

**JİPSLERİN JEOFİZİKSEL ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ
(SİVAS ÖRNEĞİ)**

MAHMUT SARI

YÜKSEK LİSANS TEZİ
JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

2012

T.C.
CUMHURİYET ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**JİPSLERİN JEOFİZİKSEL ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ
(SİVAS ÖRNEĞİ)**

MAHMUT SARI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

TEZ DANIŞMANI

YRD. DOÇ. DR. ÖZCAN BEKTAŞ

SİVAS
2012

Bu alışma, Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanmış ve jürimiz tarafından Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan: Yrd. Doç. Dr. İnan KESKİN

ye (Danışman): Yrd. Doç. Dr. zcan BEKTAŞ

ye: Yrd. Doç. Dr. ağrı ÇAYLAK

ONAY

Bu tez çalışması, .../.../2012 tarihinde Enstitü Yönetim Kurulu tarafından belirlenen ve yukarıda imzaları bulunan jüri yeleri tarafından kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Mustafa DEğİRMENCİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRÜ

Bu tez Cumhuriyet Üniversitesi Senatosu'nun 24.09.2008 tarihli ve 007 sayılı toplantısında kabul edilen Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Tez Yazım Kılavuzu adlı yönergeye göre hazırlanmıştır.

ÖZET

JİPSLERİN JEOFİZİKSEL ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ (SİVAS ÖRNEĞİ)

MAHMUT SARI

Yüksek Lisans Tezi, Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Yrd. Doç. Dr. Özcan BEKTAŞ
2012, 65 sayfa

Sivas il merkezinde yapılaşmanın yoğun olduğu alanlarda jipsler yaygın olarak yüzeilenmektedir. Bu tez çalışmasında, seçilmiş uygun bir alanda (İşhan-Toki) jipslerin jeofiziksel özellikleri ve yapısı Yer Radarı (GPR), Elektromanyetik (EM) iletkenlik ve Çok Kanallı Yüzey Dalgası Analizi(MASW) yöntemleri ile incelenmiştir. GPR yöntemi ile tüm alan taranmış ve yer radarı kesitleri elde edilmiştir. EM İletkenlik yöntemi ile çalışma alanı taranarak jipsli yapıların iletkenlik değerleri belirlenmiştir. Ayrıca, iki profil boyunca MASW ölçümü alınarak derinlikle S dalgası hızı değişimi ortaya çıkarılmıştır. Tüm sonuçlar bir araya getirilerek iletkenlik değerlerinin yüksek (ortalama 170 mS/m), S dalgası hızlarının düşük olduğu (ortalama 210 m/s) ve yer radarı kesitlerinde kuvvetli yansımaların görüldüğü (ortalama ilk 5m. derinlik için) yerlerde jeolojik araştırmalarda masif olarak sunulan jips kütlelerinin homojen olmadıkları, değişik boyut ve konumda dolgu malzemesi (kırıntılı malzeme) içerdikleri belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Jips, Yer Radarı, EM iletkenlik, MASW

ABSTRACT

INVESTIGATION OF GEOPHYSICAL CHARACTERISTICS OF GYPSUM (CASE OF SIVAS PROVINCE)

MAHMUT SARI

Master of Science Thesis, Department of Geophysical Engineering
Supervisor: Assist. Prof. Dr. Özcan BEKTAŞ
2012, 65 pages

Gypsum crops out widely in the areas where the urbanization is intense in Sivas city center. In this thesis study, in an appropriate selected area (Ishan-Toki), the geophysical characteristics and structure of gypsum have been investigated by applying the geophysical methods of Ground Penetrating Radar (GPR), Electromagnetic (EM) Conductivity, and Multichannel Analysis of Surface Wave (MASW). All the area has been surveyed and ground radar sections have been obtained by GPR method. Study area has been surveyed by EM conductivity method and the conductivity values of the gypsum-structures have been determined. Additionally, MASW measuring has been made along two profiles and the depth-S wave velocity changes have been revealed. Gathering all the data, it has been found out that the areas with high conductivity values (averagely 170 mS/m), low S wave velocity values (averagely 210 m/s), and with strong reflections (for the first 5m. depth) revealed in ground radar sections are not homogenous massive gypsum bodies as presented in geological studies and contain different size and position fill material (clastic material).

Key words: Gypsum, Ground Penetrating Radar, EM conductivity, MASW

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım sırasında her konuda desteğini ve yardımını esirgemeyerek bana yol gösteren tez danışmanım Sayın Yrd. Doç. Dr. Özcan BEKTAŞ'a teşekkür ederim.

Çalışmalarım boyunca çok büyük desteklerini gördüğüm, bilgi ve deneyimlerinden faydalandığım Cumhuriyet Üniversitesi Jeofizik Müh. Böl. Öğretim Üyeleri; Doç. Dr. Funda Bilim'e, Doç. Dr. Hüseyin Yılmaz'a, Yrd. Doç. Dr. Çağrı Çaylak'a, Yrd. DoçDr. Zafer Akpınar'a ve Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Jeofizik Müh. Böl. Öğretim Üyesi Yrd. Doç. Dr. Cahit Çağlar YALÇINER'e

Çalışmalarım sırasında yardımı esirgemeyen değerli meslektaş arkadaşlarım Öğr. Gör. Sinan Koşaroğlu, Arş. Gör. Hamdi Alkan, Arş. Gör. Yasemin BEKER, Arş. Gör. Fırat Altıntaş, Arş. Gör. Fahriye KAÇMAZ'a Jeofizik Müh. Abdullah AYYILDIZ ve Jeofizik Müh. Burak ARSLAN'a

Hayattaki güçlüklerle birlikte göğüs gerdiğimiz, acıları ve mutlulukları birlikte paylaştığımız, en zor zamanlarımda hep yanımda olan değerli arkadaşlarım Arş. Gör. Murat GÜNAYDIN'a, Dr. Melik İNCE'ye, Okt. Mehmet Akif MARABOĞLU'na ve Arş. Gör. Hüseyin KALKAN'a teşekkür ederim.

Öğrenim hayatım süresince bana her türlü desteği veren başta annem İsmiur SARI ve babam Ahmet SARI olmak üzere, kardeşlerime, halalarım, amcalarım, dayılarıma ve ailemin tüm fertlerine müteşekkir olduğumu belirtmek isterim. Bu çalışmanın, yeni çalışmalara ışık tutmasını ve Ülkemize faydalı olmasını temenni ederim.

Mahmut SARI

SİVAS 2012

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
SİMGELER DİZİNİ	x
1. GİRİŞ	1
1.1 Bölgenin Jeolojisi	2
1.2 Jips (Kalsiyum Sülfat İçeren Evaporit Mineralleri)	5
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	6
3. KULLANILAN JEOFİZİK YÖNTEMLER VE ÇALIŞMA ALANI	11
3.1 GPR Yöntemi	11
3.1.1 Yer radarı yönteminin avantaj ve dezavantajları	15
3.1.2 Yer radarının kullanıldığı alanlar	15
3.1.3 Yer radarının temel esasları	16
3.1.3.1 Maxwell denklemleri	16
3.1.4 Penetrasyon derinliği	20
3.1.5 Yer radarı verilerinin işlenmesi	23
3.1.5.1 Alınan GPR Verilerinin İşlenmesi	24
3.1.5.1.1 Dewow	25
3.1.5.1.2 Kazanç fonksiyonu	25
3.1.5.1.3 Backraund removal	26
3.1.5.1.4 Göç işlemi (migrasyon)	26
3.2 Çok Kanallı Yüzey Dalgası Yöntemi (MASW)	26
3.2.1 Dispersiyon, faz hızı ve grup hızı	29
3.3 EM İletkenlik Yöntemi	32
3.3.1 EM iletkenlik yönteminin avantaj ve dezavantajları	33
3.3.2 EM iletkenlik yöntemin kullanım alanları	33
3.4 Çalışma Alanı	34
4. BULGULAR	37
4.1 GPR Verilerinin Yorumlanması	37
4.2 EM İletkenlik Verilerinin Yorumlanması	51
4.3 MASW Verilerinin Yorumlanması	52
5. SONUÇLAR	59

6.	KAYNAKLAR.....	61
7.	ÖZGEÇMİŞ.....	65

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1 a) Türkiye’de Sivas ilinin konumu ve başlıca fay zonları. KAFZ: Kuzey Anadolu Fay Zonu, KDAFZ: Kuzey Doğu Anadolu Fay Zonu, DAFZ: Doğu Anadolu Fay Zonu, DF: Deliler Fayı, MOFZ: Malatya Ovacık Fayı Zonu. b) Sivas Kenti ve yakın çevresinin jeoloji ve mühendislik jeolojisi haritası. Kırmızı ile dikdörtgen içine alınan bölge çalışma alanı.	4
Şekil 1.2 Jips mineralinin görünümleri. a) öz şekilli jips minerali. b) pembe jips. c) kırlangıç kuyruğu şeklindeki ikiz jips	5
Şekil 3.1 GPR yönteminin çalışma prensibi (Kesemen, 2007)	12
Şekil 3.2 Bir manyetik alan bir elektrik alanı meydana getirir (Annan, 1992)	18
Şekil 3.3 Bir elektrik akımı bir manyetik alanı meydana getirir (Annan, 1992)	19
Şekil 3.4 Kapalı bir yüzeydeki elektrik alan akışının, bu yüzey etrafından çevrelenmiş olan hacimde bulunan net yük ile orantılıdır (Annan, 1992)	19
Şekil 3.5 Kapalı bir yüzeydeki manyetik alan akışının sıfır olduğu ve dolayısıyla manyetik yüklerin var olmadığını belirtir (Annan, 1992)	20
Şekil 3.6 Elektromanyetik enerjinin yayıldığı ortamın elektrik iletkenliği ile enerjinin penetrasyon derinliği ilişkisi (Moorman, 2001)	21
Şekil 3.7 Çalışma alanı ham GPR kesiti	23
Şekil 3.8 GPR verisi akış şeması (Annan, 2001)	24
Şekil 3.9 MASW yönteminde temel işlem adımları (Dikmen, 2009)	27
Şekil 3.10 Jeofon aralıkları farklı iki MASW kaydı ve dispersiyon görüntüsü: (a) sabit jeofon aralığı, (b) dispersiyon görüntüsü, (c) artan jeofon aralığı, (d) dispersiyon görüntüsü (Dikmen, 2009)	29
Şekil 3.11 Dispersiyon olayı: A) Normal Dispersiyon, B) Ters Dispersiyon (Bath, 1973)	30
Şekil 3.12 Grup hızı ve Faz hızı (Osmanşahin., 1989)	30
Şekil 3.13 Dalga Boyu (Lay ve Wallece, 1995)	30
Şekil 3.14 Dalga Periyodu (Lay ve Wallece, 1995)	31
Şekil 3.15 Yer altının elektrik ile ilişkili elektromanyetik alan oluşumu (Anonim, 2012a)	32
Şekil 3.16 Çalışma Alanında yüzeye yakın jips örneği	34
Şekil 3.17 a) Çalışma Alanı. b) Alan 1 ve Alan 2 için GPR ölçüm profilleri. c) EM iletkenlik ölçüm profilleri	35
Şekil 3.18 Ramac GPR cihazı ve çalışma alanından bir görüntü	35
Şekil 3.19 Gf Instrument EM iletkenlik cihazı ve çalışma alanından bir görüntü	36
Şekil 3.20 Geometrics Smart Seis12 MASW cihazı ve çalışma alanından bir görüntü	36
Şekil 4.1 a) Profil 1 yorumlanmamış GPR kesiti; b) Profil 1 yorumlanmış GPR kesiti; c) Profil 2 yorumlanmamış GPR kesiti; d) Profil 2 yorumlanmış GPR kesiti; e) Profil 3 yorumlanmamış GPR kesiti; f) Profil 3 yorumlanmış GPR kesiti; g) Profil 4 yorumlanmamış GPR kesiti; h)	36

Profil 4 yorumlanmış GPR kesiti; k) Profil 5 yorumlanmamış GPR kesiti; l) Profil 5 yorumlanmış GPR kesiti; m) Profil 6 yorumlanmamış GPR kesiti; n) Profil 6 yorumlanmış GPR kesiti; o) Profil 7 yorumlanmamış GPR kesiti; p) Profil 7 yorumlanmış GPR kesiti; r) Profil 8 yorumlanmamış GPR kesiti; s) Profil 8 yorumlanmış GPR kesiti; t) Profil 9 yorumlanmamış GPR kesiti; u) Profil 9 yorumlanmış GPR kesiti; ü) Profil 10 yorumlanmamış GPR kesiti; v) Profil 10 yorumlanmış GPR kesiti; y) Profil 11 yorumlanmamış GPR kesiti; z) Profil 11 yorumlanmış GPR kesiti.	43
Şekil 4.2 a) Profil 1 yorumlanmamış GPR kesiti; b) Profil 1 yorumlanmış GPR kesiti; c) Profil 2 yorumlanmamış GPR kesiti; d) Profil 2 yorumlanmış GPR kesiti; e) Profil 3 yorumlanmamış GPR kesiti; f) Profil 3 yorumlanmış GPR. kesiti; g) Profil 4 yorumlanmamış GPR kesiti; h) Profil 4 yorumlanmış GPR kesiti; k) Profil 5 yorumlanmamış GPR kesiti; l) Profil 5 yorumlanmış GPR kesiti; m) Profil 6 yorumlanmamış GPR kesiti; n) Profil 6 yorumlanmış GPR kesiti; o) Profil 7 yorumlanmamış GPR kesiti; p) Profil 7 yorumlanmış GPR kesiti; r) Profil 8 yorumlanmamış GPR kesiti; s) Profil 8 yorumlanmış GPR kesiti; t) Profil 9 yorumlanmamış GPR kesiti; u) Profil 9 yorumlanmış GPR kesiti; ü) Profil 10 yorumlanmamış GPR kesiti; v) Profil 10 yorumlanmış GPR kesiti; y) Profil 11 yorumlanmamış GPR kesiti; z) Profil 11 yorumlanmış GPR kesiti	49
Şekil 4.3 EM iletkenlik haritası ve MASW profillerinin görünümü	51
Şekil 4.4 AA' profili düz atış için MASW sonucu a) Elde edilen ham atış kaydı b) Yüzey dalgası dispersiyonu c) Final dispersiyon eğrisi d) S dalgası hız profiline derinlikle değişimi	53
Şekil 4.5 AA' profili ters atış için MASW sonucu a) Elde edilen ham atış kaydı b) Yüzey dalgası dispersiyonu c) Final dispersiyon eğrisi d) S dalgası hız profiline derinlikle değişim	54
Şekil 4.6 BB' profili düz atış için MASW sonucu a) Elde edilen ham atış kaydı b) Yüzey dalgası dispersiyonu c) Final dispersiyon eğrisi d) S dalgası hız profiline derinlikle değişim	55
Şekil 4.7 BB' profili düz atış için MASW sonucu a) Elde edilen ham atış kaydı b) Yüzey dalgası dispersiyonu c) Final dispersiyon eğrisi d) S dalgası hız profiline derinlikle değişim	56
Şekil 4.8 AA' profili düz atış S dalgası hızı ve radar kesitinin (Alan 1, 5.profil) karşılaştırılması.....	57
Şekil 4.9 BB' profili düz atış S dalgası hızı ve radar kesitinin (Alan 1, 3.profil) karşılaştırılması.....	58

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge3.1 Genel jeolojik malzemelerin dielektrik, iletkenlik, hız ve soğrulma değerleri n/a bu malzemeler için bir değer olmadığını ifade etmektedir (Wilchek, 2000).....	14
Çizelge 3.2 Frekansa bağlı penetrasyon derinliği (Anonim, 2012a).....	23
Çizelge 3.3 GPR ile iki farklı merkez frekansla ölçüm yapılırken kullanılan parametreler	24
Çizelge 3.4 Bazı topraklar için EM iletkenlik değerleri (Bevan, 1998'den değiştirilmiş)	33
Çizelge 4.1 Çalışma sahası Alan 1 ve Alan 2 için radar kesitlerinin değerlendirme sonuçları	50

SİMGELER DİZİNİ

σ	iletkenlik
ω	Permitivite (Dielektrik sabit)
ϵ_r	Bağıl dielektrik geçirgenliği
q	Elektrik alan yükü yoğunluğu
∇	Nabla operatörü
E	Elektrik alan şiddeti
H	Manyetik alan şiddeti
D	Elektrik yer değiştirme
B	Manyetik akı yoğunluğu
J	Akım yoğunluğu
I	Elektrik akımı
Hz	Herz
Dx	İz aralıkları
MHz	Mega Herz
ω	Açısal Frekans
k	Dalga Sayısı
c	dalga fazının hızı
T	Periyot
λ	Dalga boyu
f	Frekans
V_p	Boyuna Sismik Dalga Hızı
V_s	Enine Sismik Dalga Hızı
GPR	Ground Penetrating Radar – Yer Radarı
EM	Elektro Manyetik
MASW	Çok Kanallı Yüzey Dalga Analizi
OYN	Ortak Yansıma Noktası
α	Soğrulma Sabiti
V	Hız
n	Normal Vektörü
ns	nano saniye
ϵ_0	Boşluğun elektrik geçirgenliğini
2B	2 boyutlu

1. GİRİŞ

Sivas yerleşim alanı Türkiye'nin ana aktif faylarından biri olan Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun yaklaşık 80 km güneyinde bulunan Sivas Tersiyer Havzası'nın kuzey kenarında yer almaktadır. Alanın büyük bölümü karstik şekillerin (jips karstı) Anadolu'da en güzel görüldüğü yerlerden biridir. Bu litolojiye bağlı şekillenme; karakteri gereği olumsuzluklarda meydana getirmektedir. Jipslerde çeşitli yönlerde gelişmiş olan çatlak ve yoğun eklem sistemleri bu kayalarda şevlerin dik olduğu kısımlarda (Örneğin Kılavuz mahallesi) sık sık kayaç (blok) düşmesi olaylarına neden olmaktadır. Jipslerde killi ara katkılı seviyelerde kırık ve çatlakların ve çözünme boşluklarının da katkısıyla kaya ve şev duraylılığı problemleri söz konusudur. Bu problemlere özellikle kaya yarmalarında karşılaşılmaktadır. Ayrıca jipslerde ana kırık hatları boyunca dolin, düden, yeraltı mağarası gibi karstik yapılar yaygın bir şekilde yer almakta olup, özellikle temel mühendisliğinde bu yapılara gereken önem verilmelidir (MTA, 1997).

Sivas yerleşim alanında kentin mühendislik jeolojisi ile ilgili çalışmalar mevcuttur. Bu çalışmaların başında MTA tarafından 1997 yılında yapılan Sivas kenti mühendislik jeolojisi çalışması göze çarpmaktadır. Bu çalışma sonucunda bölgede mevcut jipslerin kırık-çatlak ve çözünme boşluklarının olduğu belirtilmiş ve özellikle yapılaşmanın olacağı yerlerde bu yapılara gerekli önemin verilmesi gerektiği vurgulanmıştır. Sivas yerleşim alanında jipslerin yaygın olarak bulunduğu ve mühendislik jeolojisi açısından özellikleri yukarıda belirtilen çalışma ile ortaya çıkarılmıştır. Ancak, jipslerin yaygın olarak bulunduğu bu bölgede jipslerin jeofiziksel özellikleri açısından bir araştırma yapılmamıştır. Jeofizik yöntemlerle bu tür yapılar incelendiğinde, yapıların homojenlikten (masiflikten) uzaklaşmaları ve olası hava boşluğu veya başka bir birim ile dolmuş olduğu gibi bilgilere ulaşılabilmektedir. Yüze yakın jipsler özellikleri nedeniyle bozulmalara uğrayabilmekte ve üzerine yerleştirilen yapılar için ciddi riskler oluşturmaktadırlar. Bu nedenle, tez çalışmasında Sivas yerleşim alanı içinde belirlenen pilot alanda yer alan yüze-yakın jipslerin yapısı ve jeofiziksel özellikleri jeofizik yöntemlerle araştırılmıştır. Bu kapsamda belirlenen alanda GPR yöntemi ile jips tabakasının kalınlığı ve jipslerin dolgu malzemesi içerip içermediği ya da yapılarında bozulmaların olup olmadığı tespit edilmeye çalışılmıştır.

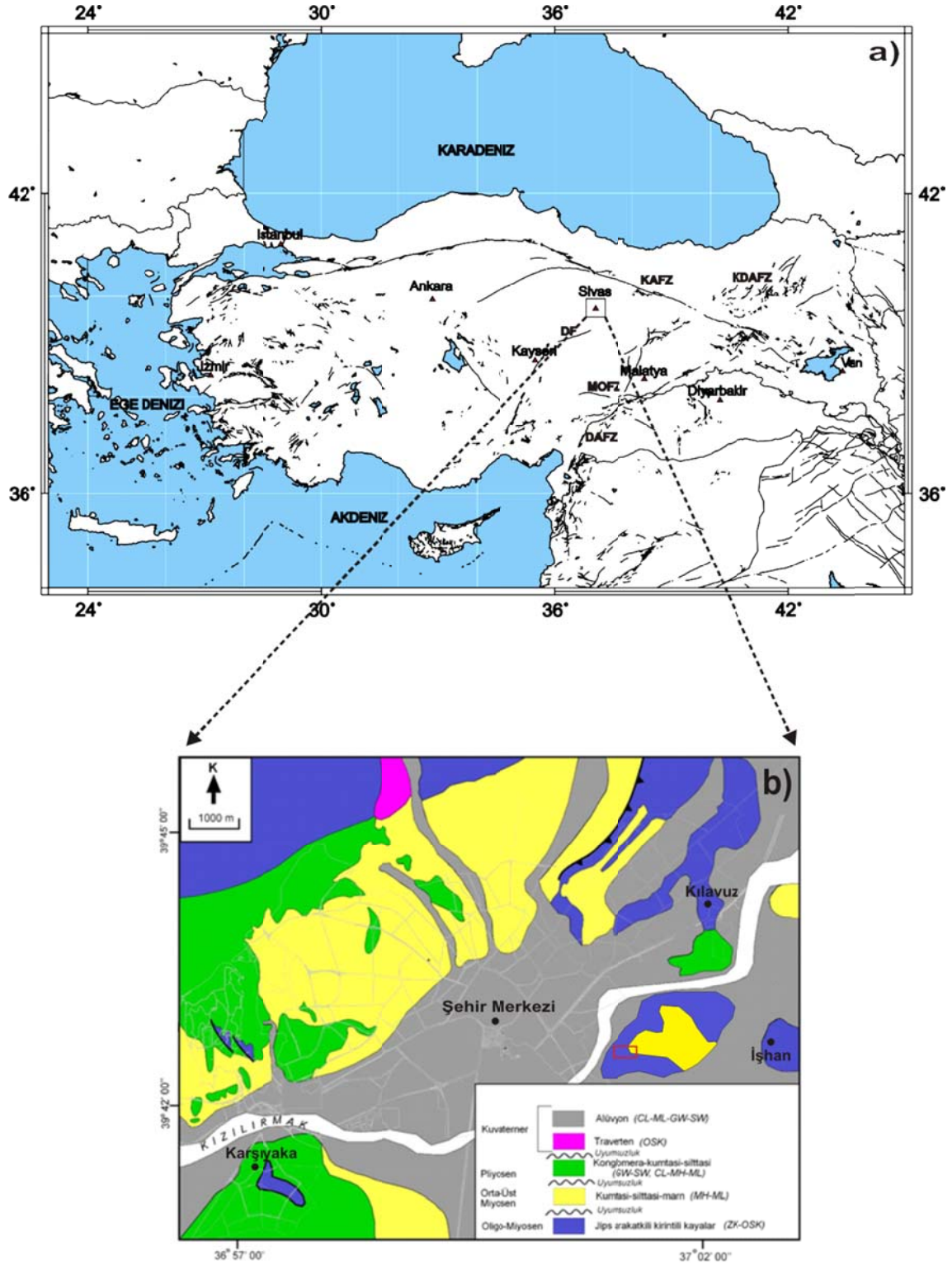
EM iletkenlik yöntemi ile pilot alan taranarak alanın iletkenlik dağılımı ortaya çıkarılmaya çalışılmıştır. İletkenlik değerlerinin dağılımı jipslerin homojen (yani masif) olup olmadığıyla ilgili bilgiler vermiştir. EM iletkenlik yönteminde derinlik bilgisi elde edilemediğinden dolayı jips yapılar üzerinde derinlik değişimini ve S dalgası hızı değişimini belirlemek amacıyla MASW yöntemi uygulanmıştır Böylece jipsler içerisine yerleşmiş olası dolgu malzemeleri S dalgası hızı değişimi ile belirlenmeye çalışılmıştır. Bu çalışmamızda yukarıda değinilen yöntemler uygulanmış ve tüm sonuçlar bir araya getirilerek birbiriyle karşılaştırılmış ve yorum yapılmıştır.

1.1 Bölgenin Jeolojisi

Sivas yerleşim alanı Türkiye'nin ana aktif faylarından biri olan Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun yaklaşık 80 km güneyinde bulunmaktadır (Şekil 1.1a). Sivas Havzası Pre-Maastrichtiyen yaşta platform karbonatları, metamorfik ve ofiyolitik kayalardan oluşmuş bir mozaığın üzerinde gelişmiştir. Sivas bölgesinde bu temelin üzerinde Maastrichtiyen-Paleosen yaşta kireçtaşları uyumsuz olarak yer alır. Bu birim yukarıya doğru Paleosen bazaltik lavlarına ve Eosen kırıntılı kayalarına geçiş gösterir. Alt Miyosen kırıntılı kayaları ve karbonat kayaları daha yaşlı birimleri yerel bir uyumsuzlukla üzerler ve üste doğru bazaltik ve karasal kırıntılı ara katkılı playa jipslerine geçer. Pliyo-Kuvaterner yaşta akarsu çökelleri ve Kuvaterner yaştaki alüvyonlar ise Miyosen ve daha yaşlı birimleri uyumsuz olarak örter (Yılmaz ve Yılmaz, 2006). Sivas şehrinin yerleşim alanı esas olarak Oligosen sabkha jipsleri, Alt Miyosen yaşta taban konglomerası, denizel kireçtaşı ve karasal-denizel kırıntılı kayalar, Orta Miyosen yaşta, kırıntılı ara katkılı playa jips düzeyleri, Pliyosen yaşlı kırıntılı akarsu çökelleri ve Kuvaterner yaşta pekişmemiş alüvyonlar oluşmaktadır (Şekil 1.1b).

