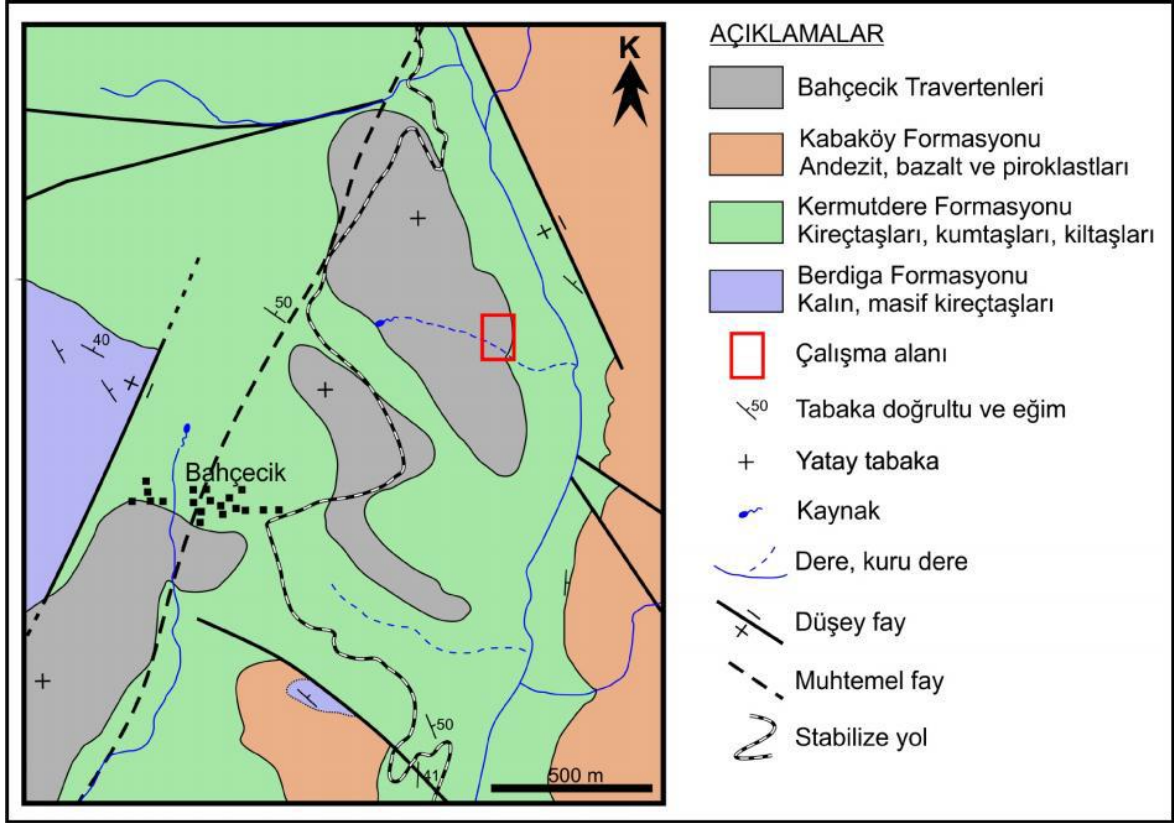
Pelin (1977) tarafından tanımlanan Erken-Orta Jura yaşlı Berdiga Formasyonu Akgüney Tepesi çevresinde geniş yayılımlar göstermekte ve dolomitik kireçtaşı ve kristalize kireçtaşlarından oluşmaktadır. Birim, yanal ve düşey yönde değişik litofasiyeler sunan platform karbonatlarından oluşmaktadır. Genel olarak gri, grimsi beyaz renklerde olup, yoğun çatlaklı, masif olması (yer yer tabakalı) ve sarp kayalıklar şeklinde gözlenmesi ile çevre birimlerden kolaylıkla ayırt edilebilmektedir.

Tokel (1972) tarafından tanımlanan Kretase yaşlı Kermutdere Formasyonu, Erken-Orta Jura yaşlı Berdiga Formasyonu üzerinde uyumlu olarak bulunmaktadır. Çalışma alanında özellikle Bahçecik ve Tekkeköy çevresinde geniş yayılımlar gösteren birimin en alt kesiminde kumtaşları ve kumlu kireç taşları bulunmaktadır. Çoğunlukla kırılğan bir yapı gösteren ve koyu gri, gri renkli kumtaşları ve kireçtaşları üst kesimlere doğru daha açık renkli silttaşları ve killi kireçtaşlarına geçmektedir. Açık gri, bej renkli siltli kireçtaşları ile silttaşları ardışıklı bulunmaktadır. Bu kayaçlar, formasyonun taban kesiminde bulunan kayaçlara nazaran daha kırılğan özelliktedir. Bunlar üzerine kırmızı renkli kireçtaşları ara seviyeler halinde gelmektedir.

Tokel (1972) tarafından tanımlanan Eosen yaşlı Kabaköy Formasyonu, Geç Kretase yaşlı Kermutdere Formasyonu üzerine uyumsuz olarak gelmektedir. Yakupkıran Tepesi'nin güney kesimlerinde geniş yayılımlar gösteren birim bazalt, andezit ve piroklastitlerde oluşmaktadır. Birim içindeki tüfler volkanik breşlerle aralanmalı olarak bulunmaktadır. Formasyon volkanotortul birimlerden sonra kuzeye doğru andezit ve tüfit ara katkılı piroklastitlere geçiş göstermektedir.

İnceleme alanında birçok alanda gerek oluşumu sona ermiş gerekse de güncel oluşumu devam eden travertenler bulunmaktadır. Bahçecik çevresinde geniş yayılımlar sunan beyazısı gri renkli, nispeten az boşluklu ve sert bir yapı gösteren travertenlerin kalınlıkları 8-10 metre arasındadır (Arslan vd., 2005).

Bahçecik travertenleri yağışla yer altına süzülen suların karbonik asitçe zenginleşmesi, Berdiga kireçtaşlarını çözmesi ve bu çözeltilerin faylara bağlı olarak yüzeye çıkmasıyla birlikte bünyelerindeki karbondioksit gazını serbest bırakarak ortama CaCO₃ çökeltmesi sonucunda meydana gelmişlerdir (Keke, 2007).



Şekil 2.2. Bahçecik ve yakın yöresinin jeoloji haritası (Şaffak, 2018).

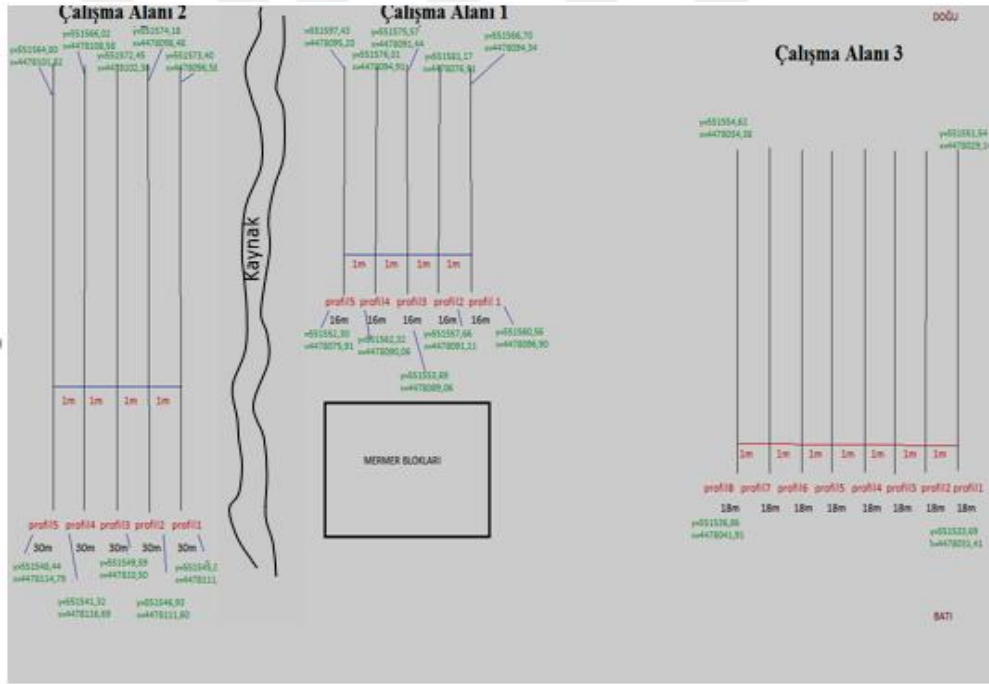
2.3. Yer Radarı Verilerinin Toplanması

Yapılan bu çalışmada, Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeofizik Mühendisliği Bölümüne ait olan GPR ekipmanlardan MALA GeoscienceProex Kontrol birimi, 100 MHz merkez frekanslı korumasız ve 250 MHz merkez frekanslı korumalı antenleri kullanılmıştır.

Traverten ocağı içerisinde, üç farklı çalışma alanı (çalışma alanı 1, çalışma alanı 2, çalışma alanı 3) belirlenmiştir. Farklı anten frekansları kullanılarak toplam 18 profilde 54 ölçüm alınmıştır.



Şekil 2.3. Çalışma alanlarının genel görünümü



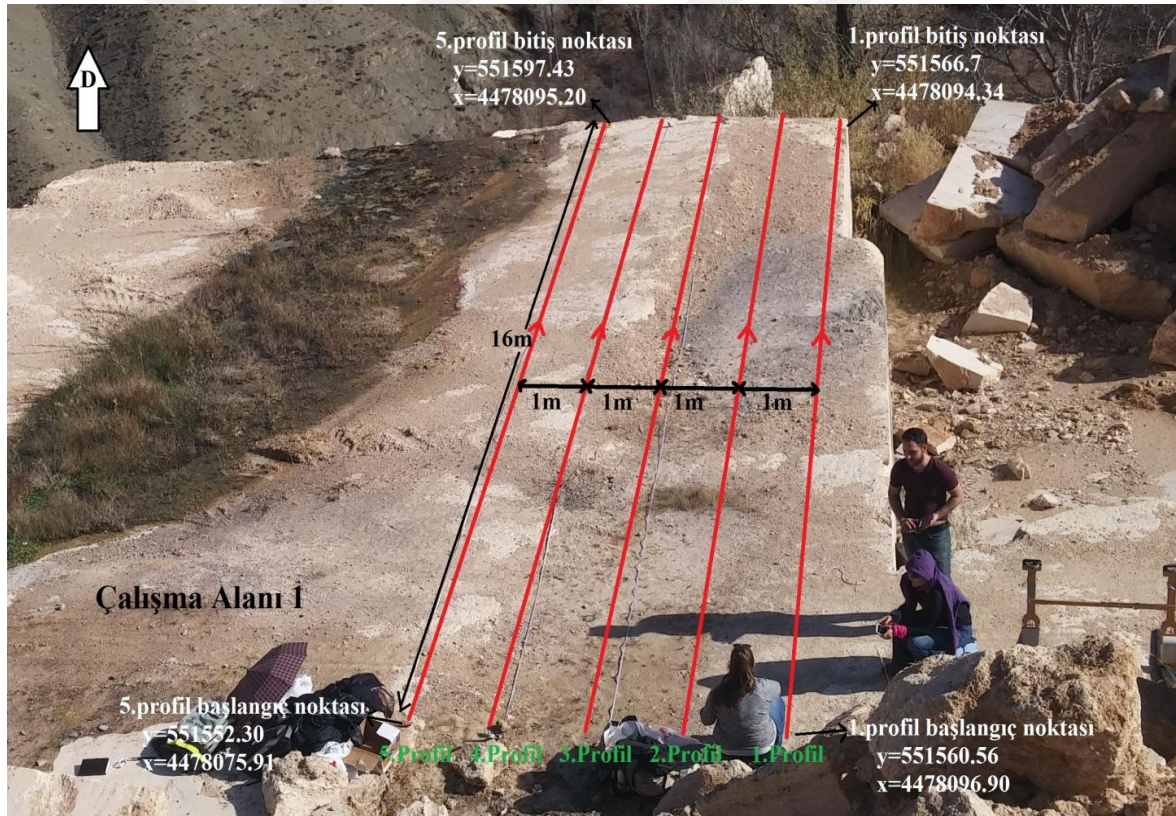
Şekil 2.4. Çalışma alanı 1, 2 ve 3' ün ölçü krokisi

Bu profillerin koordinatlarının başlangıç ve bitiş noktaları GPS ile okunmuştur. Belirlenen tüm profillerde ölçüm aralığı 0.049781 m alınarak 100 MHz korumasız antenle, daha sonrada aynı profillerde ölçüm aralığı 0.007394 m alınarak 250 MHz korumalı anten kullanılarak ölçümler toplanmıştır. Veri toplanırken; elektromanyetik dalganın yönelimine bağlı olarak farklı yayılış özelliğini de kullanmak amacı ile B-D yönündeki profillerde

antenler birbirine paralel ölçü doğrultusuna paralel (XX modü) şeklinde, D-B yönündeki profillerde ise antenler birbirine paralel, ölçü doğrultusuna dik (YY modü) şeklinde ölçümler alınmıştır.

2.3.1. Çalışma Alanı 1

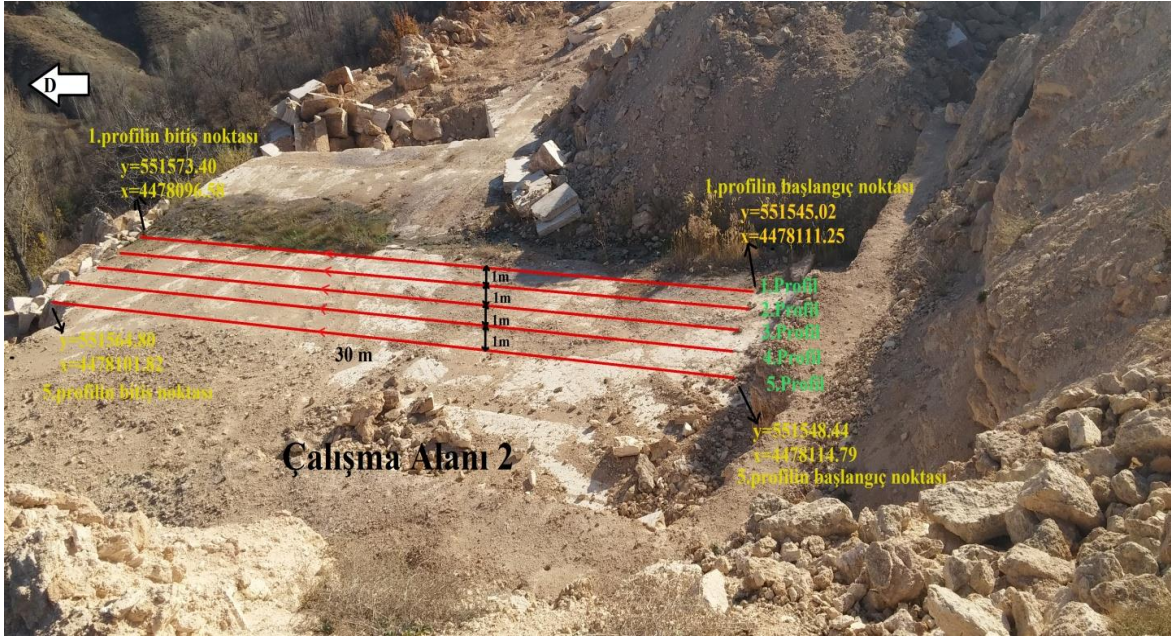
Çalışma alanı 1 bölgesinde, 1m ara ile birbirine paralel 5 profil belirlenmiştir. İlk olarak belirlenen profillerde D-B yönünde 100 MHz antenle, YY modunda 5 veri, ardından B-D yönünde 100 MHz antenle XX modunda 5 veri ve son olarak da B-D yönünde 250 MHz anten kullanılarak 5 veri toplanmıştır. Profillerin boyu yaklaşık 16 m dir (Şekil 2.5).



Şekil 2.5. Çalışma alanı 1 ve GPR ölçü profilleri

2.3.2. Çalışma Alanı 2

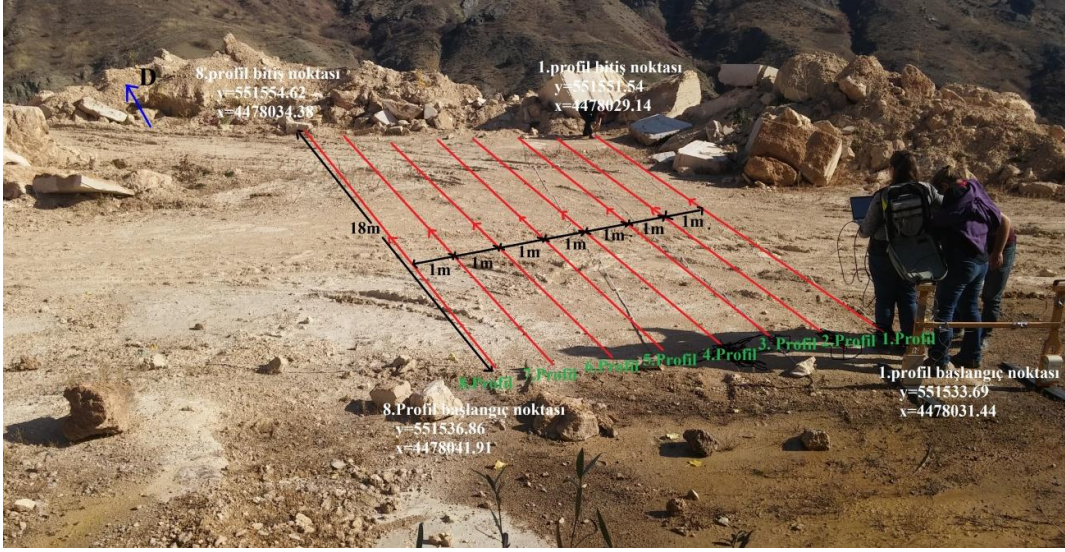
Çalışma alanı 2 bölgesinde, 1m ara ile birbirine paralel 5 profil belirlenmiştir. İlk olarak belirlenen profillerde D-B yönünde 100 MHz antenle YY modunda 5 veri, ardından B-D yönünde 100 MHz antenle XX modunda 5 veri ve son olarak da B-D yönünde 250 MHz anten kullanılarak 5 veri toplanmıştır. Profillerin boyu yaklaşık 30 m dir (Şekil 2.6).



Şekil 2.6. Çalışma alanı 2 ve GPR ölçü profiller

2.3.3. Çalışma Alanı 3

Çalışma alanı 3 bölgesinde, 1m ara ile birbirine paralel 5 profil belirlenmiştir. İlk olarak belirlenen profillerde D-B yönünde 100 MHz antenle YY modunda 8 veri, ardından B-D yönünde 100 MHz antenle XX modunda 8 veri ve son olarak da B-D yönünde 250 MHz anten kullanılarak 8 veri toplanmıştır. Profillerin boyu yaklaşık 18m' dir (Şekil 2.7).



Şekil 2.7. Çalışma alanı 3 ve GPR ölçü profilleri

2.4. Verilerin Değerlendirilmesi

Bu tez çalışmasında toplanan ham yer radarı verilerinden araştırılan ortamın yapısal durumu hakkında doğrudan yorum yapabilmek zor olduğundan, verilere bir dizi temel veri işlem adımları (dewow, energy decay, ve background removal) uygulanmıştır. Elde edilen kesitler zaman-uzaklık ortamında görüntülenmektedir. Zaman-derinlik dönüşümü için, incelenen ortam traverten ocağı olduğu göz önüne alınarak elektromanyetik dalga hızı 0.12 m/ns kullanılmıştır. İşlenen verilerin yorumu bulgular ve tartışma bölümünde verilmektedir. Ayrıca yer radarı yöntemiyle bir araştırma yapılırken, farklı derinliklerden ve farklı çözünürlükte veri toplamak için, aynı profil üzerinde bir çok antenle ölçümler alınmaktadır. Ölçü profil sayısı fazla olan çalışmalarda verilerin değerlendirilmesi ve yorumu aşaması, uygulayıcıyı zaman zaman karmaşaya düşürmekte ve zorlamaktadır. Aynı profilde farklı merkez frekanslı antenlerle toplanan verilerin birleştirilmesi sürecinde izlenen işlem adımları, öncelikle yapay veri test edilmiştir. Bunun için farklı frekanslı izlerin birleştirilmesi için 4 farklı yapay veri test çalışması yapılmıştır.

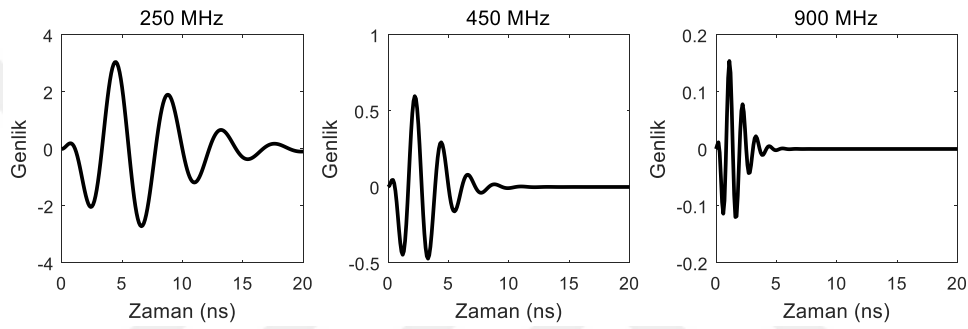
• Test 1

Bu test çalışması için GPR kaynağını tanımlayan Berlage dalgacığı (Aldridge,1990) kullanılmıştır. Bu dalgacık (27) eşitliği ile temsil edilmektedir.

$$W(t)=At^n e^{-\alpha t} \cos (2\pi f_0 t + \theta_0) H (t) \quad (27)$$

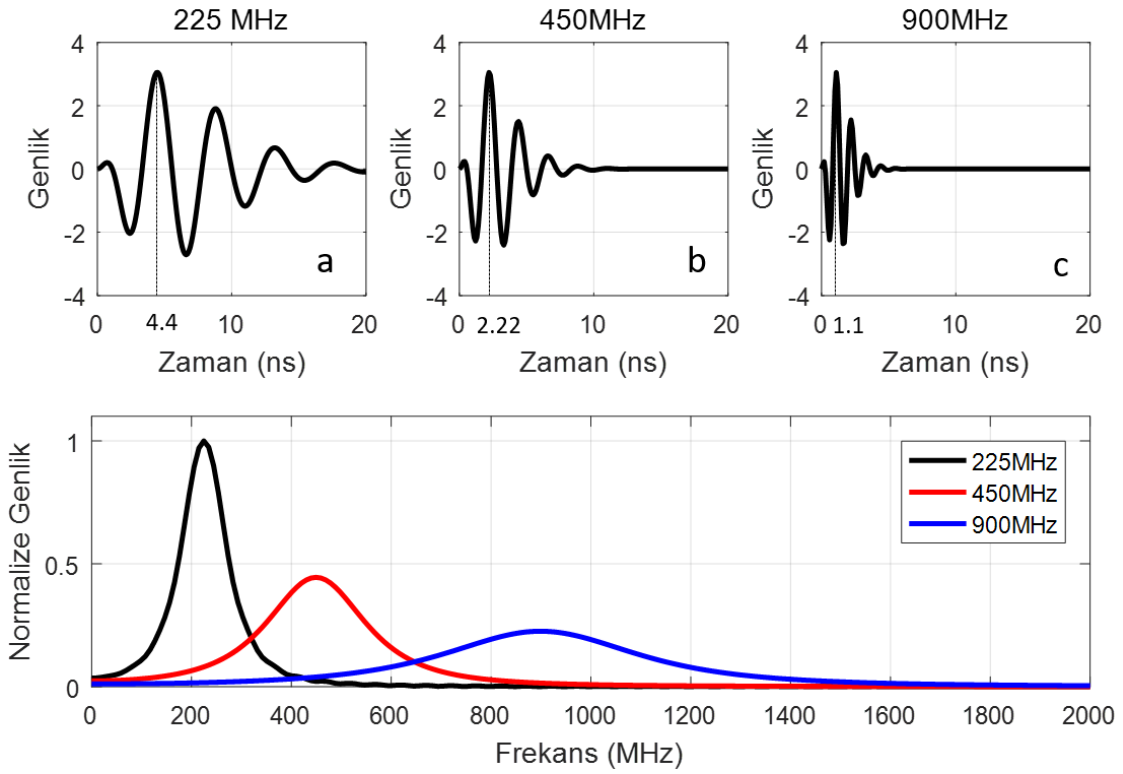
Denklemdaki $H(t)$ Heaviside basamak fonksiyonunu ($t \leq 0$ ise $H(t)=0$, $t > 0$ ise $H(t)=1$), f_0 ve θ_0 sırasıyla baskın frekansı ve başlangıç faz açısını, n genliği ayarlayan bir sabit, A genlik çarpanı ve α üssel azalma faktörünü ifade etmektedir.

Merkez anten frekansları 225, 450 ve 900 MHz olan üç GPR dalgacığını modellemek için (27) eşitliği kullanılmıştır. Bu üç dalgacık içinde örnekleme zamanı $dt=0.01$ ns, $n=2$, başlangıç faz açısı $Q=0$ ve dalgacığın genlik çarpanı $A=1$ seçilerek α değerleri ise genlik spektrumundaki ana pikin genişliği ile ilişkili olarak 225, 450 ve 900 MHz frekansları için sırasıyla 0.42, 0.95 ve 1.87 olarak seçilmiştir.



Şekil 2.8. Kaynak dalgacıklar (a) 225 MHz, (b) 450 ve (c) 900 MHz

Farklı frekanslı dalgacıklar (Şekil 2.8 a-c) hesaplandıktan sonra, bu dalgacıkların en yüksek genliklerini aynı ölçekte görüntülemek için, en yüksek genliğe sahip olan dalgacığın (225 MHz) değeri baz alınarak, diğer dalgacıkların (450 ve 250 MHz) en yüksek genlikleri bu değere göre dengelenmiştir (Şekil 2.9 a-c). Bu işlem yapılırken, en yüksek genliğe sahip olan dalgacığın (225 MHz) değerine, diğer dalgacıkların en büyük genlikleri bölünerek birer katsayı çarpanı elde edilmekte ve bu çarpanlar daha sonra daha düşük en büyük değere sahip olan dalgacıklarla çarpılıp böylece tüm dalgacıkların en büyük genlikleri aynı değerde ölçeklendirilmiş olmaktadır. Bu analizde, 225, 450 ve 900 MHz dalgacıklarının en büyük genlikleri sırayla, 3.0498, 0.5975 ve 0.1544 olarak elde edilmiştir. Katsayı çarpanları ise sırasıyla 1, 5.1045, 19.75 olarak tespit edilmiştir. Daha sonra bu dalgacıkların Fourier dönüşümü alınarak frekans ortamındaki normalize genlik spektrumları hesaplanarak çizilmiştir (Şekil 2.9d).



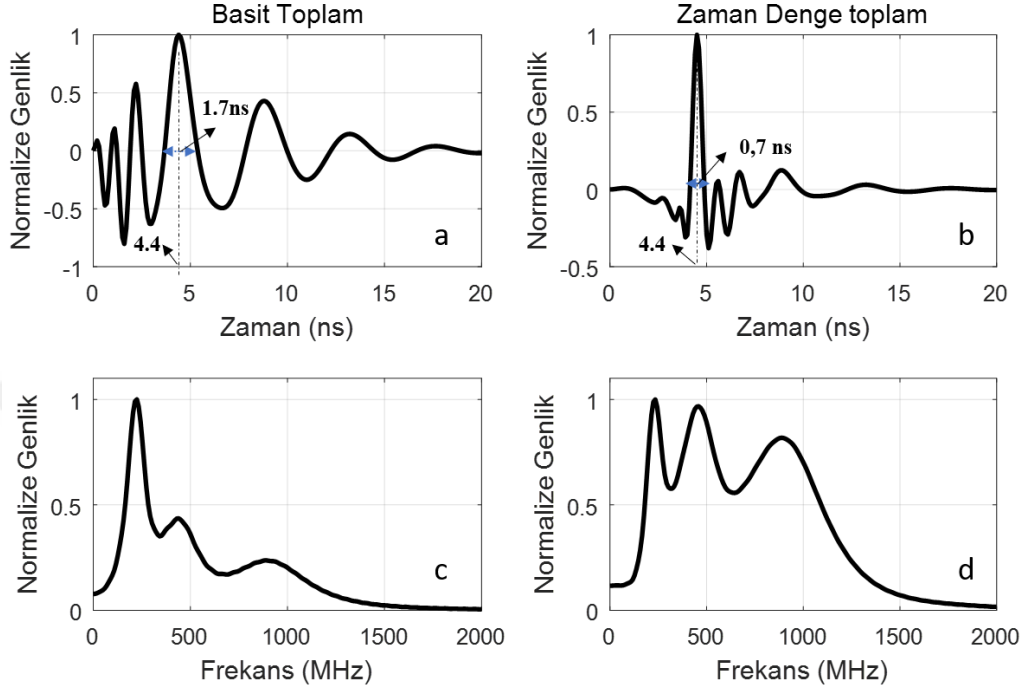
Şekil 2.9. Çoklu frekans birleşiminin yapay araştırması için yapay GPR dalgacıkları; (a) 225 MHz Berlage dalgacığı, (b) 450 MHz Berlage dalgacığı, (c) 900 MHz Berlage dalgacığı, (d) 225, 450 ve 900 MHz dalgacıklarının genlik spektrumları

Şekil 2.9(a-d)'de dalgacıkların merkez frekans değerleri arttıkça, dalgacık süreleri ve toplam sinyal enerjilerinde meydana gelen azalmadan dolayı, genlik spektrumunun pik büyüklükleri dalgacık frekansı arttıkça azalmaktadır.

Bu tez kapsamında, basit toplama işlemi yapılırken farklı frekanslı dalgacıklar spektral ortamda herhangi bir genlik dengeleme işlemi yapılmadan toplanmıştır. Bu dalgacığın frekans içeriklerine göre genlik dağılımlarını görmek için Fourier dönüşümü alınıp genlik spektrumları elde edilmiştir Şekil 2.10 (a,c).

Zaman kaydırmalı toplama işleminin buradaki uygulanmasında, 225, 450 ve 900 MHz frekanslı dalgacıkların en büyük genliklerine sahip olan zaman değerleri (4.5, 2.2, 1.1 ns) tespit edilmiştir. Bunlardan en büyük genliğe sahip olan dalgacığın zamanına (4.5), diğer dalgacıkların en büyük genliklerinin olduğu zamanlar (2.2 ve 1.1 ns) kaydırılarak ölçeklendirilme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Kaydırma değerleri 450 ve 900 MHz için sırasıyla 2.3 ve 3.4 ns'dir. Daha sonrada genlik dengelemesi yapılarak dalgacıklar

toplanmıştır. Bu şekilde toplanan dalgacıklar frekans ortamına aktarılarak genlik spektrumları elde edilmiştir (Şekil 2.10 (b, d)).



Şekil 2.10. (a) Basit toplama, (b) Zaman kayma toplamı, (c) a'nın genlik spektrumu, (d) b'nin genlik spektrumu

Basit olarak toplanmış dalgacığın 4.4 ns'de ve 1.7 ns süresinde geniş bir ana pike sahip ve yan salınım genlikleri ana pikin genliğinin yaklaşık %80 i kadar genliğe sahip olduğu görülmektedir (Şekil 2.10a). Toplam dalgacığın genlik spektrumuna bakıldığında ise, 225 MHz lik dalgacığın baskınlık olduğu ve spektrum bant genişliğinin dar olduğu gözlenmektedir (Şekil 2.10c). Bundan dolayı, bu işlem sonucunda, bir delta fonksiyonuna benzer özelliklere sahip birleşik bir dalgacık oluşamayacağı sonucuna varılmıştır.

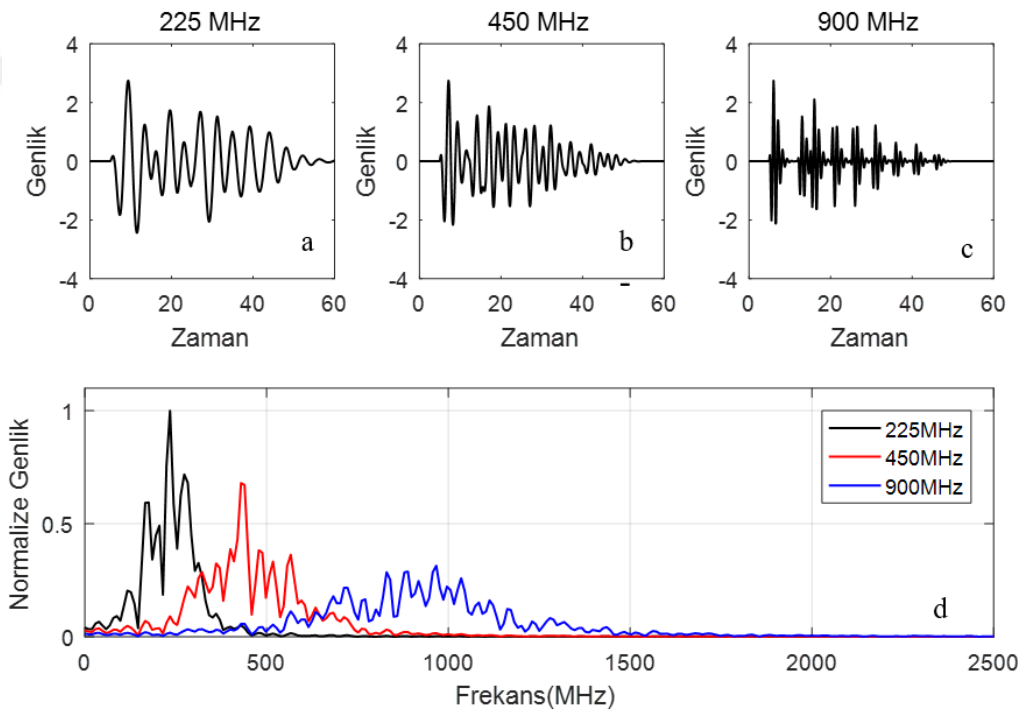
Zaman kaydırmalı toplama işlemi ile oluşturulan dalgacık 4.4 ns'de, 0.7 ns süresinde dar ana bir pike sahip ve yan salınımlarının ise basit toplama işlemine göre büyük ölçüde azalmış olduğu görülmektedir (Şekil 2.10b). Bu şekilde toplanan dalgacığın genlik spektrumuna bakıldığında ise, delta fonksiyonuna benzer ve dengeli bir genlik spektrumuna sahip olduğunu söylenebilir (Şekil 2.10d).

• Test 2

Araştırılan ortamın farklı özelliklere sahip yapılardan oluşabileceği düşüncesinden hareketle, yapılan bu test aşamasında, farklı yansıma katsayıları seçilerek, test 1 de

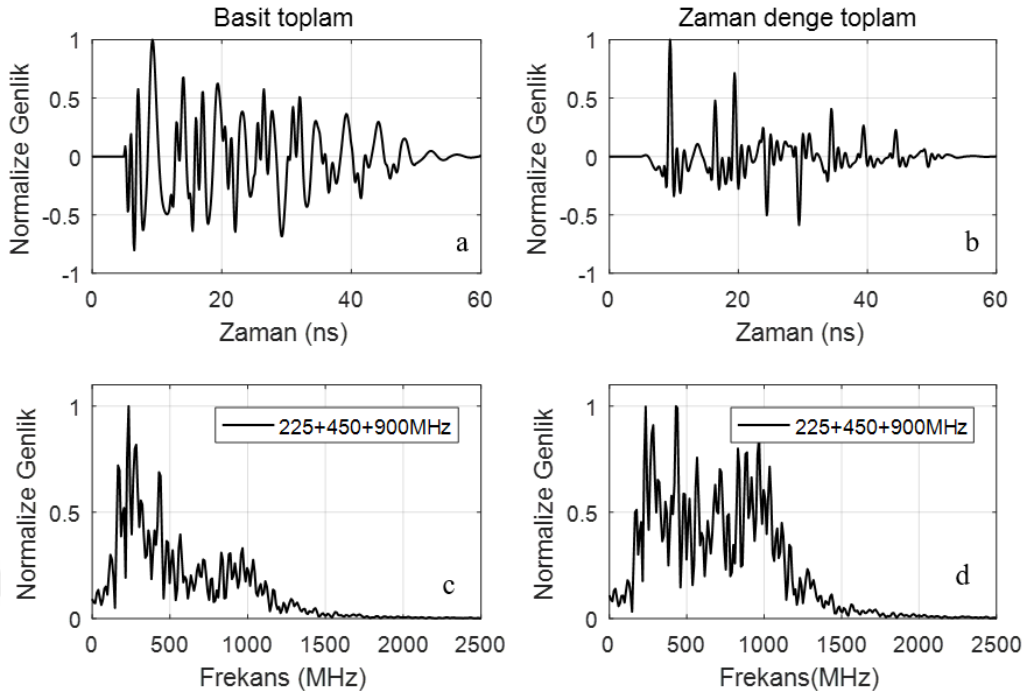
oluşturulan 3 farklı frekanslı dalgacıklarla konvolüsyon (evrişim) işlemi gerçekleştirilerek bir radar izi hesaplanmıştır (Şekil 2.11a-c). Daha sonra bu radar izi, test 1'deki işlem adımları uygulanarak, farklı frekanslı bu 3 izi birleştirilerek tek dalgacık haline getirilmiştir.

Bu test 225, 450 ve 900 MHz'lik izlerin aynı ölçekte görüntülemek için en büyük genlikleri sırayla, 2.7448, 0.5377 ve 0.1389, katsayı çarpanları ise sırasıyla 1, 5.1047 ve 19.7604 olarak belirlenmiştir. Daha sonra bu izlerin Fourier dönüşümü alınarak frekans ortamındaki normalize genlik spektrumları çizilmiştir (Şekil 2.11d).



Şekil 2.11. Konvolüsyon sonucu elde edilen yapay GPR izleri; (a) 225 MHz Berlage izi, (b) 450 MHz Berlage izi, (c) 900 MHz Berlage izi, (d) 225,450 ve 900 MHz izlerinin genlik spektrumları

Daha sonra basit toplama ve zaman kaydırmalı toplama işlemleri gerçekleştirilmiştir. Buradaki analizde, 450 ve 900 MHz in en büyük genliklerine karşılık gelen zaman değerleri (7.1 ve 6ns), 225 MHz'li izin en büyük genliğine karşılık gelen zamanına (9.5 ns) kaydırılmıştır. Kaydırma değerleri 450 ve 900 MHz için sırasıyla 2.4 ve 6 ns'dir.



