

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**BİRLEŞİK JEOFİZİK YÖNTEMLERLE TONYA FORMASYONUNA AİT  
KAYA KÜTLELERİN (AKOLUK MEVKİİ-TRABZON) MÜHENDİSLİK  
ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ**

**DOKTORA TEZİ**

**Jeofizik Yük. Müh. Zeynep ÖĞRETMEN AYDIN**

**OCAK 2019**  
**TRABZON**



**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**BİRLEŞİK JEOFİZİK YÖNTEMLERLE TONYA FORMASYONUNA AİT  
KAYA KÜTLELERİN (AKOLUK MEVKİİ-TRABZON) MÜHENDİSLİK  
ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ**

**Zeynep ÖĞRETMEN AYDIN**

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde  
“DOKTOR (JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ)”  
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 24.12.2018  
Tezin Savunma Tarihi : 18.01.2019**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Aysel ŞEREN**

**Trabzon 2019**

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalında  
Zeynep ÖĞRETMEN AYDIN Tarafından Hazırlanan

BİRLEŞİK JEOFİZİK YÖNTEMLERLE TONYA FORMASYONUNA AİT  
KAYA KÜTLELERİN (AKOLUK MEVKİİ-TRABZON) MÜHENDİSLİK  
ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 25/12/2018 gün ve 1784 sayılı  
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda  
DOKTORA TEZİ  
olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

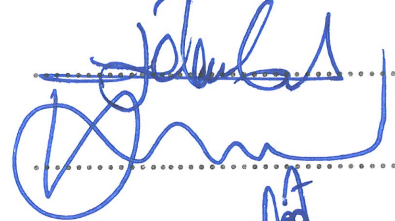
Başkan : Prof. Dr. Kenan GELİŞLİ



Üye : Prof. Dr. Çoşkun SARI



Üye : Prof. Dr. Aysel ŞEREN



Üye : Doç. Dr. Hakan ERSOY



Üye : Doç. Dr. Çağlayan BALKAYA

Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ  
Enstitü Müdürü

## ÖNSÖZ

“Birleşik Jeofizik Yöntemlerle Tonya Formasyonuna Ait Kaya Kütlelerinin (Akoluk Mevkii-Trabzon) Mühendislik Özelliklerinin Belirlenmesi” adlı bu araştırma K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeofizik Mühendisliği Bölümü Anabilim Dalında Doktora Tezi olarak hazırlanmıştır.

Yüksek lisans ve doktora tez danışmanlığımı üstlenerek çalışmalarımı yönlendiren, araştırmalarımın her aşamasında bilgi ve birikimi ile beni hep daha ileri seviyelere taşıyan, güzel yüreği ile hem bana hem de öğrencilerine her zaman örnek olan, kimi zaman bir abla kimi zamanda bir anne sevgisini hissettiren sayın Prof. Dr. Aysel ŞEREN’e candan teşekkür ederim. Birlikte daha çok akademik çalışmalar yapacağımıza inanıyorum. İyi ki varsınız.

Çalışmalarım boyunca bana öneri ve destek veren, benden yardımlarını esirgemeyen, tez izleme komitesi üyeleri Sayın Prof. Dr. Kenan GELİŞLİ’ye ve Sayın Doç. Dr. Hakan ERSOY’a teşekkürlerimi sunarım. Tez jürimde bulunan Prof. Dr. Çoşkun SARI’ya katkılarından dolayı teşekkür ederim. Ayrıca kuyu tomografisi konusunda benden bilgisini, yardımlarını esirmeyen Doç. Dr. Çağlayan BALKAYA’ya teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam sırasında bana her zaman destek olan değerli bilgilerini benimle paylaşan Dr. Öğr. Üyesi Ali Erden BABACAN’a, tez çalışmamda bana çok katkısı olan Dr. Recep GÜNEY’e, çalışma alanında bana verdiği jeolojik bilgilerinden dolayı Doç. Dr. Raif KANDEMİR’e, bana manevi olarak çok katkı sağlayan Doç. Dr. Hamit CİHAN’a bilgi ve birikimleri ile yardımlarını esirgemeyen çok değerli hocalarıma, ayrıca çok sevgili Öğr. Gör. Şeyda YILMAZ’a, Dr. Erdem BAYRAK’a, Dr. Hamdi ALKAN’a, Jeofizik Yük. Müh. Hilal ALEMDAĞ’a ve arazi çalışmalarına katkı sağlayan çok sevgili öğrencilerimize çok teşekkür ediyorum.

Beni yetiştirip bu günlere gelmemi sağlayan, bana maddi, manevi her zaman destek olan çok sevgili anneme, canım babama, ablama ve abime çok teşekkür ediyorum.

Ve nihayet sevgili eşim Makine Yük. Müh. Orhan AYDIN. Bu zorlu ve uzun süreçte her zaman yanımda olduğun ve desteklediğin için, bir Makine Mühendisi olarak jeofizik arazi çalışmalarında göstermiş olduğun üstün performansın için ve en önemlisi de hiçbir zaman şikâyet etmeden gösterdiğin sonsuz sabrın için çok teşekkürler.

Zeynep ÖĞRETMEN AYDIN  
Trabzon-2019

## TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Doktora Tezi olarak sunduğum ‘‘Birleşik Jeofizik Yöntemlerle Tonya Formasyonuna Ait Kaya Kütlelerin (Akoluk Mevkii-Trabzon) Mühendislik Özelliklerinin Belirlenmesi’’ başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. Aysel ŞEREN’in sorumluluğunda tamamladığımı, verileri kendim topladığımı, 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. 18/01/2019

Zeynep ÖĞRETMEN AYDIN

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET.....	VII
SUMMARY .....	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	IX
TABLolar DİZİNİ.....	XVIII
SEMBOLLER DİZİNİ .....	XX
1.GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı .....	4
1.3. Çalışmada Kullanılan Jeofizik Yöntemler .....	5
1.3.1. Yer Radarı (GPR) Yöntemi.....	5
1.3.1.1. EM Dalga Oluşumu, Özellikleri ve Yayılımı.....	11
1.3.1.2. Yer Radarı Yönteminin Dayandığı Teori.....	13
1.3.1.3. Yer Radarı Yönteminde Veri Toplama Düzenekleri.....	21
1.3.1.3.1. Ortak Ofset Ölçüm (Yansıma Profili) Düzenegi .....	22
1.3.1.3.2. Çoklu Ofset Ölçümleri Ölçüm Düzenegi .....	23
1.3.1.3.2.1. Ortak Orta Nokta (OON) Ölçüm Düzenegi .....	23
1.3.1.3.2.2. Geniş Açılı Yansıma Kırılma (GAYK) Ölçüm Düzenegi .....	27
1.3.1.3.3. Kuyu Ölçümleri.....	27
1.3.1.4. GPR Verilerinin Görüntülemesi.....	29
1.3.1.4.1. Bir Boyutlu Görüntüleme (A-Tarama).....	29
1.3.1.4.2. İki Boyutlu Görüntüleme (B-Tarama).....	30
1.3.1.4.3. Üç Boyutlu Görüntüleme (C-Tarama) .....	31
1.3.1.5. Yer Radarı Verilerinde Veri İşlem .....	32
1.3.1.6. GPR Verilerinde Elektromanyetik Dalga Hızının Belirlenmesi .....	33
1.3.1.6.1. GPR’da Hız Analizi .....	36
1.3.1.6.1.1. Benzetim (Semblance) Analizi.....	36
1.3.1.6.1.2. Hız Spektrumu.....	38
1.3.2. Elektrik Özdirenç Görüntüleme (EÖG) .....	38

1.3.3.	Sismik Kırılma Tomografi Yöntemi (SRT) .....	44
1.3.3.1.	İlk Varış Tomografisi .....	47
1.3.4.	Çok Kanallı Yüzey Dalgası Analizi (ÇKYDA, MASW) Yöntemi.....	48
1.3.5.	Sismik Hızlar ile Hesaplanabilen Bazı Mühendislik Jeofiziği Parametreleri .....	52
1.3.6.	Kuyu İçi Radar Tomografi .....	58
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR .....	61
2.1.	Çalışma Alanının Genel Özellikleri .....	61
2.2.	Çalışma Alanının Genel Jeolojisi .....	63
2.3.	Çalışma Alanında Önceden Yapılan Jeolojik ve Jeoteknik Araştırmalar .....	65
2.4.	Çalışma Alanında Yapılan Jeofizik Araştırmalar.....	70
2.4.1.	Alan 1’ de Yapılan Jeofizik Araştırmalar .....	71
2.4.1.1.	Alan 1 Ortak Ofset Yer Radarı Çalışmaları .....	72
2.4.1.2.	Alan 1 Çoklu Ofset Yer Radarı Çalışmaları (OON Ölçümleri) .....	79
2.4.1.3.	Alan 1 Elektrik Özdirenç Çalışmaları .....	109
2.4.1.4.	Alan 1 Sismik Kırılma Çalışmaları .....	112
2.4.1.5.	Alan 1 Çok Kanallı Yüzey Dalgası Çalışmaları.....	117
2.4.1.6.	Alan 1 için Bazı Mühendislik Parametrelerinin Hesaplanması .....	124
2.4.1.7.	Alan 1 Kuyu Tomografisi Çalışması.....	129
2.4.2.	Alan 2’de Yapılan Jeofizik Araştırmalar .....	131
2.4.2.1.	Alan 2 Ortak Ofset Yer Radarı Çalışmaları .....	131
2.4.2.2.	Alan 2 Çoklu Ofset Yer Radarı Çalışmaları.....	135
2.4.2.3.	Alan 2 Elektrik Özdirenç Çalışmaları .....	154
2.4.2.4.	Alan 2 Sismik Kırılma Çalışmaları .....	156
2.4.2.5.	Alan 2 Çok Kanallı Yüzey Dalgası Çalışmaları.....	161
2.4.2.6.	Alan 2 için Bazı Mühendislik Parametrelerinin Hesaplanması .....	166
2.4.2.7.	Alan 2 Kuyu Tomografisi Çalışması.....	171
3.	BULGULAR VE İRDELEME.....	173
4.	SONUÇLAR .....	196
5.	ÖNERİLER .....	201
6.	KAYNAKLAR.....	202
7.	EKLER.....	216
	ÖZGEÇMİŞ	

Doktora Tezi

ÖZET

BİRLEŞİK JEOFİZİK YÖNTEMLERLE TONYA FORMASYONUNA AİT KAYA  
KÜTLELERİN (AKOLUK MEVKİİ-TRABZON) MÜHENDİSLİK ÖZELLİKLERİNİN  
BELİRLENMESİ

Zeynep ÖĞRETMEN AYDIN

Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı  
Danışman: Prof. Dr. Aysel ŞEREN  
2019, 216 Sayfa, 3 Sayfa Ek

Bu tez çalışmasında Trabzon ili Akoluk mevkiisinde yapılaşmaya açılması düşünülen bir alandaki Geç Kretase-Paleosen yaşlı Tonya Formasyonuna ait kayaçların mühendislik özellikleri belirlenmeye çalışılmıştır. Bu kapsamda jeofizik yöntemlerden yer radarı, elektrik öz direnç tomografi, sismik kırılma tomografi ve yüzey dalgalarının çok kanallı analiz yöntemi çalışma sahasında ilk kez uygulanmıştır. Bu sahada seçilen iki farklı alanda toplam 39 hatta ortak ofset yer radarı, 50 noktada ortak orta nokta yer radarı, 11 profilde elektrik 9 profilde sismik kırılma tomografi ölçümleri, 10 profilde çok kanallı yüzey dalgası analizi ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, 2 adet kuyu tomografisi modeli yapılmıştır. Jeofizik verilerin düz ve ters çözümünden elde edilen bir boyutlu ve iki boyutlu görüntüler ile sondaj bilgileri birlikte değerlendirilerek, çalışma alanına ait jeofizik-jeolojik-jeoteknik özellikler belirlenmiştir. Sonuç olarak, yapılan jeofizik çalışmalardan elde edilen yeraltı kesitleri ve sondaj bilgileri ile 15 m derinliklere kadar tekrarlı değişimler (killi zayıf birim-kalsitli sağlam birim- killi zayıf birim) olduğu görülmüştür. Bu derinliklerden daha derinlerde ise sağlam zeminin varlığı görülmektedir. Ayrıca, ortamın yanal ve düşey devamlılığı değişken olduğu için herhangi bir yapılaşma durumunda yapının kurulacağı zemin üzerindeki lokasyondaki jeofizik sonuçlar dikkate alınmalıdır.

**Anahtar Kelimeler:** Birleşik Jeofizik Yöntemler, Tonya Formasyonu, Trabzon, Jeoteknik



PhD. Thesis

SUMMARY

DETERMINATION of the ENGINEERING PROPERTIES of ROCK MASS BELONGING TO  
TONYA FORMATION (AKOLUK –TRABZON) WITH INTEGRATED GEOPHYSICAL  
METHODS

Zeynep ÖĞRETMEN AYDIN

Karadeniz Technical University  
The Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Geophysical Engineering Department  
Supervisor: Prof. Dr. Aysel ŞEREN  
2019, 216 Pages, 3 Pages Appendix

In this thesis, the engineering properties of the rocks belonging to Late Cretaceous-Paleocene Tonya Formation were tried to determine an area in Akoluk Trabzon province which is expected to be opened for construction. In this context, geophysical methods such as ground penetrating radar, electrical resistivity tomography, seismic refraction tomography and multichannel analysis of surface wave methods were applied in the study area for the first time. In total, common offset GPR at 39 line, common midpoint GPR at 50 points, electric resistivity tomography at 11 profile, seismic refraction tomography measurements at 9 profiles, and multichannel surface wave analysis measurements at 10 profile were performed in two different parts in studied field. Moreover, 2 crosshole tomography models were created considering geological information and result of geophysical methods. Geophysical-geological-geotechnical properties belonging to the study area were determined by together evaluating the one dimensional and two dimensional images obtained from the forward and inverse solution of geophysical data and premade drilling studies which done in 3 points. As a result, it was seen the repetitive changes up to 15 m depth (weak unit with clay-weak competent unit with calcite- weak unit with clay) from the geophysical data and drilling information. Deeper than these depths, the presence of component soil was observed. In addition since the horizontal and vertical continuity of the medium is variable, the geophysical results in the location on the soil where the building will be built should be taken into consideration in any construction situation.

**Key Words:** Integrated Geophysical Methods, Tonya Formation, Trabzon, Geotechnic

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa No

Şekil 1.1.	Yer radarı yönteminin en çok kullanılan üç uygulama şekli a) havadan b) kuyuda ve c) yüzeyde.....	6
Şekil 1.2.	Yer radarı yönteminin çalışma prensibi.....	7
Şekil 1.3.	(a) Elektrik ve (b) manyetik alan gösterimi .....	11
Şekil 1.4.	EM Spektrumunda farklı elektromanyetik dalgaların gösterimi .....	12
Şekil 1.5.	Elektrik (E) ve manyetik (B) alanın gösterimi.....	12
Şekil 1.6.	(a) TE ve (b) TM modlarının şematik görünümü .....	13
Şekil 1.7.	Maxwell eşitliklerinin şematik gösterimi (a) Faraday yasası (b) Maxwell-Ampere yasası (c) Elektrik alan için Gauss yasası ve (d) Manyetik alan için Gauss yasası.....	16
Şekil 1.8.	Elektrik alanı yokken ve elektrik alanı uygulandığında yer değiştirmenin akışı .....	18
Şekil 1.9.	Elektrik alanı uygulandığında elektrik yüklerinin akışı.....	20
Şekil 1.10.	Manyetik dipol momentlerinin çeşitli durumlarda uygulanan manyetik alanın etkisi altında kısmi hizalanması .....	21
Şekil 1.11.	Yer radarı yönteminde kullanılan ölçüm düzenekleri.....	22
Şekil 1.12.	Ortak ofset ölçüm düzeneğinin şematik gösterimi.....	22
Şekil 1.13.	Ortak orta nokta ölçüm düzeneğinin şematik gösterimi .....	23
Şekil 1.14.	(a) Ana dalga yolları ( $\theta_c =$ kritik açı) , (b) dalga yolları için zaman-uzaklık grafiği .....	25
Şekil 1.15.	GAYK ölçüm düzeneği.....	27
Şekil 1.16.	Kuyu ölçümlerinin şematik gösterimi a) tek bir kuyu b) sıfır ofset profil ve b) çoklu ofset profil .....	28
Şekil 1.17.	GPR verilerinin bir, iki ve üç boyutta şematik gösterimi .....	29
Şekil 1.18.	Bir izin 1 boyutlu şematik gösterimi.....	30
Şekil 1.19.	B tarama (2 boyutlu) GPR verisinin şematik gösterimi.....	31
Şekil 1.20.	C tarama (3 boyutlu) GPR verisinin şematik gösterimi.....	32
Şekil 1.21.	(a) OON ölçümünden elde edilmiş örnek bir radargram (b) hız spektrumu (c) elde edilen 1B hız-derinlik değişimi.....	38
Şekil 1.22.	Çeşitli kayaç ve metaryellerin öz direnç değer aralıkları.....	40
Şekil 1.23.	Bir elektrik öz direnç çalışmasının şematik gösterimi .....	41
Şekil 1.24.	a) 1B, b) 2B ve c) 3B elektrik öz direnç tomografi uygulamaları .....	43

Şekil 1.25.	Çok-kanallı elektrik öz direnç verisinin Wenner dizilimine göre toplanması .....	44
Şekil 1.26.	Sismik tomografi ölçüm alma düzeneği .....	46
Şekil 1.27.	Arazide uygulanan ÇKYDA ölçüm sistemi.....	49
Şekil 1.28.	YDÇKA yönteminin temel işlem adımları .....	51
Şekil 1.29.	Yöntem için geliştirilmiş akış diyagramı .....	60
Şekil 2.1.	Çalışma alanının yer bulduru haritası .....	62
Şekil 2.2.	Çalışma alanına ait arazi kullanım haritası .....	63
Şekil 2.3.	Çalışma alanının jeoloji haritası.....	64
Şekil 2.4.	SK1 ve SK2 sondajlarına ait kaya sondaj logları.....	65
Şekil 2.5.	SK3 sondajına ait kaya sondaj logları.....	66
Şekil 2.6.	Alan 1’de sondaj ve jeolojik çalışmalar sonucunda çizilmiş stratigrafik kesiti .....	68
Şekil 2.7.	Çalışma alanının mühendislik jeolojisi haritası .....	69
Şekil 2.8.	Çalışma alanları (Alan 1 ve Alan 2) ve jeofizik ölçüm hatlarının lokasyonu .....	71
Şekil 2.9.	Alan 1 profil 1’de alınan GPR ölçümlerinden elde edilen radargramlar.....	73
Şekil 2.10.	Alan 1 profil 2’de alınan GPR ölçümlerinden elde edilen radargramlar.....	74
Şekil 2.11.	Alan 1 profil 3’de alınan GPR ölçümlerinden elde edilen radargramlar.....	75
Şekil 2.12.	Alan 1 profil 4’te alınan GPR ölçümlerinden elde edilen radargramlar.....	76
Şekil 2.13.	Alan 1 profil 5’te alınan GPR ölçümlerinden elde edilen radargramlar.....	77
Şekil 2.14.	Alan 1 profil 6’da alınan GPR ölçümlerinden elde edilen radargramlar.....	78
Şekil 2.15.	Alan 1 profil 6’da tek hatta alınan GPR ölçümünden elde edilen radargram .....	78
Şekil 2.16.	(a) OON ile oluşturulan model verisinden elde edilen radargram (b) Benzetim penceresi Hız noktalarının piklenmesi (c) Hızların doğru yerden piklendiğini gösteren radargram (d) 1 boyutlu hız-zaman modeli (siyah çizgi $V_{RMS}$ , kırmızı çizgi de $V_{ara}$ göstermektedir).....	80
Şekil 2.17.	GPR’da hız analizinin akış şeması.....	81
Şekil 2.18.	(a) Alan 1 profil 1’de 1.nokta üzerinde OON ile toplanmış GPR verisinden elde edilen radargram (b) Benzetim penceresi (c) 1B hız-derinlik modeli .....	82

Şekil 2.19.	(a) Alan 1 profil 1’de 2.nokta üzerinde OON ile toplanmış GPR verisinden elde edilen radargram (b) Benzetim penceresi (c) 1B hız-derinlik modeli .....	82
Şekil 2.20.	(a) Alan 1 profil 1’de 3.nokta üzerinde OON ile toplanmış GPR verisinden elde edilen radargram (b) Benzetim penceresi (c) 1B hız-derinlik modeli .....	83
Şekil 2.21.	(a) Alan 1 profil 1’de 4.nokta üzerinde OON ile toplanmış GPR verisinden elde edilen radargram (b) Benzetim penceresi (c) 1B hız-derinlik model .....	83
Şekil 2.22.	Alan 1 profil 1’de 4 noktadan toplanan OON ölçümleri ile elde edilen (a) 2B hız-derinlik kesiti (b) 2B dielektrik geçirgenlik-derinlik kesiti .....	85
Şekil 2.23.	(a) Alan 1 profil 2’de 1. nokta üzerinde OON ile toplanmış GPR verisinden elde edilen radargram (b) Benzetim penceresi (c) 1B hız-derinlik modeli .....	86
Şekil 2.24.	(a) Alan 1 profil 2’de 2. nokta üzerinde OON ile toplanmış GPR verisinden elde edilen radargram (b) Benzetim penceresi (c) 1B hız-derinlik modeli .....	86
Şekil 2.25.	(a) Alan 1 profil 2’de 3. nokta üzerinde OON ile toplanmış GPR verisinden elde edilen radargram (b) Benzetim penceresi (c) 1B hız-derinlik modeli .....	87
Şekil 2.26.	Alan 1 profil 2’de 4 noktada toplanan OON ölçümleri ile elde edilen (a) 2B hız-derinlik kesiti (b) 2B dielektrik geçirgenlik-derinlik kesiti .....	89
Şekil 2.27.	(a) Alan 1 profil 4’de 1. nokta üzerinde OON ile toplanmış GPR verisinden elde edilen radargram (b) Benzetim penceresi (c) 1B hız-derinlik modeli .....	90
Şekil 2.28.	(a) Alan 1 profil 4’de 2. nokta üzerinde OON ile toplanmış GPR verisinden elde edilen radargram (b) Benzetim penceresi (c) 1B hız-derinlik modeli .....	90
Şekil 2.29.	(a) Alan 1 profil 4’de 3. nokta üzerinde OON ile toplanmış GPR verisinden elde edilen radargram (b) Benzetim penceresi (c) 1B hız-derinlik modeli .....	91
Şekil 2.30.	(a) Alan 1 profil 4’de 4. nokta üzerinde OON ile toplanmış GPR verisinden elde edilen radargram (b) Benzetim penceresi (c) 1B hız-derinlik modeli .....	91
Şekil 2.31.	(a) Alan 1 profil 4’de 5. nokta üzerinde OON ile toplanmış GPR verisinden elde edilen radargram (b) Benzetim penceresi (c) 1B hız-derinlik modeli .....	92
Şekil 2.32.	(a) Alan 1 profil 4’de 6. nokta üzerinde OON ile toplanmış GPR verisinden elde edilen radargram (b) Benzetim penceresi (c) 1B hız-derinlik modeli .....	92

Şekil 2.33.	(a) Alan 1 profil 4’de 7. nokta üzerinde OON ile toplanmış GPR verisinden elde edilen radargram (b) Benzetim penceresi (c) 1B hız-derinlik modeli .....	93
Şekil 2.34.	(a) Alan 1 profil 4’de 8. nokta üzerinde OON ile toplanmış GPR verisinden elde edilen radargram (b) Benzetim penceresi (c) 1B hız-derinlik modeli .....	93
Şekil 2.35.	(a) Alan 1 profil 4’de 9. nokta üzerinde OON ile toplanmış GPR verisinden elde edilen radargram (b) Benzetim penceresi (c) 1B hız-derinlik modeli .....	94
Şekil 2.36.	(a) Alan 1 profil 4’de 10. nokta üzerinde OON ile toplanmış GPR verisinden elde edilen radargram (b) Benzetim penceresi (c) 1B hız-derinlik modeli .....	94
Şekil 2.37.	Alan 1 profil 4’de 10 noktada toplanan OON ölçümleri ile elde edilen (a) 2B hız-derinlik kesiti (b) 2B dielektrik geçirgenlik-derinlik kesiti .....	97
Şekil 2.38.	(a) Alan 1 profil 5’de 1. nokta üzerinde OON ile toplanmış GPR verisinden elde edilen radargram (b) Benzetim penceresi (c) 1B hız-derinlik modeli .....	98
Şekil 2.39.	(a) Alan 1 profil 5’de 2. nokta üzerinde OON ile toplanmış GPR verisinden elde edilen radargram (b) Benzetim penceresi (c) 1B hız-derinlik modeli .....	98
Şekil 2.40.	(a) Alan 1 profil 5’de 3. nokta üzerinde OON ile toplanmış GPR verisinden elde edilen radargram (b) Benzetim penceresi (c) 1B hız-derinlik modeli .....	99
Şekil 2.41.	(a) Alan 1 profil 5’de 4. nokta üzerinde OON ile toplanmış GPR verisinden elde edilen radargram (b) Benzetim penceresi (c) 1B hız-derinlik modeli .....	99
Şekil 2.42.	(a) Alan 1 profil 5’de 5. nokta üzerinde OON ile toplanmış GPR verisinden elde edilen radargram (b) Benzetim penceresi (c) 1B hız-derinlik modeli .....	100
Şekil 2.43.	(a) Alan 1 profil 5’de 6. nokta üzerinde OON ile toplanmış GPR verisinden elde edilen radargram (b) Benzetim penceresi (c) 1B hız-derinlik modeli .....	100
Şekil 2.44.	Alan 1 profil 5’de 6 noktada toplanan OON ölçümleri ile elde edilen (a) 2B hız-derinlik kesiti (b) 2B dielektrik geçirgenlik-derinlik kesiti .....	102
Şekil 2.45.	(a) Alan 1 profil 6’da 1. nokta üzerinde OON ile toplanmış GPR verisinden elde edilen radargram (b) Benzetim penceresi (c) 1B hız-derinlik modeli .....	103
Şekil 2.46.	(a) Alan 1 profil 6’da 2. nokta üzerinde OON ile toplanmış GPR verisinden elde edilen radargram (b) Benzetim penceresi (c) 1B hız-derinlik modeli .....	103

Şekil 2.47.	(a) Alan 1 profil 6'da 3. nokta üzerinde OON ile toplanmış GPR verisinden elde edilen radargram (b) Benzetim penceresi (c) 1B hız-derinlik modeli .....	104
Şekil 2.48.	(a) Alan 1 profil 6'da 4. nokta üzerinde OON ile toplanmış GPR verisinden elde edilen radargram (b) Benzetim penceresi (c) 1B hız-derinlik modeli .....	104
Şekil 2.49.	(a) Alan 1 profil 6'da 5. nokta üzerinde OON ile toplanmış GPR verisinden elde edilen radargram (b) Benzetim penceresi (c) 1B hız-derinlik modeli .....	105
Şekil 2.50.	(a) Alan 1 profil 6'da 6. nokta üzerinde OON ile toplanmış GPR verisinden elde edilen radargram (b) Benzetim penceresi (c) 1B hız-derinlik modeli .....	105
Şekil 2.51.	(a) Alan 1 profil 6'da 7. nokta üzerinde OON ile toplanmış GPR verisinden elde edilen radargram (b) Benzetim penceresi (c) 1B hız-derinlik modeli .....	106
Şekil 2.52.	(a) Alan 1 profil 6'da 8. nokta üzerinde OON ile toplanmış GPR verisinden elde edilen radargram (b) Benzetim penceresi (c) 1B hız-derinlik modeli .....	106
Şekil 2.53.	Alan 1 Profil 6'daki 8 noktada toplanan OON ölçümleri ile elde edilen (a) 2B hız-derinlik kesiti (b) 2B dielektrik geçirgenlik-derinlik kesiti .....	108
Şekil 2.54.	Alan 1 profil 1'de Dipol-Dipol dizilimi ile elde edilen elektrik kesiti .....	109
Şekil 2.55.	Alan 1 profil 2'de Dipol-Dipol dizilimi ile elde edilen elektrik kesiti .....	109
Şekil 2.56.	Alan 1 profil 3'te Dipol-Dipol dizilimi ile elde edilen elektrik kesiti .....	110
Şekil 2.57.	Alan 1 profil 4'te Dipol-Dipol dizilimi ile elde edilen elektrik kesiti .....	110
Şekil 2.58.	Alan 1 profil 5'te Dipol-Dipol dizilimi ile elde edilen elektrik kesiti .....	111
Şekil 2.59.	Alan profil 6'da Dipol-Dipol dizilimi ile elde edilen elektrik kesiti .....	111
Şekil 2.60.	Alan 1 profil 7'de Dipol-Dipol dizilimi ile elde edilen elektrik kesiti .....	112
Şekil 2.61.	(a) Alan 1 profil 4'ün birinci kısmından elde edilen zaman-uzaklık grafiği (b) P dalgası hız dağılımı (c) hesaplanan ile gözlenen eğrinin çakışması .....	113
Şekil 2.62.	(a) Alan 1 profil 4'ün ikinci kısmından elde edilen zaman-uzaklık grafiği (b) P dalgası hız dağılımı (c) hesaplanan ile gözlenen eğrinin çakışması .....	114
Şekil 2.63.	(a) Alan 1 profil 5'ten elde edilen zaman-uzaklık grafiği (b) P dalgası hız dağılımı (c) hesaplanan ile gözlenen eğrinin çakışması .....	115
Şekil 2.64.	(a) Alan 1 profil 7'den elde edilen zaman-uzaklık grafiği (b) P dalgası hız dağılımı (c) hesaplanan ile gözlenen eğrinin çakışması .....	116
Şekil 2.65.	Alan 1 profil 4'ün 1. kısım için (a) faz hızı-frekans kesiti (b) elde edilen dispersiyon eğrisi (c) hesaplanan ile gözlenen dispersiyon eğrilerinin karşılaştırılması ve (d) 1B Vs yeraltı yapısı .....	118

Şekil 2.66.	Alan 1 profil 4'ün 2. kısmı için (a) faz hızı-frekans kesiti (b) elde edilen dispersiyon eğrisi (c) hesaplanan ile gözlenen dispersiyon eğrilerinin karşılaştırılması ve (d) 1B Vs yeraltı yapısı .....	119
Şekil 2.67.	Alan 1 profil 5 için (a) faz hızı-frekans kesiti (b) elde edilen dispersiyon eğrisi (c) hesaplanan ile gözlenen dispersiyon eğrilerinin karşılaştırılması ve (d) 1B Vs yeraltı yapısı.....	120
Şekil 2.68.	Alan 1profil 6'nın 1. kısmı için (a) faz hızı-frekans kesiti (b) elde edilen dispersiyon eğrisi (c) hesaplanan ile gözlenen dispersiyon eğrilerinin karşılaştırılması ve (d) 1B Vs yeraltı yapısı .....	121
Şekil 2.69.	Alan 1 profil 6'nın 2. kısmı için (a) faz hızı-frekans kesiti (b) elde edilen dispersiyon eğrisi (c) hesaplanan ile gözlenen dispersiyon eğrilerinin karşılaştırılması ve (e) 1B Vs yeraltı yapısı .....	122
Şekil 2.70.	Alan 1 profil 7 için (a) faz hızı-frekans kesiti (b) elde edilen dispersiyon eğrisi (c) hesaplanan ile gözlenen dispersiyon eğrilerinin karşılaştırılması ve (e) 1B Vs yeraltı yapısı.....	123
Şekil 2.71.	(a) Alan 1 için oluşturulan modelin şekilsel gösterimi (b) Oluşturulan modelin seyahat zamanlı eikonal denklemi ile yapılan ters çözüm sonucu (c) Model 1'e ait dielektrik geçirgenlik sonucu .....	130
Şekil 2.72.	Alan 2 profil 1'de alınan GPR ölçümlerinden elde edilen radargramlar.....	132
Şekil 2.73.	Alan 2 profil 2'de alınan GPR ölçümlerinden elde edilen radargramlar.....	133
Şekil 2.74.	Alan 2 profil 3'de alınan GPR ölçümlerinden elde edilen radargramlar.....	134
Şekil 2.75.	Alan 2 profil 4'de alınan GPR ölçümlerinden elde edilen radargramlar.....	134
Şekil 2.76.	(a) Alan 2 profil 1'de 1. nokta üzerinde OON ile toplanmış GPR verisinden elde edilen radargram (b) Benzetim penceresi (c) 1B hız-derinlik kesiti .....	136
Şekil 2.77.	(a) Alan 2 profil 1'de 2. nokta üzerinde OON ile toplanmış GPR verisinden elde edilen radargram (b) Benzetim penceresi (c) 1B hız-derinlik kesiti .....	136
Şekil 2.78.	(a) Alan 2 profil 1'de 3. nokta üzerinde OON ile toplanmış GPR verisinden elde edilen radargram (b) Benzetim penceresi (c) 1B hız-derinlik kesiti .....	137
Şekil 2.79.	(a) Alan 2 profil 1'de 4. nokta üzerinde OON ile toplanmış GPR verisinden elde edilen radargram (b) Benzetim penceresi (c) 1B hız-derinlik kesiti .....	137
Şekil 2.80.	(a) Alan 2 profil 1'de 5. nokta üzerinde OON ile toplanmış GPR verisinden elde edilen radargram (b) Benzetim penceresi (c) 1B hız-derinlik kesiti .....	138

Şekil 2.81.	(a) Alan 2 profil 1’de 6. nokta üzerinde OON ile toplanmış GPR verisinden elde edilen radargram (b) Benzetim penceresi (c) 1B hız-derinlik kesiti .....	138
Şekil 2.82.	Alan 2 profil 1’de 4 noktadan toplanan OON ölçümleri ile elde edilen (a) 2B hız-derinlik kesiti (b) 2B .....	140
Şekil 2.83.	(a) Alan 2 profil 2’de 1. nokta üzerinde OON ile toplanmış GPR verisinden elde edilen radargram (b) Benzetim penceresi (c) 1B hız-derinlik kesiti .....	141
Şekil 2.84.	(a) Alan 2 profil 2’de 2. nokta üzerinde OON ile toplanmış GPR verisinden elde edilen radargram (b) Benzetim penceresi (c) 1B hız-derinlik kesiti .....	141
Şekil 2.85.	(a) Alan 2 profil 2’de 3. nokta üzerinde OON ile toplanmış GPR verisinden elde edilen radargram (b) Benzetim penceresi (c)1B hız-derinlik kesiti .....	142
Şekil 2.86.	(a) Alan 2 profil 2’de 4. nokta üzerinde OON ile toplanmış GPR verisinden elde edilen radargram (b) Benzetim penceresi (c) 1B hız-derinlik kesiti .....	142
Şekil 2.87.	(a) Alan 2 profil 2’de 5.nokta üzerinde OON ile toplanmış GPR verisinden elde edilen radargram (b) Benzetim penceresi (c) 1B hız-derinlik kesiti .....	143
Şekil 2.88.	Alan 2 profil 2’de 5 noktadan toplanan OON ölçümleri ile elde edilen (a) 2B hız-derinlik kesiti (b) 2B dielektrik geçirgenlik-derinlik kesiti .....	145
Şekil 2.89.	(a) Alan 2 profil 3’de 1. nokta üzerinde OON ile toplanmış GPR verisinden elde edilen radargram (b) Benzetim penceresi (c) 1B hız-derinlik kesiti .....	146
Şekil 2.90.	(a) Alan 2 profil 3’de 2. nokta üzerinde OON ile toplanmış GPR verisinden elde edilen radargram (b) Benzetim penceresi (c) 1B hız-derinlik kesiti .....	146
Şekil 2.91.	(a) Alan 2 profil 3’de 3. nokta üzerinde OON ile toplanmış GPR verisinden elde edilen radargram (b) Benzetim penceresi (c) 1B hız-derinlik kesiti .....	147
Şekil 2.92.	(a) Alan 2 profil 3’de 4. nokta üzerinde OON ile toplanmış GPR verisinden elde edilen radargram (b) Benzetim penceresi (c) 1B hız-derinlik kesiti .....	147
Şekil 2.93.	Alan 2 profil 3’de 4 noktada toplanan OON ölçümleri ile elde edilen (a) 2B hız-derinlik kesiti (b) 2B dielektrik geçirgenlik-derinlik kesiti .....	149
Şekil 2.94.	(a) Alan 2 profil 4’de 1. nokta üzerinde OON ile toplanmış GPR verisinden elde edilen radargram (b) Benzetim penceresi (c) 1B hız-derinlik kesiti .....	150
Şekil 2.95.	(a) Alan 2 profil 4’de 2. nokta üzerinde OON ile toplanmış GPR verisinden elde edilen radargram (b) Benzetim penceresi (c) 1B hız-derinlik kesiti .....	150



Şekil 2.96.	(a) Alan 2 profil 4'de 3. nokta üzerinde OON ile toplanmış GPR verisinden elde edilen radargram (b) Benzetim penceresi (c) 1B hız-derinlik kesiti .....	151
Şekil 2.97.	(a) Alan 2 profil 4'de 4. nokta üzerinde OON ile toplanmış GPR verisinden elde edilen radargram (b) Benzetim penceresi (c) 1B hız-derinlik kesiti .....	151
Şekil 2.98.	Alan 2 profil 4'de 4 noktada toplanan OON ölçümleri ile elde edilen (a) 2B hız-derinlik kesiti (b) 2B dielektrik geçirgenlik-derinlik kesiti .....	153
Şekil 2.99.	Alan 2'de 1. profilde Dipol-Dipol dizilimi ile elde edilen elektrik kesiti .....	154
Şekil 2.100.	Alan 2'de 2. profilde Dipol-Dipol dizilimi ile elde edilen elektrik kesiti .....	155
Şekil 2.101.	Alan 2'de 3. profilde Dipol-Dipol dizilimi ile elde edilen elektrik kesiti .....	155
Şekil 2.102.	Alan 2'de 4. profilde Dipol-Dipol dizilimi ile elde edilen elektrik kesiti .....	156
Şekil 2.103.	(a) Alan 2 profil 1'den elde edilen zaman-uzaklık grafiği (b) P dalgası hız dağılımı (c) hesaplanan ile gözlenen eğrinin çakışması .....	157
Şekil 2.104.	(a) Alan 2 profil 2'den elde edilen zaman-uzaklık grafiği (b) P dalgası hız dağılımı (c) hesaplanan ile gözlenen eğrinin çakışması .....	158
Şekil 2.105.	(a) Alan 2 profil 3'ten elde edilen zaman-uzaklık grafiği (b) P dalgası hız dağılımı (c) hesaplanan ile gözlenen eğrinin çakışması .....	159
Şekil 2.106.	(a) Alan 2 profil 4'den elde edilen zaman-uzaklık grafiği (b) P dalgası hız dağılımı (c) hesaplanan ile gözlenen eğrinin çakışması .....	160
Şekil 2.107.	Alan 2 profil 1 için (a) faz hızı-frekans kesiti (b) elde edilen dispersiyon eğrisi (c) hesaplanan ile gözlenen dispersiyon eğrilerinin karşılaştırılması ve (e) 1B Vs yeraltı yapısı .....	162
Şekil 2.108.	Alan 2 profil 2 için (a) faz hızı-frekans kesiti (b) elde edilen dispersiyon eğrisi (c) hesaplanan ile gözlenen dispersiyon eğrilerinin karşılaştırılması ve (d) 1B Vs yeraltı yapısı .....	163
Şekil 2.109.	Alan 2 profil 3 için (a) faz hızı-frekans kesiti (b) elde edilen dispersiyon eğrisi (c) hesaplanan ile gözlenen dispersiyon eğrilerinin karşılaştırılması ve (d) 1B Vs yeraltı yapısı .....	164
Şekil 2.110.	Alan 2 profil 4 için (a) faz hızı-frekans kesiti (b) elde edilen dispersiyon eğrisi (c) hesaplanan ile gözlenen dispersiyon eğrilerinin karşılaştırılması ve (d) 1B Vs yeraltı yapısı .....	165
Şekil 2.111.	(a) Alan 2 için oluşturulan modelin şekilsel gösterimi (b) Oluşturulan modelin seyahat zamanlı eikonal denklemi ile yapılan ters çözüm sonucu (c) Model 1'e ait dielektrik geçirgenlik sonucu .....	172
Şekil 3.1.	Alan 1 profil 1'den elde edilen (a) radargramlar (b) 2B EM dalga hız-derinlik ve dielektrik-derinlik kesitleri (c) elektrik öz direnç kesiti .....	174

Şekil 3.2.	Alan 1 profil 2'den elde edilen (a) radargramlar (b) 2B EM dalga hız-derinlik ve dielektrik-derinlik kesitleri (c) elektrik özdirenç kesiti ..... 175
Şekil 3.3.	Alan 1 profil 3'den elde edilen (a) radargramlar (b) elektrik özdirenç kesiti ..... 177
Şekil 3.4.	Alan 1 profil 4'den elde edilen (a) radargramlar (b) 2B EM dalga hız-derinlik ve dielektrik-derinlik kesitleri (c) elektrik özdirenç kesiti (d) P dalgası hız dağılımı (e) 1B Vs yeraltı yapısı (f) Sondaj logu..... 179
Şekil 3.5.	Alan 1 profil 5'den elde edilen (a) radargramlar (b) 2B EM dalga hız-derinlik ve dielektrik-derinlik kesitleri (c) elektrik özdirenç kesiti (d) P dalgası hız dağılımı (e) 1B Vs yeraltı yapısı..... 182
Şekil 3.6.	Alan 1 profil 6'den elde edilen (a) radargramlar (b) 2B EM dalga hız-derinlik ve dielektrik-derinlik kesitleri (c) elektrik özdirenç kesiti d) 1B Vs yeraltı yapısı ..... 184
Şekil 3.7.	Alan 1 profil 7'den elde edilen (a) elektrik özdirenç kesiti (b) P dalgası hız dağılımı (c) 1B Vs yeraltı yapısı (d) Sondaj logu..... 186
Şekil 3.8.	Alan 2 Profil 1'den elde edilen (a) radargramlar (b) 2B EM dalga hız-derinlik ve dielektrik-derinlik kesitleri (c) elektrik özdirenç kesiti (d) P dalgası hız dağılımı (e) 1B Vs yeraltı yapısı..... 188
Şekil 3.9.	Alan 2 Profil 2'den elde edilen (a) radargramlar (b) 2B EM dalga hız-derinlik ve dielektrik-derinlik kesitleri (c) elektrik özdirenç kesiti (d) P dalgası hız dağılımı (e) 1B Vs yeraltı yapısı..... 190
Şekil 3.10.	Alan 2 Profil 3'den elde edilen (a) radargramlar (b) 2B EM dalga hız-derinlik ve dielektrik-derinlik kesitleri (c) elektrik özdirenç kesiti (d) P dalgası hız dağılımı (e) 1B Vs yeraltı yapısı..... 192
Şekil 3. 11.	Alan 2 Profil 4'den elde edilen (a) radargramlar (b) 2B EM dalga hız-derinlik ve dielektrik-derinlik kesitleri (c) elektrik özdirenç kesiti (d) P dalgası hız dağılımı (e) 1B Vs yeraltı yapısı..... 194

## TABLolar DİZİNİ

### Sayfa No

Tablo 1.1.	Farklı ortam ve birimler için bağıl elektriksel geçirgenlik, yayılım hızı, iletkenlik ve soğrulma değerleri .....	9
Tablo 1.2.	Maxwell denklemlerinin zaman ve frekans ortamındaki integral ve diferansiyel formları .....	15
Tablo 1.3.	Maxwell eşitliklerindeki ilgili nicelikler için birimler ve değişkenler .....	17
Tablo 1.4.	Elektromanyetik dalga hızının belirlenmesi yöntemleri .....	35
Tablo 1.5.	Boyuna dalgası hızı ile zemin ya da kayaçların sökülebilirliği .....	52
Tablo 1.6.	Kesme dalgası ( $V_s$ ) hızına göre zemin türünün sınıflandırılması .....	53
Tablo 1.7.	$V_p/V_s$ ' nin zemin türüne göre sınıflandırılması .....	54
Tablo 1.8.	Poisson oranına göre zemin sınıflaması .....	54
Tablo 1.9.	Elastisite modülüne göre zemin ya da kayaçların dayanımı .....	55
Tablo 1.10.	Kayma modülüne göre zemin ya da kayaçların dayanımı .....	56
Tablo 1.11.	Bulk modülü değerlerine göre zemin ya da kayaçların dayanımı .....	56
Tablo 1.12.	Zeminlerin taşıma güçlerine göre dayanımları (Keçeli, 1990) .....	57
Tablo 1.13.	Dinamik-Elastik sabitlerin $V_p$ ve $V_s$ hızları cinsinden bağıntıları .....	57
Tablo 2.1.	Alan 1'de yapılan jeofizik ölçüm bilgileri .....	72
Tablo 2.2.	Alan 1 için ölçüm parametreleri .....	72
Tablo 2.3.	Profil 1'deki 4 noktaya ait derinlik ve EM dalga hızları .....	84
Tablo 2.4.	Profil 1'deki 4 noktaya ait derinlik ve EM dalga hızları .....	87
Tablo 2.5.	Profil 1'deki 4 noktaya ait derinlik ve EM dalga hızları .....	95
Tablo 2.6.	Profil 1'deki 4 noktaya ait derinlik ve EM dalga hızları .....	101
Tablo 2.7.	Profil 1'deki 4 noktaya ait derinlik ve EM dalga hızları .....	107
Tablo 2.8.	Alan 1 profil 4 (1. kısım) için hesaplanan bazı mühendislik parametreleri .....	125
Tablo 2.9.	Alan 1 profil 4 (2. kısım) için hesaplanan bazı mühendislik parametreleri .....	126
Tablo 2.10.	Alan 1'deki 5. profil için hesaplanan bazı mühendislik parametreleri .....	127
Tablo 2.11.	Alan 1'deki 7. profil için hesaplanan bazı mühendislik parametreleri .....	128
Tablo 2.12.	Alan 2'de yapılan jeofizik ölçüm bilgileri .....	131
Tablo 2.13.	Alan 2 için ölçüm parametreleri .....	131
Tablo 2.14.	Profil 1'deki 4 noktaya ait derinlik ve EM dalga hızları .....	139
Tablo 2.15.	Profil 1'deki 4 noktaya ait derinlik ve EM dalga hızları .....	143

Tablo 2.16. Profil 1'deki 4 noktaya ait derinlik ve EM dalga hızları.....	148
Tablo 2.17. Profil 1'deki 4 noktaya ait derinlik ve EM dalga hızları.....	152
Tablo 2.18. Alan 2'deki 1. profil için hesaplanan bazı mühendislik parametreleri .....	167
Tablo 2.19. Alan 2'deki 2. profil için hesaplanan bazı mühendislik parametreleri .....	168
Tablo 2.20. Alan 2'deki 3. profil için hesaplanan bazı mühendislik parametreleri .....	169
Tablo 2.21. Alan 2'deki 4. profil için hesaplanan bazı mühendislik parametreleri .....	170



## SEMBOLLER DİZİNİ

A	: Fresnel bölgesinin uzun ekseninin yarıçapı
A	: Akımın geçtiği telin kuşattığı kapalı döngü alanı
B	: Manyetik akı yoğunluğu
c	: Işık hızı
$\bar{D}$	: Elektrik yer değiştirme
D	: Derinlik
E	: Elektrik alan şiddeti
$E_a$	: Elektrik alan bileşenlerinin genliği
$E_b$	: Elektrik alan bileşenlerinin genliği
$f_t$	: Geçiş frekansı
H	: Manyetik alan şiddet
I	: Dalganın genliği
$i_c$	: Kırılma açısı
J	: Akım yoğunluğu
$J_D$	: Yer değiştirme akımı
$J_C$	: İletim akımları
$K_m$	: Bağıl manyetik geçirgenlik
k	: Manyetik duyarlılık
$K'$	: Ortalama bağıl dielektrik katsayısı
$\bar{m}$	: İndüklenen manyetik moment miktarı
$\vec{M}$	: Manyetik dipol moment
$\hat{n}$	: Normal vektörü
R	: Yansıma katsayıları
RI	: Yansıyan dalga
T	: İletim katsayıları
TI	: İletilen dalga
TE	: Enine elektrik alan

TM	: Enine manyetik alan
$t_0$	: Ofsetdeki tek yönlü seyahat süresi
$\tan\delta$	: Kayıp tanjantı
V	: Hız
$\omega$	: Açısal frekans
$\omega_t$	: Geçiş frekansı
x	: Hız çalışmasındaki antenler arasındaki mesafe
Z	: Elektromanyetik empedans
$Z_0$	: Boşluğun empedansı
q	: Yük yoğunluğu
$\epsilon$	: Dielektrik geçirgenlik
$\epsilon_r$	: Bağıl dielektrik geçirgenlik katsayısı
$\sigma$	: Elektrik iletkenlik
$\mu$	: Manyetik geçirgenlik
$\mu_0$	: Boşluğun manyetik geçirgenliği
$\mu_r$	: Maddenin bağıl manyetik geçirgenliği
$\Theta$	: Mineralin hacimsel miktarı
$\phi_a$	: Faz açısı
$\phi_b$	: Faz açısı
$\epsilon_0$	: Boşluğun dielektrik sabiti
$\alpha$	: Sönümlenme
$\lambda$	: Dalga boyu
$\epsilon_{r1}$	: Birinci tabakadaki dielektrik geçirgenlik
$\epsilon_{r2}$	: İkinci tabakadaki dielektrik geçirgenlik

## 1. GENEL BİLGİLER

### 1.1. Giriş

Türkiye dünyanın gelişen ülkelerinden biridir ve bu gelişmeye bağlı olarak yapı sektörü de hızla gelişmektedir. Son yıllarda ülkemiz yapılaşma açısından hızla büyümekte ve endüstrileşmektedir. Karadeniz Bölgesi'nin Doğu bölümünde yer alan Trabzon kenti ve çevresinde de ortaya çıkan nüfus artışı; endüstrileşme ve buradaki yapılaşma oranını ciddi miktarda yükseltmiştir. Bölgenin topografyası gereği yapılaşma için bulunan uygun alanlar kısıtlıdır ve bölgede yapılar genellikle dağlık alanlarda ve bitki örtüsünün yoğun olarak bulunduğu arazilere kurulmaktadır. Ayrıca, Trabzon ve çevresinin topografyası ve ikliminden kaynaklı olarak farklı zamanlarda ve farklı lokasyonlarda çok sayıda doğal afetler oluşmaktadır. Bu afetler yapılan/yapılabilecek yapılaşma için büyük tehditler meydana getirebilmektedir. Son zamanlarda, bölgemizdeki heyelanlar başta olmak üzere doğal afetlerdeki artışlar yapılaşma için doğru yer seçiminin önemini arttırmıştır. Yapılaşma için yer seçilirken, yapının kurulacağı zeminin mühendislik özelliklerinin doğru bir şekilde ortaya koyulması daha sonradan ortaya çıkabilecek zararları önlemek adına oldukça önemlidir.

Bu tezde, inceleme alanı sınırları içerisinde kalan Trabzon ili Tonya Formasyon'unun yer aldığı Akoluk mevkiinde, jeofizik ve jeolojik çalışmalar yapılmıştır. Jeofizik yöntemlerden yer radarı (GPR), elektrik özdirenç tomografi (ERT), sismik kırılma tomografisi (SKT) ve çok kanallı yüzey dalgası analizi (ÇKYDA) yöntemleri mühendislik çalışmalarında oldukça etkin bir şekilde kullanılmaktadır (Yelf, 2007; Panek vd., 2008; Hubbard, 2009; Mori, 2009; Pellicer ve Gibson, 2011; Shirgiri, 2012; Nwokebuihe, 2014; Al-Heety ve Shanshal, 2016; Chandran ve Anbazhagan, 2017). Herhangi bir inceleme alanında bulunan kaya kütlelerinin fiziksel ve yapısal özelliklerinin belirlenmesi bu jeofizik yöntemlerle yapılabilmektedir. Uygulanan jeofizik yöntemlerle, özellikle karmaşık bir yapı içeren bölgelerde sadece jeolojik çalışmalar ile elde edilecek olan sonuçlar genellikle yeterli olmadığından, daha ayrıntılı ve alansal sonuçlar elde edilmektedir (Donohue vd., 2009; Deparis vd., 2011; Sauvin, 2014). Jeofizik yöntemlerden yer radarı, sismik ve elektrik özdirenç yöntemlerinin mühendislik

çalışmalarında uygulaması konusunda ve çalışma alanında yapılan bazı çalışmalar incelenecek olursa;

Kırmacı ve Akdag (2005) Tonya Formasyon'unun hâkim olduğu Hacımehmet bölgesinde yapmış oldukları çalışmada, kalsitürbiditlerden oluşan formasyonun taban seviyelerinin kısmen dolomitleşmiş olduğunu belirtmişlerdir. Aynı çalışmada dolomitlerden yapılan analizlerde iki morfolojik dolomit türü tanımlanmıştır. Çalışmada, Tonya Formasyonu'ndaki dolomitleşmenin büyük olasılıkla kısmen artan sıcaklıklarda kaya su etkileşimiyle az miktarda değişen deniz suyu tarafından oluşturulmuş olabileceği vurgulanmıştır.

Giovanni Leucci, 2007 yılında İtalya'nın Puglia kentinin güneydoğusundaki Roca uçurumunda sismik kırılma tomografisi, elektriksel özdirenç tomografi ve yer radarı yöntemlerinin birlikte kullanımını içeren jeofizik bir araştırma gerçekleştirmiştir. Bu çalışmanın amacı; birleşik jeofizik yöntemler ile uçurumun ardındaki kaya kütlelerinin fiziksel-mekanik özelliklerini araştırmaktır. Elde edilen jeofizik veriler jeolojik ve jeomorfolojik verilerle karşılaştırılmış ve tüm verilerin birleşik olarak yorumlanması ile oradaki kaya kütlelerinin fiziksel-mekanik özellikleri başarılı bir şekilde ortaya çıkarılmıştır.

Ersoy (2007) yılında yapmış olduğu doktora tez çalışmasında Trabzon ilindeki mevcut katı atık yönetim sistemi ve aksaklıkları incelemiş, katı atık düzenli depolama uygunluk haritası üretmiştir ve bu uygunluk haritasından, Düzyurt Mevkii'nde bulunan eski bir açık işletme sahasının Trabzon ili için en uygun düzenli depolama alanı olacağını belirlemiş ve bu alanı jeoteknik açıdan araştırmıştır. Sonuç olarak, yapılan jeolojik çalışmalarla düzenli depolama alanı olarak önerilen Düzyurt eski açık işletme sahasının jeoteknik açıdan uygun olduğu sonucuna varmıştır.

Groves vd., (2011) jeoteknik olarak üç jeofizik yöntemin (elektriksel özdirenç görüntüleme, sismik kırılma ve yüzey dalgalarının çok kanallı analizi) bataklık ve sulak alanlardaki yer karakterizasyonunun üzerindeki etkinliğini birlikte değerlendirmek için bir araştırma yapmışlardır. Elde ettikleri jeofizik sonuçları sondaj ve koni penetrometre testlerinden elde edilen sonuçlara göre de doğrulamış ve bu yöntemlerin bu tarz saha araştırmaları için bir temel olarak kullanılabileceğini göstermişlerdir.

Ayolabi vd., (2012) iki boyutlu (2B) ve üç boyutlu (3B) elektrik özdirenç tomografi ile bir sahadaki mühendislik özelliklerini ortaya çıkarmak amacı ile yapmış oldukları çalışmada; herhangi bir yapılaşma durumunda bina inşaatının stabilitesini sağlamak ve binanın çöküşünün yıkıcı etkilerini önlemek için bu yöntemi uygulamışlardır. 2B ve 3B



elektrik özdirenç tomografi uygulamalarının sonuçları, çalışma alanında alt yüzey, üst ve alt killi-kum/kumlu-kil ile kum arasında bulunan tabakanın da turba/kil ile tanımlandığını ortaya çıkarmışlar ve kullandıkları yöntemin uygun temel yapıyı tasarlamada yararlı bir kılavuz sağlandığını göstermişlerdir.

Kovačević vd., (2013) tarafından fiziksel-mekanik özelliklerin belirlenmesi amacı ile Hırvatistan'da mühendislik uygulamalarında önemli olan jeofizik yöntemlerin birlikte kullanımının başarılı bir şekilde uygulanmasının örneklerini içeren çalışma ile jeofizik yöntemlere genel bir bakış verilmiştir. Yaptıkları bu çalışmada jeofizik yöntemlerin, yeraltının daha eksiksiz bir görüntüsü ve jeolojik yapıların daha iyi yorumlanması için araştırmaların ön aşaması olarak, sondaj çalışmaları ile birlikte kullanılması gerektiğinin önemini vurgulamışlardır.

Son yıllarda giderek artan bir nüfus ve büyüyen kentleşme ile bazı binalarda, yapı tasarımlarıyla ilgili olmayan yapısal hasarlar yaşamakta, bunun yerine binaların temelleri arasındaki zemin koşullarını yerine getirmektedir. Bu konu ile ilgili Shaaban vd, (2013) yılında yapmış oldukları çalışmada yüzey dalgasının çok kanallı analizini, yer radarı ve elektrik özdirenç tomografi yöntemlerini içeren birleşik bir jeofizik araştırma yapmışlardır. Yaptıkları bu çalışma ile üç jeofizik yöntemin yorumlarının bütünleştirilmesi, yer özelliklerinde yanal ve düşey değişimleri yansıtan birleşik bir model sağlamış ve başarılı sonuçlar ortaya konmuştur.

Sofracioğlu ve Kandemir (2013) yapmış oldukları çalışmada, Tonya Formasyonu'nun hakim olduğu Hacımehmet ve Gürbulak alanlarında, kaya tiplerinin dağılımını, fasiyes mimarisini, çökel dokuları ve çökeltme ortamlarını belirlemek amacı ile iki stratigrafik kesit ölçümü yaparak çalışmışlardır. Çalışmada, çökellerin kalsitürbidit fasiyesinde çökeldikleri ve geç Kampaniyen'de var olan bir karbonat çökeltim ortamından beslendikleri vurgulanmıştır.

Sarı vd., (2014), Trabzon'un güneyinde yer alan Hacımehmet bölgesinde ölçtükleri stratigrafik kesitte detaylı biyostratigrafi ve mikrofasiyes analizleri gerçekleştirmişlerdir. Yapmış oldukları bu çalışma ile elde edilen sonuçlara dayanarak, Doğu Pontidlerde geç Kampaniyen'in sonlarında derin deniz ortamına yakın sığ denizel karbonat çökeltme ortamının varlığını ortaya çıkarmışlardır.

Babacan (2014) yapmış olduğu "Kabaköy Formasyon'una Ait Volkanik Kayaçların (Trabzon) Mühendislik Özelliklerinin Sismik Tomografi Yöntemi İle Belirlenmesi" adlı doktora tez çalışmasında Trabzon ili ve çevresinde oldukça büyük bir alanda yayılım

gösteren Kabaköy Formasyon'unu oluşturan volkanik kayaların kaya kalitesi ve bazı mühendislik özelliklerini, hız ve soğurulma tomografisi yöntemi ile çalışmıştır. Yapılan bu çalışma ile Kabaköy Formasyon'una ait volkanik kayaların mühendislik özellikleri başarılı bir şekilde ortaya konulmuştur.

Yeraltı jeolojisini haritalamak için yeraltındaki malzemelerin fiziksel özelliklerini tespit etmek amacıyla, hem sismik kırılma tomografisi hem de elektrik özdirenç tomografi tekniklerinin birlikte kullanıldığı bir çalışmada (Al-Heety ve Shanshal, 2016) iki jeofizik yöntem, yorumlamaya yardımcı olmak ve elde edilen sonuçların önemini ve güvenilirliğini değerlendirmek ve daha iyi bir yaklaşım olduğu için birlikte kullanılmıştır. Ayrıca her bir yöntemin mühendislik jeofiziğinin, yeraltı özelliklerinin belirlenmesi için çözümler sağlayabildiği ve yeraltı yapısının makul bir modelinin geliştirilmesi için farklı arama tekniklerinin gerekli olduğu kanıtlanmıştır.

Addai vd. (2016) tarafından yapılan bir jeofizik çalışmada da inceleme alanındaki mühendislik alanı özelliklerinin belirlenmesi amacıyla yapılmıştır. Bu amaçla 2B elektrik özdirenç görüntüleme ve sismik kırılma yöntemleri uygulanmıştır. Yaptıkları bu çalışma ile genel olarak, yeraltı yüzeyinin kil, kumlu-kil, oldukça ayrıışmış granit ve şist, laterit, kuru gevşek kumdan yapılmış olduğu ve çalışma alanında gelecekteki mühendislik yapılarının temellerine uygun olmayan yapılar bulunmadığını belirlenmişlerdir. Çalışma, mühendislik alanı araştırmalarında jeofizik araçların birleşiminin birlikte değerlendirilmesinin önemini göstermiştir.

## **1.2. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı**

Bu tez çalışmasının amacı; Trabzon ili Akoluk mevkiisinde yapılaşmaya açılması düşünülen bir alandaki Geç Kretase-Paleosen yaşlı Tonya Formasyon'una ait kayaların mühendislik özelliklerinin, birleşik jeofizik yöntemler (GPR, ERT, SRT, ÇKYDA) kullanılarak belirlenmesidir. Bu amaç kapsamında, çalışma alanında öncelikle jeofizik veriler toplanmış, değerlendirilmiş ve elde edilen veriler ile jeolojik veriler bir araya getirilerek, çalışma alanında oluşturulan modeller üzerinde ters çözüm işlemleri uygulanarak tomografi çalışmaları yürütülmüştür. Çalışma alanında yer radarı yöntemi ile her bir ölçü hattı boyunca belirli aralıklarla yapılan ortak orta nokta (OON) ölçümleri sonucunda yer altının öncelikle 1B hız-derinlik modelleri oluşturulmuştur. Daha sonra paralel hatlarda alınan ölçümlerde 2B hız-derinlik kesitleri ve buradan malzemelerin

özelliklerini belirleyici değişkenlerden biri olan dielektrik geçirgenlik kesitleri oluşturulmuştur. Yer radarı verilerinde hız analizi yöntemi bu çalışma alanında ilk kez uygulanmıştır. Ayrıca çalışma alanında yapılan sismik çalışmalar ile elde edilen sismik hızlarla ( $V_p, V_s$ ) inceleme alanına ait bazı mühendislik parametreleri (Poisson oranı, elastisite modülü, kayma modülü, bulk modülü) ilgili deneysel bağıntılar kullanılarak hesaplanmıştır ve değerlendirilmiştir.

Jeofizik verilerin düz ve ters çözüm çalışmaları ile araziden elde edilen 1B ve 2B görüntüler birlikte değerlendirilerek, çalışma alanına ait jeofizik-jeolojik-jeoteknik özellikler ortaya çıkarılmıştır.

Bu tezin ilerleyen bölümlerde ilk olarak çalışmada kullanılan yöntemlerin teorik temelleri ile çalışmada kullanılan ana yöntemlerden biri olan OON ölçümleri olmasından dolayı, bu yöntem daha detaylı şekilde açıklanmıştır. Daha sonraki bölümde ise, arazi çalışması ile elde edilen jeofizik veriler, kuyu tomografisi model çalışmaları verilirken son bölümde sonuçlar sunulmuş ve tartışılmıştır.

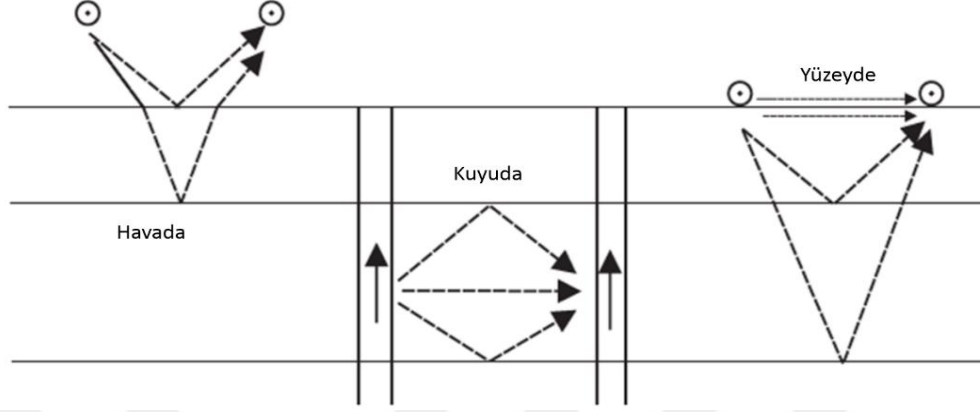
### **1.3. Çalışmada Kullanılan Jeofizik Yöntemler**

#### **1.3.1. Yer Radarı (GPR) Yöntemi**

Yer radarı (GPR, Georadar, Ground Penetrating Radar, Ground Probing Radar, Subsurface Radar), elektromanyetik (EM) dalgaları kullanarak araştırılan ortamın sığ derinliklerinin hasarsız görüntülenmesini sağlayan bir elektromanyetik yöntemdir. GPR ile ilgili ilk yapılan araştırmalar, buzul, buz tabakası ve don tabakası ölçümlerini içermektedir. Günümüzde bu yüksek çözünürlüklü jeofiziksel yöntem için jeolojik, tarımsal, arkeolojik, çevresel, jeoteknik ve hidrolojik uygulamaları içeren çok sayıda uygulama mevcuttur. Çeşitli kitaplar (Conyers ve Goodman, 1997; Daniels, 2004; Jol, 2009, vb.), kitap bölümleri (Annan, 2005a,b; Blindow, 2006, vb.) ve birçok makale (Davis ve Annan, 1989; Huisman, vd., 2003; Knight, 2001; Neal, 2004; Slob vd., 2010, vb.) GPR teknolojisinin prensiplerini tarif etmekte, gerekli işlem adımlarını tartışmakta, çok sayıda mevcut ve ortaya çıkan uygulamaları göstermektedir.

GPR ölçümleri havadan, kuyuda ve yüzeyde (Şekil 1.1) olmak üzere farklı şekillerde uygulanabilir. Burada, dipol niteliğini yansıtan, yayılan ve iletilen elektromanyetik

alanların kutuplanmış olduğunu gösteren kaynak ve alıcı antenleri koyu oklarla gösterilmiştir (van der Kruk, 2015).



Şekil 1.1. Yer radarı yönteminin en çok kullanılan üç uygulama şekli a) havadan b) kuyuda ve c) yüzeyde (Van der Kruk, 2015).

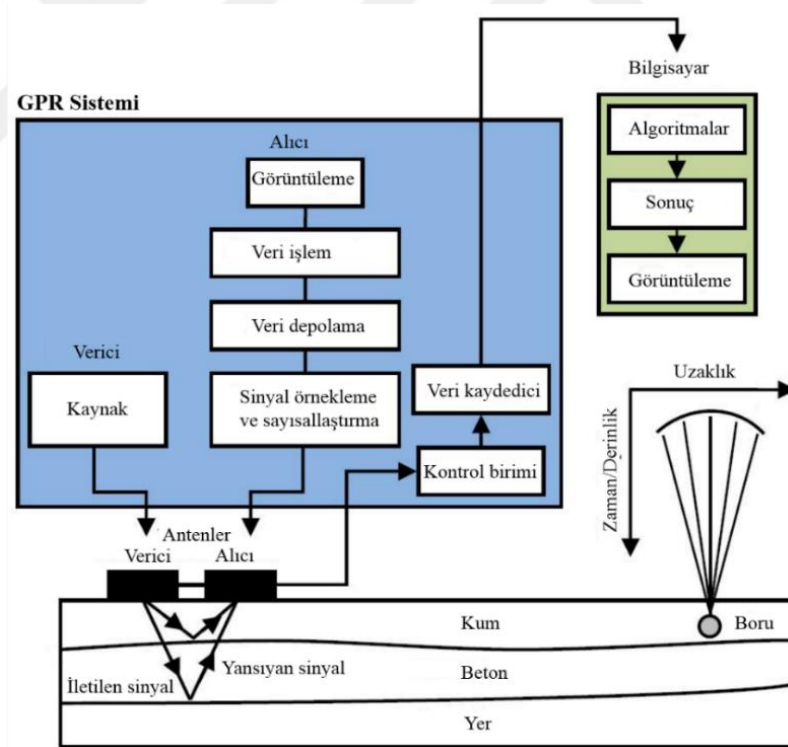
Yer radarı, elektromanyetik dalgaların yayılımına dayanan hasarsız bir yeraltı araştırma tekniğidir. Sismik yansıma yöntemine benzer şekilde, GPR ölçümleri, bir verici antene (veya kaynağa) sahip bir elektromanyetik sinyali yansıtıran elde edilen elektromanyetik alanın alıcı antenle yeraltında yayılmasından sonra kaydedilmesini içermektedir. Bu kaydedilen sinyal, yeraltının bir izini içermekte ve bu sinyalin analiz edilmesi, yeraltındaki yapılar hakkında bilgi sağlamaktadır (Daniels, 1996; Annan, 2004). GPR uygulamalarında yayılan sinyalin merkez frekansı genellikle 10 MHz ila birkaç GHz arasında değişmekte ve yüzlerce metre kalınlığındaki kutup buz tabakasından santimetre kalınlığındaki tarımsal beton yapılara kadar çeşitli ölçülerdeki objelerin ya da yeraltının araştırılmasına imkân vermektedir.

Bir GPR sisteminde, bir verici anten ile üretilen elektromanyetik sinyal yeraltı boyunca bir dalga olarak yayılır (Jol ve Smith, 1991; Holden vd., 2002). Bu dalga yer içinde yayılırken farklı dielektrik özelliklere ( $\epsilon$ ; elektriksel geçirgenlik,  $\sigma$ ; iletkenlik,  $\mu$ ; manyetik geçirgenlik) sahip bir ara yüzey veya noktaya geldiği zaman, dalganın elektromanyetik enerjisinin bir bölümü alıcı antene doğru yansımakta ya da saçılmaya uğramaktadır (Davis ve Annan, 1989). Burada ifade edilen dielektrik özellikler;

Elektriksel geçirgenlik ( $\epsilon$ ), bir dış elektrik alanının etkisi altında bir malzeme özelliklerini karakterize eden tanısal bir fiziksel özelliktir. Elektriksel geçirgenlik, GPR yönteminde birincil kullanılan fiziksel özellik olup doğadaki malzemelerin dielektrik

özellikleri genellikle bağıl dielektrik geçirgenlik ( $\epsilon_r$ ) olarak adlandırılır. Bu da maddenin dielektrik iletkenliğinin boşluğun dielektrik iletkenliğine oranıdır. İletkenlik ( $\sigma$ ), elektriksel yüklerin, uygulanan bir elektrik alanına maruz bırakıldığında belirli bir malzemeden ne kadar kolay hareket ettiğini ölçen bir fiziksel özelliktir. Manyetik geçirgenlik ( $\mu$ ) ise, bir malzemenin manyetik alan etkisinde kalması sonucunda kazanmış olduğu mıknatıslık özelliğinin derecesini gösteren bir fiziksel özelliktir. Doğadaki malzemelerin manyetik geçirgenliği genellikle bağıl manyetik geçirgenlik ( $\mu_r$ ) olarak adlandırılmaktadır ve maddenin manyetik geçirgenliğinin boşluğun manyetik geçirgenliğine oranıdır.

Yer radarı yöntemindeki alıcı bir anten, yansıyan dalgayı gidiş-geliş seyahat zamanı nanosaniye olarak ve yansıyan enerji dalgasının genliği olarak kayıt altına almaktadır (Şekil 1.2). Diğer kısmı da daha derin ortamlara ilerleyebilmektedir. Böylece, radar dalgalarının gidiş-geliş seyahat zamanlarından faydalanarak, dielektrik özelliklerin değiştiği yerin derinliği ve geometrisi belirlenmektedir (Milsom, 2003).



Şekil 1.2. Yer radarı yönteminin çalışma prensibi (Bostanudin, 2013)

Seyahat zamanı yeraltında bulunan malzemenin yayılım hızı ile kontrol edilmektedir. EM dalganın hızı boşlukta yaklaşık 0.3 m/ns'dir. Yeraltında bulunan tüm malzemelerin bağıl elektriksel geçirgenliği, havanın elektriksel geçirgenliğinden daha büyüktür ve

bilindiği gibi, elektriksel geçirgenlikle EM dalga hızı arasında ters bir ilişki vardır. Bu nedenle de yeraltında bulunan tüm malzemelerin elektromanyetik dalga hızı, havadaki elektromanyetik dalga hızından daha azdır. Bu malzemelerin elektromanyetik dalga hızı 0.05-0.17 m/ns aralığında değişmektedir (Baker vd., 2007). Elektriksel geçirgenliğin arttığı ortamlarda, EM dalga hızı azalmaktadır ve bu durum enerji kaybına sebep olurken, elektriksel geçirgenliğin ani azaldığı ortamlarda da hız artmaktadır. Bu sebeple elektriksel geçirgenliğin yüksek olduğu ortamlarda GPR ile çalışmak oldukça zor ve istenilmeyen bir durumdur (Weeds, 1994). EM dalganın ilerleme hızı malzemenin bağlı elektriksel geçirgenliğine bağlıdır. Fakat yayılan dalganın genliği ve sönümlenmesi ise malzemenin elektriksel iletkenliğine ve manyetik geçirgenliğine de bağlıdır. Örneğin, manyetik geçirgenlik arttığı zaman genlik sönümlenmesi de artmakta ve bu nedenle verinin kalitesi ve nüfuz edeceği derinliği azalmaktadır. EM dalga yayılımını etkileyen bir diğer özellikte elektriksel iletkenliktir. Yüksek elektriksel iletkenliğe sahip jeolojik malzemelerde, EM dalga sinyallerini sönümlenebilir. Bu durumda yüksek iletkenliğe sahip olan malzemeler daha az kaliteli GPR verisi oluşturmaktadır ve nüfuz derinliğini azaltmaktadır (Tablo 1.1).

Bir GPR verisinde, doğrudan gelen hava dalgası yeryüzünde bulunan alıcıya ilk ulaşan dalgadır. Radar dalgalarının hava içinde ışık hızına yakın hızlarda seyahat etmesi sebebiyle bu dalga kayıtlara en önce ulaşmaktadır. Doğrudan gelen hava dalgasının seyahat ettiği süre, kolay bir şekilde hesaplanabilmektedir ve bu süre nispeten sabit bir değerden oluşmaktadır. Bir sonraki ulaşan dalga ise doğrudan gelen yer dalgası olarak nitelendirilmektedir. Bu yer dalgası yeraltının üst yüzeyi boyunca seyahat etmektedirler. Bundan sonra ulaşan dalgalar dielektrik farklılığına sahip ara yüzeylerden geriye dönen yansımalarından oluşmaktadır. Bu yansımalar yansıma gösterdikleri arayüzeylerin yeraltında buldukları derinlik sırasına göre yüzeydeki alıcıya ulaşmaktadırlar. GPR dalgaları arayüzeylerden yansıyabileceği gibi kırılmaya da uğrayabilirler. Kırılmaya uğrayan radar dalgaları yer radarı kesitlerinde oldukça karmaşık görüntüler oluşturduğundan bunlar iki boyutlu yer radarı kesitlerinde genellikle elde edilememektedir. EM dalganın genliğinin herhangi bir ara yüzeydeki değişiminin nasıl olduğu yansıma ve iletim katsayıları ile açıklanmaktadır. Bu katsayılar ortamın dielektrik özelliklerine göre farklılık göstermektedir. Yansıyan dalga genliğinin gelen dalga genliğine oranı yansıma katsayısı ve iletilen dalga genliğinin gelen dalga genliğine oranı da iletim katsayısı olarak ifade edilmektedir. Bu katsayılar, ara yüzeyin üstünde ve altında bulunan zeminin dielektrik sabiti ile hesaplanmaktadır (Wilchek, 2000) ve

$$R = \frac{\sqrt{\epsilon_{r1}} - \sqrt{\epsilon_{r2}}}{\sqrt{\epsilon_{r1}} + \sqrt{\epsilon_{r2}}} \quad (1.1)$$

$$T = \frac{2\sqrt{\epsilon_{r2}}}{\sqrt{\epsilon_{r1}} + \sqrt{\epsilon_{r2}}} \quad (1.2)$$

olarak ifade edilmektedirler. Burada,  $\epsilon_{r1}$  birinci ortamın dielektrik geçirgenliği,  $\epsilon_{r2}$  ise ikinci ortamın dielektrik geçirgenliği, R: Yansıma katsayısı, T: İletim katsayısıdır.

GPR araştırmalarında kullanılan antenin merkez frekansı da nüfuz derinliğini etkilemektedir. Düşük frekanslı antenler kullanıldığı zaman daha yüksek bir nüfuz derinliği elde edilirken radargramların çözünürlüğü düşük olmakla beraber yüksek frekanslı anten kullanıldığında ise daha yüksek bir çözünürlük elde edilirken nüfuz derinliğinin azaldığı görülmektedir (Davis ve Annan, 1989; Daniels. 1989; Annan, 2001).

Tablo 1.1. Farklı ortam ve birimler için bağıl elektriksel geçirgenlik, yayılım hızı, iletkenlik ve soğrulma değerleri (Conyers ve Goodman, 1997; Wilchek, 2000; Leckebush, 2003)

Malzeme	Bağıl Elektriksel Geçirgenlik	Yayılım hızı V, (m/nsn)	İletkenlik $\sigma$ , (mS/m)	Soğrulma Soğrulma sabiti, $\alpha$
Hava	1	0.3	0	0
Kil	5-40	0.06	2-1000	1-300
Kil (ıslak)	10	0.095	500	300
Killi toprak (ıslak)	19	0.07	500	200
Killi toprak (kuru)	2.5	0.19	2,7	3
Kireçtaşı	4-8	0.12	0.5-2	0.4-1.0
Kum (kuru)	5	0.13	0.01	0.01
Kumlu toprak (ıslak)	25	0,06	69	23
Kumlu toprak (kuru)	2.6	0,19	1,4	1
Kumtaşı	4.7-12	0.09-0.14	$1 \cdot 10^{-5}$ -0.7	$5 \cdot 10^{-8}$ -0.6
Şeyl	5-15	0.09	1-100	1-100
Toprak (doygun)	20-30	0.06	0.1-1.0	0.03-0.3
Toprak (kuru)	3-5	0.15	0.01	0.01

GPR yönteminin kullanım alanları, arazide uygulanışı açısından pratik olması, veri toplamanın hızlı olması ve uygun koşullarda başarılı sonuçlar ortaya koyması ile birlikte oldukça geniş bir kapsamda yer almaktadır. GPR yöntemi, son yıllarda çok geniş bir

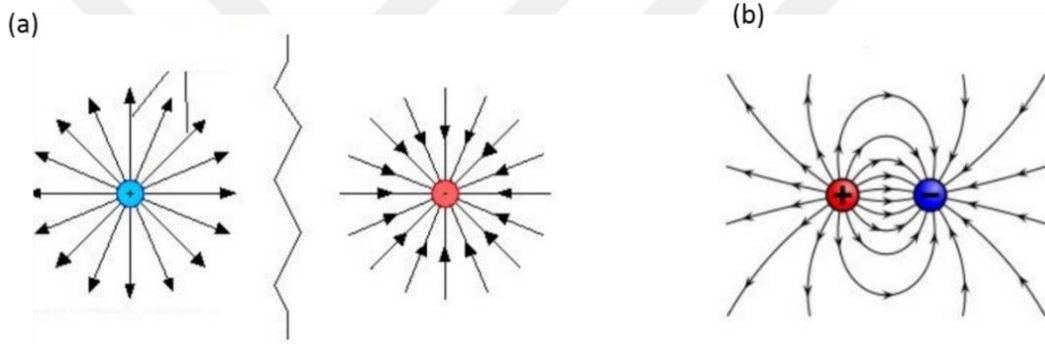
çalışma alanına sahip olmasına rağmen, diğer jeofizik yöntemlerin kullanılmaya başlanıldığı zamanlar dikkate alınacak olursa oldukça yeni bir yöntemdir. Bu yöntem tarihsel olarak ilk kez 1904 yılında Hulsmeyer tarafından metal nesnelere bulmak için elektromanyetik enerjinin kullanılması ile uygulanmaya başlanmıştır. Jeolojik yapıların haritalanması için, 1930 yılında Stern tarafından kullanılmış olup bundan sonraki 20-30 yıllık süreçte çalışma alanları net olarak belirlenemediği için çok fazla çalışma yapılmamıştır. 1950'li yıllara gelindiğinde belirli amaçlarla üretilmiş GPR sistemleri ortaya çıkmıştır (Moorman, 2001). 1960 ve 1970'li yıllarda, GPR çalışmaları buz kalınlığının ölçülmesi ve buzul tabakaları içerisindeki buz ceplerinin belirlenmesi (Evans, 1963; Bryan, 1974; Annan ve Davis, 1977; Bentley vd., 1979) amacıyla uygulanmıştır. Daha sonra madenlerdeki ana kaya haritalamasında (Cook, 1973, 1975, 1977; Dellwig ve Bare, 1978), sığ sulardaki derinlik ölçümleri (Austin ve Austin, 1974; Ulriksen, 1982) ile tuz, kömür ve kaya madenlerini belirlemeye yönelik araştırmalar (Thierbach, 1973; Behrendt vd., 1979) da aynı zamanda yapılmış uygulamalardır. GPR yöntemi asıl olarak 1980'li yılların ortalarında etkinlik kazanmaya başlamıştır (Moorman, 2001). 1990'lı yıllarda ise arkeoloji, jeoteknik ve çevresel amaçlı uygulamalar (Conyers ve Goodman, 1997; Goodman ve Nishimura, 1993; Neubauer vd., 2002; Kayen vd., 2002), jeoloji (Conyers ve Cameron, 1998; Davis ve Annan, 1989; Hamonn vd., 2000; Cai vd., 1994; Green vd., 2003; Annan, 2001; Bristow ve Jol, 2003; Huisman vd., 2003; Kadioğlu vd., 2006; Kadioğlu ve Daniels, 2008; Kadioğlu, 2008; Şeren vd. 2008; Öğretmen ve Şeren 2014, Nwokebuihe, 2014; Sauvin, 2014; Al-Heety ve Shanshal, 2016; Chandran ve Anbazhagan, 2017) gibi sığ yer altı araştırmalarında yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanılmıştır.

Günümüze gelindiğinde ise elektronik ve teknolojinin gelişmesi ile GPR sistemleri oldukça gelişmiş durumdadır. Ayrıca 3 boyutlu ölçümlere imkan veren anten düzenekleri ile de gelişmelere devam etmiştir (Cardelli vd., 2003; Cai ve McMechan, 1994; Hamonn vd., 2000; Vafidis vd., 2005) ve son 10 yılda yöntemin özellikle hasarsız olması ve başarılı sonuçlar ortaya koyması ile uygulamalı jeofizikte tercih edilen yöntemler arasına girmeyi başarmıştır. Günümüzde GPR yöntemi; yeraltı haritalanmasında, köprü, yol ve tünel araştırmalarında, kuyu çalışmalarında, jeolojik ve madencilik uygulamalarında, çevresel uygulamalarda, arkeolojik uygulamalarda, mühendislik uygulamaları gibi alanlarda oldukça etkin bir şekilde kullanılmaktadır.



### 1.3.1.1. EM Dalga Oluşumu, Özellikleri ve Yayılımı

Işıma yüklü parçacıkların hareketi sonucu meydana gelen dalgalara elektromanyetik (EM) dalgalar denir. Tüm elektromanyetik dalgaların oluşması yüklü bir parçacıkla başlar. Sabit duran yüklü bir parçacıkta sadece elektrik alan (EA) meydana gelmektedir. Bu elektrik alan (Şekil 1.3a) bir salınım hareketinin parçası olarak hızlandığında, yüklü parçacık bu alanda dalgalanmalar veya salınımlar yaratır ve aynı zamanda bir manyetik alan (MA) üretir (Şekil 1.3b). Bu iki alanın birbirlerine oranı sabittir ve uzayda birbirlerine dik bir şekilde salınarak yol almaktadırlar. Hareket halindeyken, yüklü bir parçacık tarafından yaratılan elektrik ve manyetik alanlar birbirlerine bağlıdır. Bu, zamanın bir fonksiyonu olarak salınan bir elektrik alanın bir manyetik alan üreteceği ve zamanın bir fonksiyonu olarak değişen bir manyetik alanın bir elektrik alanı üreteceği anlamına gelir.



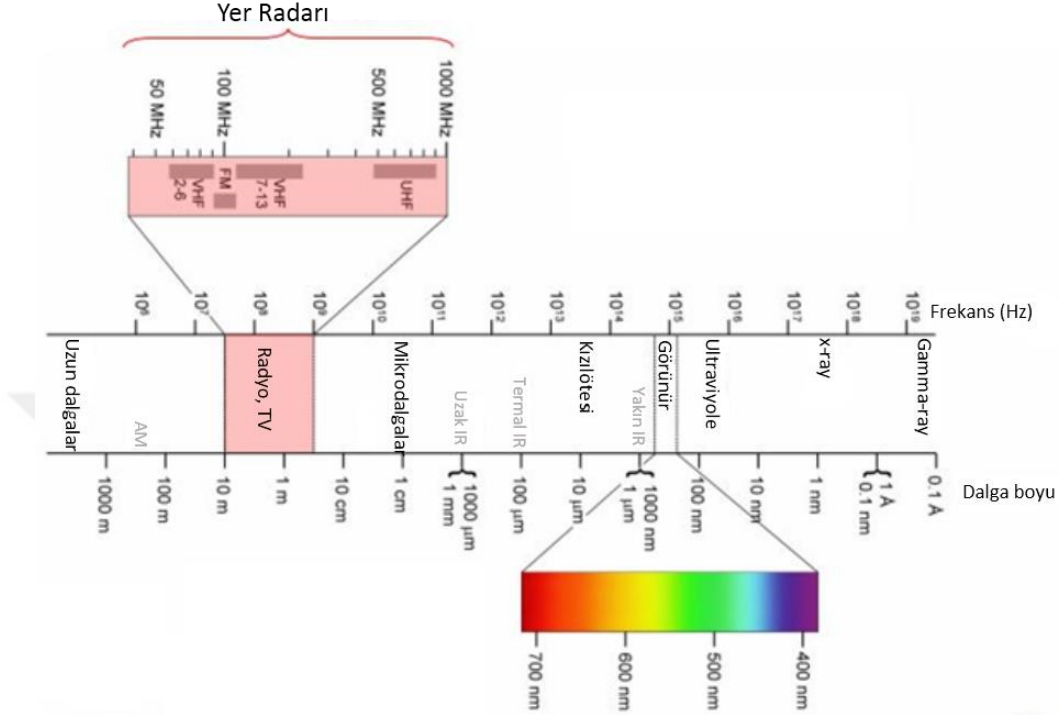
Şekil 1.3. (a) Elektrik ve (b) manyetik alan gösterimi

Elektromanyetik dalgalar doğada her yerde ve modern teknolojiye (AM ve FM radyo, kablosuz ve cep telefonları, garaj kapısı açıcılar, kablosuz ağlar, radar, mikrodalga fırınlar, vb.) kullanılırlar. Bu ve daha pek çok cihaz veri ve sinyalleri iletmek için elektromanyetik dalgaları kullanır (Lambot, 2014). Tüm dalga türlerinin frekans aralığı Şekil 1.4'te gösterilmiştir.

EM dalgaların diğer dalgaların tersine yayılabilmeleri için herhangi bir ortama ihtiyaç yoktur. EM dalgaların karakteristik özellikleri normal harmonik dalgalardakine benzerdir. Bu dalgalar; frekans, periyot ve dalga boyu ile tanımlanan kavramlardan oluşmaktadır;

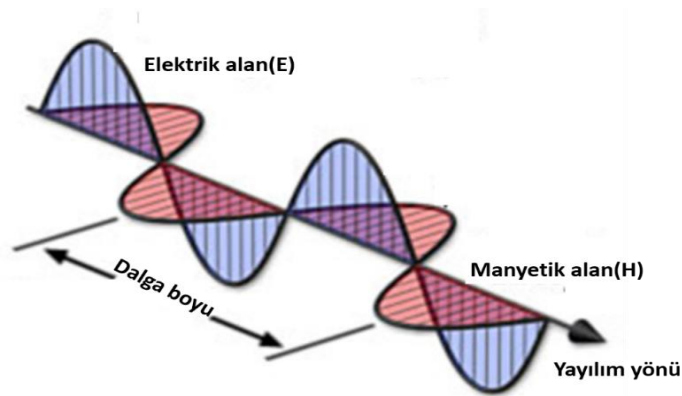
- Bir saniyedeki titreşim sayısı frekans olarak adlandırılmaktadır ve birimi Hertz (Hz)' dir.
- Tam bir titreşim süresine periyot denir ve

- İki dalga tepe noktası arasındaki mesafe dalga boyu olarak tanımlanmaktadır. Dalga boyu ile frekansın çarpımı elektromanyetik dalganın yayılım hızına eşittir.



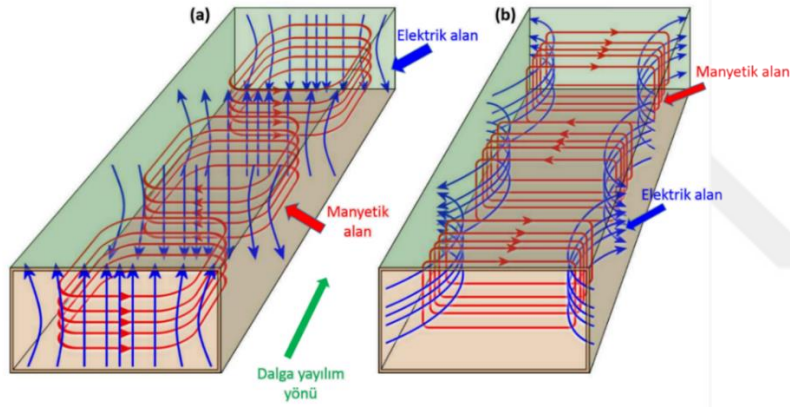
Şekil 1.4. EM Spektrumunda farklı elektromanyetik dalgaların gösterimi (Lambot, 2014)

EM dalgalar, enine dalgadır, elektrik (E) ve manyetik (B) alan birbirlerine diktir ve ayrıca her ikisi de EM dalganın yayılım doğrultusuna diktir (Şekil 1.5). Dalganın yayılma yönü  $E \times B$  vektörel çarpımın yönündedir. Elektromanyetik alan, EA ve MA'nın oluşturduğu düzleme diktir.



Şekil 1.5. Elektrik (E) ve manyetik (B) alanın gösterimi (Annan, 2004)

Elektromanyetik dalgalarda gelen dalga, düzlemsel bir sınırla karşılaştığında, enine elektrik (TE) ve enine manyetik (TM) diye adlandırılan ve bu düzlemsel sınırı uygun yönelimlere sahip olan iki farklı bileşene ayrılmaktadır. Bu bileşenlere genellikle mod denilmektedir (Şekil 1.6) TE modu, elektrik alanın iletim yönüne dik olduğu haldir. Bu modda, EM dalganın dalga kılavuzunun eksenı boyunca yayıldığı düşünülürse eğer, kılavuz eksenine dik doğrultuda olup eksen boyunca herhangi bir elektrik alan bileşeni olmadığı görülmektedir. Fakat manyetik alanın hem eksen doğrultusunda hem de eksene dik bileşenleri ise mevcuttur. İkinci modda (TM), şekil 1.6' da görüldüğü gibi manyetik alan çizgileri hareket yönüne diktir. Bu modda ise kılavuz eksenı doğrultusunda manyetik alanın bileşeni olmadığı görülmektedir. Buna karşılık elektrik alanın hem eksen doğrultusunda hem de eksene dik bileşenleri ise mevcuttur (van der Kruk, 2006).



Şekil 1.6. (a) TE ve (b) TM modlarının şematik görünümü (URL-1)

### 1.3.1.2. Yer Radarı Yönteminin Dayandığı Teori

GPR yönteminin temeli elektromanyetik (EM) teoriye dayanmaktadır ve Maxwell denklemleri ile açıklanmaktadır. Maxwell'in denklemleri, matematiksel olarak EM alanlarının fizikini ve katkı eşitlikleri bir malzemenin EM özelliklerini sayısal olarak tanımlar. Maxwell denklemleri ve katkı eşitliklerini birlikte kullanmak, temel olarak GPR sinyallerini tanımlamak için sağlam temeller sağlar. Elektromanyetik teori ile ilgili Ampere, Faraday, Gauss, Lenz, Coulomb ve Volt gibi birçok araştırmacı çalışmalar yapmıştır. İskoç fizikçi James Clerk Maxwell ise 1865 ve 1868 yıllarında yayınladığı dört denklem ile tüm elektromanyetik olayları eksiksiz olarak açıklamıştır.

Maxwell denklemlerinin ilki fiziksel olarak Faraday yasasını tanımlamaktadır. Bu yasa, zamanla değişen manyetik alanların nasıl yapay elektrik alanlarını meydana getirdiğini açıklamaktadır. Örneğin, dönen bir mıknatıs çubuk dönme esnasında yakınında bulunan telde elektrik alanı meydana getirebilen değişken bir manyetik alan oluşturmaktadır.

Maxwell denklemlerinin ikincisi fiziksel olarak Maxwell düzeltmeli Amper yasasını tanımlamaktadır. Maxwell, Amper yasasındaki denklemin sağ tarafına bir terim eklemiştir. Fiziksel olarak bu eklenen terim değişmektedir. Bu yasada, bir elektrik akımı uzayda bir manyetik alanın vektörel kaynağını meydana getirmektedir. Meydana gelen bu manyetik alanında iletkenlik ve elektrik yüklerinin zamanla yer değiştirmesinden dolayı kaynaklanan toplam akıma orantılı olduğu görülmüştür.

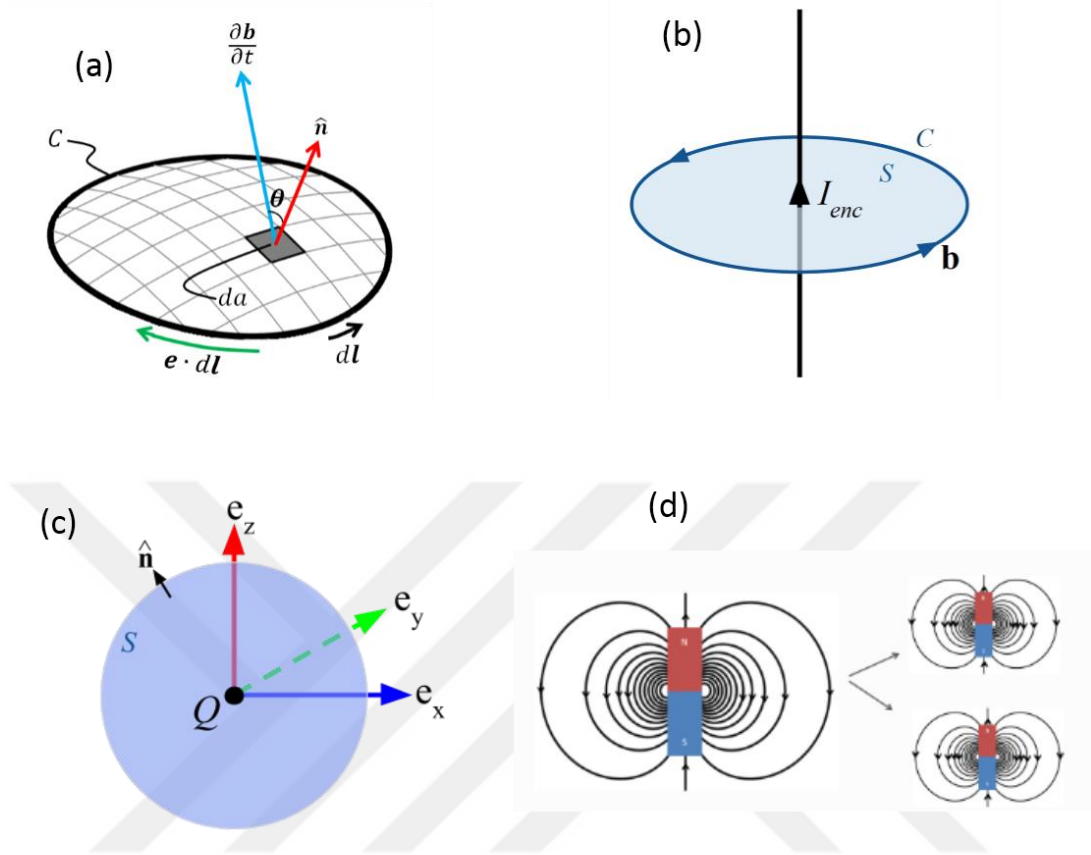
Elektrik alan için Gauss yasası, durağan elektrik alanı ve durağan elektrik alanın pozitif yükten negatif yüke doğru itilmesine sebep olan elektrik yükleri arasındaki ilişki olarak tanımlamakta ve Maxwell'in üçüncü denklemini oluşturmaktadır. Bir yüzey boyunca geçen elektrik akısı o yüzey boyunca geçen EA çizgilerinin toplam miktarı ile ölçülmektedir. Yani bu denklemde, fiziksel olarak bir hacmi çevreleyen bir yüzey üzerinde bulunan toplam elektrik akısının, o hacmin içerdiği toplam yükü orantılı olduğu gösterilmektedir.

Manyetizma için olan Gauss yasası olarak tanımlanan Maxwell'in dördüncü ve son denklemi, elektrik yükleriyle kıyaslanabilen manyetik yükün bulunmadığını açıklamaktadır. Maxwell'in üçüncü eşitliği ile dördüncü eşitliği arasındaki benzerlik ve farklılıklara dikkat edilmesi gerekmektedir. Üçüncü eşitlikte eşitliğin sol tarafı toplam elektrik akısını gösterirken dördüncü eşitlikte toplam manyetik akıyı göstermektedir. Maxwell denklemlerinin zaman ve frekans ortamındaki integral ve diferansiyel formları tablo 1.3'de özetlenmiştir.