Tez çalışmasına konu olan jipsler Sivas bölgesinde genellikle Hafik jipsleri ve Savcun üyesi olarak belirtilmektedir. Hafik jipsleri genellikle Sivas'ın doğu ve kuzeydoğu kesimlerinde yüzeylemekte olup; Genel görünümleri beyaz, açık kahverengimsi beyaz ve açık yeşilimsi beyaz renklindedir. Masif jipsler tektonik hareketler sonucunda kıvrımlanmış ve kırılmışlardır. Kıvrımlanmışların yoğun olduğu yerlerde kırık ve çatlak yoğunluğu artmış ve ana kırık doğrultuları boyunca jips karstına bağlı olarak düden, çökme dolinleri ve yeraltı mağaraları gelişmiştir. Masif jipslerde iki yönde sistematik olarak ve gelişigüzel gelişmiş kırık ve çatlak sistemleri vardır. Jipslerde kristal tane boyutu göz önüne alınarak iri taneli, orta taneli ve mikro kristalin olmak üzere üç farklı jips tanımlanmıştır.

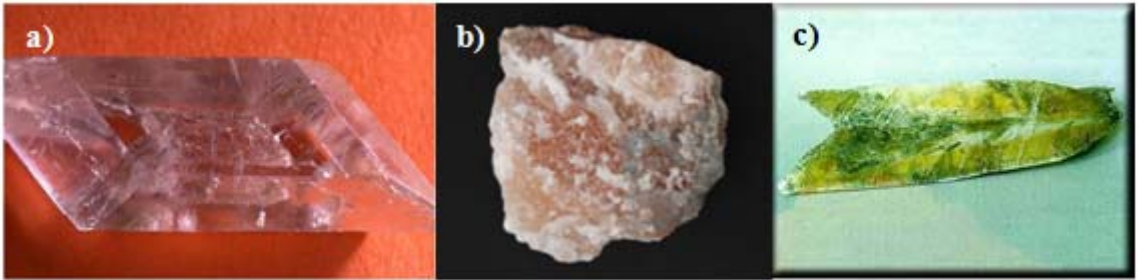
Savcun üyesine ait kayaç zeminler marn, kumlu kireçtaşları ve ince tabakalı marn arakatkılı jipslerdir. Marnlar tabakalı bir yapıya sahip olup, yanal fasiyes değişimine bağlı olarak açık yeşil, açık sarımsı yeşil, yeşil, açık sarı, açık yeşilimsi sarı ve açık yeşilimsi gri şeklinde 5 farklı renk sunmaktadır. Tabaka düzlemlerine dik olarak gelişmiş çatlak sistemleri bulunmaktadır. Kumlu kireçtaşları çalışma alanının doğu kesiminde yer almakta olup, alttaki masif jipsler üzerine uyumlu olarak gelmektedir. Genel görünümleri açık kahverengimsi beyaz ve açık yeşilimsi beyaz renktedir. Kireçtaşlarında çeşitli yönlerde gelişen eklem takımları kalsit dolgu ve/veya kil dolgu içermektedir. İnce tabakalı marn arakatkılı jipsler ise çalışma alanının kuzeydoğu kesiminde Kılavuz mahallesinin kuzey kesimlerinde yüzeylenmektedir (MTA, 1997).



Şekil 1.1 a) Türkiye’de Sivas ilinin konumu ve başlıca fay zonları. KAFZ: Kuzey Anadolu Fay Zonu, KDAFZ: Kuzey Doğu Anadolu Fay Zonu, DAFZ: Doğu Anadolu Fay Zonu, DF: Deliler Fayı, MOFZ: Malatya Ovacık Fayı Zonu. b) Sivas Kenti ve yakın çevresinin jeoloji ve mühendislik jeolojisi haritası. Kırmızı ile dikdörtgen içine alınan bölge çalışma alanı (Büyüksaraç vd., 2012).

1.2 Jips (Kalsiyum Sülfat İçeren Evaporit Mineralleri)

Evaporitler; sualtında (subaqueous), küçük lagün (göl) veya büyük ölçekli sığdan derine kadar değişen su ortamlarında (rift havzası) çökeltme ile oluşur. Su hava temas yüzeylerine yakın kesimlerde evaporit mineralleri gelişir. Aynı zamanda sediman yüzeyleri üzerinde de çekirdeklenme gerçekleşir. Suyu doygun zonlarda sediman boşluk sularında çökeltme ile evaporitler oluşabilir. Ayrıca sert zonlarda ve kabuk oluşturacak şekilde çöl alanlarındaki toprak içerisinde de çökebilirler. Buharlaşıma bağlı olarak deniz suyundan çökeltme malzemelerin hepsini kapsar. Diğer bir deyişle tuz kayaları olarak tanımlanır. En yaygın evaporit mineralleri kalsiyum sülfat içeren jips ve anhidrittir. Jips, sulu kalsiyum sülfat kimyasal ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) bileşiminde olup monoklinal sistemde kristallenir (Şekil 1.2a). Sertliği 2'dir. Jipsin kristalleri çoğunlukla büyük ve özel görünüşlü parlak yüzeyli olduğu gibi mızrak ve kırlangıç kuyruğu şeklinde ikizleride bulunmaktadır (Warren, 2006)(Şekil 1.2c). Düşük rölyefe ve zayıf çift kırıcılığa sahiptir. Rengi genellikle beyaz ve şeffaftır. İçerisinde tali olarak bulunan yabancı maddeler jipse değişik renk verir (Şekil 1.2b). Jips, kil veya kum ev sahibi sert sedimanları içinde çökebilir ve ev sahibi sedimanları örten büyük poikilitik kristallerden oluşur (Kogel vd., 2006).



Şekil 1.2 Jips mineralinin görünüşleri. a) özşekilli jips minerali. b) pembe jips. c) kırlangıç kuyruğu şeklindeki ikiz jips.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Filler vd. (1989), yer altı boşluklarının belirlenmesinde doğru akım öz direnç (DAÖ), sismik kırılma ve GPR yöntemlerini kullanarak iki ayrı bölgede yeraltı boşluk araması yapmışlardır. İlk alanda wenner dizilimini kullanarak doğru akım öz direnç yöntemiyle su tablası ve üzerindeki kumlu zemindeki bütün yapay sığ boşlukları başarılı bir biçimde ortaya çıkarmışlardır. Öz dirençteki iniş ve çıkışlarla hava ve su ile dolu boşluklar ayırt etmişlerdir. 12 kanallı kırılma sismografi bu boşlukların konumlarını ve fiziksel boyutlarını tam olarak belirlemişlerdir. 300 MHz'lik bir anten kullanarak yaptıkları GPR yöntemi ile bütün hava-dolu boşlukları başarılı bir biçimde belirlemiş ve açıkça göstermişlerdir. İkinci alanda boşluk olduğu tahmin edilen beş bölgeyi araştırmışlar. DAÖ yöntemiyle bütün kireçtaşı boşluklarının yerlerini başarılı bir biçimde tespit etmişlerdir. 80 MHz'lik bir anten kullanılarak yaptıkları GPR yöntemiyle ise yeraltındaki beş boşluğun yanal boyutlarını ve düşey derinliklerini belirlemişlerdir. DAÖ ve GPR yöntemlerinin her ikisi de kullanarak kireçtaşları üzerindeki kumlu topraklardaki boşlukları iyi bir şekilde belirlemişlerdir. GPR aramaları 30m derinlikteki boşlukların nitelendirilmesinde çabuk ve ayrıntılı olduğunu tespit etmişlerdir. DAÖ yönteminin daha derin penetrasyon derinliği gösterdiğini belirlemişlerdir.

Armodillo vd. (1998), çalışmalarında Liguria ve Piedmont'daki karst yapıları manyetik, elektromanyetik ve sismik kırılma yöntemleriyle araştırmışlardır. Bu bölgedeki dolinlerin doğal görünümünü sondaj yapılmadan anlamaya çalışmışlardır. Su sızıntılarının olduğu yerlerde manyetik ve elektromanyetik yöntemi tercih etmişlerdir ve son derece gürültüsüz ortamda çalışmaya dikkat etmişlerdir. Çalışmalarının sonucunda sismik kırılma yöntemi ile sığ katmanlarda gazlı toprak ile ilişkili olarak düşük hız değerleri elde etmişlerdir. İkinci katmanda dolinin merkezine doğru eğimli su ile ıslatılmış kil dolgusu belirlemişlerdir ve hızın yaklaşık olarak bu bölgede 1000 m/s olduğu gözlenmiştir. Ayrıca, EM-VLF verilerinde belirlenen yüksek iletkenlik değerleri de bu bölgede kil dolgu olabileceğini kanıtlar niteliktedir. Derinliğin 40 m'ye ulaştığı yerlerde yüksek frekanslı anomalilerin belirlenmesi de bu bölgede kil dolgu olabileceğini düşündürmektedir. Tüm yöntemler karşılaştırıldıklarında birbirini destekler nitelikte oldukları gözlenmektedir.

Doolittle vd. (1998), çalışmalarında EM ve GPR yöntemlerini büyük yapısal alanlardaki kistik bölgeleri tespit etmek için kullanmışlardır. Bu karstik bölgeler

Florida ve Pensilvanya olacak şekilde iki zıt bölge seçilerek EM ve GPR yöntemlerini kullanılarak karakterize etmişlerdir. GPR yöntemini yüzey tabakalarının kalınlıklarını ve konumlarını belirlemek için kullanmışlardır. Pensilvanya bölgesinde ana kaya genellikle kireçtaşı ve kilden oluştuğu için bu bölgede EM yöntemi daha etkili sonuçlar verdiğini gözlemlemişlerdir.

Park vd. (1998), yapmış oldukları "Yüzey Dalgalarının Çok Kanallı Analizi" isimli çalışmasında sığ yüzeyin tanımlanması ve görüntülenmesi için frekansa bağlı Rayleigh yüzey dalgalarının özelliklerinden faydalanarak kesme dalga hız profillerini elde etmişlerdir.

McGrath vd. (2002), çalışmalarında bugüne kadar İngiltere ve Galler'in yeraltı haritalarında karstik alanlar dikkate alınmayarak hesaplandığı için karstik alanlarda su taşıyan konditlerin varlığındaki belirsizliklerden dolayı yeraltı mağara sistemlerini tespit etmek için mikrogravite ve elektrik özdirenç yöntemlerini kullanmışlardır. Sonuç olarak haritalama tekniklerinin güvenli değerlendirilmesini, yüksek geçirgenliğin dağılımı ve akış yollarının boyutsal dağılımının oluşumunu belirlemişlerdir.

Batayneh vd. (2002), lağım çukurları derindeki aktif karstik özellikteki yapıların yüzeye yakın yerlerdeki boşluklu, kolonlu yada çözülebilir genişletilmiş çatlaklı yapılar olduğundan çalışmalarını Ghor al Haditha bölgesinde yaparak GPR metoduyla gömülü lağım çukurlarının yerlerini tespit etmişlerdir. Alınan profiller ile 12m derinlikte ve 38 m uzunluğundaki lağım çukurlarını belirlemişlerdir.

Abdelhady vd. (2004), maden çalışmaları sırasında yukarı Mısır Beni Suef yakınlarındaki bölgede esas kaymaktaşı oluşumlu mağaralarda çalışmışlardır. Araştırmacılar, turistik aktiviteler için kullanılan mağaralar civarındaki alanlara GPR ve DES ölçümleri yapmışlardır ve bu ölçümler sırasında yeni boşluklu yapılar keşfetmişlerdir. Ayrıca, bu boşluklu yapıyı mağaranın boylu boyunca ölçülen GPR profili ile kanıtlanmışlardır. Araştırmacılar, mağaradaki boşluğun üst uzanım ve derinliğini DES ve GPR ölçülerini değerlendirerek belirlemişlerdir. Ayrıca, DES ve GPR verileri ile yeraltı özelliklerinin belirlenmesinin yanı sıra boşluklu yapıların boyutlarının belirlenmesinde de çok yararlı olduğunu da kanıtlamışlardır.

Jeng vd. (2004), çalışmalarında çok düşük frekanslı elektromanyetik (VLF-EM) tekniğini kullanılarak tortul katmanlarını ve çevresel problemleri araştırmışlardır. Frekans aralığını (15-30 kHz) aralığında seçerek mineralize olmayan sığ fay zonlarını belirlemede kullanmışlardır ve başarılı sonuçlar elde etmişlerdir. Ayrıca, bu yöntemin yer altı yapılarının iletkenliğinin belirlenmesinde yararlı olabileceğini düşünmüşlerdir.

Ulugergerli ve Akça (2006), çalışmalarında bir okul binasının altında jipslerin üzerindeki zayıf zonların ve boşlukların var olduğunu doğru akım öz direnç, GPR ve sismik kırılma metotları kullanılarak araştırmışlardır. Doğru akım öz direnç verilerinin iki-boyutlu ters çözümünü diğer yöntemlerle beraber değerlendirmişlerdir. Bu çalışmada kullanılan yöntemler ile tespit edilen noktalara sondaj uygulayarak binaların altına doğru 1-7.5 m arasında değişen boşlukların uzandığını tespit etmişlerdir.

Radulescu vd. (2007), çalışmalarında yeraltı boşluklarını belirlemek amacıyla elektrik öz direnç yöntemini kullanarak yeraltı boşluklarını tespit etmişlerdir. Dış kaynaklı gürültüleri mümkün olduğunca azaltarak elektrik öz direnç yöntemiyle schlumberger dizilimi yaparak elektrik öz direnç ölçümü almışlardır. Bu ölçümler ile Mangalia kasabası, Limanu ve Movila boşluklarını belirlemişlerdir.

Crespo ve Ortiz (2007) çalışmalarında evaporit katmanlardaki çökme tehlikesini değerlendirmek için GPR yöntemini kullanmışlardır. 200 mHz' lik anten kullanarak ilk 3 m de düşük sinyal-gürültü oranı ve sürekli yansımalar elde etmişlerdir 3-4.5 m arasında elektromanyetik dalganın zayıflaması nedeniyle sinyal-gürültü oranı giderek azaldığını tespit etmişlerdir. Sonuç olarak 3 m' den daha derindeki yansımaları süresiz ve zayıf olarak belirlemişlerdir. Araştırmacılar, GPR kesitleri dalgalı ve düzensiz geometrilere sürekli ve yatay yansımalar göstermesine rağmen, ani kesintilerin ya da hiperbolik yansımaların nedeninin bölgenin litolojisinden dolayı evaporit bir minarel olan jips olarak yorumlamışlardır. Elde ettikleri GPR kesitlerindeki yansımalarındaki kesiklikler 1-2 m uzunluğunda olabildiği gibi santimetre boyutunda da olabildiğini belirterek kesintilerin kaynağın ise evaporit katmandaki lokal çökelmelerden oluşabileceğini düşünmüşlerdir.

Wadhwa vd. (2008), Navargaon'un bir parçası olan 28 km uzunluğundaki kanal yatağının içerisinde 3 adet boşluklu yapı tespit etmişlerdir. Tespit edilen bölgelere yer radarı ve elektrik öz direnç yöntemleri uygulamışlardır. Boşlukların boyutlandırılmasını yaparak yüksek ve düşük anomalileri GPR kayıtları üzerinde göstermişlerdir. Hava dolu, kil dolu ve su dolu boşluklu yapıları elektrik öz direnç yöntemi ile belirlemişlerdir.

Çaylak ve Coşkun (2008), çalışmalarında sığ yer altı yapılarının incelenmesinde Rayleigh tipi yüzey dalgalarının dispersif özelliklerinden yararlanmışlardır. Yüzey dalgası analizinin yapı ve ortam kestirimlerindeki başarısı ve uygun parametre seçimini Magnesia antik kentinde yapılan arazi çalışmalarında gerçekleştirilen deneme ölçüleriyle irdelenmişlerdir. Jeofon frekansının değişim etkisini test etmek amacıyla jeofon aralığı sabit tutularak ve farklı yakın açılım uzaklıklarıyla çok-kanallı veri

kayıtları elde etmişlerdir. Elde edilen verilerin değerlendirmesinde, bir boyutlu yüzey dalgası analizi ve doğrusal olmayan en küçük kareler algoritmasına dayanan ters-çözüm yöntemini kullanmışlardır. Deneme sonuçlarının sığ yer altı yapılarının araştırılmasında yakın açılım uzaklığının jeofon aralığının yaklaşık üç katı olmasının uygun olacağını ve farklı yakın açılım uzaklıkları için elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında 14 Hz 'lük jeofon kullanımının sismik kaynak ve jeofon aralığı dikkate alındığında 4.5 Hz' e göre daha başarılı olduğu gösterilmiştir.

Kurt vd. (2009), çalışmalarında yer radarı yöntemi ile gömülü boruların konum, büyüklük ve fiziksel özelliklerinin belirlenebilirliğini, laboratuvar ve arazi çalışmaları ile ortaya koymuşlardır. Alınan yer radarı verilerini işledikten sonra boruların yönlerine dik ve paralel profillere ait radargamlar üzerinde yansımış/saçılmış EM dalga alanlarını irdelemişlerdir. Çalışmanın sonucunda, işlenmiş radargamlar üzerindeki borulara ait yansımış/saçılmış dalga alanı konumları, boruların konumlarını ve derinliklerini tanımlayarak oluşan hiperbollerin tepe genişliğiyle de boruların büyüklüklerini belirlemişlerdir

Dikmen vd. (2009), çalışmalarında yüzey dalgalarının çok-kanallı analizi yönteminde atış mesafesinin (atış noktasıyla ilk jeofon arası uzaklık) dispersiyon görüntüsü üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Aynı serim düzeyini koruyarak farklı atış mesafelerinde yüzey dalgalarının çok-kanallı yüzey dalgası analizi yöntemi (MASW) kayıtları toplanmış ve her bir kaydın dispersiyon görüntüsünü hesaplayarak karşılaştırmışlardır.

Anchuela vd. (2009), çalışmalarında alüvyonlu karstlara ve çökel yapılara GPR yöntemi uygulamışlardır. GPR radargamlarını, 50-100 mHz'lik antenler kullanarak çökelen yapıların jeolojik özelliklerinden elde ettiler. Araştırmacılar, zeminin iç yapısının incelenmesini ihmal ederek, GPR çalışması ile yeraltının 3 boyutlu olarak modellenmesini sağladılar ve çalışmanın sonucunda GPR yönteminin karstik yapılarda ve dolin alandaki riskli bölgelerinde faydalı sonuçlar verdiğini belirlemişlerdir.

Mohammed ve Shariah (2009), çalışmalarında 2D elektrik özdirenç yöntemi ile boşluklu yapıların geometrilerini belirlemeye çalışmışlardır. Kuala Lumpur'daki Batu mağarasını araştırmışlardır. Araştırmacılar, boşluklu yapıyı belirleyerek elektrik özdirenç yönteminin boşluk belirlemede etkin bir yöntem olduğunu belirlemişlerdir.

Neyamadpour vd. (2010), çalışmalarında Malezya Üniversitesi yakınlarındaki bir alanın yeraltı boşluğunu elektrik özdirenç yöntemi ile wenner ve dipol-dipol dizilimleri yaparak karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak 3 boyutlu elektrik özdirenç

araştırmalarındaki wanner ve dipol-dipol dizilimlerinin her ikisinin de statik model belirlenmesinde, çevresel uygulamalarda ve 3 boyutlu boşluk aramaları için çok faydalı sonuçlar verdiğini göstermişlerdir.

Kanbur vd. (2011), çalışmalarında yer altında konumu bilinen bir tünel yapısının yerini belirlemek için sismik yansıma, MASW ve ReMİ gibi sığ sismik teknikler uygulamışlardır. Yüzey dalgası yöntemleri olan MASW ve ReMİ'den elde edilen S dalgası hız kesitleri ile sığ sismik yansıma kesitlerini karşılaştırarak tünelin bilinen konumunu belirlemişlerdir. Hız değişimlerine karşı duyarlı olan MASW ve ReMİ tekniklerine ait kesitlerin yorumunun, alanda başka bozucu yapıların varlığı durumunda güçleştiğini belirlemişler. Yansıma kesitiyle birlikte değerlendirildiğinde ise bu güçlüğün ortadan kalktığını lokasyon tespitinin kolaylaştırdığını gözlemlemişlerdir. Bu çalışma ile araştırmacılar, sığ sismik yansıma, MASW ve ReMİ yöntemlerinin bir arada kullanılması durumunda yeraltı boşluklarının konumlarının güvenilir bir biçimde belirlenebileceğini ortaya koymuşlardır.

Kanbur vd. (2011), çalışmalarında Süleyman Demirel Üniversite kampüsü içerisinde bulunan Pliyo-Kuvaterner yaşlı pekişmemiş ve kısmen pekişmiş çökellerin tabakalaşma özelliklerini ortaya çıkarmak için sığ sismik yansıma, MASW ve ReMi teknikleri uygulamışlardır. Araştırmacılar, elde edilen S-dalgası hızlarını, sığ sismik yansıma kesitini ve alanda bulunan yaklaşık 8 metrelik yarmanın karşılaştırmalı yorumlanmasından alanın 35 metre derinliğe kadar ki tabakalanma özelliklerini ortaya koymuşlardır. Araştırmacılar, çökel yapıya ait S-dalgası hızlarını ve kesitleri birlikte değerlendirdiklerinde sonuçların birbirlerini desteklediğini görülmüşlerdir. Sonuç olarak bu çalışmada kullandıkları tekniklerle, benzer alanlarda kuyu ölçümlerine ihtiyaç duyulmadan doğru sonuçlar alınabileceğini göstermişlerdir.

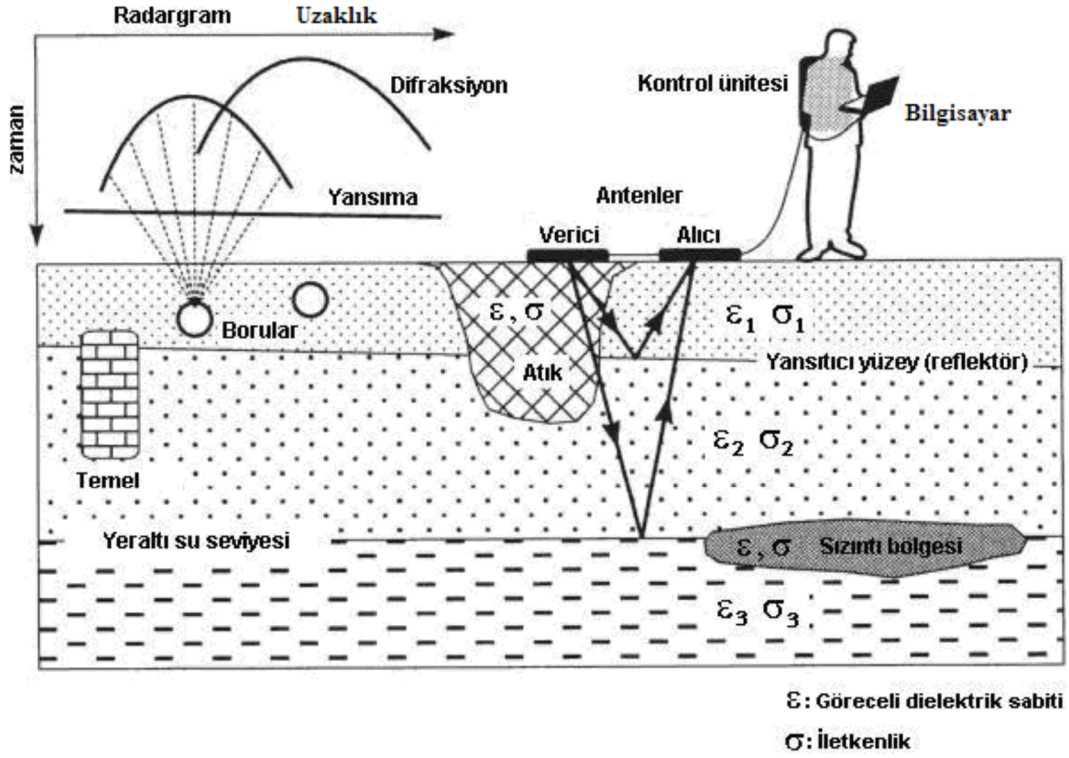
Ortiz ve Crespo (2012), çalışmalarında sığ alanlarda GPR ve elektrik öz direnç tomografi yöntemlerini uygulayarak boşluklu yapılarda çökme riskini değerlendirmişlerdir. Araştırmacılar, kullanılan yöntemlerin 8 m'ye kadar iyi sonuçlar verdiğini ve ortalama 1 ile 4 m arasında boşluk yapılar elde etmişlerdir. Ayrıca, bölgede bulunan boşluklu yapıların ekin tarlaları ve otoyol gibi antropik yapılar üzerinde risk teşkil edebileceğini belirtmişlerdir.

3. KULLANILAN JEOFİZİK YÖNTEMLER VE ÇALIŞMA ALANI

3.1 GPR Yöntemi

GPR, araştırılan ortamın sığ derinliklerini yüksek çözünürlükte görüntüleyebilen elektromanyetik bir yöntemdir (Davis ve Annan, 1986). Son otuz yıl içerisinde elektronik endüstrisinde yaşanan olağanüstü gelişmeler bir zamanlar zahmetli ve pahalı bir iş olan ışık hızı ölçümlerini son derece ucuz, kolay ve duyarlı bir şekilde dönüştürmüştür. 1970'li yıllarda milisaniye (10^{-3} s) duyarlılıkla yapılan zaman ölçümleri 1980'li yıllarda mikrosaniye (10^{-6} s), 1990'lı yıllarda ise nanosaniye (10^{-9} s) duyarlılığa kadar inmiştir. Elektronikteki bu gelişmelere paralel olarak yer altında ışık hızına yakın bir süratle hareket eden elektromanyetik dalgaların yolculuk sürelerinin nanosaniye mertebesinde ölçülebilmesi, sığ jeofizik görüntüleme yöntemlerine önemli katkılarda bulunmuştur. GPR yukarıda sözü edilen gelişmelerin somut bir sonucudur. Bu yöntemin ilk başarılı uygulaması, kutuplarda ve Antartika'da yansıyan radyo dalgalarını kullanarak buz tabakalarının kalınlıklarını haritalamak ve eriyen buzulların kalınlıklarını tespit etmek olmuştur (Annan ve David., 1976). Buzul olamayan GPR çalışmaları 1970'lerde başlamıştır. İlk çalışmalar donmuş toprak yapısı üzerine olmuştur (Annan ve David, 1976). Yöntemin üstünlükleri ve zayıflıkları anlaşılmaya başladıkça, uygulamaları (Davis ve Annan, 1989) tarafından genişletilerek tanımlanmıştır.

GPR yöntemi yeraltına gönderilen yüksek merkez frekanslı (10-600 MHz arası) elektromanyetik radar sinyallerinin yer içinde yayılımı sırasında farklı dielektrik özelliklere sahip süreksizliklerle karşılaştıklarında enerjilerinin bir kısmının geriye yansyıp yüzeydeki alıcı antenlerde dalganın çift yol seyahat zamanı nanosaniye cinsinden kaydedilmesi esasına dayanmaktadır (Van Der Kruck, 1999). GPR yönteminin çalışma prensibi aşağıda Şekil 3.1'de ifade edilmiştir.



Şekil 3.1 GPR yönteminin çalışma prensibi (Kesemen, 2007).

