

CUMHUR YET ÜN VERS TES YERLE KES NDE B NA-  
ZEM N L K S N N JEOF Z K YÖNTEMLERLE  
NCELENMES

SERDAR FEYZ

YÜKSEK L SANS TEZ  
JEOF Z K MÜHEND SL ANAB L M DALI

2014



CUMHUR YET ÜN VERS TES  
FEN B L MLER ENST TÜSÜ

CUMHUR YET ÜN VERS TES YERLE KES NDE B NA-ZEM N  
L K S N N JE OF Z K YÖNTEMLERLE NCELENMES

SERDAR FEYZ

YÜKSEK L SANS TEZ

JE OF Z K MÜHEND SL ANAB L M DALI

TEZ DANI MANI

YRD. DOÇ. DR. ÖZCAN BEKTA

S VAS  
2014

Bu çalı ma Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanmı ve jürimiz tarafından Jeofizik Mühendisli i Anabilim Dalı'nda yüksek lisans tezi olarak kabul edilmi tir.

Ba kan Doç. Dr. Aydın BÜYÜKSARAÇ \_\_\_\_\_

Üye Doç. Dr. Hüseyin YILMAZ \_\_\_\_\_

Üye (Danı man) Yrd. Doç. Dr. Özcan BEKTA \_\_\_\_\_

#### ONAY

Bu tez çalı ması, 10/06/2014 tarihinde Enstitü Yönetim Kurulu tarafından belirlenen ve yukarıda imzaları bulunan jüri üyeleri tarafından kabul edilmi tir.

\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Mustafa DE RMENC  
FEN B L MLER ENST TÜSÜ MÜDÜRÜ

## ÖZET

### CUMHURİYET ÜNİVERSİTESİ YERLE KESİMLERİ - ZEMİN LİSANS TEZİ YÖNTEMLERLE İNCELENMESİ

Serdar FEYZ

Yüksek Lisans Tezi, Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Özcan BEKTA

2014, 94 sayfa

Çalışma alanı olan Cumhuriyet Üniversitesi Kampüs yerleşimi, sismik kaynaklardan uzakta yerleşik bir bölgededir. Ancak, meydana gelen uzak depremler, özellikle alüvyon yapılı alanlarda yer büyütmesi etkisi göstermektedir. Bu durum da potansiyel bir risk oluşturmaktadır. Yerleşim yerlerinin jeofizik araştırmaları zeminlerin depremlerden etkilenme duyarlılığının belirlenmesi adına bir risk analizi yapılmasına temel oluşturmaktadır.

Bu çalışma kapsamında Cumhuriyet Üniversitesi Kampüs yerleşimi içerisinde seçilen Fakülte binalarının bina-zemin ilişkisi araştırılmıştır. Öncelikle bu binaların üzerine yerleştirildiği zemin özelliklerinin ortaya çıkarılması için GPR, MASW, ReMi ve Mikrotremor yöntemleri kullanılarak jeofizik araştırmalar yapılmıştır. GPR yöntemi ile yer altı tabakalarının konumları ve olası zayıf zonlar belirlenmiş ve MASW ve ReMi yöntemi ile yeraltındaki tabakaların S dalga hızı deşimi ortaya çıkarılmıştır. Mikrotremor ölçümleri ile baskın titreşim periyotları belirlenmiş, ayrıca, binaların her katında mikrotremor ölçümleri yapılarak binaların hakim periyot değerleri bulunmuştur. Binalarda hesaplanan baskın titreşim periyotları 0,26 – 0,42 saniye arasında, binaların oturduğu zeminlerde ise 0,44 – 0,56 saniye arasında deşimi belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar bir araya getirilerek bina-zemin ilişkileri ortaya çıkarılmıştır. MASW VE ReMi yöntemlerinden elde edilen veriler birlikte değerlendirilerek  $V_s^{30}$  kayma dalgası hız değerlerinin 250 – 366 m/sn arasında deşimi saptanmıştır. Bu hızların Yer radarı (GPR) yönteminden belirlenen tabakalarla tam olarak uyumlu olmamasının sebebi tabakaların suya doygun olmasıdır. Son olarak binaların üzerine yerleştirildiği zeminler ile binaların her katından

elde edilen baskın periyot de erleri kar ıla tırılarak çalı ma alanı içerisinde risk içeren alanlar tespit edilerek binaların güvenli bölgede kaldı ı ancak zemini olu turan birimlerin alüvyon birimler olması sebebiyle risk olu turabilece i tespit edilmi tir. Buna ek olarak Vs kayma dalgası hızı kullanılarak NEHRP zemin sınıflaması kriterlerine göre her alan için zemin sınıflaması yapılmı tır. Yapılan bu sınıflamaya göre çalı ma alanında 3. alanın C sınıfı, 1. ve 2. alanın ise D sınıfı zeminlerden meydana geldi i ortaya çıkarılmı tır.

**Anahtar kelimeler:** Bina – zemin ili kisi, GPR, Mikrotremor, MASW, ReMi

## ABSTRACT

### INVESTIGATION OF SOIL-STRUCTURE RELATIONSHIP BY GEOPHYSICAL METHODS IN CUMHURİYET UNIVERSITY CAMPUS

Serdar FEYZ

Master of Science Thesis, Department of Geophysical Engineering

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Özcan BEKTA

2014, 94 pages

Cumhuriyet University Campus which is study area is a region located at a remote distance from seismic sources. However, remote distance earthquakes show amplification effect of ground in the alluvial soils. This situation occur a potential risk. Geophysical investigations of cities provide a basis for site-specific hazard analysis in urban settlements.

The selected of faculty buildings were investigated soil-structure relationship in Cumhuriyet University Campus in the frame of this study. Primarily geophysical surveys were conducted by using GPR, MASW, ReMi and Microtremor methods for determining properties of placed on the floor of the buildings. The location of the underground layer and potential weak zones were determined by using GPR and was uncovered S wave velocity variation of underground layers by using MASW and ReMi methods. The dominant periods were determined faculty buildings by performing microtremor measurement on the each floor. Dominant periods were determined data between 0,26 – 0,42 seconds and between 0,44-0,56 seconds in faculty buildings and soil, respectively. Soil-structure relationship was combined to obtained results.  $V_s^{30}$ ; Shear wave velocity was determined between 250 - 366 m/sec by using data obtained from MASW and ReMi methods evaluated together in study area. These velocities are not fully compatible with the specified layers by found GPR method because the layers are saturated with water. Finally, the risky areas were determined that by comparing derived dominant period values from the soils and on the each floor and ground that consist of alluvium units and this situation may occur risk although the buildings located in the safe zone. In addition, soil

classification was made for each area using Vs30 shear wave velocity according to the criteria of NEHRP soil classification. Soils were uncovered to consist from class C for area 3 and class D for area 1 and 2 soils that located in the study field according to this classification.

**Key words :** Soil-structure relationship , GPR, Microtremor, MASW, ReMi

## TE EKKÜR

Tez çalı ması boyunca bilgi ve deneyimleri ile bana yol gösteren danı man hocam Sayın Yrd.Doç.Dr. Özcan BEKTA 'a müte ekkirim.

Tezin arazi çalı maları a amasında ölçü alımında her türlü yardımını esirgemeyen Sayın Ö retim Görevlisi Sinan KO ARO LU'na, Jeofizik Mühendisli i Bölümü Yüksek Lisans ö rencilerinden Abdullah AYYILDIZ, Önder ÖKSÜZTEPE, Na it DARICI ve Fatih NAÇ'a, Lisans ö rencilerinden Samet UYGUT, Bilal SOYDAN, smail ÇALI IR ve Muammer ÇEL K'e ayrıca verilerin yorumlanmasındaki katkılarından dolayı jeofizik mühendisi Barı ATE 'e te ekkür ederim.

Her konuda sabırla yardımcı olan Bediha TOSUN'a ve daima yanımda hissetti im aileme desteklerinden dolayı te ekkür ederim.

## EK LER D Z N

|   | <u>Sayfa</u> |
|---|--------------|
| <b>ekil 2.1</b> Tabata bölgesinde mikrotremor kayıtlarının hız genliklerinin zamana göre değişimi (Nakamura, 1989).....                             | 8            |
| <b>ekil 2.2</b> Nakamura (1989)'nın mikrotremor ölçümlerini açıklamak için önerdiği basit model.....  | 13           |
| <b>ekil 2.3</b> Mikrotremor kayıtlarının alınmasında kullanılan temel birimler (Tokgöz, 2002).....  | 16           |
| <b>ekil 2.4</b> Mikrotremor ölçümleri için kullanılan geniş bant aralıklı 3 bileşenli Sismometre ve ölçüm düzeneği.....                             | 16           |
| <b>ekil 2.5</b> Mikrotremor kaydının yumuşak ve sert katmanlarda elde edilmesi (Nakamura,1989).....   | 19           |
| <b>ekil 2.6</b> H/V analizinin ematik gösterimi (Nakamura,1989).....  | 20           |
| <b>ekil 2.7</b> Cisim ve yüzey dalgalarının yayınımları (Bolt,1988).....  | 22           |
| <b>ekil 2.8</b> Sismik dalgaların yayılım hızlarının poisson oranıyla ilişkileri (Richart vd., 1970; Puech vd., 2004)                               | 23           |
| <b>ekil 2.9</b> Homojen yarı sonsuz bir ortamın yüzeyinde rayleigh dalgasının tanecik hareketi (Grant ve West, 1965; Kurtuluş, 2002).....           | 23           |
| <b>ekil 2.10</b> Normal dispersiyon ve Ters dispersiyon (Bath, 1973).....   | 24           |
| <b>ekil 2.11</b> Grup Hızı ve Faz Hızı (Osman ahin, 1989).....  | 25           |
| <b>ekil 2.12</b> Dalga Boyu (Lay ve Wallece, 1995).....   | 25           |
| <b>ekil 2.13</b> Dalga Periyodu (Lay ve Wallece, 1995).....   | 25           |
| <b>ekil 2.14</b> MASW yönteminde temel işlem adımları (Puech vd., 2004).....  | 28           |
| <b>ekil 2.16</b> Yer radarı yönteminin çalışma prensibi (Kesemen, 2007).....  | 32           |
| <b>ekil 2.17</b> Bir manyetik alan bir elektrik alanı meydana getirir (Annan, 1992)....   | 37           |
| <b>ekil 2.18</b> Bir elektrik akımı bir manyetik alan meydana getirir (Annan,1992)...   | 37           |
| <b>ekil 2.19</b> Elektrik akımı-net yük oranı 32 (Annan, 1992).....   | 38           |
| <b>ekil 2.20</b> Kapalı bir yüzeydeki manyetik alan akımının sıfır olduğu ve dolayısıyla manyetik yüklerin var olmadığını belirtir (Annan,1992)...  | 38           |
| <b>ekil 2.21</b> Elektromanyetik enerjinin yayıldığı ortamın elektrik iletkenliği ile enerjinin penetrasyon derinliği ilişkisi (Moorman, 2001)..... | 39           |
| <b>ekil 2.22</b> Yer radarı verisi akıma teması (Annan, 2001).....  | 41           |
| <b>ekil 3.1</b> Sivas yer bulduru haritası ve çalışma alanının görünümü.....  | 45           |
| <b>ekil 3.2</b> Sivas Kenti ve yakın çevresinin jeoloji ve mühendislik jeolojisi haritası (Büyüksaraç vd., 2007).....                               | 46           |
| <b>ekil 3.3</b> Çalışma alanı civarına ait stratigrafik dikme kesit (Gökçe, 1988).....  | 47           |
| <b>ekil 3.5</b> Alan 1 Mikrotremor ölçü noktaları.....  | 50           |
| <b>ekil 3.6</b> Alan 2 Mikrotremor ölçü noktaları.....  | 51           |
| <b>ekil 3.7</b> Alan 3 Mikrotremor ölçü noktaları.....  | 51           |
| <b>ekil 3.8</b> MASW Ölçü Profilleri Krokisi.....   | 52           |
| <b>ekil 3.10</b> ReMi ölçü profilleri krokisi.....  | 53           |
| <b>ekil 3.11</b> Yer Radarı ölçü profilleri.....  | 54           |
| <b>ekil 4.1</b> Araziden elde edilen mikrotremor verisi büyütme-periyot grafiği.....  | 55           |
| <b>ekil 4.2</b> P Dalgası sismik izleri, hız-zaman grafiği ve yer altı kesiti.....  | 56           |
| <b>ekil 4.3</b> Masw Dispersiyon Pikleri, Dispersiyon Erisi, Vs Hız Kesiti.....   | 57           |
| <b>ekil 4.4</b> ReMi Dispersiyon Pikleri, Dispersiyon Erisi, Vs Hız Kesiti.....   | 57           |

|                  |   |    |
|------------------|---|----|
| <b>ekil 5.1</b>  | Alan 1 için büyütme-periyot grafikleri  | 62 |
| <b>ekil 5.2</b>  | Alan 1 için elde edilen GPR kesiti  | 64 |
| <b>ekil 5.3</b>  | Alan 1 için elde edilen tabakaların P dalga hızları.....                            | 65 |
| <b>ekil 5.4</b>  | Alan 1 için Masw yönteminden elde edilen Vs dü ey hız kesiti.....                   | 66 |
| <b>ekil 5.5</b>  | Alan 1 için Remi yönteminden elde edilen Vs dü ey hız kesiti.....                   | 67 |
| <b>ekil 5.6</b>  | Alan 1 için Masw+Remi yönteminden elde edilen ayrıntılı Vs<br>dü ey hız kesiti..... | 68 |
| <b>ekil 5.7</b>  | Alan 2 için büyütme-periyot grafikleri.....   | 71 |
| <b>ekil 5.8</b>  | Alan 2 için elde edilen GPR kesiti.....   | 72 |
| <b>ekil 5.9</b>  | Alan 2 için elde edilen tabakaların P dalga hızları.....                            | 73 |
| <b>ekil 5.10</b> | Alan 2 için Masw yönteminden elde edilen Vs dü ey hız kesiti.....                   | 74 |
| <b>ekil 5.11</b> | Alan 2 için Remi yönteminden elde edilen Vs dü ey hız kesiti.....                   | 75 |
| <b>ekil 5.12</b> | Alan 2 için Masw+Remi yönteminden elde edilen ayrıntılı Vs<br>dü ey hız kesiti..... | 76 |
| <b>ekil 5.13</b> | Alan 3 için büyütme-periyot grafikleri.....   | 79 |
| <b>ekil 5.14</b> | Alan 3 için elde edilen GPR kesiti.....   | 81 |
| <b>ekil 5.15</b> | Alan 3 için elde edilen tabakaların P dalga hızları.....                            | 82 |
| <b>ekil 5.16</b> | Alan 3 için Masw yönteminden elde edilen Vs dü ey hız kesiti.....                   | 83 |
| <b>ekil 5.17</b> | Alan 3 için Remi yönteminden elde edilen Vs dü ey hız kesiti.....                   | 84 |
| <b>ekil 5.18</b> | Alan 3 için Masw+Remi yönteminden elde edilen ayrıntılı Vs<br>dü ey hız kesiti..... | 85 |
| <b>ekil 6.2</b>  | Alan 1,2 ve 3 için kat periyotları-zemin periyodu risk de erlendirmesi...           | 90 |
| <b>ekil 6.3</b>  | Alan 1,2 ve 3 için GPR kesitleri ve Vs hızlarının kar ıla tırılması.....            | 92 |
| <b>ekil 6.4</b>  | Alan 3-Alan 1 do rultusunda alınan kesit.....                                       | 93 |