Tablo 1.2. Maxwell denklemlerinin zaman ve frekans ortamındaki integral ve diferansiyel formları (Fleisch, 2008)

	Zaman Ortamı İntegral formu	Zaman Ortamı Diferansiyel formu	Frekans Ortamı İntegral formu	Frekans Ortamı Diferansiyel formu
<b>Maxwell'in 1. eşitliği (Faraday Kanunu)</b>	$\oint_C F \cdot dl = \int_S (\nabla \times F) \cdot dS$	$\nabla \times E = -\frac{\partial B}{\partial t}$	$\oint_C e \cdot dl = -\int_S \frac{\partial b}{\partial t} \cdot da$	$\nabla \times E = -i\omega B$
<b>Maxwell'in 2. eşitliği</b>	$\oint_C B \cdot dl = \mu_0 \int_S J \cdot dS + \mu_0 \epsilon_0 \frac{d}{dt} \int_S E \cdot dS$	$\nabla \times B = \mu_0 J + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial E}{\partial t}$	$\oint_C h \cdot dl = \int_S \left( j + \frac{\partial d}{\partial t} \right) \cdot da$	$\nabla \times H = J + i\omega D$
<b>Maxwell'in 3. eşitliği (Gauss Kanunu, EA için)</b>	$\oint_S E \cdot dS = \frac{Q}{\epsilon_0}$	$\nabla \cdot E = \frac{\rho}{\epsilon_0}$	$\int_V \nabla \cdot d \, dV = \oint_S d \cdot da = Q_f$	$\nabla \cdot D = \rho_f$
<b>Maxwell'in 4. eşitliği (Gauss Kanunu, MA için)</b>	$\oint_S B \cdot dS = 0$	$\nabla \cdot B = 0$	$\oint_S b \cdot da = 0$	$\nabla \cdot B = 0$

Maxwell eşitliklerini açıklayan ilgili yasalar şekil 1.7’de gösterilmiştir.



Şekil 1.7. Maxwell eşitliklerinin şematik gösterimi (a) Faraday yasası (b) Maxwell-Ampere yasası (c) Elektrik alan için Gauss yasası ve (d) Manyetik alan için Gauss yasası (Annan, 2001’den düzenlenmiştir)

Matematiksel olarak, Maxwell denklemlerinde yer alan elektromanyetik alanları belirlemek için ek eşitliklere ihtiyaç vardır. Bunlar homojen, izotropik bir ortamdaki alan miktarları arasındaki ilişkileri tanımlamaktadır ve katkı eşitlikleri olarak adlandırılmaktadır. Katkı eşitlikleri malzemelerin fiziksel özelliklerinin nicelleştirilmesinin bir aracıdır. Bu katkı eşitlikleri;

$$\vec{J} = \sigma \vec{E} \quad (1.3)$$

$$\vec{D} = \epsilon \vec{E} \quad (1.4)$$

$$\vec{B} = \mu \vec{H} \quad (1.5)$$

Maxwell eşitlikleri ve katkı eşitliklerindeki ilgili nicelikler için birimler ve değişkenler aşağıdaki tablolarda (Tablo 1.3) verilmiştir (Fleisch, 2008).

Tablo 1.3. Maxwell eşitliklerindeki ilgili nicelikler için birimler ve değişkenler

	Frekans Ortamı	Zaman Ortamı	Birim
Elektrik Alan	E	e	V/m
Manyetik Alan	H	h	A/m
Akım yoğunluğu	J	j	A/m <sup>2</sup>
Elektriksel Yerdeğiştirme	D	d	C/m <sup>2</sup>
Manyetik akı yoğunluğu	B	b	T

	Sembol	Birim
Elektriksel iletkenlik	$\sigma$	S/m
Özdirenç	$\rho$	$\Omega$ m
Dielektrik geçirgenlik	$\mu$	H/vm
Manyetik geçirgenlik	$\epsilon$	F/m
Elektrik alan yoğunluğu	e	V/m
Elektrik akımı	I	A
Elektrik akım yoğunluğu	j	A/m <sup>2</sup>
Elektrik polarizasyon	p	A·s/m
Elektrik yük	q, Q, Q <sub>f</sub>	C
Elektrik yük yoğunluğu	$\rho, \rho_f, \rho_b$	C/m <sup>3</sup>

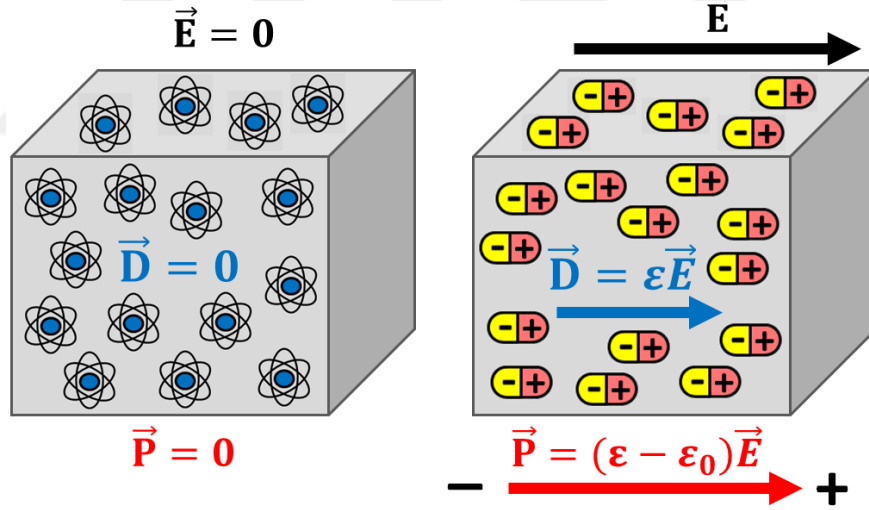
Sabitler	Değer
Manyetik sabit	$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{N/A}^2 \approx 1.2566370614... \times 10^{-6} \text{T} \cdot \text{m/A}$
Boşluğun geçirgenliği	$\epsilon_0 \approx 8.854187817... \times 10^{-12} \text{F/m}$

Elektromanyetikte kullanılan üç fiziksel büyüklük (dielektrik geçirgenlik, elektriksel iletkenlik ve manyetik geçirgenlik) bu katkı eşitlikleri ile belirlenmektedir.

*Dielektrik Geçirgenlik* ( $\epsilon$ ), elektriksel kutuplaşmanın derecesini, bir dış elektrik alanının etkisi altında bir malzeme özelliğini karakterize eden tanımsal bir fiziksel özelliktir. Dielektrik geçirgenlik, GPR yönteminde birincil kullanılan fiziksel özelliktir. Eğer dielektrik bir ortamda bir elektromanyetik alan varsa, yükler elektrik alan tarafından zorlanır ve bu zorlamaya bir yer değiştirme hareketiyle cevap verirler (Şekil 1.8). Birim elektrik alan başına düşen elektriksel yer değiştirme miktarının ölçüsü olarak tanımlanan dielektrik geçirgenliğin birimi Coulomb/voltmetre ya da Farad/metre olarak ifade edilmektedir. Dielektrik geçirgenlik,

$$\epsilon = \frac{\vec{D}}{\vec{E}} \quad (1.6)$$

şeklinde ifade edilmektedir.



Şekil 1.8. Elektrik alanı yokken ve elektrik alanı uygulandığında yer değiştirmenin akışı

Elektrik yüklerinin bir malzeme içerisinde ayrılma derecesi elektrik polarizasyonu ile ( $\vec{P}$ ) temsil edilir. Elektrik alanı, elektriksel yer değiştirme ve elektrik polarizasyonu;

$$\vec{D} = \epsilon_0 \vec{E} + \vec{P} \quad (1.7)$$

şeklinde verilmektedir. Burada;



$\epsilon_0$ : boşluğun elektriksel geçirgenliği ( $8.8541878176 \times 10^{-12}$  F/m),  $\vec{D}$ : yer değiştirme akımları,  $\vec{E}$ : elektrik alan,  $\vec{P}$ : elektrik polarizasyonunu göstermektedir.

Boşluğun elektriksel geçirgenliği malzemenin polarize olmaması durumunda  $\vec{D}$  ve  $\vec{E}$  arasındaki ilişkiyi tanımlar. Bu nedenle, dielektrik geçirgenlik ve elektriksel yer değiştirme, bir malzemenin bir elektrik alan etkisi altında ne kadar güçlü bir şekilde elektriksel olarak kutuplaştığını tanımlar (Olhoeft, 1981).

Dielektrik bir ortamda elektrik alan şiddeti arttığı zaman, elektrik yer değiştirme hareketi bu ortamda depolanmaktadır. Sonradan elektrik alan şiddeti azaldığında ise, ortam depoladığı enerjiyi bırakmakta ve yer değiştirme akımlarını oluşturmaktadır. Bir madde elektromanyetik enerjiyle yüklendiği zaman, maddenin bağıl dielektrik geçirgenliği ( $\epsilon_r$ ), enerjiyi depolama ve sonrasında da elektromanyetik enerjinin geçişine izin verme kapasitesi olarak tanımlanmaktadır (von Hippel, 1954). Doğadaki malzemelerin dielektrik özellikleri genellikle bağıl geçirgenlik ( $\epsilon_r$ ) kullanılarak ifade edilmekte ve

$$\epsilon_r = \frac{\epsilon}{\epsilon_0} \quad (1.8)$$

şeklinde tanımlanmaktadır.

Maddelerin bileşimleri, nem içeriği, hacim yoğunluğu, gözeneklilik, sıcaklık ve fiziksel yapılarına bağlı olarak maddelerin dielektrik geçirgenlikleri değişmektedir (Olhoeft, 1981). Bir ortam içerisinde belirli bir v hızında ilerleyen EM dalgalar için o ortamın bağıl dielektrik geçirgenliği

$$\sqrt{\epsilon_r} = \frac{c}{V} \quad (1.9)$$

ile hesaplanmaktadır Burada c, ışık hızını göstermekte ve yaklaşık olarak 0.3 m/ns'dir.

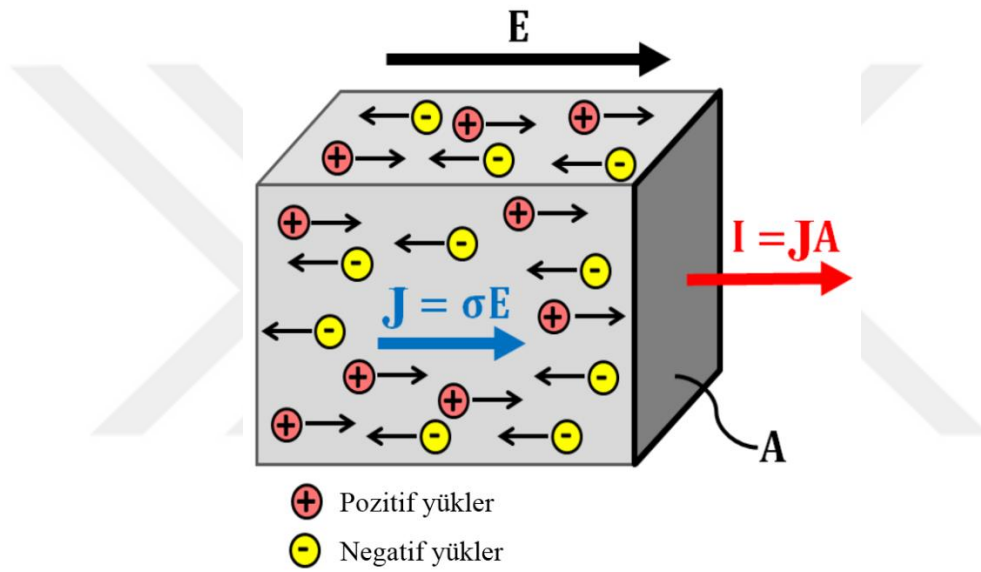
Arazide bağıl dielektrik geçirgenlik katsayısını hesaplamak oldukça güçtür. Bu hesaplama arazide kullanılan bazı hız analizi teknikleri yardımıyla yapılabilmektedir. Bunun yanı sıra dielektrik geçirgenlik, toprak ve çökel örnekleri üzerinde laboratuvar ölçümleri yapılarak da ölçülebilmektedir.

*Elektriksel iletkenlik*; elektriksel yüklerin, uygulanan bir elektrik alanına maruz bırakıldığında belirli bir malzemenin ne kadar kolay hareket ettiğini ölçen bir fiziksel özelliktir. Bir malzemeye bir elektrik alanı uygulandığında, malzeme içindeki serbest

yükler bir elektrik (Coulomb) kuvvetine maruz kalır. Bu kuvvet, serbest yüklerin, uygulanan alanın (yani elektrik akımı) yönünde materyal boyunca hareket etmesine neden olur (Şekil 1.e9). Elektrik yüklerinin bir elektrik alanının etkisi altında bir malzemenin geçmesi kolaylığı, malzemenin elektrik iletkenliğine bağlıdır. Elektriksel iletkenlik ( $\sigma$ ), bir malzeme içindeki akım yoğunluğu ( $J$ ) ile elektrik alanı ( $E$ ) arasındaki oranı tanımlar. Bu ilişki Ohm kanunu olarak bilinir ve

$$\vec{J} = \sigma \vec{E} \quad (1.10)$$

ifadesi ile verilmektedir.



Şekil 1.9. Elektrik alanı uygulandığında elektrik yüklerinin akışı

*Manyetik geçirgenlik* ( $\mu$ ), bir malzemenin manyetik alan etkisinde kalması durumunda kazanmış olduğu mıknatıslık özelliğinin derecesini gösteren bir fiziksel özelliktir. Manyetik geçirgenlik  $\mu$ , bir malzemenin içindeki manyetik akı yoğunluğu ile uygulanan bir manyetik alan arasındaki oranı tanımlamakta ve

$$\vec{B} = \mu \vec{H} \quad (1.11)$$

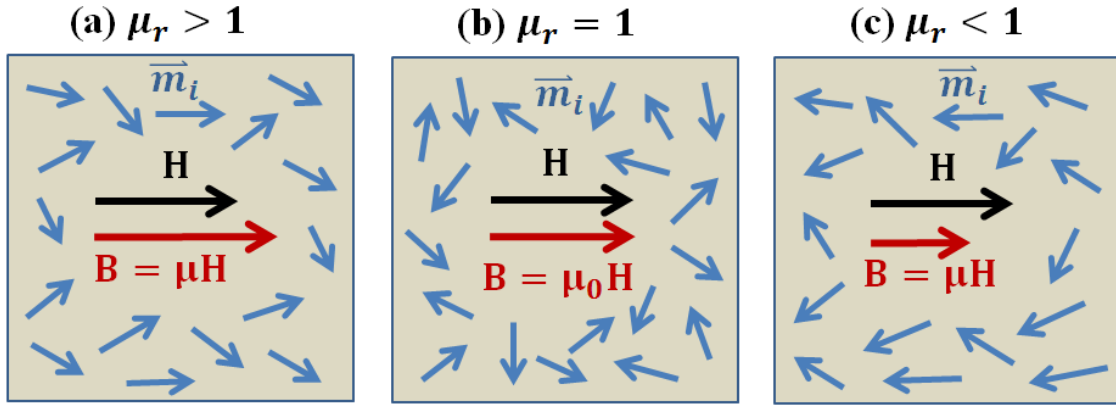
şeklinde ifade edilmektedir.

Maddenin manyetik geçirgenliğinin boşluğun manyetik geçirgenliğine oranı bağlı manyetik geçirgenlik ( $\mu_r$ ) kavramını vermektedir. Bağlı geçirgenlik, indüklenen

manyetizasyonun bir malzeme içindeki manyetik akının yoğunluğunu artırıp artırmayacağını veya azalttığını karakterize eder (Şekil 1.10). Bağıl manyetik geçirgenlik kavramı;

$$\mu_r = \frac{\mu}{\mu_0} \quad (1.12)$$

şeklinde ifade edilir.



Şekil 1.10. Manyetik dipol momentlerinin çeşitli durumlarda uygulanan manyetik alanın etkisi altında kısmi hizalanması

Çoğu GPR uygulamasında  $\sigma$ ,  $\epsilon$  kullanılan en önemli iki fiziksel büyüklüktür. Bunun yanında  $\mu$  çoğunlukla daha nadiren kullanılmaktadır (Olhoeft 1981, 1987; Santamarina vd., 2001).

### 1.3.1.3. Yer Radarı Yönteminde Veri Toplama Düzenekleri

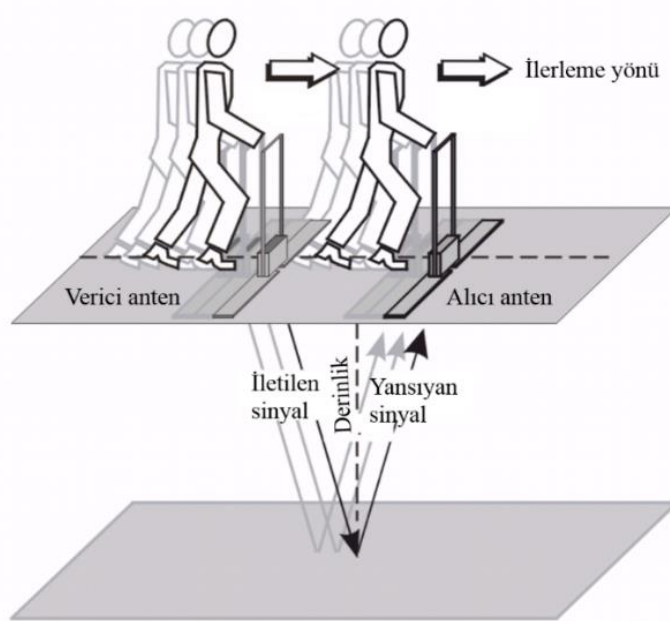
Yer radarı çalışmalarında şekil 1.11'de gösterildiği gibi genel olarak ortak ofset ölçümleri (yansıma profili), çoklu ofset ölçümleri (ortak orta nokta ve geniş açılı yansıma kırılma ölçümleri) ve tomografi ölçümleri olmak üzere üç çeşit veri toplama düzeneği vardır (van der Kruk., 2015).



Şekil 1.11. Yer radarı yönteminde kullanılan ölçüm düzenekleri

### 1.3.1.3.1. Ortak Ofset Ölçüm (Yansıma Profili) Düzeneği

Nesneleri algılamak veya yeraltının yanal ve düşey yöndeki değişimlerini araştırmak için, yer radarı sistemi ortak ofset düzeneğinde kullanılmaktadır. Veri toplama düzenekleri arasında en yaygın olarak kullanılanı bu ölçüm düzeneğidir. Burada, kaynak ve alıcı antenler sabit bir uzaklıkla tutularak ve bir profil boyunca hareket ettirilerek yer radarı ölçümleri yapılmaktadır (Şekil 1.12). Ortak ofset ölçümleri yapılırken; kullanılan antenin merkez frekansı, zaman kayıt penceresi, zaman örnekleme aralığı, iz aralığı, anten aralığı, profil aralığı ve anten yönelimi gibi parametreler kullanıcı tarafından belirlenmektedir. Bu ölçüm düzeneği hızlıdır ve pratiktir, ancak bir dezavantajı; ölçümlerden elde edilebilen yeraltı elektromanyetik dalga hızı bilgisinin bilinmemesidir (van der Kruk vd, 2015).



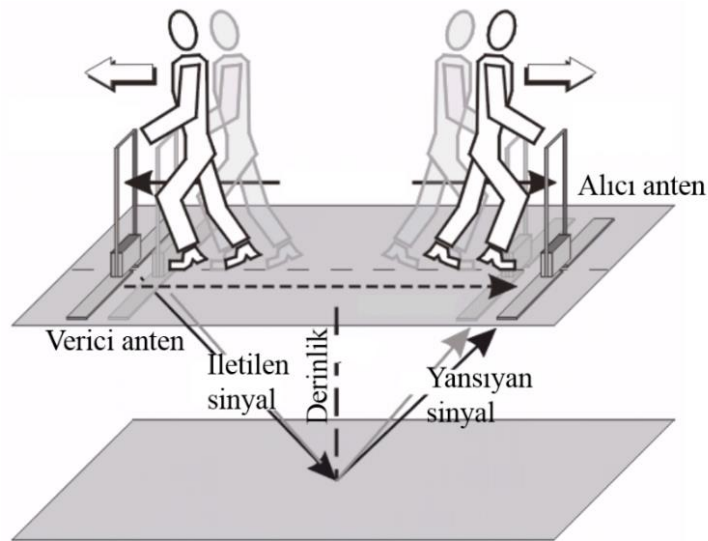
Şekil 1.12. Ortak ofset ölçüm düzeneğinin şematik gösterimi

### 1.3.1.3.2. Çoklu Ofset Ölçümleri Ölçüm Düzenegi

Çoklu ofset ölçümleri ölçüm düzenegi; ortak orta nokta (OON) ve geniş açılı yansıma ve kırılma (GAYK) şeklinde olmak üzere iki şekilde gerçekleştirilmektedir. Bu ölçüm düzeneklerinin kullanılmasının en önemli nedenleri elektromanyetik dalga yayılım hızının belirlenebilmesi ve sinyal/gürültü oranını artırmasıdır.

#### 1.3.1.3.2.1. Ortak Orta Nokta (OON) Ölçüm Düzenegi

Ortak orta nokta ölçümleri, düşey hız profillerini incelemek için hem sismik hem de GPR araştırmalarında kullanılmaktadır (Yılmaz, 2003; Bevan vd., 2003; Lu ve Sato, 2007; Turesson, 2006). Bu düzenek 1960'larda geliştirilmiş olup ilk olarak Mayne tarafından yayınlanmıştır (1962). Bu düzenekte alıcı ve verici antenler arasındaki mesafe sabit tutularak, hem alıcı hem de verici ofseti yanal yönde eşit miktarda artırılarak yer radarı ölçümleri toplanır (şekil 1.13). Böylece yansıtıcıların yatay düzlemler olması kaydıyla yansıma aynı noktadan alınmış olur. OON ölçümlerinde, gözlenen tüm yansıtıcılara ait zaman-uzaklık ilişkisinin analizi, esas olarak yer içinde derinliğe karşı radar sinyali hızının bir tahminini elde etmek için kullanılır (Fisher vd., 1992) bu düzenekle tam bir hız kesiti elde edilebilmektedir (Greaves vd., 1996). Hız ayrıca ortak ofset durumunda, kırılma hiperbolünün eğriliğinin eşleştirilmesi ile ya da göç hız analizi ile de elde edilebilir (Leucci vd., 2003; Bradford ve Harper 2005; Sava vd., 2005; Zhou vd., 2005; Porsani ve Sauck 2007; Berard ve Maillol 2008; Devlin vd., 2008; Novo vd., 2008).



Şekil 1.13. Ortak orta nokta ölçüm düzeneginin şematik gösterimi

Ortak Orta Nokta, elektromanyetik dalga hızının belirlenmesi ve hız analizi ile ilgili yapılan çalışmalardan bazıları incelenecek olunursa da;

Taner ve Kohler (1969), yaptıkları çalışmada hız spektrum ekranlarının hesaplanması için temel ilkeleri özetlemişlerdir. Ayrıca yaptıkları bu çalışmada bu tür hız spektrum ekranlarının yorumlanmasından elde edilebilecek jeolojik bilgilerin derinliğini ve detayını gösteren örneklerde vermişlerdir.

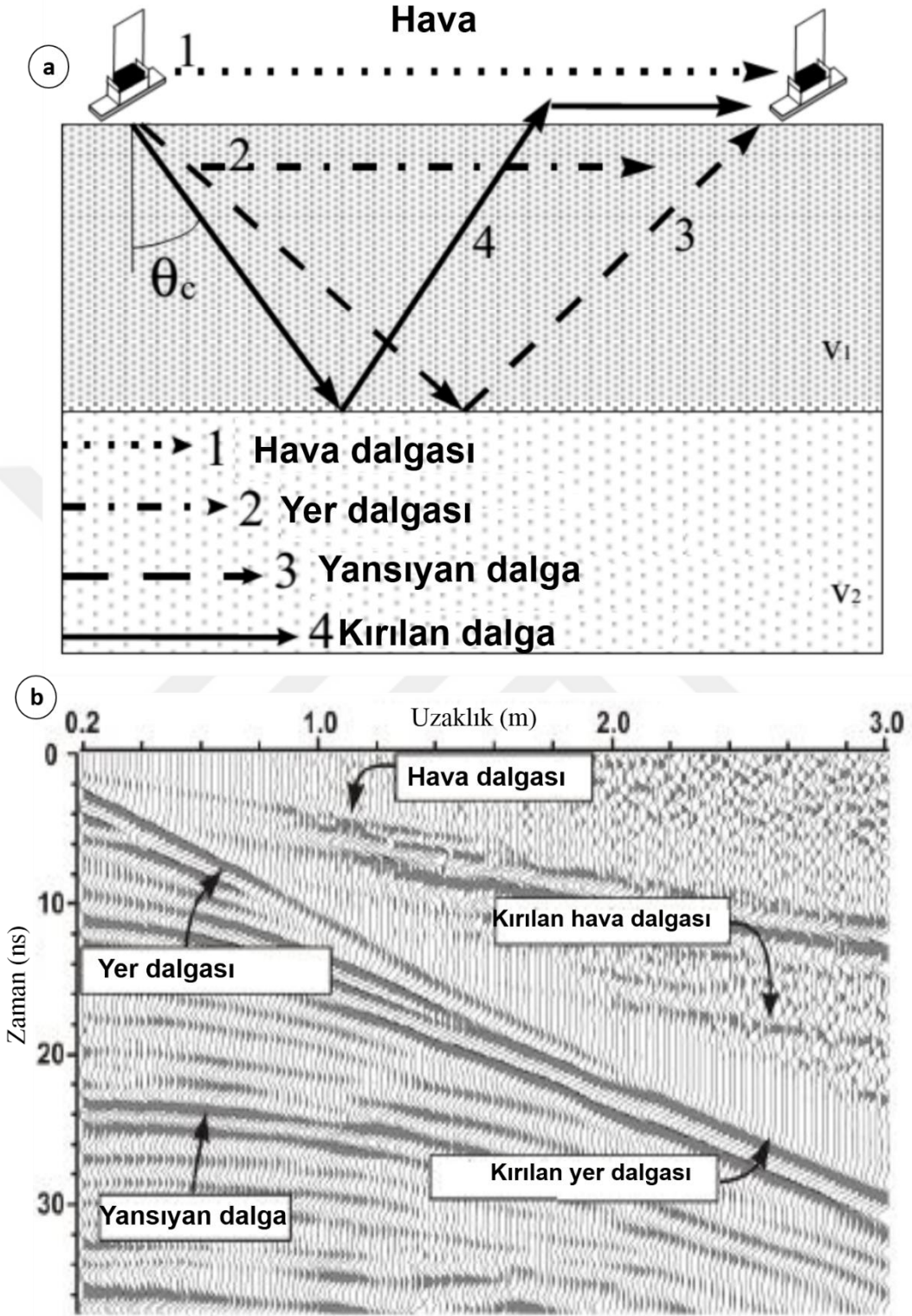
Tillard ve Dubois (1995) elektromanyetik dalga yayılma hızının belirlenmesi ile ilgili yaptıkları bir çalışmada, bir granit ocağında, yansıtıcıların neden olduğu hata derecesini belirlemişlerdir ve yansıma süresi ile karekök ortalama hız (RMS) hız değerlendirmesini başarılı bir şekilde uygulamışlardır.

Booth vd., (2010), GPR'da ortak orta nokta verilerinin benzetim analizi ile ilgili yapmış oldukları çalışmada, bu ortak orta nokta verileri ile başarılı bir şekilde hız analizini uygulamışlardır.

Ortak ofset yer radarı verilerini kullanarak elektromanyetik dalga hızını tahmin etmek için kullanılan yansıma katsayılarının serisini hesaplamak için yansıma genliklerinin ters çözümüne dayanan bir çalışma yapan Forte vd., (2014), bu çalışmayı yapay ve gerçek veri setleri üzerindeki testlerde denemişlerdir. Elde edilen EM hız alanının yeraltı malzemelerini karakterize etmek için gerekli bilgileri sağladığını göstermişlerdir.

Jacob ve Urban (2016), Rhode Island, Amerika Birleşik Devletleri'nde küçük ölçekli bir demir işleme sahasında toplanan verileri kullanarak GPR verilerinden hız tahminlerinin kesinliğini değerlendirmek için mevcut yöntemleri incelemişlerdir. Çalışmada hiperbol uydurma yöntemini kullanarak, ortak ofset GPR profil verilerinin başlangıç hız analizi ve ortak orta nokta ölçümleri ile hız analizi uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlarda ortak orta nokta verilerinin, belirli saha koşulları altında hiperbol kaynağına göre daha doğru ve kesin hız tahminleri sunabileceğini ortaya koymuşlardır.

OON ölçümleri arazide uygulanış itibari ile zaman alıcıdır. Alıcı ve verici antenler arası sabit tutularak zıt yönde hareket ettirilerek ölçümler alınmaktadır. Şekil 1.14, alıcı dalgaya doğru giden EM enerjisinin takip ettiği ana dalga yollarını göstermektedir, buna karşılık gelen zaman-uzaklık grafiği hemen altında açıklanmaktadır.



Şekil 1.14. (a) Ana dalga yolları ( $\theta_c =$  kritik açı) , (b) dalga yolları için zaman-uzaklık grafiği (Hosseini, 2014)

Antenler genellikle yüzeye çok yakın olmasına rağmen, anten koruması genellikle ortama enerji aktarımını maksimize etmek için toprağa temas ettiğinden, havada hareket eden doğrudan bir dalga gözlemlenir ve vericiden alıcıya doğrudan bir hat boyunca seyahat eden bu dalga en hızlı gelen olaydır. Havada, radyo dalgalarının kabaca ışık hızında ( $c$ ) ilerlemektedir ( $c \approx 3 \times 10^8$  m/s). Sonuç olarak, doğrudan hava dalgası her zaman alıcı tarafından ölçülen ilk sinyaldir. Alıcıya ulaşmak için hava dalgasının alması gereken süre:

$$t = \frac{x}{v} \quad (1.13)$$

Yüzey boyunca, ortamın hızı ile hareket eden doğrudan bir dalga da gözlenebilir. Bu dalga yer dalgası olarak isimlendirilir. Bu dalga ara yüzey boyunca  $V_1$  hızında ilerler. Hava dalgası gibi, yer dalgası da doğrudan bir yol alır.  $V_1$  ışık hızından küçük olduğundan dolayı yer dalgası hava dalgasından daha sonra gelir. Yer dalgasının alıcıya ulaşması için gereken süre;

$$t = \frac{x}{V_1} \quad (1.14)$$

Şekil 1.14 'deki üçüncü dalga yolu, bir yansıma karşılık gelmektedir, Yansıyan dalga,  $V_1$  hızında 1.ortam boyunca ilerler. Bu dalga doğrudan gelen yer dalgasından daha uzun bir yol alır, daha sonra gelir. Doğrudan dalgaların aksine, yansıyan dalganın varış zamanı hiperboliktir, bu da onu diğer sinyallerden ayırt etmeyi sağlar. Yansıyan dalganın alıcıya ulaşması için gereken süre;

$$t = \frac{\sqrt{x^2 + 4d^2}}{v} \quad (1.15)$$

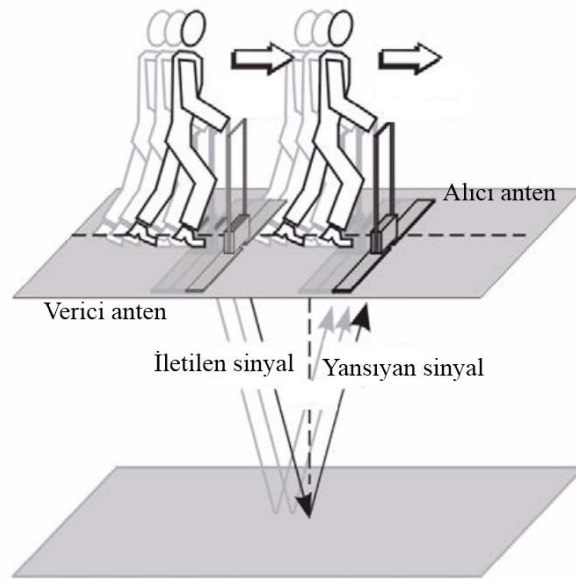
OON ölçümlerinde bir yansıtıcı normalde bir yansıma kesitinden tanımlanır. Yansıtıcının üzerinde bulunan yüzeyinde bir nokta seçilir. Antenler minimum aralıkla hedef nokta üzerine yerleştirilir. Başlangıç aralığı genellikle yansıma profili için seçilen Nyquist istasyon aralığı  $n\lambda$ 'dir. Veriler daha sonra  $n\lambda$ 'in tamsayı katları olarak artan anten aralığında elde edilir. OON modu kullanımında, her iki anten de  $n\lambda/2$  adımlarında orta noktadan taşınır. OON ölçüm düzeneğinin GPR verilerinden daha doğru, niceleyici parametre tahmini açısından ortak ofset ölçümlerine göre birçok avantajı vardır. İki temel



avantajdan ilki, sinyal-gürültü oranını önemli ölçüde güçlendirmesidir. Aynı yansımaya noktasından kaydedilen yansımaya sinyallerini birçok kez yığarak, yansıyan sinyalin enerjisi artırılabilir. Bunun nedeni, yansıyan dalgaların tutarlı olması ve aynı zamanda gürültünün enerjisinin rastgele veya artık hareketinden dolayı azalmasıdır (Duncan ve Beresford, 1995). İkinci avantaj, karekök ortalama (RMS) hızının hesaplanmasıdır. Dix formülünü (Dix, 1955) kullanarak, çoklu toprak tabakaları için daha sonra yansıtma noktasındaki geçirgenliğin doğru tahmin edilmesini sağlayan ara hızları, RMS hızlarından elde edilebilir.

### 1.3.1.3.2. Geniş Açılı Yansımaya Kırılma (GAYK) Ölçüm Düzenegi

Geniş açılı yansımaya kırılma ölçümlerinde; verici anten, başlangıç noktasında sabit kalmakta iken alıcı anten uzaklığın artırılması ile doğrultu boyunca ilerlemekte ve ölçümler alınmaktadır (Şekil 1.15). GAYK ölçüm düzeneginin uygulanabilmesi için, çalışma alanındaki temel yansıtıcı yüzeyin yatay veya eğiminin çok az olması uygun görülmektedir (Reynolds, 1997).

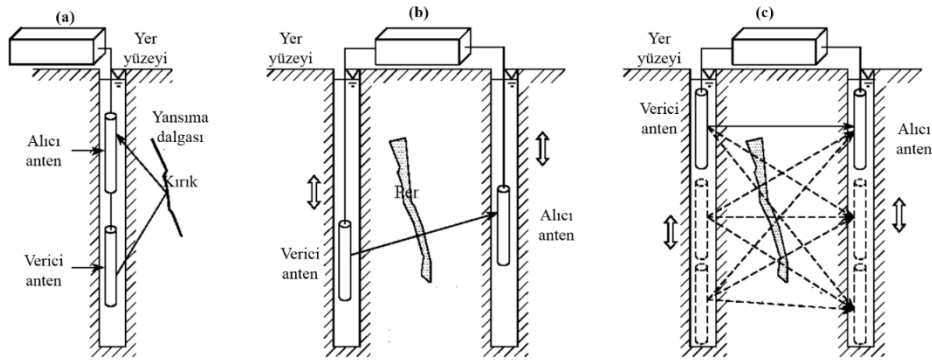


Şekil 1.15. GAYK ölçüm düzenegi

### 1.3.1.3.3. Kuyu Ölçümleri

GPR’da kuyu ölçümleri, tek kuyuda ve karşılıklı kuyular arasında yapılmaktadır. Tek kuyuda veri toplama (TKP), kuyular arasında ise sıfır ofset profil (SOP) ve çoklu ofset

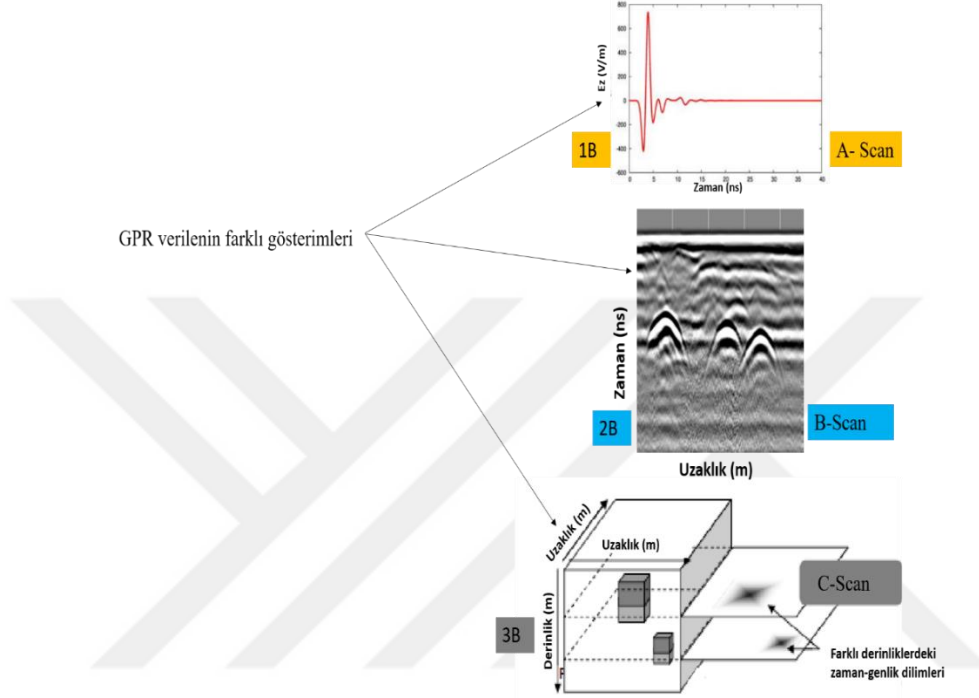
profil (ÇOP) gibi farklı düzenek seçenekleri ile mümkündür (Binley vd., 2002; Rucker ve Ferré, 2004). TKP ölçümleri sadece bir adet kuyunun olduğu, sabit bir mesafede artan veya azalan alıcı ve verici ile gerçekleştirilen ölçümdür (Şekil 1.16a). SOP'ta, bir istasyondan diğerine alıcı ve verici antenler aynı zamanda hareket etmekte iken (Şekil 1.16b) ÇOP'ta ise verici anten, verici kuyusunda bir istasyonda sabit kalır ve alıcı anten de alıcı kuyusundaki sabit istasyon aralıkları ile kuyu boyunca ilerlemektedir (Şekil 1.16c). SOP ve ÇOP'un belirli avantaj ve dezavantajları vardır (Binley vd., 2002; Rucker ve Ferré, 2004; Cassiani vd., 2006). SOP ile verilerin toplanması ve yorumlanması daha hızlı ve kolay olmasına rağmen ÇOP ile bu işlemler biraz daha zor olmaktadır ve çok zaman alıcıdır. Radardaki EM dalga hızları, SOP'ta ilk varış enerjisinin varış zamanlarından saptanmakta ve 1B olarak görüntülenebilmektedir. Bu EM dalga hızları, ilk varışların doğrudan gelen olarak değilde kırılan dalga olarak geldiği durumlarda doğru olarak belirlenmeyebilir (Rucker ve Ferré, 2004). Ayrıca, her bir verici-alıcı yönelimi için kuyular arasındaki ortamın dielektrik özelliklerinin iki boyutlu görüntüsü, ışın yollarının farklı açılar sunmasından ötürü ÇOP ile elde edilebilmektedir. Bu sebepten ÇOP düzeneği tomografik görüntüleme için daha uygun hale gelmektedir. Bu düzeneklerle veri toplanırken yer-hava arayüzünde kırılan dalganın, doğrudan gelen varışları gölgelememesi amacıyla kuyu derinliğinin verici-alıcı kuyular arasındaki uzaklığının 2 katına eşit ya da 2 katından daha büyük olması önerilmektedir (Annan, 2001).



Şekil 1.16. Kuyu ölçümlerinin şematik gösterimi a) tek bir kuyu b) sıfır ofset profil ve b) çoklu ofset profil (Yelf, 2007)

### 1.3.1.4. GPR Verilerinin Görüntülemesi

GPR verileri bir, iki ve üç boyutta gösterebilmektedir. Bunlar sırası ile A-Tarama, B-Tarama ve C-Tarama olarak adlandırılmaktadır (Şekil 1.17).



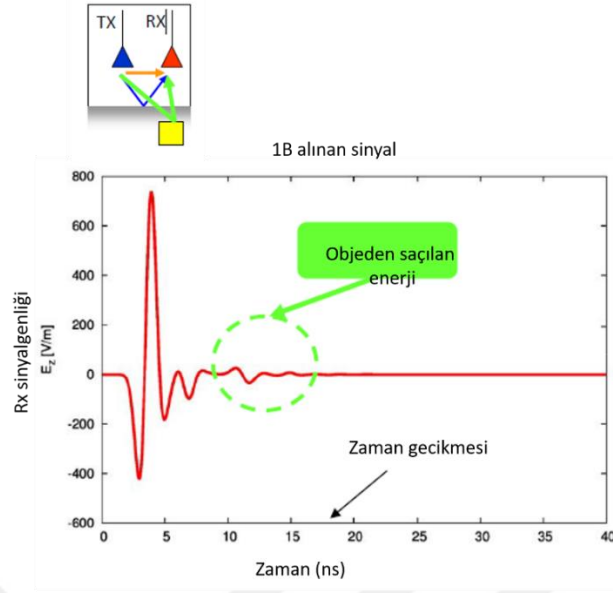
Şekil 1.17. GPR verilerinin bir, iki ve üç boyutta şematik gösterimi

#### 1.3.1.4.1. Bir Boyutlu Görüntüleme (A-Tarama)

GPR verilerinin bir boyutta temel gösterimi olup bir iz olarak adlandırılır (Şekil 1.18). Bu modda hedef tespiti yapılması uygun değildir. Kaydedilen sinyal genliğinin bir zaman değişimini gösteren sabit bir anten pozisyonunda GPR ile toplanan örnek noktaların bir dizisidir. Zaman, ortam boyunca yayılma hızı ve derinlik ile ilgilidir. A-Taramadaki izler kullanılarak B-Tarama oluşturulmaktadır Bir A-taraması,

$$g(t) = D(x_i, y_j, t_k) \quad i = j = \text{sabit}, 1 \leq k \leq N \quad (1.16)$$

şeklinde temsil edilebilir. Burada  $g(t)$ , 1 boyutlu radar fonksiyonu;  $D$ , yer değiştirme ve  $i$  sabit olarak gösterilmektedir.



Şekil 1.18. Bir izin 1 boyutlu şematik gösterimi

A tarama ile objenin varlığı belirlenebilmektedir. Fakat lokasyonu (yeri ve derinliği) bilinmemektedir. Bu amaçla B-tarama yapılması gerekmektedir.

#### 1.3.1.4.2. İki Boyutlu Görüntüleme (B-Tarama)

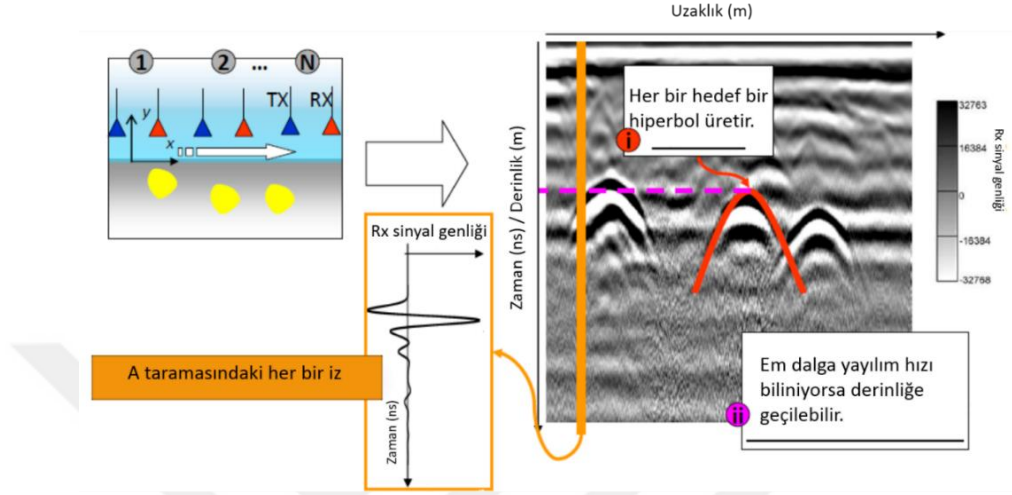
B-taraması, A-tarama grubunu temsil eden iki boyutlu bir çizimdir. Çoğu GPR veri analizi, B taraması olarak sunulan bir dizi GPR sinyalinin yorumlanmasına dayanmaktadır. A taramaları grubundan alınan yatay toplam olarak elde edilen iki boyutlu bir veri seti veya görüntüdür (Şekil 1.19). İki boyutlu görüntünün yatay eksenini, profil uzunluğudur ve düşey eksen, EM dalganın çift yol seyahat zamanıdır. Her bir satırın bir örnek noktasını (veya zamanı) temsil ettiği ve her bir sütunun bir izi temsil ettiği bir matris ile gerçekleştirilir. Matris elemanının değeri, ilgili iz ve örnek noktası için genliktir. Bir B taraması,

$$g(x,t) = D(x_i, y_j, t_k), \quad 1 \leq i \leq P, j = \text{sabit} \quad \text{ve} \quad 1 \leq k \leq N \quad (1.17)$$

ya da

$$g(y,t) = D(x_i, y_j, t_k), \quad i = \text{sabit}, \quad 1 \leq j \leq M \quad \text{ve} \quad 1 \leq k \leq N \quad (1.18)$$

olarak ifade edilmektedir. Burada  $g(x,t)$  ya da  $g(y,t)$  2 boyutlu radar fonksiyonu; D, yer değiştirme olarak gösterilmektedir, j ya da i'den biri sabit kalmaktadır.



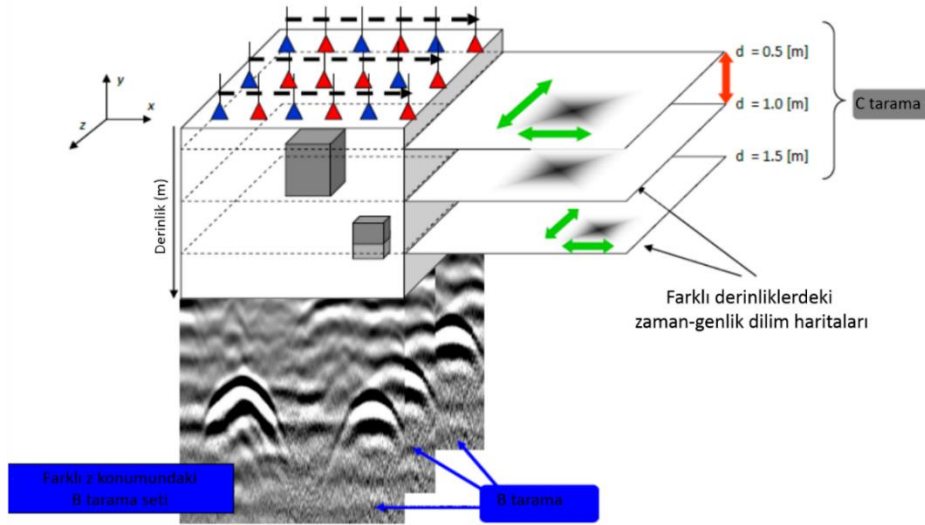
Şekil 1.19. B tarama (2 boyutlu) GPR verisinin şematik gösterimi

#### 1.3.1.4.3. Üç Boyutlu Görüntüleme (C-Tarama)

C-taraması (veya üç boyutlu veri sunumu) sinyali, yüzey boyunca tekrarlanan hat taramasıyla ölçülen B-taramalarının topluluğundan elde edilir. Yani C tarama B-taramalarının yan yana düzenlenmesi ile ortaya çıkan GPR verilerinin üç boyutlu bir görüntüsüdür (Şekil 1.20). B taramadaki gözlenen yansımaların yanal ve düşey yöndeki devamlılıklarını görüntülemek için C tarama görüntülerinin oluşturulması gerekmektedir. C tarama,

$$g(x, y, t) = D(x_i, y_j, t_k), \quad 1 \leq i \leq P, \quad 1 \leq j \leq M \text{ ve } 1 \leq k \leq N \quad (1.19)$$

olarak gösterilmektedir. Burada  $g(x,y,t)$ , 3 boyutlu radar fonksiyonu; D, yer değiştirme olarak gösterilmektedir ve i, j, k değişkendir.



Şekil 1.20. C tarama (3 boyutlu) GPR verisinin şematik gösterimi

### 1.3.1.5. Yer Radarı Verilerinde Veri İşlem

Araziden elde edilen GPR verileri yoruma hazır hale getirilinceye kadar temel ve ileri olmak üzere birçok veri işlem aşamasından geçirilmektedir. Temel veri işlem adımları;

**Düşük Frekanslı İzlerin Giderilmesi (Dewow);** Bu veri işlem adımında düşük frekanslı izlerin giderilmesi amaçlanmaktadır. Veriden gürültüyü uzaklaştırmak ve doğru GPR yansımalarını korumak için uygulanmaktadır. Yer radarı verilerinde verinin görüntülenmesine çok düşük frekanslı gürültüler engel olmaktadır. Verilerin düşük frekanslı kısımlarında yüksek genlikli bir bileşen meydana gelmektedir ve buna “wow” etkisi denir. Bu etkinin giderme işlemine “dewow” denir (Annan, 2001). Bu süzgeçlemede, hareketli ortalama değer her bir izin her bir değeri için hesaplanmakta ve hesaplanan bu hareketli ortalama merkez noktasından çıkarılmaktadır. Süzgeç parametresi olarak, hareketli ortalama değer hesaplanması için zaman penceresi için bir zaman değeri girilmesi gerekmektedir.

**Kazanç Fonksiyonları;** derinlikle beraber sinyalin soğurulması, sinyalin varış zamanının artmasına ve böylece sinyalin genliğinin de azalmasına sebep olmaktadır. Bundan dolayı, derinlerde yer alan sinyal genliklerini daha güçlü hale ve tüm sinyal genliklerini eşit duruma getirmek amacıyla veriye kazanç uygulanmalıdır. Bu kazanç işlemi yer radarı kesitlerinin görünürlüğünü geliştirmekte ve çoğu uygulanan teknikle, veri yapısının değişmesine sebep olmaktadır (bağıl genlikler ve/veya faz ilişkileri

değişmesi gibi). Bu sebepten, kazanç fonksiyonlarının etkileri uygulanmasından önce anlaşılmalı ve veri yorumlanırken dikkat edilmelidir (Annan, 2001). Bütün kazanç fonksiyonları, zaman ortamında izin ardı sıra izleyen bölümlerine bazı çarpım faktörleri uygulanarak yapılmaktadır.

Ringling (Çınlama) etkisinin giderilmesi; Genellikle GPR verisi toplanırken, kayıta ilk varış zamanlarında birbirine paralel, yatay bantlar şeklinde olaylar gözlemlenmektedir. Bu olaylar yer radarı aletlerindeki sistem etkilerinden kaynaklanacağı gibi, TV, FM radyo ve cep telefonlarından gelen sinyallerden de kaynaklanabilir. Bu etkilere genellikle uyumlu gürültünün genel bir çeşidi olan “ringing etkisi” adı verilmektedir. Bu etki, yüksek geçişli süzgeçler kullanılarak uygulanmaktadır (Wilchek, 2000). Ayrıca izlerde kuvvetli olduğu zaman giderilememekte ve daha derin yapıları tamamen maskeleyemekte olduğu görülmektedir. Bu sebeple kesitlerde yatay ve periyodik olaylar olarak görülen ringing etkisi veri işleme giderilmesi gereken en önemli olaylardan biri olarak görülmektedir (Kim vd., 2007).

Araziden toplanan verilerden elde edilen radargramları yorumlamak, elektromanyetik dalgaların oluşumu ve inceleme ortamı içerisinde yayılışının oldukça karmaşık oluşundan dolayı oldukça zor olmaktadır.

### **1.3.1.6. GPR Verilerinde Elektromanyetik Dalga Hızının Belirlenmesi**

Arazide araştırılan yapıların derinliklerinin hesaplanabilmesi için en önemli parametre yeraltında seyahat eden radar dalgalarının hızlarının belirlenmesidir. Eğer EM dalga hızı belirlenmesi durumunda, GPR kesitlerine ait bir derinlik eksenini oluşturmaktadır. Güncel radar yazılımları otomatik olarak bir GPR kesiti için bir derinlik skalası oluşturabilmektedir. Derinlik ile veya profil boyunca hız değişimlerinin çok olduğu lokasyonlarda, derinlik skalası profil içerisindeki farklı birimler için elle oluşturulmaktadır.

Boşlukta veya havada EM enerji yaklaşık 0.3 m/ns olan ışık hızında hareket etmektedir. Hava içinde yayılan enerjinin bir kısmı kırılarak yer içinde genelde 0.05-0.17 m/ns arasında değişen hızlarda ilerlemektedir. Hem dielektrik geçirgenlik hem de elektrik iletkenlik yer içinde yayılan EM dalga hızını oldukça fazla etkilemektedir (Moorman, 2001). Radar dalgalarının yayılım hızları;

$$v = \frac{c}{(K'(\sqrt{1+\tan^2\delta}+1))^{1/2}} \quad (1.20)$$

$$v = \frac{0.3}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (1.21)$$

denklemleri ile verilir. Burada  $c$ ; ışık hızı,  $K'$ ; ortalama bağıl dielektrik katsayısı,  $\tan \delta$  ise kayıp tanjantını göstermektedir.

Kayıp tanjant, bir maddedeki iletim akımlarının yer değiştirme akımlarına oranını vermektedir ve

$$\tan\delta = \frac{|J_C|}{|J_D|} = \frac{\sigma}{\omega\epsilon} \quad (1.22)$$

şeklinde ifade edilmektedir.

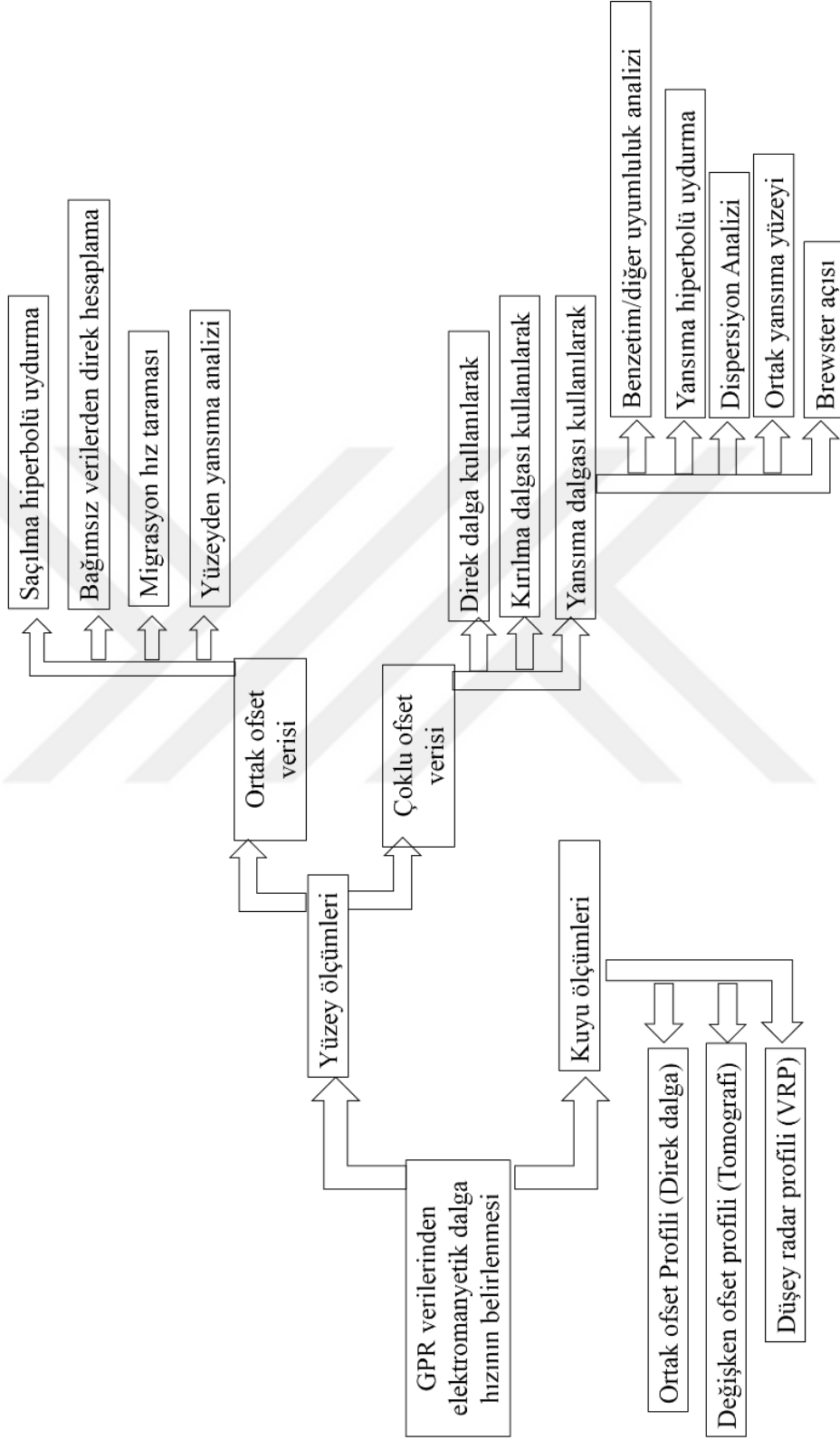
Su içerisinde bulunan EM dalgaların yayılım hızı genellikle sabit olarak kabul edilmekte ve özellikle görsel alanlarda yapılan çalışmalarda suyun derinliği hesaplanabilmektedir. Ancak yeraltında farklı su içeriğine ve farklı gözenekliliğe sahip tortul kayaçlar gibi ortamların EM dalga hızları farklılık göstermekte ve bu tür ortamlarda derinliğin ölçülmesinde hızın belirlenmesi oldukça önem taşımaktadır. Bu tür ortamlarda, sondaj yapılabilirse, EM dalga hızı doğrudan arazide yapılan derinlik ölçümleri ile hesaplanabilmektedir. Eğer sondaj yapılma olanağı yoksa EM dalga hızı gelen varışlar ve yatay ara yüzeylerden meydana gelen yansımaların kullanıldığı OON ya da ortak ofset ölçümleri yapılarak belirlenebilmektedir. Bu teknikler karmaşık ortamlardaki tabakaların hızlarının belirlenmesi için daha uygun yöntemler olarak literatüre geçmiştir (Moorman, 2001).

GPR verilerinde kaydedilen çift yol seyahat zamanından derinlik bilgisini elde etmek için ortamın elektromanyetik dalga hızının bilinmesi gerekmektedir. Bu hız yüzey ölçümleri ve kuyu ölçümleri ile belirlenebilmektedir (Tablo 1.4).

Bu tez çalışmasında çoklu ofset verisi olarak OON verileri toplanmış, yansıma dalgası kullanılıp benzetim analizi yapılarak elektromanyetik dalga hızı belirlenmiştir.



Tablo 1.4. Elektromanyetik dalga hızının belirlenmesi yöntemleri (Forte ve Pipan, 2008)



### 1.3.1.6.1. GPR'da Hız Analizi

OON verilerinden hız belirlemek amacı ile yapılan hız analizi son yıllarda oldukça yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanılmıştır (Annan 2004; Leucci, 2007; Porsani ve Sauck, 2007; Berard ve Maillou, 2008; Devlin, vd., 2008; Novo, vd., 2008; Booth vd., 2008; Bradford vd., 2009). Bir OON ölçümünde; vericiden yayılan enerjinin yeraltında ara yüzeyden yansıyan ve alıcıda kaydedilen seyahat zamanı, hiperbolik normal kayma zamanı denklemleri ile verilmektedir,

$$t(x) = \sqrt{t_0^2 + \frac{x^2}{V_{NKZ}^2}} \quad (1.23)$$

Burada  $x$ , kaynak-alıcı arasındaki mesafe,  $t_0$ , sıfır-ofset çift yol seyahat zamanı ve  $V_{NKZ}$ , normal kayma zamanı hızını göstermektedir.

Tek bir homojen, izotropik yatay tabakadan gelen bir yansıma için, denklem (1.23) deki  $V_{NKZ}$ , ara hızdır ( $V_{ARA}$ ). Hızın tabakalar arasında değiştiği çok katmanlı durumlarda, denklem (1.23) gerçek seyahat zamanlarına hiperbolik bir yaklaşım yapar. Küçük hız farklılıkları ve kısa yayılma koşulları için ( $x$ 'in yansıtıcıya olan derinlikten daha az olması durumu),  $V_{NKZ}$  kabaca karekök ortalama hızıdır ( $V_{RMS}$ ) (Taner ve Kohler 1969; Yılmaz, 2001) ve ara hızlar Dix denkleminde (Dix 1955)  $V_{RMS}$  ve  $t_0$  ardışık çiftlerinin yerine koyulması elde edilir.

Yansıma hiperbolu ile sunulan hız, benzetim analizi kullanılarak değerlendirilebilir (Neidell ve Taner, 1971; Yılmaz, 2001). Benzetim bir dizi analiz penceresinde ölçülen dalga formları arasındaki enerjinin tutarlılığının bir ölçüsüdür. Bu pencereler tipik olarak, deneme hızı ve seyahat zamanı çiftlerinin NKZ denkleminde yerine koyulması ile tanımlanan hiperbolik yörüngelere odaklanır.

Hız analizindeki temel amaç OON grubu içindeki yansıma hiperbollerini tüm uzaklıklar için sıfır ofset zamanına taşıyacak hızın elde edilmesidir (Karslı, 2016).

#### 1.3.1.6.1.1. Benzetim (Semblance) Analizi

Benzetim analizinde hız spektrumları (Taner ve Kohler, 1969) kullanılarak yapılan normal kayma zamanı (NKZ) hız analizi, bir hız modeli oluşturmaya yönelik önemli bir

adıdır. Hız modelinin doğruluğu, uygulayıcının en uygun hızı seçme bilgisine dayalı olup, bu da benzetim spektrumunun doğruluğuna ve çözünürlüğüne bağlıdır.

Geleneksel benzetim yaklaşımı, Taner ve Kohler (1969) tarafından ilk kez tanımlanmış olan normalleştirilmiş bir uyumluluk ölçüsüdür. Benzetimin ve diğer tutarlılık ölçütlerinin karşılaştırması Neidell ve Taner'de (1971) bulunabilir. Benzetim, rutin olarak çift yol seyahat zamanının bir fonksiyonu olarak NKZ hızını tahmin etmek için kullanılmaktadır. OON iz grubunun normal kayma zamanı düzeltilmesinin ardından, Neidell ve Taner tarafından tanımlanan benzetim,

$$s_{NT} [i] = \frac{\sum_{j=i-M}^{i+M} \left( \sum_{k=0}^{N-1} q[j, k] \right)^2}{N \sum_{j=i-M}^{i+M} \sum_{k=0}^{N-1} q[j, k]^2} \quad (1.24)$$

ile hesaplanmaktadır. Burada;  $i$  ve  $j$  zaman örnekleme indisleri,  $k$  tek bir iz sayısıdır ve  $q [j, k]$ , NKZ düzeltmesi yapılmış verinin  $k$  iz sayısı ve  $j$  zaman indeksindeki iz genliğidir. Dış toplamlar,  $i$ 'de zaman indeksi merkezlenmiş  $2M + 1$  uzunluğuna sahip bir zaman-düzleştirici pencereye karşılık gelirken;  $k$  üzerinden iç toplamlar, bir OON iz grubundaki  $N$ , NKZ düzeltmesi yapılmış izlere karşılık gelmektedir. Burada zaman düzleştiricisi, süzgeçleme işlemi ile gerçekleştirilmektedir.

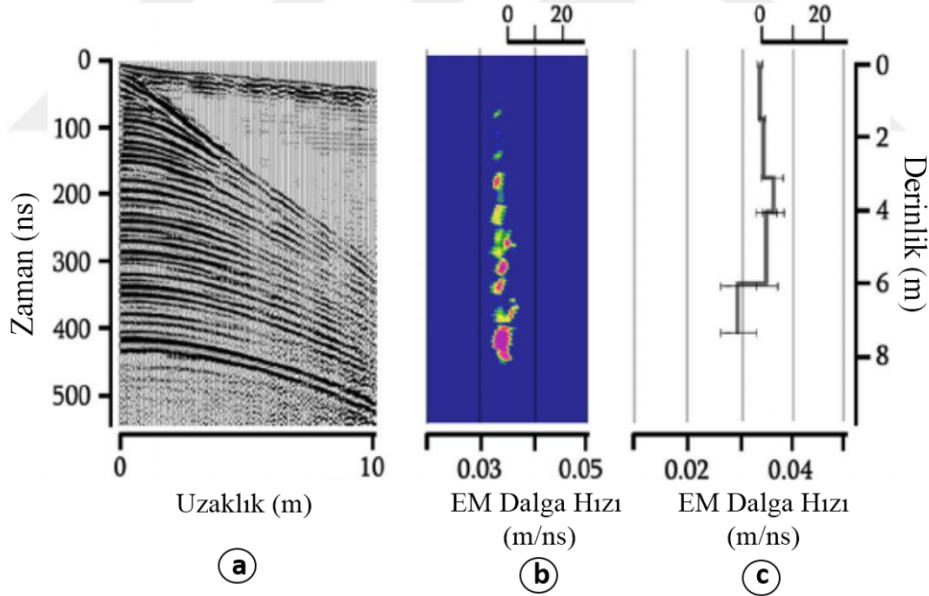
Benzetim değeri, deneme NKZ hızına karşılık gelen kayma zamanı yolunun, verilerdeki sinyalin hareketine ne kadar uyduğunu yansıtır. İyi bir uyum, benzetim spektrumunda bir zirve üretir, oysa zayıf bir uyum, sifıra yakın olan benzetim değerleri üretir. Ofset ile gürültü ve sinyal genliği varyasyonu olmadığı varsayıldığında ( $q [j, k]$  değerleri indeks  $k$  ile değişmediğinde) benzetim maksimize edilir. Yani, NKZ düzeltme olayları zaman indeksi  $i$  'de izler boyunca hizalandığında benzetim  $s [i] = 1$  olur. Benzetim spektrumlarının çözünürlüğü, NKZ zamanlarının hızdaki değişikliklere olan duyarlılığına bağlıdır. Deneme hızındaki küçük bir değişiklik NKZ'ndaki nispeten büyük bir değişim ile sonuçlanırsa, benzetim değeri, deneme hızına ve doğru hıza karşılık gelen NKZ zamanları arasındaki uyumsuzluk ile hızla değişecektir. Deneme hızındaki bir değişim için NKZ zamanındaki değişim ne kadar büyük olursa, benzetim spektrumunun çözünürlüğü de o kadar yüksektir.

### 1.3.1.6.1.2. Hız Spektrumu

Her bir hız için elde edilen yığılma izleri, çift yol seyahat zamanına karşılık bir hız paneli üzerinde yan yana gösterilir. Buna hız spektrumu denir (Yılmaz, 2001). Bu panel izler halinde ya da eş genlikler halinde oluşturulabilir (Şekil. 1.21). Bir OON ölçümü alındıktan sonra, (1.25) ile P hız spektrumunu elde etmek için hız analizi uygulanmaktadır,

$$P(v, z) = \sum_{i=1}^N d(\tau_i(v, z), x_i) \quad (1.25)$$

Burada z, yatay yansıtıcının derinliği; i anten çifti arasındaki mesafe  $x_i$ ; v, deneme hızı; N, iz sayısı ve d OON verisidir. Hız spektrumu (1.25) denklemi tarafından verilen hiperbolik eğriler boyunca farklı konumlardaki sinyallerin yığılmış genliğini gösterir. Deneme hızı gerçek hıza yakın olduğunda, yığılmış enerji artacaktır. Bu yüzden maksimum enerji noktasında tahmini hız seçebilmektedir.



Şekil 1.21. (a) OON ölçümünden elde edilmiş örnek bir radargram (b) hız spektrumu (c) elde edilen 1B hız-derinlik değişimi

### 1.3.2. Elektrik Özdirenç Görüntüleme (EÖG)

Elektrik özdirenç görüntüleme (EÖG), sıg yeraltı için en popüler jeofizik tekniklerden biridir. Araştırmalar, laboratuvar örneklerinde mm/ cm ölçülerinde, toprakta

dm/ m, yeraltı suyu için ise metreden dekametreye kadar geniş bir yelpazeyi kapsamaktadır. Ayrıca derin jeolojik yapılar için yüzlerce m hatta km'ye ulaşabilmektedir. EÖG yöntemindeki temel amaç; araştırma alanının jeolojik yapısının zemin ve kayaçların yanal veya düşey yöndeki elektriksel iletkenlik farklarından yararlanılarak ortaya konulmasıdır. Yöntem, mühendislik amaçlı yapılarının zemin araştırmalarında, jeotermal enerji araştırmalarında, yeraltı suyu ve çevre kirliliği aramalarında, maden, petrol ve arkeolojik ve mühendislik aramalarında etkin bir şekilde kullanılmaktadır (Dahlin vd., 1999; Cavinato vd., 2006; Ganerød vd., 2006; Cosenza vd., 2006; Gay vd., 2006; Drahor vd., 2006; Sudha vd., 2009; Danielsen ve Dahlin, 2009). Araştırma alanlarının çok geniş bir yelpazede yer alması ve güncel teknolojilerin takibi ile EÖG yöntemi oldukça başarılı sonuçlar verebilmektedir.

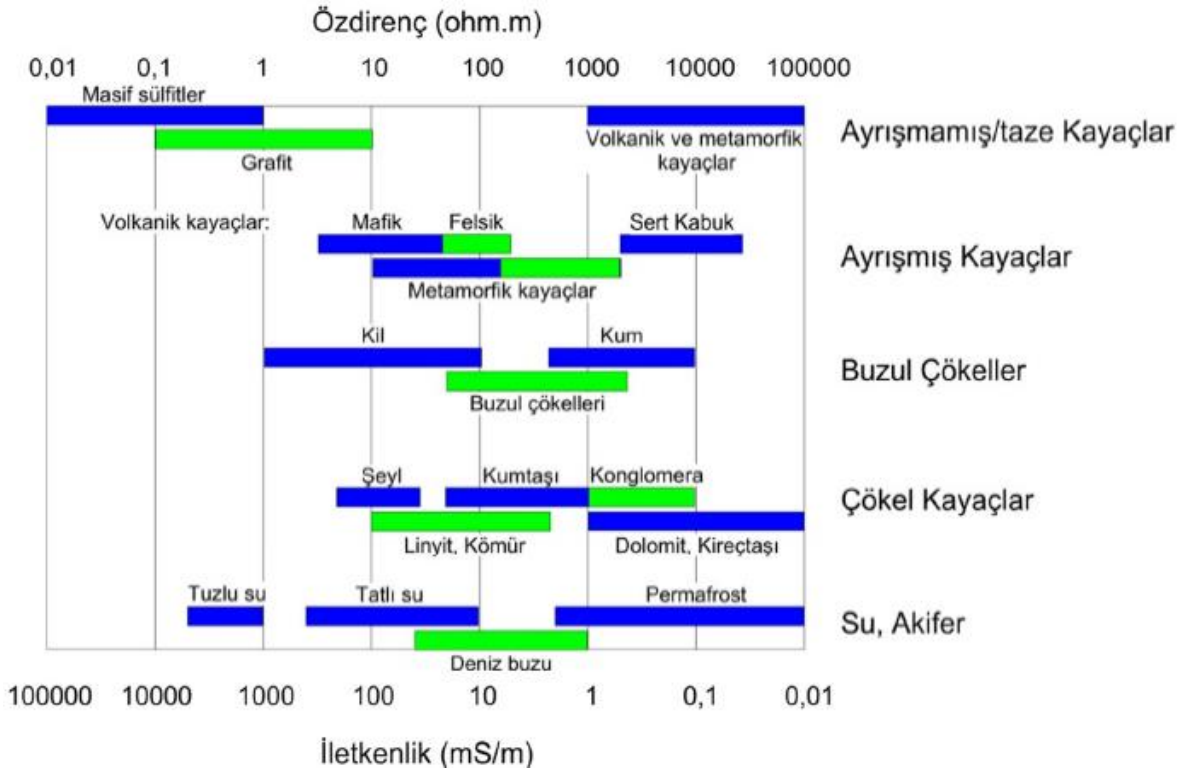
Schlumberger kardeşler tarafından yapılan ilk görüntüleme deneyleri, öz direnç değişimini teknikleri, sayısal modelleme yaklaşımları ve ters çözüm algoritmaları, 1970'lerden ve 1990'lı yıllardan bu yana bilgisayar ve jeofizik cihaz teknolojisinin gelişmesiyle hızlı bir gelişme göstermiştir ve böylece yeraltının öz direnç değişimlerinin 1B,2B ve 3B olarak görüntülenmesine imkân sağlamıştır. Mühendislik amaçlı elektrik öz direnç görüntüleme ile ilgili yapılan bazı makaleler incelenecek olunursa;

Garchy'de (Nièvre, Fransa)'da Cosenza vd., (2006) tarafından jeofizik ve jeoteknik bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmanın temel amacı bu alandaki elektrik ve jeoteknik veriler arasında niceliksel ve kantitatif korelasyonlar kurmaktır. Sonuçta elde edilen niteliksel korelasyonlar, jeoteknik testler ve elektrik öz direnç tomografi sonuçları birbirleri ile uyum göstermektedir.

Siddiqui ve Osman (2012), Malezya'daki jeofizik yöntemlerle farklı jeoteknik özelliklerini ilişkilendirmek için bir araştırma çalışması yürütmüşlerdir. Bu çalışmada, toprak mukavemet özellikleri ile elektriksel dirençlilik korelasyonlarını araştırarak başarılı sonuçlar elde etmişlerdir.

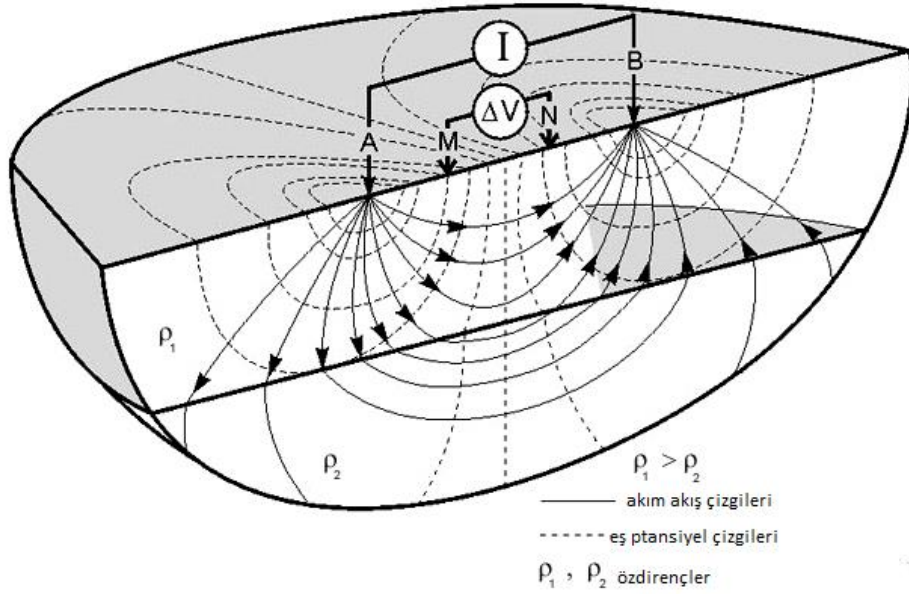
Yeraltı jeofiziksel ve jeoteknik mühendislik parametrelerinin incelenmesi, sığ yeraltı yüzeyinin belirlenmesi amacı ile Asif vd., 2016 tarafından Pakistan yakınlarındaki Wattar bölgesinde bir elektrik öz direnç çalışması yürütmüşlerdir. Sonuç olarak elektriksel direnç değerleri ile çalışma alanındaki kumlu ve siltli toprakların jeoteknik özellikleri ile başarılı bir şekilde ilişkilendirilmiştir. Ayrıca öz direnç ve litolojiler, tabaka kalınlığı ve nem içeriği arasında da önemli nicel ve nitel ilişkiler elde etmişlerdir.

Kayaçlar buldukları ortamdaki fiziksel ve kimyasal koşullardaki değişime bağlı olarak farklı dielektrik değerleri gösterebilir ve böylece farklı kayaçların değişik ortamlarda aynı elektriksel değerlere ve aynı kayaçların da ortamsal değişikliğe bağlı olarak farklı değerlere sahip olabileceği yorumu yapılabilir. Şekil 1.22’de farklı kayaçlara ait öz direnç değerleri görülmektedir.



Şekil 1.22. Çeşitli kayaç ve metaryellerin öz direnç değer aralıkları (Palacky, 1987).

EÖG’deki temel ölçüm şeklinde amaç, yüzeyden yapılan ölçümler yoluyla iki akım elektrodu ile yere akım gönderilerek, iki potansiyel elektrot ile de bu akımların oluşturduğu potansiyel dağılımının belirlenmesidir. Kısaca burada, yere çakılan akım elektrotları ile elektrik akımı verilir ve diğer noktadaki potansiyel elektrotlar arasında oluşan gerilim farkı ölçülmektedir. Bir EÖG araştırmasının şematik gösterimi şekil 1.23’de görülmektedir.



Şekil 1.23. Bir elektrik öz direnç çalışmasının şematik gösterimi (Knödel, vd., 2005)

İki potansiyel elektrotu ile ölçülen gerilim farkı, elektrotlar arasındaki mesafeye ve ortamın jeolojisine bağlı olarak değişmektedir. Yere uygulanan akımın nüfuz derinliği elektrotlar arasındaki mesafe arttıkça artmaktadır. Elektrik akışına direnen bir malzemenin fiziksel özelliği öz direnç olarak adlandırılır ve öz direnç elektriksel iletkenliğin tersidir. Öz direnç yönteminin temel teorisini tanımlamak için Ohm yasasından yararlanılmaktadır. EÖG’de ölçülen büyüklük gerilim farkı olmasına rağmen elde edilen veri değerlendirilirken ve yorumlanırken bu gerilim farkının fiziksel bir büyüklük olan öz dirence dönüştürülmesi gerekmektedir. Bu dönüştürme,

$$\rho_a = k \frac{\Delta V}{I} \quad (1.26)$$

şeklinde yapılmaktadır. Burada k, geometrik faktör. I, yere uygulanan akım ve  $\Delta V$ , ölçülen gerilim farkıdır. 1.26 eşitliği homojen ve izotrop bir ortam için geçerlidir.

Eğer ortam yarı sonsuz homojen ve akım ile potansiyel elektrotlarını da yüzeyde ise, Şekil 1.23’te verilen dört elektrotlu dizilim için A ve B akım elektrotları olmak üzere M ve N potansiyel elektrotları arasında oluşan gerilim farkı

$$\Delta\phi = \phi_M - \phi_N = \frac{I\rho}{2\pi} \left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_3} + \frac{1}{r_4} \right) \quad (1.27)$$

şeklinde ifade edilmektedir.

(1.27) denkleminde hareket ile homojen yeraltında hesaplanan özdirenç değeri gerçek özdirenç eşittir fakat heterojen yeraltı için hesaplanan özdirenç değeri ise görünür özdirenç ( $\rho_a$ ) olarak ifade edilmektedir ve bu değer elektrotların yüzeydeki dizilişine, yeraltının özdirençine, nem içeriğine ve yeraltının jeolojisine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. “ $\rho_a$ ” görünür özdirenç değeri,

$$\rho_a = \frac{\Delta\phi}{I} \frac{2\pi}{\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_3} + \frac{1}{r_4}\right)} \quad (1.28)$$

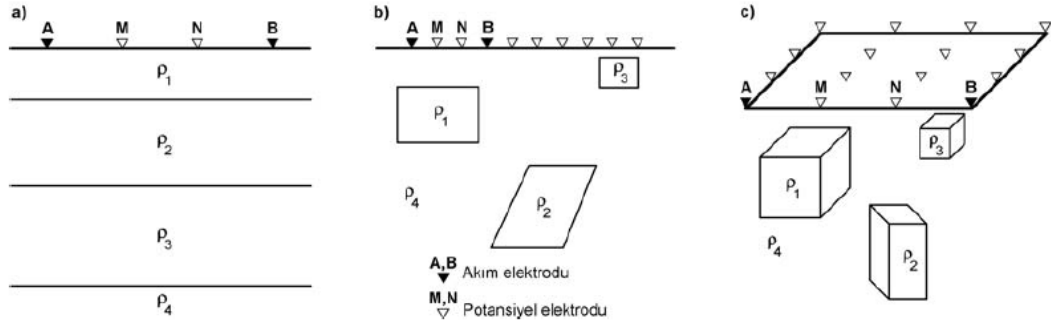
şeklinde ifade edilmektedir. Elde edilen bu görünür özdirenç değeri kullanılan elektrot diziliminin orta noktasına atanmaktadır. Burada eşitliğin ikinci kısmı “ $k$ ” geometrik faktörü olarak adlandırılmaktadır ve

$$k = \frac{2\pi}{\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_3} + \frac{1}{r_4}\right)} \quad (1.29)$$

eşitliği ile tanımlanmaktadır.

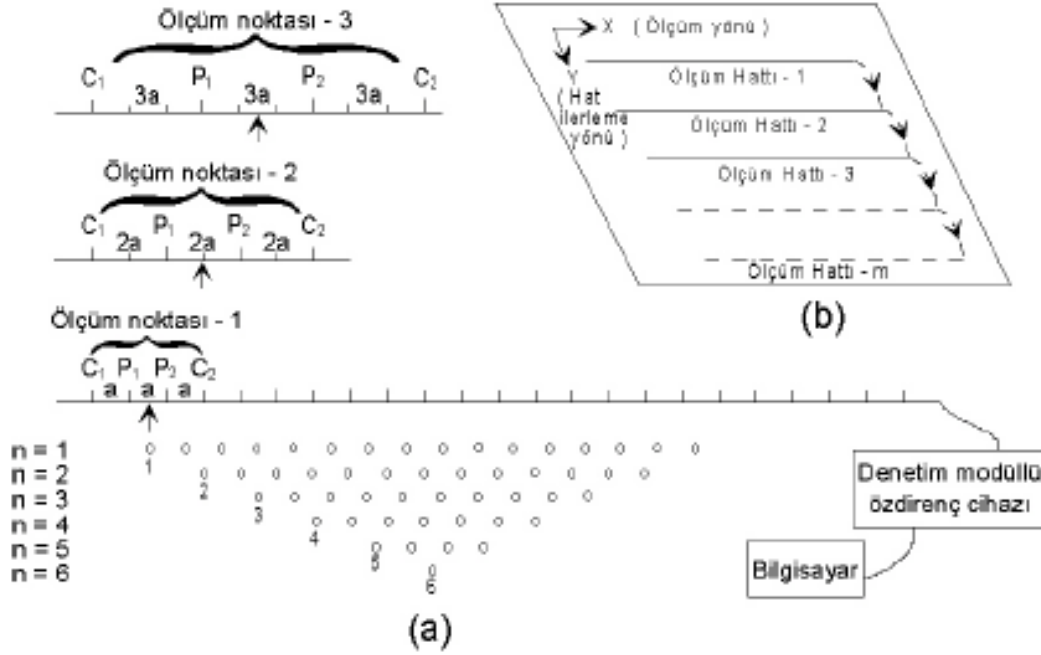
EÖG çalışmaları yüzeyde ve kuyu içerisinde olmak üzere farklı şekillerde gerçekleştirilmektedir. Yüzeyde yapılan çalışmalarda elektrotlar yüzeyde konumlandırılarak ölçümler yapılmakta iken, kuyu içi çalışmalarda ise elektrotların tamamı kuyu içerisinde konumlanarak ölçümler yapılmaktadır. Yüzeyden yapılan elektrik özdirenç çalışmaları araştırma problemine göre Düşey Elektrik Sondaj (DES) çalışmaları, Yatay Elektrik Sondaj (YES, Profil ölçüsü veya haritalama), 2B ve 3B görüntüleme (elektrik özdirenç tomografisi) olmak üzere üç farklı şekilde uygulanmaktadır. Bu üç farklı şekilde uygulanan çalışmalarda yeraltı özdirenç dağılımı Şekil 1.24’te gösterildiği gibi 1B, 2B ve 3B olarak tanımlanabilmektedir.





Şekil 1.24. a) 1B, b) 2B ve c) 3B elektrik özdirenç tomografi uygulamaları

DES çalışmaları ile yeraltının özdirenç değerinin derinlikle değişimi araştırılmaktadır. Bu ölçüm yönteminde tek-kanallı özdirenç aletleri kullanılmakta, dizilimin orta noktası sabit kalarak, elektrotların arası açılmakta ve böylece elektrot aralığına göre, orta noktanın altında kalan yeraltına ait derinliğe göre görünür özdirenç değerleri, 1B olarak elde edilmektedir. Yeraltında özdirenç dağılımının bir profil doğrultusunda ve belirli bir derinlikte araştırılması ise profil ölçümü olarak adlandırılmaktadır. Bu ölçümler elektrot aralıkları sabit kalarak belirli ölçüm aralıklarında elektrotlar kaydırılarak yapılmaktadır. Günümüzde elektrik özdirenç tomografi (ERT) olarak adlandırılan çok elektrotlu elektrik özdirenç görüntüleme etkin bir şekilde kullanılmaktadır. Bilgisayar ve kullanılan cihaz teknolojisinin son 20 yıl içerisinde hızla gelişmesine bağlı olarak özdirenç veri toplama sistemleri de gelişmiştir (Dahlin, 1996). ERT ile elde edilen veriler, hem yanal yönde hem de düşey yönde yeraltının 2B olarak özdirenç yapısı hakkında bilgi sağlamaktadır. Bu teknik, yatay elektrik sondajı ve düşey elektrik sondajı ölçü yöntemlerinin avantajlarını birlikte kapsamaktadır. Bu sistem; çok kanallı özdirenç cihazı, elektrot kabloları, bunların bağlantıları ve elektrotlardan oluşur (Overmeeren ve Ritsema, 1988; Griffiths ve Barker, 1993; Dahlin, 2001). Elektrot aralıkları ve düzenekleri araştırmanın amacına bağlı olarak şekillenmektedir. Yapılan bir elektrik özdirenç görüntüleme çalışmasında elektrotların bağlandığı kablolar çalışma alanına serildikten sonra, elektrotlar yere çakılır ve böylece ölçüm düzeneği hazır duruma getirilir. Ölçümler çalışmanın amacına bağlı olarak kullanılan dizilim türleri için gerçekleştirilir ve ölçüm profili bir sonraki profil için hazırlanır. Çok kanallı özdirenç ölçüm sistemi Şekil 1.25’de verilmiştir.



Şekil 1.25. Çok-kanallı elektrik özdirenç verisinin Wenner dizilimine göre toplanması (Griffiths ve Barker, 1993)

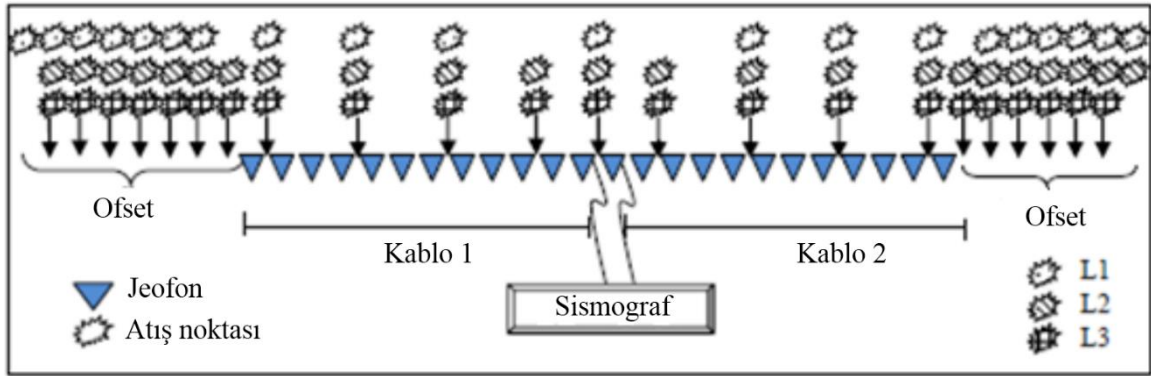
Bu yöntem ile elde edilen yapma-kesitler ölçülen görünür özdirenç (GÖ) değerleri ile çizilebilmektedir. Çizilen yapma kesitlerden nitel yorum yapılabilir. Nicel yorum yapmak için, GÖ yapma kesit verilerinin ters çözümü yapılmalıdır. Çoklu elektrot sistemleri, birçok okumanın sırayla alınabilmesini sağlayacak biçimde geliştirilmiştir ve böylece toplam ölçü süresi çok büyük oranda düşmektedir. Buna benzer yeni tasarımlar, günümüzde jeolojik yapıların yüzeyden belirlenebilmesine 2B ve 3B çözümler getirmektedir. Bu tez çalışmasında da alınan elektrik özdirenç ölçümleri çok elektrotlu özdirenç yöntemi uygulanarak alınmıştır ve RES2Dinv (Geotomo, 2006) programı kullanılarak değerlendirilmiştir. Bu programda en küçük kareler ters çözüm yöntemi kullanılarak hesaplanmış özdirenç verileri elde edilmektedir (Loke ve Barker, 1996). Bu özdirenç verileri elde edilirken yeraltı bloklara ayrılmakta ve bu bloklara ait görünür ve hesaplanmış özdirenç değerleri arasındaki fark en küçük olana kadar ters çözüm işlemi yinelenmektedir.

### 1.3.3. Sismik Kırılma Tomografi Yöntemi (SRT)

Kırılma tomografisi olarak da bilinen sismik tomografi, son yıllarda yakın yüzey uygulamalarında oldukça yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanılmıştır. (Sheehan vd.,

2005). Sismik tomografi, yeraltının iki ve üç boyutlu görüntülerini oluşturmak için deprem veya patlamalar sonucu oluşan sismik dalgaları kullanan bir görüntüleme tekniğidir. Tomografi terimi, 'dilim' anlamına gelen Yunanca kelime tomo'dan türetilmiştir Sismik kırılma tomografisi, 2 ve 3 boyutlu modelin hızını belirlemek için ters çözüm tekniği kullanarak sismik kırılma verilerini yorumlamasını içeren jeofizik bir yöntemidir. Bu yöntemde uygulanacak olan ilk işlem doğrusallaştırılmış yinelemeli ters çözüm probleminin formülleştirilmesidir. Bu da, bir ortam boyunca yayılan enerjinin ölçülmesi ile başlamaktadır. Çoğu durumda, bir ortamdaki enerjinin yayılımı, ortam parametrelerinin bir toplamı veya integrali ile ifade edilmektedir. Böylece, veri ile ortam parametreleri arasında doğrusal bir bağıntı elde edilerek ters çözüm teknikleri uygulanması ile gerçeğe en yakın ortam parametreleri elde edilebilir. Tomografi, görüntülenecek ortam civarında kaynak ve alıcı dağılımının bulunmasını gerektirir. Bunun nedeni, hız değerlerinin hesaplanacağı blokların sayısının gözlem sayısına doğrudan bağlı olmasıdır.

Sismik Tomografi yöntemi ilk olarak 1960'lı yıllarda çalışılmaya başlanılmıştır. İlk zamanlarda "bölgeleştirme" olarak adlandırılan yöntemde, okyanusal ve kıtasal yolları aşan yüzey dalgaları, belirli bir alanın altında kalan yapının 1B lokal tanımlanması için çözümlenmekteydi. Referans olarak simetrik bir yer modeli alınarak yüzey dalgalarının seyahat zamanı anomalileri hesaplanmakta ve hesaplanan anomaliler ışın yolu boyunca eşit olarak dağıtılmaktaydı. Aki vd. (1977), "sismik tomografi" adı verilen yöntemi yer içi hız yapısının belirleneceği ortamı bloklara bölerek geliştirmişlerdir. Burada, her bir blokta, sismik dalgaların seyahat süreleri ile ışın yolu uzunlukları arasındaki doğrusal denklem elde edilmiştir. Böylece, ortama ait bütün blokları kapsayan bir doğrusal denklemler sistemi meydana getirilir. Bu denklemler sistemi uygun ters çözüm yöntemlerinden yararlanılarak çözülür ve yavaşlık (hızın tersi) dağılımları hesaplanır (Koca, 2003). Sonuçta sismik kırılma verisinin diğer bir yorum tekniği olan sismik kırılma tomografisi, birçok durumda daha karmaşık sığ yeraltını daha doğru bir şekilde modellemeye ve daha nitelikli ayrımlılığa olanak sağlayabilmektedir (Şekil 1.26).



Şekil 1.26. Sismik tomografi ölçüm alma düzeneği (Azwin vd., 2013)

Mühendislik uygulamalarında sismik tomografi ile yapılan çalışmalardan bazıları incelenecek olursa;

Young ve Maxwell (1992)'de Kanada'da bulunan bir maden alanında kaya kütlelerinin sağlamlığını belirlemek ve P dalga hızı yapısı arasındaki korelasyonu araştırmak için yaptıkları sismik tomografi çalışmasında, ayrılmış ve çatlaklı kayaların düşük hızlara sahip olduğunu ve kaya kütlelerinin sağlamlığını sismik tomografi yöntemi ile başarılı bir şekilde ortaya koymuşlardır.

Godio vd., 2005 yılında Alpin bölgesindeki heyelanların jeofizik karakteristiklerini incelemiş ve yerinde P dalgası hızı ölçümleri ile laboratuvar ölçümlerini kıyaslamışlardır. Bu ölçümlerle birlikte kaya kalitesi sınıflamasını yapmışlardır. Sonuç olarak, elde ettikleri sonuçlar ile kaya kütlelerinin dinamik ve istatistiksel parametreleri arasında güvenilir bir ilişki olduğunu belirlemişlerdir.

Roser vd., (2008)'de otoyol inşa edilecek bir alanda kaya kütleleri özelliklerini tanımlayabilmek için sismik parametrelerin elde edilmesi amacıyla jeolojik, jeomekanik ve jeofizik araştırmalar gerçekleştirmişlerdir. Bu amaçla tomografik yöntem ile bölgenin P ve S dalga hızı yapısı belirlenmiş ve elastik parametreler hesaplanmıştır. Yaptıkları bu çalışma ile P dalgalarının tomografik hız modelleri ile başarılı sonuçlar ortaya koymuşlardır.

Yapılaşma amaçlı sığ toprak özelliklerinin tanımlanması amacı ile Al-Saigh ve Al-Heety (2013)'de sismik tomografi ve çok kanallı yüzey dalgası analizi yöntemlerini uygulayarak bir jeofizik çalışma yürütmüşlerdir ve başarılı sonuçlar elde etmişlerdir.

Agbodikevd, (2015)'de Güneydoğu Nijerya'da Oru bölgesinde sismik kırılma tomografisi kullanılarak bölgenin hızı ve kalınlığı hakkındaki parametreleri elde etmek için bir jeofizik araştırma yapılmıştır. Yapılan bu araştırmanın sonuçlarında yeraltındaki sismik hız dağılımının, derinlikle genel bir hız artışı gösterdiğini göstermektedir.

### 1.3.3.1. İlk Varış Tomografisi

Sığ yeraltı hız yapısının doğru olarak ortaya konulması sismik veri işlem ve derinlik görüntülenmesi için önemli bir adımı oluşturmaktadır. Sismik kayıtlardaki ilk olaylar genellikle gürültüler tarafından bastırıldığı için ilk varış seyahat zamanı tomografisi kara sismiği veri işlemi için oldukça önemli bir hale gelmiştir (Noble vd., 2010). Bu yöntem sismik kayıtlardan elde edilen ilk varış zamanlarından sığ yer altı hız yapısının tomografik olarak analiz edilmesi amacı ile ortaya çıkmıştır. Klasik sismik kırılma yönteminden farklı, bu yöntemde hız yapısının bir grid model ile gösterilmesidir. Bu gridlerin her bir düğüm noktası, bir düğüm noktası hızına atanır ve grid hücreleri içindeki hız düğüm noktaları hızlarından doğrusal olarak interpolate edilmektedir. Grid aralığı küçük ve düğüm noktalarındaki hızlar keyfi olarak değiştirilebildiği için, yöntem hem yanal hem de düşey yönde güçlü hız değişimleri ortaya koyabilmektedir. Düğüm noktası hızları doğrusal olmayan en küçük kareler yönteminden analiz edilmektedir. Ters çözüm güçlü bir ışın izleme gerektirdiği için, ışın yolu hesaplaması ve seyahat zamanı için doğru ve güçlü bir algoritma pratik uygulamalar için gerekli hale gelmiştir (Tianfei vd., 2001 ). Sismik seyahat zamanı tomografisi analizinde, alan küçük dikdörtgen hücrelere bölünmektedir. Hız ve soğurulma gibi fiziksel özelliklerin her bir hücrede homojen ve izotropik olduğu farz edilmektedir. Yavaşlık hızın tersi olarak ifade edilir. Işın  $T_j$ 'nin gözlenen seyahat zamanı ve  $i$ . hücre  $S_i$ 'nin yavaşlığı arasındaki ilişki

$$T_j = \sum_i I_{ij} S_i \quad (1.30)$$

olarak ifade edilmektedir (Watanabe ve Sassa, 1996). Burada,  $I_{ij}$ ;  $i$ . hücredeki  $j$ . ışının ışın yolunun boyunu göstermektedir. Yinelemeli yöntemler sıklıkla bu denklemi çözmek için kullanılmaktadır. Çünkü ışın yolu hız yapısından hesaplanır. Yinelemeli denklemin adımları ISRM, (1988) tarafından;

- 1- Bir başlangıç yavaşlık modeli tespit edilir.
- 2- Işın izleme yöntemi kullanılarak teorik seyahat zamanları hesaplanır.
- 3- Teorik ve gözlenen seyahat zamanları kıyaslanır.
- 4- Eğer iki seyahat zamanı arasındaki fark verilen hata sınırından küçük değilse, yavaşlık modeli yinelenir.