Yer altının yüksek çözünürlükle görüntülenmesini sağlayan GPR, yeraltındaki farklı iletkenlik ve hızlardaki değişimler nedeniyle doğru bilgi toplanmasına olanak sağlamaktadır. Ortam koşulları yer radarı ölçüleri için uygunsa, örneğin ortam yüksek oranda kil ve su içermiyorsa, uygun anten seçimleriyle yüzeye yakın santimetre boyutlarındaki hedef yapıların yerleri ve gömülü buldukları derinlikler belirlenebilir. GPR yöntemiyle bot, kızak ve tekerlekli araçlar ve helikopter gibi çeşitli tasarımlar sayesinde çok geniş alanlar hızlı bir şekilde taranabilmektedir.

Penetrasyon derinliği ve radar sinyalinin ayrımlılık gücü iletilen dalganın araştırılan ortamdaki malzemenin dielektrik özelliklerine ve frekansına bağlıdır (Çizelge 3.1). Kullanılan farklı frekanslar hem çözünürlüğü hem de penetrasyon derinliğini etkiler. Düşük frekanslarda araştırma derinliği artarken, düşey ayrımlılık azalmakta ve düşük frekanslar madde içindeki yüklerin polarize olması yerine yüklerin hareket etmesine neden olur. Bu durumda elektromanyetik enerji iletkenliğe dönüşmekte ve soğrulmaya neden olmaktadır. Yüksek frekanslarda ise düşey ayrımlılık artarken, penetrasyon derinliği azalmaktadır (Öğretmen, 2012).

Genellikle çalışılan ortamın düşük iletkenlikli ortam olması istenmektedir. Bu tip bir ortamın matematiksel ifadesi $\sigma/w\epsilon \ll 1$ olarak verilir. Kum ve granit gibi düşük iletkenlikli ortamlarda Yer Radarı dalgaları derinlere ulaşabilirken; kil, şeyl gibi iletken ortamlar iletilen sinyalin penetrasyon derinliğinin azalmasına ve soğrulmasına neden olmaktadır (Annan vd., 1988). Düşük iletkenlikli ortamda 5-20 metre derinlere kadar penetrasyon sağlanabilirken, iletken ortamlarda bu derinlik birkaç metre olmaktadır. (Davis ve Annan, 1986).

Çizelge 3.1 Bazı jeolojik malzemelerin dielektrik, iletkenlik, hız ve soğrulma değerleri. (n/a bu malzemeler için bir değer olmadığını ifade etmektedir) (Wilchek, 2000).

Malzeme	Bağıl dielektrik, Sabit, $\epsilon_r (\epsilon/\epsilon_0)$	İletkenlik, σ , (mS/m)	Yayılm hızı, V, (m/nsn)	Soğrulma, Soğrulma sabiti, α
Hava	1	0	0.3	0
Buz	3-4	0.01	0.16	0.01
Su (taze)	80	0.5	0.033	0.1
Su (tuzlu)	80	3000	0.01	1000
Topraklar				
Kil	5-40	2-1000	0.06	1-300
Toprak (kuru)	3-5	0.01	0.15	0.01
Toprak (doygun)	20-30	0.1-1.0	0.06	0.03-0.3
Silt	5-30	1-100	0.07	1-100
Mineraller				
Kalsit	7.8-8.5	$5*10^{-10}$	0.11	$3*10^{-10}$
Kuars	4.2-5	$3*10^{-4}-5*10^{-12}$	0.13-0.15	$2*10^{-8}-4*10^{-12}$
Tortul kayalar				
Kireçtaşı	4-8	0.5-2	0.12	0.4-1.0
Tuz (kuru)	5-6	0.01-1	0.13	0.01-1
Kumtaşı	4.7-12	$1*10^{-5}-0.7$	0.09-0.14	$5*10^{-8}-0.6$
Şeyl	5-15	1-100	0.09	1-100
Magmatik kayalar				
Bazalt	12	$8*10^{-6}-0.025$	0.09	$4*10^{-6}-0.01$
Dasit	6.8-8.2	0.05	0.12	0.03
Diyabaz	10.5-34.5	$2*10^{-3}-50$	0.05-0.09	$1*10^{-2}-26$
Diorit	6	0.0002-0.002	0.12	0.0001-0.001
Gabro	8.5-40	0.001-1	0.05-0.10	$3*10^{-4}-0.6$
Granit	4.6	0.01-1	0.13	0.01-1
Norit	61	0.02-1	0.04	0.004-0.2
Obsidiyen	5.8-10.4	n/a	0.11	n/a
Peridotit	8.6	0.15-0.33	0.10	n/a
Metamorfik kayalar				
Gnays	8.5	0.0003-0.02	0.10	n/a
Arjilit	n/a	1-100	n/a	n/a
Kuarsit	n/a	$5*10^{-6}-100$	n/a	n/a

3.1.1 GPR yönteminin avantaj ve dezavantajları

GPR yönteminin günümüzde birçok soruna karşı tercih edilen bir yöntem haline gelmiş olup avantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Yer radarının taşınabilir olması, çevreye herhangi bir olumsuz etki yapmaması.
- Diğer jeofizik yöntemlere göre daha hızlı veri toplanabilmesi ve yüksek çözünürlüklü yer altı görüntülerinin elde edilmesi.
- Hedef yapının yeri ve derinliğinin duyarlı bir şekilde belirlenebilmesi.
- Alınan ölçümlerin değerlendirilmesinin kolay olması ve insan kaynaklı etkilerin veriden kolaylıkla atılabilmesi.

Yöntemin dezavantajları ise;

- Yüksek iletken bir ortamda çalışmaması ve çözünürlük derecesinin derinlikle azalmasıdır.
- Radar penetrasyon derinliği ve herhangi bir derinlikteki hedef nesnenin belirlenebilmesi o bölgedeki toprak özelliklerine bağlıdır. Toprak yüksek iletkenli ise GPR yöntemi etkisiz hale gelebilir. Yöntemin sonuç vermesi için aranan nesne ile çevre birim arasında yeterli farkın olması gerekir.
- Radar verisi yorumu kişiseldir. Bu nedenle yorumcunun deneyimi çok önemlidir.
- Çevredeki radyo vericileri, önemli bir gürültü kaynağıdır ve ölçülen sinyaller kayıt aygıtının dışına taşabilir. Kayıtlara çevredeki yapılardan gelen yansımalar karışabilmektedir. Yansımalar sismik yöntemde olduğu gibi yanlardan gelebilir ve yansıtıcı metalik nesne ise çok keskin olabilir

3.1.2 GPR'ın kullanıldığı alanlar

Günümüzde ise GPR yöntemi sığ yer araştırmaları ile arkeometri çalışmalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Kullanım yerlerine örnekler aşağıdaki gibi verilebilir.

- Yol, havaalanı, baraj, su kanalı, santral, yerleşim alanı yer araştırmalarında,
- Demiryolu, karayolu, su tünelleri, tüp geçitler, maden galerisi araştırmalarında,

- Tavan, taban ve duvarların incelenmesi, restorasyon amaçlı yapı araştırmalarında,
- Antik Őehir, tapınak, mezar, duvar, temel, dehliz ve benzeri tarihi kalıntıların bulunmasında arkeojeofizik araştırmalarında,
- Boşlukların saptanmasında
- Su tablasının belirlenmesinde
- Zemindeki yanal ve dűsey sűreksizliklerin saptanmasında
- Ana kaya (temel kaya) derinliğinin saptanmasında
- Yűzeydeki gevŐek zonların tespinde kullanılır.

3.1.3 GPR'ın temel esasları

GPR'ın esası EM teoriye dayanır. Bu alanın geęmiŐi iki yűzyıldan daha uzun bir zamandan gelir. Elektromanyetik teorinin temelini Maxwell denklemleri oluŐtırmaktadır. Bu denklemlerin diferansiyel biğimleri Maxwell Denklemleri kısmında anlatılmıŐtır. Maxwell denklemleri, malzemenin fiziksel özellikleriyle EM alanları iliŐkilendirir ve bu alanların fiziğini matematiksel olarak ifade eder. EM alanlar ve malzemenin fiziksel özelliklerinin iliŐkilendirilmesi, GPR sinyallerinin tanımlanması ięin olması gereken temelleri sağlar.

3.1.3.1 Maxwell denklemleri

EM teorinin temeli olan Maxwell'in elde ettiği denklemler; zamanla deęiŐen bir manyetik alanın bir elektrik alan oluŐturması gibi, zamanla deęiŐen bir elektrik alanın da bir manyetik alan oluŐturacaęını ifade eder. Buradan Maxwell teorisi ile elektrik ve manyetik alanlar arasındaki çok önemli bağlantı gerçekleŐtirildi. Maxwell'in teorik olarak ispatladığı dalgaların varlığını H.R. Hertz 1887 yılında bir indűksiyon bobini kullanarak ilk olarak űretilen sonrasında onları algılayarak deneysel olarak kanıtlamıŐtır (Yıldız, 2003).

Tűm elektrik ve manyetik olaylar ve bunlar arasındaki iliŐki Maxwell Denklemleri olarak bilinen 4 yalın denklem ile açıklanmıŐtır. Bu 4 denklem elektromanyetik dalgaların tűm özelliklerini eksiksiz olarak açıklar.

Maxwell denklemleri aşağıdaki temel kurallara bağlanmaktadır:

- Zamana göre değişen elektrik alanı bir manyetik alan oluşturmaktadır.
- Zamana göre değişen manyetik alan bir elektrik alanı oluşturmaktadır.

EM alanlar ve bunlar arasındaki ilişkiler aşağıdaki matematiksel denklemler ile ifade edilmektedir.:

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad (3.1)$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{H} = \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \quad (3.2)$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{D} = q \quad (3.3)$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0 \quad (3.4)$$

Burada;

\vec{E} : Elektrik alan şiddet vektörü (V/m)

q : Elektrik alan yükü yoğunluğu (C/m^3)

\vec{B} : Manyetik akı yoğunluğu (T)

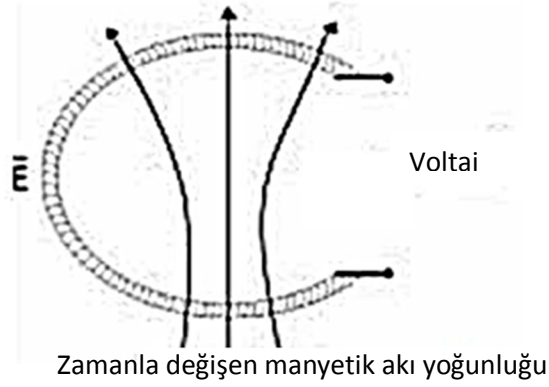
\vec{J} : Elektrik akım yoğunluğu vektörü (A/m^2)

\vec{D} : Elektrik yer değiştirme vektörü (C/m^2)

\vec{H} : Manyetik alan yoğunluğu (A/m)

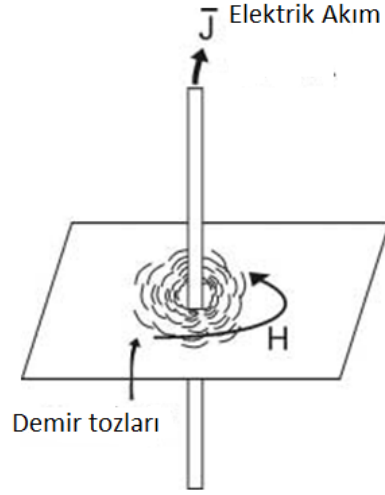
olarak tanımlanmaktadır.

Maxwell'in 1.eşitliği (3.1) Faraday yasasını tanımlar. Zamanla değişen bir manyetik alan ortamdaki elektrik yüklerin hareket etmesine neden olur ve bu yük hareketi, kapalı dōngüsel bir elektrik alanı meydana getirmektedir (şekil 3.2).



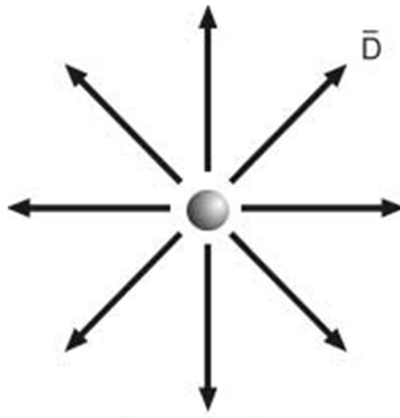
Şekil 3.2 Bir manyetik alan bir elektrik alanı meydana getirir (Annan, 1992)

Maxwell'in 2. eşitliği (3.2) Amper yasasını tanımlar. Bir elektrik akımının uzayda bir manyetik alanın vektörel kaynağını oluşturduğunu ve oluşan bu manyetik alanın bölgedeki iletkenlik (yük akışı) ve elektrik yüklerinin zamanla yer değiştirmesinden kaynaklanan toplam akıma orantılı olduğunu ifade eden Amper Kanununun matematiksel ifadesidir. Bunun fiziksel olarak en basit örneği, iletken bir çubuktan geçen elektrik akımının etrafında oluşan manyetik alan ve bu manyetik alanın varlığını ispat eden telin etrafındaki kağıt düzleminde manyetik alanın şeklini alan demir tozlarıdır (Şekil 3.3).



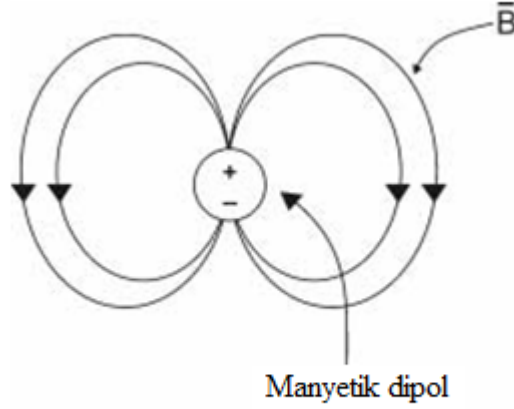
Şekil 3.3 Bir elektrik akımı bir manyetik alan meydana getirir (Annan, 1992).

Maxwell'in 3. Eşitliği (3.3) Gauss Yasasını ifade etmektedir. Doğada elektrik alanın iki kaynağı bulunmaktadır. Elektrik alanın skaler kaynağı, ya maddeler içerisindeki serbest elektrik yük yoğunluğu ya da elektrik alanın noktasal yüklerde sonlanması ile oluşur ki, bu Gauss Yasası olarak bilinir. Bir diğer elektrik alan kaynağı olan indükleme olgusu meydana geldiğinde, elektrik yükleri salınım yaparak zamanla değişim gösteren elektrik alanları (yani yüklerin hareketlenmesi) ile kapalı döngü şeklinde oluşturur. Genelde zamanla değişen sinyaller bu iki farklı kaynaktan ortaya çıkan elektrik alanının toplamından oluşur (Şekil 3.4).



Şekil 3.4 Kapalı bir yüzeydeki elektrik alan akışının, bu yüzey etrafından çevrelenmiş olan hacimde bulunan net yük ile orantılıdır (Annan, 1992).

Maxwell'in 4. Eşitliği (3.4) doğada manyetik alan, elektrik yüklerinin hareketlenmesiyle oluşan akım akışı sayesinde oluşur. Bu nedenle, manyetik alanlar sadece bu eşitlikte ifade edilen kapalı döngüde oluşacaktır ve manyetik alanın skaler kaynağı yoktur. Bu durumda herhangi bir kapalı yüzeyde oluşan manyetik alanın akısı sıfırdır (Şekil 3.5).



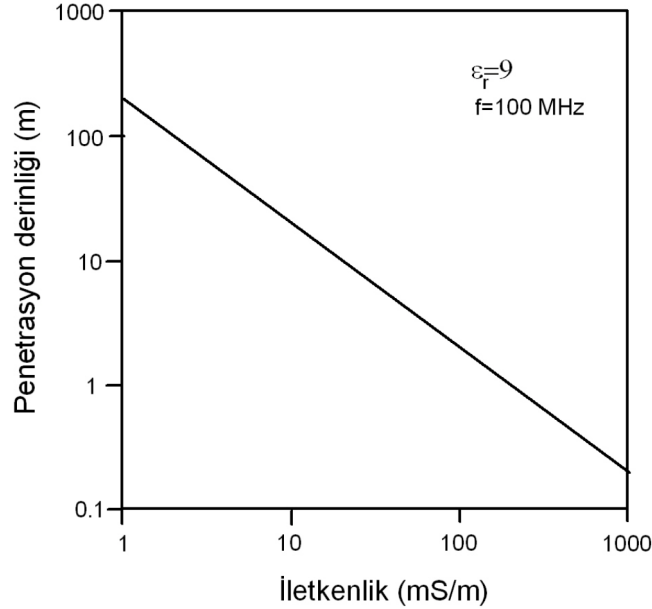
Şekil 3.5 Kapalı bir yüzeydeki manyetik alan akışının sıfır olduğu ve dolayısıyla manyetik yüklerin var olmadığını belirtir (Annan,1992).

3.1.4 Penetrasyon derinliği

GPR yansımalarını oluşturan ara yüzeylerin sayısı ve her ara yüzeydeki dielektrik farklılık, yer içinde seyahat eden sinyalin sönümlenme oranı ve kullanılan antenin merkez frekansı ile yer radarının yeraltını görüntüleyebilme yeteneğinin yanı sıra, yer içinde ilerleyen radar dalgalarının penetrasyon derinliğini de etkiler. Radar dalgaları her bir ara yüzeye ulaştığında, dalgaların bir kısmı yüzeye geri dönerken, geri kalan kısım daha derindeki katman ya da katmanların içlerine doğru ilerlemeye devam edebilir. Ara yüzeylerin sayısı arttıkça, derinlere doğru yayılım gösteren enerji miktarında azalma meydana gelir. Özellikle çökel tabakalardaki dielektrik farklılıklar, karmaşık yansımalar oluşturulabilir. İlgilenilen yansımalar bu karmaşık yapı nedeniyle maskelenebilir ve bunun sonucunda araştırma derinliği azalabilir (Moorman, 2001).

Elektromanyetik enerjinin yayıldığı ortamın elektrik iletkenliği arttığında, enerji çok hızlı şekilde sönümlenir ve bu nedenle elektromanyetik enerjinin penetrasyon

derinliği azalır. Bu yüzden, GPR sinyalinin içerisinden geçtiği maddenin iletkenliği sinyalin nufüz edeceği derinlik üzerinde büyük bir etkiye sahiptir (Moorman, 2001). Enerjinin penetrasyonu ile elektrik iletkenlik arasındaki ilişki Şekil 3.6'da verilmiştir. Őekilden görüldüğü gibi, ortamın iletkenliğinin artması radar dalgalarının penetrasyon derinliğini çok hızlı bir biçimde azaltmaktadır.



Şekil 3.6 Elektromanyetik enerjinin yayıldığı ortamın elektrik iletkenliği ile enerjinin penetrasyon derinliği ilişkisi (Moorman, 2001).

Kullanılan antenin frekansı, penetrasyon derinliğini etkileyen bir diğer önemli faktördür (izelge 3.2). Daha düşük merkez-frekanslı antenler daha uzun dalga boylu sinyaller üretir. Bunun sonucu olarak iletkenlik kayıpları ve ortamda bulunan küçük boyutlu yapılardan kaynaklanan saçılmanın azalması nedeniyle, daha az sönümlenme gerçekleşir. Dolayısıyla, radar dalgaları yerin daha derin kısımlarına ulaŐabilir. Ancak düşük frekanslı dalga boyları kullanmanın en büyük dezavantajları, yeraltındaki küçük nesnelerin belirlenememesi ve ince tabaka kalınlıklarının ölçülememesinin yanı sıra, çalıŐılan anten boyutlarının artmasıdır. Bu durum, yeraltının çözünürlüğünü azaltır ve alanda pratik Şekilde çalıŐmayı zorlaŐtırır (Conyers ve Goodman, 1997).

Eğer d derinlik çözünürlüğü alınırsa uygun frekans;

$$f = 150/d\sqrt{\epsilon} \text{ MHz} \quad (3.5)$$

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

$$D_x = 75/f\sqrt{\epsilon} \text{ (m)} \quad (3.6)$$

ile verilebilir. Diğer bir yaklaşımla her iki işlemde D_x in en fazla araştırma derinliğinin $\frac{1}{8}$ i kadar veya daha az olması gerektiği görülebilir. Anten dizilimleri genelde yan yana olarak yapılmasına rağmen uygulamada uç uca konularak da kullanılmaktadır. Jeolojik uzanımın bilinmesi durumlarında antenler yapıya paralel olarak tutulmalıdır. Uygulamalarda anten aralığı (D_{anten}) araştırma derinliğinin $\frac{1}{5}$ veya daha azı alındığında iyi sonuç verdiği görülmüştür. Derinliğe bağlı olarak amprik bağıntı ise

$$D_{\text{anten}} = (2 \text{ derinlik})/\sqrt{(\epsilon - 1)} \text{ (m)} \quad (3.7)$$

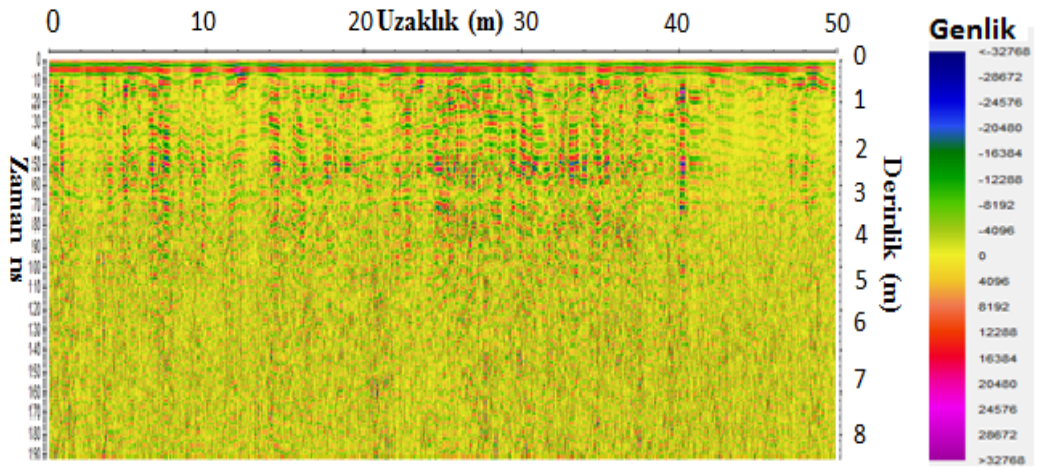
ile verilir. Örnekleme frekansının seçiminde örnekleme kuramı göz önünde tutulmalıdır. GPR da kullanılan en yüksek frekans merkezi frekansın 1.5 katı olduğuna göre örnekleme aralığı merkezi frekansın en az 3 katı olmalıdır. Sağlıklı ölçüm için 2 katsayısının da kullanımı önerilir (Öğretmen, 2012).

Çizelge 3.2 Frekansa bağlı penetrasyon derinliği(Anonim,2012a)

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

3.1.5 GPR verilerinin işlenmesi

GPR ham kesitleri ile yeraltının yorumunu yapmak bir hayli zordur (Şekil 3.7). Bundan ötürü ham veriler; yoruma hazır hale getirilinceye kadar amaca yönelik olarak bazı veri işlem aşamalarından geçirilmektedirler. Bir verinin akış şeması Annan (2001) tarafından verilmiştir (Şekil 3.8).



Şekil 3.7 Çalışma alanı ham GPR kesiti



Şekil 3.8 GPR verisi akış şeması (Annan, 2001).

3.1.5.1 Alınan GPR verilerinin işlenmesi

250 MHz'lik antenle alınan ölçümde kullanılan parametreler Çizelge 3.3'de verilmiştir.

Çizelge 3.3 GPR ile iki farklı merkez frekansla ölçüm yapılırken kullanılan parametreler

Anten frekansı	250 MHz
Örnek Sayısı	475
Yığıma Sayısı	16
Ölçüm Aralığı (m)	0.05

Veri düzenleme işlemleri Reflexw 6.0 programıyla yapılarak 2B görüntüler elde edilmiştir.

Uygulanan veri işlem aşamaları sırasıyla;

- Profil yönlerini düzenleme
- Çok alçak frekanslı olayların kaldırılması (Dewow işlemi)
- Band geçişli Butterworth süzgeç fonksiyonu ile gürültü olarak görülen alçak ve yüksek frekanslı olayların kaldırılması

- Genlik kazanç işlemi

Bu işlemler toprak tabakalarını görüntülemek için yeterli işlem aşamalarıdır. Ancak jips yapılarını daha iyi belirlemek amacıyla ek olarak

- Verideki ortak genlik bilgisinin kaldırılması (background removal) işlemi
- Gerektiğinde veriye ikinci kez band aralığı belirleyerek süzgeçleme yapılması ile hız belirleme)
- Saçılmış genlikleri düzenleme amaçlı "diffraction stack" göç işlemi uygulanmıştır.

3.1.5.1.1 Dewow (Düşük Frekansların Giderilmesi)

Bu işlem, ilk DC sinyali bileşeninin kaldırılmasıdır veya DC etkisinin ve sonraki 'wow' etkisinin veya verideki düşük-frekanslı sinyal etkisinin giderilmesidir. 'Wow' etkisine, kaydedilen sinyalde ilk gelenlerin neden olduğu aşırılaşma veya doygunluk etkileri neden olmaktadır ve sinyalden DC etkisinin atılmasını gerektirir. Ayrıca daha etkin düzeltme için alçak-geçişli veya medyan süzgeçlemesi de kullanılabilir. Dewow veriyi ortalama-sıfır seviyesine indirgemede önemli bir adımdır ve bu yüzden, kayıt edilmiş izlerde kullanılmak üzere pozitif-negatif renk dolgusuna izin vermektedir. Bu işlem yanlış uygulandığında veri, tüm izin spektrumunu bozan azalan alçak-frekans bileşenine sahip olacaktır. Bu da sonraki spektral veri-işleme süreçlerini örneğin kesitin doğal görünümünü etkileyebilir. Neyse ki çoğu modern GPR sistemleri şimdilerde her ize otomatik olarak Dewow en uygun durumlara ayarlı filtre parametreleriyle uygulamaktadır. Otomatik olmadan dewow düzeltilmesi gerekli ise, ilk olarak 'DC çıkarma' uygulanabilir sonrasında ise kısa bir filtreleme penceresi ile ortalama filtre (uygulanır ve/veya kaydın bant genişliğinin altında bir kesme frekansı ile alçak geçişli bir filtre uygulanır (Öğretmen, 2012).