## ÇİZELGELER DİZİNİ

|  | <u>Sayfa</u> |
|--|--------------|
| <b>Çizelge 2.1</b> Genel jeolojik malzemelerin dielektrik, iletkenlik, hız ve soğurma değerleri (Wilchek, 2000).....   | 34           |
| <b>Çizelge 2.2</b> Frekans bağımlı penetrasyon derinliği (Öretmen, 2012).....  | 41           |
| <b>Çizelge 2.3</b> Yer radarı 100 MHz'lik antenle ölçüm yapılırken kullanılan Parametreler.....                        | 42           |
| <b>Çizelge 4.1</b> Arazi Çalışmasında kullanılan MASW-ReMi parametrelerinin karşılaştırılması.....                     | 56           |
| <b>Çizelge 5.1</b> Alan 1 için elde edilen baskın frekans-periyot değerleri.....                                       | 62           |
| <b>Çizelge 5.2</b> Alan 1 için GPR kesitlerinin değerlendirme sonuçları.....   | 64           |
| <b>Çizelge 5.3</b> Alan 1 için tabakaların P dalga hızı değerleri.....   | 65           |
| <b>Çizelge 5.4</b> Alan 1 için elde edilen elastik parametreler.....   | 69           |
| <b>Çizelge 5.5</b> Alan 2 için elde edilen baskın frekans-periyot değerleri.....                                       | 71           |
| <b>Çizelge 5.6</b> Alan 2 için GPR kesitlerinin değerlendirme sonuçları.....   | 72           |
| <b>Çizelge 5.7</b> Alan 2 için tabakaların P dalga hızı değerleri.....   | 73           |
| <b>Çizelge 5.8</b> Alan 2 için elde edilen elastik parametreler.....   | 77           |
| <b>Çizelge 5.9</b> Alan 3 için elde edilen baskın frekans-periyot değerleri.....                                       | 80           |
| <b>Çizelge 5.10</b> Alan 3 için GPR kesitlerinin değerlendirme sonuçları.....  | 81           |
| <b>Çizelge 5.11</b> Alan 3 için tabakaların P dalga hızı değerleri.....  | 82           |
| <b>Çizelge 5.12</b> Alan 3 için elde edilen elastik parametreler.....  | 86           |
| <b>Çizelge 5.13</b> Alan 1,2 ve 3 için yapılan NEHRP zemin sınıflama sistemi.....                                      | 87           |
| <b>Çizelge 6.1</b> Çalışma alanına ait $V_s^{30}$ kayma dalgası hesaplamalarına göre NEHRP zemin sınıfı değerleri..... | 92           |

## SİMGELER DİZİNİ

|                                   |   |
|-----------------------------------|---|
| <b>C</b>                          | Dalga fazının hızı  |
| <b>E<sub>d</sub></b>              | Elastisite modülü, kg/cm <sup>2</sup>                           |
| <b>f</b>                          | Frekans,hz  |
| <b>G<sub>max</sub></b>            | Kayma (Shear) modülü,kg/cm <sup>2</sup>                         |
| <b>h</b>                          | Tabaka kalınlığı, m   |
| <b>k</b>                          | Dalga sayısı  |
| <b>K</b>                          | Yataklanma katsayısı, kg/cm <sup>2</sup>                        |
| <b>T</b>                          | Periyot,sn  |
| <b>V<sub>p</sub></b>              | Boyuna dalga hızı,m/sn  |
| <b>V<sub>s</sub></b>              | Enine dalga hızı,m/sn   |
| <b>V<sub>s</sub><sup>30</sup></b> | İlk 30 m için elde edilen ortalama kayma dalga hızı değeri,m/sn |
|                                   | Açısal frekans,hz   |
|                                   | Dalga boyu  |
| <b><math>\vec{E}</math></b>       | Elektrik alan şiddet vektörü,V/m                                |
| <b><math>\vec{q}</math></b>       | Elektrik alan yükü yoğunluğu u,c/m <sup>3</sup>                 |
| <b><math>\vec{B}</math></b>       | Manyetik akı yoğunluğu u,T                                      |
| <b><math>\vec{J}</math></b>       | Elektrik akım yoğunluğu u vektörü,A/m <sup>2</sup>              |
| <b><math>\vec{D}</math></b>       | Elektrik yer değiştirme vektörü, C/m <sup>2</sup>               |
| <b><math>\vec{H}</math></b>       | Manyetik alan yoğunluğu u,A/m                                   |
|                                   | Tabaka yoğunluğu u,g/cm <sup>3</sup>                            |
| <b>€</b>                          | Poisson oranı   |
| <b>Q<sub>u</sub></b>              | Taşıma gücü, kg/cm <sup>2</sup>                                 |

## Ç NDEK LER

### Sayfa

|   |             |
|---|-------------|
| <b>ÖZET</b> .....   | <b>i</b>    |
| <b>ABSTRACT</b> .....   | <b>iii</b>  |
| <b>TE EKKÜR</b> .....   | <b>v</b>    |
| <b>EK LLER D Z N</b> .....  | <b>vi</b>   |
| <b>Ç ZELGELER D Z N</b> .....   | <b>viii</b> |
| <b>S MGELER D Z N</b> .....   | <b>ix</b>   |
| <br>  |             |
| <b>1. G R</b> .....   | <b>1</b>    |
| 1.1 Amaç ve Kapsam .....  | 1           |
| 1.2 Önceki Çalışmalar.....  | 2           |
| <b>2. MATERİYAL VE YÖNTEM</b> .....   | <b>5</b>    |
| 2.1 Mikrotremor Yöntemi.....  | 5           |
| 2.1.1 Mikrotremorları Oluşturan Dalgalar .....                                    | 6           |
| 2.1.1.1 Düzenli Mikroseisimler .....  | 6           |
| 2.1.1.2 Düzensiz Mikroseisimler .....   | 7           |
| 2.1.2 Mikrotremorları Etkileyen Faktörler .....                                   | 7           |
| 2.1.3 Mikrotremorların Periyot Dağılımları.....                                   | 8           |
| 2.1.4 Mikrotremorların Genliklerinin Zamana Göre Dağılımı .....                   | 9           |
| 2.1.5 Mikrotremor Verilerinin Kullanım Amaçları .....                             | 9           |
| 2.1.6 Mikrotremor Verilerinin Analizinde Yaygın Olarak Kullanılan Yöntemler ..... | 11          |
| 2.1.6.1 Nakamura H/V Spektral Oranlar Yöntemi .....                               | 12          |
| 2.1.7 Yer Büyütmesi Çalışmaları.....  | 14          |
| 2.1.8 Arazide Mikrotremor Ölçümleri .....   | 15          |
| 2.1.9 Arazide Mikrotremor Kayıtlarının Alınması.....                              | 16          |
| 2.1.10 Alan Karakteristikleri için H/V Analizi .....                              | 18          |
| 2.2 Sismik Yöntemler.....   | 20          |
| 2.2.1 Genel Tanımlamalar .....  | 20          |
| 2.2.2 Dispersiyon, Faz Hızı, Grup Hızı.....                                       | 24          |
| 2.2.3 Yüzeysel Dalgalarının Çok Kanallı Analizi ( MASW ) .....                    | 26          |
| 2.2.4 Kırılma Mikrotremor Yöntemi ( ReMi ) .....                                  | 30          |
| 2.2.4.1 Remi Yönteminin Avantajları .....   | 31          |
| 2.3 Yer Radar Yöntemi (GPR).....  | 31          |
| 2.3.1 Yer Radarı Yönteminin Avantajları ve Dezavantajları .....                   | 34          |
| 2.3.2 Yer Radarı Kullanıldığı Alanlar .....                                       | 35          |
| 2.3.3 Yer Radarı Temel Esasları .....   | 35          |
| 2.3.4 Maxwell Denklemleri.....  | 35          |
| 2.3.5 Penetrasyon Derinliği .....   | 39          |
| 2.3.6 Yer Radarı Verilerinin İşlenmesi .....                                      | 41          |
| 2.3.7 Yer Radarı Ölçüm Alımında Kullanılan Parametreler .....                     | 42          |
| 2.3.7.1 Dewow (Düşük Frekansların Giderilmesi) .....                              | 42          |
| 2.3.7.2 Kazanç Fonksiyonu .....   | 43          |
| 2.3.7.3 Background Removal .....  | 43          |
| 2.3.7.4 Göç İlemleri (Migrasyon) .....  | 44          |
| <b>3. ARAZİ ÇALIŞMASI</b> .....   | <b>44</b>   |
| 3.1 Çalışma Alanının Tanıtılması.....   | 44          |
| 3.2 Çalışma Alanının Genel Jeolojisi .....  | 45          |
| 3.2.1 Çalışma Alanına Ait Jeolojik Birimler .....                                 | 46          |

|   |           |
|---|-----------|
| 3.2.1.a Jipsler.....  | 47        |
| 3.2.1.b Konglomera - Kumta 1 .....                                  | 48        |
| 3.2.1.c Alüvyonlar .....  | 48        |
| 3.3 Uygulanan Jeofizik Yöntemler.....                               | 49        |
| 3.3.1 Mikrotremor Yöntemi .....                                     | 49        |
| 3.3.2 Sismik Yöntemler.....   | 51        |
| 3.3.3 Yer Radarı Yöntemi .....                                      | 54        |
| <b>4. ARAZ VERİLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ .....</b>                  | <b>55</b> |
| 4.1 Mikrotremor Verilerinin Değerlendirilmesi.....                  | 55        |
| 4.2 Sismik Yöntemden Elde Edilen Verilerin Değerlendirilmesi .....  | 56        |
| 4.3 Yer Radarı Verilerinin Değerlendirilmesi.....                   | 58        |
| <b>5. BULGULAR .....</b>  | <b>60</b> |
| 5.1 Alan 1 .....  | 60        |
| 5.1.1 Mikrotremor Verilerinin Değerlendirilmesi .....               | 60        |
| 5.1.2 Yer Radarı Verilerinin Değerlendirilmesi .....                | 63        |
| 5.1.3 Sismik Verilerin Değerlendirilmesi .....                      | 64        |
| 5.1.3.1 MASW Verilerinin Değerlendirilmesi.....                     | 64        |
| 5.1.3.2 ReMi Verilerinin Değerlendirilmesi.....                     | 66        |
| 5.1.3.3 Birleştirilmiş MASW-ReMi Verilerinin Değerlendirilmesi..... | 67        |
| 5.2 Alan 2 .....  | 69        |
| 5.2.1 Mikrotremor Verilerinin Değerlendirilmesi .....               | 69        |
| 5.2.2 Yer Radarı Verilerinin Değerlendirilmesi .....                | 71        |
| 5.2.3 Sismik Verilerin Değerlendirilmesi .....                      | 73        |
| 5.2.3.1 MASW Verilerinin Değerlendirilmesi.....                     | 73        |
| 5.2.3.2 ReMi Verilerinin Değerlendirilmesi.....                     | 74        |
| 5.2.3.3 Birleştirilmiş MASW-ReMi Verilerinin Değerlendirilmesi..... | 75        |
| 5.2 Alan 3 .....  | 77        |
| 5.3.1 Mikrotremor Verilerinin Değerlendirilmesi .....               | 77        |
| 5.3.2 Yer Radarı Verilerinin Değerlendirilmesi .....                | 80        |
| 5.3.3 Sismik Verilerin Değerlendirilmesi .....                      | 81        |
| 5.3.3.1 MASW Verilerinin Değerlendirilmesi.....                     | 81        |
| 5.3.3.2 ReMi Verilerinin Değerlendirilmesi.....                     | 83        |
| 5.3.3.3 Birleştirilmiş MASW-ReMi Verilerinin Değerlendirilmesi..... | 84        |
| 5.3.4 NEHRP Zemin Sınıflama Sistemi.....                            | 86        |
| <b>6. TARTIŞMA VE SONUÇLAR .....</b>                                | <b>87</b> |

**KAYNAKLAR.....95**

**EKLER.....101**

EK-1 Sismik Çalınmalar..... 102

EK-2 Mikrotremor Çalınmaları..... 121

**ÖZGEÇMİŞ**

## 1.G R

### 1.1 Amaç ve Kapsam

Depremlerin, bir do a olayı olarak algılanmaya ba landı ı 1900'lü yılların ba ından günümüze kadar dünya genelinde birçok co rafyada çok sayıda deprem meydana gelmiştir. Özellikle büyük depremler yapılarda yıkımlara yol açmış ve çok sayıda can ve mal kaybı olmuştur. Ancak deprem ara tırmaları yo unlara rak sürmüştür. Son yıllarda geli en deprem zararlarının en aza indirgenmesi kavramı çerçevesinde kent planlamaları öncesi zeminlerin deprem duyarlılıklarının belirlenmesi ve buna göre kat yükseklikleri, yerle im planlaması yapılması, deprem güvenli i önceli inde gerçekleştirilebilmektedir. Bu amaçla deprem sırasında zemin davranı ının düzeyi küçük titre imler yoluyla ölçülebilmektedir. Kent alanı farklı zemin davranı ına ba lı olarak bölgelere ayrılabilir. Böylece depreme en duyarlı bölgelere güvenli yerle im sa lanabilmektedir.

