T. C.
CUMHURİYET ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

JİPSLERDE GELİŞEN YAPISAL ÖZELLİKLERİN YER RADARI (GPR) ve ÇOK KANALLI YÜZEY DALGASI ANALİZİ (MASW) YÖNTEMLERİ ile İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Naşit DARICI
(201292131035)

Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. SEVDA ÖZEL

SİVAS
2015

Bu tez, Cumhuriyet Üniversitesi Senatosu'nun 20.08.2014 tarihli ve 7 sayılı kararı ile kabul edilen Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Tez Yazım Kılavuzu (Yönerge)'nda belirtilen kurallara uygun olarak hazırlanmıştır.

Bütün hakları saklıdır.

Kaynak göstermek koşuluyla alıntı ve gönderme yapılabilir.

© Naşit DARICI, 2015

ETİK

Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tez Yazım Kılavuzu (Yönerge)'nda belirtilen kurallara uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;

- ✓ Bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- ✓ Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- ✓ Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere, bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu ve atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- ✓ Bütün bilgilerin doğru ve tam olduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- ✓ Tezin herhangi bir bölümünü, Cumhuriyet Üniversitesi veya bir başka üniversitede, bir başka tez çalışması olarak sunmadığımı; beyan ederim.

15.06.2015

Naşit DARICI

KATKI BELİRTME VE TEŞEKKÜR

Çalışmanın tüm aşamalarında bilgi ve deneyimleri ile araştırma konusu ve yöntemlerinin belirlenmesinde, arazi ve büro çalışmalarının gerçekleştirilmesinde, değerlendirme ve tezin son şeklinin almasında büyük emeği geçen tez danışmanım ve değerli hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Sevda ÖZEL'e, çok teşekkür ederim.

Arazi çalışmalarında desteğini ve yardımlarını gördüğüm Öğr. Gör. Sinan KOŞAROĞLU, Jeofizik Yüksek Mühendisi Serdar FEYZİ, Jeofizik Mühendisliği Bölümü öğrencilerinden, Muammer ÇELİK ve Serhat GÜCEN'e teşekkür ederim.

Çalışma alanının jeolojisi konusundaki değerli yorumlarından dolayı Prof. Dr. Kaan Şevki KAVAK'a teşekkür ederim.

Değerli katkılarından dolayı Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeofizik Mühendisliği Bölümüne ve tüm Jeofizik Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyelerine teşekkür ederim.

Öğrenim hayatım süresince bana her türlü desteği veren beni bu günlere getirip hayatımın her aşamasında destekleyen aileme sevgi ve saygılarımı sunarım.

Naşit DARICI
Sivas, 2015

ÖZET

JİPSLERDE GELİŞEN YAPISAL ÖZELLİKLERİN YER RADARI (GPR) ve ÇOK KANALLI YÜZEY DALGASI ANALİZİ (MASW) YÖNTEMLERİ ile İNCELENMESİ

NAŞİT DARICI

Yüksek Lisans Tezi, Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Sevda ÖZEL

2015, 58+xiii sayfa

Bu çalışma Sivas'ın kuzeydoğusunda yer alan Kılavuz mahallesinde gerçekleştirilmiştir. Sivas jeolojik açıdan evaporitik bir havzadır. Hafik formasyonu da bu havzada yer almaktadır. Çalışma alanı bu formasyon üzerindedir. Bu formasyona özgü jeolojik birimler ise jips ve jips ara katkılı malzemelerdir. Karstik bölgelerdekine benzer kırık, çatlak, erime boşluğu ve bozunma alanı gibi yapılar jipslerde de görülebilir. Jipslerin bu yapıları ve jeofizik özellikleri jeofiziksel yöntemlerle araştırılmıştır. Bunlar GPR ve MASW yöntemleridir. Bu yöntemlerle yeraltının sığ kesimindeki düşey ve yanal süreksizlikleri ayrıntılı incelenmiştir. Jeofizik profiller iki boyutlu (2B) ve üç boyutlu (3B) olarak hazırlanmıştır. Böylece, 2B yorumun zorlukları 3B yorumla ortadan kaldırılmıştır. Buna göre arazide 2B olarak toplanan jeofizik arazi verileri uygun yazılımlarla değerlendirilmiştir. GPR kesitleri 2B ve 3B, MASW kesitleri 2B olarak hazırlanmıştır. Jeofizik kesitlerin sonuçlarıyla yaklaşık 10 m derinliğe kadar bilgi alınmıştır. GPR kesitlerinde hiperbol şeklinde gözlenen yansımalar, MASW kesitlerinde düşük S dalgası hızına (Vs) sahip alanlardır. Bu alanlara karşılık gelen düşük hız zonlarında S dalgası hızları bozuşmuş jipslerde 653 m/s'den düşük olarak gözlenirken, masif jipsli alanlarda ortalama 1275 m/s'den yüksek olarak gözlenmiştir. Ayrıca kırık, çatlak ve bozunma alanlarında olabilecek dolgu malzemesinin formasyondaki ara katkılı birimlerden kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu malzeme, S dalgası hızının düşük değerli olmasında diğer bir etken olabilir. Ayrıca çalışma alanının güneyinde 40 m uzunluğunda bir kırık tespit edilmiştir. Bu kırığın batısında yaklaşık 5 m derinlikten başlayıp, doğuda 7 m derinliğe kadar eğimlendiği anlaşılmıştır. Jeofizik kesitlerin

tümünde çatlak ve bozunma alanlarının ilk 5 m derinlik içerisinde çok fazla olduğu anlaşılmıştır. Aynı zamanda çalışma alanı Sivas'ın yeni yerleşim alanı olarak tanımlanan bölge içerisinde bulunmaktadır. Dolayısıyla jeofizik yöntemlerin sonuçlarına göre jips yapıları belirlenebilmiştir. Zamanla suyun etkisiyle bu alanlardaki hasarın miktarının artabileceği anlaşılmıştır. Bu nedenle bu tez çalışması ile çalışma alanı riskli alan olarak tanımlanmıştır. Özellikle temel mühendisliğinde bu yapılara gereken önemin verilmesi gerektiği düşünülmektedir.

Anahtar Sözcükler: Jips, karst, GPR, MASW, 2B-3B

ABSTRACT

INVESTIGATION OF IN GYPSUM DEVELOPING STRUCTURAL FEATURES WITH GROUND PENETRATING RADAR (GPR) AND MULTI CHANNEL ANALYSIS OF SURFACE WAVES (MASW) METHODS

NAŞİT DARICI

Master Thesis, Department of Geophysical Engineering
Supervisor: Asst. Assoc. Dr. Sevda ÖZEL
2015, 58+xiii

This study was carried out in the Kılavuz quarter that located in the northeast of Sivas. Sivas is a geologically evaporitic basin. The Hafik formation is also located in this basin. The study area is located in this formation. The geological units that pertain to this formation are gypsum and gypsum interfinger materials. The similar to those in karstic regions structures like fracture, cracked, melting cavity and damaged area can also be seen in the gypsums. These structures and geophysical characteristics of gypsum were investigated by geophysical methods. These are GPR and MASW methods. With these methods the vertical and lateral discontinuities in the shallow part of the underground were analyzed in detail. The geophysical profiles models were prepared two dimensional (2D) and three dimensional (3D). Thus, the challenges of 2D interpretation are eliminated by 3D comment. Accordingly geophysical site datas that collected in the field as 2D were assessed by compatible softwares. GPR models were prepared as 2D and 3D, MASW models were prepared as 2D. In geophysical modelling the data was obtained to about 10 m depth. The reflections that were observed in the hyperbola form in the GPR models are areas that have low S-wave velocity (Vs) in MASW models. In corresponding to these areas low-speed zones S wave velocity was observed in altered gypsums as lower than 653 m/s and it was observed in massive gypsum areas as higher than average 1275 m/s. In addition, it is thought that the packing material that may occur in fracture, cracked and damaged areas results from interfinger units in the formation. This material may be the another factor in the low order S wave velocity. Also a 40 m length fracture was located in the southern part of the study area.

It is understood that this fracture had sloped starting from it's west part from about 5 m depth up to 7 m depth eastward. It understood that at all of the geophysical models cracked and damaged areas are too much in the first 5 m depth. At the same time the study area is located in the region which is defined as a new building area of Sivas. Thus, according to the geophysical methods results gypsum structures could be identified. Over time, it is understood that by the water may increase the amount of damage in these areas. Therefore, the study area has been identified as risk area with this thesis. It is thought that the necessary importance should be given to these structures, especially in the foundation engineering.

Key words: Gypsum, karst, GPR, MASW, 2D-3D

İÇİNDEKİLER

Sayfa

KATKI BELİRTME VE TEŞEKKÜR ..... **iv**
ÖZET ..... **v**
ABSTRACT ..... **vii**
ŞEKİLLER DİZİNİ ..... **x**
ÇİZELGELER DİZİNİ ..... **xii**
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ ..... **xiii**

1. ÇALIŞMA ALANI **1**
1.1 Giriş 1
1.2 Çalışma Alanının Genel Özellikleri 2
1.3 Çalışma Alanının Jeolojisi 4
1.4 Çalışmanın Amacı 5
2. ARAZİDE KULLANILAN JEOFİZİK YÖNTEMLER **6**
2.1 Elektromanyetik Yer Radarı (GPR) Yöntemi 6
2.2 Sismik Çok Kanallı Yüzey Dalgası Analizi (MASW) Yöntemi 10
3. ARAZİ ÇALIŞMALARI **15**
3.1 Jeofizik Cihazlar ve Ekipmanlar 15
3.2 Jeofizik Veri Toplama ve Veri İşlem 17
3.3 GPR Yöntem Verilerinin Değerlendirilme Sonuçları 20
3.4 MASW Yöntem Verilerinin Değerlendirilme Sonuçları 38
4. SONUÇLAR ve DEĞERLENDİRMELER **50**

5. KAYNAKLAR **52**
ÖZGEÇMİŞ **58**

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1. 1 Çalışma alanının uydu haritasıyla görüntülenmiş yer bulduru haritası (Google earth, 2015)..... 3
Şekil 1. 2 Çalışma alanı yüzeyinde gözlenen jips örneklerindeki çatlak ve eklem sistemlerinden bir görünüm..... 4
Şekil 1. 3 Çalışma alanı ve yakın çevresinin jeoloji haritası (Koruç (2007) ve Özel (2013)'den düzenlenerek alınmıştır). 5
Şekil 1. 4 Çalışma alanının yüzeyinde gözlenen jips örneklerinden bir görünüm (24.06.2013). 6
Şekil 2. 1 EM dalganın yayılımı (Conyers, 2004'den düzenlenerek alınmıştır). 7
Şekil 2. 2 GPR yönteminde ölçü almanın genel düzeneği (Kesemen, 2007). 7
Şekil 2. 3 Aktif kaynaklı MASW yönteminin temel işlem adımları (Dikmen vd., (2009)'dan düzenlenerek alınmıştır). 11
Şekil 2. 4 MASW veri toplama düzeneği (Park vd., 1998). 12
Şekil 2. 5 Homojen ortamda faz hızı (A), düşey olarak homojen olmayan ortamda faz hızını dalga boyuna bağlı değişimi (B) (Strobbia, 2005). 13
Şekil 2. 6 Faz hızının frekansın bir fonksiyonu olması sonucu oluşan dispersiyon eğrisi (Strobbia, 2005)..... 14
Şekil 2. 7 Yüzey dalgalarının dispersiyon eğrilerindeki temel mod ve yüksek modların görünümü (Dikmen vd., 2009). 14
Şekil 3. 1 RAMAC tipi gpr cihazı ve çalışma alanından bir görünüm. 16
Şekil 3. 2 GEOMETRICS smartseis tipi sismik cihazı ve ekipmanlarının görünümü ... 16
Şekil 3. 3 Jeofizik ölçüm profilleri. 17
Şekil 3. 4 Sismik cihaz, ekipmanı ve ölçü alınan profillerden bir görünüm. 18
Şekil 3. 5 Arazi çalışmasında seçilen ofsetler ve jeofon aralıklarına göre hazırlanan ölçü alma düzeneğinin görünümü. 19
Şekil 3. 6 Çalışma alanında toplanan gpr profillerinin krokisi. 20
Şekil 3. 7 Alan 1 için gpr kesitleri ve kesitlerde belirti gözlenen alanların yakın görünümleri a) GPR1, b) GPR2, c) GPR3 d) GPR4 e)GPR5, f) GPR6, g) GPR7, h) GPR8 21
Şekil 3. 8 GPR4 profilinde yansıma yüzeyine uygulanan hız analizi örneği. 25
Şekil 3. 9 Alan 2 için gpr kesitleri ve kesitlerde belirti gözlenen alanların yakın görünümleri a) GPR9, b) GPR10, c) GPR11, d) GPR12, e) GPR13 f) GPR14, g) GPR 15, h) GPR 16..... 27
Şekil 3. 10 GPR14 profilinde yansıma yüzeyine uygulanan hız analizi örneği 31
Şekil 3. 11 Alan 3 için gpr kesitleri ve kesitlerde belirti gözlenen alanların yakın görünümleri a) GPR17, b) GPR18, c) GPR19, d) GPR20, e) GPR21, f) GPR22, g) GPR23, h) GPR24..... 32
Şekil 3. 12 GPR18 profilinde yansıma yüzeyine uygulanan hız analizi örneği. 36
Şekil 3. 13 Çalışma alanında toplanan GPR profillerinin 3B görünümü. 37
Şekil 3. 14 Çalışma alanında toplanan MASW profillerinin krokisi. 38
Şekil 3. 15 MASW1 profilinin dispersiyon eğrileri. 39
Şekil 3. 16 MASW1 profilinin 1B derinliğe bağlı s dalgası hız değişim grafiği. 40
Şekil 3. 17 MASW1 profilinin 2B sismik yapı kesiti. 40
Şekil 3. 18 Aynı profil üzerindeki GPR4 ve MASW1 yöntemlerinin 2B kesitleri. 41

Şekil 3. 19 MASW2 profilinin dispersiyon eğrileri. 42
Şekil 3. 20 MASW2 profilinin 1B derinliğe bağlı S dalgası hız değişim grafiği. 43
Şekil 3. 21 MASW2 profilinin 2B hız kesiti. 43
Şekil 3. 22 Aynı profil üzerindeki MASW2 ve GPR13 profillerinin 2B kesitleri. 44
Şekil 3. 23 MASW3 profilinin dispersiyon eğrileri. 45
Şekil 3. 24 MASW3 profilinin 1B derinliğe bağlı s dalgası hız değişim grafiği. 45
Şekil 3. 25 MASW3 profilinin 2B hız kesiti. 46
Şekil 3. 26 Aynı profil üzerindeki MASW3 ve GPR16 profillerinin 2B kesitleri. 46
Şekil 3. 27 MASW4 profilinin dispersiyon eğrileri. 47
Şekil 3. 28 MASW4 profilinin 1B derinliğe bağlı S dalgası hız değişim grafiği 48
Şekil 3. 29 MASW4 profilinin 2B kesiti. 48
Şekil 3. 30 Aynı profil üzerindeki MASW4 ve GPR18 profillerinin 2B kesitleri. 49

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2. 1 Bazı jeolojik malzemelere ait dielektrik, iletkenlik, hız ve soğrulma değerleri (Aloğlu (2006)'dan düzenlenmiştir). 9
Çizelge 2. 2 GPR parametreleri arasındaki ilişki (Takahashi, 2004). 9
Çizelge 2. 3 Aktif ve pasif kaynaklı masw yöntemleri (Dikmen, 2006). 10
Çizelge 3. 1 GPR verileri toplanırken kullanılan parametreler. 18
Çizelge 3. 2 MASW verileri toplanırken kullanılan parametreler. 19

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Vs,	S dalgası hızı (P wave velocity), m/s
Vp,	P dalgası hızı (P wave velocity), m/s
V,	Faz hızı
λ,	Sismik dalga boyu
σ,	Elektriksel iletkenlik, S/m
μ,	Manyetik geçirgenlik, H/m
ε,	Permitivite (dielektrik sabiti), F/m
ε_r,	Ortamın dielektrik katsayısı, F/m
ε_0,	Boşluğun dielektrik sabiti, F/m
α,	Soğurulma sabiti
M,	Sismik büyütme katsayısı
T,	Zemin büyütme katsayısı
EM,	Elektromanyetik
GPR,	Yer radarı (Ground Penetrating Radar)
MASW,	Çok kanallı yüzey dalgası analizi (Multi Channel Analysis of Surface
MTA,	Maden Tetkik ve Arama
SASW,	Yüzey Dalgalarının Spektral Analizi
SSRM,	Durağan Rayleigh Dalgası Analizi
1B,	Bir boyutlu (1D), one dimension
2B,	İki boyutlu (2D), two dimension
3B,	Üç boyutlu (3D, three dimension)
K,	Kuzey
G,	Güney
D,	Doğu
B,	Batı

1. ÇALIŞMA ALANI

1.1 Giriş

Son yıllarda jips ve kireçtaşının neden olduğu karstik alanlarda sığ yeraltını yüksek çözünürlükte hızlı ve tahribatsız bir şekilde görüntüleyebilen bazı jeofizik yöntemler öne çıkmaktadır. Bu yöntemler elektrik, elektromanyetik, sismik ve gravite yöntemlerdir. Bu çalışmada ise elektromanyetik ve sismik yöntemler tercih edilmiştir (Kaufmann ve Quinif, 1997; Paukstys vd, 1997; Cooper vd., 1997; Capenter vd., 1998; Gautam vd., 2000; Xavier ve Odile, 2000; Ulugergerli ve Akça, 2006; Kofman vd., 2006; Kaufmann ve Romanov, 2007; Rittgers vd., 2008; Manoutsoglou vd., 2010; Kovin, 2010; Hamdan vd., 2010; Hamdan vd., 2012; Parker ve Hawman, 2012). Bu teze konu olan çalışmada, elektromanyetik (EM) yöntemin yüksek frekansta çalışan özel bir uygulaması olan GPR (Ground Penetratin Radar) ve sismik yöntemde ise Rayleigh dalgaları kullanılarak S dalgası hızı analizi yapılabilen MASW (Multi Channel Analysis of Surface Wave) yöntemi kullanılmıştır. Yapılan çalışmalar söz konusu yöntemlerin jips karstının kırık, çatlak, bozunma bölgeleri ve boşluk gibi yapısal unsurları belirlemede başarılı olduğu ortaya koyulmuştur (Richard, 1977; Conyers ve Goldman, 1997; Cardimona, 1998; Cardimona, 2002; Fernando ve Afonso, 2005; Dikmen vd., 2009; Cassidy, 2009; Homan vd., 2010; Hamdan vd., 2010). Ayrıca bu çalışmalarda veri toplama ve işleme teknikleri de geliştirilerek günümüzdeki kullanımı kolaylaştırılmıştır (Park, vd., 1998; Cardimona, 1998; Park, vd., 1999; Cardimona, 2002; Cassidy, 2009). Bu araştırmalar incelendiğinde özellikle jips karstına özgü yapıların araştırılması ile ilgili çalışmalarda GPR ve MASW yöntemlerinin birlikte veya GPR yönteminin genellikle elektrik yöntemlerle kullanıldığı görülmüştür. Bu çalışmalarda, jeofizik kesitlerin sunumunun çoğunlukla iki boyutlu (2B) olduğu ve az sayıdaki çalışmalarda ise üç boyutlu (3B) olduğu görülmüştür. Bu iki yöntem kullanılarak, çoğunlukla jips karstlarına özgü gözlenen yapılardan kırık, çatlak, bozunma bölgeleri ve erime boşluklarının tespit edilebildiği anlaşılmıştır. Ayrıca son 20 yılda jipsler ile ilgili yapılan çalışmalarda GPR ve MASW yöntemlerinin tek başına veya birlikte ya da diğer jeofizik yöntemlerle birlikte kullanıldığı da görülmüştür.

Karstik alanlarda GPR yönteminin ilk kullanımları 1990'lı yıllarda başlamıştır (Collins vd. 1994; Robert ve Bosset, 1994; Toshioka vd. 1995; Stevens vd. 1995). Bu çalışmalarda genel olarak 2B kesitler elde edilerek karstik yapıların jeofiziksel

özellikleri ve karstik yapılara özgü bozunmalar araştırılmıştır. Yöntemin başarılı sonuçlar elde etmesi nedeniyle karstik alanlar üzerindeki kullanım sıklığı artarak günümüze kadar devam etmiştir (Batayneh vd. 2002; McGrath vd. 2002; Akça ve Ulugergerli, 2006; Kofman vd., 2006; Crespo ve Ortiz, 2007; Anchuela vd. 2009; Kovin, 2010; Pavlic ve Praznik, 2011; Kadıoğlu ve Ulugergerli, 2012; Aziz ve Ali, 2013). Cardimona (1998), Cardimona (2002), Annan (2009) ve Cassidy (2009)'nin yaptıkları çalışmalar incelendiğinde GPR verisi toplama ve işleme tekniklerini geliştirdikleri görülmüştür. Böylece bu yöntemde veri toplamayı kolaylaştırmışlar ve veri işleme süresini azaltmışlardır. Ayrıca çalışma alanı yakın dolayında yapılmış ve jipslerdeki kırık/çatlak/boşlukları ve jipsin özdirencini de belirleyen öncel jeofizik çalışmaların sonuçları ise yorumlamaya katkıları nedeniyle önemlidir (Duvarcı, 1994; Tanıdır ve Karlı, 1996; Ulugergerli ve Akça, 2006; Sarı, 2012; Özel, 2013).

Öte yandan karstik bölgelere uygulanan sismik yöntemler incelendiğinde, jips içerisindeki bozunmaların belirlenebilmesi için genellikle S dalgası hızı tespiti çalışmaları bulunmaktadır (Xavier ve Odile, 2000; Grandjean ve Leparoux, 2004; Xu ve Butt, 2006; Sarı, 2012; Özel, 2013). Sismik yöntem tekniği olan MASW yöntemi, çalışılan ortamdaki S dalgası hız değişimini belirlediği için özellikle son yıllarda jipsler üzerindeki kullanımı artmıştır.

Sivas ve çevresi ile ilgili olarak, jipsli bölgeler üzerindeki öncel çalışmalar incelendiğinde çoğunlukla yapılan çalışmaların jeoloji, morfoloji, tektonik ve jeofizik ile ilgili olduğu görülmüştür (Kurtman, 1973; Yılmaz, 1984, İnan vd., 1993; Poisson vd., 1996; Yılmaz ve Yılmaz, 2006; Waltham, 2002; Kavak, 2005; Keskin, 2011). Karstik yapıların jeolojisi, su ve toprak kimyası konusunda Değirmenci vd. (1995), Değirmenci vd. (1996), Cerit vd. (1996), Kaçaroğlu vd. (1997), Özel (2010)'in çalışmaları ve jeofizik konusunda ise Özel (2005), Yılmaz ve Özel (2008), Özel (2010), Sarı (2012) ve Özel (2013)'in çalışmaları bulunmaktadır.

1.2 Çalışma Alanının Genel Özellikleri

Çalışma alanı, Sivas şehir merkezinin kuzeydoğusunda yaklaşık 50x48 m^2'lik bir alanda ve şehir merkezine yaklaşık 8 km uzaklıkta yer alan Kılavuz mahallesi ve civarıdır (Şekil 1.1).

Sivas ili ülkemizin İç Anadolu Bölgesi'nin Yukarı Kızılırmak bölümünde yer alır. 36° ve 39° doğu boylamları ile 38° ve 41° kuzey enlemleri arasında kalan il, 28.488 km^2

yüzölçümü ile Türkiye'nin toprak bakımından ikinci büyük ilidir. Topografik yapısı genelde engebelidir.



Şekil 1. 1 Çalışma alanının uydu haritasıyla görüntülenmiş yer bulduru haritası (Google Earth, 2015).

Deniz seviyesinden ortalama 1000-1500 m yüksekliktedir. Karasal iklimin hakim olduğu Sivas kuzeyde Karadeniz ve doğuda Doğu Anadolu bölgesine özgü olan yüksek bölge iklimlerinden etkilenir. Başlıca yeryüzü şekilleri dağlar ve bu dağlar arasında uzanan vadiler, çukurlarda oluşmuş ovalar ve yüksek platolardan oluşmaktadır. Ancak jeolojik açıdan değerlendirildiğinde evaporitik bir havza olan Sivas Havzası, jips karstının Anadolu'da en güzel görüldüğü yerlerden biridir. Jipslere bağlı şekillenmeler; karakteri gereği olumsuzluklar da meydana getirmektedir. Çalışma alanın da bulunduğu bölgede jipslerin ($CaSO_4.2H_2O$) büyük bölümü, anhidritlerin ($CaSO_4$) su alması ile oluşmuştur. Dolayısıyla bu özelliğiyle şişme-genişleme eğiliminde olurlar. Jips karstının geliştiği alanlarda akaçlama (yer altı sularının toplandığı bölgeler) bozuk ve seyrek dokulu, kaynaklar voklüz (karstik alanlarda yer altı sularının yüzeye çıktığı kaynak) nitelikli, ancak tuzludur. Bu kesimlerde taban araziler dışında çok sığ bir toprak gelişebilmiş veya toprak gelişimi yoktur. Bundan dolayı karstik alan dış etken ve süreçlere açıktır (MTA, 1997).

Jipslerde çeşitli yönlerde gelişmiş olan çatlak ve yoğun eklem sistemleri gelişmiştir (Şekil 1.2). Bunlar kayaçlarda şevlerin dik olduğu kısımlarda (örneğin Kılavuz mahallesi) sık sık kaya (blok) düşmesi olaylarına da rastlanmaktadır. Diğer yandan jipslerde killerle ara katkılı seviyelerde kırık ve çatlakların ve çözünme boşluklarının da

katkısıyla kaya ve şev duraylılığı sorunları söz konusudur. Bu sorunlarla özellikle kaya yarmalarında karşılaşılmaktadır.



Şekil 1. 2 Çalışma alanı yüzeyinde gözlenen jips örneklerindeki çatlak ve eklem sistemlerinden bir görünüm.

Ayrıca jipslerde ana kırık hatları boyunca dolin, düden, yeraltı mağarası gibi karstik yapılar yaygın bir şekilde yer almakta olup, özellikle temel mühendisliğinde bu yapılar çok önemlidir (MTA, 1997). Bu yapılar çalışma alanı dolayında da yoğun olarak gözlenmektedir.