Şekil 2.12. (a) Basit toplama, (b) Zaman dengeli toplama, (c) a'nın genlik spektrumu, (d) b'nin genlik spektrumu

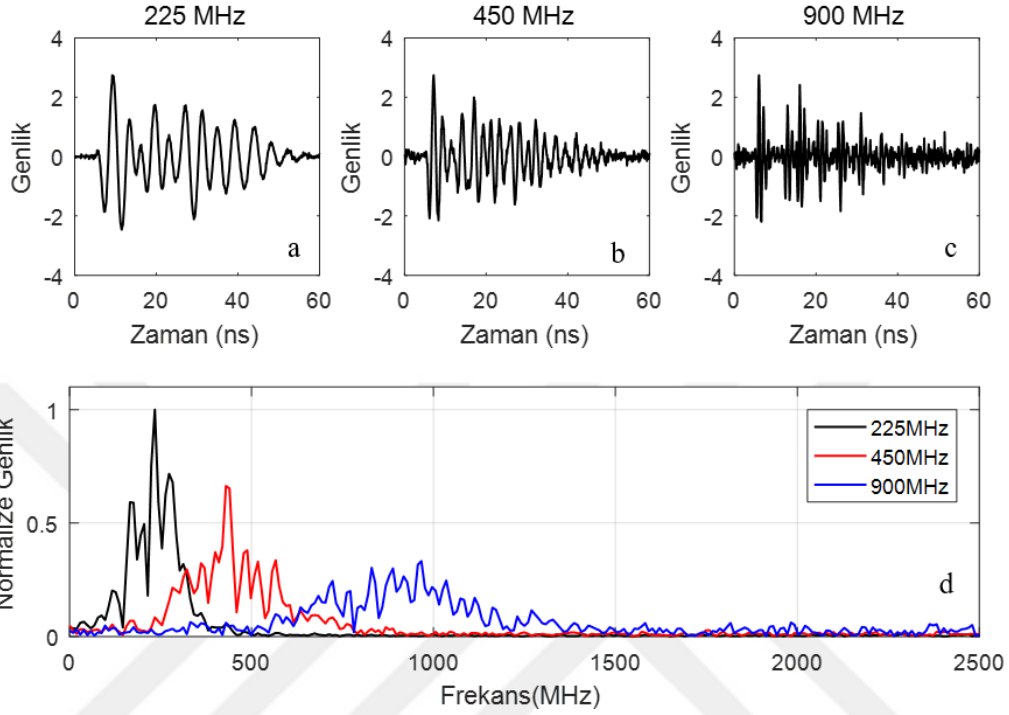
Şekil 2.12a'daki basit toplama işlemine bakıldığında ana pikin geniş olduğu ve yan salınım enerjilerinin yüksek olduğu, genlik spektrumunda ise, 225 MHz li dalgacığın daha baskın olduğu görülmektedir (Şekil 2.12c). Şekil 2.12b deki zaman kaydırmalı toplama işlemi sonuçları incelendiğinde, ana pikin süresinin ve yan salınım enerjilerinin basit toplama işlemi sonuçlarına göre daha az olduğu görülmektedir. Genlik spektrumunda ise, tüm frekans içeriklerinin spektrum bandında dengeli dağılımda olduğu açıkça gözlenmektedir (Şekil 2.12d).

• Test 3

Araştırılan ortamda ölçüm esnasında gelişigüzel gürültüler oluşabilmekte ve bu gürültüler elde edilen verinin kalitesini bozabilmektedir. Bu aşamada, oluşabilecek gürültüler dikkate alınıp test 2'de oluşturulan dalgacıklara rasgele gürültüler eklenerek bu dalgacıklardaki değişimler gözlenmeye çalışılmıştır. 225, 450 ve 950 MHz li dalgacıklara 0.04, 0.02 ve 0.01 miktarlarında gürültüler eklenerek gürültülü radar izleri elde edilmiştir (Şekil 2.13a-c).

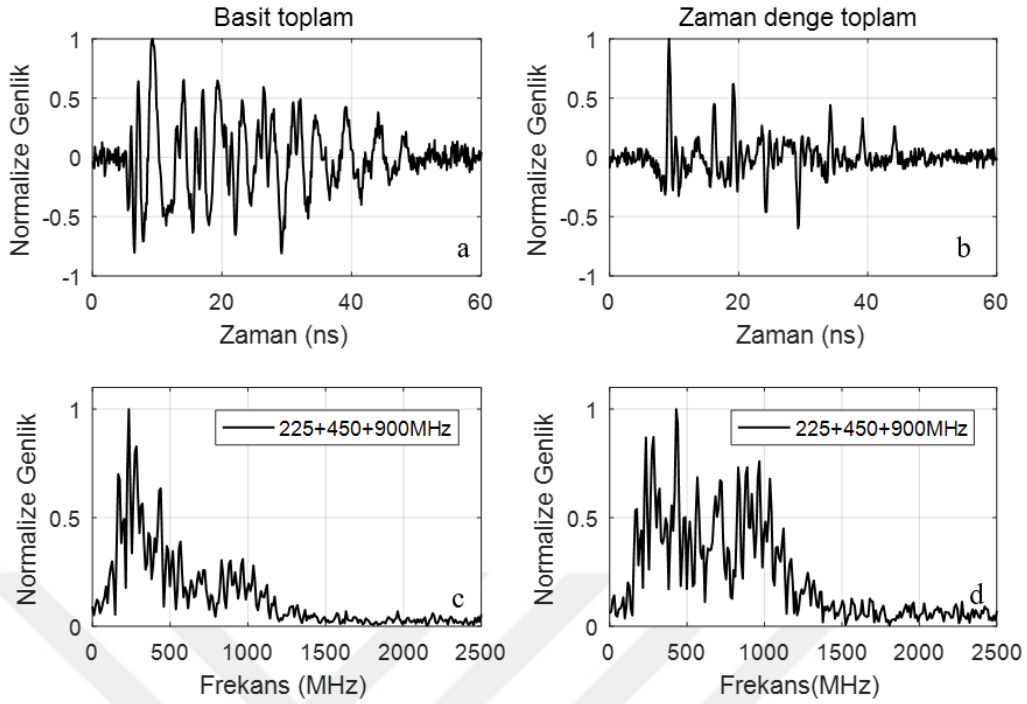
Bu testde 225, 450 ve 900 MHz izlerinin aynı ölçekte görüntülemek için en büyük genlikleri sırayla, 2.6954, 0.5528 ve 0.1272, katsayı çarpanları ise sırasıyla 1, 4.8759 ve

21.1902 olarak belirlenmiştir. Daha sonra bu radar izlerinin Fourier dönüşümü alınarak frekans ortamındaki normalize genlik spektrumları çizilmiştir (Şekil 2.13.d).



Şekil 2.13. Gürültü içeren GPR izleri; (a) 225 MHz Berlage izi, (b) 450 MHz Berlage izi, (c) 900 MHz Berlage izi, (d) 225,450 ve 900 MHz izlerinin genlik spektrumları

Daha sonra basit toplama ve zaman kaydırmalı toplama işlemleri gerçekleştirilmiştir. Buradaki analizde; 450 ve 900 MHz in en büyük genliklerine karşılık gelen zaman değerleri (7.1 ve 6ns), 225 MHz dalgacığının en büyük genliğine karşılık gelen zamanına (9.5) kaydırılmıştır. Kaydırılma değerleri 450 ve 900 MHz için sırasıyla 2.4 ve 6 ns dir.



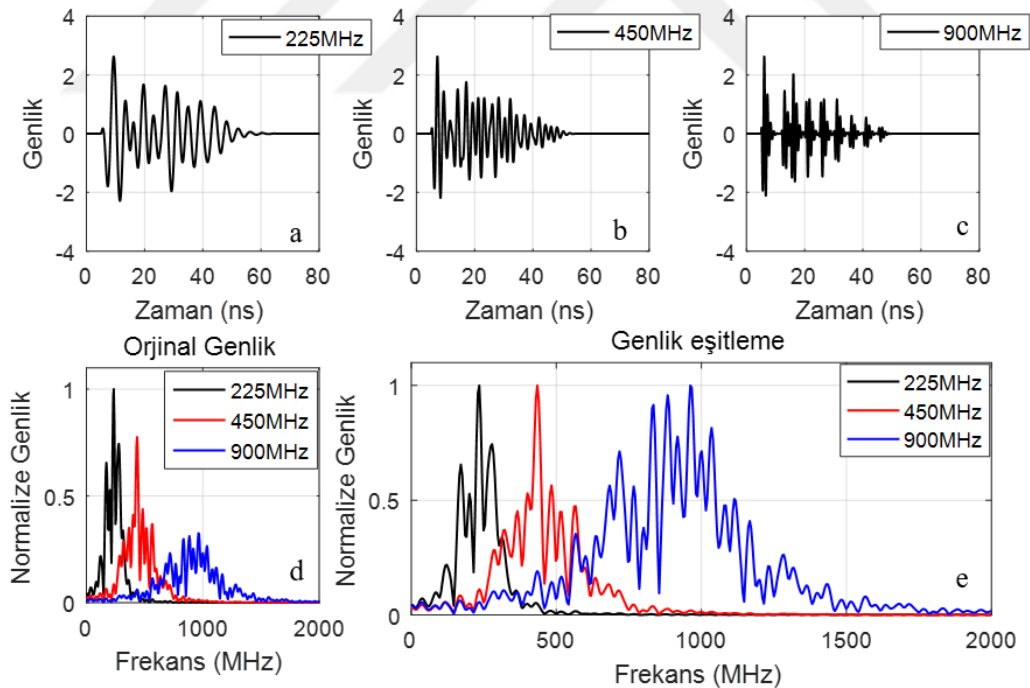
Şekil 2.14. (a) Basit toplama, (b) Zaman kaydırmalı toplama, (c) a'nın genlik spektrumu, (d) b'nin genlik spektrumu

Şekil 2.14a'daki basit toplama işlemi sonucu incelendiğinde gürültülerin eklenmesiyle ana pikin geniş olduğu ve yan sinyal enerjilerinin yüksek olduğu görülmekte olup, genlik spektrumuna bakıldığında ise 225 MHz li dalgacığın daha baskın olduğu görülmektedir (Şekil 2.14c). Şekil 14b deki zaman kaydırmalı toplama işlemi sonuçlarına bakıldığında, ana pikin süresinin ve yan sinyal enerjilerinin basit toplama işlemi sonuçlarına göre daha az olduğu görülmektedir. Genlik spektrumunda ise tüm frekans içeriklerinin spektrum bandında dengeli dağılımda olduğu açıkça gözlenmektedir (Şekil 2.14d). Bu test ile gelişmiş güzel gürültünün, yapılan işlemleri ve sonuçlar üzerindeki olumsuz etkileyecek bir durum olup olmadığı incelenmiştir.

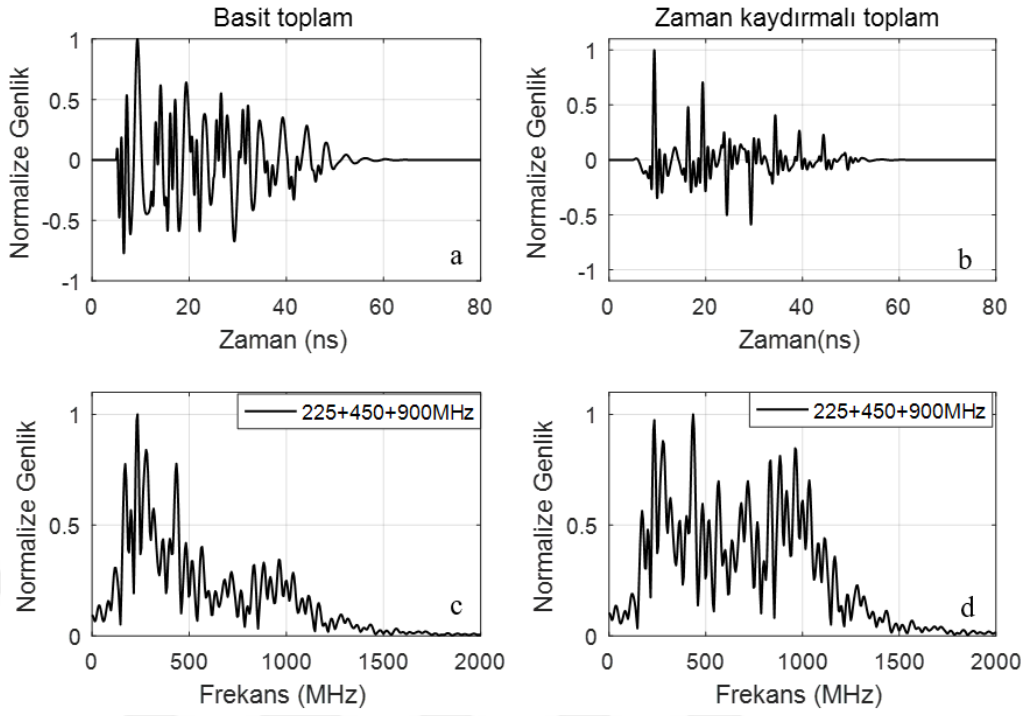
• Test 4

Gerçek arazi verileri farklı frekanslı antenlerle, farklı örnekleme zaman aralıklarına ve farklı kayıt sürelerine göre topladığından, test 4 de, frekans değerleri ve örnekleme zaman aralıkları farklı 3 radar izi modeline karar verilmiştir. Bunun için ilk olarak 225, 450 ve 900 MHz frekansları için örnekleme zaman aralıkları (dt) ler sırasıyla 0.1, 0.05 ve 0.025 ns olarak seçilmiştir. Artan frekans değerlerine bağlı olarak, kayıt süreleri azalacağı için, bu süreleri 100, 80 ve 50 ns'ye seçerek 3 yeni GPR izi üretilmiştir. Bu izler yer içerisinde ilerlerken, homojen olmayan ortamlarda birçok yansıtıcı yüzeyle karşılaşabileceği

durumunu da dikkate alarak, farklı yansıma zamanlarına karşılık gelecek yansıma katsayıları oluşturup, bu yansıma katsayıları ile GPR dalgacıkları konvolve edilerek gerçek arazi verisine daha yakın 3 farklı radar izi hesaplanmıştır. Daha 225 ve 450 MHz frekanslı radar izlerinin örnekleme zaman aralıklarını (0.1, 0.05 ns), en düşük örnekleme zamanına (0.025 ns) sahip olan 900 MHz frekanslı dalgacığın örnekleme zamanına eşitlemek için enterpolasyon işlemi yapılmış ve örnekleme zaman aralıkları eşitlenmiştir. Ardından en uzun sinyal uzunluğuna göre sinyallerin örnek sayılarını eşitlemek için, enterpole edilen 225,450 ve 900 Mhz frekanslı dalgacıkların örnek sayıları belirlenmiştir. En büyük örnek sayısına sahip olan 225 MHz frekanslı dalgacığın örnek sayısına, 450 ve 900 MHz frekans dalgacıklarının örnek sayılarını eşitlemek için geçici olarak sıfır eklenmiştir. Böylece, en büyük sinyal uzunluğuna göre sinyallerin örnek sayıları eşitlenmiştir (Şekil 2.15 a-c). Daha sonra, dalgacıkların Fourier dönüşümleri alınıp frekans ortamına aktarılarak genlik eşitlenmesi yapılmıştır (Şekil 2.15e). Ardından basit toplama ve zaman kaydırmalı toplama işlemleri gerçekleştirilmiştir (Şekil 2.16).



Şekil 2.15. Enterpole edilerek örnekleme aralıkları ve zamanları eşitlenen GPR izleri; (a) 225 MHz radar izi, (b) 450 MHz radar izi, (c) 900 MHz radar izi, (d) 225,450 ve 900 MHz dalgacıklarının orijinal genlik spektrumları, (e) 225,450 ve 900 MHz radar izlerinin genlik eşitleme sonucu elde edilen genlik spektrumları

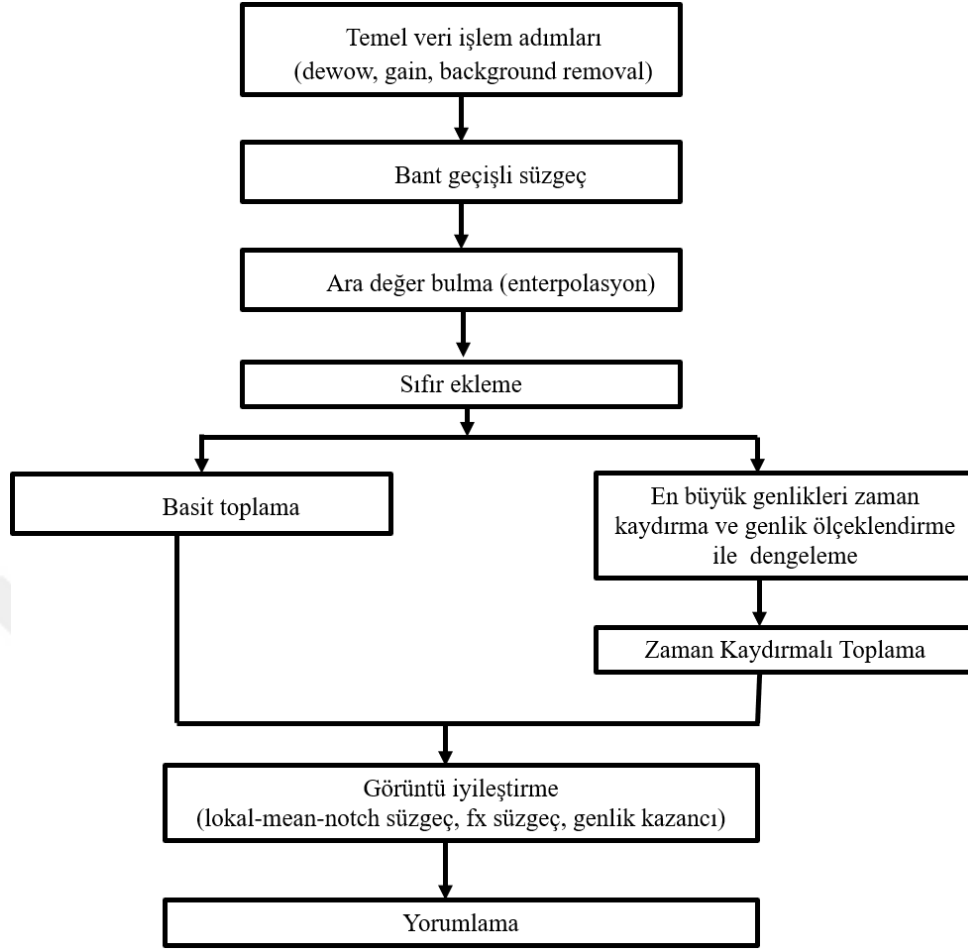


Şekil 2.16. (a) Basit toplama, (b) Zaman kaydırmalı toplama, (c) a'nın genlik spektrumu, (d) b'nin genlik spektrumu

Şekil 2.16a daki basit toplama işlemine göre ana pikin geniş olduğu ve yan salınım enerjilerinin yüksek olduğu görülmekte olup, genlik spektrumunda ise 225 MHz li dalgacığın daha baskın olduğu görülmektedir (Şekil 2.16c). Şekil 2.16b deki zaman kaydırmalı toplama işlemi sonuçları incelendiğinde, ana pikin süresinin ve yan salınım enerjilerinin basit toplama işlemi sonuçlarına göre daha az olduğu görülmektedir. Genlik spektrumunda ise, tüm frekans içeriklerinin spektrum bandında dengeli dağılımda olduğu açıkça gözlenmektedir (Şekil 2.16d).

2.5. Arazi Verilerinin Birleştirilmesi

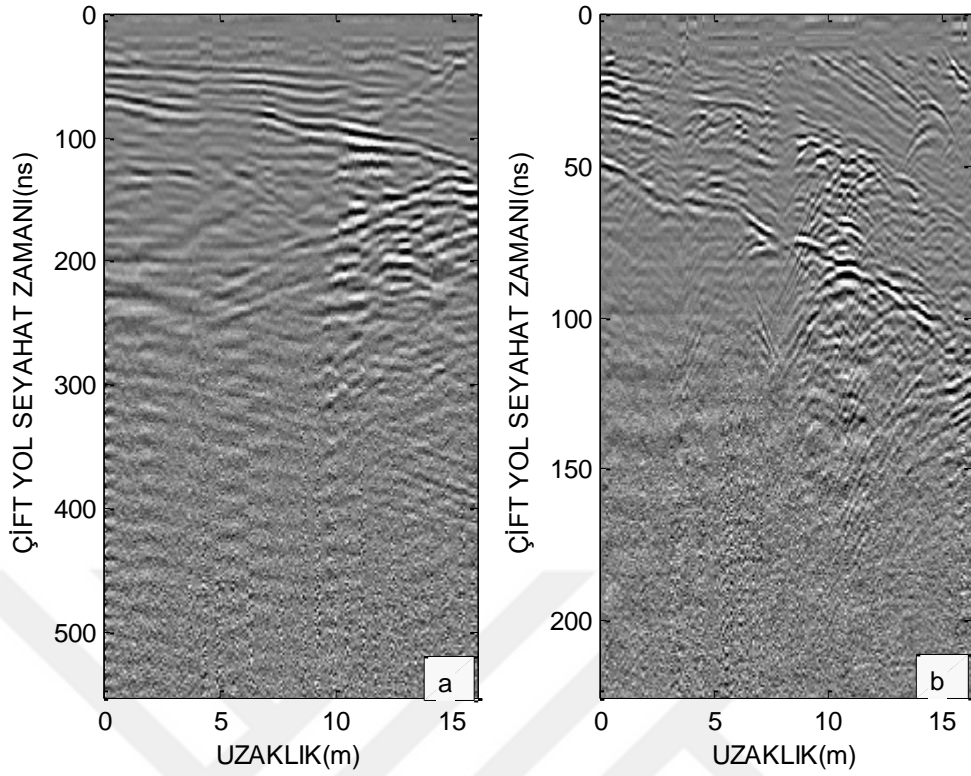
Aynı profilden farklı frekanslı antenler kullanılarak toplanan gerçek arazi verilerinin birleştirilmesi için, bu tez kapsamında toplanan gerçek arazi verilerinden 2 profilde, 100 ve 250 MHz merkez frekanslı antenlerle toplanan verilerin birleştirme işlemi gerçekleştirilmiştir. Birleştirme işlemi için arazi verisine uygulanan işlemlerin akış şeması Şekil 2.17 'de gösterilmektedir.



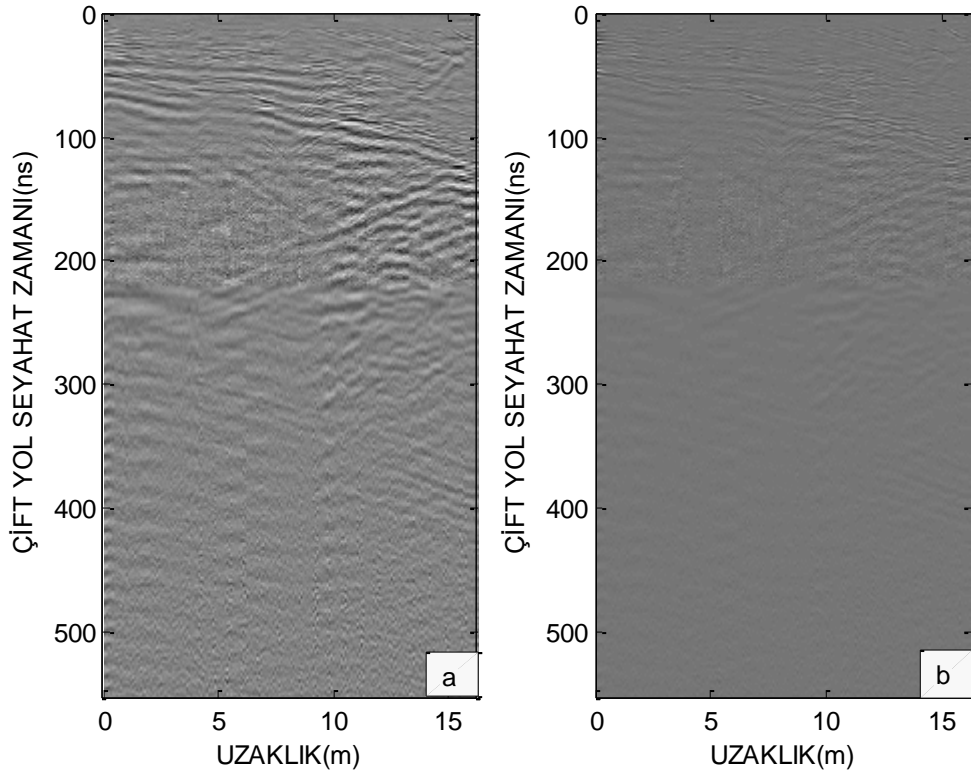
Şekil 2.17. Arazi verisine uygulanan işlemlerin akış şeması

Aynı profil boyunca farklı örnekleme zaman aralığı ve iz aralığına sahip olan çalışma alanı 1, 1.profil'den 100 MHz ve 250 MHz' lik antenle toplanan gerçek arazi verilerinin ön veri ReflexW Sandmeier Software paketi kullanılarak yapılmıştır (Şekil 2.18a,b). Ön işlemeden geçen bu verileri aynı örnekleme zamanı ve iz aralığına sahip olarak birleştirilmesi için Matlab ortamında kodlar yazılmıştır. Bu kodda ilk olarak veriler matris formunda programa yüklenmiştir. Ardından verilerde bulunan çok alçak ve çok düşük frekanslı verileri atmak için her bir veriye ayrı ayrı band geçişli süzgeç uygulanmıştır. Bu süzgecin köşe frekansları 100 MHz'lik veri için 14-20-200-300 MHz, 250 MHz'lik veri için 14-20-600-900 MHz olarak seçilmiştir. Daha sonra zaman ve uzaklık vektörleri oluşturulup en uzun ofset boyu belirlenmiştir. 100 MHz frekansa sahip verinin iz sayısını (324), 250 MHz' lik verinin iz sayısına (2195) eşitlemek için uzaklık yönünde interpolasyon işlemi uygulanmıştır. Bu işlem uygulanırken en uzun iz sayısı (2195) ve en düşük iz örnekleme aralığına (0,0074) göre yeni bir uzaklık vektörü oluşturuldu. Daha

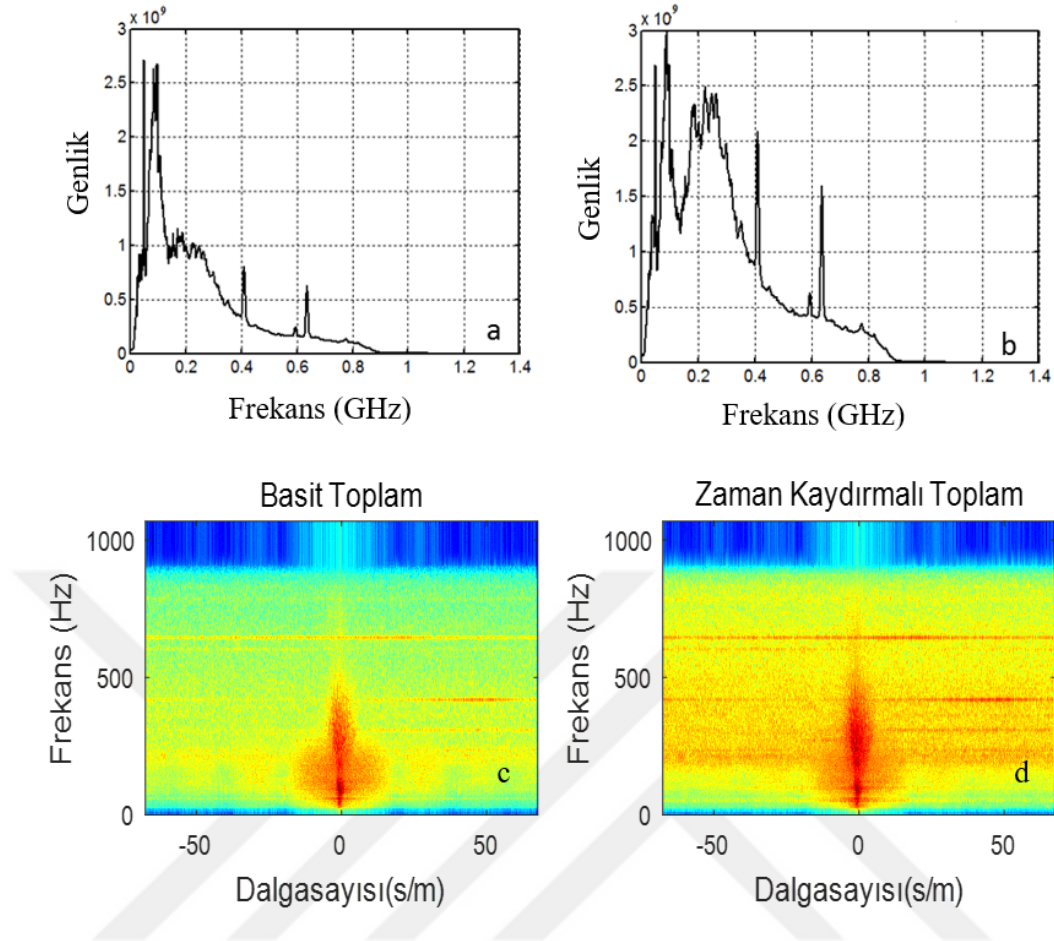
sonra her bir veri için bu uzaklık vektörü dikkate alınarak veriler ayrı ayrı interpolate edilip iz sayıları eşit hale (2195) getirilmiş oldu. Örnekleme zaman aralığı (1.1437 ns) daha büyük olan 100 MHz in örnekleme zaman aralığını 250 MHz in örnekleme zamanına (0.4678 ns) eşit hale getirmek için 100 MHz lik anten verisine zaman yönünde interpolasyon işlemi uygulanarak örnekleme zaman aralıkları eşit hale getirildi ve örnek sayısı artarak 1181 olmuştur. Ardından sinyal süresi (225.05 ns) düşük olan 250 MHz lik veriyi , daha büyük olan 100 MHz lik verinin sinyal süresine (552.41 ns) eşit hale getirmek için sıfır eklenmiştir. Oluşacak olan sıfır kenar etkisini gidermek için 250 MHz lik veriye kenarları %10 yuvarlatılmış Tukey win penceresi uygulanmıştır. Böylelikle her bir veri kümesinin örnekleme zamanları ve iz sayıları birbirine eşitlenmiş hale getirilmiştir. Ardından interpolate edilen 100 MHz ve 250 MHz'li veriler basit ve zaman kaydırmalı toplama işlemleri uygulanarak verinin ayrımlılığı artırılmaya çalışıldı. Basit toplama işleminde interpolate edilen verilere herhangi bir işlem uygulanmadan veriler doğrudan toplanmıştır. Zaman kaydırmalı toplama işleminde ise, 100 MHz ve 250 MHz verisinden birer iz alınıp en büyük genliklerin olduğu zamanlar belirlendi ve aralarındaki zaman farkı kadar 250 MHz 100 MHz in en büyük genliğinin olduğu yere kaydırılmıştır. Bu işlem verideki diğer izler içinde aynı şekilde tekrarlanmıştır. Zaman kayması işlemi yapıldıktan sonra verilerin en büyük genlikleri genlik spektrumundan dengelenip toplama işlemi gerçekleştirilmiştir. Daha sonra basit toplama ve zaman kaydırmalı toplamanın zaman-uzaklık (Şekil 2.19 a,b) ve genlik spektrumları elde edilmiştir (Şekil 2.20a,b).



Şekil 2.18. (a) 100 MHz' lik anten frekansıyla elde edilen radargram, (b) 250 MHz'lik anten frekansıyla elde edilen ham radargram

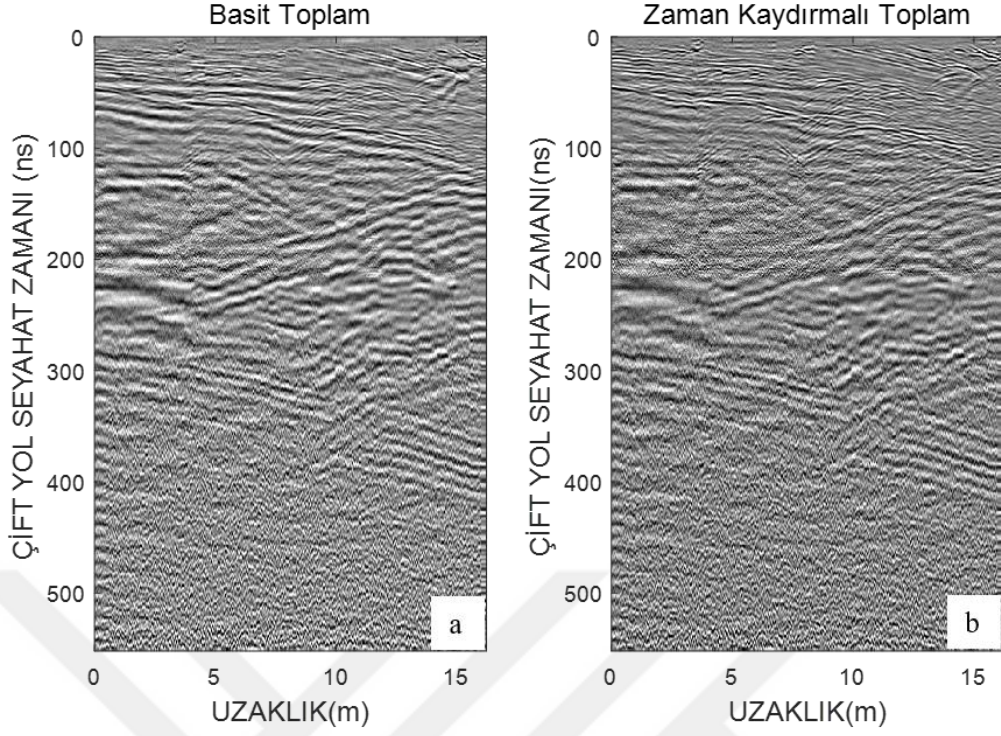


Şekil 2.19. (a) Basit toplama, (b) Zaman kaydırmalı toplama



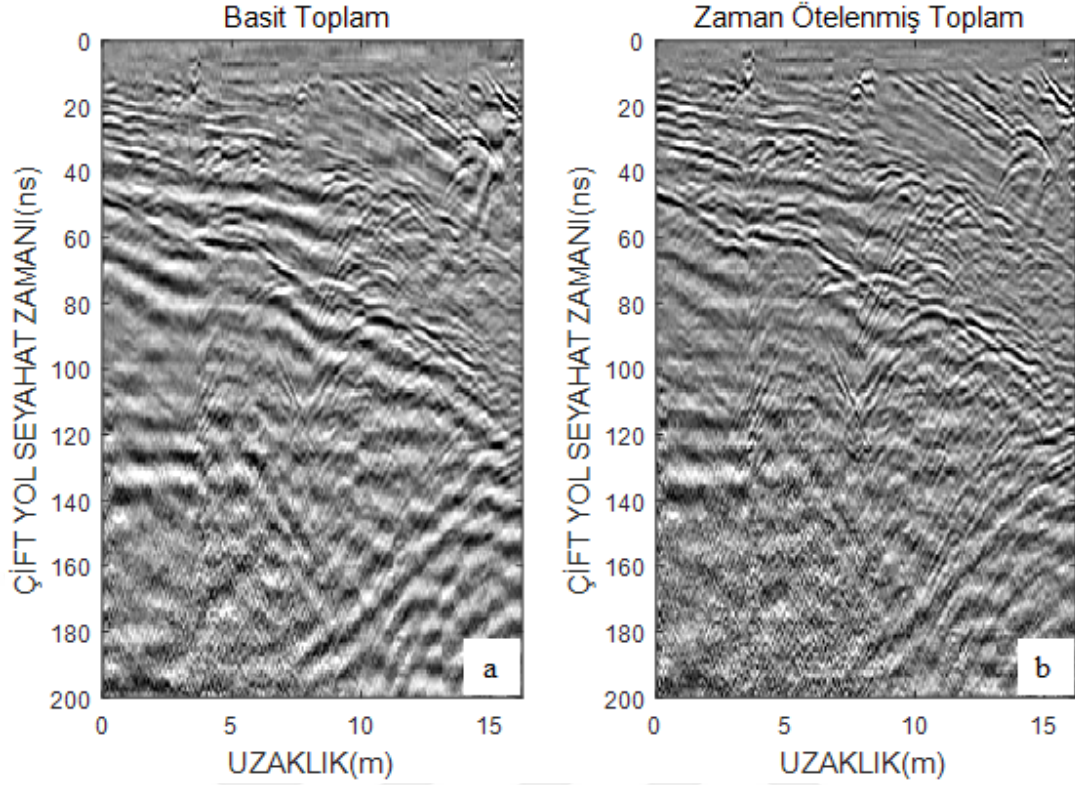
Şekil 2.20. (a) Basit toplamanın ortalama genlik spektrumu, (b) Zaman kaydırmalı toplamanın ortalama genlik spektrumu, (c) Basit toplamanın f-k spektrumu, (d) Zaman kaydırmalı toplamanın f-k spektrumu

Elde edilen görüntü kaliteleri çok iyi olmadığından bu veriler üzerindeki sinyal/gürültü oranını iyileştirmek için bazı işlemler uygulandı. Basit toplama (Şekil 2.20a) ve zaman kaydırmalı toplama (Şekil 2.20b) sonucu elde edilen genlik spektrumlarında iğnecik şekilli bozucu olayların olduğu görülmektedir (0.05, 0.41, 0.65 GHz). Bu iğneciklerin veriden uzaklaştırılması Lokal_Mean_Notch süzgeç (Karslı ve Dondurur, 2018) sayesinde gerçekleştirildi (Şekil 2.24a,b). İğnecik şeklindeki olaylar tüm verilerimizde hemen hemen aynı karakterde görüldüğü için bu iğneciklerin sistem kaynaklı oldukları düşünülmektedir. Notch süzgeci uygulandıktan sonra veriler içindeki geliş güzel gürültüleri bastırmak ve yanal yönde veri kalitesini artırmak için verilere fx süzgeci uygulandı. Son olarak basit toplam ve zaman kaydırmalı toplam verilerine genlik kazancı uygulayıp verilerin zaman-uzaklık ve genlik spektrumları elde edilmiştir.



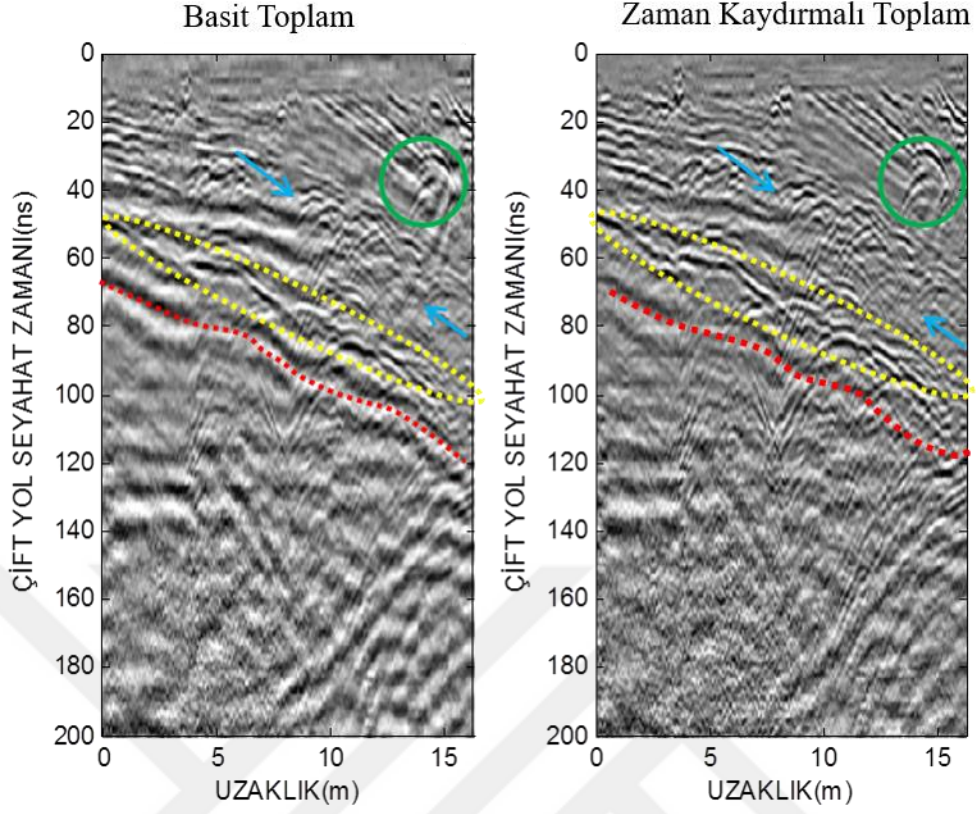
Şekil 2.21. (a) Lokal Mean Notch süzgeç, fx filtre ve genlik kazancı uygulanan basit toplama oluşan radargram, (b) Lokal Mean Notch süzgeç, fx süzgeç ve genlik kazancı uygulanan zaman kaydırmalı toplama oluşan radargram

Şekil 2.21 deki basit toplama ve zaman kaydırmalı toplama sonucu elde edilen yer radarı kesitlerine kabaca bakıldığında her ikisinde de başarılı sonuçlar elde edilmekte olup aralarında belirgin bir farklılık görülmemektedir. Aynı şekildeki radar kesitlerinde; 100 MHz le 250 MHz veriler birleştirildiğinde sığ kesimlerin yüksek frekanslı 250 MHz'lik anten tarafından, daha derin kısımların ise düşük frekanslı 100 MHz'lik anten tarafından güçlendirildiği görülmektedir. Ayrıca yanal yöndeki interpolasyon işleminde verilerdeki yanal yöndeki çözünürlüğü artırdığı düşünülmektedir. Ancak kesitler şekil 2.22 deki gibi daha detaylı incelendiğinde zaman kaydırmalı toplama ile elde edilen kesitin, basit toplama göre yanal yöndeki çözünürlüğünün arttığı, ayrıca süreklilik ve süreksizlik noktalarının daha detaylı hale geldiği gözlenmektedir.