Yerel zemin ko ulları, temel olarak depremler sırasında sismik dalgaların özelliklerini etkiler. Gev ek yapılı zeminler, yer hareketinin belirli frekanslarda büyümesine ve hareketin süresinin uzamasına neden oldu undan deprem hasarı da büyümü olur. Nehir ya da kıyı boyunca sıralanan alanlar düz alanlar oldu u için genellikle kalın kil, silt ve kum tabakalarından olu ur. Bir deprem sırasında gev ek yapılı zeminler yer hareketlerini büyütme e ilimi gösterirler. Bu çalı ma sonunda Cumhuriyet Üniversitesi yerle im alanı içinde yer alan fakülte binaları ile üzerine yerle ti i zemin arasındaki ili ki ile ilgili önemli bulgulara ula ılması beklenmektedir. Özellikle zemin üzerinde ve binaların içinde yapılacak olan mikrotremor ölçümleri kar ıla tırılacak ve elde edilecek bilgiler ı ında bina-zemin ili kisinin ileride olu turaca ı riskler bu tez çalı masının amacını olu turmaktadır.

### 1.2 Önceki Çalı malar

Gosar vd. (2009), (Merkez Slovenya) Ljubljana ehrinin zemin yapı rezonansı ve yer etkisinin belirlenmesi çalı masını mikrotremor yöntemini kullanarak gerçekle tirmi lerdir. Bu çalı ma kapsamında mikrotremor ölçümlerinin de erlendirilmesi ile sedimanların temel frekans haritası olu turmu lardır. ehrin mevcut mikrobölgeleme çalı maları yetersizdir ve bu ba lamda, HSVR metodu, 45 km<sup>2</sup>'lik bir alanda (1,223 ölçüm noktasında) 200×200 m grid aralı ında ba ımsız alan ölçümleri uygulamı lardır. Burada amaç, sedimanların ana frekanslarını ölçülebilmektir. Çok belirgin HVSR yükselmeleri ehrin tüm güney kısmında gözlenmi ken kuzeyde yer

etkisi genelde daha düşük olarak seyretmektedir. Sedimanların e frekans haritası 0.9- 10 Hz. aralığında bir dağılım sergilemektedir. ehrin güney bölümünde, sediman frekansı, jeofiziksel ara tırmalarda ve seyrek sondajlarda gözlenen yumuşak sedimanların kalınlık derinlikleri ile uyum sağlamasını belirtmektedirlerdir. Mikrotremor ölçümleri ayrıca derinlik yüksekliklerdeki 122 adet binanın içinde de gerçekleştirilmektedirlerdir. Her binanın boyuna ve enine ana frekanslarının ölçümü için, üst katlar ile girişin genlik spektrumu ile boyuna oranları her iki yönden ölçülerek hesaplanmıştır. Ölçümlerin yapıldığı binaların 12'sinde zemin-yapı rezonansı gözlemlenmiştir. Bu binaların üç tanesi yüksek apartmanlardır (10-15 katlı) ve ana frekansları 2- 3 Hz'dir. Dokuz bina ise daha alçak yapılardır (3-5 katlı) ve ana frekansları da 3- 4.5 Hz aralığındadır. Ana frekans ile yükseklik arasındaki bağlantıyı kullanarak bina yüksekliğinin nasıl bir zemin-yapı rezonansı yaratacağı, bağlantısız alan ölçümlerinden elde edilen sediman frekansından öngörülebilir olduğunu ortaya koymaktadırlar.

Gosar (2010), Kobarid havzasında (Kuzeydoğu Slovenya) yer etkisi ve zemin-yapı rezonansının incelenmesi çalışmasında mikrotremor yöntemi kullanılmıştır. Kobarid kenti Slovenya'da en yüksek sismik hareketliliğe sahip üç bölgeden biridir. Kent, çeyrekli kuvaterner sedimanlarla dolu olan küçük bir havzada yer alır ve yumuşak sedimanların varlığı sebebiyle bu bölgede yer etkisi bulguları beklenmektedir. Yüzeysel jeolojik verilere bağlı olan mikrobölgeleme tek başına yeterli değildir ve bölgede yer etkisinin modellenmesi ve yer etkisinin hesaplanabilmesi için gereken sondaj çalışması ya da jeolojik veri de bulunmamaktadır. Dolayısıyla HSRV metodu sedimanların ana frekans ölçümlerinde başvurulan bir yöntem olmuştur. Ara tırmalarda, 100×100 m grid aralığında çalışmalar gerçekleştirilmiş ve 106 bağlantısız alan ölçümü elde edilmiştir. HSRV yükselmeleri araştırılan alanın çoğunluğunda gözlemlenmiştir. Sedimanların e frekans haritaları 1.8- 22.2 Hz gibi geniş bir aralık sunmaktadır. Gözlemlenen frekanslar, havzanın sadece batısında yer alan kuvaterner sedimanların (kum, çakıl gibi) kalınlığından kaynaklanmaktadır denebilir. Mikrotremor uygulamaları ayrıca çeyrekli yükseklikteki (2-4 katlı) 19 binanın içine uygulanmış ve boyuna ile enine ana frekans derinlikleri genlik spektrumu ile ölçülmüştür. Zemin-yapı rezonans derinlikleri bina frekansları ile e frekans haritalarından gelen bağlantısız alan sediman frekansları ile kıyaslanarak ölçümlenmiştir. İncelenen iki binada yüksek zemin-yapı rezonansı tespit edilmiş ve üç binada da tehlike orta düzeyde olarak saptanmıştır. Bölgede yaygın olan iki-üç katlı binaların rezonans frekansı 4-11 Hz aralığında derinleşmektedir ve ortalama

de erleri de 7.7 Hz'dir. Bu ba lamda, zemin-yapı rezonansı bu aralıkta taranmalıdır. Kobarid bölgesi tipik olarak dü ük (batı bölümü) ve daha yüksek (do u bölümü) frekanslarda oldu undan tehlike daha ziyade görece dar bir geçi alanında söz konusu oldu u belirtilmi tir.

Kanbur vd. (2011), MASW ve ReMi yöntemleri ile sı yapıların incelenmesi amacıyla Isparta yerle im merkezinin kuzeyinde yaptıkları çalı mada Pliyo-Kuvaterner çökelleri üzerinde yerin sı kısmına ait çökellerin sismik hız ve tabakala ma özelliklerini ortaya koymak için Sismik yansıma, MASW ve ReMi teknikleri kullanılmı lardır. Yerin yakla ık 50 m derinli ine kadar sismik S-dalgası hız de i imleri ve tabakala ma durumu ara tırılmı tir. Çalı mada MASW ve ReMi sonuçları sismik S-dalgası hızı açısından kar ıla tırılmı tir. Elde edilen S-dalgası hızları, sı sismik yansıma kesiti ve alanda bulunuan yakla ık 8 metrelik yarma kar ıla tırmalı olarak yorumlanarak alanın 35 metre derinli e kadar tabakala ma özellikleri ortaya konulmu tur. Her iki teknikten elde edilen sismik S-dalgası hız de erlerinin birbirlerine çok yakın oldu u gözlenmi tir. Hesaplanan MASW ve ReMi'nin Vs30 hızları sırasıyla 500, 530 m/s civarlarındadır. ReMi sonuçlarında farklı olarak daha derinlerden bilgi elde edilmı tir. Çökel yapıya ait S-dalgası hızları ve kesitler hep beraber de erlendirildi inde sonuçların birbirlerini destekledi i görülmü tür. Sonuç olarak bu çalı mada kullanılan tekniklerle benzer alanlarda kuyu ölçümlerine ihtiyaç duyulmadan do ru sonuçlar alınabilece ini belirtmi tir.

Över vd. (2011), Hatay ili (Antakya) deprem duyarlık ve mikrobölgelendirme çalı masını mikrotremor ve ReMi yöntemlerini kullanarak gerçekle tirmi lerdir. Bu çalı ma kapsamında mikrotremor ölçülerinin de erlendirilmesi ile bir baskın titre im periyod da ılım haritası olu turumu lardır. Mikrotremor ölçüleri 69 noktada yapılmı tir. Baskın titre im periyodları ve yer büyütmeleeri mikrotremorların yatay ve dü ey spektral oranlanmasından saptanmı tir ve baskın titre im periyodu de i imlerine dayalı bir mikrobölgeleme haritası olu turulmu tur. Ayrıca yeni bir yöntem olan kırılma-mikrotremor (ReMi) yöntemiyle yüzey dalgalarının sismik kırılma kayıt düzene iyle kaydedilmesi ve kayıtların ters çözümü yapılarak Vs hız da ılımı, derinli e ba lı olarak elde edilmı tir. Baskın titre im periyodu ve Vs hız de erleri dört do rultuda alınan kesitte kar ıla tırılmı tir. Bu çalı ma sonucunda, yüksek baskın titre im periyodlu alanlar ile dü ük Vs hızlı alanların uyumunu ortaya çıkarmı lardır. Buna göre Hatay ili (Antakya) merkez yerle iminde depreme duyarlık be alana ayrılmı tir ve en fazla

etkinin be inci bölgede olaca ı belirtilmi tir. Ayrıca,  $V_s^{30}$  de erlerine göre zemin sınıflaması yapmı lar ve çalı ma alanının yaygın olarak C sınıfında zemin oldu unu belirtmi lerdir.

Warnana vd. (2011), Do u Java, Endonezya bölgesinde zemin-yapı rezonansını saptayabilmek için mikrotremor ölçümlerine ba vurulmu tur. Bu ölçümler altı ba ımsız alana ve çe itli yükseklikteki altı binaya uygulanmı , özellikle belli ba lı kamu binaları (okullar ve camiler gibi) çalı maya dahil edilmi tir. Sedimanların ana frekanslarını bulabilmek için HSVR metodu uygulanmı , her binanın boyuna ve enine ana frekansları; FSR metodu ve genlik spektrumu ile belirlenmi tir. ncelenen ve frekansları saptanan bu altı binadan ikisinin dü ük; birinin orta ıla yüksek, üçünün ise yüksek zemin-yapı rezonans riskine sahip oldu u ke fedilmi tir. Bu çalı ma göstermektedir ki, mikrotremor yöntemi, zemin-yapı rezonansının ölçümü için ana yöntem olarak öne çıkmaktadır.

Büyüksaraç vd. (2012), Sivas ili deprem duyarlık ve mikrobölgelendirme çalı masını mikrotremor ve ReMi ( Refraction Microtremor) yöntemlerini kullanarak gerçekle tirmi lerdir. Bu çalı ma kapsamında mikrotremor ölçülerinin de erlendirilmesi ile bir baskın titre im periyod da ılım haritası olu turmu lardır. Mikrotremor ölçüleri 114 noktada yapılmı tur. Baskın titre im periyodları ve yer büyütmeleri mikrotremorların yatay ve dü ey spektral oranlanmasından saptanmı tur ve baskın titre im periyodu de i imlerine dayalı bir mikrobölgeleme haritası olu turulmu tur. Ayrıca yeni bir yöntem olan kırılma-mikrotremor (ReMi) yöntemiyle yüzey dalgalarının sismik kırılma kayıt düzene iyle kaydedilmesi ve kayıtların ters çözümü yapılarak  $V_s$  hız da ılımı, derinli e ba lı olarak elde edilmi tir. Baskın titre im periyodu ve  $V_s$  hız de erleri iki do rultuda alınan kesitte kar ıla tırılmı tur. Bu çalı ma sonucunda, yüksek baskın titre im periyodlu alanlar ile dü ük  $V_s$  hızlı alanların uyumunu ortaya çıkarmı lardır. Buna göre Sivas merkez yerle iminde depreme en duyarlı alanların Kızılırmak nehri civarı ile Karde ler Mahallesi civarları oldu unu belirtmi lerdir.