5- Yukarıdaki işlem istenilen hata sınırına ulaşınca kadar tekrarlanır.

şeklinde verilmektedir.

Işın izleme yöntemi için, Huygens prensibine dayanan modifiye edilmiş nokta kaynak yöntemi analiz edilmiştir (Sassa vd., 1989). Bu yöntemde, hücreler içindeki alanlara bölünmüş her bir grid noktası bir nokta kaynak olarak ışın yollarını meydana getirir. Daha sonra, en kısa seyahat zamanını veren ışın yolu seçilir. Böylece hem seyahat zamanı hem de ışın yolları hesaplanmış olur. Yavaşlık modelinin değişimi için, genellikle eşzamanlı yinelemeli çözüm tekniği (SIRT) kullanılmaktadır.

#### **1.3.4. Çok Kanallı Yüze Dalgası Analizi (ÇKYDA, MASW) Yöntemi**

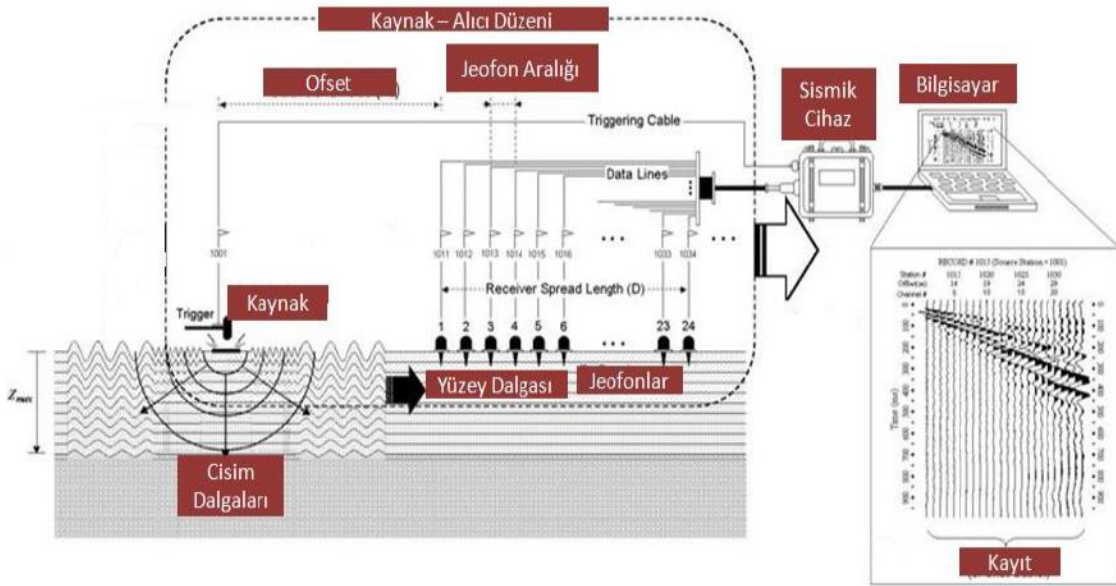
Yüze dalgası analiz (YDA) yöntemlerinde, Rayleigh tipi yüze dalgaları üretilir ve derinlik fonksiyonu olarak yerin kesme dalgası hız profilini çıkarmak için kullanılır. Mevcut diğer yöntemlere kıyasla, YDA yöntemleri düşük maliyetli ve aynı zamanda hasarsız uygulanan jeofizik yöntemlerdir. Ayrıca, yüze dalgası yöntemlerinin tutarlı bir şekilde güvenilir sonuçlar verdiği gösterilmiştir (Park, vd., 1996; Xia, vd., 1999). Bu nedenle, yeraltının kesme dalgası hızını/sertliğini tahmin etmek için YDA yöntemleri büyük ilgi görmektedir.

Rayleigh tipi yüze dalgalarının tabakalı ortamdaki dispersif doğası, yüze yakın malzemelerin özelliklerine ilişkin önemli bilgiler sağlar. Çoğu YDA yönteminin temeli, Rayleigh dalgalarının temel modunun frekansa bağlı faz hızının doğru bir şekilde belirlenmesidir (Park, vd., 1997). YDA yöntemleri, zemin sıvılaşması analizi, heyelan çalışmaları, yeraltı jeolojik birimlerin mukavemetlerinin kestirimi, jeolojik yapılarının haritalanması, zemin sınıflarının belirlenmesi ve sismik kayma dalga hızının hesaplanması gibi alanlarda oldukça etkin bir şekilde uygulanmaktadır (Park, vd., 1996). Rayleigh dalga dispersiyon eğrilerini, kaydedilen yüze dalgası verilerinden çıkarmak için çeşitli yüze dalgası analizleri mevcuttur. Bunlar arasında Yüze Dalgalarının Spektral Analizi (YDSA, SASW) ve Çok Kanallı Yüze Dalgalarının Analizi (ÇKYDA, MASW) bulunmaktadır.

ÇKYDA yönteminin, YDSA prosedürüne göre çeşitli avantajları vardır. Alandaki veri edinimi çok daha az zaman alıcıdır ve veri işleme daha hızlı ve daha kolaydır. Ayrıca, cisim dalgalarının ve yansıyan/saçılan dalgaların dahil edilmesi gibi gürültü kaynakları, YDSA yöntemine kıyasla daha kolay tanımlanabilir ve ortadan kaldırılabilir. Nihayetinde daha hassas bir kayma dalgası hızı profiline yol açtığı için gürültünün azaltılması büyük

önem taşımaktadır. Ayrıca, ÇKYDA yöntemi kullanılarak iki (veya üç) boyutlu dispersiyon görüntülerinin oluşturulması mümkün hale gelmektedir (Park, vd., 2001; Xia vd., 2004).

ÇKYDA yönteminin arazide uygulanması için öncelik olarak şehir gürültüsünden mümkün olduğunca uzak lokasyonlar seçilmelidir. Uygulama alanının bu gürültülerden uzak seçme şansı yok ise seçilen çalışma alanının en sessiz olduğu zamanlarda arazi uygulaması yapılması daha uygundur. Uygulamanın amacına yönelik olarak jeofon aralıkları belirlenir ve profil boyu hesaplanarak, en uygun profil için serim yapılır. ÇKYDA yöntemi uygulanırken ihtiyaç duyulan ekipman; jeofon seti, kayıtçı, sismik serim kablosu ve güç kaynağıdır. Jeofon seti 24 jefondan oluşmaktadır. Kayıtçı, bilgisayar düzenekli bir kayıtçı ya da arazide dizüstü bilgisayara bağlanabilen bir sismik kayıtçı olarak da kullanılabilir. Serim kablosu jeofonların algıladığı impulsları kayıtçıya iletmek için kullanılan özel bir kablodan meydana gelmektedir. Balyoz, hidrolik güç kaynağı veya yer üzerinde anlık impuls oluşturacak herhangi bir güç kaynağı kullanılabilir. (Şekil 1.27).



Şekil 1.27. Arazide uygulanan ÇKYDA ölçüm sistemi (URL-2)

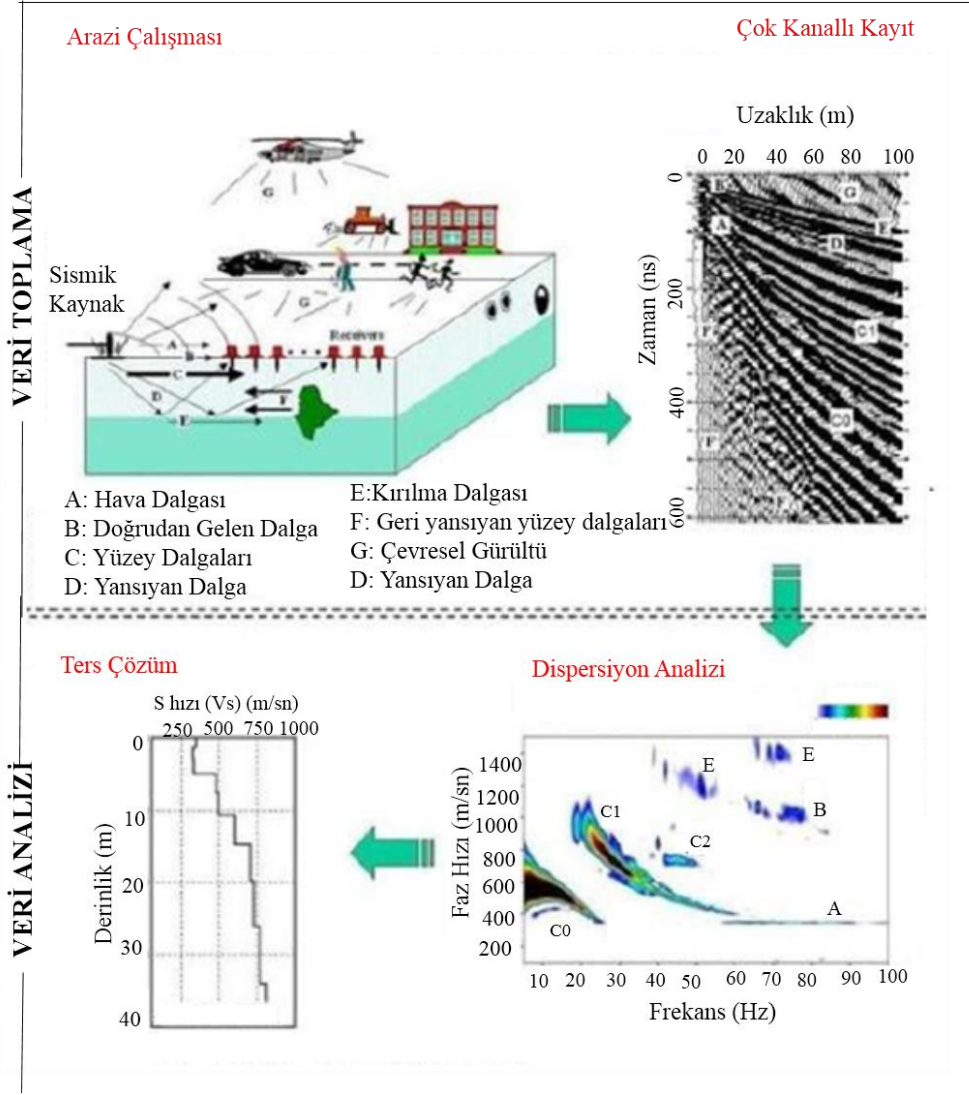
ÇKYDA yönteminde temel amaç tabakalı yerküre modeli için yüzey dalgasının dispersiyon özelliğinden yararlanılarak yer altı kesme hız kesitinin elde edilmesidir (Reynolds,1997). Bu yöntem ilk olarak Park vd., (1999) giriş yapmışlardır. Genel olarak ÇKYDA yöntemi araştırmaları, analiz için gerekli olan yüzey dalgalarının nasıl elde edildiğine bağlı olarak aktif ve pasif araştırmalara ayrılabilir. Yöntem, SYDA yönteminin

bazı zayıflıklarının üstesinden gelmek için geliştirilmiştir. ÇKYDA yöntemi üç ana aşamaya ayrılabilir (Park vd., 1999):

1. Veri toplama.
2. Dispersiyon eğrisinin oluşturulması (veri işlem)
3. Ters çözüm (Bir kesme dalgası hız profilinin belirlenmesi.)

İlk aşama olan veri toplama genel olarak sismik kırılma yöntemi ile benzerdir. Burada dikkat edilmesi gereken husulardan biri; yüzey dalgasının oluşması ve yüksek genlikle kayıt edilmesi amacıyla en uygun kaynak-alıcı düzeneklerinin kullanılmasıdır (Şekil 1.32). Bunun da sebebi, kullanılan kaynak alıcı düzeneklerindeki ilk alıcı ofseti ve alıcı sayısının yüzey dalgası ve dispersiyon eğrisinin karakterini direk olarak etkilemesidir (Roma vd., 2002). ÇKYDA verilerinin toplaması, çok kanallı bir sismograf, alıcı jeofonlar ve bir sismik kaynak kullanılarak gerçekleştirilebilir (Şekil 1.28). Bu yöntemde tek bir atış toplanması yeterlidir (Park vd., 1999).





Şekil 1.28. YDÇKA yönteminin temel işlem adımları (Park ve Ryden, 2007).

Doğrusal dizimler ile zaman-uzaklık ( $x-t$ ) ortamında kaydedilen veriye uygulanacak ikinci aşama Xia vd. 1999'da tanımlandığı gibi frekans dalgasayısı dönüşümü ( $f-k$ ) ile verinin frekans-faz hızı ( $f-C_f$ ) ortamına aktarılmasıdır. Bu dönüşüm kaydedilen yüzey dalgalarındaki frekans-faz hızı ilişkisini gözlemlemeye olanak sağlar. İkinci aşamada, faz hızının frekansla değiştiği Rayleigh dalgası dispersiyon eğrisinin elde edilmesi amaçlanmaktadır. Kesme dalgası hızının elde edilmesindeki en önemli aşamalardan biri dispersiyon eğrisi seçimidir. Dispersiyon eğrisinin elde edilmesi için frekans-dalga sayısı dönüşümü, eğimli yığma, çapraz güç spektrum yöntemi ve faz kayması yöntemi gibi farklı birçok yöntem literatürde sıklıkla kullanılmaktadır (Park vd, 1999; McMechan ve Yedlin, 1981; Nazarian vd., 1995 ve Ryden vd., 2004).

Yöntemin üçüncü ve son aşaması Rayleigh dalgası faz hızı frekans çiftlerinden oluşmuş dispersiyon eğrisinin ters çözüm işlemidir. S dalga hızının Rayleigh dalgası faz hızı üzerindeki baskın etkisi, ters çözüm işlemi neticesinde derinlik profiline karşılık S dalga hızının elde edilmesini sağlayacaktır. Vs bilgisinin hesaplanması dispersiyon eğrisinin belirli bir yoğunluk ve Poisson değerinin tahminini gerektiren yinelemeli ters çözüm ile hesaplanmaktadır (Şekil 1.28). Bu süreci en küçük kareler yaklaşımı otomatik olarak gerçekleştirebilmektedir. En küçük kareler yaklaşımında her bir yineleme adımında bu parametrelerden yoğunluk ve Poisson oranı sabit kalırken Vs bilgisi güvenilir olarak yakınsar. Ters çözüm işlemi hata oranının minimum olduğu değerde sonlandırılır (Şekil 1.28)

### 1.3.5. Sismik Hızlar ile Hesaplanabilen Bazı Mühendislik Jeofiziği Parametreleri

Sismik yöntemlerden elde edilen sismik hızlar ile hesaplanan mühendislik parametreleri, yapılaşma durumunda bir yapının inşa edileceği zemin hakkında önemli bilgiler sağlamaktadır. Bu bilgiler dikkate alınarak yapılacak olan inşaatlarda olası bir doğal afet durumunda oluşabilecek zararı en az seviyeye indirmek mümkündür. Bu sebepten bu parametrelerin hesaplanması günümüzde oldukça önemli hale gelmiştir.

Eğer  $V_p$  ve  $V_s$  hız bilgisi biliniyor ise kayaç/ zeminlerin sökülebilirlik ve zemin sınıflaması Tablo 1.5 ve 1.6 da verildiği gibi yapılabilir.

Tablo 1.5. Boyuna dalgası hızı ile zemin ya da kayaçların sökülebilirliği (Bilgin, 1989)

BOYUNA DALGA HIZI (VP) (m/s)	SÖKÜLEBİLİRLİK
300 – 600	Çok kolay
600 – 900	Kolay
900 – 1500	Orta
1500 – 2100	Zor
2100 – 2400	Çok zor
2400 – 2700	Son derece zor

Tablo 1.6. Kesme dalgası ( $V_s$ ) hızına göre zemin türünün sınıflandırılması (Bozkurt ve Kurtuluş, 2008)

$V_s$ (m/sn)	Yerel Birim Türü	Zemin Grubu
<200	Yumuşak kil, siltli kil	D
<200	Gevşek kum	D
<200	Yeraltısı seviyesinin yüksek olduğu yumuşak, suya doymuş kalın alüvyon katmanları	D
200-300	Katı kil, siltli kil	C
200-400	Orta sıkı kum, çakıl	C
400-700	Yumuşak süreksizlik düzlemleri bulunan çok ayrılmış metamorfik kayalar ve çimentolu tortul kayalar	C
300-700	Çok katı kil, siltli kil	B
400-700	Çok sıkı kum, çakıl	B
700-1000	Tüf ve aglomera gibi gevşek volkanik kayalar, süreksizlik düzlemleri bulunan ayrılmış çimentolu tortul kayalar	B
>700	Sert kil, siltli kil	A
>700	Çok sıkı kum, çakıl	A
>1000	Masif volkanik kayalar ve ayrılmamış sağlam metamorfik kayalar, sert çimentolu tortul kayalar	A

*Sismik Hız Oranı ( $V_p/V_s$ )*,  $V_p$  hızı yeraltı gözenek sıvısına doygunluğuna ve  $V_s$  hızı da yeraltının katılaşma ve sıkılığına duyarlı olmasından dolayı  $V_p/V_s$  oranı son yıllarda deprem, yer kabuğu, zemin sıvılaşmasında ön bilgi, zemin büyütmesi, hidrokarbon rezervuarlarının ve akiferlerin incelemelerinde laboratuvar ve arazi uygulamalarıyla kullanılan önemli bir oran haline gelmiştir.  $V_p/V_s$ , yeraltı suyuna doymuş olmayan çok sıkı, sert ortamlarda 1.5 ile yeraltı suyuna doymuş gevşek ortamlarda genelde 8 arasında değişmektedir.  $V_p / V_s$  oranı yer altı suyu içeren gözenekli gevşek zeminlerde oranı artar. Çünkü zeminin yer altı suyu doygunluğu arttıkça,  $V_s$  den ziyade  $V_p$  hızı önemli miktarda etkilenir (Keçeli, 1990).  $V_p/V_s$  oranı arasındaki zemin türüne bağlı değişim Tablo 1.7' de görülmektedir.

Tablo 1.7. Vp/Vs' nin zemin türüne göre sınıflandırılması (Keçeli,1990)

Vp/Vs	Zemin türü
1.45- 2	Kaya ortam
1.5- 2	Çok sıkı sert ortam
2-3	Sıkı katı ortam
3-4	Orta sıkı bozuşmuş ortam
4-6	Gevşek yumuşak ortam
5-8	Gevşek yeraltı suyuna doygun

Dinamik elastik sabitler adı verilen parametreler Poisson oranı, elastisite modülü, kayma modülü, bulk modülü gibi sabitler ile tanımlanmaktadır. Sismik yöntemlerden elde edilen P dalga hızı (Vp) ve S dalga hızı (Vs) hızlarının bilinmesiyle bu sabitler hesaplanmaktadır.

Poisson Oranı ( $\nu$ ); Enine kısılmanın (dv) boyuna uzamaya (dy) oranı olarak tanımlanmaktadır ve,

$$\nu = \frac{-dv}{du} \quad (1.31)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Buradaki (-) işaretinin matematiksel bir anlamı yoktur sadece geometrik bir anlam içermektedir. Boyutsuzdur. Poisson oranı 0 ile 0.5 arasında değişmektedir (Telford vd., 1990). Poisson oranı ile zemin sıklığı arasındaki ilişki Tablo 1.8'de verilmektedir.

Tablo 1.8. Poisson oranına göre zemin sınıflaması (Ercan, 2001).

Poisson Oranı ( $\nu$ )	Sıklık
0.5	Cıvık Sıvı
0.4-0.49	Çok Gevşek
0.3-0.39	Gevşek
0.2-0.29	Sıkı-katı
0.1-0.19	Katı
0-0.09	Sağlam Kaya

*Elastisite Modülü (E)*; düşey gerilmenin düşey yöndeki birim deformasyona oranı olarak tanımlanmaktadır ve belirlenebilmesi için gerilmenin çok küçük olduğu kabul edilir (Reynolds, 1997) ve,

$$E = \frac{\text{Gerilme}}{\text{BirimDeformasyon}} = \frac{\sigma_{xx}}{\varepsilon_{xx}} (\text{kg} / \text{cm}^2) \quad (1.32)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Eleastisite modülüne göre zeminlerin dayanımı Tablo 1.9'de verilmektedir.

Tablo 1.9. Elastisite modülüne göre zemin ya da kayaçların dayanımı (Keçeli, 1990)

Elastisite Modülü (E) (kg/cm <sup>2</sup> )	Dayanım
< 1.700	Zayıf
2.000 – 10.000	Orta Sağlam
10.000 – 30.000	Sağlam
>30.000	Çok sağlam

*Kayma Modülü (G)*; Kayma gerilmesinin deformasyona oranı olarak tanımlanmaktadır. Bu modül makaslama gerilmelerine karşı formasyonun direncini yani zeminin yanal kuvvetlere karşı dayanımını göstermektedir. Sıvıların makaslamaya karşı direncinin olmamasından ötürü kayma modülü sıvılar için sıfır olarak alınmaktadır (Reynolds, 1997) ve,

$$G = \frac{\sigma_{xy}}{\varepsilon_{xy}} (\text{kg} / \text{cm}^2) \quad (1.33)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Kayma modülüne göre zeminlerin dayanımı Tablo 1.10'da verilmektedir.

Tablo 1.10. Kayma modülüne göre zemin ya da kayaçların dayanımı (Keçeli, 1990)

Kayma Modülü (G) (kg/cm <sup>2</sup> )	Dayanım
< 600	Zayıf
600 – 3.000	Orta Sağlam
3.000 – 10.000	Sağlam
> 10.000	Çok sağlam

*Bulk (Sıkışmazlık) Modülü (K)*; bir cismin üzerindeki hidrostatik basıncın, cisimde meydana getireceği hacim değişmesine oranı olarak tanımlanmaktadır ve

$$K = \frac{\sigma_{xx}}{\varepsilon_{zz}} \text{ (kg / cm}^2\text{)} \quad (1.34)$$

şeklinde ifade edilmektedir ve Bulk modülüne göre zeminlerin dayanımı Tablo 1.11’de verilmektedir.

Tablo 1.11. Bulk modülü değerlerine göre zemin ya da kayaçların dayanımı

Bulk Modülü (kg/cm <sup>2</sup> )	Dayanıklılık
< 400	Çok az
400 – 10.000	Az
10.000 – 40.000	Orta
40.000 – 100.000	Yüksek
> 100.000	Çok yüksek

*Zemin Taşıma Gücü (q<sub>u</sub>)*; Zeminlerin taşıma gücü; yerin göçmeden, ayrı ayrı oturma yapmadan taşıyabileceği en büyük yük miktarı olarak tanımlanmaktadır (Keçeli., 2000) ve

$$q_{u1} = (d \cdot V_s) / 100 \quad (1.35)$$

şeklinde ifade edilmektedir ve zeminlerin taşıma gücüne göre zeminlerin dayanımı Tablo 1.12’de verilmektedir.

Tablo 1.12. Zeminlerin taşıma güçlerine göre dayanımları (Keçeli, 1990)

Taşıma Gücü (kg/cm <sup>2</sup> )	Dayanım
< 1,50	Çok düşük
1,50 – 3,00	Düşük
3,00 – 6,00	Orta
6,00 – 15,00	Yüksek
> 15,00	Çok yüksek

Dinamik-elastik sabitler  $V_p$  ve  $V_s$  hızları cinsinden Hooke kanununa göre verilen ilişkiler yardımıyla hesaplanabilmektedir (Tablo 1.13).

Tablo 1.13. Dinamik-Elastik sabitlerin  $V_p$  ve  $V_s$  hızları cinsinden bağıntıları

Poisson Oranı ( $\nu$ )	$\frac{0.5\left(\frac{V_p}{V_s}\right)^2 - 1}{\left(\frac{V_p}{V_s}\right)^2 - 1}$
Elastisite Modülü (E)	$\frac{\rho V_s^2 (3V_p^2 - 4V_s^2)}{V_p^2 - V_s^2}$
Kayma Modülü (G)	$\rho V_s^2$
Bulk Modülü (k)	$\rho \left( V_p^2 - \frac{4V_s^2}{3} \right)$

Tablo (1.12)'te  $V_p$  P-dalgası hızını (m/sn);  $V_s$ , S-dalgası hızını (m/sn) ve  $\rho$  yoğunluğu (gr/cm<sup>3</sup>) ifade etmektedir.

Dinamik elastik parametreleri ilgili bağıntılarda hesaplarırken kullanılan yoğunluk değerleri ( $\rho$ ) Gardner vd., (1974)'te verilen ve (1.35) ile gösterilen,

$$\rho = 0.31V_p^{0.25} \quad (1.36)$$

formül ile hesaplanmıştır

### 1.3.6. Kuyu İçi Radar Tomografi

Kuyu içi radar tomografi yöntemleri kullanılmasındaki temel amaç kuyu içi radar yöntemi kullanılarak elde edilen seyahat zamanı verileri değerlendirmektir. Bu yöntemlerden,

varış zamanı tomografisi → varış zamanlarının,

soğurma tomografi → genliklerin ve

saçılma tomografisi → saçılmış dalga alanlarının çözümü ile ilgilenmektedir.

Bunlardan yeraltı hız dağılımının ilk varış zamanlarının ters çözümü ile elde edilmesi kuyu içi radar çalışmalarında en yaygın kullanılan yöntemlerden biridir (Tronicke vd., 2001). Günümüzde birçok araştırmacı kuyu içi tomografi yöntemi kullanarak hem test modelleri ve hemde arazi veri setleri üzerinde yüksek ayrımlılık veren çözümler elde etmiştir (Clement ve Knoll, 2000; Gloaguen vd., 2005; Clement ve Barrash, 2006; Clement, 2006; Ernst vd., 2007; Irving vd., 2007). Kuyu tomografisi ile ilgili yapılan çalışmalardan bazıları incelenecek olursa,

Doğrudan varış zamanlarının ters çözümü ile seyahat zamanı tomografisi konusunda Tronicke vd, (2001), tarafından yapay ve gerçek arazi veri setine yapılan uygulamalar ile, bu yöntemin sunduğu uygulanabilirliği ve geliştirmeleri göstermişlerdir. Sonuç olarak standart kuyu tomografi yöntemi ile karşılaştırıldığında daha iyi sonuçlar ortaya koyduğunu ortaya koymuşlardır.

Červený, V., (1987), “Seismic tomography: With applications in global seismology” kitabında üç boyutlu yanal olarak değişen izotropik tabakalı yapılarda yayılan yüksek frekanslı sismik cisim dalgası ışın izleme ve seyahat süresi hesaplamaları ile ilgili güncel yöntemlerin kısa bir özetini sunmuştur. Ayrıca başlangıç değer ışın izlemenin çözümüne ilişkin sayısal, analitik ve hücre yaklaşımları ayrıntılı olarak ele almıştır.

Boise ‘de tanımlanmamış bir akiferin doymuş zonundaki heterojenitelerin dağılımını belirlemek için, üç bitişik kuyu çiftinin tomogramlarını hesaplamak için Clement ve Barrash (2006) eikonal denklemi sonlu-fark yaklaşımını kullanmışlardır ve başarılı sonuçlar elde etmişlerdir.

Göktürkler (2009) yılında yapmış olduğu bir çalışmada seyahat zamanlarının fonksiyonel tanımlamasına dayanan bir yöntem uygulayarak kuyu verilerinde ışın izleme adımı gerektirmeden seyahat zamanlarını bir sonlu farklı eikonal denklemi ile ilgili bir

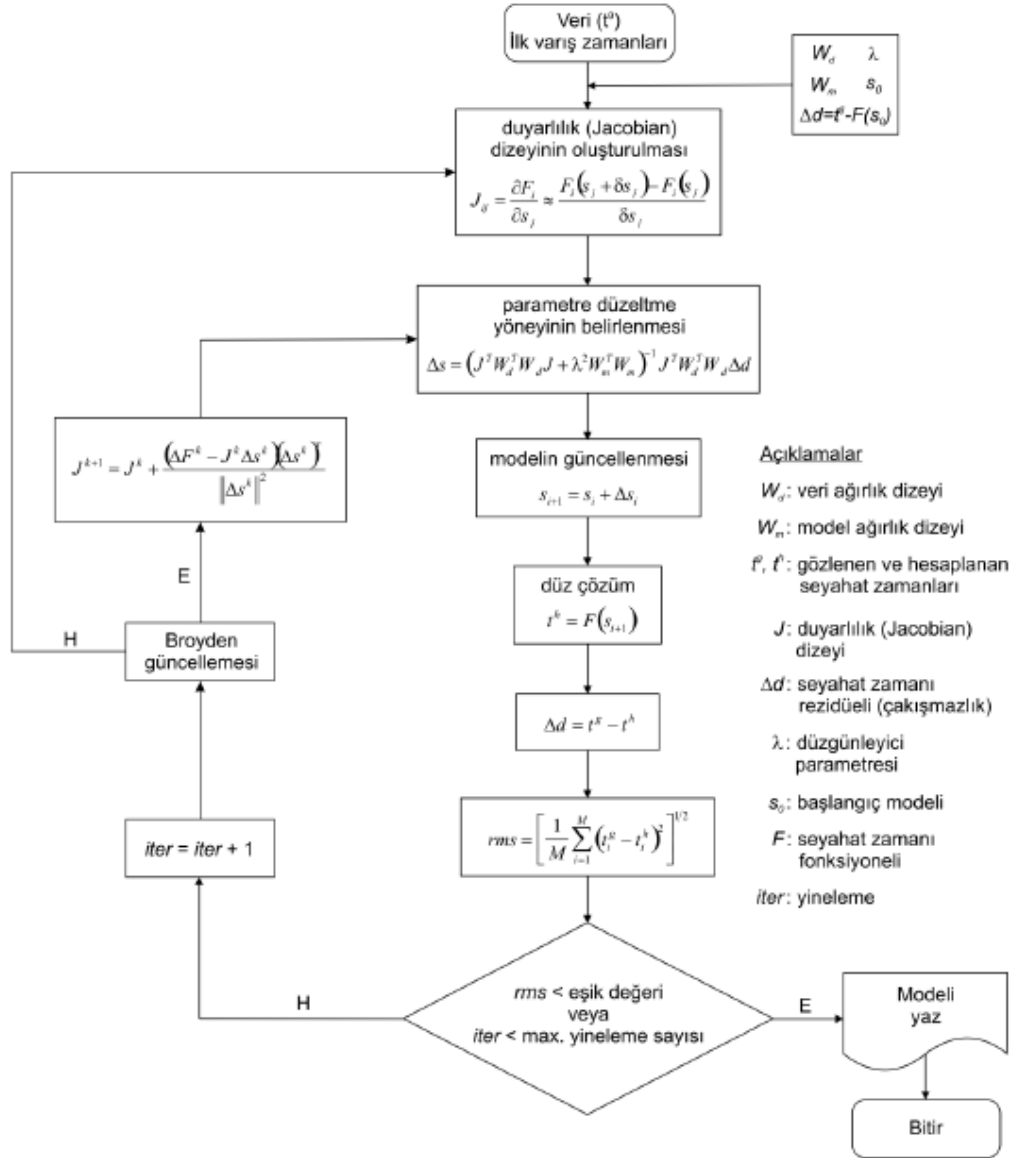


algoritma sunmuştur. Sunulan algoritma, test çalışmaları ile tatmin edici sonuçlar vermiştir.

Balkaya (2010), yapmış olduğu doktora tez çalışması ile karşılıklı kuyu GPR verilerinin 2B seyahat zamanı tomografisinde; seyahat zamanı denkleminin fonksiyonel tanımına ve ışın izleme temeline dayanan iki ayrı yöntemi farklı test modelleri ve bir arazi verisini kullanılarak karşılaştırmış ve incelemiştir. Yaptığı bu çalışma ile önermiş olduğu seyahat zamanı denkleminin fonksiyonel tanımına dayana yöntemin karşılıklı kuyu GPR verilerinin değerlendirilmesinde daha etkin olduğunu vurgulamıştır.

### **1.3.6.1. Eikonal Denklemi (Seyahat Zamanlarının Bir Doğrusal Olmayan Denklem) Yardımıyla Bir Fonksiyonel Olarak Tanımlamasına Dayalı Ters Çözüm Yöntemi**

Bu yöntem, sismik hız dağılımının belirlenmesi için Ammon ve Vidale'in (1993) temel olarak, ilk varış zamanlarının seyahat zamanı ters çözümünde uyguladıkları yaklaşımı almaktadır. Bu yöntem, duyarlılık düzeyinin elde edilmesi, eikonal denkleminin bir fonksiyonel olarak tanımlamasına esasına dayanmaktadır. Yöntemde düzgünlük kısıtlı düzgünleyici ve bu düzgünleyici çözümü durağanlaştırmak amacı ile kullanılmıştır. Dizey terslemesi için de , eşlenik türev en-küçük kareler (Hestenes ve Stiefel, 1952; Scales, 1987; Scales, vd., 2001) ve LSQR (Paige ve Saunders, 1982a, 1982b) gibi yinelemeli yöntemler kullanılmıştır. Hücre yavaşlıklarına göre seyahat zamanlarının kısmi türevlerinden oluşan Jacobian matrix (duyarlılık düzeyi), her bir hücrenin yavaşlığının pertürbasyonu esasına dayanan bir sonlu-farklar yaklaşımı ile hesaplanmıştır (Ammon ve Vidale, 1993). Bu yöntemlerde duyarlılık düzeyi her bir yineleme adımı için yeniden hesap edilmiştir. Bu işlem, birçok parametreden meydana gelen problemlerde hesaplanma zamanının fazla olmasına sebep olmaktadır. Duyarlılık düzeyinin hesaplanmasını hızlandırmak amacı ile Broyden (1965) tarafından önerilen bir yöntem uygulanmıştır ve uygulanan bu yöntem, ilk olarak karşılıklı kuyu yer radarı verilerinin tomografik ters çözümünde kullanılmıştır (Balkaya, 2010). Yöntem 1 için uygulanan akış diyagramı Şekil 1.29'de gösterilmiştir.



Şekil 1.29. Yöntem için geliştirilmiş akış diyagramı (Balkaya, 2010)

Bu tez çalışmasında elde edilen jeofizik veriler ve jeolojik sondajlardan iki sentetik model oluşturularak karşılıklı kuyu tomografisi uygulanmıştır.

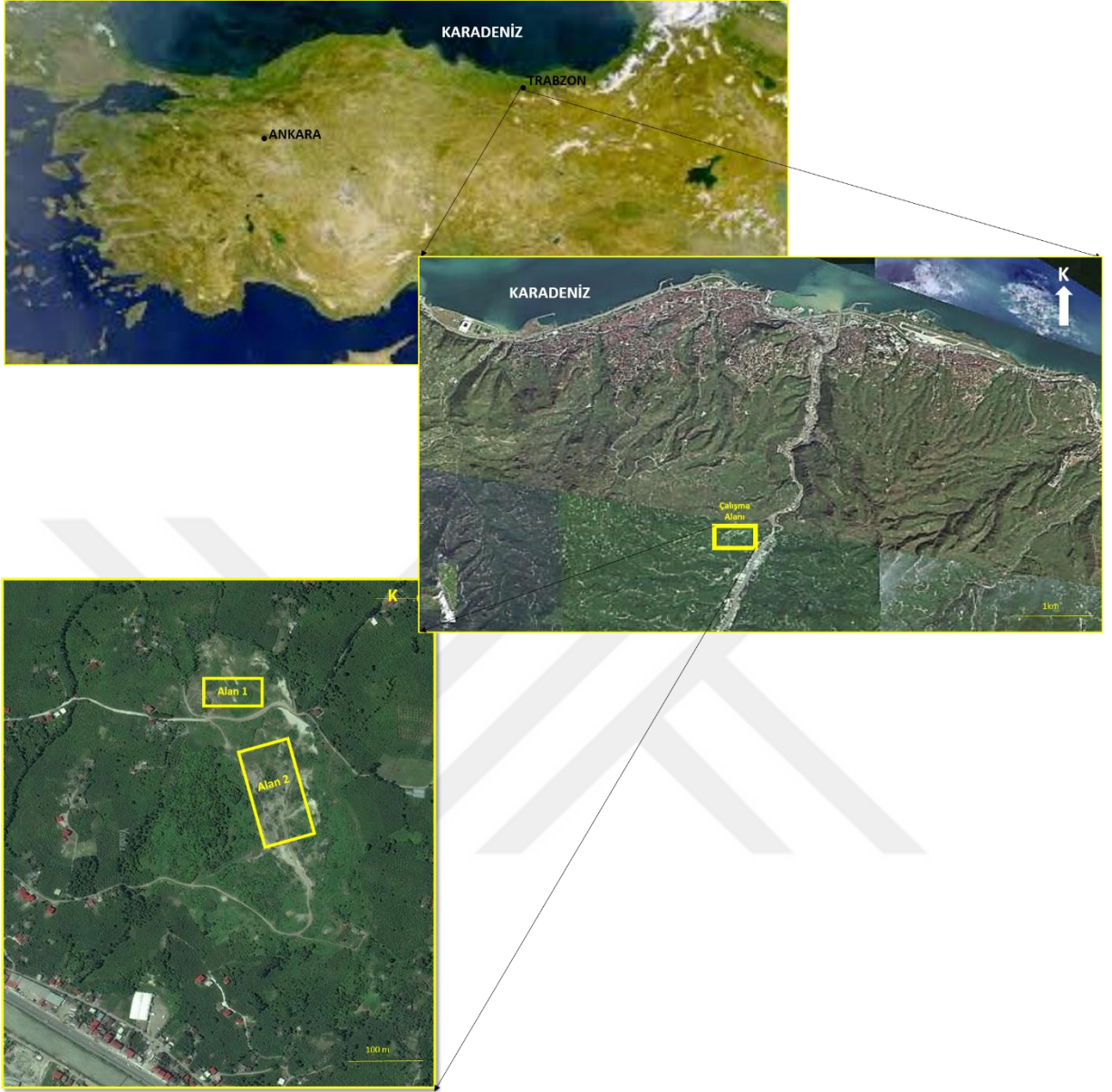
## 2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

### 2.1. Çalışma Alanının Genel Özellikleri

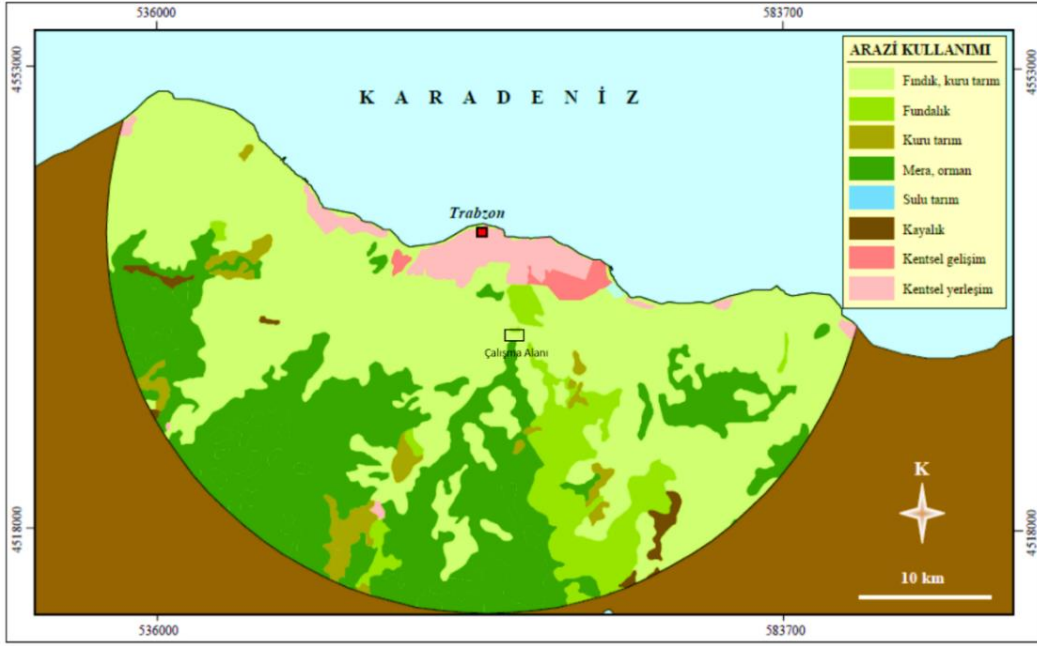
Doktora tez çalışması kapsamında, Doğu Karadeniz Bölgesinde yer alan Trabzon ili sınırları içerisinde Akoluk mevkiinde bulunan Tonya Formasyon'una ait kayaçların içeren bir alanda jeofizik ve jeolojik incelemeler gerçekleştirilmiştir. 1/25000 ölçekli Trabzon G43a2 paftasında yer alan çalışma alanında daha önceden yapılan jeolojik çalışmalarla düzenli katı atık depolama alanı olarak uygunluğu araştırılmıştır. Son yıllarda planlanan yapılaşma çalışmaları ile birlikte özellikle son zamanlarda Trabzon Büyükşehir otogarının bu araziye taşınması gibi planlamalarla, formasyona ait kaya kütlelerin mühendislik özelliklerinin ayrıntılı bir biçimde belirlenmesinin gerekliliği ortaya çıkmıştır. Bu zamana kadar bu formasyonda yapılan jeolojik çalışmaların yanı sıra jeofiziksel olarak ayrıntılı bir çalışma yapılmamıştır.

Çalışma alanının içerisinde bulunduğu Trabzon ili, Karadeniz Bölgesi Doğu Karadeniz bölümünde yer almakta olup, Doğu Pontidler olarak adlandırılan tektonik kuşağın kuzey kısmında kalmaktadır. Buradaki denize paralel olarak bulunan yüksek sıradağlar sahil kesiminin hemen arkasından başlamaktadır. Bundan dolayı sahil kesimlerinden uzaklaştıkça eğim artmakta ve bu sebepten nüfus dağlar ve sahil kesimi arasında kalan düzlük alanlarda toplanmaktadır. Bununla birlikte, yüksek eğim sebebiyle uygun ve düz alan bulmak oldukça kısıtlı ve veri toplamak zordur.

Çalışma alanı Trabzon ilinin 10 km güney kısmında yer alan Akoluk mevkiinde yer almakta olup lokasyonu ve uydu görüntüsü Şekil 2.1'de verilmiştir. Çalışma alanının kentsel gelişim, kentsel yerleşim alanlarına uzaklığını gösteren arazi kullanım potansiyeli haritası (Ersoy, 2007) şekil 2.2'de gösterilmektedir. Çalışma sahası geniş bir alanı kapsadığından ve buradan karayolu geçmesinden dolayı çalışma alanı Alan 1, Alan 2 olarak isimlendirilen iki farklı alana bölünmüştür (Şekil 2.1).



Şekil 2.1. Çalışma alanının yer buldurular haritası

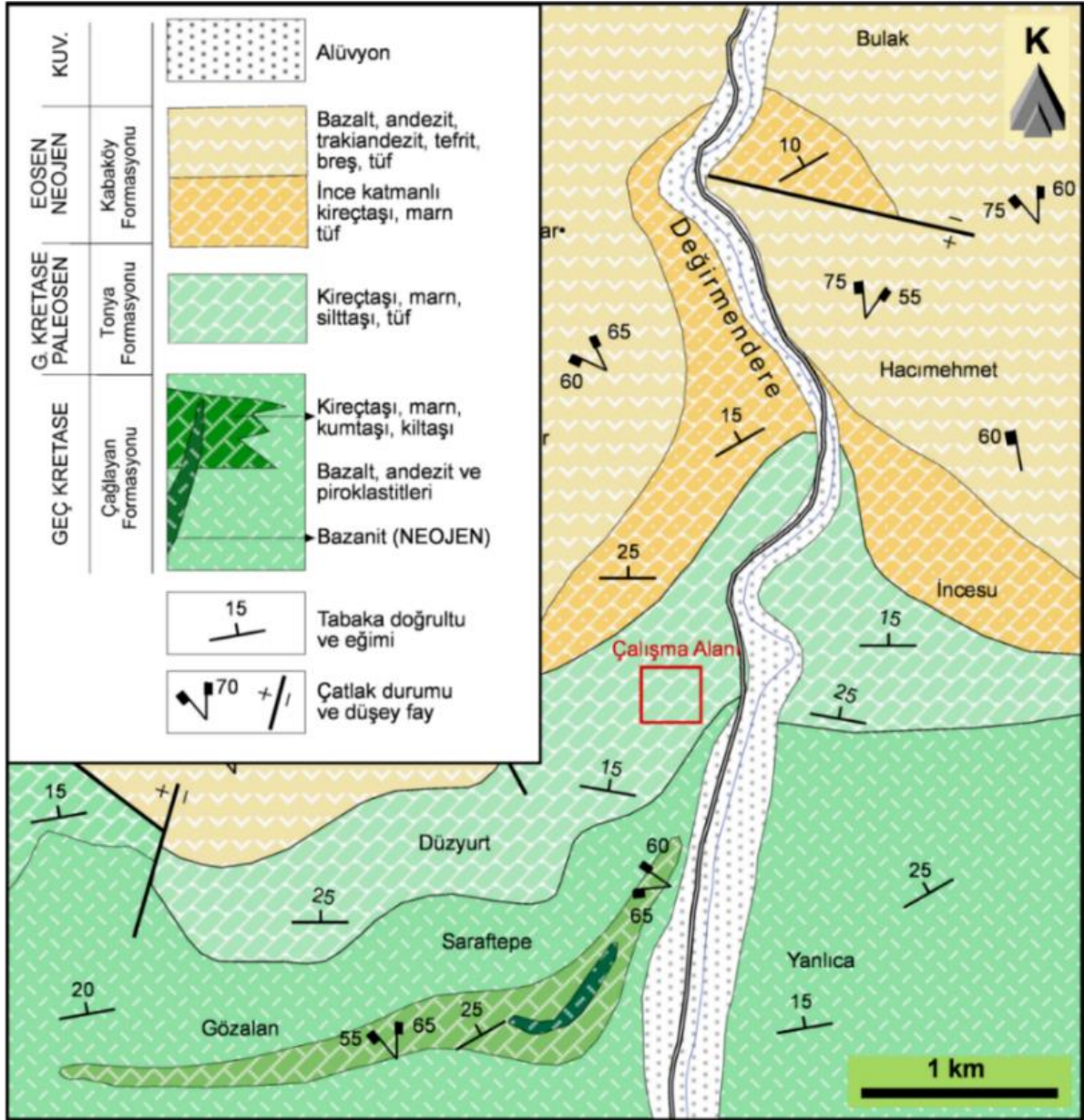


Şekil 2.2. Çalışma alanına ait arazi kullanım haritası (Ersoy, 2007)

## 2.2. Çalışma Alanının Genel Jeolojisi

Çalışma alanında hakim formasyon olan Tonya Formasyon'u; Bazik karakterli volkanitlerden ve tortul ara seviyelerden meydana gelen Çağlayan Formasyonu üzerine uyumlu olarak gelen birim Hacımehmet (Trabzon) yöresinde Özsayar (1971) tarafından ilk olarak tanımlanmış ve ardından Tonya yöresinde ise Tonya Formasyonu olarak Korkmaz (1993) tarafından adlandırılmıştır. İnceleme alanı ve çevresinde gözlenen kireçtaşı, killi kireçtaşı, silttaşı, marn ve tüflerden oluşan birim 1993 yılında Korkmaz tarafından tanımlanan Tonya Formasyon'u ile benzer litolojik ve stratigrafik özellikler gösterdiğinden dolayı aynı adla isimlendirilmiştir. Birim, beyaz, açık gri, sarımsı renkli kireçtaşı, killi kumlu kireçtaşı ve marn aralanmasından meydana gelmektedir. Türbiditik karakterli kireçtaşlarının hakim olduğu birimin Düzyurt yöresindeki kalınlığı yaklaşık 150-200 metre civarındadır. İnceleme alanında formasyon iki farklı fasiyes ile karakteristikleme göstermiştir. Bunlardan tane destekli kalsirüdit ve kalkarenitler formasyonun taban kesimini oluşturmakta (Şekil 2.3) ve kalınlığı yaklaşık 100 m civarındadır (Kırmacı ve Akdağ, 2005). Bu birimin taban seviyeleri genelde orta ve yer yer kalın tabakalı olmakla beraber üst seviyelere göre daha fazla miktarda dasitik kayaç çakılları ve kavkı parçaları içermekte olduğu görülmüştür. Birimin orta seviyelerinde, orta tabakalı kumlu kireçtaşı

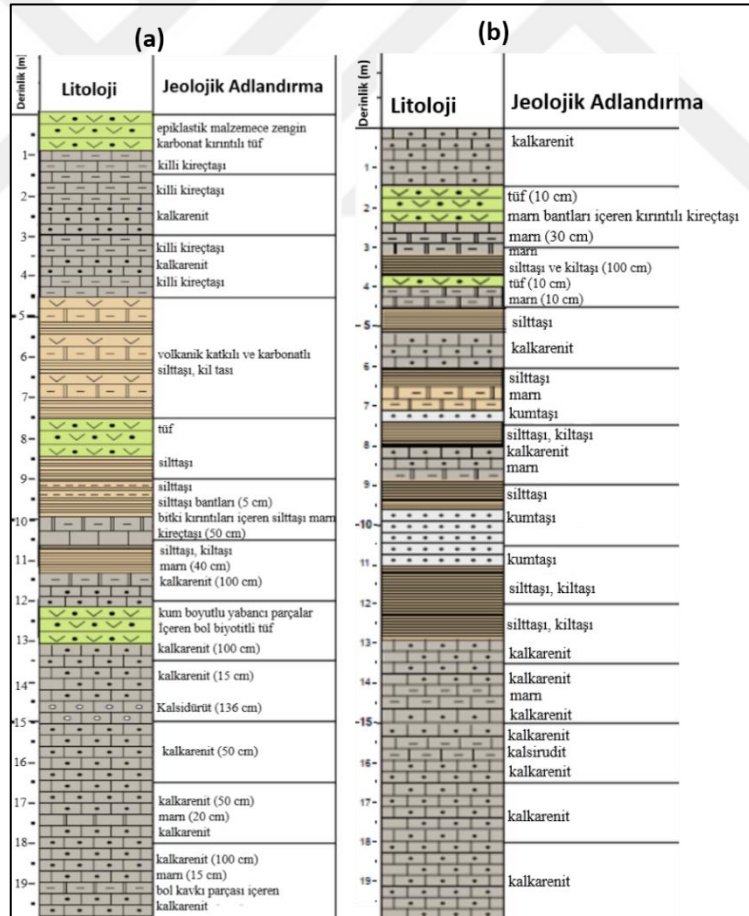
seviyeleri ve kanal dolguları yer yer gözlenirken en üst seviyelere doğru gidildikçe tabaka kalınlığı azalmaktadır. Tonya Formasyon'unun orta ve üst zonlarını oluşturan bu fasiyesin kalınlığı yaklaşık 80 metre civarındadır (Kırmacı ve Akdağ, 2005).



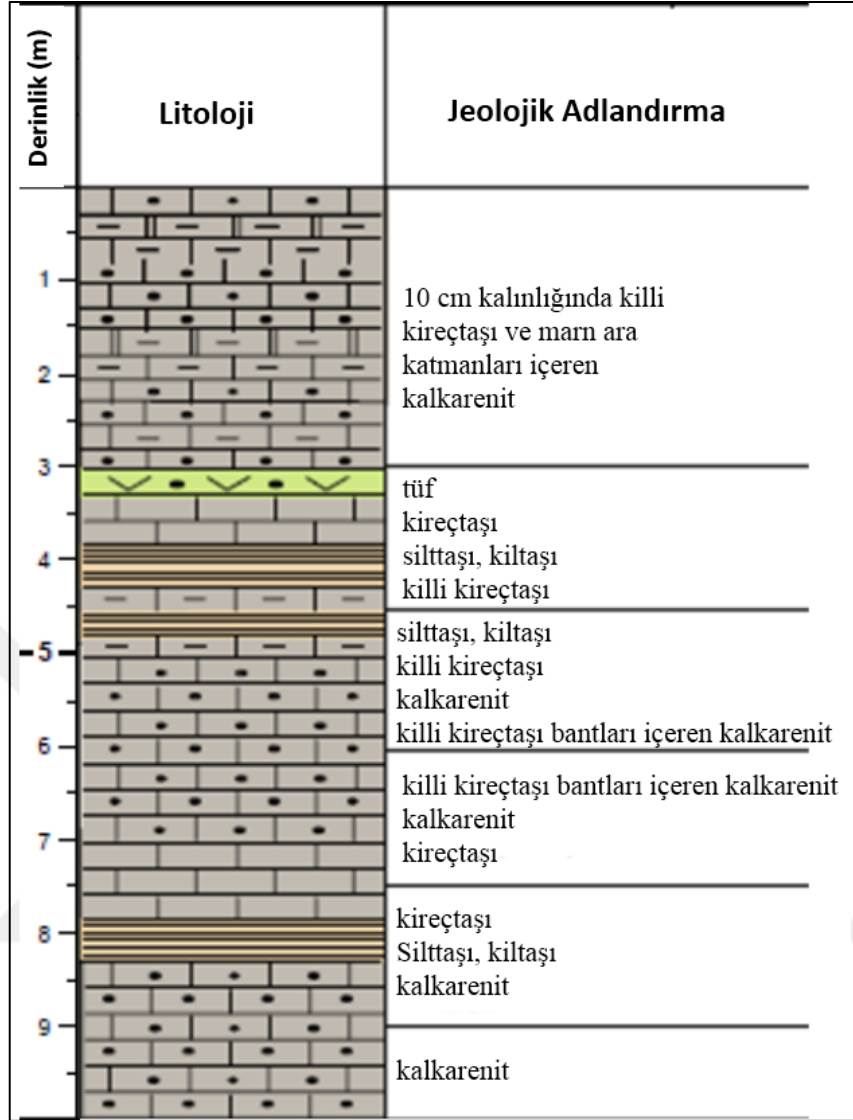
Şekil 2.3. Çalışma alanının jeoloji haritası (Ersoy, 2007'den düzenlenmiştir).

### 2.3. Çalışma Alanında Önceden Yapılan Jeolojik ve Jeoteknik Araştırmalar

Ersoy (2007) tarafından çalışma alanlarından Alan 1’de jeolojik ve topografik koşullar dikkate alınarak profil 4’ün orta noktalarına denk gelecek şekilde 2 noktada ve profil 7’in son kısımlarına denk gelecek şekilde 1 noktada olmak üzere toplamda 3 noktada sondaj yapılmıştır. Bu işlemde morsetli döner sondaj yöntemi uygulanmıştır. Bu yöntem uygulanırken 89 mm çapında muhafaza boruları, 3 metrelik delikli borular, 305 mm uzunluğunda ve 54.5 mm çapında sondaj boruları kullanılmış olup ilerleme hattı ise 1.5 m olarak alınmıştır. Bu alanda yapılan sondaj çalışmalarında litolojik ve morfolojik özellikler dikkate alınarak, SK-1 ile SK-2 kuyuları 20 m ve SK-3 kuyusu 10 m olacak şekilde açılmıştır. SK-1, SK-2 ve SK-3 sondajına ait kaya sondaj logları şekil 2.4 ve 2.5 de verilmiştir.



Şekil 2.4. SK1 ve SK2 sondajlarına ait kaya sondaj logları (Ersoy,2007)



Şekil 2.5. SK3 sondajına ait kaya sondaj logları (Ersoy,2007)

Ayrıca çalışma alanında bulunan litolojik türler ve bu türlere ait jeoteknik birimleri haritalamak ve değerlendirmek amacıyla Ersoy (2007) tarafından jeolojik arazi çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Yapılan hem sondaj çalışmaları, hem de ölçülü stratigrafik kesitlerden (jeolojik arazi çalışmalarından elde edilen) veriler yorumlanarak çalışma alanına ait jeoteknik ve stratigrafik kesitler ortaya çıkarılmıştır (Şekil 2.6).

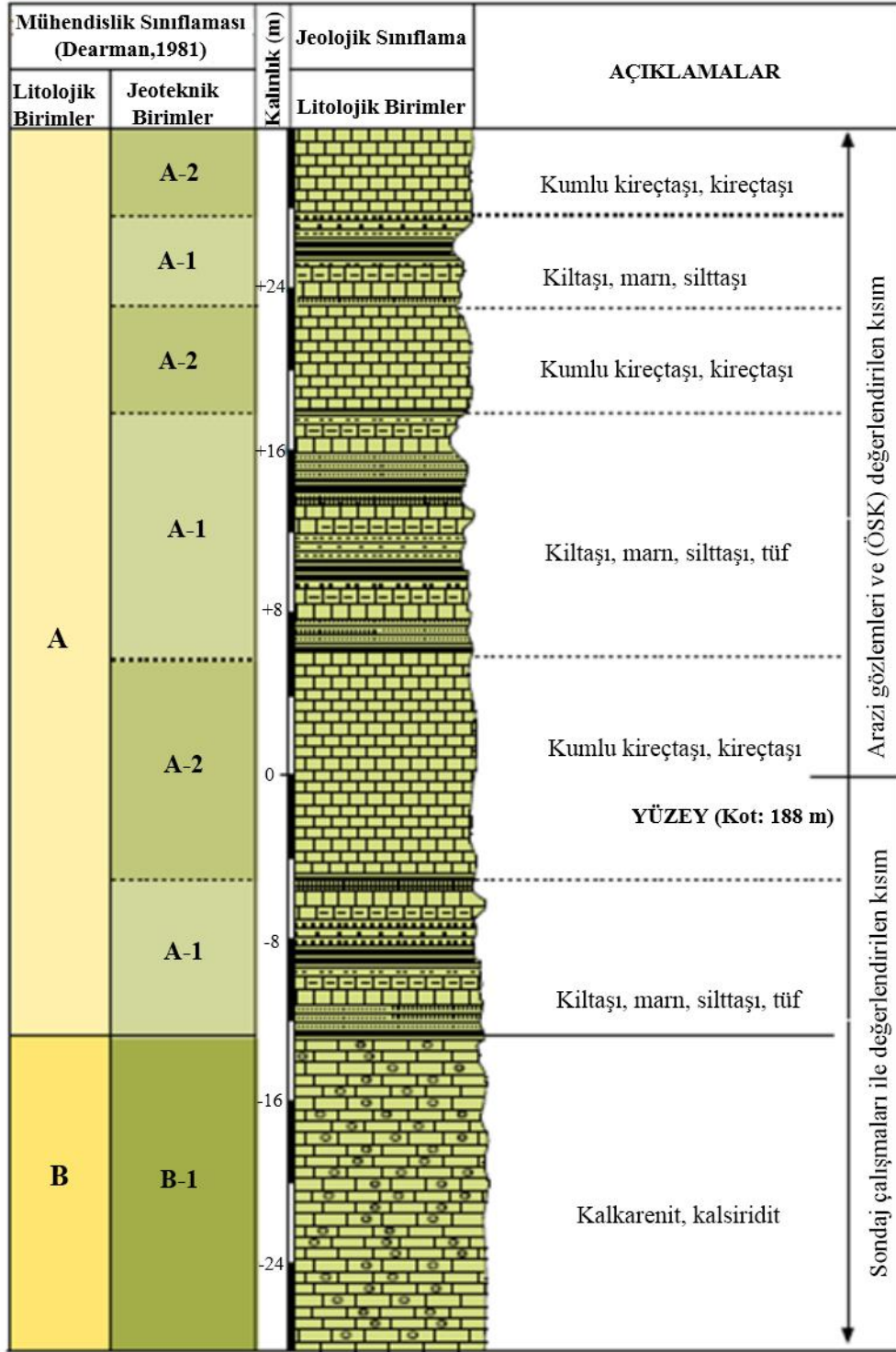
Çalışma alanında jeoteknik birimlerin tanımlanması, yanal ve düşey devamlılıklarının belirlenmesi için yapılan yüzey ve yeraltı çalışmaları ile Ersoy (2007) tarafından 1/2000 ölçekte mühendislik jeolojisi haritası oluşturulmuştur (Şekil 2.7).

Mühendislik jeolojisi haritaları çeşitli mühendislik çalışmalarına kılavuzluk edecek kalitede jeolojik veri içeren ve doğal çevreyi tanımlamaya yönelik hazırlanan özel amaçlı

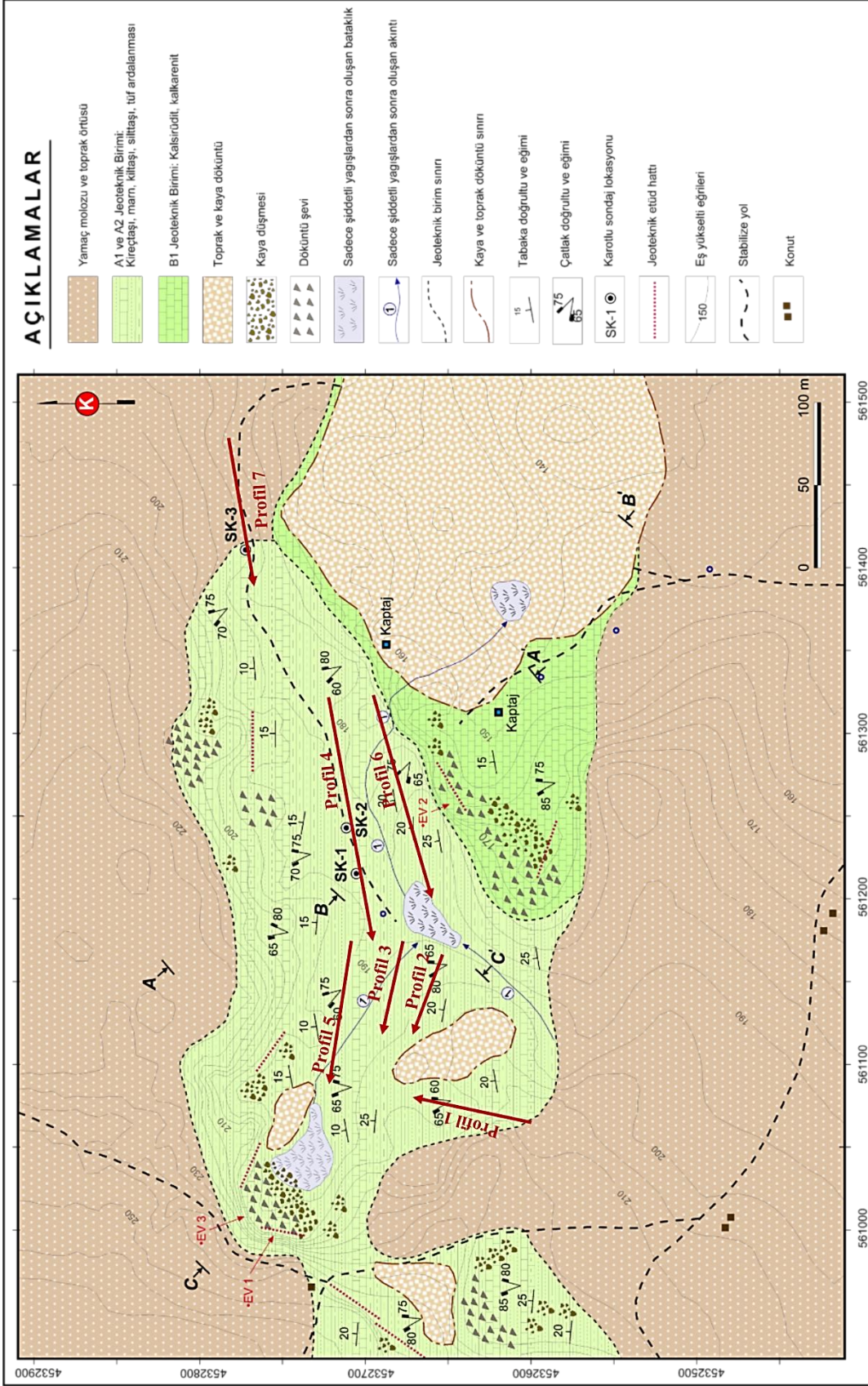


jeolojik haritalardan oluşmaktadır (Dearman ve Matula, 1976; IAEG, 1976; Dearman, 1981). Ersoy (2007) tarafından mühendislik jeolojisi haritaları, inceleme alanında bulunan birimler ilk olarak litolojik türlere daha sonra fiziksel anlamda en yüksek homojenlik derecesine sahip ve 1/5000 veya daha büyük ölçeklerde tanımlanabilen jeoteknik birimlere ayrılarak hazırlanmıştır. Litolojik türler, arazi gözlemleri ve ölçülü stratigrafik kesit, sondajlar gibi yerinde ölçümlerle belirlenmiş ve jeomekanik deneylerden elde edilen ve istatistiksel olarak değerlendirilmiş verilerle jeoteknik birimler gösterilmiştir. Bu kapsamda, mühendislik jeolojisi haritaları, ANON (1976), IAEG (1976) ve ISRM (1976) tarafından önerilen ve Dearman (1981) tarafından düzenlenen litolojiye, kökene ve jeoteknik özelliklere dayanan sınıflama sistemleri kullanılarak hazırlanmıştır.

Çalışma alanı 1 ve çevresinde yüzeylenme veren kayaların, ANON (1976) ve ISRM (1976) tarafından önerilen ve Dearman (1981) tarafından düzenlenen ve litolojiye, kökene ve jeoteknik özelliklere dayanan sınıflama sistemleri kullanılarak 2 farklı litolojik ve 3 farklı jeoteknik birime ayrıldığı görülmüştür. Bunlardan A litolojik birimi, kiltası, kireçtaşı, kumlu kireçtaşı marn, silttaşı ve tuf aralanmasından oluşmakta ve Tonya Formasyon'unun üst kısımlarını oluşturmaktadır. B litolojik birimi ise de genel olarak orta ve kalın tabakalı kalsirüdit ve kalkarenitlerden oluşan ve formasyonun taban kesimlerinde bulunan birim olarak ifade edilmiştir. Bu birimlerden A birimi, kendi içerisinde A1 ve A2 jeoteknik birimiyle tanımlanırken, B litolojik birimi B1 jeoteknik birimiyle karakterize edilmiştir. A litolojik birimi içinde bulunan A1 jeoteknik birimi; Kiltası, silttaşı, marn ve tuf aralanmasından meydana gelmektedir. İnce tabakalı olan bu birimin en üst seviyelere doğru tabaka kalınlığı azalmaktadır. Diğer jeoteknik birimlere göre bu birimin dayanımı düşüktür ve bozulmaya bağlı olarak arazide genellikle açık gri, kahverengi ve sarı renklerde gözlemlenmektedir. A1 jeoteknik birimiyle aralanmalı olarak görülen A2 jeoteknik birimi orta tabakalı kumlu kireçtaşı ve kireçtaşı aralanmasından meydana gelmektedir. Genel olarak koyu gri renklerde görülen birim A1 jeoteknik birimine göre daha yüksek dayanımlıdır. Bu sebepten dolayı da sert çıkıntılar verdiği görülmektedir. Genel olarak beyaz, açık gri, sarımsı renkli kalsirüdit ve kalkarenitlerden oluşan B1 jeoteknik biriminin ise taban seviyeleri genelde orta ve yer yer kalın tabakalı olduğu ve üst seviyelere göre daha fazla miktarda dasitik kayaç çakılları içerdiği görülmüştür.



Şekil 2.6. Alan 1’de sondaj ve jeolojik çalışmalar sonucunda çizilmiş stratigrafik kesiti (Ersoy, 2007)



Şekil 2.7. Çalışma alanının mühendislik jeolojisi haritası (Ersoy, 2007)

#### 2.4. Çalışma Alanında Yapılan Jeofizik Araştırmalar

Bu tez çalışmasında çalışma alanına hâkim Tonya Formasyon'una ait kayaçların mühendislik özelliklerinin ortaya koyulması amacı ile Alan 1 ve Alan 2 olarak isimlendirilen iki farklı alana jeofizik ölçümler alınmıştır. (Şekil 2.8). Bu jeofizik ölçümler; ortak ofset yer radarı, çoklu ofset yer radarı (Ortak Orta Nokta), elektrik özdirenç, sismik kırılma ve yüzey dalgası ölçümlerini içermektedir. Ayrıca çalışma alanı 1'de daha önceden yapılmış olan 3 adet sondaj çalışması bulunmaktadır. Bu tez çalışmasında ortak ofset ve çoklu ofset yer radarı ölçümleri Mala Geoscience firmasına ait Proex GPR sistemi ile birlikte 100 ve 200 MHz merkez frekanslı korumasız antenler kullanılarak toplanmıştır. Elektrik özdirenç ölçümleri ABEM firmasına ait Terrameter LS cihazı ile Schlumberger, Wenner ve Dipol Dipol dizilimleri kullanılarak toplanmıştır. Sismik ölçümler ise Geometrics Firmasına ait olan ES-3000 sismik cihazı ile toplanmıştır.



Şekil 2.8. Çalışma alanları (Alan 1 ve Alan 2) ve jeofizik ölçüm hatlarının lokasyonu

#### 2.4.1. Alan 1' de Yapılan Jeofizik Araştırmalar

Alan 1'de gerek topografik koşullara göre gerekse çalışma alanındaki çalışılabilirlik şartlarından ötürü toplamda 7 profilde jeofizik ölçümler toplanmıştır. Jeofizik ölçüm yapılabilen profiller ve bilgileri tablo 2.1'de verilmiştir.

Tablo 2.1. Alan 1’de yapılan jeofizik ölçüm bilgileri

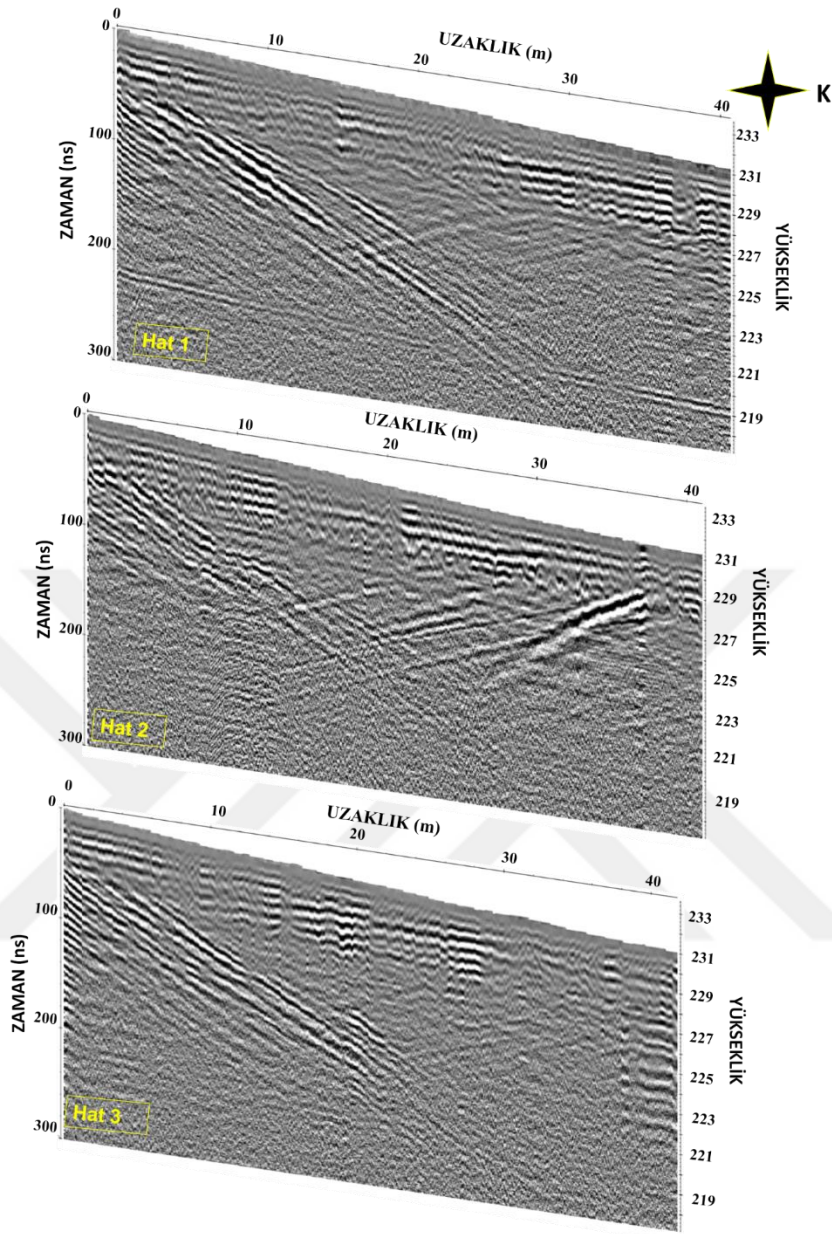
	<b>Ortak ofset Yer Radarı Ölçümleri</b>	<b>Çoklu ofset Yer Radarı Ölçümleri</b>	<b>Elektrik Özdirenç Ölçümleri</b>	<b>Sismik Kırılma Ölçümleri</b>	<b>Çok Kanallı yüzey Dalgası Ölçümleri</b>
<b>Profil 1</b>	✓	✓	✓	---	---
<b>Profil 2</b>	✓	✓	✓	---	---
<b>Profil 3</b>	✓	---	✓	---	---
<b>Profil 4</b>	✓	✓	✓	✓	✓
<b>Profil 5</b>	✓	✓	✓	✓	✓
<b>Profil 6</b>	✓	✓	✓	✓	✓
<b>Profil 7</b>	----	---	✓	✓	✓

#### 2.4.1.1. Alan 1 Ortak Ofset Yer Radarı Çalışmaları

Çalışma alanında topografik koşulları dikkate alarak 5 profilde toplamda 27 hatta ortak ofset GPR verisi toplanmıştır. Verilerin uzunlukları profillerde farklı olup tüm veriler 100 MHz merkez frekanslı korumasız antenler kullanılarak toplanmıştır. Ölçüm parametreleri tablo 2.2 de verilmiştir. Veriler toplanırken aynı zamanda SATLAB firmasına ait diferansiyel GPS ile sürekli modda topografya değişimi kayıt edilerek verilere eklenmiştir. Elde edilen verilere gerekli veri işlem adımları ve statik düzeltmeler uygulanarak ilgili profillere ait radargramlar elde edilmiştir. Alan 1’de yapılan yer radarı ölçümlerinden elde edilen işlenmiş radargramlar şekil 2.9- 2.15 de verilmiştir.

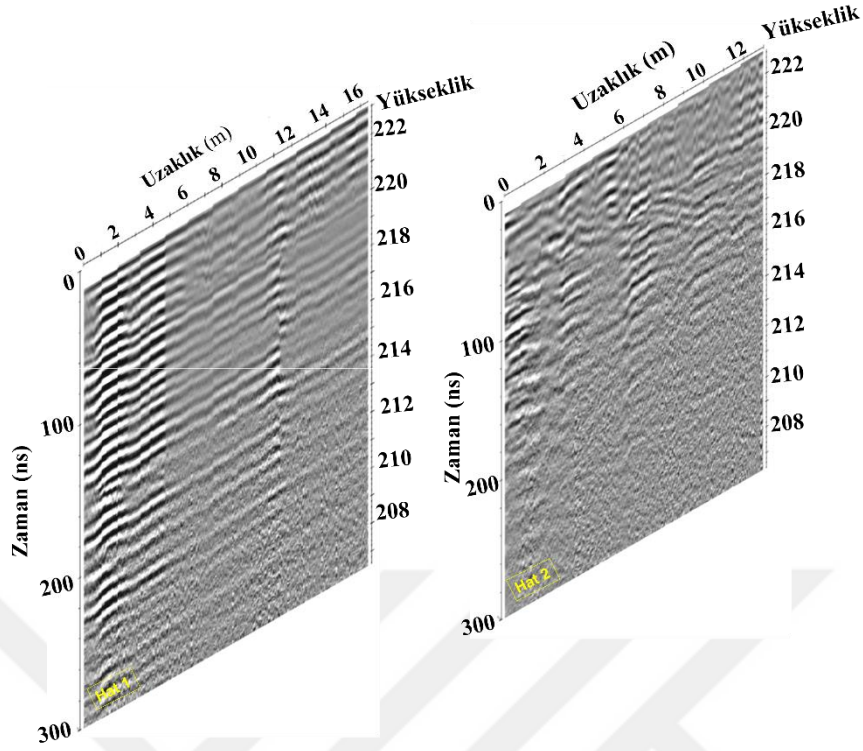
Tablo 2. 2. Alan 1 için ölçüm parametreleri

Anten Frekansı (MHz)	100
Anten aralığı (m)	1
Örnekleme Frekansı (MHz)	874.3
Örnek Sayısı	500
Zaman Penceresi (ns)	571.9
İz aralığı (m)	0.01



Şekil 2.9. Alan 1 profil 1’de alınan GPR ölçümlerinden elde edilen radargramlar

Bu alanda profil 1’de GK yönlü 3 hat üzerinde yapılan GPR ölçümleri 1 m hat aralıkları ile yaklaşık 40 ar metre profil boyuna sahipken 10 m nüfuz derinliğine kadar bilgi sağlamaktadır. Alınan verilerden elde edilen radargramlarda; üç hatta da yaklaşık 1 m ye kadar örtü tabakası, 1-4 m arasında yatay olarak uzanan bir tabaka bulunduğu anlaşılmaktadır. Profilin başlangıcından 20 m uzaklığına kadar 3 m derinlikten başlayarak yaklaşık 10 m derinliğe kadar uzanan eğimli, yüksek genlikli bir yansıtıcı sınır görülmektedir. 4-6 m ve 6 m den daha derinlerde ise farklı bir tabaka sınırı gözlenmektedir (Şekil 2.9).

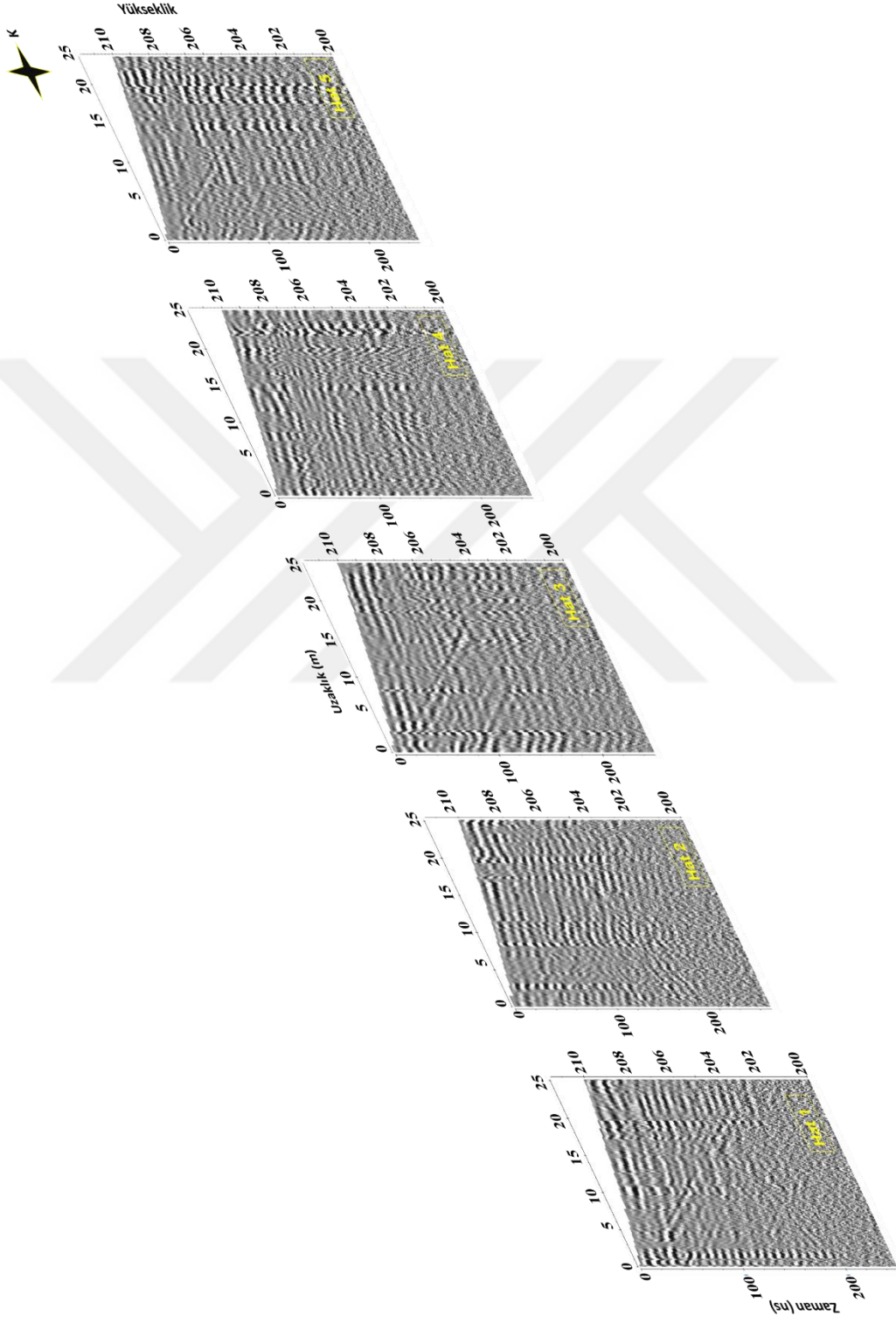


Şekil 2.10. Alan 1 profil 2’de alınan GPR ölçümlerinden elde edilen radargramlar

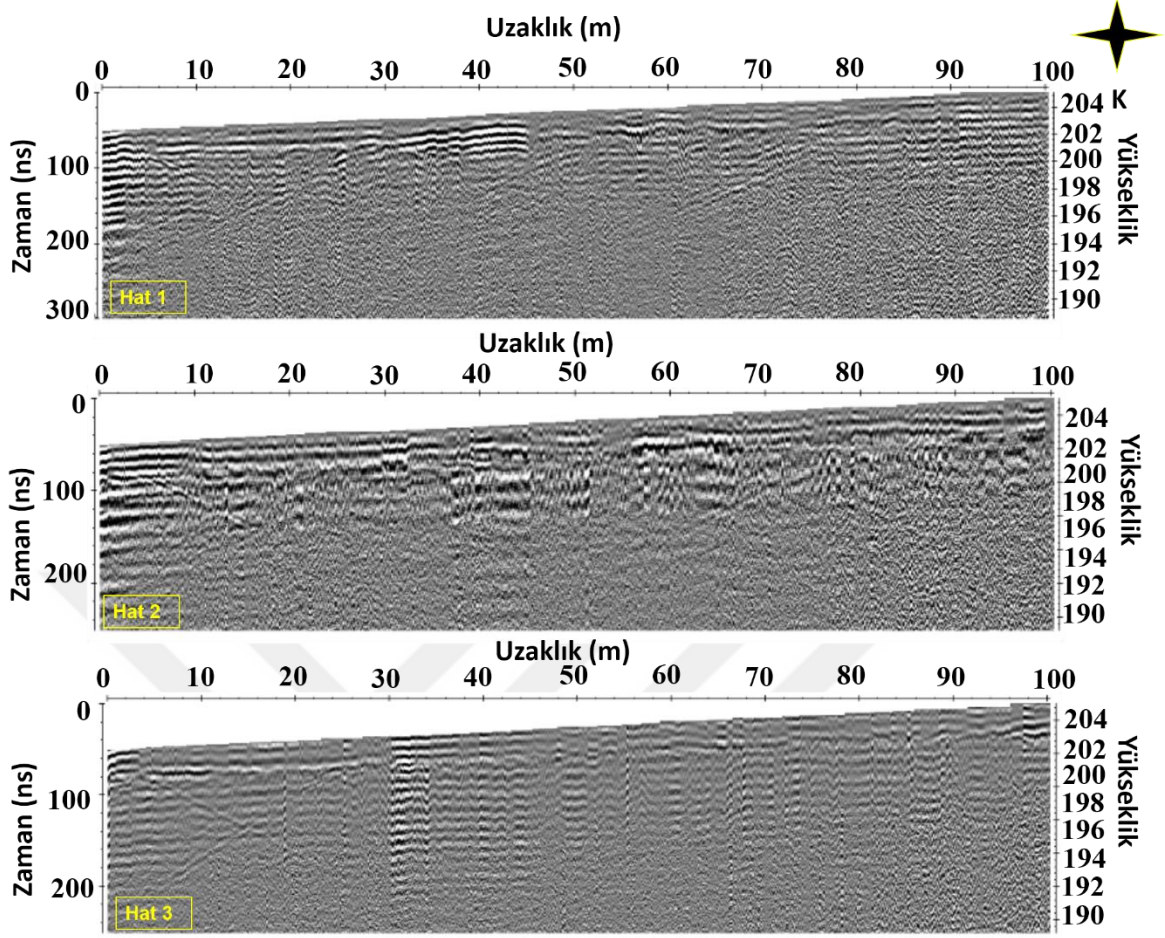
Alan 1 profil 2’de DB yönlü kısa bir profil olup burada 2 GPR ölçümü yaklaşık 15 m profil boyuna sahipken 10 m nüfuz derinliğine kadar bilgi sağlamaktadır. 0-4 m, 4-6 m 6-10 m derinlikleri arasında farklı tabaka sınırlarına geçiş olduğu görülmektedir (Şekil 2.10).

Alan 1 profil 3’de DB yönlü ve 1 m profil aralıkları ile 5 hat üzerinde yapılan ortak ofset GPR verilerinin değerlendirilmesi ile elde edilen radargramlarda hat uzunlukları 20-25 m arasında değişmekte iken inilen maksimum nüfuz derinliği 7-8 m civarındadır. Yaklaşık 2 m derinliklere kadar tüm hatlarda bir tabaka sınırı dikkat çekmektedir. 2-4 m derinlikleri arasında başka bir birimden gelen yansımalar gözlenmiştir. 4 m den daha derinlerde ise farklı bir tabaka sınırı gözlenmiştir. Profilin başlangıcından 15 m uzaklığına kadar 1-2 m derinlikten başlayarak yaklaşık 10 m derinliğe kadar uzanan eğimli, yüksek genlikli bir yansıtıcı sınır görülmektedir (Şekil 2.11).



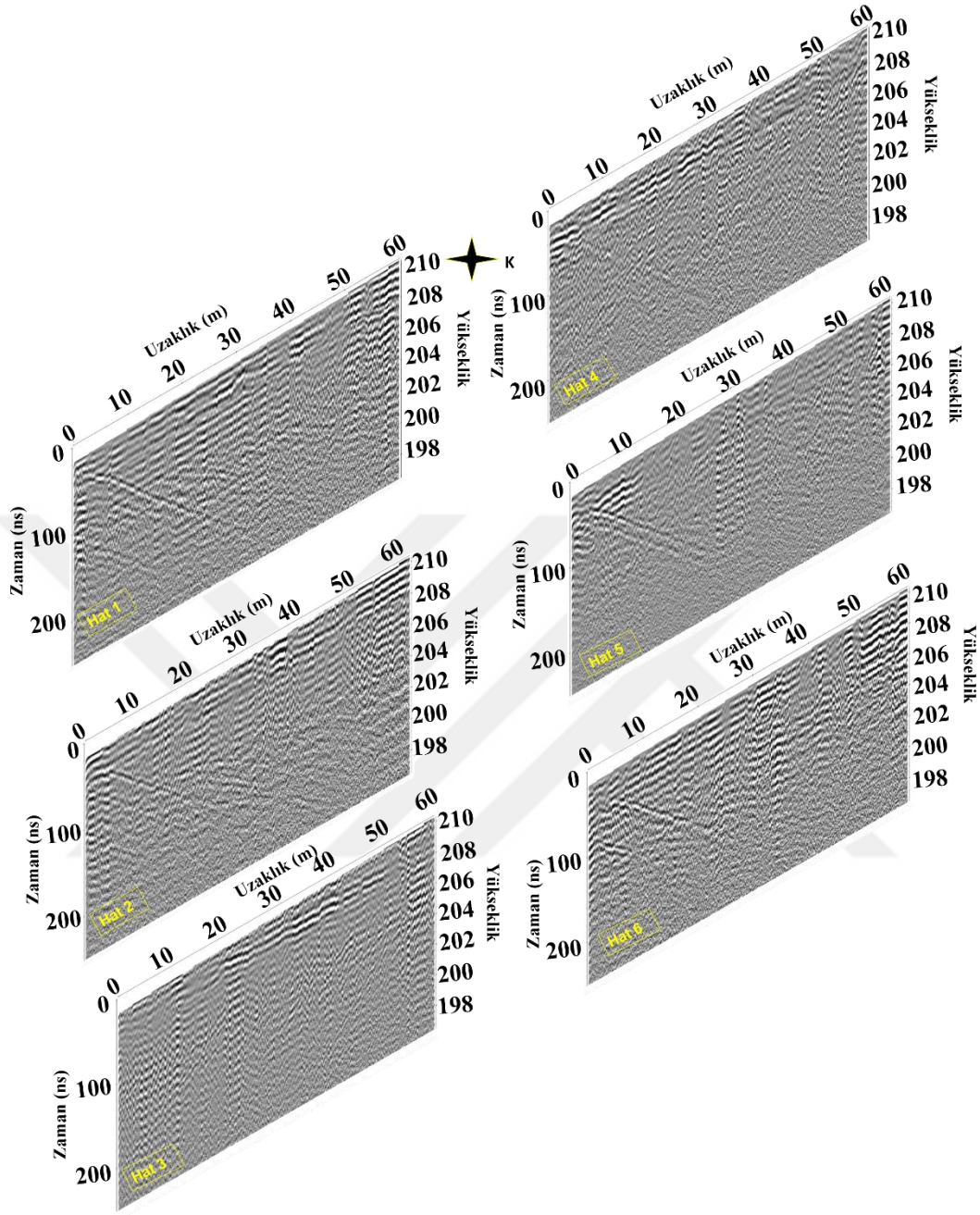


Şekil 2.11. Alan 1 profil 3’de alınan GPR ölçümlerinden elde edilen radargramlar



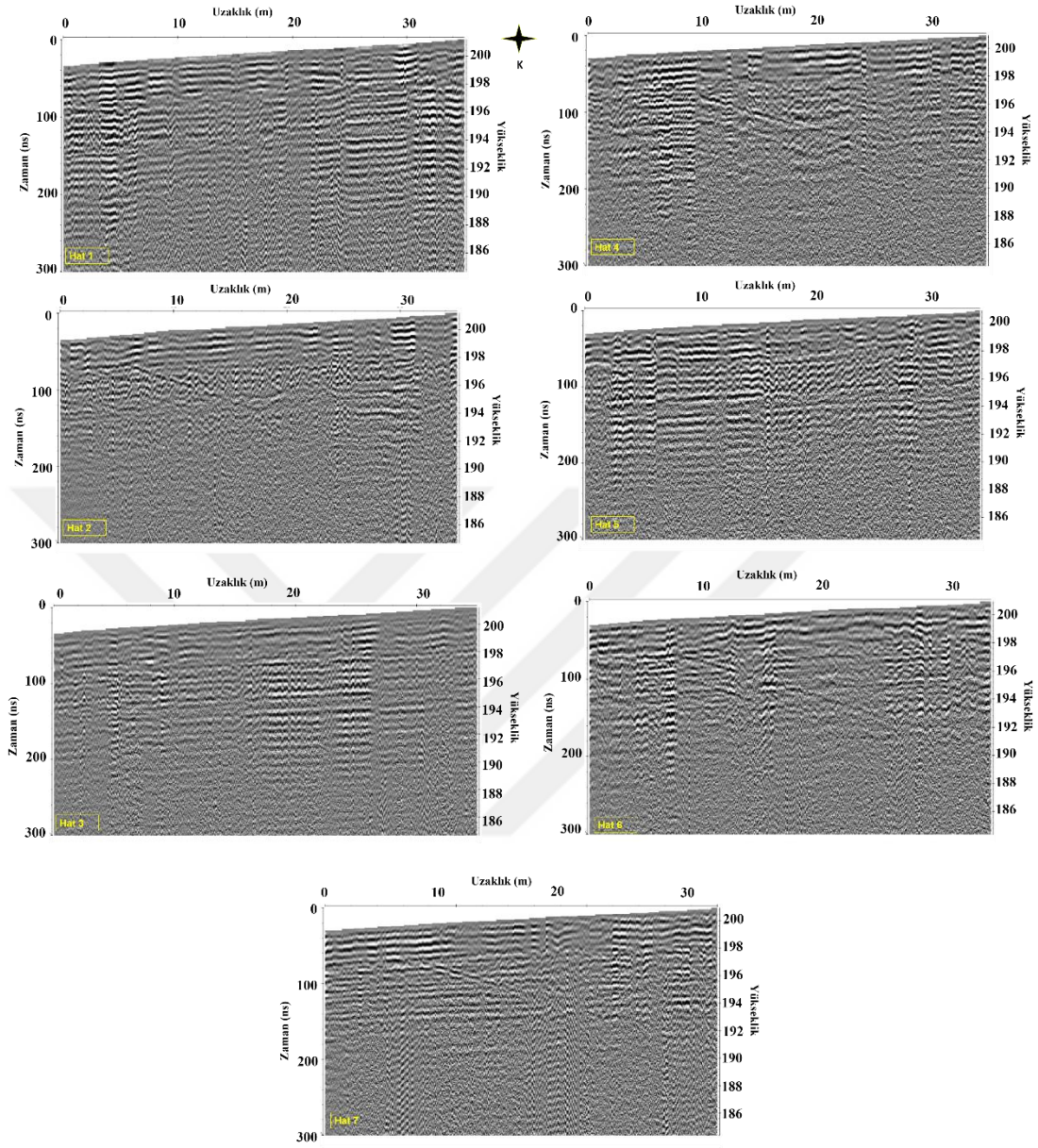
Şekil 2.12. Alan 1 profil 4’te alınan GPR ölçümlerinden elde edilen radargramlar

Alan 1’de profil 4 de DB yönlü ve 1 m aralıklarla 3 hatta toplanan ortak ofset GPR verilerinin değerlendirilmesi ile elde edilen radargramlarda hat uzunlukları 100 m dir ve çalışma alanındaki en uzun profildir. Buradaki 3 hattın elde edilen radargramlarda yaklaşık 2 m derinliklere kadar bir tabaka, 2-5 m arasında farklı bir birime girildiği görülmektedir. Profilin ilk 50 m uzaklıklarına kadar olan kısımlarda 3-6 m derinliklerinde daha yüksek genlikli yansıtıcı yüzeyler gözlenmiştir. Bu profildeki 3 hatta yaklaşık 10 m nüfuz derinliğine inilmiştir (Şekil 2.12).

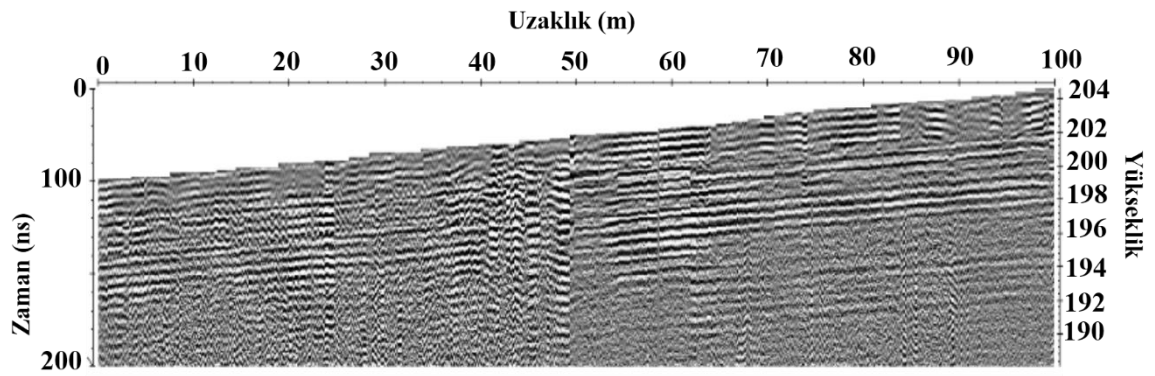


Şekil 2.13. Alan 1 profil 5’te alınan GPR ölçümlerinden elde edilen radargramlar

Alan 1’de profil 5 de 1 m aralıklarla DB yönünde 6 hatta toplanan ortak ofset GPR verilerinin değerlendirilmesi ile elde edilen radargramlarda sırasıyla 0-2 m, 2-6 m ve 6-10 m derinlikleri arasındaki genlik değişimlerinden farklı tabaka sınırlarına girildiği gözlenmektedir. Ayrıca hemen hemen tüm hatlarda 2-3 m hat başlangıcından ve 2 m derinliklerden başlayıp 30 m uzaklıklara kadar ve 7-8 m derinliklere kadar eğimli ulaşan bir yüksek genlikli sınır dikkati çekmektedir (Şekil 2.13).