3.1.5.1.2 Kazanç fonksiyonu

Kazanç, GPR kesitlerinin görünür lülüğünü geliştirmektedir ve çoğu teknik veri yapısını bir şekilde değiştirmektedir (örneğin, bağıl genlikler ve/veya faz ilişkileri değişir). Bu yüzden, kazanç fonksiyonlarının etkilerinin önemi uygulanmasından önce anlaşılmalı ve veri yorumlanırken dikkat edilmelidir. Geometrik açılım ve sinyal soğrulmasının etkisine bağlı olarak sonraki varışların görünümünü kuvvetlendirmede geçici kazanç fonksiyonları gereklidir (Öğretmen, 2012)

3.1.5.1.3 Background removal

Ringin etkisi, GPR verilerinde uyumlu gürültünün genel tiplerindedir. Bu tarz bir uyumlu gürültü kuvvetli ise ve uygunca atılmamış ise, derin yapılar tamamen örtülebilir. Ringing, hemen hemen yanal ve periyodik olaylar olarak görülür ki buda veri işlem ile gürültünün atılmasına olanak sağlayan en önemli özelliklerdir. GPR verisi şiddetli ringing gürültüsüne maruz kaldığında, araştırma derinliği daha da sığlaşır çünkü kuvvetli ringing derinden gelen zayıf yansımaları maskeleymektedir. Bu işlem yüksek geçişli süzgeçler kullanılarak yapılmaktadır. Bu izlerin uzaklaştırılması ile yeraltından gelen yansımaların daha görünür hale gelmesi sağlanmaktadır (Öğretmen, 2012)

3.1.5.1.4 Göç işlemi (migrasyon)

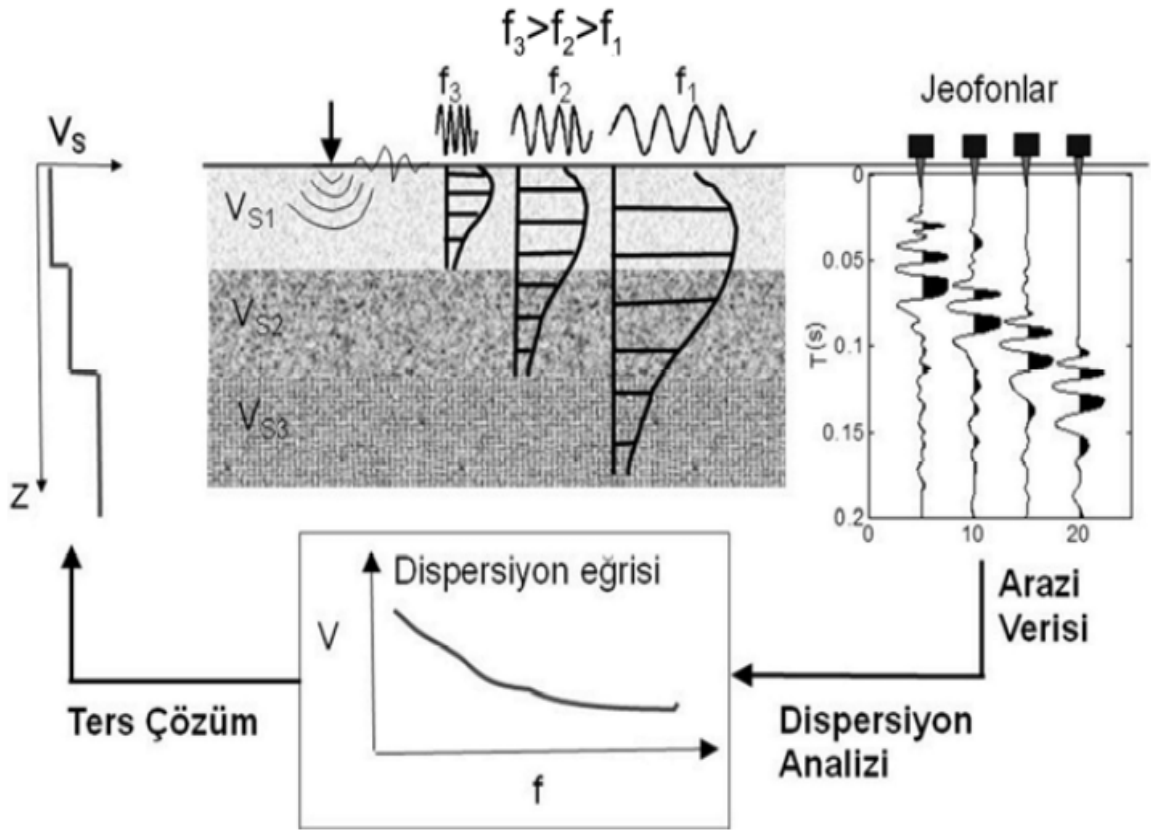
Saçılmış genlikleri düzenleme amaçlı göç işlemi uygulanır Bu bize yer altının yorumlanmasında daha iyi yer tespitlerinin yapılmasında ve yapının daha belirgin bir şekilde tespit edilmesine yardımcı olur.

3.2 Çok Kanallı Yüzeysel Dalgası Analizi (MASW)

MASW, yüzeysel dalgasının spektral analizi (SASW)'nin çok kanallı uzantısıdır. MASW' de dizilim sistemi ve veri toplanması klasik sismik yansımada kullanılan ortak yansıma noktasında (OYN) kullanılan ile aynıdır. Yani kaynak- jeofon aralıkları sabit olacak şekilde kaynak ve dizilimdeki tüm jeofonlar aynı anda kaydırılarak ölçü alınır. Offset uzaklığı ve serim uzunluğu hedeflenen derinliğe göre seçilir. Yüzeysel dalgaları için elde edilen veriler genel olarak 4-64 Hz gibi geniş bantlıdır. Ölçü profili boyunca birçok noktadan alınan S dalgası hızı derinlik grafikleri birleştirilir ve S dalgası hızı iki boyutlu kesiti elde edilir. Öncelikle geniş bantlı yüzeysel dalgaları S dalgası profilinin sağlıklı saptanabilmesi için minimum gürültülü olarak elde edilmesi ve kaydedilmesi zorunludur. MASW ile yüzeysel dalgalarının analizi bu gereksinimi sağlar. Veri toplama esnasında yüzeysel dalgalarının sinyal gürültü oranı en yüksek seviyede olması etkin olarak kontrol edilebilir. Diğer yandan geniş alanların sürekli bir şekilde araştırılmasını sağladığı gibi veri işleminde esnekliğe sahiptir.

MASW yönteminde işlem adımları (Şekil 3.9)'da gösterilmiştir. Aktif kaynaklı yüzeysel dalgası çalışmaları üç temel aşamada gerçekleştirilir. Bu aşamalar; veri toplama,

dispersiyon eğrisinin elde edilmesi ve ters çözüm işlemiyle S dalgasının dağılımının belirlenmesidir. Veri toplamada kullanılan arazi düzeni ve ölçü alımı, sismik kırılma yöntemiyle benzerlik gösterir. Kullanılan serim uzunluğu, kayıt edilebilecek en büyük dalga boyu ile ilişkili olduğundan araştırma derinliğini belirler. Jeofon aralığı, kayıt edilebilecek en küçük dalga boyu ile ilişkilidir. Bu nedenle, jeofon aralığı doğrudan sığ araştırma derinliğinin çözünürlüğünü etkileyen bir değişkendir. Uygulamada yaygın olarak, doğrusal dizilim ve eşit jeofon aralığı kullanılır. Bununla birlikte, jeofon arası mesafenin eşit alınmaması ve jeofonların artan mesafeyle dizilmesi, dispersiyon görüntüsü çözünürlüğünü artırır (Dikmen vd., 2009)



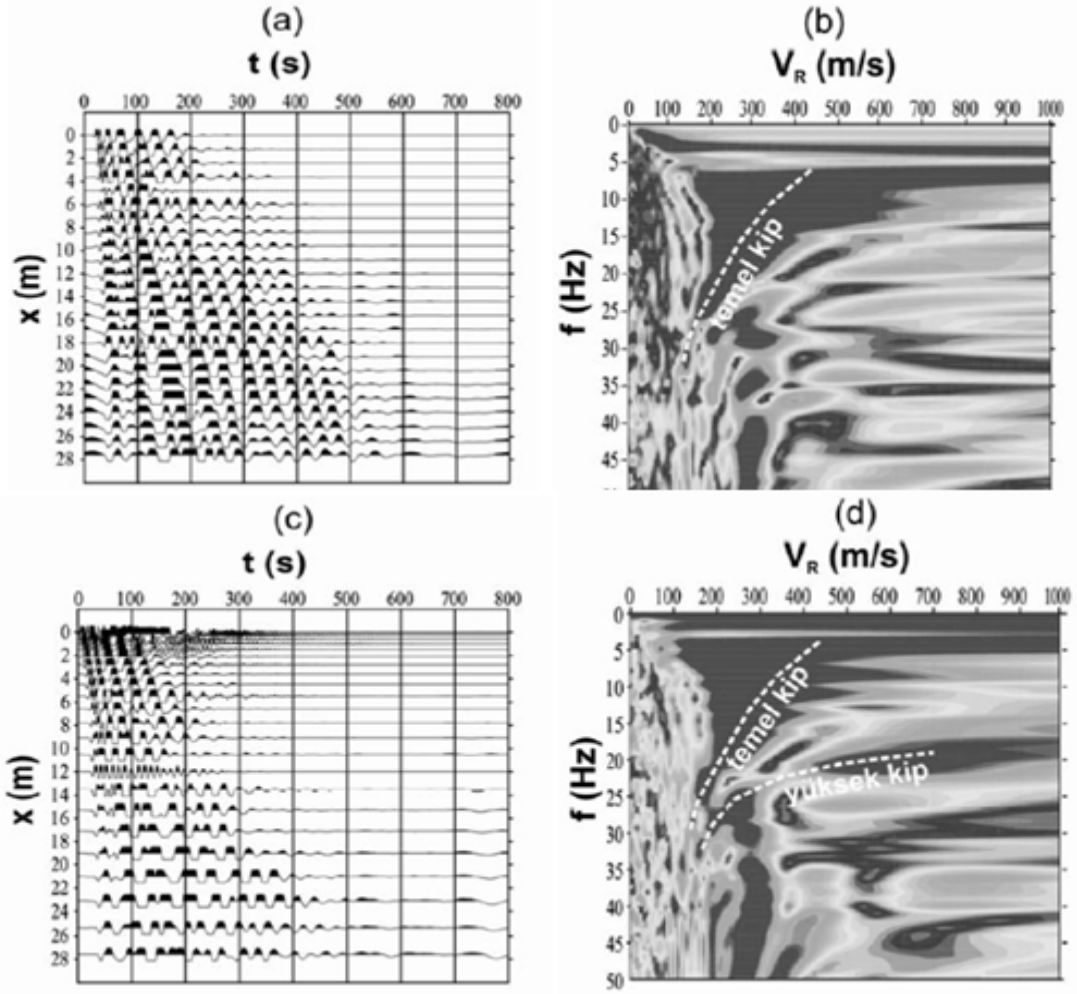
Şekil 3.9 MASW yönteminde temel işlem adımları (Dikmen vd., 2009)

Şekil (3.10a)' da sabit jeofon aralıklı bir dizilimde elde edilen MASW kaydı, (Şekil 3.10b)'de ise Şekil (3.10a) kaydında hesaplanan dispersiyon görüntüsü verilmiştir. Benzer şekilde, (Şekil 3.10c)'de artan jeofon aralıklarıyla elde edilen MASW kaydı ile (Şekil 3.10d)'de (Şekil 3.10c)'deki kayıttan hesaplanan dispersiyon görüntüsü verilmiştir. Benzer şekilde, (Şekil 3.10c)'de artan jeofon aralıklarıyla elde

edilen MASW kaydı ile (Şekil 3.10d)'de (Şekil 3.10c)'deki kayıttan hesaplanan dispersiyon görüntüsü verilmiştir. (Şekil 3.10b) ve (Şekil 3.10d)'de verilen dispersiyon görüntüleri karşılaştırıldığında, artan jeofon aralıklarıyla elde edilen MASW kaydına ilişkin dispersiyon görüntüsünde temel kip yanında yüksek kip seçebilmektedir. MASW yönteminde kaynak olarak balyoz, çekiç, patlatma veya ağırlık düşürme gibi geçici enerji üreten kaynaklar kullanılır. Bu tür kaynaklar, hızlı veri toplama sağlarken, frekans içeriğinin çoğu durumda zayıf olmasından dolayı sınırlı çalışma olanağı sağlar. Belirli frekans aralığında harmonik dalga üretici kaynaklar geçici kaynaklara göre özellikle düşük frekanslarda daha iyi enerji oluşturur. Veri toplamada, genel olarak 1-2 ms örnekleme aralığı kullanılarak 1 s süresince veri toplaması, S dalgası hızı değişiminin belirlenmesi için yeterlidir.

Gerek aktif kaynaklı, gerekse pasif kaynaklı yüzey dalgası yöntemlerinde dispersiyon eğrisinin belirlenmesi için farklı sayısal yöntemler geliştirilmiştir. Gelişen bu sayısal yöntemlerin tamamı, zaman-uzaklık (t,x) ortamında elde edilen verinin spektral özelliklerinin belirlenmesine dayanır. Kullanılan sayısal yöntemler arasında frekans-dalga sayısı (f-k), kesişme zamanı- yavaşlık (t-p), faz kaydırma veya uzaysal öz ilişki (SPAC) dönüşümleri yaygın kullanılan yöntemlerdir (Okada,2003; Park vd.,2004).

Her bir tabakanın kalınlığı, yoğunluğu, P ve S-dalgası hız değerlerinin tanımlandığı bir yeraltı modeli için yeryüzündeki alıcı noktalarında kurumsal yüzey dalgası hesaplanarak, dispersiyon eğrisi belirlenir. Kurumsal dispersiyon eğrisinin sayısal hesaplanmasında Thomson- Haskell yöntemi (Thomson, 1950; Haskell, 1953) veya bu yöntemi esas olarak geliştirilen sıklık dizeyi yöntemi (Kausel ve Roësset, 1981), ya da sonlu farklar (Hossian ve Drnevich, 1989), Green fonksiyonları (Hisada,1985) gibi sayısal çözüm yöntemleri kullanılır. Ters-çözüm işlemi için en küçük kareler yöntemi tabanlı algoritmaların (Calderon-Macias vd., 2000) yanısına genetik algoritma ve yapay sinir ağları (Santamarina ve Fratta, 1998), Monte Carlo yöntemi (Scales ve Tenorio, 2001) kullanılan diğer algoritmalar vardır.

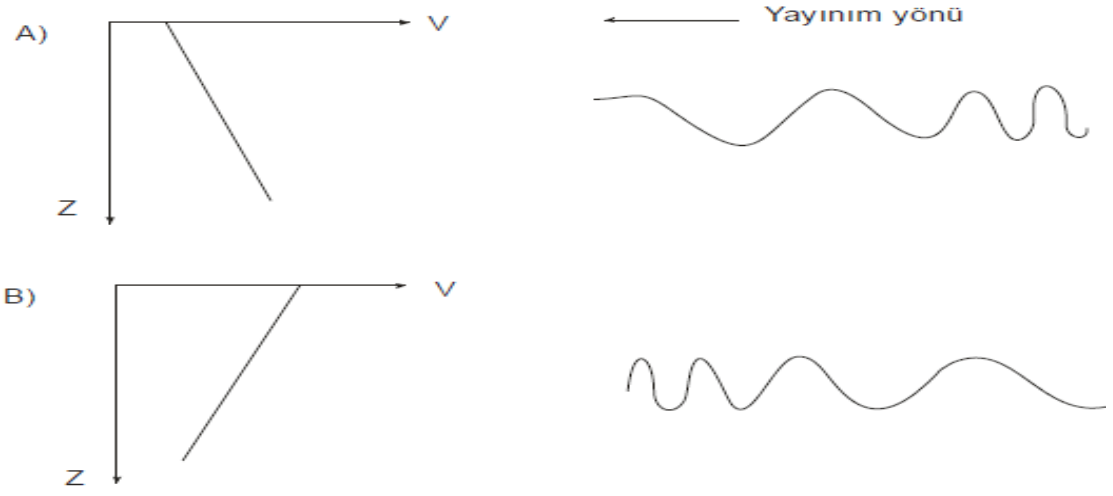


Şekil 3.10 Jeofon aralıkları farklı iki MASW kaydı ve dispersiyon görüntüsü: (a) Sabit jeofon aralığı, (b) Dispersiyon görüntüsü, (c) Artan jeofon aralığı, (d) Dispersiyon görüntüsü (Dikmen vd., 2009)

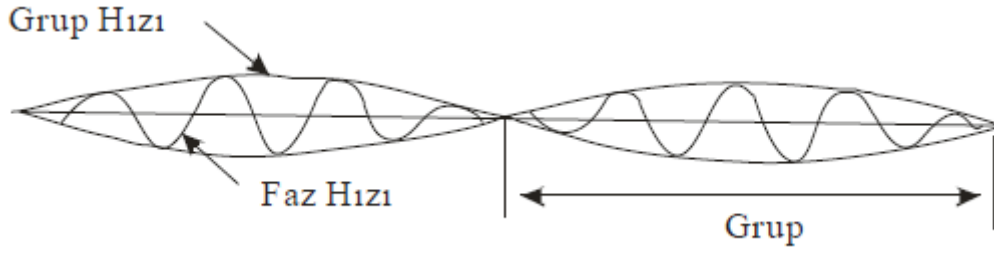
3.2.1 Dispersiyon, faz hızı ve grup hızı

Yüzey dalgalarının en önemli fiziksel özelliği dispersiyon göstermeleridir. Dispersiyon, hızlarının genellikle derinlikle arttığı yerkürenin üst kısımlarındaki tabakalanmaya dayanmaktadır. Hızın sürekli olarak derinlikle arttığı kabul edilirse, daha uzun dalga boyuna sahip dalgalar daha hızlı yayılmaktadır. Bu olay normal dispersiyon olarak adlandırılır. Ters durumda yani kısa dalga boylu dalgaların daha önce ulaşması durumuna ise ters dispersiyon adı verilmektedir (Şekil 3.11). Hız derinlikleri ne kadar çabuk artarsa, farklı periyotlar için yayılım hızı farkı da o kadar büyük olur. Dispersiyon olayının sonucu olarak, yüzey dalgalarının yayılımı için farklı hız ortaya çıkar. Bunlar faz hızı ve grup hızıdır (Şekil 3.12). Faz hızı (c) veya dalga hızı ile belli

bir fazdaki hız kastedilmektedir. Diğer yandan grup hızı (u), bütün bir dalga grubunun yayılım hızıdır. (Bath, 1973).

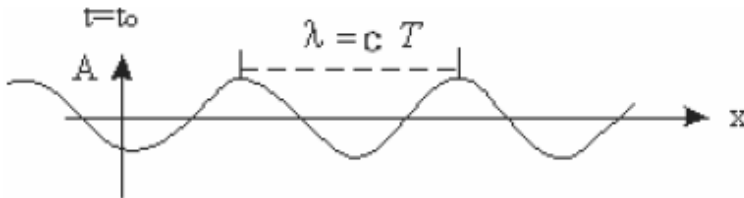


Şekil 3.11 Dispersiyon olayı: A) Normal Dispersiyon, B) Ters Dispersiyon (Bath,1973)



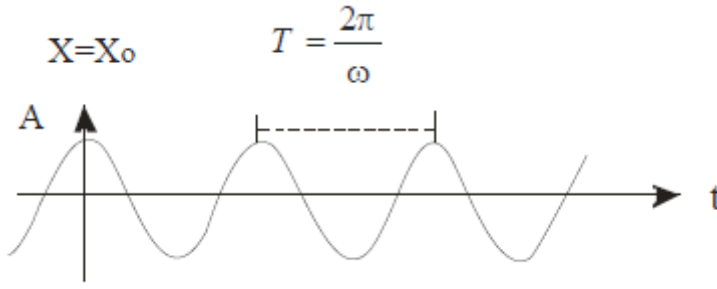
Şekil 3.12 Grup hızı ve Faz hızı (Osmansahin.,1989)

Faz hızıyla periyot bize dalga boyunu vermektedir (Şekil 3.13).



Şekil 3.13 Dalga Boyu (Lay ve Wallece, 1995)

ω Açısal frekans dalğanın periyoduna bağlıdır (Sekil 3.14).



Şekil 3.14 Dalga Periyodu (Lay ve Wallece, 1995)

Periyot, frekans, dalga boyu, dalga sayısı ve faz hızının birbirleriyle ilişkileri aşağıda verilmiştir.

$$T = 1 / f = 2\pi / \omega$$

$$f = \omega / 2\pi = c / \lambda$$

$$\lambda = cT = 2\pi / k$$

$$k = 2\pi / \lambda = \omega / c$$

$$c = \omega / k = f\lambda$$

ω : açısal frekans,

k : dalga sayısı

c : dalga fazının hızı,

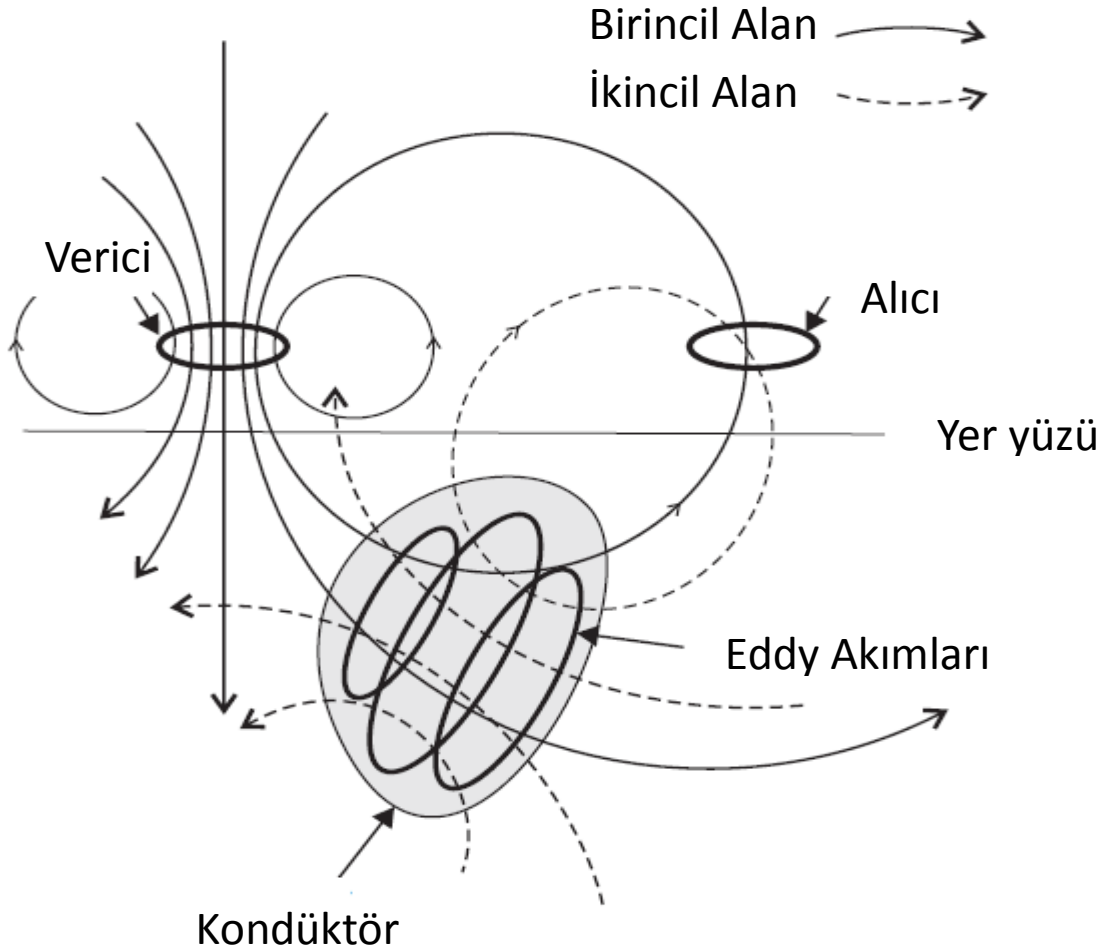
T : periyot,

λ : dalga boyu

f : frekans'tır (Lay ve Wallece,1995).

3.3 EM İletkenlik Yöntemi

EM iletkenlik topraktaki elektrik akımının iletimini ölçer. Birimi Siemens (S) olup Ohm'un tersidir (Bevan, 1983). Elektromanyetik metot esas alınarak elektromanyetik dalganın manyetik bileşeni tarafından elektrik akımının indüksiyonu toprak içerisinde oluşturulur. Alternatif akım değişken frekanslı verici bir bobin aracılığıyla aktarılır. Bu işlem birincil manyetik alanı meydana getirir. Böylece yere çok küçük eddy akımları indüklenir. Bu akımın büyüklüğü bobinin çevresindeki yerin iletkenliği ile doğrudan orantılıdır. Bu eddy akımları daha sonra ikincil bir manyetik alan meydana getirir. Birincil ve ikincil manyetik akış ile alıcı bobinler arasındaki etkileşim mS/m olarak ifade edilen yer altının elektrik iletkenliği ile ilişkili bir voltaj meydana getirir (Şekil 3.15)



Şekil 3.15 Yer altının elektrik iletkenliği ile ilişkili elektromanyetik alan oluşumu (Anonim, 2012b)

Farklı zeminler farklı EM iletkenlik ve özdirenç değerlerine sahiptir. Bazı zeminler için EM iletkenlik değerleri Çizelge 3.4' de verilmiştir.

Çizelge 3.4 Bazı topraklar için EM iletkenlik (Bevan, 1998'den değiştirilmiş)

Zemin	İletkenlik mS/m
Kum-Çakıl	0.1-1
Siltli Kum	1-5
Verimli Toprak	5-25
Silt	12.5-25
Kil	25-100
Tuzlu Zemin	100-200

3.3.1 EM iletkenlik yönteminin avantaj ve dezavantajları

EM iletkenlik yönteminin avantajları;

- Kısa zamanda ölçüm alınarak hemen yorumlanma imkanı sağlar.
- Diğer jeofizik tekniklere nazaran her zeminde rahatlıkla uygulanabilir.
- Kuru ve ıslak zeminlerde de uygulanabilir.
- İletkenliğin yanı sıra manyetik duyarlılığı da ölçülebiliriz.

EM iletkenlik yönteminin dezavantajları;

- Metallerle çok duyarlıdır bu yüzden ölçüm yapılan alanda metal olmamasına dikkat edilir.
- Hedefler arasında derinlik ayrımı yapmada güçlüklerle karşılaşılır
- Belli başlı elektromanyetik frekanslardan parazit oluşturabilir.