Gosar (2012), Yakın bir zamanda, yumu ak sedimanların rezonans frekansını ölçümlemek üzere, artan sismik tehlike ile karakterize olan mikrotremor ba ımsız alan ölçümleri kullanılarak Slovenya'da yer alan be kentte yer etkisi çalı maları gerçekle tirilmi tir. Bu çalı mada, mikrotremor ara tırmaları sahip oldukları ana frekansların belirlenmesi ve zemin-yapı rezonansının muhtemel olu umunun tespiti için

binaların içini de kapsamaktadır. Ölçümler 66 binada yapılmı ve spektral analiz sayesinde 58 binada güvenilir ana frekans ölçümleri (hem boyuna hem enine ekilde) gerçekleştirilmiştir. Mikrotremor yöntemi binaların ana frekans ölçümleri için etkin bir yöntem olarak öne çıkmıştır. Bu yöntem esasında çok kıymetlidir çünkü in a edilmiş bir binanın sismik de erlendirmesi oldukça zordur. Potansiyel zemin-yapı rezonansının genel olarak belirlenmesi için ana frekans, bina yüksekliği (kat sayısı) ile birlikte de erlendirilerek bir istatistiksel analiz yapılmıştır. Slovenya genelindeki tipik arazi yapısı uyarınca, küçük-orta ölçekli kentlerin nehir yataklarında veya ana kayaya olan derinliği birkaç metre ile yüz metre arasında de i t i i ve e sedimanların rezonans frekanslarının 2-20 Hz aralığında oldu u küçük sediman havzalarının üzerinde konumlandırılmış görülmektedir. Di er yandan bu çalışmada, rezonans frekansları 5.6- 11.1 Hz. arasında de i en ve tüm yapıların büyük ço unlu unu oluşturan iki-üç katlı yapılar (ta /tu la) binalar incelenmiştir. Bu bağlamda, özellikle bu frekans aralığı için, yumuşak yüzeylerin e frekans haritalarında da büyük yer kaplayan zemin-yapı rezonans tehlikesi çalışılmalıdır. Farklı havzalarda muhtemel rezonans etkisi %22 - %59 arasındadır. Bir deprem esnasında ortaya çıkabilecek zemin-yapı rezonansı, herhangi bir sismik risk analizi, şehir planlamacılığı ve yaygın olarak da sismik direnç tasarımı veya bu arazilerdeki binaların güçlendirilmesi bakımından ciddiyle de erlendirilmesi gerektiği belirtilmiştir.

## 2. MATERYAL VE YÖNTEM

### 2.1. Mikrotremor Yöntemi

Mikrotremorler zamansal olarak 1 saat ve uzaysal olarak 1-2 km çap içerisinde çok küçük ve farklı kaynaklardan yayılan sürekli titreimlerdir. Bu titreimlerin kaynağı doğal ya da kültürel olabilir. Yeraltındaki sismik aktiviteler, atmosfer etkileri, rüzgar, yerkürenin belli bir ekseninde dönmesi, gelgit etkisi, jeotermal aktiviteler ve kültürel gürültüler (trafik, endüstriyel aktiviteler ve di er bazı insan kaynaklı etkiler). Bütün bu etkenler yeryüzünde titreim olarak algılanabilir. Bu titreimlerin genlikleri 0.1 mikron ile 1 mikron , periyotları ise 0.05-2 saniye arasında de i ir (Kanai ve Tanaka 1954; 1961). Frekans ve genlik içeriklerine göre bu sürekli titreimler sismik gürültüler olarak da adlandırılabilir. Düşük periyotlu gürültülerin kaynağı rüzgar, trafik ve di er

endüstriyel aktivitelerken, daha uzun periyotlu hareketlerin kaynağı ise alçak basınç ve okyanus etkileşimi, okyanusların oluşturuğu etkiler ve gelgit gibi etkenlerdir.

Mikrotremor çalışmaları, 1900'lü yılların başından beri özellikle Japonya'da yapılmaktadır. 1960 yılından sonra depremsellik araştırmalarındaki öneminden dolayı gelişmiştir (Alçık vd., 1995). Mikrotremor çalışmaları ile yerin dinamik özelliklerinin incelenmesine Kanai ve diğeri öncülük etmişlerdir. Kanai'ye göre farklı yer yapılı bölgelerde, yerin doğal salınım özellikleri de kesinlikle farklı olmaktadır. Bu düğünçesini de farklı yerlerde aldığı mikrotremor ölçümleri ve bunların sonuçları ile desteklemiştir (Kanai, 1983).

### **2.1.1. Mikrotremorları Oluşturan Dalgalar**

Titre imciklerin dalga türleri üzerine ayrı görüşleri sürülmektedir. Kanai (1983), titre imciklerin yer içinde S dalgalarının yinelemeli yansımaları sonucunda ortaya çıktıklarını belirtirken Wilson (1953), 4 ile 100 Hz sıklık (frekans) aralığındaki titre imcikleri incelemiştir, üç bileşenli ivme ölçer kullanarak yaptığı ölçümler sonucunda tanecik deviniminin Rayleigh dalga türüne oldukça benzer olduğunu, 9 Hz'den yüksek olan titre imciklerin hacim(cisim) dalgalarından, 9 Hz'e yakın olanların ise yüzey dalgalarından oluştuğunu belirtmiştir. Aki (1957), yapmış olduğu çalışmalarda titre imciklerin verilen bir sıklıkta belirli bir tezlik edinmiş yüzey dalgaları olduğunu belirlemiştir, yatay devinimleri Love dalgaları olarak nitelemiştir.

Genel olarak; mikrotremorlar rüzgar, okyanus dalgaları, jeotermal reaksiyonlar, küçük yer sarsıntıları gibi doğal etkilerle birlikte bazı trafik hareketleri olmak üzere insanların yaşam sürecinde neden oldukları hareketlilikten kaynaklanmaktadır (Katz,1976). Bu kaynaklar düzenli ve düzensiz olarak ikiye ayrılabilir.

#### **2.1.1.1. Düzenli Mikrotitre imler**

- Trafik, endüstriyel makineler ve rüzgarla oluşan 0.01-0.5 sn periyotlu mikrotitre imler.
- Karışık rüzgarların oluşturduğu, 1-4 sn periyotlu mikroseisler.
- Kasırgalar ve tayfunlar gibi şiddetli rüzgarlar sırasında okyanuslarda oluşan, 2- 6 s periyotlu mikroseisimler.
- Hava basıncıyla oluşan, 4-10 s periyotlu mikrotitre imler.
- Muson ve benzeri tipteki rüzgarlarla oluşan, 4-10 sn periyotlu mikrotitre imler.

- Su dalgalarının kıyıya çarpmasıyla oluşan, 10-20 s periyotlu mikrotitre sismimleri.

### **2.1.1.2. Düzensiz Mikrotitre sismimleri**

- Deniz dalgaları ile oluşan, 1-4 sn periyotlu mikrotitre sismimleri.
- Rüzgarların, açılımları ve binaları etkilemesiyle oluşan, 1-4 s periyotlu mikrotitre sismimleri.
- Aletlerin tepe kısmında oluşan hava akımlarının neden olduğu, 20-100 s periyotlu mikrotitre sismimleri.
- Yerin donması sonucu oluşan, 40-200 s periyotlu mikrotitre sismimleri.

### **2.1.2. Mikrotremorları Etkileyen Faktörler**

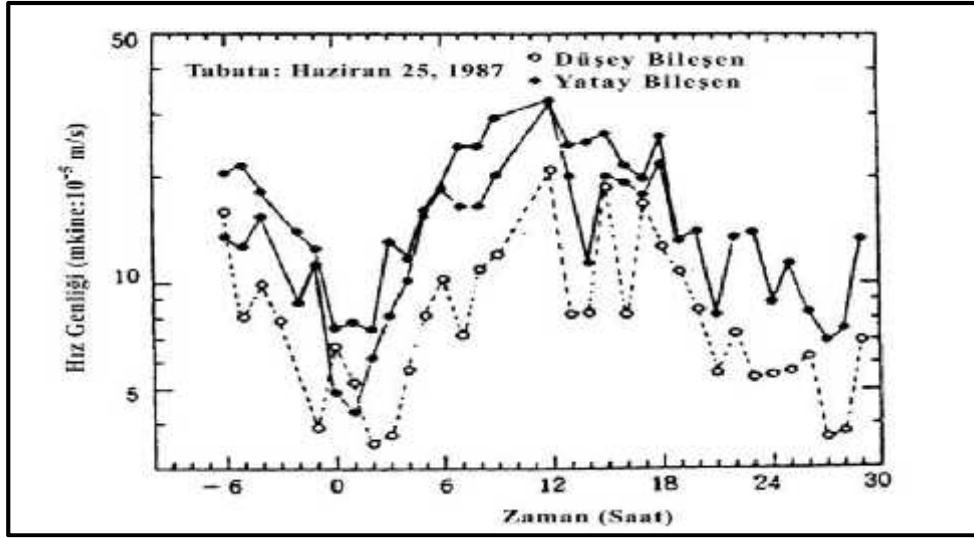
Bard (1998), mikrotremor ile ilgili yaptığı çalışmaları ve incelemeler sonucunda, önerilerde bulunmuştur. Buna göre;

- ivme ölçerler yerine hız ölçerler tercih edilmelidir. Çünkü ivme-ölçerler tüm frekansları için geniş frekans bandında gürültü çözümlemesinde, yeterli çözünürlük gücüne sahip değildir.
- 1s den daha uzun periyotlu titreşimlerin analizi yapılacaksa 5s veya 10s'lik hız ölçerler tercih edilmelidir.
- Mekanik ve elektronik gürültüye neden olabilecek uzun, dış donanımlardan kaçınılmalıdır.
- Trafik yoğun olduğu ve araçların geçtiği yollar civarında kayıt almaktan kaçınılmalıdır.
- Ölçümler sırasında hava koşulları önemlidir. Yağmurlu ve rüzgarlı günlerde ölçüm alınmamalıdır. Rüzgar düşük frekanslarda büyük sapmalara neden olmaktadır.

Mucciarelli (1998); yaptığı çalışmaları sonucunda Bard (1998)'ın önerilerinde bahsettiğinin tersine trafik hareketlerinin sorun oluşturmayacağını aksine trafikin yerden oluşan yüksek enerjinin 1 Hz altındaki düşük frekanslardaki çözünürlükten daha iyi olmasına yardımcı olacaktır savunmuştur. Atmosferik etkilerin; yağmurlu ya da rüzgar gibi, bozucu bir etkiye sahip olduğu, bu gibi etkenlere karşı önlemler alınması gerektiğini söylemiştir.

Nakamura (1989), yapay zeminler üzerinde yapılan ölçümlerde frekans özelliğinin bozulmasına ve belirgin genliklerde sahte pikler görüleceğini söylemiştir. Gece ölçümlerinin gündüz ölçümlerinden daha sağlıklı olduğuna dair kesin bir gösterge bulunmamaktadır. Hatta kentsel alanlardaki bazı çalışmaları sonucunda gece ve gündüz alınan kayıtlardan elde edilen Y/D oranının tamamen benzer olduğu gözlemlenmiştir.

Nakamura (1989), yapımı oldu u uzun süreli mikrotremör ölçümlerindeki kayıtların hız genliklerini incelemi tir. Gece 02:00 – 03:00 saatlerinde almı oldu u kayıtlarda genliklerin en dü ük, ö len civarlarında aldı ı kayıtlarda ise en yüksek de ere ula arak 4-6 katına çıktı mı gözlelemi tir ( ekil 2.1).



**ekil 2.1** Tabata bölgesindeki mikrotremör kayıtlarının hız genliklerinin zamana göre de i imi (Nakamura, 1989)

Grafik incelendi i zaman gündüz saatlerinde alınan kayıtlardaki mikrotremör genliklerinin di er saatlere oranla çok daha yüksek oldu u gözlemlenmektedir.

Nakamura (1989), Kamonomiya ve Ishibashi bölgelerinde yapımı oldu u uzun süreli mikrotremör ölçümleri ve yapılan benzer çalı malar sonucunda, çevresel gürültülerin kayıtları oldukça etkiledi i görülmü tür. Yapay gürültülerden kaçınmak için ölçümlerin gece yapılmasını önermi tir.

### 2.1.3. Mikrotremorların periyot da ılımları

Kanai ve Tanaka (1961), yaptıkları çalı malarda yer yapısının basit ve tek tabakalı oldu u durumlarda mikrotremor verilerinin spektrumunda, 0.1 s - 0.6 s arasında keskin bir ekilde doruk (pik, tepe) olu umu görüldü ünü açıklamı larıdır.

Di er yandan yer yapısı karma ık oldu unda birden fazla doruk görülebilmektedir. Bu de erler 0.2 s'den kısa ve 1 s'den uzun periyotlarda gözlenmektedir. Örtü tabakasının olmadığı ya da çok az oldu u yerlerde, örne in da lık bir bölgede mikrotremorların periyotları 0.1 – 0.2 s'lerde doruklar vermektedir. Akarsu kaynaklı yerlerde ise 0.2 – 0.4 saniyelerde pikler gözlenmektedir.

Alüvyonal yerlerde ise Kanai (1961), Japonya’da 0.4 – 0.8 s civarında düzgün da ılımı olmayan birden fazla pik içeren spektrumlar gözlemi tir.

Genellikle kalın ve yumu ak örtü tabakalı yerlerde e ri düz bir ekil alırken 0.05 - 0.1’den 1- 2 saniyeye kadar bir da ılım göstermektedir. Tabakalı ortamlarda periyot da ılım e rileri ço unlukla tabakalı ortamlarda en üst tabakanın özelliklerinden etkilenmektedir (Kanai ve Tanaka, 1961).

#### **2.1.4. Mikrotremorların Genliklerinin Zamana Göre Da ılımları**

Mikrotremor ölçümlerinin genlikleri büyük ölçüde kayıt noktası etrafındaki aktivitelerin titre imleri ile ili kili oldu undan, gündüz saatlerinde alınan ölçümlerin genlikleri gece alınanlara oranla daha yüksek de erlerde olmaktadır.