Şekil 2.14. Alan 1 profil 6'da alınan GPR ölçümlerinden elde edilen radargramlar



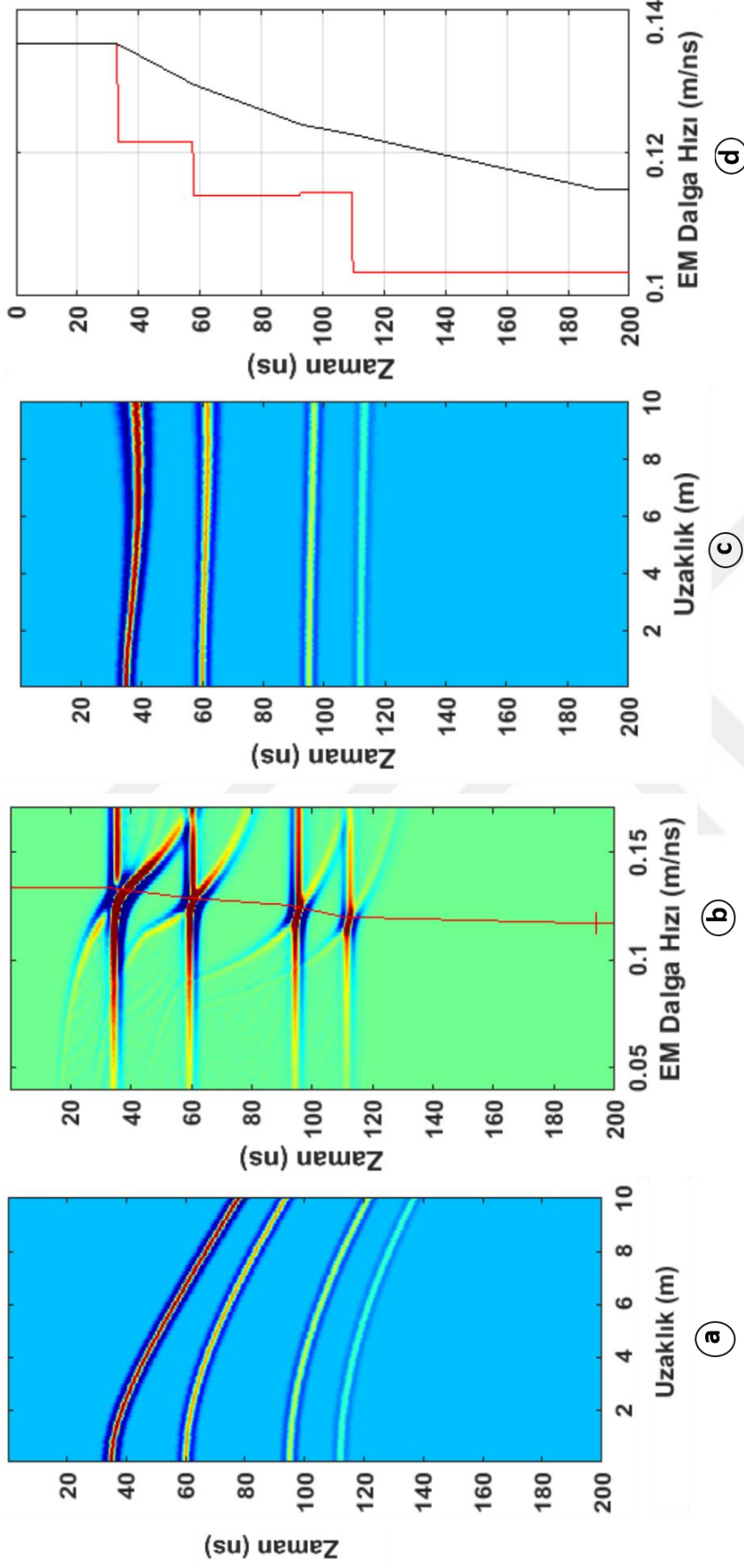
Şekil 2.15. Alan 1 profil 6'da tek hatta alınan GPR ölçümünden elde edilen radargram

Alan'1 de profil 6'nın uzunluğu da 100 m olup ölçüm DB yönlü oldukça engebeli bir yerde yer almasından dolayı tüm profil boyunca tek bir hatta ortak ofset GPR verisi toplanırken, ilk 30-35 m uzaklığa kadar olan kısımda uygun ölçüm alma hatları oluşturabildiğinden bu 30 m lik kısımda ayrıca 7 hatta ortak ofset ölçümü toplanmıştır. 7 hattan toplanan ortak ofset GPR verilerinden elde edilen radargramlarda yaklaşık 8-9 m nüfuz derinliğine inilmiştir ve 0-2 m, 2-4 m, 4-6 m, 6 m den daha derinler olmak üzere farklı tabaka sınırları gözlenmiştir (Şekil 2.14). Tüm profili kapsayan tek hatta yapılan ölçümden elde edilen radargramda ise tüm profil boyunca tabaka sınırları net bir şekilde gözlenmektedir. Ayrıca 40-50 m uzaklıkları arasında 2-10 m derinlikleri arasında yüksek genlikli bir anomali göze çarpmaktadır (Şekil 2.15).

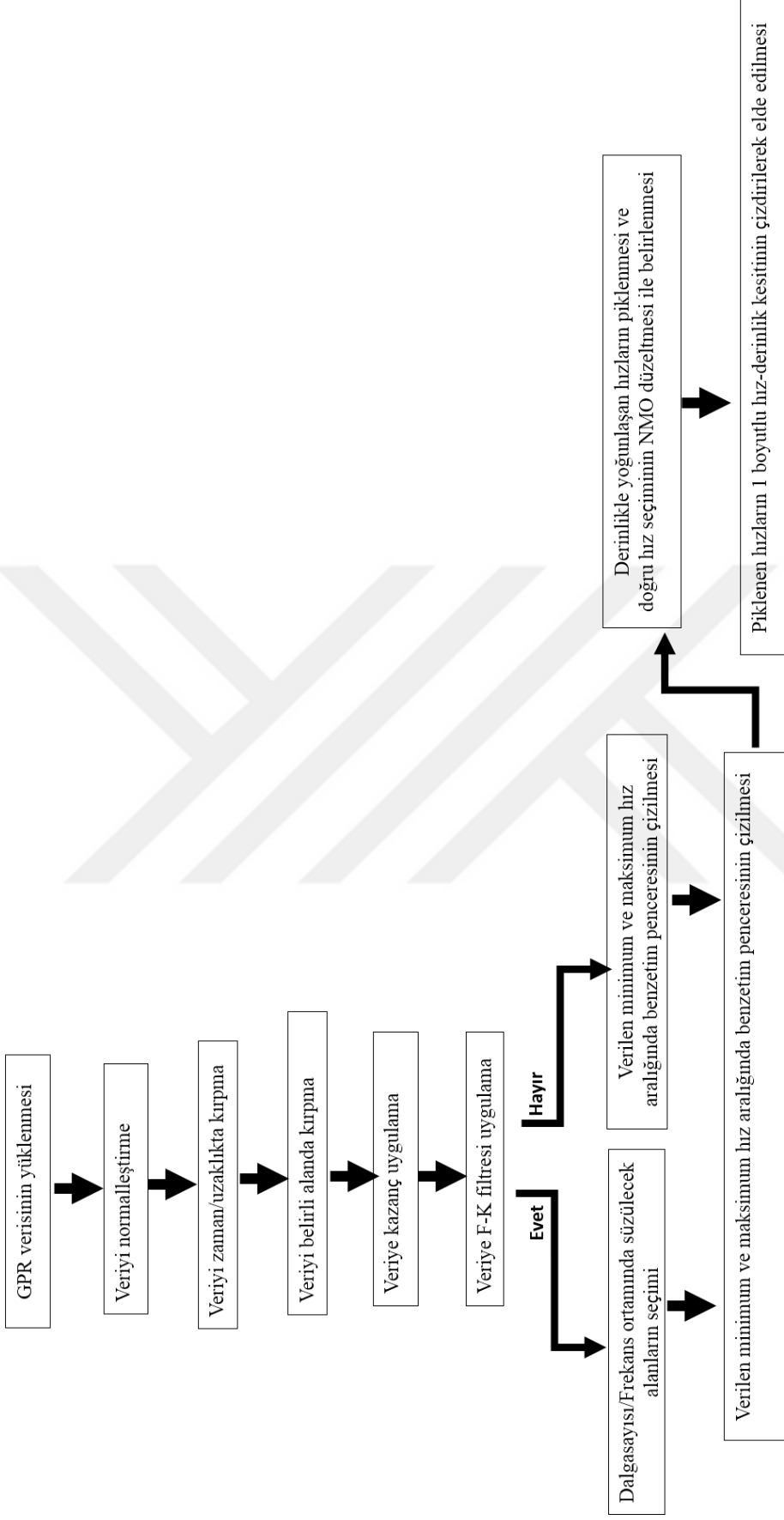
#### **2.4.1.2. Alan 1 Çoklu Ofset Yer Radarı Çalışmaları (OON Ölçümleri)**

Çalışma alanında (Alan 1 ve Alan 2) OON ölçümleri alınmadan önce çalışma alanının jeolojisinden ve sondaj bilgisinden yeraltını yansıtan bir sentetik GPR model verisi oluşturulmuştur. Bu veri üzerinde belirli derinlikten gelen yansımaların hız-derinlik değişimini gözlemlemek amacı ile hız analizi uygulanmış ve çözümlenmiştir. Bu kapsamda oluşturulan model öncelikle gerekli veri işlem aşamalarından geçirilmiştir (Şekil 2.16a). Ardından oluşturulan benzetim penceresinde hızların yoğunlaştığı alanlarda hız seçimi yapılmıştır (Şekil 2.16b). Seçilen hızların doğruluğu kayma zamanlarının OON kesit üzerinde normal seviyeye taşınması ile doğrulanmıştır (Şekil 2.16c). Doğru hızların seçilmesi sonucunda 1 boyutlu hız-zaman grafiği elde edilmiştir (Şekil 2.16d). Oluşturulan bu model çalışma alanında OON ölçümleri ile elde edilecek olan verileri değerlendirirken yorumlama aşamasında kolaylık sağlayacaktır. Bu çalışmada kullanılan hız analizi yönteminin akış şeması Şekil 2.17'de verilmiştir.

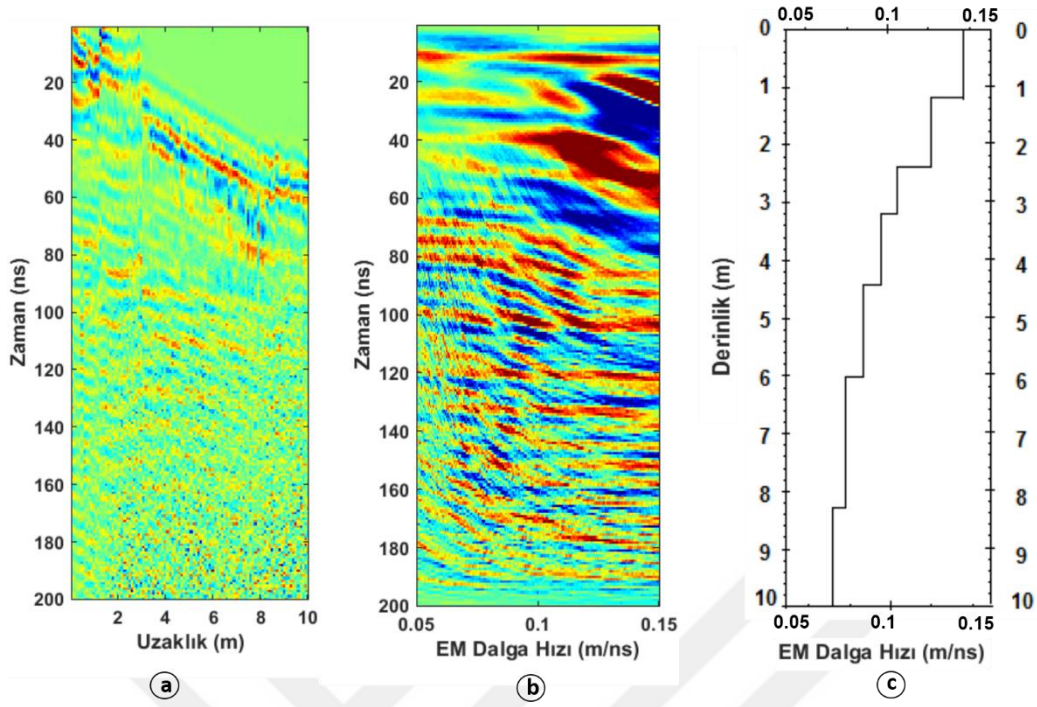
Alan 1'de GPR ortak orta nokta ölçümleri 6 profilde toplamda 31 noktada toplanmıştır. Her bir profilde alıcı ve verici anten arasındaki mesafe 10 cm kaydırılarak toplamda 10 m profil uzunluklu OON verileri alınmıştır. Bu veriler 200 MHz merkez frekanslı korumasız antenler kullanılarak toplanmıştır. Toplanan tüm veriler MATLAB programında yazılan algoritmalar ile çözümlenerek her bir profile ait hız benzetim kesitleri oluşturulmuştur. Bu işlemler yapılırken izlenen adımlar şekil 2.18'de verilmiştir. Her bir benzetim kesitinden 1B hız-derinlik modelleri ve birbirine paralel noktalarda alınan ölçümlerde interpolasyon yöntemi ile 2B hız derinlik kesitleri oluşturulmuştur (Şekil 2.18-2.53).



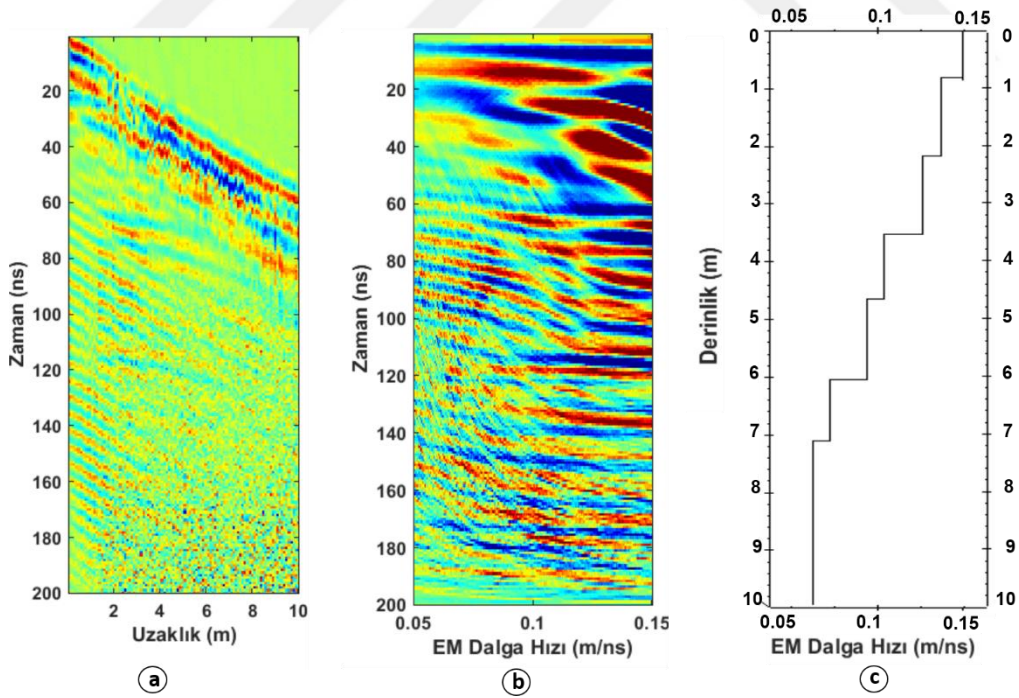
Şekil 2.16. (a) OON ile oluşturulan model verisinden elde edilen radargram (b) Benzetim penceresi Hız noktalarının piklenmesi (c) Hızların doğru yerden piklendiğini gösteren radargram (d) 1 boyutlu hız-zaman modeli (siyah çizgi  $V_{RMS}$ , kırmızı çizgi de  $V_{ara}$  göstermektedir)



Şekil 2.17. GPR' da hız analizinin akış şeması

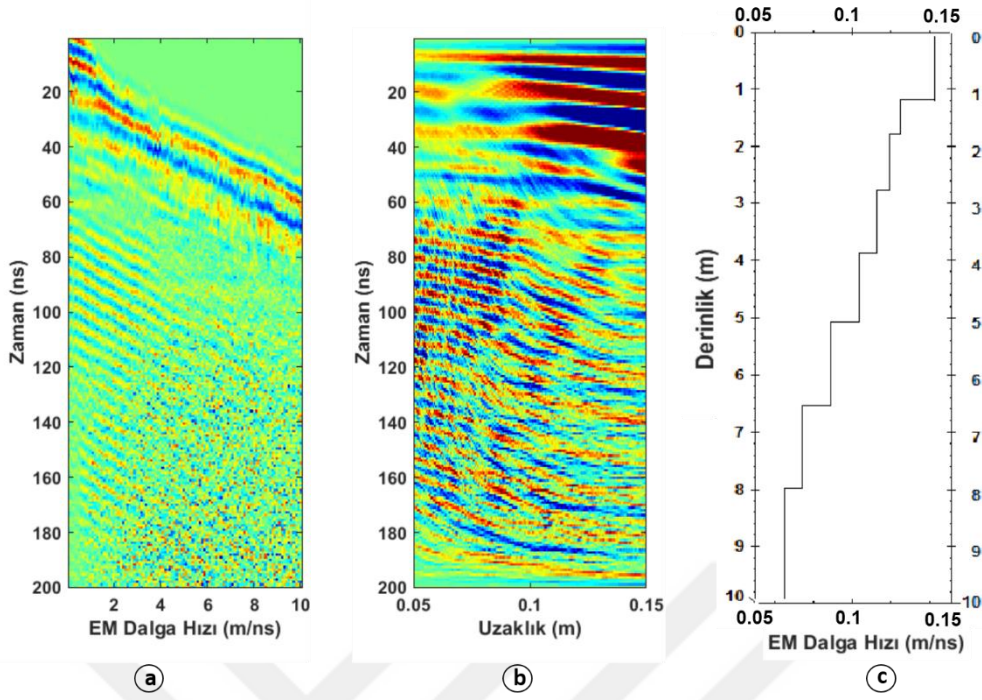


Şekil 2.18. (a) Alan 1 profil 1'de 1.nokta üzerinde OON ile toplanmış GPR verisinden elde edilen radargram (b) Benzetim penceresi (c) 1B hız-derinlik modeli

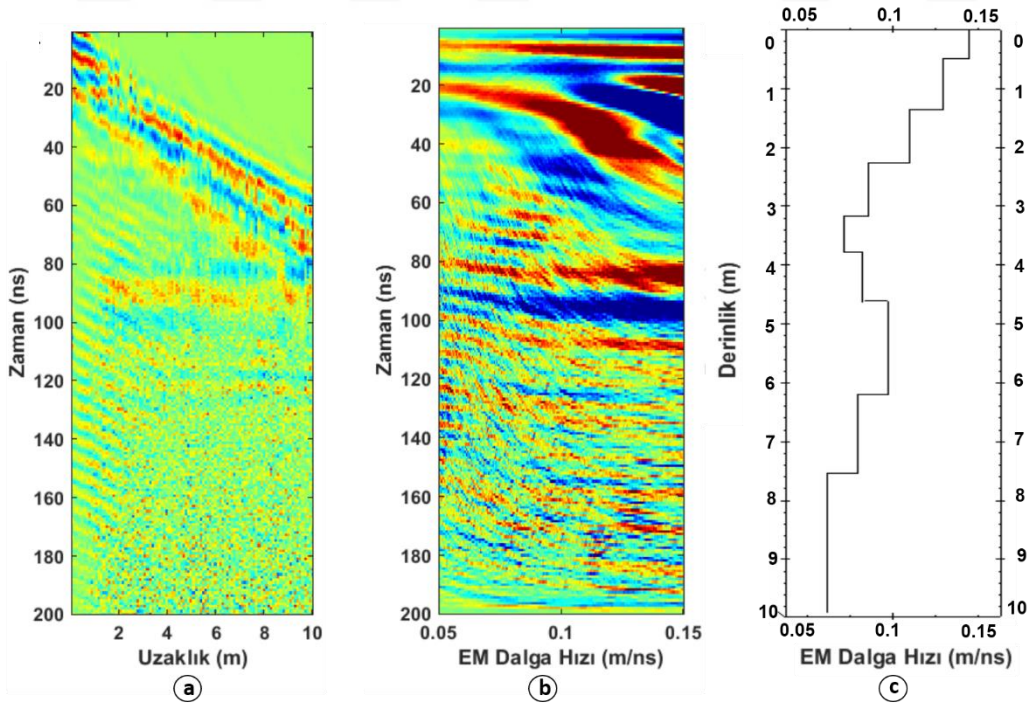


Şekil 2.19. (a) Alan 1 profil 1'de 2.nokta üzerinde OON ile toplanmış GPR verisinden elde edilen radargram (b) Benzetim penceresi (c) 1B hız-derinlik modeli





Şekil 2.20. (a) Alan 1 profil 1’de 3.nokta üzerinde OON ile toplanmış GPR verisinden elde edilen radargram (b) Benzetim penceresi (c) 1B hız-derinlik modeli



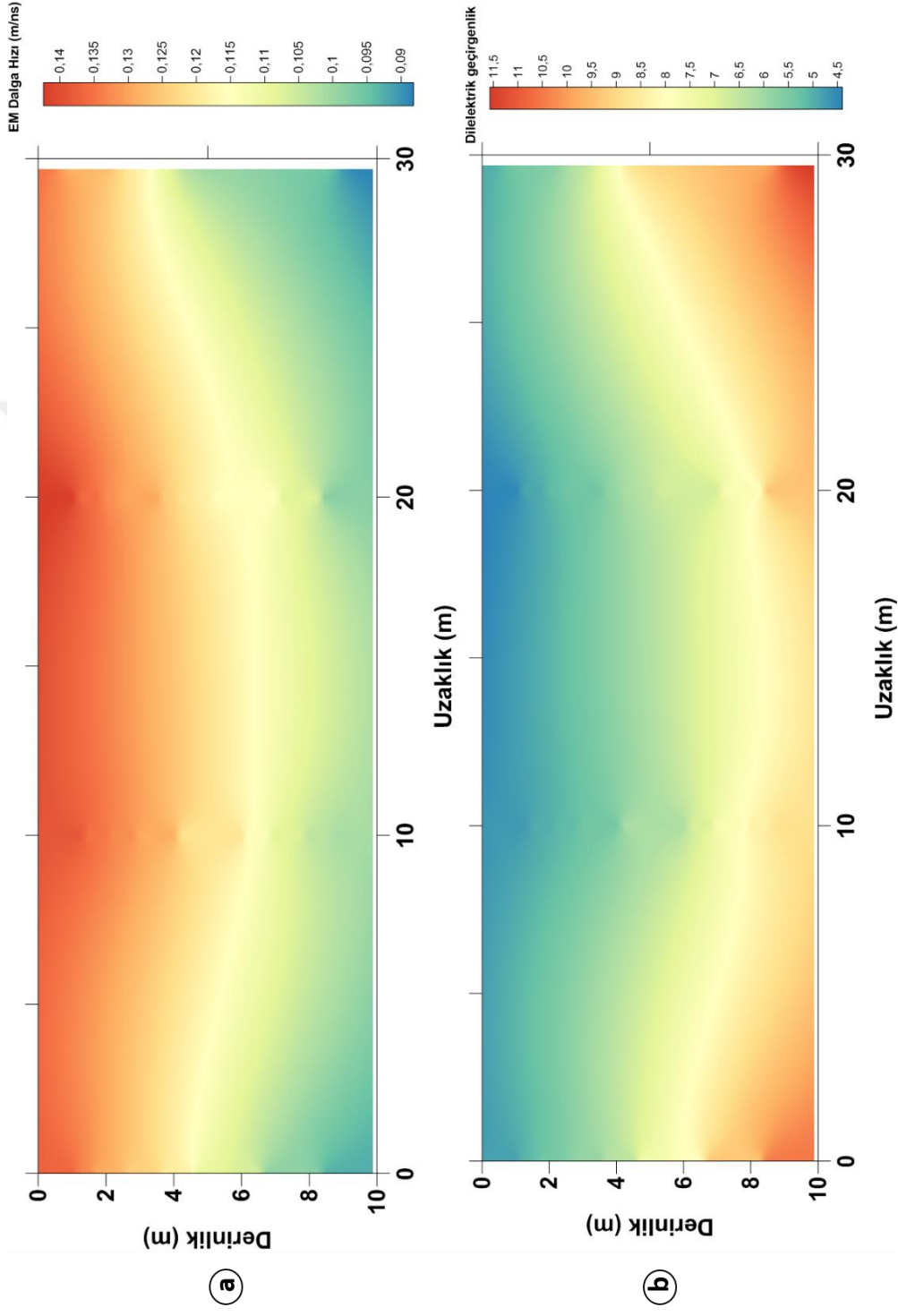
Şekil 2.21. (a) Alan 1 profil 1’de 4.nokta üzerinde OON ile toplanmış GPR verisinden elde edilen radargram (b) Benzetim penceresi (c) 1B hız-derinlik model

Alan 1’de profil 1 de GK yönlü 10 m ölçüm aralıkları ile 4 noktada yapılan OON ölçümlerinden elde edilen derinlik ve EM dalga hızları Tablo 2.3’te verilmiştir.

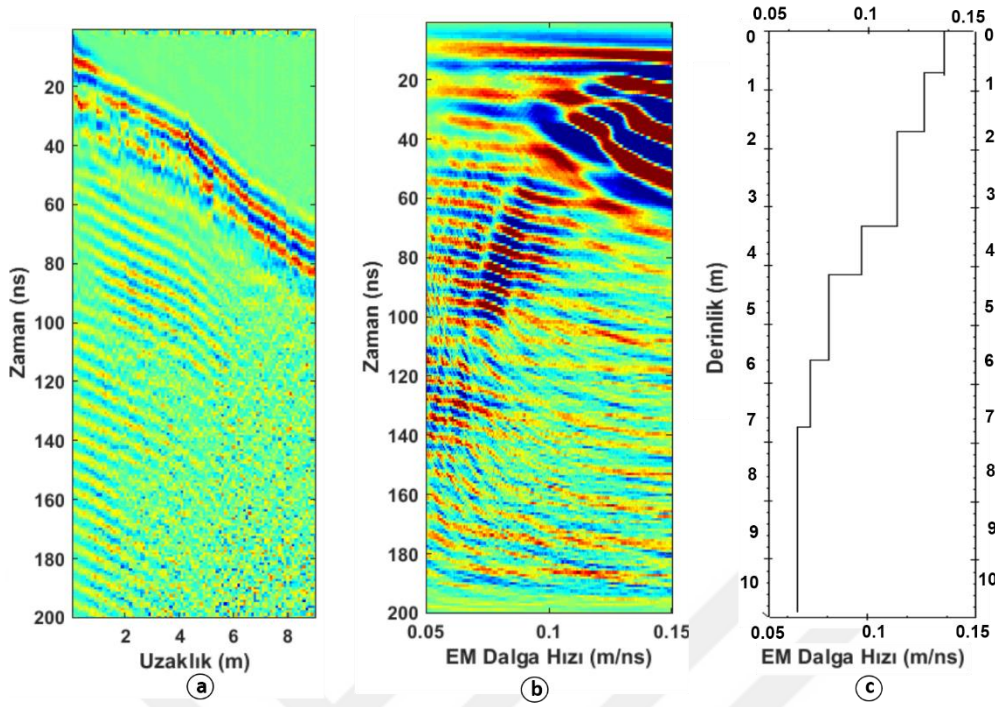
Tablo 2.3. Alan 1 profil 1’de 4 noktaya ait derinlik ve EM dalga hızları

Derinlik (m)	1.nokta EM Dalga Hızı (m/ns)	2.nokta EM Dalga Hızı (m/ns)	3.nokta EM Dalga Hızı (m/ns)	4.nokta EM Dalga Hızı (m/ns)
0-1	0.136	0.138	0.142	0.134
1-2	0.128	0.134	0.135	0.12
2-3	0.124	0.132	0.129	0.098
3-4	0.118	0.129	0.124	0.095
4-5	0.109	0.12	0.12	0.1
5-6	0.106	0.114	0.115	0.105
6-7	0.098	0.107	0.107	0.097
7-8	0.093	0.103	0.10	0.095
8-9	0.092	0.101	0.098	0.088
9-10	0.092	0.101	0.098	0.088

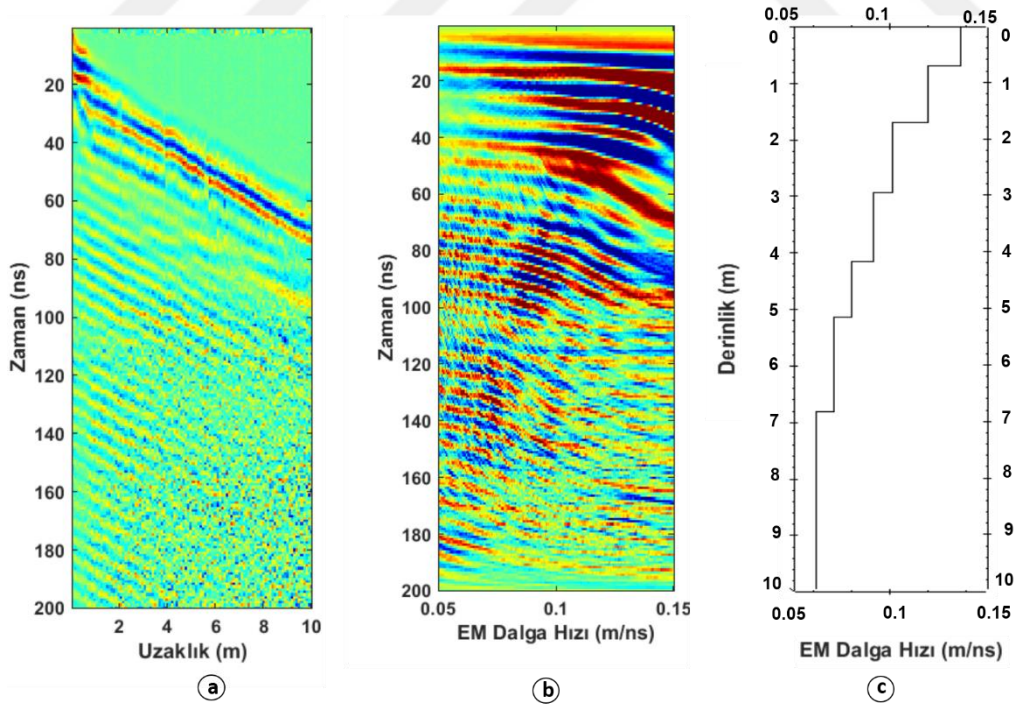
Profil 1’deki 4 noktadan toplanan OON verilerinin değerlendirilmesi ile elde edilen 1 boyutlu-hız derinlik kesitlerinin birleştirilmesi ile oluşan 2 boyutlu hız-derinlik kesiti (Şekil 2.23) 30 m uzunluğundadır. Bu kesitte 0- 4.5 m derinliğe kadar EM dalga hızı 0.125- 0.14 m/ns arasında gözlenirken 4-6 m derinliklerinde 0.105- 0.12 m/ns arasındadır ve 6 m den daha derinlere gidildikçe EM dalga hızının daha da azalarak 0.09- 0.1 m/ns arasında olduğu görülmektedir. Burada profilin ilk 10 m uzaklıklarında düzgün bir değişim gözlenirken 10-20 m uzaklıkları arasında hızın azalması derinlikle daha fazla olup, 20 m uzaklıktan sonra tekrar düzgün bir değişim göstermiştir. 2-6 m derinlikleri arasında EM Dalga hızının elde edilen dielektrik geçirgenlik- derinlik kesitinde ise 4 m derinliğe kadar elde edilen dielektrik geçirgenliğinin 5-9 arasında, 4-6 m derinliklerinde 10-13 ve 6 m den daha derinlere gidildikçe ise dielektrik geçirgenliğim >13 olduğu görülmektedir. Burada EM dalganın derinlikle beraber 0.14 m/ns hızından başlayarak 0.088 m/ns hızına düştüğü gözlenmektedir. Dielektrik geçirgenlik ile EM dalga hızı arasında ters ilişki olduğundan ötürü elde edilen dielektrik geçirgenlik-derinlik kesitinde, dielektrik geçirgenliğinin derinlikle azaldığı görülmektedir.



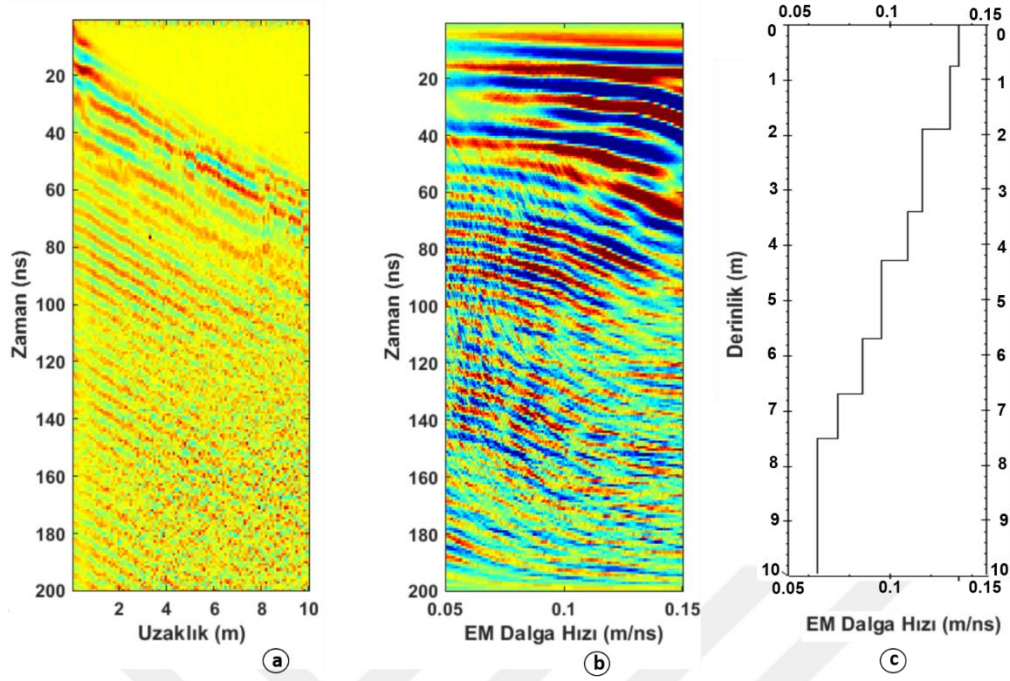
Şekil 2.22. Alan 1 profil 1’de 4 noktadan toplanan OON ölçümleri ile elde edilen (a) 2B hız-derinlik kesiti (b) 2B dielektrik geçirgenlik-derinlik kesiti



Şekil 2.23. (a) Alan 1 profil 2’de 1. nokta üzerinde OON ile toplanmış GPR verisinden elde edilen radargram (b) Benzetim penceresi (c) 1B hız-derinlik modeli



Şekil 2.24. (a) Alan 1 profil 2’de 2. nokta üzerinde OON ile toplanmış GPR verisinden elde edilen radargram (b) Benzetim penceresi (c) 1B hız-derinlik modeli



Şekil 2.25. (a) Alan 1 profil 2’de 3. nokta üzerinde OON ile toplanmış GPR verisinden elde edilen radargram (b) Benzetim penceresi (c) 1B hız-derinlik modeli

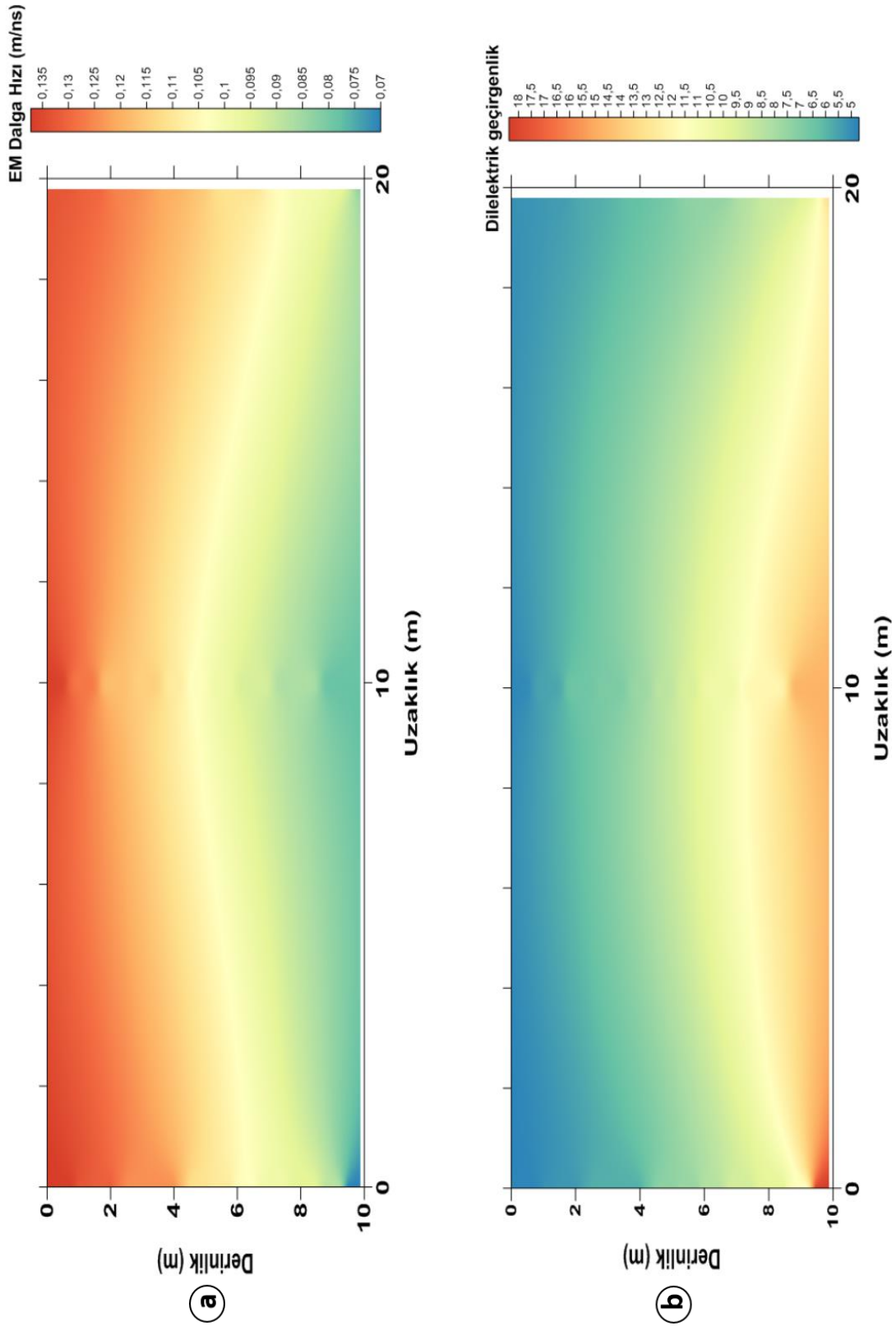
Alan 1 profil 2’de DB yönlü 10 m ölçüm aralıkları ile 3 noktada yapılan OON ölçümlerinden elde edilen derinlik ve EM dalga hızları Tablo 2. 4’te verilmiştir.

Tablo 2.4. Alan 1 profil 2’de 3 noktaya ait derinlik ve EM dalga hızları

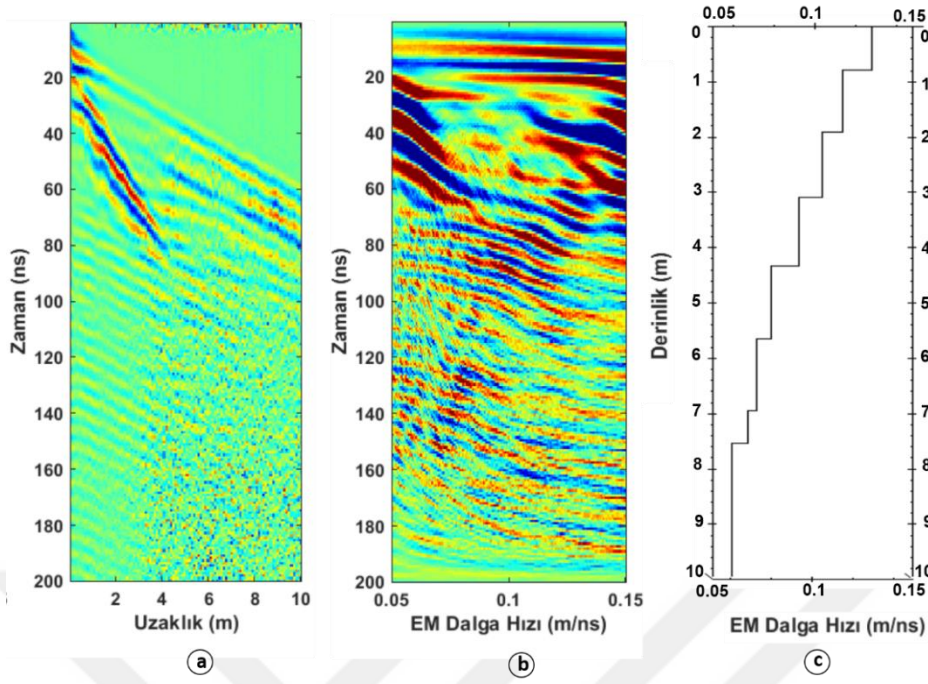
Derinlik (m)	1.nokta EM Dalga Hızı (m/ns)	2.nokta EM Dalga Hızı (m/ns)	3.nokta EM Dalga Hızı (m/ns)
0-1	0.137	0.136	0.132
1-2	0.131	0.127	0.13
2-3	0.127	0.117	0.125
3-4	0.124	0.114	0.123
4-5	0.112	0.102	0.12
5-6	0.109	0.098	0.116
6-7	0.103	0.092	0.111
7-8	0.098	0.086	0.104
8-9	0.087	0.078	0.096
9-10	0.087	0.078	0.096

3 noktada alınan OON ölçümlerinden elde edilen 1B hız derinlik kesitlerinde EM dalganın derinlikle beraber 0.137 m/ns hızından başlayarak 0.078 m/ns hızına düştüğü gözlenmektedir.

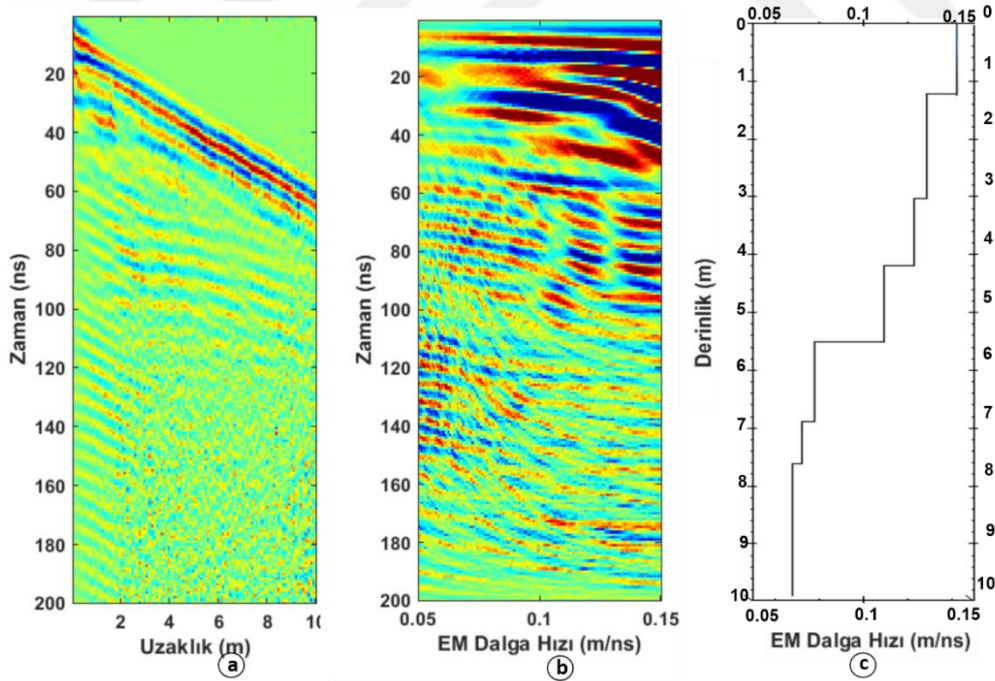
Profil 2'deki 3 hattın toplanan OON verilerinin değerlendirilmesi ile elde edilen 1 B-hız derinlik kesitlerinin birleştirilmesi ile oluşan 2B hız-derinlik kesiti (Şekil 2.27) 20 m uzunluğundadır. Bu kesitte 4 m derinliğe kadar EM dalga hızı 0.12- 0.135 m/ns arasında gözlenirken 4-6 m derinliklerinde 0.095- 0.115 m/ns arasındadır ve 6 m den daha derinlere gidildikçe EM dalga hızının iyice düşerek 0.07- 0.09 m/ns arasında olduğu görülmektedir. Elde edilen dielektrik geçirgenlik- derinlik kesitinde ise 4 m derinliğe kadar edilen dielektrik geçirgenliğin 5-9 arasında, 4-6 m derinliklerinde 10-13 ve 6 m den daha derinlere gidildikçe ise >13 olduğu görülmektedir. Alan 1'de deki profil 1'den elde edilen 2B hız-derinlik kesiti ile benzer özellikleri göstermektedir.



Şekil 2.26. Alan 1 profil 2’de 4 noktada toplanan OON ölçümleri ile elde edilen (a) 2B hız-derinlik kesiti (b) 2B dielektrik geçirgenlik-derinlik kesiti

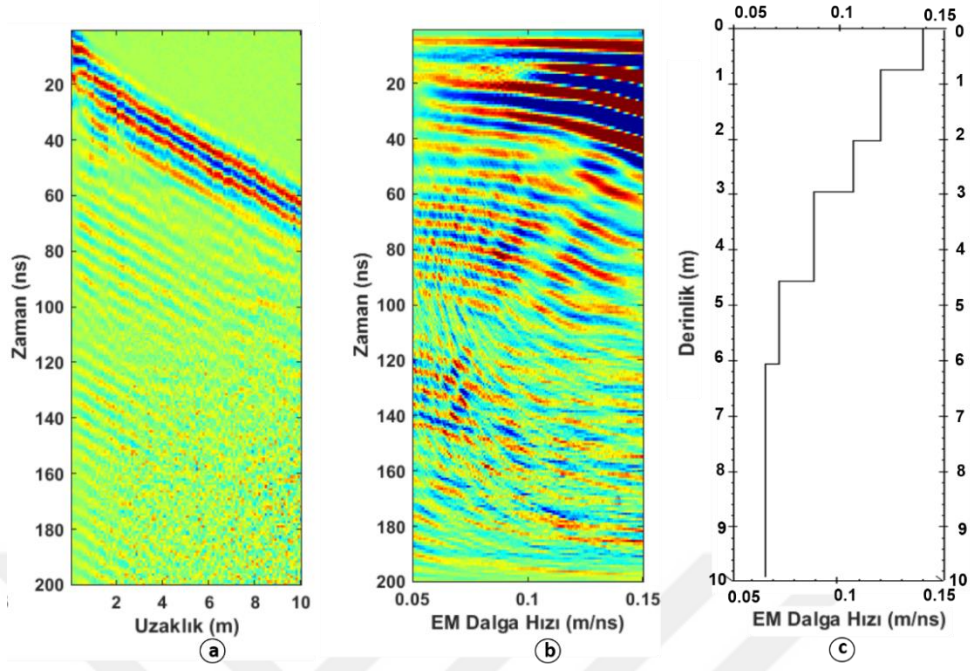


Şekil 2.27. (a) Alan 1 profil 4’de 1. nokta üzerinde OON ile toplanmış GPR verisinden elde edilen radargram (b) Benzetim penceresi (c) 1B hız-derinlik modeli

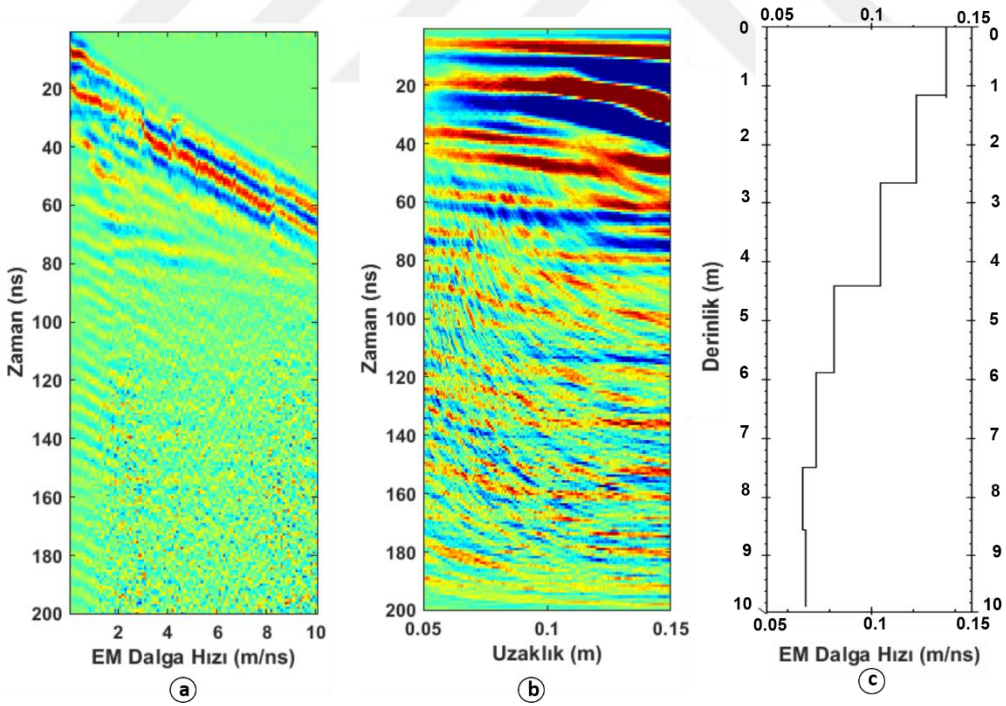


Şekil 2.28. (a) Alan 1 profil 4’de 2. nokta üzerinde OON ile toplanmış GPR verisinden elde edilen radargram (b) Benzetim penceresi (c) 1B hız-derinlik modeli

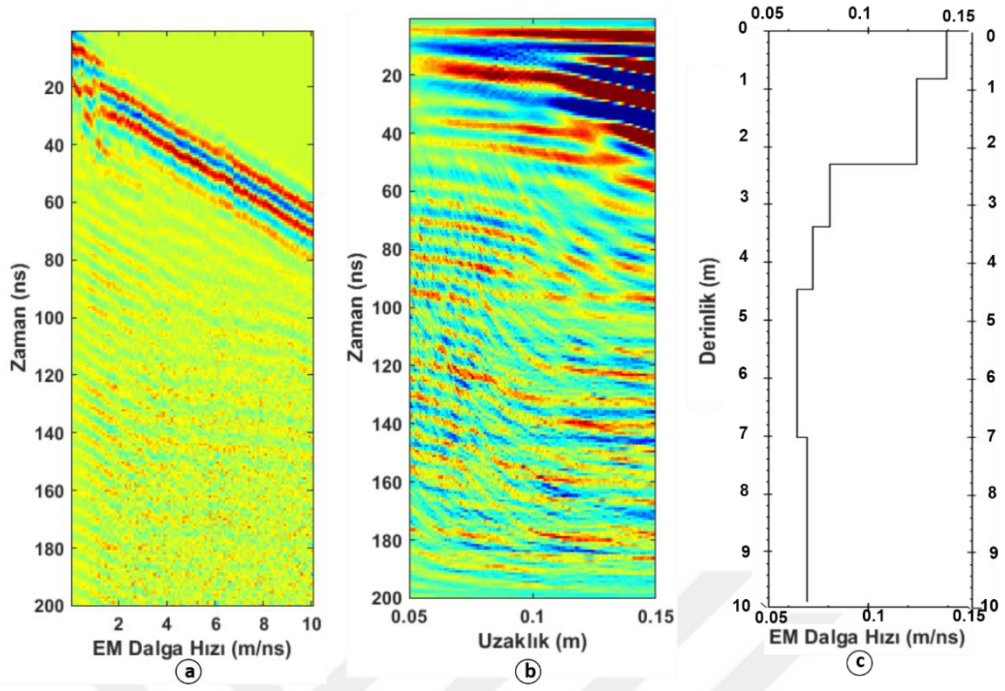




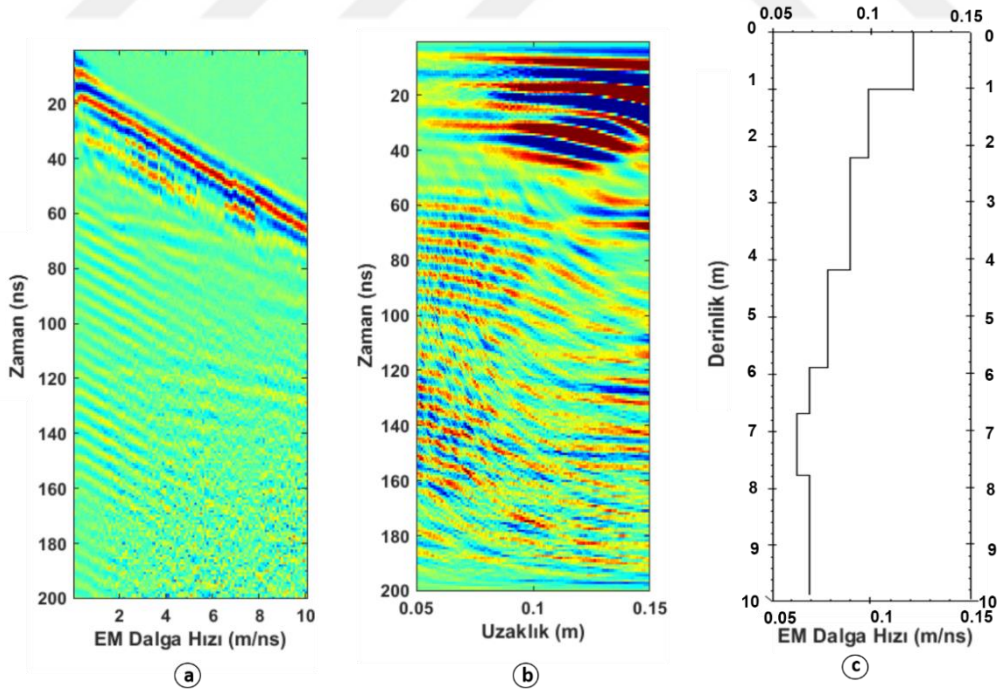
Şekil 2.29. (a) Alan 1 profil 4’de 3. nokta üzerinde OON ile toplanmış GPR verisinden elde edilen radargram (b) Benzetim penceresi (c) 1B hız-derinlik modeli



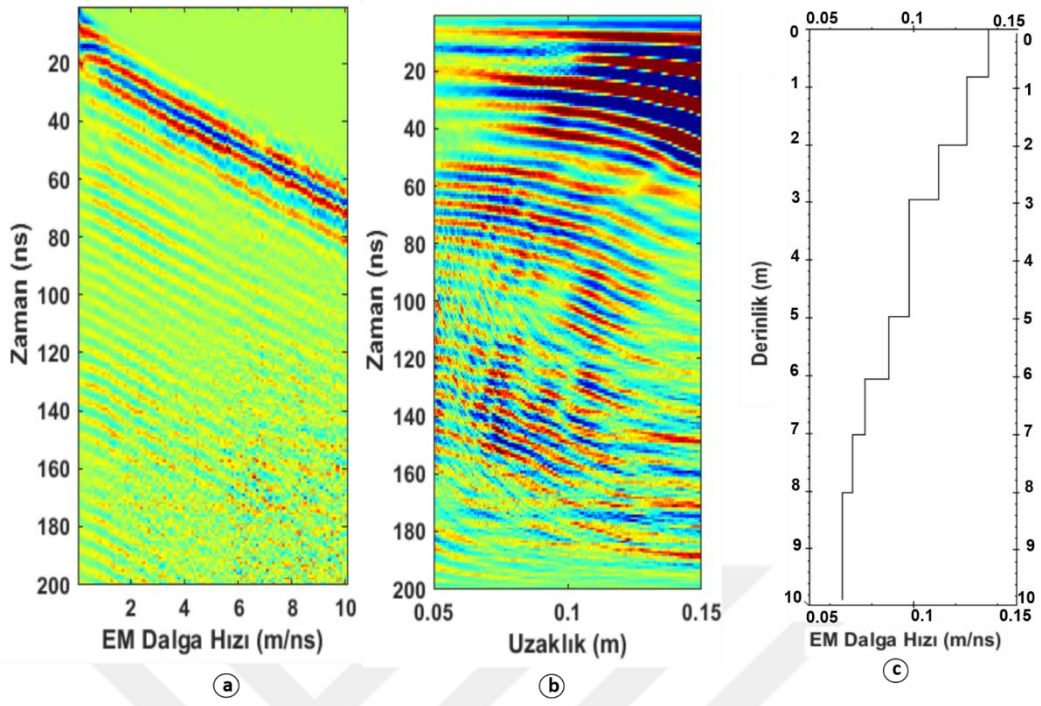
Şekil 2.30. (a) Alan 1 profil 4’de 4. nokta üzerinde OON ile toplanmış GPR verisinden elde edilen radargram (b) Benzetim penceresi (c) 1B hız-derinlik modeli



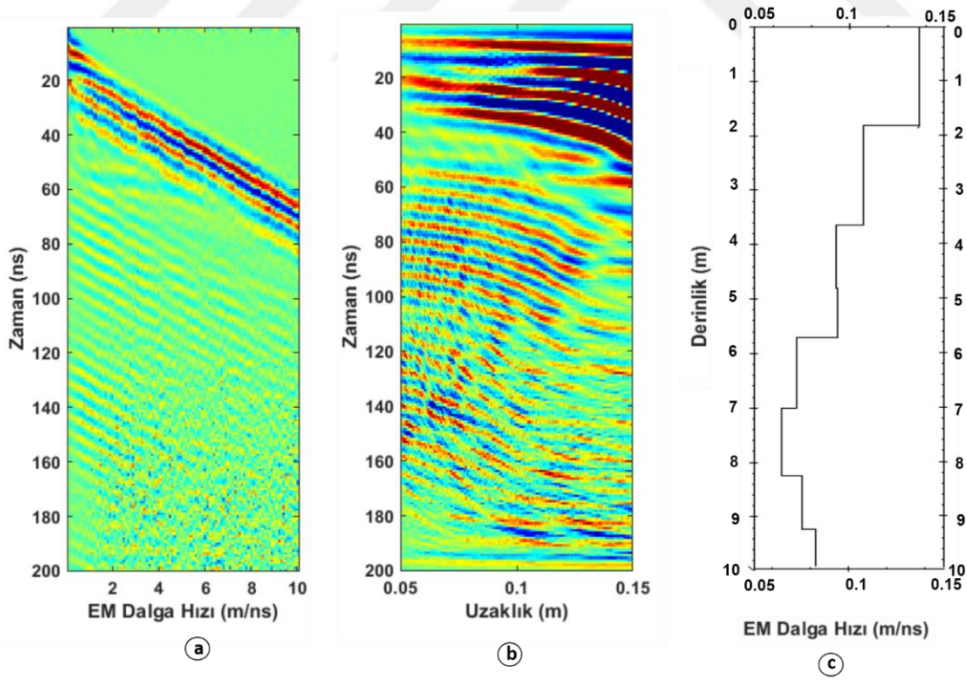
Şekil 2.31. (a) Alan 1 profil 4'de 5. nokta üzerinde OON ile toplanmış GPR verisinden elde edilen radargram (b) Benzetim penceresi (c) 1B hız-derinlik modeli



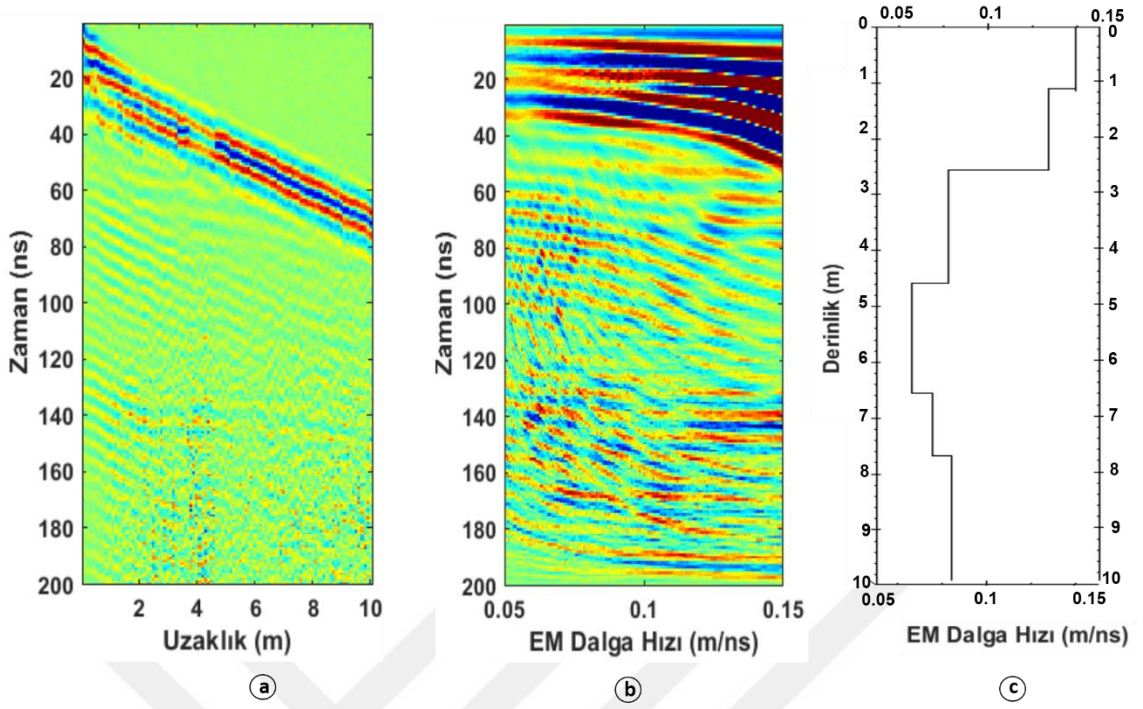
Şekil 2.32. (a) Alan 1 profil 4'de 6. nokta üzerinde OON ile toplanmış GPR verisinden elde edilen radargram (b) Benzetim penceresi (c) 1B hız-derinlik modeli



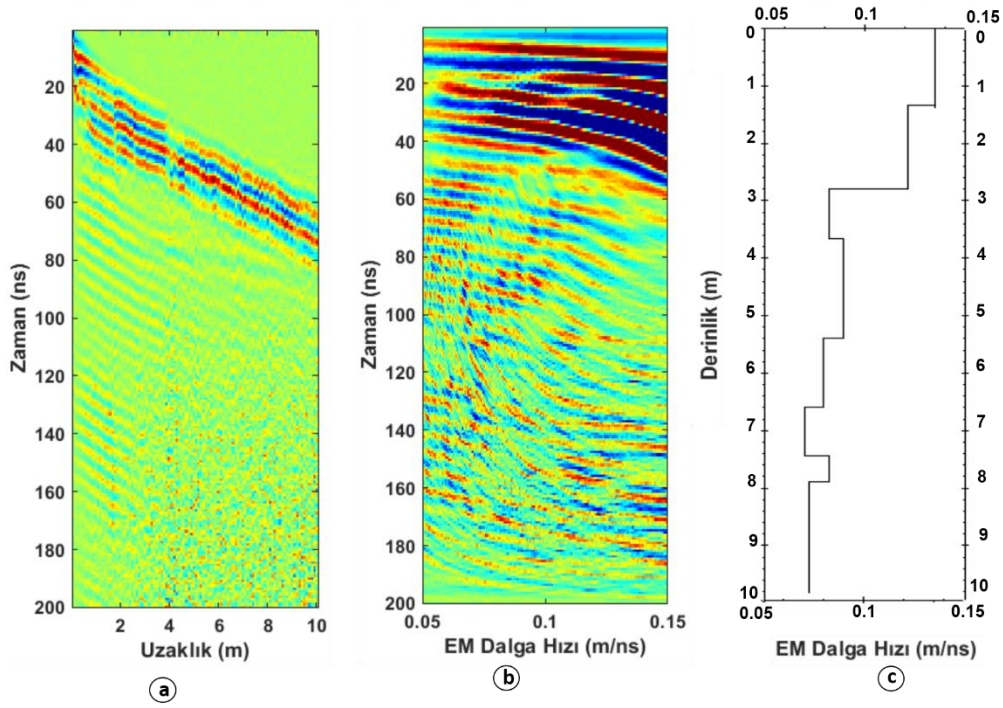
Şekil 2.33. (a) Alan 1 profil 4'de 7. nokta üzerinde OON ile toplanmış GPR verisinden elde edilen radargram (b) Benzetim penceresi (c) 1B hız-derinlik modeli



Şekil 2.34. (a) Alan 1 profil 4'de 8. nokta üzerinde OON ile toplanmış GPR verisinden elde edilen radargram (b) Benzetim penceresi (c) 1B hız-derinlik modeli



Şekil 2.35. (a) Alan 1 profil 4’de 9. nokta üzerinde OON ile toplanmış GPR verisinden elde edilen radargram (b) Benzetim penceresi (c) 1B hız-derinlik modeli



Şekil 2.36. (a) Alan 1 profil 4’de 10. nokta üzerinde OON ile toplanmış GPR verisinden elde edilen radargram (b) Benzetim penceresi (c) 1B hız-derinlik modeli

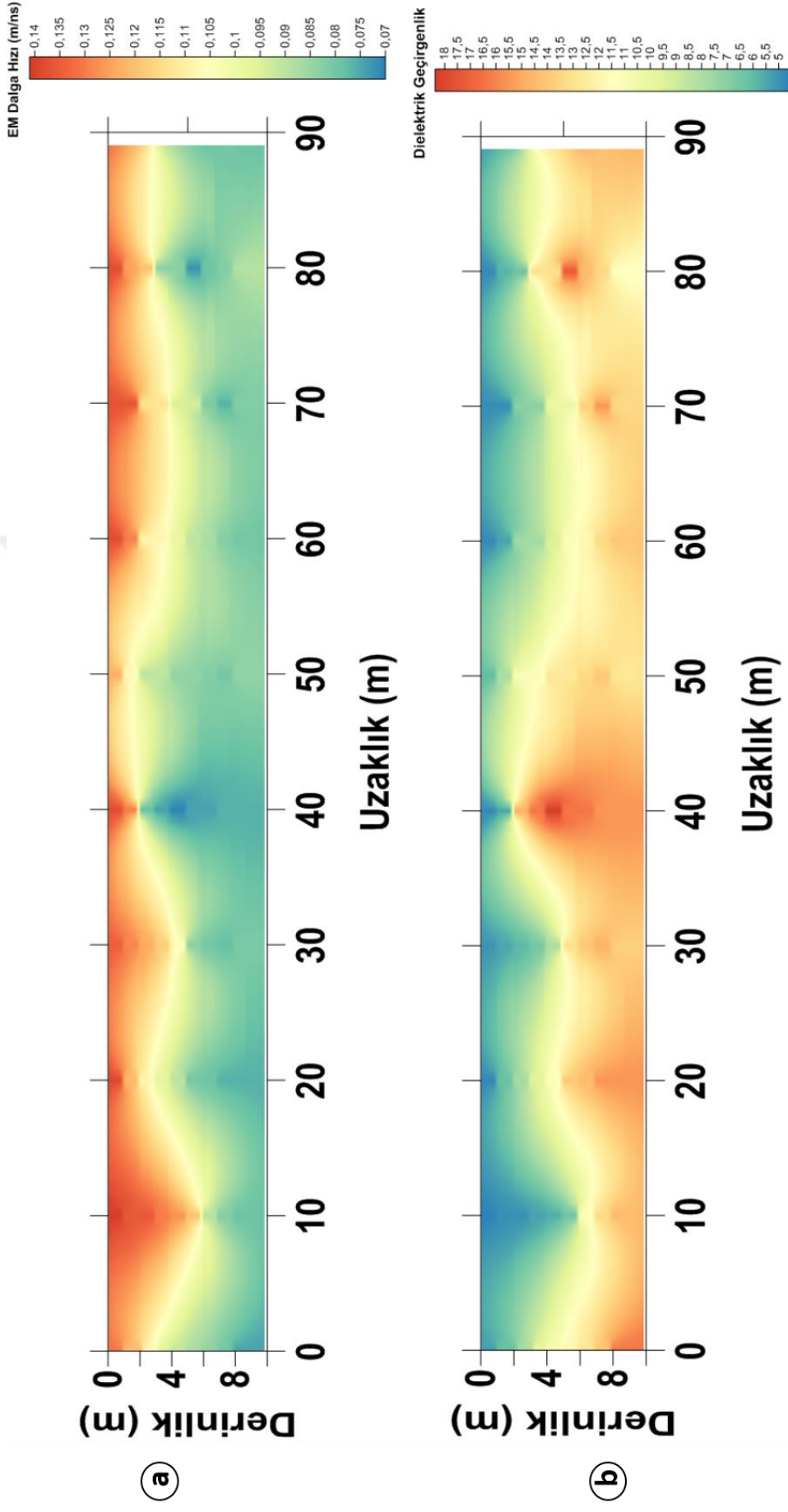
Alan 1 profil 4'te DB yönlü 10 m ölçüm aralıkları ile 10 noktada yapılan OON ölçümlerinden elde edilen derinlik ve EM dalga hızları tablo 2.5'te verilmiştir.

Tablo 2.5. Aşan 1 profil 4'te 10 noktaya ait derinlik ve EM dalga hızları

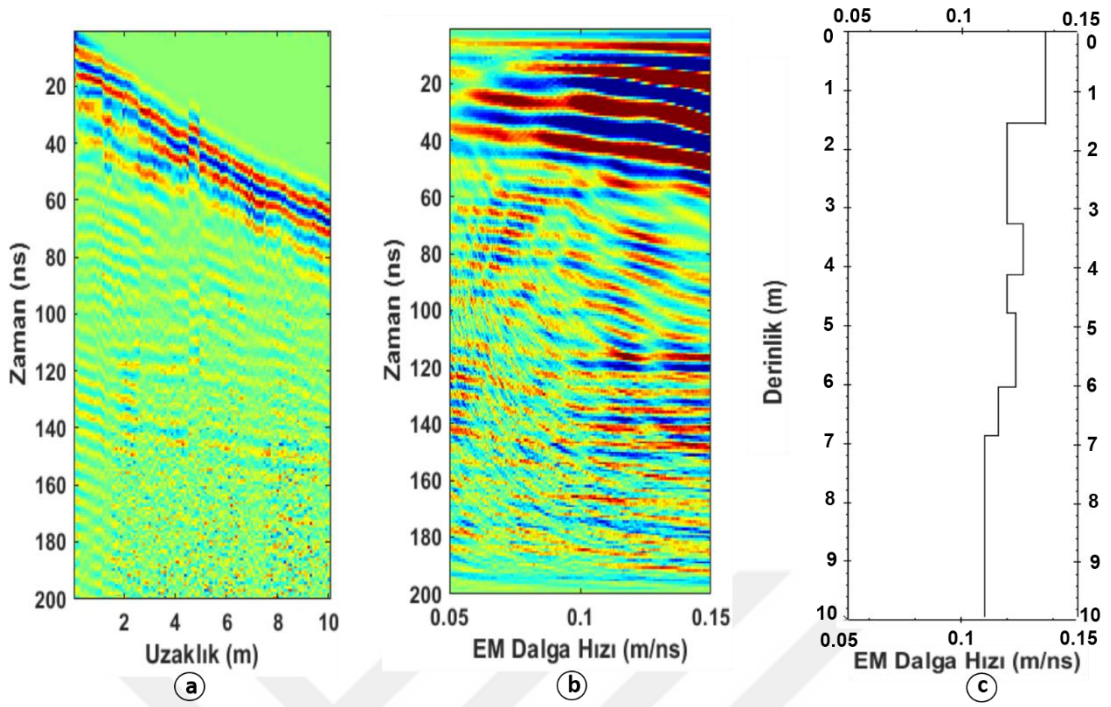
Derinlik (m)	1.nokta EM Dalga Hızı (m/ns)	2.nokta EM Dalga Hızı (m/ns)	3.nokta EM Dalga Hızı (m/ns)	4.nokta EM Dalga Hızı (m/ns)	5.nokta EM Dalga Hızı (m/ns)
0-1	0.131	0.141	0.145	0.135	0.138
1-2	0.121	0.136	0.121	0.129	0.13
2-3	0.107	0.136	0.108	0.124	0.078
3-4	0.095	0.13	0.097	0.118	0.074
4-5	0.091	0.127	0.09	0.107	0.07
5-6	0.087	0.12	0.08	0.083	0.074
6-7	0.084	0.089	0.079	0.08	0.074
7-8	0.08	0.082	0.077	0.078	0.076
8-9	0.074	0.079	0.076	0.081	0.076
9-10	0.074	0.079	0.076	0.081	0.076
Derinlik (m)	6.nokta EM Dalga Hızı (m/ns)	7.nokta EM Dalga Hızı (m/ns)	8.nokta EM Dalga Hızı (m/ns)	9.nokta EM Dalga Hızı (m/ns)	10.nokta EM Dalga Hızı (m/ns)
0-1	0.123	0.138	0.137	0.138	0.132
1-2	0.107	0.13	0.137	0.125	0.124
2-3	0.09	0.108	0.113	0.12	0.124
3-4	0.09	0.108	0.113	0.083	0.082
4-5	0.084	0.098	0.094	0.083	0.085
5-6	0.084	0.09	0.094	0.072	0.08
6-7	0.082	0.087	0.081	0.079	0.076
7-8	0.08	0.082	0.076	0.082	0.081
8-9	0.084	0.08	0.082	0.089	0.078
9-10	0.084	0.08	0.082	0.089	0.078

10 noktada alınan OON ölçümlerinden elde edilen 1 boyutlu hız derinlik kesitlerinde EM dalganın 0.137 m/ns hızından başlayarak derinlikle beraber zaman zaman artarak ve zaman zaman azalarak 0.078 m/ns hızına düştüğü gözlenmektedir

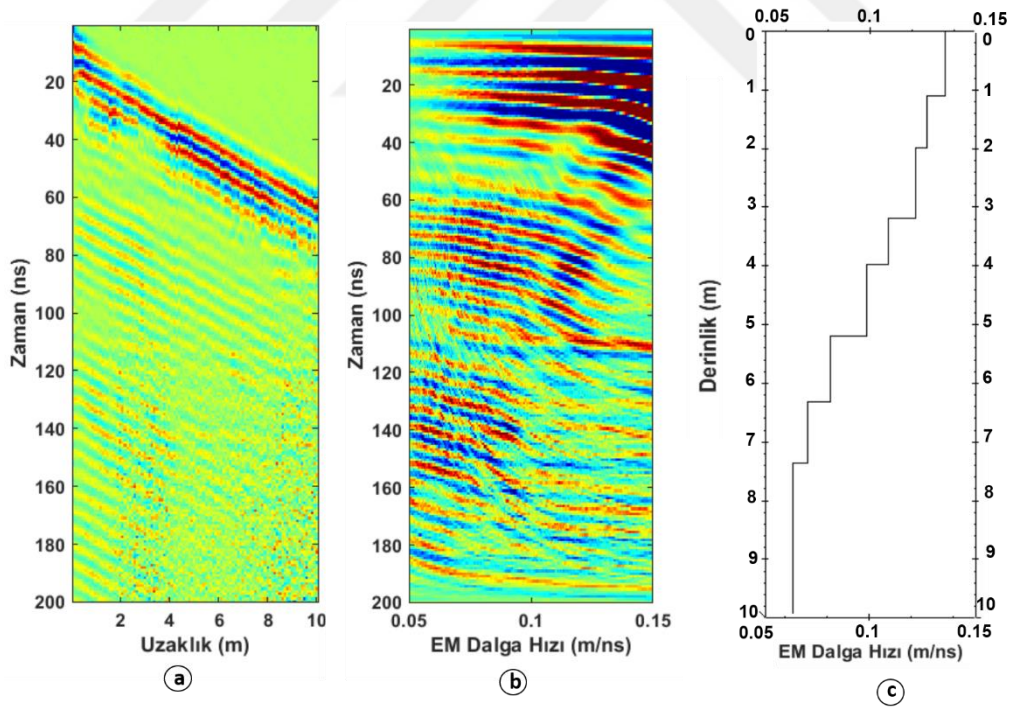
Profil 4'deki 10 noktadan toplanan OON verilerinin değerlendirilmesi ile elde edilen 1 boyutlu-hız derinlik kesitlerinin birleştirilmesi ile oluşan 2 boyutlu hız-derinlik kesiti (Şekil 2.38) 90 m uzunluğundadır. Bu kesitte profilin başlangıcından 10 m uzaklığa kadar 5-6 m derinliğe inen 0.125-0.14 m/ns arasında değişen yüksek EM dalga hızı değişim alanı dikkat çekmektedir. 40-60 m uzaklıkları arasında bu yüksek hızlar sığlaşarak 1 m derinliğe gelmiştir. 60 m uzaklıktan profil sonuna kadar ise yüksek hız bölgesi 2 m derinliklerde seyretmiştir. 6 m den daha derinlere inildikçe EM dalga hızının azaldığı (0.07-0.085 m/ns) görülmektedir. Elde edilen dielektrik geçirgenlik-derinlik kesitinde ise dielektrik geçirgenlik 5-18 arasında değişirken 40 m uzaklıkta ve 4 m derinlikte en yüksek dielektrik geçirgenlik değeri gözlenmektedir.



Şekil 2.37. Alan 1 profil 4'de 10 noktada toplanan OON ölçümleri ile elde edilen (a) 2B hız-derinlik kesiti (b) 2B dielektrik geçirgenlik-derinlik kesiti

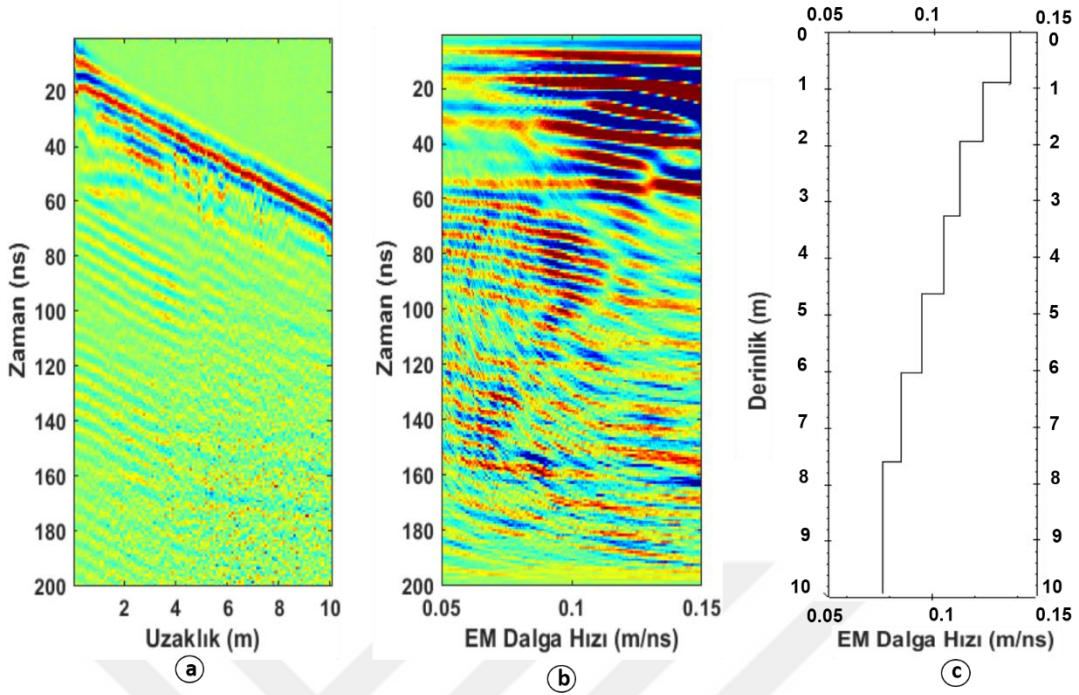


Şekil 2.38. (a) Alan 1 profil 5’de 1. nokta üzerinde OON ile toplanmış GPR verisinden elde edilen radargram (b) Benzetim penceresi (c) 1B hız-derinlik modeli

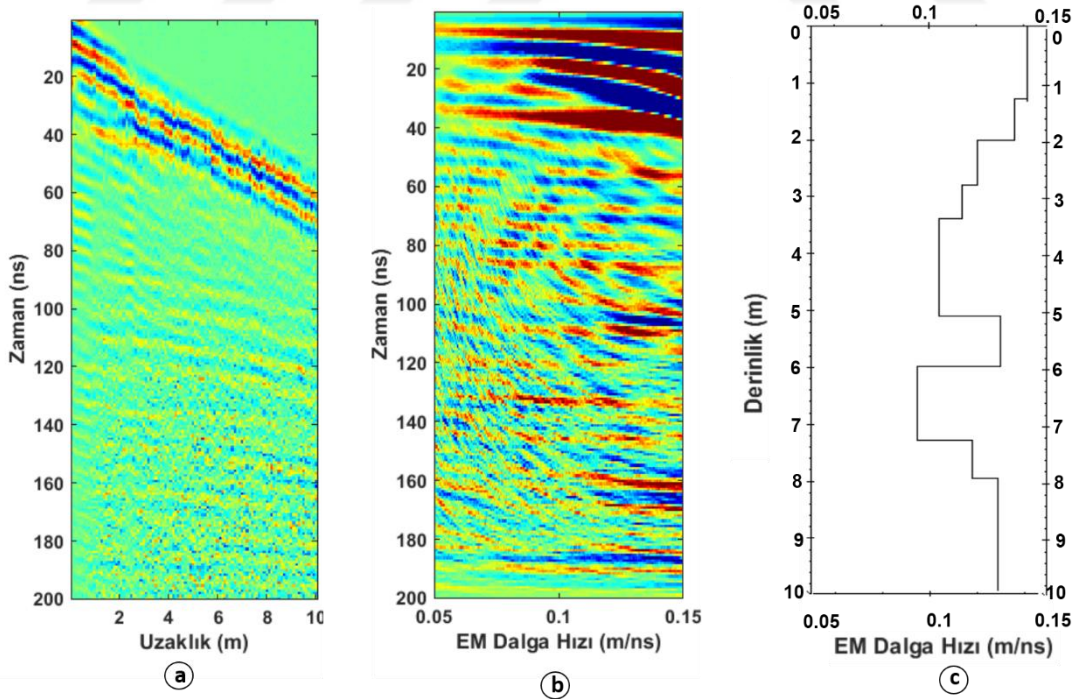


Şekil 2.39. (a) Alan 1 profil 5’de 2. nokta üzerinde OON ile toplanmış GPR verisinden elde edilen radargram (b) Benzetim penceresi (c) 1B hız-derinlik modeli

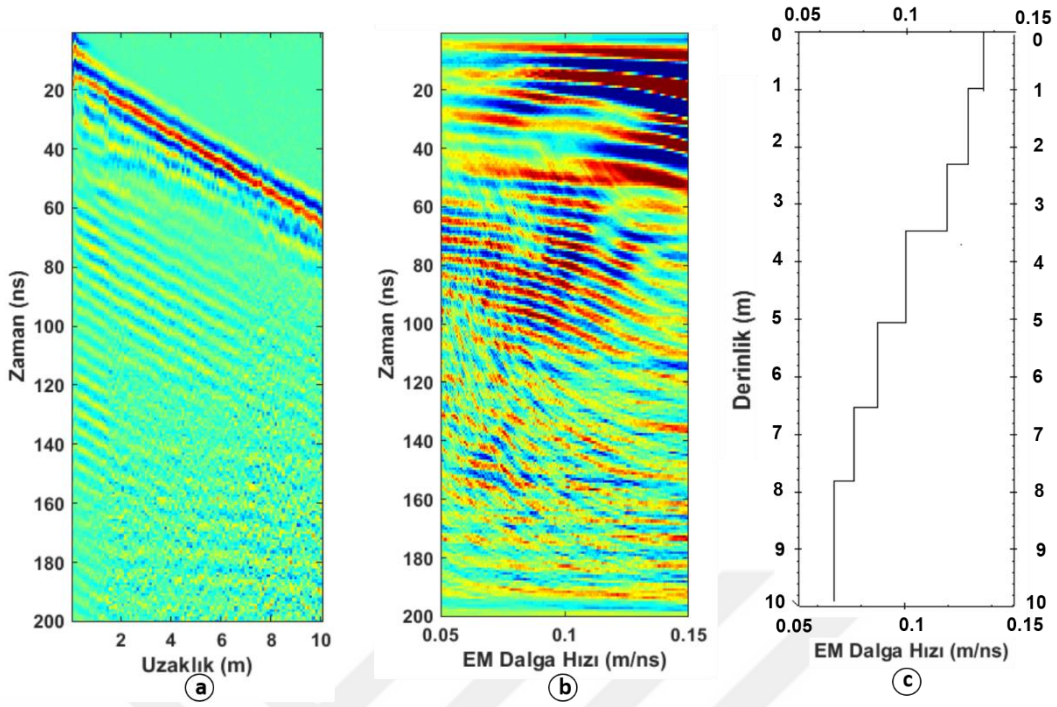




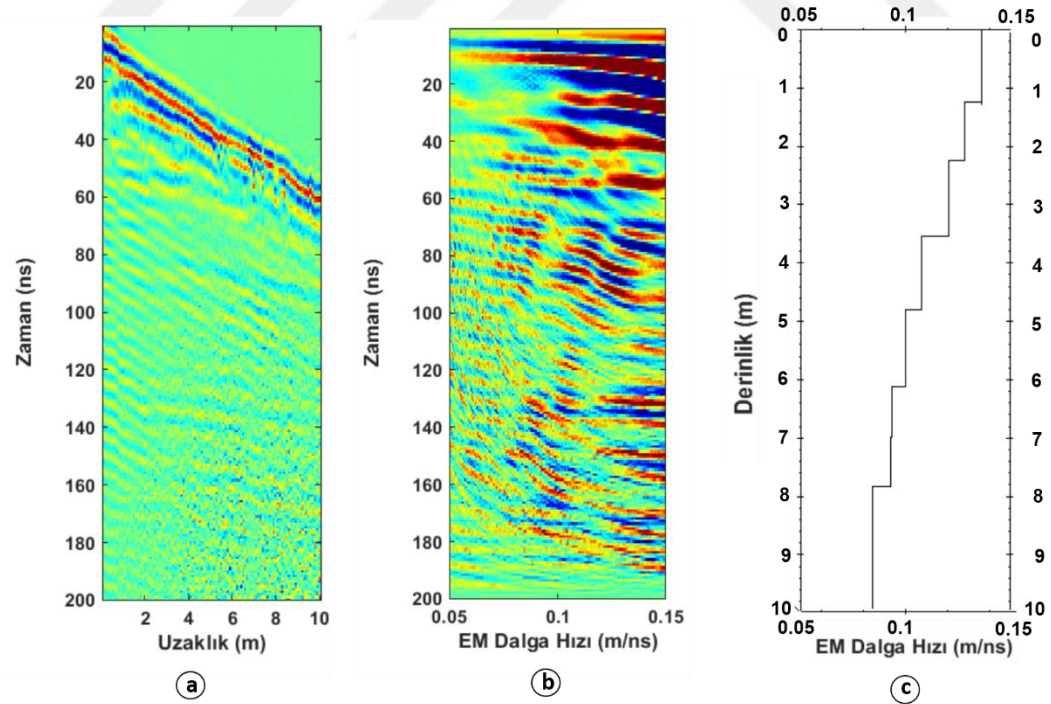
Şekil 2.40. (a) Alan 1 profil 5’de 3. nokta üzerinde OON ile toplanmış GPR verisinden elde edilen radargram (b) Benzetim penceresi (c) 1B hız-derinlik modeli



Şekil 2.41. (a) Alan 1 profil 5’de 4. nokta üzerinde OON ile toplanmış GPR verisinden elde edilen radargram (b) Benzetim penceresi (c) 1B hız-derinlik modeli



Şekil 2.42. (a) Alan 1 profil 5’de 5. nokta üzerinde OON ile toplanmış GPR verisinden elde edilen radargram (b) Benzetim penceresi (c) 1B hız-derinlik modeli



Şekil 2.43. (a) Alan 1 profil 5’de 6. nokta üzerinde OON ile toplanmış GPR verisinden elde edilen radargram (b) Benzetim penceresi (c) 1B hız-derinlik modeli

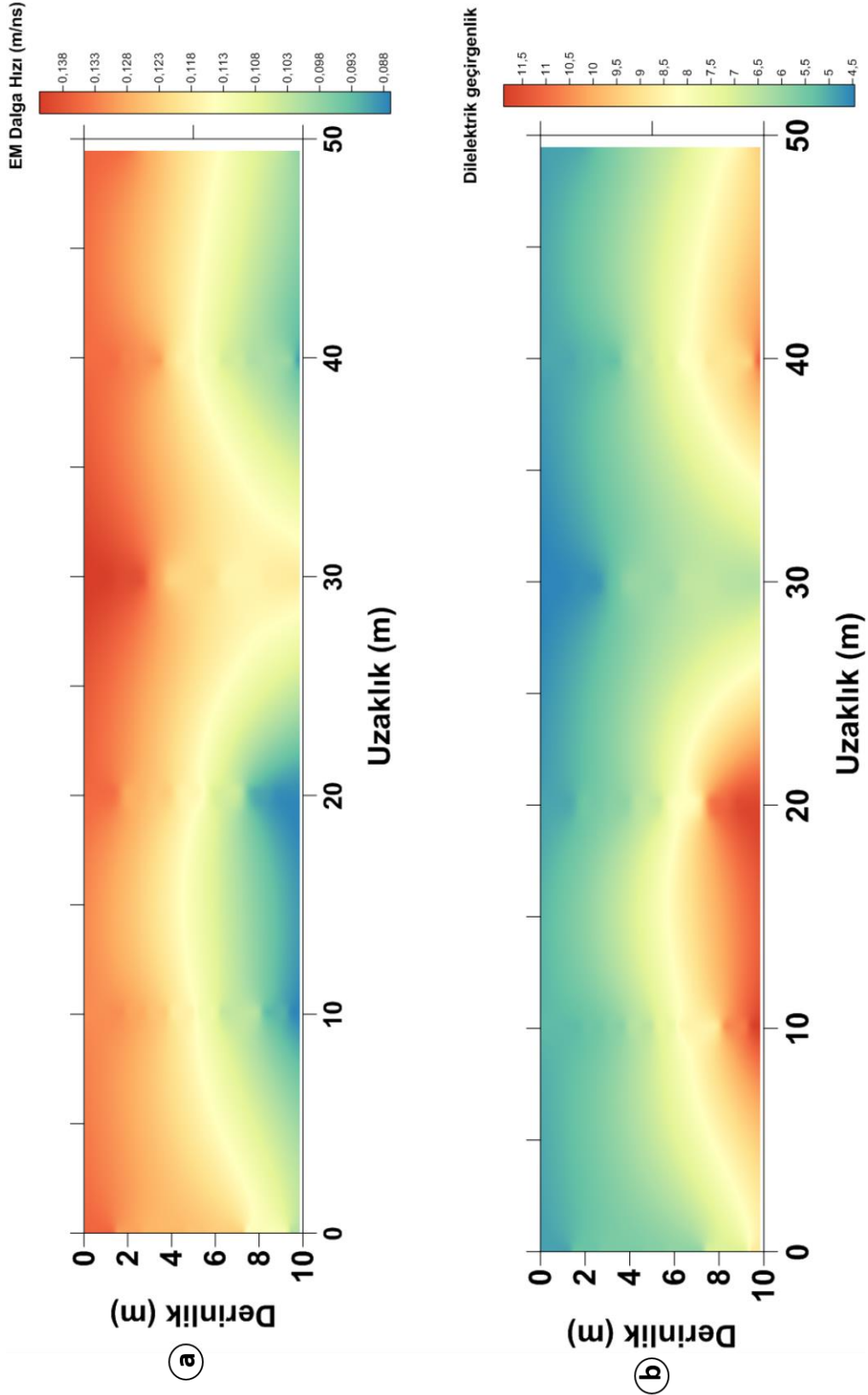
Alan 1 profil 5'te DB yönlü 10 m ölçüm aralıkları ile 6 noktada yapılan OON ölçümlerinden elde edilen derinlik ve EM dalga hızları tablo 2.6'da verilmiştir.

Tablo 2.6. Alan 1 profil 5'de 6 noktaya ait derinlik ve EM dalga hızları

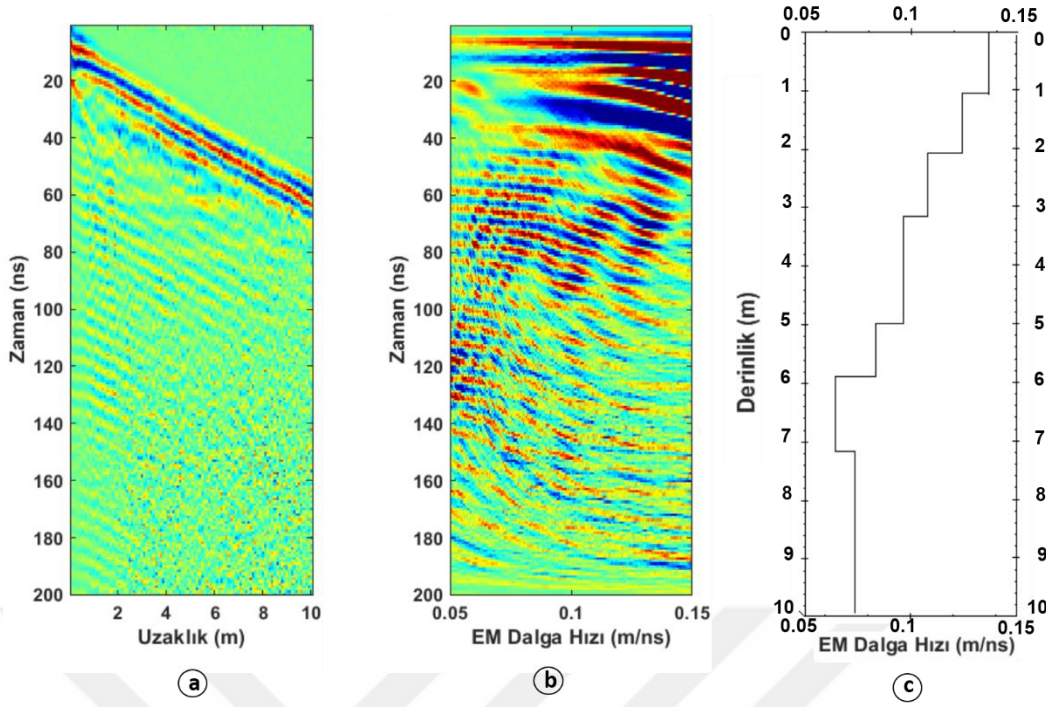
Derinlik (m)	1.nokta EM Dalga Hızı (m/ns)	2.nokta EM Dalga Hızı (m/ns)	3.nokta EM Dalga Hızı (m/ns)	4.nokta EM Dalga Hızı (m/ns)	5.nokta EM Dalga Hızı (m/ns)	6.nokta EM Dalga Hızı (m/ns)
0-1	0.136	0.137	0.135	0.139	0.137	0.135
1-2	0.121	0.13	0.124	0.13	0.131	0.127
2-3	0.121	0.121	0.114	0.119	0.123	0.122
3-4	0.125	0.114	0.107	0.11	0.107	0.115
4-5	0.121	0.107	0.093	0.107	0.107	0.11
5-6	0.124	0.086	0.089	0.128	0.087	0.108
6-7	0.119	0.082	0.082	0.098	0.082	0.094
7-8	0.12	0.078	0.08	0.118	0.079	0.089
8-9	0.12	0.078	0.076	0.121	0.076	
9-10	0.12	0.078	0.076	0.121	0.076	

Toplam 6 noktada alınan OON ölçümlerinden elde edilen 1 boyutlu hız derinlik kesitlerinde EM dalganın 0.138 m/ns hızından başlayarak derinlikle beraber 0.074 m/ns hızına düştüğü gözlenmektedir.

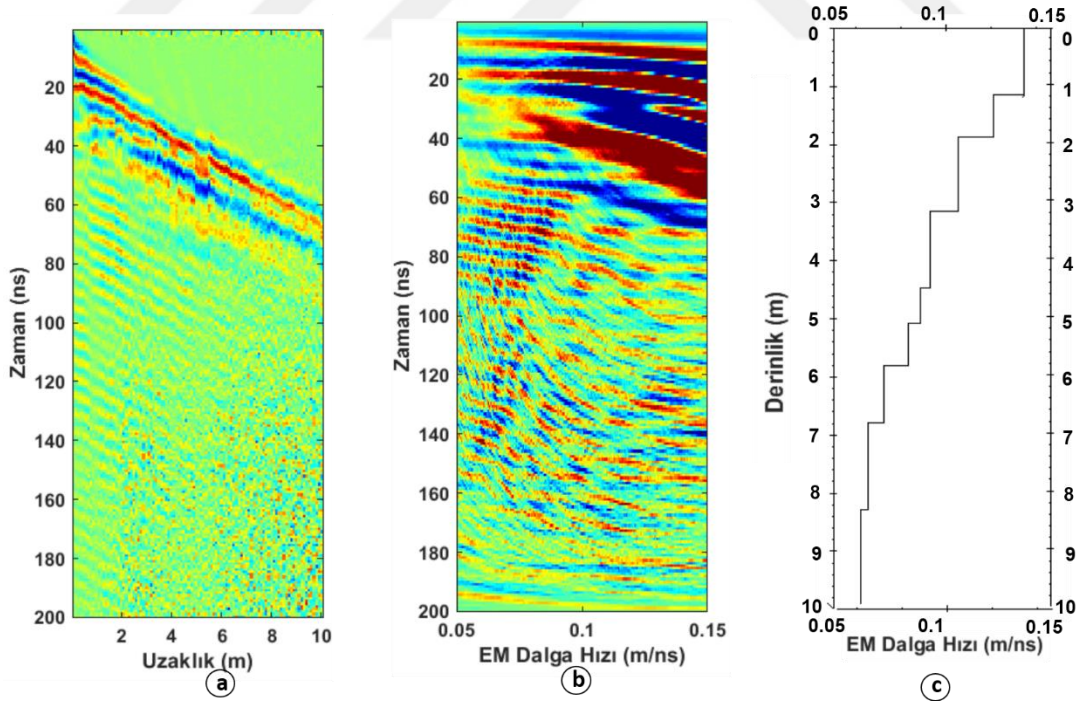
Profil 5'deki 6 noktadan toplanan OON verilerinin değerlendirilmesi ile elde edilen 1 boyutlu-hız derinlik kesitlerinin birleştirilmesi ile oluşan 2 boyutlu hız-derinlik kesiti 50 m uzunluğundadır. Bu kesitte yüksek EM dalga hızı hemen hemen tüm profilde ve derinliklerde dikkat çekmektedir. Buna karşılık 10-25 m uzaklıklarda ve 7-10 m derinlikleri ile 35-50 m uzaklıkları ve 7-10 m derinlikleri arasında ise 0.088-0.096 m/ns aralığında değişen düşük EM hızlı alanlar dikkat çekmektedir. Elde edilen dielektrik geçirgenlik- derinlik kesitinde ise 10-25 m uzaklıklarda ve 7-10 m derinlikleri ile 35-50 m uzaklıkları ve 7-10 m derinlikleri arasında ise 9.5-11.5 arasında değişen dielektrik geçirgenlik değeri görülmektedir.