3.3.2 EM iletkenlik yöntemi kullanım alanları

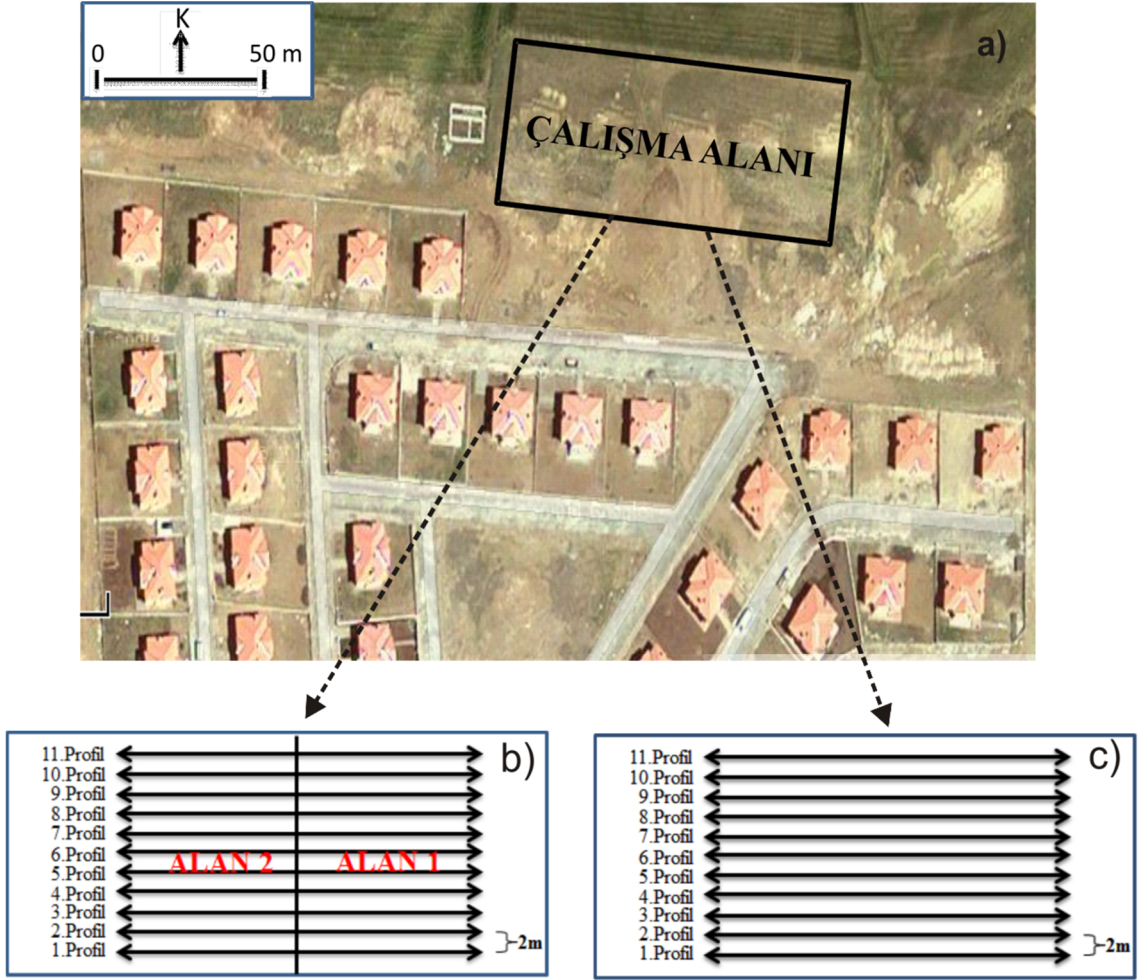
EM iletkenlik yöntemi; jeoloji, mühendislik araştırmaları, tarım ve ormancılık yeraltı suyu kirlenmesinin izlenmesi, arkeoloji metal nesnelerin algılanması, tabaka kalınlıklarının belirlenmesi, gömülü yapıların aranması ve haritalamada su dolu kırıkların ve çatlakların izlenmesinde kullanılır.

3.4 Çalışma Alanı

Sivas kenti ve yakın çevresindeki jipsli bölgeler Şekil 1.1'deki mühendislik jeoloji haritasında gösterilmiş ve çalışma alanı dikdörtgen içine alınarak belirtilmiştir. Tez çalışmamızın amacına yönelik yüzeye yakın jipslerin görülmesi (Şekil 3.16) ve yapılaşmanın devam etmesi nedeniyle Sivas merkezin güney doğusunda yer alan İshan Toki, jeofizik çalışmalarımız için pilot alan seçilmiştir (Şekil 3.17a). Bu pilot alanda jipslerin jeofizik özelliklerini belirleyebilmek amacıyla GPR, EM iletkenlik ve MASW yöntemleri uygulanmıştır. GPR ölçümü, toplamda iki alan olmak üzere Alan 1 için 11 profil ve Alan 2 için 11 profil toplamda 22 profil alınmıştır. Profiller arası 2m alınarak her bir profilin uzunluğu 50 m olarak belirlenmiştir (Şekil 3.17b). GPR ölçümleri Ramac GPR aleti ile 250 MHz korumalı anten kullanılarak alınmıştır (Şekil 3.18). EM iletkenlik ölçümü, bir profilin uzunluğu 100 m ve profiller arası 2 m alınarak toplamda 11 profil alınmıştır (Şekil 3.17c). EM iletkenlik ölçümleri GF Instrument cihazıyla alınmıştır (Şekil 3.19). MASW ölçümü, toplamda 2 profil olmak üzere 3 m aralıklar ile 12 jeofon kullanılarak alınmıştır. MASW ölçümleri Geometrics Smart Seis 12 cihazıyla alınmıştır (Şekil 3.20).



Şekil 3.16 Çalışma Alanında yüzeye yakın jips örneği



Şekil 3.17 a) Çalışma Alanı. b) Alan 1 ve Alan 2 için GPR ölçüm profilleri. c) EM iletkenlik ölçüm profilleri



Şekil 3.18 Ramac GPR cihazı ve çalışma alanından bir görüntü



Şekil 3.19 Gf Instrument EM iletkenlik cihazı ve çalışma alanından bir görüntü

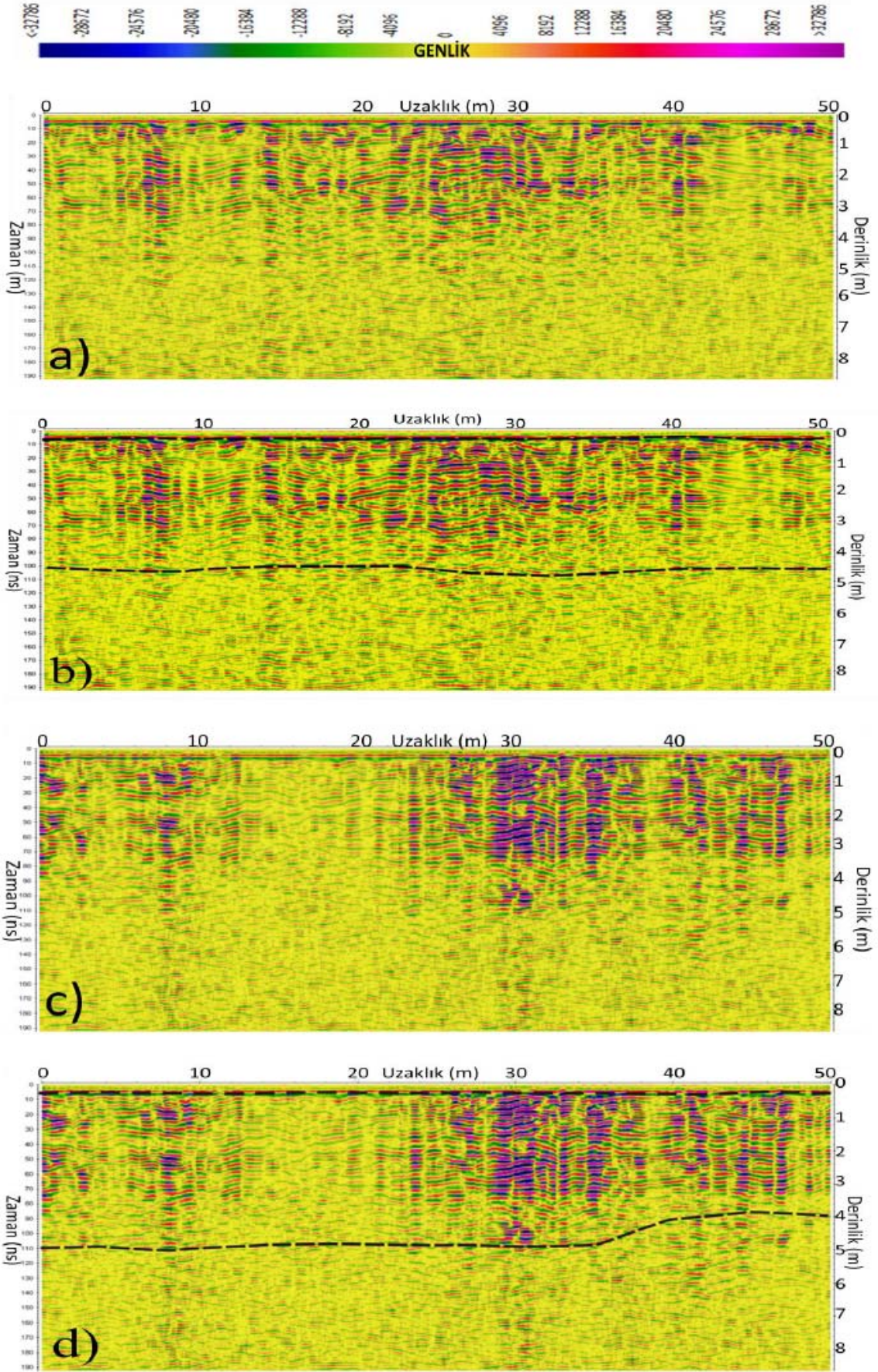


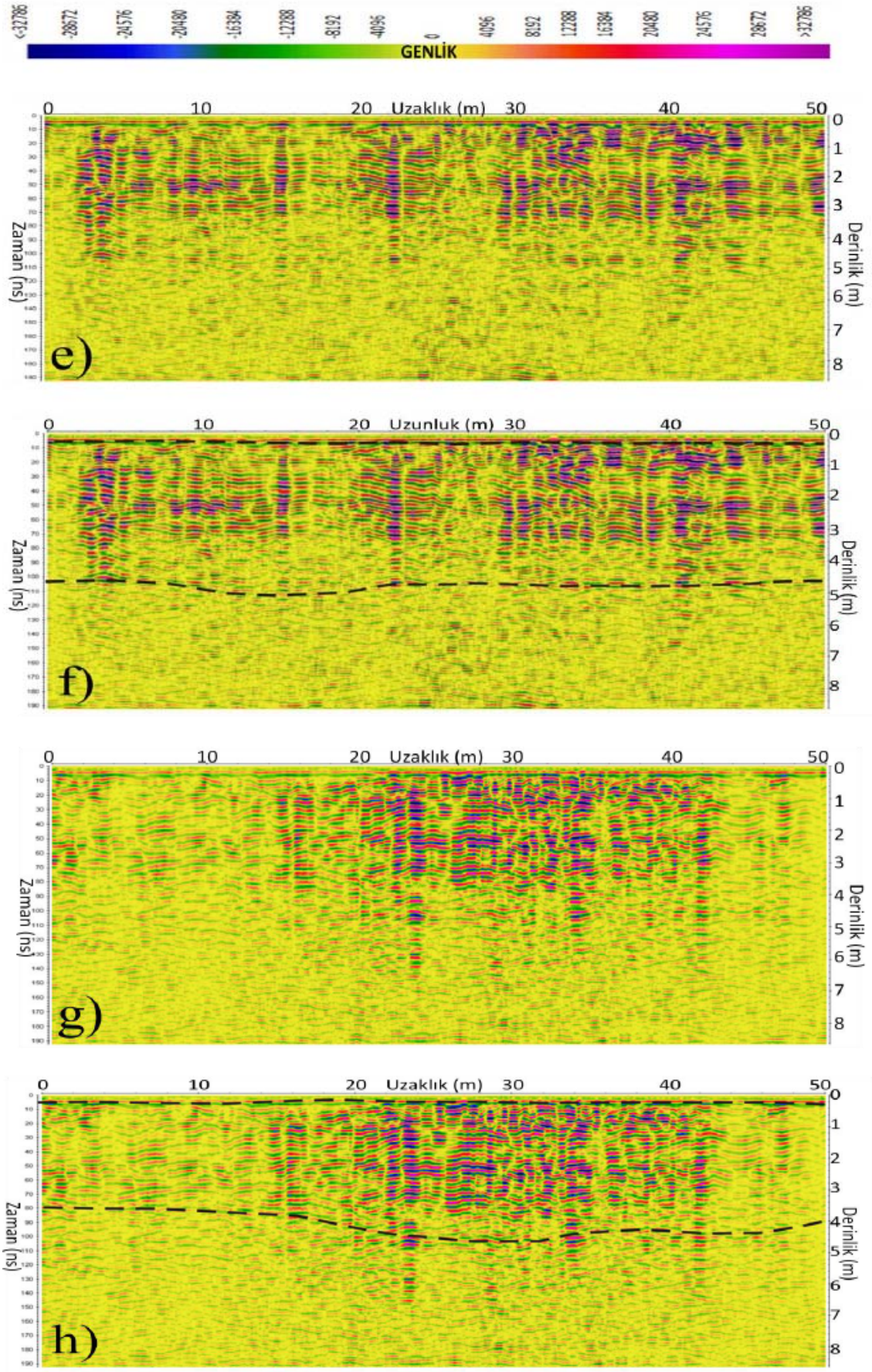
Şekil 3.20 Geometrics Smart Seis 12 MASW cihazı ve çalışma alanından bir görüntü

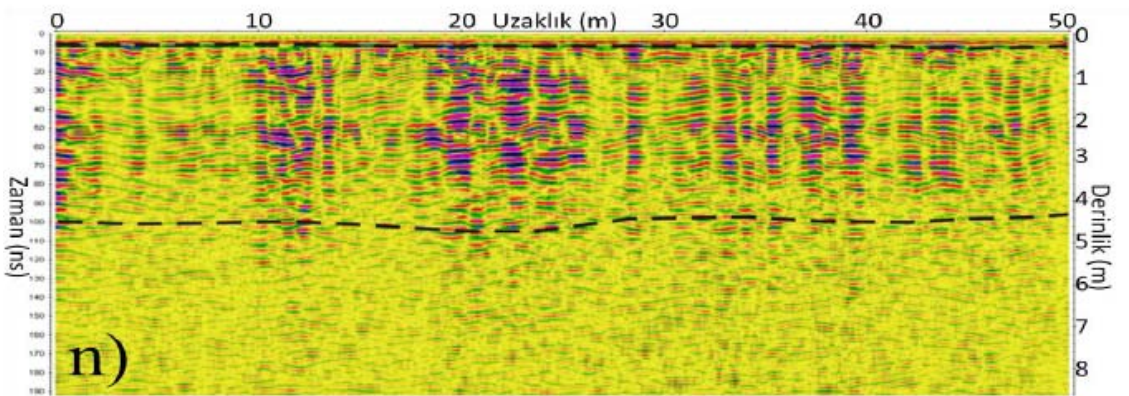
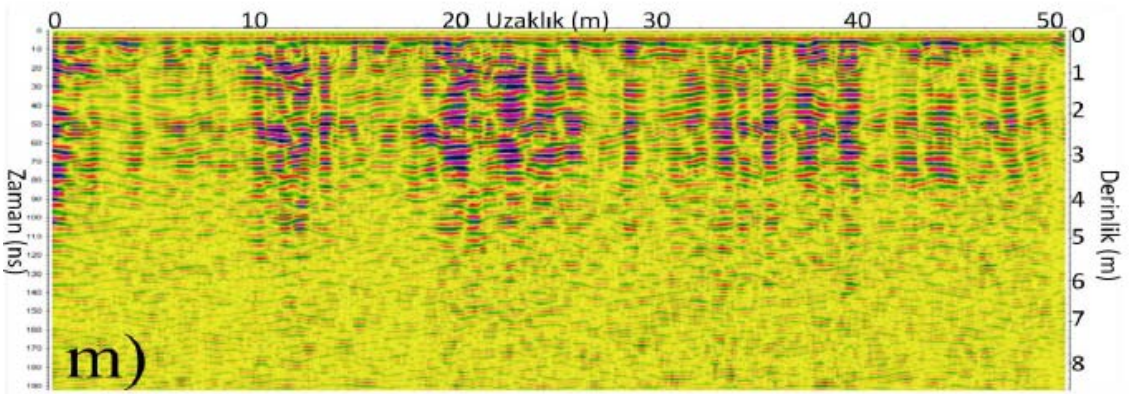
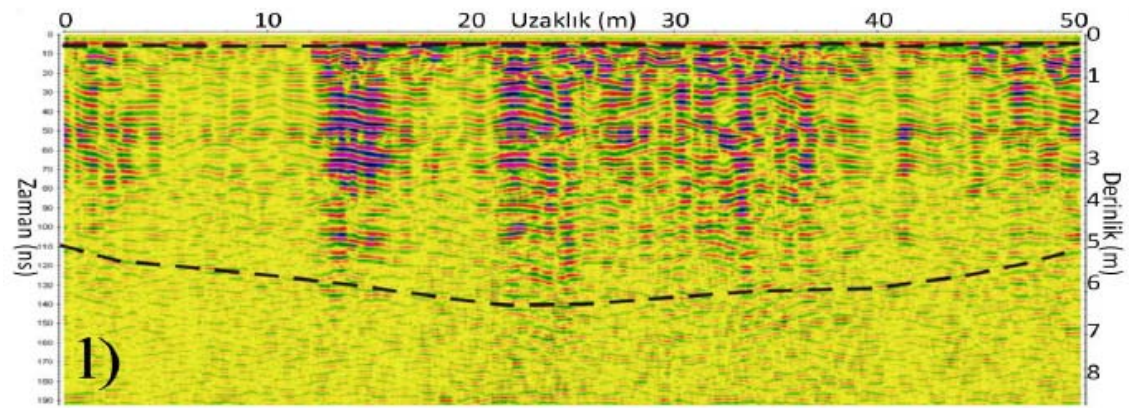
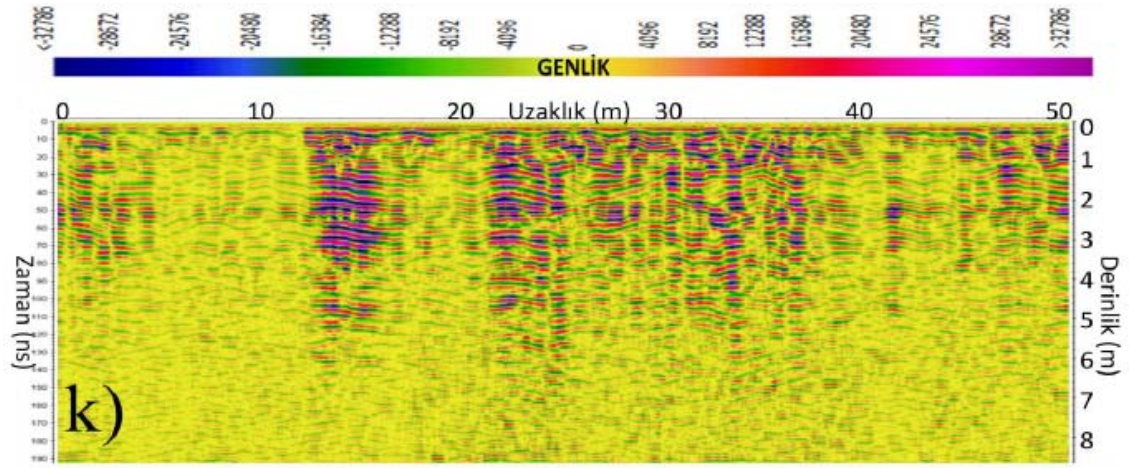
4. BULGULAR

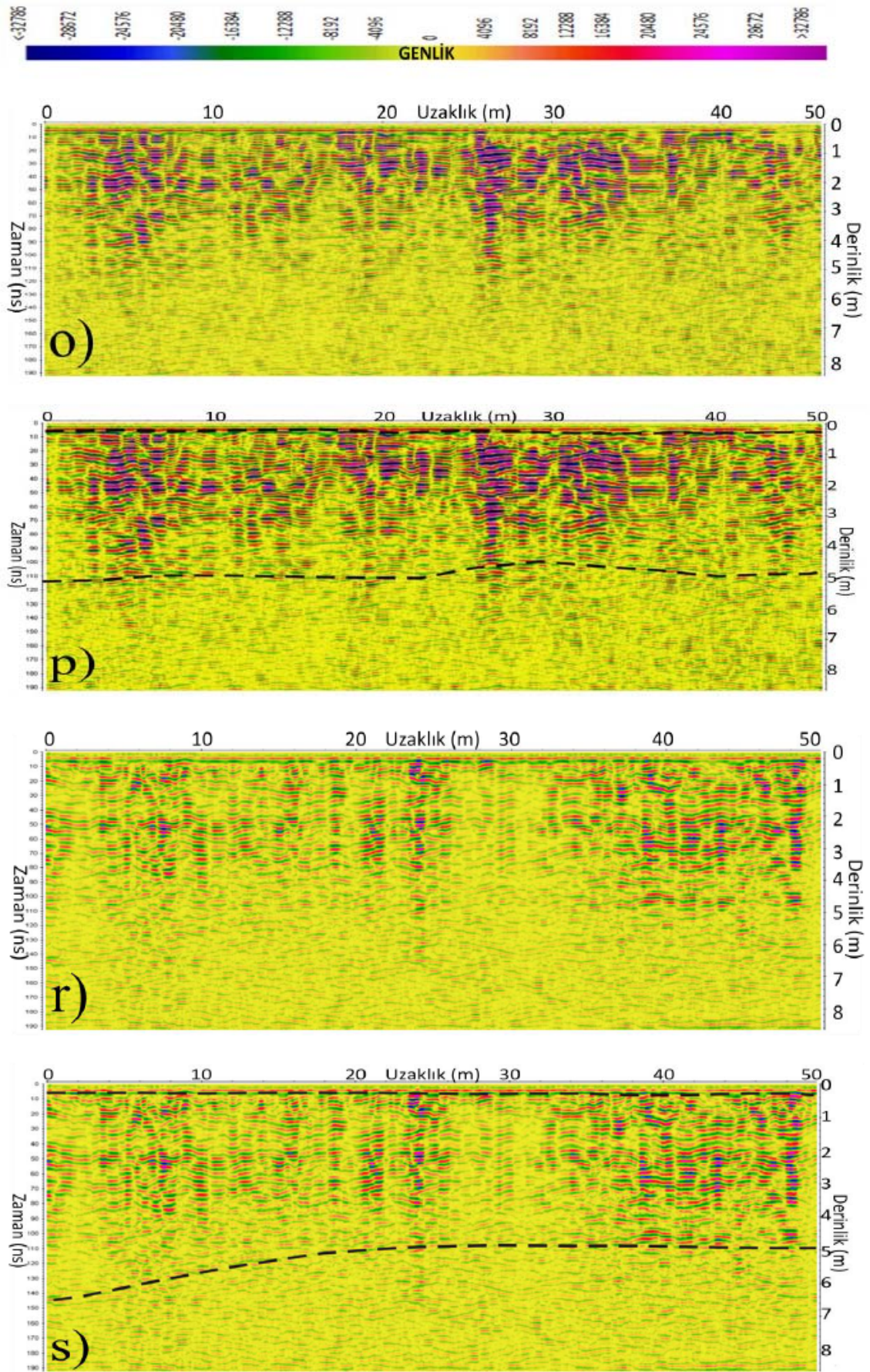
4.1 GPR Verilerinin Yorumlanması

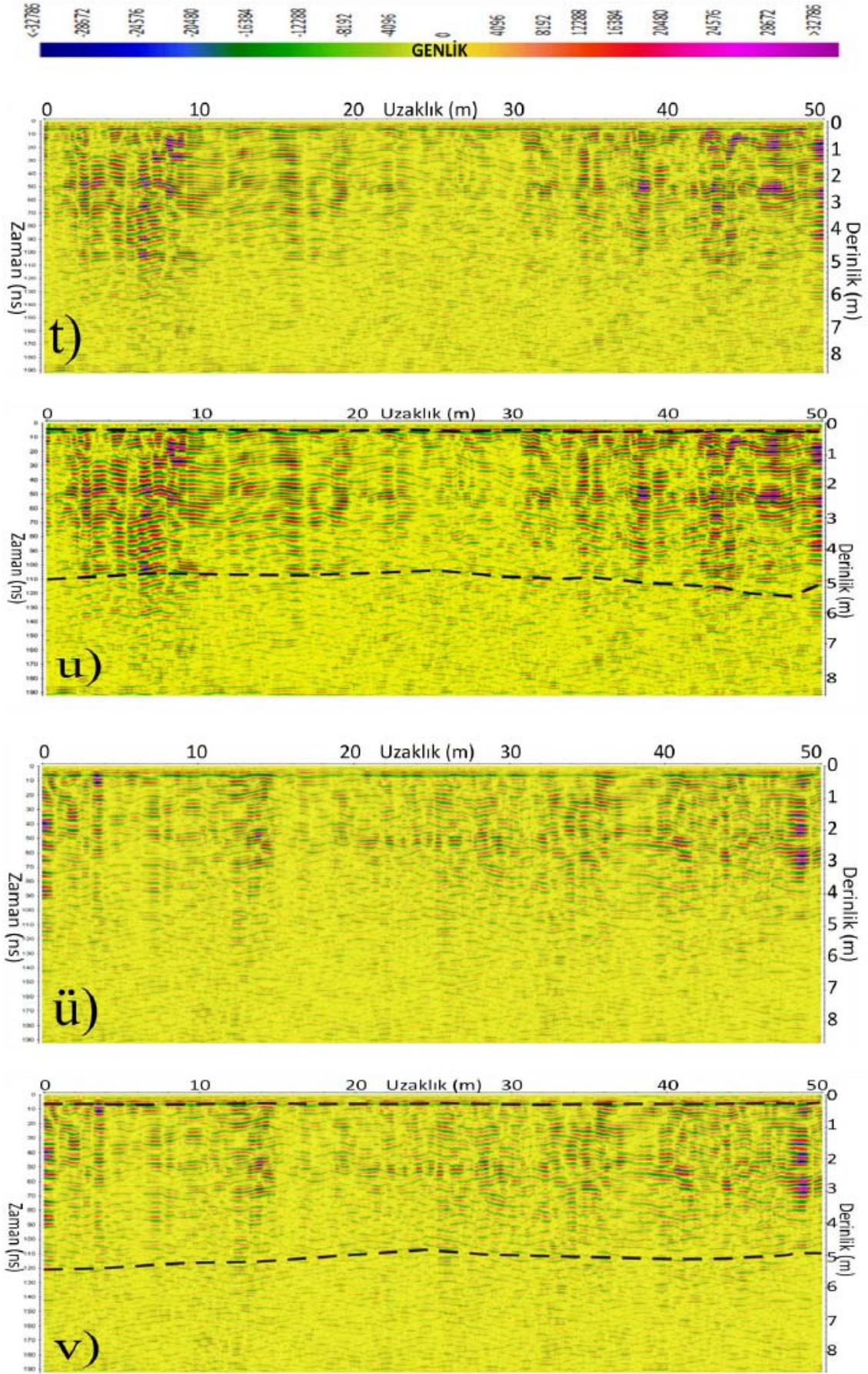
Çalışma sahası Alan 1 ve Alan 2 için ölçüm profilleri Şekil 3.17b'de verilmiştir. Alınan ölçümler ile GPR verilerine gelişmiş veri işlem adımları uygulanarak GPR kesitleri yorumlanmaya hazır hale getirilmiştir. Bu kesitlerde 4-5 m'ye kadar kuvvetli yansımalar alınmıştır. Alınan tabaka ara yüzey yansımalarının neticesinde tabaka sınırları kesik çizgilerle belirtilerek jipslerin bozulma sınırı iki tabaka alan arasında kalan bölge (mavi renk ile anomali veren) olarak belirlenmiştir. Ayrıca jipslerin bulunduğu bölgelerde mavi renkte de görülen yansımalarda jeolojik araştırmalarda masif olarak sunulan jips kütlelerinin homojen olmadıkları, değişik boyut ve konumda dolgu malzemesi (kırıntılı malzeme) içerdiği şeklinde yorumlanmıştır. Çünkü masif bir yapıya sahip bir jips tabakasında bu tip yansımalar elde edilememekte ve sadece tabakanın üst ve alt sınırından gelen yansımalar görülebilmektedir. Tüm GPR profillerinde kesikli çizgi ile gösterilen sınırın altında (ortalama 5m.'nin altı) jipslerin yapısının homojenlik gösterdiği belirlenmiştir. Şekil 4.1'de a-z'ye Alan 1 için GPR kesitlerinin yorumlanmamış ve yorumlanmış halde gösterimi verilmiştir. Şekil 4.2'de Alan 2 için GPR kesitlerinin yorumlanmamış ve yorumlanmış halde gösterimi verilmiştir. Çizelge 4.1'de çalışma sahası Alan 1 ve Alan 2 için radar kesitlerinde görülen bitkisel toprak (m) ve jips tabakasının bozunma sınırı (m) değerlendirme sonuçlarında verilmiştir.