Çe itli bölgelerde gece ve gündüz saatleri boyunca tekrarlı olarak alınan kayıtlar göstermi tir ki gündüz saatlerindeki genlikler daha büyük de erler ve ehir içlerindeki genlikler kırsal alanlardaki genliklere oranla daha büyük de erler almaktadır. Bununla ilgili olarak Kanai Japonya’da 30 noktada aldı ı kayıtlar ile,

$$\text{Gece} = 0.3 * (\text{Gündüz})^{1.5} \quad [2.1]$$

eklinde ampirik bir formül tanımlamı tir.

#### **2.1.5. Mikrotremor Verilerinin Kullanım Amaçları**

Bir bölgedeki titre imler, o bölgelerde yerin do al gürültüsünü olu tururlar. Farklı yer ko ullarına ait yerin do al gürültüsü de farklı olacaktır. Yerin do al gürültüsünün genlik ve frekans içeriklerini, yerin litolojisi ve geometrisi gibi faktörler etkileyecektir.

Yerin çok küçük genlikli do al salınımları incelenerek yerin etkin salınım periyotları saptanabilir ve bu ekilde yerin davranı özellikleri belirlenebilir. Bu durumda yerin bu do al titre imlerinden yararlanılarak elde edilecek parametrelere göre bölgesel olarak yer sınıflamaları yapılabilir. Bu görü ü ilk savunan ve uygulamasını yapan, yeri dört ana gruba ayırarak bu sınıflamanın Japon bina yönetmeli inde kullanılmasını sa layan ara tırmacılar Kanai vd. olmu tur (Kanai, 1961).

Mikrotremor verilerinden ve kuvvetli yer hareketi verilerinden elde edilen genlik spektrumlarına bakıldı ı zaman spektrumların benzerlik gösterdi i görülür. Deprem kayıtlarına ve mikrotremor kayıtlarına bakıldı ında görülen farklılık ise genellikle

genlik de erlerinde gözlenirken, etkin frekansların çok fazla farklılık göstermedi i görülmektedir (Kanai ve Tanaka, 1965).

Bu kavramdan yola çıkılarak basit homojen yatay tabakalı ortam kabulü yapılarak; yer etkin periyodunun, do rudan mikrotremor ölçümleri ile belirlenerek bölgede kuvvetli yer hareketi verisi olmaması durumunda da saptanması olanaklı olmaktadır.

Mikrotremor aygıtı ile çe itli bölgelerde ölçümler yapılarak yer etkin periyodu ve bir yakla ım olarak etkin periyotdaki büyültme katsayısı gibi parametreler bulunabilir ve bu veriler ı ı ında bölgesel olarak parametrelerin de i imi saptanarak pratik sınıflandırmalar yapılabilir.

Yer büyültme katsayısı hesaplamalarında, spektral genlikler (Kobayashi vd., 1986), referans noktasına göre görecel spektral oranlar (Kagami 12 vd., 1986) veya yatay bile en spektrum de erlerinin dü ey bile en spektrum de erlerine oranı Nakamura, yöntemleri uygulanabilir.

Deprem sırasında olu an büyültmelere en yakın de eri daha do ru yakla ımla veren yöntemin Nakamura yöntemi oldu u yayınlanan birçok yabancı kaynakta belirtilmi tir. Fakat temelde kullanılan üç yöntemin, belirli kabuller içerdi inden çe itli eksiklikleri bulunmaktadır. Temelde yöntemler, yerin homojen yatay tabakalardan olu tu unu kabul etmi , di er iki ve üç boyutlu etkileri hesaplamalara katmamı lardır.

Kanai, mikrotremorları en büyük periyot ile ortalama periyot ve en büyük genlik ile etkili periyot ili kileri açısından de erlendirerek bir sınıflamaya gitmi tir. Bu sınıflamaya göre yeri dört ana gruba ayırmı tır (Kanai ve Tanaka, 1961).

1. Grup: Tersiyer ya da daha ya lı sert, kumlu, çakıllı birimlerden olu maktadır.
2. Grup: Pleistocene ya da çakıllı alüvyona ait kumlu sert kil ve milden olu an 5 m ya da daha kalın tortullardan olu maktadır.
3. Grup: 5 m ya da daha kalın alüvyondan olu maktadır.
4. Grup: 30 m ya da daha kalın delta tortullarından ya da benzeri birikimlerden olu an yumu ak birimlerden olu maktadır.

Yere ait bu fiziksel özelliklerin saptanması ile; daha iyi tanınan bir yer üzerine yerin yapısına uygun daha do ru, sa lam ve daha dayanıklı yapılar yapmak mümkün olacaktır.

Mikrotremor çalı malarından elde edilecek sonuçlar, mikrobölgelendirme çalı malarında, yapı dizaynında ve in aa edilmesinde, ehir planlama, yer seçimi, ehircilik çalı malarında, deprem senaryoları çalı malarında, sismik risk analizi gibi birçok çalı mada kullanılabilir.

Yerin özellikleri saptandıktan sonra bu özellikler kesinlikle yapı dizaynına katılmalı alt yapı ve üzerine yapılacak üstyapı ilişkileri hiçbir proje safhasında göz ardı edilmemelidir. Etkin titreşim periyodu saptanan yer üzerine yapılacak olan yapının da, kendisine has bir doğal periyodu olacaktır. Yerin etkin periyodunun saptanması kadar üstyapının da periyodunun saptanması önemlidir. Yapılamada yerin ve yapının periyotlarının aynı olmamasına dikkat edilmelidir. Zira, bu iki periyodun uyumsuz durumunda rezonans ortaya çıkabilir ve aslında sağlam ve ayrı ayrı uygun olan iki faktör, yer ve yapı, olumsuz yönde etkilenebilir. Bu olaya ülkemizden bir örnek verecek olursak, 28 Mart 1970 yılında Gediz depremi, Bursa'da Tofaş fabrikasında etkili oldu ve yıkıma neden oldu. Daha sonra yapılan araştırmalarla fabrikanın üzerine kurulduğu yerin ve üzerindeki yapıların doğal periyotlarının uyumsuz saptanmış (Gül, 1972).

### **2.1.6. Mikrotremör Verilerinin Analizinde Yaygın Olarak Kullanılan Yöntemler**

Yer etkilerinin değerlendirilmesinde kullanılan yaklaşımlar ampirik ya da teoriktir. Her yaklaşımın da avantajları ve dezavantajları vardır. Teorik modelleme farklı ve önemli birtakım parametre analiz, hesap ve değerlendirilmeleri içerir fakat gelişmiş hesap ve ayrıntılı jeoteknik veri gerektirir. Ampirik yaklaşımın kuvvetli ya da kuvvetsiz yer hareketi kayıtlarına dayanır.

Kayıtlar zayıf yer yapısına ait yerin tepkisini daha sağlam yer yapısındaki olanlarla ve deprem kaydetme olasılığı olan yerlerde oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Depremselliğin düşük olduğu yerlerde kuvvetli yer hareketi gözlemlemek sınırlayıcı olabilir. Hem anakayada (genellikle referans istasyonu olarak kullanılacak yerler) hem de zemin karakteri gösteren ya da alüvyonal karakterli yerlerde aynı anda kayıt alınamayabilir.

Bu nedenle hakim sismik gürültülerin (mikrotremör) kullanımı önerilebilir. Düşük periyotlu sismik gürültüler mikrotremör, 2 saniyeden yüksek periyotlu gürültüler mikrotitreşimler yer tepkisi tarifinde kullanılabilir (Lermo ve Garcia, 1994). Lermo ve Garcia (1994)'ya göre, Aki, Omote, Mikura, Kawanaka, Sato ve Hough, kısa periyotlarda yapıldıkları çalışmalar mikrotremörlerin Rayleigh dalgalarından meydana geldiğini göstermiştir.

Uzun periyotlu mikrotremör çalışmaları yer etkisi (site effect) saptama amacı ile uzun yıllardır yerbilim ve deprem mühendisliği çalışmalarında incelenmektedir. Özellikle Kagami ve Ohta bu çalışmalara öncülük etmişlerdir. Bu çalışmalar sonuç

olarak uzun periyot çalı malarının kaba bir yakla ımla kullanılabilce ini ve bu yolla geni aralıklı bir yer sınıflamasının yapılabilce ini ancak büyültme faktörü hesabının bilinmeyen kaynak etkisi gibi nedenlerden dolayı çok sa lıklı bulunamayaca ını açıklamı lardır. Lermo ve Garcia (1994)'da Kanai, Tanaka, Kobayashi, Lermo, Field gibi özellikle kısa periyotlu mikrotremorlar üzerinde çalı an ara tırmacılar yerin hakim titre im periyodunun ve yumu ak yer yapısının büyültme derecesinin do rudan hakim periyodun ve maksimum genli in mikron cinsinden ölçülmesi ile saptanabilece ini açıklamı lardır.

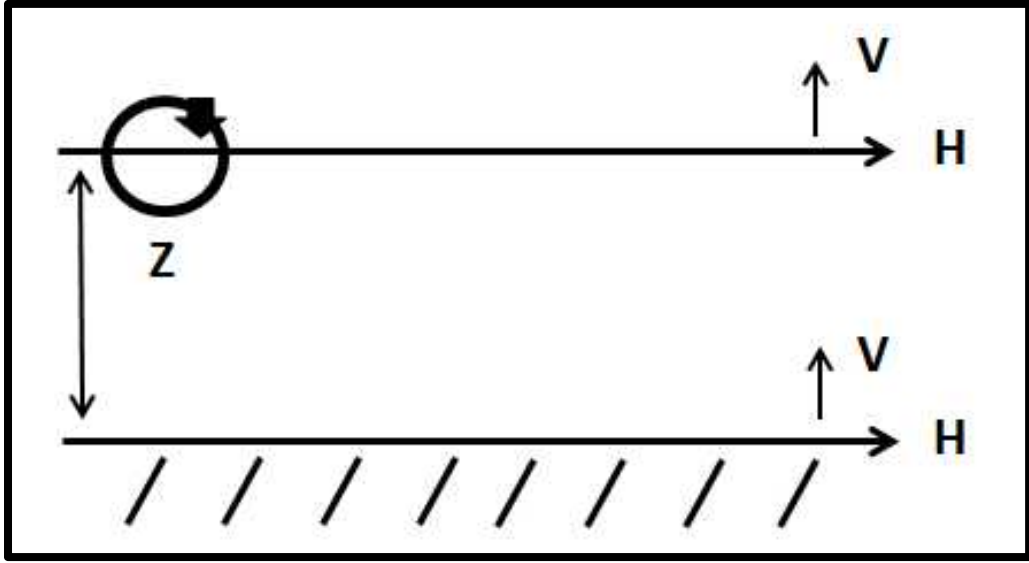
Kayna ın belirsizli inden dolayı, bu uygulamalarda belirli sıkıntıların olmasına ra men birçok ara tırmacı ve uygulamacı, mikrotremor yöntemini pratik, ucuz, hızlı ve kolay bir analiz yöntemi olarak kabul etmi tir.

Günümüzde mikrotremor analizleri için yaygın kabul gören 3 teknik kullanılmaktadır. Bu metodların ortak kabulü ise yer etkisinin elastik, yarı sonsuz bir ortam üzerinde uzanan tek bir yumu ak tabakadan kaynaklandı ı varsayımı, yani bir boyutlu (1B) bir yer modelidir. ki ve üç boyutlu (2B ve 3B) yer yapıları kuramsal olarak incelenmi tir.

Lermo ve Garcia (1994) çalı masında bilinen üç yöntem uygulanarak, aralarında bölgesel yer etkileri ara tırmalarına en uygun yakla ımı veren yöntemler sınanmı tir. Çalı mada Nakamura'nın 1989 yılında yayınladı ı çalı maya da de inilerek yöntem açıklanmı tir. Lokal jeolojinin basit oldu u yerlerde Nakamura yönteminin en iyi sonuç verdi i belirtilmi tir. Lermo vd. (1994) Meksika'da yaptıkları spektral oranlar çalı maları ile yer etkisi (yer hakim periyodu ve büyültme katsayısı ) saptamalarının jeolojinin basit oldu u yerlerde iyi sonuç verdi ini belirtmi lerdir.

#### **2.1.6.1 Nakamura H/V Spektral Oranlar Yöntemi**

Yer etkisinin belirlenmesi çalı malarında yeni bir yakla ım yöntemi de 1989 yılında Nakamura tarafından belirtilmi ve yöntemin geçerlili i ile ilgili sayısal modellemeler 1994 yılında Lermo ve Chavez- Garcia tarafından yapılmı tir (Lermo ve Garcia, 1994). Yöntem mikrotremorları, yarı uzay üzerine uzanan tek tabakalı bir ortamda yayılan Rayleigh dalgaları yakla ımı ile açıklamaya çalı mı tir ( ekil 2.2).



**ekil 2.2** Nakamura (1989)'nın mikrotremor ölçümlerini açıklamak için önerdiği basit model

Fourier frekans bölgesinde dört adet genlik spektrumu tanımlanmaktadır. Yüzeydeki hareketin yatay ve dikey doğrultudaki bileşenlerine ait genlik spektrumları ve üstteki yüzey tabakasının tabanındaki hareketin yatay ve dikey doğrultudaki bileşenlerine ait genlik spektrumları.

Nakamura mikrotremorların derinden de il, yüzeyden ve yüzeye yakın yersel, sismometreye yakın noktalardan gelen titreşimlerden (trafik, şehir gürültüleri vb.) oluştuğunu varsaymakta ve derinden kaynaklanan katkıları ihmal etmektedir.

Aynı zamanda dikey yöndeki hareketlerin yatay tabaka tarafından büyütülmediği ve tabandaki harekete yüzeydeki bölgesel titreşimlerin etkisinin olmadığını kabulünü yapmaktadır (Lermo ve Garcia, 1994).