Şekil 2.22. 200 ns lik kısmın daha ayrıntılı görünümü; (a) Basit toplamının, (b) Zaman kaydırmalı toplama

Şekil 2.22’de basit ve zaman kaydırmalı toplamadaki radar kesitleri detaylı incelendiğinde sarı ile çizilen elips şekli içindeki yanal yöndeki eğimli yansıma olayının, basit toplama sonucuna göre zaman kaydırmalı toplama sonucunda, süreklilik ve süreksizlik noktalarının daha tanımlanabilir hale geldiği ve genliğinin arttığı gözlenmektedir. Aynı kesitlerde yeşil çemberle gösterilen hiperbol şeklindeki yüksek genlikli olayların zaman kaydırmalı toplama kesitinde belirginleştiği görülmektedir. Ayrıca, her iki kesitte de mavi oklar arasında kalan kalan hiperbolik yaklaşımlar basit toplam kesitinde daha belirsizken, zaman kaydırmalı kesitte daha tanımlanabilir hiperbollere dönüştüğü söylenebilir. Her iki kesitte de kırmızı çizgi ile gösterilen güçlü bir yansımanın varlığı dikkat çekmektedir.

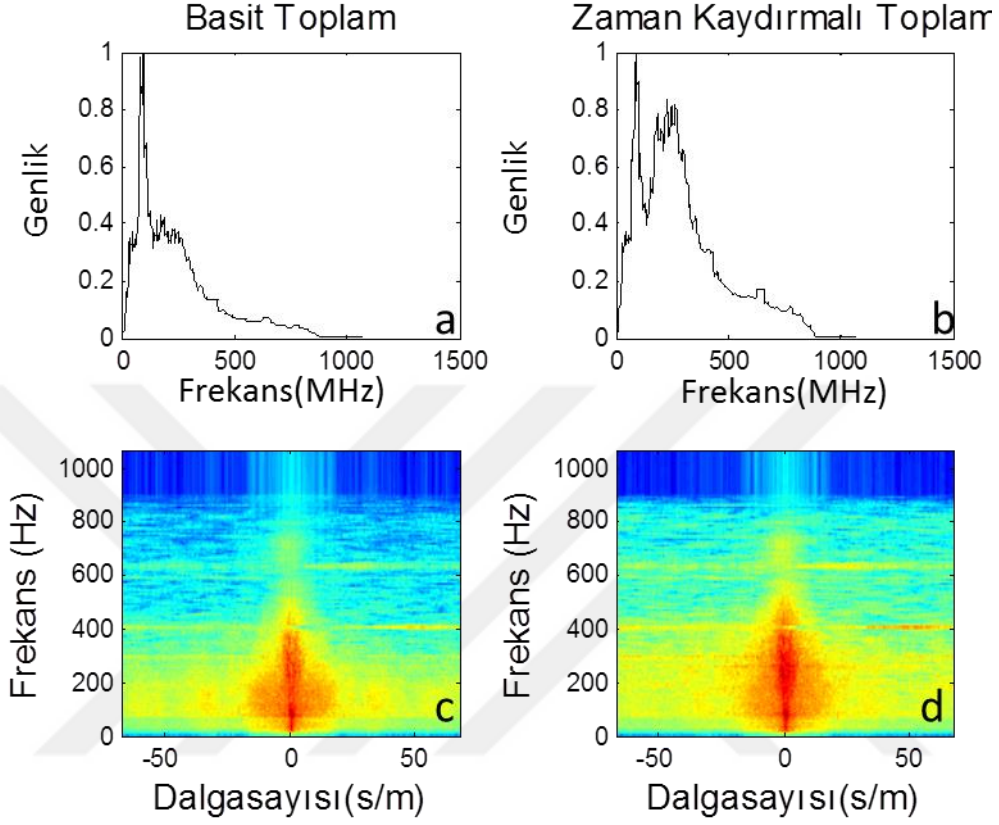


Şekil 2.23. 200 ns'lik kesit üzerinde gözlenen belirgin yansımaların gösterimi; (a) Basit toplamın. (b) Zaman kaydırmalı toplamın

Şekil 2.23'te basit toplama ve zaman kaydırmalı toplamın genlik spektrumları karşılaştırıldığında, basit toplama sonucu elde edilen genlik spektrumunda 100 MHz lik düşük frekansın daha baskın olduğu görülmektedir. Zaman kaydırmalı toplamın genlik spektrumunda ise, hem düşük frekansın hemde yüksek frekansların hakimliği söz konusudur. Basit toplamdaki 250 MHz in genliği 0.4 seviyelerindeyken, zaman kaydırmalı toplamada 0.8 seviyelerine çıkmakta ve daha dengeli bir genlik spektrumunun elde edilmiştir. Aynı şekildeki basit toplamın f-k spektrumunda, yaklaşık 200 MHz e kadar bir bant genişliği varken, bu bant genişliği zaman kaydırmalı toplamın f-k spektrumunda yaklaşık 400 MHz e kadar genişlediği görülmektedir.

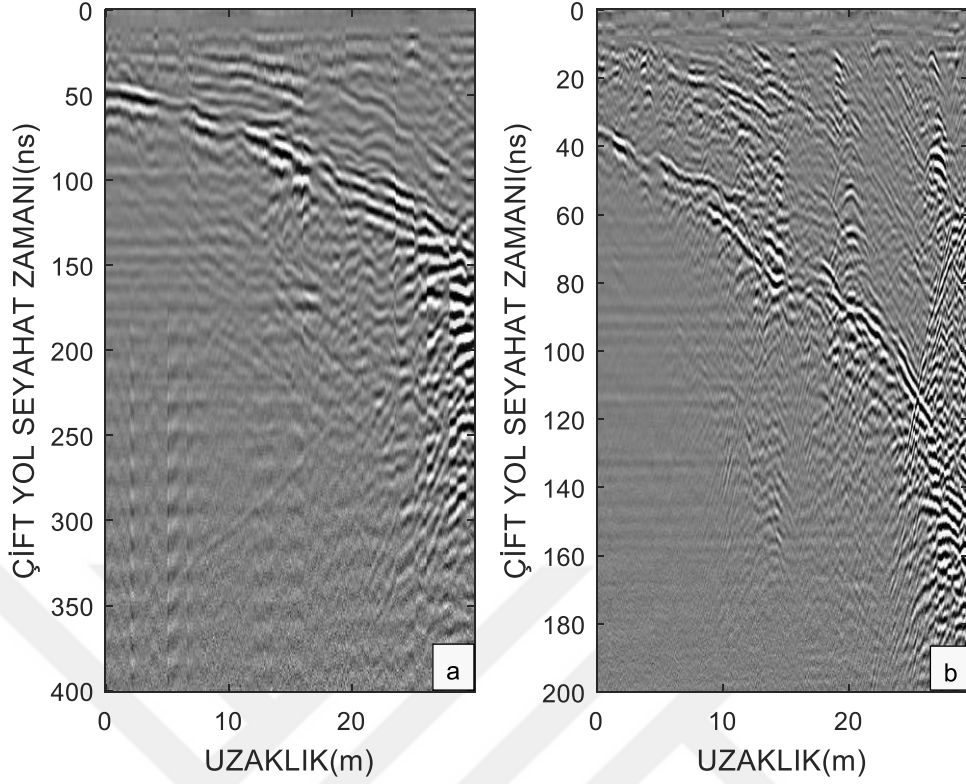
Sonuç olarak her iki toplamında başarılı olduğu ancak zaman kaydırmalı toplam kesitine, genlik spektrumuna ve fk spektrumlarına bakıldığında basit toplama işlemine göre daha detaylı görüntüler sunduğu görülmüştür. Bu durum çok küçük değişimlerin önemli olduğu GPR veri yorumunda çok önemli ve anlamlı katkılar sağlayacaktır. Aynı zamanda basit ve zaman kaydırmalı toplamın radar kesitlerine bakıldığında yaklaşık 220 ns

civarlarında veri geçisinden kaynaklanan küçük bir bant geçişi oluşmaktadır. Ancak bu durum veri yorumuna her hangi bir engel teşkil etmemektedir.



Şekil 2.24. (a) Basit toplamanın genlik spektrumu, (b) Zaman Kaydırmalı toplamanın genlik spektrumu, (c) Basit toplamanın f-k spektrumu, (d) Zaman kaydırmalı toplamanın f-k spektrumu

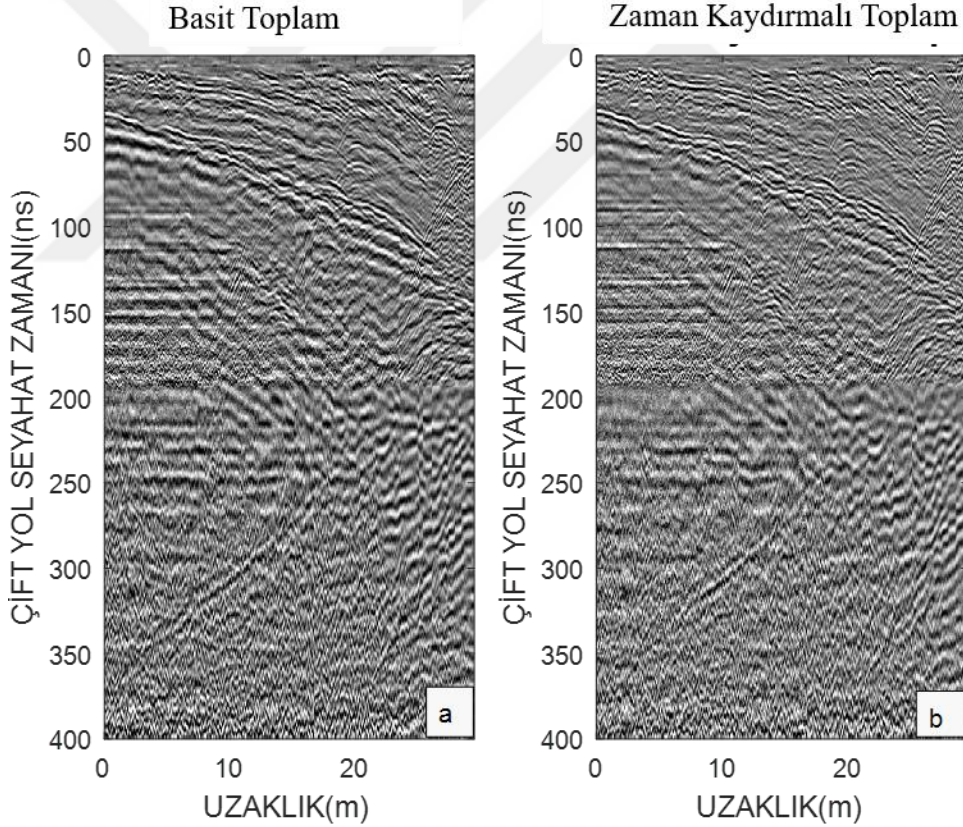
Aynı profil boyunca farklı örnekleme zaman aralığı ve iz aralığına sahip olan çalışma alanı 2, 1.profil'den 100 MHz ve 250 MHz' lik antenle toplanan gerçek arazi verilerinin birleştirilmesi sonucu elde edilen kesitlere bakıldığında;



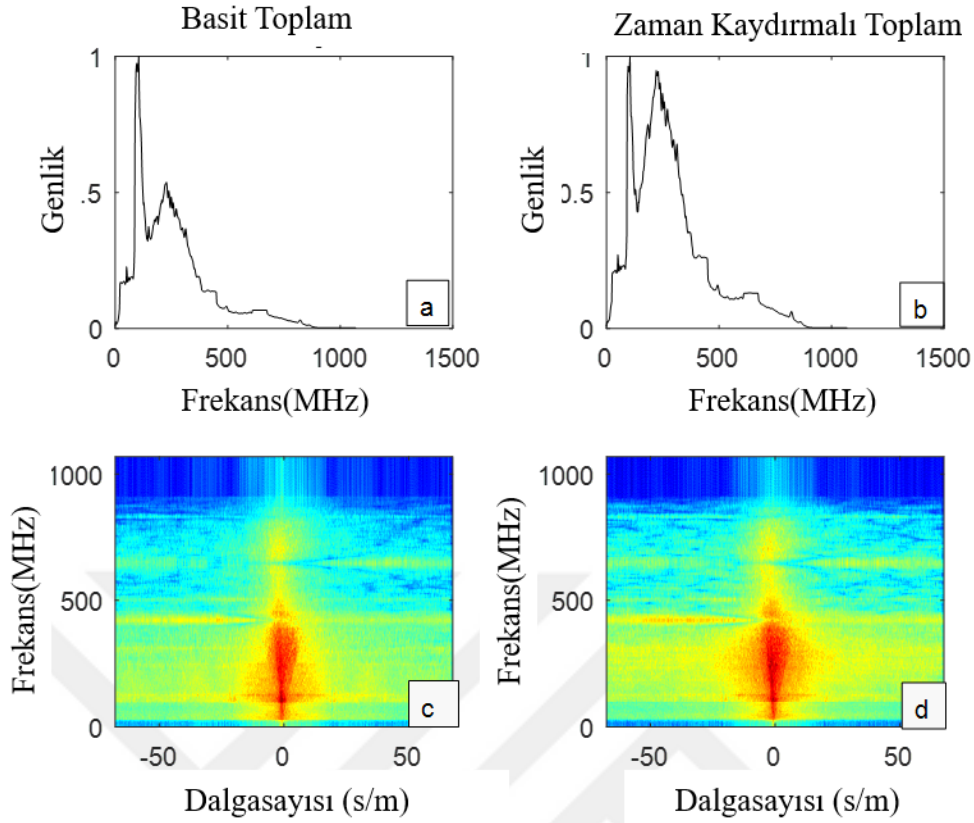
Şekil 2.25. (a) 100 MHz'lik anten frekansıyla elde edilen radargram, (b) 250 MHz'lik anten frekansıyla elde edilen radargram

Şekil 2. 25a'da gösterilen 100 MHz'lik verinin örnekleme sayısı enterpolasyon sonucu 603 ten 3986 ya, bir izdeki örnek sayısı 351'den 856 ya çıkmıştır. Şekil 2.25b'deki 250 MHz'lik verinin ise örnekleme zamanı ise sıfır eklenerek 400 ns'ye çıkarılmıştır. Böylece birleştirme işlemi yapmak için verilerin iz sayıları ve örnek sayıları eşit hale gelmiştir. Ardından veriler basit ve zaman kaydırmalı olarak toplanmıştır. Toplanmış verilerin görüntü kalitesini iyileştirmek için bu verilere lokal-mean-notch süzgeç, fx süzgeç ve genlik kazancı uygulanarak birleştirilmiş radar kesitleri gösterilmiştir (Şekil 2.26). Bu kesitlerin her ikisine de bakıldığında sığ kesimlerin 250 MHz tarafından, daha derin kısımların ise 100 MHz anten tarafından güçlendirildiği aşıkardır. Şekil 2.26b ye daha detaylı bakıldığında 100 MHz in baskınlığı dikkat çekmektedir. Örneğin yaklaşık 50 ns'den başlayıp yaklaşık 150 ns yeye kadar eğimli olan yüksek genlikli yansıma Şekil 2.25a'daki 100 MHz'lik radar kesitine bakıldığında da belirgin bir şekilde görülmektedir. Ancak 100 MHz lik veriye yanal yönde enterpolasyon uygulanması ve 250 MHz antenle toplanması sonucu basit toplama ile elde edilen kesitteki sürekliliğin daha çok arttığı söylenebilir. Zaman kaydırmalı toplama işlemi kesitine bakıldığında ise, verilere

uygulanan zaman kaydırma ve genlik dengelenmesinden dolayı sığ kesimlerde 250 MHz'lik verinin etkileri daha belirgindir. Zaman kaydırmalı toplamının 180 ns'den daha derin kısımlarında ise 100 MHz'in kesite olan katkıları gözlenmektedir. Şekil 2.26a ve şekil 2.26b deki kesitlere daha detaylı bakıldığında ise, şekil 2.26b nin ayrıntıları daha çok açığa çıkardığı söylenebilir. Örneğin bu kesitlerde farklı yer ve boyutlarda bulunan yüksek genlikli hiperbolik yansımaların zaman kaydırmalı toplam ile daha belirgin hale geldikleri görülmektedir. Aynı şekilde sağdan sola doğru eğimli olan yansımaların, zaman kaydırmalı toplama sonucunda süreklilik ve süreksizlik noktalarının daha net olduğu söylenebilir. Ayrıca basit ve zaman kaydırmalı radar kesitlerinin her ikisine de bakıldığında yaklaşık 180 ns ye de bir bant geçişinin olduğu görülmekte ancak bu durum yoruma bir engel olmamaktadır.



Şekil 2.26. (a) Lokal Mean Notch süzgeç, fx süzgeç ve genlik kazancı uygulanan basit toplama oluşan radargram, (b) Lokal Mean Notch süzgeç, fx süzgeç ve genlik kazancı uygulanan zaman kaydırmalı toplama oluşan radargram



Şekil 2.27. (a) Basit toplamanın, (b) Zaman kaydırmalı toplamanın genlik spektrumu, (c) Basit toplamanın, (d) Zaman kaydırmalı toplamanın f-k spektrumu

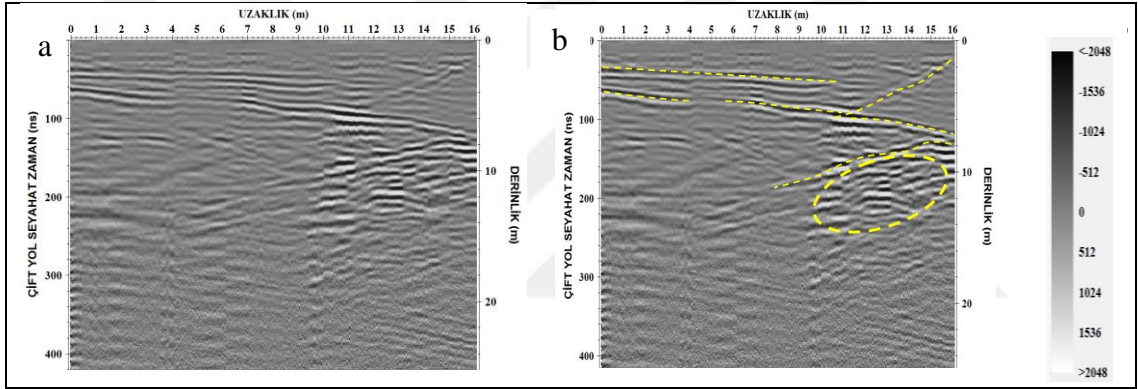
Şekil 2.27'deki basit ve zaman kaydırmalı toplamların genlik (Şekil 2.27a,b) ve f-k spektrumları (Şekil 2.27c,d) görülmektedir. Basit toplamanın genlik spektrumu incelendiğinde 100 MHz'in daha baskın, zaman kaydırmalı toplamanın genlik spektrumuna incelendiğinde ise hem 100 MHz'in hem de 250 MHz'in baskın olduğu görülmektedir. Bu yüzden zaman kaydırmalı toplamanın, basit kaydırmalı toplama işlemine göre yorum kolaylaştırılıp daha kaliteli sonuçlar sunduğu söylenebilir. Şekil 2.27 c'deki basit toplama göre şekil 2.27 d'deki zaman kaydırmalı toplamın f-k spektrumunun ise daha çok güçlendiği görülmektedir.

Çalışma alanı 1 ve çalışma alanı 2 de belirlenen profillerden elde edilen radar kesitleri, kendi alanları içerisinde birbirlerine göre yanal yönde benzer özellikler gösterdiği için birleştirme işlemi her iki alan içinde sadece 1. Profiller için uygulanmıştır. Çalışma alanı 3'te ise 250 MHz lik antenle elde edilen kesitler çok kaliteli görüntü sağlanmadığından bu alandaki profiller için birleştirme işlemi yapılmamıştır.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

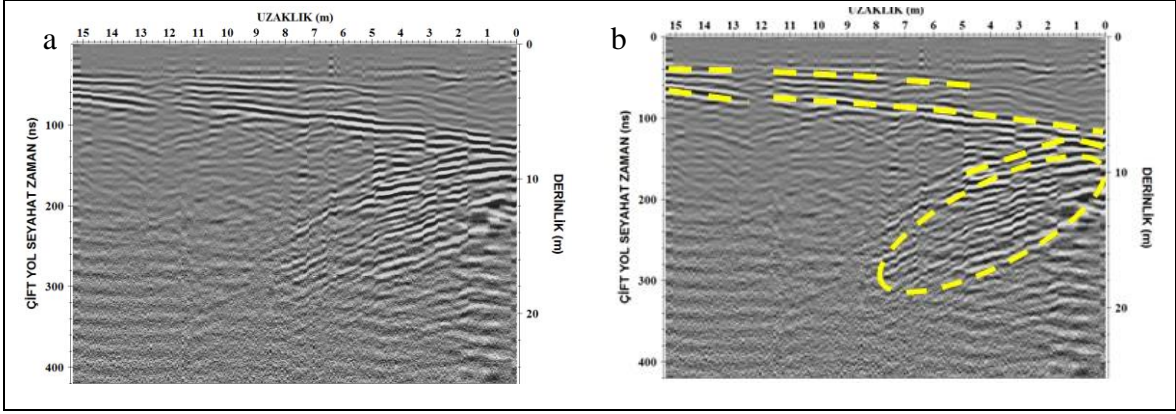
3.1. Çalışma Alanı 1 Sahasından Elde Edilen GPR Verilerinin Yorumlanması

Bu çalışmada toplanan yer radarı verilerine veri işlem adımları uygulanarak yorumlanmaya hazır hale getirilmiştir. Çalışma alanı 1 de elde edilen radargramların geneline bakıldığında 100 MHz korumasız antenle alınan ölçümlerde yaklaşık 20 m derinlikten, 250 MHz korumalı antenle alınan ölçümlerde ise yaklaşık 10 m derinlikten yansımalar alınmıştır.



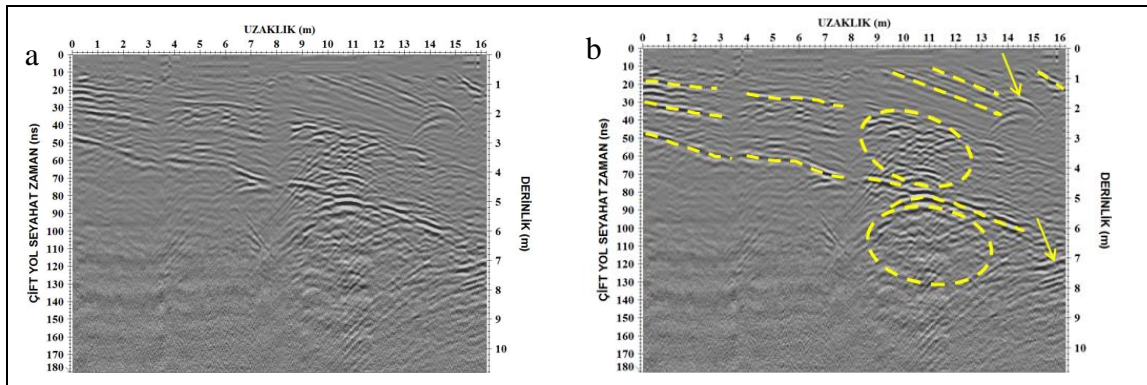
Şekil 3.1. Çalışma alanı 1, 1. profilde 100 MHz'lik antenle XX modunda alınan ölçümden elde edilen radargram (a) ve aynı kesit üzerinde gözlenen belirgin yansımaların gösterimi (b).

Çalışma alanı 1, 1. profilde 100 MHz'lik antenle XX modunda alınan ölçümden elde edilen kesite (Şekil 3.1a) genel olarak bakıldığında, 1.5 m derinliğe kadar herhangi bir yansıtıcı yüzey gözlenmediği için sağlam masif bir yapının varlığı, yaklaşık 1.5-14 m derinlik aralığında farklı yönelimli yansıtıcı birçok yüzey görülmektedir. Bu yüksek genlikli yansıtıcı yüzeylerden soldan sağa doğru eğimli olanların ilki yaklaşık 0-10m uzaklıklarında ve 2-3 m derinlik aralığında diğeri ise, 0-16 m uzaklıklarında ve 4-8 m derinlik aralığındadır. Aynı kesitte sağdan sola doğru eğimli gözlenen yansıtıcı sınırlar; 11-16 m uzaklıkta 1.5-6 m derinlik aralığında ve 7.5-16 m uzaklıklarında 8-11 m derinlik aralığındadır. Ayrıca 10-16 m uzaklıkları aralığında ve 8-14 m derinlik aralığında karmaşık yapı içeren birçok yansıtıcı yüzeyler gözlenmektedir (Şekil 3.1b).



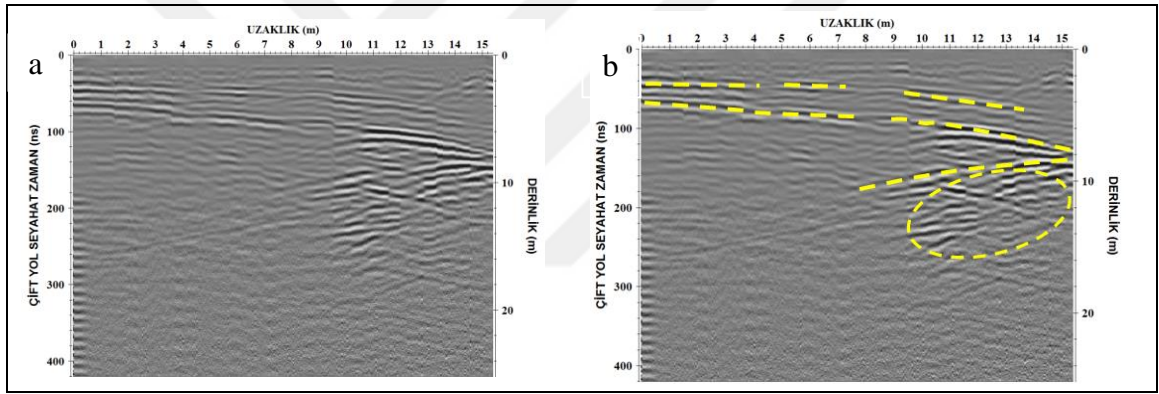
Şekil 3.2. Çalışma alanı 1, 1. profilde 100 MHz'lik antenle YY modunda alınan ölçümden elde edilen radargram (a) ve aynı kesit üzerinde gözlenen belirgin yansımaların gösterimi (b).

Çalışma alanı 1, 1. profilde 100 MHz'lik antenle XX modunda alınan ölçümden elde edilen kesite (Şekil 3.2a) genel olarak bakıldığında; 1.5 m derinliğe kadar herhangi bir yansıtıcı yüzey gözlenmediği için sağlam masif bir yapı, yaklaşık 1.5-18 m derinlik aralığında farklı yönelimli yansıtıcı birçok yüzey görülmektedir. Bu yüksek genlikli yansıtıcı yüzeylerden soldan sağa doğru eğimli olanların ilki yaklaşık 5-15 m uzaklıklarında ve 2-2,5 m derinlik aralığında diğeri ise 0-15.5 m uzaklıklarında ve 4-8 m derinlik aralığındadır. Ayrıca aynı kesitte sağdan sola doğru eğimli 0-5 m uzaklıkta 8-9 m derinlik aralığında gözlenen yansıtıcı bir sınır ve 0-9.5 m uzaklıkları aralığında ve 8-16 m derinlik aralığında karmaşık, iç içe geçmiş bir çok yansıtıcı yüzey gözlenmektedir (Şekil 3.2b).



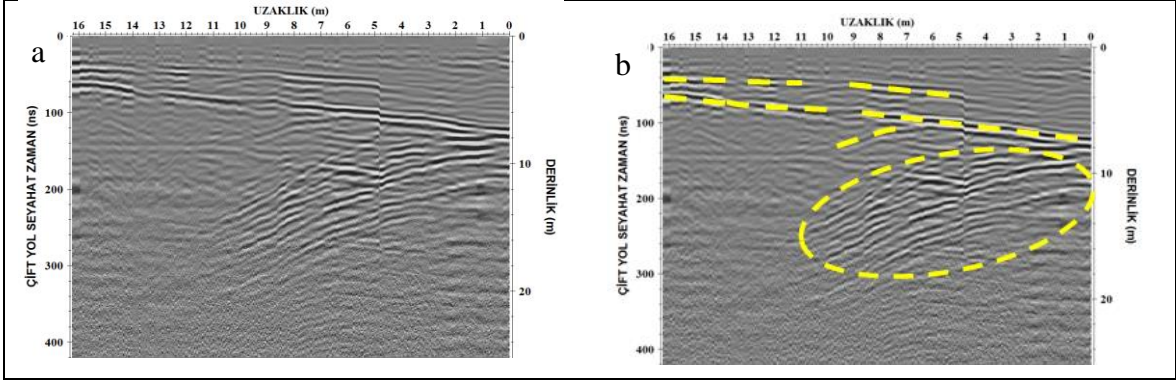
Şekil 3.3. Çalışma alanı 1, 1. profilde 250 MHz'lik antenle alınan ölçümden elde edilen radargram (a) ve aynı kesit üzerinde gözlenen belirgin yansımaların gösterimi (b).

Çalışma alanı 1, 1. profilde 250 MHz'lik antenle alınan ölçümden elde edilen kesitte (Şekil 3.3a) farklı yerlerde çok yüksek genlikli yansıtıcılar dikkat çekmektedir. Bu yansıtıcı yüzeylerin hepsi sağa doğru eğimli olup, 0-7 m uzaklıkları ile 1-2 m derinlik aralığında ve 0-10 m uzaklıkları ile 3-5 m derinlik aralığındaki yansıtıcı yüzeylerde yanal yönde yer yer kesilmeler dikkat çekmektedir. Diğer yansıtıcı yüzeylerin yerleri ise 0-3 m, 9.5-13.5 m, 11-13.5 m ve 15-16 m uzaklıklarında olup derinlikleri sırası ile 2-2.7 m, 0.6-2.2 m, 0.5 m-1.6 m ve 0.5-1.4 m olarak görülmektedir. Ayrıca 13-15 m uzaklıklarında ve 1.5- 2.5 m derinlikte yüksek genlikli hiperbolik saçılmış yansımalar göze çarpmaktadır. Karmaşık görünlü birçok yansımaların yer aldığı kısımlar aynı kesitin 8-12.5 m uzaklıkları ile 2-4.2 m derinlik aralığında ve 8-13 m uzaklıkları ile 5.4-8 m derinlik aralığında görülmektedir (Şekil 3.3b).



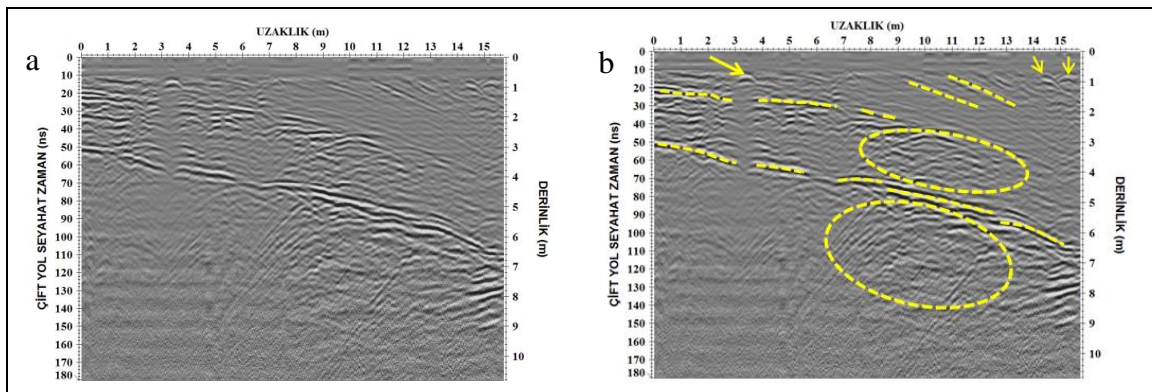
Şekil 3.4. Çalışma alanı 1, 2. profilde 100 MHz'lik antenle XX modunda alınan ölçümden elde edilen radargram (a) ve aynı kesit üzerinde gözlenen belirgin yansımaların gösterimi (b).

Çalışma alanı 1, 2. profilde 100 MHz'lik antenle XX modunda alınan ölçümden elde edilen kesite (Şekil 3.4a) genel olarak bakıldığında, 1.5 m derinliğe kadar herhangi bir yansıtıcı yüzey gözlenmediği için sağlam masif bir yapı ve 2-12 m derinlik aralığında soldan sağa doğru yönelimli 2 farklı yüksek genlikli yansıtıcı sınır olup bu yansıtıcıların yerleri 0-13 m ve 0-16 m uzaklık aralığındadır. Aynı kesitte 9-16 m derinlik aralığında sağdan sola doğru eğimli bir yansıtıcı sınır olup 7.5-15 m uzaklıklarda ve 8-10 m derinlik aralığındadır. Ayrıca 10-15 m uzaklıkları aralığında ve 8-16 m derinlik aralığında karmaşık yapı içeren birçok yansıtıcı yüzeyler gözlenmektedir (Şekil 3.4b).



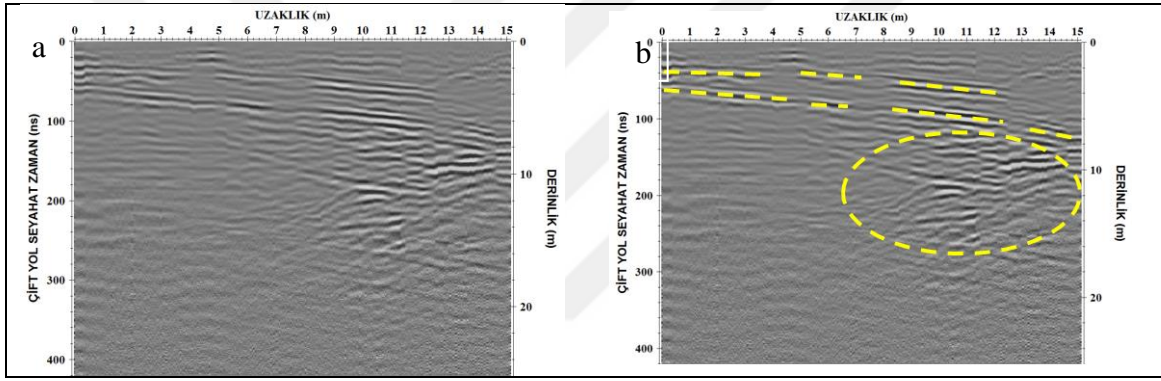
Şekil 3.5. Çalışma alanı 1, 2. profilde 100 MHz'lik antenle YY modunda alınan ölçümden elde edilen radargram (a) ve aynı kesit üzerinde gözlenen belirgin yansımaların gösterimi (b).

Çalışma alanı 1, 2. profilde 100 MHz'lik antenle YY modunda alınan ölçümden elde edilen kesite (Şekil 3.5a) genel olarak bakıldığında, 1.5 m derinliğe kadar herhangi bir yansıtıcı yüzey gözlenmediği için sağlam masif bir yapının varlığı ve yaklaşık 1.5-18 m derinlik aralığında farklı yönelimli yansıtıcı birçok yüzey görülmektedir. Bu yüksek genlikli yansıtıcı yüzeylerden soldan sağa doğru eğimli olanların ilki yaklaşık 3.5-16m uzaklıklarında ve 2-3 m derinlik aralığında diğeri ise 16-0 m uzaklıklarında ve 4-8 m derinlik aralığındadır. Aynı kesitte sağdan sola doğru eğimli gözlenen yansıtıcı sınır ise 10-8 m uzaklıkta 6-8 m derinlik aralığındadır. Ayrıca 11-0 m uzaklıkları aralığında ve 8-18 m derinlik aralığında karmaşık yapı içeren birçok yansıtıcı yüzeyler gözlenmektedir (Şekil 3.5b).



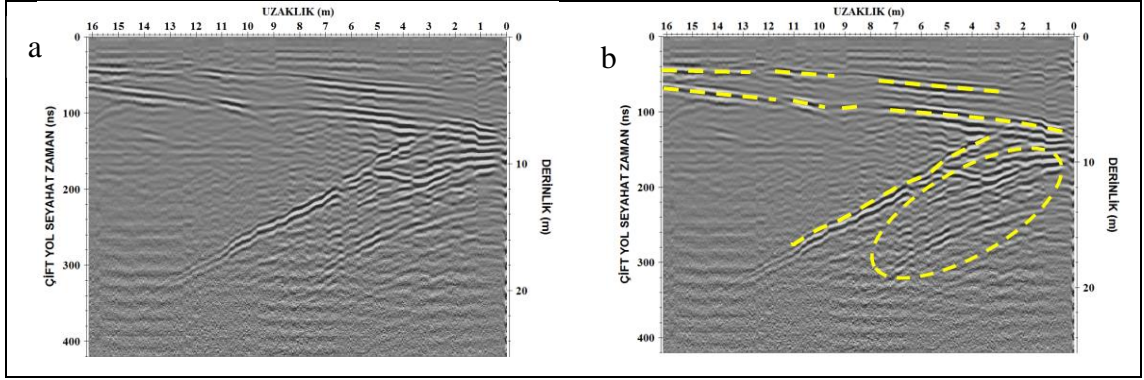
Şekil 3.6. Çalışma alanı 1, 2. profilde 250 MHz'lik antenle alınan ölçümden elde edilen radargram (a) ve aynı kesit üzerinde gözlenen belirgin yansımaların gösterimi (b).