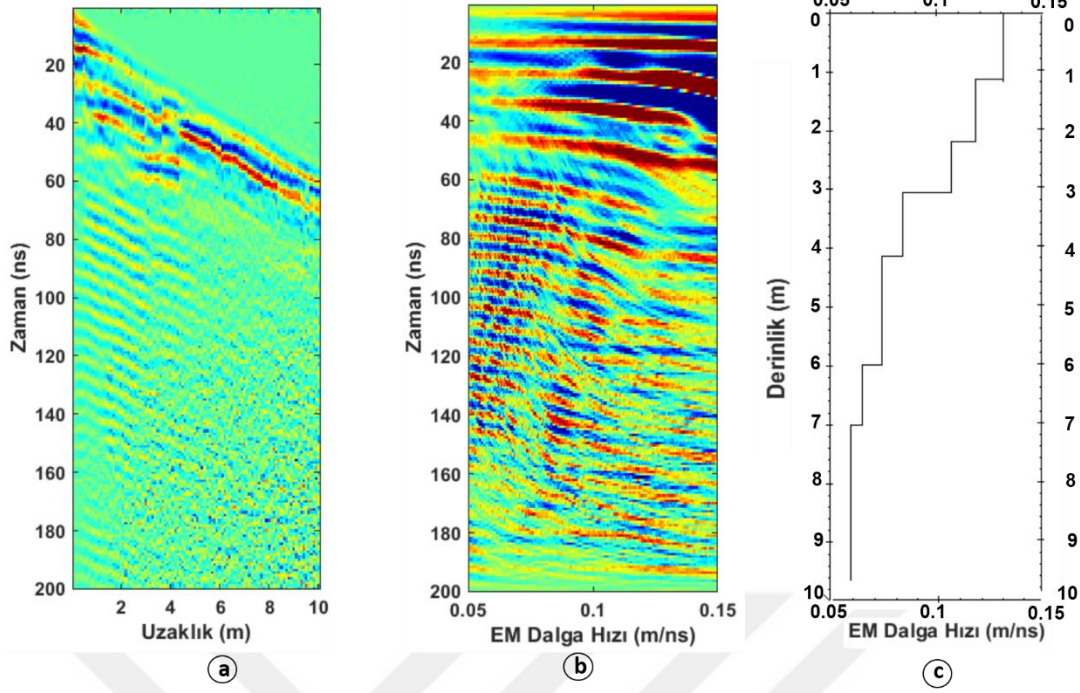
Şekil 2.44. Alan 1 profil 5'de 6 noktada toplanan OON ölçümleri ile elde edilen (a) 2B hız-derinlik kesiti (b) 2B dielektrik geçirgenlik-derinlik kesiti



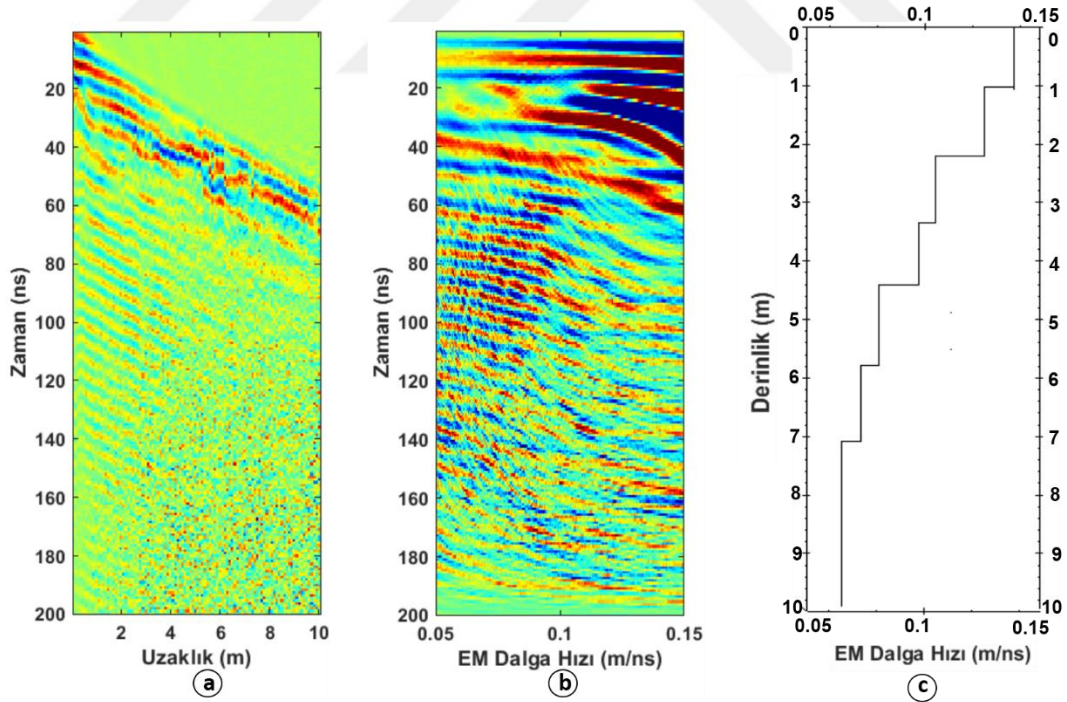
Şekil 2.45. (a) Alan 1 profil 6'da 1. nokta üzerinde OON ile toplanmış GPR verisinden elde edilen radargram (b) Benzetim penceresi (c) 1B hız-derinlik modeli



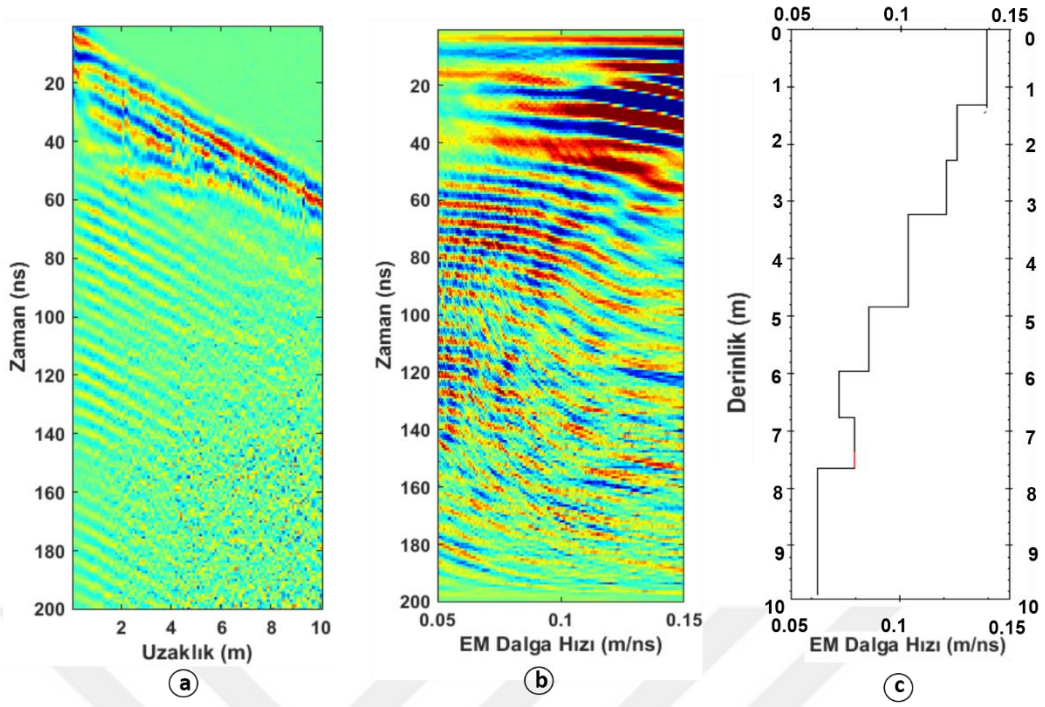
Şekil 2.46. (a) Alan 1 profil 6'da 2. nokta üzerinde OON ile toplanmış GPR verisinden elde edilen radargram (b) Benzetim penceresi (c) 1B hız-derinlik modeli



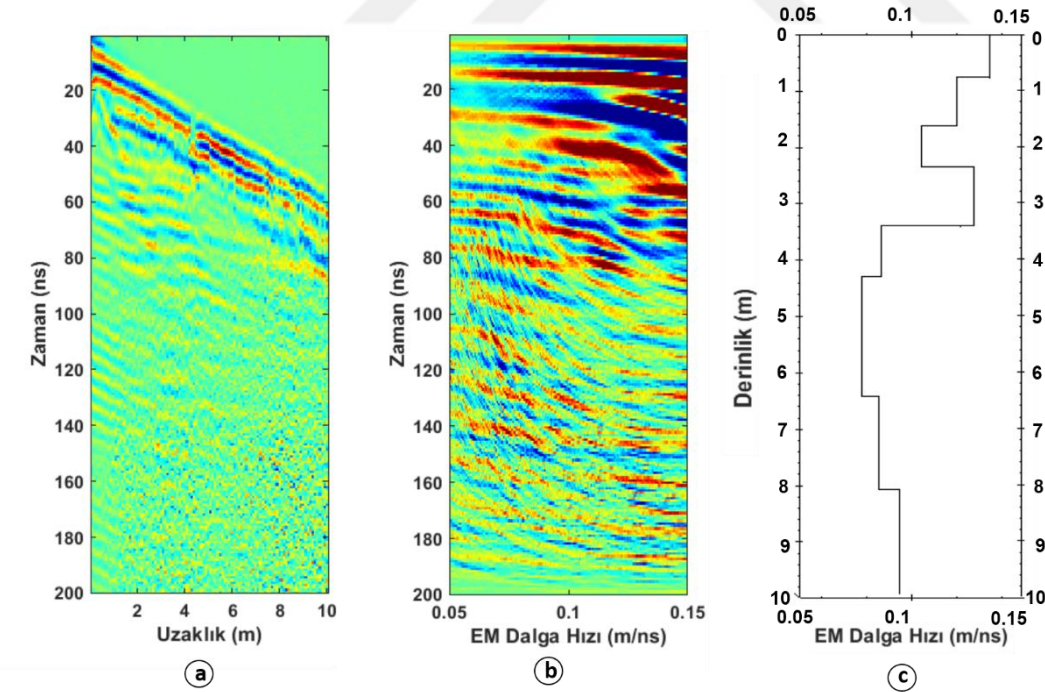
Şekil 2.47. (a) Alan 1 profil 6'da 3. nokta üzerinde OON ile toplanmış GPR verisinden elde edilen radargram (b) Benzetim penceresi (c) 1B hız-derinlik modeli



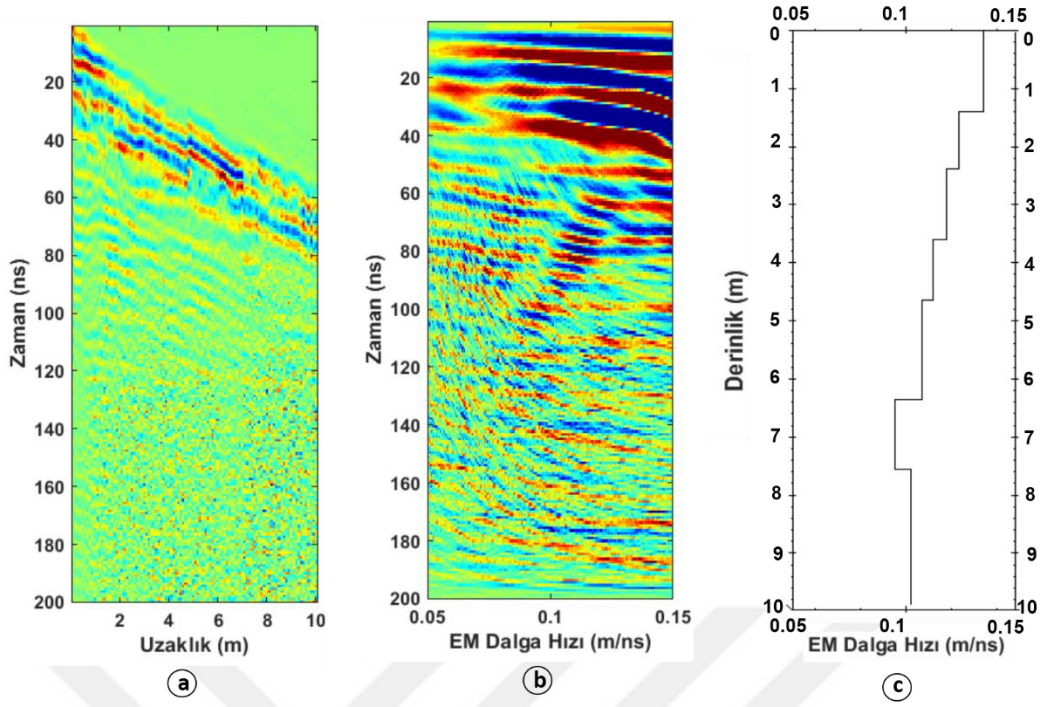
Şekil 2.48. (a) Alan 1 profil 6'da 4. nokta üzerinde OON ile toplanmış GPR verisinden elde edilen radargram (b) Benzetim penceresi (c) 1B hız-derinlik modeli



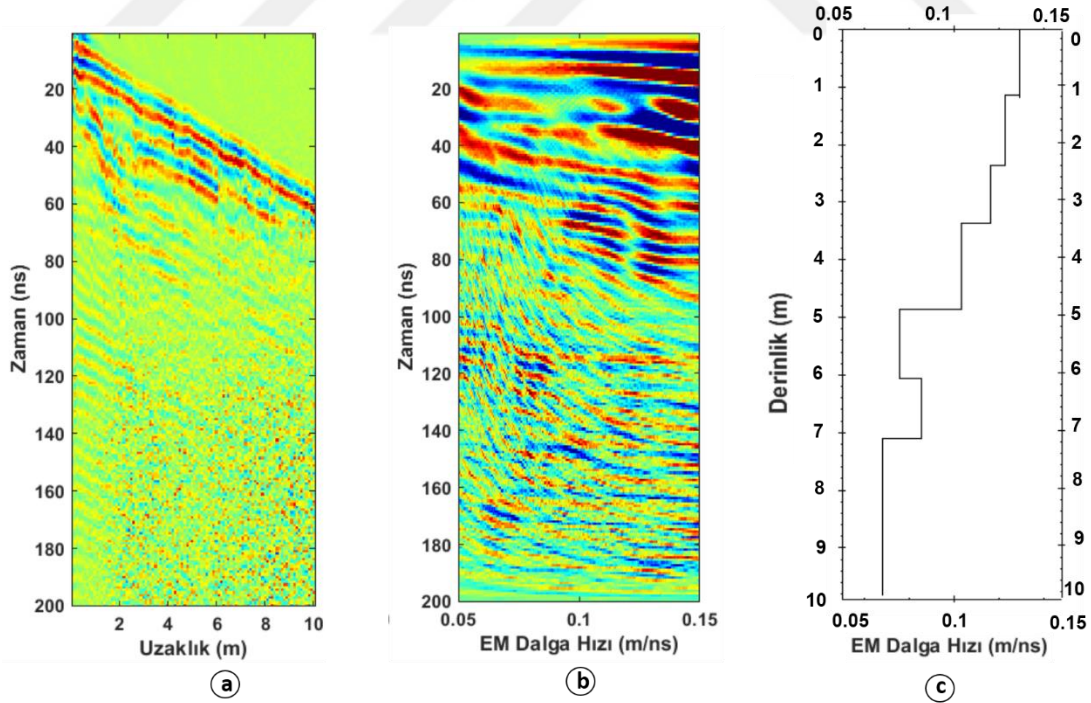
Şekil 2.49. (a) Alan 1 profil 6'da 5. nokta üzerinde OON ile toplanmış GPR verisinden elde edilen radargram (b) Benzetim penceresi (c) 1B hız-derinlik modeli



Şekil 2.50. (a) Alan 1 profil 6'da 6. nokta üzerinde OON ile toplanmış GPR verisinden elde edilen radargram (b) Benzetim penceresi (c) 1B hız-derinlik modeli



Şekil 2.51. (a) Alan 1 profil 6'da 7. nokta üzerinde OON ile toplanmış GPR verisinden elde edilen radargram (b) Benzetim penceresi (c) 1B hız-derinlik modeli



Şekil 2.52. (a) Alan 1 profil 6'da 8. nokta üzerinde OON ile toplanmış GPR verisinden elde edilen radargram (b) Benzetim penceresi (c) 1B hız-derinlik modeli

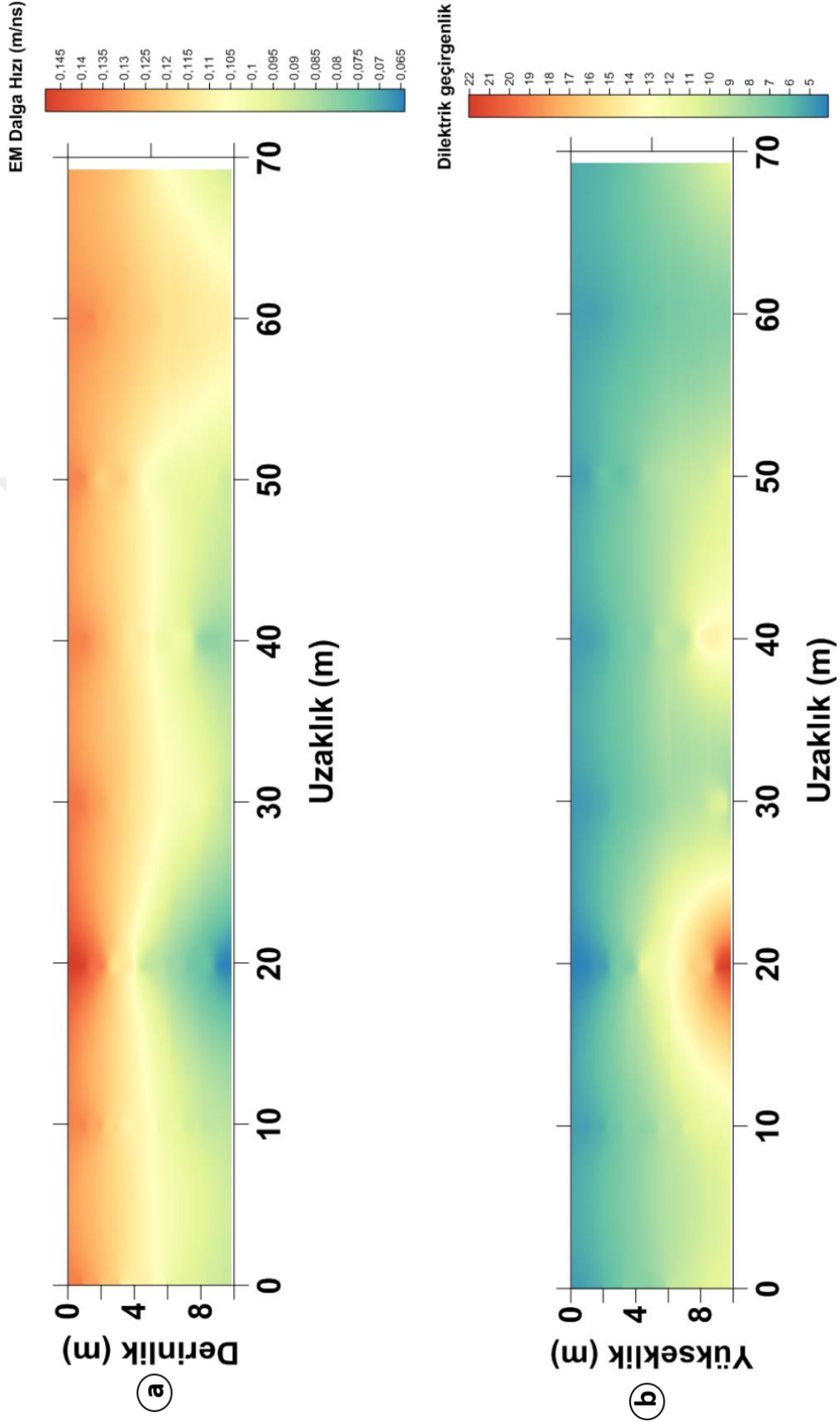


Alan 1 profil 6'da DB yönlü 10 m ölçüm aralıkları ile 8 noktada yapılan OON ölçümlerinden elde edilen derinlik ve EM dalga hızlar tablo 2.7'de verilmiştir.

Tablo 2.7. Alan 1 profil 6'da 8 noktaya ait derinlik ve EM dalga hızları

Derinlik (m)	1.nokta EM Dalga Hızı (m/ns)	2.nokta EM Dalga Hızı (m/ns)	3.nokta EM Dalga Hızı (m/ns)	4.nokta EM Dalga Hızı (m/ns)	5.nokta EM Dalga Hızı (m/ns)	6.nokta EM Dalga Hızı (m/ns)	7.nokta EM Dalga Hızı (m/ns)	8.nokta EM Dalga Hızı (m/ns)
0-1	0.135	0.134	0.138	0.139	0.139	0.134	0.138	0.137
1-2	0.129	0.128	0.121	0.129	0.121	0.112	0.121	0.13
2-3	0.119	0.118	0.112	0.107	0.119	0.103	0.119	0.12
3-4	0.102	0.097	0.084	0.1	0.1	0.12	0.108	0.113
4-5	0.102	0.092	0.08	0.083	0.1	0.089	0.12	0.092
5-6	0.096	0.087	0.08	0.08	0.089	0.084	0.114	0.078
6-7	0.079	0.08	0.074	0.076	0.074	0.084	0.095	0.083
7-8	0.083	0.073	0.072	0.073	0.08	0.087	0.103	0.076
8-9	0.083	0.07	0.072	0.073	0.072	0.094	0.103	0.076
9-10	0.083	0.07	0.072	0.073	0.072	0.094	0.103	0.103

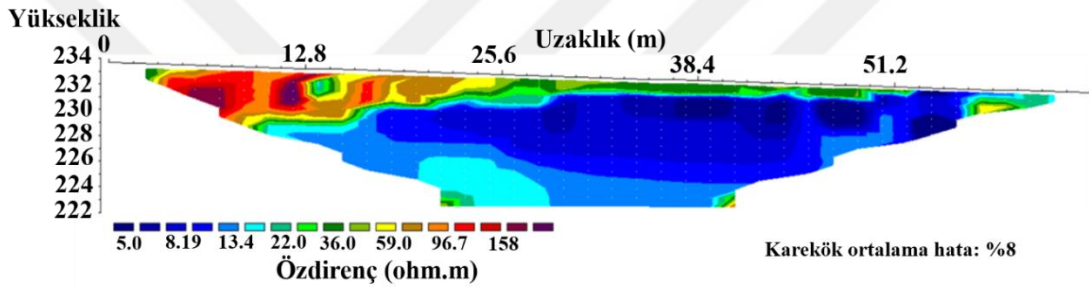
Profil 6'daki 8 noktada toplanan OON verilerinin değerlendirilmesi ile elde edilen 1 boyutlu-hız derinlik kesitlerinin birleştirilmesi ile oluşan 2 boyutlu hız-derinlik kesiti 70 m uzunluğundadır (Şekil 2.54). Bu kesitte profil 6'daki EM hız değişimindeki benzer şekilde sırasıyla 15-25 m uzaklıkları ve 40 m uzaklıklarında 6-10 m ve 8-10 m derinlikleri arasındaki düşük EM dalga hızı haricinde tüm kesitte 0.1-0.145 m /ns arasındaki yüksek EM dalga hızı dikkat çekmektedir. Burada 50 m uzaklığa kadar 4 m derinlik boyunca ve 55 m uzaklıklarından sonra ise de yaklaşık 10 m derinlik seviyelerine kadar EM dalga hızı 0.125-0.145 m/ns arasında en yüksek değerlere ulaşmıştır. Elde edilen dielektrik geçirgenlik- derinlik kesitinde ise 15-25 m uzaklıklarda ve 6-10 derinliklerinde 15-22 değerlerindeki dielektrik geçirgenlik alanı dikkat çekmektedir.



Şekil 2.53. Alan 1 Profil 6'daki 8 noktada toplanan OON ölçümleri ile elde edilen (a) 2B hız-derinlik kesiti (b) 2B dielektrik geçirgenlik-derinlik kesiti

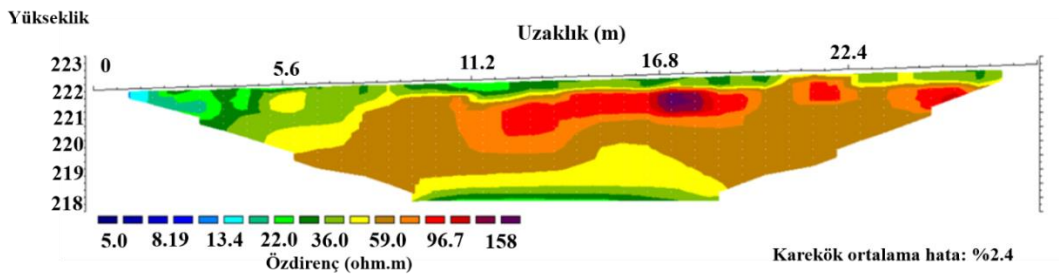
### 2.4.1.3. Alan 1 Elektrik Özdirenç Çalışmaları

Bu alanda 7 profilde (Şekil 2.9) elektrik özdirenç yöntemi kullanılarak veriler toplanmıştır. Bu veriler toplanırken ABEM Terrameter LS cihazı ile 41 elektrot kullanılmıştır. Toplanan verilerin ters çözümü, en küçük kareler ters çözüm tekniğine dayanan RES2DINV paket programı kullanılarak çözümlenmiştir ve yer altı kesitleri elde edilmiştir. Yeraltını iyi şekilde yansıtan dipol-dipol dizilimi verilmiştir. Ayrıca arazide yapılan ölçümlerde topografya bilgisine sahip olduğundan dolayı ters çözüm işleminde bu topografya hesaba katılmıştır. Ayrıca tüm kesitlerin karşılaştırılabilir olması için çizimde 5-200 ohm-m aralığı kullanılmıştır. Çalışma alanı 1'e ait elde edilen yer altı kesitleri şekil 2.54-2.60 de verilmiştir.



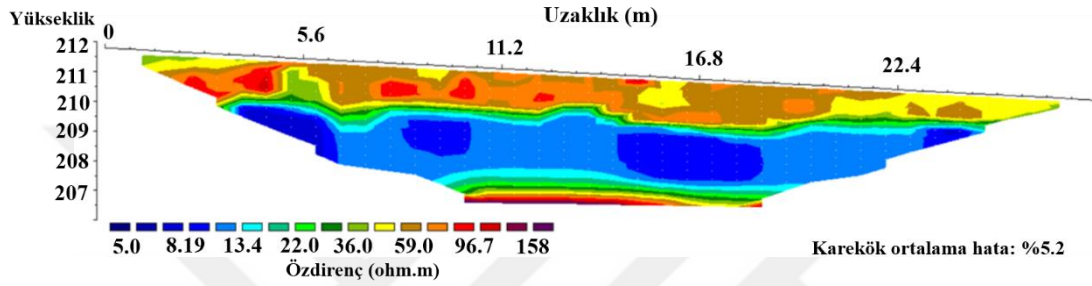
Şekil 2.54. Alan 1 profil 1'de Dipol-Dipol dizilimi ile elde edilen elektrik kesiti

Profil 1'in uzunluğu 64 m, elektrotlar arası mesafe 1.6 m olarak alınmıştır ve ölçümler GK yönlüdür. Alınan ölçümlerden yaklaşık 10 m derinliğe kadar inilmiştir. Kesitte genel olarak farklı öz direnç değişimleri gösteren iki alan mevcuttur. Profilin başlangıcından 25 m uzaklıklara kadar 4 m derinlikte başlayan ve batıya gittikçe sığlaşan 67-150 ohm.m arasında değişen yüksek öz dirençli bir alan dikkat çekmektedir. Profil başlangıcından 4-10 m derinlikleri arasından başlayarak profil sonlarına doğru sığlaşan ve 3-20 ohm.m öz dirençleri arasında değişen ikinci alan da gözlenmiştir. Ayrıca bu öz direnç seviyelerinde yaklaşık 40, 48, 55 m uzaklıklarında ve 3 m derinliklerinde düşük öz dirençli alanlar görülmektedir.



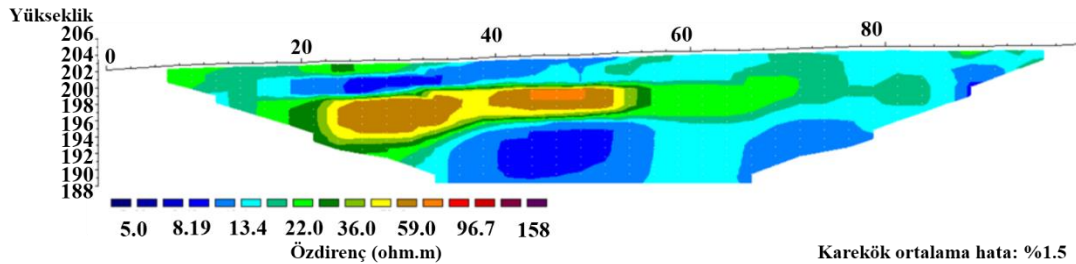
Şekil 2.55. Alan 1 profil 2'de Dipol-Dipol dizilimi ile elde edilen elektrik kesiti

Profil 2'nin uzunluğu 28 m, elektrotlar arası mesafe 0.7 m olarak alınmıştır ve ölçümler DB yönlüdür. Alınan ölçümlerden elde edilen yeraltı kesitinde en üstte 0-5 m ve 9-12 m uzaklıklarında ve 0.6 m derinliklerinde kalan olan kısımda 14-28 ohm.m arasında değişen düşük özdirenç değerine sahiptir. Bu derinliklerin altında profilin son kısımlarına kadar 39-77 ohm.m özdirenç değerlerine sahip alan görülmektedir. 17 m uzaklıklarında ve yaklaşık 7 m derinliğinden başlayıp 10 m uzaklığa kadar uzanan ve 10 m derinliğe giden bir yapı göze çarpmaktadır. Son olarak 9-18 m uzaklıklarında ve 3-4 m derinlikleri arasında özdirencin azaldığı görülmektedir.



Şekil 2.56. Alan 1 profil 3'te Dipol-Dipol dizilimi ile elde edilen elektrik kesiti

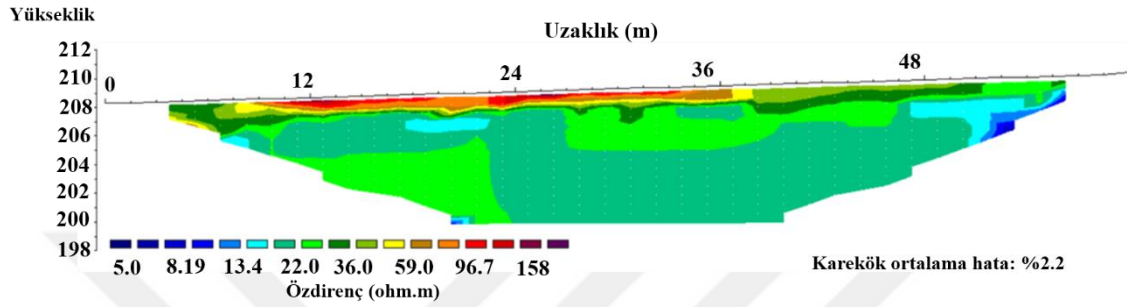
Profil 3'in uzunluğu da profil 2'ye benzer olarak 28 m, elektrotlar arası mesafe 0.7 m ve ölçümler DB yönlüdür. Alınan ölçümlerden elde edilen yeraltı kesitinde en üstte tüm profil boyunca ve 0-2 m derinliklerinde 68-150 ohm.m arasında yüksek özdirenç sahip olan bir kısım gözlenmektedir. Bu derinlerin altından 3.5 m derinliğe kadar yine tüm profil boyunca özdirenci 5-14 ohm.m arasında değişen düşük özdirençli kısım görülmektedir. Daha derine inildikçe de özdirencin tekrar yükseldiği bir kısım yaklaşık 5 m derinliğe kadar gözlenmiştir.



Şekil 2.57. Alan 1 profil 4'te Dipol-Dipol dizilimi ile elde edilen elektrik kesiti

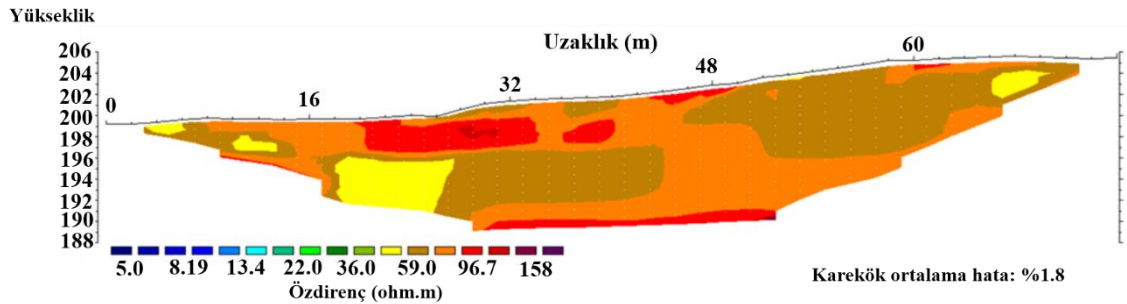
Profil 4'ün uzunluğu 100 m, elektrotlar arası mesafe 2.5 m olarak alınmıştır ve ölçümler DB yönlüdür. Alınan ölçümlerden yaklaşık 15 m derinliğe kadar inilmiştir. Bu kesit genel olarak üç kısma ayrılmıştır. İlk kısım 15 m uzaklardan başlayıp 70 m uzaklığa kadar uzanan ve yaklaşık 4 m derinliklere kadar inen düşük özdirenç sahip kısımdan

oluşmakta iken ikinci kısım profilin 50 m uzaklığına olan kısmında yaklaşık 11 m derinliğe kadar inen yüksek öz dirençli kısımdan oluşmaktadır. Üçüncü kısımda ise 10 m derinliklerin altında yine düşük öz dirence sahip kısımlardan oluşmaktadır. Profilin son kısımlarına doğru (78-100 m uzaklıkta) olan kısımlar tüm derinliklerde düşük öz dirence sahiptir.



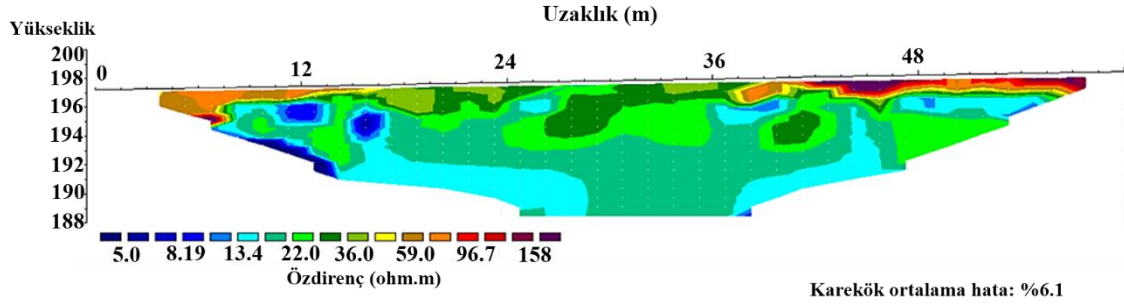
Şekil 2.58. Alan 1 profil 5'te Dipol-Dipol dizilimi ile elde edilen elektrik kesiti

Profil 5'in uzunluğu 60 m, elektrotlar arası mesafe 1.5 m olarak alınmıştır ve ölçümler DB yönlüdür. Alınan ölçümlerden yaklaşık 9 m derinliğe kadar inilmiştir. Bu kesitte 1.5 m derinliğe kadar kısımda 90-140 ohm.m arasında değişen yüksek öz dirençli kısımlar gözlenirken bu derinliğin altından 9 m lik geri kalan kısımda ise öz direnç değerleri 25-40 ohm.m arasında değişim göstermektedir. Ayrıca Profilin sonlarında 2.5-4 m derinlikleri arasında kalan düşük öz dirençli kısım da dikkat çekmektedir.



Şekil 2.59. Alan profil 6'da Dipol-Dipol dizilimi ile elde edilen elektrik kesiti

Profil 6'nın uzunluğu ise 80 m, elektrotlar arası mesafe 2 m olarak alınmıştır ve ölçümler yine DB yönlüdür. Bu ölçümlerde ise yaklaşık olarak 11 m nüfuz derinliğine inilmiştir. Burada topografya değişimi çok fazladır. Kesitte lokal olarak değişen düşük öz direnç bölgeleri gözlenmektedir. Profilin başlarında ve 48 m den sonlara kadar 5-6 m derinliklerinde düşük öz direnç değişimleri görülmektedir. 9 m derinliklerden sonra öz dirençler yeniden yükselmiştir.



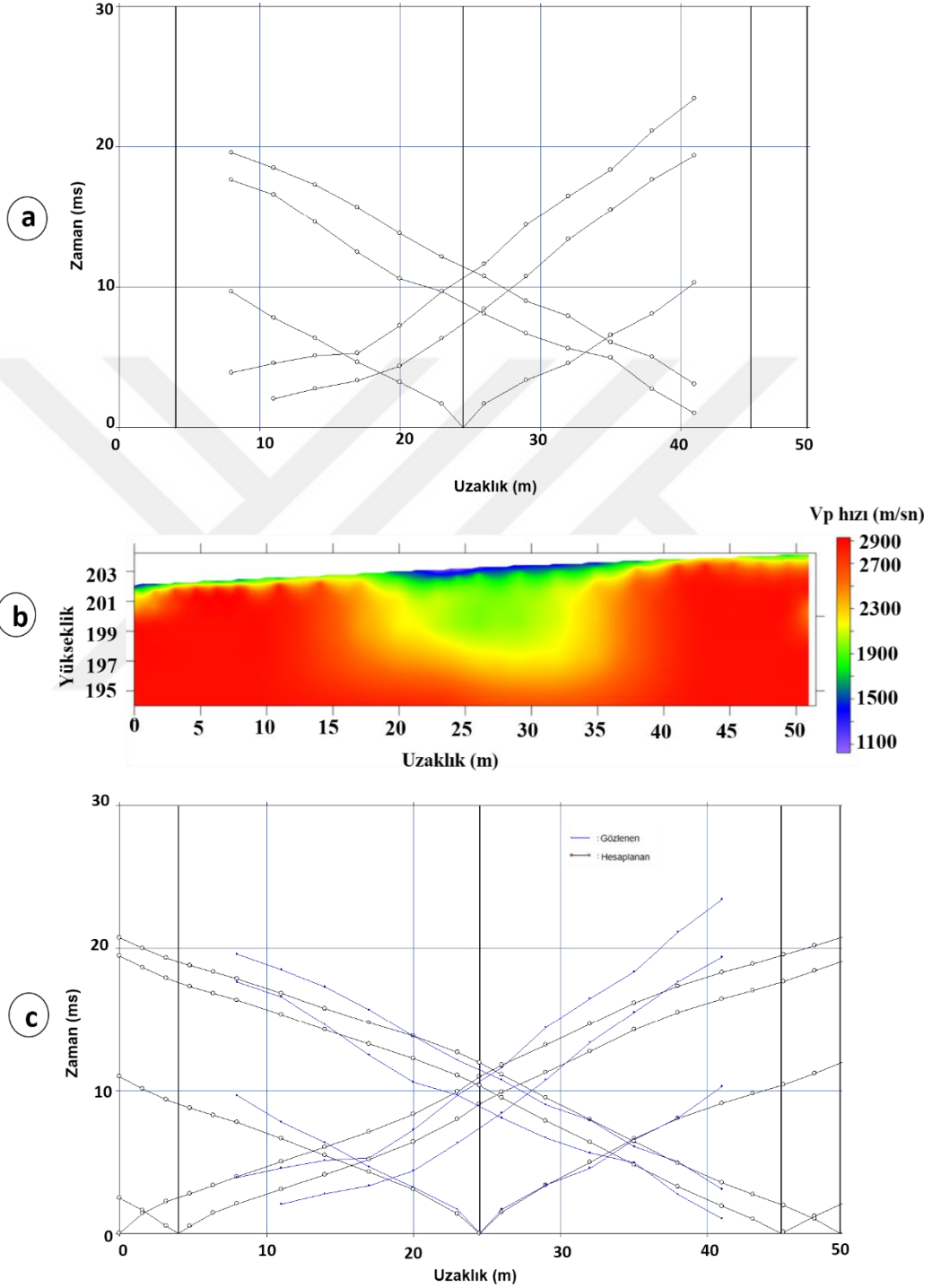
Şekil 2.60. Alan 1 profil 7’de Dipol-Dipol dizilimi ile elde edilen elektrik kesiti

Profil 7’in uzunluğu 60 m olup elektrotlar arası mesafe 1.5 m olarak alınmıştır ve ölçümler yine DB yönlüdür. Bu ölçümlerde ise yaklaşık olarak 8.5 m nüfuz derinliğine inilmiştir. Bu kesitte genel olarak lokal olarak düşük özdirenç değerleri dışında değerler 22-50 ohm.m aralığında değişmektedir. 40-60 m uzaklıklarında ve 1 m derinliklerinde yüksek özdirençli kısım dikkat çekmektedir.

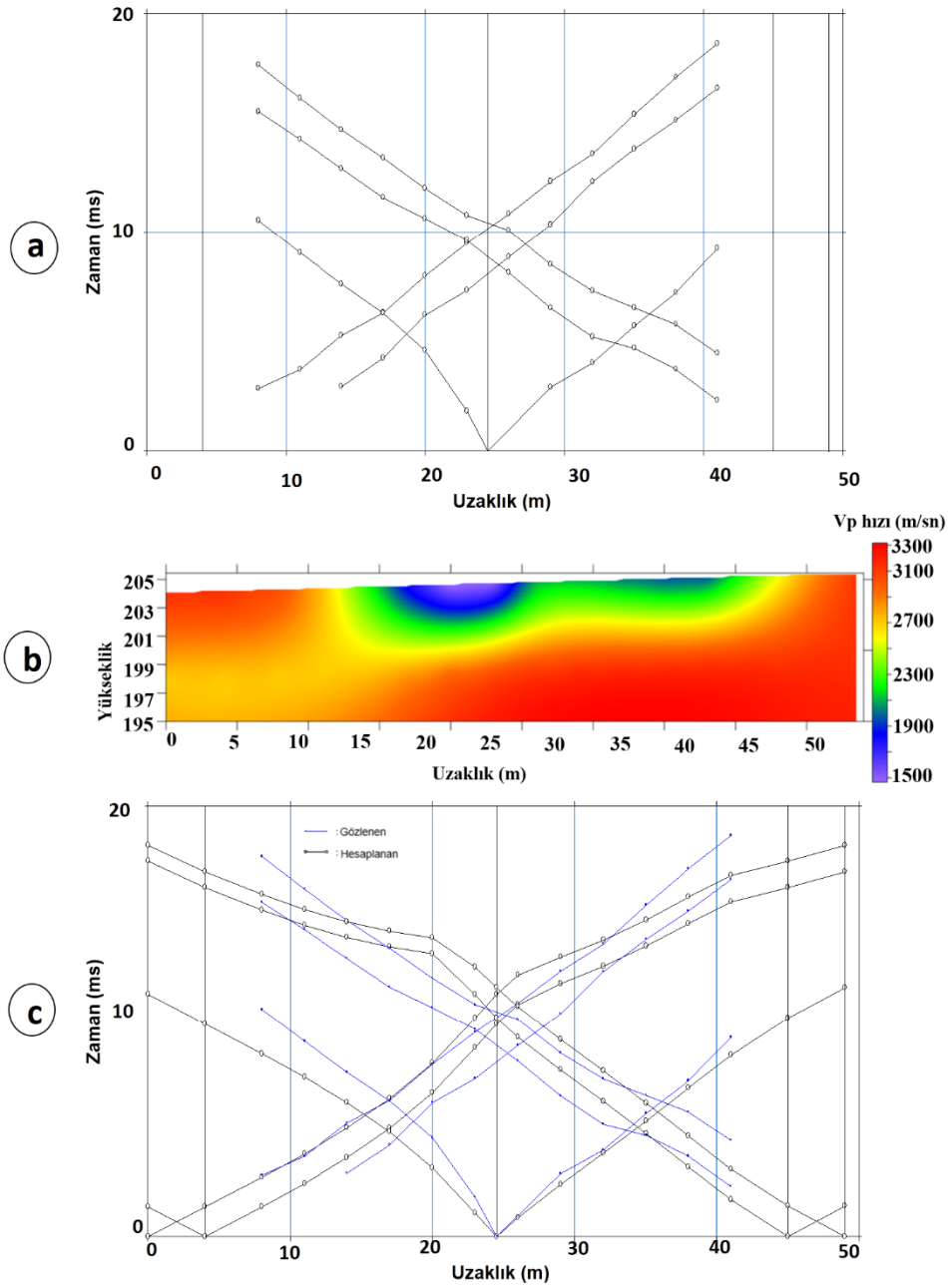
#### 2.4.1.4. Alan 1 Sismik Kırılma Çalışmaları

Alan 1’de 4 profilde sismik kırılma yöntemi kullanılarak veriler toplanmıştır. Elde edilen sismik kayıtlar tomografi yöntemi ile çözümlenerek, çalışma alanı için yer altı Vp hız dağılımları elde edilmiştir. 8 kg balyoz ve demir bir plaka enerji kaynağı olarak kullanılmıştır. 12 adet 14 Hz lik alıcılar kullanılarak alınan ölçümlerde profil uzunluklarına bağlı olarak her bir profilde alıcı aralıkları ve ofset uzaklıkları değişmiş olmakla birlikte ikisi baştan, ikisi sondan ve biride orta noktadan olmak üzere toplam 5 noktada atış yapılarak kayıtlar toplanmıştır. Toplanan sismik veriler SeisImager (Geometrics) programı ile değerlendirilmiştir. Bu program temel olarak doğrusal olmayan en küçük kareler yöntemine dayanmaktadır. Öncelikle, her bir jeofonda kayıt edilen sismik iz üzerinde ilk varış zamanlarının piklenmesi ile zaman-uzaklık grafikleri elde edilir. Elde edilen bu grafiklerin geleneksel yöntemlerle çözümlenmesi sonucunda basit bir yer altı modeli oluşturulur. Tomografik çözümde başlangıç modeli olarak bu model kullanılmaktadır. Bu modelinin eş zamanlı yineleme çözüm tekniği ile çözümlenmesinden de yer altına ait P dalgası hız dağılımı elde edilir. Daha sonra ise ışın izleme yöntemi kullanılmak üzere hesaplanan eğriler ile gözlenen eğrilerin karşılaştırılması yapılır. Bu aşamada çakışma beklenen hata oranıyla sağlandıysa işleme son verilir ve böylece yer altı yapısı Vp hız dağılımı ile birlikte elde edilmiş olur. Alan 1’de sismik kırılma yöntemi ile toplanan

verilerden elde edilen zaman-uzaklık grafikleri,  $V_p$  hız dağılımları ve hesaplanan ile gözlenen eğrilerin karşılaştırılması Şekil 2.61-2.64 'de verilmiştir.



Şekil 2.61. (a) Alan 1 profil 4'ün birinci kısmından elde edilen zaman-uzaklık grafiği (b) P dalgası hız dağılımı (c) hesaplanan ile gözlenen eğrinin karşılaştırılması

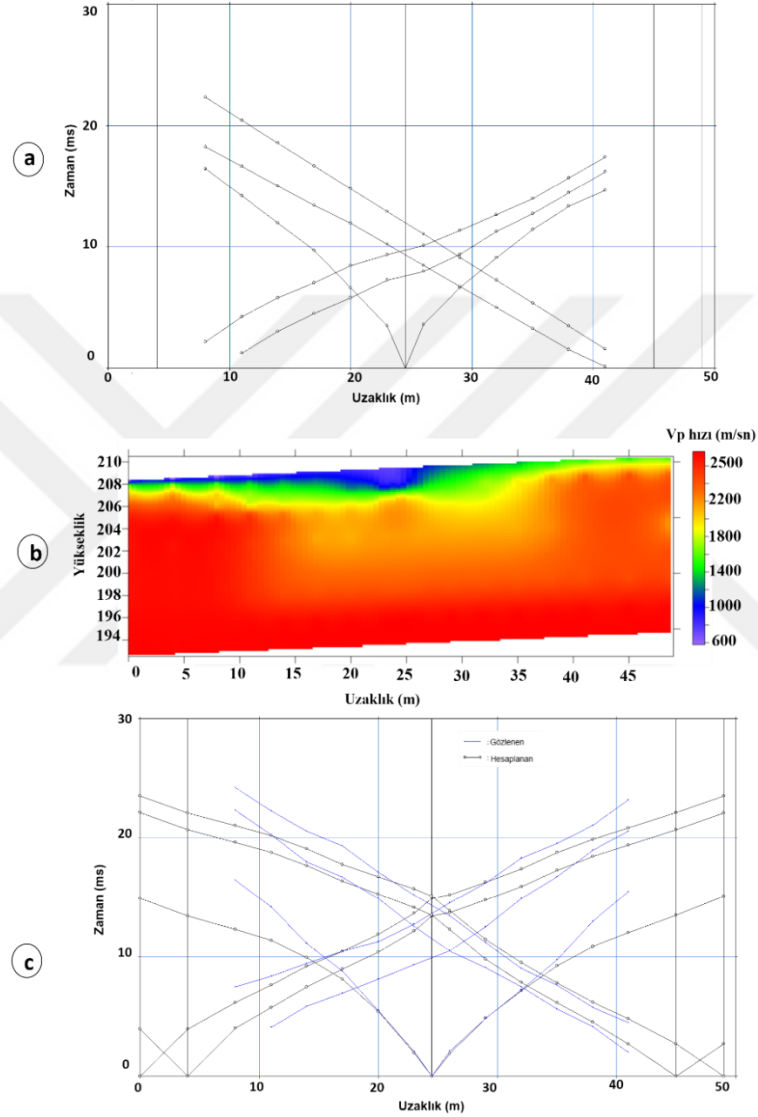


Şekil 2.62. (a) Alan 1 profil 4'ün ikinci kısmından elde edilen zaman-uzaklık grafiği (b) P dalgası hız dağılımı (c) hesaplanan ile gözlenen eğrinin çakışması

Profil 4 için 2 kısma ayrılarak tomografi verileri toplanmıştır. Profil 4'ün birinci kısmında profil boyu 50 m dir ve yaklaşık 10 m derinlikten bilgi edinilmiştir. En üstte yaklaşık 1 m derinlikte 1100-1500 m/sn hızları arasında değişen düşük Vp hızlı bir birim, altında yine 1 m derinlikli fakat 15-20 m arasında 6-7 m lere derinleşen 1600-2200 m/sn hıza sahip bir birim ve bu seviyelerin altında da 2005-2900 m/sn hıza ulaşarak yüksek Vp



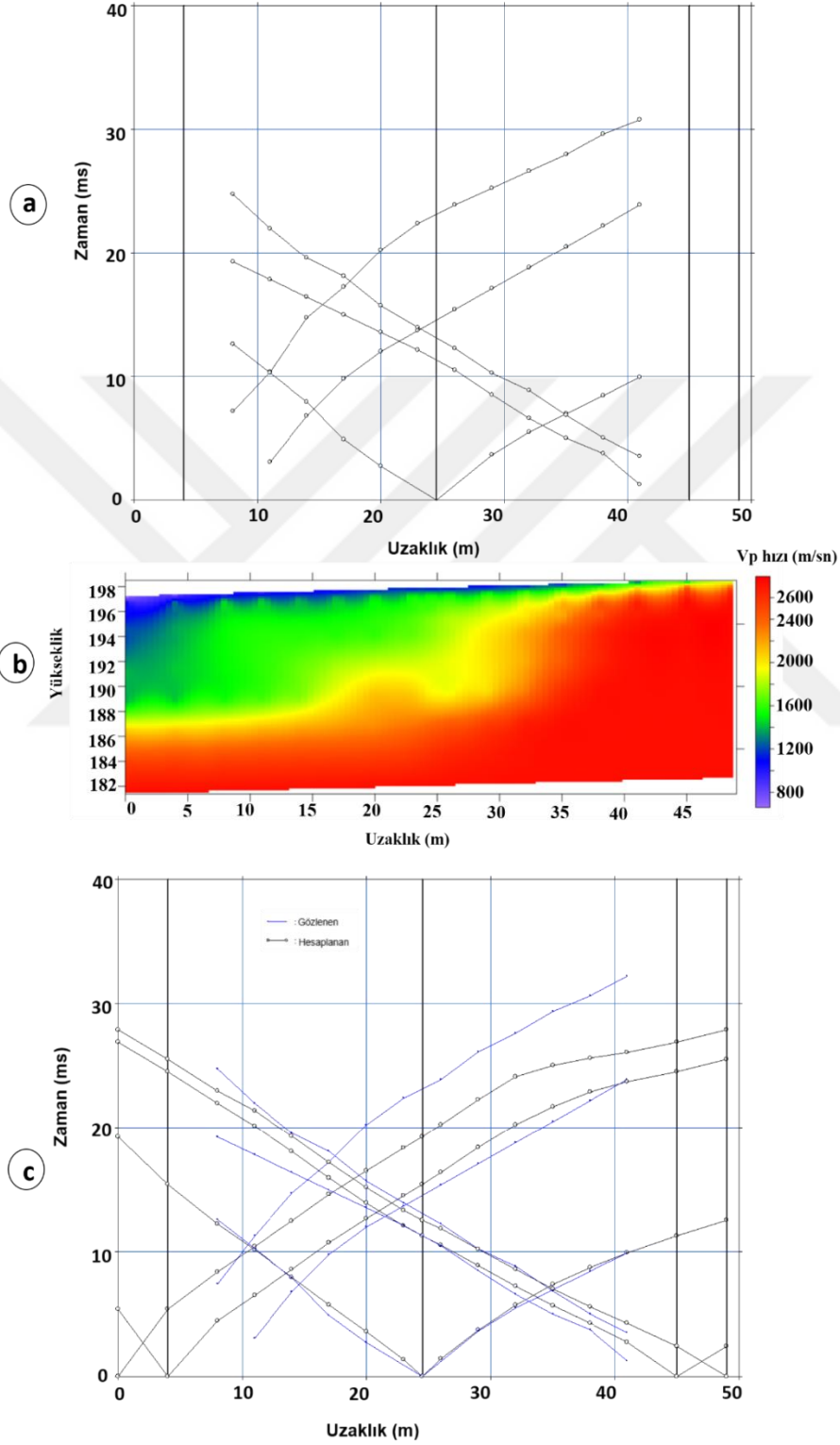
hızı görülmektedir. Bu profilin ikinci kısmı birinci kısmının bitiş noktasından başlamaktadır. İkinci kısımda ise 15-40 m uzaklıkları arasında 1 m derinliklere kadar düşük  $V_p$  hızı, 2-4 m arasında 2100-2500 m/sn olarak değişen  $V_p$  hızı ve daha derinlerde ise 2800-3300 m/sn olarak değişen yüksek  $V_p$  hızı görülmektedir.



Şekil 2.63. (a) Alan 1 profil 5'ten elde edilen zaman-uzaklık grafiği (b) P dalgası hız dağılımı (c) hesaplanan ile gözlenen eğrinin çakışması

Profil 5'in profil boyu 50 m dir ve yaklaşık 12-15 m derinlikten bilgi edinilmiştir. Bu kesitte profil başlangıcından 25 m uzaklığa kadar yaklaşık 1 m derinliğe kadar 800-1100 m/sn arasında değişen düşük  $V_p$  hızı, 1 m daha altında 1400-1700 m/sn arasında değişen

Vp hızı ve bu derinliklerin altında tüm profil boyunca yüksek Vp hızları (2200-2600 m/sn) gözlenmektedir.



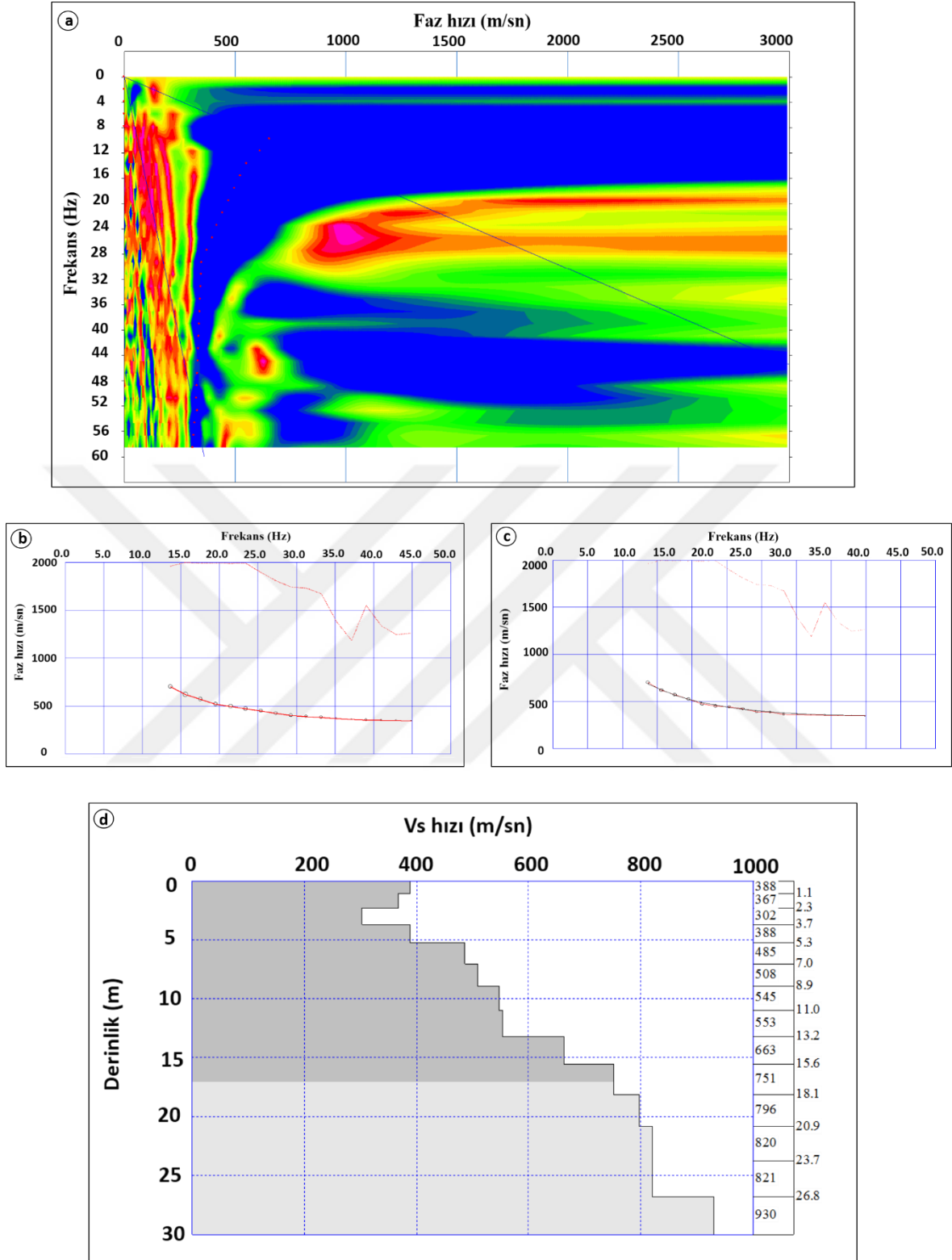
Şekil 2.64. (a) Alan 1 profil 7'den elde edilen zaman-uzaklık grafiği (b) P dalgası hız dağılımı (c) hesaplanan ile gözlenen eğrinin çakışması

Profil 7'nin de profil boyu 50 m dir ve yaklaşık 12-15 m derinlikten bilgi edinilmiştir. Bu kesitte profil başlangıcından itibaren 2 m derinlikle başlayıp gittikçe sığlaşan ve 40 m lerden sonra görülmeyen düşük hızlı kısım, yine profilin başlangıcından 7 m derinliğe kadar ulaşıp başlayıp profilin sanlarına doğru 1 m lere sığlaşan bir kısım ve 7 m nin altında ise yüksek hızlı kısımlar gözlenmiştir.

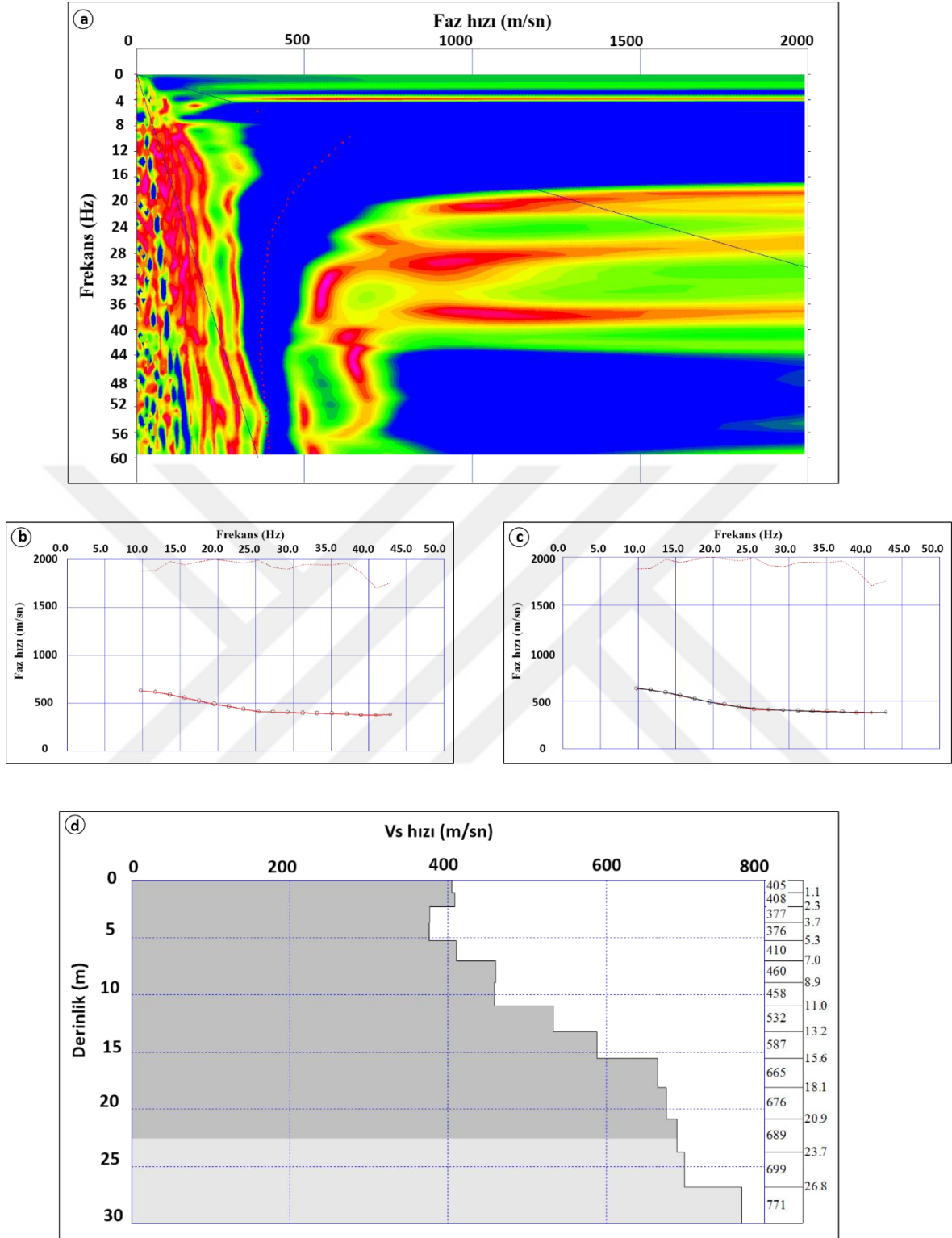
#### **2.4.1.5. Alan 1 Çok Kanallı Yüzey Dalgası Çalışmaları**

Son yıllarda kullanımı oldukça artan ÇKYDA yöntemi kullanılarak sığ yeraltının kesme dalgası hızları belirlenmiş ve çalışma alanında zemine ait mühendislik özelliklerin hesaplanmasında bu hız bilgilerinden yararlanılmıştır. Yüzey dalgası verileri sismik kırılma ölçümleri ile aynı profiller üzerinde konumlanmıştır. Yüzey dalgası ölçümleri 5 profil boyunca ölçümler alınmıştır (Şekil 2.8). Bu ölçümlerde 8 kg'lık balyoz ve demir bir plaka enerji kaynağı olarak kullanılmıştır. 24 adet 4.5 Hz lik alıcılar kullanılarak alınan ölçümlerde, alıcı aralıkları 1 m olarak ayarlanmıştır. Alınan tüm ölçümlerde örnekleme aralığı 0.5 msn olarak seçilmiş ve kayıtlar 1 sn süreyle alınmıştır. Toplanan verilerin değerlendirilmesinde SeisImager programı kullanılmıştır. Araziden toplanan sismik kayıtların Fourier dönüşümleri alınarak faz hızı-frekans kesitleri, faz hızı frekans kesitleri üzerinde de maksimum genliklerin pik noktaları işaretlenerek dispersiyon eğrileri elde edilmiştir. Dispersiyon eğrilerinin başlangıç modelinin oluşturulmasında karakteristik yapısı oldukça önemli bir yer tutmaktadır.

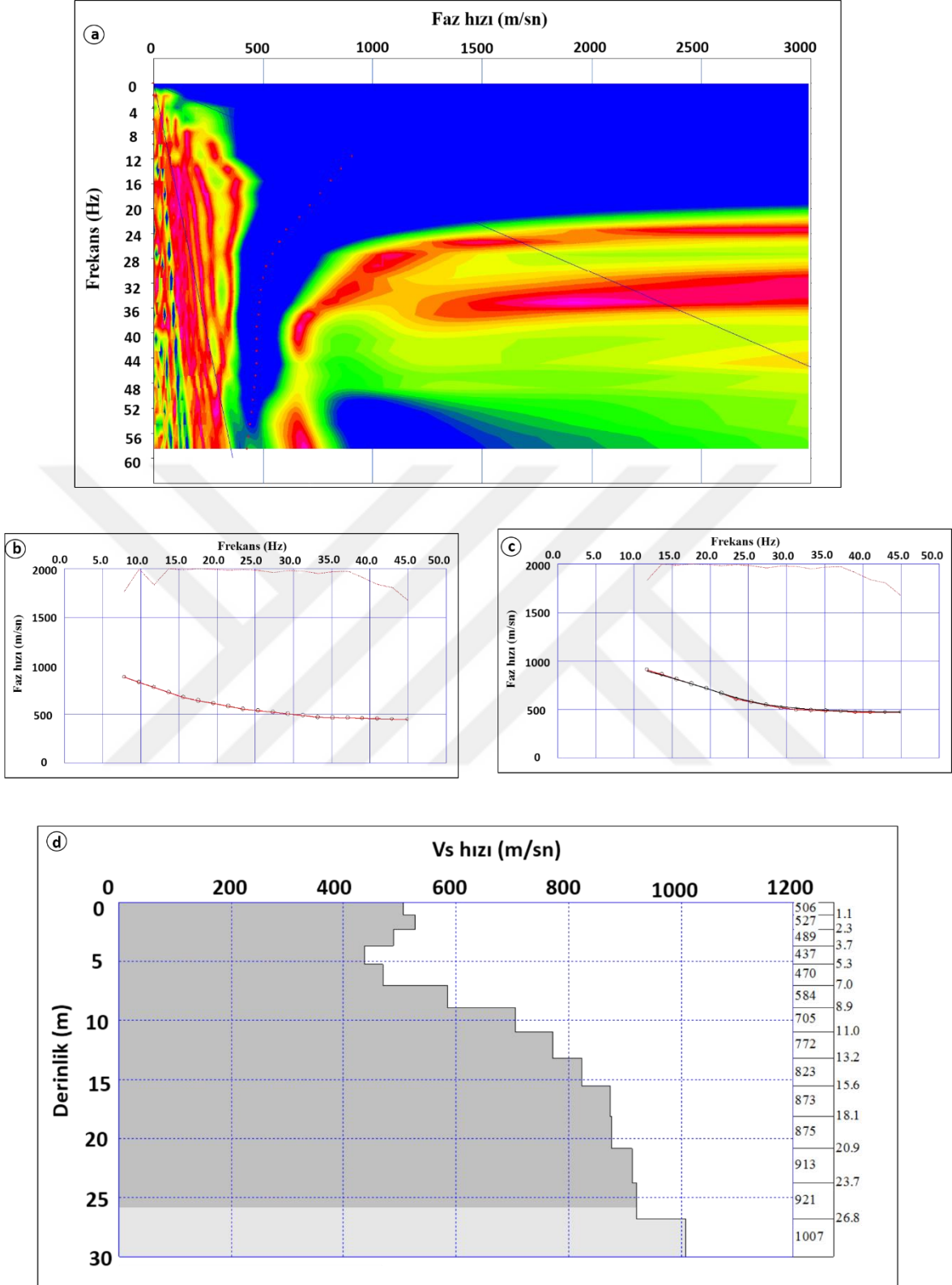
Elde edilen dispersiyon eğrilerine yinelemeli bir çözüm uygulanmıştır. Bu çözümde öncelikle düz çözümlerle bir başlangıç modeli belirlenmektedir. Bu model, dispersiyon eğrisinin genel karakteristiğinden ve atış kaydı üzerindeki yüzey dalgası paketinin görünür hızları dikkate alınarak oluşturulmaktadır. Daha sonra bu başlangıç modeline doğrusal olmayan ters çözüm yöntemi uygulanmasıyla bir boyutlu kesme dalgası hız-derinlik modeli elde edilmektedir. Başlangıç modeli ne kadar iyi oluşturulursa sonuç doğruya o kadar yakın olacaktır. Son olarak ise hesaplanan dispersiyon eğrisi ile gözlenen eğri karşılaştırılmaktadır. Eğer bu çakışma beklenen düzeyde olursa işlem tamamlanmış olmaktadır. Çalışma alanında yapılan ÇKYDA verileri için faz hızı-frekans kesitleri, dispersiyon eğrileri, kesme dalgası hız-derinlik modeli ve hesaplanan dispersiyon eğrisi ile gözlenen eğri karşılaştırılması şekil 2.65- 2.70'de verilmiştir.



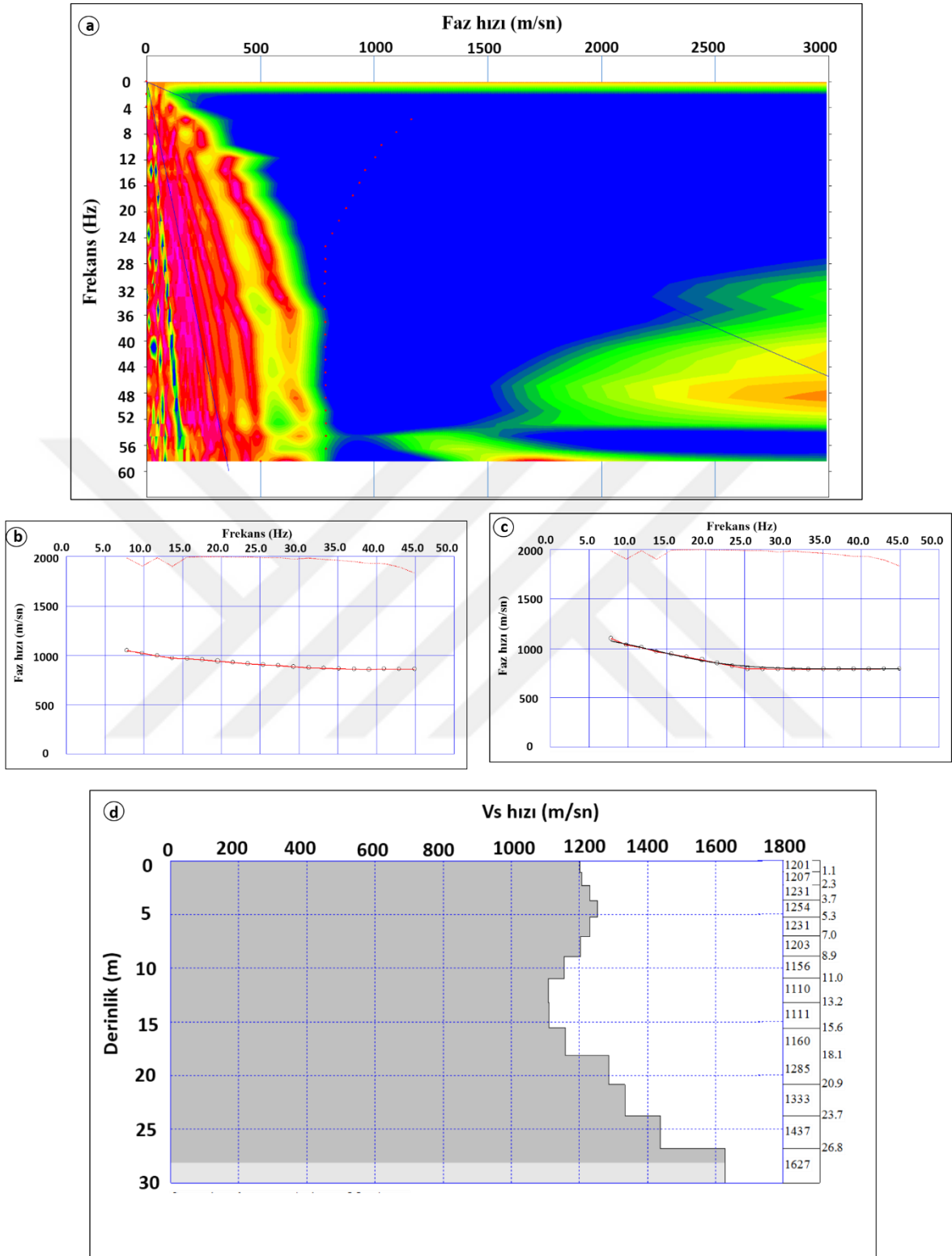
Şekil 2.65. Alan 1 profil 4'ün 1. kısmı için (a) faz hızı-frekans kesiti (b) elde edilen dispersiyon eğrisi (c) hesaplanan ile gözlenen dispersiyon eğrilerinin karşılaştırılması ve (d) 1B Vs yeraltı yapısı



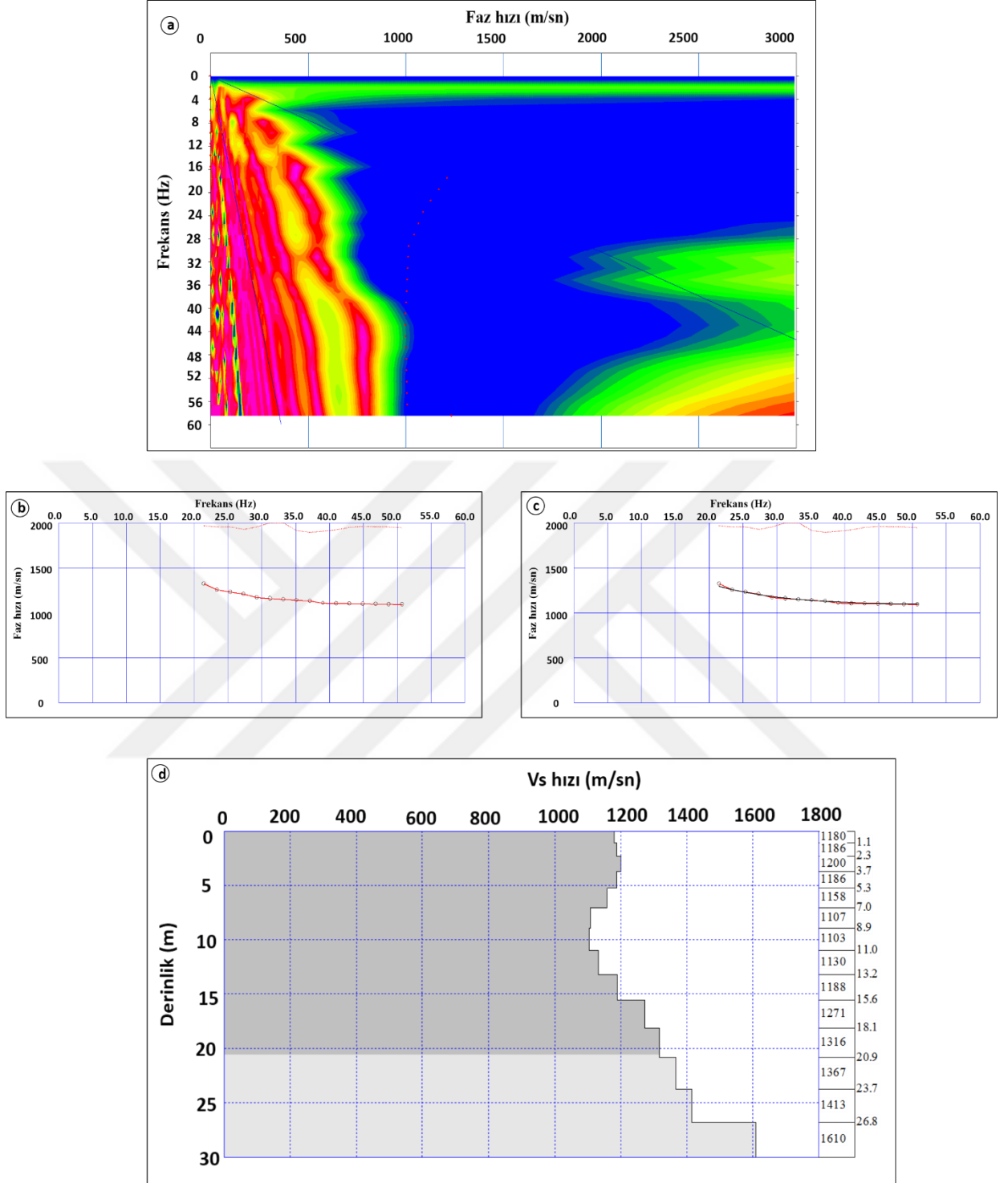
Şekil 2.66. Alan 1 profil 4'ün 2. kısmı için (a) faz hızı-frekans kesiti (b) elde edilen dispersiyon eğrisi (c) hesaplanan ile gözlenen dispersiyon eğrilerinin karşılaştırılması ve (d) 1B Vs yeraltı yapısı



Şekil 2.67. Alan 1 profil 5 için (a) faz hızı-frekans kesiti (b) elde edilen dispersiyon eğrisi (c) hesaplanan ile gözlenen dispersiyon eğrilerinin karşılaştırılması ve (d) 1B Vs yeraltı yapısı

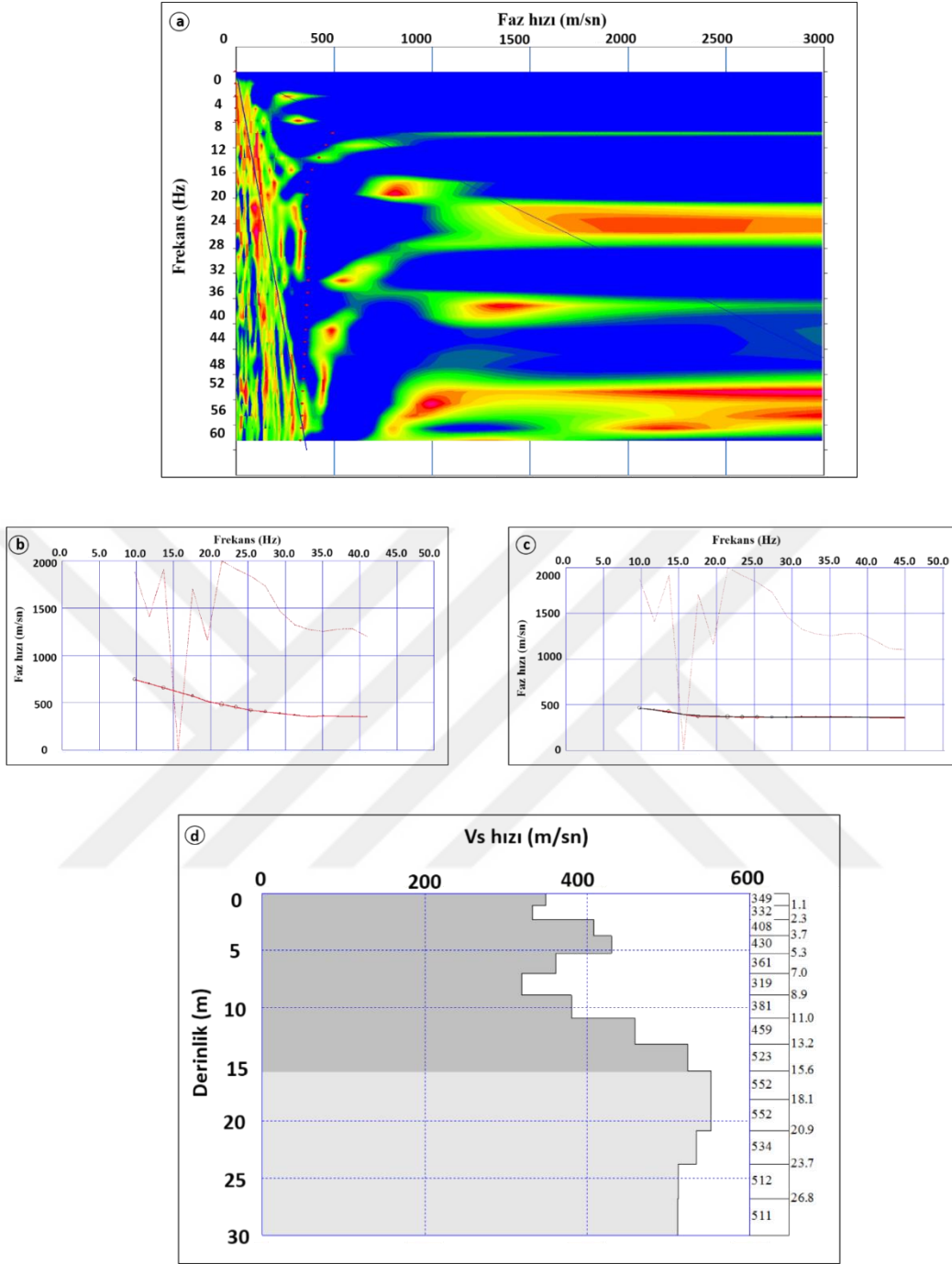


Şekil 2.68. Alan 1profil 6'nın 1. kısmı için (a) faz hızı-frekans kesiti (b) elde edilen dispersiyon eğrisi (c) hesaplanan ile gözlenen dispersiyon eğrilerinin karşılaştırılması ve (d) 1B Vs yeraltı yapısı



Şekil 2.69. Alan 1 profil 6'nın 2. kısmı için (a) faz hızı-frekans kesiti (b) elde edilen dispersiyon eğrisi (c) hesaplanan ile gözlenen dispersiyon eğrilerinin karşılaştırılması ve (e) 1B Vs yeraltı yapısı





Şekil 2.70. Alan 1 profil 7 için (a) faz hızı-frekans kesiti (b) elde edilen dispersiyon eğrisi (c) hesaplanan ile gözlenen dispersiyon eğrilerinin karşılaştırılması ve (e) 1B Vs yeraltı yapısı

4. profilin ilk kısmı için elde edilen bir boyutlu Vs yeraltı yapısında 388 m/sn hızla başlayarak derine doğru gittikçe lokal olarak hızın arttığı ve azaldığı görülmektedir. Genel olarak derinlikle yeraltı değişimini 3 kısma ayırmak mümkündür. İlk kısımda 0-5 m derinlikleri arasında 300-388 m/sn Vs hız değişimi, ikinci kısımda 5-10 m derinlikleri

arasında 485-550 m/sn Vs hız değişimi ve 10-17 m derinlikleri arasında ise 545-750 m/sn Vs hız değişimi görülmektedir. Aynı profilin 2. kısmı için elde edilen bir boyutlu Vs yeraltı yapısında 388 m/sn hızla başlayarak derine doğru gittikçe lokal olarak hızın arttığı ve azaldığı görülmektedir. Genel olarak 3 kısma ayırmak mümkündür. İlk kısımda 0-5 m derinlikleri arasında 300-388 m/sn Vs hız değişimi, ikinci kısımda 5-10 m derinlikleri arasında 485-550 m/sn Vs hız değişimi ve 10-17 m derinlikleri arasında ise 545-750 m/sn Vs hız değişimi görülmektedir.

5. profil için elde edilen bir boyutlu Vs yeraltı yapısında 506 m/sn hızla başlayan ve ilk 5 m de azalıp artan hızlara rağmen 5 m derinliklerden sonra Vs hızı artmıştır. Genel olarak 3 kısma ayırmak mümkündür. İlk kısımda 0-5 m derinlikleri arasında 437-527 m/sn Vs hız değişimi, ikinci kısımda 5-10 m derinlikleri arasında 470-700 m/sn Vs hız değişimi ve 10-25 m derinlikleri arasında ise 700-900 m/sn Vs hız değişimi görülmektedir.

6. profilde de veriler iki kısım olarak toplanmıştır. Birinci kısım için elde edilen bir boyutlu Vs yeraltı yapısında genel olarak yüksek kesme hızı değerleri görülmektedir. Bu kesitte de 3 kısma ayırmak mümkündür. İlk kısımda 0-10 m derinlikleri arasında 1156-1230 m/sn Vs hız değişimi, ikinci kısımda 10-20 m derinlikleri arasında 1100-1285 m/sn Vs hız değişimi ve 10-25 m derinlikleri arasında ise 1285-1600 m/sn Vs hız değişimi görülmektedir. Aynı profilin ikinci kısmında Vs hız değerleri 1100 m/snlerden başlayarak 20 m derinliklerde 1300 m/sn lere kadar ulaşmaktadır.

7. profilden elde edilen bir boyutlu Vs yeraltı yapısı da 3 kısımdan oluşmaktadır. İlk kısımda 0-5 m derinlikleri arasında 430-430 m/sn Vs hız değişimi, ikinci kısımda 5-10 m derinlikleri arasında 319-381 m/sn Vs hız değişimi ve 10-15 m derinlikleri arasında ise 459-520 m/sn Vs hız değişimi görülmektedir.

#### **2.4.1.6. Alan 1 için Bazı Mühendislik Parametrelerinin Hesaplanması**

Alan 1'de yapılan arazi çalışmalarından sonra bu alandaki profillere ait bazı mühendislik özellikleri belirlenmeye çalışılmıştır. Sismik kırılma tomografisi ve çok kanallı yüzey dalgası verilerinin analizlerinden elde edilen P ve S dalga hızları kullanılarak ilgili deneysel bağıntılarla Alan 1'deki profillere ait bazı mühendislik ve dinamik-elastik parametreler MATLAB kodlarını kullanarak yazılan basit bir program yardımıyla hesaplanmış ve bu hesaplamalar sonucunda elde edilen sonuçlar Tablo 2.8-2.11'de verilmiştir.

Tablo 2.8. Alan 1 profil 4 (1. kısım) için hesaplanan bazı mühendislik parametreleri

<b><u>A1P4 K1</u></b>	1. tabaka (0-1 m)	2. tabaka (1-6 m)	3. tabaka (6-10 m)
P dalga hızı (Vp) (m/sn)	1400	2000	2600
P dalga hızı (sökülebilirlik)	Orta	Zor	Çok Zor
S dalga hızı (Vs) (m/sn)	400	500	700
S dalga hızı (zemin grubu)	B	B	B
Vp/Vs	3.5	4	3.71
Poisson oranı (v)	0.40	0.42	0.44
Yoğunluk (ρ) (gr/cm <sup>3</sup> )	1.89	2.07	2.2
Elastisite modülü (E) (kg/cm <sup>2</sup> )	8832	15203	31693
Kayma modülü (G) (kg/cm <sup>2</sup> )	3034	5180	10857
Bulk modülü (K) (kg/cm <sup>2</sup> )	33121	76013	135180
Taşıma gücü (q <sub>u</sub> ) (kg/cm <sup>2</sup> )	1.8	2.33	3.22

Tablo 2.9. Alan 1 profil 4 (2. kısım) için hesaplanan bazı mühendislik parametreleri

<b>A1P4 K2</b>	1. tabaka (0-2 m)	2. tabaka (2-4 m)	3. tabaka (4-10 m)
P dalga hızı (Vp) (m/sn)	1700	2300	2800
P dalga hızı (söktülebilirlik)	Orta	Zor	Çok Zor
S dalga hızı (Vs) (m/sn)	400	550	650
S dalga hızı (zemin grubu)	C	B	B
Vp/Vs	4.25	4.18	4.3
Poisson oranı (v)	0.42	0.43	0.45
Yoğunluk ( $\rho$ ) (gr/cm <sup>3</sup> )	1.99	2.1	2.25
Elastisite modülü (E) (kg/cm <sup>2</sup> )	9368	19088	28040
Kayma modülü (G) (kg/cm <sup>2</sup> )	3184	6494	9527
Bulk modülü (K) (kg/cm <sup>2</sup> )	53280	104910	164090
Taşıma gücü ( $q_u$ ) (kg/cm <sup>2</sup> )	1.88	2.5	3.02

Tablo 2.10. Alan 1'deki 5. profil için hesaplanan bazı mühendislik parametreleri

<b>AIP5</b>	1. tabaka (0-2 m)	2. tabaka (2-3 m)	3. tabaka (3-10 m)
P dalga hızı (Vp) (m/sn)	1100	1700	2400
P dalga hızı (sökülebilirlik)	Orta	Zor	Çok Zor
S dalga hızı (Vs) (m/sn)	450	750	850
S dalga hızı (zemin grubu)	B	B	A
Vp/Vs	2.44	2.45	2.82
Poisson oranı ( $\nu$ )	0.37	0.38	0.40
Yoğunluk ( $\rho$ ) (gr/cm <sup>3</sup> )	1.78	1.98	2.16
Elastisite modülü (E) (kg/cm <sup>2</sup> )	10119	30885	44781
Kayma modülü (G) (kg/cm <sup>2</sup> )	3615	11197	15677
Bulk modülü (K) (kg/cm <sup>2</sup> )	16782	42598	104080
Taşıma gücü ( $q_u$ ) (kg/cm <sup>2</sup> )	1.79	2.84	3.61

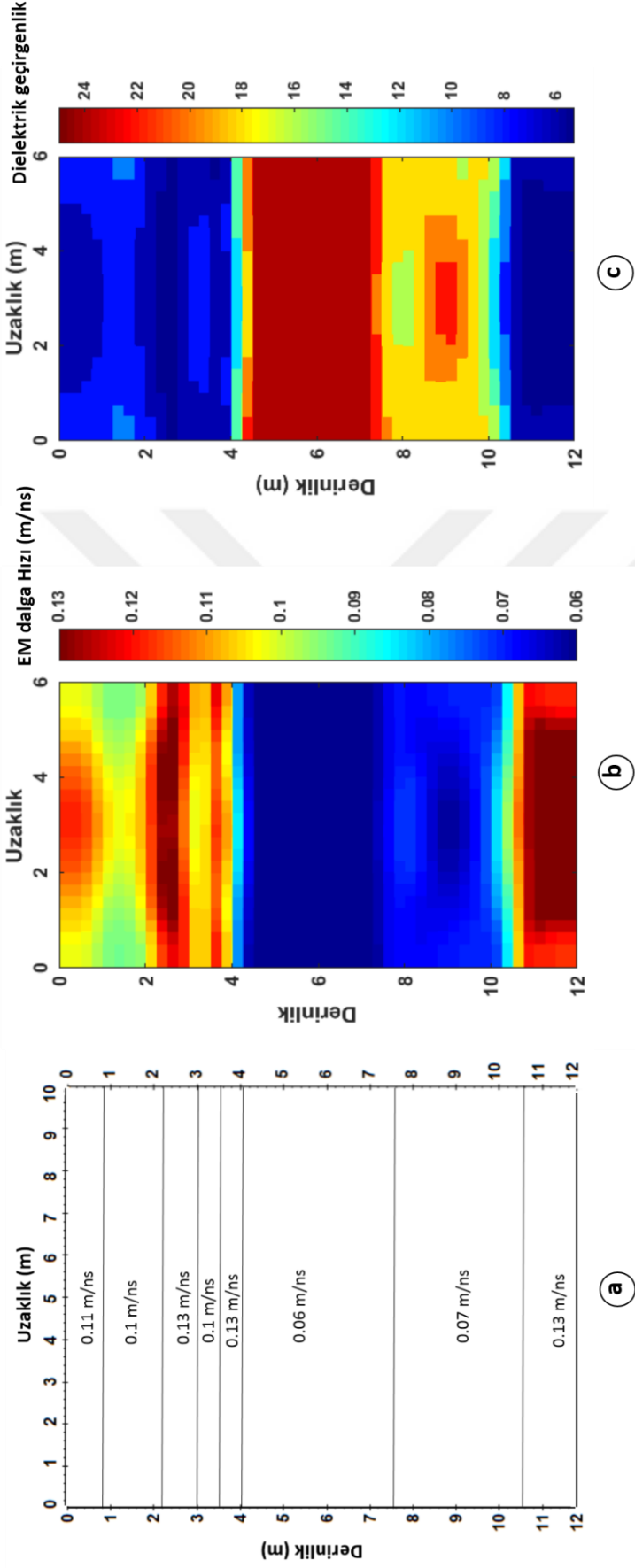
Tablo 2.11. Alan 1'deki 7. profil için hesaplanan bazı mühendislik parametreleri

<b>A1P7</b>	1. tabaka (0-1 m)	2. tabaka (1-6 m)	3. tabaka (6-10 m)
P dalga hızı (Vp) (m/sn)	1100	1600	2500
P dalga hızı (sökülebilirlik)	Orta	Zor	Çok Zor
S dalga hızı (Vs) (m/sn)	400	350	550
S dalga hızı (zemin grubu)	B	B	B
Vp/Vs	2.75	4.57	4.5
Poisson oranı ( $\nu$ )	0.4	0.42	0.44
Yoğunluk ( $\rho$ ) (gr/cm <sup>3</sup> )	1.78	1.96	2.19
Elastisite modülü (E) (kg/cm <sup>2</sup> )	8134	7084	16212
Kayma modülü (G) (kg/cm <sup>2</sup> )	2856	2401	5480
Bulk modülü (K) (kg/cm <sup>2</sup> )	17793	46989	129700
Taşıma gücü ( $q_u$ ) (kg/cm <sup>2</sup> )	1.69	1.86	2.39

#### 2.4.1.7. Alan 1 Kuyu Tomografisi Çalışması

Bu tez çalışmasında yapılaşmaya açılması düşünülen bir alanda hakim olan Tonya Formasyon'una ait kayaçların mühendislik özelliklerinin belirlenmesi amacı ile çalışma alanında jeofizik veriler toplanmış, değerlendirilmiş ve elde edilen veriler ile jeolojik veriler bir araya getirilerek her iki alanda da bir kuyu varlığı düşünülerek birer yapay model oluşturulmuştur. Oluşturulan bu modelde Kaynak ve alıcılar her 0.25 m de bir 0.125-11.875 m ler arasında yerleştirilmiştir. 48 kaynak ve 48 alıcı kullanılmıştır. Oluşturulan bu modeller üzerinde düz ve ters çözüm işlemleri uygulanarak kuyu tomografi çalışmaları yürütülmüştür. Bu kuyu tomografisi modelleri Balkaya (2010) tarafından Matlab'da oluşturulan algoritmalar kullanılarak çözümlenmiştir. Alan 1 için oluşturulan kuyu modeli ve elde edilen ters çözümü şekil 2.71'de verilmiştir.

Alan 1'de profil 4 üzerinde alınan jeofizik ölçümler ile jeolojik veriler bir araya getirilerek oluşturulan model 1 üzerinde yapılan seyahat zamanlarının bir doğrusal olmayan denklem yardımıyla bir fonksiyonel olarak tanımlamasına dayalı ters çözüm yöntemi ile elde edilen kesitler incelendiğinde 0-4 m derinlikleri arasında EM dalga hızının 0.1-0.13 arasında yüksek seviyede olduğu 4-10 m derinlikleri arasında bu hızın düştüğü ve verilen modeldeki hız dağılımına bağlı olarak tekrar yükseldiği görülmektedir. Ayrıca hızın tersi ile ilişkili olarak dielektrik geçirgenliğinde derinlikle bağlı değişimi elde edilmiştir.



Şekil 2.71. (a) Alan 1 için oluşturulan modelin şekilsel gösterimi (b) Oluşturulan modelin seyahat zamanlı eikonal denklemi ile yapılan ters çözüm sonucu (c) Model 1'e ait dielektrik geçirgenlik sonucu



### 2.4.2. Alan 2’de Yapılan Jeofizik Araştırmalar

Alan 2’de jeofizik ölçüm yapılabilinen profiller ve bilgileri Tablo 2.12’de verilmiştir.