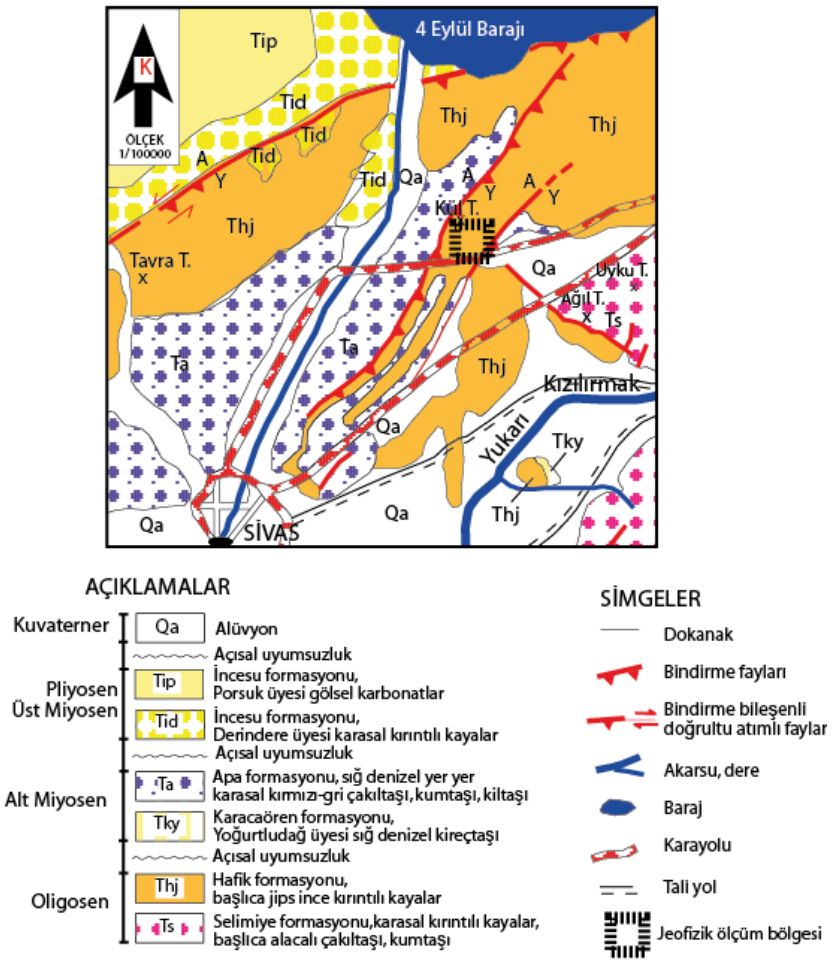
1.3 Çalışma Alanının Jeolojisi

İnceleme alanı ve yakın çevresinde, Hafik Formasyonu (Thj) jeolojik birimi gözlenmektedir (Şekil 1.3). Hafik Formasyonu Sivas havzasında oldukça geniş yayılım sunan ve ağırlıklı olarak masif jipslerden oluşan Oligo-Miyosen yaşlı bir birimdir (Yılmaz, 1984; Aktimur vd., 1988). Ancak günümüzde bu formasyon Oligosen yaşlı olarak tanımlanmaktadır (Poisson vd. 1996; Kavak, 1998; Kavak, 2005; Yılmaz ve Yılmaz, 2006).

Bu formasyon başlıca masif jips ve jips ara katkılı kırıntılı kayalardan oluşmakta olup, bu birimler atmosferik süreçler etkisiyle kolaylıkla çözünebilen bir yapıdadır. Formasyonun, egemen kaya türü beyaz, bej ve gri yer yer ince-orta-kalın tabakalı çoğunlukla masif, sıkça kıvrımlanmış ve makaslama zonları içeren ve taban kesimlerinde yapraklanma gösteren jipslerden oluşturmaktadır (Temiz, 1994).

Hafik formasyonu'nun bileşiminde evaporit grubu minerallerden jipsin yanı sıra anhidrit ve kayatuzu da bulunur. Bunlar, su ile temas ettiklerinde kolaylıkla çözünürler, su ortamı terk ettiğinde ise tekrar kristalleşebilir yada iyonlar yer değiştirerek yeni

mineraller oluşabilir veya mineraller birbirine dönüşebilir (Atmaca, 2004; Yılmaz ve Atmaca, 2006; Özel, 2010).



Şekil 1. 3 Çalışma alanı ve yakın çevresinin jeoloji haritası (Koruç (2007) ve Özel (2013)'den düzenlenerek alınmıştır).

1.4 Çalışmanın Amacı

Bu çalışmanın amacı Sivas jipslerinin jeofiziksel özelliklerinin, elektromanyetik bir yöntem olan Yer Radarı (GPR - Ground Penetrating Radar) ve sismik yöntemde son yıllarda yaygın olarak kullanılan Çok Kanallı Yüzey Dalgası Analizi (MASW - Multi Channel Analysis of Surface Wave) tekniği ile araştırılarak jips karstlarındaki olası bozunmaların veya boşluk, kırık, çatlak gibi yapıların varlığının incelenmesidir. Çalışma alanının seçiminde, yer yer yüzeyde gözlenen jips karstları etkili olmuştur (Şekil 1.4). Çünkü bu alan aynı zamanda yeni yerleşim alanı planı içinde yer almaktadır. Bu nedenle jipslerin bulunduğu bu alanların yeni yerleşim yeri olarak

seçilmesinin sebep olacağı sorunlar ve bu alandaki jipslerin jeofizik özellikleri ortaya konulmak istenmiştir. Bu tür öncel çalışmaların böyle riskli alanlar için önemi de ortaya konulmuştur. Ayrıca çalışma alanında bu güne kadar herhangi bir jeofizik araştırma yapılmadığından bu çalışma bu alanda bir ilk olma niteliği taşımaktadır. Diğer bir durum ise jeofizik çalışmada MASW yönteminin kesitleri 2B ve GPR yönteminin sonuçları 2B ve 3B sunularak, 2B yorumlara 3B yorumun katkıları da sağlanmıştır.



Şekil 1. 4 Çalışma alanının yüzeyinde gözlenen jips örneklerinden bir görünüm (24.06.2013).

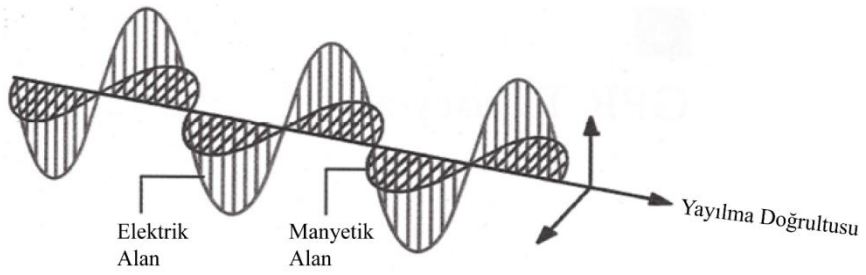
2. ARAZİDE KULLANILAN JEOFİZİK YÖNTEMLER

Çalışma alanında bugüne kadar yapılan ilk jeofizik çalışma bu teze konu olan çalışmadır. Bu jeofizik çalışmadan elde edilecek sonuçlar ve öneriler, bu alandaki jipslerde olabilecek yeraltı boşlukların veya yapısal bozuklukların araştırılmasında kullanılan GPR ve MASW yöntemleri ile karşılaştırmalı olarak sunulacaktır.

2.1 Elektromanyetik Yer Radarı (GPR) Yöntemi

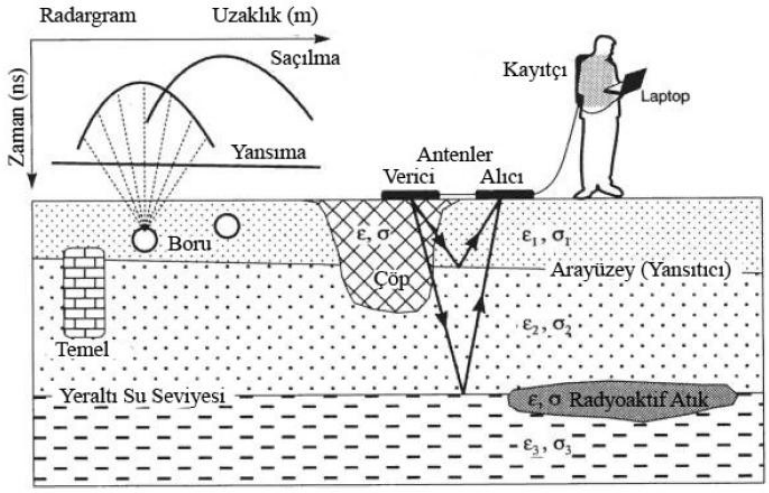
Yer Radarı (GPR-Ground Penetrating Radar), araştırılan yüzeyin sığ derinliklerini yüksek çözünürlükte görüntüleyen elektromanyetik (EM) yöntemlerdendir. Bu yöntemde bir kaynak tarafından araştırılan ortama gönderilen yüksek frekanslı elektromanyetik alanlar kullanılarak incelemeler yapılmaktadır. Bilindiği gibi

elektromanyetik dalga birbirine dik yönde bir yayılma doğrultusu boyunca ilerleyen alanlardan oluşur. Değişken zamanlı bu EM alanlar, elektrik ve manyetik alanların bileşeninden oluşmaktadır (Şekil 2.1). Bu iki alan, yeraltında bulunan malzemelerin etkisi altında değişmekte ve yer altındaki yapıların elektriksel özelliklerinin değişiminin gözlenmesine izin vermektedir (Annan, 2003).



Şekil 2. 1 EM dalganın yayılımı (Conyers, 2004'den düzenlenerek alınmıştır).

Bu yöntemde bir verici antenle yeraltına gönderilen yüksek frekanslı EM dalgaların bir kısmı, yeraltında farklı dielektrik özelliklere (ε: geçirimlilik, σ: iletkenlik ve μ: manyetik geçirgenlik) sahip yüzeylerden yansırken, diğer kısmı da daha derin ortamlara ilerleyebilmektedir (Şekil 2.2). Şekil 2.2 incelenirse, verici antenden gönderilen EM dalgalar yer içinde yayınımları sırasında karşılaştıkları farklı dielektrik özelliklere sahip süreksizliklerden, enerjilerinin bir bölümünün geriye yansıyarak yüzeydeki alıcı anten yoluyla kaydedilmesi ve bu yayılım boyunca geçen toplam sürenin ölçülmesi ilkesine dayanır.



Şekil 2. 2 GPR yönteminde ölçü almanın genel düzeneği (Kesemen, 2007).

Alıcı anten tarafından kaydedilen sinyaller kontrol biriminde biriktirilmekte ve çift yol seyahat zamanı nano saniye cinsinden kaydedilmektedir (Davis ve Annan, 1989). Kayıt edilen izlerin uzaklığa bağlı olarak yan yana konulmasıyla oluşturulan kesite radargram denir. Yansıyan ve iletilen sinyallerin genliği, yansıma katsayısına ve yansıma sınırındaki nesnelerin büyüklüklerine bağlı olmaktadır. Yeraltındaki yansıma yüzeyleri değişik olup, bu yüzeylere örnek olarak toprak-kaya ara yüzeyleri, insan yapımı objeler ve ortamdaki kırık-çatlak sistemlerinin oluşturacağı malzeme-boşluk sınırları verilebilir. Dolayısıyla GPR ölçümlerini, ortamların elektriksel iletkenlik (σ) ve dielektrik geçirgenlik (ε) parametreleri etkiler. Bu nedenle yüksek elektriksel iletkenlik, GPR çalışmalarını sınırlayan en önemli faktörlerden biridir. Yüksek iletkenlikli zemin (yüksek kil içerikli zemin) düşük iletkenli zeminden (kuru kum) daha fazla enerji soğurur (Griffin ve Pippet, 2002). Yüksek iletkenlikli ortamlar, iletilen sinyalin soğurulmasına ve derinliğin azalmasına neden olmaktadır. Bu nedenle GPR çalışmalarında çalışılan ortamın iletkenliğinin düşük olması istenir (Aloğlu, 2006).

Dielektrik geçirgenlik (ε) parametresi ise elektriksel yalıtkanlıkla eş anlamlıdır ve dielektrik bir gereç, elektrik akımına yüksek derecede direnç gösteren madde olarak tanımlanmaktadır. Dielektrik ortamlar, elektromanyetik enerjinin büyük bir kısmının saçılmadan farklı ortamlara geçişine izin verir. EM dalganın yeraltındaki bir yansıtıcıdan yansıyabilmesi için ortamlar arasında elektriksel bir zıtlığa gereksinim vardır. Bu olgu bağıl dielektrik anlamında düşünüldüğünde, ortaya çıkacak zıtlık artışı ara yüzeylerden kaynaklanacak yansımaların genliklerinin büyümesine neden olacaktır. Böylece ara yüzey daha belirgin olarak görülebilecektir (Kurtulmuş ve Drahor, 2008). Ortamların dielektrik geçirgenlikleri onların bileşimleri, nem içeriği, hacim yoğunluğu, gözeneklilik, sıcaklık ve fiziksel yapılarına bağlıdır (Olhoeft, 1981).

Bu iki parametre (dielektrik geçirgenlik, elektrik iletkenlik) sudan önemli bir şekilde etkilenmektedir. Bundan dolayı su GPR'ın çalışma performansı üzerinde büyük etkiye sahiptir (Griffin ve Pippet, 2002). Çizelge 2.1' de bazı jeolojik malzemelere ait dielektrik sabit, iletkenlik, yayılma hızı ve soğrulma değerleri verilmiştir.

GPR çalışmalarına etki eden diğer bir faktörde kullanılan anten frekansıdır. Uygulamalarda kullanılan anten frekansları genellikle 25 MHz ile 1000 MHz arasında değişmektedir. Bu frekans uygulama derinliğine bağlı olarak değişmektedir. GPR dalgalarının derinliği ve çözünürlüğü kullanılan anten frekansına bağlıdır (Çizelge 2.2) (Takahashi, 2004). Yüksek frekanslı elektromanyetik dalgalar düşük frekanslı

elektromanyetik dalgalara göre daha yüksek ayrımlılık elde edilmesine olanak verir. Fakat yüksek frekanslar çok hızlı emildiği için penetrasyon derinlikleri düşük frekanslar kadar mükemmel değildir (Griffin ve Pipet, 2002).

Çizelge 2. 1 Bazı jeolojik malzemelere ait dielektrik, iletkenlik, hız ve soğrulma değerleri (Aloğlu (2006)'dan düzenlenmiştir).

Malzeme	**Bağıl dielektrik sabit ε_r**	**İletkenlik σ (mS/m)**	**Yayılım hızı V (m/ns)**	**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}
Kuvars	4.2-5	3.10^{-4}- 5.10^{-12}	0.13-0.15	2.10^{-8}-4.10^{-12}
Tortul Kayaçlar				
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
Seyl	5-15	1-100	0.09	1-100
Metamorfik kayalar				
Gnays	8.5	0.0003-0.02	0.10	-
Kuvarsit	-	5.10^{6}-100	-	-

Çizelge 2. 2 GPR parametreleri arasındaki ilişki (Takahashi, 2004).

GPR Parametreleri	**Dielektrik Sabit**		**Elektrik İletkenlik**		**Anten Frekansı**	
	Yüksek	Düşük	Düşük	Yüksek	Düşük	Yüksek
Yayılma hızı	Yüksek	Düşük				
Penetrasyon	Kısa	Uzun	Uzun	Kısa	Uzun	Kısa
Dalga boyu	Uzun	Kısa			Uzun	Kısa
Çözünürlük	Düşük	Yüksek			Düşük	Yüksek

GPR verisi sayısal olarak kayıt edilir ve ölçümlerden alınan ham yer radarı kesitiyle yorum yapmak oldukça zordur. Bu yüzden, GPR çalışmalarının en önemli kısımlarından olan veri işlemede çeşitli filtre parametreleri ve teknikleri kullanılarak amaca en uygun görüntüye ulaşılmaktadır (Leucci ve Negri, 2006). Veri işlem aşamasında sinyal/gürültü oranı arttırılarak verilerin daha seçilir olmasını sağlamak için, çalışmanın amacına ve ortamın elektriksel iletkenliğine göre filtre parametrelerinin doğru seçimi oldukça önemlidir.

GPR yöntemin ilk uygulamalarından günümüze kadar yer radarı ile araştırma çalışmaları farklı sahalarda uygulama alanı bulmuştur. Özellikle boşluk, kırık, çatlak gibi yapılarının aranmasında kullanımı dikkate alınırsa, EM dalganın yayılması, hızı ve yansıma şiddetleri farklı olacaktır. Bu durumda,

- Hava, EM dalganın yayılması için ideal bir ortamdır.
- Hava boşluğu ile karşılaşan EM dalgalar aniden hızlanmakta ve bu yeni ortamın ara yüzeyinden kuvvetli yansımalar göndermektedir.

Bu nedenlerle, özellikle karstik sahalarda ciddi tehlike oluşturan hava dolu boşlukların, kırık ve çatlakların yer radarı yöntemi ile saptanması mümkündür (Koçaslan, 2008). Bu nedenle bu çalışma kapsamında GPR ölçümlerinden olası kırık-çatlak veya boşlukların belirlenmesi hedeflenmiştir.

2.2 Sismik Çok Kanallı Yüzey Dalgası Analizi (MASW) Yöntemi

Çok Kanallı Yüzey Dalgası Analizi (MASW- Multi Channel Analysis of Surface Wave) yöntemi olarak adlandırılan bu yöntem son yıllarda mühendislik ve çevresel sorunlarda başarılı sonuçlar elde eden bir sismik yöntem tekniğidir. MASW yöntemi S dalgası hız tespiti için klasik sismik kırılma yöntemine göre ölçü alımının daha kolay olması ve gürültülerden daha az etkilenmesi sebebi ile kullanımı her geçen gün yaygınlaşmaktadır. Kısaca MASW olarak adlandırılan bu yöntem aktif kaynak kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Yüzeye yakın jeolojik yapıların belirlenmesinde kullanılan birçok yüzey dalgası inceleme yöntemi vardır. Bunlar arasında aktif kaynaklı yöntemlerden SASW (Yüzey dalgalarının spektral analizi) ve MASW (Çok kanallı yüzey dalgası analizi) yöntemleri en çok kullanılanlardır (Çizelge 2.3) (Kanlı vd., 2006).

Çizelge 2. 3 Aktif ve Pasif kaynaklı MASW yöntemleri (Dikmen, 2006).

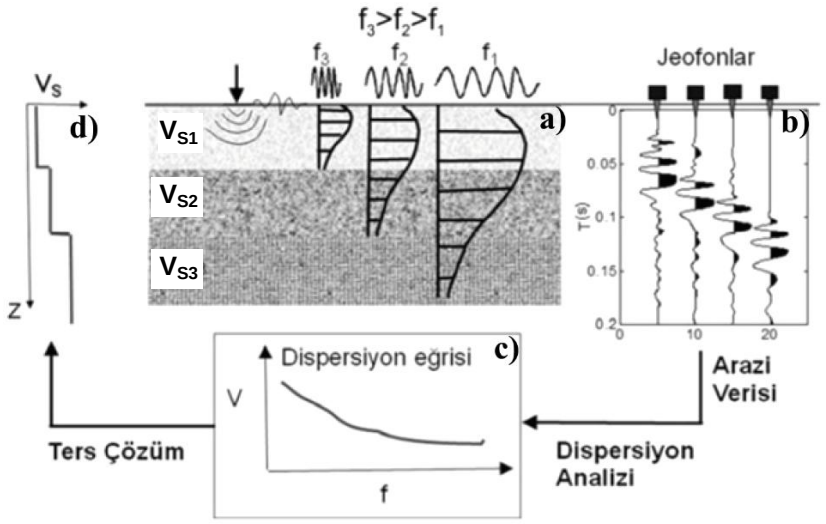
Kaynak	**Yöntem**	**Kullanılan Jeofon**	**İlgilenilen Faz**	**Hesaplanan Parametre**
Aktif	Durağan Rayleigh Dalgası Analizi (SSRM)	Düşey	Rayleigh	Vs
	Yüzey Dalgalarının Spektral Analizi (SASW)	Düşey	Rayleigh	Vs
	Çok Kanallı Yüzey Dalgası Analizi (MASW)	**Düşey**	**Rayleigh**	**Vs**
Pasif	Spektral Oranlar Yöntemi	Yatay	S	T ve M
	Tek İstasyon Yöntemi	Yatay ve Düşey	Rayleigh	T ve M
	Dizilim Yöntemi (ReMi, Pasif uzak MASW, Pasif yol kenarı MASW)	Düşey	Rayleigh	Vs

M: Sismik büyütme katsayısı, **T**: Zemin büyütme katsayısı, **Vs**: Makaslama (Kayma) dalga hızıdır.

Uygulamada aktif kaynaklı yöntemlerin tercih edilmesindeki en önemli nedenlerinden biri, bu yöntemlerde kaynağın yerinin bilinmesi ile birden fazla sinyalin oluşturabileceği sorunların ortadan kaldırılmasıdır. Sinyal/gürültü oranının yüksek olduğu yerleşim alanlarından uzak bölgelerde aktif kaynaklı çalışmalar yapılabilir. Aynı zamanda, veri toplama ve işleme aşamaları daha hızlı ve kolaydır (Xia vd., 1999). MASW yöntemi, SASW yöntemine göre Rayleigh verilerinin kayıt edilmesinde daha etkilidir ve bu nedenle uygulamada daha fazla kullanılır. 12 veya daha fazla jeofon (24, 36, 48, ...) kısa ya da uzun aralıklarla yerleştirilir ve aktif bir kaynak ile faz hızı ölçülür (Park vd., 1999). Kısacası, MASW yöntemi sığ mühendislik çalışmalarında kullanılan yöntemlerden biri olan SASW'nin yetersizliğinin giderilmesi için çok kanallı olarak geliştirilmiştir.

MASW yönteminin amacı, tabakalı yerküre modeli için bir yüzey dalgası olan Rayleigh dalgasının dispersif özelliğinden yararlanarak S-kayma dalgası hızının derinliğe bağlı değişimini 1 boyutlu (1B) elde etmektir. Ancak istenildiği takdirde ölçü profili boyunca birçok noktadan atış yapılarak tomografi ölçüsü alınır ve alınan kayma dalgası hızı (Vs)-derinlik grafikleri birleştirilerek S dalgası hızının iki boyutlu kesiti elde edilir.

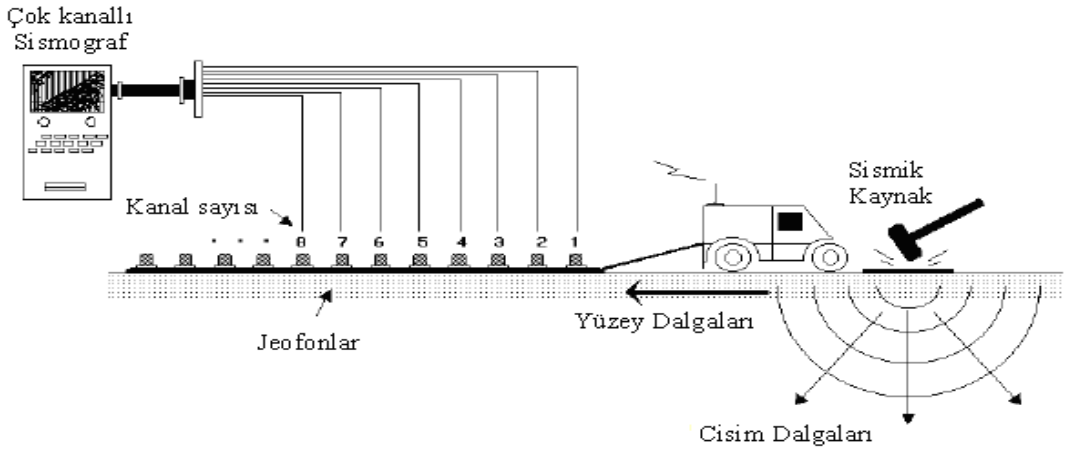
MASW yönteminin temel işlem adımları, çalışma alanında yüzey dalgalarının toplanması, dispersiyon (frekans-faz hızı) eğrisinin elde edilmesi ve S-dalgası hız profilinin hesaplanması için ters çözüm işleminden oluşur (Şekil 2.3).



Şekil 2. 3 Aktif kaynaklı MASW yönteminin temel işlem adımları (Dikmen vd., (2009)'dan düzenlenerek alınmıştır).

Şekil 2.3 incelenirse, a'da alıcı (jeofon) frekansının derinlikle ilişkisi, b)'de jeofonlar tarafından kaydedilen sinyallerin zaman ortamındaki görünümü, c'de kayıt edilen sinyallerin dispersiyon eğrisine dönüştürülmüş görünümü ve d'de dispersiyon eğrisine ters çözüm uygulandıktan sonraki 1B derinliğe bağlı S dalgası hızının değişim grafiği gösterilmektedir. Dolayısıyla MASW ölçüleri toplanması ve değerlendirilmesi sonucunda elde edilen Vs kesitlerinin oluşturulması bu temel adımlar sayesinde gerçekleşmektedir.

Veri toplamada kullanılan arazi düzeni, ölçü alımı ve kullanılan ekipman sismik kırılma yöntemiyle de benzerlik gösterir (Şekil 2.4). MASW veri toplama aşamasında ilk olarak, kaynakla aynı doğrultu üzerinde yerleştirilmiş alıcılardan oluşan doğrusal dizilimler kullanılarak çok kanallı kayıt toplanmalıdır. Şekil 2.4 incelenirse MASW verilerinin toplaması, çok kanallı bir sismograf, alıcı jeofonlar ve bir sismik kaynak kullanılarak gerçekleştirilebilir. MASW ölçümlerinin kayıt edilebilmesi için en az 12 kanallı sismograf kullanılması gerekmektedir. Kullanılan jeofonlar düşey ve 4.5 Hz veya 4.5 Hz'den küçük olmalıdır. Sığ çalışmalarda kaynak olarak ise genellikle balyoz kullanılmaktadır.

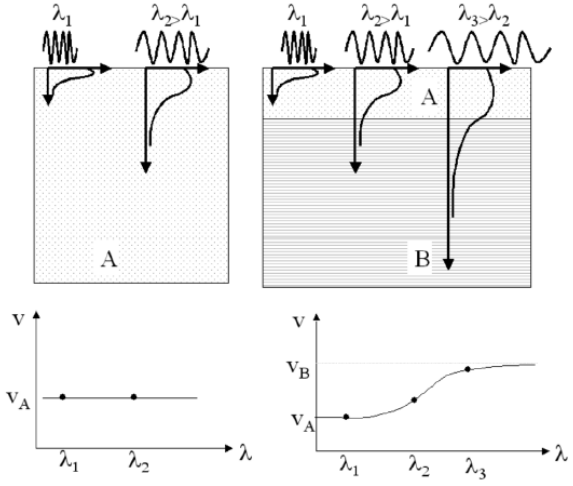


Şekil 2. 4 MASW veri toplama düzeneği (Park vd., 1998).

Yüzeyden etkiyen darbe türü kaynaklar ve normalde 8 Hz 'den küçük, alçak tepki frekanslı alıcılar, yüzey dalgası verilerini elde etmek için seçilmelidir. Kaynak, alıcı, ofset, alıcı aralığı gibi veri kazanç parametreleri, Ground roll sinyallerini güçlendirmek için ayarlanmalıdır. Veri toplamanın ardından her bir atış topluluğunun Ground roll dalgası faz hızları hesaplanır. Ground roll dalgasının frekans ve faz hız dizileri başlangıç doğrusu boyunca verinin analiz edilerek hesaplanmasını gerektirir. Bu iki dizi, her bir atış topluluğundan frekans bağımlı faz hızı eğrilerini tam olarak çıkarmak

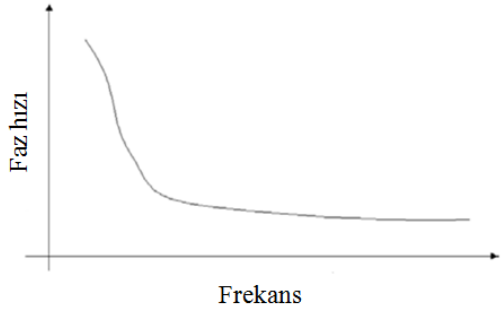
için çok önemli bir sınırlamadır (Park vd., 1999). Kullanılan serim uzunluğu, kayıt edilebilecek en büyük dalga boyu ile ilişkili olduğundan araştırma derinliğini belirler. Jeofon aralığı ise kayıt edilebilecek en küçük dalga boyu ile ilişkili olduğu için sığ araştırma derinliğinin çözünürlüğünü etkileyen bir değişkendir. Yöntemde, yüzey dalgasının yaratılmasında balyoz, çekiç, patlatma veya ağırlık düşürme gibi enerji kaynakları kullanılabilir. Genellikle veriler 1 ms örnekleme aralığı ve 1 sn'lik kayıt uzunluğu ile toplanmaktadır. Eğer sismik kırılma ya da yansıma verisi de toplanacaksa örnekleme aralığının 0.5 ms olması önerilmektedir. Çalışılan ortam hızı düşük ise (örneğin derin alüvyon ortamlarda, Vs<100 m/s) bu durumda daha büyük bir kayıt uzunluğu seçilmesi gerekmektedir (Dikmen, 2012). Ayrıca Sinyal/Gürültü oranını arttırmak için atış noktasında ardı ardına bir kaç vuruş yapılarak yığma (stack) ölçüsü alınması önerilmektedir.