Nakamura, yukarıdaki kabulleri yaptıktan sonra VS yüzeydeki, VB yüzey tabakanın tabanındaki hareketlerin dikey bileşenleri olmak üzere; mikrotremor hareketlerini frekansın bir fonksiyonu olarak şöyle tanımlar:

$$A_S(\omega) = \frac{V_S(\omega)}{V_B(\omega)} \quad [2.2]$$

Deprem mühendisliğinde yer etkisi için tanımlanan yer etkisi, SE tanımında kaynak etkisinin giderilmesi amacıyla yeni bir tanım yapılırsa ve bu yeni tanıma, SM denilirse, karşımıza yeni bir geliştirilmiş yer etkisi tanımı çıkmaktadır.

$$S_E \omega = \frac{H_S \omega}{H_B \omega} \quad [2.3]$$

$$S_M \omega = \frac{S_E \omega}{A_S \omega} = \frac{\frac{H_S \omega}{V_S \omega}}{\frac{H_B \omega}{V_B \omega}} \quad [2.4]$$

Burada ilgilenilen tüm frekanslar için Nakamura'nın kanıtladığı ilişki (2.5) kullanılırsa ;

$$\frac{H_B \omega}{V_B \omega} = 1 \quad [2.5]$$

$$\frac{H_S \omega}{V_S \omega} = S_M \omega \quad [2.6]$$

(2.6) numaralı ilişkinin kullanılması ile yer etkisi, hareketin yüzeydeki yatay ve dikey bileşenleri açısından tanımlanabilir olur.

Yukarıdaki tüm tanımlar Lermo ve Garcia tarafından 1994 yılında açıklanmış ve Meksika'da üç bölgede uygulanarak sayısal olarak doğrulanmıştır.

### 2.1.7 Yer Büyütmesi Çalışmaları

Yerin fiziksel ve jeolojik yapısı yer salınımlarını önemli ölçüde etkilediği için mühendislik yapılarının tasarım ve yapımlarında yerin bu özellikleri iyi incelenmelidir. Fakat yer materyalinin erozyon, farklı depolanma, tektonik ve yapısal etkilenme ve bozulma gibi faktörlerden etkilenerek çok çeşitlilik göstermesi mikrobölgeleme çalışmalarını zorlaştırmaktadır.

Yer büyütmesi çalışmalarına özellikle Japonyalı ve Amerikalı bilim adamları katkılar sağlamış ve genellikle birbirleriyle tutarlı ve paralel sonuçlar elde etmişlerdir. Japonya'da Kanai, Kurubayashi, Kawashima, Amerika'da Mohraz, Seed, Trifunac, Boore ve Aki bu çalışmalara önemli katkılarıdır (Aki, 1993).

Genel bir kanı olarak her iki ekoide, 0.2 saniyeden uzun periyotlarda zemin karakteri taşıyan yerler, sağlam kaya karakteri taşıyan yerlere göre 2-3 kat büyütme gösterirken 0.2 saniyeden kısa periyotlarda bu ilişki tersine dönmektedir. Deprem dairesine olan uzaklığın 50 km'den fazla olduğu yerlerde yerel koşulların depremin ivmesine büyük ölçüde etki etmektedir. Yatay yer ivmesi, sert ana kayalarda en az,

alüvyonlarda yüksek ve daha gev ek çamur benzeri yapılarda daha yüksek de erler olarak etkilenmektedir (Aki, 1993).

Deprem dı oda na yakın bölgedeki ve belli bir uzaklıktaki yer etkilerinin farklı olu unu, Aki (1993)'ye anlatıldı na göre Sommerville ve Yoshimura (1990), Moho süreksizli inden güçlü yansımaların episentra 100 km yakın yerlerde yüksek genliklere yol açabilece ini savunmu lardır, Joyner ve Boore (1988) bu etkilerin kaynak yönü ve yayılım do rultusunun birle ik etkilerinden olu abilece ini belirtmi tir, Idriss ise bu etkileri, yerin do rusal olmayan (non linear) davranı ıyla açıklamı tır (Aki, 1993).

Aki, istasyonlarda kaydedilen yerel depremlerden gelen P, S ve yüzey dalgalarından sonra gelen sürekli titre imler (keodalar) incelenerek, coda dalgalarından bulunan büyültme faktörleri ile S dalgalarından hesaplanan büyültme faktörleri arasında uyumlar gözlemi tir.

### **2.1.8 Arazide Mikrotremor Ölçümleri**

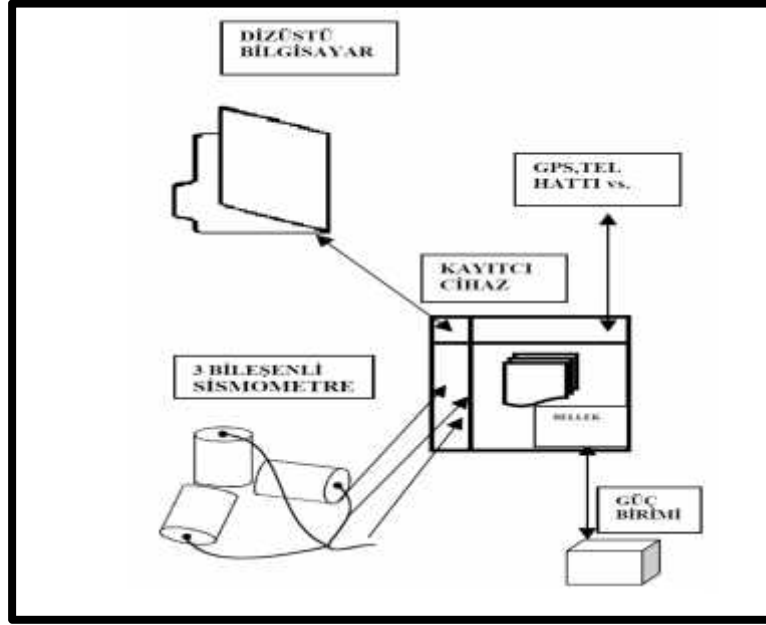
Arazide mikrotremor ölçümlerinin alınması için temel olarak bir kayıt aleti, kayıt aletinin yapısına ba lı olarak gerekirse bir dizüstü bilgisayar, sismometre sistemi, güç birimi ve bunlara ba lı yan birimler gerekmektedir ( ekil 2.3).

Mikrotremorlar kayıtları partikül hızı algılayan sismometreler ile alınır ( ekil 2.4). Kullanılan sismometrenin bant aralı ının mikrotremor verilerinin de içine girdi i geni bir bantda olması gerekir. Mikrotremor ölçülerinin alınmasında ivmeölçerler de kullanılabilir. Fakat kullanılan sismometrenin duyarlılı ı ve performansı yüksek olmalıdır. Ayrıca ivme ölçerlerle yapılacak olan çalı malarda yer ivmesinin belli bir de erin üzerine çıkması için, bölgede en azından küçük bir deprem olu ması gerekmektedir. Bu durum ise yapılan çalı maların süresini önemli ölçüde arttırmakta ve pratiklikten uzakla tırmaktadır.

Çalı ma yapılacak bölgenin jeolojik ve jeoteknik özellikleri biliniyorsa, daha do ru ve daha verimli bir çalı ma için öncelikle bilinen özellikler incelenmelidir. Bölgede kaya ve zemin özellikleri bilinen yerler saptanarak çalı manın yo unla tırlabilece i ya da özellikleri önceden saptanmı olan yerlerde çalı manın daha az yo un yapılabilece i yerler belirlenebilir.

Mikrotremor çalı maları kapsamında öncelikli yerler belirlenebilir ve bu yerlerde ölçü istasyonu sayısı artırılabilir. Çalı manın amacına göre de ölçü istasyonları sayısı belirlenebilir. Örne in olu an bir depremden sonra hasarın yo un oldu u bölgelerdeki ve hasarın seyrek oldu u bölgelerdeki özelliklerin saptanması için ölçü noktaları

saptanabilir. Bölgede kuvvetli yer hareketi ölçen istasyonlar varsa verilerin güvenilirliği ve niteliği artırılmak amacıyla aynı noktalarda ölçümler alınabilir.



**ekil 2.3** Mikrotremor kayıtlarının alınmasında kullanılan temel birimler (Tokgöz, 2002)



**ekil 2.4** Mikrotremor ölçümleri için kullanılan geniş bant aralıklı üç bileşenli sismometre ve ölçüm düzeni

### 2.1.9 Arazide Mikrotremor Kayıtlarının Alınması

Mikrotremor verilerinin alınacağı noktalar harita üzerinde belirlendikten sonra, çalışmanın amacına bağlı olarak ve çalışılan bölgenin yapısını yansıttığına inanılan

sıklıkta ölçü noktaları belirlenir. Yapılan çalı malardan çıkan sonuçlara göre mikrotremor verilerinden elde edilen parametre de erleri yer yapısına ba lı olarak birkaç on metre de dahi de i ebilmektedir.

Bu nedenlerden dolayı çalı ma kapsamında olu turulan yer etkisi parametrelerini gösteren haritalar ile bölgede yerin salınım ve salınımı genle tirme karakterlerine ı ık tutulmaktadır. Fakat yerin bu özelliklerinin çok kısa mesafelerde de i imlerinin de dü ünülerek, yapıla malar sırasında mutlaka ayrıntılı jeofizik ara tırmalarla yapılacak olan yapıların ayrıntılı temel altı yer özellikleri belirlenmelidir.

Arazide ölçümleri için günümüzde 3 bile enli sismometre setleri kullanılmaktadır. Sismometreler ölçüm noktasında yatay olanlar birbirine dik olarak kuzey güney ve do u batı yönünde, dü ey sismometrede her ikisine dik olarak yerle tirilir. Sismometreleri do ru yönlendirebilmek açısından pusula kullanılması tavsiye edilmektedir. Ayrıca sismometreler içerilerinde mıknatıs yapılar içerdi inden pusulanın bu bobinlerden etkilenmemesine dikkat edilmelidir. Sismometre sistemini yere yerle tirirken yere tam dik oturmalarına dikkat edilmeli, yerle aç ı yapacak ekilde e ik olmamalarına özen gösterilmelidir. Kullanılan birçok alette bulunan su terazileri bu i lemi kolayla tırmaktadır. Sistemi düzlemek için sismometrenin ayaklarının dı ında ba ka malzemelerle düzlemeye çalı ılmamalıdır.

Sismometreler ile kullanılan di er aygıtlar arasındaki kablo ba lantılarına dikkat edilmeli ve sensörler için kablo gürültüsünü en aza indirmek amacıyla kablo boyları mümkün oldu unca kısa tutulmalıdır. Günümüz aletlerinde genellikle bu sorun önlenebilmektedir.

Ölçü alımında, ehir merkezlerinde genellikle gündüz ölçü alınmamalı ve ehrin yarataca ı gürültülerden kaçınmak amacıyla geceleri tercih edilmelidir. E er açık arazide ölçü alınıyor ise a ırı rüzgarlı veya ya ı lı havalarda ölçü alınmamalı ya da ölçü alımında bu etkilerin getirileri dikkate alınmalıdır. Ya ı lı havalarda ölçü alımı sırasında sismometrelerin üzeri örtü veya kutu gibi maddelerle kapatılıp ölçü alınmamalıdır. Mümkünse ölçüler az rüzgarlı ve ya ı sız zamanlarda alınmalıdır (Muccirelli, 1998).

Günümüzde modern sistem aletlerde çalı ırken veriler sayısal olarak alınabilir. stenilen örnekleme aralı ında sayısal olarak alınan veriler do rudan bilgisayar ortamına ta ınıp veri i lem ve yorum tamamen sayısal ortamda yürütülebilir.

Zaman ortamında alınan sayısal veriler, Fourier dönü ümü ile frekans ortamına ta ındıktan sonra, verilerin frekans içerikleri ve genlikleri ile ilgili analizler ve

de erlendirmeler yapılabilir. Genellikle alüvyon ve benzeri yer yapısındaki yumu ak birimlerin salınımları, kaya ve benzeri sert yapıdaki birimlerin salınımlarına oranla daha dü ük frekanslarda gözlenmektedir.

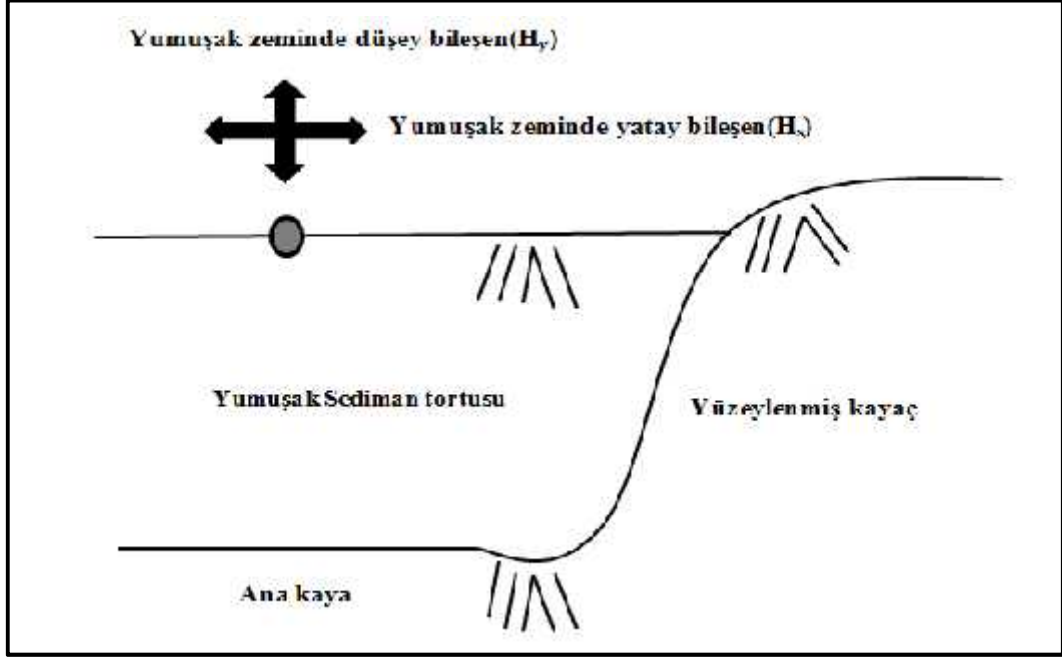
Mikrotremor kayıtları sürekli olarak, tetikleme ba lı olarak veya pencereleme ile alınabilir. stenilen kayıtlara, modern cihazlarda uzaktan modem yolu ile ula ıp veri aktarımı yapmak ve GPS (Global Positioning System) ile ba lanarak, ölçü noktası koordinatını belirlemek mümkündür.