Tablo 2.12. Alan 2’de yapılan jeofizik ölçüm bilgileri

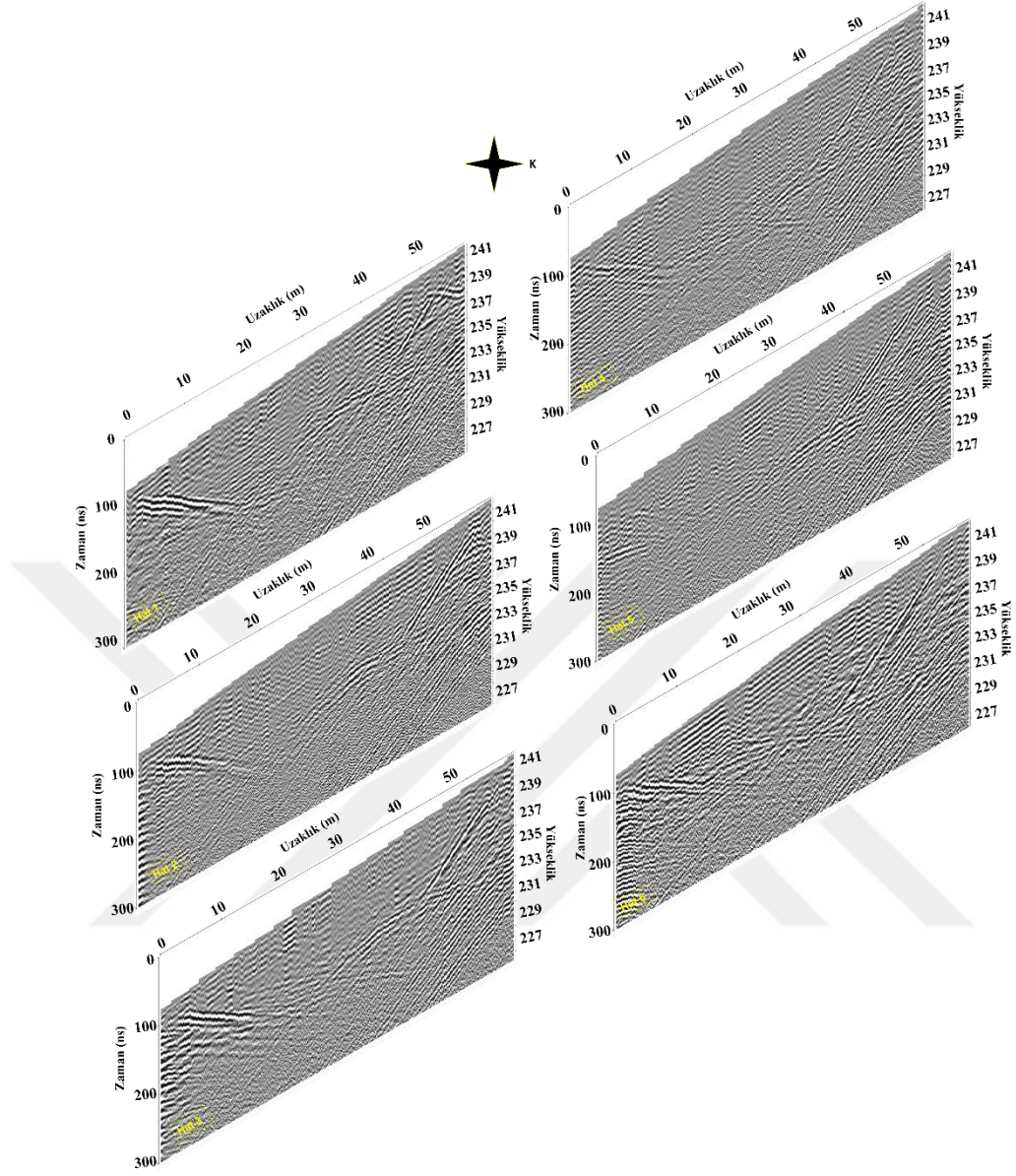
	Ortak ofset Yer Radarı Ölçümleri	Çoklu ofset Yer Radarı Ölçümleri	Elektrik Özdirenç Ölçümleri	Sismik Kırılma Ölçümleri	Çok Kanallı yüzey Dalgası Ölçümleri
<b>Profil 1</b>	✓	✓	✓	✓	✓
<b>Profil 2</b>	✓	✓	✓	✓	✓
<b>Profil 3</b>	✓	✓	✓	✓	✓
<b>Profil 4</b>	✓	✓	✓	✓	✓

#### 2.4.2.1. Alan 2 Ortak Ofset Yer Radarı Çalışmaları

Alan 2’de 4 profilde toplamda 13 ortak ofset GPR verisi toplanmıştır. Verilerin uzunlukları profillerde farklı olup tüm veriler MALA Geoscience firmasına ait Proex kontrol birimi ve 100 MHz merkez frekanslı korumasız antenler kullanılarak toplanmıştır. Ölçüm parametreleri Tablo 2.13’de verilmiştir. Elde edilen verilere veri işleme adımları ve statik düzeltmeler uygulanarak ilgili profillere ait radargramlar elde edilmiştir. Alan 1’de GPR ölçümlerinden elde edilen radargramlar Şekil 2.72- 2.75’de verilmiştir.

Tablo 2.13. Alan 2 için ölçüm parametreleri

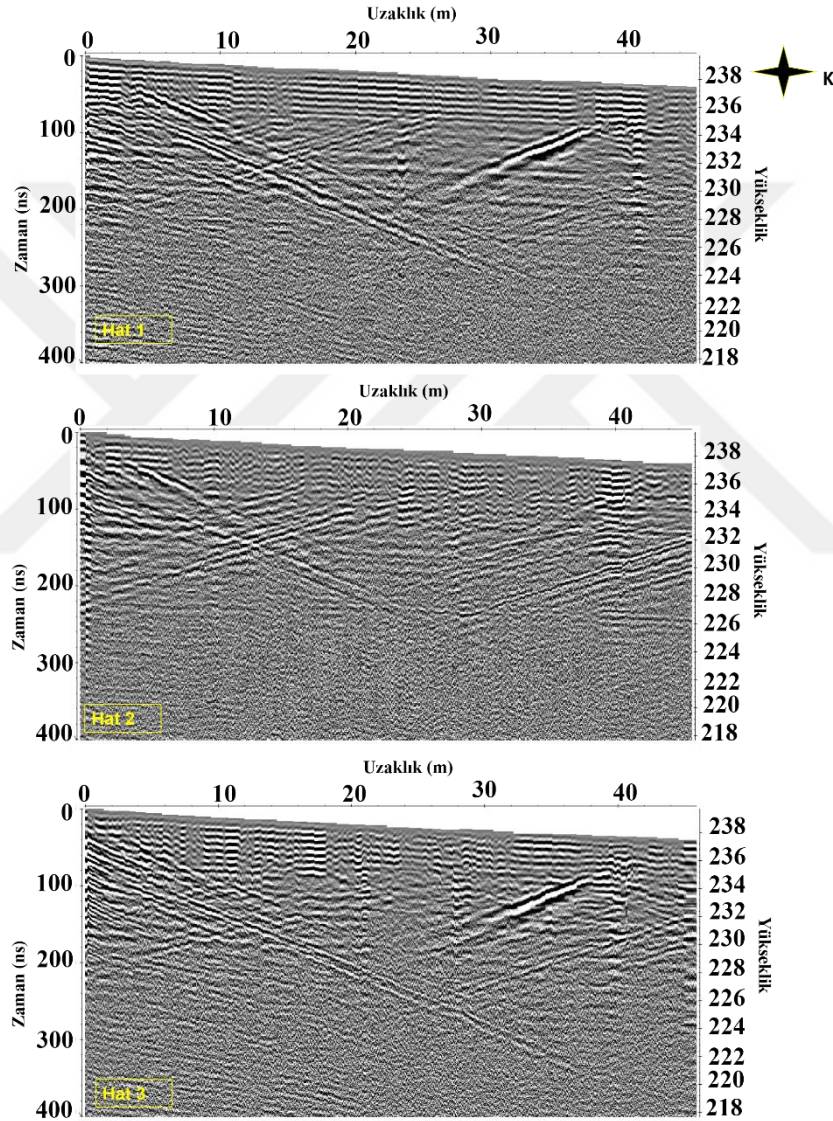
Anten Frekansı (MHz)	100
Anten aralığı (m)	1
Örnekleme Frekansı (MHz)	874.3
Örnek Sayısı	500
Zaman Penceresi (ns)	571.9
İz aralığı (m)	0.01



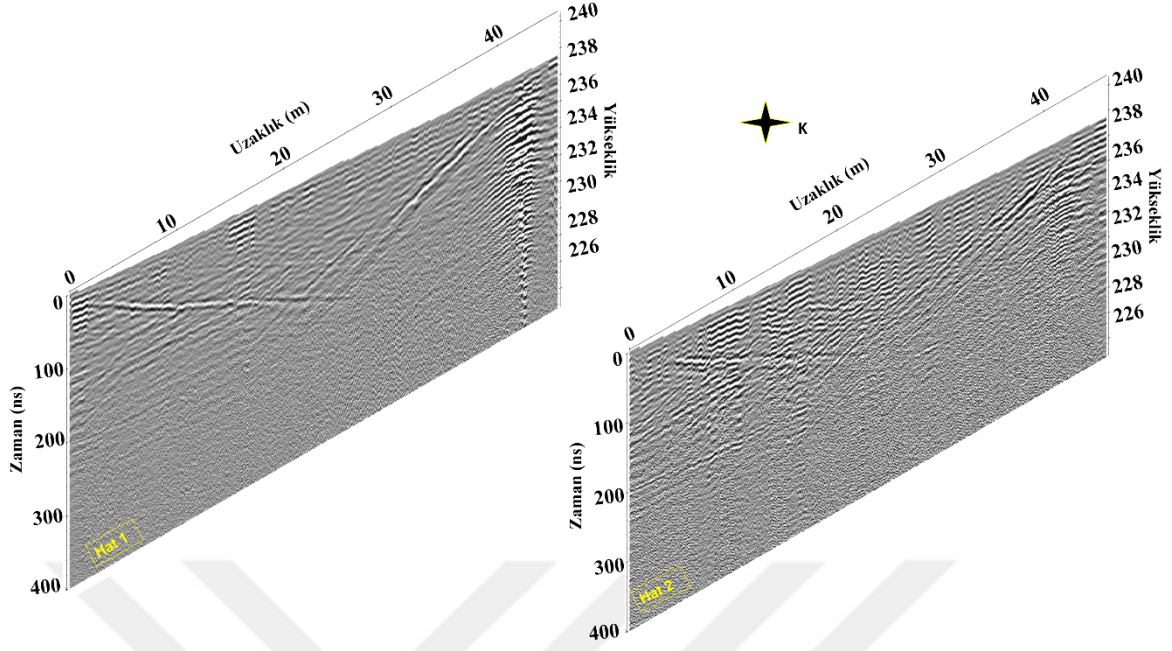
Şekil 2.72. Alan 2 profil 1’de alınan GPR ölçümlerinden elde edilen radargramlar

Alan 2 de profil 1 de DB yönlü 6 hat üzerinde yapılan GPR ölçümleri 1 m hat aralıkları ile yaklaşık 55 metre profil boyuna sahip ve 13-14 m nüfuz derinliğine kadar bilgi sağlamaktadır. 0-2 m, 2-4 m, 4-10 m derinliklerinde farklı tabaka sınırları görülmektedir. Hat başlarından 20 m uzaklığına kadar 1 m derinlikten başlayarak yaklaşık 10 m derinliğe kadar KB yönünde uzanan eğimli, yüksek genlikli bir yansıtıcı sınır görülmektedir. Benzer bir eğimli sınır hattın son kısımlarında GD yönünde görülmektedir. Ayrıca tepe noktası profil başlangıcından 35 m uzaklıkta olan ve 6 m den başlayıp 8 m derinliğe kadar uzanan bir yapı da hemen hemen tüm hatlarda gözlenmektedir.

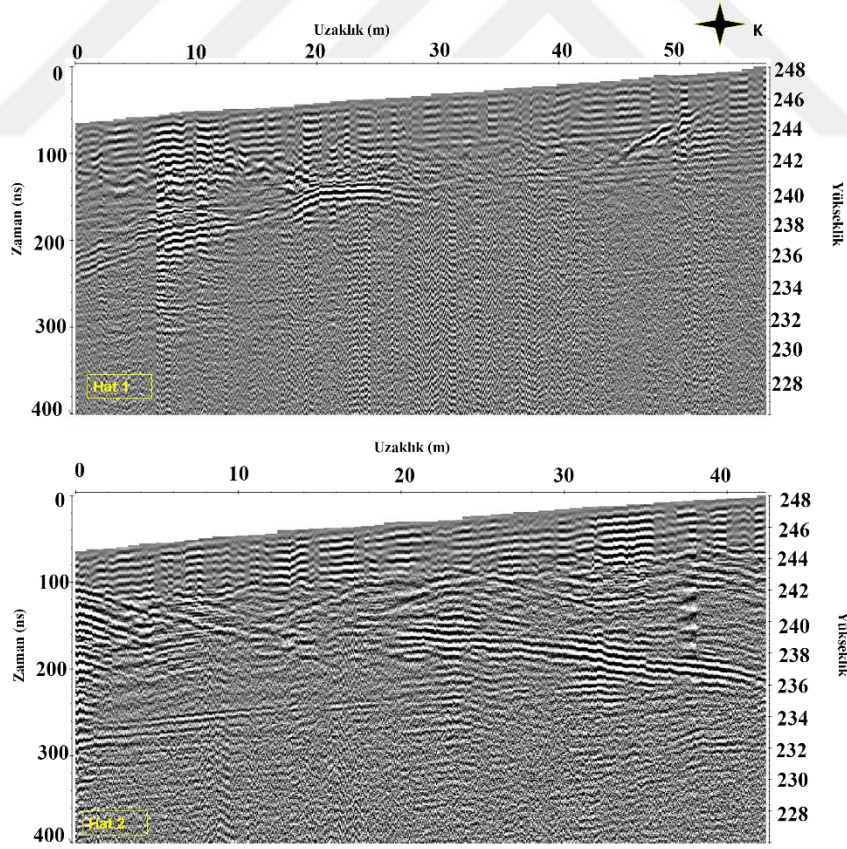
Alan 2 de profil 2 de GK yönlü 6 hat üzerinde yapılan GPR ölçümleri (Şekil 2.74) 1 m hat aralıkları ile yaklaşık 55 metre profil boyuna sahip ve 13-14 m nüfuz derinliğine kadar bilgi sağlamaktadır. Bütün hatlarda yaklaşık 4 m derinliğe kadar bir tabaka görülmektedir. Hat başlarından 30 m uzaklığına kadar 1 m derinlikten başlayarak yaklaşık 13 m derinliğe kadar KD yönünde uzanan eğimli, yüksek genlikli bir yansıtıcı sınır görülmektedir. Benzer bir eğimli sınır hattın son kısımlarında GB yönünde görülmektedir.



Şekil 2.73. Alan 2 profil 2’de alınan GPR ölçümlerinden elde edilen radargramlar



Şekil 2.74. Alan 2 profil 3’de alınan GPR ölçümlerinden elde edilen radargramlar



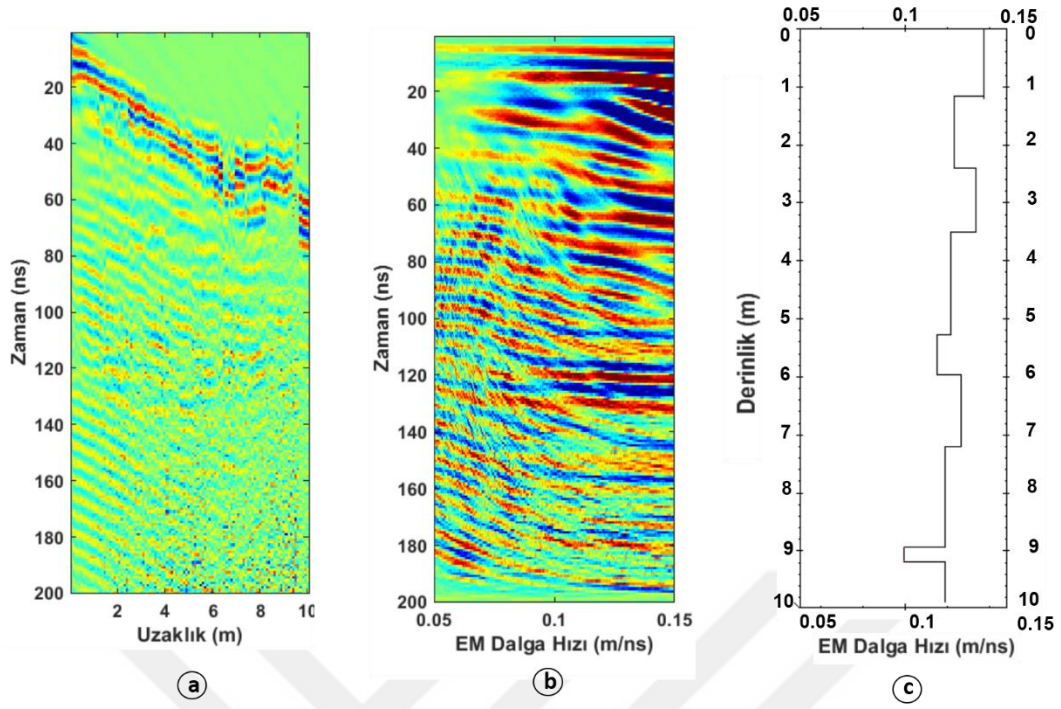
Şekil 2.75. Alan 2 profil 4’de alınan GPR ölçümlerinden elde edilen radargramlar

Alan 2 de profil 3 de DB yönlü 3 hat üzerinde yapılan GPR ölçümleri 1 m hat aralıkları ile yaklaşık 45 metre profil boyuna sahip ve 10 m nüfuz derinliğine kadar bilgi sağlamaktadır. yaklaşık 0-4 m, 4-6 m ve 6-10 m derinlikleri arasında farklı tabaka sınırları görülmektedir. Hat başlarından 20 m uzaklığına kadar 1 m derinlikten başlayarak yaklaşık 10 m derinliğe kadar KD yönünde uzanan eğimli, yüksek genlikli bir yansıtıcı sınır görülmektedir. Benzer bir eğimli sınır hattın son kısımlarında 4 m derinliklerden başlayarak 8 m'ye uzanan GB yönünde görülmektedir. Ayrıca 40 m uzaklıkta derine doğru tekrarlayan yüksek genlikli bir yansıma görülmektedir.

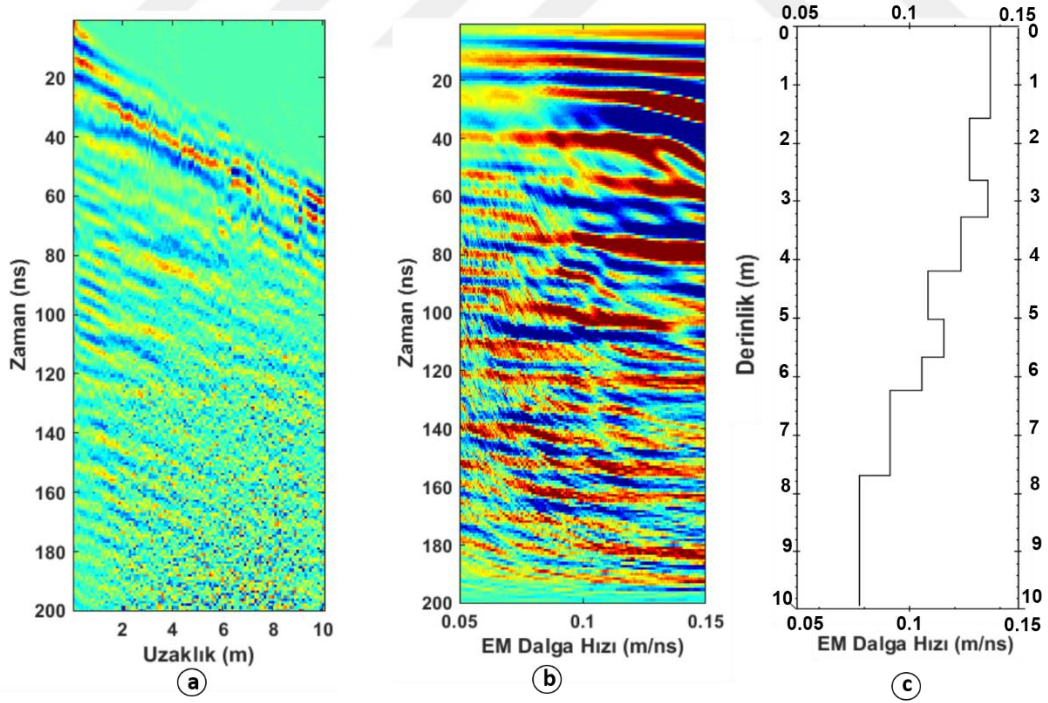
Alan 2 de profil 4 de DB yönlü 6 hat üzerinde yapılan GPR ölçümleri 1 m hat aralıkları ile yaklaşık 45 metre profil boyuna sahip ve 10 m nüfuz derinliğine kadar bilgi sağlamaktadır. Bütün hatlarda yaklaşık 4 m derinliğe kadar bir tabaka görülmektedir. Hat başlarından 20 m uzaklığına kadar 1 m derinlikten başlayarak yaklaşık 10 m derinliğe kadar KD yönünde uzanan eğimli, yüksek genlikli bir yansıtıcı sınır görülmektedir. Ayrıca 8 m uzaklıkta 8 m derinliklerde başlayan 28 m uzaklıklarında ise sığlaşarak 6 m derinliklere ulaşan yüksek genlikli bir yapı dikkat çekmektedir.

#### **2.4.2.2. Alan 2 Çoklu Ofset Yer Radarı Çalışmaları**

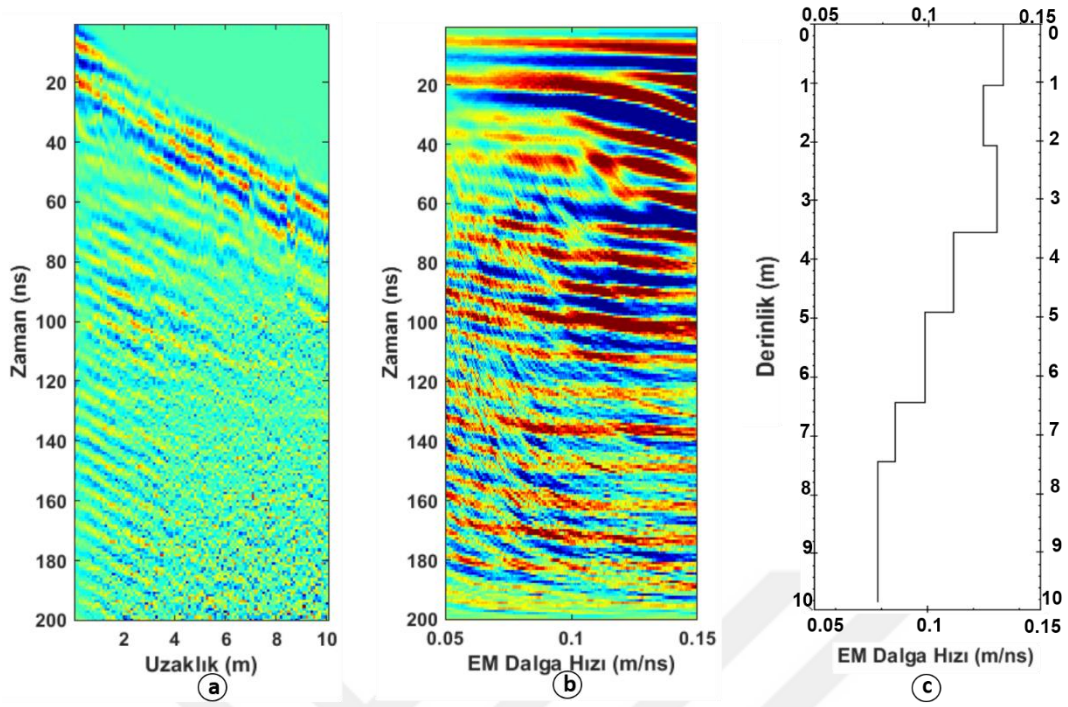
Alan 2'de 4 profilde GPR ortak orta nokta ölçümleri toplanmıştır. Her bir profilde alıcı ve verici anten arasında mesafe 10 cm kaydırılarak OON verileri toplanmıştır. Bu veriler MALA Geoscience firmasına ait Proex kontrol birimi ve 200 MHz merkez frekanslı korumasız antenler kullanılarak toplanmıştır. Toplanan tüm veriler MATLAB programında yazılan algoritmalarla çözümlenerek her bir profile ait hız benzetim kesitleri oluşturulmuştur. Bu işlemler yapılırken izlenen adımlar şekil 2.18'de verilmiştir. Her bir benzetim kesitinden 1B hız-derinlik modelleri ve birbirine paralel hatlarda alınan ölçümlerde interpolasyon yöntemi ile 2B hız derinlik kesitleri oluşturulmuştur (Şekil 2.76-2.98).



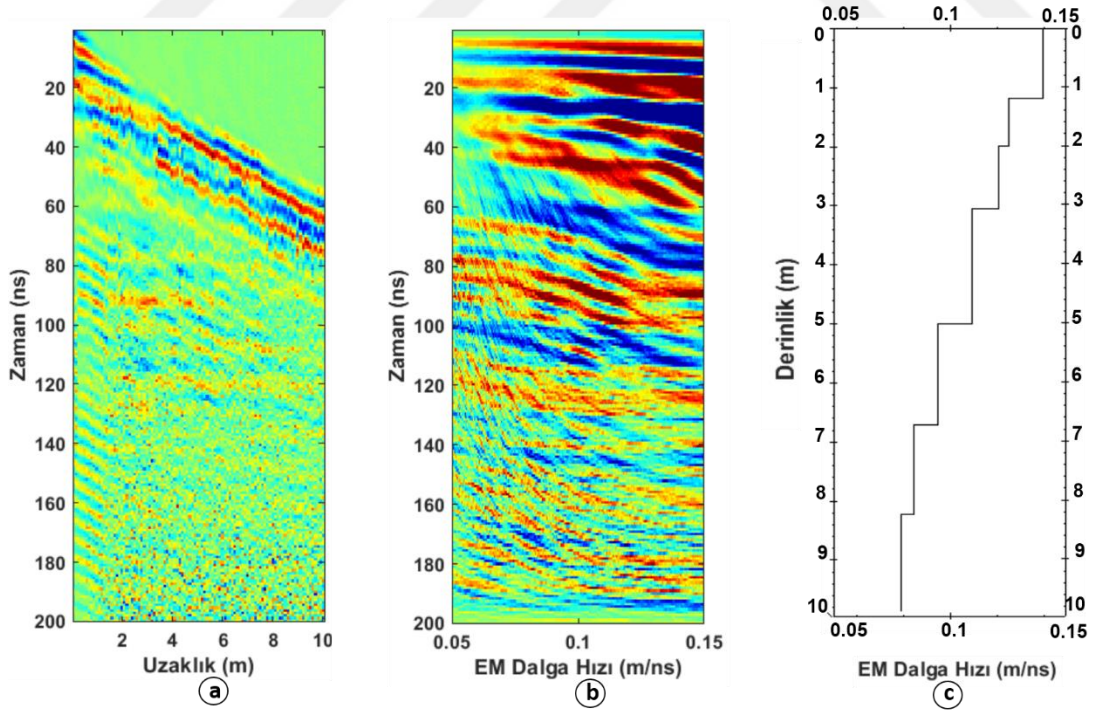
Şekil 2.76. (a) Alan 2 profil 1’de 1. nokta üzerinde OON ile toplanmış GPR verisinden elde edilen radargram (b) Benzetim penceresi (c) 1B hız-derinlik kesiti



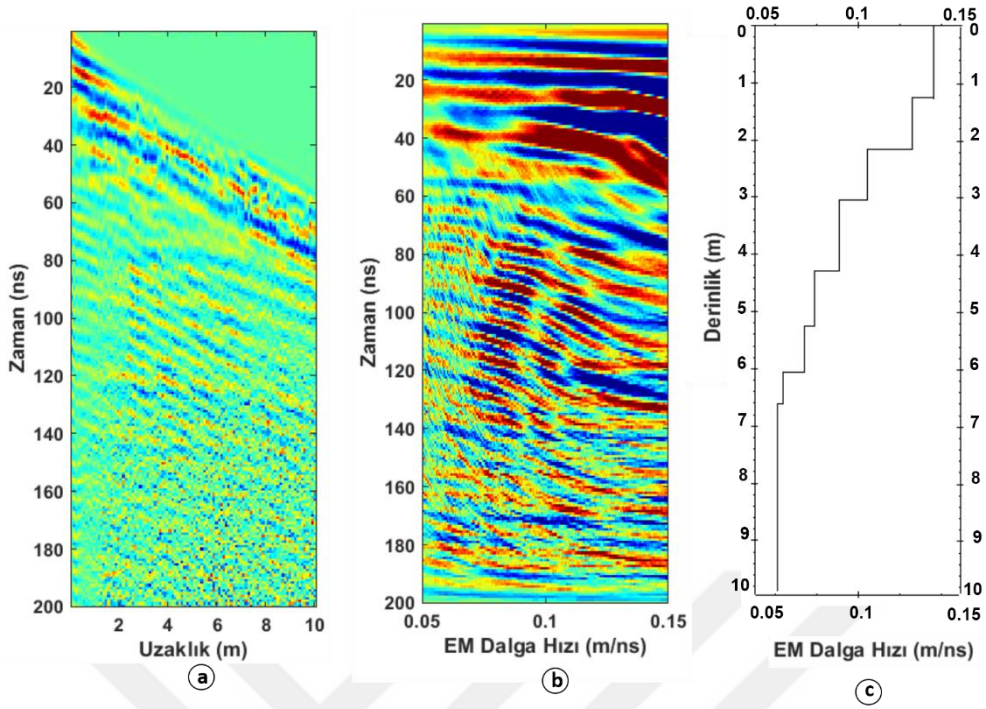
Şekil 2.77. (a) Alan 2 profil 1’de 2. nokta üzerinde OON ile toplanmış GPR verisinden elde edilen radargram (b) Benzetim penceresi (c) 1B hız-derinlik kesiti



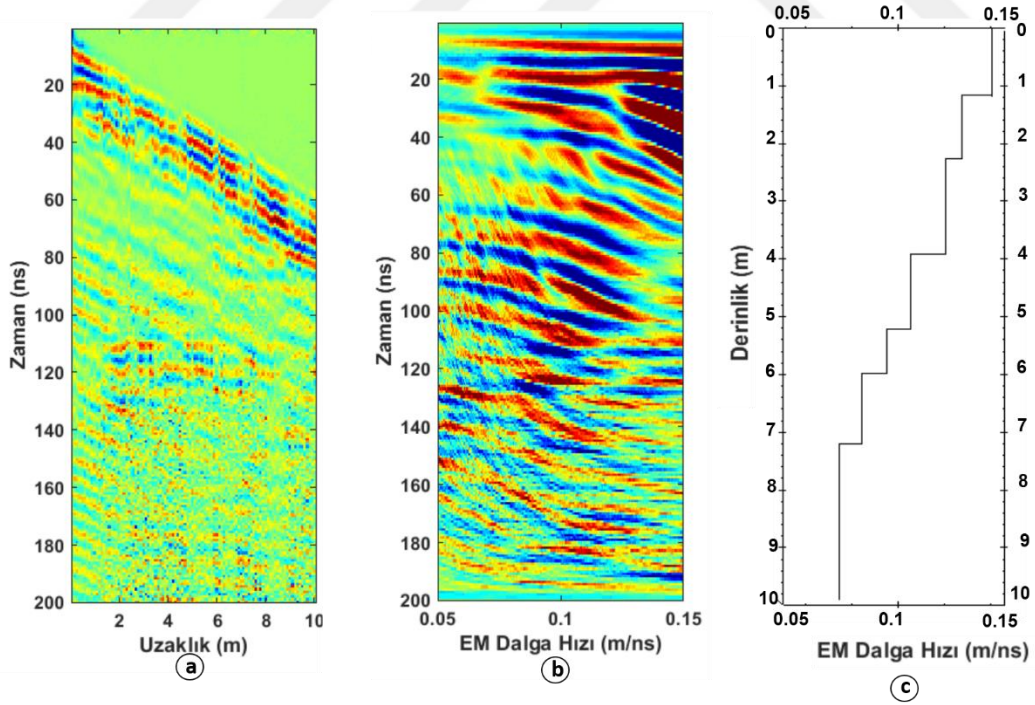
Şekil 2.78. (a) Alan 2 profil 1’de 3. nokta üzerinde OON ile toplanmış GPR verisinden elde edilen radargram (b) Benzetim penceresi (c) 1B hız-derinlik kesiti



Şekil 2.79. (a) Alan 2 profil 1’de 4. nokta üzerinde OON ile toplanmış GPR verisinden elde edilen radargram (b) Benzetim penceresi (c) 1B hız-derinlik kesiti



Şekil 2.80. (a) Alan 2 profil 1’de 5. nokta üzerinde OON ile toplanmış GPR verisinden elde edilen radargram (b) Benzetim penceresi (c) 1B hız-derinlik kesiti



Şekil 2.81. (a) Alan 2 profil 1’de 6. nokta üzerinde OON ile toplanmış GPR verisinden elde edilen radargram (b) Benzetim penceresi (c) 1B hız-derinlik kesiti

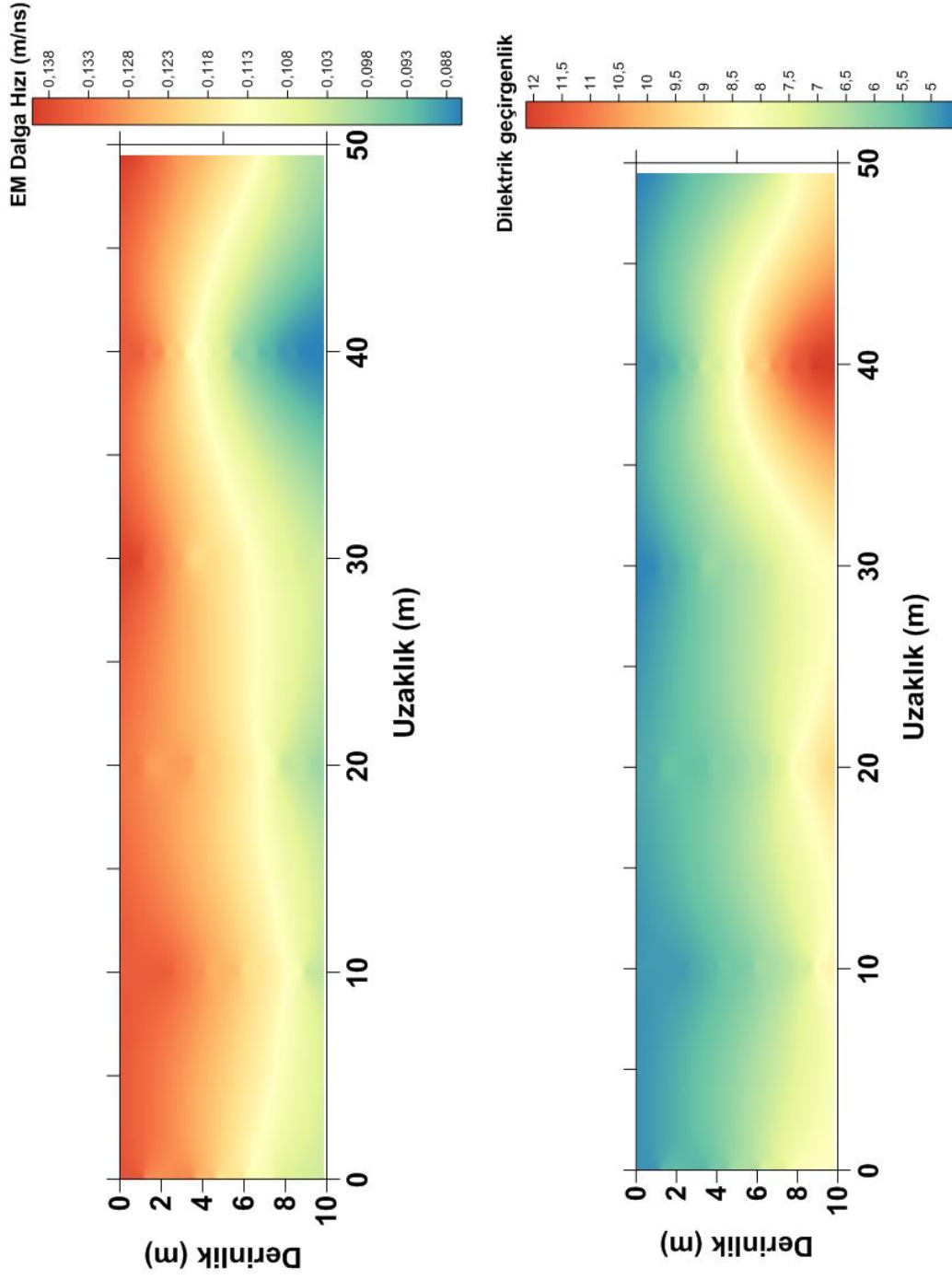


Alan 2 profil 1’de DB yönlü 10 m ölçüm aralıkları ile 6 noktada yapılan OON ölçümlerinden elde edilen derinlik ve EM dalga hızları tablo 2.14’te verilmiştir.

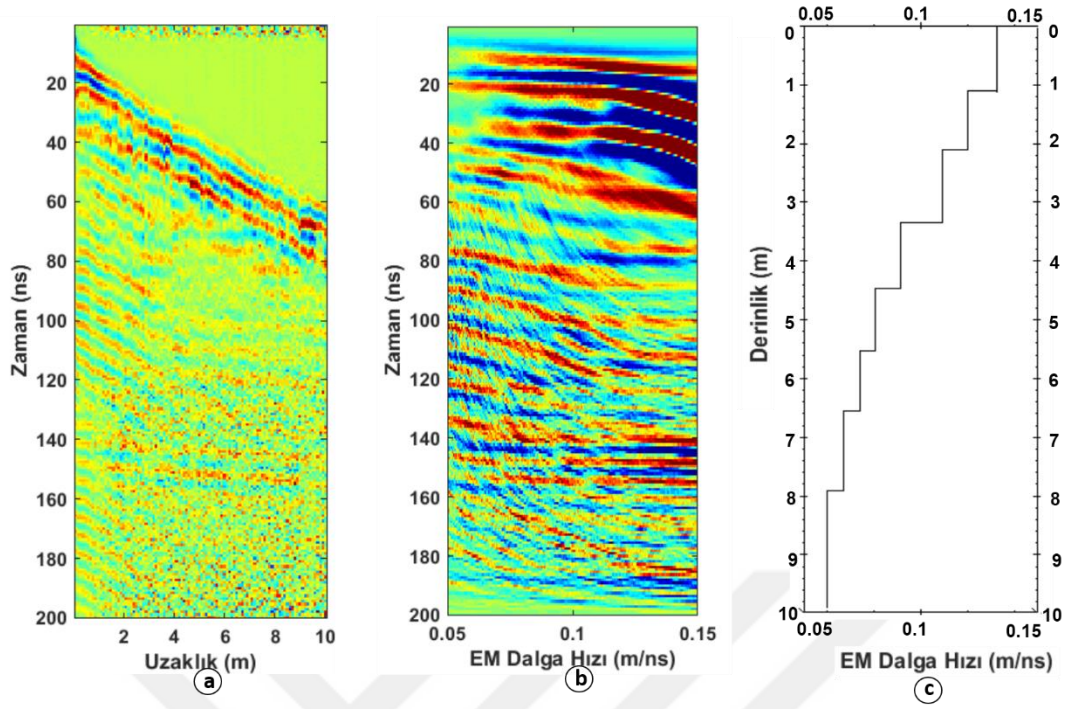
Tablo 2.14. Alan 2 profil 1’deki 6 noktaya ait derinlik ve EM dalga hızları

Derinlik (m)	1.nokta EM Dalga Hızı (m/ns)	2.nokta EM Dalga Hızı (m/ns)	3.nokta EM Dalga Hızı (m/ns)	4.nokta EM Dalga Hızı (m/ns)	5.nokta EM Dalga Hızı (m/ns)	6.nokta EM Dalga Hızı (m/ns)
0-1	0.137	0.137	0.134	0.139	0.137	0.135
1-2	0.121	0.13	0.124	0.122	0.125	0.126
2-3	0.124	0.124	0.127	0.119	0.123	0.12
3-4	0.12	0.12	0.117	0.12	0.107	0.91
4-5	0.12	0.107	0.117	0.12	0.107	0.85
5-6	0.104	0.11	0.1	0.091	0.087	0.084
6-7	0.119	0.1	0.082	0.091	0.082	0.78
7-8	0.112	0.086	0.08	0.082	0.079	0.076
8-9	0.112	0.081	0.076	0.08	0.076	0.076
9-10	0.112	0.081	0.076	0.08	0.076	0.076

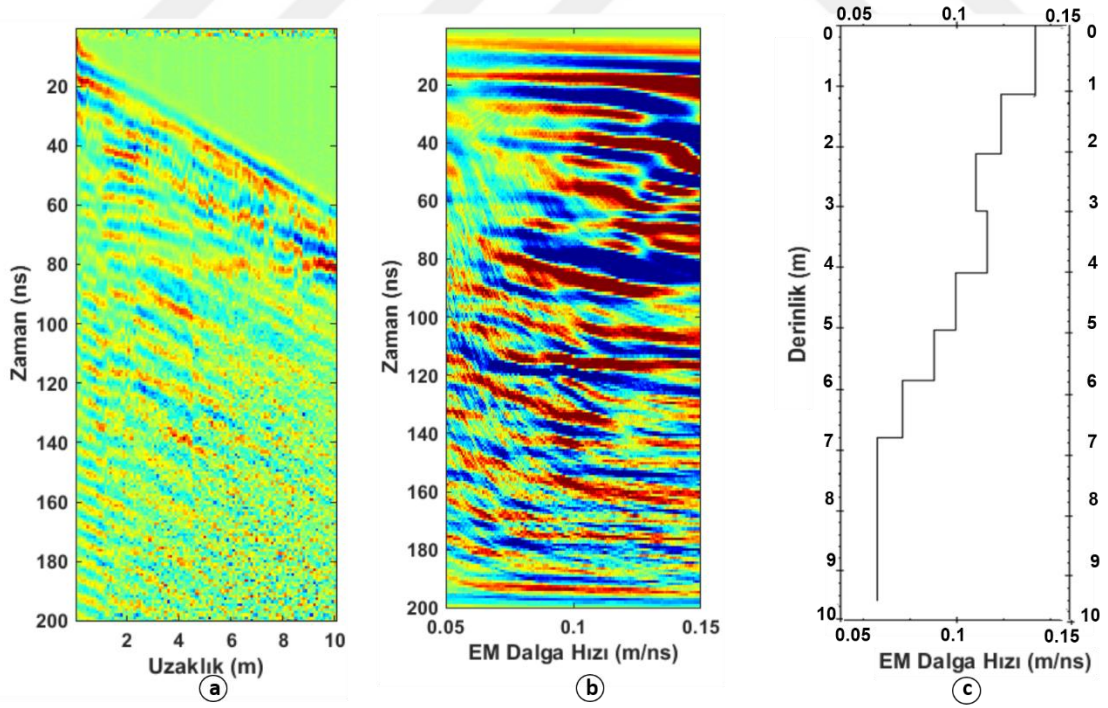
Profil 1’deki 6 noktadan toplanan OON verilerinin değerlendirilmesi ile elde edilen 1 boyutlu-hız derinlik kesitlerinin birleştirilmesi ile oluşan 2 boyutlu hız-derinlik kesiti (Şekil 2..83) 50 m uzunluğundadır. Bu kesitte 6 m derinliğe kadar EM dalga hızı 0.123-0.138 m/ns arasında gözlenirken 6-10 m derinliklerinde 0.1-0.118 m/ns arasındadır. 35-45 m uzaklıklarında ve 4 m den daha derinlere gidildikçe EM dalga hızının iyice düşerek 0.088- 0.103 m/ns arasında olduğu görülmektedir. Elde edilen dielektrik geçirgenlik-derinlik kesitinde ise 6 m derinliğe kadar edilen dielektrik geçirgenliğin 5- 7.5 arasında, 6 m den daha derinlere inildikçe ise de dielektrik geçirgenliğin arttığı ve 8-9 arasında olduğu görülmektedir. Ayrıca 17-22 m ve 35-45 m uzaklıkları altında ve 4 m den daha derinlere gidildikçe dielektrik geçirgenliğin o bölgelerde çok yükselerek 10- 12 m/ns arasında olduğu görülmektedir.



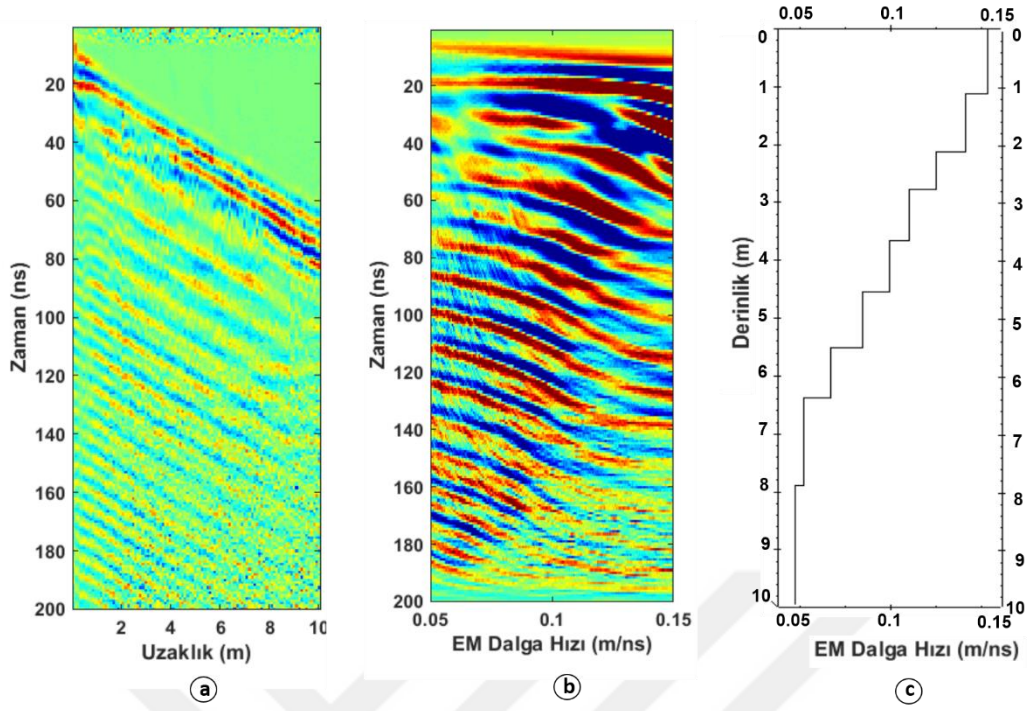
Şekil 2.82. Alan 2 profil 1’de 4 noktadan toplanan OON ölçümleri ile elde edilen (a) 2B hız-derinlik kesiti (b) 2B dielektrik geçirgenlik-derinlik kesiti



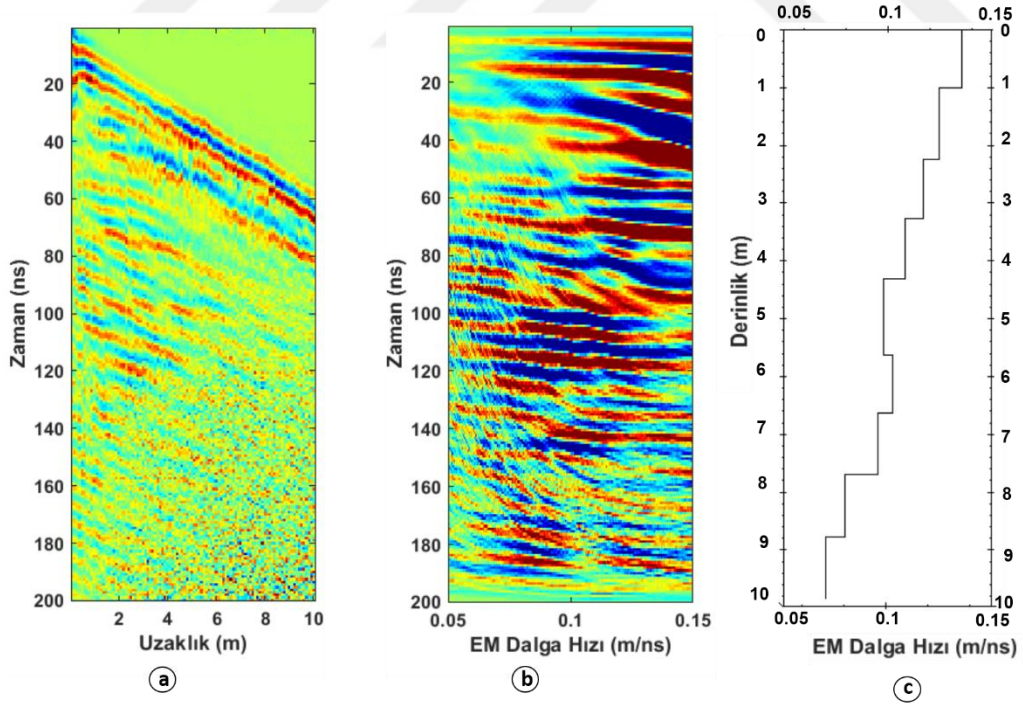
Şekil 2.83. (a) Alan 2 profil 2’de 1. nokta üzerinde OON ile toplanmış GPR verisinden elde edilen radargram (b) Benzetim penceresi (c) 1B hız-derinlik kesiti



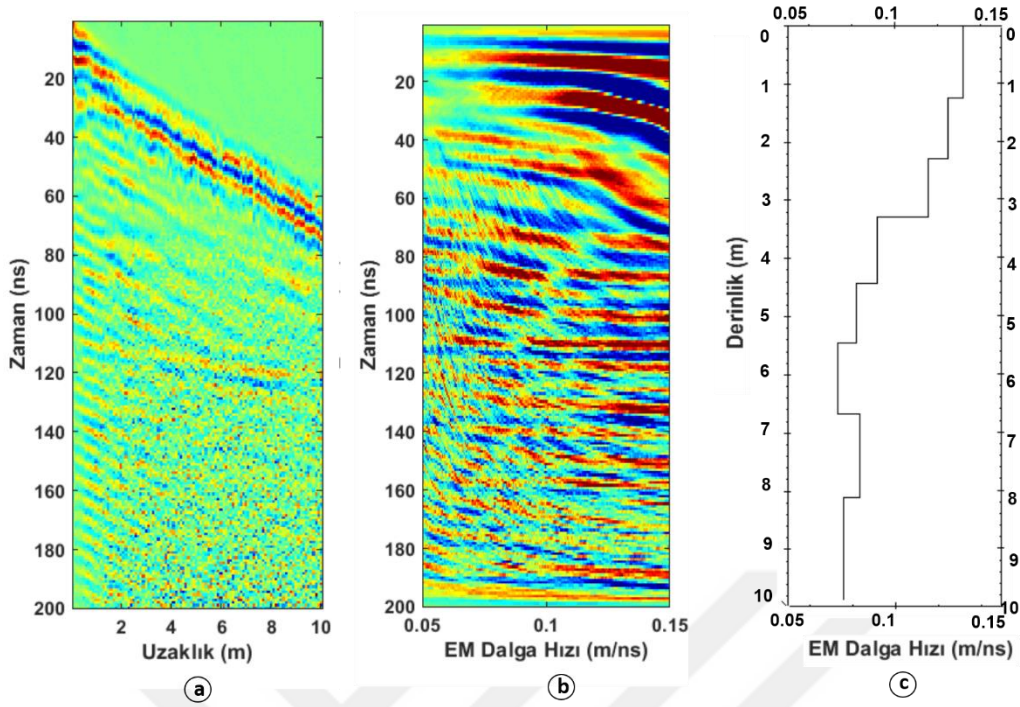
Şekil 2.84. (a) Alan 2 profil 2’de 2. nokta üzerinde OON ile toplanmış GPR verisinden elde edilen radargram (b) Benzetim penceresi (c) 1B hız-derinlik kesiti



Şekil 2.85. (a) Alan 2 profil 2’de 3. nokta üzerinde OON ile toplanmış GPR verisinden elde edilen radargram (b) Benzetim penceresi (c) 1B hız-derinlik kesiti



Şekil 2.86. (a) Alan 2 profil 2’de 4. nokta üzerinde OON ile toplanmış GPR verisinden elde edilen radargram (b) Benzetim penceresi (c) 1B hız-derinlik kesiti



Şekil 2.87. (a) Alan 2 profil 2’de 5.nokta üzerinde OON ile toplanmış GPR verisinden elde edilen radargram (b) Benzetim penceresi (c) 1B hız-derinlik kesiti

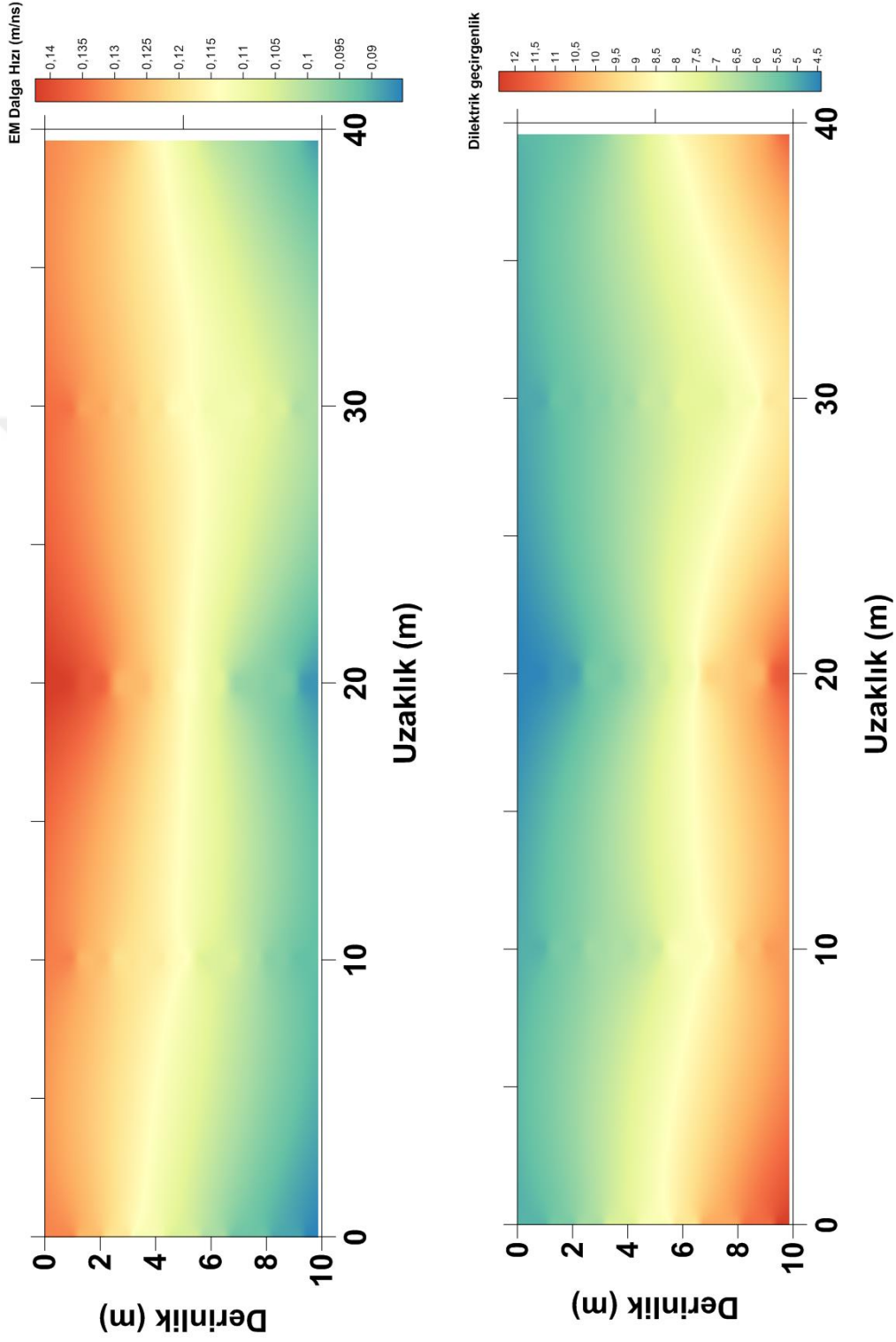
Alan 2 profil 2’de DB yönlü 10 m ölçüm aralıkları ile 5 noktada yapılan OON ölçümlerinden elde edilen derinlik ve EM dalga hızları tablo 2.15’te verilmiştir.

Tablo 2.15. Alan 2 profil 2’deki 4 noktaya ait derinlik ve EM dalga hızları

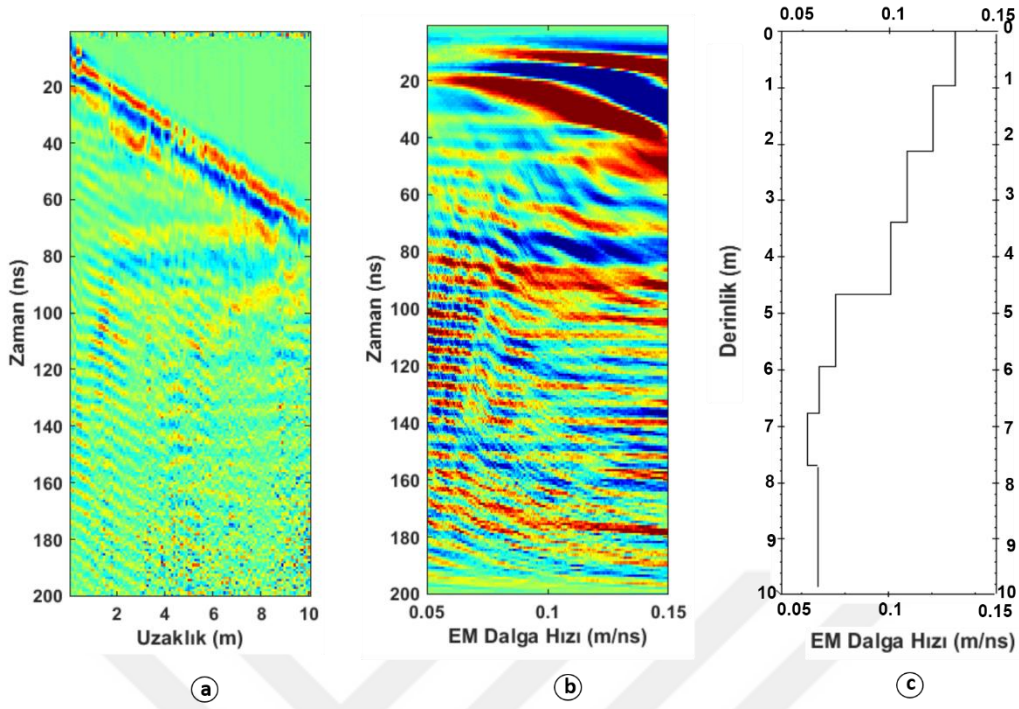
Derinlik (m)	1.nokta EM Dalga Hızı (m/ns)	2.nokta EM Dalga Hızı (m/ns)	3.nokta EM Dalga Hızı (m/ns)	4.nokta EM Dalga Hızı (m/ns)	5.nokta EM Dalga Hızı (m/ns)
0-1	0.134	0.137	0.14	0.137	0.134
1-2	0.121	0.125	0.134	0.122	0.125
2-3	0.115	0.116	0.123	0.119	0.119
3-4	0.09	0.119	0.117	0.108	0.089
4-5	0.086	0.101	0.1	0.097	0.084
5-6	0.08	0.094	0.088	0.091	0.08
6-7	0.078	0.086	0.075	0.093	0.084
7-8	0.074	0.082	0.075	0.089	0.084
8-9	0.072	0.08	0.072	0.075	0.08
9-10	0.072	0.08	0.072	0.075	0.08

Profil 2’de 5 noktada toplanan OON verilerinin değerlendirilmesi ile elde edilen 1 boyutlu-hız derinlik kesitlerinin birleştirilmesi ile oluşan 2 boyutlu hız-derinlik kesiti (şekil 2.89) 40 m uzunluğundadır. Bu kesitte 4 m derinliğe kadar EM dalga hızı 0.125-0.14 m/ns arasında gözlenirken 4-6 m derinliklerinde 0.11- 0.12 m/ns arasındadır ve 6 m den daha derinlere gidildikçe EM dalga hızının düşerek 0.07- 0.09 m/ns arasında olduğu görölmektedir. Elde edilen dielektrik geçirgenlik- derinlik kesitinde ise 4 m derinliğe kadar edilen dielektrik geğirgenliğin 5-7 arasında, 4-6 m derinliklerinde 8-9.5 ve 6 m den daha derinlere gidildikçe ise >13 olduğu görölmektedir.

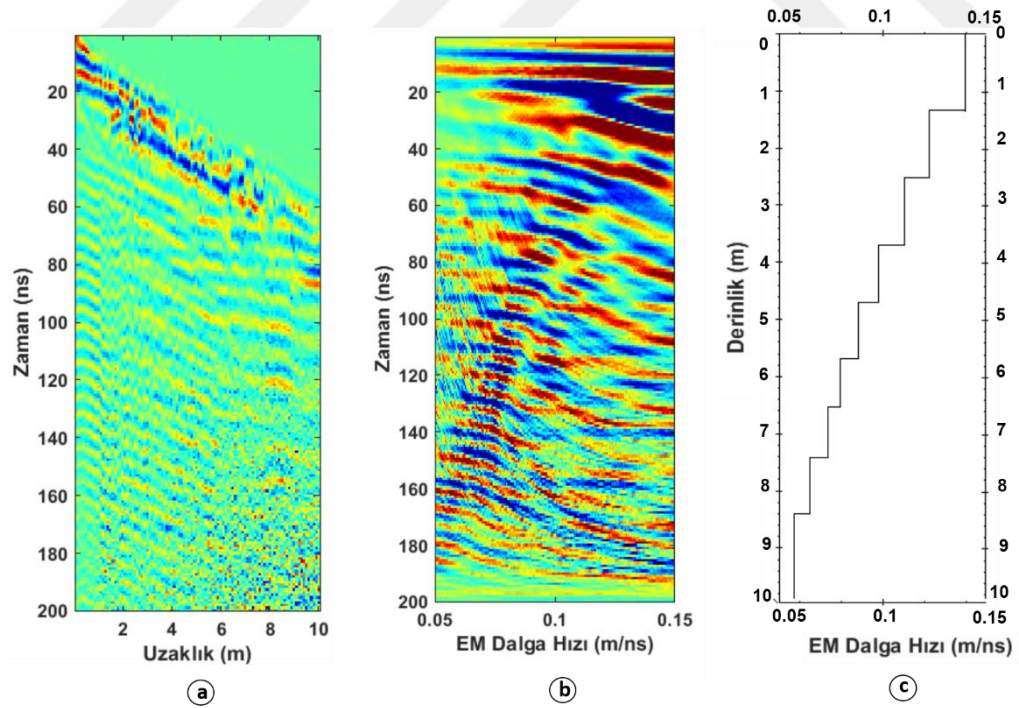




Şekil 2.88. Alan 2 profil 2’de 5 noktadan toplanan OON ölçümleri ile elde edilen (a) 2B hız-derinlik kesiti (b) 2B dielektrik geçirgenlik-derinlik kesiti

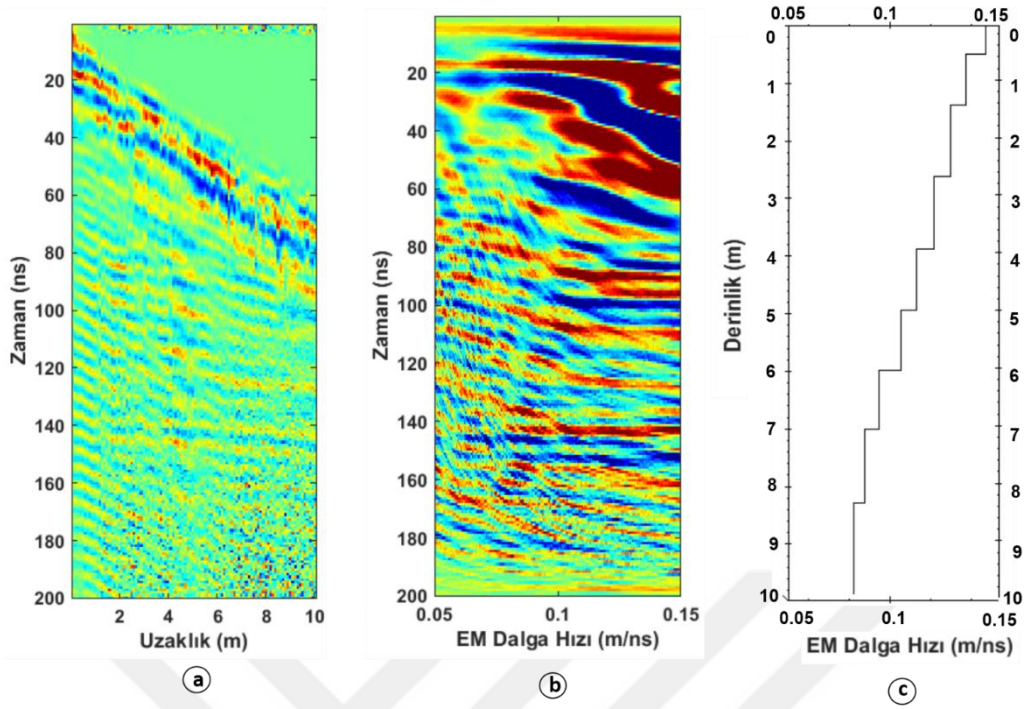


Şekil 2.89. (a) Alan 2 profil 3’de 1. nokta üzerinde OON ile toplanmış GPR verisinden elde edilen radargram (b) Benzetim penceresi (c) 1B hız-derinlik kesiti

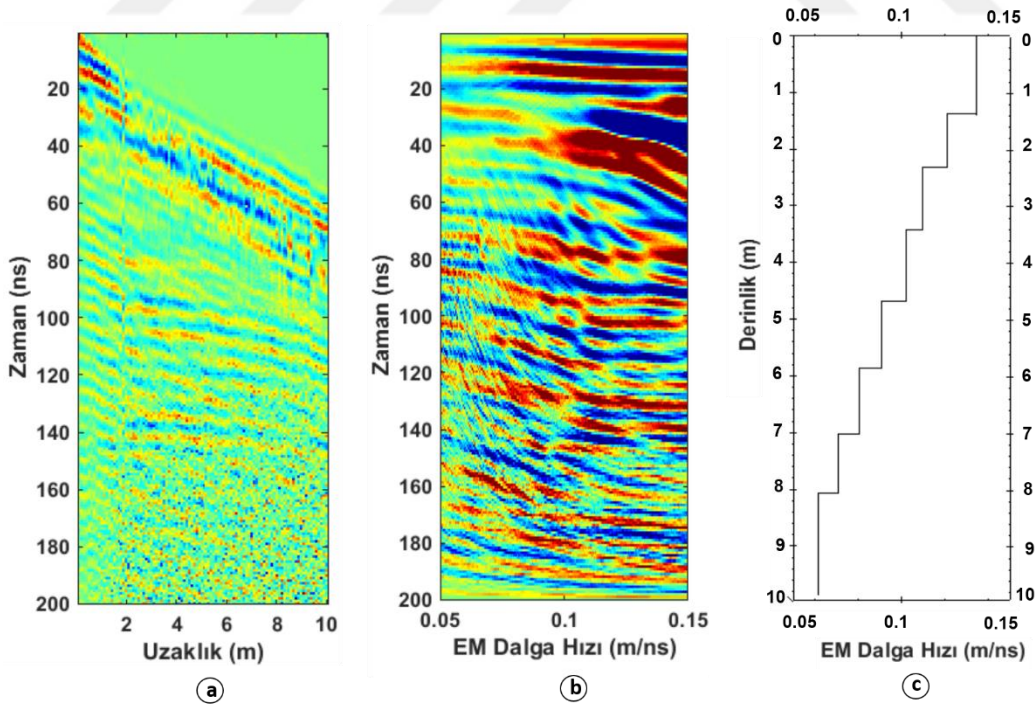


Şekil 2.90. (a) Alan 2 profil 3’de 2. nokta üzerinde OON ile toplanmış GPR verisinden elde edilen radargram (b) Benzetim penceresi (c) 1B hız-derinlik kesiti





Şekil 2.91. (a) Alan 2 profil 3'de 3. nokta üzerinde OON ile toplanmış GPR verisinden elde edilen radargram (b) Benzetim penceresi (c) 1B hız-derinlik kesiti



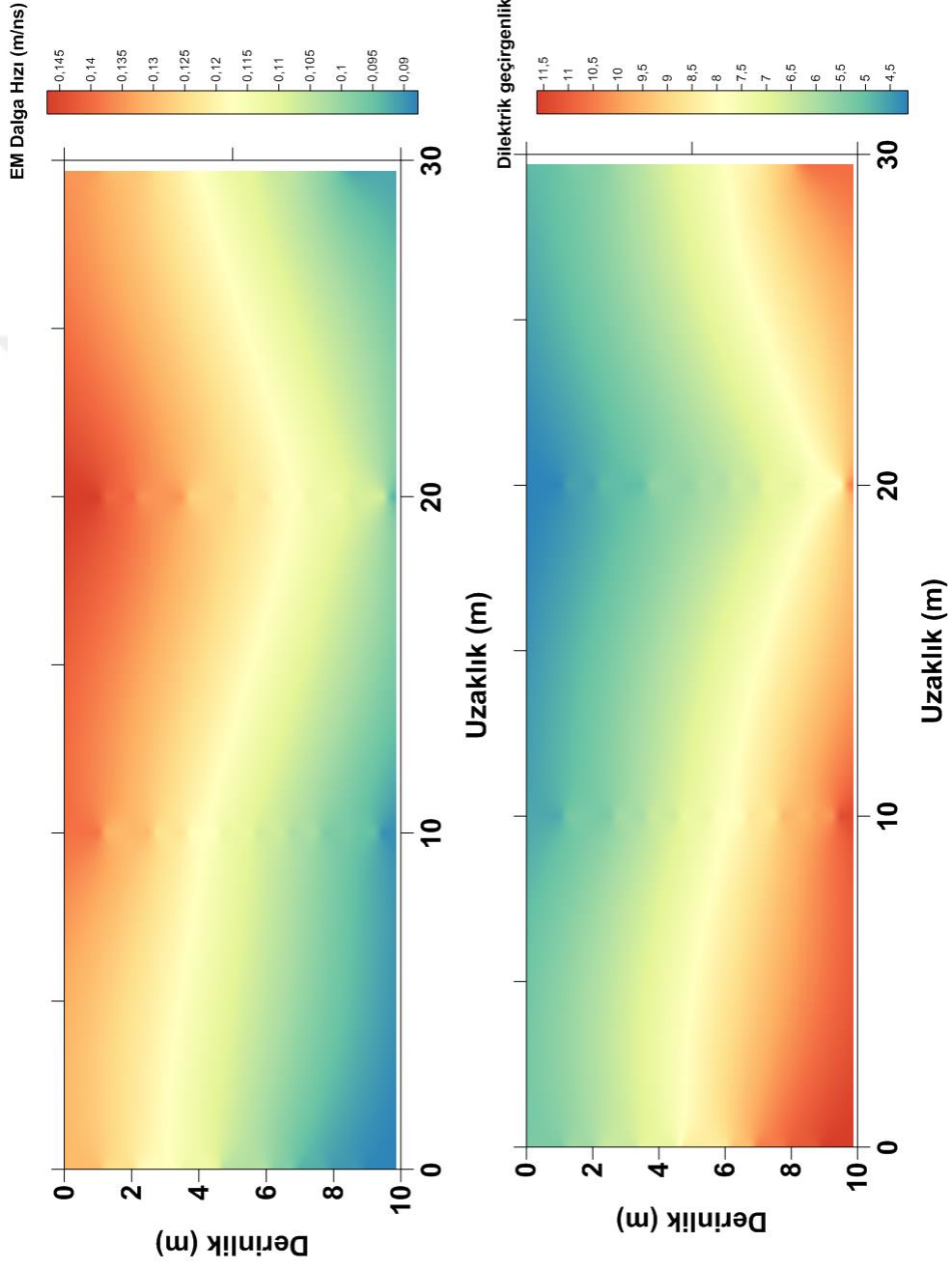
Şekil 2.92. (a) Alan 2 profil 3'de 4. nokta üzerinde OON ile toplanmış GPR verisinden elde edilen radargram (b) Benzetim penceresi (c) 1B hız-derinlik kesiti

Alan 2 de profil 3 de DB yönlü 10 m ölçüm aralıkları ile 4 noktada yapılan OON ölçümlerinden elde edilen derinlik ve EM dalga hızları tablo 2.16’da verilmiştir.

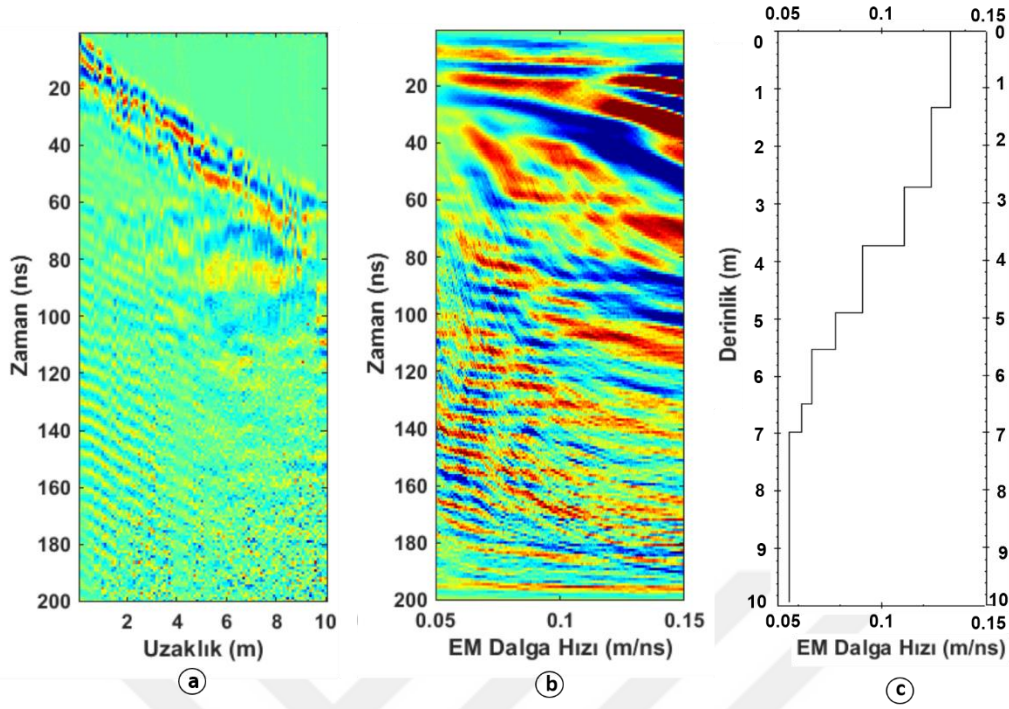
Tablo 2.16. Alan 2 profil 4’de 4 noktaya ait derinlik ve EM dalga hızları

Derinlik (m)	1.nokta EM Dalga Hızı (m/ns)	2.nokta EM Dalga Hızı (m/ns)	3.nokta EM Dalga Hızı (m/ns)	4.nokta EM Dalga Hızı (m/ns)
0-1	0.137	0.139	0.14	0.136
1-2	0.121	0.129	0.134	0.122
2-3	0.124	0.124	0.124	0.113
3-4	0.12	0.111	0.114	0.1
4-5	0.12	0.101	0.11	0.095
5-6	0.104	0.091	0.1	0.09
6-7	0.119	0.83	0.091	0.084
7-8	0.114	0.08	0.089	0.08
8-9	0.112	0.075	0.086	0.076
9-10	0.112	0.075	0.086	0.076

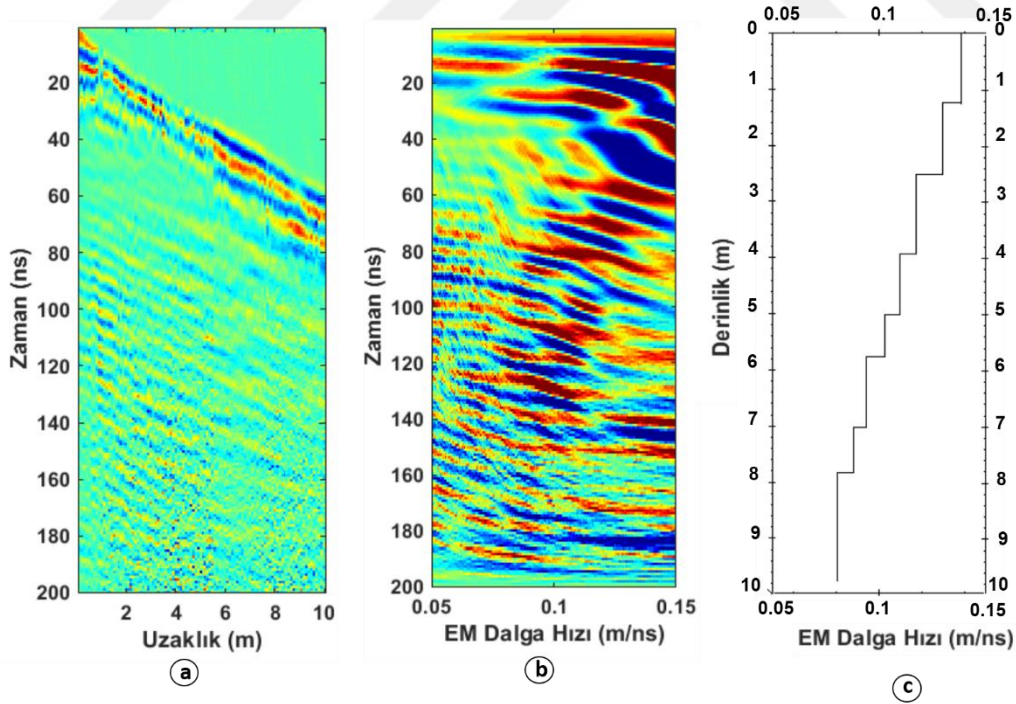
Profil 3’de 4 noktadan toplanan OON verilerinin değerlendirilmesi ile elde edilen 1 boyutlu-hız derinlik kesitlerinin birleştirilmesi ile oluşan 2 boyutlu hız-derinlik kesiti (Şekil 2.93) 30 m uzunluğundadır. Bu kesitte 4 m derinliğe kadar EM dalga hızı 0.125-0.14 m/ns arasında gözlenirken, 0-20 m uzaklıklarında batıya gittikçe azalan düşük EM dalga hızına sahip bölge ve 20-40 m uzaklığında batıya gittikçe artan düşük EM dalga hızı görülmektedir. Elde edilen dielektrik geçirgenlik- derinlik kesitinde ise 4 m derinliğe kadar edilen dielektrik geçirgenliğin 4.5-6.5 arasında, 4-6 m derinliklerinde 7-9.5 ve 6 m den daha derinlere gidildikçe ise >10 olduğu görülmektedir.



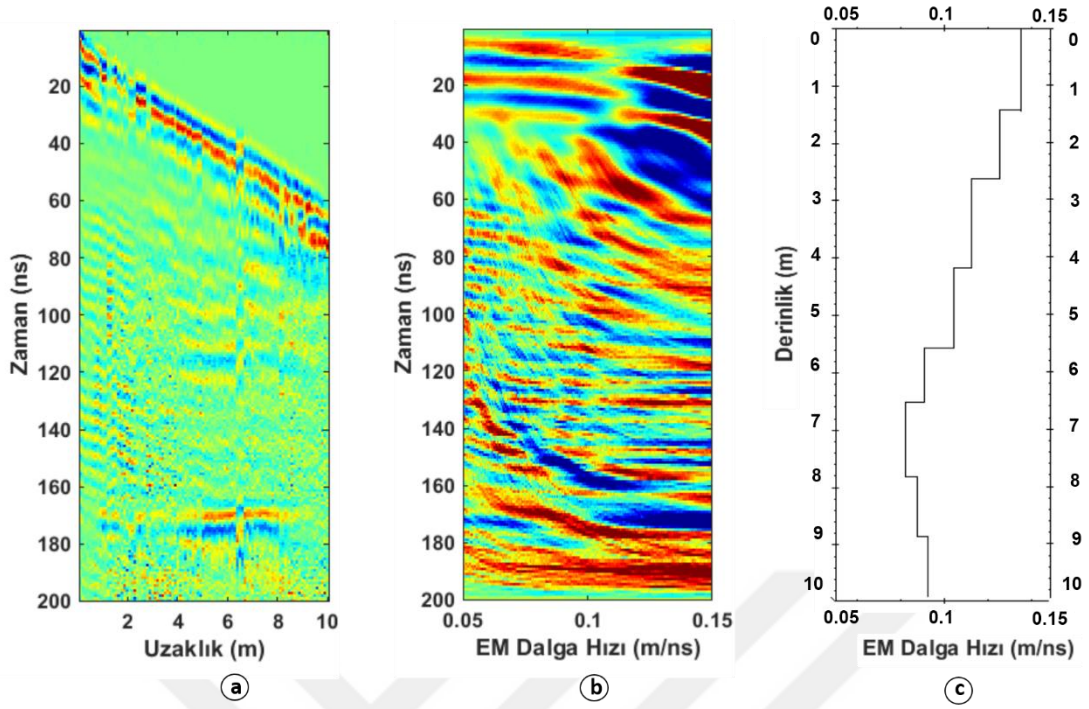
Şekil 2.93. Alan 2 profil 3'de 4 noktada toplanan OON ölçümleri ile elde edilen (a) 2B hız-derinlik kesiti (b) 2B dielektrik geçirgenlik-derinlik kesiti



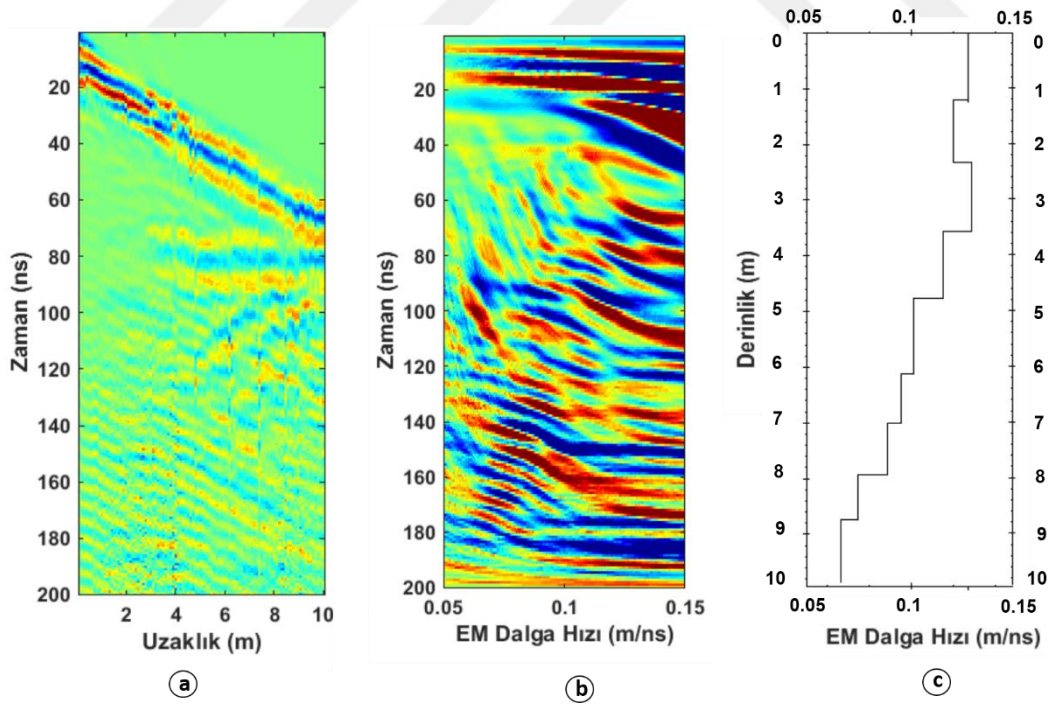
Şekil 2.94. (a) Alan 2 profil 4’de 1. nokta üzerinde OON ile toplanmış GPR verisinden elde edilen radargram (b) Benzetim penceresi (c) 1B hız-derinlik kesiti



Şekil 2.95. (a) Alan 2 profil 4’de 2. nokta üzerinde OON ile toplanmış GPR verisinden elde edilen radargram (b) Benzetim penceresi (c) 1B hız-derinlik kesiti



Şekil 2.96. (a) Alan 2 profil 4’de 3. nokta üzerinde OON ile toplanmış GPR verisinden elde edilen radargram (b) Benzetim penceresi (c) 1B hız-derinlik kesiti



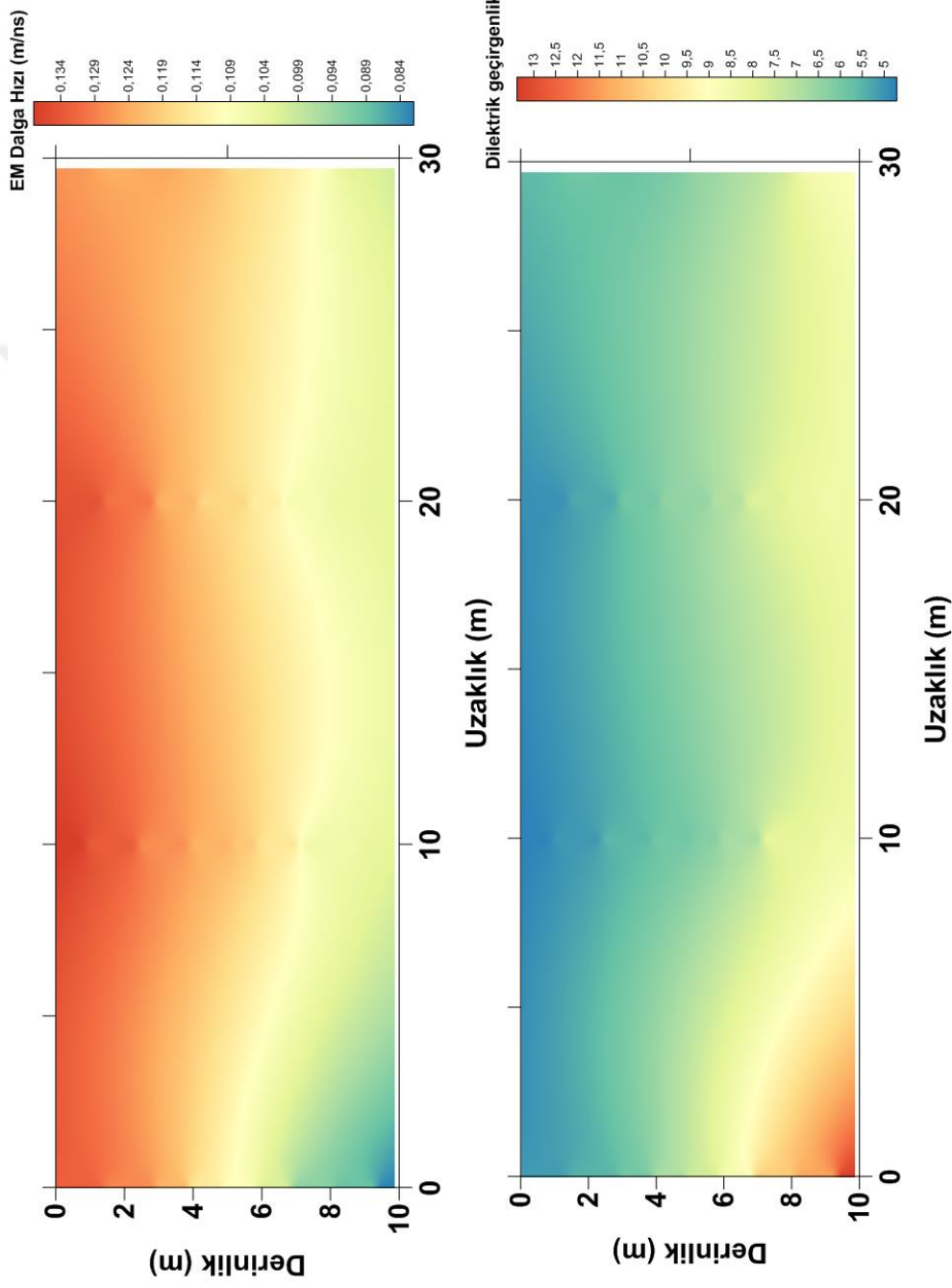
Şekil 2.97. (a) Alan 2 profil 4’de 4. nokta üzerinde OON ile toplanmış GPR verisinden elde edilen radargram (b) Benzetim penceresi (c) 1B hız-derinlik kesiti

Alan 2 profil 4’de DB yönlü 10 m ölçüm aralıkları ile 4 noktada yapılan OON ölçümlerinden elde edilen derinlik ve EM dalga hızları tablo 2.17’de verilmiştir.

Tablo 2.17. Alan 2 profil 4’teki 4 noktaya ait derinlik ve EM dalga hızları

Derinlik (m)	1.nokta EM Dalga Hızı (m/ns)	2.nokta EM Dalga Hızı (m/ns)	3.nokta EM Dalga Hızı (m/ns)	4.nokta EM Dalga Hızı (m/ns)
0-1	0.132	0.137	0.137	0.132
1-2	0.126	0.13	0.127	0.128
2-3	0.117	0.124	0.127	0.13
3-4	0.11	0.117	0.118	0.124
4-5	0.89	0.11	0.102	0.12
5-6	0.087	0.10	0.1	0.102
6-7	0.088	0.097	0.09	0.097
7-8	0.074	0.092	0.086	0.09
8-9	0.072	0.089	0.089	0.084
9-10	0.072	0.089	0.089	0.084

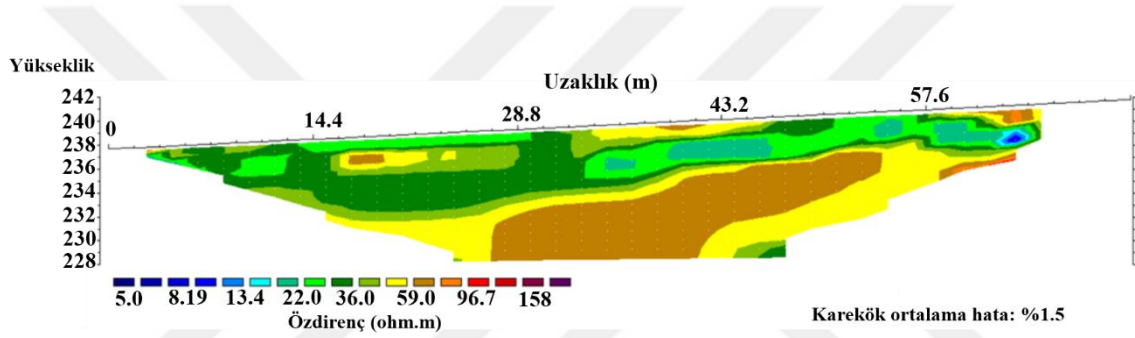
Profil 4’deki 4 noktada toplanan OON verilerinin değerlendirilmesi ile elde edilen 1 boyutlu-hız derinlik kesitlerinin birleştirilmesi ile oluşan 2 boyutlu hız-derinlik kesiti (Şekil 2.99) 30 m uzunluğundadır. Bu kesitte 5 m derinliğe kadar 0.119-0.134 m/ns arasında değişen yüksek EM dalga hızı tüm profil boyunca gözlenirken 5- 6.5 m derinliklerinde 10 m uzaklıklardan sonra derinleşip 10 m derinliğe ulaşan 0.094-0.114 m/ns EM dalga hızı görülmektedir ve 0-10 uzaklıklarda 7-10 m uzaklıklarında 0.084-0.09 m/ns hızına sahip EM dalga olduğu görülmektedir. Elde edilen dielektrik geçirgenlik-derinlik kesitinde ise 6 m derinliğe kadar dielektrik geçirgenliğin 5-7 arasında, 6-10 m derinliklerde 0-8 m uzaklıklarında 11-13 ve yine 6-10 m derinliklerinde 10-30 m uzaklıklarında ise 7.5-9 arasında olduğu görülmektedir.



Şekil 2.98. Alan 2 profil 4' de 4 noktada toplanan OON ölçümleri ile elde edilen (a) 2B hız-derinlik kesiti (b) 2B dielektrik geçirgenlik-derinlik kesiti

### 2.4.2.3. Alan 2 Elektrik Özdirenç Çalışmaları

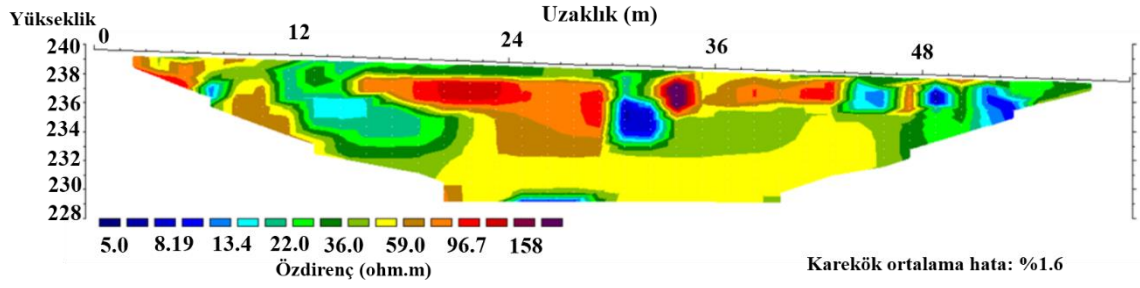
Alan 2’de bulunan 4 profilde elektrik özdirenç yöntemi kullanılarak veriler toplanmıştır. Bu veriler ABEM Terrameter LS cihazı ile 41 elektrot kullanılarak toplanmıştır. Elde edilen veriler elektrik özdirenç tomografi yöntemi ile çözümlenerek yer altı kesitleri elde edilmiştir. Çalışmada 41 elektrot ile Wenner, Wenner Schlumberger ve Dipol Dipol dizilimleri kullanılarak yapılan ölçümler en küçük kareler ters çözüm temeline dayanarak yer altı kesitleri oluşturulmuştur. Ayrıca tüm kesitlerin karşılaştırılabilir olması için çizimde 5-200 ohm-m aralığı kullanılmıştır. Çalışma alanı 2’ye ait elde edilen yer altı kesitleri şekil 2.99-2.102’de verilmiştir.



Şekil 2.99. Alan 2’de 1. profilde Dipol-Dipol dizilimi ile elde edilen elektrik kesiti

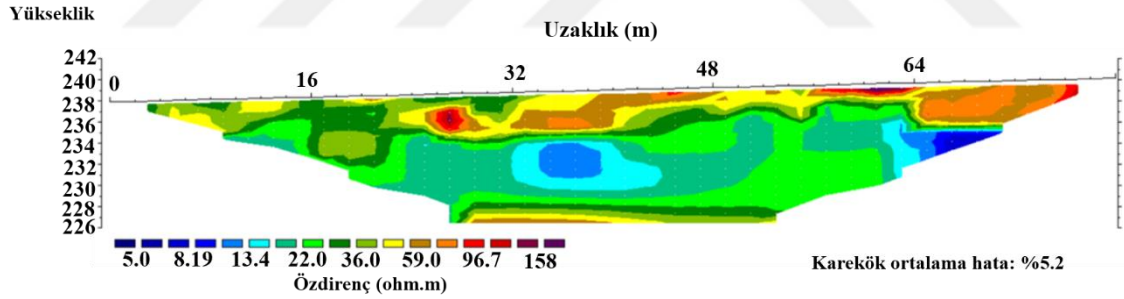
Profil 1’in uzunluğu 72 m, elektrotlar arası mesafe 1.8 m olarak alınmıştır ve ölçümler DB yönlüdür. Alınan ölçümlerden yaklaşık 13 m derinliğe kadar inilmiştir. Kesitte genel olarak farklı özdirenç değişimleri gösteren üç alan mevcuttur. 4 m derinliklerine kadar başlayan ve batıya gittikçe sığlaşan 11-20 ohm.m arasında değişen düşük özdirençli bir alan dikkat çekmektedir. Profil başlangıcından 4-6 m derinliklerin altında kalan kısımda arasından başlayarak profil sonlarına doğru sığlaşan ve 25-35 ohm.m özdirençleri arasında değişen ikinci alan da gözlenmiştir. Ayrıca 25 m uzaklıklarında 6-10 m derinliklerinde ve 58 m uzaklıklarında 4 m derinliklere kadar sığlaşan 40-55 ohm.m arasında değişen üçüncü alan görülmektedir.