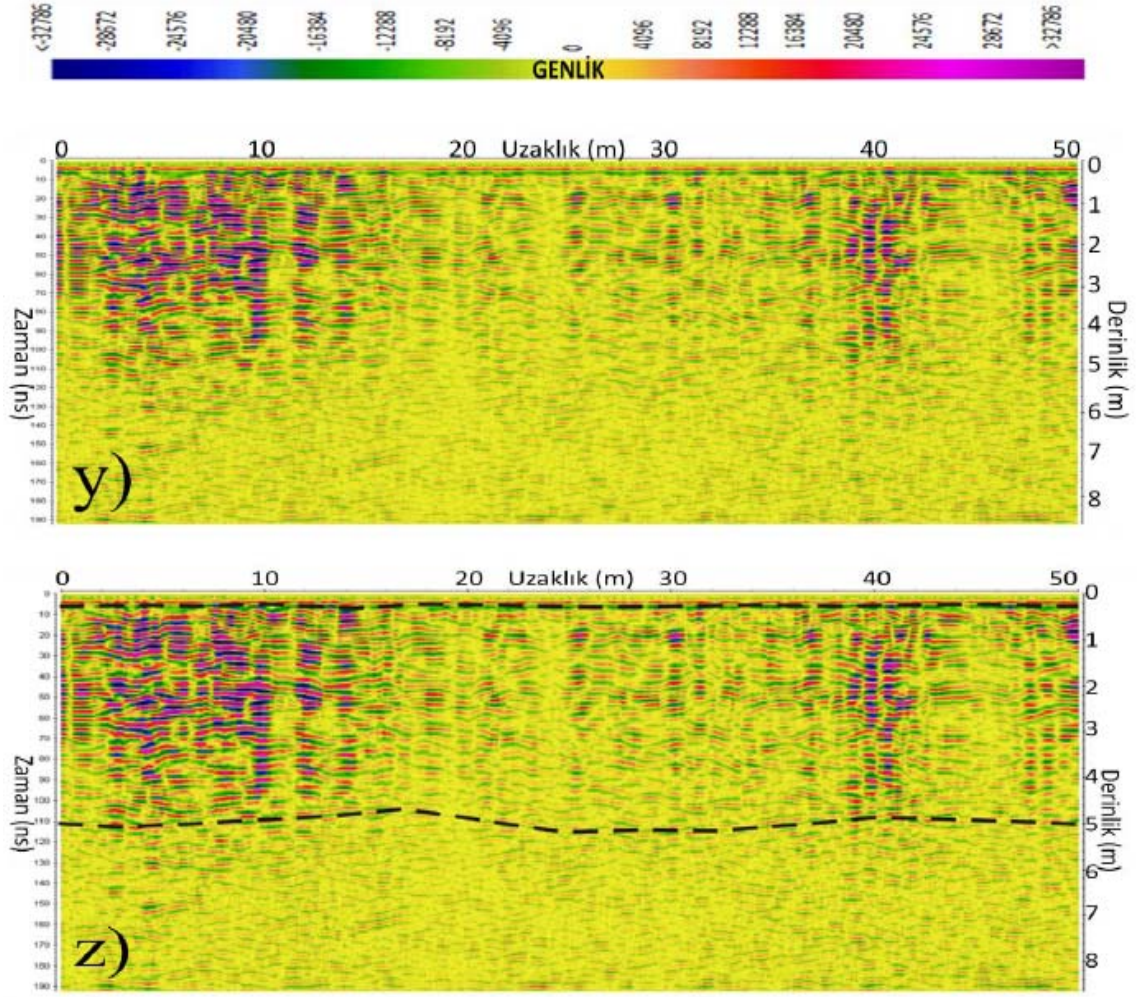




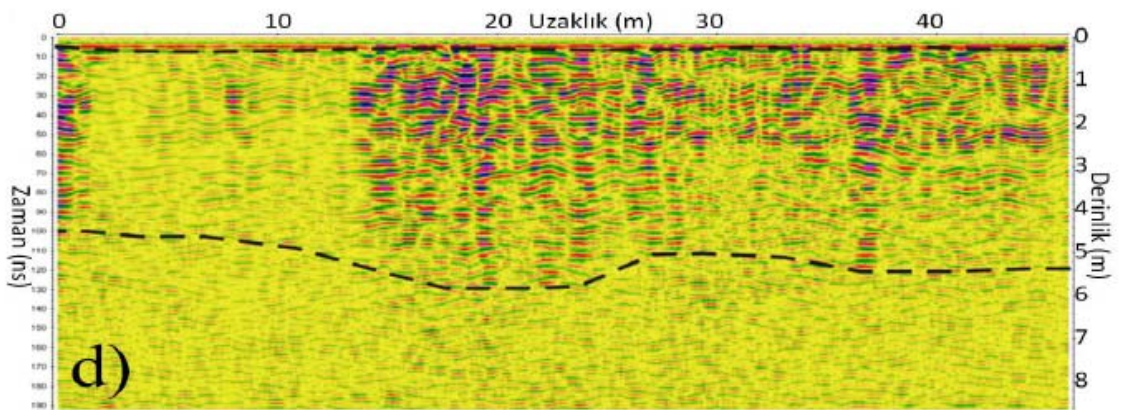
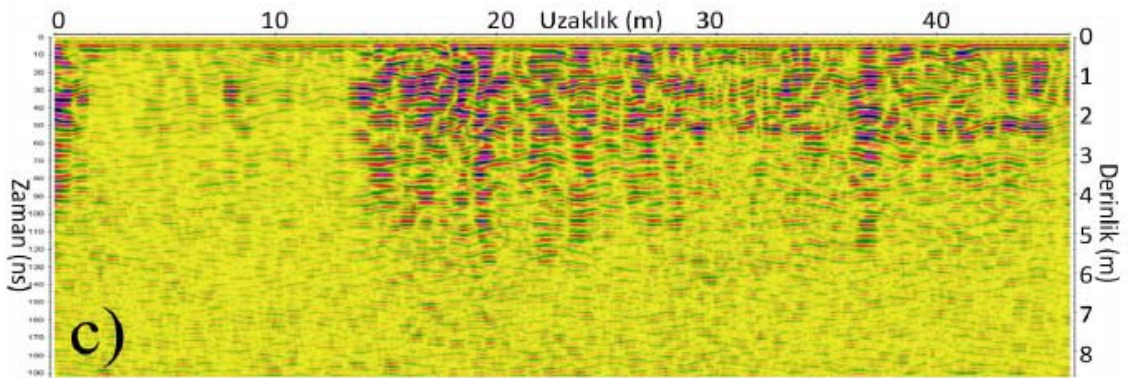
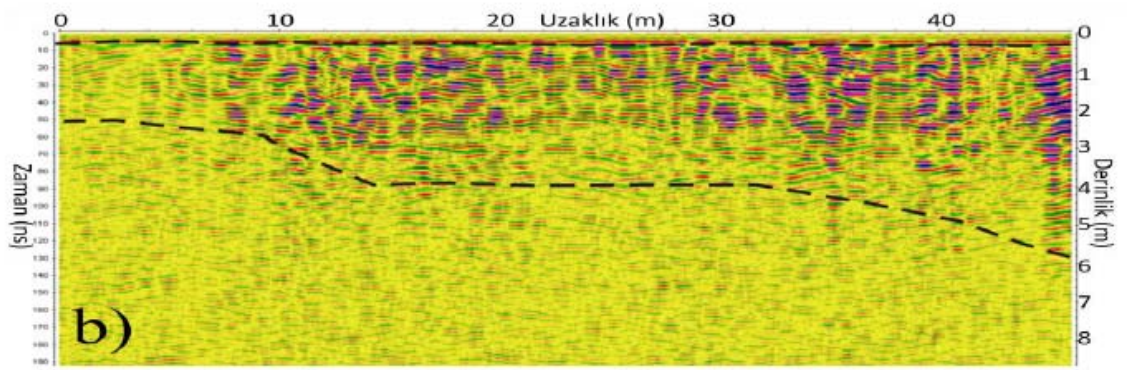
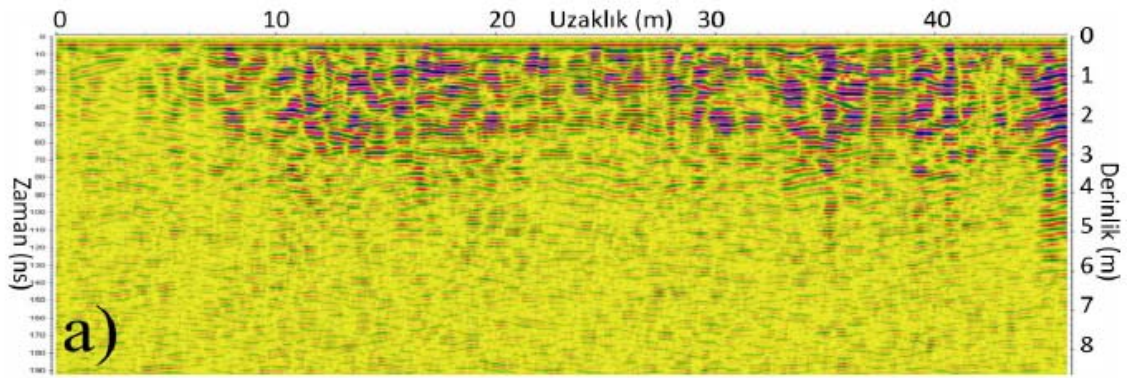


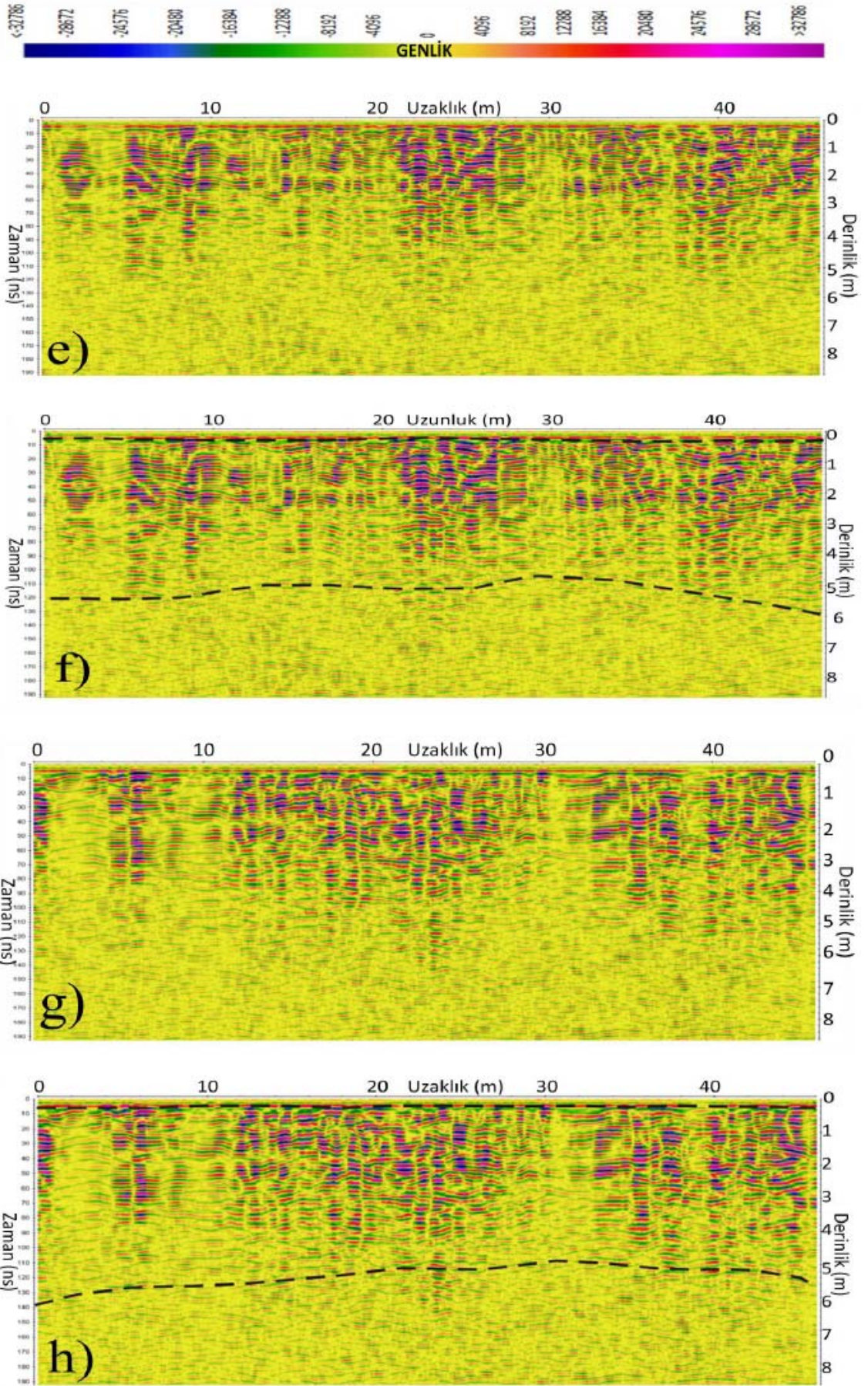


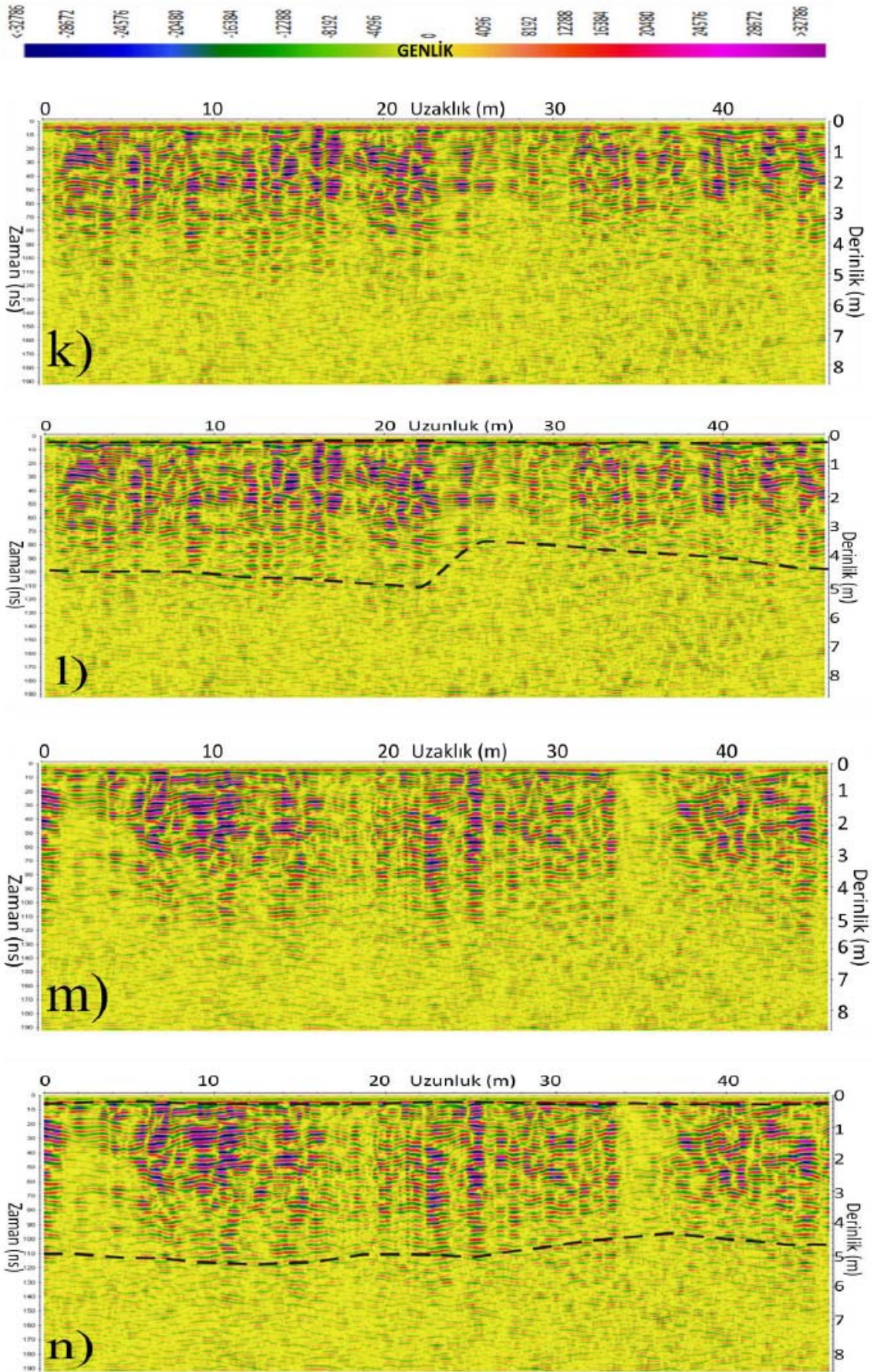


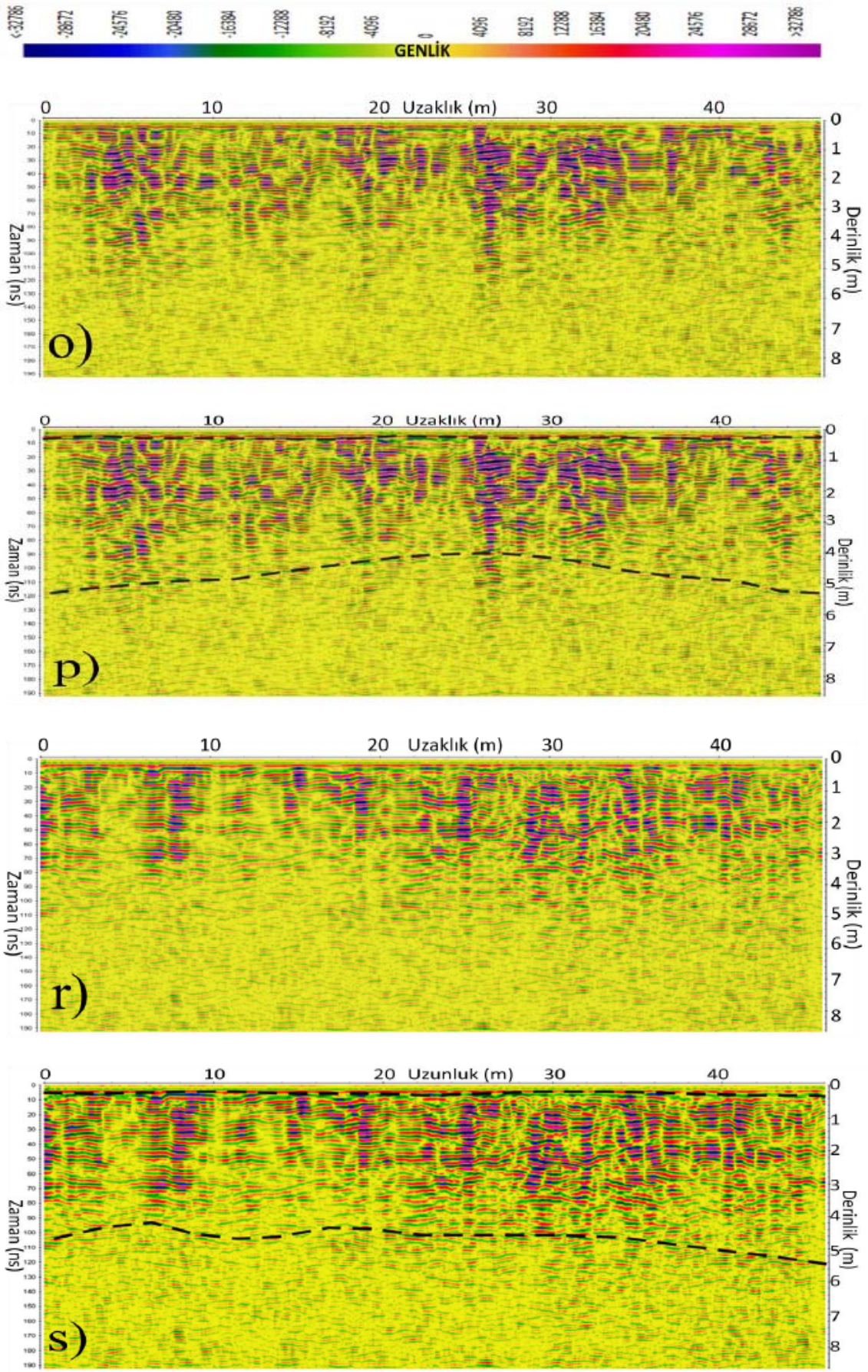


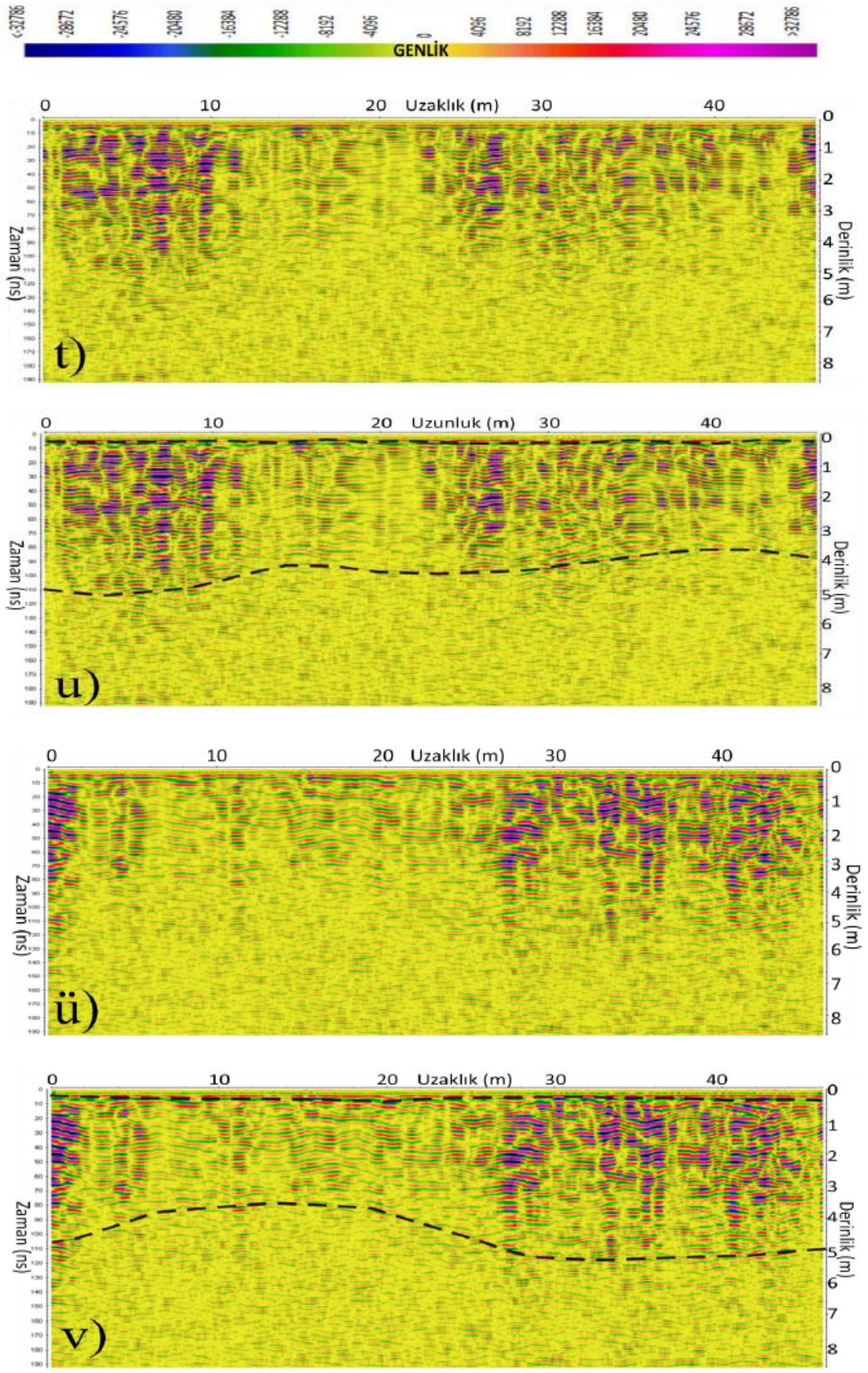
Şekil 4.1 a) Profil 1 yorumlanmamış GPR kesiti; b) Profil 1 yorumlanmış GPR kesiti; c) Profil 2 yorumlanmamış GPR kesiti; d) Profil 2 yorumlanmış GPR kesiti; e) Profil 3 yorumlanmamış GPR kesiti; f) Profil 3 yorumlanmış GPR kesiti; g) Profil 4 yorumlanmamış GPR kesiti; h) Profil 4 yorumlanmış GPR kesiti; k) Profil 5 yorumlanmamış GPR kesiti; l) Profil 5 yorumlanmış GPR kesiti; m) Profil 6 yorumlanmamış GPR kesiti; n) Profil 6 yorumlanmış GPR kesiti; o) Profil 7 yorumlanmamış GPR kesiti; p) Profil 7 yorumlanmış GPR kesiti; r) Profil 8 yorumlanmamış GPR kesiti; s) Profil 8 yorumlanmış GPR kesiti; t) Profil 9 yorumlanmamış GPR kesiti; u) Profil 9 yorumlanmış GPR kesiti; ü) Profil 10 yorumlanmamış GPR kesiti; v) Profil 10 yorumlanmış GPR kesiti; y) Profil 11 yorumlanmamış GPR kesiti; z) Profil 11 yorumlanmış GPR kesiti.