### 2.1.10 Alan Karakteristikleri için Mikrotremorların H/V Analizi

Nakamura (1989) alan karakteristikleri için mikrotremorların analizinin H/V spektral oranıyla yapılması yöntemini ilk kez tanıtan çalı mayı yapmı tır. Bu yöntemde mikrotremorların yatay-dü ey oranı Fourier spektrumu, kaynak etkisini elimine etmek için kullanılmaktadır. Bununla birlikte, H/V Fourier spektrumu duraylı bulunmakta ve dalgaların yolu ve kaynak tarafından etkilenmemektedir ( ekil 2.5). H/V mikrotremor analiz yönteminde, mikrotremorların yatay ve dü ey bile eni tek bir istasyonda ölçülmü tür ( ekil 2.6). Önceki mikrotremor analizlerinin tersine, bu yöntem referans ölçülerine ihtiyaç göstermez. H/V spektrum çizimleri, yatay ve dü ey bile enlerin Fourier spektrumlarının oranını alarak elde edilmektedir. Mikrotremor ölçümleri için H/V spektrumu e itlik (2.7) ile elde edilebilir.

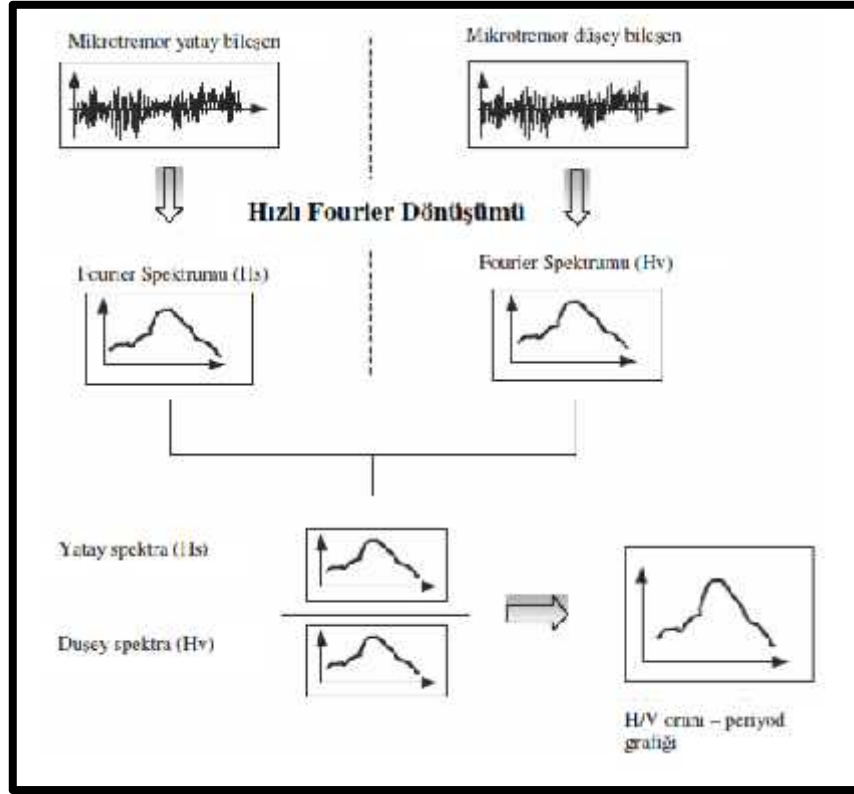
$$\text{H/V spektrum} = \frac{\text{Yatay Bileşenin Fourier Spektrumu (H}_s\text{)}}{\text{Düsey Bileşenin Fourier Spektrumu (V}_s\text{)}} \quad [2.7]$$

H/V oranının duraylılı 1, alan karakteristiklerini saptamak için uygulanabilirli ini göstermektedir.



**ekil 2.5** Mikrotremor kaydının yumu ak ve sert katmanlarda elde edilmesi.

Nakamura yönteminde, S dalgalarının kısa periyodlu mikrotremorlardan oluştuğu öngörülür. Deprem verisinin ölçülmesi her ölçüm noktasında deprem hareketinin yatay ve dikey hareketleri arasında en büyük genliklerin oranının zemin koşulları ile ilişkili olduğunu göstermiştir. Kesme dalgasının yatay bileşeni, gevrek zemin tabakasında dalgaların çoklu yansınması nedeniyle büyütülmüştür. Bununla beraber, Nakamura yumu ak zemin tabakasının dikey bileşeni yani P dalgasını büyütmediğini öngörmektedir. Yüzey tabakalarının dönüşüm fonksiyonu yüzeydeki yatay titreşim spektrumu ve yüzey altı tabaka sıralarından kırılıp gelen yatay titreşim spektrumu arasındaki orandan saptanmaktadır. Bu yorumda yüzeydeki yatay titreşim spektrumu, mikrotremor ölçülerinde gürültü olarak kabul edilen Rayleigh dalgaları tarafından etkilenmektedir. Ayrıca, Rayleigh dalgaları yüzeydeki dikey spektrumu etkilememektedir. Ancak temel kayadaki dikey spektrumu etkilememektedir. Ayrıca, yumu ak sediman tabakaları dikey dalgaları büyütmediğini kabul edildiğinden Rayleigh dalgalarının etkisi yüzeydeki dikey bileşenin oranı alınarak değerlendirilebilir. Bu nedenle Rayleigh dalgalarının etkileri, bütün yönlerde dalgaların yayılımının alt tabaka sıralarında gerçekleştirilerek varsayılarak yeni dönüşüm fonksiyonu yazılabilir.



**ekil 2.6** H/V analizinin ematik gösterimi

Bu durumdan dolayı temel kayada yatay ve dişey spektrum oranı, bire e it olacaktır. Rayleigh dalgalarının etkilerinin yok sayıldı nı gösteren kesme dalgasının dönü üm fonksiyonu, yüzeyde ölçülen yatay ve dişey spektrumların oranı ile verilmektedir. Buradan depremin yatay bile eninin büyütme faktörü, yüzeyde ölçülen mikrotremorların yatay ve dişey spektrumlarının en büyük de erlerinin oranından hesaplanmaktadır. Spektrum oranının pik periodu ayrıca alanın do al titre im periyodunu da gösterir.

## 2.2 Sismik Yöntemler

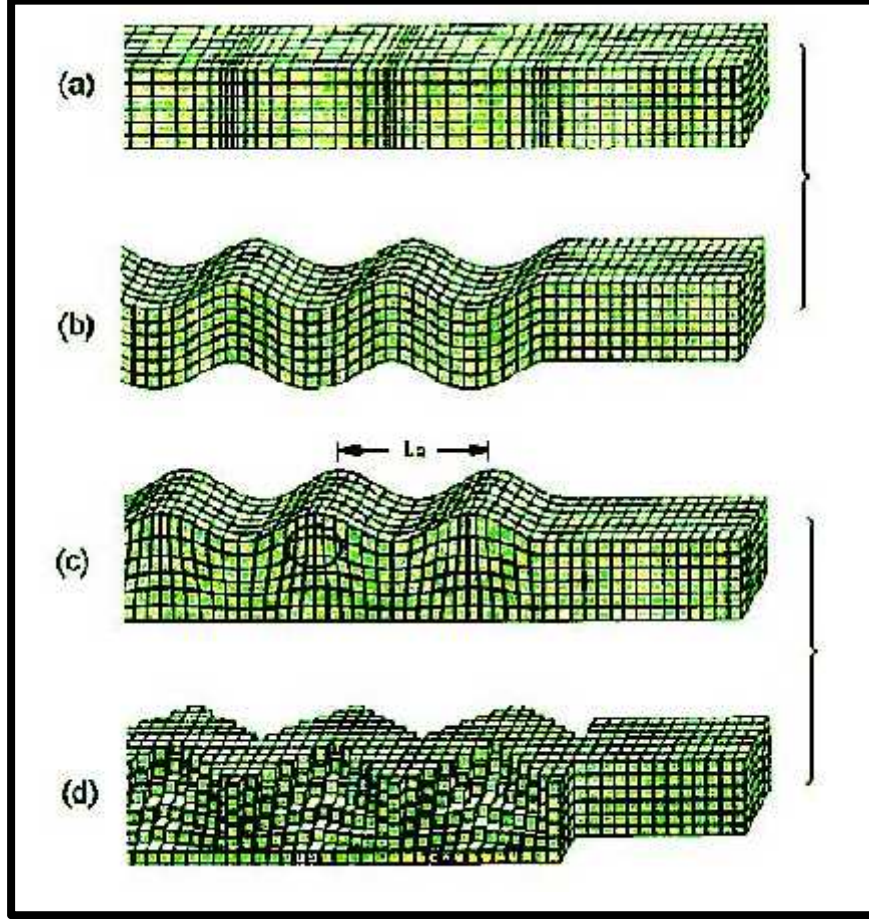
### 2.2.1 Genel Tanımlamalar

Yüzey dalgalarının kuramsal temelleri isimlerini ke iflerinden alan Rayleigh (1885) ve bunu izleyen Love (1911)'ın çalı malarıyla kurulmu tur (Osman ahin, 1989). Yerinde sismik ölçümler, yer içerisinde herhangi bir noktada mekanik olarak bir etki yaratılması ve bir veya daha fazla noktada bu etki sonucunda meydana gelen hareketlerin ölçülmesi

eklinde gerçekleşmektedir. Cisim dalgaları jeofizik etüd yöntemlerinde en çok kullanılan dalga çeşitleridir: Sıkı madde dalgaları veya birincil dalgaların (P dalgaları) tanecik hareketi dalganın yayınma yönüne paraleldir. İkincil, makaslama veya kesme dalgalarının (S dalgaları) tanecik hareketi dalganın hareket yönüne dik olan bir düzlem içersindedir. Böyle dalgalara taneciklerin hareket ettiği doğrultularda polarize olmuş dalgalar denir. S dalgasının hareketi dikey (SV) ve yatay (SH) bileşen olarak ikiye ayrılabilir. SH dalgalarının tanecik hareketi yatay ve SV dalgalarınınki ise dikey düzlemde olur. S dalgaları P dalgalarından sonra kaydedilir (Kurtuluş, 2002). Cisim dalgaları ile beraber yüzey dalgaları da oluşur. Yüzey dalgalarının enerjileri oldukça yüksektir (kaynak enerjisinin %60-70'i kadar) ve geleneksel sismik ölçümlerdeki bozucu etkileri (ground roll) veya deprem esnasında yıkıcı potansiyelleri ile bilinir. Hava-kara (toprak) sınırında oluşan yüzey dalgalarına Rayleigh dalgaları adı verilir. Bu dalgalar, yer yüzeyine paralel olarak ilerleyen ve aksi yönde hareket eden (ekil 2.7) elips ekleindeki tanecik hareketi yaratır (Puech vd., 2004).

Bir yüzey dalgasındaki parçacık hareketinin genliği derinlikle üstel olarak azalır, yani dalga enerjisinin büyük kısmı bir dalga boyu içerisinde yer almaktadır (ekil 2.7).

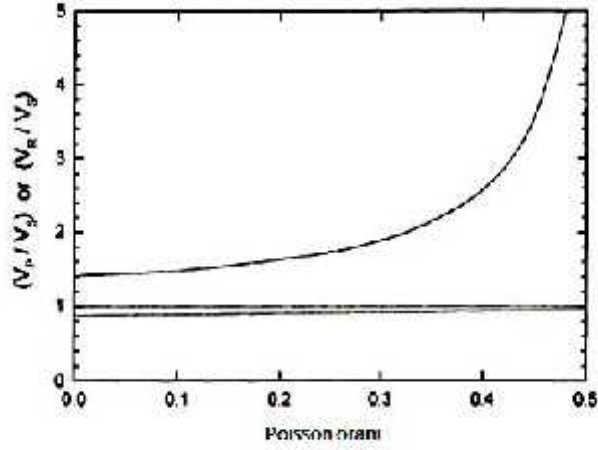
Sonuç olarak bir yüzey dalgasının, üzerinde ilerlediği dalga cephesindeki hızı yaklaşık olarak bir dalga boyunun yayıldığı nüfuz derinliğindeki zemin özelliklerinden etkilenmektedir. Daha kalın bir tabakanın üzerinde bulunan h kalınlığındaki bir tabaka bulunması durumu incelenecek olursa; h derinden daha kısa uzunlukta bir dalga boyundaki yüzey dalgası tamamen üst tabaka içerisinde yayılmaktadır ve bu tabakanın özelliklerine bağlı bir hız ile seyahat etmektedir. Tersine bir durumda h derinden oldukça fazla bir dalga boyunda bir yüzey dalgası daha çok alttaki tabakanın özelliklerinden etkilenecektir. Uniform izotropik yarı sonsuz bir ortamda bütün yüzey dalgaları aynı hızda seyahat etmektedir.