MASW yönteminin bir diğer aşaması dispersiyon eğrilerinin oluşturulmasıdır. Yüzey dalgaları, yayılımları sırasında düşey heterojen ortamlarda en önemli fiziksel özelliği olan dispersiyon göstermektedirler. Dispersiyon, yüzey dalgalarının farklı frekanslarda farklı faz hızlarına sahip olması olarak tanımlanmaktadır. Homojen bir ortamda dalgalar farklı dalga boyunda ve farklı derinliklerde olsa bile aynı malzeme içerisinde yayıldıkları için hızları aynı olacaktır. Düşey olarak homojen olmayan bir ortamda ise farklı malzemeler içerisinde yayılan dalgalar, yayıldıkları ortamlarının özelliklerine bağlı olarak farklı faz hızlarıyla yayılım gösterirler (Şekil 2.5). Şekil 2.5'de görüldüğü üzere A ile gösterilen homojen ortamda dalga boyu (λ) artsa da, faz hızı (V) değişmezken, B ile gösterilen homojen olmayan ortamda dalga boyu (λ) artarken, faz hızı (V)'nın da arttığı gözlenmektedir.



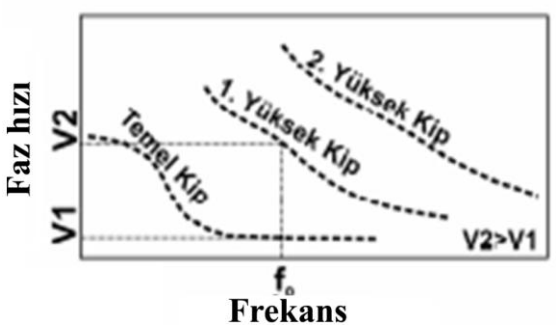
Şekil 2. 5 Homojen ortamda faz hızı (A), düşey olarak homojen olmayan ortamda faz hızını dalga boyuna bağlı değişimi (B) (Strobbia, 2005).

Yüzey dalgaları tek bir hız değerine sahip değildir. Fakat faz hızı frekansın fonksiyonudur ve frekans ile faz hızı arasındaki ilişki "dispersiyon eğrisi" olarak tanımlanır (Şekil 2.6). Yüksek frekans değerlerindeki faz hızları yüzeye yakın tabakaların Rayleigh dalgası hızını temsil ederken, düşük frekanstaki faz hızları da daha derin tabakaların Rayleigh dalgası hızını temsil etmektedir (Strobbia, 2005). Dolayısıyla Şekil 2.6'da frekansın bir fonksiyonu olan faz hızının frekansla ters orantılı olduğu görülmektedir.



Şekil 2. 6 Faz hızının frekansın bir fonksiyonu olması sonucu oluşan dispersiyon eğrisi (Strobbia, 2005).

Dispersiyon eğrisi deneysel olarak ölçülebilir ve dispersiyon eğrisinin yorumlanması ile yeraltının özellikleri belirlenebilir. Bu nedenle faz hızı-frekans ilişkisi ve temel modla ilişkisi iyi analiz edilmelidir (Şekil 2.7). Çünkü Rayleigh dalgasının yer yayılımı çok modlu (kip) bir olgudur. Herhangi bir frekans değeri için, Rayleigh dalgasının en düşük faz hızındaki yayılımı temel mod olarak adlandırılmaktadır. Temel moddan daha büyük hız değerine sahip olan modlar yüksek mod olarak adlandırılır (Strobbia, 2005).



Şekil 2. 7 Yüzey dalgalarının dispersiyon eğrilerindeki temel mod ve yüksek modların görünümü (Dikmen vd., 2009).

Şekil 2.7 incelenirse, yüzey dalgası analiz için temel mod (kip) kullanılmalıdır. Temel mod yerine yüksek modların kullanılması gerçek hız değerinden daha yüksek bir hızın elde edilmesine neden olmaktadır.

MASW yönteminin son aşaması ise S dalgası hızının (Vs) belirlenebilmesi için dispersiyon eğrisine uygulanan ters çözüm işlemidir. Dispersiyon verilerinin ters çözümünde, genellikle yüzey dalgalarının temel modu kullanılır. Ancak tabakalı yapılarda, yüzey dalgalarının yüksek modları da gözlemlenir. Normal dispersiyon gözlenen bir ortamda, yani hızın derinlikle arttığı bir yer yapısında, yüzey dalgalarının temel modu baskın durumdadır ve temel modun kullanıldığı ters çözüm işlemlerinde başarılı sonuçlar elde edilmiştir (Park vd, 1999). Ters çözüm işlemi gelişen yazılımlar sayesinde kolaylıkla yapılabilir. Ters çözüm işlemi için genellikle en küçük kareler yöntemi kullanılmaktadır.

Bu tez çalışmasında MASW yönteminin kullanılmasının amacı ise, P dalgası hız (Vp) analizi ile yüksek hızlı bir katmanın altında düşük hızlı katmanın bulunması durumunda düşük hızlı katmanın varlığı belirlenememektedir. MASW yöntemi ile S dalgası hız (Vs) analizi yapıldığı için bu sorun söz konusu değildir. Bu nedenle, jips tabakasının içerisindeki olası bozunma bölgelerinin veya kırık, çatlak, boşluk gibi yapıların varlığını belirleyebilmek için MASW yöntemi tercih edilmiştir.

3. ARAZİ ÇALIŞMALARI

Bu çalışmada inceleme alanının daha doğru tanımlanabilmesi için GPR ve MASW yöntemleri kullanılmıştır. Birden fazla jeofizik yöntemlerin uygulanmasıyla elde edilen sonuçların birlikte yorumlanması, incelenen ortamın daha doğru tanımlanmasına neden olmaktadır. Çalışmalarda jeofizik yöntemler iki aşamada uygulanmıştır. İlk aşamada, GPR verileri toplanarak değerlendirilmiştir. Daha sonra belirti gösteren GPR profilleri üzerinde MASW ölçüleri toplanarak kesitlerler birbirleriyle karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

3.1 Jeofizik Cihazlar ve Ekipmanlar

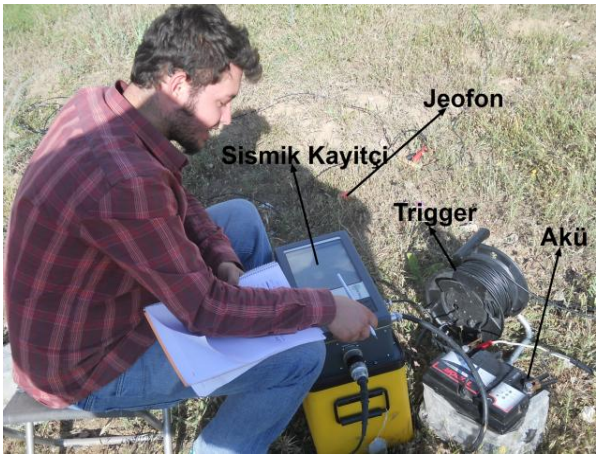
GPR ölçümleri için, RAMAC marka 250 MHz korumalı antenli ölçü aleti kullanılmıştır. RAMAC Yer Radarı; kontrol ünitesi, bilgisayar (laptop), alıcı-verici antenler, mesafe ölçer ve batarya birimlerinden oluşmaktadır (Şekil 3.1). Verici anten ile yeraltına

elektromanyetik dalgalar gönderilmekte, gönderilen bu dalgalar yeraltında farklı dielektrik sabite sahip ortamda yansımaya uğramakta ve yansıyan sinyal alıcı anten tarafından kaydedilmektedir. Daha sonra kaydedilen sinyal kontrol ünitesine, buradan da işlenmek üzere bilgisayara gönderilmektedir.



Şekil 3. 1 RAMAC tipi GPR cihazı ve çalışma alanından bir görünüm.

MASW uygulamasında ise kırılma yönteminde kullanılan standart kayıtçılar ve jeofonlar kullanılmıştır (Şekil 3.2).



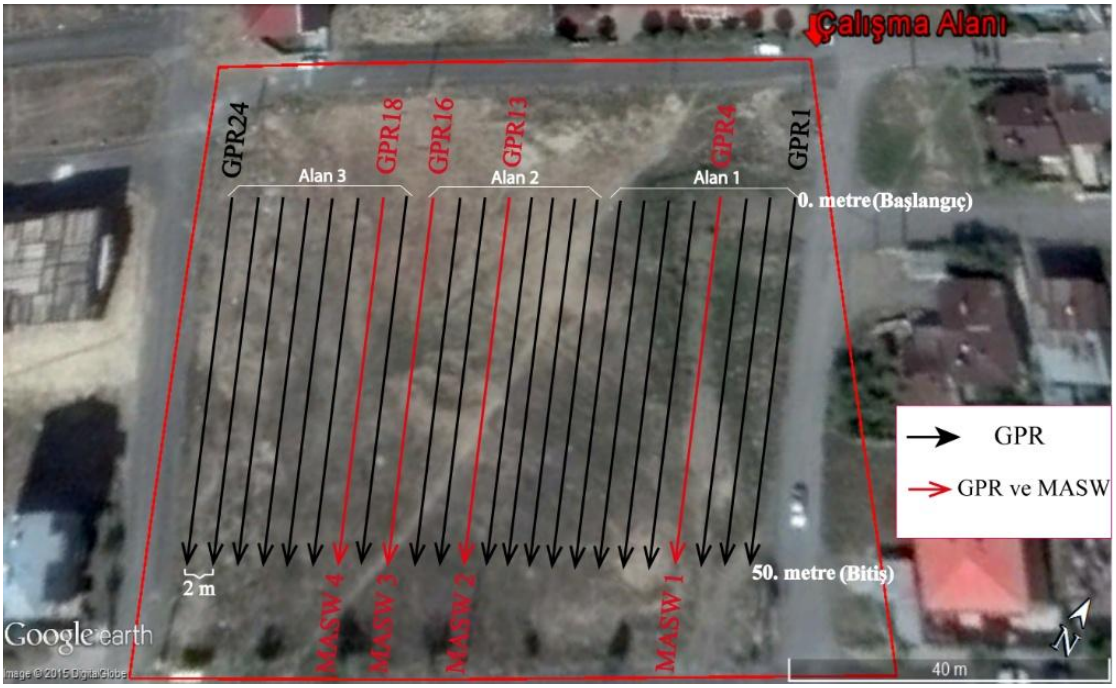
Şekil 3. 2 GEOMETRICS Smartseis tipi sismik cihazı ve ekipmanlarının görünümü.

.

Alıcı olarak 12 adet 4.5 Hz (düşey bileşenli) jeofonunun, kaynak olarak 8 kg 'lık bir balyoz ve demir plakanın kullanıldığı bu çalışmada her bir atış istasyonunda sinyal/gürültü oranını artırmak için ard arda 5 vuruş gerçekleştirilmiştir. Kayıtlarda, kayıt uzunluğu 1 sn, örnekleme aralığı 0.5 ms seçilmiştir. Sismik MASW verileri SEG2 formatında Geometrics Smartseis Sismografı kullanılarak kaydedilmiştir.

3.2 Jeofizik Veri Toplama ve Veri İşlem

Arazi çalışmalarında jeofizik yöntemlerden Yer Radarı (GPR) ve Çok Kanallı Yüzey Dalgası Analizi (MASW) yöntemleri uygulanmıştır. 50x48 m^2'lik çalışma alanını tamamen taramak için profil uzunluğu 50 m olan 2'şer m aralıklı 24 adet GPR profili hazırlanmıştır. Çalışmada öncelikle GPR verileri toplanarak değerlendirilmiştir. Daha sonra uygun görülen GPR profilleri üzerinde jeofon aralığı 3 m seçilerek profil uzunluğu 33 m olan toplam 4 adet MASW profilinde sismik ölçüler alınmıştır (Şekil 3.3).



Şekil 3. 3 Jeofizik ölçüm profilleri.

GPR verileri yaklaşık kuzey-güney doğrultulu, 2'şer metre profil aralıklarında ve 50 m profil uzunluğunda olan toplam 24 profilde RAMAC GPR sistemi ile 250 MHz korumalı anten kullanılarak toplanmıştır. Veri toplanırken kullanılan parametreler Çizelge 3.1.'de sunulmuştur.

Çizelge 3. 1 GPR verileri toplanırken kullanılan parametreler.

Ölçüm Parametresi	Parametre Değeri
Anten Frekansı	250 MHz
Örnek Sayısı	512
Yığma Sayısı	16
İz aralığı (m)	0.1

GPR veri işlem adımları ReflexW (Sandmaier, 2005) programı ile yapılmıştır. Veri işlem; genel olarak Dewow (çok düşük frekansların atılması), Subtract DCShift (zamandaki kaymanın çıkarılması), Bandpass (anlık gürültülerin ayıklanması) ve Gain (genlik kazanç) adımlarını kapsamaktadır. Migrasyon (göç) adımları bu çalışmada uygulanmamıştır. Çünkü 2B migrasyon veri işlem sırasında küçük düşey çatlakları görünmez hale getirmektedir (Grasmueck vd., 2005). Bununla birlikte güçlü yansımalara sahip çok geniş hiperboller, göçe (migrasyona) uğramamış GPR veri görüntülenmesini sınırlandırabilir (Kadıoğlu, 2008). Ayrıca değerlendirilen birbirine paralel profiller birleştirilerek 3B olarak da sunulmuştur. Böylece 2B yorumlamanın zorlukları ortadan kaldırılmıştır.

Çok kanallı yüzey dalgası analizi (MASW) ölçüleri ise yorumu kolaylaştırmak için ayrılan, Alan 1'de GPR4, Alan 2'de GPR13 ve GPR16, Alan 3'de GPR18'de olmak üzere toplam 4 GPR profili üzerinde alınmıştır. Veriler GEOMETRİCS firmasının ABEM modeli olan 12 kanallı sismik cihaz kullanılarak toplanmıştır (Şekil 3.4). Sığ sismikte yüzey dalgaları, oldukça düşük frekanslı bileşenleri de içermektedir ve bu bileşenlerin kaydedilmesi, derinden bilgi alabilmenin en önemli unsurlarından biridir. Bu nedenle veri toplamada alıcı olarak 4.5 Hz'lik düşey bileşenli jeofonlar ve sismik dalga oluşturabilmek için enerji kaynağı olarak 8 kg'lık balyoz kullanılmıştır.



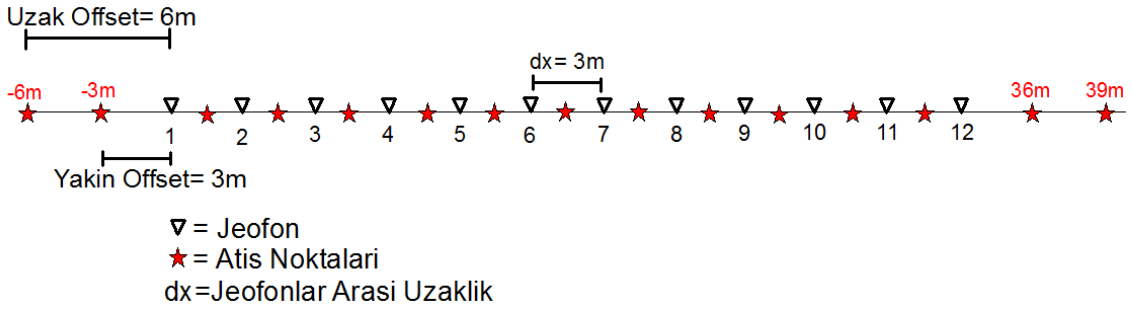
Şekil 3. 4 Sismik cihaz, ekipmanı ve ölçü alınan profillerden bir görünüm.

Yüzey dalgası verisinin arazide toplanması sismik kırılma yöntemiyle benzerlik gösterir ve araziye çıkılmadan önce ölçü alım parametrelerinin belirlenmesi gerekir. Çizelge 3.2'de bu çalışmada MASW yöntemi için seçilen ölçü alma parametreleri ayrıntılı olarak sunulmuştur.

Çizelge 3. 2 MASW verileri toplanırken kullanılan parametreler.

Jeofon	4.5 Hz – Düşey
Kanal sayısı	12
Jeofon aralığı	3 m
Dizilim Uzunluğu	33 m
Kayıt Uzunluğu	1024 ms
Örnekleme Aralığı	0.512 ms
Kaynak	Balyoz (8 kg)
Atış Lokasyonları	-6 m, -3 m, 1.5 m, 4.5 m, 7.5 m, 10.5 m, 13.5 m, 16.5 m, 19.5 m, 21.5 m, 24.5 m, 27.5 m, 31.5 m, 36 m, 39 m

MASW ölçülerinde sabit jeofon aralığı kullanılmıştır ve jeofon aralığı 3 m, offset mesafeleri ise; 3 m ve 6 m seçilerek veri toplanmıştır (Şekil 3.5). Sinyal/Gürültü oranını arttırabilmek için her atış noktasında ard arda 5 atış (stack/yığma) yapılmıştır. Ayrıca, her jeofon arasından atış yapılarak tomografi ölçüsü alınmıştır ve veriler 2B olarak sunulmuştur.

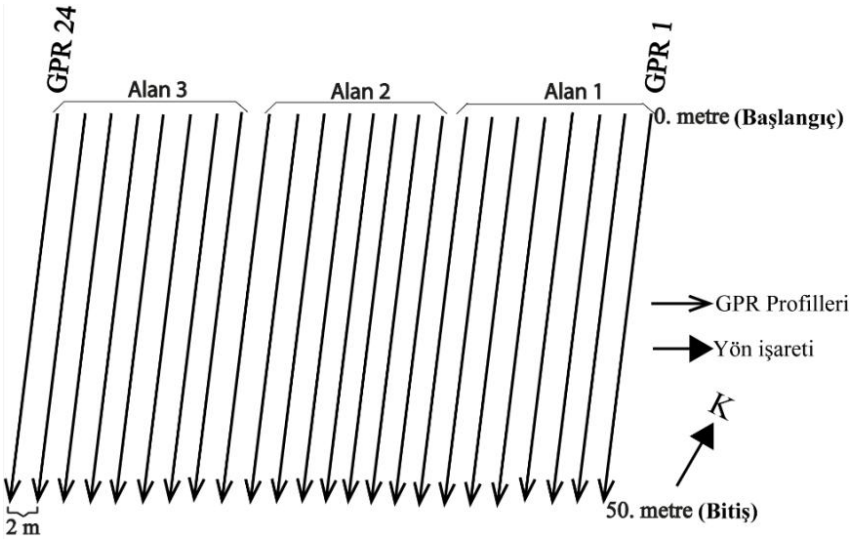


Şekil 3. 5 Arazi çalışmasında seçilen ofsetler ve jeofon aralıklarına göre hazırlanan ölçü alma düzeneğinin görünümü.

Çalışma alanından toplanan ham MASW verileri SeisImager (SeisImager SW, 2006) yazılımı kullanılarak öncelikle her profil için dispersiyon eğrileri çıkarılmıştır. Daha sonra dispersiyon eğrilerine ters çözüm işlemi uygulanılarak, derinliğe bağlı Vs hız değişim kesitlerini gösteren 2B kesit elde edilmiştir.

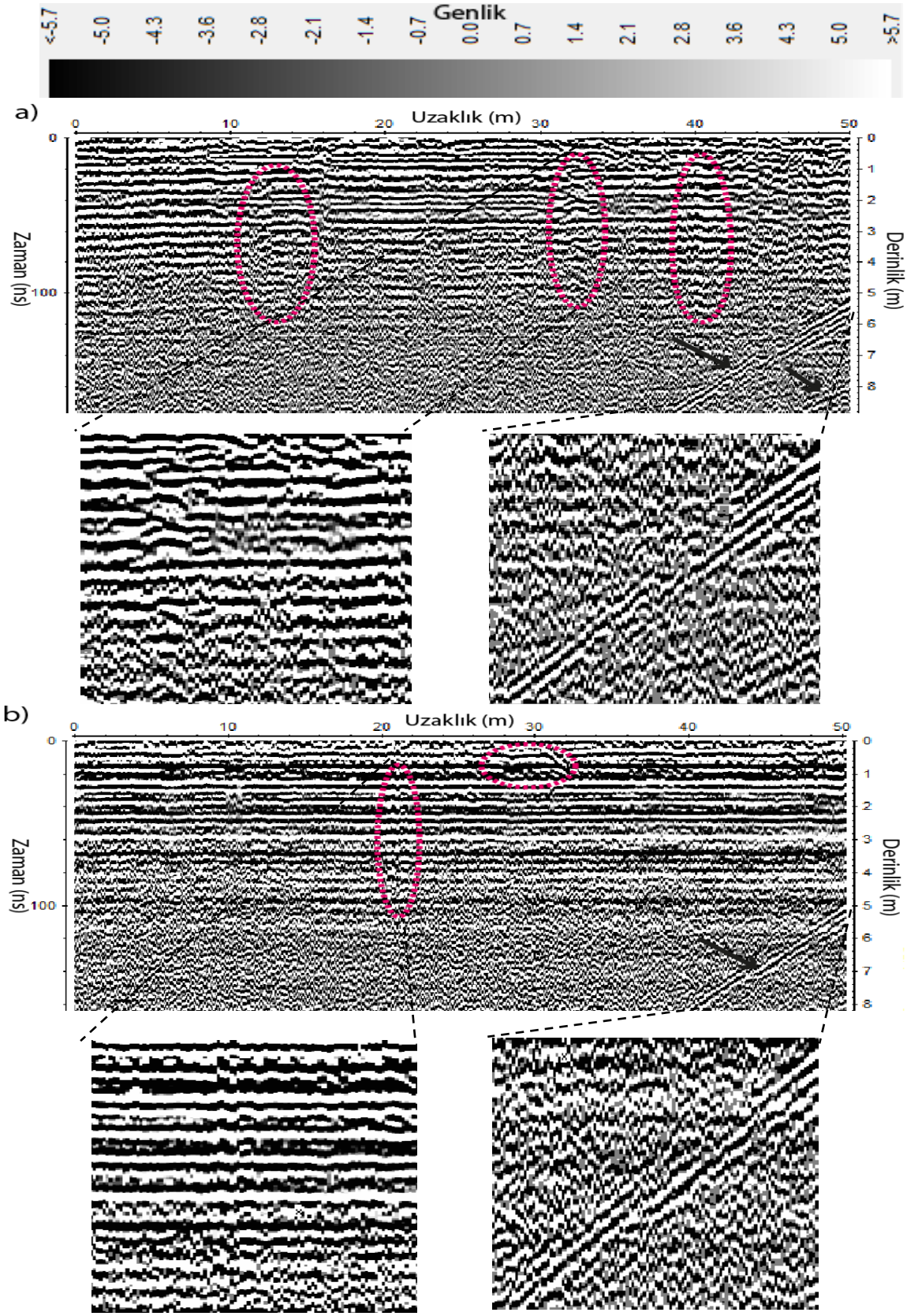
3.3 GPR Yöntem Verilerinin Değerlendirilme Sonuçları

Arazide çalışma alanının tamamını tarayabilmek için, yaklaşık kuzey-güney doğrultulu 50 m uzunluğunda, birbirlerine paralel profiller seçilmiştir. Profiller arası uzaklık 2 m olup 24 adet GPR profilinin sunumunu kolaylaştırmak için, çalışma alanı Alan1, Alan2 ve Alan3 olmak üzere 3 eşit alana ayrılmıştır. Dolayısıyla Alan1, Alan2 ve Alan3 olarak tanımlanan bu alanların her birinde, 8'er adet ölçü alınan jeofizik profiller bulunmaktadır. Çalışma alanındaki GPR profillerinin krokisi Şekil 3.6'da sunulmaktadır.

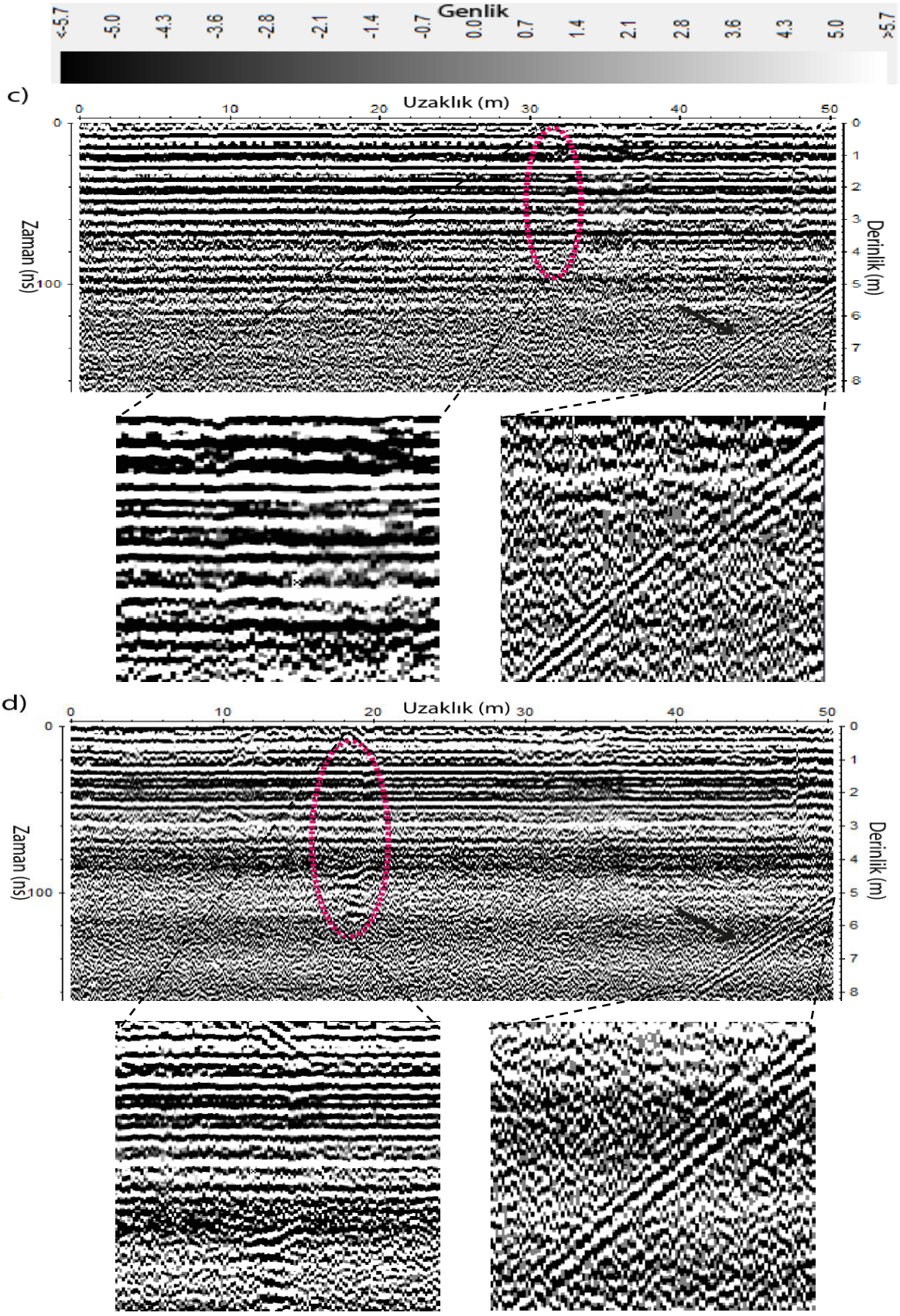


Şekil 3. 6 Çalışma alanında toplanan GPR profillerinin krokisi.