Çalışma alanı 1, 2. profilde 250 MHz'lik antenle alınan ölçümden elde edilen kesitte (Şekil 3.6a) farklı yerlerde çok yüksek genlikli yansıtıcılar dikkat çekmektedir. Bu yansıtıcı yüzeylerin hepsi sağa doğru eğimli olup, 0-9 m uzaklıkları ile 1-2 m derinlik aralığında ve 0-16 m uzaklıkları ile 3-6 m derinlik aralığındaki yansıtıcı yüzeylerde yanıl yönde yer yer kesilmeler dikkat çekmektedir. Diğer yansıtıcı yüzeylerin yerleri ise 9-11.5 m, 11-13.5m uzaklıklarında olup derinlikleri 1-2m aralığındadır. Ayrıca 14-15 m uzaklıkları ile 0.5-1.5 m derinlik aralığında ve 3-4 m uzaklıkları ile 1m derinliğinde yüksek genlikli hiperbolik saçılmış yansımalar göze çarpmaktadır. Karmaşık görünümlü birçok yansımaların yer aldığı kısımlar aynı kesitin 7.5-13 m uzaklıkları ile 2-4.2 m derinlik aralığında ve 7-13 m uzaklıkları ile 5-8 m derinlik aralığında görülmektedir (Şekil 3.6b).



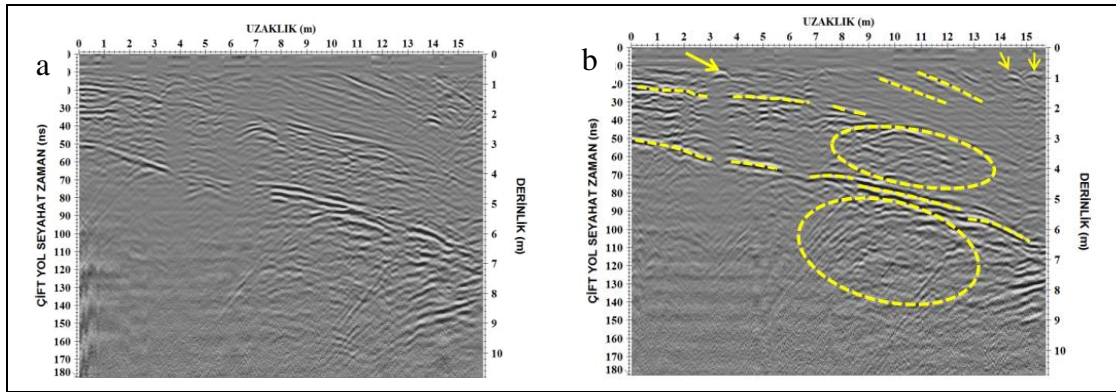
Şekil 3.7. Çalışma alanı 1, 3. profilde 100 MHz'lik antenle XX modunda alınan ölçümden elde edilen radargram (a) ve aynı kesit üzerinde gözlenen belirgin yansımaların gösterimi (b).

Çalışma alanı 1, 3. profilde 100 MHz'lik antenle XX modunda alınan ölçümden elde edilen kesite (Şekil 3.7a) genel olarak bakıldığında, 1.5 m derinliğe kadar herhangi bir yansıtıcı yüzey gözlenmediği için sağlam masif bir yapının varlığı görülmektedir. Yaklaşık 2-8 m derinlik aralığında soldan sağa doğru eğimli yüksek genlikli yansıtıcı yüzeylerden ilki yaklaşık 0-12 m uzaklıklarında ve 2-3 m derinlik aralığında diğeri ise, 0-15 m uzaklıklarında ve 4-8 m derinlik aralığındadır. Aynı kesitte 7-15 m uzaklıkları aralığında ve 8-16 m derinlik aralığında karmaşık yapı içeren birçok yansıtıcı yüzeyler göze çarpmaktadır (Şekil 3.7b).



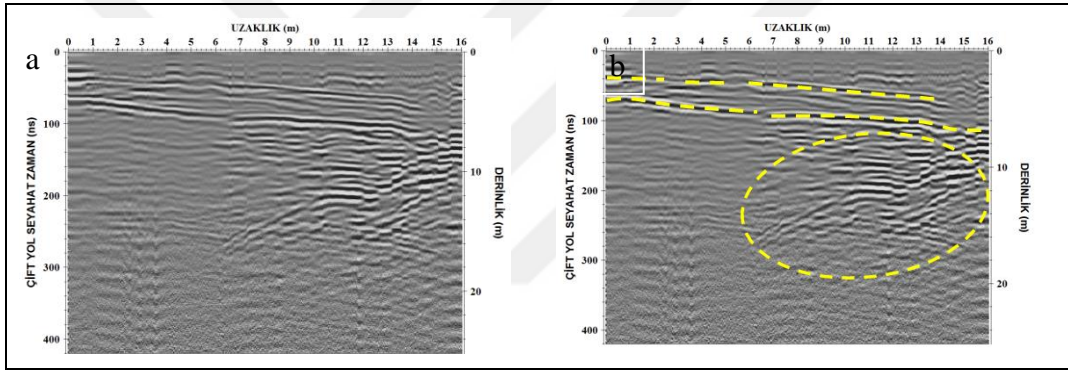
Şekil 3.8. Çalışma alanı 1, 3. profilde 100 MHz'lik antenle YY modunda alınan ölçümden elde edilen radargram (a) ve aynı kesit üzerinde gözlenen belirgin yansımaların gösterimi (b).

Çalışma alanı 1, 3. profilde 100 MHz'lik antenle YY modunda alınan ölçümden elde edilen kesite (Şekil 3.8a) genel olarak bakıldığında, 1.5 m derinliğe kadar herhangi bir yansıtıcı yüzey gözlenmediği için sağlam masif bir yapının varlığı ve yaklaşık 2-19 m derinlik aralığında farklı yönelimli yansıtıcı birçok yüzey görülmektedir. Bu yüksek genlikli yansıtıcı yüzeylerden soldan sağa doğru eğimli olanların ilki yaklaşık 16-3 m uzaklıklarında ve 2-2,5 m derinlik aralığında diğeri ise 16-0 m uzaklıklarında ve 4-8 m derinlik aralığındadır. Ayrıca aynı kesitte sağdan sola doğru eğimli 11-3 m uzaklıkta 8-16 m derinlik aralığında gözlenen yansıtıcı bir sınır ve 0-8 m uzaklıkları aralığında ve 8-18 m derinlik aralığında karmaşık yapı içeren birçok yansıtıcı yüzeyler gözlenmektedir (Şekil 3.8b).



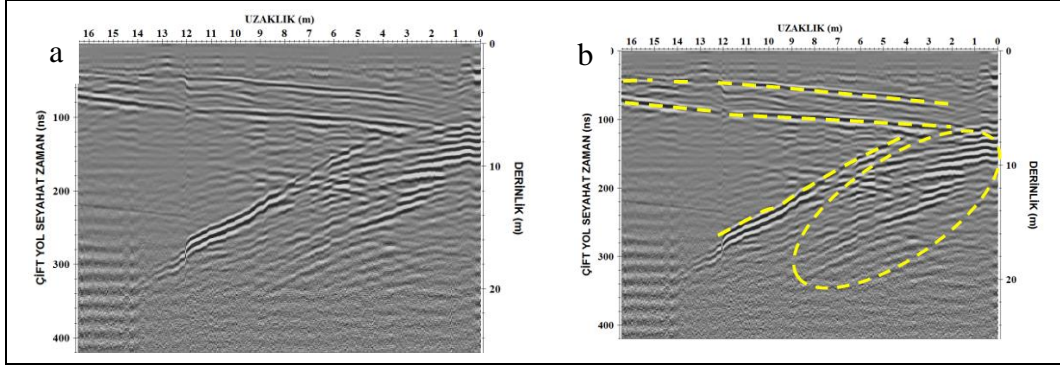
Şekil 3.9. Çalışma alanı 1,3. profilde 250 MHz'lik antenle alınan ölçümden elde edilen radargram (a) ve aynı kesit üzerinde gözlenen belirgin yansımaların gösterimi (b).

Çalışma alanı 1, 3. profilde 250 MHz'lik antenle alınan ölçümden elde edilen kesitte (Şekil 3.9a) farklı yerlerde çok yüksek genlikli yansıtıcılar dikkat çekmektedir. Bu yansıtıcı yüzeylerin hepsi sağa doğru eğimli olup, 0-15 m uzaklıkları ile 1-4 m derinlik aralığında ve 0-15 m uzaklıkları ile 3-6.5 m derinlik aralığındaki yansıtıcı yüzeylerde yanal yönde yer yer kesilmeler göze çarpmaktadır. Diğer yansıtıcı yüzeylerin yerleri ise 8.5-12 m, 10-13m ve 14-15.5 m uzaklıklarında olup derinlikleri yaklaşık olarak 1-2 m aralığındadır. Ayrıca 13-15 m uzaklıklarında ve 2- 3 m derinlikte yüksek genlikli hiperbolik saçılmış yansımalar göze çarpmaktadır. Karmaşık görünümlü bir çok yansımaların yer aldığı kısımlar aynı kesitin 6-15 m uzaklıkları ile 2-5,5 m derinlik aralığında ve 6-16 m uzaklıkları ile 5.4-9.5 m derinlik aralığında dikkat çekmektedir (Şekil 3.9b).



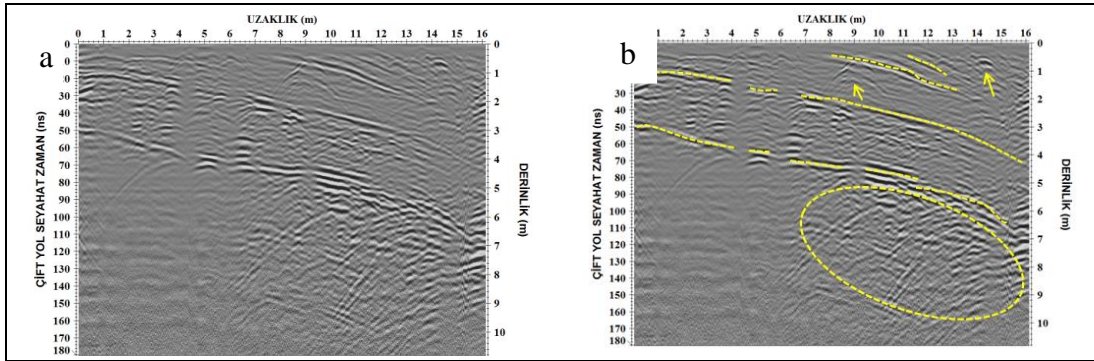
Şekil 3.10. Çalışma alanı 1, 4. profilde 100 MHz'lik antenle XX modunda alınan ölçümden elde edilen radargram (a) ve aynı kesit üzerinde gözlenen belirgin yansımaların gösterimi (b).

Çalışma alanı 1, 4. profilde 100 MHz'lik antenle XX modunda alınan ölçümden elde edilen kesite (Şekil 3.10a) genel olarak bakıldığında, 1.5 m derinliğe kadar herhangi bir yansıtıcı yüzey gözlenmediği için sağlam masif bir yapı, 2-7 m derinlik aralığında soldan sağa doğru eğimli 2 farklı yüksek genlikli yansıtıcı sınır olup bu yansıtıcılardan ilki 0-13 m uzaklıklarında ve 1-2 m derinlik aralığında, diğeri ise 0-16 m uzaklıklarında 4-8 m derinlik aralığında yer almaktadır. Ayrıca 6-16 m uzaklıkları aralığında ve 8-18 m derinlik aralığında karmaşık yapı içeren birçok yansıtıcı yüzeyler gözlenmektedir (Şekil 3.10b).



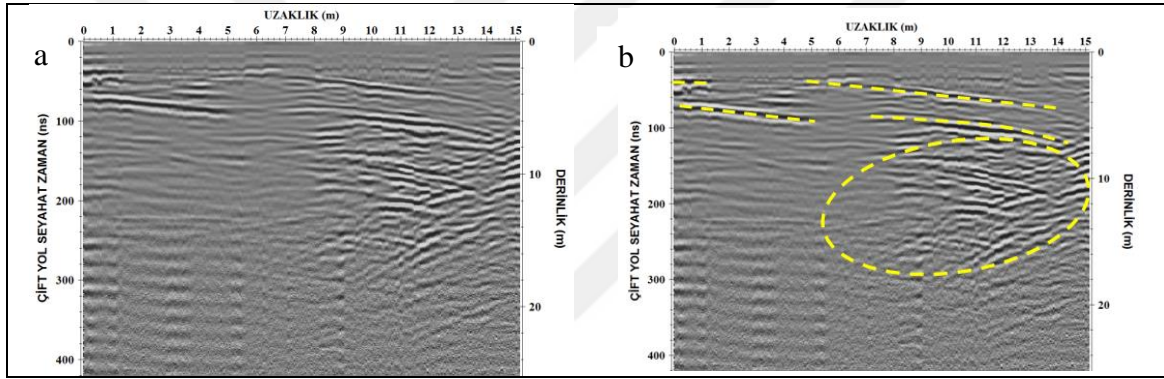
Şekil 3.11. Çalışma alanı 1, 4. profilde 100 MHz'lik antenle YY modunda alınan ölçümden elde edilen radargram (a) ve aynı kesit üzerinde gözlenen belirgin yansımaların gösterimi (b).

Çalışma alanı 1, 4. profilde 100 MHz'lik antenle YY modunda alınan ölçümden elde edilen kesite (Şekil 3.11a) genel olarak bakıldığında; 1.5m derinliğe kadar herhangi bir yansıtıcı yüzey gözlenmediği için sağlam masif bir yapı ve yaklaşık 1.5-17 m derinlik aralığında farklı yönelimli yansıtıcı birçok yüzey görülmektedir. Bu yüksek genlikli yansıtıcı yüzeylerden soldan sağa doğru eğimli olanların ilki yaklaşık 16-2 m uzaklıklarında ve 2-4 m derinlik aralığında diğeri ise 16-2 m uzaklıklarında ve 4-6 m derinlik aralığındadır. Ayrıca aynı kesitte sağdan sola doğru eğimli 12-4 m uzaklıkta 6-16 m derinlik aralığında gözlenen yansıtıcı bir sınır ve 0-8 m uzaklıkları aralığında ve 7-18 m derinlik aralığında karmaşık yapı içeren birçok yansıtıcı yüzeyler gözlenmektedir (Şekil 3.11b).



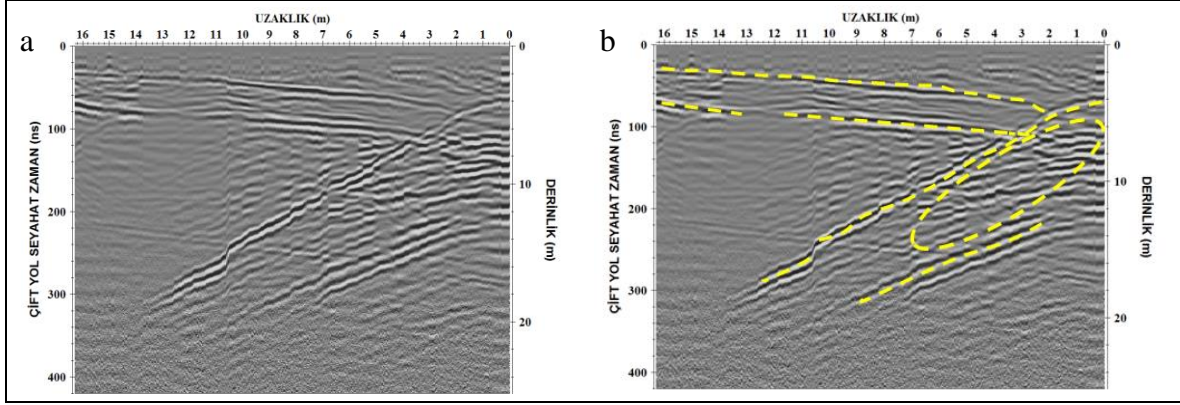
Şekil 3.12. Çalışma alanı 1,4. profilde 250 MHz'lik antenle alınan ölçümden elde edilen radargram (a) ve aynı kesit üzerinde gözlenen belirgin yansımaların gösterimi (b).

Çalışma alanı 1, 4. profilde 250 MHz'lik antenle alınan ölçümden elde edilen kesitte (Şekil 3.12a) farklı yerlerde çok yüksek genlikli yansıtıcılar dikkat çekmektedir. Bu yansıtıcı yüzeylerin hepsi sağa doğru eğimli olup, 0-16 m uzaklıkları ile 1-4 m derinlik aralığında ve 0-16 m uzaklıkları ile 3-6 m derinlik aralığındaki yansıtıcı yüzeylerde yanıl yönde yer yer kesilmeler dikkat çekmektedir. Diğer yansıtıcı yüzeylerin yerleri ise 8-13 m, 11-12 m uzaklıklarında olup derinlikleri 0.5-1.5 m aralığındadır. Ayrıca 13-16 m uzaklıkları ile 0.5- 1 m derinlik aralığı ve 8-10 m uzaklıkları ile 1-2 m derinlik aralığında yüksek genlikli hiperbolik saçılmış yansımalar göze çarpmaktadır. Karmaşık görünlü birçok yansımaların yer aldığı kısımlar ise aynı kesitin 7-16 m uzaklıkları ile 5-9.5 m derinlik aralığındadır (Şekil 3.12b).



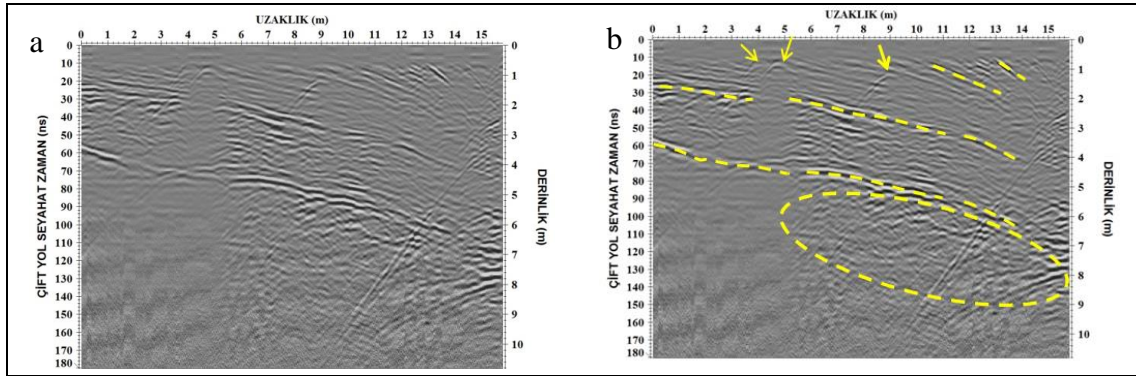
Şekil 3.13. Çalışma alanı 1, 5. profilde 100 MHz'lik antenle XX modunda alınan ölçümden elde edilen radargram (a) ve aynı kesit üzerinde gözlenen belirgin yansımaların gösterimi (b).

Çalışma alanı 1, 5. profilde 100 MHz'lik antenle XX modunda alınan ölçümden elde edilen kesite (Şekil 3.13a) genel olarak bakıldığında, 1.5 m derinliğe kadar herhangi bir yansıtıcı yüzey gözlenmediği için sağlam masif bir yapının varlığı, yaklaşık 2-8 m derinlik aralığında soldan sağa doğru eğimli, yer yer kesilmelere uğramış yüksek genlikli yansıtıcı yüzeylerden ilki yaklaşık 0-15 m uzaklıklarında ve 2-3.5 m derinlik aralığında diğeri ise 0-14.5 m uzaklıklarında ve 4-7 m derinlik aralığındadır. Aynı kesitte 7-15 m uzaklıkları aralığında ve 8-18 m derinlik aralığında karmaşık yapı içeren birçok yansıtıcı yüzeyler gözlenmektedir (Şekil 3.13b).



Şekil 3.14. Çalışma alanı 1, 5. profilde 100 MHz'lik antenle YY modunda alınan ölçümden elde edilen radargram (a) ve aynı kesit üzerinde gözlenen belirgin yansımaların gösterimi (b).

Çalışma alanı 1, 5. profilde 100 MHz'lik antenle YY modunda alınan ölçümden elde edilen kesite (Şekil 3.14a) genel olarak bakıldığında, 1.5 m derinliğe kadar herhangi bir yansıtıcı yüzey gözlenmediği için sağlam masif bir yapının varlığı ve yaklaşık 1.5-18 m derinlik aralığında farklı yönelimli yansıtıcı birçok yüzey görülmektedir. Bu yüksek genlikli yansıtıcı yüzeylerden soldan sağa doğru eğimli olanların ilki yaklaşık 16-2 m uzaklıklarında ve 2-4 m derinlik aralığında diğeri ise arar ara kesilmelere uğramış olup 16-3 m uzaklıklarında ve 4-6 m derinlik aralığındadır. Aynı kesitte sağdan sola doğru eğimli gözlenen yansıtıcı sınırlarda ilki 13-0 m uzaklıklarında ve 4-16 m derinlik aralığında, diğeri ise 2-10 m uzaklıklarında olup derinliği 12-18 m aralığındadır. Ayrıca 7-0 m uzaklıkları aralığında ve 6-12 m derinlik aralığında karmaşık yapı içeren birçok yansıtıcı yüzeyler gözlenmektedir (Şekil 3.14b).

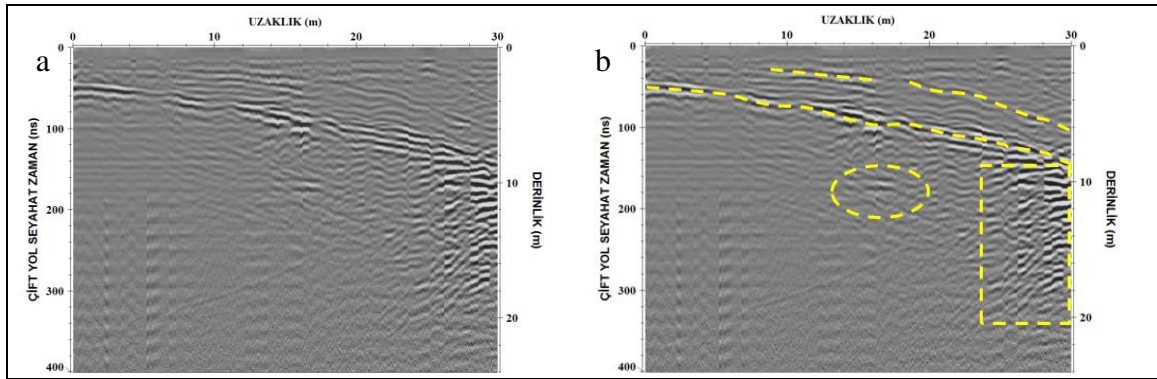


Şekil 3.15. Çalışma alanı 1, 5. profilde 250 MHz'lik antenle alınan ölçümden elde edilen radargram(a) ve aynı kesit üzerinde gözlenen belirgin yansımaların gösterimi (b).

Çalışma alanı 1, 5. profilde 250 MHz'lik antenle alınan ölçümden elde edilen kesitte (Şekil 3.15a) farklı yerlerde çok yüksek genlikli yansıtıcılar dikkat çekmektedir. Bu yansıtıcı yüzeylerin hepsi sağa doğru eğimli olup, 0-14 m uzaklıkları ile 1-2 m derinlik aralığında ve 0-14 m uzaklıkları ile 3.5-6.5m derinlik aralığındaki yansıtıcı yüzeylerde yanal yönde yer yer kesilmeler dikkat çekmektedir. Diğer yansıtıcı yüzeylerin yerleri ise 10-13 m ve 13-14 m uzaklıklarında olup derinlikleri sırası ile 0.7-1.5m ve 0.7-2 m aralıklarındadır. Ayrıca tepe noktaları 3-5 m uzaklıkları aralığında yaklaşık 0.5m derinlikte iki adet ve 7.5-9.5m uzaklıkları aralığında yaklaşık 1 m derinlikte 1 adet yüksek genlikli hiperbolik saçılmış yansımalar göze çarpmaktadır. Karmaşık görünümlü birçok yansımaların yer aldığı kısımlar aynı kesitin 5-15 m uzaklıkları ile 5-9 m derinlik aralığında gözlenmektedir (Şekil 3.15b).

3.2. Çalışma Alanı 2 Sahasından Elde Edilen GPR Verilerinin Yorumlanması

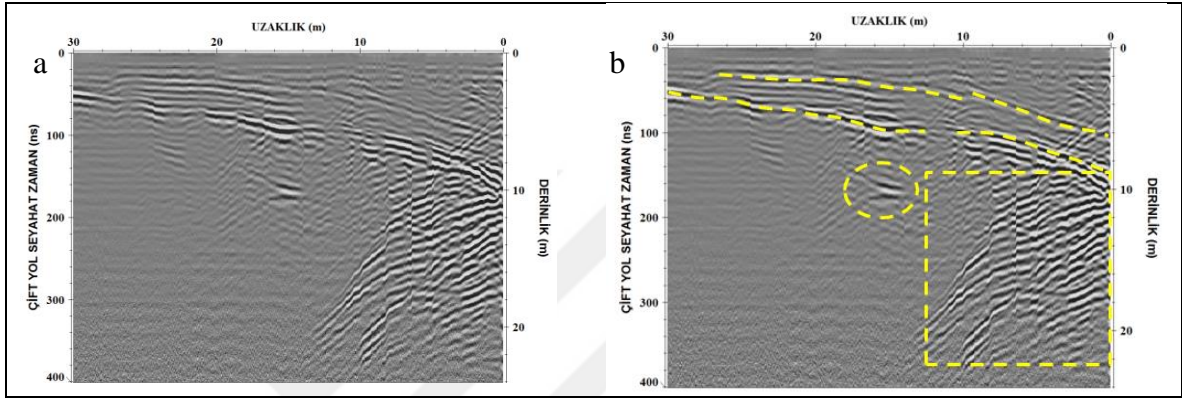
Çalışma alanı 2 de elde edilen radargramların geneline bakıldığında 100 MHz korumasız antenle alınan ölçümlerde yaklaşık 25 m derinlikten, 250 MHz korumalı antenle alınan ölçümlerde ise, yaklaşık 12 m derinlikten yansımalar alınmıştır.



Şekil 3.16. Çalışma alanı 2, 1. profilde 100 MHz'lik antenle XX modunda alınan ölçümden elde edilen radargram (a) ve aynı kesit üzerinde gözlenen belirgin yansımaların gösterimi (b).

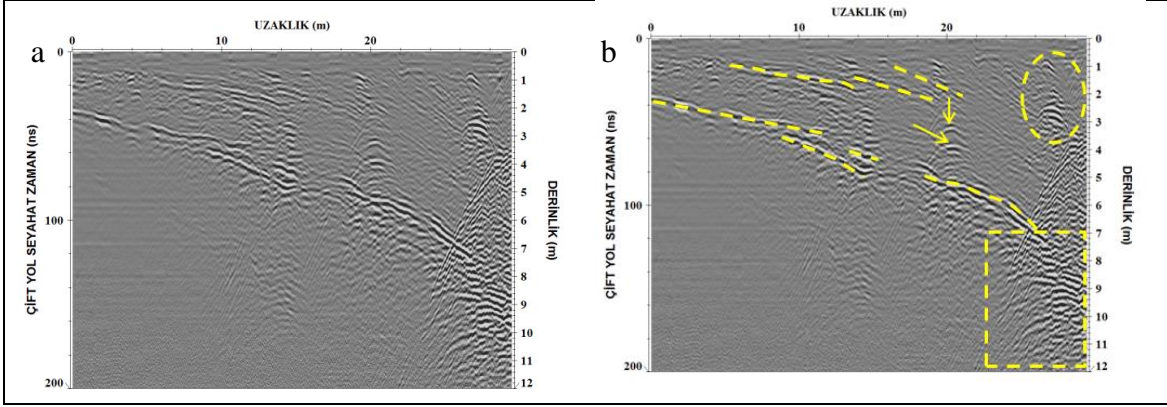
Çalışma alanı 2, 1. profilde 100 MHz'lik antenle XX modunda alınan ölçümden elde edilen kesite (Şekil 3.16a) genel olarak bakıldığında, 1 m derinliğe kadar herhangi bir yansıtıcı yüzey gözlenmediği için sağlam masif bir yapı ve yaklaşık 1-9 m derinlik aralığında soldan sağa doğru yönelimli yansıtıcı 3 yüzey görülmektedir. Bu yüksek genlikli

yansıtıcı yüzeylerden birincisi yaklaşık 9-16 uzaklıklarında ve 2-3 m derinlik aralığında, ikincisi 18-30 m uzaklıklarında ve 3.6-6 m derinlik aralığında üçüncüsü ise 0-30 m uzaklıklarında ve 4-9 m derinlik aralığındadır. Aynı kesitte 13-18 m uzaklıklarında ve 10 m derinliğinde yansıtıcı bir yüzey dikkat çekmektedir. Ayrıca 26-30 m uzaklıkları aralığında ve 9-20 m derinlik aralığında karmaşık yapı içeren birçok yansıtıcı yüzeyler gözlenmektedir (Şekil 3.16b).



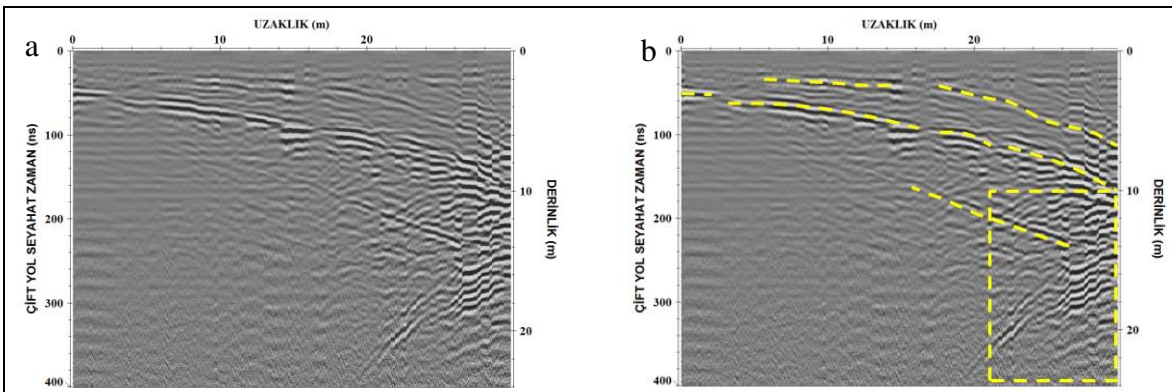
Şekil 3.17. Çalışma alanı 2, 1. profilde 100 MHz'lik antenle YY modunda alınan ölçümden elde edilen radargram (a) ve aynı kesit üzerinde gözlenen belirgin yansımaların gösterimi (b).

Çalışma alanı 2, 1. profilde 100 MHz'lik antenle YY modunda alınan ölçümden elde edilen kesite (Şekil 3.17a) genel olarak bakıldığında, 1 m derinliğe kadar herhangi bir yansıtıcı yüzey gözlenmediği için sağlam masif bir yapı ve yaklaşık 1-9 m derinlik aralığında soldan sağa doğru yönelimli, yer yer kesilmelere uğramış 2 yansıtıcı yüzey görülmektedir. Bu yüksek genlikli yansıtıcı yüzeylerden ilki yaklaşık 27-0 uzaklıklarında ve 2-6 m derinlik aralığında, ikincisi 30-0 m uzaklıklarında ve 3-9 m derinlik aralığında üçüncüsü ise 0-30 m uzaklıklarında ve 4-9 m derinlik aralığındadır. Aynı kesitte 18-13 m uzaklıklarında ve 10 m derinliğinde yansıtıcı bir yüzey dikkat çekmektedir. Ayrıca 14-0 m uzaklıkları aralığında ve 9-22 m derinlik aralığında karmaşık yapı içeren birçok yansıtıcı yüzeyler gözlenmektedir (Şekil 3.17b).



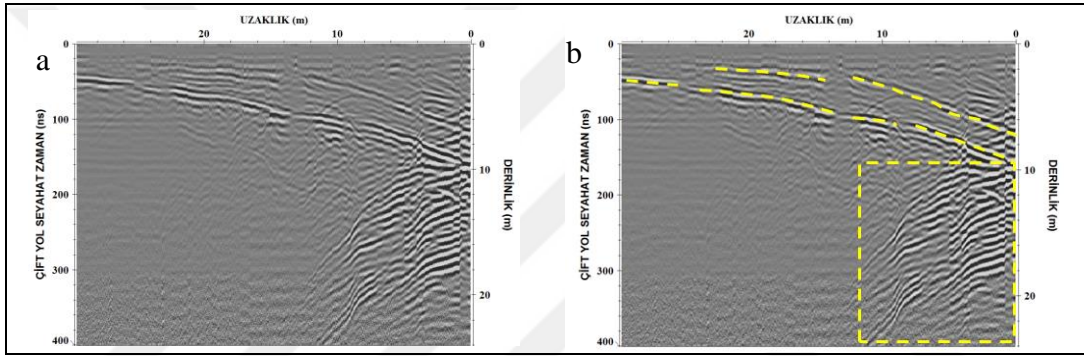
Şekil 3.18. Çalışma alanı 2,1. profilde 250 MHz'lik antenle alınan ölçümden elde edilen radargram (a) ve aynı kesit üzerinde gözlenen belirgin yansımaların gösterimi (b).

Çalışma alanı 2, 1.profilde 250 MHz'lik antenle alınan ölçümden elde edilen kesitte (Şekil 3.18a) farklı yerlerde çok yüksek genlikli yansıtıcılar dikkat çekmektedir. Bu yansıtıcı yüzeylerin hepsi sağa doğru eğimli olup, 0-26 m uzaklıklarında ve 2.5-7 m derinlik aralığındaki yansıtıcı yüzeyde yanal yönde yer yer kesilmeler dikkat çekmektedir. Diğer yansıtıcı yüzeylerin yerleri ise 4.5-14 m, 13.5-19.5 m ve 16-20 m uzaklıklarında olup derinlikleri sırası ile 1-2 m, 1.5-2 m ve 1-2 aralıklarındadır. Ayrıca tepe noktaları 20 m uzaklığında yaklaşık 3 m ve 4 m derinlikte iki adet yüksek genlikli hiperbolik saçılmış yansımalar göze çarpmaktadır. Karmaşık görünümlü birçok yansımaların yer aldığı kısımlar aynı kesitin 26-28 m uzaklıkları ile 0.5-3.5 m derinlik aralığında ve 23-30 m uzaklıkları ile 7-12 m derinlik aralıklarında gözlenmektedir (Şekil 3.18b).



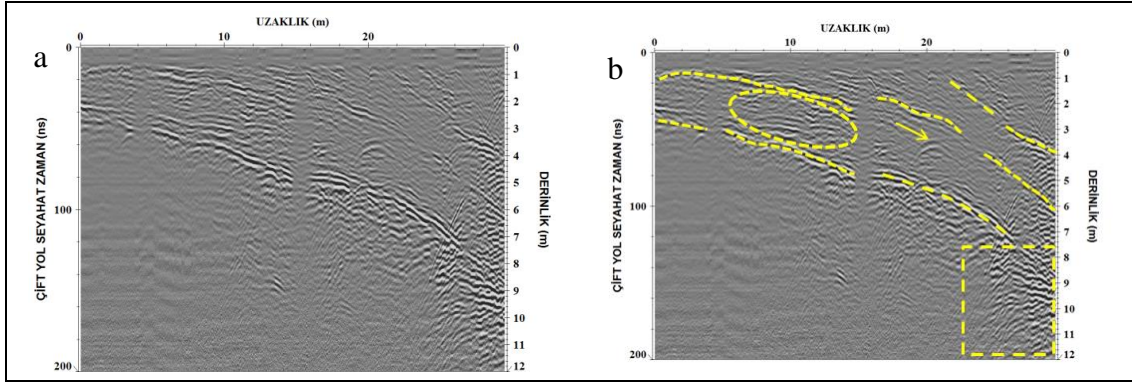
Şekil 3.19. Çalışma alanı 2, 2. profilde 100 MHz'lik antenle XX modunda alınan ölçümden elde edilen radargram (a) ve aynı kesit üzerinde gözlenen belirgin yansımaların gösterimi (b).

Çalışma alanı 2, 2. Profilde 100 MHz'lik antenle XX modunda alınan ölçümden elde edilen kesite (Şekil 3.19a) genel olarak bakıldığında, 1 m derinliğe kadar herhangi bir yansıtıcı yüzey gözlenmediği için sağlam masif bir yapı ve yaklaşık 1-14 m derinlik aralığında soldan sağa doğru yönelimli olup, yer yer kesilmelere uğramış 3 farklı yansıtıcı yüzey görülmektedir. Bu yüksek genlikli yansıtıcı yüzeylerden ilki yaklaşık 6-30 m uzaklıklarında ve 2-7 m derinlik aralığında, ikincisi 0-30 m uzaklıklarında ve 3-10 m derinlik aralığında üçüncüsü ise 15-27 m uzaklıklarında ve 10-15 m derinlik aralığındadır. Aynı kesitte 20-30 uzaklıkları ile 10-24 m derinlik aralıklarında karmaşık yapı içeren birçok yansıtıcı yüzeyler dikkat çekmektedir (Şekil 3.19b).



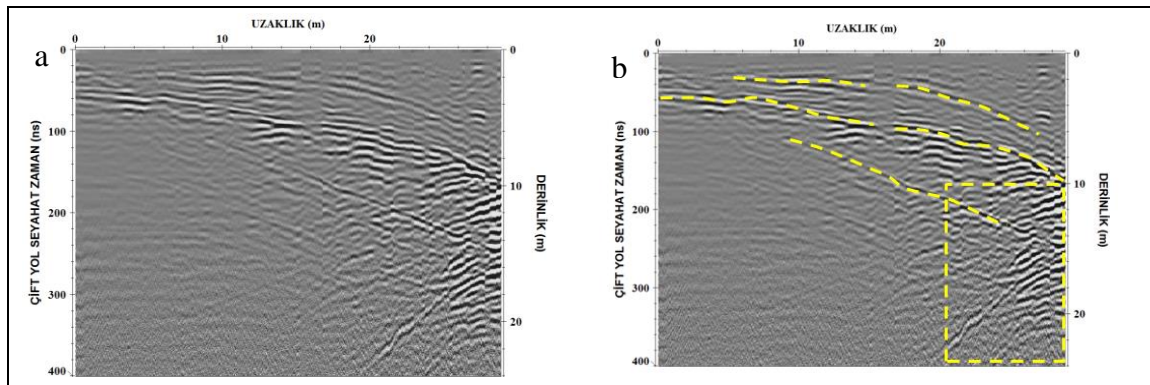
Şekil 3.20. Çalışma alanı 2, 2. profilde 100 MHz'lik antenle YY modunda alınan ölçümden elde edilen radargram (a) ve aynı kesit üzerinde gözlenen belirgin yansımaların gösterimi (b).

Çalışma alanı 2, 2. profilde 100 MHz'lik antenle YY modunda alınan ölçümden elde edilen kesite (Şekil 3.20a) genel olarak bakıldığında, 1 m derinliğe kadar herhangi bir yansıtıcı yüzey gözlenmediği için sağlam masif bir yapı ve yaklaşık 1-9 m derinlik aralığında soldan sağa doğru yönelimli, yer yer kesilmelere uğramış 2 yansıtıcı sınır görülmektedir. Bu yüksek genlikli yansıtıcı yüzeylerden ilki yaklaşık 23-0 m uzaklıklarında ve 2-7 m derinlik aralığında, ikincisi ise 30-0 m uzaklıklarında ve 3-9.5m derinlik aralığındadır. Ayrıca 12-0 m uzaklıkları aralığında ve 9-22 m derinlik aralığında karmaşık yapı içeren birçok yansıtıcı yüzeyler gözlenmektedir (Şekil 3.20b).