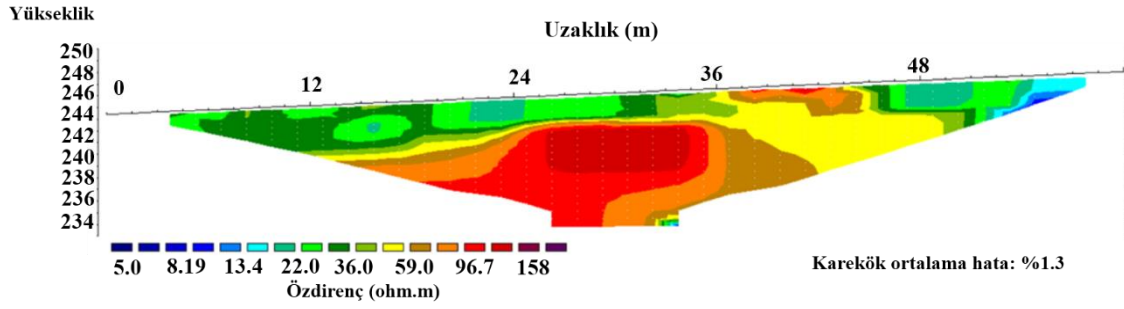
Şekil 2.100. Alan 2’de 2. profilde Dipol-Dipol dizilimi ile elde edilen elektrik kesiti

Profil 2’in uzunluğu 60 m, elektrotlar arası mesafe 1.5 m olarak alınmıştır ve ölçümler GK yönlüdür. Alınan ölçümlerden yaklaşık 9 m derinliğe kadar inilmiştir. Kesitte 13-27 m uzaklıklarında 2-6 m derinlikleri arasında 50-70 ohm.m arasında değişen yüksek öz dirençli bir alan dikkat çekmektedir. Aynı yüksek öz dirençli kısım 35-43 m uzaklıklarında 1-3 m derinlikleri arasında da görülmektedir. 11-20 m, 30-32 m ve 38-55m uzaklıklarında 1-4 m derinlikleri arasında ise 7-14 ohm.m arasında değişen düşük öz dirençli, alanlar görülmektedir.



Şekil 2.101. Alan 2’de 3. profilde Dipol-Dipol dizilimi ile elde edilen elektrik kesiti

Profil 3’in uzunluğu 80 m, elektrotlar arası mesafe 2 m olarak alınmıştır ve ölçümler DB yönlüdür. Alınan ölçümlerden yaklaşık 13 m derinliğe kadar inilmiştir. Kesitte lokal olarak düşük öz dirençli alanlar görülmektedir. Bu alanlar 24-28 m uzaklıklarında ve 2-4 m derinliklerinde, 32-48 m uzaklıklarında ve 4-10 m derinliklerinde, 56-58 m uzaklıklarında ve 1-3 m derinliklerinde, 64-70 m uzaklıklarında ve 2-3.5 m derinliklerinde 5-12 ohm.m arasında değişmektedir. 10 m nin altındaki derinliklerde öz dirençler yükselerek 66 ohm.m civarlarında değişmektedir.

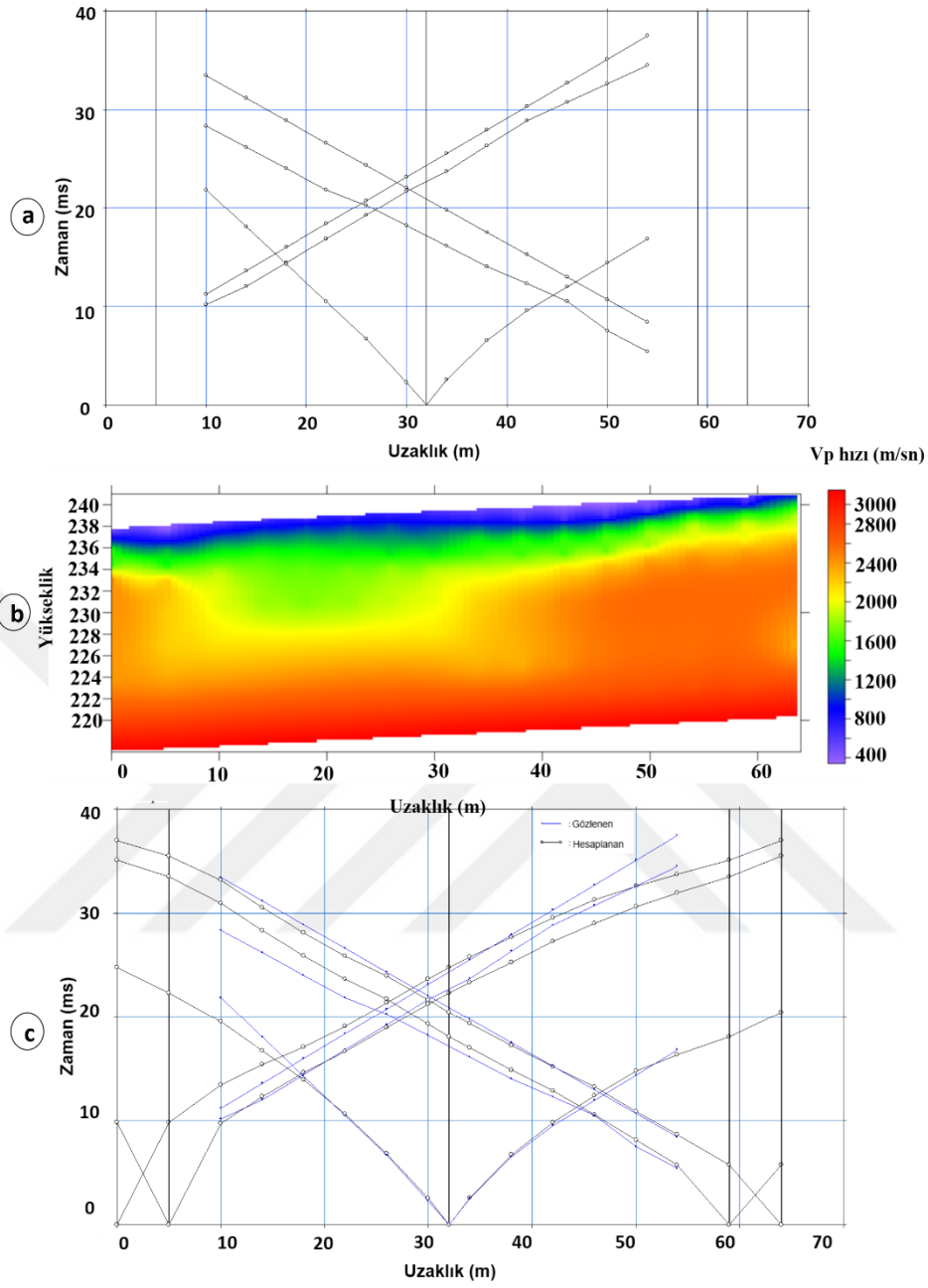


Şekil 2.102. Alan 2’de 4. profilde Dipol-Dipol dizilimi ile elde edilen elektrik kesiti

Profil 4’ün uzunluğu 60 m, elektrotlar arası mesafe 1.5 m olarak alınmıştır ve ölçümler GK yönlüdür. Alınan ölçümlerden yaklaşık 9 m derinliğe kadar inilmiştir. Kesitte 0-30 m uzaklıklarında ve 1-3 m derinlikleri arasında 12-20 ohm.m arasında değişen özdirenç değişimi gösteren bir alan mevcuttur. Bu kesitte en dikkat çekici alan 28-34 m uzaklıklarında ve 2-5 m derinlikleri arasında 70 ohm.m yüksek özdirenç değişimi gösteren alandır.

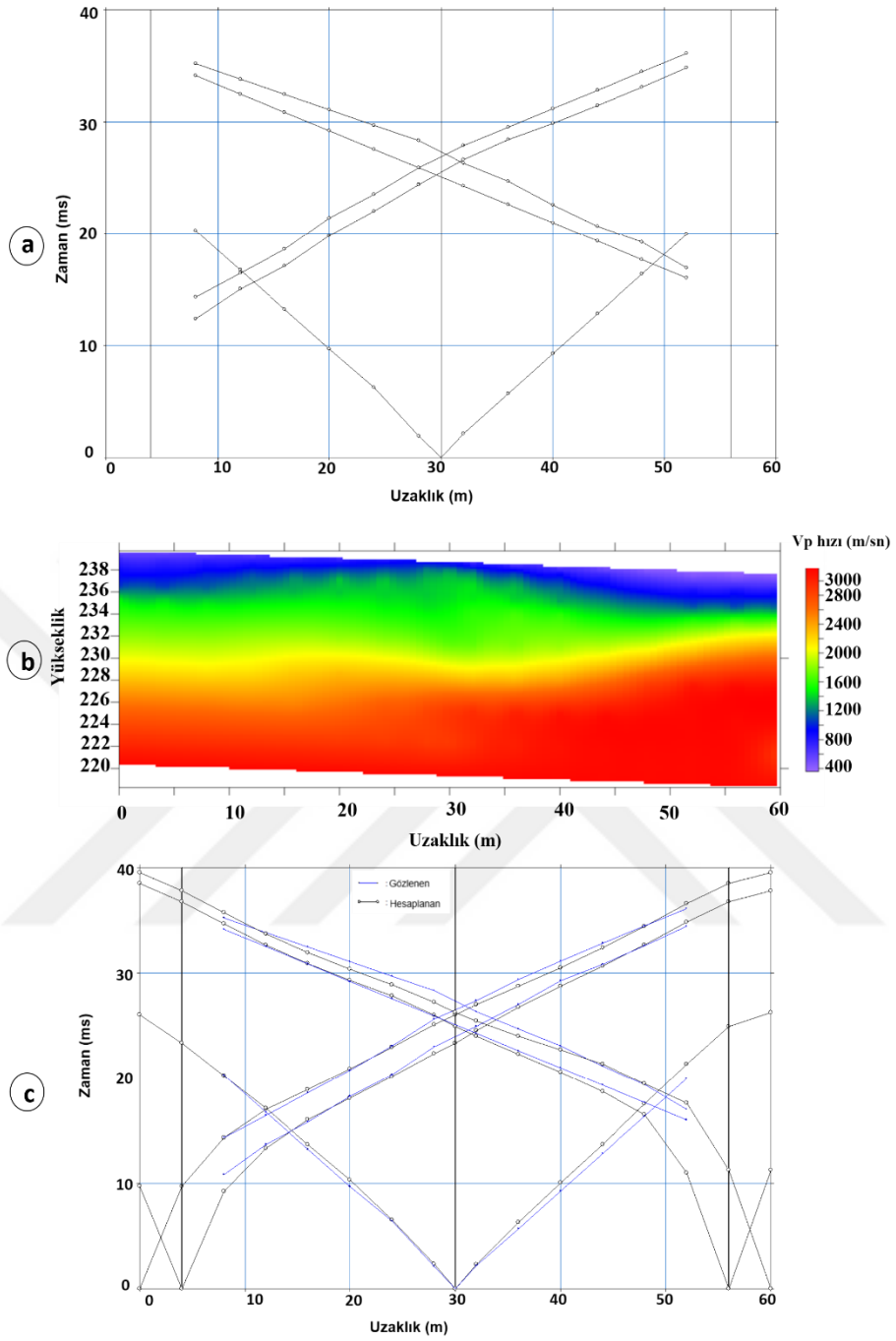
#### 2.4.2.4 Alan 2 Sismik Kırılma Çalışmaları

Çalışma sahalarından Alan 2 de arazi şartlarına dikkat edilerek belirlenen en uygun 5 profilde sismik kırılma yöntemi kullanılarak veriler toplanmıştır. Elde edilen sismik kayıtlar tomografi yöntemi ile çözümlenerek, çalışma alanı için yer altı Vp hız dağılımları elde edilmiştir. 8 kg balyoz ve demir bir plaka enerji kaynağı olarak kullanılmıştır. 12 adet 14 Hz lik alıcılar kullanılarak alınan ölçümlerde profil uzunluklarına bağlı olarak her bir profilde alıcı aralıkları ve ofset uzaklıkları değişmiş olmakla birlikte profil başında ikisi, sonunda ikisi ve biride orta noktadan olmak üzere toplam 5 noktada atış yapılarak kayıtlar toplanmıştır. Sismik ölçümlerden alınan verilerinin SeisImager programı ile değerlendirilmiştir. Alan 2 de sismik kırılma yöntemi ile toplanan verilerden elde edilen zaman-uzaklık grafikleri, Vp hız dağılımları ve hesaplanan ile gözlenen eğrilerin karşılaştırılması Şekil 2.103-2.106’da verilmiştir.



Şekil 2.103. (a) Alan 2 profil 1'den elde edilen zaman-uzaklık grafiği (b) P dalgası hız dağılımı (c) hesaplanan ile gözlenen eğrinin çakışması

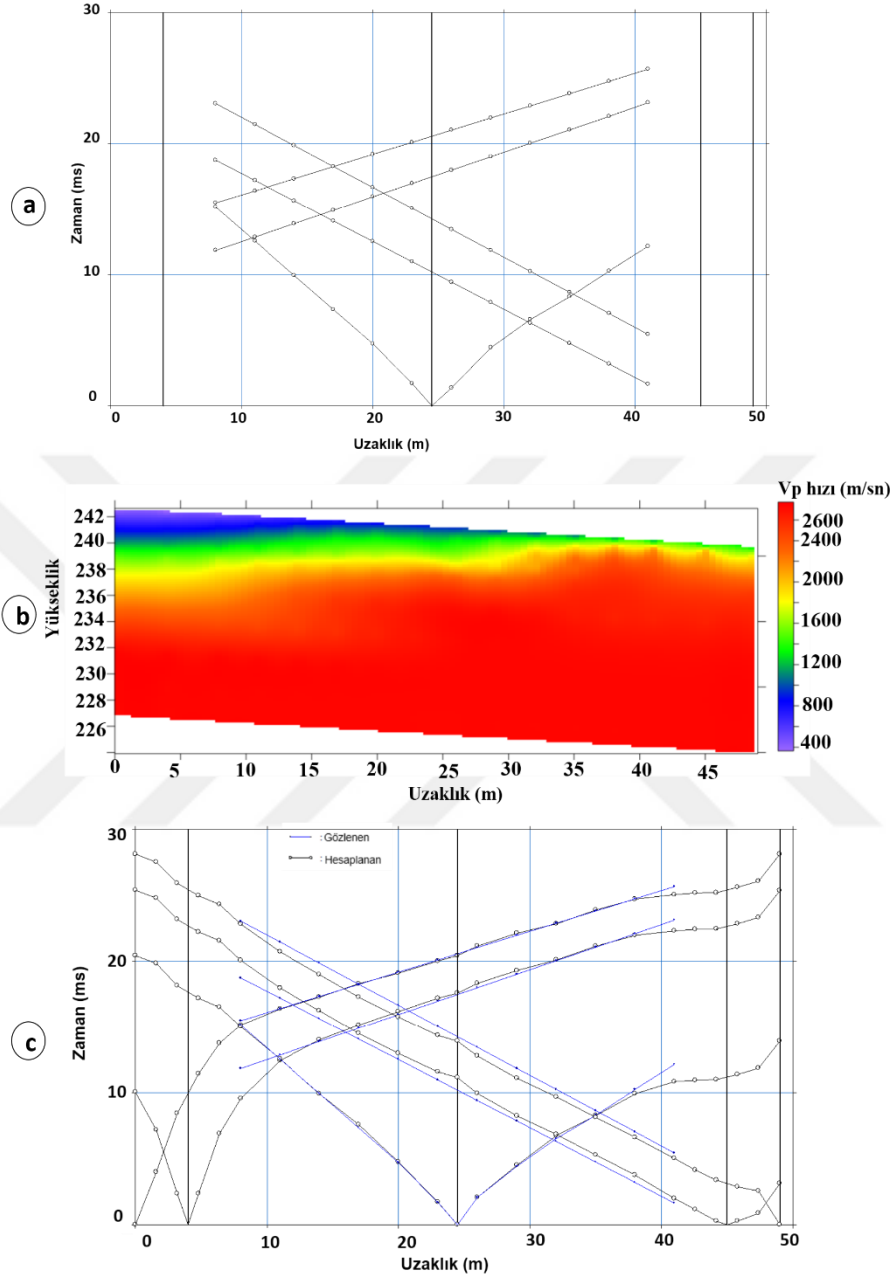
Profil 1 in profil boyu 60 m dir ve yaklaşık 15 m derinlikten bilgi edinilmiştir. En üste yaklaşık 2 m derinlikte 500-1000 m/sn hızları arasında değişen düşük Vp hızlı bir birim, altında yine 2-4 m derinlikli ve 10-30 m uzaklıklarında 8 m derinliğe ulaşan 1200-1800 m/sn hıza sahip bir birim ve bu seviyeden daha derinde ise 2000-2300 m/sn hıza ulaşarak yüksek Vp hızına sahip birim görülmektedir.



Şekil 2.104. (a) Alan 2 profil 2'den elde edilen zaman-uzaklık grafiği (b) P dalgası hız dağılımı (c) hesaplanan ile gözlenen eğrinin çakışması

Profil 2 in profil boyu 60 m dir ve yaklaşık 15 m derinlikten bilgi edinilmiştir. En üst 15-35m uzaklıkları arasında 1 m derinlikte ve geri kalan profil boyunca yaklaşık 2 m derinlikte 500-1000 m/sn hızları arasında değişen düşük Vp hızlı bir birim, altında 2-6 m derinlikli ve profilin sonlarında daralan 1200-1800 m/sn hıza sahip bir birim ve bu

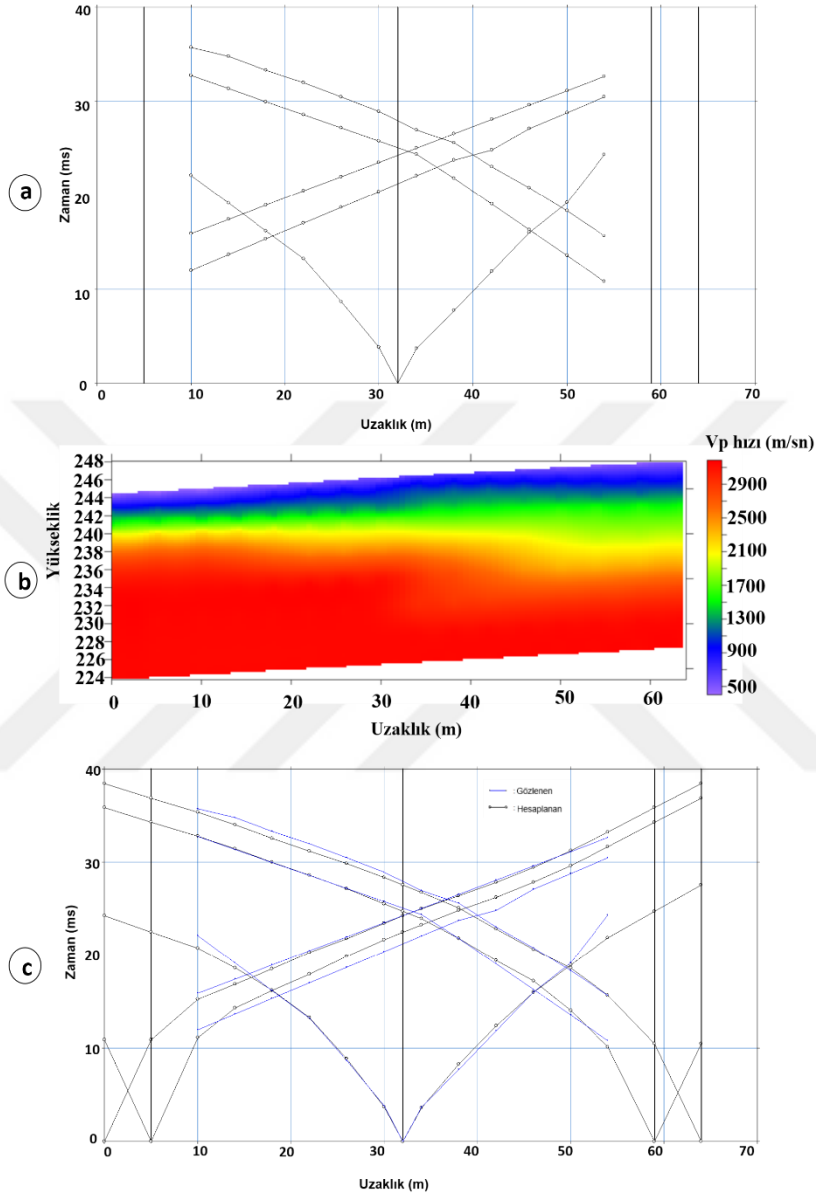
seviyeden daha derinde ise 2200-3000 m/sn hıza ulaşan yüksek Vp hızına sahip birim görülmektedir.



Şekil 2.105. (a) Alan 2 profil 3'ten elde edilen zaman-uzaklık grafiği (b) P dalgası hız dağılımı (c) hesaplanan ile gözlenen eğrinin çakışması

Profil 3 in profil boyu 50 m dir ve yaklaşık 12 m derinlikten bilgi edinilmiştir. En üstte profil başlangıcından 25 m lere kadar yaklaşık 2 m derinlikte 500-1000 m/sn hızları arasında değişen düşük Vp hızlı bir birim, altında yine 2 m derinlikli 30 m uzaklığına kadar

1600-2200 m/sn hızı sahip bir birim ve bu seviyelerin altında da 2500-2900 m/sn hızı ulaşan yüksek  $V_p$  hızı görülmektedir.

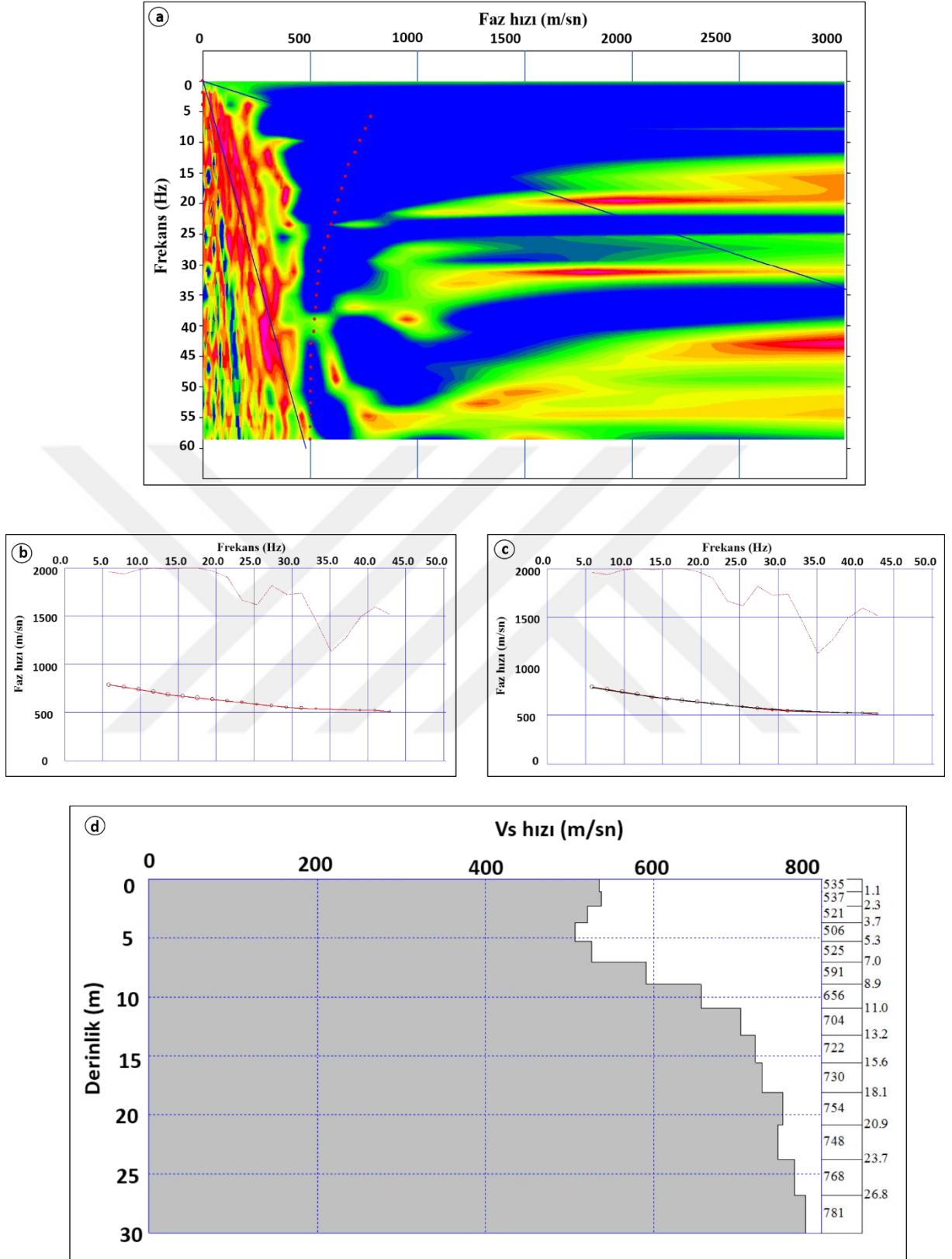


Şekil 2.106. (a) Alan 2 profil 4'den elde edilen zaman-uzaklık grafiği (b) P dalgası hız dağılımı (c) hesaplanan ile gözlenen eğrinin çakışması

Profil 4 in profil boyu 64 m dir ve yaklaşık 10 m derinlikten bilgi edinilmiştir. En üstte yaklaşık 2 m derinlikte 1100-1500 m/sn hızları arasında değişen düşük  $V_p$  hızlı bir birim, altında yine 4 m derinlik seviyelerine kadar ve 50-60 m uzaklıklarında 6 m derinliklere kadar 1600-1900 m/sn hızı sahip bir birim ve bu seviyelerin altında da 2300-3100 m/sn hızı ulaşarak yüksek  $V_p$  hızı görülmektedir.

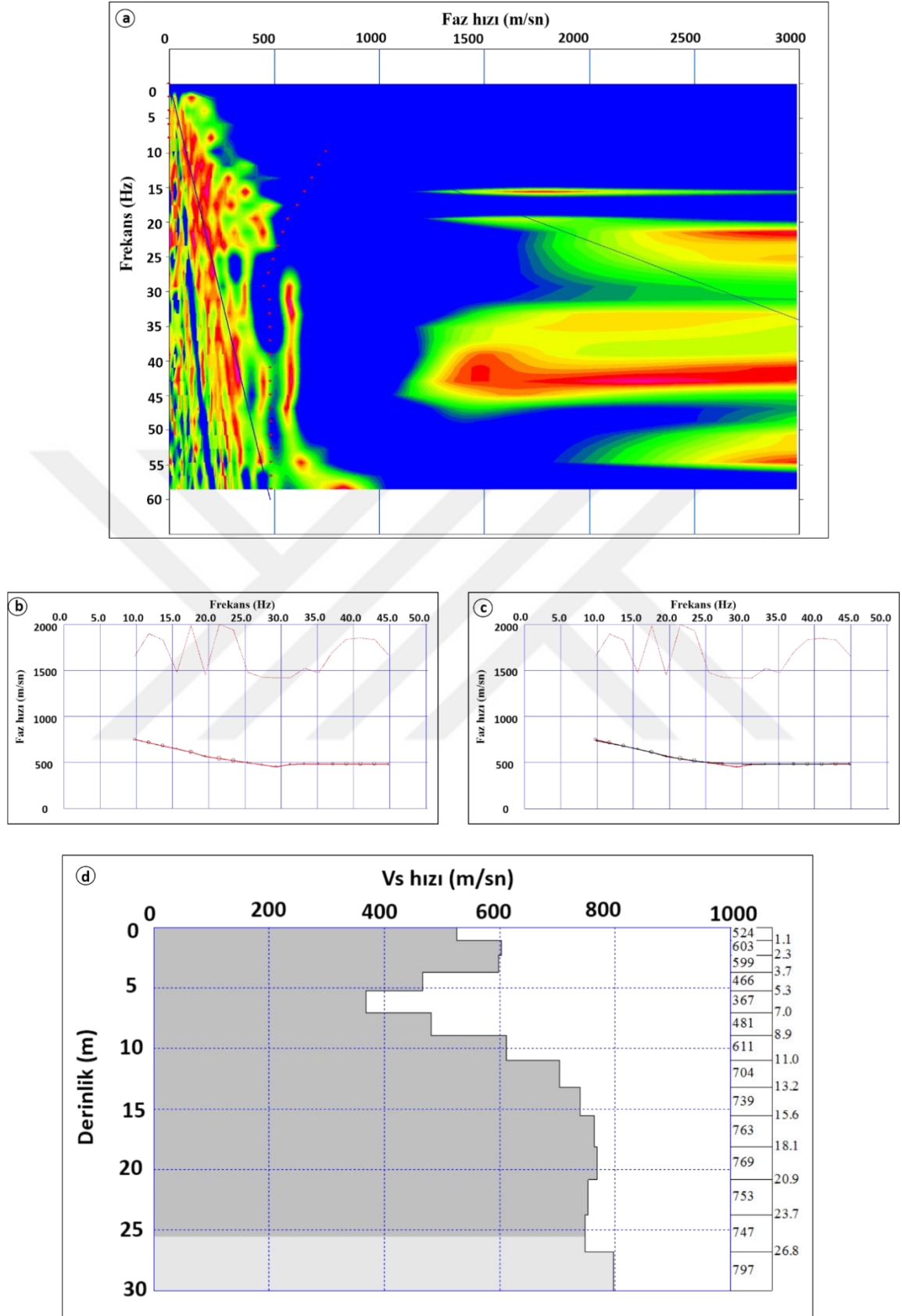
#### 2.4.2.5. Alan 2 Çok Kanallı Yüzey Dalgası Çalışmaları

Yüzey dalgası verileri sismik kırılma ölçümleri ile aynı profiller üzerinde konumlanmıştır. Yüzey dalgası ölçümlerinde 4 profil boyunca ölçümler alınmıştır (Şekil 2.9). 8 kg'lık balyoz ve demir bir plaka enerji kaynağı olarak kullanılmıştır. 24 adet 4.5 Hz lik alıcılar kullanılarak alınan ölçümlerde, alıcı aralıkları 1 m olarak ayarlanmıştır. Alınan tüm ölçümlerde örnekleme aralığı 0.5 msn olarak seçilmiş ve kayıtlar 1 sn süreyle alınmıştır. Toplanan verilerin değerlendirilmesinde SeisImager programı kullanılmıştır. Çalışma alanında yapılan ÇKYDA verileri için faz hızı-frekans kesitleri, dispersiyon eğrileri, kesme dalgası hız-derinlik modeli ve hesaplanan dispersiyon eğrisi ile gözlenen eğri karşılaştırılması şekil 2.107- 2.110'da verilmiştir.

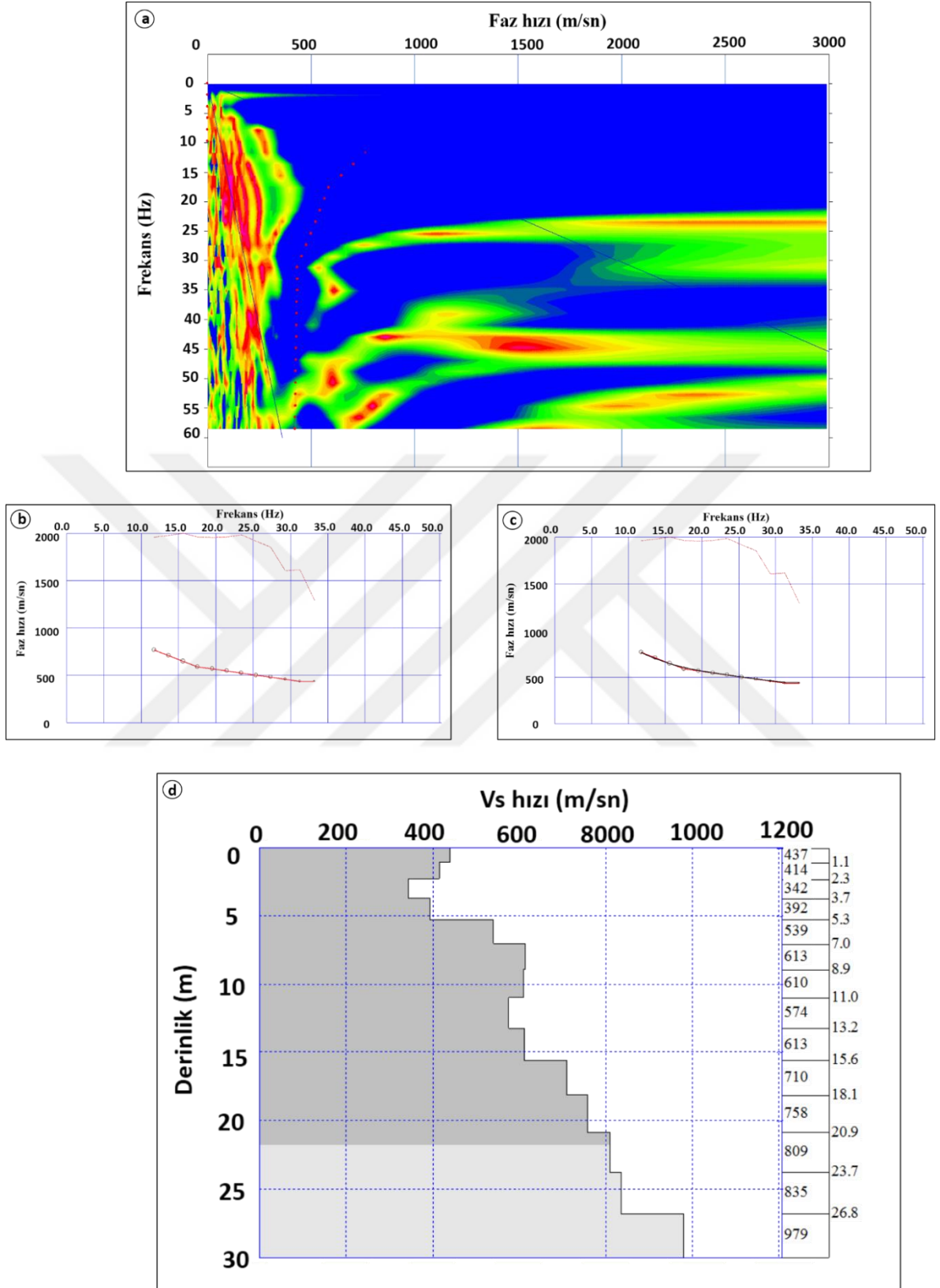


Şekil 2.107. Alan 2 profil 1 için (a) faz hızı-frekans kesiti (b) elde edilen dispersiyon eğrisi (c) hesaplanan ile gözlenen dispersiyon eğrilerinin karşılaştırılması ve (d) 1B Vs yeraltı yapısı

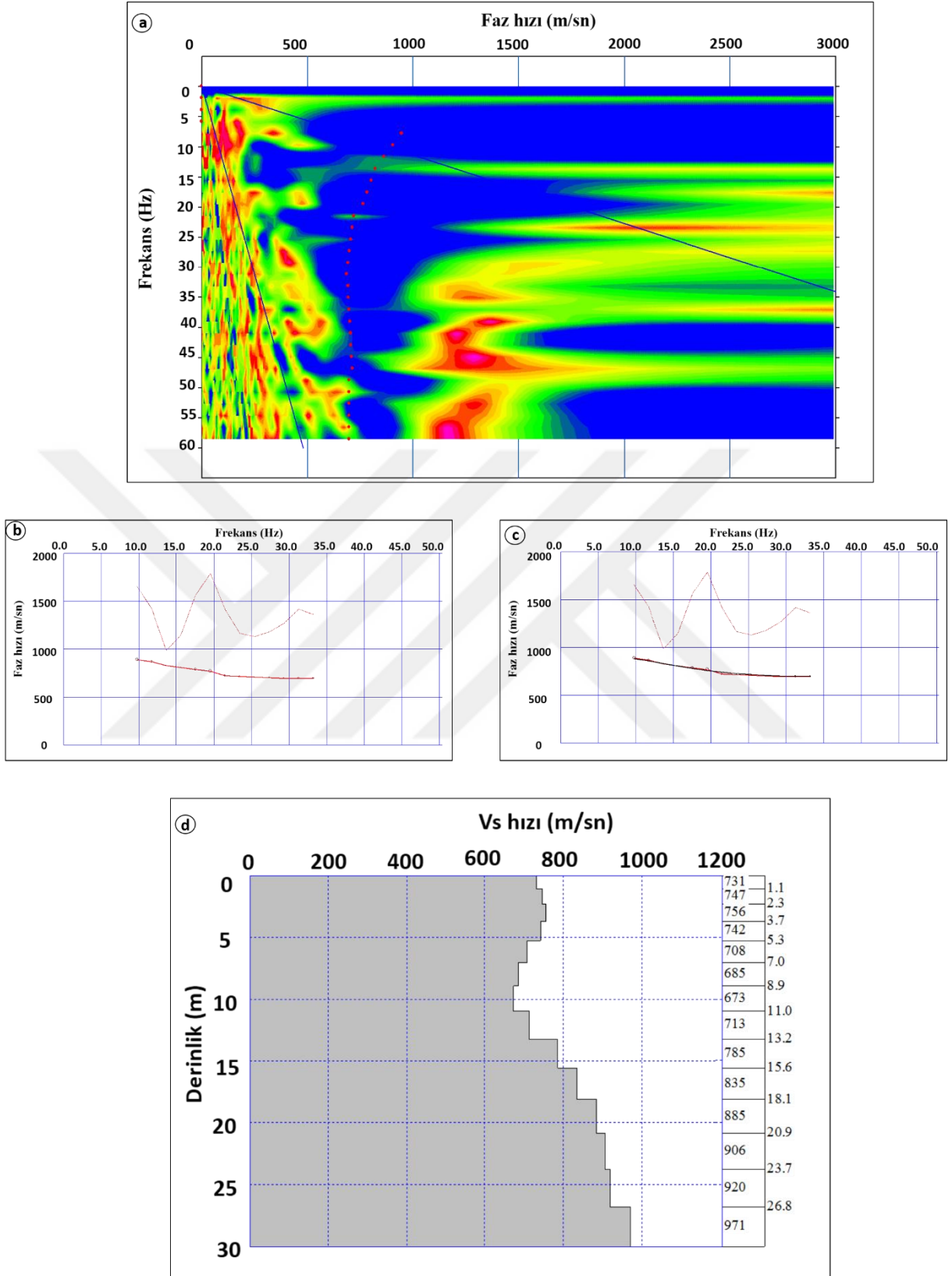




Şekil 2.108. Alan 2 profil 2 için (a) faz hızı-frekans kesiti (b) elde edilen dispersiyon eğrisi (c) hesaplanan ile gözlenen dispersiyon eğrilerinin karşılaştırılması ve (d) 1B Vs yeraltı yapısı



Şekil 2.109. Alan 2 profil 3 için (a) faz hızı-frekans kesiti (b) elde edilen dispersiyon eğrisi (c) hesaplanan ile gözlenen dispersiyon eğrilerinin karşılaştırılması ve (d) 1B Vs yeraltı yapısı



Şekil 2.110. Alan 2 profil 4 için (a) faz hızı-frekans kesiti (b) elde edilen dispersiyon eğrisi (c) hesaplanan ile gözlenen dispersiyon eğrilerinin karşılaştırılması ve (d) 1B Vs yeraltı yapısı

1. profil için elde edilen bir boyutlu Vs yeraltı yapısında 535 m/sn hızla başlayan ve ilk 5 m de azalıp artan hızlara rağmen 5 m derinliklerden sonra Vs hızı artmıştır. Yer altı yapısını genel olarak 3 kısma ayırmak mümkündür. İlk kısımda 0-10 m derinlikleri arasında 506-537 m/sn Vs hız değişimi, ikinci kısımda 10-20 m derinlikleri arasında 650-730 m/sn Vs hız değişimi ve 20-30 m derinlikleri arasında ise 730-9781 m/sn Vs hız değişimi görülmektedir.

2. profil için elde edilen bir boyutlu Vs yeraltı yapısında 524 m/sn hızla başlayan ve ilk 10 m de azalıp artan hızlara rağmen bu derinlikten sonra artan Vs hızı görülmektedir. Genel olarak 3 kısma ayırmak mümkündür. İlk kısımda 0-5 m derinlikleri arasında 524-599 m/sn Vs hız değişimi, ikinci kısımda 5-10 m derinlikleri arasında 466-481 m/sn Vs hız değişimi ve 10-25 m derinlikleri arasında ise 600-740 m/sn Vs hız değişimi görülmektedir.

3. profil için elde edilen bir boyutlu Vs yeraltı yapısında ilk kısım 437 m/sn hızla başlayan ve Vs hızı ilk 5 m derinliğe kadar 342-437 m/sn arasında değişmektedir. ikinci kısımda 5-10 m derinlikleri arasında 539-610 m/sn Vs hız değişimi ve 10-22 m derinlikleri arasında ise 574-750 m/sn Vs hız değişimi görülmektedir.

4. profil için elde edilen bir boyutlu Vs yeraltı yapısında genel olarak diğer profillere göre daha yüksek Vs hızına sahip olduğu görülmektedir. İlk 10 m derinliğe kadar Vs hızı 673- 756 m/sn arasında değişmiştir. 10 m den daha derinlerde Vs hızı derinliğe bağlı olarak artarak 700-970 m/sn arasında değişmektedir

#### **2.4.2.6. Alan 2 için Bazı Mühendislik Parametrelerinin Hesaplanması**

Alan 2 de yapılan arazi çalışmalarından sonra bu alandaki profillere ait bazı mühendislik özellikleri belirlenmeye çalışılmıştır. İlgili deneysel bağıntılarla, sismik kırılma tomografisi ve çok kanallı yüzey dalgası verilerinin analizlerinden elde edilen P ve S dalga hızları kullanılarak Alan 1'deki profillere ait bazı mühendislik ve dinamik-elastik parametreler MATLAB kodlarını kullanarak yazılan basit bir program yardımıyla hesaplanmış ve bu hesaplamalar sonucunda elde edilen sonuçlar Tablo 2.8-2.11'de verilmiştir.

Tablo 2.18. Alan 2'deki 1. profil için hesaplanan bazı mühendislik parametreleri

<b>A2P1</b>	1. tabaka (0-2 m)	2. tabaka (2-5 m)	3. tabaka (5-10 m)
P dalga hızı (Vp) (m/sn)	800	1500	2200
P dalga hızı (sökülebilirlik)	Kolay	Orta	Zor
S dalga hızı (Vs) (m/sn)	528	515	750
S dalga hızı (zemin grubu)	B	B	A
Vp/Vs	1.5	2.91	2.93
Poisson oranı ( $\nu$ )	0.157	0.36	0.41
Yoğunluk ( $\rho$ ) (gr/cm <sup>3</sup> )	1.65	1.92	2.12
Elastisite modülü (E) (kg/cm <sup>2</sup> )	10241	14667	34357
Kayma modülü (G) (kg/cm <sup>2</sup> )	4596	5116	11942
Bulk modülü (K) (kg/cm <sup>2</sup> )	4423	36585	86834
Taşıma gücü ( $q_u$ ) (kg/cm <sup>2</sup> )	0.6	2.23	3.25

Tablo 2.19. Alan 2'deki 2. profil için hesaplanan bazı mühendislik parametreleri

<b>A2P2</b>	1. tabaka (0-2 m)	2. tabaka (2-6 m)	3. tabaka (6-10 m)
P dalga hızı (Vp) (m/sn)	800	1500	2700
P dalga hızı (sökülebilirlik)	Kolay	Orta	Zor
S dalga hızı (Vs) (m/sn)	500	450	750
S dalga hızı (zemin grubu)	B	B	A
Vp/Vs	1.6	3.3	3.6
Poisson oranı ( $\nu$ )	0.18	0.40	0.42
Yoğunluk ( $\rho$ ) (gr/cm <sup>3</sup> )	1.64	1.92	2.20
Elastisite modülü (E) (kg/cm <sup>2</sup> )	9772	11334	36658
Kayma modülü (G) (kg/cm <sup>2</sup> )	4121	3906	12570
Bulk modülü (K) (kg/cm <sup>2</sup> )	5055	38199	146140
Taşıma gücü ( $q_0$ ) (kg/cm <sup>2</sup> )	0.90	2.02	3.40

Tablo 2.20. Alan 2'deki 3. profil için hesaplanan bazı mühendislik parametreleri

<b>A2P3</b>	1. tabaka (0-2 m)	2. tabaka (2-4 m)	3. tabaka (4-10 m)
P dalga hızı (Vp) (m/sn)	800	1500	2300
P dalga hızı (sökülebilirlik)	Kolay	Orta	Zor
S dalga hızı (Vs) (m/sn)	400	550	700
S dalga hızı (zemin grubu)	B	B	A
Vp/Vs	2	2.72	3.28
Poisson oranı ( $\nu$ )	0.33	0.39	0.43
Yoğunluk ( $\rho$ ) (gr/cm <sup>3</sup> )	1.65	1.92	2.14
Elastisite modülü (E) (kg/cm <sup>2</sup> )	7035	16601	30384
Kayma modülü (G) (kg/cm <sup>2</sup> )	2637	5835	10519
Bulk modülü (K) (kg/cm <sup>2</sup> )	7034	35620	99540
Taşıma gücü ( $q_u$ ) (kg/cm <sup>2</sup> )	1.33	2.32	3.12

Tablo 2.21. Alan 2'deki 4. profil için hesaplanan bazı mühendislik parametreleri

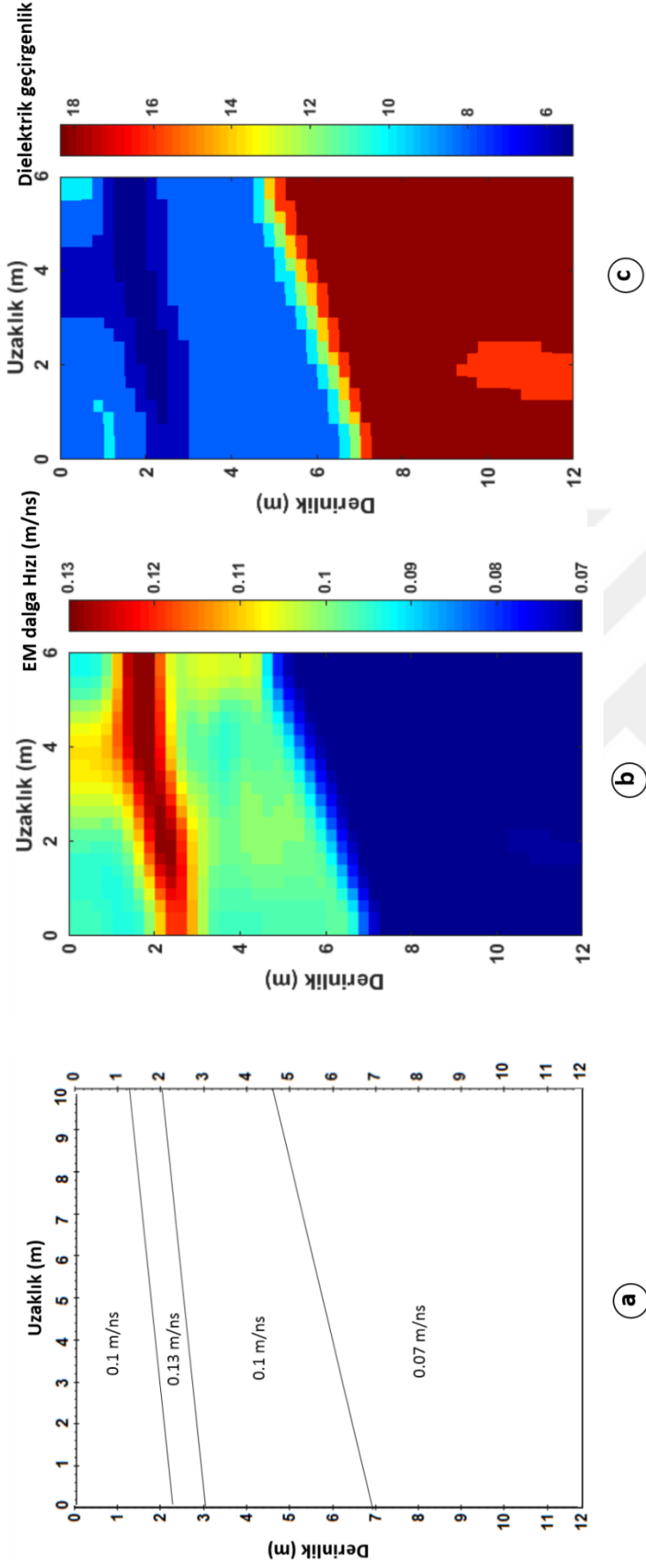
<b>A2P4</b>	1. tabaka (0-2 m)	2. tabaka (2-4 m)	3. tabaka (4-10 m)
P dalga hızı (Vp) (m/sn)	900	1700	2600
P dalga hızı (söktülebilirlik)	Kolay	Orta	Zor
S dalga hızı (Vs) (m/sn)	600	650	750
S dalga hızı (zemin grubu)	B	B	A
Vp/Vs	1.5	2.61	3.46
Poisson oranı (v)	0.12	0.37	0.41
Yoğunluk ( $\rho$ ) (gr/cm <sup>3</sup> )	1.69	1.91	2.21
Elastisite modülü (E) (kg/cm <sup>2</sup> )	13448	23790	36225
Kayma modülü (G) (kg/cm <sup>2</sup> )	6112	8410	12452
Bulk modülü (K) (kg/cm <sup>2</sup> )	5603	46310	133040
Taşıma gücü (q <sub>n</sub> ) (kg/cm <sup>2</sup> )	0.6	2.6	3.4



#### 2.4.2.7. Alan 2 Kuyu Tomografisi Çalışması

Bu tez çalışmasında yapılaşmaya açılması düşünülen bir alanda hakim olan Tonya Formasyon'una ait kayaçların mühendislik özelliklerinin belirlenmesi amacı ile çalışma alanında jeofizik veriler toplanmış, değerlendirilmiş ve elde edilen veriler ile jeolojik veriler bir araya getirilerek her iki alan içinde birer yapay model oluşturulmuştur. Oluşturulan bu modeller üzerinde düz ve ters çözüm işlemleri uygulanarak tomografi çalışmaları yürütülmüştür. Alan 2 için oluşturulan kuyu modeli ve elde edilen ters çözümü şekil 2.111'de verilmiştir.

Alan 2 de profil 4 üzerinde alınan jeofizik ölçümler ile oluşturulan model 2 üzerinde yapılan seyahat zamanlarının bir doğrusal olmayan denklem yardımıyla bir fonksiyonel olarak tanımlamasına dayalı ters çözüm yöntemi ile elde edilen kesitler incelendiğinde tüm profil boyunca 0-2 m derinlikleri arasında EM dalga hızının 0.095-0.105 m/ns arasında olduğu 2-3 m derinlikleri arasında bu hızın 1.12-0.13 m/ns arasında arttığı görülmektedir. 3-7 m derinlikleri arasında 0.095-0.105 m/ns ve verilen modeldeki hız dağılımına bağlı olarak 7 m derinlikten daha derinlerde EM dalga hızının düştüğü görülmektedir. Ayrıca hızın tersi ile ilişkili olarak dielektrik geçirgenliğinde derinlikle bağlı değişimi elde edilmiştir.

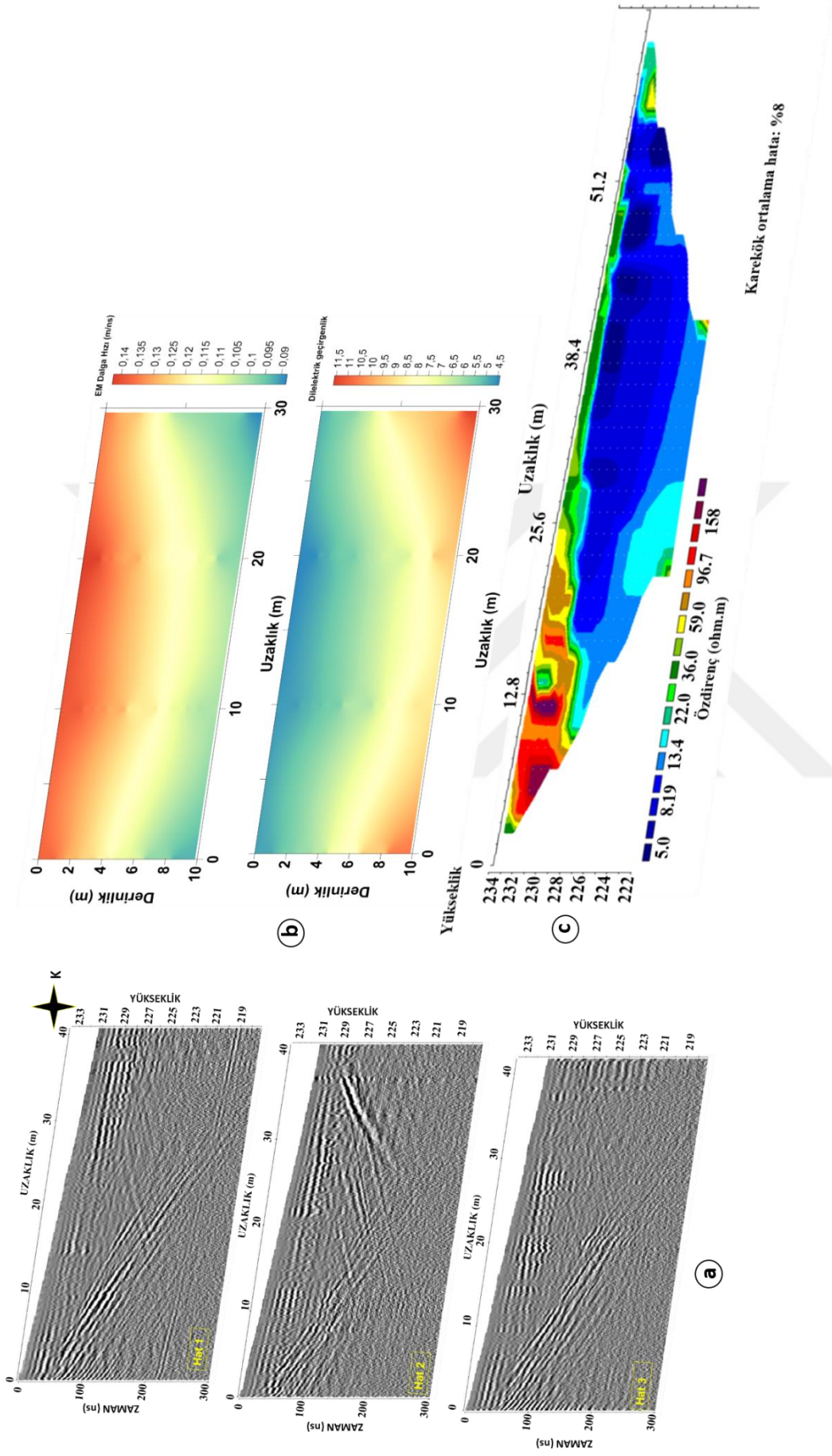


Şekil 2.111. (a) Alan 2 için oluşturulan modelin şekilsel gösterimi (b) Oluşturulan modelin seyahat zamanlı eikonal denklemi ile yapılan ters çözüm sonucu (c) Model 1'e ait dielektrik geçirgenlik sonucu

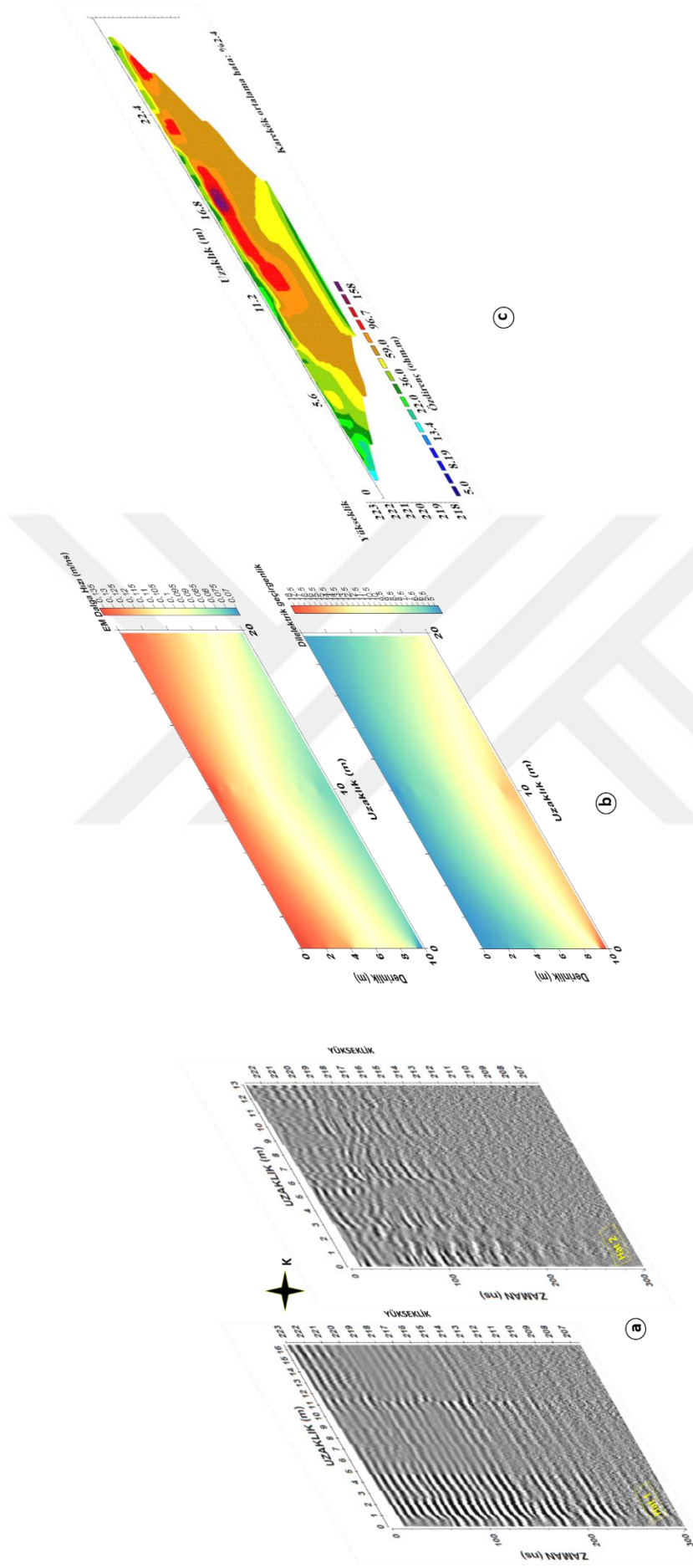
### 3. BULGULAR VE İRDELEME

Trabzon ili Akoluk mevkiisinde yapılaşmaya açılması düşünülen bir alandaki Tonya Formasyon'una ait kayaçların mühendislik özelliklerinin jeofizik yöntemlerle belirlenmesi amacıyla çalışma sahasında iki farklı alanda jeofizik ve jeolojik çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Yapılan bu çalışmalar ve elde edilen kesitler bir araya getirilerek birlikte değerlendirilmiş ve şekil 3.1-3.11'de verilmiştir.

Alan 1'de profil 1 de yapılan ortak ofset GPR ölçümlerinden elde edilen radargramlarda 10 m nüfuz derinliğine kadar bilgi sağlamaktadır. Üç hatta da yaklaşık 1 m ye kadar örtü tabakası, 1-4 m arasında yatay olarak uzanan bir tabaka bulunmaktadır. 4-6 m derinlikleri arasında ise farklı bir tabakaya girildiği gözlenmektedir. Profilin başlangıcından 20 m uzaklığına kadar 3 m derinlikten başlayarak yaklaşık 10 m derinliğe kadar uzanan eğimli, yüksek genlikli bir yansıtıcı sınır görülmektedir. Bu sınır çalışma alanındaki jeolojik birimlerin eğimli olarak tabakalanmasından kaynaklanmaktadır. Profil 1'deki 4 hattan toplanan OON verilerinin değerlendirilmesi ile elde edilen 1 boyutlu-hız derinlik kesitlerinin birleştirilmesi ile oluşan 2 boyutlu hız-derinlik kesitinde 0-4 m derinliğe kadar EM dalga hızı 0.125- 0.14 m/ns arasında gözlenirken 4-6 m derinliklerinde 0.105-0.12 m/ns arasındadır ve 6 m den daha derinlere gidildikçe EM dalga hızının daha da azalarak 0.09-0.1 m/ns arasında olduğu görülmektedir. Elde edilen dielektrik geçirgenlik-derinlik kesitinde ise 4 m derinliğe kadar elde edilen dielektrik geçirgenliğin 5-9 arasında, 4-6 m derinliklerinde 10-13 ve 6 m den daha derinlere gidildikçe ise dielektrik geçirgenliğin >13 olduğu görülmektedir. Burada EM dalganın derinlikle beraber 0.14 m/ns hızından başlayarak 0.088 m/ns hızına düştüğü gözlenmektedir. Alan 1 profil 1'de alınan elektrik özdirenç ölçümlerinden elde edilen yer elektrik kesitlerinde de ortak ofset GPR'daki gibi yaklaşık 10 m derinliğe kadar inilmiştir. Profilin başlangıcından 25 m uzaklıklara kadar 4 m derinlikte başlayan ve batıya gittikçe sığlaşan 67-150 ohm.m arasında değişen yüksek özdirençli bir alan dikkat çekmektedir. Profil başlangıcından 4-10 m derinlikleri arasından başlayarak profil sonlarına doğru sığlaşan ve 3-20 ohm.m özdirençleri arasında değişen ikinci alan da gözlenmiştir. Ayrıca bu özdirenç seviyelerinde yaklaşık 40, 48, 55 m uzaklıklarında ve 3 m derinliklerinde düşük özdirençli alanlar görülmektedir (Şekil 3.1).

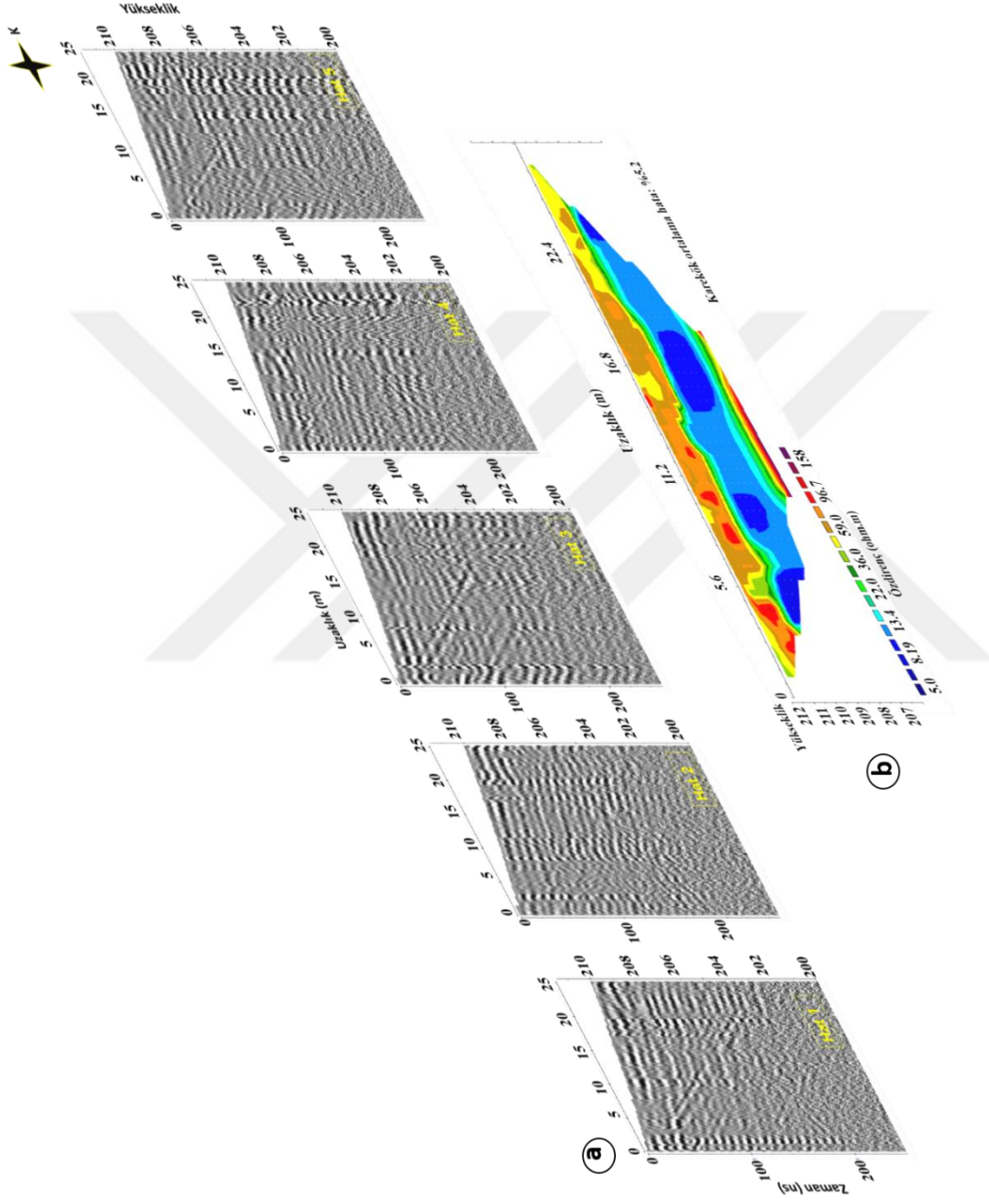


Şekil 3.1. Alan 1 profil 1'den elde edilen (a) radargramlar (b) 2B EM dalgı hız-derinlik ve dielektrik-derinlik kesitleri (c) elektrik özdirenç kesiti



Şekil 3.2. Alan 1 profil 2' den elde edilen (a) radarogramlar (b) 2B EM dalga hız-derinlik ve dielektrik-derinlik kesitleri (c) elektrik öz direnç kesiti

Alan 1’de profil 2’de yapılan ortak ofset GPR ölçümlerinden elde edilen radargramlarda yaklaşık 10 m nüfuz derinliğine kadar bilgi sağlamaktadır. 0-4 m, 4-6 m 6-10 m derinlikleri arasında farklı tabaka sınırlarına geçiş olduğu görülmektedir. Profil 2’deki OON verilerinin değerlendirilmesi ile elde edilen 1 B-hız derinlik kesitlerinin birleştirilmesi ile oluşan 2B hız-derinlik kesitinde 4 m derinliğe kadar EM dalga hızı 0.12-0.135 m/ns arasında gözlenirken 4-6 m derinliklerinde 0.095-0.115 m/ns arasındadır ve 6 m den daha derinlere gidildikçe EM dalga hızının iyice düşerek 0.07-0.09 m/ns arasında olduğu görülmektedir. Elde edilen dielektrik geçirgenlik- derinlik kesitinde ise 4 m derinliğe kadar edilen dielektrik geçirgenliğin 5-9 arasında, 4-6 m derinliklerinde 10-13 ve 6 m den daha derinlere gidildikçe ise >13 olduğu görülmektedir. Bu profilde alınan elektrik özdirenç ölçümlerinden elde edilen yer elektrik kesitlerinde en üstte 0-5 m ve 9-12 m uzaklıklarında ve 0-6 m derinliklerinde kalan olan kısımda 14-28 ohm.m arasında değişen düşük özdirenç değerine sahiptir. Bu derinliklerin altında profilin son kısımlarına kadar 39-77 ohm.m özdirenç değerlerine sahip alan görülmektedir. 17 m uzaklıklarında ve yaklaşık 7 m derinliğinden başlayıp 10 m uzaklığa kadar uzanan ve 10 m derinliğe giden bir yapı gözlenmiştir (Şekil 3.2).

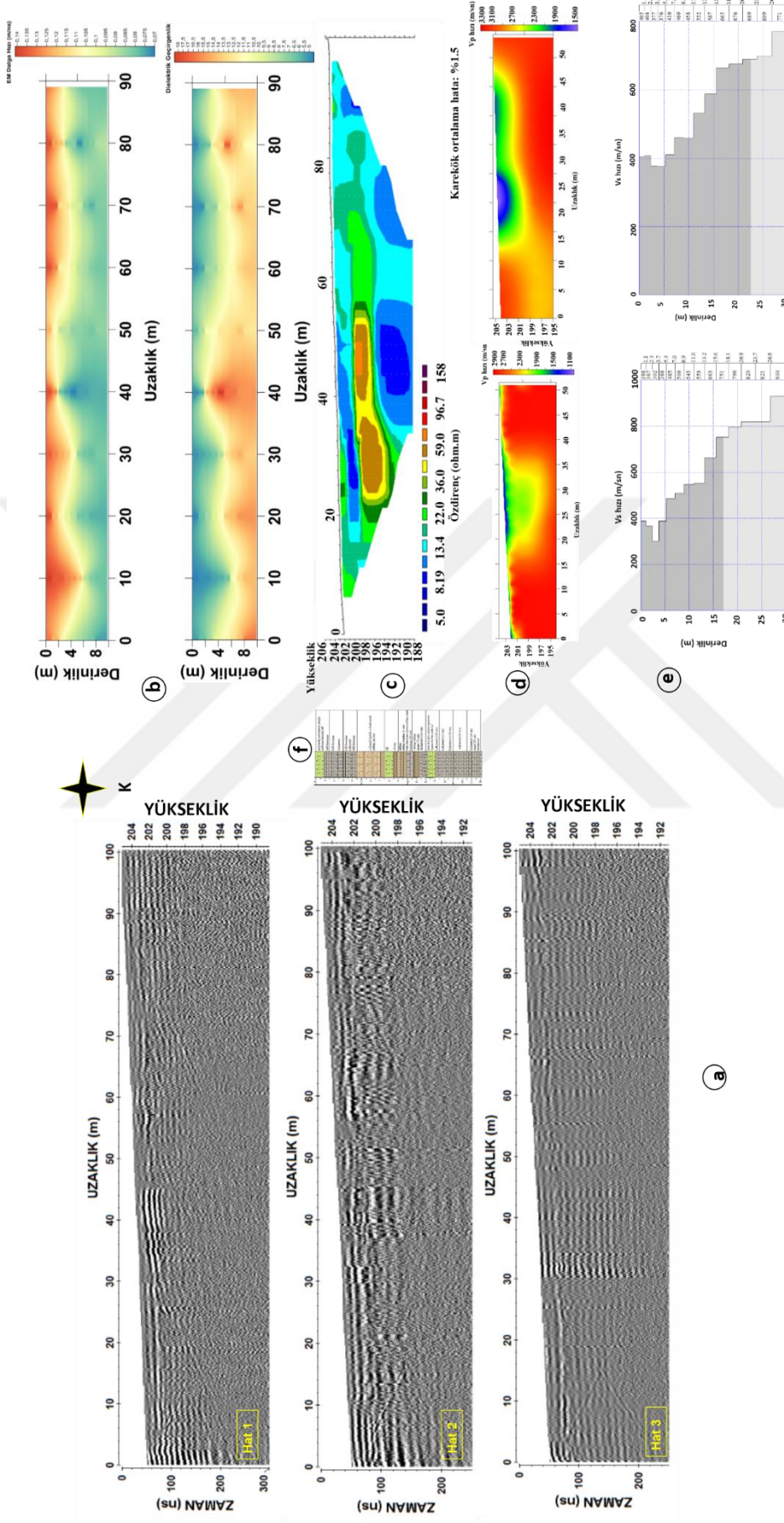


Şekil 3.3. Alan 1 profil 3'den elde edilen (a) radargramlar (b) elektrik özdirenç kesiti

Alan 1’de profil 3’te yapılan ortak ofset GPR verilerinin değerlendirilmesi ile elde edilen radargramlarda inilen maksimum nüfuz derinliği yaklaşık 10 m’dir. Burada yaklaşık 2 m derinliklere kadar tüm hatlarda bir tabaka sınırı dikkat çekmektedir. 2-4 m derinlikleri arasında başka bir birimden gelen yansımalar gözlenmiştir. 4 m den daha derinlerde ise farklı bir tabaka sınırı gözlenmiştir. Bu profilde gözlenen eğimli yapılar tabaka sınırlarından kaynaklanmaktadır. Bu profilde alınan elektrik özdirenç ölçümlerinden elde edilen yer elektrik kesitlerinde en üstte tüm profil boyunca ve 0-2 m derinliklerinde 68-150 ohm.m arasında yüksek özdirence sahip olan bir kısım gözlenmektedir. Bu derinliklerin altından 3.5 m derinliğe kadar yine tüm profil boyunca özdirenci 5-14 ohm.m arasında değişen düşük özdirençli kısım görülmektedir. Daha derine inildikçe de özdirencin tekrar yükseldiği bir kısım yaklaşık 5 m derinliğe kadar gözlenmiştir (Şekil 3.3).



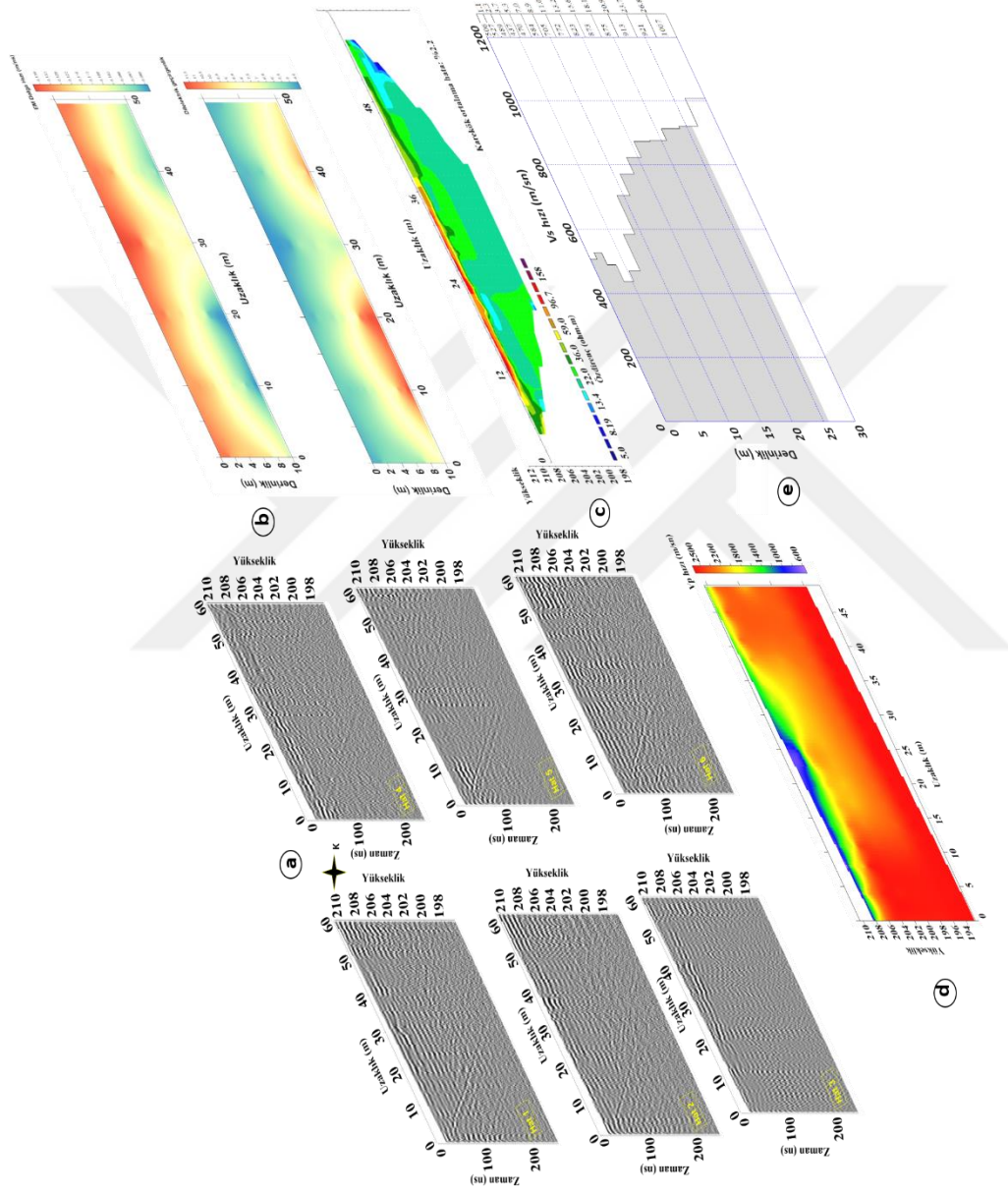




Şekil 3.4. Alan 1 profil 4'den elde edilen (a) radargramlar (b) 2B EM dalga hız-derinlik ve dielektrik-derinlik kesitleri (c) elektrik özdirenç kesiti (d) P dalgası hız dağılımı (e) IB Vs yeraltı yapısı (f) Sondaj logu

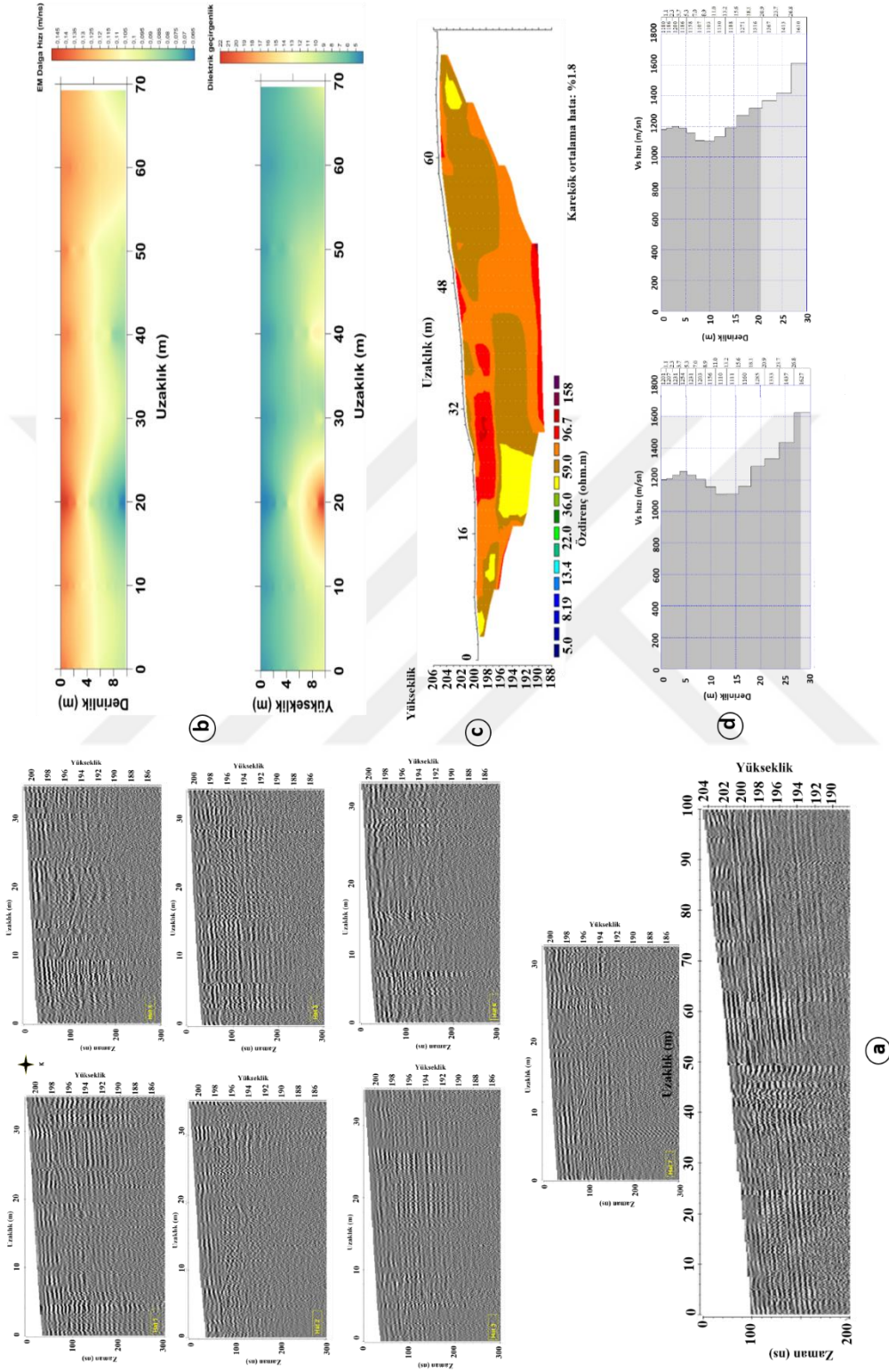
Alan 1 profil 4'te yapılan sondaj çalışmalarından 0-1.5 m derinliğe kadar karbonat kırıntılı tuf ve killi kireçtaşının varlığı, 1.5- 3 m derinlikleri arasında killi kireçtaşı ve kalkarenit, 3-4.5 m derinlikleri arasında killi kireçtaşı-kalkarenit- killi kireçtaşı, 4-5 7.5 m derinlikleri arasında volkanit katkılı ve karbonatlı silttaşı, kiltası, 7-10 m derinlikleri arasında ise tuf ve silttaşı olduğu görülmektedir. Yapılan ortak ofset GPR verilerinin değerlendirilmesi ile elde edilen radargramlarda yaklaşık 8-10 m nüfuz derinliğine inilmiştir. Bu profilde yaklaşık 2 m derinliklere kadar bir tabaka, 2-5 m arasında farklı bir birime girildiği görülmektedir. Profilin ilk 50 m uzaklıklarına kadar olan kısımlarda 3-6 m derinliklerinde daha yüksek genlikli yansıtıcı yüzeyler gözlenmiştir. OON verilerinin değerlendirilmesi ile elde edilen 1 boyutlu-hız derinlik kesitlerinin birleştirilmesi ile oluşan 2 boyutlu hız-derinlik kesitinde profilin başlangıcından 10 m uzaklığa kadar 5-6 m derinliğe inen 0.125-0.14 m/ns arasında değişen yüksek EM dalga hızı değişim alanı dikkat çekmektedir. 40-60 m uzaklıkları arasında bu yüksek hızlar sığlaşarak 1 m derinliğe gelmiştir. 60 m uzaklıktan profil sonuna kadar ise yüksek hız bölgesi 2 m derinliklerde seyretmiştir. 6 m den daha derinlere inildikçe EM dalga hızının azaldığı (0.07-0.085 m/ns) görülmektedir. Elde edilen dielektrik geçirgenlik-derinlik kesitinde ise dielektrik geçirgenlik 5-18 arasında değişirken 40 m uzaklıkta ve 4 m derinlikte en yüksek dielektrik geçirgenlik değeri gözlenmektedir. Bu profilde alınan elektrik özdirenç ölçümlerinden elde edilen yer elektrik kesitlerinde yaklaşık 15 m derinliğe kadar inilmiştir. Bu kesit genel olarak üç kısma ayrılmıştır. İlk kısım 15 m uzaklardan başlayıp 70 m uzaklığa kadar uzanan ve yaklaşık 4 m derinliklere kadar inen düşük özdirenç sahip kısımdan oluşmakta iken ikinci kısım profilin 50 m uzaklığına olan kısmında yaklaşık 11 m derinliğe kadar inen yüksek özdirençli kısımdan oluşmaktadır. Üçüncü kısımda ise 10 m derinliklerin altında yine düşük özdirenç sahip kısımlardan oluşmaktadır. Profilin son kısımlarına doğru (78-100 m uzaklıkta) olan kısımlar tüm derinliklerde düşük özdirenç sahiptir. Alan 1 profil 4 için 2 kısma ayrılarak toplanan sismik tomografi verilerinden elde edilen  $V_p$  dağılımlarında en üste yaklaşık 15-40 m uzaklıkları arasında 1 m derinliklere kadar düşük  $V_p$  hızı, 2-4 m arasında 2100-2500 m/sn olarak değişen  $V_p$  hızı ve daha derinlerde ise 2800-3300 m/sn olarak değişen yüksek  $V_p$  hızı görülmektedir. Çok kanallı yüzey dalgası analizi ölçümlerinden elde edilen 1B  $V_s$  hız değişiminde ise genel olarak 3 kısma ayırmak mümkündür. İlk kısımda 0-5 m derinlikleri arasında 300-388 m/sn  $V_s$  hız değişimi, ikinci kısımda 5-10 m derinlikleri arasında 485-550 m/sn  $V_s$  hız değişimi ve 10-17 m derinlikleri arasında ise 545-750 m/sn  $V_s$  hız değişimi görülmektedir. Aynı alanda elde edilen  $V_p$  ve

Vs hızlarından hesaplanan dinamik elastik parametreler ile de 4. profil 3 tabaka olarak ayrılmıştır. İlk tabakada (0-1 m),  $V_p/V_s$  3.5, Poisson oranı 0.40, yoğunluk  $1.89 \text{ gr/cm}^3$ , elastisite modülü  $8832 \text{ kg/cm}^2$ , kayma modülü  $3034 \text{ kg/cm}^2$ , bulk modülü  $33121 \text{ kg/cm}^2$ , zemin taşıma gücü  $1.8 \text{ kg/cm}^2$  olarak hesaplanmıştır. İkinci tabakada (1-6 m),  $V_p/V_s$  4, Poisson oranı 0.42, yoğunluk  $2.07 \text{ gr/cm}^3$ , elastisite modülü  $15203 \text{ kg/cm}^2$ , kayma modülü  $5180 \text{ kg/cm}^2$ , bulk modülü  $76013 \text{ kg/cm}^2$ , zemin taşıma gücü  $2.33 \text{ kg/cm}^2$  hesaplanmıştır. Üçüncü ve son tabakada ise (6-10 m),  $V_p/V_s$  3.71, Poisson oranı 0.44, yoğunluk  $2.2 \text{ gr/cm}^3$ , elastisite modülü  $31693 \text{ kg/cm}^2$ , kayma modülü  $10857 \text{ kg/cm}^2$ , bulk modülü  $135180 \text{ kg/cm}^2$ , zemin taşıma gücü  $3.22 \text{ kg/cm}^2$  olarak hesaplanmıştır (Şekil 3.4).  $V_p/V_s$  oranlarına bakıldığında bu profil için orta sıkı bozuşmuş ve gevşek bir zemine denk geldiği görülmektedir. Poisson oranının 0.44 gibi yüksek değerlere ulaşması ortamın gevşek olduğunu göstermektedir.



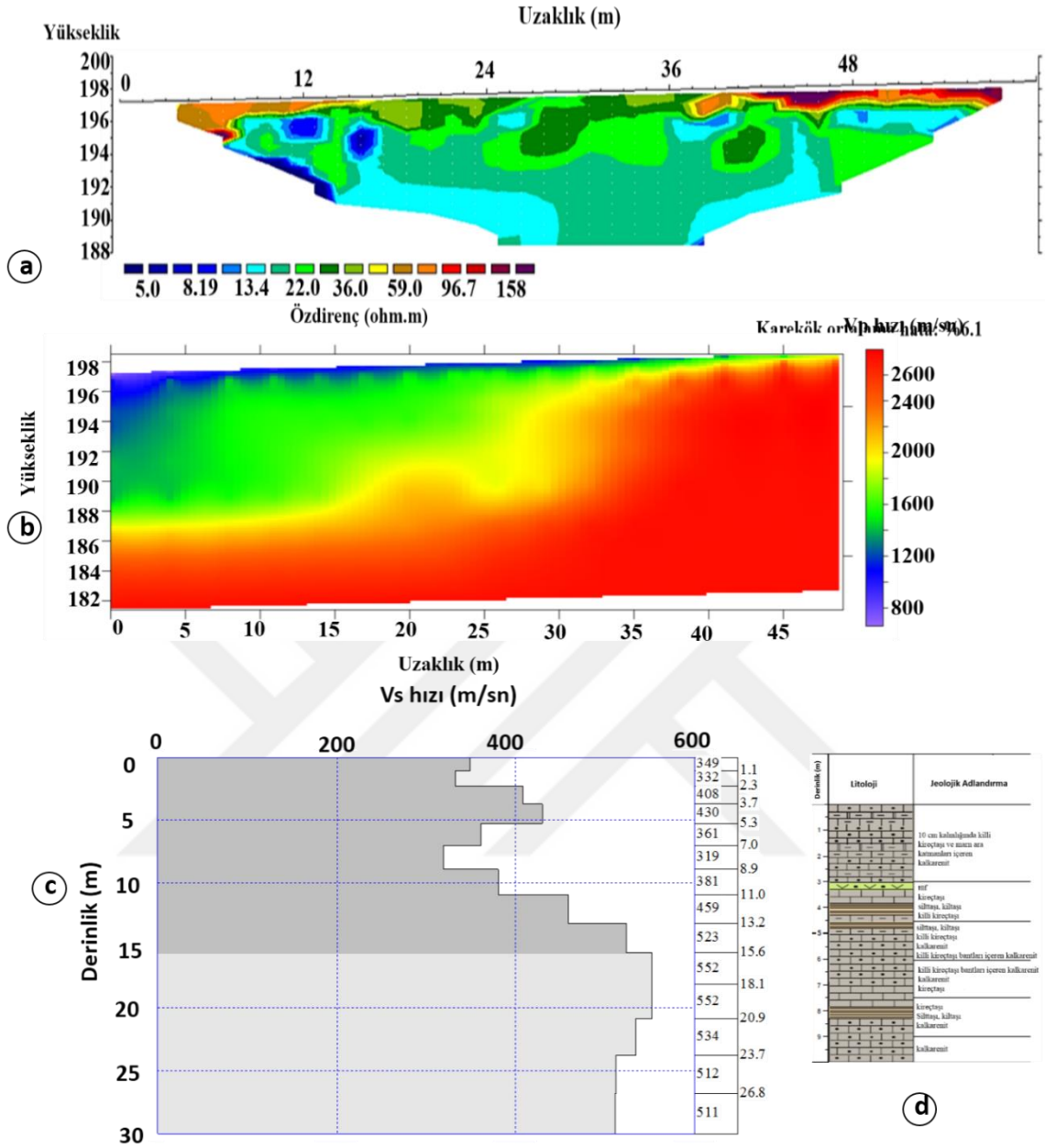
Şekil 3.5. Alan 1 profil 5'den elde edilen (a) radargramlar (b) 2B EM dalga hız-derinlik ve dielektrik-derinlik kesitleri (c) elektrik öz direnç kesiti (d) P dalgası hız dağılımı (e) 1B Vs yeraltı yapısı

Alan 1 profil 5'te toplanan ortak ofset GPR verilerinin değerlendirilmesi ile elde edilen radargramlarda sırasıyla 0-2 m, 2-6 m ve 6-10 derinlikleri arasındaki genlik değişimlerinden farklı tabaka sınırlarına girildiği gözlenmektedir. OON verilerinin değerlendirilmesi ile elde edilen 1 boyutlu-hız derinlik kesitlerinin birleştirilmesi ile oluşan 2 boyutlu hız-derinlik 10-25 m uzaklıklarda ve 7-10 m derinlikleri ile 35-50 m uzaklıkları ve 7-10 m derinlikleri arasında ise 0.088-0.096 m/ns aralığında değişen düşük EM hızlı alanlar, geri kalan alanlarda ise yüksek EM dalga hızı gözlenmektedir. Elde edilen dielektrik geçirgenlik-derinlik kesitinde ise 10-25 m uzaklıklarda ve 7-10 m derinlikleri ile 35-50 m uzaklıkları ve 7-10 m derinlikleri arasında ise 9.5-11.5 arasında değişen dielektrik geçirgenlik değeri görülmektedir. Elektrik özdirenç ölçümlerinden elde edilen yer elektrik kesitlerinde yaklaşık 9 m derinliğe kadar inilmiştir. Bu kesitte 2 m derinliğe kadar kısımda 90-140 ohm.m arasında değişen yüksek özdirençli kısımlar gözlenirken bu derinliğin altından 9 m lik geri kalan kısımda ise özdirenç değerleri 25-40 ohm.m arasında değişim göstermektedir. Sismik tomografi sonucunda elde edilen  $V_p$  dağılıma göre, profil başlangıcından 25 m uzaklığa kadar yaklaşık 1 m derinliğe kadar 800-1100 m/sn arasında değişen düşük  $V_p$  hızı, 1 m daha altında 1400-1700 m/sn arasında değişen  $V_p$  hızı ve bu derinliklerin altında tüm profil boyunca yüksek  $V_p$  hızları (2200-2600 m/sn) gözlenmektedir. 5. profil için elde edilen bir boyutlu  $V_s$  yeraltı yapısında 506 m/sn hızla başlayan ve ilk 5 m de azalıp artan hızlara rağmen 5 m derinliklerden sonra  $V_s$  hızı artmıştır. Genel olarak 3 kısma ayırmak mümkündür. İlk kısımda 0-5 m derinlikleri arasında 437-527 m/sn  $V_s$  hız değişimi, ikinci kısımda 5-10 m derinlikleri arasında 470-700 m/sn  $V_s$  hız değişimi ve 10-25 m derinlikleri arasında ise 700-900 m/sn  $V_s$  hız değişimi görülmektedir. Aynı alanda elde edilen  $V_p$  ve  $V_s$  hızlarından hesaplanan dinamik elastik parametreler ile de 5. profil 3 tabakaya ayrılmıştır. İlk tabakada (0-2 m),  $V_p/V_s$  2.44, Poisson oranı 0.37, yoğunluk  $1.78 \text{ gr/cm}^3$ , elastisite modülü  $10119 \text{ kg/cm}^2$ , kayma modülü  $3615 \text{ kg/cm}^2$ , bulk modülü  $16782 \text{ kg/cm}^2$ , zemin taşıma gücü  $1.79 \text{ kg/cm}^2$  olarak hesaplanmıştır. İkinci tabakada (2-3 m),  $V_p/V_s$  2.45, Poisson oranı 0.38, yoğunluk  $1.98 \text{ gr/cm}^3$ , elastisite modülü  $30885 \text{ kg/cm}^2$ , kayma modülü  $11197 \text{ kg/cm}^2$ , bulk modülü  $42698 \text{ kg/cm}^2$ , zemin taşıma gücü  $2.84 \text{ kg/cm}^2$  olarak hesaplanmıştır. Üçüncü ve son tabakada ise (3-10 m),  $V_p/V_s$  2.82, Poisson oranı 0.40, yoğunluk  $2.16 \text{ gr/cm}^3$ , elastisite modülü  $44781 \text{ kg/cm}^2$ , kayma modülü  $15677 \text{ kg/cm}^2$ , bulk modülü  $104080 \text{ kg/cm}^2$ , zemin taşıma gücü  $3.61 \text{ kg/cm}^2$  olarak hesaplanmıştır (Şekil 3.5).



Şekil 3.6. Alan 1 profil 6'den elde edilen (a) radargramlar (b) 2B EM dalgı hız-derinlik ve dielektrik-derinlik kesitleri (c) elektrik öz direnç kesiti d) 1B V<sub>s</sub> yeraltı yapısı

Alan 1 profil 6'da toplanan ortak ofset GPR verilerinin değerlendirilmesi ile elde edilen radargramlarda yaklaşık 8-9 m derinliğe inilmiştir ve 0-2 m, 2-4 m, 4-6 m, 6 m den daha derinler olmak üzere farklı tabaka sınırları gözlenmiştir. Tüm profili kapsayan tek hatta yapılan ölçümden elde edilen radargramda ise tüm profil boyunca tabaka sınırları net bir şekilde gözlenmektedir. Toplanan OON verilerinin değerlendirilmesi ile elde edilen 1 boyutlu-hız derinlik modellerinin birleştirilmesi ile oluşan 2 boyutlu hız-derinlik kesitinde sırasıyla 15-25 m uzaklıkları ve 40 m uzaklıklarında 6-10 m ve 8-10 m derinlikleri arasındaki düşük EM dalga hızı haricinde tüm kesitte 0.1-0.145 m/ns arasındaki yüksek EM dalga hızı dikkat çekmektedir. Burada 50 m uzaklığa kadar 4 m derinlik boyunca ve 55 m uzaklıklarından sonra ise de yaklaşık 10 m derinlik seviyelerine kadar EM dalga hızı 0.125-0.145 m/ns arasında en yüksek değerlere ulaşmıştır. Elde edilen dielektrik geçirgenlik- derinlik kesitinde ise 15-25 m uzaklıklarda ve 6-10 m derinliklerinde 15-22 değerlerindeki dielektrik geçirgenlik alanı dikkat çekmektedir. Yapılan elektrik özdirenç ölçümlerinden elde edilen yer elektrik kesitlerinde yaklaşık olarak 11 m nüfuz derinliğine inilmiştir. Burada topografya değişimi çok fazladır. Kesitte lokal olarak değişen düşük özdirenç bölgeleri gözlenmektedir. Profilin başlarında ve 48 m den sonlara kadar 5-6 m derinliklerinde düşük özdirenç değişimleri görülmektedir. 9 m derinliklerden sonra özdirençler yeniden yükselmiştir. Bu profildeki ÇKYDA verilerinden elde edilen 1B Vs hız değişimini 3 kısma ayırmak mümkündür. İlk kısımda 0-10 m derinlikleri arasında 1156-1230 m/sn Vs hız değişimi, ikinci kısımda 10-20 m derinlikleri arasında 1100-1285 m/sn Vs hız değişimi ve 10-25 m derinlikleri arasında ise 1285-1600 m/sn Vs hız değişimi görülmektedir. Aynı profildeki çok ikinci kısmında Vs hız değerleri 1100 m/sn lere başlayarak 20 m derinliklerde 1300 m/ns lere kadar ulaşmaktadır (Şekil 3.6).