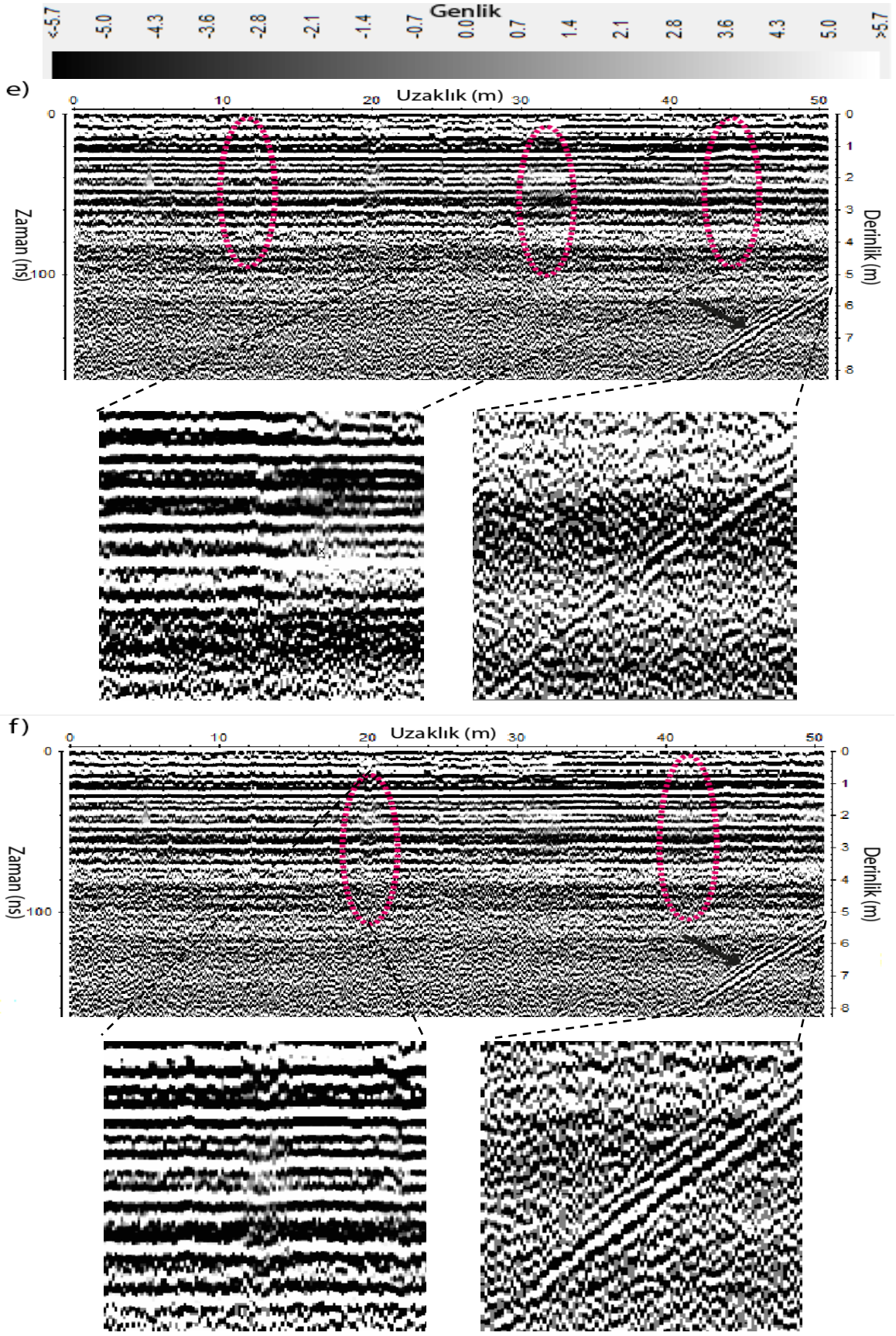
Bu çalışma yüzeye yakın jips araştırması olduğu için veri toplamada 250 MHz anten kullanılmıştır ve veriler değerlendirildikten sonra GPR kesitlerinde yaklaşık 8 m'ye kadar bilgi alındığı görülmüştür (Şekil 3.7, Şekil 3.9 ve Şekil 3.11). Ancak kesitlerde 5-6 m'ye kadar kuvvetli yansımalar gözlenmektedir. Alan 1'de bulunan GPR profillerinin kesitleri Şekil 3.7'de, Alan2'de bulunan GPR profilleri Şekil 3.9'da ve Alan3'de bulunan GPR profilleri Şekil 3.11'de sunulmuştur.



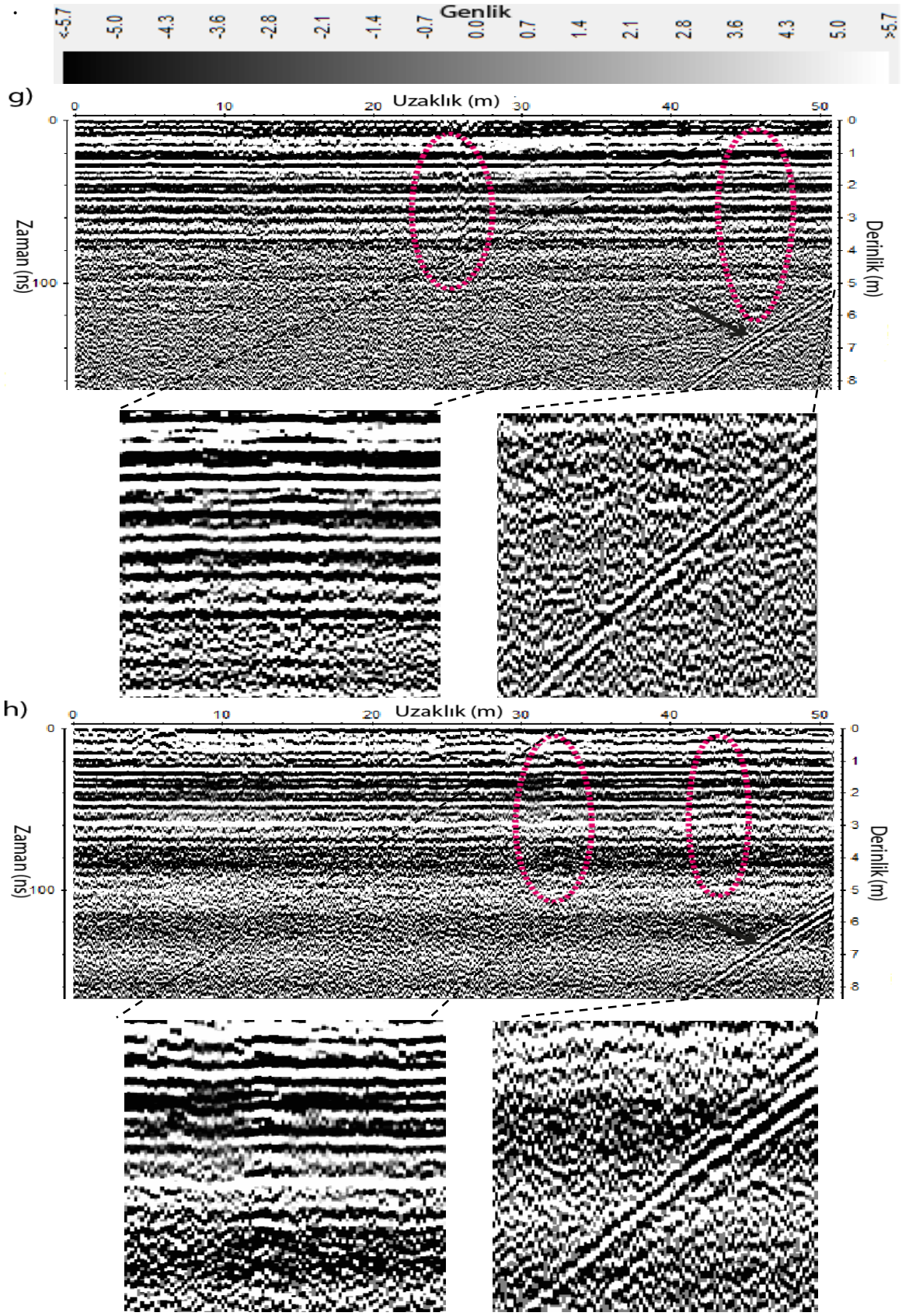
Şekil 3. 7 Alan 1 için GPR kesitleri ve kesitlerde belirti gözlenen alanların yakın görünümleri a) GPR1, b) GPR2.



Şekil 3.7'nin devamı 1. Alan 1 için GPR kesitleri ve kesitlerde belirti gözlenen alanların yakın görünümleri c) GPR3, d) GPR4.



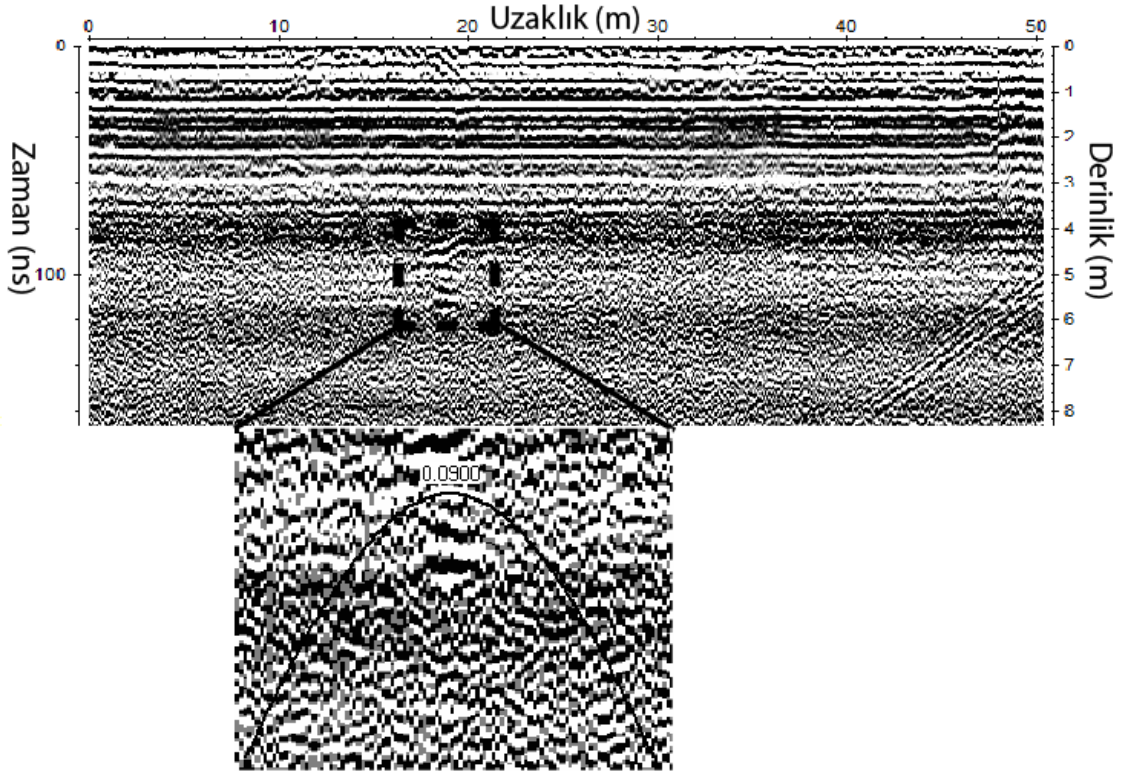
Şekil 3.7'nin devamı 2. Alan 1 için GPR kesitleri ve kesitlerde belirti gözlenen alanların yakın görünümleri e) GPR5, f) GPR6.



Şekil 3.7'nin devamı 3. Alan 1 için GPR kesitleri ve kesitlerde belirti gözlenen alanların yakın görünümleri g) GPR7, h) GPR8.

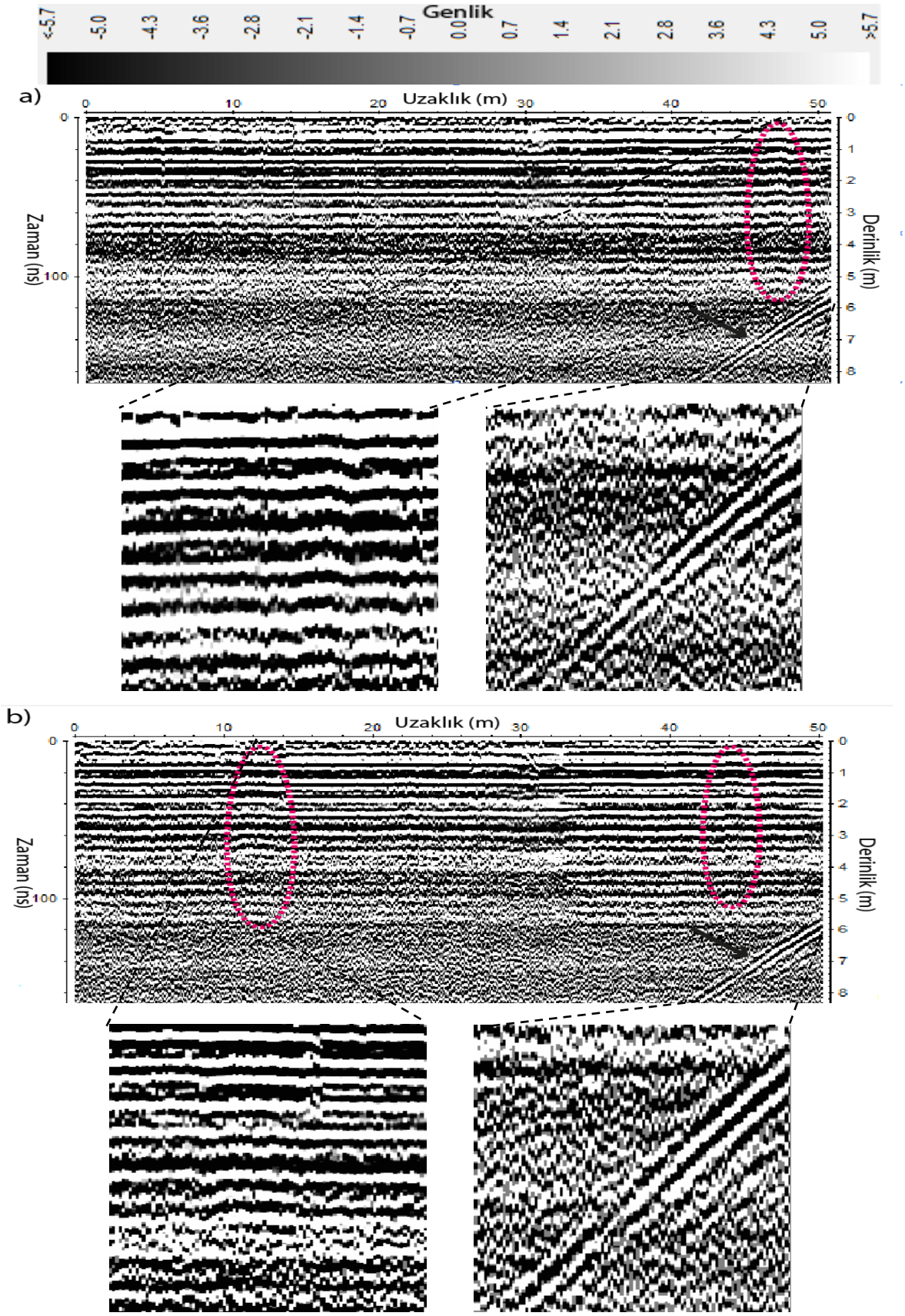
Alan 1 için Şekil 3.7'deki 2B tüm GPR kesitleri incelendiğinde kesikli dairelerin içinde görülen yansımalar, jipslerdeki bozunma alanları olarak yorumlanabilir. Bu alanların jeolojisi gereği kısmen dolgu malzemesi içerdiği düşünülmektedir. Ayrıca Alan 1'deki kesitlerde ok işareti ile gösterilen alanlar profillerin sonunda yaklaşık 10 m boyunca olup, yaklaşık 5 m derinlikten başlayan derinlik arttıkça kuzeye doğru eğimlenen bir kırık yapısının olabileceğini düşündürmektedir. Olasılıkla bu yapı Alan2 Alan3 kesitlerinde de devam ettiği gözlenen ve tüm alanlar birlikte toplam 40 m boyunca, doğu-batı yönlü olarak devam eden ve güneye doğru 5 dereceden daha az eğimli olan bir kırık olabilir (Şekil 3.15) . Buna benzer şekilde kırık olarak yorumlanan yapılar Toshioka vd. (1995) ve Stevens vd. (1995)'nin çalışmalarında da gözlenmiştir.

Ayrıca kesitlerde gözlenen hiperbollerin tepe noktaları elektromanyetik dalganın yansıma yüzeyini göstermektedir ve veri işlem sırasında yansıma yüzeylerine hiperbol çakıştırma yöntemiyle hız analizi yapılmıştır. Ortalama 0.09 m/ns olarak hesaplanan hız, elektromanyetik (EM) dalganın yansıma yüzeyindeki hızını vermektedir (Şekil 3.8).

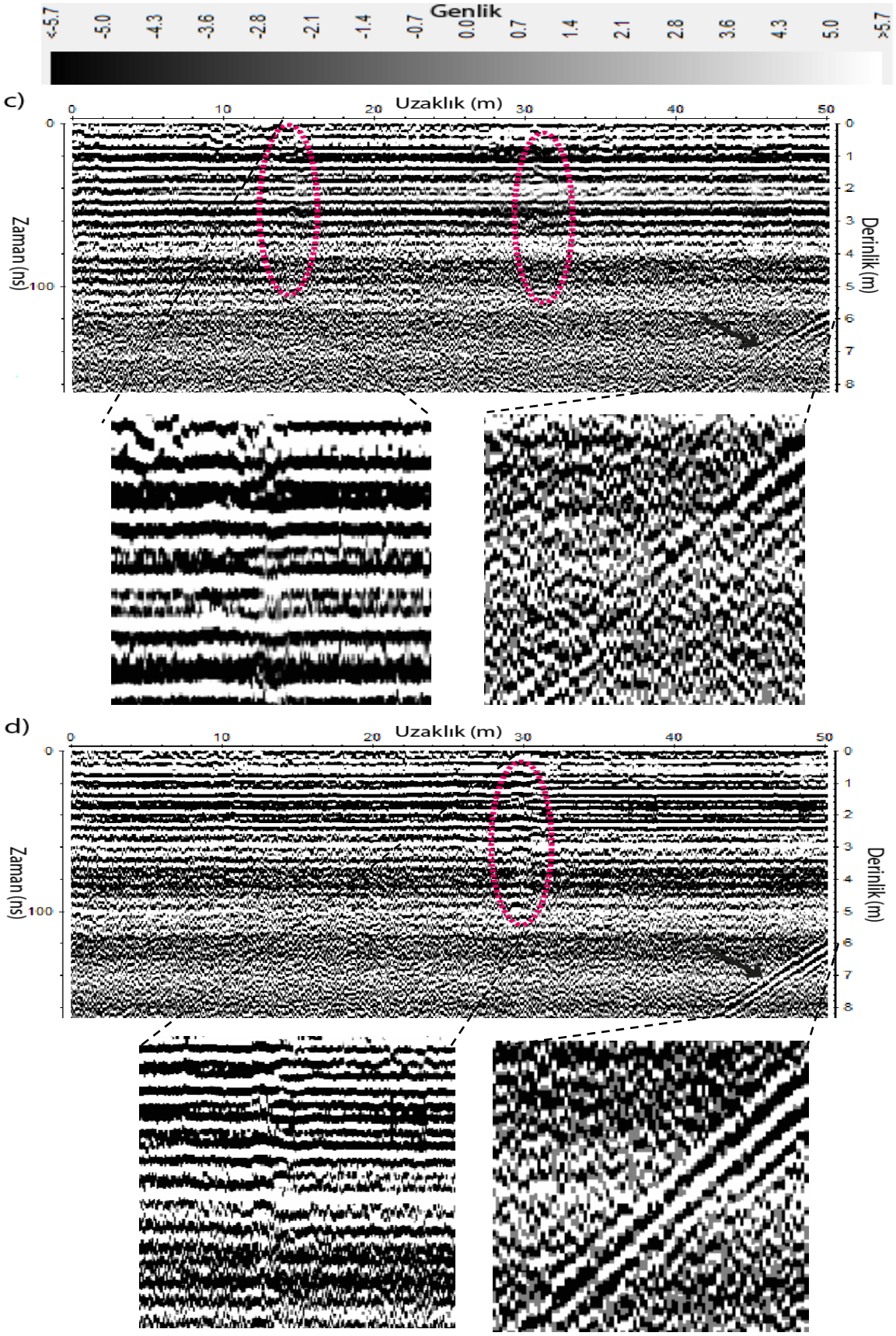


Şekil 3. 8 GPR4 profilinde yansıma yüzeyine uygulanan hız analizi örneği.

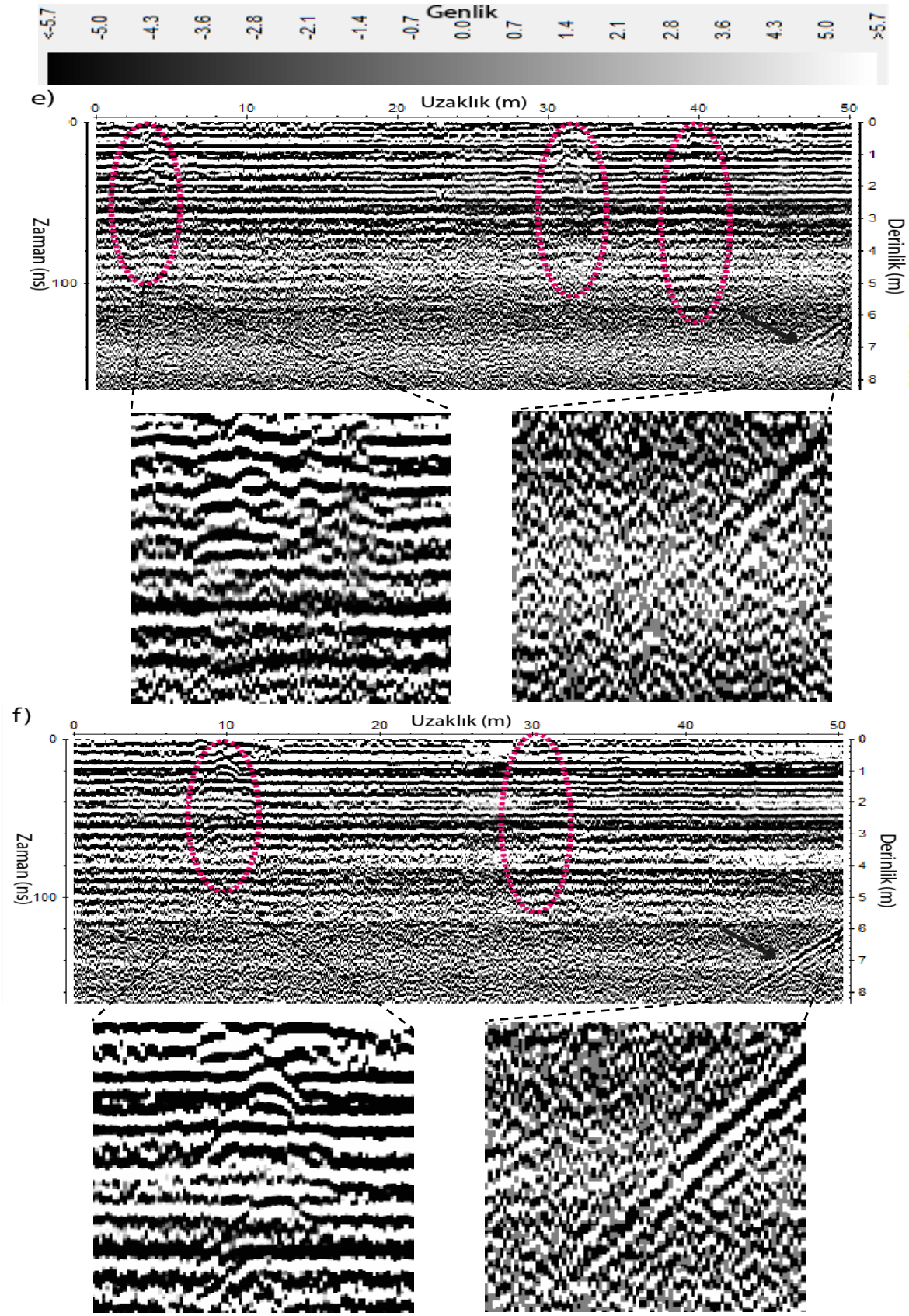
Hafik formasyonuna ait jipslerin kumtaşı, silttaşı ve konglomera seviyeleri ile hem arakatkılı hem de yanal geçişli olarak görülmekle birlikte, bazen küçük ve ince mercekler halindedir (Temiz, 1994). Dolayısıyla bu malzemeler kesitlerde bozunma olarak ifade edilen alanlardaki dolgu malzemesinin içeriği olabilir. Buna göre bu dolgu malzemesi GPR kesitlerinde hesaplanan EM dalga yayılım hızı 0.09 m/ns olarak tüm alanlar (Alan1, Alan2 ve Alan3) için aynı değer olarak hesaplanmıştır (Şekil 3.8. 3.10 ve 3.12). Çizelge 2.1'e göre kumtaşının EM dalga yayılım hızı 0.09-0.14 m/ns arasındadır. Dolayısıyla Alan1, Alan2 ve Alan3 için hesaplanan EM dalga hızının Çizelge 2.1'deki kumtaşı hızları ile uyumlu olduğu da görülmüştür.