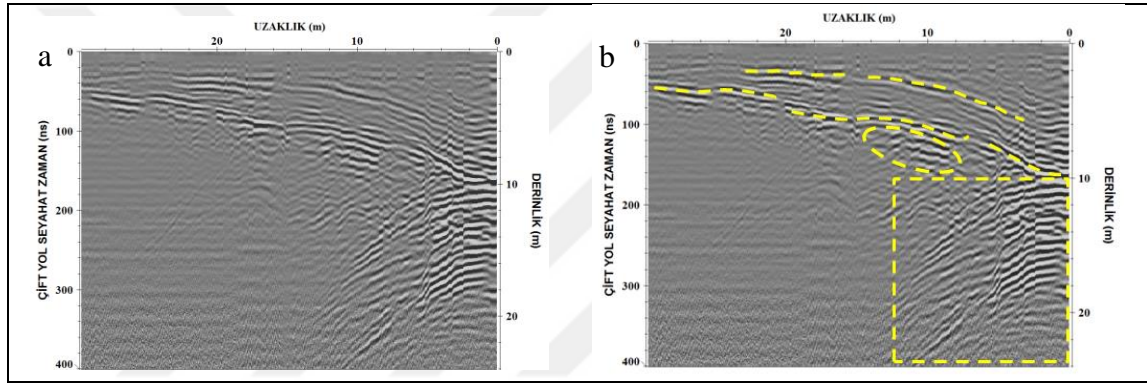
Şekil 3.21. Çalışma alanı 2, 2. profilde 250 MHz’lik antenle alınan ölçümden elde edilen radargram (a) ve aynı kesit üzerinde gözlenen belirgin yansımaların gösterimi (b).

Çalışma alanı 2, 2. profilde 250 MHz’lik antenle alınan ölçümden elde edilen kesitte (Şekil 3.21a) farklı yerlerde çok yüksek genlikli yansıtıcılar dikkat çekmektedir. Bu yansıtıcı yüzeylerin hepsi sağa doğru eğimli olup, 0-26 m uzaklıklarında ve 2.5-7.5 m derinlik aralığındaki yansıtıcı yüzeyde yanal yönde yer yer kesilmeler dikkat çekmektedir. Diğer yansıtıcı yüzeylerin yerleri ise 0-14 m, 16-22 m, 24-30 m, 21-25m ve 26-30 m uzaklıklarında olup derinlikleri sırası ile 1-2 m, 1.5-3.5 m , 4-6 m, 1-2.5m ve 3-4 m aralıklarındadır. Ayrıca tepe noktası 20 m uzaklığında yaklaşık 3-4 m derinlik aralığında yüksek genlikli hiperbolik saçılmış yansıma göze çarpmaktadır. Karmaşık görümlü birçok yansımanın yer aldığı kısımlar aynı kesitin 6-14 m uzaklıkları ile 1.5-4 m derinlik aralığında ve 23-30 m uzaklıkları ile 7.5-12 m derinlik aralıklarında gözlenmektedir (Şekil 3.21b).



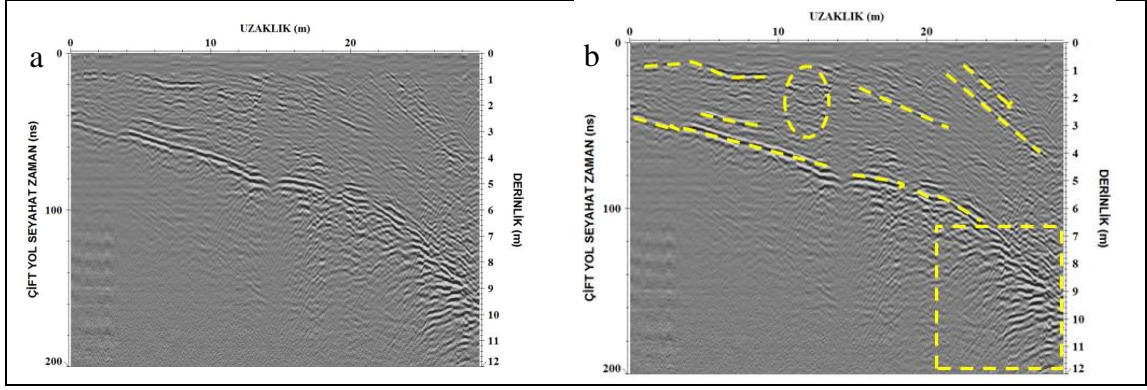
Şekil 3.22. Çalışma alanı 2, 3. profilde 100 MHz’lik antenle XX modunda alınan ölçümden elde edilen radargram (a) ve aynı kesit üzerinde gözlenen belirgin yansımaların gösterimi (b).

Çalışma alanı 2, 3. profilde 100 MHz'lik antenle XX modunda alınan ölçümden elde edilen kesite (Şekil 3.22a) genel olarak bakıldığında, 1 m derinliğe kadar herhangi bir yansıtıcı yüzey gözlenmediği için sağlam masif bir yapı ve yaklaşık 1-14 m derinlik aralığında soldan sağa doğru yönelimli olup, yer yer kesilmelere uğramış 3 farklı yansıtıcı yüzey görülmektedir. Bu yüksek genlikli yansıtıcı yüzeylerden ilki yaklaşık 5-28 m uzaklıklarında ve 2-7 m derinlik aralığında, ikincisi 0-30 m uzaklıklarında ve 3.5-10 m derinlik aralığında, sonuncusu ise 9-24 m uzaklıklarında ve 7-14 m derinlik aralığındadırlar. Aynı kesitte 20-30 m uzaklıkları ile 10-24 m derinlik aralıklarında karmaşık yapı içeren birçok yansıtıcı yüzeyler dikkat çekmektedir (Şekil 3.22b).



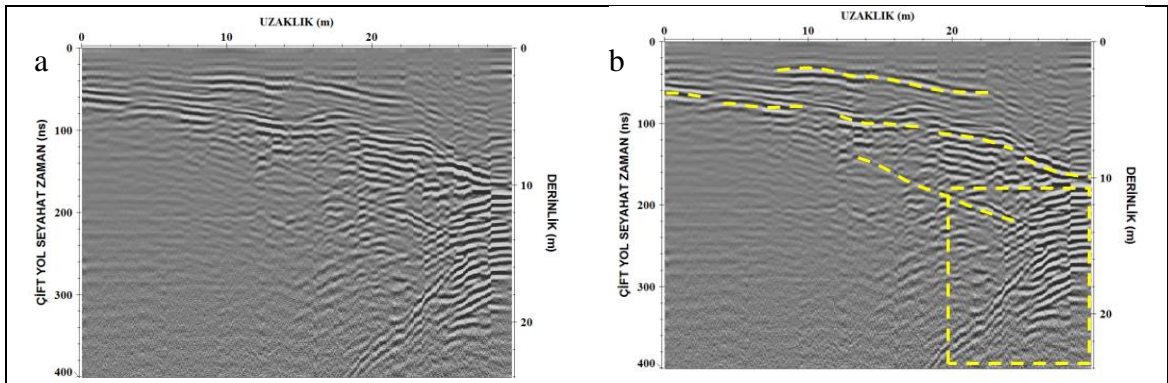
Şekil 3.23. Çalışma alanı 2, 3. profilde 100 MHz'lik antenle YY modunda alınan ölçümden elde edilen radargram (a) ve aynı kesit üzerinde gözlenen belirgin yansımaların gösterimi (b).

Çalışma alanı 2, 3. profilde 100 MHz'lik antenle YY modunda alınan ölçümden elde edilen kesite (Şekil 3.23a) genel olarak bakıldığında, 1 m derinliğe kadar herhangi bir yansıtıcı yüzey gözlenmediği için sağlam masif bir yapı ve yaklaşık 1-10 m derinlik aralığında soldan sağa doğru yönelimli olup, yer yer kesilmelere uğramış 2 farklı yansıtıcı yüzey görülmektedir. Bu yüksek genlikli yansıtıcı yüzeylerden ilki yaklaşık 23-4 m uzaklıklarında ve 2-6 m derinlik aralığında, diğeri ise 30-0 m uzaklıklarında ve 3.5-10 m derinlik aralığındadır. Aynı kesitte 12-0 m uzaklıkları ile 10-24 m derinlik aralıklarında ve yaklaşık 14-8 m uzaklıkları ile 7-10 m derinlik aralıklarında karmaşık iç içe geçmiş birçok yansıtıcı yüzeyler dikkat çekmektedir (Şekil 3.23b).



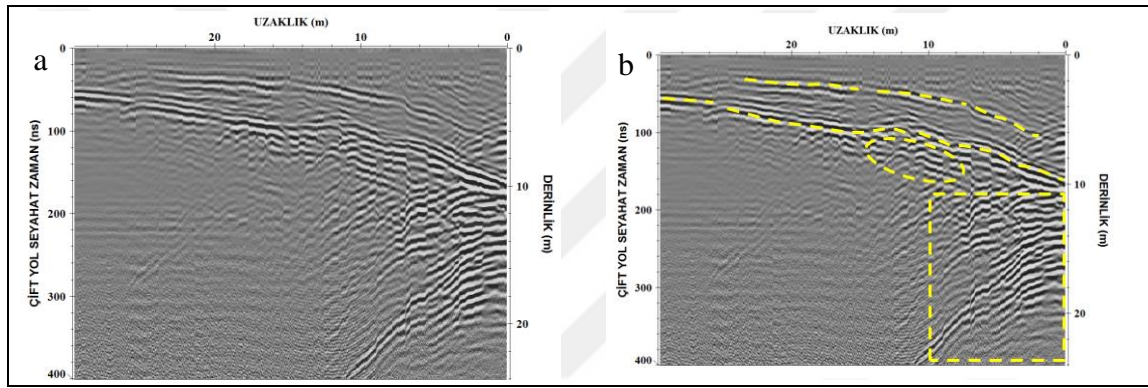
Şekil 3.24. Çalışma alanı 2, 3. profilde 250 MHz'lik antenle alınan ölçümden elde edilen radargram (a) ve aynı kesit üzerinde gözlenen belirgin yansımaların gösterimi (b).

Çalışma alanı 2, 3. profilde 250 MHz'lik antenle alınan ölçümden elde edilen kesitte (Şekil 3.24a) farklı yerlerde çok yüksek genlikli yansıtıcılar dikkat çekmektedir. Bu yansıtıcı yüzeylerin hepsi sağa doğru eğimli olup, 0-24 m uzaklıklarında ve 2.5-6.5 m derinlik aralığındaki yansıtıcı yüzeyde yanal yönde yer yer kesilmeler dikkat çekmektedir. Diğer yansıtıcı yüzeylerin yerleri ise 0-10 m, 15-21 m, 21-28 m, 22-26 m ve 4-8 m uzaklıklarında olup derinlikleri sırası ile 0.5-1 m, 1.5-3 m, 1-4 m, 1-2.5m ve 2.5-3 m aralıklarındadır. Ayrıca, karmaşık görünümlü birçok yansımaların yer aldığı kısımlar aynı kesitin 11-13 m uzaklıkları ile 1-3.5 m derinlik aralığında ve 20-30 m uzaklıkları ile 6.5-12 m derinlik aralıklarında gözlenmektedir (Şekil 3.24b).



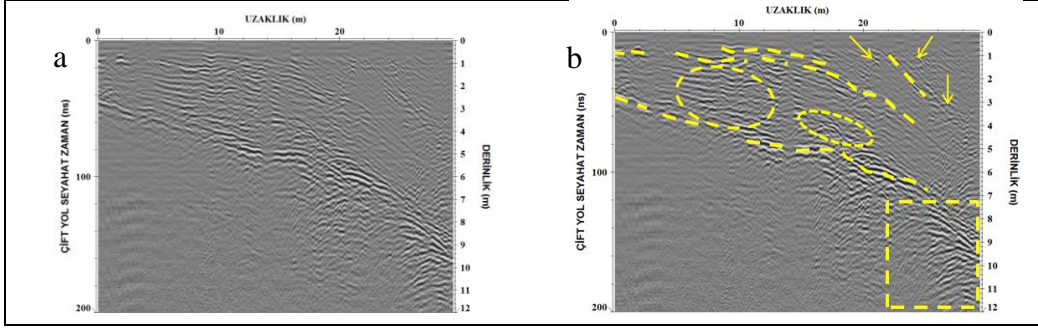
Şekil 3.25. Çalışma alanı 2, 4. profilde 100 MHz'lik antenle XX modunda alınan ölçümden elde edilen radargram (a) ve aynı kesit üzerinde gözlenen belirgin yansımaların gösterimi (b).

Çalışma alanı 2, 4. profilde 100 MHz'lik antenle XX modunda alınan ölçümden elde edilen kesite (Şekil 3.25a) genel olarak bakıldığında; 1 m derinliğe kadar herhangi yansıtıcı yüzey gözlenmediği için sağlam masif bir yapı ve yaklaşık 1-14 m derinlik aralığında soldan sağa doğru yönelimli olup, yer yer kesilmelere uğramış 3 farklı yansıtıcı yüzey görülmektedir. Bu yüksek genlikli yansıtıcı yüzeylerden ilki yaklaşık 8-22 m uzaklıklarında ve 2-4 m derinlik aralığında, ikincisi 0-30 m uzaklıklarında ve 3.5-10 m derinlik aralığında, sonuncusu ise 13-25 m uzaklıklarında ve 7.5-14 m derinlik aralığındadır. Aynı kesitte 20-30 m uzaklıkları ile 10-24 m derinlik aralıklarında karmaşık yapı içeren birçok yansıtıcı yüzeyler dikkat çekmektedir (Şekil 3.25b).



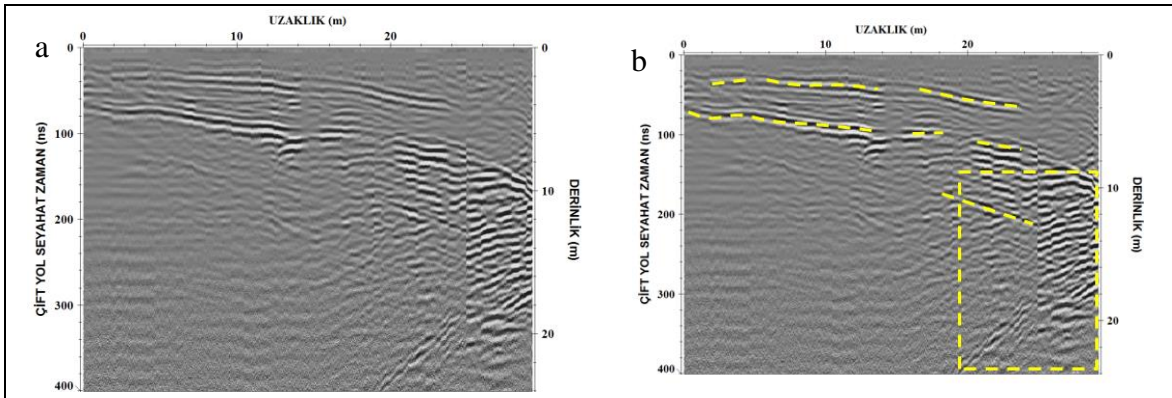
Şekil 3.26. Çalışma alanı 2, 4. profilde 100 MHz'lik antenle YY modunda alınan ölçümden elde edilen radargram (a) ve aynı kesit üzerinde gözlenen belirgin yansımaların gösterimi (b).

Çalışma alanı 2, 4. profilde 100 MHz'lik antenle YY modunda alınan ölçümden elde edilen kesite (Şekil 3.26a) genel olarak bakıldığında; 1 m derinliğe kadar herhangi bir yansıtıcı yüzey gözlenmediği için sağlam masif bir yapı ve yaklaşık 1-10 m derinlik aralığında soldan sağa doğru yönelimli olup, yer yer kesilmelere uğramış 2 farklı yansıtıcı yüzey görülmektedir. Bu yüksek genlikli yansıtıcı yüzeylerden ilki yaklaşık 23.5-2 m uzaklıklarında ve 2-6 m derinlik aralığında, diğeri ise 30-0 m uzaklıklarında ve 3.5-10 m derinlik aralığındadırlar. Aynı kesitte 10-0 m uzaklıkları ile 10-24 m derinlik aralıklarında ve yaklaşık 14-8 m uzaklıkları ile 7-10 m derinlik aralıklarında karmaşık yapı içeren birçok yansıtıcı yüzeyler dikkat çekmektedir (Şekil 3.26b).



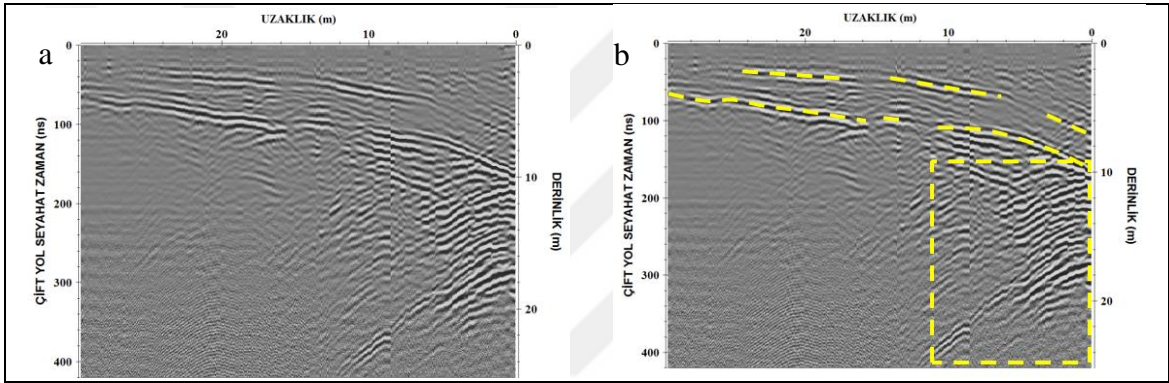
Şekil 3.27. Çalışma alanı 2, 4. profilde 250 MHz'lik antenle alınan ölçümden elde edilen radargram (a) ve aynı kesit üzerinde gözlenen belirgin yansımaların gösterimi (b).

Çalışma alanı 2, 4. profilde 250 MHz'lik antenle alınan ölçümden elde edilen kesitte (Şekil 3.27a) farklı yerlerde çok yüksek genlikli yansıtıcılar dikkat çekmektedir. Bu yansıtıcı yüzeylerin hepsi sağa doğru eğimli olup, 0-24 m uzaklıkları ile 2.5- 6.5 m derinlik aralığında ve 0-26 m uzaklıkları ile 3-7 m derinlik aralığındaki yansıtıcı yüzeylerde yanal yönde yer yer kesilmeler dikkat çekmektedir. Aynı kesitin 22-26 m uzaklıklarında ve 1-3 m derinlik aralığında başka bir yansıtıcı yüzey daha gözlenmektedir. Ayrıca, karmaşık görünümlü birçok yansımanın yer aldığı kısımlar sırası ile, kesitin 5-11 m uzaklıklarında ve 1.5-4 m derinlik aralığında; 15-20 m uzaklıklarında ve 3.5-5 m derinlik aralığında; 21-30 m uzaklıklarında ve 7.5-12 m derinlik aralığındadır. Kesite son olarak bakıldığında ise üç tane hiperbolik yansıma göze çarpmaktadır. Bu hiperbolik yansımaların tepe noktalarının yerleri 21, 24, 27 m uzaklıklarında olup derinlikleri ise sırasıyla 1.3, 1, 3 m derinlik aralıklarındadır. (Şekil 3.27b).



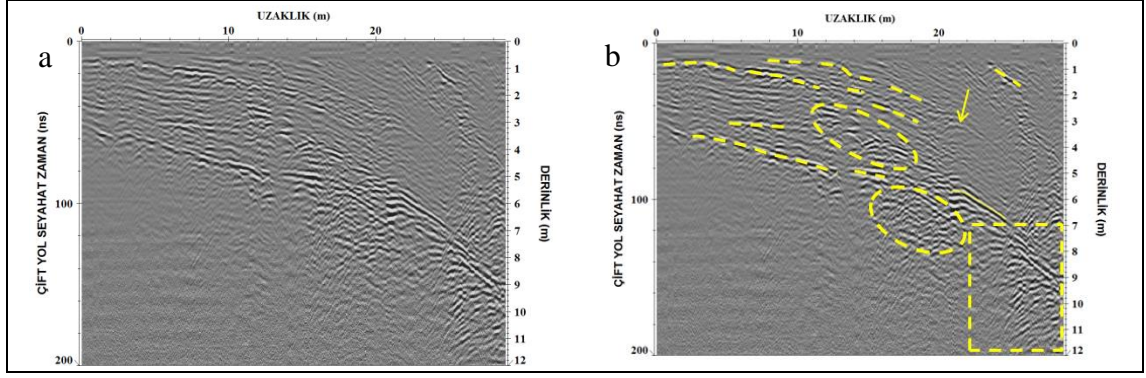
Şekil 3.28. Çalışma alanı 2, 5. profilde 100 MHz'lik antenle XX modunda alınan ölçümden elde edilen radargram (a) ve aynı kesit üzerinde gözlenen belirgin yansımaların gösterimi (b).

Çalışma alanı 2, 5. profilde 100 MHz'lik antenle XX modunda alınan ölçümden elde edilen kesite (Şekil 3.28a) genel olarak bakıldığında, 1 m derinliğe kadar herhangi bir yansıtıcı yüzey gözlenmediği için sağlam masif bir yapının varlığı ve yaklaşık 1-8 m derinlik aralığında soldan sağa doğru yönelimli olup, yer yer kesilmelere uğramış 3 farklı yansıtıcı yüzey görülmektedir. Bu yüksek genlikli yansıtıcı yüzeylerden ilki yaklaşık 2-24m uzaklıklarında ve 2-4 m derinlik aralığında, ikincisi 0-24 m uzaklıklarında ve 4-6,5 m derinlik aralığında, sonuncusu ise 18-25 m uzaklıklarında ve 10-13 m derinlik aralığındadır. Aynı kesitte 20-30 m uzaklıkları ile 10-24 m derinlik aralıklarında karmaşık yapı içeren birçok yansıtıcı yüzeyler dikkat çekmektedir (Şekil 3.28b).



Şekil 3.29. Çalışma alanı 2, 5. profilde 100 MHz'lik antenle YY modunda alınan ölçümden elde edilen radargram (a) ve aynı kesit üzerinde gözlenen belirgin yansımaların gösterimi (b).

Çalışma alanı 2, 5. profilde 100 MHz'lik antenle YY modunda alınan ölçümden elde edilen kesite (Şekil 3.29a) genel olarak bakıldığında, 1 m derinliğe kadar herhangi bir yansıtıcı yüzey olmadığı için sağlam masif bir yapı ve yaklaşık 1-10 m derinlik aralığında soldan sağa doğru yönelimli olup, yer yer kesilmelere uğramış 2 farklı yansıtıcı yüzey görülmektedir. Bu yüksek genlikli yansıtıcı yüzeylerden ilki yaklaşık 24-0 m uzaklıklarında ve 2-7 m derinlik aralığında, diğeri ise 30-0 m uzaklıklarında ve 3.5-10 m derinlik aralığındadır. Aynı kesitte 10-0 m uzaklıkları ile 10-24 m derinlik aralıklarında karmaşık yapı içeren birçok yansıtıcı yüzeyler dikkat çekmektedir (Şekil 3.29b).

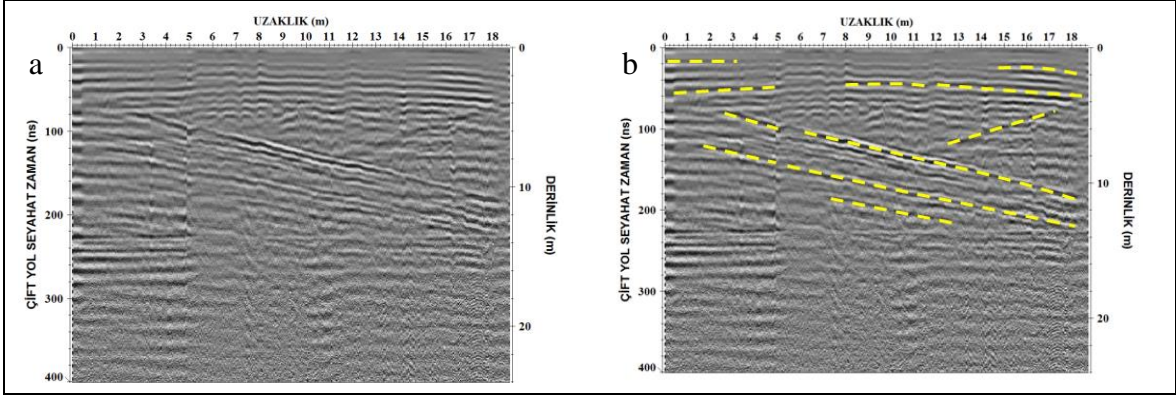


Şekil 3.30. Çalışma alanı 2, 5. profilde 250 MHz'lik antenle alınan ölçümden elde edilen radargram (a) ve aynı kesit üzerinde gözlenen belirgin yansımaların gösterimi (b).

Çalışma alanı 2, 5. profilde 250 MHz'lik antenle alınan ölçümden elde edilen kesitte (Şekil 3.30a) farklı yerlerde çok yüksek genlikli yansıtıcılar dikkat çekmektedir. Bu yansıtıcı yüzeylerin hepsi sağa doğru eğimli olup, 0-19 m uzaklıkları ile 1-3 m derinlik aralığındaki ve 0-16 m uzaklıkları ile 4-5.5 m derinlik aralığındaki yansıtıcı yüzeylerde yanal yönde yer yer kesilmeler dikkat çekmektedir. Diğer yansıtıcı yüzeylerin yerleri ise 8-18 m, 23-26 m ve 5-9 m uzaklıklarında olup derinlikleri sırası ile 0.5-2 m, 1-2 m ve 3-3.5 m aralıklarındadır. Ayrıca tepe noktası 21 m uzaklığında yaklaşık 3-4 m derinlik aralığında yüksek genlikli hiperbolik saçılmış yansıma göze çarpmaktadır. Karmaşık görümlü birçok yansımanın yer aldığı kısımlar aynı kesitin; 10-18 m uzaklıkları ile 2-5 m derinlik aralığında, 15-22 m uzaklıkları ile 6-8 m derinlik aralığında ve 21-30 m uzaklıkları ile 7-12 m derinlik aralığında gözlenmektedir (Şekil 3.30b).

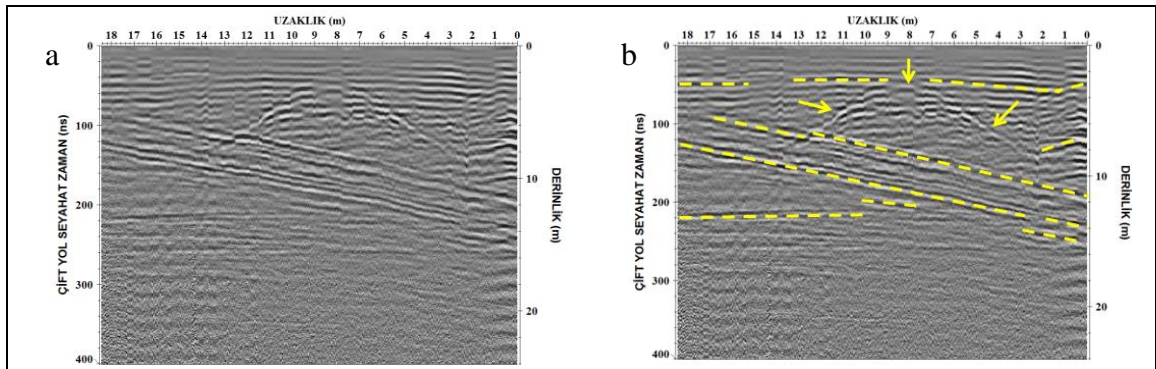
3.3. Çalışma Alanı 3 Sahasından Elde Edilen GPR Verilerinin Yorumlanması

Çalışma alanı 1'de elde edilen radargramların geneline bakıldığında 100 MHz korumasız antenle alınan ölçümlerde yaklaşık 21 m derinlikten, 250 MHz korumalı antenle alınan ölçümlerde ise yaklaşık 2 m derinlikten yansımalar alınmıştır.



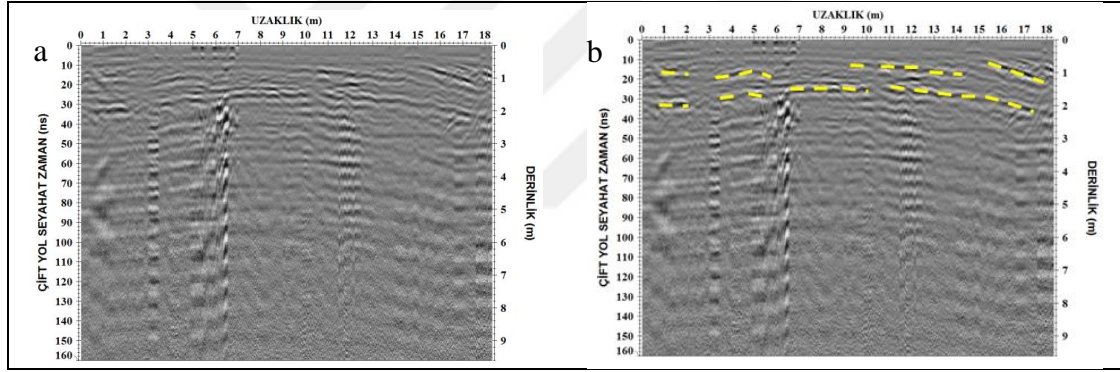
Şekil 3.31. Çalışma alanı 3, 1. profilde 100 MHz'lik antenle XX modunda alınan ölçümden elde edilen radargram (a) ve aynı kesit üzerinde gözlenen belirgin yansımaların gösterimi (b).

Çalışma alanı 3, 1. profilde 100 MHz'lik antenle XX modunda alınan ölçümden elde edilen kesite (Şekil 3.31a) genel olarak bakıldığında, 1m derinliğe kadar herhangi bir yansıtıcı yüzey gözlenmediği için sağlam masif bir yapı, yaklaşık 1-16 m derinlik aralığında farklı yönelimli yansıtıcı birçok yüzey görülmektedir. Bu yüksek genlikli yansıtıcı yüzeylerden soldan sağa doğru eğimli olanların ilki yaklaşık 2.5-18,5 m uzaklıklarında ve 5-11 m derinlik aralığında, bir diğeri 1.5-18,5 m uzaklıklarında ve 8-13 m derinlik aralığında, sonuncusu ise 7-12,5 m uzaklıklarında ve 11,5-12,5 m derinlik aralığındadır. Aynı kesitte sağdan sola doğru eğimli gözlenen yansıtıcı sınırlar; 12-18 m uzaklıkta 4-6 m derinlik aralığında ve 0-5 m uzaklıkta 2-2,5 m derinlik aralığındadır. Ayrıca 0-3 m, 15-18 m ve 8-18,5 m uzaklıkları aralığında ve sırasıyla 1 m, 2m ve 4m derinliklerinde yatay yansıtıcı yüzeyler gözlenmektedir (Şekil 3.31b).



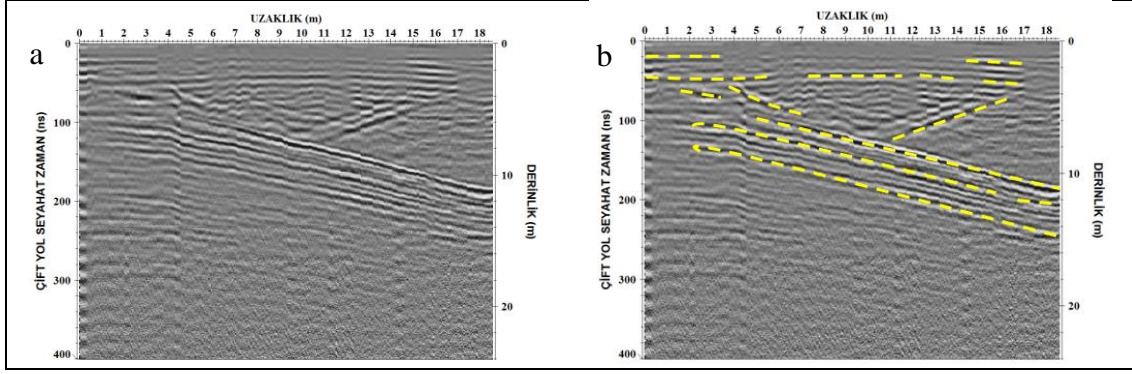
Şekil 3.32. Çalışma alanı 3, 1. profilde 100 MHz'lik antenle YY modunda alınan ölçümden elde edilen radargram (a) ve aynı kesit üzerinde gözlenen belirgin yansımaların gösterimi (b).

Çalışma alanı 3, 1. profilde 100 MHz'lik antenle YY modunda alınan ölçümden elde edilen kesite (Şekil 3.32a) genel olarak bakıldığında, 1 m derinliğe kadar herhangi bir yansıtıcı yüzey gözlenmediği için sağlam masif bir yapı, yaklaşık 1-16 m derinlik aralığında farklı yönelimli yansıtıcı birçok yüzey görülmektedir. Bu yüksek genlikli yansıtıcı yüzeylerden soldan sağa doğru eğimli olanların ilki yaklaşık 17-0 m uzaklıklarında ve 6-12 m derinlik aralığında, bir diğeri 18-0 m uzaklıklarında ve 8-14 m derinlik aralığındadır. Aynı kesitte sağdan sola doğru eğimli gözlenen yansıtıcı sınırlar; 18-10 m uzaklıkta 13-14 m derinlik aralığında ve 2-0 m uzaklıkta 8.5-9 m derinlik aralığındadır. Ayrıca 18-0 m uzaklıkları ve yaklaşık 3 m derinlikte yer yer kesintiye uğramış yatay bir yansıtıcı yüzey gözlenmektedir. Son olarak kesite bakıldığında 12-3 m uzaklıklarında ve 3-8 m derinlik aralığında yüksek genlikli hiperbolik bir saçılma dikkat çekmektedir (Şekil 3.32b).



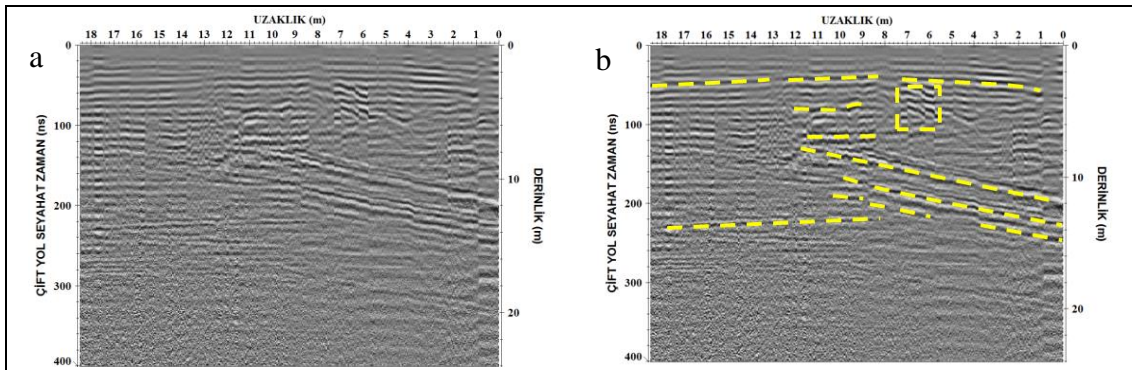
Şekil 3.33. Çalışma alanı 3, 1. profilde 250 MHz'lik antenle alınan ölçümden elde edilen radargram (a) ve aynı kesit üzerinde gözlenen belirgin yansımaların gösterimi (b).

Çalışma alanı 3, 1. profilde 250 MHz'lik antenle alınan ölçümden elde edilen kesitte (Şekil 3.33a) farklı yerlerde çok yüksek genlikli yansıtıcılar dikkat çekmektedir. Bu yansıtıcı yüzeylerin tümü yaklaşık yanal yönde olup, 0-18 m uzaklıklarında ve 2 m derinliğindeki yansıtıcı yüzeyde yer yer kesilmeler gözlenmektedir. Aynı kesitte, 1-2 m, 3-6 m, 9-14m ve 15-18 m uzaklıklarında ve 1 m derinliğinde diğer yüksek genlikli yansıtıcı yüzeyler dikkat çekmektedir (Şekil 3.33b).



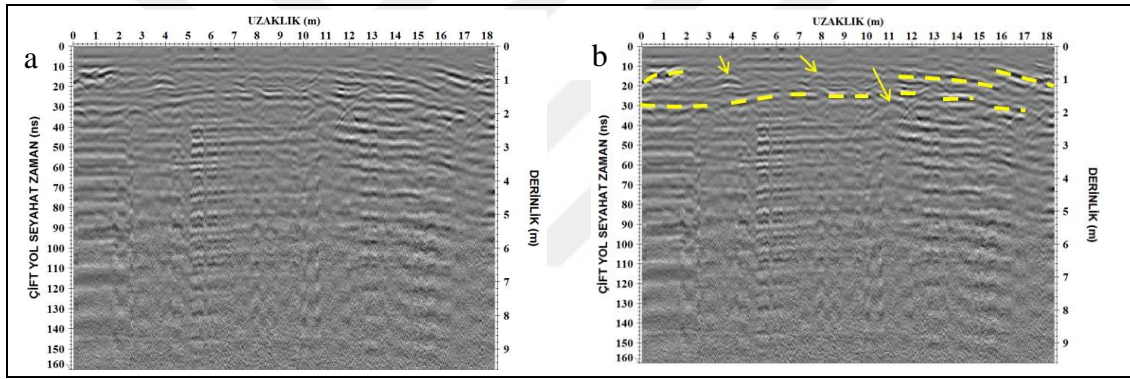
Şekil 3.34. Çalışma alanı 3, 2. profilde 100 MHz'lik antenle XX modunda alınan ölçümden elde edilen radargram (a) ve aynı kesit üzerinde gözlenen belirgin yansımaların gösterimi (b).

Çalışma alanı 3, 2. profilde 100 MHz'lik antenle XX modunda alınan ölçümden elde edilen kesite (Şekil 3.34a) genel olarak bakıldığında; 1 m derinliğe kadar herhangi bir yansıtıcı yüzey gözlenmediği için sağlam masif bir yapı, yaklaşık 1-16 m derinlik aralığında farklı yönelimli yansıtıcı birçok yüzey görülmektedir. Bu yüksek genlikli yansıtıcı yüzeylerden soldan sağa doğru eğimli olanların ilki yaklaşık 5-18,5 m uzaklıklarında ve 5-11 m derinlik aralığında, bir diğeri 2-18,5 m uzaklıklarında ve 6-12 m derinlik aralığında, sonuncusu ise 2-18,5 m uzaklıklarında ve 10-12,5 m derinlik aralığındadır. Aynı kesitte sağdan sola doğru eğimli gözlenen yansıtıcı sınır; 11-17 m uzaklıkta 4-8 m derinlik aralığındadır. Ayrıca 0-3 m, 14,5-17 m ve yatay yönde yer yer kesilmeler gösteren 0-17 m uzaklıkları aralığında; derinlikleri ise sırasıyla 1 m, 2m ve 4m olan yatay yansıtıcı yüzeyler gözlenmektedir (Şekil 3.34b).