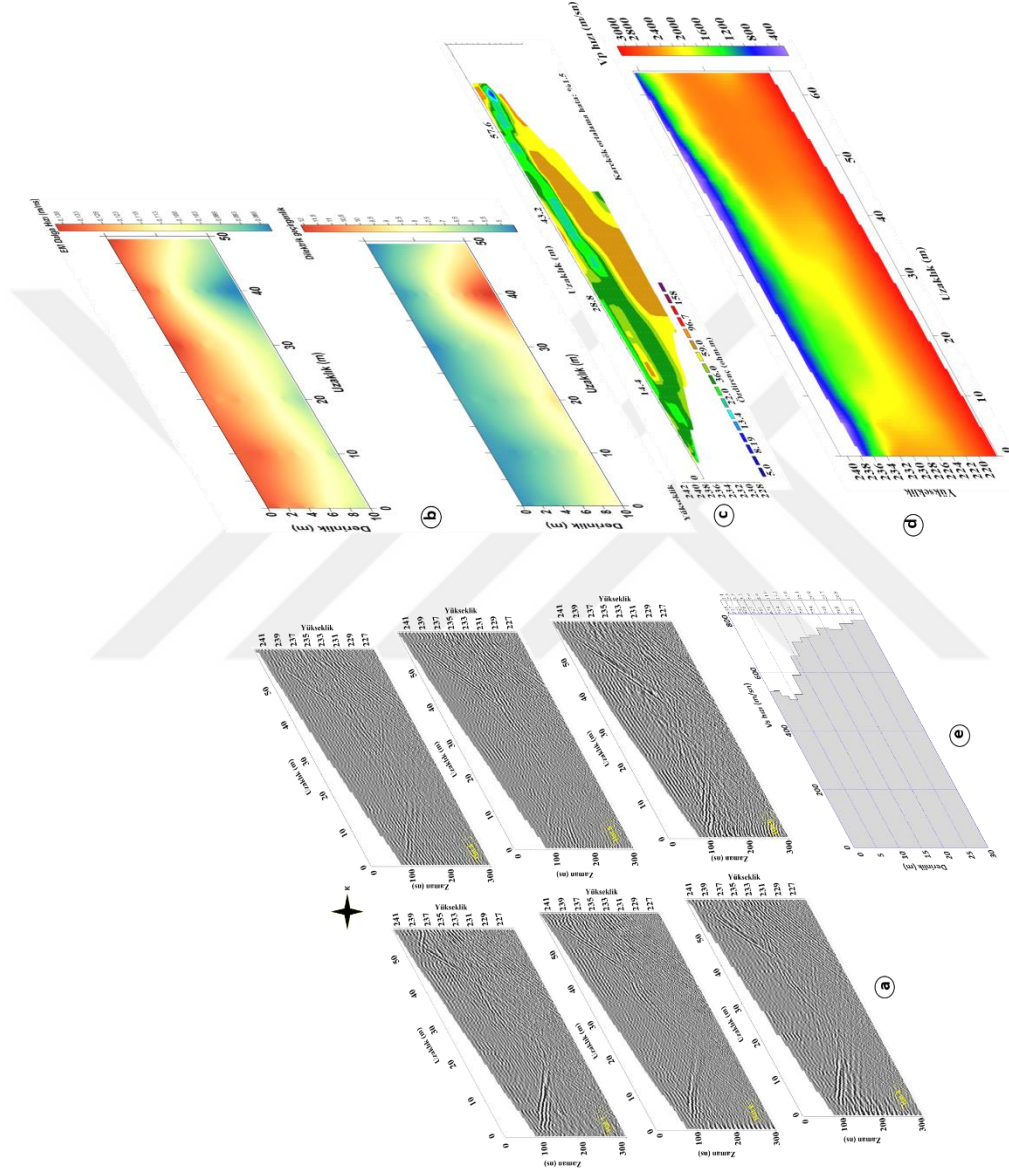


Şekil 3.7. Alan 1 profil 7'den elde edilen (a) elektrik özdirenç kesiti (b) P dalgası hız dağılımı (c) 1B Vs yeraltı yapısı (d) Sondaj logu

Alan 1 profil 7'de toplanan elektrik özdirenç verilerinin değerlendirilmesi ile elde edilen yer elektrik kesitlerinde yaklaşık olarak 8.5 m nüfuz derinliğine inilmiştir. Bu kesitte genel olarak lokal olarak düşük özdirenç değerleri dışında değerler 22-50 ohm.m aralığında değişmektedir. 40-60 m uzaklıklarında ve 1 m derinliklerinde yüksek özdirençli kısım dikkat çekmektedir. Sismik tomografi ölçümleri ile elde edilen Vp hız dağılımında yaklaşık 12-15 m derinlikten bilgi edinilmiştir. Bu kesitte profil başlangıcından itibaren 2 m derinlikle başlayıp gittikçe sığlaşan ve 40 m lerden sonra görülmeyen düşük hızlı kısım,



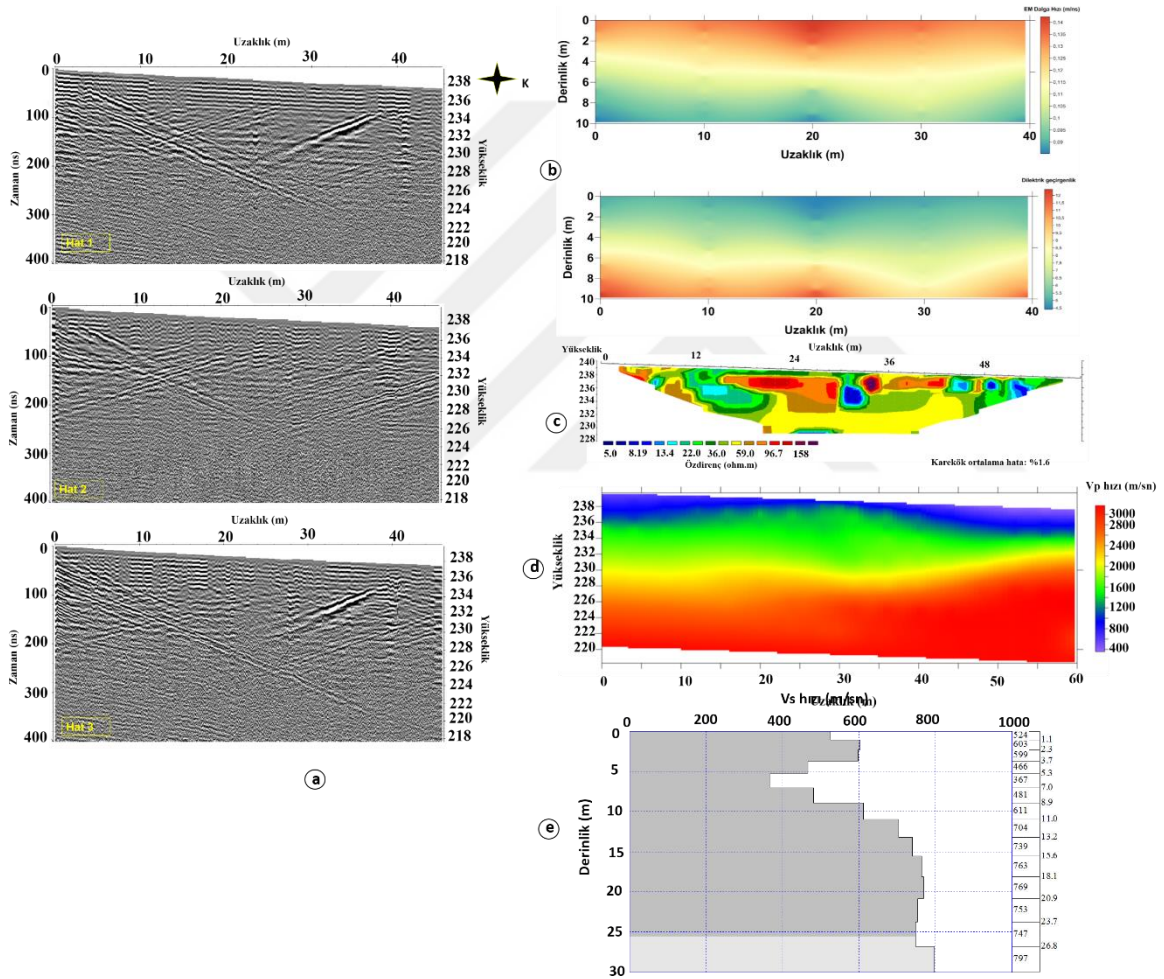
yine profilin başlangıcından 7 m derinliğe kadar ulaşıp başlayıp profilin sanlarına doğru 1 m lere sığlaşan bir kısım ve 7 m nin altında ise yüksek hızlı kısımlar gözlenmiştir. Elde edilen 1B Vs yeraltı yapısı da 3 kısımdan oluşmaktadır. İlk kısımda 0-5 m derinlikleri arasında 430-430 m/sn Vs hız değişimi, ikinci kısımda 5-10 m derinlikleri arasında 319-381 m/sn Vs hız değişimi ve 10-15 m derinlikleri arasında ise 459-520m/sn Vs hız değişimi görülmektedir. Aynı alanda elde edilen Vp ve Vs hızlarından hesaplanan dinamik elastik parametreler ile de 5. profil 3 tabakaya ayrılmıştır. İlk tabakada (0-1 m), Vp/Vs 2.75, Poisson oranı 0.4, yoğunluk 1.78 gr/cm<sup>3</sup>, elastisite modülü 8134 kg/cm<sup>2</sup>, kayma modülü 2856 kg/cm<sup>2</sup>, bulk modülü 17793 kg/cm<sup>2</sup>, zemin taşıma gücü 1.69 kg/cm<sup>2</sup> olarak hesaplanmıştır. İkinci tabakada (1-6 m), Vp/Vs 4.57, Poisson oranı 0.42, yoğunluk 1.96 gr/cm<sup>3</sup>, elastisite modülü 7084 kg/cm<sup>2</sup>, kayma modülü 2401 kg/cm<sup>2</sup>, bulk modülü 46989 kg/cm<sup>2</sup>, zemin taşıma gücü 1.86 kg/cm<sup>2</sup> olarak hesaplanmıştır. Üçüncü ve son tabakada ise (6-10 m), Vp/Vs 4.5, Poisson oranı 0.44, yoğunluk 2.19 gr/cm<sup>3</sup>, elastisite modülü 16212 kg/cm<sup>2</sup>, kayma modülü 5480 kg/cm<sup>2</sup>, bulk modülü 129700 kg/cm<sup>2</sup>, zemin taşıma gücü 2.39 kg/cm<sup>2</sup> olarak hesaplanmıştır (Şekil 3.7).



Şekil 3.8. Alan 2 Profil 1'den elde edilen (a) radargramlar (b) 2B EM dalga hız-derinlik ve dielektrik-derinlik kesitleri (c) elektrik öz direnç kesiti (d) P dalgası hız dağılımı (e) 1B Vs yeraltı yapısı

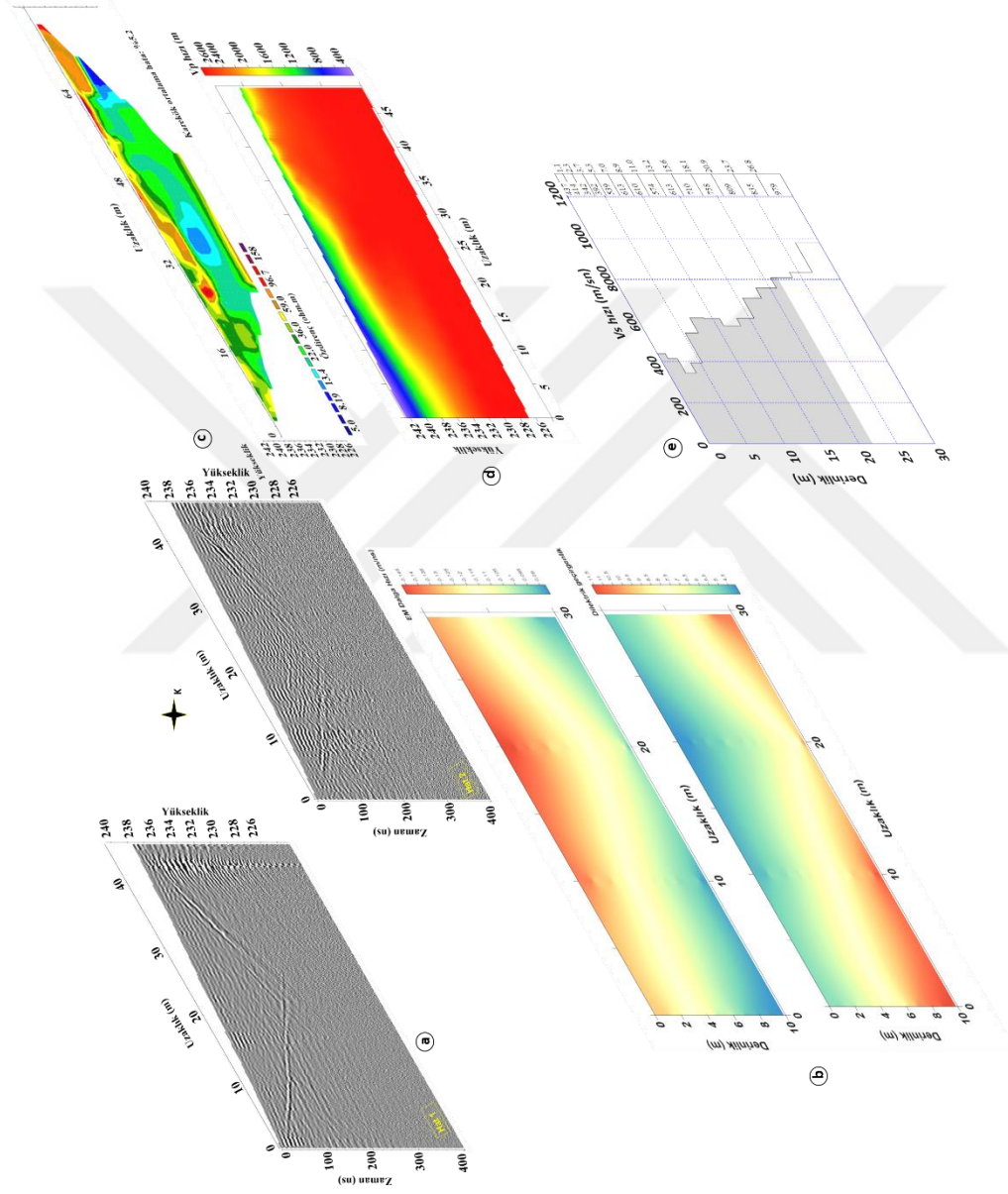
Alan 2 profil 1’de yapılan GPR ölçümlerinden elde edilen radargramlar yaklaşık 13-14 m nüfuz derinliğine kadar bilgi sağlamaktadır. 0-2 m, 2-4 m, 4-10 m derinliklerinde farklı tabaka sınırları görülmektedir. Hat başlarından 20 m uzaklığına kadar 1 m derinlikten başlayarak yaklaşık 10 m derinliğe kadar KB yönünde uzanan eğimli, yüksek genlikli bir yansıtıcı sınır görülmektedir. Ayrıca tepe noktası profil başlangıcından 35 m uzaklıkta olan ve 6 m den başlayıp 8 m derinliğe kadar uzanan bir yapı da hemen hemen tüm hatlarda gözlenmektedir. Toplanan OON verilerinin değerlendirilmesi ile elde edilen 1 boyutlu-hız derinlik kesitlerinin birleştirilmesi ile oluşan 2 boyutlu hız-derinlik kesitinde 0-4 m derinliğe kadar EM dalga hızı 0.123- 0.138 m/ns arasında gözlenirken 4-6 m derinliklerinde 0.1- 0.118 m/ns ve 6-10 m derinliklerinde ise 0.103-0.093 arasındadır. Elde edilen dielektrik geçirgenlik- derinlik kesitinde ise 0-4 m derinliğe kadar edilen dielektrik geçirgenliğin 5- 7.5 arasında, 4-6 m den daha derinlere inildikçe ise de dielektrik geçirgenliğin arttığı ve 8-9 arasında olduğu görülmektedir. Ayrıca 17-22 m ve 35-45 m uzaklıkları altında ve 4 m den daha derinlere gidildikçe dielektrik geçirgenliğin o bölgelerde çok yükselerek 10- 12 m/ns arasında olduğu görülmektedir. Yapılan elektrik özdirenç ölçümlerinden elde edilen yer elektrik kesitinde yaklaşık 13-14 m derinliğe kadar inilmiştir. Kesitte genel olarak farklı özdirenç değişimleri gösteren üç alan mevcuttur. 4 m derinliklerine kadar başlayan ve batıya gittikçe sığlaşan 11-20 ohm.m arasında değişen düşük özdirençli bir alan dikkat çekmektedir. Profil başlangıcından 4-6 m derinliklerin altında kalan kısımda arasından başlayarak profil sonlarına doğru sığlaşan ve 25-35 ohm.m özdirençleri arasında değişen ikinci alan da gözlenmiştir. Ayrıca 25 m uzaklıklarında 6-10 m derinliklerinde ve 58 m uzaklıklarında 4 m derinliklere kadar sığlaşan 40-55 ohm.m arasında değişen üçüncü alan görülmektedir. Vp dağılımında üstte yaklaşık 2 m derinlikte 500-1000 m/sn hızları arasında değişen düşük Vp hızlı bir birim, altında yine 2-4 m derinlikli ve 10-30 m uzaklıklarında 8 m derinliğe ulaşan 1200-1800 m/sn hıza sahip bir birim ve bu seviyeden daha derinde ise 2200-3000 m/sn hıza ulaşarak yüksek Vp hızına sahip birim görülmektedir. Elde edilen bir boyutlu Vs yeraltı yapısında 535 m/sn hızla başlayan ve ilk 5 m de azalıp artan hızlara rağmen 5 m derinliklerden sonra Vs hızı artmıştır. Yeraltı yapısını Genel olarak 3 kısma ayırmak mümkündür. İlk kısımda 0-10 m derinlikleri arasında 506-537 m/sn Vs hız değişimi, ikinci kısımda 10-20 m derinlikleri arasında 650-730 m/sn Vs hız değişimi ve 20-30 m derinlikleri arasında ise 730-981 m/sn Vs hız değişimi görülmektedir. Aynı alanda elde edilen Vp ve Vs hızlarından hesaplanan dinamik elastik parametreler ile de profil 3 tabakaya ayrılmıştır. İlk

tabakada (0-2 m), Vp/Vs 1.5, Poisson oranı 0.157, yoğunluk  $1.65 \text{ gr/cm}^3$ , elastisite modülü  $10241 \text{ kg/cm}^2$ , kayma modülü  $4596 \text{ kg/cm}^2$ , bulk modülü  $4423 \text{ kg/cm}^2$ , zemin taşıma gücü  $0.6 \text{ kg/cm}^2$  olarak hesaplanmıştır. İkinci tabakada (2-5 m), Vp/Vs 2.91, Poisson oranı 0.36, yoğunluk  $1.92 \text{ gr/cm}^3$ , elastisite modülü  $14667 \text{ kg/cm}^2$ , kayma modülü  $5116 \text{ kg/cm}^2$ , bulk modülü  $36585 \text{ kg/cm}^2$ , zemin taşıma gücü  $2.23 \text{ kg/cm}^2$  olarak hesaplanmıştır. Üçüncü ve son tabakada ise (5-10 m), Vp/Vs 2.93, Poisson oranı 0.41, yoğunluk  $2.12 \text{ gr/cm}^3$ , elastisite modülü  $34357 \text{ kg/cm}^2$ , kayma modülü  $11942 \text{ kg/cm}^2$ , bulk modülü  $86854 \text{ kg/cm}^2$ , zemin taşıma gücü  $3.25 \text{ kg/cm}^2$  olarak hesaplanmıştır (Şekil 3.8).



Şekil 3.9. Alan 2 Profil 2'den elde edilen (a) radargramlar (b) 2B EM dalga hız-derinlik ve dielektrik-derinlik kesitleri (c) elektrik özdirenç kesiti (d) P dalgası hız dağılımı (e) 1B Vs yeraltı yapısı

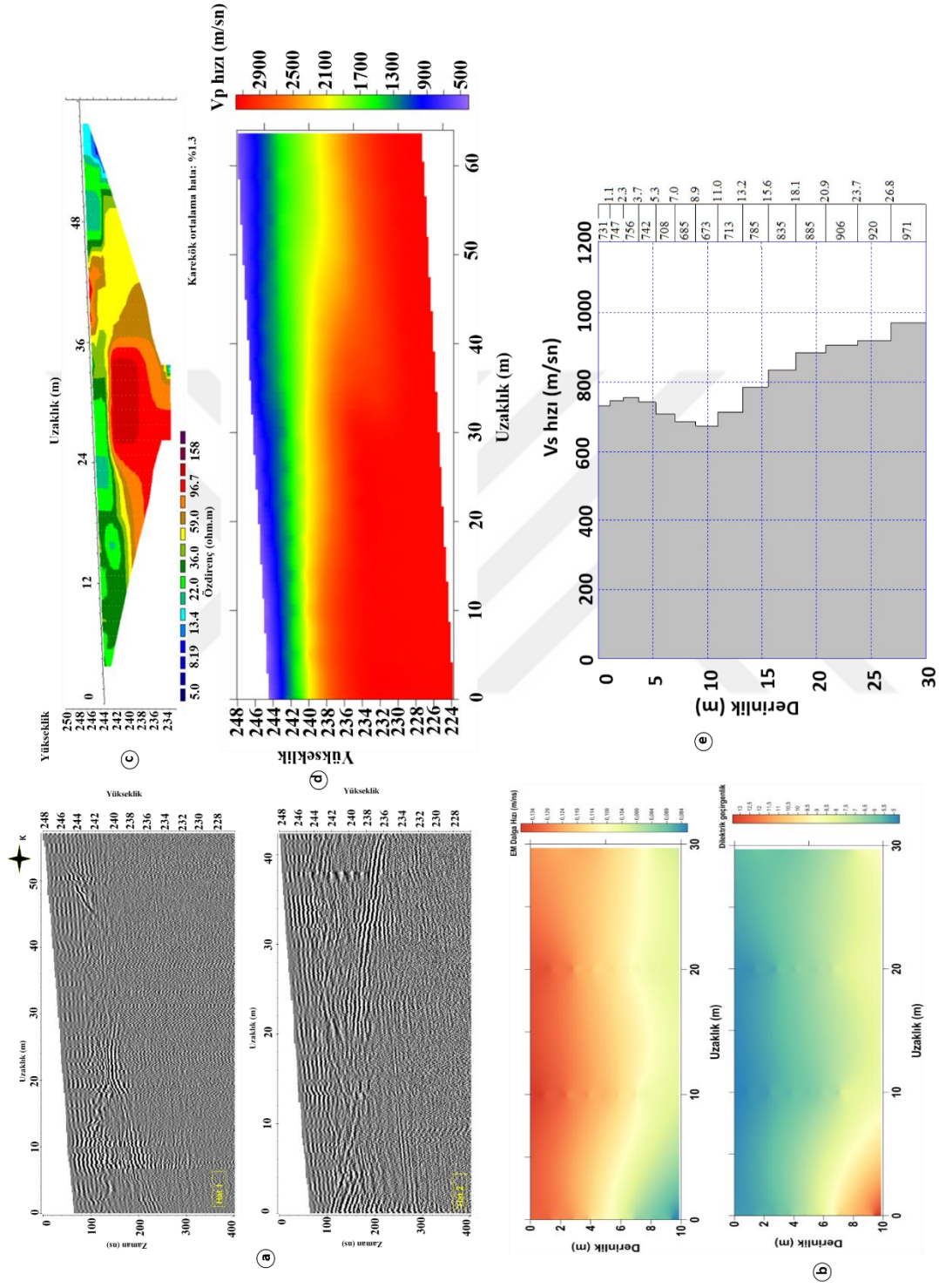
Alan 2 profil 2'de yapılan GPR ölçümlerinden elde edilen radargramlarda yaklaşık 13-14 m nüfuz derinliğine kadar bilgi sağlamaktadır. Radargramlarda yüzeyden 2 m derinliğe kadar, 2-6 m derinlikleri ve 6 m den daha derinliklerde farklı tabaka sınırları görülmektedir. Hat başlarından 30 m uzaklığına kadar 1 m derinlikten başlayarak yaklaşık 13 m derinliğe kadar KD yönünde uzanan eğimli, yüksek genlikli bir yansıtıcı sınır görülmektedir. OON verilerinin değerlendirilmesi ile elde edilen 1 boyutlu-hız derinlik kesitlerinin birleştirilmesi ile oluşan 2 boyutlu hız-derinlik kesitinde 4 m derinliğe kadar EM dalga hızı 0.125-0.14 m/ns arasında gözlenirken 4-6 m derinliklerinde 0.11-0.12 m/ns arasındadır ve 6 m den daha derinlere gidildikçe EM dalga hızının düşerek 0.07-0.09 m/ns arasında olduğu görülmektedir. Elde edilen dielektrik geçirgenlik-derinlik kesitinde ise 4 m derinliğe kadar edilen dielektrik geçirgenliğin 5-7 arasında, 4-6 m derinliklerinde 8-9.5 ve 6 m den daha derinlere gidildikçe ise >13 olduğu görülmektedir. Aynı profilden elde edilen yer elektrik kesitinde 13-27 m uzaklıklarında 2-6 m derinlikleri arasında 50-70 ohm.m arasında değişen yüksek öz dirençli bir alan dikkat çekmektedir.  $V_p$  dağılımında ise 15 m derinlikten bilgi edinilmiştir. Yaklaşık 2 m derinlikte 500-1000 m/sn hızları arasında değişen düşük  $V_p$  hızlı bir birim, altında 2-6 m derinlikli ve profilin sonlarında daralan 1200-1800 m/sn hıza sahip bir birim ve bu seviyeden daha derinde ise 2200-3000 m/sn hıza ulaşan yüksek  $V_p$  hızına sahip birim görülmektedir. 1B  $V_s$  yeraltı yapısında 524 m/sn hızla başlayan ve ilk 10 m de azalıp artan hızlara rağmen bu derinlikten sonra artan  $V_s$  hızı görülmektedir. Genel olarak 3 kısma ayırmak mümkündür. İlk kısımda 0-5 m derinlikleri arasında 524-599 m/sn  $V_s$  hız değişimi, ikinci kısımda 5-10 m derinlikleri arasında 466-481 m/sn  $V_s$  hız değişimi ve 10-25 m derinlikleri arasında ise 600-740 m/sn  $V_s$  hız değişimi görülmektedir. Aynı alanda elde edilen  $V_p$  ve  $V_s$  hızlarından hesaplanan dinamik elastik parametreler ile de 2. profil 3 tabakaya ayrılmıştır. İlk tabakada (0-2 m),  $V_p/V_s$  1.6, Poisson oranı 0.18, yoğunluk  $1.64 \text{ gr/cm}^3$ , elastisite modülü  $9772 \text{ kg/cm}^2$ , kayma modülü  $4121 \text{ kg/cm}^2$ , bulk modülü  $5055 \text{ kg/cm}^2$ , zemin taşıma gücü  $0.9 \text{ kg/cm}^2$  olarak hesaplanmıştır. İkinci tabakada (2-6 m),  $V_p/V_s$  3.3, Poisson oranı 0.40, yoğunluk  $1.92 \text{ gr/cm}^3$ , elastisite modülü  $11334 \text{ kg/cm}^2$ , kayma modülü  $3906 \text{ kg/cm}^2$ , bulk modülü  $38199 \text{ kg/cm}^2$ , zemin taşıma gücü  $2.02 \text{ kg/cm}^2$  olarak hesaplanmıştır. Üçüncü ve son tabakada ise (6-10 m),  $V_p/V_s$  3.6, Poisson oranı 0.42, yoğunluk  $2.2 \text{ gr/cm}^3$ , elastisite modülü  $36658 \text{ kg/cm}^2$ , kayma modülü  $12570 \text{ kg/cm}^2$ , bulk modülü  $146140 \text{ kg/cm}^2$ , zemin taşıma gücü  $3.4 \text{ kg/cm}^2$  olarak hesaplanmıştır (Şekil 3.9).



Şekil 3.10. Alan 2 Profil 3'den elde edilen (a) radargramlar (b) 2B EM dalga hız-derinlik ve dielektrik-derinlik kesitleri (c) elektrik öz direnç kesiti (d) P dalgası hız dağılımı (e) IB Vs yeraltı yapısı

Alan 2 profil 3’de yapılan GPR ölçümlerinden elde edilen radargramlardan yaklaşık 10 m nüfuz derinliğine kadar bilgi sağlamaktadır. Bütün hatlarda yaklaşık 0-4 m, 4-6 m ve 6-10 m derinlikleri arasında farklı tabaka sınırları görülmektedir. Hat başlarından 20 m uzaklığına kadar 1 m derinlikten başlayarak yaklaşık 10 m derinliğe kadar KD yönünde uzanan eğimli, yüksek genlikli bir yansıtıcı sınır görülmektedir. 1B hız derinlik kesitlerinin birleştirilmesi ile oluşan 2 boyutlu hız-derinlik kesiti (Şekil 2.93) 30 m uzunluğundadır. Bu kesitte 4 m derinliğe kadar EM dalga hızı 0.125-0.14 m/ns arasında gözlenirken, 0-20 m uzaklıklarında batıya gittikçe azalan düşük EM dalga hızına sahip bölge ve 20-40 m uzaklığında batıya gittikçe artan düşük EM dalga hızı görülmektedir. Elde edilen dielektrik geçirgenlik-derinlik kesitinde ise 4 m derinliğe kadar edilen dielektrik geçirgenliğin 4.5-6.5 arasında, 4-6 m derinliklerinde 7- 9.5 ve 6 m den daha derinlere gidildikçe ise >10 olduğu görülmektedir. Yer elektrik kesitlerinde yaklaşık 13 m derinliğe kadar inilmiştir. Kesitte lokal olarak düşük özdirençli alanlar görülmektedir. Bu alanlar 24-28 m uzaklıklarında ve 2-4 m derinliklerinde, 32-48 m uzaklıklarında ve 4-10 m derinliklerinde gözlenmektedir. 10 m nin altındaki derinliklerde özdirençler yükselerek 66 ohm.m civarlarında değişmektedir.

Sismik ölçümlerden elde edilen  $V_p$  dağılımında yaklaşık 12 m derinlikten bilgi edinilmiştir. En üste profil başlangıcından 25 m lere kadar yaklaşık 2 m derinlikte 500-1000 m/sn hızları arasında değişen düşük  $V_p$  hızlı bir birim, 2-4 m derinlikleri arasında 30 m uzaklığına kadar 1600-2200 m/sn hıza sahip bir birim ve bu seviyelerin altında da 2500-2900 m/sn hıza ulaşan yüksek  $V_p$  hızı görülmektedir. 1B  $V_s$  yeraltı yapısında ilk kısım 437 m/sn hızla başlayan ve  $V_s$  hızı ilk 5 m derinliğe kadar 342-437 m/sn arasında değişmektedir. ikinci kısımda 5-10 m derinlikleri arasında 539-610 m/sn  $V_s$  hız değişimi ve 10-22 m derinlikleri arasında ise 574-750 m/sn  $V_s$  hız değişimi görülmektedir. Aynı alanda elde edilen  $V_p$  ve  $V_s$  hızlarından hesaplanan dinamik elastik parametreler ile de profil 3 tabakaya ayrılmıştır. İlk tabakada (0-2 m),  $V_p/V_s$  2, Poisson oranı 0.33, yoğunluk  $1.65 \text{ gr/cm}^3$ , elastisite modülü  $7035 \text{ kg/cm}^2$ , kayma modülü  $2637 \text{ kg/cm}^2$ , bulk modülü  $7034 \text{ kg/cm}^2$ , zemin taşıma gücü  $1.33 \text{ kg/cm}^2$  olarak hesaplanmıştır. İkinci tabakada (2-4 m),  $V_p/V_s$  2.72, Poisson oranı 0.39, yoğunluk  $1.92 \text{ gr/cm}^3$ , elastisite modülü  $16601 \text{ kg/cm}^2$ , kayma modülü  $5835 \text{ kg/cm}^2$ , bulk modülü  $35620 \text{ kg/cm}^2$ , zemin taşıma gücü  $2.32 \text{ kg/cm}^2$  olarak hesaplanmıştır. Üçüncü ve son tabakada ise (4-10 m),  $V_p/V_s$  3.28, Poisson oranı 0.43, yoğunluk  $2.14 \text{ gr/cm}^3$ , elastisite modülü  $30384 \text{ kg/cm}^2$ , kayma modülü  $10519 \text{ kg/cm}^2$ , bulk modülü  $99540 \text{ kg/cm}^2$ , zemin taşıma gücü  $3.12 \text{ kg/cm}^2$  olarak hesaplanmıştır (Şekil 3.10).



Şekil 3. 11. Alan 2 Profil 4'den elde edilen (a) radargramlar (b) 2B EM dalgası hızı-derinlik ve elektrik-derinlik kesitleri (c) elektrik öz direnç kesiti (d) P dalgası hız dağılımı (e) Vs dalgası hız dağılımı



Alan 2 profil 4'de GPR ölçümlerinden elde edilen radargramlarda yaklaşık 10 m nüfuz derinliğine kadar bilgi sağlamaktadır. Bütün hatlarda yaklaşık 4 m derinliğe kadar bir tabaka görülmektedir. Hat başlarından 20 m uzaklığına kadar 1 m derinlikten başlayarak yaklaşık 10 m derinliğe kadar KD yönünde uzanan eğimli, yüksek genlikli bir yansıtıcı sınır görülmektedir. OON verilerinin değerlendirilmesi ile elde edilen 1 boyutlu-hız derinlik kesitlerinin birleştirilmesi ile oluşan 2 boyutlu hız-derinlik kesitinde 5 m derinliğe kadar 0.119-0.134 m/ns arasında değişen yüksek EM dalga hızı tüm profil boyunca gözlenirken 5- 6.5 m derinliklerinde 10 m uzaklıklardan sonra derinleşip 10 m derinliğe ulaşan 0.094-0.114 m/ns EM dalga hızı görülmektedir ve 0-10 uzaklıklarda 7-10 m uzaklıklarında 0.084-0.09 m/ns hızına sahip EM dalga olduğu görülmektedir. Elde edilen dielektrik geçirgenlik- derinlik kesitinde ise 6 m derinliğe kadar dielektrik geçirgenliğin 5-7 arasında, 6-10 m derinliklerde 0-8 m uzaklıklarında 11-13 olduğu görülmektedir. Yer elektrik kesitlerinde yaklaşık 9 m derinliğe kadar inilmiştir. Kesitte 0-30 m uzaklıklarında ve 1-3 m derinlikleri arasında 12-20 ohm.m arasında değişen özdirenç değişimi gösteren bir alan mevcuttur. Bu kesitte en dikkat çekici alan 28-34 m uzaklıklarında ve 2-5 m derinlikleri arasında 70 ohm.m yüksek özdirenç değişimi gösteren alandır. Sismik ölçümlerden elde edilen  $V_p$  dağılımında, 2 m derinlikte 1100-1500 m/sn hızları arasında değişen düşük  $V_p$  hızlı bir birim, altında yine 4 m derinlik seviyelerine kadar ve 50-60 m uzaklıklarında 6 m derinliklere kadar 1600-1900 m/sn hıza sahip bir birim ve bu seviyelerin altında da 2300-3100 m/sn hıza ulaşarak yüksek  $V_p$  hızı görülmektedir. 1B  $V_s$  yeraltı yapısında genel olarak diğer profillere göre daha yüksek  $V_s$  hızına sahip olduğu görülmektedir. İlk 10 m derinliğe kadar  $V_s$  hızı 673-756 m/sn arasında değişmiştir. 10 m den daha derinlerde  $V_s$  hızı derinliğe bağlı olarak artarak 700-970 m/sn arasında değişmektedir. Aynı alanda elde edilen  $V_p$  ve  $V_s$  hızlarından hesaplanan dinamik elastik parametreler ile de 5. profil 3 tabakaya ayrılmıştır. İlk tabakada (0-2 m),  $V_p/V_s$  1.5, Poisson oranı 0.12, yoğunluk  $1.69 \text{ gr/cm}^3$ , elastisite modülü  $13448 \text{ kg/cm}^2$ , kayma modülü  $6112 \text{ kg/cm}^2$ , bulk modülü  $5603 \text{ kg/cm}^2$ , zemin taşıma gücü  $0.6 \text{ kg/cm}^2$  olarak hesaplanmıştır. İkinci tabakada (2-4 m),  $V_p/V_s$  2.61, Poisson oranı 0.37, yoğunluk  $1.91 \text{ gr/cm}^3$ , elastisite modülü  $23790 \text{ kg/cm}^2$ , kayma modülü  $8410 \text{ kg/cm}^2$ , bulk modülü  $46310 \text{ kg/cm}^2$ , zemin taşıma gücü  $2.6 \text{ kg/cm}^2$  olarak hesaplanmıştır. Üçüncü ve son tabakada ise (4-10 m),  $V_p/V_s$  3.46, Poisson oranı 0.41, yoğunluk  $2.21 \text{ gr/cm}^3$ , elastisite modülü  $36225 \text{ kg/cm}^2$ , kayma modülü  $12452 \text{ kg/cm}^2$ , bulk modülü  $133040 \text{ kg/cm}^2$ , zemin taşıma gücü  $3.4 \text{ kg/cm}^2$  olarak hesaplanmıştır (Şekil 3.11).

#### 4. SONUÇLAR

Bu tez çalışması kapsamında; yer radarında ortak ofset, ortak orta nokta, elektrik öz direnç tomografi, sismik kırılma tomografi ve yüzey dalgalarının çok kanallı analiz yöntemi ile Trabzon ili Akoluk mevkiisinde yer alan ve Tonya Formasyon'u oluşturan kayaların mühendislik özellikleri belirlenmeye çalışılmış ve daha önceden yapılan sondaj çalışmaları ile elde edilen sonuçlar birleştirilerek yorumlanmıştır. Bu kapsamda, çalışma alanında seçilen iki alanda toplam 40 hatta ortak ofset GPR, 50 noktada ortak orta nokta GPR, 11 profilde elektrik ve 9 profilde sismik kırılma tomografi ölçümleri, 10 profilde çok kanallı yüzey dalgası analizi ölçümleri ve 2 adet kuyu tomografisi modeli yapılmış olup, daha önceden 3 noktada yapılmış olan sondaj çalışmaları ile elde edilen sonuçlar birleştirilerek çalışma alanının mühendislik özellikleri belirlenmeye çalışılmıştır. Yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

- Çalışma alanında daha önceden gerçekleştirilmiş olan 3 adet sondaj ve jeolojik arazi çalışmalarından (Ersoy, 2007) Alan 1'e ait jeoteknik ve stratigrafik kesitlere göre, Alan 1 ve çevresinde yüzeyleme veren kayalar, ANON (1976) ve ISRM (1976) tarafından önerilen ve Dearman (1981) tarafından düzenlenen ve litolojiye, kökene ve jeoteknik özelliklere dayanan sınıflama sistemleri kullanılarak 2 ayrı litolojik ve 3 ayrı jeoteknik birime ayrılmıştır. Kıltaşı, kireçtaşı, kumlu kireçtaşı marn, siltaşı ve tuf aralanmasından oluşan ve Tonya Formasyon'unun üst kesimlerini oluşturan birim A litolojik birimi, genel olarak orta ve kalın tabakalı kalsirüdit ve kalkarenitlerden oluşan ve formasyonun taban kesimlerinde bulunan birim ise B litolojik birimi olarak tanımlanmıştır. A litolojik birimi kendi içerisinde A1 ve A2 jeoteknik birimiyle karakteristik iken, B litolojik birimi B1 jeoteknik birimiyle karakteristiktir. A1 jeoteknik birimi: Kıltaşı, siltaşı, marn ve tuf aralanmasından oluşmakta iken A2 jeoteknik birimi: A1 jeoteknik birimiyle aralanmalı olarak görülen birim orta tabakalı kumlu kireçtaşı ve kireçtaşı aralanmasından oluşmaktadır. Ayrıca B1 jeoteknik birimi: Birim genel olarak beyaz, açık gri, sarımsı renkli kalsirüdit ve kalkarenitlerden oluşmaktadır.
- Alan 1'de 5 profilde ve 27 hatta alınan ortak ofset GPR ölçümlerinden elde edilen 2B yer radarı kesitlerinde her profil için farklı derinliklerde tabaka

sınırları ve tabakalanmalar gözlemlenmiştir. Bu sınırlar jeolojik olarak farklı bir birime geçişten kaynaklanmaktadır. Aynı alanda 6 profilde ve 31 noktada yapılan ortak orta nokta GPR ölçümlerinden elde edilen 1B EM dalga hızı-derinlik modellerine göre EM dalga hızının derinliğe bağlı olarak belirli derinliklerde azaldığı ve bunun da sağlam bir birimden derinlere doğru inildikçe jeolojik olarak daha zayıf bir birime denk geldiğini göstermektedir. 7 profilde yapılan elektrik özdirenç ölçümlerinden elde edilen yer elektrik kesitlerinde özdirenç değişimlerinin çok yüksek olmamakla birlikte ortak ofset GPR ölçümlerinden elde edilen tabakalı yapıda bir yapı bulunduğu görülmüştür. Aynı profil üzerinde bulunan 2 adet sondaj ile birlikte bu tabakalı yapıların jeolojik olarak killi zayıf birimden kalsitli sağlam birime geçiş yaptığı ve daha da derinlere inildikçe tekrardan killi zayıf birimlerin varlığınının tekrar görüldüğü sonucunda varılmıştır. 4 profil için yapılan sismik kırılma tomografisi ölçümlerinden elde edilen P dalgası hızı dağılımlarında P dalgasının derinlikle beraber artmış olduğu gözlemlenmiştir. 5 profil için toplanan yüzey dalgası verilerinin analizi sonucunda elde edilen 1B kesme dalga hızı ise derinliğe bağlı olarak yer yer artarken yer yer azalmıştır. Elektrik özdirenç kesitlerinde düşük özdirenç değerleri çıkmasına karşılık P dalga hızının yüksek çıkması bu alandaki kalkarenitlerin gözenekli bir yapıda bulunması ve bu gözeneklerin suya doygun olarak bulunmasından kaynaklı olduğu düşünülmektedir. Alan 1'de profil 4 üzerinde alınan jeofizik ölçümler ile jeolojik veriler bir araya getirilerek oluşturulan model üzerinde yapılan seyahat zamanlarının bir doğrusal olmayan denklem yardımıyla bir fonksiyonel olarak tanımlamasına dayalı ters çözüm yöntemi ile elde edilen EM dalga hızı ve dielektrik geçirgenlik kesitleri hem sondaj hem de ortak orta nokta arazi verisi ile kıyaslandığında tabakalı yapılanmayı desteklemektedir. Sismik kırılma tomografisi ve çok kanallı yüzey dalgası verilerinin analizlerinden elde edilen P ve S dalga hızları kullanılarak aynı alandaki profillere ait hesaplanan bazı dinamik-elastik parametrelerden sığılarda sağlam kalkarenitli birime sahip zemin yapısının derinlere doğru inildikçe killi zayıf birimlere geçtiği gözlemlenmiştir. Bu alandaki P dalga hızına göre yapılan sökülebilirlik sınıflamasına göre zeminin sökülebilirliğini her ne kadar zor olarak görünse de bu derinlerde gözlenen suya doygun kalkarenitten kaynaklanmış olabileceği sonucuna varılmıştır. Çalışma alanında sadece sismik

kırılma tomografisi ile elde edilen P dalga hız dağılımına bakılacak olunursa hız ve zeminin derine doğru sağlamlaştığı sonucuna varılacak olsa da sadece P dalga hızı ile değerlendirme yapmak doğru değildir. P dalgası hızını;  $V_p/V_s$  oranı ve diğer uygulanan yöntemlerle kıyaslayarak değerlendirmelerin yapılması elde edilen sonuçların güvenilirliğini artırmıştır. Alan 1’de hesaplanan bazı dinamik- elastik parametrelerde;  $V_p/V_s$  oranı 2.4 ile 4.5 arasında değişmektedir. Bu da jeolojik olarak sığdan derine doğru gevşek birimler, orta sıkı bozuşmuş birimlere denk gelmektedir. Daha derinlere inildikçe orta sıkı bozuşmuş birimlerden tekrar gevşek birimlere girildiği görülmektedir. Poisson oranı bu alan için 0.37- 0.45 arasında değişmektedir. P dalga hızındaki yüksek hızlar dikkate alındığında sağlam gibi görünen zemin Poisson oranındaki bu yüksek değerlerde gevşek olarak görülmektedir. Bunun da sebebi zemindeki gözeneklerin su dolu olup doygun hale gelmesi olarak düşünülmektedir. Aynı durum hesaplanan diğer parametreler için de geçerlidir.

- Alan 1’de yapılan ortak ofset GPR, OON, ERT, SKT, ÇKYDA ve yapay kuyu ölçümlerinden elde edilen 1B modeller ve 2B kesitlerde elde edilen sonuçlar ile bu alanda bulunan sondajlardan ve o alanın jeolojisinden elde edilen sonuçlar bulgular ve yukarıda verildiği gibi birbirleri ile uyum göstermiş ve derinlere doğru inildikçe ortamın daha gevşek, az sağlam bir zemin yapısında olduğunu göstermiştir.
- Alan 2’de 4 profilde ve 13 hatta alınan ortak ofset GPR ölçümlerinden elde edilen 2B yer radarı kesitlerinde de Alan 1’dekine benzer bir şekilde tabaka sınırları ve tabakalanmalar genlik farklılıklarından dolayı kolayca gözlemlenmiştir. Ayrıca profillerin başlarında ve sonlarında gözlenen yüksek genlikli eğimli yansımalar ortamın yanıl ve düşey devamlılığının değişkenliğini ve jeolojik olarak burada bulunan eğimli tabakaların yapısını açıkça göstermiştir. Aynı alanda 4 profilde ve 19 noktada yapılan ortak orta nokta GPR ölçümlerinden elde edilen 1B EM dalga hızı- derinlik modellerine göre EM dalga hızının derinliğe bağılı olarak belirli derinliklerde azaldığı ve bu da Alan 1 deki EM Dalga hız dağılımlarına benzer şekilde sağlam bir birimden derinlere doğru inildikçe jeolojik olarak daha zayıf bir birime denk geldiğini göstermektedir. 4 profilde yapılan elektrik özdirenç ölçümlerinden elde edilen yer elektrik kesitlerinde gözlenen yer altı yapısının derinliğin artması ile birlikte

killi zayıf birimlerden daha sağlam birimlere ve tekrar zayıf birimlere denk geldiği anlaşılmaktadır. Ortak ofset GPR yöntemi ile elde edilen kesitlerdeki gözlenen tabaka sınırları yer elektrik kesitlerinde de benzerlik göstererek birbirleri ile uyumludur. Bu alanda sondaj olmamasına rağmen ortamın jeolosinden, kesitlerdeki genlik, özdirenç değişimlerinden burada bulunan yapılar hakkında jeolojik olarak yorum yapılabilmiştir. Alan 2 için 4 profilde yapılan sismik kırılma tomografisi ölçümlerinden elde edilen P dalgası hızı dağılımlarından P dalgasının derinlikle beraber artmış olduğu gözlemlenmiştir. 4 profil için toplanan yüzey dalgası verilerinin analizi sonucunda elde edilen 1B kesme dalga hızı ise derinliğe bağlı olarak artıp azalmış ve tekrar artmıştır. Bu da oradaki tabakalı yapıyı ve diğer yöntemlerden elde edilen sonuçları doğruladığı düşünülmektedir. Bu alanda alınan jeofizik ölçümler ile jeolojik veriler bir araya getirilerek oluşturulan bir model üzerinde yapılan seyahat zamanlarının bir doğrusal olmayan denklem yardımıyla fonksiyonel olarak tanımlamasına dayalı ters çözüm yöntemi ile elde edilen EM dalga hızı ve dielektrik geçirgenlik kesitleri bu alandaki tabakalı yapıların uzaklığın artması ile sığlaştığını ve tabakaların birinci alandaki gibi zayıf birim-sağlam birim-zayıf birim olarak ayrıldığını göstermiştir. Elde edilen sonuçlar, arazide uygulanan diğer yöntemlerden elde edilen kesitlere benzerlik göstermiştir. Yapılan modelleme çalışmaları, sondaj bilgisinin olmadığı lokasyonlarda arazi verilerinin çözümü için faydalı bilgiler sağlanmasına olanak vermiştir. Ayrıca, Alan 2’de de sismik kırılma tomografisi ve çok kanallı yüzey dalgası verilerinin analizlerinden elde edilen P ve S dalga hızları kullanılarak aynı alandaki profillere ait hesaplanan bazı dinamik-elastik parametrelerden birinci alana benzer olarak P dalga hızının derinliğe doğru artması ile sökülebilirlik sınıflamasına göre zor olarak görünse de bu derinlerde jeolojik olarak suya doygun malzemenin varlığı ile mümkün olmaktadır. Alan 2’de hesaplanan bazı dinamik- elastik parametrelerde;  $V_p/V_s$  oranı 1.5 ile 3.78 arasında değişmektedir. Bu da jeolojik olarak sığdan derine doğru orta sıkı bozuşmuş birimlere ve sıkı birimlere denk gelmektedir. Daha derinlere inildikçe sıkı birimlerden tekrar orta sıkı bozuşmuş birimlere denk geldiği görülmektedir. Poisson oranı bu alan için 0.12- 0.43 arasında değişmektedir. Burada da Alan 1’de  $V_p$  hızlarına göre derine doğru sağlam olan zemin Poisson oranındaki bu

yüksek değerlerde gevşek olarak görülmektedir. Bunun da sebebi zemindeki gözeneklerin su dolu olup doygun hale gelmesi olarak düşünülmektedir. Aynı durum bu alanda hesaplanan diğer parametreler için de geçerlidir.

- Alan 2’de yapılan ortak ofset GPR, OON, ERT, SKT, ÇKYDA ve oluşturulan yapay model üzerindeki ters çözüm işlemlerinden de buradaki zemin yapısının da derinlere doğru inildikçe sağlam bir yapıdan daha gevşek, ayrılmış birimlere girdiği gözlenmektedir. Alan 2’de elde edilen sonuçlar; Alan 1’den elde edilen jeolojik özellikler, sondajlar, elde edilen genlik, EM dalga hızı ve dielektrik geçirgenlik, özdirenç, sismik hız değerleri ile benzer özellikler verdiği görülmüştür. Ayrıca Alan 1 ve Alan 2’ de hesaplanan dinamik-elastik sabitler sonuçları ile de diğer uygulanan yöntemlerin uyumu gözlenmiştir.

Sonuç olarak Trabzon ili Akoluk mevkiinde yer almakta olan çalışma alanında hakim olan Tonya Formasyon’unun iki farklı alanında yapılan birleşik jeofizik, jeolojik ve jeoteknik çalışmalardan bu formasyona ait kayaçların mühendislik özellikleri elde edilen sonuçlar ile ortaya konulmaya çalışılmıştır. İnceleme alanında yapılan jeolojik çalışmalardan (Ersoy, 2007) 10-15 m derinliklere kadar tekrarlı değişimler (killi zayıf birim-kalsitli sağlam birim- killi zayıf birim) söz konusudur. 15-20 m derinliklerden sonra ise sağlam zemine girilmektedir. Yapılan jeofizik çalışmalardan elde edilen yer altı kesitleri ile sondaj bilgileri genel olarak uyumludur. 15 m den daha derine ulaşabilen profillerde elde edilen sonuçlar ile jeolojik bulguların birbiri ile uyumlu olduğu gözlenmiştir. Bu tez çalışmasından elde edilen tüm sonuçlar literatürde ilk defa yer almaktadır. Çalışma, inceleme alanlarında gelecekte planlanacak olası yapılaşma durumu için yapılacak olan araştırmalara ışık tutacaktır.

## 5. ÖNERİLER

- Çalışma alanında yapılan ortak ofset GPR ölçümleri bazı profillerde zeminin ıslaklığından ötürü alınamamıştır. GPR yöntemi için ortamın kuru, sağlam, pekişmiş olması elde edilecek olan sonuçlar açısından daha kaliteli veriler üretecektir.
- Ortak orta nokta GPR ölçümlerinde; alıcı ve verici anten arasında mesafenin çok küçük alınarak ölçümlerin toplanması zaman alıcı, ölçümler manual (elle) modda toplandığı için bazen bir noktada kaymalar yaşanabilmekte ve ölçümler tekrar edilmek zorunda kalınabilmektedir. Bundan ötürü arazide ortak orta nokta ölçümleri alınırken çok dikkatli olunması gerekmektedir.
- Yüzey dalgalarının çok kanallı analizi ile  $V_{s30}$  değerlerinin hesaplanması hızlı ve etkili olarak yapılmasına karşın çok sayıda alınan ölçümlerin değerlendirilip yorumlanmasında zorluklarla karşılaşıldığı gözlenmiştir. Zemin kalınlığının çok sığ olduğu ve hız farklılığının fazla olduğu ortamlarda yapılan çok kanallı yüzey dalgası analiz ölçümlerinde faz hızı-frekans kesitleri için temel mod ayırımının yapılması oldukça güçtür. Bu yöntemle elde edilen  $V_s$  dalga hız yapısında ortamla ilgili herhangi bir ön bilginin olmadığı durumlarda ilk tabaka için derinlik ve hız bilgilerinde önemli derecede hatalar yapılabilmektedir. Böyle ortamlarda jeolojik bilgilerden yararlanılarak belirli bir yaklaşım ile en azından ilk tabakanın düzeltilmesi gerçekçi sonuçların elde edilmesine katkı sağlayacaktır.
- Çalışma alanındaki jeofizik ölçüm hatları, yer yer 20 m ye varan kot farklılığı nedeni ile sınırlı sayıdadır. Bu tür araştırmalarda inceleme alanına ait elde edilen fiziksel parametrelerin derinliğe bağlı değişimlerin haritalanması gerekmektedir.
- Yapılan birleşik jeofizik yöntemlerden elde edilen sonuçlar ile sondaj bilgileri uyumlu olduğundan, çalışmanın toplam maliyetini azaltmak için sondaj giderlerine gerek duymadan birleşik jeofizik yöntemlerle elde edilen sonuçların değerlendirilmesi önerilmektedir. ortamın yanal ve düşey devamlılığı değişken olduğu için herhangi bir yapılaşma durumunda yapının kurulacağı zemin üzerindeki lokasyonda yer alan hatlardan elde edilen yeraltı kesitleri dikkate alınmalıdır.

## 6. KAYNAKLAR

- Addai, E., Asare, V.D.S. ve Aning, A.A., 2016. Application of Shallow Seismic Refraction and 2D Electrical Resistivity Imaging to Site Investigations, International Journal of Scientific and Research Publications, 6, 5, 357-368.
- Agbodike, I.I.C, Igboekwe, M.U. ve Chiemeke, C., 2015. Use of Seismic Refraction Tomography to Obtain Velocity and Thickness of the Weathered Zone of Oru, in Imo State, FUTO Journal Series (FUTOJNLS), 1, 2.
- Aki, K., Christoffersson, A. ve Husebye, E.S., 1977. Determination of the Three-Dimensional Seismic Structure of the Lithosphere, Journal Geophysical Research, 82, 2, 277-296.
- Al-Heety, A.J.M. ve Shanshal, Z.M., 2016. Integration of Seismic Refraction Tomography and Electrical Resistivity Tomography in Engineering Geophysics for Soil Characterization, Arabian Journal Geoscience, 9, 73.
- Al-Saigh, N.H. ve Al-Heety, A.J.M., 2013. Seismic Refraction Tomography and MASW Survey for Geotechnical Evaluation of Soil for the Teaching Hospital Project at Mosul University, Journal of Zankoy Sulaimani, 16,1.
- Ammon, C.J. ve Vidale, J.E., 1993. Tomography Without Rays, Bulletin of the Seismological Society of America, 83, 509-528.
- Annan, A.P., Davis, J.L., 1977. Impulse Radar Applied to Ice Thickness Measurements and Freshwater Bathymetry, Geological Survey of Canada, Report of Activities Paper, 117-124.
- Annan, A. P., 2001. Ground Penetrating Radar Workshop Notes, Ontario Sensors and Software Inc, Mississauga.
- Annan, A. P., 2004. Ground Penetrating Radar Principles, Procedures & Applications, Sensors& Software Inc, Mississauga, on Canada.
- Annan, A.P., 2005a. Ground-Penetrating Radar. In: Butler DK (ed.), Near Surface Geophysics, 357-438.
- Annan, A.P., 2005b. GPR Methods for Hydrogeological Studies. In: Rubin Y and Hubbard S (eds.), Hydrogeophysics, 185-214.
- ANON, 1976. Engineering Geological Maps, A Guide to Their Preparation, UNESCO Publishing House, Paris, 79 s.



- Asif, A.R., Ali, S.S., Noreen, N., Ahmed, W., Khan, S., Khan, K.Y. ve Waseem, M., 2016. Correlation of Electrical Resistivity of Soil with Geotechnical Engineering Parameters at Wattar area district Nowshera, Khyber Pakhtunkhwa, Pakistan, Journal of Himalayan Earth Sciences, 49,1, 124-130.
- Austin, G.L. ve Austin, L.B., 1974. The Use of Radar in Urban Hydrology, Journal Of Hydrology, 22, 131-142.
- Ayolabi, E.A., Enoh, I.J.E. ve Folorunso, A.F., 2012. Engineering Site Characterization Using 2-D and 3-D Electrical Resistivity Tomography, Earth Science Research, 2, 133-142.
- Azwin, I.N., Saad, R. ve Nordiana, M., 2013. Applying the Seismic Refraction Tomography for Site Characterization, APCBEE Procedia, 5, 227-231.
- Babacan, A., 2014. Kabaköy Formasyonuna Ait Volkanik Kayaçların (Trabzon) Mühendislik Özelliklerinin Sismik Tomografi Yöntemi ile Belirlenmesi, Doktora Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Balkaya Ç., 2010. Karşılıklı Kuyu Yer Radarı Verisinin İki Boyutlu Seyahat Zamanı Tomografisi, Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Baker, G.S. ve Jol, H.M., 2007. Stratigraphic Analyses Using GPR, Geological Society of America, Special Paper, 432, 181.
- Bentley, C.R., Clough, J.W., Jezek, K.C. ve Shabtaie, S., 1979. Ice Thickness Patterns and the Dynamics of the Ross Ice Shelf, Antarctica, Jornal of Glaciology, 24, 287-294.
- Bevan, M.J., Endres, A.L., Rudolph, D.L. ve Parkin, G., 2003. The Non-Invasive Characterization of Pumping - Induced Dewatering Using Ground Penetrating Radar, Journal Hydrology, 281, 55-69.
- Behrendt, J.C., Drewry, D., Jankowski, E. ve England, A.W., 1979. Aeromagnetic and Radar Ice Sounding Indicate Substantially Greater Area for Dufek Intrusion in Antarctica, American Geophysical Union Transactions, 60, 245.
- Berard, B. ve Maillol, J.C., 2008. Common- and Multi-Offset Ground-Penetrating Radar Study of a Roman Villa, Tourega, Portugal. Archaeological Prospection, 15, 32-46.
- Bilgin, N., 1989. İnşaat ve Maden Mühendisleri için Uygulamalı Kazı Mekaniği, Birsen Yayınevi, İstanbul,
- Binley, A., Cassiani, G., Middleton, R. ve Winship, P., 2002. Vadose Zone Model Parameterisation Using Cross-Borehole Radar and Resistivity Imaging, Journal Hydrology., 267, 147-159.

- Blindow, N., 2006. Ground Penetrating Radar. In: Kirsch R (ed.), Groundwater Geophysics, 357–438.
- Booth, A.D., Clark, R. ve Murray, T., 2010. Semblance Response to a Ground-Penetrating Radar Wavelet and Resulting Errors in Velocity Analysis, Near Surface Geophysics, 8, 3, 235–246.
- Bostanudin, J.N.F., 2013. Computational Methods for Processing Ground Penetrating Radar Data, Doktora Tezi, Portsmouth Üniversitesi, İngiltere.
- Bozkurt, A. ve Kurtuluş, C., 2008. Yukarı Hereke Bölgesi'nde Yer Alan Killi Kireçtaşlarının Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi, Uygulamalı Yerbilimleri Dergisi, 1, 1-15.
- Bradford, J.H. ve Harper J.T., 2005. Wave Field Migration as a Tool for Estimating Spatially Continuous Radar Velocity and Water Content in Glaciers, Geophysical Research Letters, 32, L08502.
- Bradford, J.H., Harper, J.T. ve Brown, J., 2009. Complex Dielectric Permittivity Measurements from Ground-Penetrating Radar Data to Estimate Snow Liquid Water Content in the Pendular Regime, Water Resources Research, 45.
- Broyden C.G., 1965. A class of Methods for Solving Nonlinear Simultaneous Equations, Mathematics of Computation, 19, 577-593.
- Bristow, C.S. ve Jol, H.M. (Ed.), 2003. Ground Penetrating Radar in Sediments. Geological Society Special Publications, London, 211, 191-198.
- Bryan, M.L., 1974. Ice Thickness Variability on Silver Lake, Genesee County, Michigan: A Radar Approach, Advanced Concepts in the Study of Snow and Iceresources, United States Contribution to the International Hydrological Decade, 213-223.
- Cardelli, E. Marrone, C. ve Orlando, L., 2003. Evaluation of Tunnel Stability Using Integrated Geophysical Methods. Journal of Applied Geophysics, 52, 93-102.
- Cai, J. ve McMechan, G. A., 1994. Ray-Based Synthesis of Bistatic Ground Penetrating Radar Profiles. Geophysics, 60, 87-96.
- Cassiani, G., Bruno, V., Villa, A., Fusi, N. ve Binley, A., 2006. A Saline Trace Test Monitored via Time-Lapse Surface Electrical Resistivity Tomography, Journal of Applied Geophysics, 59, 244-259.
- Cavinato, G.P., Di Luzio, E., Moscatelli, M., Vallone, R., Averardi, M., Valente, A. ve Papale, S., 2006. The new Col di Tenda Tunnel Between Italy and France: Integrated Geological Investigations and Geophysical Prospections for Preliminary Studies on the Italian Side, Engineering Geology, 88,1, 90–109.

- Červený, V., 1987. Ray Tracing Algorithms in Three-Dimensional Laterally Varying Layered Structures In G. Nolet (Ed.) *Seismic Tomography: With Applications in Global Seismology*, Dordrecht, Holland: Springer, 99-133.
- Chandran, D. ve Anbazhagan, P., 2017. Subsurface Profiling Using Integrated Geophysical Methods for 2D Site Response Analysis in Bangalore City, India: A New Approach, Journal of Geophysics and Engineering, 14, 1300–1314.
- Clement, W.P. ve Knoll, M.D., 2000. Tomographic Inversion of Crosshole Radar Data: Confidence in Results, *The Symposium on the Application of Geophysics to Engineering and Environmental Problems*, *Proceedings of SAGEEP*, 553-562.
- Clement, W.P., 2006. Issues During the Inversion of Crosshole Radar Data: Can We Have Confidence in The Outcome, Journal of Environmental and Engineering Geophysics, 11, 269-287.
- Clement, W.P. ve Barrash, W., 2006. Crosshole Radar Tomography in a Fluvial Aquifer Near Boise, Idaho, Journal of Environmental and Engineering Geophysics, 11, 171-184.
- Cook, J.C., 1973. Radar Exploration Through Rock in Advance of Mining, Transactions of the Society of Mineral Engineering AIME, 254, 140-146.
- Cook, J.C., 1975. Radar Transparencies of Mines and Tunnel Rocks, Geophysics, 40, 865-885.
- Cook, J.C., 1977. Borehole-Radar Exploration in a Coal Seam, Geophysics, 42, 1254 - 1257.
- Conyers, L. B., ve Goodman, D., 1997. *Ground-Penetrating Radar: An Introduction for Archaeologists*, California: Altamira Press.
- Conyers, L. B. ve Cameron, C. M., 1998. Ground-Penetrating Radar Technique Sand Three-Dimensional Computer Mapping in the American Southwest, Journal of Field Archaeology, 25, 417- 430.
- Cosenza, P., Marmet, E., Rejiba, F., Cui, Y.J., Tabbagh, A. ve Charlery, Y., 2006. Correlations Between Geotechnical and Electrical Data: A Case Study at Garchy in France, Journal of Applied Geophysics, 60, 165–178.
- Dahlin, T., 1996. 2D Resistivity Surveying for Environmental and Engineering Applications, First Break, 14,7, 275-283.
- Dahlin, T., Svensson, M. ve Lindh, P., 1999. DC Resistivity and SASW for Validation of Efficiency in Soil Stabilisation Prior to Road Construction, *Proceedings of the Fifth Meeting on Environmental and Engineering Geophysics*, Budapest.

- Dahlin, T., 2001. The Development of DC Resistivity Imaging Techniques, Computer and Geosciences, 27, 1019-1029.
- Daniels, D. J., 1989. Fundamental of Ground Penetrating Radar, in Proceedings of the Symposium on the Application of Geophysics to Engineering and Environmental Problems SSGEEP'89, Golden, 62-142.
- Daniels, D.J., 1996. Surface-Penetrating Radar, Published by the Institution of Electrical Engineers, London, 296 s.
- Daniels, D.J., 2004. Ground Penetrating Radar, 2nd edn. UK: Institution of Engineering and Technology.
- Danielsen, B.E. ve Dahlin, T., 2009. Comparison of Geoelectrical Imaging and Tunnel Documentation at the Hallandsås Tunnel, Sweden, Engineering Geology, 107, 118-129.
- 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.
- Dearman W.R., 1981. Engineering Geology of Carbonate Rocks, Symposium on Engineering Geological Problems of Construction on Soluble Rocks, General Report, United Kingdom, 24, 3-17.
- Dearman W.R. ve Matula, M., 1976. Environmental Aspect of Engineering Geological Mapping, Bulletin of International Association of Engineering Geology, 14, 141-146.
- Dellwig, L.F. ve Bare, J.E. 1978. A Radar Investigation of North Louisiana Salt Domes Photogrametric, Engineering and Remote Sensing, 44, 1411-1419.
- Deparis, J., Jongmans, D., Garambois, S., Levy, C. ve Baillet, L., 2011. Geophysical Detection and Structural Characterization of Discontinuities in Rock Slopes. Rockfall Engineering, 1-38.
- Devlin S., Booth A.D., Clark R. ve Houseman G., 2008. Velocity and Depth Determination from Common-Offset, Near-Surface Ground Penetrating Radar Data for Utility Surveying, 12th International Conference on Ground Penetrating Radar, 16–19 June, Birmingham, UK.
- Dix, C.H., 1955. Seismic Velocities from Surface Measurements, Geophysics, 20, 68–86.
- Donohue, S., Tolooiyan, A. ve Gavin, K., 2009. Geophysical and Geotechnical Assessment of a Railway Embankment Failure, Near Surface Geophysics, 9, 1-13.
- Drahor, M.G., Göktürkler, G., Berge, M.A. ve Kurtulmuş, T.Ö., 2006. Application of Electrical Resistivity Tomography Technique for Investigation of Landslides: a Case from Turkey, Environmental Geology, 50, 147–155.

- Duncan, G. ve Beresford, G., 1995. Some Analyses of 2-d Median f-k Filters, Geophysics, 60, 1157–1168.
- Ercan, A., 2001. Yer Araştırma Yöntemleri, TMMOB, JFMO Jeofizik Mühendisleri Odası, Ankara.
- Ernst, J. R., Green, A. G., Maurer, H. ve Holliger, K., 2007. Application of a New 2D Time-Domain Full-Waveform Inversion Scheme to Crosshole Radar Data, Geophysics, 72, 53-64.
- Ersoy, H. 2007. Trabzon İli Katı Atıkları İçin Düzenli Depolama Yeri Seçimi ve Önerilen Düzyurt Düzenli Depolama Alanının Mühendislik Jeolojisi Açısından İncelenmesi, Doktora Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Evans, S., 1963. Radio Techniques for the Measurement of Ice Thickness. Polar Record, 11, 406 - 410.
- Fisher, E., McMechan, G. A. ve Annan, A. P., 1992. Acquisition and Processing of Wide-Aperture Ground-Penetrating Radar Data, Geophysics, 57, 495-504.
- Fleisch, D., 2008. A Student's Guide to Maxwell's Equation, Cambridge University Press, New York
- Forte, E. ve M. Pipan, 2008. GPR Rock Mass Imaging and Characterization by Attenuation Analysis, Extended Abstract 70th EAGE Conference & Exhibition, Rome, Italy.
- Forte E., Dossi M., Pipan M. ve Colucci R.R., 2014. Velocity Analysis from Common Offset GPR Data Inversion: Theory and Application to Synthetic and Real data, Geophysical Journal International, 197, 3, 1471-1483.
- Ganerød, G.V., Rønning, J.S., Dalsegg, E., Elvebakk, H., Holmøy, K., Nilsen, B. ve Braathen, A., 2006. Comparison of Geophysical Methods for Subsurface Mapping of Faults and Fracture Zones in a Section of the Viggja Road Tunnel, Norway, Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 65, 3, 231–243.
- Gardner, G.H.F., Gardner, L.W. ve Gregory, A.R., 1974. Formation Velocity and Densitythe Diagnostic Basics for Stratigraphic Traps, Geophysics, 39, 770-780.
- Gay, D.A., Morgan, F.D., Vichabian, Y., Sogade, J.A., Reppert, P. ve Wharton, A.E., 2006. Investigations of Andesitic Volcanic Debris Terrains: Part 2, Geotechnical Geophysics, 71, 9-15.
- Geotomo, 2006. Geotomo software 2006 RES2DINV version 3.55-Manual. [www.goelectrical.com](http://www.goelectrical.com).
- Gloaguen, E., Marcotte, D., Chouteau, M. ve Perroud, H., 2005. Borehole Radar Velocity Inversion Using Cokriging and Cosimulation, Journal of Applied Geophysics, 57, 242-259.

- Godio, A., Strobbia, C. ve Bacco, G., 2005. Geophysical Characterisation of a Rockslide in an Alpine Region, Engineering Geology, 83, 273-286.
- Goodman, D. ve Nishimura, Y., 1993. A Ground Radar View of Japanese Burial Mounds, Antiquity, 67, 349-354.
- Göktürkler, G., 2009. Seismic First-Arrival Tomography with Functional Description of Traveltimes, Journal of Geophysics and Engineering, 6, 374-385
- Greaves R.J., Lesmes D.P., Lee J.M. ve Toksöz M.N., 1996. Velocity Variations and Water Content Estimated from Multi - Offset, Ground-Penetrating Radar, Geophysics, 61, 683-695.
- Green, A. Gross, R. Holliger, K. Horstmeyer, H. ve Baldwin, J., 2003. Results of 3D Georadar Surveying and Trenching the San Andreas Fault Near its Northernland Ward Limit, Tectonophysics, 368, 7-23.
- Griffiths, D.H. ve Barker, R.D., 1993. Two-Dimensional Resistivity Imaging and Modelling in Areas of Complex Geology, Journal of Applied Geophysics, 29, 211-226.
- Groves, P., Cascante, G., Dundas, D. ve Chatterji, P.K., 2011. Use of Geophysical Methods for Soil Profile Evaluation, Canadian Geotechnical Journal, 48, 1-14.
- Hamonn III, Waker. S. McMechan, G. A.ve Zeng, X., 2000. Forensic GPR: Finite-Difference Simulations of Responses from Buried Human Remains, Journal of Applied Geophysics, 45, 171-186.
- Hestenes, M. R. ve Stiefel, E., 1952. Methods of Conjugate Gradients for Solving Linear Systems. Journal of Research of the National Bureau of Standards, 49, 409 - 436.
- Holden, J., Burt, T.P. ve Vilas, M., 2002. Application of Ground-Penetrating Radar to the Identification of Subsurface Piping in Blanket Peat, Earth Surface Processes and Landforms, 27, 235-249.
- Hosseini, S.R., 2014. Analysis Of Gpr Response To Thin Layers, Yüksek Lisans Tezi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Politecnico di Milano, İtalya.
- Hubbard, J.L., 2009. Use of Electrical Resistivity and Multichannel Analysis of Surface Wave Geophysical Tomography in Geotechnical Site Characterization of Dam, Yüksek Lisans Tezi, The University Of Texas, Arlington.
- Huisman, J.A, Hubbard, S.S., Redman, J.D. ve Annan, A.P., 2003. Measuring Soil Water Content with Ground Penetrating Radar: A review, Vadose Zone Journal, 2, 476-491.
- Hulsmeyer, C., 1904. German Patent Number 165546.

- IAEG (International Association of Engineering Geology), 1976, Engineering Geological Maps. A Guide to Their Preparation, The Unesco Press, Paris, 79s.
- Irving, J.D., Knoll, M.D. ve Knight, R.J., 2007. Improving Crosshole Radar Velocity Tomograms: A New Approach to Incorporating High-Angle Travel Time data, Geophysics, 72, 31-41.
- ISRM (International Society for Rock Mechanics), 1976. Engineering Geological Maps, The UNESCO Press., 15, 78s.
- ISRM, 1988. Commission on Testing Methods, Suggested Method for Seismic Testing within and Between Boreholes, International Journal of Rock Mechanics and Mining Science & Geomechanical Abstracts, 25, 447-72.
- Jacob, R.W. ve Urban, T.M., 2016. Ground-Penetrating Radar Velocity Determination and Precision Estimates Using Common-Midpoint (CMP) Collection with Hand-Picking, Semblance Analysis and Cross-Correlation Analysis: A Case Study and Tutorial for Archaeologists.
- Jol, H.M. ve Smith, D.G., 1991. Ground Penetrating Radar of Northern Lacustrine Deltas. Can, Journal Earth Sciences, 28, 1939-1947.
- Jol, H.M., 2009. Ground Penetrating Radar Theory and Applications, Amsterdam: Elsevier Science.
- Kadioğlu, S. Uluggergerli, E.U. ve Daniels, J.J., 2006. 3D Visualization to Map Cavities by GPR Method: Dalaman Akkopru Dam Reservoir Area, Mugla, Southwest Turkey, Proceedings of the 11 th International Conference on Ground Penetrating Radar, Columbus- Ohio, USA, 156.
- Kadioğlu, S. ve Daniels, J. J. 2008. 3D Visualization of Integrated Ground Penetrating Radar Data and EM-61 Data to Determine Buried Objects and Their Characteristics, Journal of Geophysics and Engineering, 5, 448-456.
- Kadioğlu, S., 2008. Photographing Layer Thicknesses and Discontinuities in a Marble Quarry with 3D GPR Visualization, Journal of Applied Geophysics, 64, 3, 109-114.
- Karslı, H., 2016. Mühendislik amaçlı problemlerin çözümünde Sismik Yansıma Yöntemi: Veri Toplama-İşleme- Yorumlama, TMMOB Jeofizik Mühendisleri Odası Eğitim Yayınları, No:25, Ankara, 200 s.
- Kayen, R. E., Barnhardt, W. A., Ashford, S., Rollins, K., Minasian, D. L. ve Carkin, B.A., 2002. High-Resolution Crosshole Radar Tomography: Application to liquefaction-induced changes in soil on Treasure Island. Crustal Structure of the Coastal and Marine San Francisco Bay Region, California (3-10). Washington, USGS Professional Paper, 1658.

- Keçeli, A., 1990. Sismik Yöntemlerle Müsaade Edilebilir Dinamik Zemin Taşıma Kapasitesi ve Oturmasının Saptanması, Jeofizik, 4, 2, 83-92.
- Kırmacı, Z. ve Akdağ, K., 2005. Origin of Dolomite in The Late Cretaceous-Paleocene Limestone Turbidite, Eastern Pontides, Turkey, Sedimentary Geology, 181, 39-57.
- Kim, J.H., Cho S.J. ve Yi M.J., 2007. Removal of Ringing Noise in GPR Data by Signal Processing, Geosciences Journal, 11, 1, 75-81.
- Knight, R., 2001. Ground Penetrating Radar for Environmental Applications, Annual Review of Earth and Planetary Sciences, 29, 229–255.
- Knödel, K., Krummel, H. ve Lange, G., 2005. Handbuch zur Erkundung des Untergrundes von Deponien, Band 3: Geophysik. Berlin Heidelberg: Springer
- Koca, B., 2003. Yer İçi Tomografisinin Sismolojide Kullanılması, Yüksek Lisans Semineri, Ankara Üniversitesi, 43s., Ankara.
- Korkmaz, S., 1993. Stratigraphy of The Tonya–Düzköy (Southwest of Trabzon), Türkiye Jeoloji Bülteni. 36-1, 151-158.
- Kovačević, M. S., Marčić, D. ve Gazdek. M., 2013. Application of Geophysical Investigations in Underground Engineering, Tehnički vjesnik, 20, 1111-1117.
- Lambot, S., 2014. Real-Time Mapping of Soil Moisture at The Field Scale Using Ground-Penetrating Radar, Presentation, Earth and Life Institute Université Catholique de Louvain Belgium, Belçika.
- Leckebusch, J., 2003. Ground-Penetrating Radar: A Modern Three-Dimensional Prospection Method, Archaeological Prospection, 10, 213-240.
- Leucci, G., Negri, S. ve Carrozzo, M.T., 2003. Ground Penetrating Radar (GPR): an Application for Evaluation the State of Maintenance of the Building Coating. Annals of Geophysics 46, 481- 489.
- Leucci, G., 2007. Geophysical Investigations to Study the Physical- Mechanical Characteristics of the Rock in a Coastal Environment: the Cliff of Roca (Lecce, Italy), Journal of Geophysics and Engineering, 4, 462-475.
- Loke M.H. ve Barker, R.D., 1996. Rapid Least Squares Inversion of Apparent Resistivity Pseudo-Sections using a Quasi-Newton Method, Geophysical Prospecting, 44, 131–152.
- Lu, Q. ve Sato, M., 2007. Estimation of Hydraulic Property of An Unconfined Aquifer By GPR, Sens. Imaging International Journal, 8, 83–99.
- Mayne, W.H., 1962. Common Reflection Point Horizontal Data Stacking Techniques. Geophysics, 27, 927–938.



- McMechan, G. A. ve Yedlin, M. J., 1981. Analysis of Dispersive by Wave Field Transformation, Geophysics, 46, 6, 869-874.
- Miller, R.D., Xia, J., Park, C.B. ve Ivanov, J.M., 1999. Multichannel Analysis of Surface Waves to Map Bedrock, The Leading Edge, 18, 1392-1396.
- Milsom, J., 2003. Field Geophysics, 3rd Edition, John Wiley & Sons, New York, 244.
- Moorman, B.J., 2001. Ground-Penetrating Radar Applications in Paleolimnology, In W. M. Last & J. P. Smol, Tracking Environmental Change Using Lake Sediments, 23-47.
- Mori, G., 2009. The Use of Ground Penetrating Radar and Alternative Geophysical Techniques for Assessing Embankments and Dykes Safety, Yüksek Lisans Tezi, Alma Mater Studiorum Università di Bologna.
- NACS (North American Commission on Stratigraphy), 1983. The American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 67, 5, 841-875.
- Nazarian, S., Stokoe II, K. H., Kenneth, H. ve Hudson, W. R., 1995. Use of Spectral Analysis of Surface Waves Method for Determination of Moduli and Thicknesses of Pavement Systems, Transportation Research Record.
- Neubauer, W., Eder-Hinterleitner, A., Seren, S., ve Melichar, P., 2002. Georadar in the Roman Civil Town Carnuntum, Austria: An Approach for Archaeological Interpretation of GPR Data, Archaeological Prospection, 9, 135-156.
- Neal, A., 2004. Ground Penetrating Radar and its Use in Sedimentology: Principles, Problems and Progress. Earth-Science Reviews, 66, 261-330.
- Neidell, N.S. ve Taner, M.T., 1971. Semblance and Other Coherency Measures for Multichannel Data. Geophysics, 36, 482- 497.
- Noble, M., Thierry, P., Taillandier, C. ve Calandra, H., 2010. High Performance 3D First Arrival Traveltime Tomography, Leading Edge, 29, 86-93.
- Novo A., Grasmueck M., Viggiano D. ve Lorenzo H., 2008. 3D GPR in Archaeology: What Can be Gained from Dense Data Acquisition and Processing, 12th International Conference on Ground Penetrating Radar, 16-19 June, Birmingham, UK.
- Nwokebuihe, S.N., 2014. The Description of an Effective Sinkhole Investigation Approach: a Case Study of Two Sites in Greene County, Missouri, Yüksek Lisans Tezi, A.B.D.
- Olhoeft, G.R., 1981. Electrical Properties of Rocks in. Touloukian, Y.S., Judd, W.R. and Roy, R.F (Eds.). Physical Properties of Rock Sand Minerals, McGraw-Hill, Newyork, NY.

- Olhoeft, G.R., 1987. Electric Properties from  $10^{-3}$  to  $10^{+9}$  Hz. Physics and Chemistry, Processing of the 2<sup>nd</sup> International Symposium on Tunnel Detection, 616-629.
- Overmeeren, R.A. ve Ritsema, I.L., 1988. Continuous Vertical Electrical Sounding, First Break, 6, 10, 313–324.
- Öğretmen, Z. ve Şeren A., 2014. Investigation Fracture-Crack Systems with Geophysical Methods in Bayburt Kıratlı Travertine, Journal of Geophysics and Engineering, 11-6.
- Özsayar, T., 1971. Geologie und Palaentologie des Gebietes Östlich, Trabzon (Anatolian), Giess Geologie Schr. 1, Doktora Tezi, Giess Geologie Schr., 1.
- Paige, C.C. ve Saunders, M.A., 1982a. LSQR: An Algorithm for Sparse Linear Equations and Sparse Least Squares. ACM Transactions on Mathematical Software, 8, 43-71.
- Paige, C.C. ve Saunders, M.A. 1982b. Sparse Linear Equations and Least Squares Problems. ACM Transactions on Mathematical Software, 8, 195-209.
- Palacky, G. 1987. Resistivity Characteristics of Geological Targets. In: Nabighian, M., Ed., Electromagnetic Methods in Applied Geophysics-Theory, Society of Exploration Geophysicists Tulsa, OK, 53-129.
- Panek, T., Hradecký, J. ve Šilhán, K., 2008. Application Of Electrical Resistivity Tomography (Ert) in The Study of Various Types of Slope Deformations in Anisotropic Bedrock: Case Studies from the Flysch Carpathians, Studia Geomorphologica Carpatho-Balcania, 11, 57-73.
- Park, C.B., Miller, R.D. ve Xia, J., 1996. Multi-Channel Analysis of Surface Waves Using Vibroseis, Presented at the 66th Annual Meeting of SEG, Denver, 68-71.
- Park, C. B., Miller, R. D. ve Xia, J., 1997. Multi-Channel Analysis of Surface Waves (MASW), 97-10, Kansas Geological Survey.
- Park, C.B., Miller, R.D. ve Xia, J., 1999. Multi-Channel Analysis of Surface Waves (MASW), Geophysics, 64, 3, 800-808.
- Park, C.B., Miller, R.D. ve Xia, J., 2001. Offset and Resolution of Dispersion Curve in Multichannel Analysis of Surface Waves (MASW), Proceedings of the SAGEEP, Denver, Colorado, 4.
- Park, C. ve Ryden, N., 2007. Historical Overview of the Surface Wave Method, Symposium on the Application of Geophysics to Engineering and Environmental Problems, 897-909.
- Pellicer, X.M. ve Gibson, P., 2011. Electrical Resistivity and Ground Penetrating Radar for the Characterisation of the Internal Architecture of Quaternary Sediments in the Midlands of Ireland, Journal of Applied Geophysics, 75, 638-647.

- Porsani, J.L. ve Sauck, W.A., 2007. Ground-Penetrating Radar Profiles Over Multiple Steel Tanks: Artefact Removal Through Effective Data Processing. Geophysics, 72, 77-83.
- Reynolds, J. M., 1997. An Introduction to Applied and Environmental Geophysics. Chichester: John Wiley&Sons.
- Roma, V., Hebel, G., Rix, G. ve Lai, C.G., 2002. Geotechnical Soil Characterization Using Fundamental and Higher Rayleigh Modes Propagation in Layered Media, XII European Conference on Earthquake Engineering, London, 9–13.
- Roser, J., Stopar, R. ve Gosar, A., 2008. Application of Seismic Tomography in Investigations of the Motorway Alignment in the Sentvid Tunnel Area, RMZ-Materials and Geoenvironment, 55, 1, 67-83.
- Ryden, N., Park, C. B., Ulriksen, P. ve Miller, R. D., 2004. Multimodal Approach to Seismic Pavement Testing, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 130, 6, 636–645.
- Rucker, D.F. ve Ferré, T.P.A. 2004. Parameter Estimation for Soil Hydraulic Properties Using Zero-Offset Borehole Radar: Analytical Method, Soil Science Society of America Journal, 68, 1560-1567.
- Santamarina, J.C., Klein, K.A. ve Fam, M. A., 2001. Soils and Waves - Particulate Materials Behavior, Characterization and Process Monitoring, Wiley, Chichester, England.
- Sassa, K., Ashida, Y., Kozawa, T. ve Yamada, M., 1989. Improvement in the Accuracy of Seismic Tomography by Use of an Effective Ray-Tracing Algorithm, Proc. IMM/MMIJ Joint Symposium, Kyoto, Japan, 129-136.
- Sarı, B., Kandemir, R., Özer, S., Walaszczyk, I., Görmüş, M., Demircan, H. ve Yılmaz, C., 2014. Upper Campanian Calciclastic Turbidite Sequences from the Hacımehmet Area (Eastern Pontides, NE Turkey): Integrated Biostratigraphy and Microfacies Analysis, Acta Geologica Polonica, 64, 4, 393–418.
- Sauvin, G., 2014. Integrated geophysics for mapping of quick-clay landslide-prone areas in Norway, Yüksek Lisans Tezi, University of Oslo, Norveç.
- Sava P.C., Biondi B. and Etgen J. 2005. Wave-equation migration velocity analysis by focusing diffractions and reflections. Geophysics, 70, 19-27.
- Scales, J.A., 1987. Tomographic Inversion Via the Conjugate Gradient Method. Geophysics, 52, 179-185.
- Scales, J.A., Smith, M.L. ve Treitel, S., 2001. Introductory Geophysical Inverse Theory. Colorado, USA.

- Shaaban, F., Ismail, A., Massoud, U., Mesbah, H., Lethy, A. ve Abbas, A.M., 2013. Geotechnical Assessment of Ground Conditions Around a Tilted Building in Cairo–Egypt Using Geophysical Approaches, Journal of the Association of Arab Universities for Basic and Applied Sciences, 13, 63-72.
- Sheehan, J.R., Doll, W.E. ve Mandell, W.A., 2005. An Evaluation of Methods and Available Software for Seismic Refraction Tomography, Journal of Environmental and Engineering Geophysics, 10, 21-34.
- Siddiqui, F.I. ve Osman, S.B.A.B.S., 2012. Integrating Geo-Electrical and Geotechnical Data for Soil Characterization, International Journal of Applied Physics and Mathematics, 2, 104-106.
- Slob, E.C., Sato, M. ve Olhoeft, G., 2010. Surface and Borehole Ground-Penetrating-Radar Developments. Geophysics, 75, 103-120.
- Shirgiri, N., 2012. Correlation Between Geotechnical and Geophysical Properties of Soil, Yüksek Lisans Tezi, The University of Birmingham, İngiltere.
- Sofracioğlu, D. ve Kandemir, R., 2013. The Upper Cretaceous Calciclastic Submarine Fan Deposits in the Eastern Pontides, NE Turkey: Facies Architecture and Controlling Factors, Turkish Journal of Earth Sciences, 22, 588-610.
- Sudha, K., Israil, M., Mittal, S. ve Rai, J. 2009. Soil Characterization Using Electrical Resistivity Tomography and Geotechnical Investigations, Journal Applied Geophysics, 67, 1, 74–79.
- Şeren, A., Gelişli, K. and Çatakli, A., 2008. A Geophysical Investigation of The Late Roman Underground Settlement at Aydıntepe, Northeast Turkey, Geoarchaeology: An International Journal, 23, 6, 842–860.
- Taner, M.T. ve Kohler, M., 1969. Velocity Spectra-Digital Computer Derivation Applications of Velocity Functions, Geophysics, 34, 6, 859-881.
- Telford, W.M., Geldart L.P. ve Sheriff, R.E., 1990. Applied Geophysics, Second Edition, Cambridge University Pres, London.
- Tianfei, Z., Cheadle, S., Petrella, A. ve Gray, Sam., 2001. First-Arrival Tomography for Near Surface Model Building, EAGE 63rd Conference & Technical Exhibition, Amsterdam, The Netherlands.
- Tillard, S. ve Dubois, J.C., 1995. Analysis of GPR data: Wave Propagation Velocity Determination, Journal of Applied Geophysics, 33, 77-91
- Theirbach, R., 1973. Electromagnetic Reflections in Salt Deposits. Journal of Geophysics, 40, 633-637.

- Tronicke, J., Tweeton, D.R., Dietrich, P. ve Appel, E., 2001. Improved crosshole radar tomography by using direct and reflected arrival times. Journal of Applied Geophysics, 47, 97-105.
- Turesson, A., 2006. Water Content And Porosity Estimated from Ground-Penetrating Radar and Resistivity. Journal Applied Geophysics, 58, 99–111.
- Ulriksen, C.P.F., 1982. Application of Impulse Radar to Civil Engineering. Doktora Tezi, Lund Üniversitesi, Lund.
- Vafidis, A., Economou, N., Ganiatsos, Y., Manakou, M., Poulioudis, G., Surlas, G., Vrontaki, E., Sarris, A., Guy, M. ve Kalpaxis, T. 2005. Integrated Geophysical Studies at Ancient Itanos (Greece), Journal of Archaeological Science, 32, 1023-1036.
- van der Kruk, J., 2006. Properties of Surface Waveguides Derived from Inversion of Fundamental and Higher Mode Dispersive GPR Data, IEEE, Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 44, 2908-2915.
- van der Kruk, J., 2015. Tools and Techniques: Ground-Penetrating Radar. In: Gerald Schubert (editor-in-chief) Treatise on Geophysics, 2nd edition, Vol 11. Oxford: Elsevier; 209-232.
- Von Hippel, A.R., 1954. Dielectric Material Sand Applications, NY: John Wiley and Sons.
- Weeds, R.D., 1994. Geophysical Characterization of Sites. Rotterdam, AA. Balkema, 69-79.
- Xia, J., Miller, R.D. ve Park, C.B., 1999. Estimation of Near-Surface Shear-Wave Velocity by Inversion of Rayleigh Wave, Geophysics, 64, 3, 691–700.
- Xia, J., Miller, R.D. ve Park. C.B, 2004. Utilization of High Frequency Rayleigh Waves in Near Surface Geophysics, Leading Edge, 23, 750-759.
- Watanabe, T. ve Sassa, K., 1996. Seismic Attenuation Tomography and Its Application to Rock Mass Evaluation, International Journal of Rock Mechanics and Mining Science, 33, 467-477.
- Wilchek, L., 2000. Ground Penetrating Radar for Detection of Rock Structure, M.S. Thesis, Alberta University, Canada.
- Yelf, R.J., 2007. Application of Ground Penetrating Radar to Civil and Geotechnical Engineering, Electromagnetic Phenomena, 7,18.
- Yilmaz, Ö., 2001. Seismic Data Analysis, Investigations in Geophysics Series, SEG
- Yilmaz, Ö., 2003. Seismic Data Analysis: Processing, Inversion, and Interpretation of Seismic Data; SEG Books: Tulsa, OK, USA.

Young, R.P. ve Maxwell, S. C., 1992. Seismic Characterization of a Highly Stressed Rock Mass Using Tomographic Imaging and Induced Seismicity, Journal of Geophysical Research, 97, B9, 12, 361-12, 373.

Zhou, H., Sato M. ve Liu H. 2005. Migration Velocity Analysis and Prestack Migration of Common-Transmitter GPR Data, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 43, 86–91.

URL-1, <http://www.radartutorial.eu/03.linetheory/Waveguides.en.html>, 7 Ocak 2016.

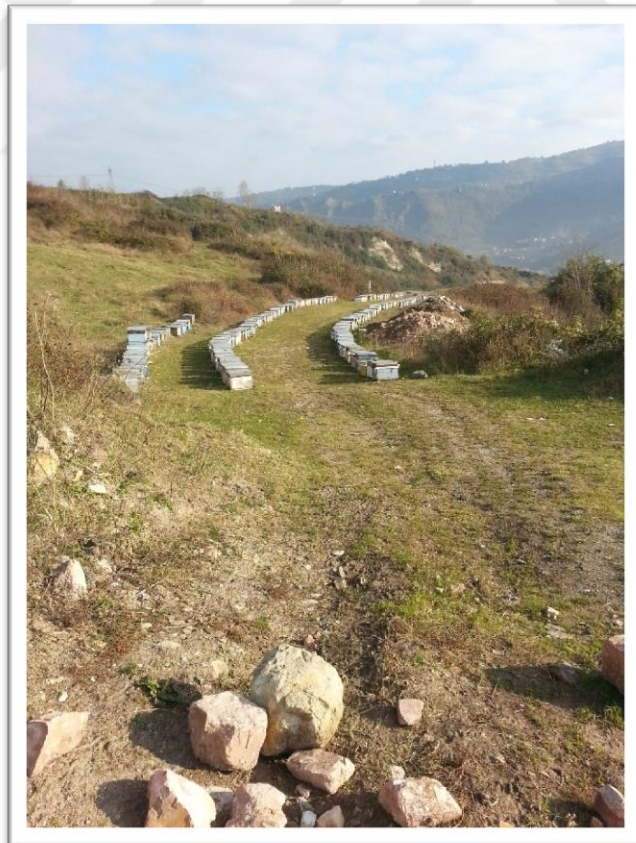
URL-2, <http://www.masw.com/DataAcquisition.html>, 24 Mart 2017.



## 7. EKLER

### Arazi Fotoğrafları









## ÖZGEÇMİŞ

Zeynep ÖĞRETMEN AYDIN 1984 yılında Trabzon'da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Trabzon'da tamamladı. 2004 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Jeofizik Mühendisliği Bölümünde Lisans öğrenimine başladı ve 2008 yılında mezun oldu. Aynı yıl Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsünde Lisansüstü eğitimine başladı. 2012 yılı Şubat ayında Karadeniz Teknik Üniversitesi Jeofizik Mühendisliği Bölümü'nde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaya başladı. 2012 yılında doktora eğitimine başlayan Zeynep ÖĞRETMEN AYDIN, 2014 yılı 1-5 Eylül tarihleri arasında European Cooperation in Science and Technology (COST) tarafından Pisa/ İtalya'da düzenlenen Civil Engineering Applications of Ground Penetrating Radar (İnşaat Mühendisliğinde Yer Radarı Uygulamaları) kursuna katılmıştır. 30.03.2016-15.06.2016 tarihleri arasında Erasmus Öğrenci Staj Hareketliliği kapsamında Avrupa'nın en büyük araştırma merkezlerinden biri olan Forschungszentrum'da (Julich/Almanya), Prof. Dr. Jan van der Kruk ile çalışmalarda bulunmuştur. Zeynep ÖĞRETMEN AYDIN çalışma süresi boyunca birçok projede yer almıştır. Ayrıca yurt içi ve yurt dışında yayınlanmış uluslararası yayınları ve bildirimleri bulunmaktadır. İngilizce bilmektedir. Seçili bazı yayınları, bildirimleri ve yer aldığı bazı projeler aşağıda verilmiştir;

Trabzon İli Ortahisar İlçesi Tabakhane Köprüsü İle Tabakhane Cami Arasında Kalan Alanda Arkeolojik Kalıntıların Olup Olmadığının Yer Radarı Yöntemi İle Araştırılması, 2018, Proje, Trabzon Büyükşehir Belediyesi, **Araştırmacı**.

Yalçınalp B., **Öğretmen Aydın Z.**, Ersoy H. ve Şeren A., 2017. Investigation of Geological, Geotechnical and Geophysical Properties of Kiratli (Bayburt, NE Turkey) Travertine, Carbonates and Evaporites, 1,1-10.

Şeren A., **Öğretmen Aydın Z.** ve Babacan A.E., 2017. Investigation of Probable Princes's Graves and Wall Remains In Alacahöyük Archaeological Site with Ground Penetrating Radar Method, Yerbilimleri/Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi Dergisi, 38, 71-86.

Şeren A., **Öğretmen Aydın Z.**, Babacan A.E. ve Gelişli K., 2017. Investigation of Subsurface Archaeological Remains of Kalecik Castle Using GPR Method (Arakli, Trabzon, Turkey), 23rd European Meeting of Environmental and Engineering Geophysics, Malmö, ISVEÇ, pp.10-15.

- Öğretmen Aydın Z.**, Şeren A., Babacan A.E. ve Gelişli K., 2017. Akçakale (Trabzon, Türkiye) İç Alanında Yer Altında Arkeolojik Kalıntı Olup Olmadığının Jeofizik Yöntemlerden Yer Radarı (GPR) İle Araştırılması, Uluslararası Katılımlı 6. Tarihi Yapıların Korunması Ve Güçlendirilmesi Sempozyumu, Trabzon, Türkiye, 599-607.
- Sümela Manastırının Yer Aldığı Kaya Yamacın 1. Bölgesindeki Riskli Kaya Bloklarının Düşme Potansiyelinin Jeolojik, Jeofizik ve Jeoteknik Yöntemlerle Araştırılması, 2017, Proje, T.C Kültür ve Turizm Bakanlığı Kültür Varlıkları ve Müzeler Genel Müdürlüğü Trabzon Rölöve ve Anıtlar Müdürlüğü, **Araştırmacı.**
- Sarıçiçek I., **Öğretmen Aydın Z.** ve Şeren A., 2016. Imaging of Internal Structure in Landing Fields of Planes at Erzincan Airport (Turkey) with GPR Method, 22nd European Meeting of Environmental and Engineering Geophysics, Barcelona, İSPANYA,16-20
- Akçakale İç Alanında Yer Altında Arkeolojik Kalıntı Olup Olmadığının Jeofizik Yöntemlerden Yer Radarı (GPR) ile Araştırılması, Proje, Akçabaat Belediyesi, **Araştırmacı.**
- Şeren A., **Öğretmen Z.**, Babacan A.E., Sadıklar T. ve İkizler S.B., 2015. GPR Images of Structure's Foundation at Hagios Theodoros Church, Old Gumushane, Turkey. Near Surface Geoscience 2015 - 21st European Meeting of Environmental and Engineering Geophysics, Turin, İTALYA, 1-5
- Öğretmen Z.** ve Şeren A. 2014. Investigating Fracture-Cracked Systems with Geophysical Methods in Bayburt Kiratli Travertine", Journal of Geophysics and Engineering,11.
- Şeren A., Babacan A.E., Gelişli K., **Öğretmen Z.** ve Kandemir R., 2012. An Investigation for Potential Extensions of the Karaca Cavern using Geophysical Methods", Carbonates and Evaporites, 27, 321-329.
- Ocakoglu B., Şeren A. ve **Öğretmen Z.**, 2012. A Survey of the Structure of Ayasofya Museum (Trabzon) and Its Subsurface via the GPR Method, International Geophysics Conference and Oil & Gas Exhibition, İstanbul, Türkiye, 256-260.