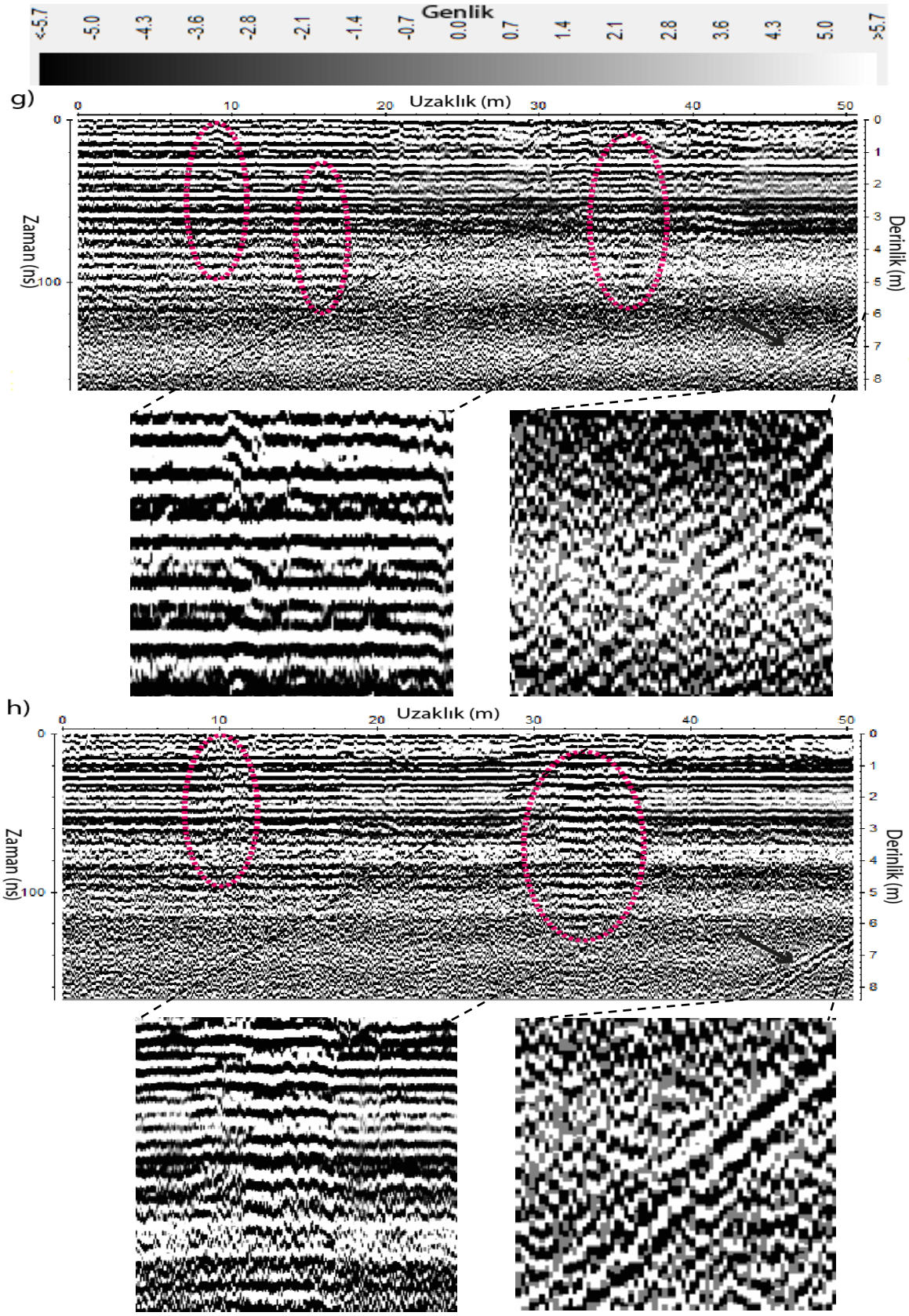
Şekil 3. 9 Alan 2 için GPR kesitleri ve kesitlerde belirti gözlenen alanların yakın görünümleri a) GPR9, b) GPR10.



Şekil 3.9'un devamı 1. Alan 2 için GPR kesitleri ve kesitlerde belirti gözlenen alanların yakın görünümleri c) GPR11, d) GPR12.



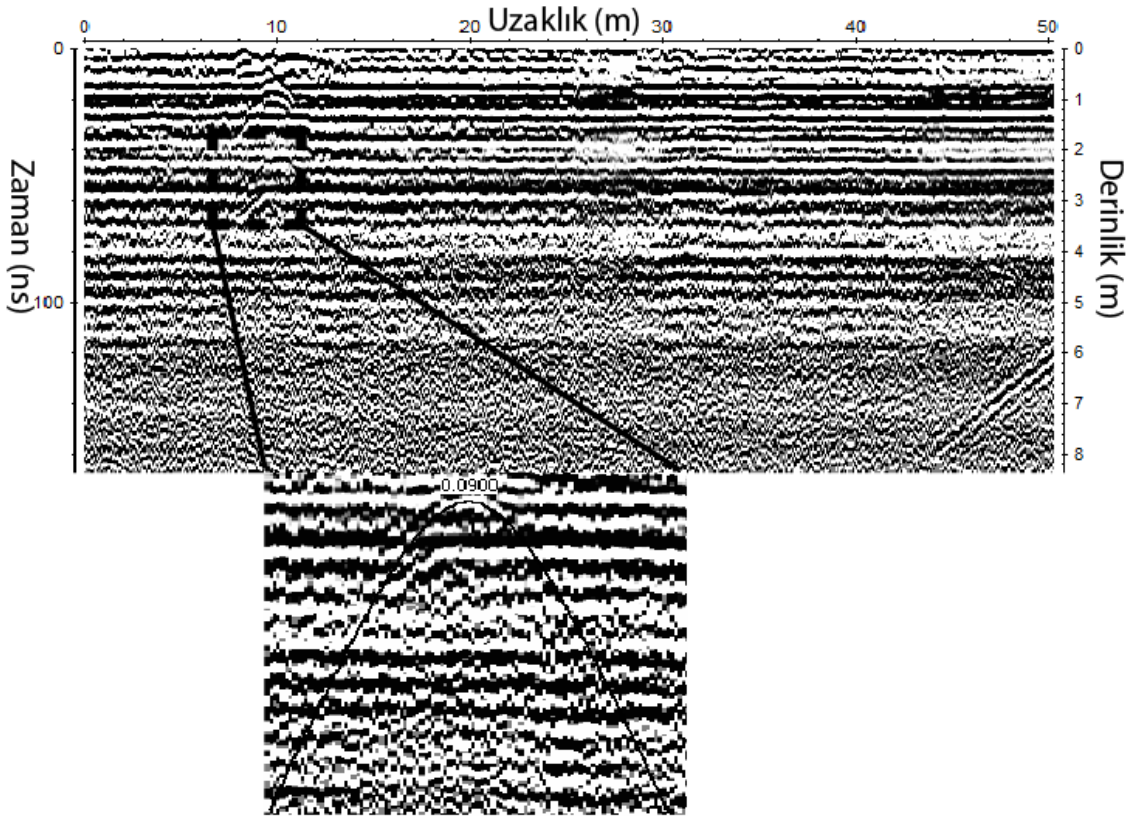
Şekil 3.9'un devamı 2. Alan 2 için GPR kesitleri ve kesitlerde belirti gözlenen alanların yakın görünümleri e) GPR13, f) GPR14.



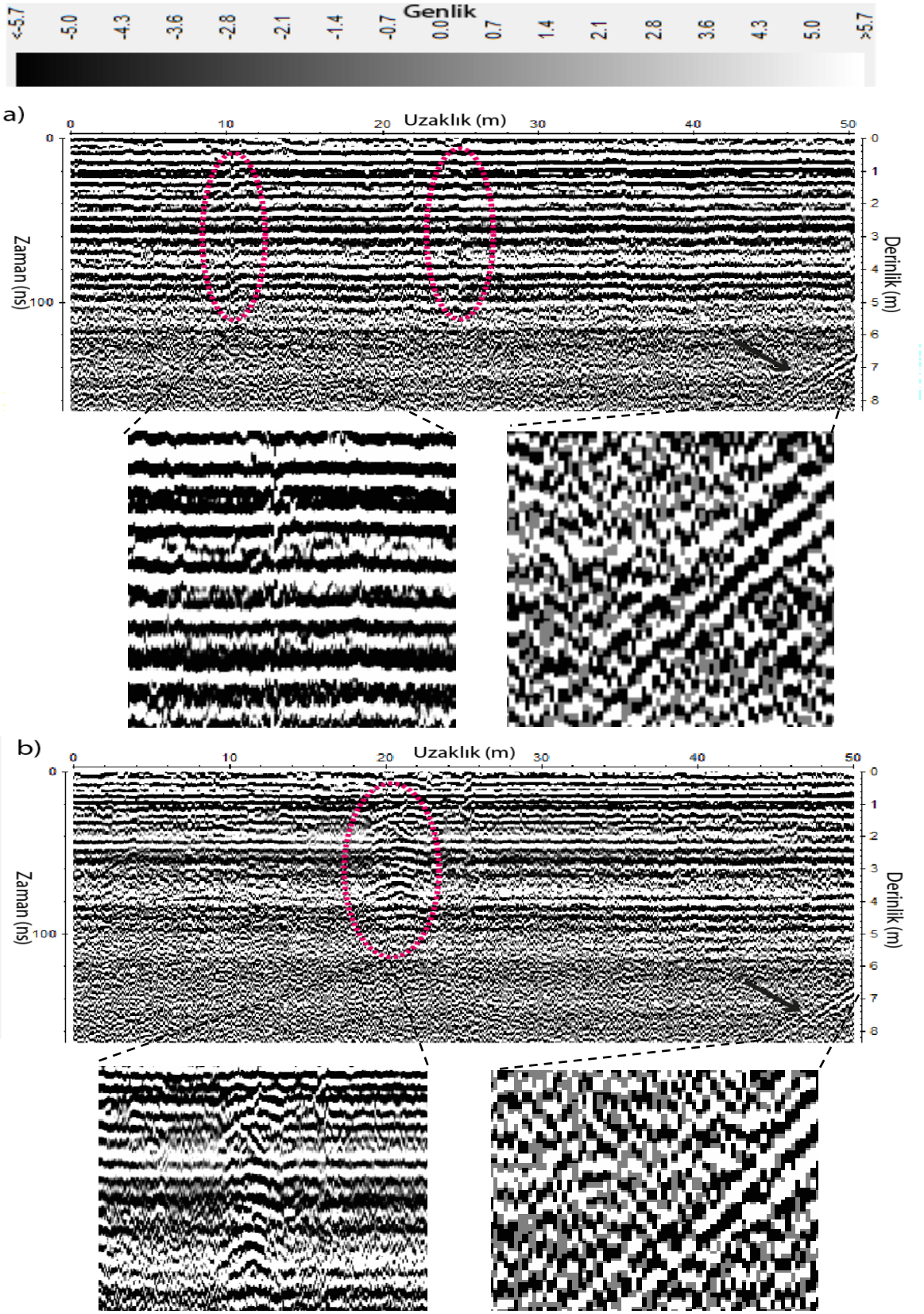
Şekil 3.9'un devamı 3. Alan 2 için GPR kesitleri ve kesitlerde belirti gözlenen alanların yakın görünümleri g) GPR15, h) GPR16.

Alan 2 için Şekil 3.9'daki 2B tüm GPR kesitleri incelendiğinde kesikli dairelerin içinde görülen kuvvetli yansımalar, jipslerdeki bozunma alanları olarak yorumlanabilir. Bu alanların jeolojisi gereği kısmen dolgu malzemesi içerdiği düşünülmektedir. Ayrıca Alan 2'deki kesitlerde ok işareti ile gösterilen alanlar profillerin yaklaşık 50. m'si olup, yaklaşık 6 m derinlikten başlayan ve derinlik arttıkça kuzeye yönelen eğimli bir kırık yapısının olabileceğini düşündürmektedir. Olasılıkla bu yapı 40 m boyunca doğu-batı yönlü olarak devam eden ve güneye doğru 5 dereceden daha az eğimli bir kırık olabilir.

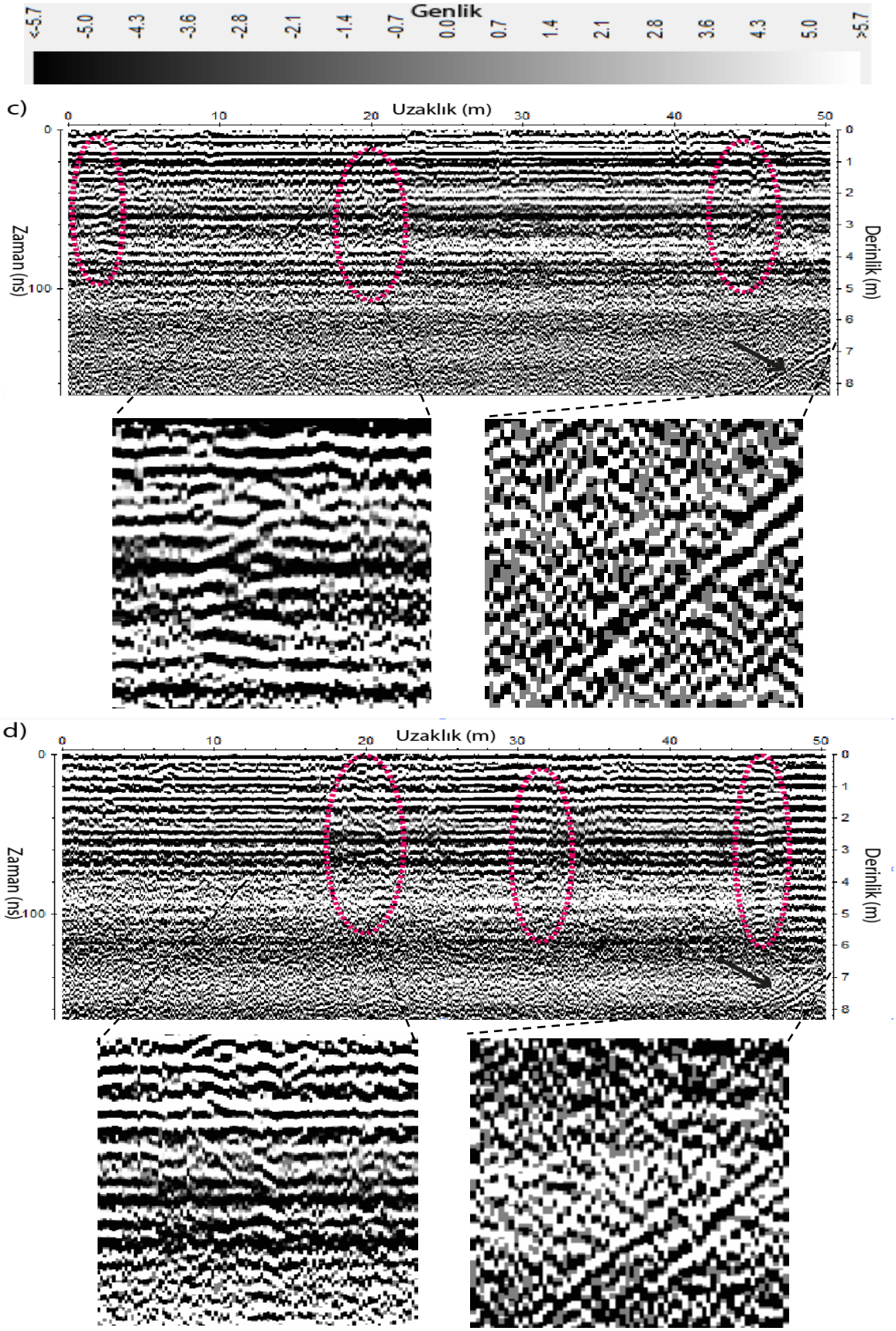
Ayrıca kesitlerde gözlenen hiperbollerin tepe noktaları elektromanyetik dalganın yansıma yüzeyini göstermektedir ve veri işlem sırasında yansıma yüzeylerine hiperbol çakıştırma yöntemiyle hız analizi yapılmıştır. Ortalama 0.09 m/ns olarak tespit edilen hız, elektromanyetik dalganın yansıma yüzeyindeki hızını vermektedir (Şekil 3.10).



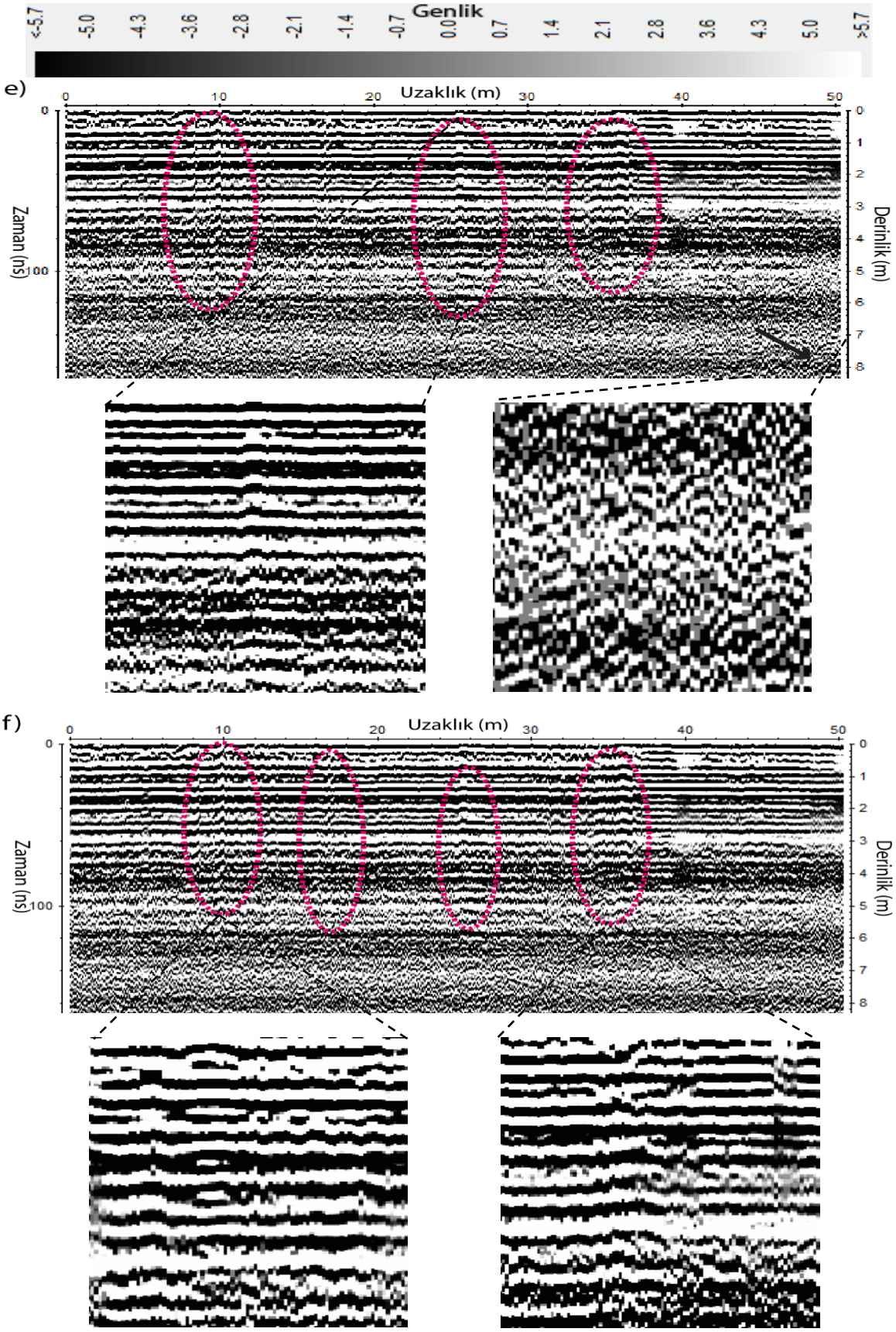
Şekil 3. 10 GPR14 profilinde yansıma yüzeyine uygulanan hız analizi örneği.



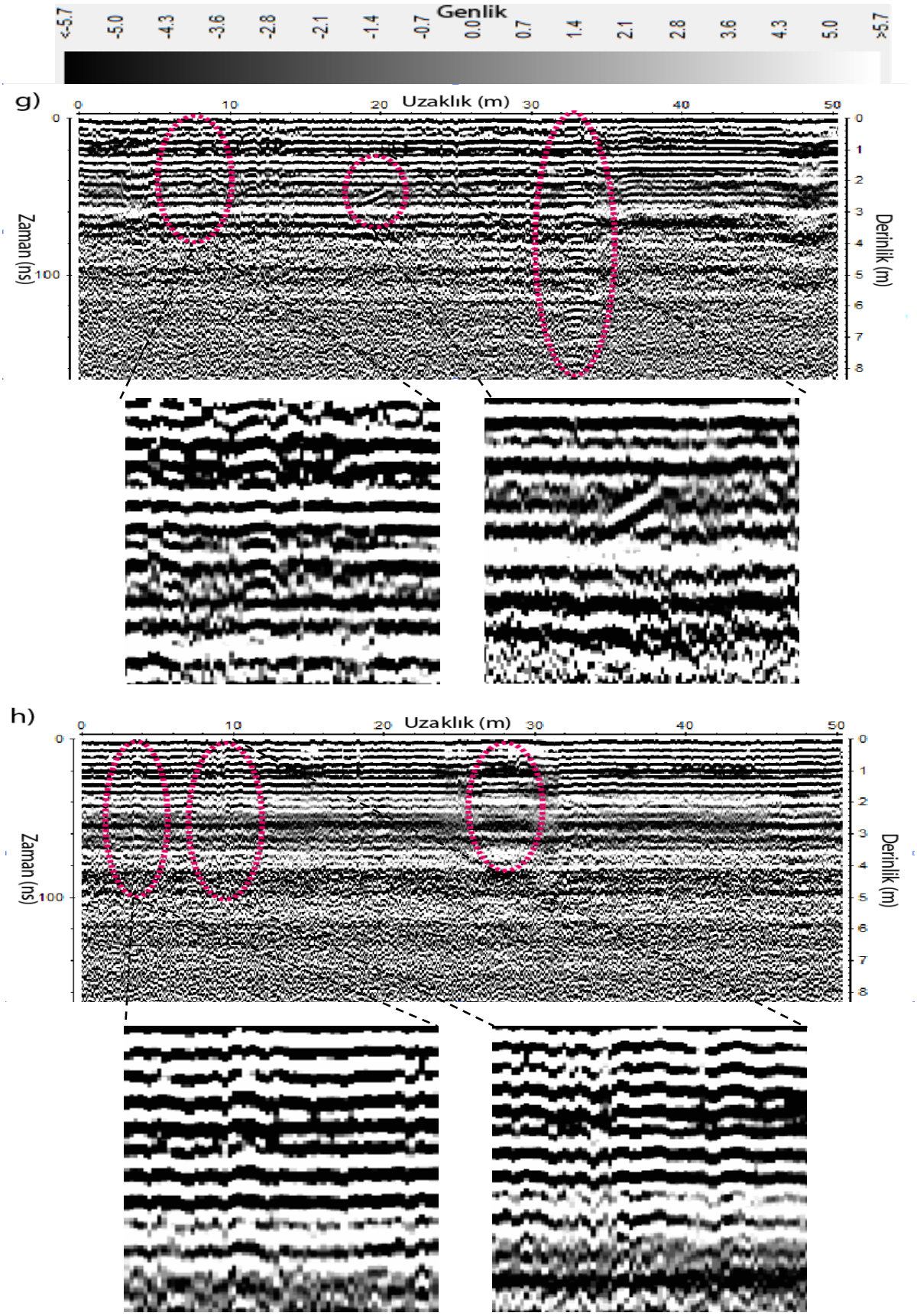
Şekil 3. 11 Alan 3 için GPR kesitleri ve kesitlerde belirti gözlenen alanların yakın görünümleri a) GPR17, b) GPR18.



Şekil 3.11'in devamı 1. Alan 3 için GPR kesitleri ve kesitlerde belirti gözlenen alanların yakın görünümleri e) GPR19, f) GPR20.



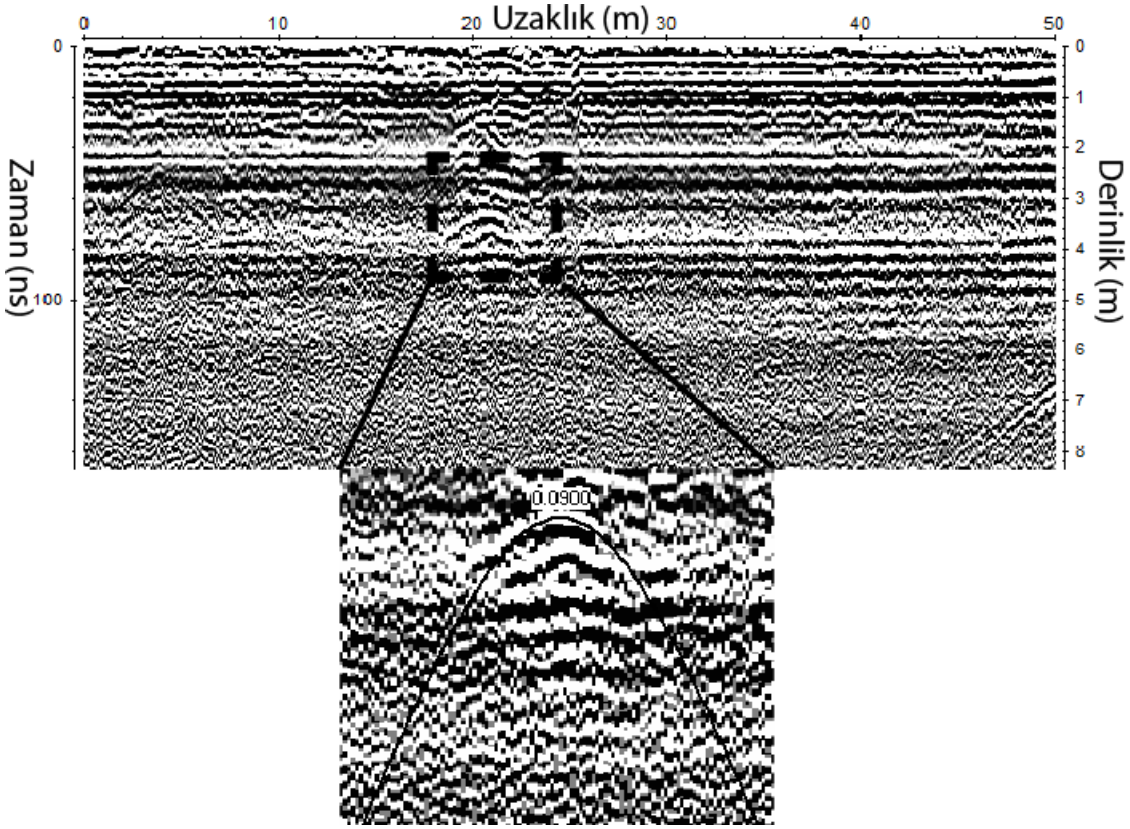
Şekil 3.11'in devamı 2. Alan 3 için GPR kesitleri ve kesitlerde belirti gözlenen alanların yakın görünümleri e) GPR21, f) GPR22.



Şekil 3.11'in devamı 3. Alan 3 için GPR kesitleri ve kesitlerde belirti gözlenen alanların yakın görünümleri g) GPR23, h) GPR24.