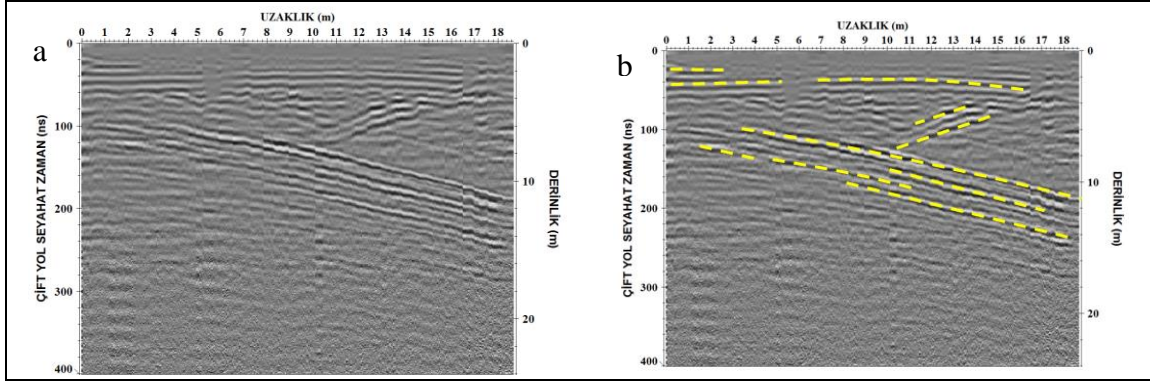
Şekil 3.35. Çalışma alanı 3, 2. profilde 100 MHz'lik antenle YY modunda alınan ölçümden elde edilen radargram (a) ve aynı kesit üzerinde gözlenen belirgin yansımaların gösterimi (b).

Çalışma alanı 3, 2. profilde 100 MHz'lik antenle YY modunda alınan ölçümden elde edilen kesite (Şekil 3.35a) genel olarak bakıldığında, 1 m derinliğe kadar herhangi bir yansıtıcı yüzey gözlenmediği için sağlam masif bir yapı, yaklaşık 1-16 m derinlik aralığında farklı yönelimli yansıtıcı birçok yüzey görülmektedir. Bu yüksek genlikli yansıtıcı yüzeylerden soldan sağa doğru eğimli olanların ilki yaklaşık 12-0 m uzaklıklarında ve 8-12 m derinlik aralığında, diğeri ise 11-0 m uzaklıklarında ve 11-15 m derinlik aralığındadır. Aynı kesitte sağdan sola doğru eğimli gözlenen yansıtıcı sınır ise 9-18 m uzaklıklarında ve 13-14 m derinlik aralığındadır. Ayrıca 18.5-3 m uzaklıkları ile yaklaşık 3 m derinliğinde yer yer kesintiye uğramış yatay yansıtıcı yüzeyler gözlenmektedir. Son olarak kesite bakıldığında 7-6 m uzaklıklarda ve 3-6 m derinlik aralığında iç içe geçmiş yansıtıcı yüzeyler göze çarpmaktadır (Şekil 3.35b).



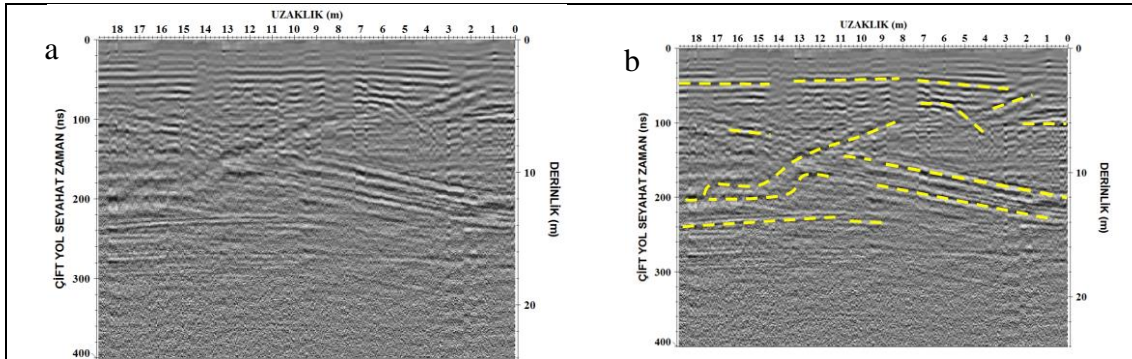
Şekil 3.36. Çalışma alanı 3, 2. profilde 250 MHz'lik antenle alınan ölçümden elde edilen radargram (a) ve aynı kesit üzerinde gözlenen belirgin yansımaların gösterimi (b).

Çalışma alanı 3, 2. profilde 250 MHz'lik antenle alınan ölçümden elde edilen kesitte (Şekil 3.36a) farklı yerlerde çok yüksek genlikli yansıtıcılar dikkat çekmektedir. Bu yansıtıcı yüzeylerin tümü yaklaşık yanal yönde olup, 0-18 m uzaklıklarında ve 2 m derinliğindeki yansıtıcı yüzeyde yer yer kesilmeler gözlenmektedir. Aynı kesitte, yaklaşık 0-2 m, 11-15 m ve 15.5-18 m uzaklıklarında ve 1 m derinliğinde diğer yüksek genlikli yansıtıcı yüzeyler dikkat çekmektedir. Ayrıca, aynı kesite bakıldığında üç tane hiperbolik yansıma göze çarpmaktadır. Bu hiperbolik yansımaların tepe noktalarının yerleri 4, 8, 11 m uzaklıklarında olup derinlikleri ise sırasıyla 1, 1, 1.5 m'dir (Şekil 3.36b).



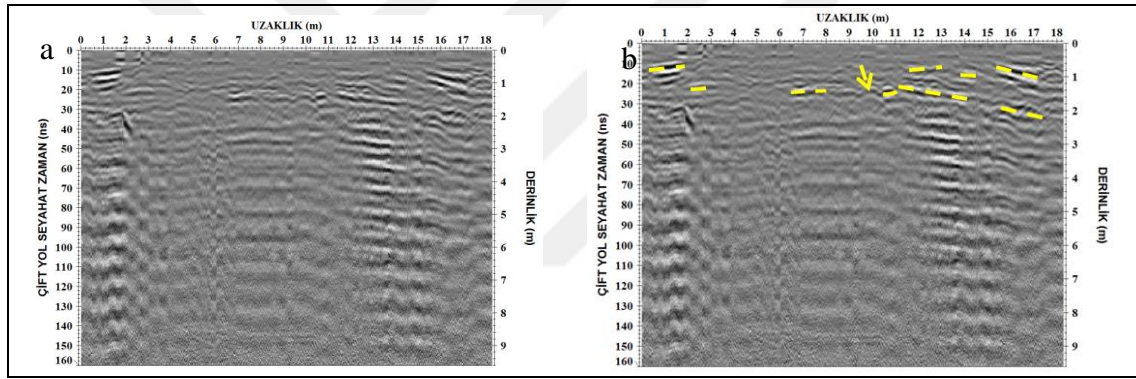
Şekil 3.37. Çalışma alanı 3, 3. profilde 100 MHz’lik antenle XX modunda alınan ölçümden elde edilen radargram (a) ve aynı kesit üzerinde gözlenen belirgin yansımaların gösterimi (b).

Çalışma alanı 3, 3.profilde 100 MHz’lik antenle XX modunda alınan ölçümden elde edilen kesite (Şekil 3.37a) genel olarak bakıldığında, 1 m derinliğe kadar herhangi bir yansıtıcı yüzey gözlenmediği için sağlam masif bir yapı, yaklaşık 1-14 m derinlik aralığında farklı yönelimli yansıtıcı birçok yüzey görülmektedir. Bu yüksek genlikli yansıtıcı yüzeylerden soldan sağa doğru eğimli olanların yerleri 3.5-18,5m, 10-17.5m, 1-11m ve 8-18m uzaklıklarında, derinlikleri ise sırasıyla 6-11m, 10-11m, 9-11m ve 10-14m aralığındadır. Aynı kesitte sağdan sola doğru eğimli gözlenen yansıtıcı sınırlar; 11-14 m uzaklıkta 4-4.5m derinlik aralığında ve 11-15m uzaklıkta 2.5-3.5m derinlik aralığındadır. Ayrıca 0-2.5m, 7-16m ve 0-5m uzaklıkları aralığında ve sırasıyla 1m, 2m ve 2m derinliklerinde yatay yansıtıcı yüzeyler gözlenmektedir (Şekil 3.37b).



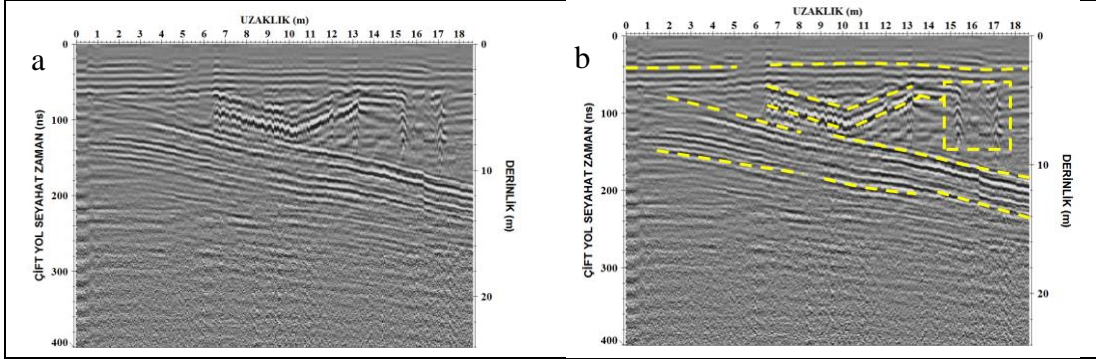
Şekil 3.38. Çalışma alanı 3, 3. profilde 100 MHz’lik antenle YY modunda alınan ölçümden elde edilen radargram (a) ve aynı kesit üzerinde gözlenen belirgin yansımaların gösterimi (b).

Çalışma alanı 3, 3. profilde 100 MHz'lik antenle YY modunda alınan ölçümden elde edilen kesite (Şekil 3.38a) genel olarak bakıldığında, 1 m derinliğe kadar herhangi bir yansıtıcı yüzey gözlenmediği için sağlam masif bir yapı, yaklaşık 1-15 m derinlik aralığında farklı yönelimli yansıtıcı birçok yüzey görülmektedir. Bu yüksek genlikli yansıtıcı yüzeylerden soldan sağa doğru eğimli olanların ilki yaklaşık 11-0 m uzaklıklarında ve 8-12 m derinlik aralığında, diğeri ise 9-0 m uzaklıklarında ve 12-14 m derinlik aralığındadır. Aynı kesitte sağdan sola doğru eğimli gözlenen yansıtıcı sınırlar; 18.5-8 m uzaklıkta 5-12 m derinlik aralığında ve 18.5-11 m uzaklıkta 10-12 m derinlik aralığındadır. Ayrıca 18.5-3 m uzaklıkları ile yaklaşık 3 m derinlikte ve 18.5-9 m uzaklıkları ile 14 m derinliğinde yer yer kesintiye uğramış yatay yansıtıcı yüzeyler gözlenmektedir (Şekil 3.38b).



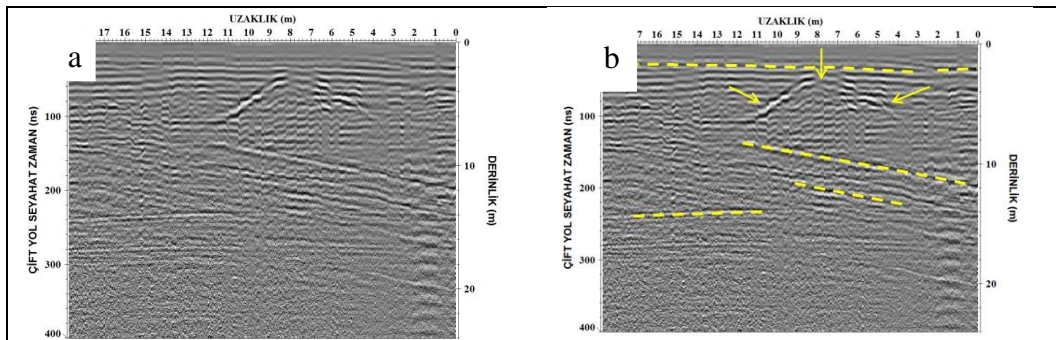
Şekil 3.39. Çalışma alanı 3, 3. Profilde 250 MHz'lik antenle alınan ölçümden elde edilen radargram (a) ve aynı kesit üzerinde gözlenen belirgin yansımaların gösterimi (b).

Çalışma alanı 3, 3. profilde 250 MHz'lik antenle alınan ölçümden elde edilen kesitte (Şekil 3.39a) farklı yerlerde çok yüksek genlikli yansıtıcılar dikkat çekmektedir. Bu yansıtıcı yüzeylerin tümü yaklaşık yanal yönde olup, yaklaşık 1m derinliğinde olan yansıtıcıların konumları 0-2 m, 11-13m, 15-17 m uzaklıkları olup, yaklaşık 2 m derinliğinde olan yansıtıcıların yerleri ise 2-3 m, 6,8 m, 10-14 m ve 15-17 m uzaklıkları arasındadır. Aynı kesitte tepe noktası 10 m uzaklıkta ve 1.5 m derinliğinde bulunan yüksek genlikli hiperbolik bir yansıma dikkat çekmektedir (Şekil 3.39b).



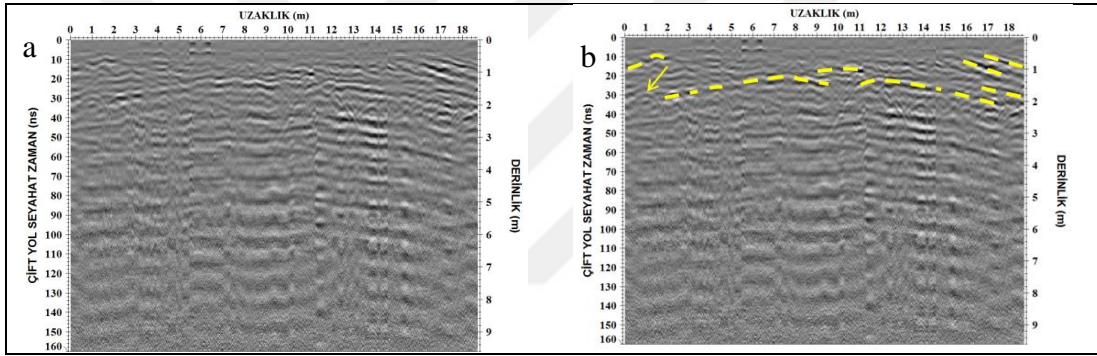
Şekil 3.40. Çalışma alanı 3, 4. profilde 100 MHz'lik antenle XX modunda alınan ölçümden elde edilen radargram (a) ve aynı kesit üzerinde gözlenen belirgin yansımaların gösterimi (b).

Çalışma alanı 3, 4. profilde 100 MHz'lik antenle XX modunda alınan ölçümden elde edilen kesite (Şekil 3.40a) genel olarak bakıldığında, 1 m derinliğe kadar herhangi bir yansıtıcı yüzey gözlenmediği için sağlam masif bir yapı, yaklaşık 1-14 m derinlik aralığında farklı yönelimli yansıtıcı birçok yüzey görülmektedir. Bu yüksek genlikli, ara ara kesilmelere uğramış yansıtıcı yüzeylerden soldan sağa doğru eğimli olanlarda ilki 2-18,5 m uzaklıklarda ve 4.5-11 m derinlik aralığında, diğeri ise 1-18.5 m uzaklıklarda ve 11-14 m derinlik aralığındadır. Aynı kesitte 0-18 m uzaklığında ve 2.5 m derinliğinde yer yer kesilmeye uğramış yatay yönde yansıtıcı bir yüzey göze çarpmaktadır. Ayrıca, 7-14 m uzaklıklarında ve 4-7 m derinlik aralıklarında iki adet kavisli yansıtıcı yüzeyler gözlenmektedir (Şekil 3.40b).



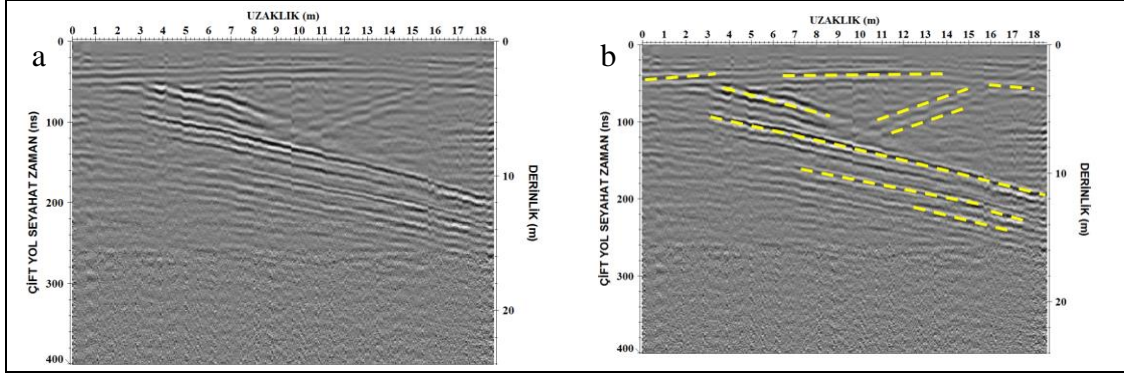
Şekil 3.41. Çalışma alanı 3, 4. profilde 100 MHz'lik antenle YY modunda alınan ölçümden elde edilen radargram (a) ve aynı kesit üzerinde gözlenen belirgin yansımaların gösterimi (b).

Çalışma alanı 3, 4. profilde 100 MHz'lik antenle YY modunda alınan ölçümden elde edilen kesite (Şekil 3.41a) genel olarak bakıldığında, 1 m derinliğe kadar herhangi bir yansıtıcı yüzey gözlenmediği için sağlam masif bir yapı, yaklaşık 1-16 m derinlik aralığında farklı yönelimli yansıtıcı birçok yüzey görülmektedir. Bu yüksek genlikli yansıtıcı yüzeylerden soldan sağa doğru eğimli olanların ilki yaklaşık 12-0 m uzaklıklarında ve 8-12 m derinlik aralığında, bir diğeri 9-4 m uzaklıklarında ve 12-13 m derinlik aralığındadır. Aynı kesitte sağdan sola doğru eğimli gözlenen yansıtıcı sınır; 18.5-10 m uzaklıkta 13-14 m derinlik aralığındadır. Ayrıca 18.5-0 m uzaklıkları ve yaklaşık 2 m derinlikte yer yer kesintiye uğramış yatay bir yansıtıcı yüzey gözlenmektedir. Son olarak kesite bakıldığında 12-4.5 m uzaklıklarında ve 2.5-6 m derinlik aralığında yüksek genlikli hiperbolik bir saçılma dikkat çekmektedir (Şekil 3.41b).



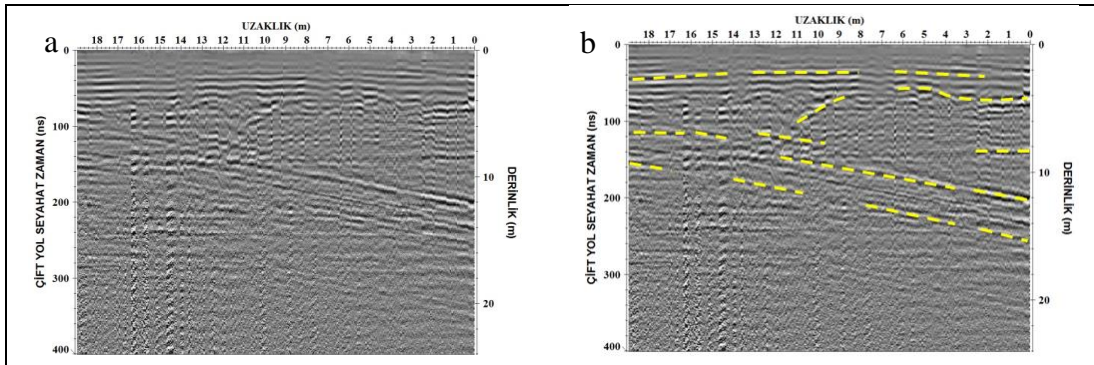
Şekil 3.42. Çalışma alanı 3, 4. profilde 250 MHz'lik antenle alınan ölçümden elde edilen radargram(a) ve aynı kesit üzerinde gözlenen belirgin yansımaların gösterimi (b).

Çalışma alanı 3, 4. profilde 250 MHz'lik antenle alınan ölçümden elde edilen kesitte (Şekil 3.42a) farklı yerlerde çok yüksek genlikli yansıtıcılar dikkat çekmektedir. Bu yansıtıcı yüzeylerin sağdan sola doğru eğimli olanların ilki, 17-18 m uzaklıklarında ve 0.5-1 m derinlik aralığında olup, diğeri 15.5-17 m uzaklıklarında ve 0.5-1.5 m derinlik aralığındadır. Aynı kesitte 2-17 m uzaklıklarında ve yaklaşık 2 m derinliğinde yanal yönde yer yer kesilmelere uğramış yüksek genlikli bir yansıtıcı yüzey daha bulunmaktadır. Ayrıca aynı kesitte tepe noktası 1 m uzaklıkta ve 2 m derinliğinde bulunan yüksek genlikli hiperbolik bir yansıma dikkat çekmektedir.



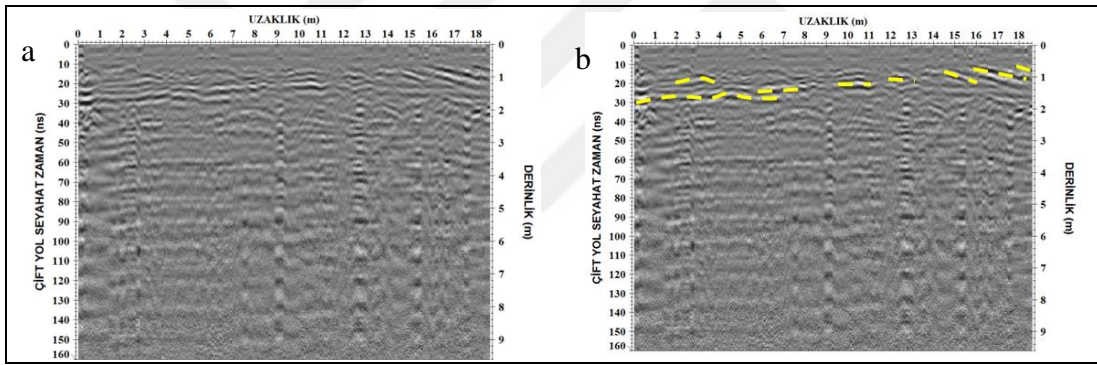
Şekil 3.43. Çalışma alanı 3, 5. profilde 100 MHz'lik antenle XX modunda alınan ölçümden elde edilen radargram (a) ve aynı kesit üzerinde gözlenen belirgin yansımaların gösterimi (b).

Çalışma alanı 3, 5. Profilde 100 MHz'lik antenle XX modunda alınan ölçümden elde edilen kesite (Şekil 3.43a) genel olarak bakıldığında, 1 m derinliğe kadar herhangi bir yansıtıcı yüzey gözlenmediği için sağlam masif bir yapı, yaklaşık 1-16 m derinlik aralığında farklı yönelimli yansıtıcı birçok yüzey görülmektedir. Bu yüksek genlikli yansıtıcı yüzeylerden soldan sağa doğru eğimli olanların yerleri 3.5-8.5m, 3-18.5m, 7-18m ve 12-17m uzaklıklarda olup, derinlikleri ise sırasıyla 2.5-4.5m, 6-12m, 11-14m ve 13.5-14.5m aralıklarındadır. Aynı kesitte sağdan sola doğru yönelimli yansıtıcı yüzeylerin ilki 11-15m uzaklıklarda ve 3-6m derinlik aralığında, diğeri ise 11.5-14.5m uzaklıklarda ve 4.5-6.5m derinlik aralığındadır. Ayrıca kesitte 0-18m uzaklığında ve 3m derinliğinde yer yer kesilmeye uğramış yatay yönde yansıtıcı bir yüzey gözlenmektedir (Şekil 3.43b).



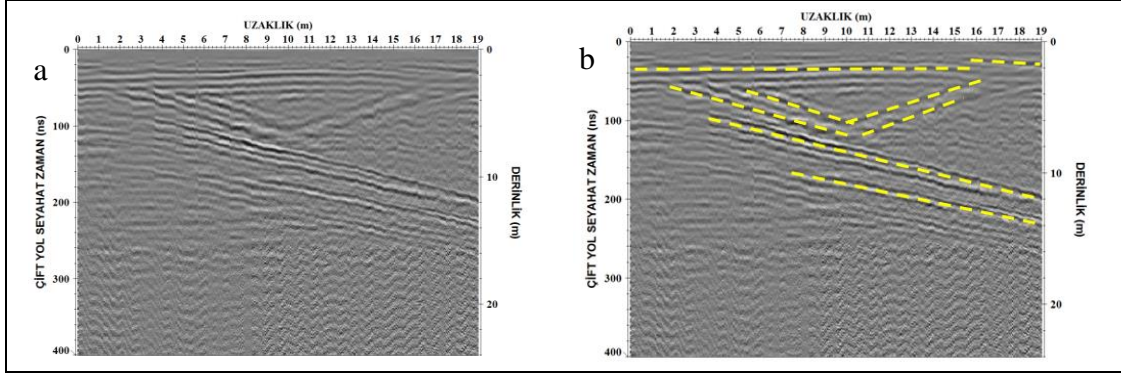
Şekil 3.44. Çalışma alanı 3, 5. profilde 100 MHz'lik antenle YY modunda alınan ölçümden elde edilen radargram (a) ve aynı kesit üzerinde gözlenen belirgin yansımaların gösterimi (b).

Çalışma alanı 3, 5. profilde 100 MHz'lik antenle YY modunda alınan ölçümden elde edilen kesite (Şekil 3.44a) genel olarak bakıldığında, 1 m derinliğe kadar herhangi bir yansıtıcı yüzey gözlenmediği için sağlam masif bir yapı, yaklaşık 1-16m derinlik aralığında farklı yönelimli yansıtıcı birçok yüzey görülmektedir. Bu yüksek genlikli yansıtıcı yüzeylerden soldan sağa doğru eğimli olanların ilki yaklaşık 19-0m uzaklıklarında ve 7-12.5m derinlik aralığında, bir diğeri ise 19-0m uzaklıklarında ve 10-15m derinlik aralığındadır. Ayrıca sağdan sola doğru eğimli 13-10.5m uzaklıklarda ve yaklaşık 6-8m derinlik aralığında küçük bir yansıtıcı yüzey daha bulunmaktadır. Aynı kesitte sağdan sola doğru eğimli gözlenen yansıtıcı sınır; 11-8.5m uzaklıkta 4-6m derinlik aralığındadır. Ayrıca 19-2m uzaklıkları ve yaklaşık 2.5m derinlikte yer yer kesintiye uğramış yatay bir yansıtıcı yüzey gözlenmektedir. Son olarak kesite bakıldığında 6-0m uzaklıklarında ve 3-4m derinlik aralığında yüksek genlikli yansıtıcı sınır dikkat çekmektedir (Şekil 3.44b).



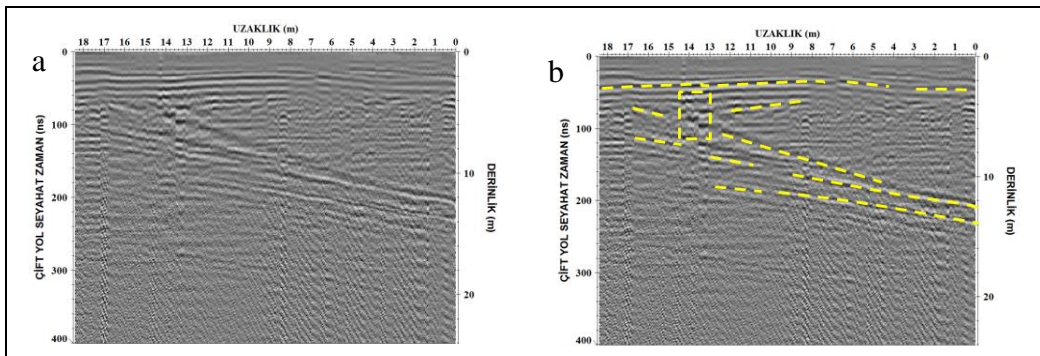
Şekil 3.45. Çalışma alanı 3, 5. profilde 250 MHz'lik antenle alınan ölçümden elde edilen radargram (a) ve aynı kesit üzerinde gözlenen belirgin yansımaların gösterimi (b).

Çalışma alanı 3, 5. profilde 250 MHz'lik antenle alınan ölçümden elde edilen kesitte (Şekil 3.45a) çok yüksek genlikli yansıtıcı dikkat çekmektedir. Bu yansıtıcı yüzey yanal yönde olup 0-18 m uzaklıklarında ve 1m derinliğindedir (Şekil 3.45b).



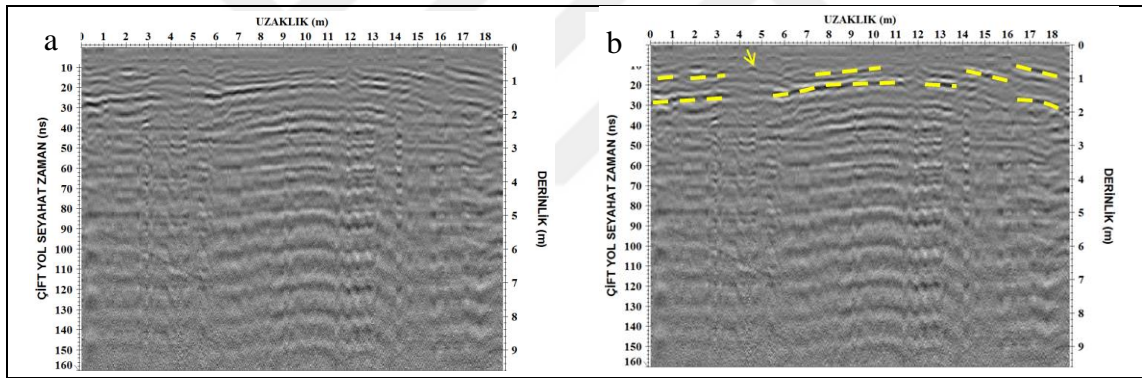
Şekil 3.46. Çalışma alanı 3, 6. profilde 100 MHz'lik antenle XX modunda alınan ölçümden elde edilen radargram (a) ve aynı kesit üzerinde gözlenen belirgin yansımaların gösterimi (b).

Çalışma alanı 3, 6. profilde 100 MHz'lik antenle XX modunda alınan ölçümden elde edilen kesite (Şekil 3.46a) genel olarak bakıldığında, 1m derinliğe kadar herhangi bir yansıtıcı yüzey gözlenmediği için sağlam masif bir yapı, yaklaşık 1-16 m derinlik aralığında farklı yönelimli yansıtıcı birçok yüzey görülmektedir. Bu yüksek genlikli yansıtıcı yüzeylerden soldan sağa doğru eğimli olanlardan ilki 3.5-19m uzaklıklarda ve 6-12m derinlik aralığında, diğeri ise 7.5-19m uzaklıklarında ve 12-14m derinlik aralıklarındadır. Aynı kesitte 0-19m uzaklığında ve 2m derinliğinde yer yer kesilmeye uğramış yatay yönde yansıtıcı bir yüzey gözlenmektedir. Ayrıca, 1-17m uzaklıklarında ve 2-8m derinlik aralıklarında iki adet kavisli yansıtıcı yüzeyler gözlenmektedir (Şekil 3.46b).



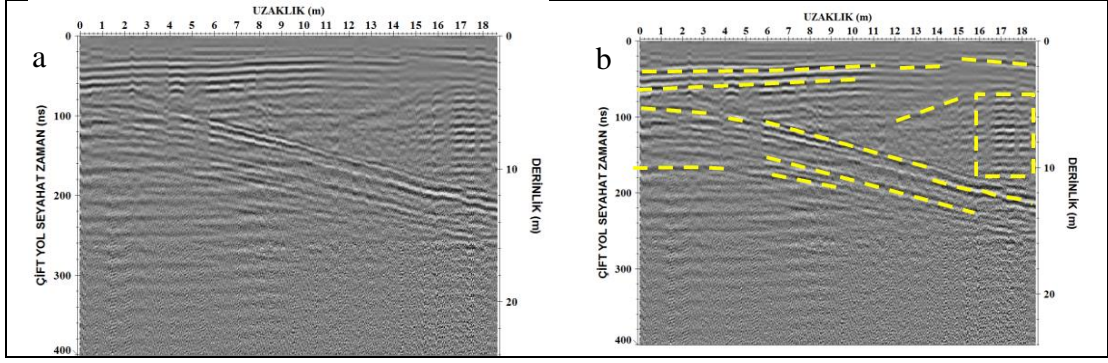
Şekil 3.47. Çalışma alanı 3, 6. profilde 100 MHz'lik antenle YY modunda alınan ölçümden elde edilen radargram (a) ve aynı kesit üzerinde gözlenen belirgin yansımaların gösterimi (b).

Çalışma alanı 3, 6. profilde 100 MHz'lik antenle YY modunda alınan ölçümden elde edilen kesite (Şekil 3.47a) genel olarak bakıldığında; 1m derinliğe kadar herhangi bir yansıtıcı yüzey gözlenmediği için sağlam masif bir yapı, yaklaşık 1-16m derinlik aralığında farklı yönelimli yansıtıcı birçok yüzey görülmektedir. Bu yüksek genlikli yansıtıcı yüzeylerden soldan sağa doğru eğimli olanların ilki yaklaşık 17-5m uzaklıklarında ve 5-10m derinlik aralığında, bir diğeri ise 17-0m uzaklıklarında ve 8-12.5m derinlik aralığında, sonuncusu ise 13-0m uzaklıklarında ve 12-14m derinlik aralığındadır. Ayrıca sağdan sola doğru eğimli 12-8.5m uzaklıklarda ve yaklaşık 4-8m derinlik aralığında yansıtıcı bir sınır bulunmaktadır. Aynı kesitte 18.5-0m uzaklıkları ve yaklaşık 2.5m derinlikte yer yer kesintiye uğramış yatay bir yansıtıcı yüzey gözlenmektedir. Son olarak kesite bakıldığında 14.5-13m uzaklıklarında ve 2.5-4m derinlik aralığında iç içe geçmiş yüksek genlikli yansıtıcı sınırlar dikkat çekmektedir (Şekil 3.47b).



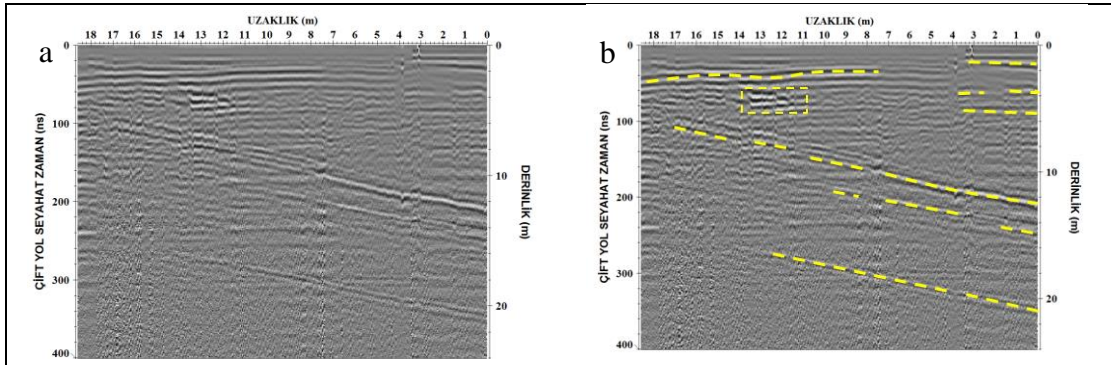
Şekil 3.48. Çalışma alanı 3, 6. profilde 250 MHz'lik antenle alınan ölçümden elde edilen radargram (a) ve aynı kesit üzerinde gözlenen belirgin yansımaların gösterimi (b).

Çalışma alanı 3, 6. profilde 250 MHz'lik antenle alınan ölçümden elde edilen kesitte (Şekil 3.48a) farklı yerlerde çok yüksek genlikli yansıtıcılar dikkat çekmektedir. Bu yansıtıcı yüzeylerin tümü yaklaşık yanal yönde olup, 0-18m uzaklıklarında ve 2m derinliğindeki yansıtıcı yüzeyde yer yer kesilmeler gözlenmektedir. Aynı kesitte, yaklaşık 0-3m, 5-11m, 14-16m ve 16-18m uzaklıklarında ve yaklaşık 1m derinliğinde diğer yüksek genlikli yansıtıcı yüzeyler dikkat çekmektedir. Ayrıca, aynı kesite bakıldığında bir tane hiperbolik yansıma göze çarpmaktadır. Bu hiperbolik yansımanın tepe noktası 4.5m uzaklığında olup 1, 1m derinliğindedir (Şekil 3.48b).



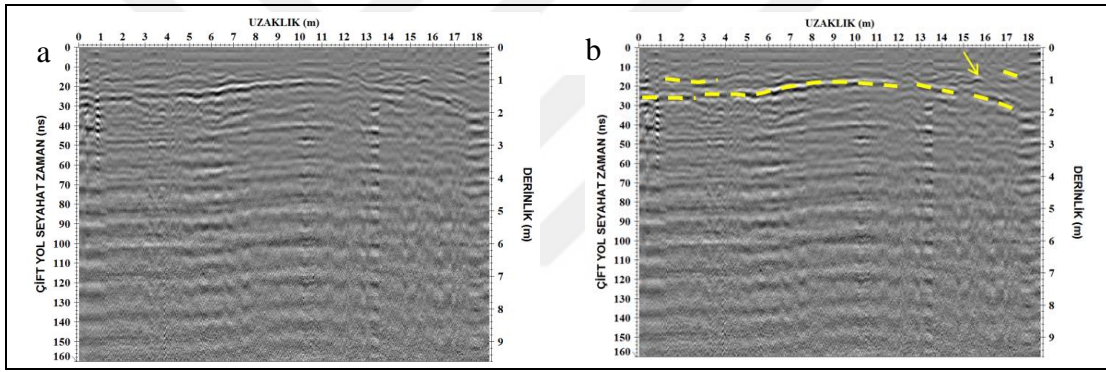
Şekil 3.49. Çalışma alanı 3, 7. profilde 100 MHz'lik antenle XX modunda alınan ölçümden elde edilen radargram (a) ve aynı kesit üzerinde gözlenen belirgin yansımaların gösterimi (b).