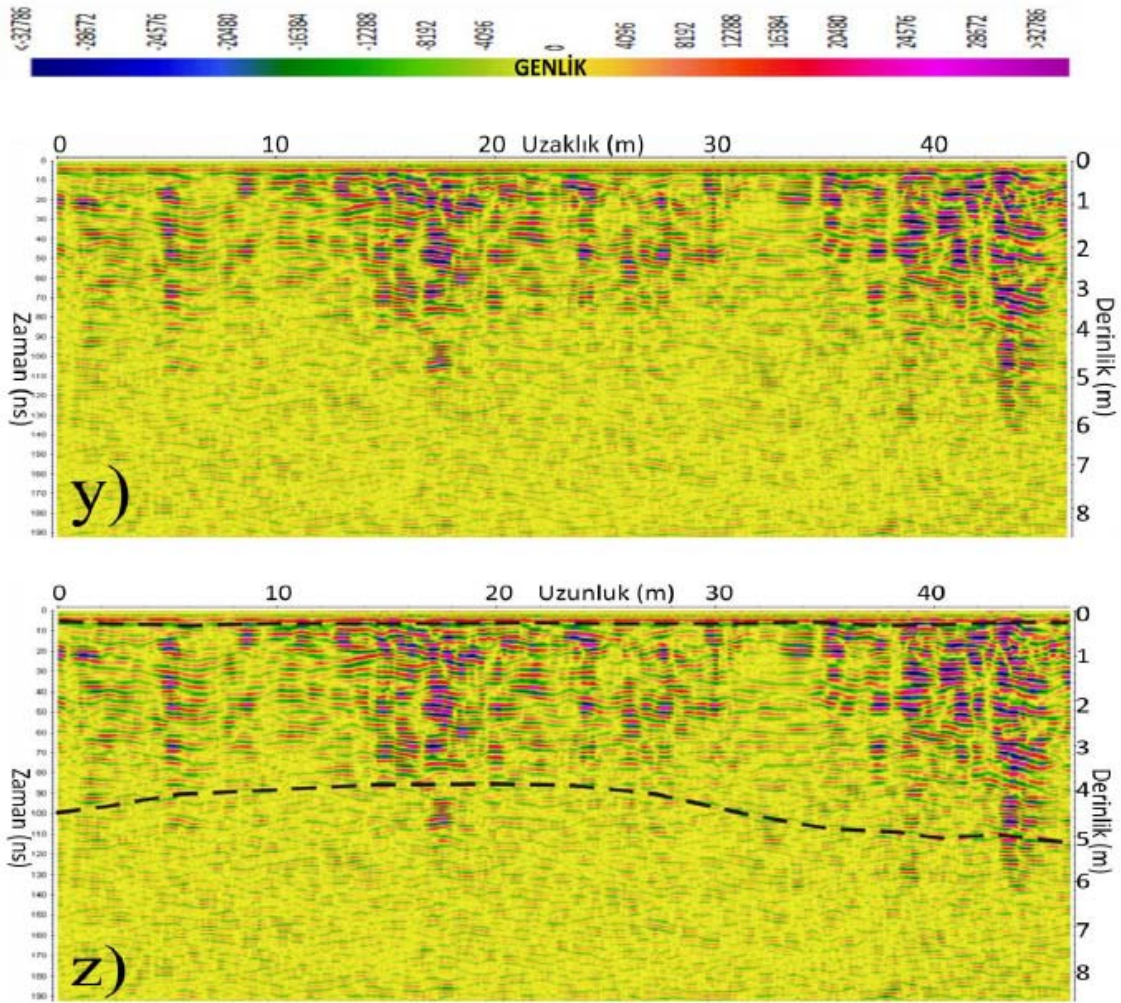












Şekil 4.2 a) Profil 1 yorumlanmamış GPR kesiti; b) Profil 1 yorumlanmış GPR kesiti; c) Profil 2 yorumlanmamış GPR kesiti; d) Profil 2 yorumlanmış GPR kesiti; e) Profil 3 yorumlanmamış GPR kesiti; f) Profil 3 yorumlanmış GPR kesiti; g) Profil 4 yorumlanmamış GPR kesiti; h) Profil 4 yorumlanmış GPR kesiti; k) Profil 5 yorumlanmamış GPR kesiti; l) Profil 5 yorumlanmış GPR kesiti; m) Profil 6 yorumlanmamış GPR kesiti; n) Profil 6 yorumlanmış GPR kesiti; o) Profil 7 yorumlanmamış GPR kesiti; p) Profil 7 yorumlanmış GPR kesiti; r) Profil 8 yorumlanmamış GPR kesiti; s) Profil 8 yorumlanmış GPR kesiti; t) Profil 9 yorumlanmamış GPR kesiti; u) Profil 9 yorumlanmış GPR kesiti; ü) Profil 10 yorumlanmamış GPR kesiti; v) Profil 10 yorumlanmış GPR kesiti; y) Profil 11 yorumlanmamış GPR kesiti; z) Profil 11 yorumlanmış GPR kesiti.

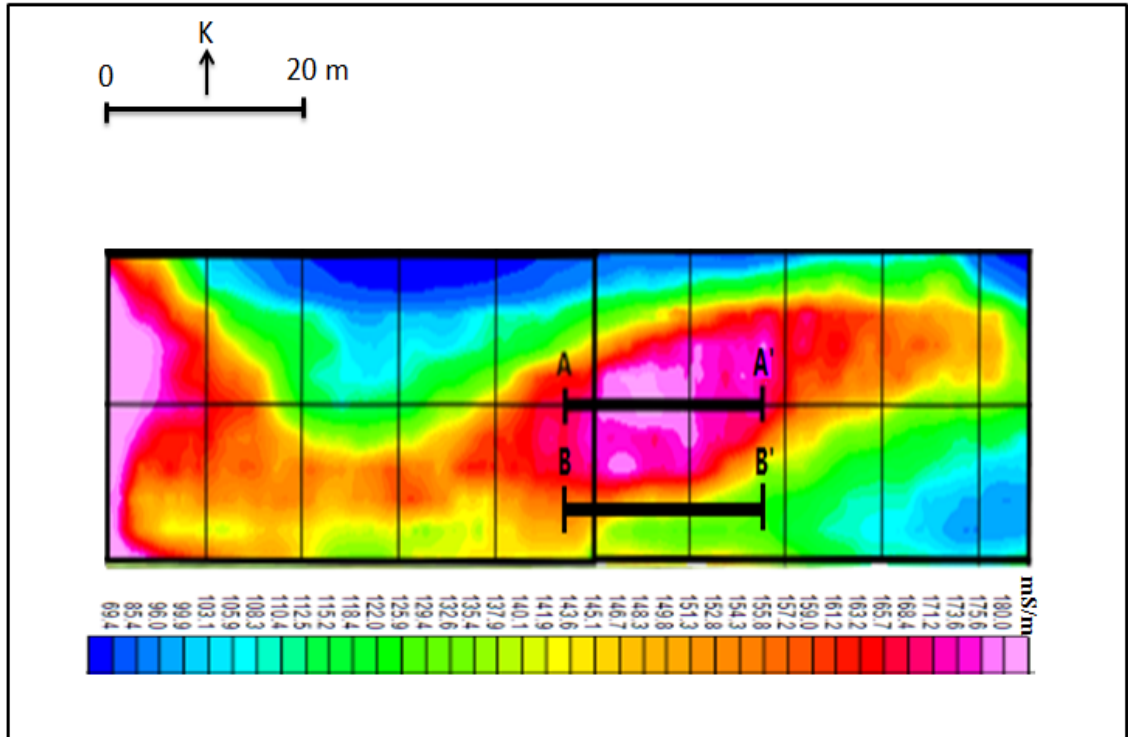
Çizelge 4.1 Çalışma sahası Alan 1 ve Alan 2 için radar kesitlerinin değerlendirme sonuçları

Çalışma Alanı	Profil No	Bitkisel Toprak kalınlığı (m)	Jips tabakasının bozulma (homojenlikten uzaklaşma) sınırı (m)
Alan 1	1	0.2	4.5
Alan 1	2	0.3	4
Alan 1	3	0.3	4.5
Alan 1	4	0.2	4
Alan 1	5	0.3	5
Alan 1	6	0.2	4
Alan 1	7	0.3	5
Alan 1	8	0.2	5
Alan 1	9	0.2	5
Alan 1	10	0.2	5
Alan 1	11	0.2	5
Alan 2	1	0.2	4.5
Alan 2	2	0.2	5.5
Alan 2	3	0.3	6
Alan 2	4	0.2	5.5
Alan 2	5	0.2	4.5
Alan 2	6	0.3	4.5
Alan 2	7	0.2	4.5
Alan 2	8	0.3	5.5
Alan 2	9	0.2	5.5
Alan 2	10	0.2	4
Alan 2	11	0.2	5

Alan 1 ve Alan 2 için GPR kesitleri incelenerek, bitkisel toprak kalınlığı ortalama 0.2-0.3 m arasında değiştiği ve jips tabakasının bozulma sınırı ise ortalama 4-6 m arasında değiştiği belirlenmiştir. Tabaka sınırları ara yüzeyden alınan yansımalar ile alınmıştır. Bu sınırın altında jipslerin daha homojen bir yapıya sahip olduğu belirlenmiştir.

4.2 EM İletkenlik Verilerinin Yorumlanması

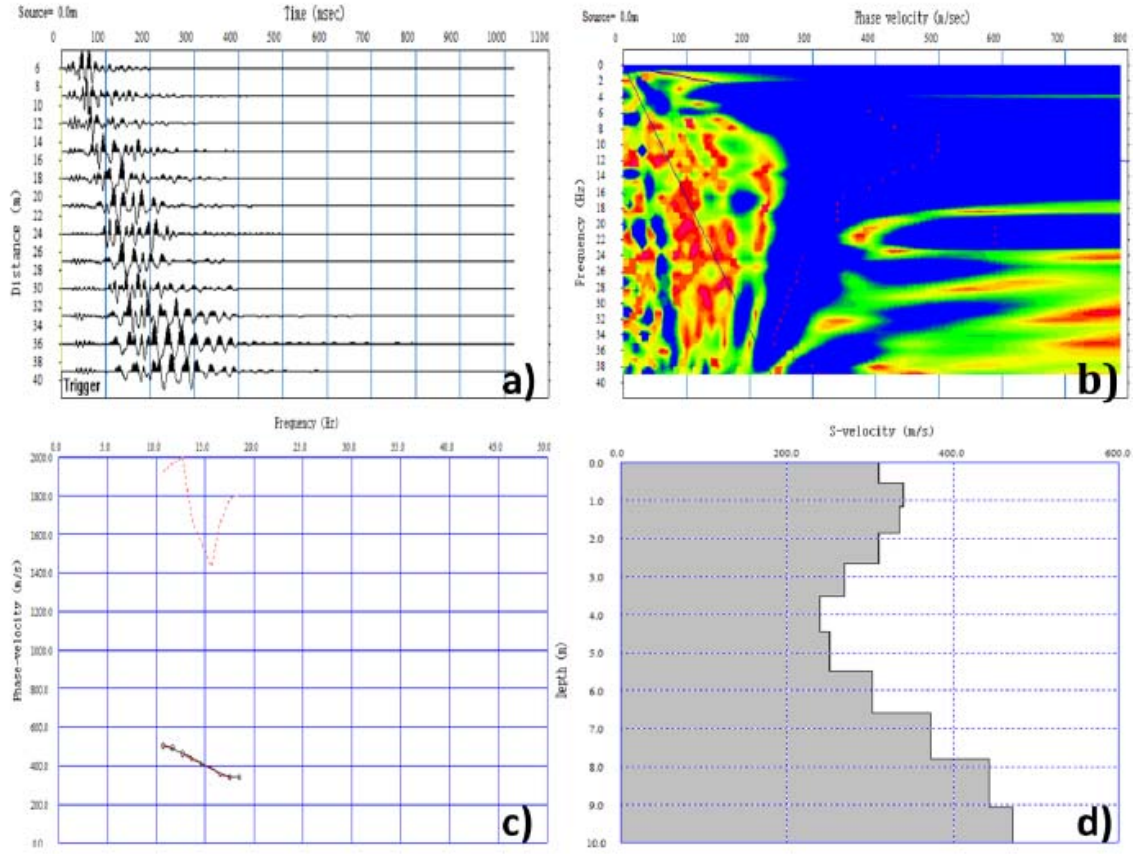
Çalışma sahası EM iletkenlik ölçüm profilleri Şekil 3.16c’de verilmiştir. Alınan ölçümler ile çalışma alanının EM iletkenlik haritası elde edilmiştir (Şekil 4.3). Elde edilen EM iletkenlik haritasına göre çalışma alanının yüksek iletkenlik değerlerine sahip olduğu belirlenmiştir. Hatta çalışma alanının orta kesimlerinde ortalama 170 mS/m (kırmızı-pembe renkler) çok yüksek iletkenlik değerleri elde edilerek bu değerlerin masiflikten uzaklaşan ve yapılarında bozulmalardan kaynaklandığı şeklinde yorumlanmıştır. Bilindiği üzere masif birimlerin öz dirençleri yüksek iletkenlikleri düşük değerlere sahiptir. Dolayısıyla çalışma alanında elde edilen yüksek EM iletkenlik değerleri jipslerin homojen dağılım (masif) göstermediğinin kanıtıdır. Bu yöntemin bir takım avantajları olduğu gibi dezavantajları da vardır. Bu yöntem çalışma alanındaki jipslerin EM iletkenlik değerleri hakkında bilgi verirken, derinlikleri hakkında bilgi verememektedir. Bundan dolayı, hem derinlikler hakkında bilgi alabilmek hem de EM iletkenliğin yüksek olduğu yerlerde S dalgası hızı değerini belirlemek için AA' ve BB' hatları boyunca MASW ölçümü alınmıştır (Şekil 4.3).



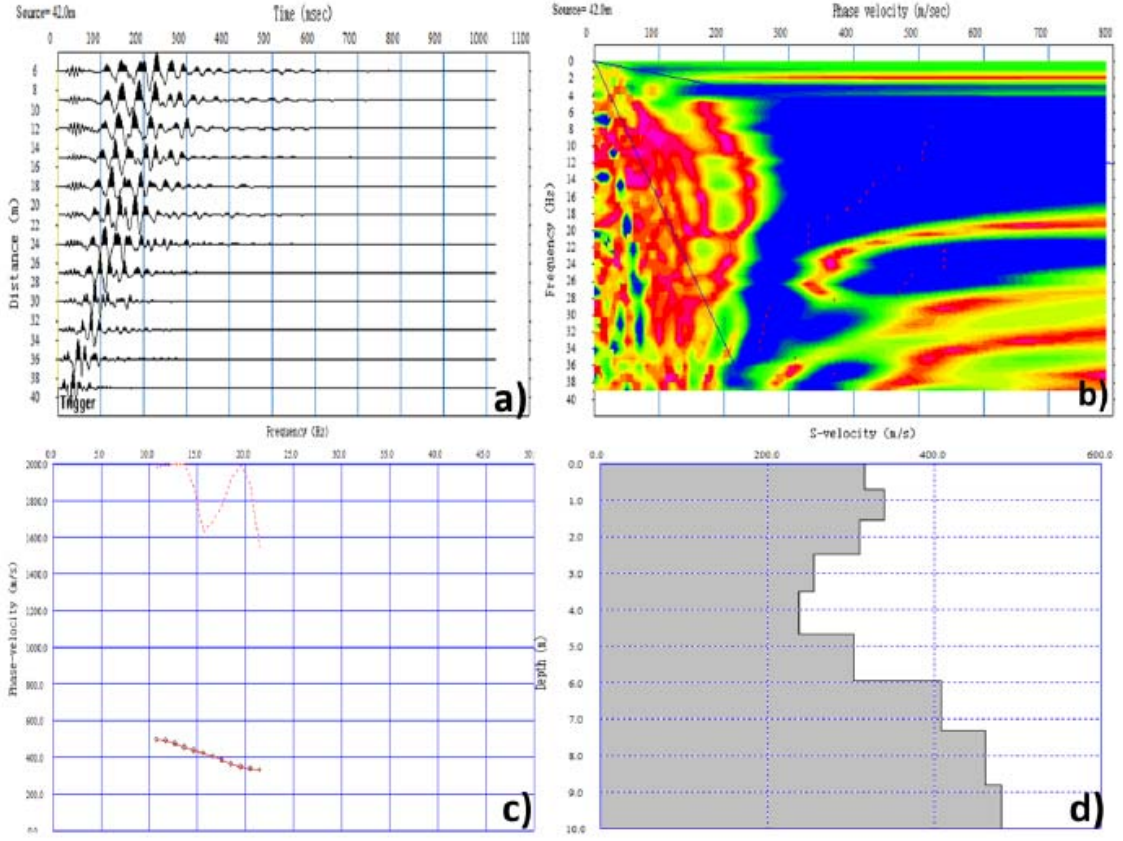
Şekil 4.3 EM iletkenlik haritası ve MASW profillerinin görünümü

4.3 MASW Verilerinin Yorumlanması

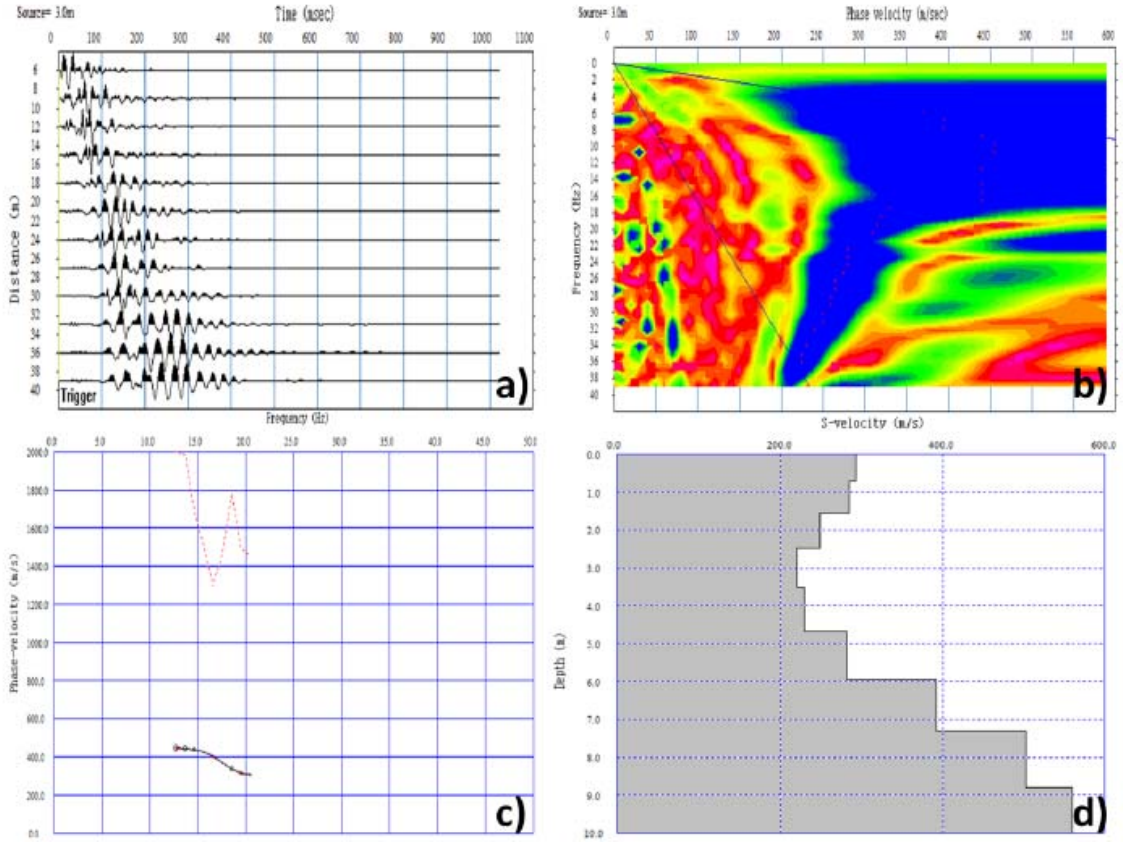
Çalışma Sahası MASW ölçüm profilleri Şekil 4.3’de verilmiştir. Bu şekilde görüldüğü gibi EM iletkenlik değerlerinin yüksek olduğu bölgedeki jipslerin yapısıyla ilgili daha fazla bilgi alabilmek ve S dalgası hızı değişimiyle karşılaştırmak için iki profil boyunca ölçüm alınmıştır. Ölçümde jeofon aralığı 3 m, ofset mesafesi 3 m ve jeofon yayını uzunluğu (ilk jeofondan son jeofona kadar) 33 m olarak alınmıştır. AA' ve BB' profilleri boyunca düz ve ters atışlar sonucunda elde edilen MASW sonuçları incelendiğinde, jipslerde bozulmaların olduğu bölgelerde (ilk 5 m derinlik içinde) S dalgası hızlarının ortalama 210 m/s olduğu belirlenmiştir. Bu bölgede, hem EM iletkenliğin çok yüksek hem de düşük S dalgası hızının elde edilmesi bu bölgedeki jipslerin yapısının bozulduğunun ve dolgu malzemesi içerdiğinden kaynaklandığı belirtilmiştir. AA' ve BB' profillerinden düz ve ters atış kayıtları alınarak elde edilen ham atış kaydı, yüzey dalgası dispersiyonu, final dispersiyon eğrisi ve S dalgası hız profiline derinlikle değişimi gösterilmiştir. Şekil 4.4 a-d AA' profili düz atış için MASW sonucunu göstermektedir. Şekil 4.5 a-d AA' profili ters atış için MASW sonucunu göstermektedir. Şekil 4.6 a-d BB' profili düz atış için MASW sonucunu göstermektedir. Şekil 4.7 a-d BB' profili ters atış için MASW sonucunu göstermektedir. Şekil 4.4’den alınan S dalga hızının derinlikle değişimi o bölgeden alınan radar kesitiyle (Alan 1, 5.profil) karşılaştırıldığında, jipslerin olduğu ilk 5 m’ye kadar düşük S dalgası hızına sahip olduğu görülmektedir ki bu değişim radar kesitlerinde kesikli çizgi ile gösterilen bölüm ile uyumludur. 5 m’den sonra radar kesitlerindeki homojenlik jipslerin düzgün bir dağılım gösterdiğini ortaya koymaktadır ki bu homojen dağılım S dalgası hızlarındaki artış ile uyumlu olduğu görülmektedir (Şekil 4.8). Aynı değişim Şekil 4.6’dan alınan S dalgası hızının derinlikle değişimine karşılık aynı bölgeye ait radar kesitinde (Alan 1, 3.profil) de gözlenmiştir (Şekil 4.9).