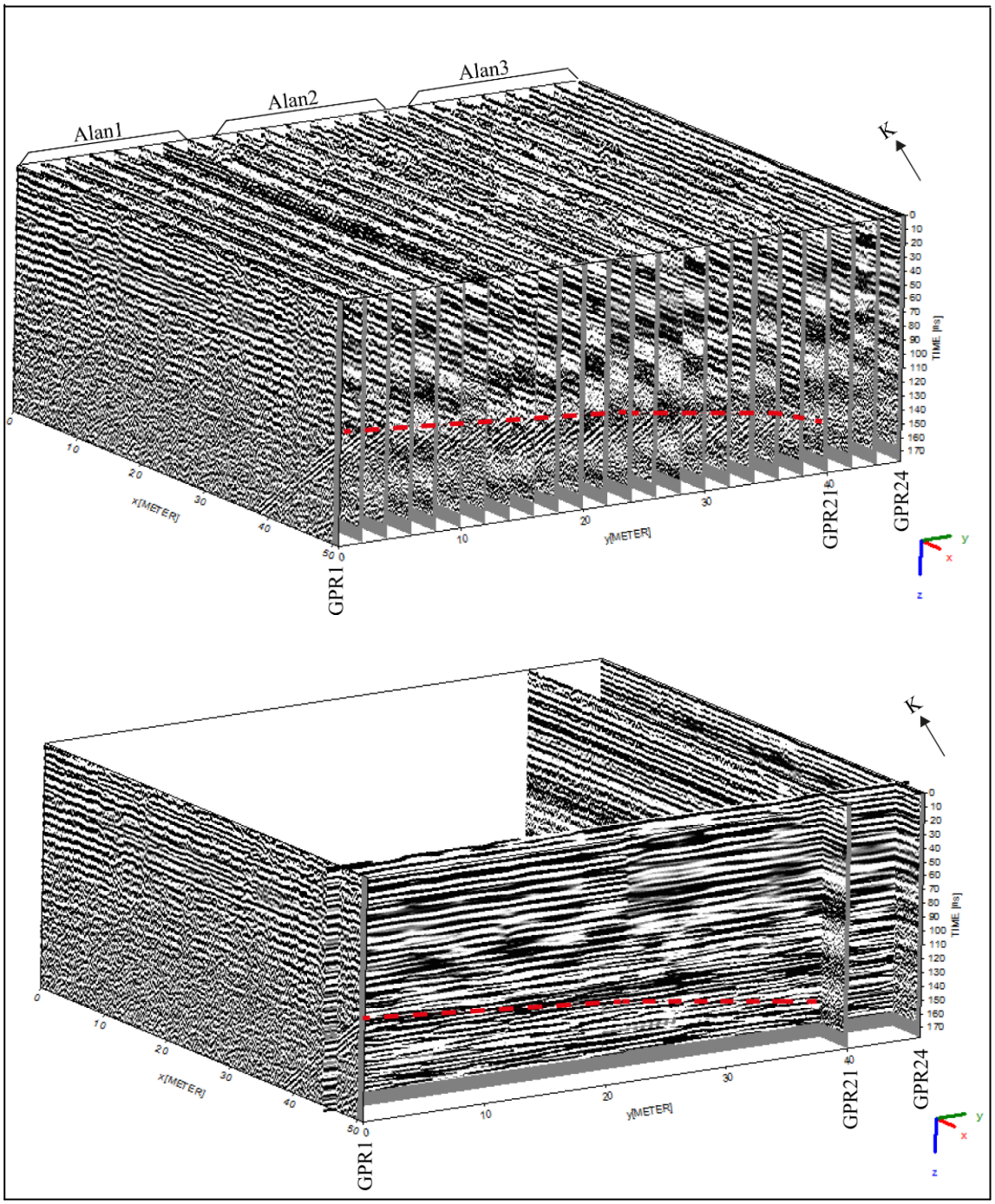
Alan 3 için Şekil 3.11'deki 2B tüm GPR kesitleri incelendiğinde kesikli dairelerin içinde görülen kuvvetli yansımalar, jipslerdeki bozunma alanları olarak yorumlanabilir. Bu alanların jeolojisi gereği kısmen dolgu malzemesi içerdiği düşünülmektedir. Ayrıca Alan 3'deki kesitlerde ok işareti ile gösterilen alanlar profillerin sonundaki yaklaşık 10 m boyunca olup, yaklaşık 7 m derinlikten başlayıp derinlik arttıkça kuzeye doğru eğimlenen bir kırık yapısının olabileceğini düşündürmektedir. Bahsedilen bu kırık yapısı GPR1 profilinden GPR21 profiline kadar etkisini azalttığı gibi GPR22, GPR23 ve GPR24 profillerinde ise gözlenmemektedir.

Alan 3'de GPR18 profilinin veri işlem sırasında yansıma yüzeylerine hiperbol çakıştırma yöntemiyle hız analizi de yapılmıştır. Ortalama 0.09 m/ns olarak tespit edilen hız, elektromanyetik dalganın yansıma yüzeyindeki hızını vermektedir (Şekil 3.12).



Şekil 3. 12 GPR18 profilinde yansıma yüzeyine uygulanan hız analizi örneği.

Çalışma alanında birbirine paralel olarak alınan ve veri işlem aşamalarından geçirilen 2B GPR kesitleri Reflex3DScan programında birleştirilerek hazırlanan 3B görüntüsü Şekil 3.13'te sunulmuştur.



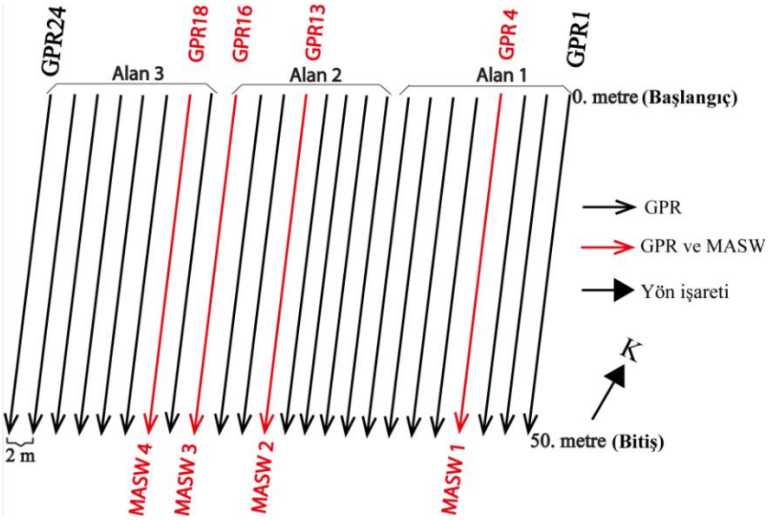
Şekil 3. 13 Çalışma alanında toplanan GPR profillerinin 3B görünümü.

Şekil 3.13'te görüldüğü üzere çalışma alanında batıdan doğuya doğru Alan1, Alan2 ve Alan3 ile tanımlanan alanlar devam etmektedir. Batıda yaklaşık 5 m derinlikten başlayıp doğuya doğru devam eden yapının yüzeyden itibaren ise yaklaşık 5 dereceden daha az eğimlenerek yaklaşık 7 m'ye kadar devam eden bir kırık olduğu düşünülmektedir. Bu kırık yapısı Şekil 3.13'te görüldüğü gibi GPR21 profiline kadar gözlenmektedir. Bu yapının tüm alanlar (Alan1, Alan2 ve Alan3) boyunca toplam 40 m boyunda olduğu anlaşılmıştır.

Sonuç olarak Şekil 3.13'te tamamı kırmızı kesikli çizgi olarak gösterilen jips birim içerisindeki bir kırık yapısıdır. Bu yapı GPR1 profilinde 5 m derinlikten başlayıp GPR21 profilinde etkisini azaltarak yaklaşık 7 m'de sonlanan 40 m boyunda bir yapı olduğu anlaşılmıştır. Bu yapı aynı zamanda çalışma alanında tespit edilen en belirgin ve büyük boyutta olan jips yapısı olarak tespit edilmiştir.

3.4 MASW Yöntem Verilerinin Değerlendirilme Sonuçları

Çalışma alanında toplanan GPR profilleri değerlendirildikten sonra belirti gözlenen, GPR4 profili üzerinde MASW1, GPR13 profili üzerinde MASW2, GPR16 profili üzerinde MASW3 ve GPR18 profili üzerinde MASW4 ölçüleri toplanmıştır (Şekil 3.14). Dolayısıyla Alan1'de toplam 8 adet GPR ve 1 adet MASW, Alan2'de toplam 8 adet GPR ve 2 adet MASW, Alan3'te ise toplam 8 adet GPR ve 1 adet MASW olmak üzere ölçüsü alınan jeofizik profilleri bulunmaktadır. Çalışma alanında profilleme doğudan batıya doğru olacak şekilde yapılmıştır. Ölçü alımı ise yaklaşık kuzeyden güneye doğrudur.

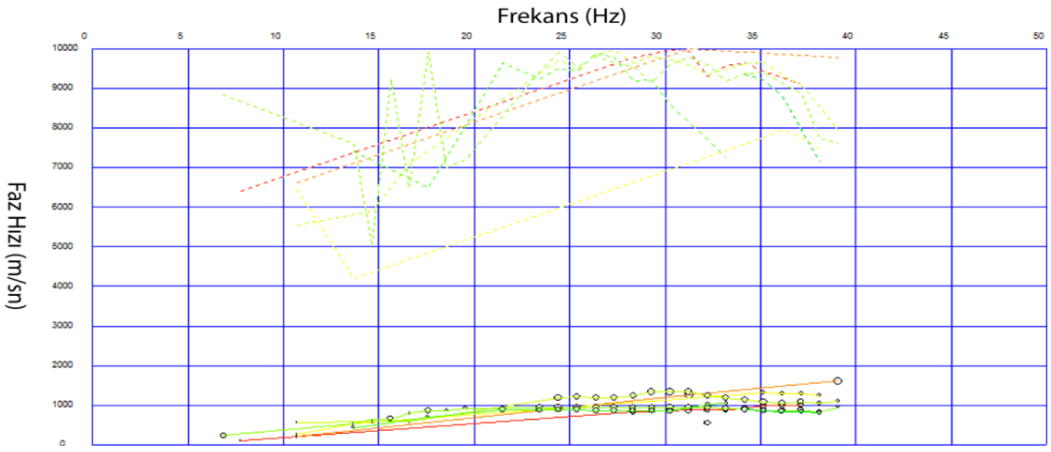


Şekil 3. 14 Çalışma alanında toplanan MASW profillerinin krokisi.

MASW ölçüleri 12 kanallı Geometrics SmartSeis sismik cihazı ile 4.5 Hz'lik 12 düşey jeofon kullanılarak alınmıştır ve profil boyları 33 m'dir. Ölçümlerde jeofon aralığı 3 m ve ofset mesafeleri 3 m ve 6 m seçilmiştir. Böylece her jeofon arasında olmak üzere ofset mesafeleriyle birlikte her profilde toplam 15 atış yapılmıştır. Veri değerlendirme ise SeisImager yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Seg2 formatında kaydedilen sismik veriler öncelikle programa çağırılarak dispersiyon eğrileri oluşturulmuştur. Daha sonra dispersiyon eğrilerine ters çözüm işlemi yapılmıştır. Ters çözümde sonlu farklar

yöntemi kullanılarak doğrusal olmayan en küçük kareler (Non-linear root mean squire) algoritması ile çakışma sağlanmıştır. Veri çakıştırmada tüm profil verileri için 50 iterasyon (yineleme=tekrarlama) yapmak yeterli olmuştur. Bunun sonucunda 1B olarak Vs hızının derinlikle değişim grafikleri elde edilmiştir. Daha sonra bu model grafikleri birleştirilerek 2B sismik hız kesitleri hazırlanmıştır. Her profil için ters çözüm işleminde çakışmalar % 2.1 ile %13.8 arasında değişen RMS hataları ile sağlanmıştır. Buna göre sismik profil verilerinin değerlendirilmesi MASW1, MASW2, MASW3 ve MASW4 için ayrıntılı olarak sırasıyla aşağıda anlatılmaktadır.

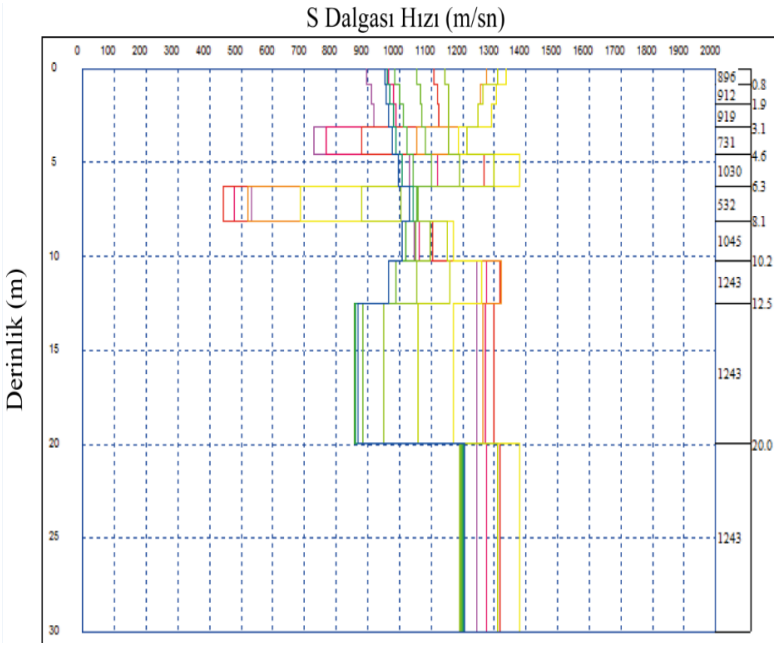
MASW1: MASW1 ölçüsü GPR4 profili üzerinde alınmıştır. 33 m uzunluğunda olan MASW1 profili 50 m olan GPR profilinin bitiş noktaları çakışacak biçimde ölçü toplanmıştır. Veri işlem sırasında en önemli unsurlardan biri dispersiyon eğrisinde yüksek modların temel modlardan ayıklanmasıdır. Şekil 3.15'te görüldüğü gibi yüksek modlar ayıklandıktan sonra yalnızca temel modlar seçilmiştir. Buna göre şeklin üst bölümünde yer alan kesikli çizgiler faz hızı-frekans'a bağlı olarak değişen sinyal/gürültü oranını göstermektedir. Alttaki eğriler ise faz hızının frekansla değişimini gösteren dispersiyon eğrileridir. Dolayısıyla sinyal/gürültü oranı yüksek olduğu için verilerin değerlendirmesi minimum hata ile yapılabilmiştir.



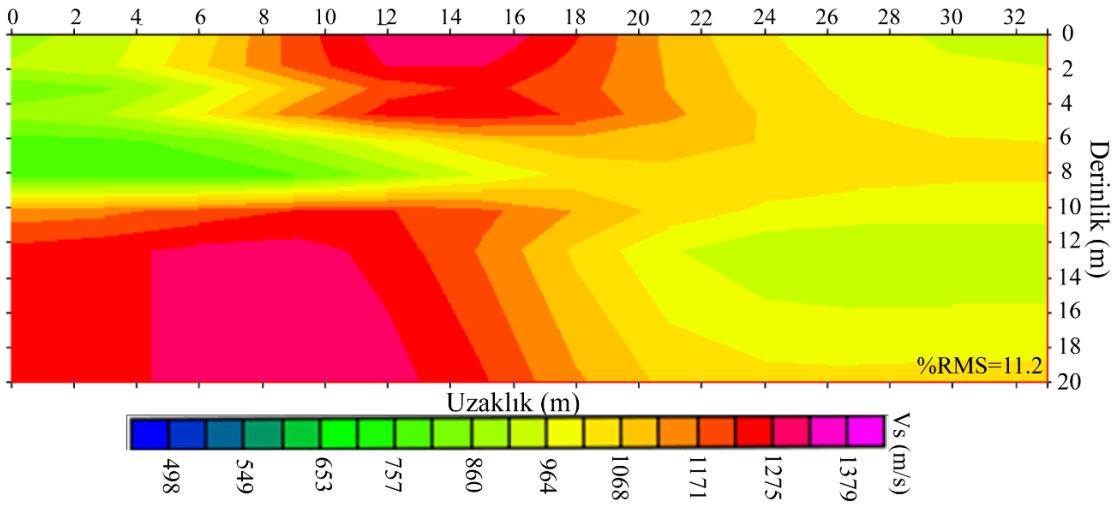
Şekil 3. 15 MASW1 profilinin dispersiyon eğrileri**.**

Şekil 3.16'da 1B Vs-derinlik grafiği ve 3.17'de 2B sismik yapı kesitleri gösterilmektedir. Ters çözümde 50 iterasyon sonucu % 11.8 RMS hata ile çakışma sağlanarak, her atış verisi için önce 1B olarak Vs hızının derinlikle değişimi grafikleri elde edilmiştir. Daha sonra bu model grafikleri birleştirilerek 2B sismik yapı kesitleri elde edilmiştir. Sonuç olarak, jips yapısı içerisindeki bozunmaya uğramış bölgeler ya da boşluk, kırık, çatlak gibi unsurların sismik hızının masif jipsin sismik hızına göre daha

düşük olması beklenir. Buna göre Şekil 3.16 ve 3.17 incelenirse düşük S-dalgası hızı (Vs=653 m/s'den daha düşük hızlar) içeren alanlar, profilin ilk 12 m'si boyunca 10 m derinliğe kadar ve profilin son 13 m'si boyunca ise yaklaşık 6 m'den 20 m'ye kadar olan bölümde gözlenmektedir. Dolayısıyla bozunmaya uğramamış jips olarak düşünülen alanların sismik hızının Vs =1275 m/s'den büyük iken, bozunmaya uğramış bölümlerin sismik hızının ortalama Vs=653 m/s'den daha düşük olduğu anlaşılmıştır.

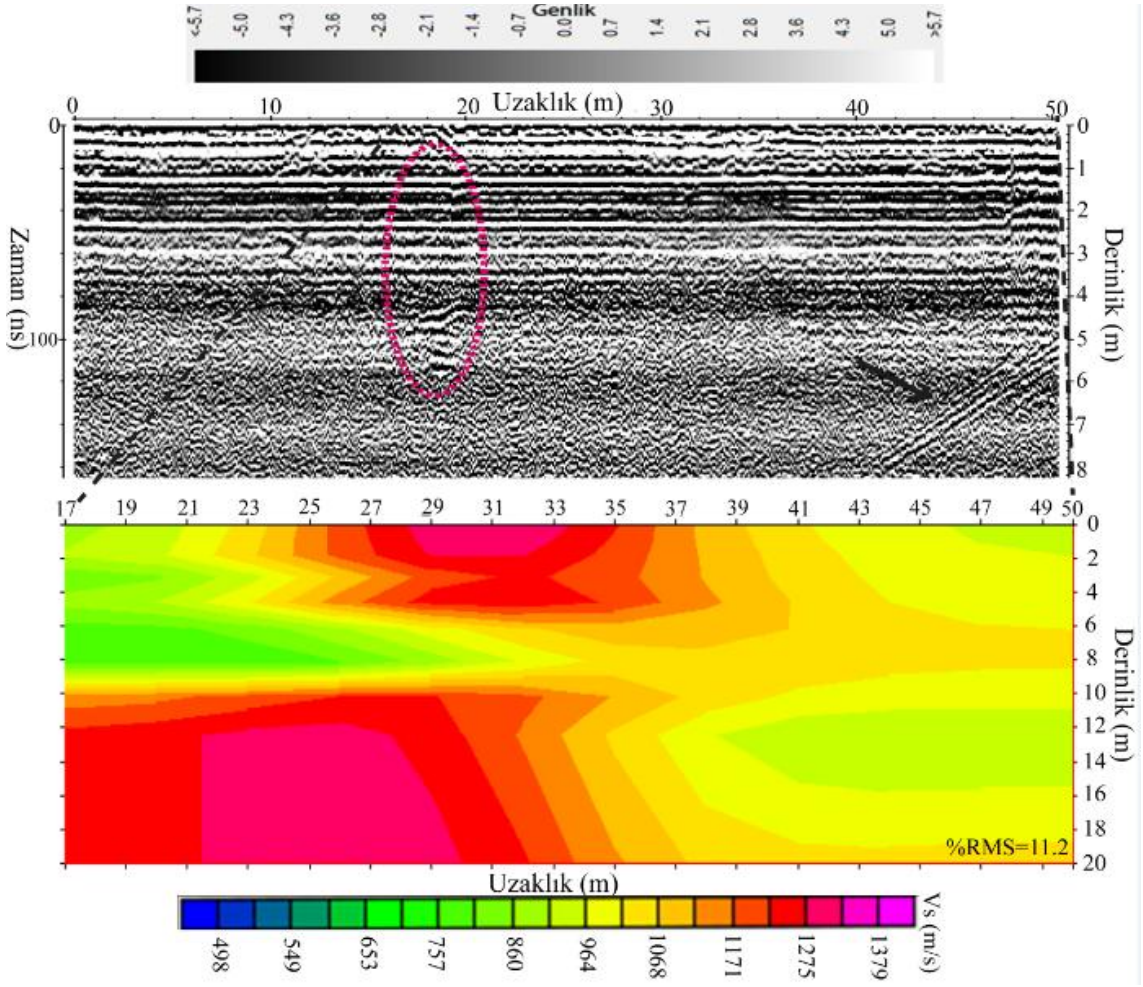


Şekil 3. 16 MASW1 profilinin 1B derinliğe bağlı S dalgası hız değişim grafiği.



Şekil 3. 17 MASW1 profilinin 2B sismik yapı kesiti.

Ayrıca aynı profil üzerinde ölçüleri alınan GPR ve MASW yöntemlerinin 2B kesitleri karşılaştırmalı olarak Şekil 3.18'de sunulmuştur. Kesitleri karşılaştırmak için GPR kesitinin 17 ve 50 m arasındaki uzaklıklara karşılık gelen sismik kesitin başlangıcı 17 m ve sismik kesitin sonu 50 m olacak şekilde yataydaki uzaklık ekseni yeniden düzenlenerek sunulmuştur. Şekil 3.18'e göre sismik kesitteki düşük hızlı (V_S<653 m/s) alanların GPR kesitlerindeki bozunma bölgelerine karşılık geldiği ve kesitlerin birbirleri ile uyumlu olduğu anlaşılmıştır.



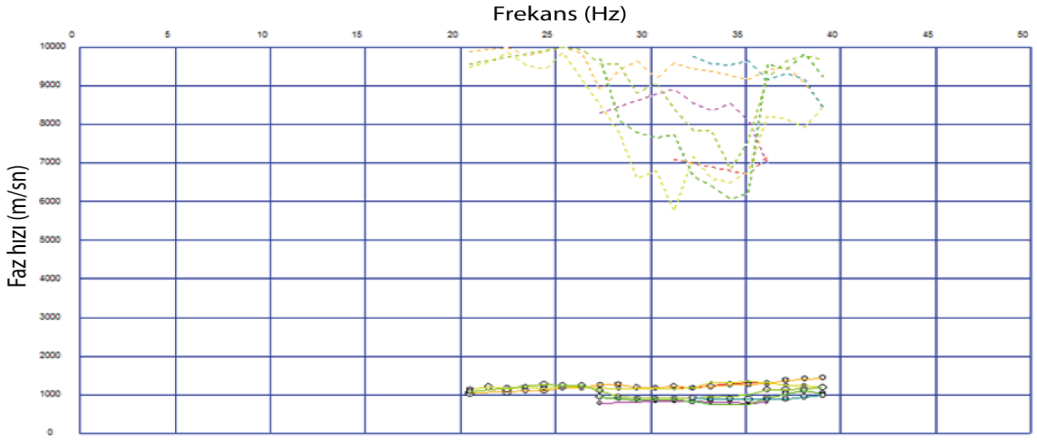
Şekil 3. 18 Aynı profil üzerindeki GPR4 ve MASW1 yöntemlerinin 2B kesitleri.

Şekil 3.18 incelendiğinde, GPR4 kesitinde profilin 17-50 m'leri arasına MASW1 profili karşılık gelmektedir. Buna göre,

- GPR kesitinin 17'inci m'sinde, 6 m derinliğe kadar gözlenen yansımalar MASW kesitinde 17-23 m'ler arasında olup, yaklaşık 10 m derinliğe kadar devam eden düşük S dalgası hızlı (V_S<653 m/s) alan olarak gözlenmektedir.

- GPR kesitinde profilin yaklaşık 40-50 m'leri arasında ve güney-kuzey yönlü olarak yaklaşık 4.8 m'den başlayıp 8 m'lere kadar bir yapı belirlenmiştir. Bu yapı yaklaşık güneye doğru 18° derece eğimi olan bir kırık yapısı olarak yorumlanmıştır. MASW kesiti ile karşılaştırıldığında bu alanda sismik S hızlarının (V_S<653 m/s) düşük olduğu görülmüştür.
- GPR kesitinde yansıma gözlenmeyen alanlarda sismik hızlar (V_S>1275 m/s) yüksek olup masif jipslere karşılık geldiği anlaşılmıştır.

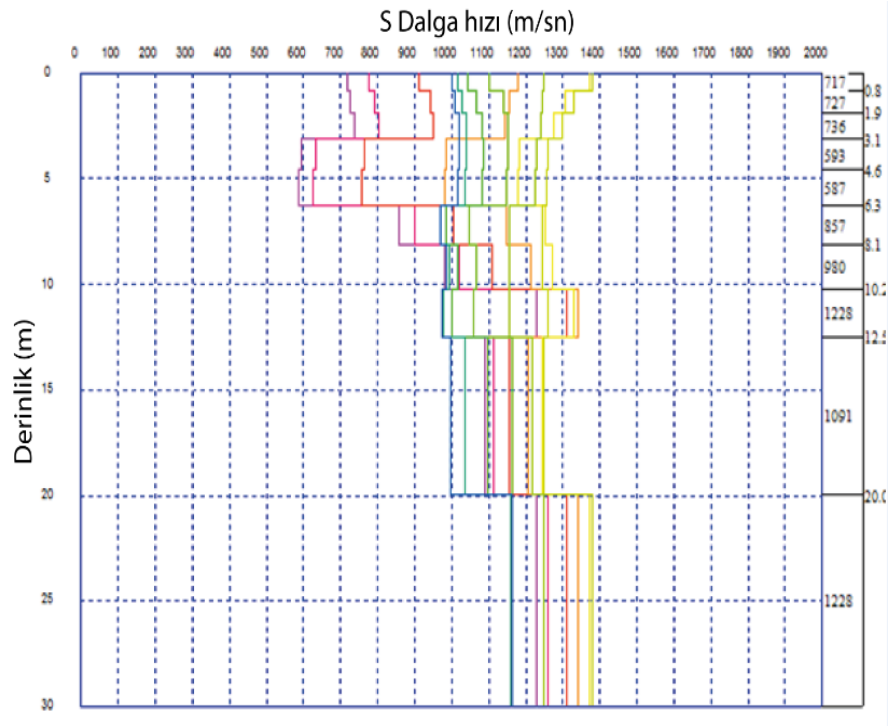
MASW2: MASW2 ölçüsü GPR13 profili üzerinde alınmıştır. 33 m uzunluğunda olan MASW1 profili 50 m olan GPR profilinin başlangıç noktaları çakışacak biçimde ölçü toplanmıştır. Veri işlem sırasında en önemli unsurlardan biri dispersiyon eğrisinde yüksek modların temel modlardan ayıklanmasıdır. Şekil 3.19'da görüldüğü gibi yüksek modlar ayıklandıktan sonra yalnızca temel modlar seçilmiştir. Buna göre şeklin üst bölümünde yer alan kesikli çizgiler faz hızı-frekans'a bağlı olarak değişen sinyal/gürültü oranını göstermektedir. Alttaki eğriler ise faz hızının frekansla değişimini gösteren dispersiyon eğrileridir. Dolayısıyla sinyal/gürültü oranı yüksek olduğu için verilerin değerlendirmesi minimum hata ile yapılabilmiştir.