Çalışma alanı 3, 7. profilde 100 MHz'lik antenle XX modunda alınan ölçümden elde edilen kesite (Şekil 3.49a) genel olarak bakıldığında, 1m derinliğe kadar herhangi bir yansıtıcı yüzey gözlenmediği için sağlam masif bir yapı, yaklaşık 1-16m derinlik aralığında farklı yönelimli yansıtıcı birçok yüzey görülmektedir. Bu yüksek genlikli yansıtıcı yüzeylerden soldan sağa doğru eğimli olanların yerleri 0-19m, 6-16m ve 6-10m uzaklıklarda olup, derinlikleri ise sırasıyla 5-13m, 9-14m ve 11-14m aralıklarındadır. Aynı kesitte sağdan sola doğru yönelimli yansıtıcı yüzey ise 12-15m uzaklıklarda ve 4-6 m derinlik aralığındadır. Ayrıca kesitte 0-19m uzaklıkları ile 4m derinliğinde ve 0-10m uzaklıklarında 5m derinliğinde yer yer kesilmeye uğramış yatay yönde yansıtıcı bir yüzeyler gözlenmektedir. Kesite son olarak bakıldığında ise 16-18m uzaklıklarında ve 4-10m derinlik aralıklarında iç içe geçmiş yüksek genlikli yansıtıcılar dikkat çekmektedir (Şekil 3.49b).



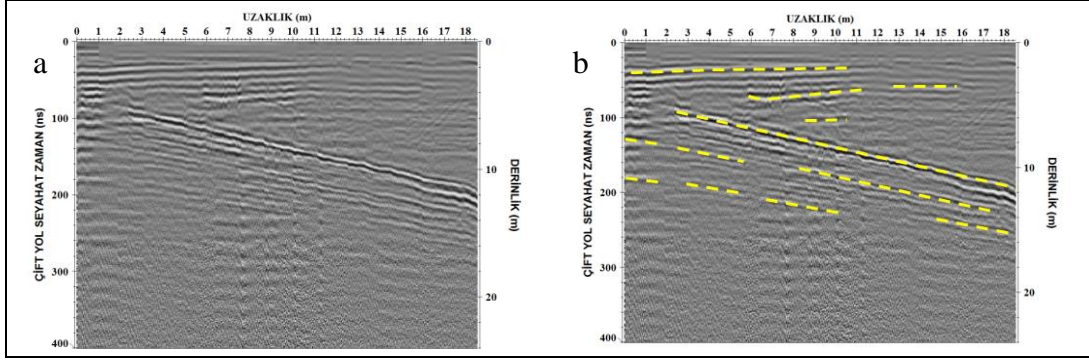
Şekil 3.50. Çalışma alanı 3, 7. profilde 100 MHz'lik antenle YY modunda alınan ölçümden elde edilen radargram (a) ve aynı kesit üzerinde gözlenen belirgin yansımaların gösterimi (b).

Çalışma alanı 3, 7. profilde 100 MHz'lik antenle YY modunda alınan ölçümden elde edilen kesite (Şekil 3.50a) genel olarak bakıldığında, 1m derinliğe kadar herhangi bir yansıtıcı yüzey gözlenmediği için sağlam masif bir yapı, yaklaşık 1-22m derinlik aralığında farklı yönelimli yansıtıcı birçok yüzey görülmektedir. Bu yüksek genlikli yansıtıcı yüzeylerden soldan sağa doğru eğimli olanlar yer yer kesilmelere uğramış olup, ilki yaklaşık 17-0m uzaklıklarında ve 6-12m derinlik aralığında, bir diğeri ise 10-0m uzaklıklarında ve 12-15m derinlik aralığında, sonuncusu ise 13-0m uzaklıklarında ve 17-21m derinlik aralığındadır. Aynı kesitte 18.5-7.5m uzaklıkları ve yaklaşık 2m derinlikte bir adet; 4-0m uzaklıklarında ve 1-6m derinlik aralığında ise 3 adet yatay yansıtıcı yüzeyler gözlenmektedir. Ayrıca 14-11m uzaklıklarında ve 2.5-3.5m derinlik aralığında yüksek genlikli yansıtıcı sınırlar dikkat çekmektedir (Şekil 3.50b).



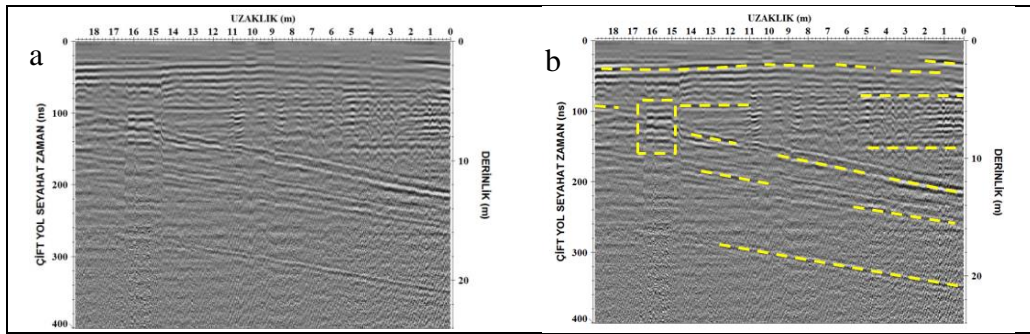
Şekil 3.51. Çalışma alanı 3, 7. profilde 250 MHz'lik antenle alınan ölçümden elde edilen radarogram (a) ve aynı kesit üzerinde gözlenen belirgin yansımaların gösterimi (b).

Çalışma alanı 3, 7. profilde 250 MHz'lik antenle alınan ölçümden elde edilen kesitte (Şekil 3.51a) farklı yerlerde çok yüksek genlikli yansıtıcılar dikkat çekmektedir. Bu yansıtıcı yüzeylerin tümü yaklaşık yanal yönde olup, 0-18m uzaklıklarında ve 2m derinliğindeki yansıtıcı yüzeyde yer yer kesilmeler gözlenmektedir. Aynı kesitte, yaklaşık 1-3.5m ve 17-18m uzaklıklarında ve yaklaşık 1m derinliğinde diğer yüksek genlikli yansıtıcı yüzeyler dikkat çekmektedir. Ayrıca, aynı kesite bakıldığında tepe noktası 15.5m uzaklığında ve 1m derinliğinde olan yüksek genlikli hiperbolik bir yansıma göze çarpmaktadır (Şekil 3.51b).



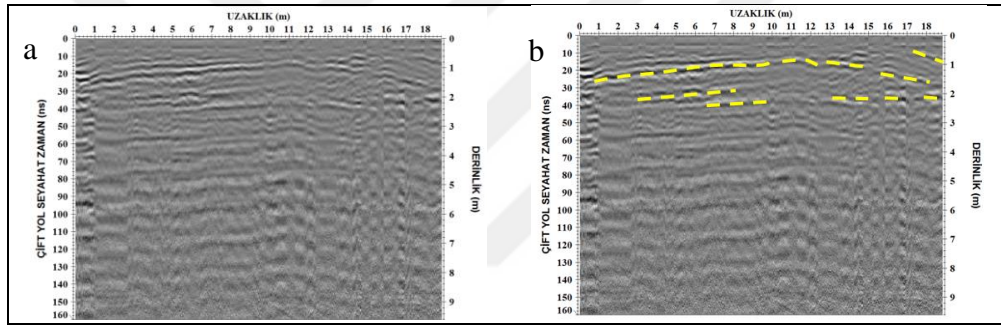
Şekil 3.52. Çalışma alanı 3, 8.profilde 100 MHz'lik antenle XX modunda alınan ölçümden elde edilen radargram (a) ve aynı kesit üzerinde gözlenen belirgin yansımaların gösterimi (b).

Çalışma alanı 3, 8.profilde 100 MHz'lik antenle XX modunda alınan ölçümden elde edilen kesite (Şekil 3.52a) genel olarak bakıldığında, 1m derinliğe kadar herhangi bir yansıtıcı yüzey gözlenmediği için sağlam masif bir yapı, yaklaşık 1-16m derinlik aralığında farklı yönelimli yansıtıcı birçok yüzey görülmektedir. Bu yüksek genlikli yansıtıcı yüzeylerden soldan sağa doğru eğimli olanlar yer yer kesilmelere uğramış olup, yerleri 3-18,5m, 0-17,5m ve 0-18m uzaklıklarda; derinlikleri ise sırasıyla 5-12m, 8-14m ve 11-16m aralıklarındadır. Aynı kesitte sağdan sola doğru yönelimli yansıtıcı yüzeylerin ilki 6-11m uzaklıklarda ve 3,5-4m derinlik aralığında, diğeri ise 8,5-10m uzaklıklarda ve 6-6,5m derinlik aralığındadır. Ayrıca kesitte 0-10,5m uzaklığında ve 3m derinliğinde yatay yönde yansıtıcı bir yüzey gözlenmektedir (Şekil 3.52b).



Şekil 3.53. Çalışma alanı 3, 8. profilde 100 MHz'lik antenle YY modunda alınan ölçümden elde edilen radargram (a) ve aynı kesit üzerinde gözlenen belirgin yansımaların gösterimi (b).

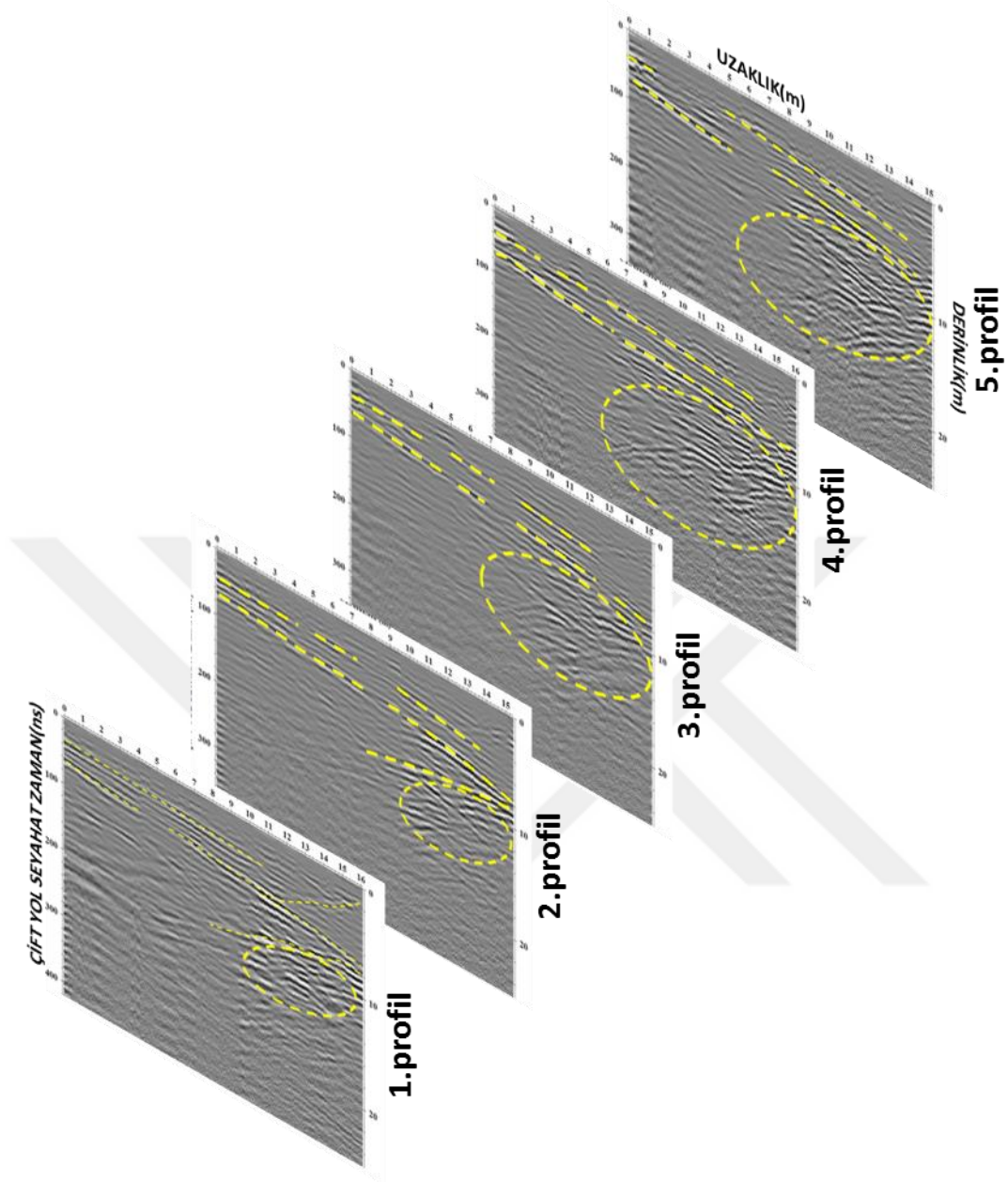
Çalışma alanı 3, 8. profilde 100 MHz'lik antenle YY modunda alınan ölçümden elde edilen kesite (Şekil 3.53a) genel olarak bakıldığında, 1m derinliğe kadar herhangi bir yansıtıcı yüzey gözlenmediği için sağlam masif bir yapı, yaklaşık 1-22m derinlik aralığında farklı yönelimli yansıtıcı birçok yüzey görülmektedir. Bu yüksek genlikli yansıtıcı yüzeylerden soldan sağa doğru eğimli olanlar yer yer kesilmelere uğramış olup, ilki yaklaşık 19-0m uzaklıklarında ve 6-13m derinlik aralığında, bir diğeri ise 13-0m uzaklıklarında ve 12-14m derinlik aralığında, sonuncusu ise 13-0m uzaklıklarında ve 17-21m derinlik aralığındadır. Aynı kesitte uzaklıkları 18.5-0m, 15-11m, 5-0m ve 4.5- m; derinlikleri ise sırasıyla 2m, 5m, 4.5m ve 9m olan yatay yönlü yansıtıcı yüzeyler gözlenmektedir. Ayrıca 17-15m uzaklıklarında ve 4-9m derinlik aralığında yüksek genlikli yansıtıcı sınırlar dikkat çekmektedir (Şekil 3.53b).



Şekil 3.54. Çalışma alanı 3, 8. profilde 250 MHz'lik antenle alınan ölçümden elde edilen radargram (a) ve aynı kesit üzerinde gözlenen belirgin yansımaların gösterimi (b).

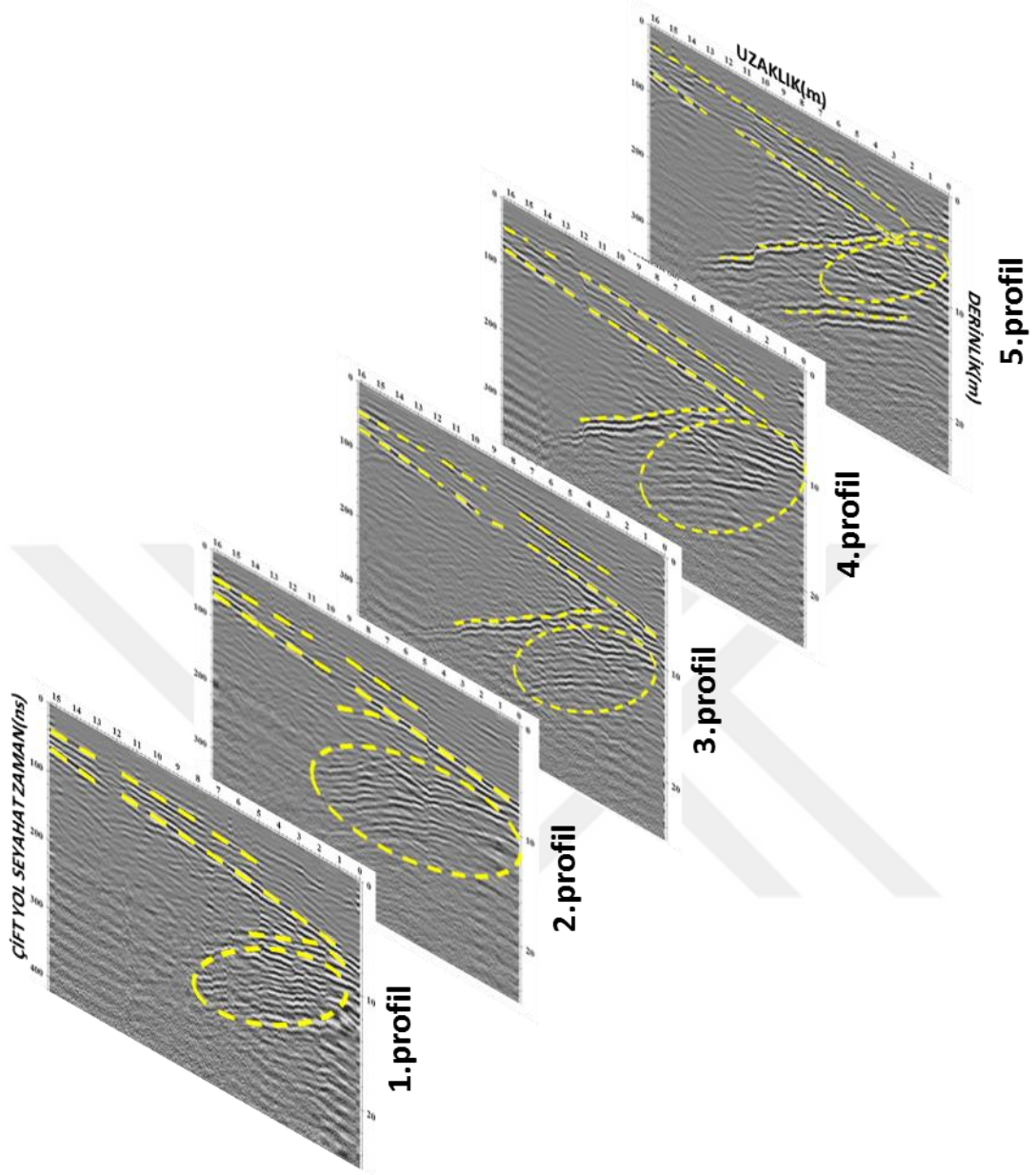
Çalışma alanı 3, 7. profilde 250 MHz'lik antenle alınan ölçümden elde edilen kesitte (Şekil 3.54a) farklı yerlerde çok yüksek genlikli yansıtıcılar dikkat çekmektedir. Bu yansıtıcı yüzeylerin tümü yaklaşık yanal yönde olup, 0-18m uzaklıklarında ve 1m derinliğindeki yansıtıcı yüzeyde yer yer kesilmeler gözlenmektedir. Aynı kesitte, diğer yüksek genlikli yansıtıcı yüzeylerin konumları yaklaşık 3-8m, 7-10m, 13-18.m ve 17-18.5 m uzaklıklarında olup derinlikleri sırasıyla 1.5, 2, 2 ve 1m'dir (Şekil 3.54b).

İnceleme alanındaki çalışma alanı 1, 2 ve 3 de elde edilen iki boyutlu yer radarı kesitlerde gözlenen yansıtıcı sınırların, yanal yönde ölçü profilleri arasında devam edip etmediği ve devam edenlerin değişimlerinin belirlenmesi amacıyla, birbirine paralel profillerdeki kesitler konumlarına göre yerleştirilerek elde edilen görünüm değerlendirmeye çalışılmıştır.



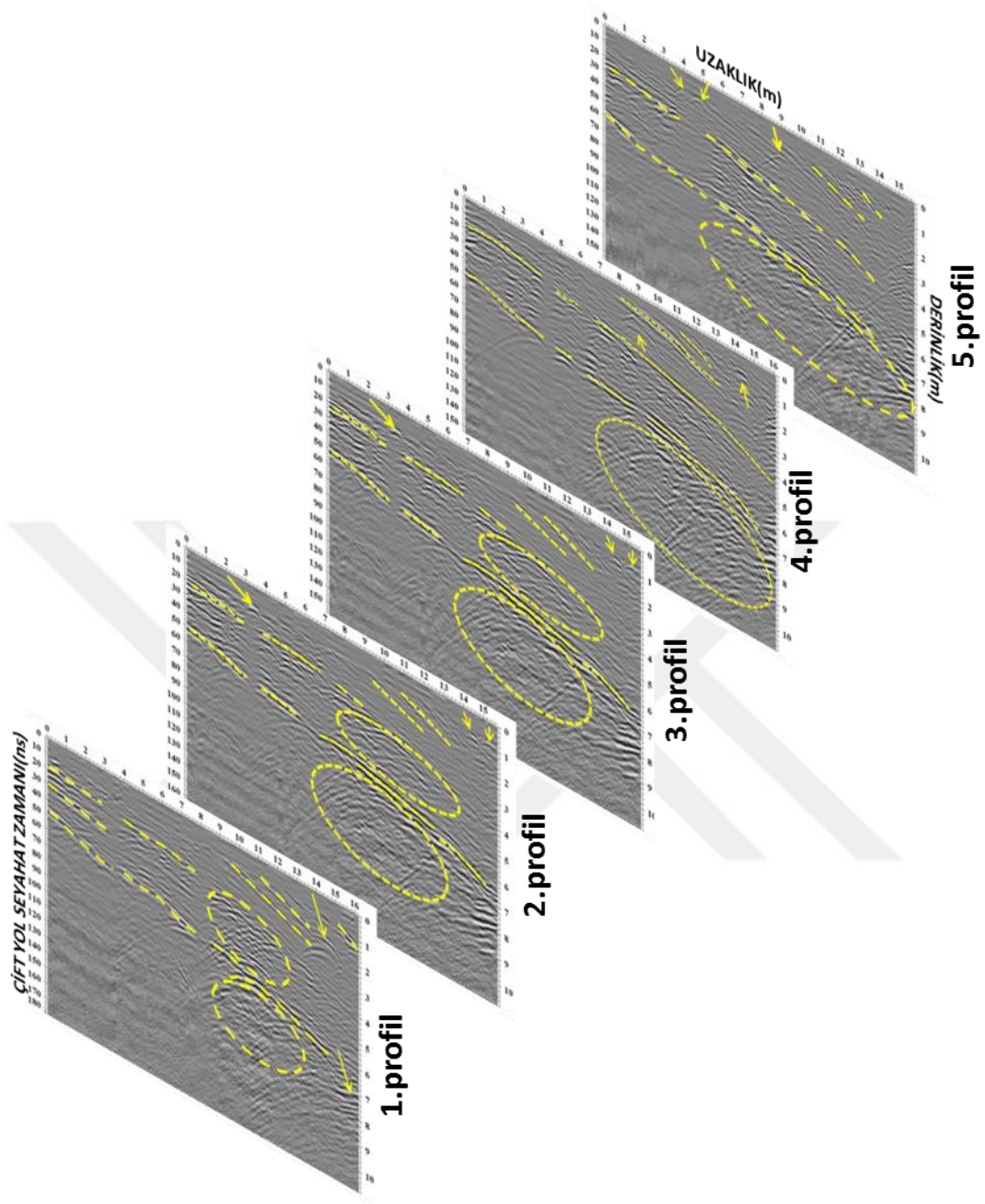
Şekil 3.55. Çalışma alanı 1, XX modunda 100 MHz'lik antenle elde edilen iki boyutlu yer radarı kesitlerinin birlikte gösterimi

Şekil 3.55'teki tüm kesitlerde yüzeye yakın seviyelerdeki sağdan sola doğru eğimli iki yansıtıcının tüm hatlardan elde edilen kesitlerde olduğu görülmektedir. Ayrıca kesitler üzerinde karmaşık (farklı boyutlu sık kırıklı) yapıların yer aldığı kısımlar (kesikli çizgi ile çizilen elipsler) tüm profillerde farklı boyutlarda da olsa yer almaktadır.



Şekil 3.56. Çalışma alanı 1, YY modunda 100 MHz'lik antenle elde edilen iki boyutlu yer radarı kesitlerinin birlikte gösterimi

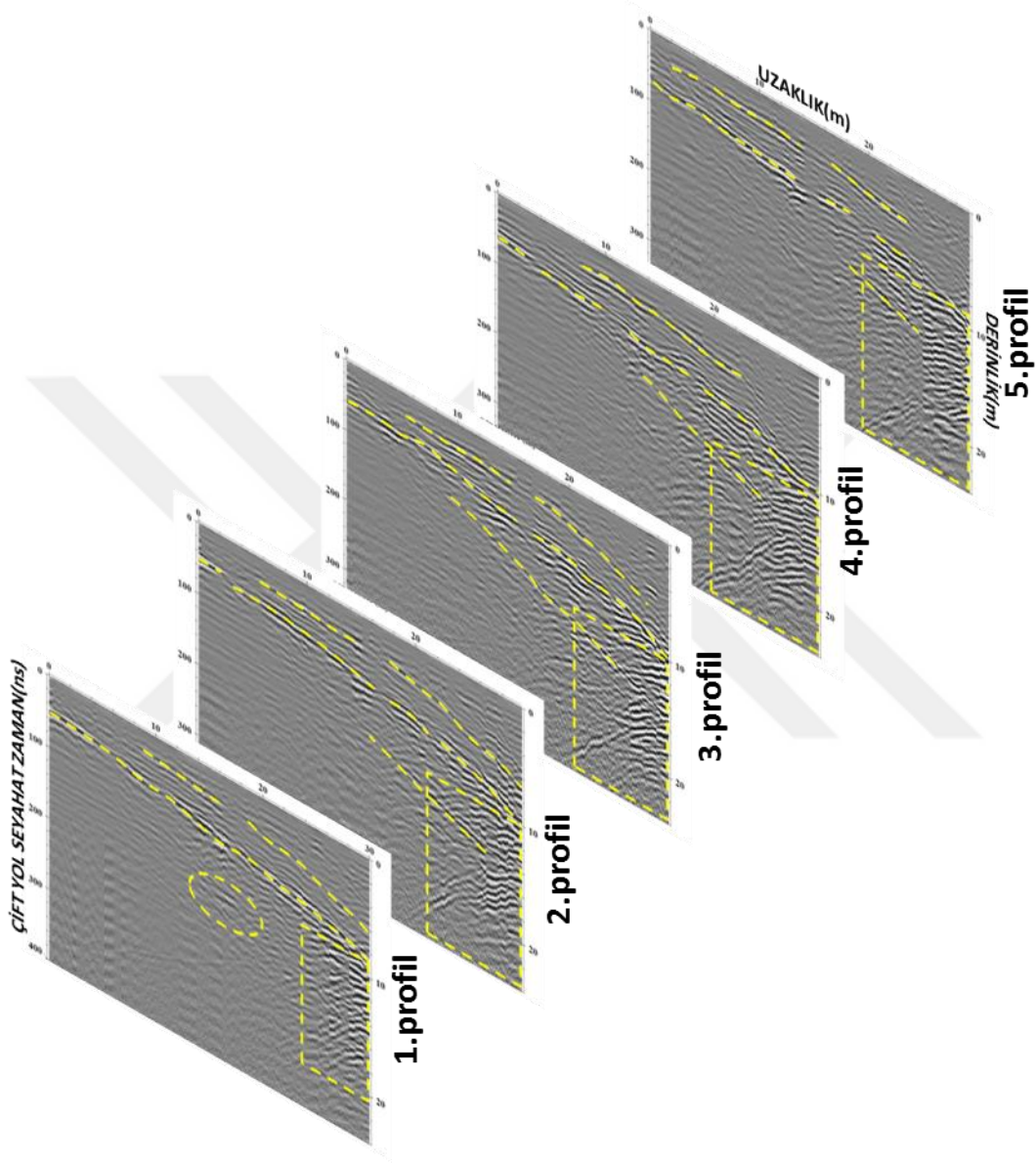
Şekil 3.56'daki tüm kesitlerde yüzeye yakın seviyelerdeki iki yansıtıcının tüm profillerden elde edilen kesitlerde olduğu görülmektedir. Aynı şekilde bu yansıtıcıların hemen altından başlayıp, sağdan sola doğru yönelen bir yansıtıcı, 3.profil ve sonraki kesitlerde gözlenmektedir. Ayrıca kesitler üzerinde karmaşık (farklı boyutlu sık kırıklı) yapıların yer aldığı kısımlar (kesikli çizgi ile çizilen elipsler) tüm profillerde farklı boyutlarda da olsa yer almaktadır.



Şekil 3.57. Çalışma alanı 1, 250 MHz'lik antenle elde edilen iki boyutlu yer radarı kesitlerinin birlikte gösterimi

Şekil 3.57'deki tüm kesitlerde yüzeye yakın seviyelerdeki yer yer kesintilere uğramış soldan sağa doğru eğimli iki anayansıtıcının ve daha küçük yansıtıcıların tüm profillerden elde edilen kesitlerde olduğu görülmektedir. Aynı şekle bakıldığında kesitler üzerinde hiperbolik (farklı boyutlu boşluklar) yansımaların yer aldığı kısımlar (ok işareti ile gösterilen) tüm profillerde farklı boyutlarda ve farklı yerlerde de olsa gözlenmektedir.

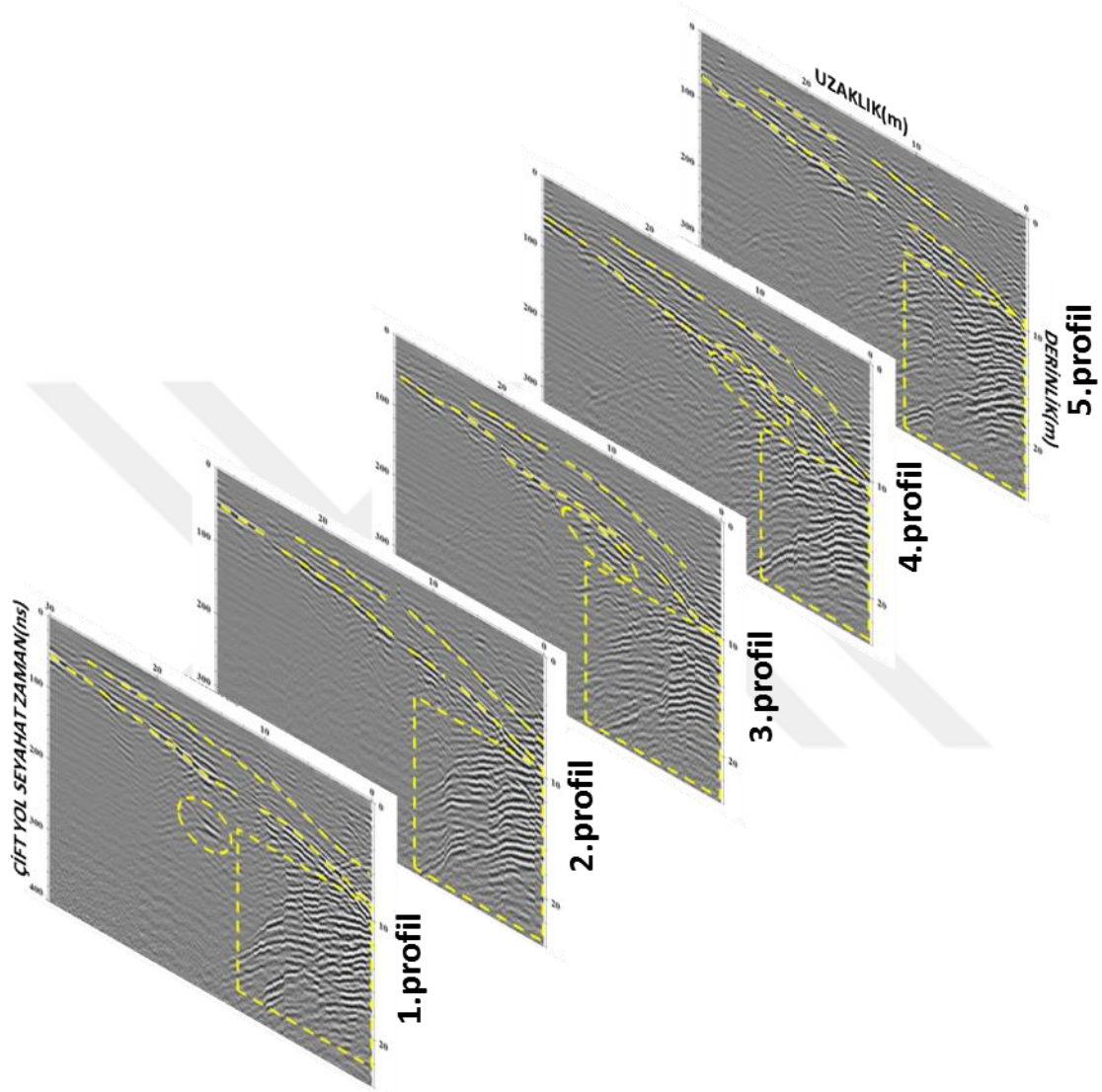
Ayrıca kesitler üzerinde karmaşık (farklı boyutlu sık kırıklı) yapıların yer aldığı kısımlar (kesikli çizgi ile çizilen elipsler) tüm profillerde farklı boyutlarda da olsa yer almaktadır.



Şekil 3.58. Çalışma alanı 2, XX modunda 100 MHz'lik antenle elde edilen iki boyutlu yer radarı kesitlerinin birlikte gösterimi

Şekil 3.58'deki tüm kesitlerde yüzeye yakın seviyelerdeki ara ara kesilmelere uğramış soldan sağa doğru eğimli iki yansıtıcının tüm profillerden elde edilen kesitlerde olduğu görülmektedir. Aynı zamanda bu yansıtıcıların hemen altında soldan sağa doğru eğimli bir yansıtıcı, 2.profil ve sonraki kesitlerde gözlenmektedir. Ayrıca kesitler üzerinde

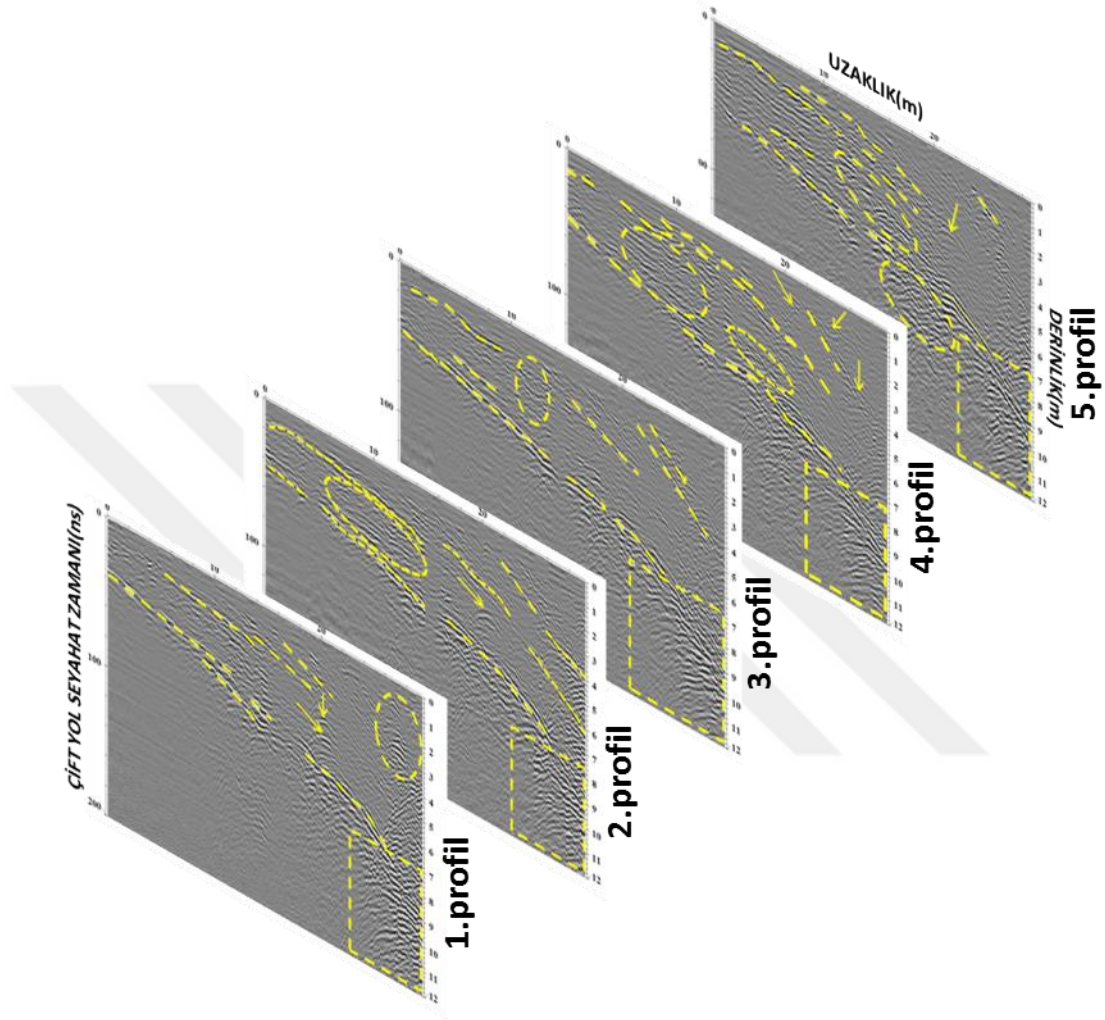
karmaşık (farklı boyutlu sık kırıklı) yapıların yer aldığı kısımlar (kesikli çizgi ile çizilen dikdörtgenler) tüm profillerde yaklaşık aynı konumlarda yer almaktadır.



Şekil 3.59. Çalışma alanı 2, YY modunda 100 MHz'lik antenle elde edilen iki boyutlu yer radarı kesitlerinin birlikte gösterimi

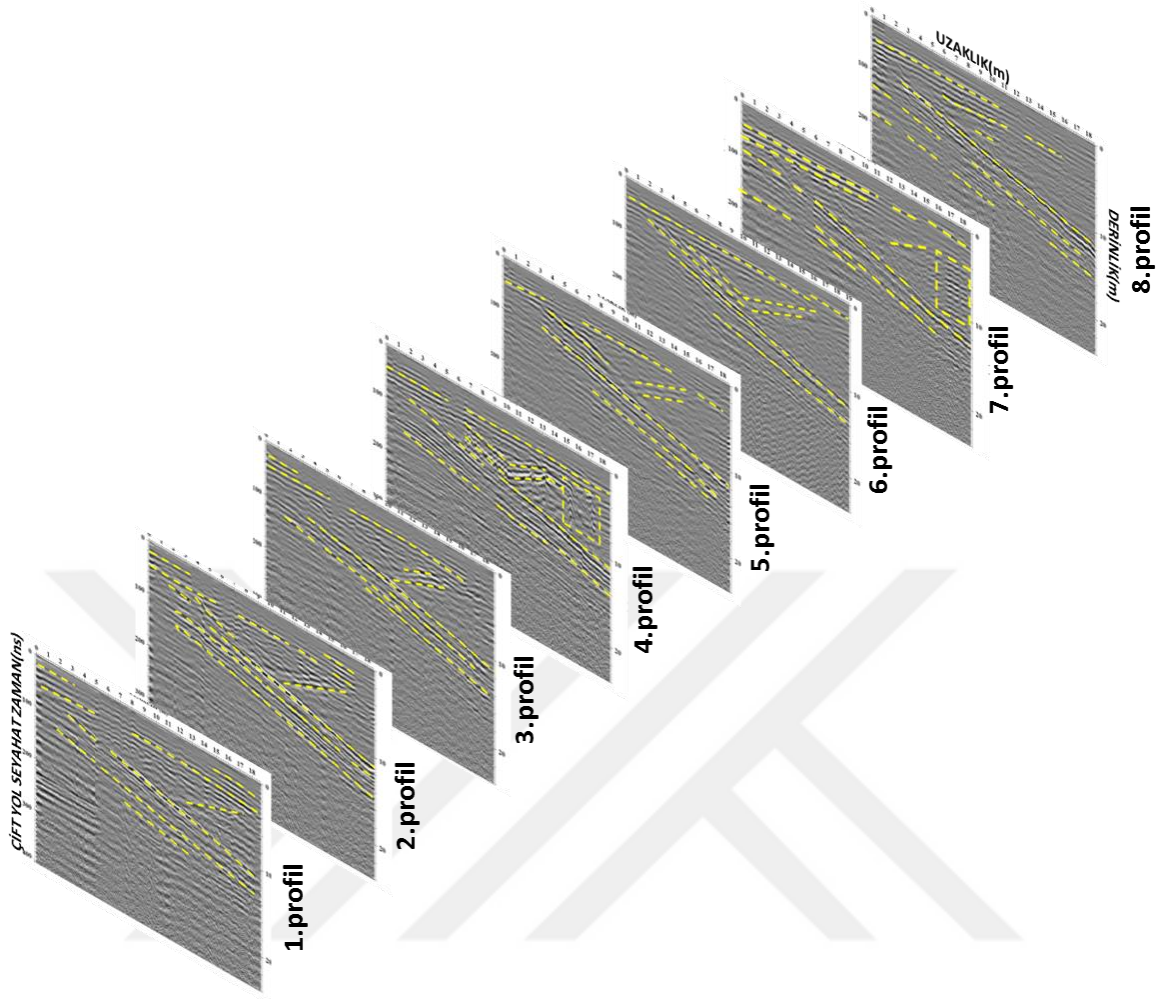
Şekil 3.59'daki tüm kesitlerde yüzeye yakın seviyelerdeki ara ara kesilmelere uğramış soldan sağa doğru eğimli iki yansıtıcının tüm profillerden elde edilen kesitlerde olduğu görülmektedir. Aynı zamanda kesitler üzerinde karmaşık (farklı boyutlu sık kırıklı) yapıların yer aldığı kısımlar (kesikli çizgi ile çizilen dikdörtgenler) tüm profillerde yaklaşık aynı konumlarda yer almaktadır. Ayrıca aynı şekle bakıldığında bazı kesitler üzerinde yer

alan diğer karmaşık yapıların yer aldığı kısımlar kesikli çizgi ile çizilen kesikli çizgilerle gösterilmektedir.