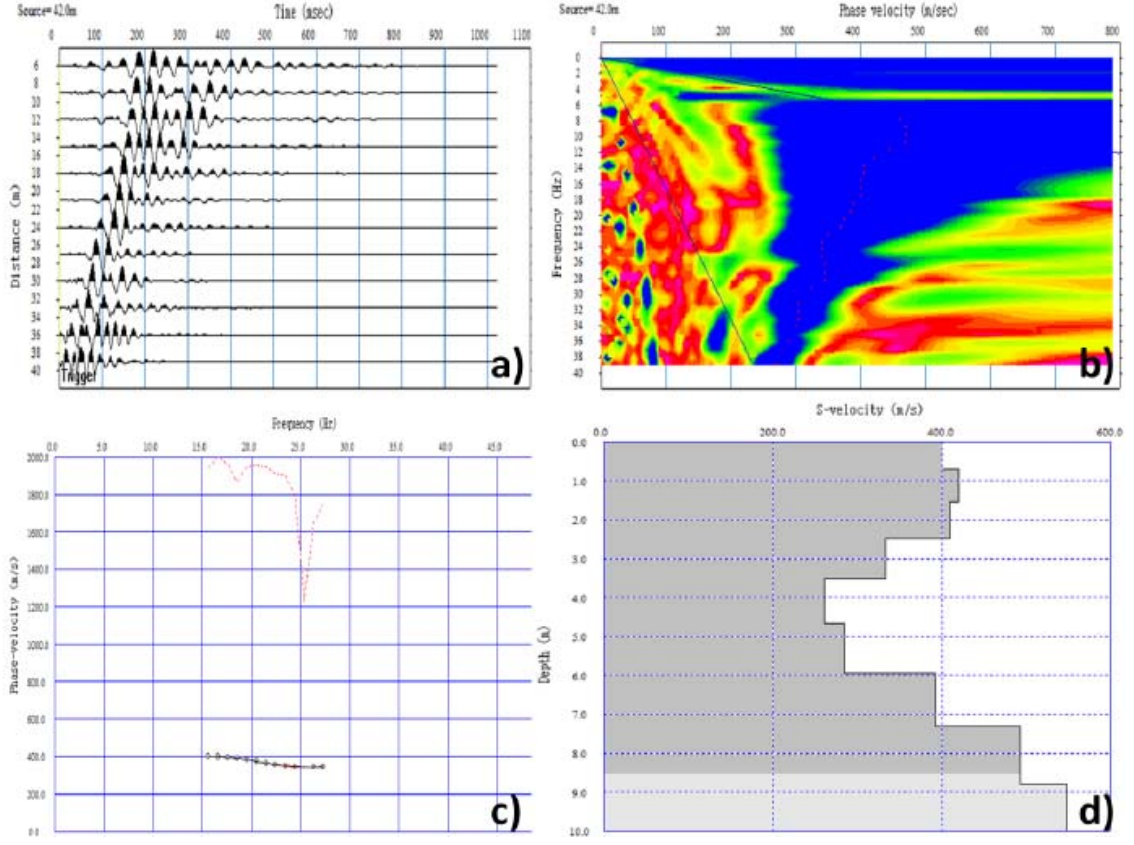
Şekil 4.4 AA' profili düz atış için MASW sonucu a) Elde edilen ham atış kaydı b) Yüzey dalgası dispersiyonu c) Final dispersiyon eğrisi d) S dalgası hız profilinin derinlikle değişimi



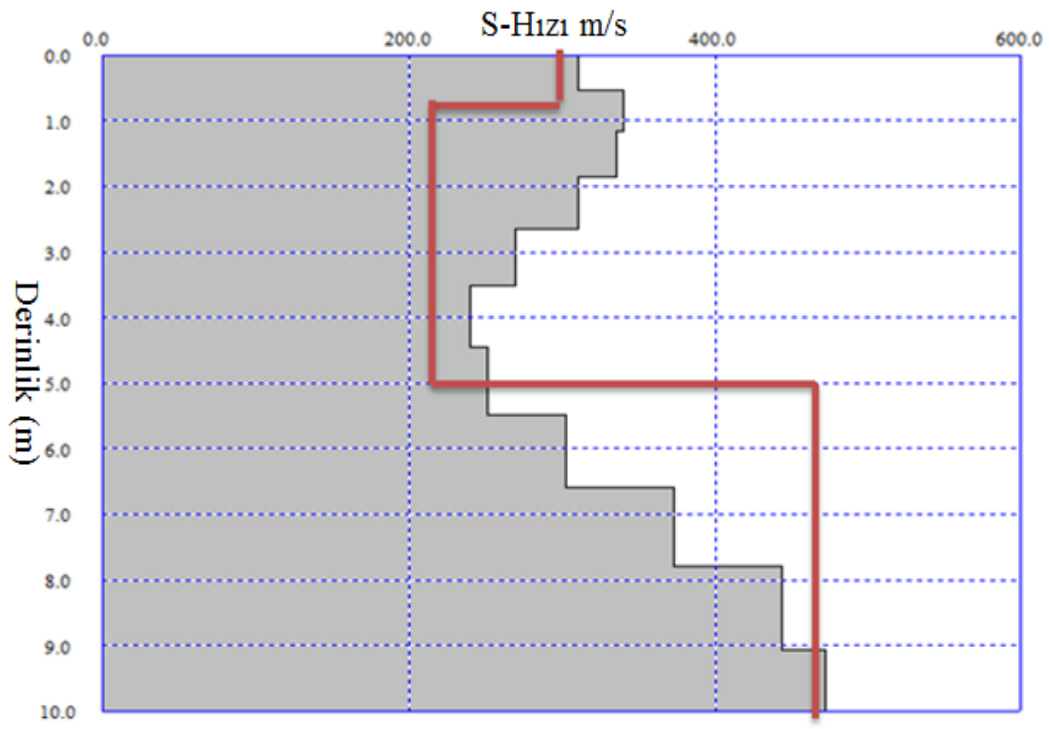
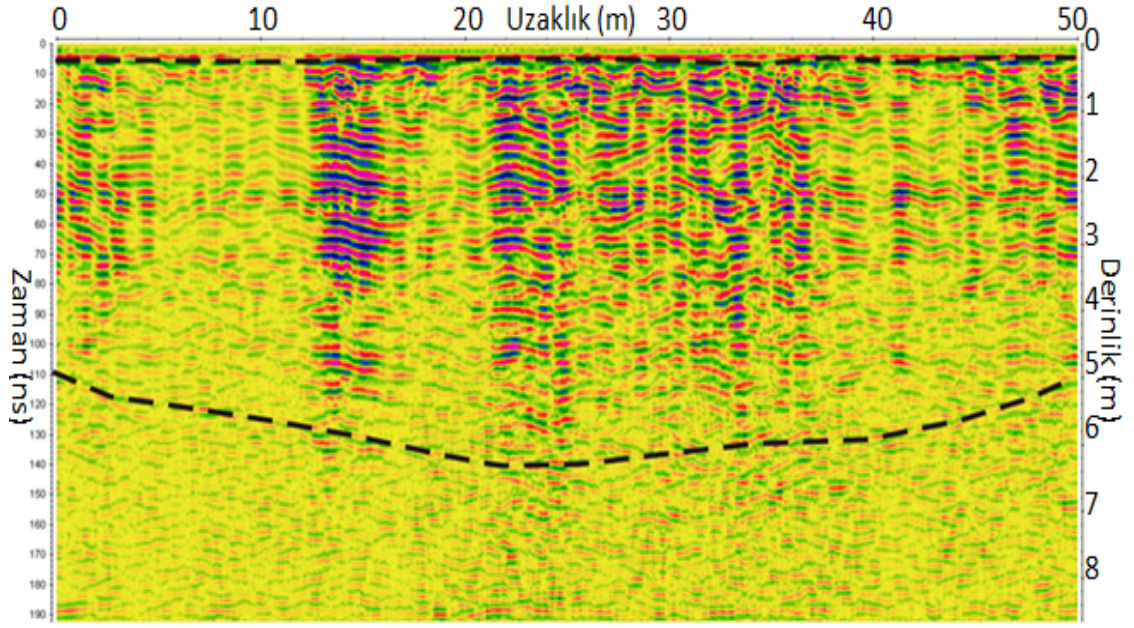
Şekil 4.5 AA' profili ters atış için MASW sonucu a) Elde edilen ham atış kaydı b) Yüzey dalgası dispersiyonu c) Final dispersiyon eğrisi d) S dalgası hız profilinin derinlikle değişim



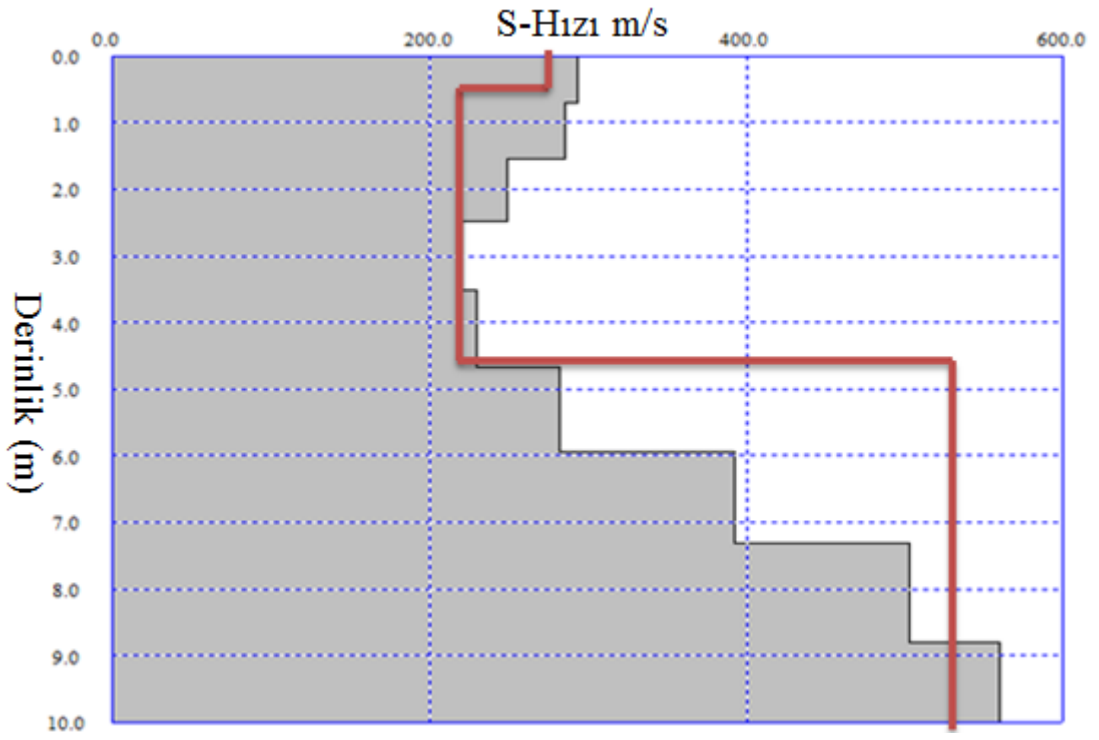
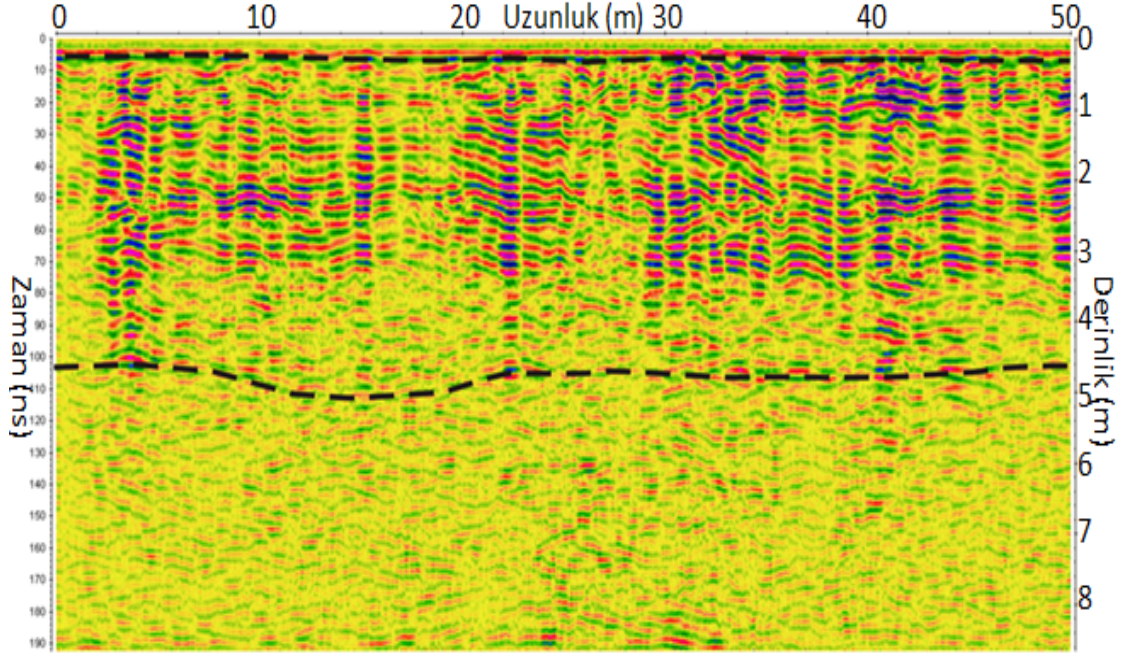
Şekil 4.6 BB' profili düz atış için MASW sonucu a) Elde edilen ham atış kaydı b) Yüzey dalgası dispersiyonu c) Final dispersiyon eğrisi d) S dalgası hız profilinin derinlikle değişim



Şekil 4.7 BB' profili ters atış için MASW sonucu a) Elde edilen ham atış kaydı b) Yüzeysel dalgası dispersiyonu c) Final dispersiyon eğrisi d) S dalgası hız profilinin derinlikle değişim



Şekil 4.8 AA' profili düz atış S dalgası hızı ve radar kesitinin (Alan 1, 5.profil) karşılaştırılması



Şekil 4.9 BB' profili düz atış S dalgası hızı ve radar kesitinin (Alan 1, 3.profil) karşılaştırılması

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, Sivas yerleşim alanı içerisinde belirlenen İşhan Toki pilot alanında GPR, EM iletkenlik ve MASW yöntemleri uygulanarak yüzeye yakın jipslerin yapısı araştırılmış ve jipslerin jeofiziksel özellikleri belirlenmiştir. Buna göre řu sonuçlara ulaşılmıştır.

GPR kesitlerinde 4-5 m'ye kadar kuvvetli yansımalar görülmüştür vebu yansımalarjeolojik araştırmalarda masif olarak sunulan jips kütlelerinin homojen olmadıkları, değişik boyut ve konumda dolgu malzemesi (kırıntılı malzeme) içerdiği şeklinde yorumlanmıştır. Çünkü masif bir yapıya sahip bir jips tabakasında bu tip yansımalar elde edilememekte ve sadece tabakanın üst ve alt sınırından gelen yansımalar görülebilmektedir. Tüm GPR profillerinde ortalama 5m'nin altındakiderinliklerde jipslerin yapısının homojenlik gösterdiği belirlenmiştir.

EM iletkenlik sonuçları incelendiğinde, çalışma alanının yüksek iletkenlik değerlerine sahip olduğu belirlenmiştir. Bilindiği üzere masif birimlerin özdirençleri yüksek iletkenlikleri düşük değerlere sahiptir. Özellikle çalışma alanının orta kesimlerinde ortalama 170 mS/m (kırmızı-pembe renkler) çok yüksek iletkenlik değerleri elde edilmiş ve bu değerlerin masiflikten uzaklaşan ve yapılarında bozulmalardan kaynaklandığı şeklinde yorumlanmıştır. Dolayısıyla çalışma alanında elde edilen yüksek EM iletkenlik değerleri jipslerin homojen dağılım (masif) göstermediğinin kanıtıdır.

MASW sonuçları incelendiğinde, jipslerde bozulmaların olduğu bölgelerde (ilk 5 m derinlik içinde) S dalgası hızlarının ortalama 210 m/s olduğu belirlenmiştir. Bu bölgede, hem EM iletkenliğin çok yüksek hem de düşük S dalga hızının elde edilmesi bu bölgedeki jipslerin yapısının bozulduğunun ve dolgu malzemesi içerdiğinden kaynaklanmaktadır. Her iki MASW profilinde ortalama 5m'den sonra S dalgası hızlarının arttığı görülmekte ve bu hız artışının nedeni jipslerin üst derinlilerdekilere göre daha homojen olduğudur.

S dalgası hızının derinlikle değişimi o bölgeden alınan radar kesitiyle (Alan 1, 5.profil) karşılaştırıldığında, jipslerin olduğu ilk 5 m'ye kadar düşük S dalgası hızına sahip olduğu görülmektedir ki bu değişim radar kesitlerinde dolgu içeren bölüm ile

uyumludur. 5 m'den sonra radar kesitlerindeki homojenlik jipslerin düzgün bir dağılım gösterdiğini ortaya koymaktadır ki bu homojen dağılım S dalgası hızlarındaki artış ile uyumlu olduğu görülmektedir (Şekil 4.8). Aynı değişim Şekil 4.6'dan alınan S dalgası hızının derinlikle değişimine karşılık aynı bölgeye ait radar kesitinde (Alan 1, 3.profil) de gözlenmiştir (Şekil 4.9).

Bu çalışma sonunda jipslerin yaygın olarak yüzeylendiği Sivas ili yerleşim alanı içinde seçilen pilot alanda yer alan yüzeye yakın jipslerin yapısı ile ilgili önemli bulgulara ulaşılmış ve bu tür yapılarla ilgili ön çalışma oluşturulmuştur. Çalışma alanında elde edilen jipslere ait jeofiziksel özellikler sadece bu alan için geçerlidir ve Sivas yerleşimi içerisinde yaygın gösteren yüzeye yakın jipsler aynı jeofiziksel özelliklere sahip olmayacaktır. Dolayısıyla, farklı alanlar jeofizik yöntemlerle araştırılmalı ve her biri için jeofiziksel özellikler ayrı ayrı ortaya koyulmalıdır. Ayrıca, jipslerin genel özellikleri itibariyle kırık-çatlak, dolgu ve erime boşlukları içermeleri nedeniyle bu tür alanların jeofizik yöntemlerle araştırılması ve jeofiziksel özelliklerinin ortaya çıkarılması gerekmekte ve bu tür zeminlerin yapılaşma sürecinde tehlike oluşturabilecek zonları tespit edilmelidir.

6. KAYNAKLAR

- Abdelhady, Y. E., Hanafy, S.M., Morsy, E.A. and Mesbah, H.S., 2004. Combined geophysical techniques for cavity detection. *EGS Journal*, vol. 2, No. 1, 147-151.
- Anchuela O.P., Sainz A.M.C., Soriano M.A ve Juan A.P., 2009. Mapping subsurface karst features with GPR: results and limitations, *Environ Geol* 58:391-399
- Annan, A.P., Waller, W.M., Strangway, D.W., Rossiter, J.R., Redman, J.D. and Watts, R.D., 1976. The electromagnetic response of a low-loss, 2-layer, dielectric earth for horizontal electric dipole excitation. *Geophysics*, Vol. 40, No. 2, pp. 285–298.
- Annan, A. P., Davis, J. L. ve Gendzwill, D., 1988. Radar Sounding in Potash Mines, Saskatchewan, Canada, *Geophysics*, 53, 1556-1564.
- Annan, A. P., 1992. Ground penetrating radar workshop notes. Mississauga.
- Annan, A. P., 2001. Ground penetrating radar workshop notes. Mississauga, Ontario Sensors and Software Inc.
- Anonim (2012a). http://www.tespitmuhendislik.com/YERALTI_RADARI_-_GPR.html
- Anonim (2012b). http://www.environmental-geophysics.co.uk/documents/ref_manuel
- Armadillo E., Massa F., Caneva G., Gambetta M. And Bozzo E., 1998. Modelling of Karst structures by geological methods. An example: the doline of S. Pietro dei Monti (Western Liguria). *ANNALI DI GEOFISICA*, Vol.41, N.3.
- Batayneh A.T., Abdelruhman A.A. and Moumani A.K., 2002. Use of ground-penetrating radar for assessment of potential sinkhole conditions: an example from Ghor al Haditha area, Jordan. *Environmental Geology* 41, 977–983.
- Bath, M., 1973, *Introduction to Seismology*, Birkhauser verlag, Basel and Stuttgart.
- Bevan, Bruce., 1983 *Electromagnetics for Mapping Buried Earth Features* *Journal of Field Archaeology* 10:47-54.
- Bevan, Bruce., 1998 *Geophysical Exploration for Archaeology: An Introduction to Geophysical Exploration* Midwest Archaeological Center Special Report 1.
- Büyüksaraç A., Bektaş Ö., Yılmaz H ve Arısoy MÖ., 2012. Preliminary seismic microzonation of Sivas city (Turkey) using microtremor and reflection microtremor (ReMi) measurement. *Journal of seismology*, ISSN 1383-4649, DOI 10.1007/s10950-012-9328-1
- Calderon-Macias, C., Sen, M. K., and Stoffa, P.L., 2000. Artificial neural networks for parameter estimation in geophysics. *Geophysical Prospecting*, 48, 21–48.
- Crespo T.M ve Ortiz D.G., 2007. Collapse hazard assessment in evaporitic materials from ground penetrating radar: a case study. *Environ Geol* 53:57-66

- Conyers, L.B., and Goodman, D., 1997. Ground-penetrating radar: An introduction for archaeologists. California: Altamira Press
- Çaylak Ç. ve Sarı C.,2008. Çok-kanallı yüzey dalgası analizi kullanılarak yüzeye-yakın yapıların araştırılması. Haccettepe Üniversitesi Yer Bilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi Dergisi Yer Bilimleri,29 (2), 65-75
- Davis , J.L and Annan, A.P., 1986. High Resolution Sounding Using Ground Penetrating Radar, Geoscience, 13, 3, 205-208.
- Davis, J.L. and Annan, A.P., 1989. Ground penetrating radar for high-resolution mapping of soil and rock stratigraphy. Geophysical Prospecting, Vol. 37, pp. 531–551.
- Dikmen Ü., Başokur A.T., Akkaya İ ve Arısoy M.Ö., 2009. Yüzey dalgası çok-kanallı analizi yönteminde uygun atış mesafesinin seçimi. Haccettepe Üniversitesi Yer Bilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi Dergisi Yer Bilimleri, 31 (1), 23-32
- Doolittle J.A. and Collins M.E., 1998. A comparison of EM induction and GPR methods in areas of karst. Geoderma 85, 83–102.
- Filler D.M. and Kuo S.S., 1989. Subsurface Cavity Explorations Using Non-Destructive Geophysical Methods. Department of Civil Engineering, University of Central Florida.
- Haskell, N. A., 1953. The dispersion of surface waves on multilayered media. Bulletin of Seismological Society of America, 43, 17-34.
- Hisada, Y., 1995. An efficient method for computing Green's functions for a layered half-space with sources and receivers at close depths (Part 2). Bulletin of the Seismological Society of America, 85, 1080-1093.
- Hossian, M. M., and Drnevich, V.P., 1989. Numerical and optimization techniques applied to surface wave for backcalculation of layer moduli. In: Nondestructive Testing of Pavements and Cack-calculation of Moduli, III. A. J, Bush., and G.Y. Baladi (eds.), American Society for Testing and Materials, Special Publication, 1026, pp. 649-669.
- Jeng Y., Lin M.J. and Chen C.S., 2004. A very low frequency-electromagnetic study of the geo-environmental hazardous areas in Taiwan. Environmental Geology 46, 784–795.
- Kanbur M.Z., Silahtar A. ve Özsöy C., 2011. Yansıma ve yüzey dalgaları metotları ile insan yapımı tünel yerinin bulunması, SDÜ kampüs örneği-Isparta. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, Cilt15, pp. 244-255
- Kanbur M.Z., Silahtar A. ve Özsöy C., 2011. Sığ Sismik Yansıma, MASW ve ReMi yöntemleri ile sığ yapıların incelenmesi: Isparta Yerleşim Merkezi Kuzeyi Pliyo-

Kuvaterner Çökel Yapı Örneği. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, Cilt 15, pp. 224-232

Kausel, E., and Roësset, J. M., 1981. Stiffness matrices for layered soils. Bulletin of Seismological Society of America, 71, 1743-1761.

Kesemen. O., 2007. Yer Radarı (Gpr) Verilerinin İşlenmesinde Yeni Yaklaşımlar, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

Kogel, J.E., Trivedi, N.C., Barker, J.M., Krukowski, S.T., 2006. Industrial minerals & rocks: commodities, markets, and uses. Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc

Kurt B.B., Kadioğlu S., Ekincioğlu E.E., 2009. Yer radarı yöntemi ile gömülü boruların konum, büyüklük ve fiziksel özellikleri ile belirlenmesi. Hacettepe Üniversitesi Yer Bilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi Dergisi Yer Bilimleri, 30 (1), 45-57

Lay, T., and Wallace, T.C., 1995, Modern Global Seismology, Academic Press

McGrath R.J., Styles P., Thomas E. and Neale S., 2002. Integrated high-resolution geophysical investigations as potential tools for water resource investigations in karst terrain. Environmental Geology 42, 552–557.

Moorman, B. J., 2001. Ground-penetrating radar applications in paleolimnology. In W. M. Last and J. P. Smol, (Ed.). Tracking environmental change using lakesediments: Physical and chemical techniques (23-47). Boston: Kluwer Academic Publishers

MTA, 1997. Sivas Kentinin Çevre Jeolojisi ve Doğal Kaynakları in Turkish, MTA Orta Anadolu I. Bölge Müdürlüğü, Sivas, ss. 169

Mohammed I.I and Abu-Shariah., 2009. Determination of cave geometry by using a geoelectrical resistivity inverse model. Engineering Geology 105, 239-244

Neyamadpour A., Abdullah W., Taib S. And Neyamadpour B., 2010. Comparison of Wenner and dipole–dipole arrays in the study of an underground three-dimensional cavity. Journal of Geophysics and Engineering 7, 30–40.

Okada H., 2003. The microtremor survey method. Geophysical Monograph Series-12, Society of Exploration Geophysicists, Tulsa.

Ortiz D.G ve Crespo T.M., 2012. Assessing the risk of subsidence of a sinkhole collapse using ground penetrating radar and electrical resistivity tomography. Engineering Geology 149-150, 1-12

Osmanşahin, İ., 1989, Yüzey Dalgası Ortam Tepki Fonksiyonlarından Yararlanarak Anadolu ve Civarında Kabuk ve Üst Manto Yapısının Belirlenmesi, Doktora Tezi, İ.Ü.Fen Bilimleri Enstitüsü.

- Öğretmen. Z.,2012. Bayburt Kırathlı Traverten sahasında jeofizik yöntemlerle kırık çatlak sistemlerinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. Trabzon.
- Park, C. B., Miller, R. D., and Xia, J., 1998. Ground roll as a tool to image near-surface anomaly. 68 th Annual International Meeting, Society of Exploration Geophysics, Abstracts, pp. 874-877.
- Park, C. B., Miller, D., Laflen, N., Cabrillo, J., Ivanov, B., and Huggins R., 2004. Imaging dispersion curves of passive surface waves. Society of Exploration Geophysics, Abstracts, pp. 1357-1360.
- Rădulescu V., Rădulescu F., Diacopolos C. And Popescu M., 2007. Geoelectrical Study for Delineating Underground Cavities in Karst Areas. Coastal Zone Processes and Management. Environmental Legislation.
- Santamarina, J. C., and Fratta, D., 1998. Introduction to Discrete Signals and Inverse Problems in Civil Engineering. ASCE Press, Reston, VA.
- Scales, J., and Tenorio, L., 2001. Prior information and uncertainty in inverse problems. Geophysics, 66, 389–397.
- Thomson, W.T., 1950. Transmission of elastic waves through a stratified soil media. Research Report R81-2, Department of Civil Engineering, MIT, Cambridge.
- Ulugergerli E.U and Akça İ.,2006. Detection of cavities in gypsum. Journal of balkan geophysical society, Vol9, No. 1, December 2006, p. 8-19,13 figs.
- VAN DER KRUK, J., SLOB, E. C., FOKKEMA, J. T., 1999. Background of groundpenetrating radar measurements. Geologie en Mijnbouw, 77, 177-188,
- Wadhwa R.S., Ghosh N., Chaudhari M.S., Chandrashekhar V. and Sinharay R.K., 2008. Delineation of Cavities in A Canal Bed By Geophysical Survey in Navargaon Project Area, Maharashtra. J. Ind. Geophys. Union. Vol.12, No.1, pp.55-62.
- Warren, J.K., 2006. Evaporites, sediments, resources and hydrocarbons. Springer.
- Wilchek, L. (2000). Ground Penetrating Radar for Detection of Rock Structure. M.S. Thesis, Alberta University, Canada.
- Yıldız U. mayıs 2003 ankara üniversitesi Astronomi ve uzay bilimleri bölümü
- Yılmaz, A. and Yılmaz, H., 2006. Characteristic features and structural evolution of a post collisional basin : The Sivas Basin, Central Anatolia, Turkey. *Journal of Asian Earth Sciences*, 27, p164-176

7. ÖZGEÇMİŞ

Mahmut SARI, 1987 yılında Trabzon'da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Trabzon'da tamamladı. 2004 yılında girdiği Öğrenci Seçme Sınavı'nda gösterdiği başarı sonucu Erzurum Atatürk Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Matematik Bölümü'nde "Lisans" eğitimi almaya hak kazandı. Lisans eğitimini 2008 yılında tamamladı. Aynı yıl Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeofizik Mühendisliği, Anabilim Dalı'nda "Yüksek Lisans" eğitimine başladı ve 2010 yılının Şubat ayı içerisinde Gümüşhane Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü'ne Araştırma görevlisi olarak atandı. 2011 yılı ocak ayı içerisinde Yüksek lisansına Sivas Cumhuriyet Üniversitesinde devam etti. Halen Arş.Gör'lüğünü sürdürmekte olan SARI iyi derecede İngilizce bilmektedir.

- Öztürk, S ve Sari, M., 2011. Statistical Assessment of Seismicity Pattern in Muğla and Rhodes Region, Turkey:Current Seismic Quiescence, 6. Congress of Balkan Geophysical Society, Budapest/Hungary, C07