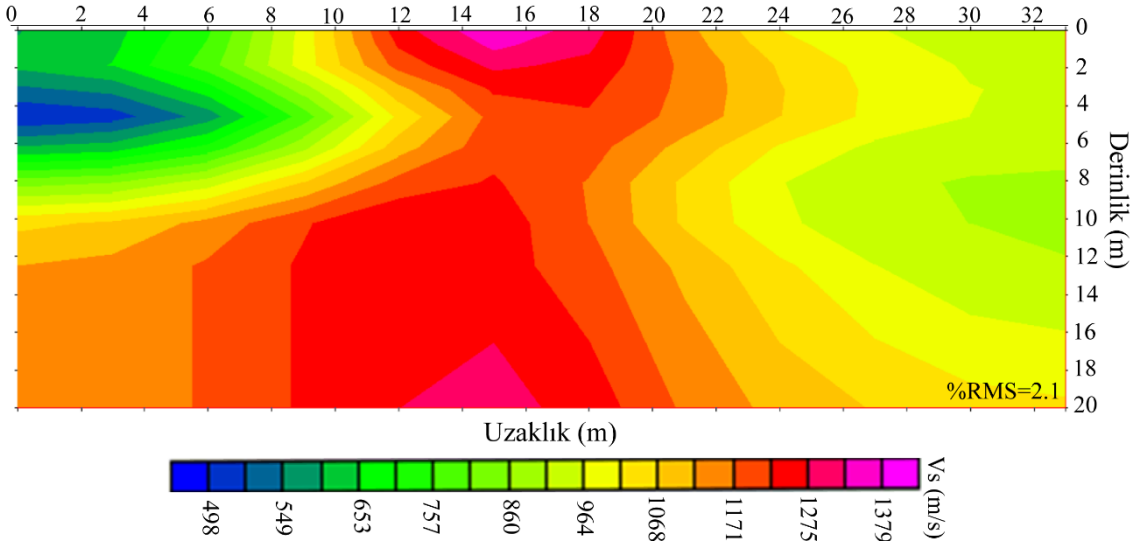
Şekil 3. 19 MASW2 profilinin dispersiyon eğrileri.

Şekil 3.20'de 1B Vs-derinlik grafiği ve 3.21'de 2B sismik yapı kesitleri gösterilmektedir. Ters çözümde 50 iterasyon sonucu % 2.1 RMS hata ile çakışma sağlanarak, her atış verisi için önce 1B olarak Vs hızının derinlikle değişimi grafikleri elde edilmiştir. Daha sonra bu model grafikleri birleştirilerek 2B sismik yapı kesitleri elde edilmiştir. Sonuç olarak, jips yapısı içerisindeki bozunmaya uğramış bölgeler ya da boşluk, kırık, çatlak gibi unsurların sismik hızının masif jipsin sismik hızına göre daha düşük olması beklenir. Buna göre Şekil 3.20 ve 3.21 incelenirse düşük S-dalgası hızı

(Vs=650 m/s'den daha düşük hızlar) içeren alanlar, profilin ilk 6 m'si boyunca 8 m derinliğe kadar ve profilin son 9 m'si boyunca ise yaklaşık yüzeyden yaklaşık 18 m'ye kadar olan bölümde gözlenmektedir. Dolayısıyla bozunmaya uğramamış jips olarak düşünülen alanların sismik hızının Vs =1275 m/s'den büyük iken, bozunmaya uğramış bölümlerin sismik hızının ortalama Vs=653 m/s'den daha düşük olduğu anlaşılmıştır.

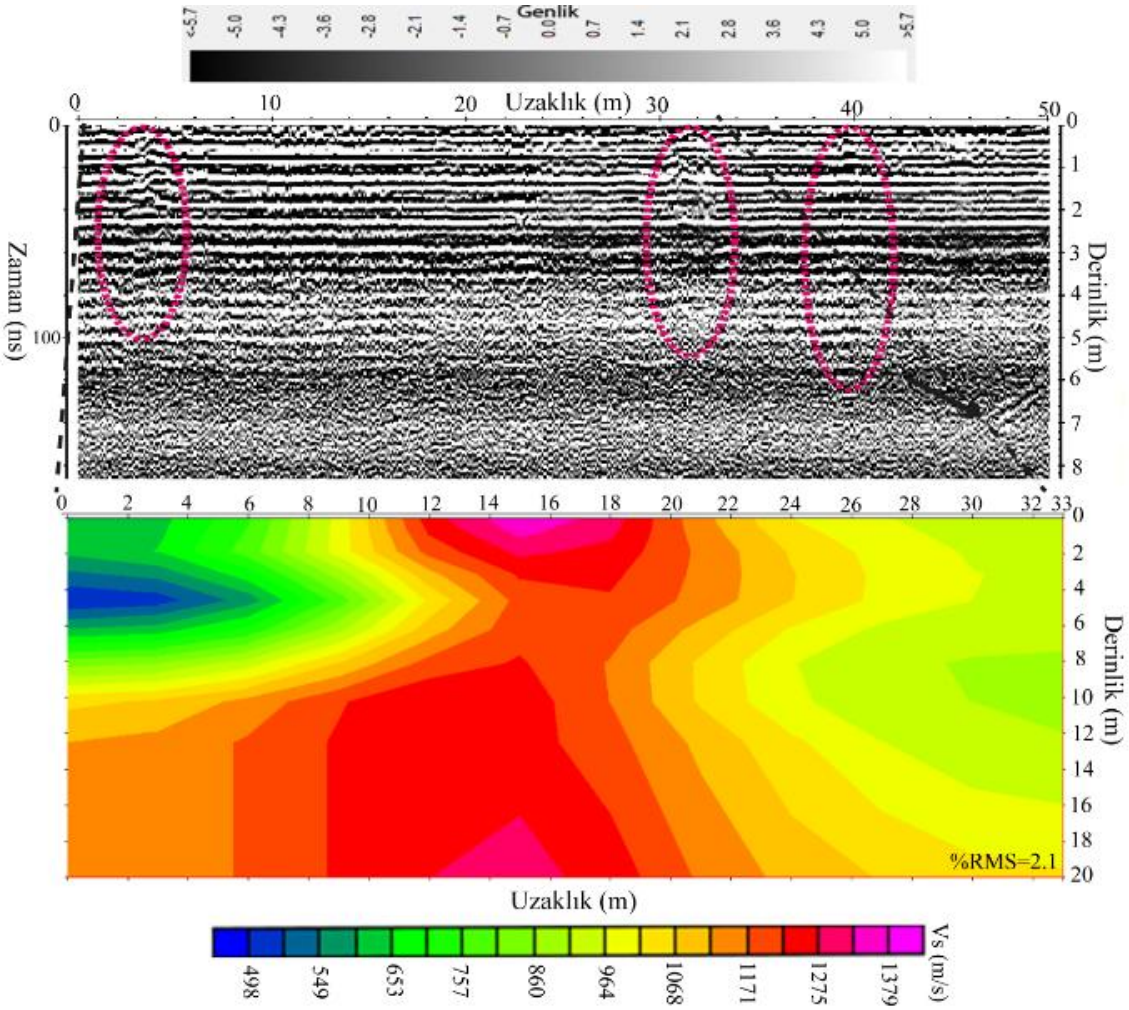


Şekil 3. 20 MASW2 profilinin 1B derinliğe bağlı S dalgası hız değişim grafiği.



Şekil 3. 21 MASW2 profilinin 2B hız kesiti.

Ayrıca aynı profil üzerinde ölçüleri alınan GPR ve MASW yöntemlerinin 2B kesitleri karşılaştırmalı olarak Şekil 3.22'de sunulmuştur.

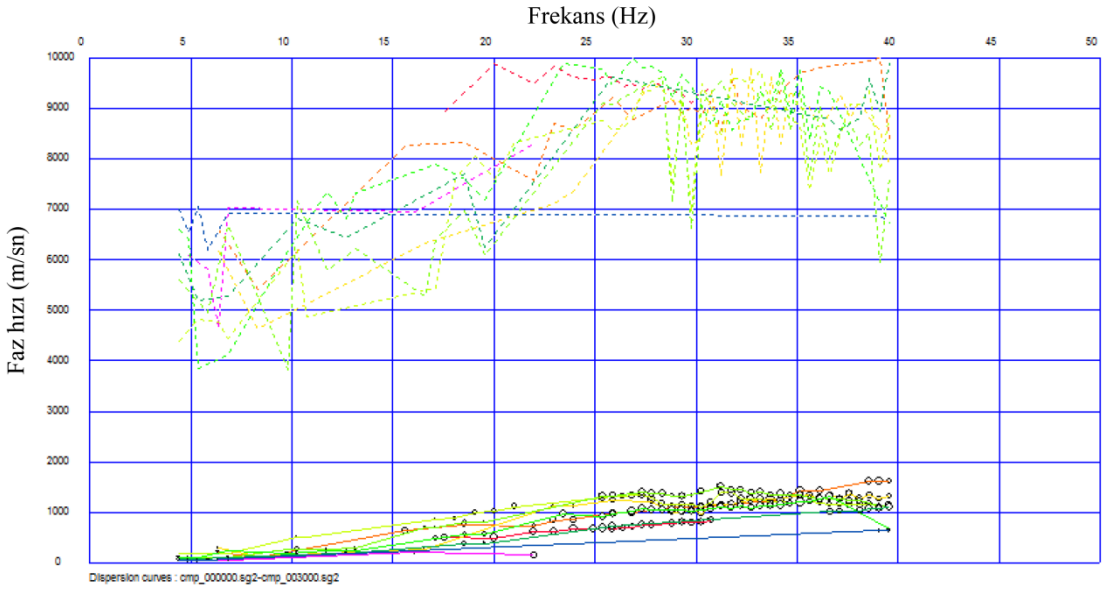


Şekil 3. 22 Aynı profil üzerindeki MASW2 ve GPR13 profillerinin 2B kesitleri.

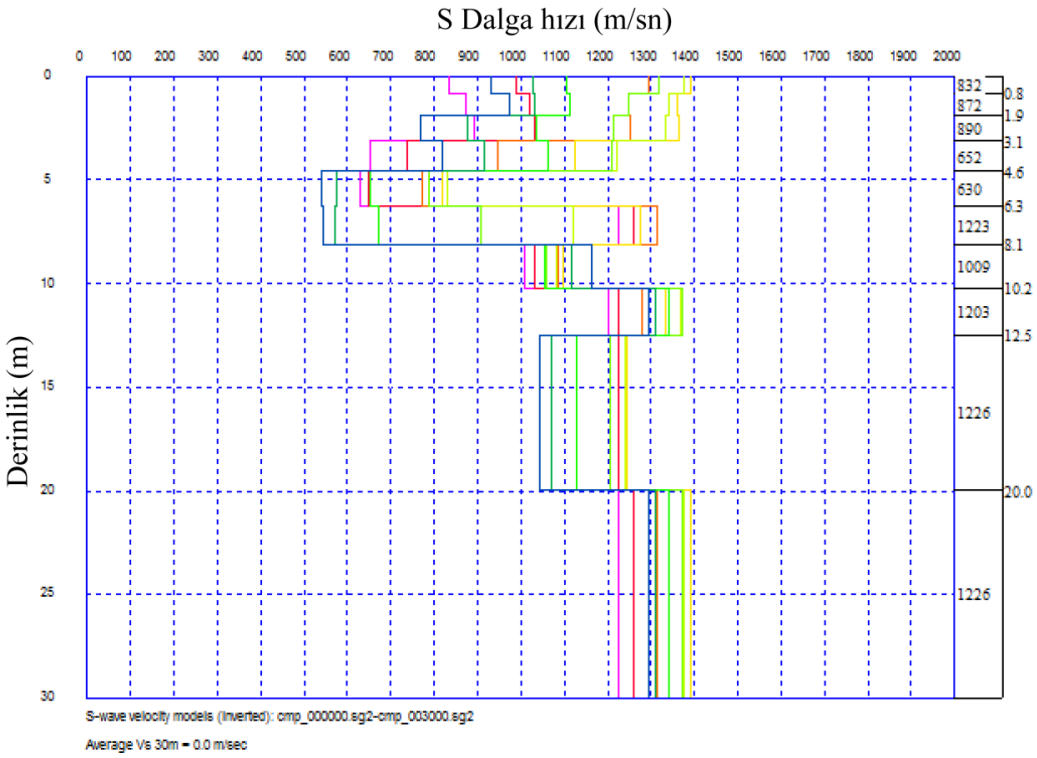
Şekil 3.22 incelendiğinde, GPR13 kesitinde profilin 0-33 m'leri arasına MASW2 profili karşılık gelmektedir. Buna göre,

- GPR kesitinin yaklaşık 4'üncü m'sinde, 6 m derinliğe kadar gözlenen yansımaların MASW kesitinde 0-6 m'ler arasında olup, yaklaşık 10 m derinliğe kadar devam ettiği ve GPR kesitinin yaklaşık 28-33 m'leri arasında 6 m derinliğe kadar gözlenen yansımaların ise MASW kesitinde 26-33 m'ler arasında olup, yüzeyden yaklaşık 18 m derinliğe kadar devam ettiği görülmektedir. Bu alanlarda S dalgası hızları yine 653 m/s'den daha düşük hızlıdır.
- GPR kesitlerinde yansıma gözlenmeyen alanlarda sismik hızlar (V_S>1275 m/s) yüksek olup masif jipslere karşılık geldiği anlaşılmıştır.

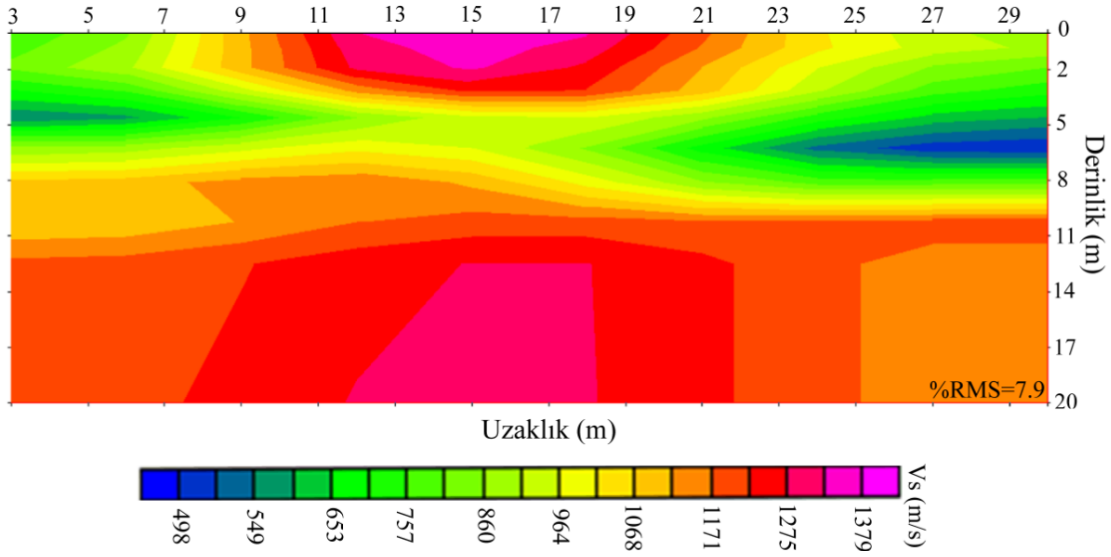
MASW3: MASW3 ölçüsü GPR16 profili üzerinde alınmıştır. 33 m uzunluğunda olan MASW3 profili 50 m olan GPR profilinin orta noktaları çakışacak biçimde ölçü toplanmıştır. Şekil 3.25'te görüldüğü gibi önce dispersiyon eğrileri elde edilmiştir. Daha sonra ters çözüm işlemi uygulanılarak 1B ve 2B derinliğe bağlı S dalgası değişim kesitleri çıkarılmıştır (Şekil 3.23 ve 3.24).



Şekil 3. 23 MASW3 profilinin dispersiyon eğrileri.

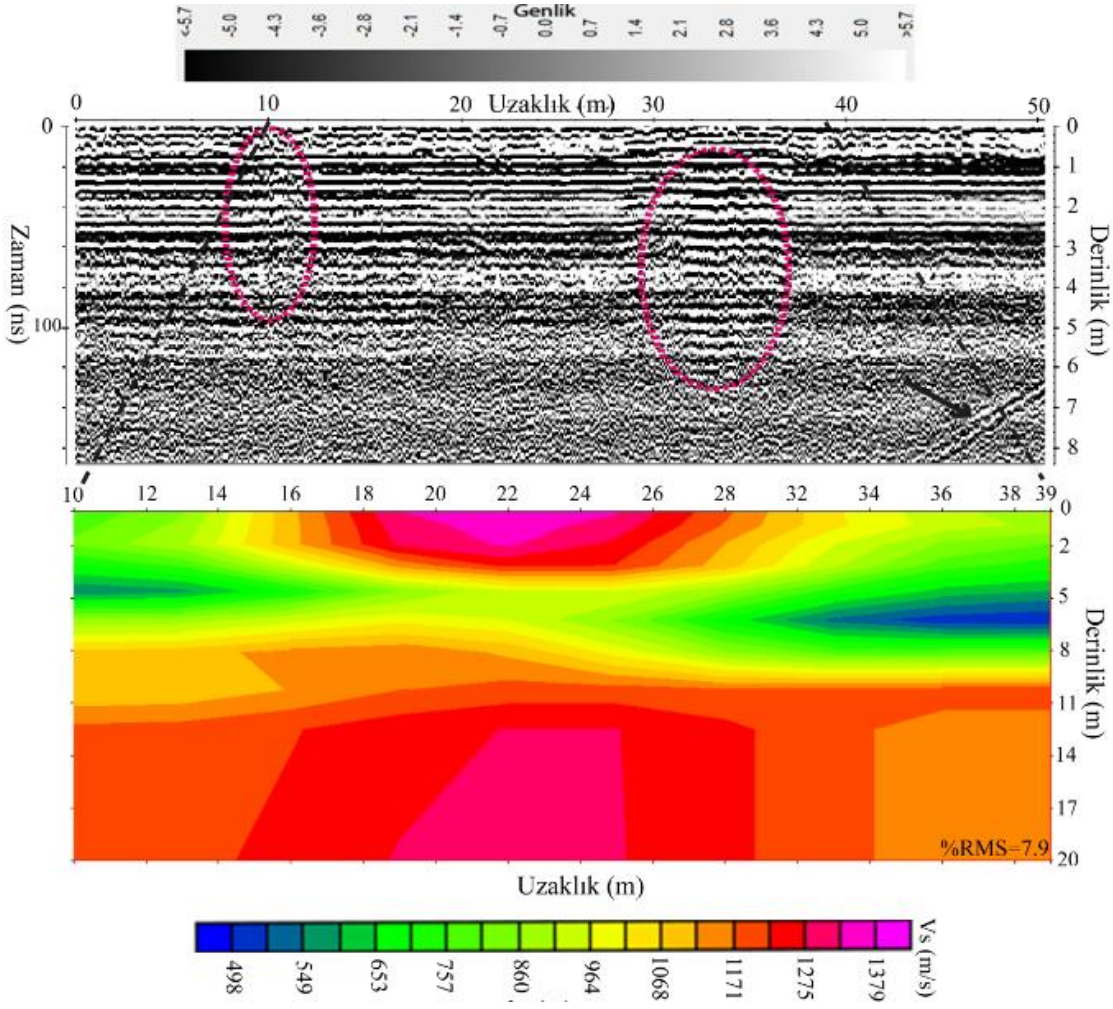


Şekil 3. 24 MASW3 profilinin 1B derinliğe bağlı S dalgası hız değişim grafiği.



Şekil 3. 25 MASW3 profilinin 2B hız kesiti.

Ayrıca aynı profil üzerinde ölçüleri alınan GPR ve MASW yöntemlerinin 2B kesitleri karşılaştırmalı olarak Şekil 3.26'da sunulmuştur.

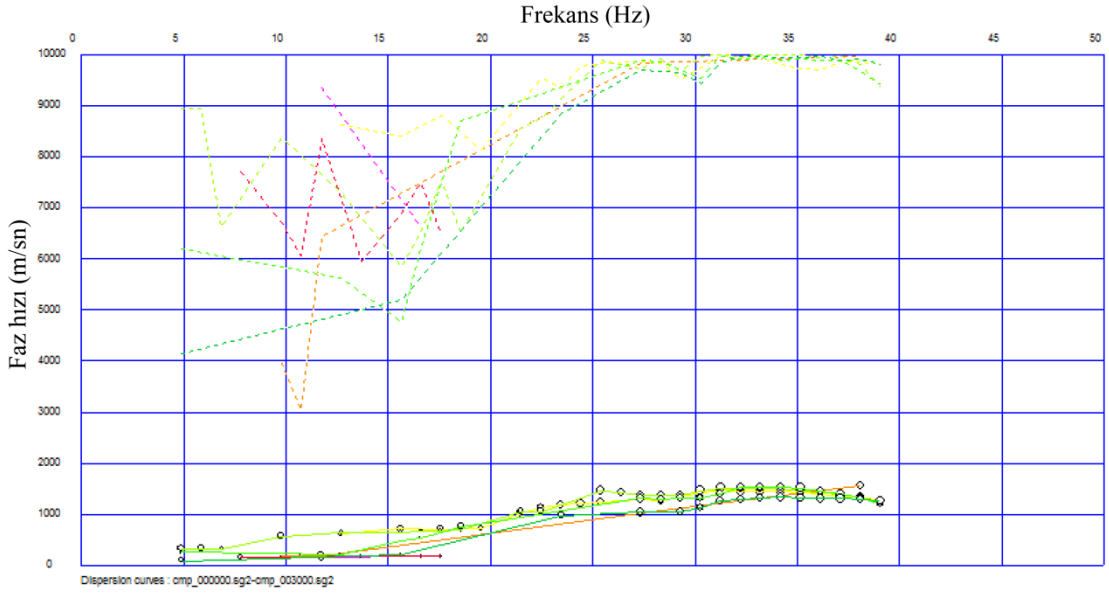


Şekil 3. 26 Aynı profil üzerindeki MASW3 ve GPR16 profillerinin 2B kesitleri.

Şekil 3.26 incelendiğinde,

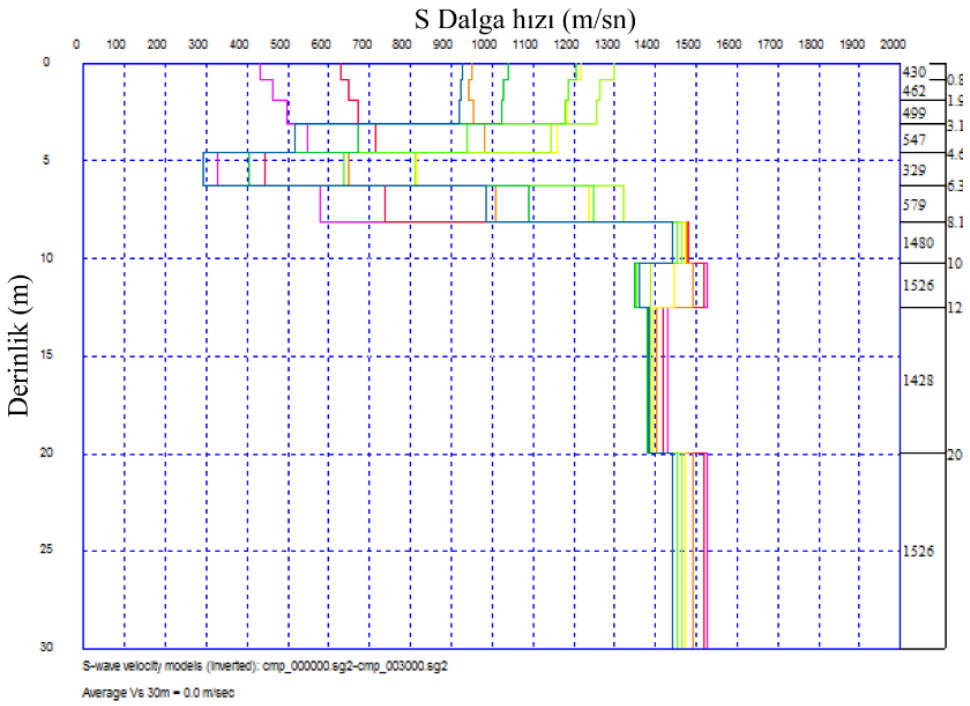
- GPR kesitinin 10'uncu m'sinde, 6 m derinliğe kadar gözlenen yansımalar MASW kesitinde yaklaşık 10-15 m'ler arasında olup, yaklaşık 8 m derinliğe kadar devam etmektedir ve GPR kesitinde profilin yaklaşık 30-36 m'leri arasında yaklaşık 6.5 m derinliğe kadar gözlenen yansımalar MASW kesitinde yaklaşık 8 m derinliğe kadar gözlenen düşük S dalgası hızlı (V_S<653 m/s) alanlara karşılık geldiği görülmektedir.
- GPR kesitlerinde yansıma gözlenmeyen alanlarda sismik hızlar (V_S>1275 m/s) yüksek olup masif jipslere karşılık geldiği anlaşılmıştır.

MASW4: MASW4 ölçüsü GPR18 profili üzerinde alınmıştır. 33 m uzunluğunda olan MASW4 profili 50 m olan GPR profilinin bitiş noktaları çakışacak biçimde ölçü toplanmıştır. Şekil 3.27'de görüldüğü gibi önce dispersiyon eğrileri elde edilmiştir. Daha sonra ters çözüm işlemi uygulanılarak 1B ve 2B derinliğe bağlı S dalgası değişim kesitleri çıkarılmıştır (Şekil 3.28 ve 3.29).

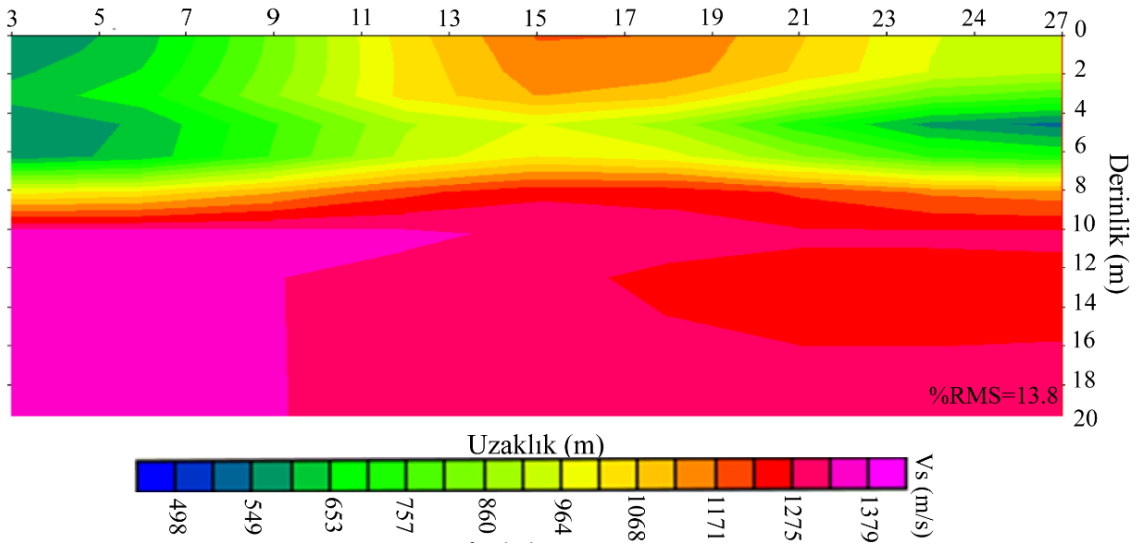


Şekil 3. 27 MASW4 profilinin dispersiyon eğrileri.

.