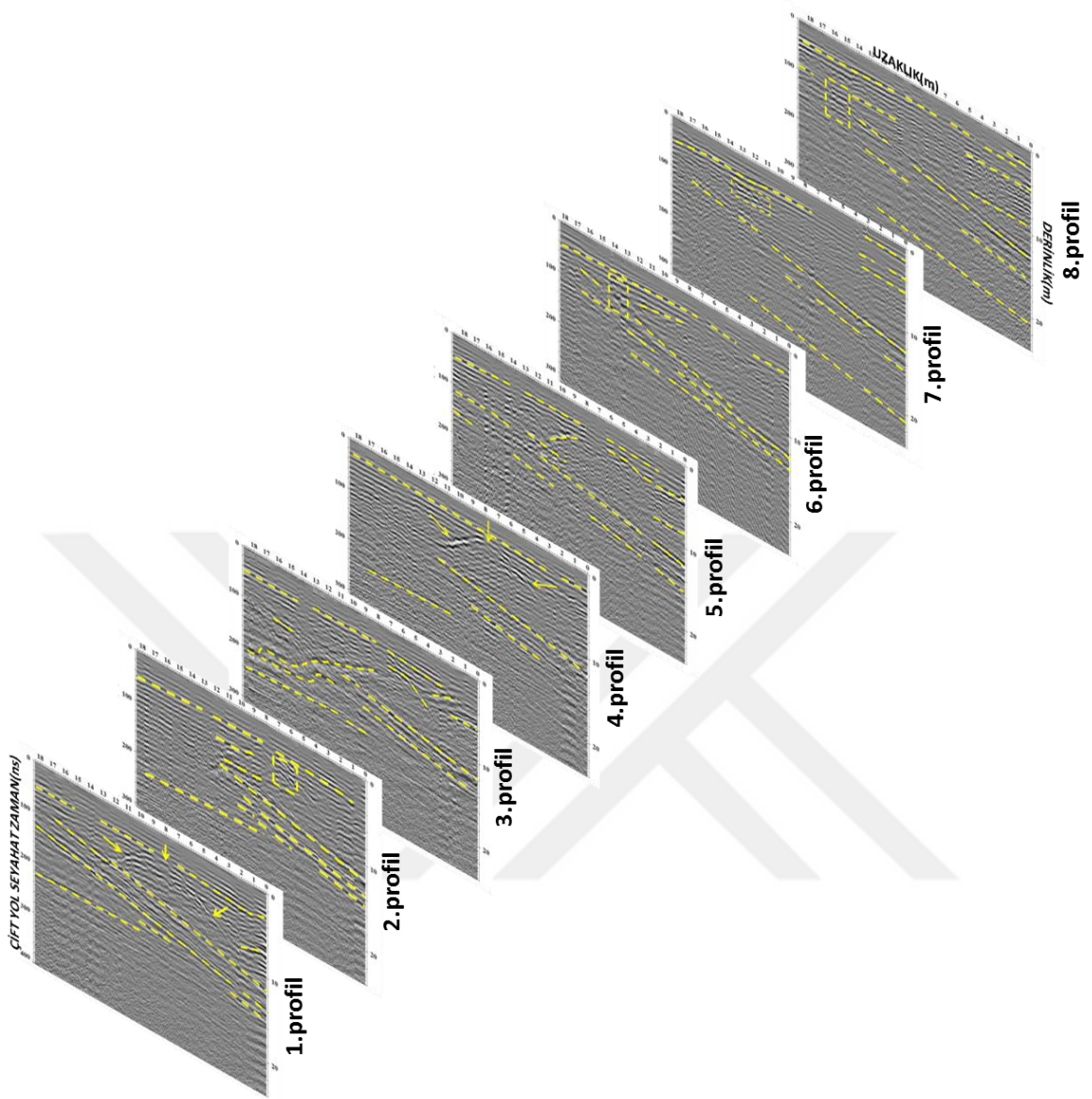
Şekil 3.60. Çalışma alanı 2, 250 MHz'lik antenle elde edilen iki boyutlu yer radarı kesitlerinin birlikte gösterimi

Şekil 3.60'daki tüm kesitlerde yüzeye yakın seviyelerdeki yer yer kesintilere uğramış soldan sağa doğru yönelimli ana iki yansıtıcının ve daha küçük yansıtıcıların tüm profillerden elde edilen kesitlerde olduğu görülmektedir. Aynı şekle bakıldığında kesitler üzerinde hiperbolik (farklı boyutlu boşluklar) yansımaların yer aldığı kısımlar (ok işareti ile gösterilen) birçok hatta farklı boyutlarda ve farklı yerlerde de olsa gözlenmektedir. Ayrıca kesitler üzerinde karmaşık (farklı boyutlu sık kırıklı) yapıların yer aldığı kısımlar (kesikli çizgi ile çizilen elipsler ve dikdörtgenler) tüm profillerde farklı boyutlarda da olsa yer almaktadır.



Şekil 3.61. Çalışma alanı 3, XX modunda 100 MHz'lik antenle elde edilen iki boyutlu yer radarı kesitlerinin birlikte gösterimi

Şekil 3.61'deki tüm kesitlerde yüzeye yakın seviyelerdeki yaklaşık yatay konumlu yansıtıcıların tüm profillerden elde edilen kesitlerde olduğu görülmektedir. Ayrıca kesitler üzerinde yaklaşık 15 m derinliğe kadar farklı yönelimli birçok yansıtıcının varlığı tüm kesitler boyunca görülmektedir. Son olarak kesitler üzerinde karmaşık (farklı boyutlu sık kırıklı) yapıların yer aldığı kısımlar (kesikli çizgi ile çizilen dikdörtgenler) bazı kesitlerde farklı boyutlarda da olsa yer almaktadır.



Şekil 3.62. Çalışma alanı 3, YY modunda 100 MHz'lik antenle elde edilen iki boyutlu yer radarı kesitlerinin birlikte gösterimi

Bu şekil 3.62'deki tüm kesitlerde yüzeye yakın seviyelerdeki yaklaşık yatay konumlu bir yansıtıcının tüm profillerden elde edilen kesitlerde olduğu görülmektedir. Aynı zamanda kesitler üzerinde yaklaşık 15 m derinliğe kadar farklı yönelimli birçok yansıtıcının varlığı tüm kesitler boyunca görülmektedir. Ayrıca kesitler üzerinde karmaşık (farklı boyutlu sık kırıklı) yapıların yer aldığı kısımlar (kesikli çizgi ile çizilen dikdörtgenler) bazı profillerde farklı boyutlarda da olsa yer almaktadır. Son olarak şekle bakıldığında bazı kesitler üzerinde büyük hiperbolik yansımaların yer aldığı kısımlar (oklarla gösterilen) gözlenmektedir.

Tez kapsamında hedeflenen aynı profilde farklı merkez frekanslı antenlerle toplanan verilerin birleştirilmesi için yapılan yapay veri testlerinden ve gerçek arazi verilerine uygulanması sonucu elde edilen bulgular:

Test 1 de'ki Şekil 2.10'te basit olarak toplanmış dalgacığın 4.4 ns'lik zaman uzunluğa ve 1.7 ns süresinde geniş bir ana pike sahip olduğu ve yan salınımları ana pikin genliğinin yaklaşık %80 i kadar genliğe sahip olduğu tespit edilmiştir (Şekil 2.10a). Toplam dalgacığın genlik spektrumundan, 225 MHz lik dalgacığın baskın olduğu ve spektrum bant genişliğinin dar olduğu gözlenmektedir (Şekil 2.10c). Bundan dolayı, bu işlem sonucunda, bir delta fonksiyonuna benzer özelliklere sahip birleşik bir dalgacık oluşamayacağı sonucuna varılmıştır. Zaman kaydırmalı toplama işlemi ile oluşturulan dalgacık 4.4 nslik zaman uzunluğunda, 0.7 ns süresinde dar ana bir pike sahip ve yan salınımlarının ise basit toplama işlemine göre büyük ölçüde azalmış olduğu belirlenmiştir (Şekil 2.10b). Bu şekilde elde edilen dalgacığın genlik spektrumunda ise, delta fonksiyonuna benzer ve dengeli bir genlik spektrumuna sahip olduğu dikkat çekicidir (Şekil 2.10d).

Test 2'deki Şekil 2.12a daki basit toplama işlemine bakıldığında ana pikin geniş olduğu ve yan salınım enerjilerinin yüksek olduğu görülmekte ve genlik spektrumuna bakıldığında ise 225 MHz li dalgacığın daha baskın olduğu görülmektedir (Şekil 2.12c). Şekil 2.12b deki zaman kaydırmalı toplama işlemi sonuçlarına bakıldığında, ana pikin süresinin ve yan salınım enerjilerinin basit toplama işlemi sonuçlarına göre daha az olduğu görülmektedir. Genlik spektrumunda ise, tüm frekans içeriklerinin spektrum bandında dengeli bir genlik dağılımı olduğu açıkça gözlenmektedir (Şekil 2.12d).

Test 3'deki Şekil 2.14a daki basit toplama işlemine bakıldığında gürültülerin eklenmesiyle ana pikin geniş olduğu ve yan sinyal enerjilerinin yüksek olduğu görülmekte olup, genlik spektrumuna bakıldığında ise, 225 MHz li dalgacığın daha baskın olduğu görülmektedir (Şekil 2.14c). Şekil 2.14b deki zaman kaydırmalı toplama işlemi sonuçlarına bakıldığında, ana pikin süresinin ve yan sinyal enerjilerinin basit toplama işlemi sonuçlarına göre daha az olduğu görülmektedir. Genlik spektrumunda ise tüm frekans içeriklerinin spektrum bandında dengeli bir genlik dağılımının olduğu açıkça gözlenmektedir (Şekil 2.14d).

Test 4'deki Şekil 2.16a daki basit toplama işlemine bakıldığında ana pikin geniş olduğu ve yan sinyal enerjilerinin yüksek olduğu görülmekte olup, genlik spektrumuna bakıldığında ise 225 MHz li dalgacığın daha baskın olduğu görülmektedir (Şekil 2.16c).

Şekil 2.16b deki zaman kaydırmalı toplama işlemi sonuçlarına bakıldığında, ana pikin süresinin ve yan salınım enerjilerinin basit toplama işlemi sonuçlarına göre daha az olduğu görülmektedir. Genlik spektrumunda ise tüm frekans içeriklerinin spektrum bandında dengeli dağılımda olduğu açıkça gözlenmektedir (Şekil 2.16d).

Farklı frekanslı antenlerle aynı profilde toplanan verilerin birleştirilmesi için çalışma alanı 1 ve 2'deki 1.profillerden 100 ve 250 MHz merkez frekanslı antenlerle toplanan gerçek arazi verileri kullanılmıştır. Çalışma alanı 1, 1.profil için yapılan veri birleştirme işlemleri için, Şekil 2.23 de basit ve zaman kaydırmalı toplamadaki radar kesitlerine detaylı bakıldığında sarı ile çizilen elips şekli içindeki yanal yöndeki yansıma olayının, basit toplama kesitine göre zaman kaydırmalı toplama kesitinde, süreklilik ve süreksizlik noktalarının daha detaylı hale geldiği gözlenmektedir. Aynı kesitlerde yeşil çemberle gösterilen hiperbol şeklindeki yüksek genlikli olayların zaman kaydırmalı toplama kesitinde daha ayrıntılı olarak ortaya çıktığı gözlenmektedir. Ayrıca her iki kesitte de mavi oklar arasında kalan kalan hiperbolik yaklaşımlar basit toplam kesitinde daha belirsizken, zaman kaydırmalı toplamada incelenip daha belirgin hiperbollere dönüştüğü göze çarpmaktadır. Her iki kesitte de kırmızı çizgi ile gösterilen kalın bir yansımanın varlığı dikkat çekmektedir. Şekil 2.24 de basit toplama ve zaman kaydırmalı toplamının genlik spektrumlarına bakıldığında, basit toplama sonucu elde edilen genlik spektrumunda 100 MHz lik düşük frekansın daha baskın olduğu görülmektedir. Zaman kaydırmalı toplamın genlik spektrumuna bakıldığında ise hem düşük frekansın hemde yüksek frekansların hakimliği söz konusudur. Basit toplamdaki 250 MHz in genliği 0.4 seviyelerindeyken, zaman kaydırmalı toplamada 0.8 seviyelerine çıkmakta ve daha dengeli bir genlik spektrumunun elde edildiği gözlenmektedir. Aynı şekildeki basit toplamının f-k spektrumuna bakıldığında, yaklaşık 200 MHz e kadar bir bant genişliği varken, bu bant genişliği zaman kaydırmalı toplamın f-k spektrumunda yaklaşık 400 MHz e kadar genişlediği görülmektedir. Her iki toplamında başarılı olduğu ancak zaman kaydırmalı toplam kesitine, genlik spektrumuna ve fk spektrumlarına bakıldığında basit toplama işlemine göre daha detaylı görüntüler sunduğu düşünülmektedir. Aynı zamanda basit ve zaman kaydırmalı toplamın radar kesitlerine bakıldığında yaklaşık 220 ns civarlarında veri geçisinden kaynaklanan küçük bir bant geçişi oluşmaktadır. Ancak bu durum veri yorumuna her hangi bir engel teşkil etmemektedir. Çalışma alanı 2, 1.profil için yapılan veri birleştirme işlemleri için; Şekil 2.26'deki kesitlerin her ikisine de bakıldığında sığ kesimlerin 250 MHz tarafından, daha derin kısımların ise 100 MHz anten tarafından

güçlendirildiği aşıkardır. Şekil 2.25b ye daha detaylı bakıldığında 100 MHz in baskınlığı dikkat çekmektedir. Örneğin 50 ns'den başlayıp yaklaşık 150 ns yeye kadar eğimli olan yüksek genlikli yansıtıcı yüzey Şekil 2.25a'daki 100 MHz'lik radar kesiti üzerinde belirgin bir şekilde görülmektedir. Ancak 100 MHz lik veriye yanal yönde enterpolasyon uygulanması ve 250 MHz antenle toplanması sonucu basit toplama ile elde edilen kesitteki sürekliliğin daha çok arttığı söylenebilir. Zaman kaydırmalı toplama işlemi kesitine bakıldığında ise, verilere uygulanan zaman kaydırma ve genlik dengelenmesinden dolayı sığ kesimlerde 250 MHz'lik verinin etkileri daha belirgindir. Zaman kaydırmalı toplamanın 180 ns'den daha derin kısımlarında ise 100 MHz'in kesite olan katkıları gözlenmektedir. Şekil 2.26a ve Şekil 2.26b deki kesitlere daha detaylı bakıldığında ise, Şekil 2.26b nin ayrıntıları daha çok açığa çıkardığı söylenebilir. Örneğin bu kesitlerde farklı yer ve boyutlarda bulunan yüksek genlikli hiperbolik yansımaların zaman kaydırmalı toplam ile elde edilen kesitte incelenerek daha belirgin hale geldikleri görülmektedir. Aynı şekilde sağdan sola doğru eğimli olan yansımaların, zaman kaydırmalı toplama sonucunda süreklilik ve süreksizlik noktalarının daha net olduğu söylenebilir. Ayrıca basit ve zaman kaydırmalı radar kesitlerinin her ikisine de bakıldığında yaklaşık 180 ns ye de bir bant geçişinin olduğu görülmekte ancak bu durum yoruma engel olmamaktadır. Şekil 2.27'deki basit ve zaman kaydırmalı toplamların genlik (Şekil 2.27a,b) ve f-k spektrumları (Şekil 2.27c,d) görülmektedir. Basit toplamanın genlik spektrumuna bakıldığında 100 MHz'in daha baskın, zaman kaydırmalı toplamanın genlik spektrumuna bakıldığında ise, hem 100 MHz'in hem de 250 MHz'in baskın olduğu görülmektedir. Bu yüzden zaman kaydırmalı toplamanın, basit kaydırmalı toplama işlemine göre daha dengeli olduğu söylenebilir. Şekil 2.27 c'deki basit toplama göre şekil 2.27 d'deki zaman kaydırmalı toplamın f-k spektrumunun ise daha çok güçlendiği görülmektedir.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Traverten gibi endüstriyel hammadde işletmelerinde istenen, çalışma alanında sıkı-masif-bozuşmamış-sağlam kısımların nerelerde olduğunun bilinmesidir. Buna yönelik olarak, bu tez kapsamında incelenen alanlarda herhangi bir sondaj ve açma yapılmadan yer radarı yöntemi ile iki boyutlu görüntüleme çalışmaları yapılmıştır. Elde edilen yer radarı kesitlerinde gözlenen farklı genlikli ve boyutlu yansıtıcı yüzeylerin, traverten ve travertenin daha alt kısmındaki Geç Kretase yaşlı Kermutdere Formasyonuna ait birim olan türbiditler (kireçtaşı, kumtaşı, siltaşı) içerisindeki kırık-çatlaklı kısımları işaret ettiği şeklinde düşünülmektedir. Gümüşhane Bahçecik traverteninin süreksizlik içeriği olup olmadığı, olması durumunda bu süreksizliklerin yer radarı yöntemi ile görüntülenmesi amacıyla yapılan çalışmaların değerlendirilmesi sonuçları aşağıdaki gibidir.

Çalışma alanı 1 de, 100 MHz'lik anten kullanılarak XX ve YY modu ile elde edilen tüm kesitlere bakıldığında yaklaşık 1.5 m derinliğe kadar herhangi bir yansıtıcı gözükmediği için sağlam ve masif bir yapıyı işaret etmektedir. Ayrıca 1.5 m derinlikten başlayıp 20 m derinliğe kadar farklı derinliklerde ve yönelimli bir çok yansıtıcı yüzeyin varlığı bu alandaki traverten yapısının ve türbiditlerin kırıklı-çatlaklı ve bozulmuş olduğunun göstergesidir. Aynı çalışma alanında 250 MHz'lik anten kullanılarak elde edilen tüm kesitler incelendiğinde ise, artan anten frekansına bağlı olarak elde edilen yer radarı kesit çözünürlüğünün arttığı ancak, derinliğinin azalarak yaklaşık 10 m'ye kadar düştüğü görülmektedir. Bu kesitlerde yüzeye yakın yerlerde yüksek genlikli küçük boyutlu hiperbolik yansımalar ve 8m derinliğe kadar farklı yerlerde ve yönelimlerde çok yüksek genlikli çizgisel yansıtıcıların gözlenmesi traverten içindeki kırık-çatlak, boşluk ve ayrışmaların daha ayrıntılı ve yoğun bir şekilde olduğunun göstergesidir. 8m den daha derinde olan yansımalar türbiditler içindeki ayrılmış yapıları göstermektedir.

Çalışma alanı 2 de, 100 MHz'lik korumasız antenle XX ve YY modu ile elde edilen tüm kesitlerde yaklaşık 25m derinlikten, 250 MHz korumalı antenle elde edilen kesitlerde ise yaklaşık 12m derinlikten bilgi alınabilmektedir. 100 MHz'lik anten kullanılarak elde edilen kesitlere bakıldığında 1m derinliğe kadar herhangi bir yansıtıcı gözlenmediği için sağlam bir yapının olduğu düşünülmektedir. Profilin başlangıç noktasında 4m derinlikten başlayıp bitiş noktasında 8 m derinliğe kadar sağdan sola doğru eğimli yansıtıcı yüzeyin üstünde kalan alanın travertenini gösterdiği ve bu alanın içinde bulunan yüksek genlikli

yansıtıcıların ise traverten blokları içerisindeki kırık-çatlaklı kısımları gösterdiği düşünülmektedir. Traverten biriminin daha altında kalan kısımlar içerisindeki oldukça karmaşık yapılı yansıtıcı yüzeylerin varlığı türbidit birimlerinin kırıklı-çatlaklı ve ayrılmış kısımlarını gösterdiği şeklinde düşünülmektedir. 250 MHz'lik antenle elde edilen kesitlerin daha ayrıntılı ve küçük boyutlu farklılıkları daha iyi ortaya koyabildiği gözlenmiştir. Kesitlerin geneline bakıldığında ise profillerin başlangıç noktasında 4m derinlikten başlayıp sağdan sola doğru eğilimlenerek bitiş noktasında 8 m derinliğe kadar olan traverten içerisinde farklı konumlarda birkaç yüksek genlikli küçük boyutlu hiperbolik yansıma yüzeylerinin ve eğilimli çok yüksek genlikli yansıtıcıların varlığı traverten içerisindeki süreksizliklere ve bozulmuş kısımlara karşılık geldiği şeklinde yorumlanmaktadır. Daha derinlerde bulunan iç içe geçmiş yüksek genlikli yansıtıcıların ise türbidit birimlerinin oldukça bozulmuş olduğunun göstergesidir.

Çalışma alanı 3 de, 100 MHz lik anten kullanılarak elde edilen tüm yer radarı kesitlerinde 2 m'den başlayarak 21 m'ye kadar farklı derinliklerde ve yönelimli bir çok yansıtıcı yüzeyin varlığı, bu alandaki traverten yapısının ve türbidit birimlerinin yoğun bir şekilde kırıklı-çatlaklı olduğunun göstergesidir. Aynı alanda, 250 MHz'lik anten kullanılarak elde edilen yer radarı kesitlerinin tümünde yaklaşık 2 m derinliğe kadar yüksek genlikli yansıtıcıların varlığı söz konusu olup, bu yansımaların traverten içerisindeki kırıklı-çatlaklı bölgeleri temsil ettiği düşünülmektedir. 2 m'nin altında ise türbidit birimlerinin varlığı söz konusudur.

Tüm kesitlerde süreklilik arz etmeyen yansıtıcılar için kısım kısım kesikli çizgilerle belirtmeye çalışılan çizgisel yansıtıcı sınırların, travertendeki kırık-çatlak sistemlerinin parçalı şekilde olmasının bir sonucudur. Ayrıca anten yönelimi farklılığından dolayı, bazı kesitlerde YY modu ile elde edilen kesitlerin XX modu ile elde edilen kesitlere göre daha ayrıntılı ve daha fazla derinlikten bilgi alabildiği gözlenmiştir.

Ayrıca aynı profilde farklı frekanslı antenle toplanan izlerin birleştirilmesi için yapılan 4 farklı yapay veri testleri ile elde edilen basit ve zaman kaydırmalı toplama işlemlerinin zaman-uzaklık sonuçlarının ve genlik spektrumları incelendiğinde, basit toplama ile oluşturulan dalgacığın genlik spektrumunda, düşük frekanslı dalgacığın baskın olduğu ve spektrumun bant genişliğinin dar olduğu gözlenmektedir. Bundan dolayı, bu işlem sonucunda, bir delta fonksiyonuna benzer özelliklere sahip birleşik bir dalgacık oluşturulamayacağı sonucuna varılmıştır. Zaman kaydırmalı toplama ile oluşan dalgacığın

genlik spektrumuna bakıldığında ise, delta fonksiyonuna benzer ve dengeli bir genlik spektrumuna sahip olduğu söylenebilir.

Aynı profilden 100 MHz ve 250 MHz frekanslı antenlerle, farklı örnekleme zaman aralığı ve iz aralığı ile toplanan gerçek arazi verileri birleştirilmiştir. Bunun için ilk olarak, her iki veri seti içinde farklı olan örnekleme zaman aralığı ve iz aralığını eşit hale getirmek ve çözünürlüğü kısmen de olsa artırmak için enterpolasyon işlemi yapılmıştır. Böylece toplama işlemi yapmak için spektral uyum sağlanmıştır. Ardından basit ve zaman kaydırmalı toplama işlemleri yapıp her iki toplamanın da zaman-uzaklık ve genlik spektrumları görüntülenmiştir. Ancak görüntü kaliteleri iyi olmadığı ve genlik spektrumlarına incelendiğinde iğnecik şeklindeki gürültüler göze çarptığı için, farklı yöntemlerle birleştirilen kesitlere birtakım işlemler uygulanmıştır. İlk olarak iğnecik şeklindeki gürültüler lokal-mean-notch süzgeç kullanılarak başarılı bir şekilde veriden uzaklaştırılmış, daha sonra veri içerisinde bulunan geliş güzel gürültüler fx filtresi kullanılarak bastırılmış ve son olarak verilere genlik kazancı işlemi uygulanarak zaman-uzaklık kesitleri, genlik spektrumları ve f-k spektrumları görüntülenmiştir. Basit toplama ve zaman kaydırmalı toplama kesitleri incelendiğinde her ikisinin de sığ kesimlerinin yüksek frekanslı anten tarafından, derin kısımlarının ise alçak frekanslı anten tarafından güçlendirildiği görülmektedir. Ancak kesitler daha ayrıntılı olarak incelendiklerinde zaman kaydırmalı toplama kesitinin süreklilik ve süreksizlik noktalarını daha detaylı olarak ortaya koyduğu gözlenmiştir. Basit toplamanın genlik spektrumuna bakıldığında alçak frekansın daha baskın olduğu görülmekte, ancak zaman kaydırmanın genlik spektrumuna bakıldığında ise zaman kaydırmasından ve genlik dengelenmesinden dolayı daha dengeli bir genlik spektrumu elde edildiği söylenebilir. f-k spektrumlarına bakıldığında ise zaman kaydırmalı toplamanın f-k spektrumunun bant genişliğinin basit toplamaya oranla daha çok güçlendiği görülmüştür.

Son olarak basit ve zaman kaydırmalı toplamın radar kesitlerine bakıldığında birleşmenin olduğu noktada veri geçişinden kaynaklanan küçük bir bant geçişi oluşmaktadır. Ancak bu durum veri yorumuna her hangi bir engel teşkil etmemektedir.

5. KAYNAKLAR

- Açıkgöz, A., 2008. Bir Mermer Sahasında (Haymana/Ankara) Yer radarı Yöntemi ile Kırık-Çatlak Sistemlerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Alridge, D.F., 1990. The Berlage wavelet, Geophysics, 55, 1508-1511.
- Annan, A. P., 2003. Ground Penetrating Radar Principles, Procedures & Applications.
- Annan, A. P., 2004. Ground Penetrating Radar Principles, Procedures & Applications. Mississauga, On, Canada: Sensors & Software Inc,
- Annan, A.P., 1999. Practical Processing of GPR Data. In Proceedings of the Second Government Workshop on Ground Penetrating Radar, Columbus, Ohio.
- Annan, A.P., 2001. Ground Penetrating Radar Workshop Notes, Sensors & Software Inc.: Ontario, Canada.
- Arslan, M., Kolaylı, H., Temizel, İ., Çiftçi, E., Alp, İ., Yılmaz, A.O ve Er, M., 2005. Petrography, geochemistry and formation conditions of Gümüşhane and Bayburt area travertine and onyx deposits, NE Turkey, Procc. Int. Symposium on Travertine Symp., Denizli, Turkey, September.
- Aspiron, U., ve Aigner, T., 1999. Toward realistic quifer models: Three dimensional georadar surveys of Quaternary gravel deltas (Singen Basin, SW Germany), Sedimentary Geology, 129, 281-297.
- Baker, G.S., ve Jol, H.M., 2007. Stratigraphic Analyses Using GPR: Geological Society of America Special Paper, 432.
- Baker, S., Jordan, E ve Talley, J., 2007. An Introduction to Ground Penetrating Radar (GPR) The Geological Society of America Special Paper, 432.
- Bancroft, W., 2010. Optimizing The Imaging Of Multiple Frequency GPR Datasets Using Composite Radargrams: An Example From Santa Rosa Island, Florida. University of South Florida.
- Bates, R. L. ve Jackson, J. A., 1980. Glossary of Geology, American Geological Inst. Falls Church, Virginia, 751.
- Behar, V., B. Vassileva, ve C. Kabakchiev., 2008. A Software Tool for GPR Data Simulation and Basic Processing. Cybernetics and Information Technologies, 8, 4, 69-76.

- Benter, A.M., 2014. Characterising the Internal Composition of Rock Piles Using Ground Penetrating Radar, PhD thesis, Avusturalya.
- Blindow, N., 2006. Ground penetrating radar. In R. Kirsch (Ed). *Groundwater Geophysics: A Tool for Hydrogeology*, 227-252, Berlin: Springer.
- Booth, A.D., Endres, A.L., ve Murray, T. 2009. Spectral bandwidth enhancement of GPR profiling data using multiple-frequency compositing. *Journal of Applied Geophysics*. 67, 88-97.
- Bostanudin, N.J.F., 2013. Computational Methods for Processing Ground Penetrating Radar Data Nurul Jihan Farhah Bostanudin School of Engineering This thesis is submitted in partial fulfilment of the requirements for the award of the degree of Doctor of Philosophy of the University of Portsmouth.
- Bungey, J.H., 2004. Sub-surface radar testing of concrete a review. *Construction and Building Materials*, 18, 1-8.
- Cardelli, E., Marrone, C., ve Orlando, L., 2003. Evaluation of tunnel stability using integrated geophysical methods, *Journal of Applied Geophysics*, 52, 93-102.
- Changryol, K., Daniels, J. J., Guy, E., Radzevicius, S. J., ve Holt, J., 2000. Residual hydrocarbons in a water-saturated medium: A detection strategy using ground penetrating radar, *Environmental Geosciences*, 7, 4, 169-176.
- Conyers, L. B., ve Goodman, D., 1997. *Ground-penetrating radar: An Introduction for Archaeologists*. California: Altamira Press.
- Daniels, D.J., 2004. *Ground Penetrating Radar*, 2nd Edition. The Institute of Electrical Engineers, London, United Kingdom.
- Davis J.L. ve Annan A.P., 1989. Ground Penetrating Radar for High Resolution Mapping of Soil and Rock Stratigraphy, *Geophysical Prospecting*, 37, 531–551.
- Dojack, L., 2012. *Ground Penetrating Radar Theory, Data Collection, Processing and Interpretation: A guide for Archaeologists*, University of British Columbia: Vancouver, 94.
- Dougherty, M.E., Michaels, P., Pelton, J.R., ve Liberty, L.M., 1994. Enhancement of ground penetrating radar data through signal processing. *Proceedings of the Symposium on the Application of Geophysics to Engineering and Environmental Problems*.
- Efe, R., Atalay, İ., Soykan, A., Cürebal, İ., Sarı, C., 2008. The Formation of Antalya Travertine Deposit and Karstic Ground Water Systems. *Nature Environment and Culture in the Mediterranean Region*, 93-108.

- Grandjean G. ve Gourry J.C., 1996. GPR Data Processing for 3D Fracture Mapping in a Marble Quarry (Thassos, Greece), Journal of Applied Geophysics, 36, 1, 19-30.
- Green, A., Gross, R., Holliger, K., Horstmeyer, H., ve Baldwin, J., 2003. Results of 3-D georadar surveying and trenching the San Andreas fault near its northernlandward limit, Tectonophysics, 368, 7-23.
- Hammon III, W. S., McMechan, G. A., and Zeng, X., 2000. Forensic GPR: finite-difference simulations of responses from buried human remains. Journal of Applied Geophysics, 45, 171-186.
- Harari, Z., 1996. Ground-penetrating radar (GPR) for imaging stratigraphic features and ground water in sand dunes, Journal of Applied Geophysics, 36, 43-52.
- Hubbard, S., Chen, J., Williams, K., ve Peterson, J., 2005. Environmental and Agricultural Applications of GPR. Earth Science Division Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, CA 94720 USA
- Jol, H.M., 2009. Ground Penetrating Radar Theory And Applications, First edition, The Boulevard, Langford Lane, Kidlington, Oxford OX5 1GB, UK.
- Kadioğlu, S., 2008. Photographing layer thicknesses and discontinuities in a marble quarry with 3D GPR visualisation, Journal of Applied Geophysics, 64,3, 109-114.
- Karlı, H. ve Dondurur, D., 2018. A mean-based filter to remove power line harmonic noise from seismic reflection data. Journal of Applied Geophysics 153, 90-99.
- Keke, C., 2007. Bahçecik (Gümüşhane) Travertenlerinin Jeolojisi Ve Jeoteknik Özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Kim, J.H., S.J. Cho, ve M.J. Yi., 2007. Removal of Ringing Noise in GPR Data by Signal Processing. Geosciences Journal, 11,1, 75-81
- Kirsch, R., 2006. Groundwater Resources in Buried Valleys: A Challenge for Geosciences, Leibniz Institute for Applied Geosciences (GGA-Institut): Hannover, 296.
- Leckebusch, J., 2003. Ground-Penetrating Radar: A Modern Three-Dimensional Prospection Method, Archaeological Prospection, 10, 213-240.
- Lester, J. ve Bernold, L. E., 2007. Innovative process to characterize buried utilities using Ground Penetrating Radar. Automation in Construction, 16, 546-555.
- McMechan, G. A., Loucks, R. G., Zeng, X. ve Mescher, P., 1998. Ground penetrating radar imaging of a collapsed paleocave system in the Ellenburger dolomite, central Texas. Journal of Applied Geophysics, 39, 1-10.

- Mertzanides, I.C., Soupios, P. M., Tsokas, G. N., Vargemezis, G. ve Paliadeli-Saatsoglou, C., 2014. GPR Exploration for Concealed Antiquities in the Archeological Site of the Vergina, Second Balkan Geophysical Congress ve Exhibition, 130-131.
- Moorman, B. J., 2001. Ground-Penetrating Radar Applications in Paleolimnology. In. M. Last& J. P. Smol, (Eds.). Tracking Environmental Change using Lake Sediments (23-47). Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- Noble, T., 2001. A theoretical basis for building a composite GPR profile. Unpublished BSc Honours Thesis, University of Waterloo.
- Öğretmen, Z., 2012. Bayburt Kıratlı Traverten Sahasında Jeofizik Yöntemlerle Kırık-Çatlak Sistemlerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Özdemir, M., 2015. Alt Yapı Elemanlarının Yer Radarı Yöntemi İle Araştırılması (Ktü Kanuni Yerleşkesi). Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Pelin, S., 1977. Alucra(Giresun) Güneydoğu Yöresinin Petrol Olanakları Bakımından Jeolojik İncelenmesi, K.T.Ü. Yer Bilimleri Der., 13,38-42.
- Pedley, H. M. 1990. Classification and environmental models of cool freshwater tufas: *Sedimentary Geology*. 68, 143-154.
- Pipan, M., Baradello, L., Forte, E ve Prizzon, A., 2000. Gpr Study of Bedding Planes, Fractures and Cavities in Limestone. University Of Trieste, Department of Geological, Environmental and Marine Sciences Via Weiss,Trieste, Italy.
- Polat, S., 2011. The Formation, Spread Area and Protection of Travertine in Turkey, Marmara Coğrafya Dergisi, 23, 384- 428.
- Porsani, L.J., Sauck, W.A. ve Junior, A.O.S., 2006. GPR for Mapping Fractures and As a Guide for Extraction of Ornamental Granite from a Quarry: A case study from southern Brazil, Journal of Applied Geophysics, 58, 177-187.
- Reppert, M. Morgan, F. D. ve Toksöz, M.N. 2000. Dielectric constant determination using ground-penetrating radar reflection coefficients. Journal of Applied Geophysics, 43, 189-197.
- Reynolds, J. M., 1997. An Introduction to Applied and Environmental Geophysics. Chichester: John Wiley&Sons Ltd.
- Robinson, M., Bristow, C., McKinley, J., ve Ruffell, A., 2013. Grond Penetrating Radar1 School of Geography, Archaeology and Palaeoecology, Queen's University Belfast 2 Department of Earth and Planetary Sciences, Birkbeck University of London.

Sadiku, M.N.O. 1992. Numerical techniques in electromagnetics, second edition, London.

Sambuelli, L., Socco, L.V., ve Brecciaroli, L., 1999. Acquisition and processing of electric, magnetic and GPR data on a Roman site (Victimulae, Salussola, Biella), Journal of Applied Geophysics, 41, 189–204.

Schrott, L. ve Sass, O. 2008. Application of field geophysics in geomorphology: Advances and limitations exemplified by case studies. Geomorphology, 93, 55-73.

Seren, A., Gelişli, K., ve Çataklı, A., 2008. A Geophysical Investigation of The Late Roman Underground Settlement At Aydıntepe, Northeast Turkey. Geoarchaeology: An International Journal, 23,6, 842–860.

Şaffak, D., 2018. Bahçeçik (Tekke-Gümüşhane) Travertenlerinin Sedimentolojik, Paleoklimsel ve Yer Radarı (GPR) Verilerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Rize.

Thompson, K.G., 2000. Developing a procedure to build a composite of multi-frequency GPR data. Unpublished BSc Honours Thesis, University of Waterloo.

Tokel, S., 1972. Stratigraphical And Volcanic History of the Gümüşhane Area, NE. Turkey.

Weeds, R. D., 1994. Geophysical Characterization of Sites. Rotterdam: AA. Balkema, 69-79.

URL-1 <http://alohonyai.blogspot.com.tr/2015/01/a-brief-history-of-ground-penetrating.html> 19.09.2017

URL-2 <https://tr.scribd.com/doc/310504997/Yildiz-Elektromanyetik-Dalgalar> 10.02.2018

URL-3 http://webders.net/elektromanyetik_dalgalar-ders-18-278p2.html 05.02.2018

URL-4 <https://www.ck12.org/physics/electromagnetic-waves/lesson/Properties-of-Electromagnetic-Waves-MS-PS/> 06.02.2018

ÖZGEÇMİŞ

30.04.1990'da Trabzon'da doğdu. İlköğretimini Merkez Yeşilyurt Köyü İlköğretim Okulu, Orta Öğretimini Yavuz Selim İlköğretim Okulunda, liseyi Yunus Emre Lisesi'nde tamamladı. 2009 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği bölümünü kazandı. 2014 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Bölümünü bitirdikten sonra aynı yıl Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeofizik Mühendisliği Anabilim dalında yüksek lisans eğitimine başladı ve halen devam etmektedir.