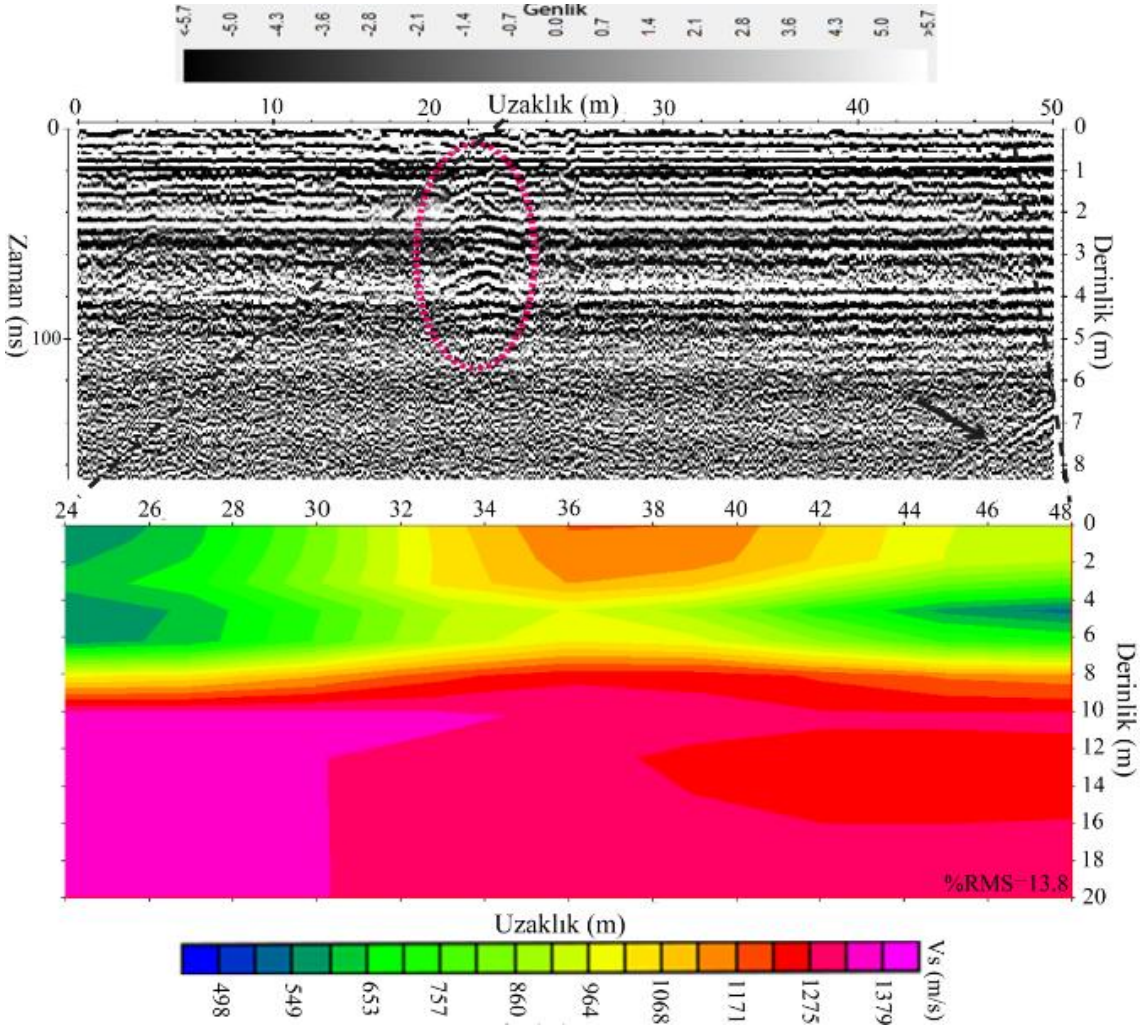


Şekil 3. 28 MASW4 profilinin 1B derinliğe bağlı S dalgası hız değişim grafiği



Şekil 3. 29 MASW4 profilinin 2B kesiti.

Ayrıca aynı profil üzerinde ölçüleri alınan GPR ve MASW yöntemlerinin 2B kesitleri karşılaştırmalı olarak Şekil 3.30'da sunulmuştur



Şekil 3. 30 Aynı profil üzerindeki MASW4 ve GPR18 profillerinin 2B kesitleri.

Şekil 3.30 incelendiğinde,

- GPR kesitinin 20'inci m'sinde, 6 m derinliğe kadar gözlenen yansımalar MASW kesitinde 20-24 m'ler arasında olup, yaklaşık 8 m derinliğe kadar devam eden düşük S dalgası hızlı (V_S<653 m/s) alan olarak gözlenmektedir.
- GPR kesitinde profilin yaklaşık 40-50 m'leri arasında ve güney-kuzey yönlü olarak yaklaşık 6.8 m'den başlayıp 8 m'lere kadar bir yapı belirlenmiştir. Bu yapı yaklaşık güneye doğru 18° derece eğimi olan bir kırık yapısı olarak yorumlanmıştır. MASW kesiti ile karşılaştırıldığında bu alanda sismik S hızlarının (V_S<653 m/s) düşük olduğu görülmüştür.
- GPR kesitinde yansıma gözlenmeyen alanlarda sismik hızlar (V_S>1275 m/s) yüksek olup masif jipslere karşılık geldiği anlaşılmıştır.

Sonuç olarak Sivas yeni yerleşim alanında gerçekleştirilen bu çalışma ile önemli bulgulara varılmıştır. MASW kesitlerinin GPR kesitleri ile uyumlu olduğu, düşük hız zonlarının yansıma bölgelerine karşılık geldiği ve buralarda jips biriminde kırık, çatlak bozunma alanı olarak tanımlanan yapıların olduğu bu çalışma ile anlaşılmıştır. Dolayısıyla çalışma alanında jipsler yer yer yüzeylenmiş olarak gözlenmekte olduğu için jeofizik ölçüler doğrudan jips birimi üzerinde alınmıştır. Bu nedenle GPR ve MASW kesitlerinde ilk 6 m derinlik içerisinde gözlenen belirtilerin yüzey kırık ve çatlakları ve bozunma bölgeleri olabileceği anlaşılmıştır. Bu alanlarda sismik hızlar 653 m/s'den daha düşük olup, 653-1275 m/s'ler arasındaki sismik hızlar kısmen bozunmuş alanlardır. Bozunmamış masif jipslerin S dalgası hızları ise 1275 m/s'den daha yüksek olduğu anlaşılmıştır.

4. SONUÇLAR ve DEĞERLENDİRMELER

Karstik alanların (özellikle jips karstı açısından) ülkemizde en yaygın gözlendiği yerlerden biri de Sivas ilidir. Ancak son yıllarda jipsli alanlar yeni yerleşim alanı olarak kabul edildiğinden bu çalışmada yerleşim yerine uygunluk açısından ve jipslerin jeofizik özelliklerinin belirlenebilmesi için bu çalışma yapılmıştır. Çalışma Sivas merkeze 8 km uzaklıkta yer alan Kılavuz mahallesi olarak bilinen yeni yerleşim alanıdır. Bu tez çalışmasında iki jeofizik yöntem kullanılmıştır. Bunlar sığ alanların jeofizik özelliklerinin belirlenmesinde başarı ile kullanılan ve yüksek çözünürlük sağlayan GPR ve MASW yöntemleridir. Bu iki yöntem ile 2B veriler toplanarak 2B ve 3B jeofizik modeller hazırlanmıştır. Bu modeller daha sonra ayrı ayrı ve birlikte yorumlanmıştır. Böylece 2B yorumların eksiklikleri 3B yorumlarla giderilmiştir. Elde edilen jeofizik kesitler sonucunda aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

1. Jeofizik modellerde MASW yöntemi ile düşük hız zonları belirlenmiştir. Bu alanlarda sismik hızların 653 m/s'den daha düşük olduğu anlaşılmış olup GPR kesitlerlerinde bu alanların yansıma bölgelerine karşılık geldiği görülmüştür. Buna göre her iki yöntemin kesitlerinin birbirleri ile uyumlu olduğu ve bu alanların jipsteki kırık, çatlak ve bozunma alanlarına karşılık geldiği anlaşılmıştır. Bu yapılar çoğunlukla çalışma alanının tamamında ilk 6 m derinlik içerisinde jipsteki bozunma alanları olarak ve çalışma alanın güneyinde ise yaklaşık 6 m'den daha derinde bulunan yapının kırık olduğu düşünülmektedir. Bu kırık yapısının uzanımının batıdan doğuya doğru eğimlenerek

devam ettiği ve yaklaşık 40 m'lik kısmının tespit edilebildiği anlaşılmıştır.

2. Ayrıca GPR yönteminde EM dalganın yansıma yüzeyindeki hızı ortalama 0.09 m/ns olarak hesaplanmıştır. Bulunan bu sonucun kumtaşına karşılık geldiği ve jipslerdeki dolgu malzemesinin kumtaşı olabileceği düşünülmektedir.

Sonuç olarak olası bir afet durumu için ön bilgi sağlayacak olan bu ve benzeri çalışmalardan elde edilen bilgiler kullanıldığı takdirde, güvenli yapılaşmanın sınırlarının belirlenmesine ve gelecekte olabilecek bir doğal afet durumuna karşı can ve mal kaybının önlenmesine ve belirlenen sınırlar dışında yapılaşmaya izin verilmemesi ile ekonomik açıdan gereksiz harcamaların önüne geçilmesine de katkı sağlayacaktır.

Ayrıca bu tez çalışması, inceleme alanında gerçekleştirilen ilk jeofizik çalışma olması nedeniyle daha sonra yapılacak olan jeofizik çalışmalarda araştırmacılara yol göstermek açısından faydalı bir kaynak olacaktır.

5. KAYNAKLAR

Aktimur, T., Atalay, Z., Ateş, Ş., Tekirli, M. E. ve Yurdakul, M. E. (1988). Munzur Dağları ile Çavuşdağı Arasının Jeolojisi. *MTA Derleme Rap. No.* 8320, Ankara, 102s.

Aloğlu, S. (2006). Zemin Etüdü Sondaj Bulgularının Sismik ve Yer Radarı Gibi Tekniklerle Karşılaştırılması, *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Uygulamalı Jeoloji Anabilim Dalı,* (Yüksek Lisans Tezi) 94s, İzmir.

Anchuela O. P., Juan, A. P., Soriano, A. M., Sainz, C. (2009). Characterization of karst hazards from the perspective of the doline triangle using GPR - Examples from Central Ebro Basin (Spain). *Engineering Geology*, 108 (2009) 225–236.

Annan, A. P. (2003). Ground penetrating radar workshop notes, *Sensors Software Inc., Mississaugo*, Ontario, Canada.

Atmaca, E. (2004). Sivas il merkezinin katı atık yönetiminin irdelenmesi ve yeniden planlanması, *C. Ü. Müh. Fak. Çevre Müh. ABD*, Doktora Tezi, Sivas.

Aziz, B. Q. ve Ali, M. P. (2013). Karst cavity detection in carbonate rocks by integration of high resolution geophysical methods. *Journal of Zankoy Sulaimani*, 15:159-171.

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.

Cardimona, S. (2002). Subsurface Investigation Using Ground penetrating radar Presented at the 2nd International Conference on the Application of Geophysics and NDT Methodologies Transportation Facilities and Infrastructure, Los Angels, California.

Cardimona, S., Roark M., Webb, D. J. and Lippincott, T. (1998). Ground penetrating radar, Highway Applications of Engineering Geophysics with an Emphasis on Previously Mined Ground, 41-56.

Cassidy, N. J. (2009). Electrical and magnetic properties of rocks, soils, and fluids, In: Ground Penetrating Radar: Theory and Applications, Jol, H.M. *Elsevier*, ISBN: 978-0-444-53348-7, Amsterdam, The Netherlands, 141-172.

Cerit, O., Değirmenci, M. ve Kaçaroğlu, F. (1996). Sivas yakın doğusu jips karst alanının tektonik özellikleri: *KTÜ Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü 30. Yıl Sempozyumu*, Bildiriler, Trabzon, cilt II, s.521-530.

Collins, M. E., Cum, M. and Hanninen, P. (1994). Using Ground-Penetrating Radar to Investigate a Subsurface Karst landscape in North-Central Florida. *Geoderma*, 61, 1-15.

Conyers, L. B. (2004). Ground penetrating radar for archaeology, *Altamira Press*, California, USA, 24-26.

Conyers, L. B. and Goodman, D. (1997). Ground-Penetrating Radar, An Introduction for Archaeologists, *AltaMira Press*, Walnut Creek, California, 232.

Cooper, A. H. and Calow, R. (1997). Gypsum geohazards: Their impact on development project summary report, Natural Environment Research Council, *British Geological Survey, Technical Report*, Overseas Geological Series: 17.

Crespo T.M. and Ortiz D.G. (2007). Collapse hazard assessment in evaporitic materials from ground penetrating radar: a case study. *Environ Geo.*, 53:57-66.

Davis J.L. and Annan A.P. (1989). Ground Penetrating Radar for High Resolution Mapping of Soil and Rock Stratigraphy, *Geophysical Prospecting*, 37, 531–551.

Değirmenci, M., Kaçaroğlu, F. ve Cerit, O. (1995). Sivas Yakın Doğusu Jips Kartsı Hidrojeolojisi: *Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi,* Jeoloji Mühendisliği Seksiyonu, 8, 77-92.

Değirmenci, M., Kaçaroğlu, F. ve Cerit, O. (1996). Jipsli Havzalarda Su Sağlamada Karşılaşılan Kalite Problemleri (Sivas Örneği): *KTÜ Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü 30. Yıl Sempozyumu*, Bildiriler, Trabzon, cilt II, 504-520.

Dikmen, Ü. (2006). Jeoteknik Araştırmalarda Yüzey Dalgası Yöntemleri, *TMMOB Jeofizik Mühendisleri Odası yayını*, kurs notları, Ankara.

Dikmen, Ü. (2012). Sismik Yöntemlerde Aktif ve Pasif Kaynaklı Yüzey Dalgaları ile Zemin Parametrelerinin Belirlenmesi, *TMMOB Jeofizik Mühendisleri Odası yayını*, Kurs notları, Ankara, 40.

Dikmen, Ü., Başokur, A.T., Akkaya, İ. ,Arısoy, M.Ö. (2009). Yüzey dalgalarının çok kanallı analizi yönteminde uygun atış mesafesinin seçimi, *Yerbilimleri,* 31(1), 23-32.

Duvarcı, E. (1994). Rejyonal Jeoelektrik Haritaları Projesi: Sivas Tersiyer Havzası Özdirenç Etüdü, *MTA Derleme Rap.*, No. 9701, 20s, Ankara.

Fernando A. M. and Afonso A. R. (2005), Detection and 2D modelling of cavities using poledipole array, *Environ Geol.*, DOI 10.1007/s00254-005-1272-8, 48,108-116.

Gautam, P., Pant, S.R., Ando, H. (2000). Mapping of subsurface karst structure with gamma ray and electrical resistivity profiles: a case study from Pokhara Valley, Central Nepal. J. Appl. *Geophys*., 45, 97-110.

Grandjean, G. and Leparoux, D. (2004). The Potential Of Seismic Methods For Detecting Cavities And Buried Objects: Experimentation At A Test Site, *Journal Of Applied Geophysics*, 56 (2004) 93– 106.

Grasmueck, M., Weger, R., and Horstmeyer, H. (2005). Full-resolution 3- D GPR imaging, *Geophysics*, 70(1), K12–K19.

Griffin, S. ve Pipet, T. (2002). Ground Penetrating Radar. Geophysical and Remote Sensing Methods for Regolith Exploration, 144, 80-89.

Hamdan, H., Economou, N. Kritikakis, G., Andronikidis, N., Manoutsoglou, E., Vafidis, A., Pangratis, P., and Apostolidou, G., (2012). 2D and 3D imaging of the metamorphic carbonates at Omalos plateau/polje, Crete, Greece by employing independent and joint inversion on resistivity and seismic data, Tampa, FL (USA), *International Journal of Speleology*, 41(2), 199-209.

Hamdan, H., Kritikakis G., Andronikidis, N., Economou, N., Manoutsoglou, E. & Vafidis, A. (2010). Integrated geophysical methods for imaging saline karst

aquifers: A case study of Stylos, Chania, Greece. *Journal of the Balkan Geophysical Society*, 13, 1-8.

Homan, P. E. M., Sirles, P., Ritter, R. (2010). Geophysical Methods to Map Subsurface Evaporite Features to Aid Roadway Geometric Design, 61st Highway Geology Symposium, Lakewood, Colorado, 15.

İnan, S., Öztürk, A. ve Gürsoy, H. (1993). Ulaş-Sincan (Sivas) Yöresinin Stratigrafisi. *Doğa-Türk Yerbilimleri Dergisi*, 2, 1-15.

Kaçaroğlu, F., Değirmenci, M. and Cerit, O. (1997). Karstification in Miocene gypswn: an example from Sivas, Turkey. *Environmental Geology*, Vo1.30, 88-97.

Kadıoğlu, S. (2008). Photographing Layer Thicknesses and Discontinuities in a Marble Quarry with 3D GPR Visualisation, *Journal of Applied Geophysics*, Vol. 64, 109-114.

Kadıoğlu, S. ve Kadıoğlu, Y. K. (2005). Yer Radarı (GPR) Yöntemi ile Bir Mermer Ocağındaki Kalınlıkları ve Süreksizlikleri Görüntüleme, *Ankara Üniversitesi*. http://www.jmo.org.tr/resimler/ekler/216a1bca4361c39_ek.pdf.

Kadıoğlu, S. ve Ulugergerli, E. (2012). Imaging karstic cavities in transparent 3D volume of the GPR data set in Akkopru dam, Mugla, Turkey. *Nondestructive Testing and Evaluation*, 27:263–271.

Kanlı, A.I., Tjldy, P., Pronay, Z., Pınar, A. and Hermann, L. (2006). $V_s{}^{30}$ mapping and soil classification for seismic site effect evaluation in Dinar region, SW Turkey, *Geophys. J. Int*. 165, 223–235.

Kaufmann, G. and Romanov, D. (2007). Geophysical investigation of a sinkhole in the northern Harz foreland (North Germany) Environmental Geology Springer-Verlag, *International Journal of Geosciences*, Special Issue 10.1007/s00254-008-1598-0.

Kaufmann, O. and Quinif, Y. (1997). Cover collapse sinkholes in the "Tournaisis" area, southern Belgium. In: Beck B.F., Stephenson J.B., Herring J.G. (eds.), The engineering geology and hydrogeology of karst terranes, *AA Balkema*, Rotterdam, 41-47.

Kavak, K. S. (2005). Recognition of gypsum geohorizons in the Sivas Basin (Turkey) using ASTER and Landsat ETM+ images, *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 26, No. 20, 4583–4596.

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

Keskin, İ. (2011). Jipslerde Dolinlerin Oluşum Mekanizmaları Açısından Süreksizlik Özelliklerinin Etkilerinin Araştırılması: Kd Sivas Örneği, *Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği ABD.* (Doktora Tezi), Sivas.

Koçaslan, A. (2008). Sonlu farklar yöntemi ile çok yüksek frekanslı elektomanyetik dalga alanı hesabı, *Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeofizik Mühendisliği ABD.*(Yüksek Lisans Tezi), Ankara.

Kofman, L., Ronen, A., Frydman, S. (2006). Detection of model voids by identifying reverberation phenomena in GPR records, *Journal of Applied Geophysics*, 59, 284-299.

Koruç, S. (2007). 4 Eylül Barajının Çevresel Etkilerinin Değerlendirilmesi, *Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Bilimleri ABD.* (Yüksek Lisans Tezi), Sivas.

Kovin, O. (2010). Mapping of evaporite deformation in a potash mine using ground penetrating radar: Upper Kama deposit, Russia, *Journal of Applied Geophysics*, 74, 131-141.

Kurtman, F. (1973). Sivas- Hafik-Zara ve İmranlı Bölgesinin Jeolojik ve Tektonik Yapısı: *MTA Dergi*, 80, 1-33.

Kurtulmuş, T. Ö. ve Drahor, M. G. (2008). Yer radarı modellemesinde fiziksel ve geometrik parametre etkilerinin araştırılması. *Yerbilimleri*, 29 (2), 37–52.

Kurtulmuş, T. Ö. (2007). Sığ Jeofizik Aramacılıkta Yer Radarı Modellemesi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeofizik Mühendisliği ABD*. (Yüksek Lisans Tezi), İzmir.

Leucci, G., Negri, S. (2006). Use of ground penetrating radar to map subsurface archaeological features in an urban area. *Journal of Archaeological Science,* 33, 502-512.

Manoutsoglou, E., Vachlas, G., Panagopoulos, G. and Hamdan, H. (2010). Delineation of gypsum/anhydrite transition zone using electrical tomography. A case study in an active open pit, Altsi, Crete, Greece Journal of The Balkan Geophysıcal Society, 13(2), 21-28.

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.

Miller, R. D., Xia, J., Park, C.B., and Ivanov, J. M. (1999). Multichannel analysis of surface waves to map bedrock. *The Leading Edge*, 1392–1396.

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

Olhoeft, G. R. (1981). Electrical properties of rocks.in Y. S. Touloukian, W. R. Judd, and R. F. Roy, (Ed.). *Physical properties of rocks and minerals* (257-330). NY: McGraw-Hill.

Özel, S. (2005). Elbistan (Kahramanmaraş)-Hafik (Sivas) Arasındaki Bölgenin Yeraltı Kabuk Yapısının Manyetotellürik ve Gravite Yöntemleri ile İncelenmesi, *Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeofizik Mühendisliği ABD.* (Yüksek Lisans Tezi), Sivas.

Özel, S. (2013). ERT, GPR ve MASW Yöntemleri ile Karst Yapılarının 2B Analizi, *Türkiye 20. Uluslar arası Jeofizik Kongre ve Sergisi*, Bildiriler, Antalya.

Park, C. B., Miller, R. D., and Xia, J. (1998). Imaging dispersion curves of surface waves on multichannel record. *The Society of Exploration Geophysicists*, Expanded Abstracts , pp. 1377-1380.

Park, C. B., Miller, R. D. and Xia, J. (1998b). Ground roll as a tool to image near-surface anomaly: Technical Program with biographies, *SEG 68th Annual Meeting*, New Orleans, Louisiana, Abstracts, 874-877.

Park, C.B., Xia, J. and Miller, R. D. (1999). Multi-channel analysis of surface waves (MASW). *Geophysics*, 64, 800–808.

Parker, E. H. and Hawman, R. B. (2012). Multi-channel Analysis of Surface Waves (MASW) in Karst Terrain, Southwest Georgia: Implications for Detecting Anomalous Features and Fracture Zones, *Journal of Environmental Geology*. doi: 10.2113/JEEG17.3.129, 17(3), 129-150.

Paukstys, B., Cooper, A. H., Arustiene, J. (1997). Planning for gypsum geohazards in Lithuania and England. In: Beck B.F.,Stephenson J.B., Herring J.G. (eds.) The engineering geology and hydrogeology of karst terranes. *AA Balkema*, Rotterdam, 3-12.

Pavlic, M. and Praznik, B. (2011). Detectıng Karstıc Zones Durıng Hıghway Constructıon Usıng Ground-Penetratıng Radar, *Acta Geotechnica*, 17-27.

Poisson, A., Guezou, J. C., Öztürk. A., İnan, S., Temiz, H., Gürsoy, H., Kavak, K.Ş. and Özden, S. (1996). Tectonic Setting and Evolution of the Sivas Basin Central Anatolia, Turkey: *International Geology Review*, v. 38, 838-853.

Richard, B. (1977). An overview of cavity detection methods. In: Book of abstracts of the symposium on detection of subsurface cavities, .44-79.

Rittgers, J., Butler, D., Sirles, P. (2008). Subsurface Void Detection in Oklahoma Evaporite Deposits Using Geophysical Methods, *In Proceedings of the 59th Annual Highway Geology Symposium*: Santa Fe, NM, May 6-9, pp. 445-468.7

Robert, A. and Bosset C.D. (1994). Application of ground penetrating radar to the detection of cavities, gravel pockets and kastic zones. *Journal of Applied Geophysics*, 31(1-4), 197-204.

Sandmeier, K. J. (2005). Reflexw Manuel, ver. 7.0.3. Sandmeier Scientific Software Karlsruhe, Germany.

Sarı, M. (2012). Jipslerin Jeofiziksel Özelliklerinin İncelenmesi (Sivas Örrneği), *Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeofizik Mühendisliği ABD.* (Yüksek Lisans Tezi), Sivas.

SeisImager/SW. (2006). Windows software for analysis of surface waves. Including explanation of surface wave data acquisition using Geometrics Seismodule Controller Software (v.9.14). *Manual*, Geometrics, Inc.

Stevens K. M., Lodha, G. S., Holoway A. L. and Soonawala, N. M. (1995). The application of ground penetrating radar for mapping fractures in plutonic rocks within the Whiteshell research area, Pinawa, Manitoba, Canada, *Journal of Applied Geophysics.* 33, 125-141.

Strobbia, C. (2005). Surface Wave Methods Acqusition Processing and İnversion, Phd Thesis, Politecnico Di Torino.

Şeren A., Babacan, A., Gelişli, K., Öğretmen, Z. ve Kandemir, R. (2012). An investigation for potential extensions of the Karaca Cavern using geophysical methods, *Carbonates and Evaporites*, 27:321-329.

Takahaski, T. (2004). Suggested Methods for Land Geophysics in Rock Engineering. *Rock Mechanics and Mining Science*, 41, 885-914.

Tanıdır, R. ve Karlı, R. (1996). Türkiye Rejyonal Elektrik Haritalar Projesi, *MTA Genel Müdürlüğü*, Rapor No: 9868, Ankara.

Temiz, H. (1994). Sivas Tersiyer havzasının Kemah (Erzincan) ve Hafik (Sivas) yörelerindeki tektonostratigrafisi ve deformasyon biçimi. *Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* (Doktora Tezi), Sivas.

Toshioka, T., Tsuchida, T. And Sasahara, K. (1995). Application of GPR to detecting and mapping cracks in rock slopes, *Journal of Applied Geophysics*, 33, 119-124.

Ulugergerli, E. ve Akça, İ. (2006). Detection of cavities in gypsum. *Journal Of The Balkan Geophysıcal Society*, 9:8-19.

Waltham, T. (2002). Gypsum karst near Sivas, Turkey, Transactions of the British Cave Research Association, *Cave and Karst Science*, Vol. 29, No.1.

Wilchek, L. (2000). Ground Penetrating Radar for Detection of Rock Stucture. M.S. Thesis, Alberta University, Canada.

Xavier, D. and Odile, A. (2000). GPR And Seismic Imaging in a Gypsum Quarry. *Journal Of Applied Geophysics*. 45:157–169

Xu, C., and Butt, S. D. (2006). Evaluation of MASW Techniques to İmage Steeply Dipping Cavities İn Laterally İnhomogeneous Terrain, *Journal Of Applied Geophysics*, 59 (2006) 106– 116.

Yılmaz, A. (1984). Tokat (Dumanlıdağı) ile Sivas (Çeltekdağı) Dolaylarının Temel Jeoloji Özellikleri ve Ofiyolitli Karışığın Konumu, *MTA Dergisi*, No. 99/100, 1-18.

Yılmaz, A. and Atmaca, E. (2006). Environmental geological assessment of a solid waste disposal site: a case study in Sivas, Turkey, *Environmental Geology*, 50, 677-689.

Yılmaz, A. and Yılmaz, H. (2006). Characteristic features and structural evalution of a post collisional basin: The Sivas Basin, Central Anatolia, Turkey, *Journal of Asian Earth Sciences*, 27, 164-176.

Yılmaz, H. and Özel, S. (2008). Crustal Structure of the Eastern Part of Central Anatolia (Turkey), Turkish *Journal of Earth Sciences*, 18, 169-185.



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel bilgiler

Adı Soyadı	Naşit Darıcı
Doğum Yeri ve Tarihi	İstanbul, 28.10.1990
Medeni Hali	Bekar
Yabancı Dil	İngilizce
E-posta Adresi	nasit.darici@gmail.com

Eğitim ve Akademik Durumu

Lise	Dündar Uçar Lisesi, 2007
Lisans	Cumhuriyet Üniversitesi, 2012
Yüksek Lisans	Cumhuriyet Üniversitesi, 2012-…