**ekil 2.7** Cisim ve yüzey dalgalarının yayınımları (Bolt, 1988), a) P Dalgası, b) S Dalgası, c) Rayleigh Dalgası, d) Love Dalgası

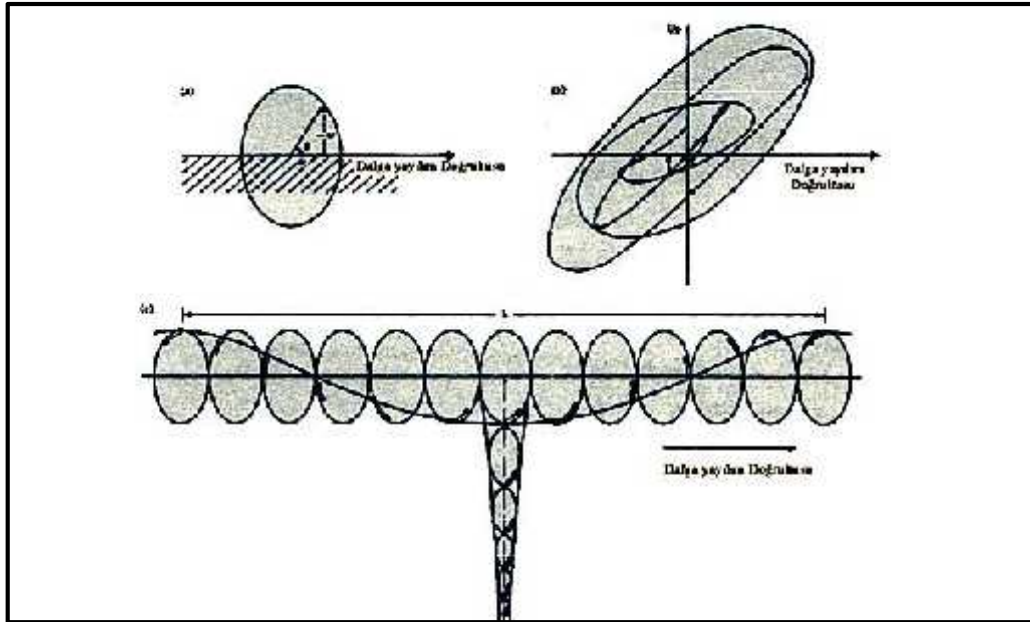
Bununla birlikte, gerçek zemin koşullarında (çok tabakalı zeminlerde veya zeminin özelliklerinin derinlikle değiştiği durumlarda) yüzey dalgasının hızı dalga boyuna (veya frekansa) bağlıdır. Dalgaların gösterdiği bu olaya dispersiyon ve bu dalgalara da dispersif dalgalar adı verilir. Bu temel özellik derinlik-hız profillerinin çıkarılmasında kullanılır. Rayleigh dalgalarının ikinci ilginç özelliği, (ekil 2.8’de gösterildiği gibi  $V_R$  Poisson oranına bağlı olarak  $V_R=0.87V_S$  ile  $0.96V_S$  arasında değişir) R dalga yayılım hızının S kesme dalgası hızına çok yakın olmasıdır (Puech ve diğeri, 2004).

Rayleigh dalgaları serbest yüzey üzerinde tanecik hareketleri doğrusal olmayıp elips ekinde ve kaynak yönündedir. Buna retrograde (saat’in ters yönünde) hareket denir. Homojen yarı sonsuz bir ortamda Rayleigh dalgalarının tanecik hareketi ekil 2.9.a’da gösterilmektedir.



**ekil 2.8** Sismik dalgaların yayılım hızlarının Poisson oranıyla-ili kileri(Richart vd., 1970; Puech vd., 2004)

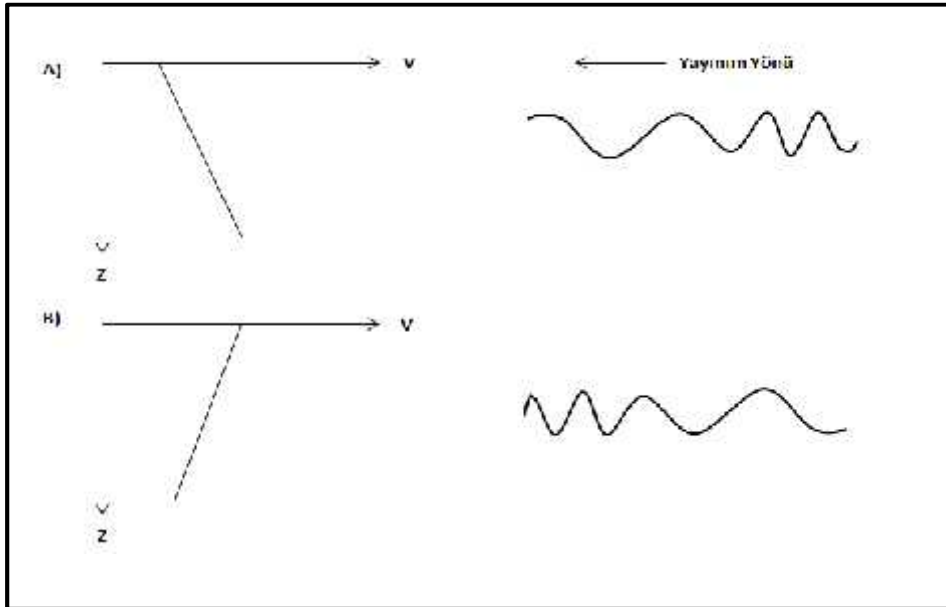
Yer yüzeyi boyunca Rayleigh dalgasının gerçek tanecik hareketi ise ekil 2.9.b' de gösterilmektedir. ekil 2.9.a ve ekil 2.9.b arasındaki fark yerin tabakalı ve anizotrop olmasından kaynaklanmaktadır. Yarı sonsuz ortamın yüzey ve derinliklerinde tanecik hareketinin kesiti ekil 2.9.c' de gösterilmektedir.



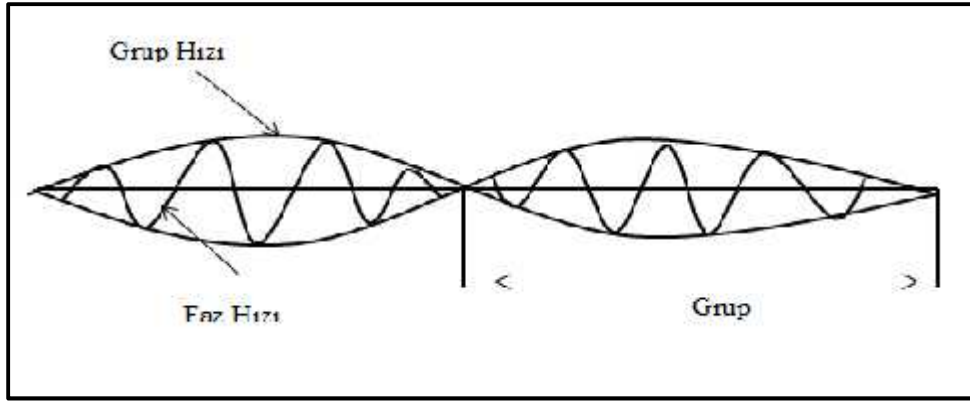
**ekil 2.9.** a) Homojen yarı sonsuz bir ortamın yüzeyinde Rayleigh dalgasının tanecik hareketi. b) Yer yüzeyinde Rayleigh dalgasının tanecik hareketi. c) Homojen yarı sonsuz bir ortamın yüzey ve derinliklerinde Rayleigh dalgasının tanecik hareketi (Grant ve West, 1965; Kurtulu , 2002).

### 2.2.2 Dispersiyon, Faz Hızı, Grup Hızı

Yüzey dalgaları, homojen ve izotropik yarı sonsuz ortamdaki Rayleigh dalgaları hariç, frekansa ba lı olarak yüzey boyunca belirli bir hız da ılımı gösterirler. Bu hız da ılımındaki dalga paketinin farklı faz hızlarıyla hareket etmesine dispersiyon denir (Aki ve Richards, 1980). Yüzey boyunca dispersiyona u rayan yüzey dalgalarının hızları frekans ya da periyoda ba lıdır. Dispersiyon kuramı, yakın yüzey yer yapısının bir fonksiyonu oldu undan, yakın yüzey ile ilgili bilgiler dispersiyon e risinden elde edilebilir (Okada, 2003). Hızın sürekli olarak derinlikle arttı ı kabul edilirse, daha uzun dalga boyuna sahip dalgalar daha hızlı yayılmaktadır. Bu olay normal dispersiyon olarak adlandırılır. Ters durumda yani kısa dalga boylu dalgaların daha önce ula ması durumuna ise ters dispersiyon adı verilmektedir ( ekil 2.10). Hız derinlikle ne kadar çabuk artarsa, farklı periyodlar için yayılım hızı farkı da o kadar büyük olur. Dispersiyon olayının sonucu olarak, yüzey dalgalarının yayılımı için iki farklı hız ortaya çıkar. Bunlar faz hızı ve grup hızı'dır ( ekil 2.11). Faz hızı ( $c$ ) veya dalga hızı, ile belli bir fazdaki hız kastedilmektedir. Di er yandan grup hızı ( $u$ ), bütün bir dalga grubunun yayılım hızıdır (Bath, 1973).

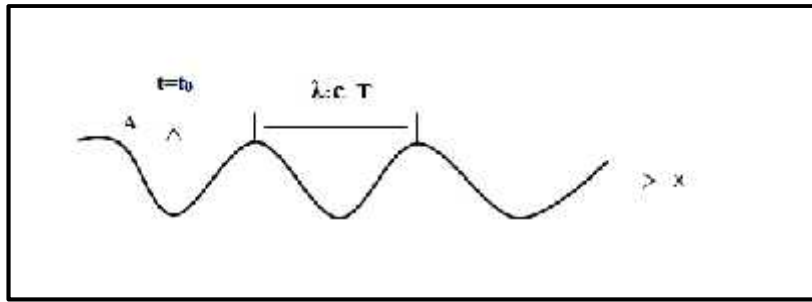


ekil 2.10. A) Normal Dispersiyon B) Ters Dispersiyon (Bath, 1973)



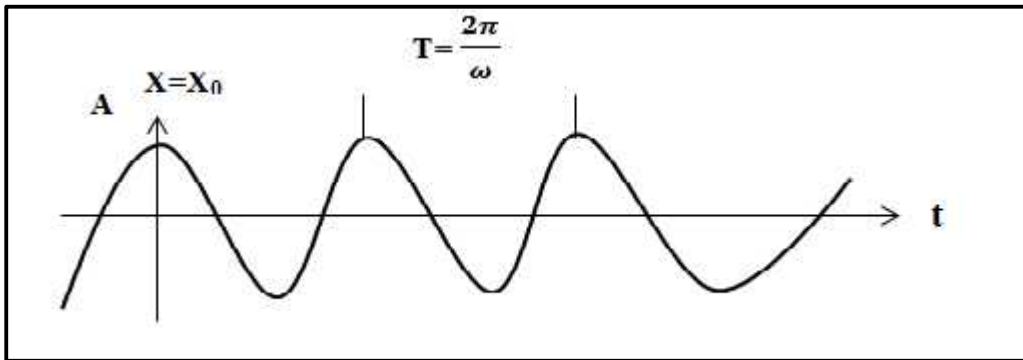
ekil 2.11. Grup Hızı ve Faz Hızı ( Bath, 1973)

Faz hızıyla periyot bize dalga boyunu vermektedir ( ekil 2.12)



ekil 2.12 Dalga Boyu (Lay ve Wallece, 1995)

Açısal frekans dalganın periyoduna ba lıdır ( ekil 2.13).



ekil 2.13 Dalga Periyodu (Lay ve Wallece, 1995)

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

$$T = 1/f = \lambda / c \quad [2.8]$$

$$f = c / \lambda = c / 2\pi R \quad [2.9]$$

$$c = \lambda / T = 2\pi R / T \quad [2.10]$$

$$k = 2\pi / \lambda = 2\pi / R \quad [2.11]$$

$$c = \lambda / T = f \quad [2.12]$$

$\omega$  : açısal frekans,

$k$  : dalga sayısı,

$c$  : dalga fazının hızı,

$T$  : periyot,

$\lambda$  : dalga boyu

$f$  : frekans'dır (Lay ve Wallace, 1995).

### 2.2.3 Yüzey Dalgalarının Çok Kanallı Analizi (MASW)

Yüzey dalgalarının çok kanallı analizi (Multichannel Analysis of Surface Waves), balyoz ya da a ırlık dü ürme gibi çe itli yapay kaynakların kullanıldığı bir yüzey dalgası analiz yöntemidir. MASW, sı mühendislik çalı malarında kullanılan yöntemlerden biri olan SASW' a (Spectral Analysis of Surface Waves) alternatif olu turması için geli tirilmiştir.

Çok kanallı alıcılar kullanılarak alınan dü ük hız, dü ük frekans ve yüksek genlikli Rayleigh dalgası (ground roll) ölçümlerinden yüzeye yakın S dalgası hızlarının belirlenmesi için etkili ve do ru sonuç veren bir yöntem geli tirilmesi için, 4 a amalı bir proje Kansas Jeoloji Ara tırma Dairesi tarafından gerçekleştirilmiştir. Çok a amalı bu ara tırma projesinin ilk amacı genel orta nokta yansıma dalga profili ile kaydedilen dalgaların daha iyi belirlenmesidir (Mayne, 1962; Xia vd., 2002).

Bahsedilen bu dört amaçta da verilmektedir:

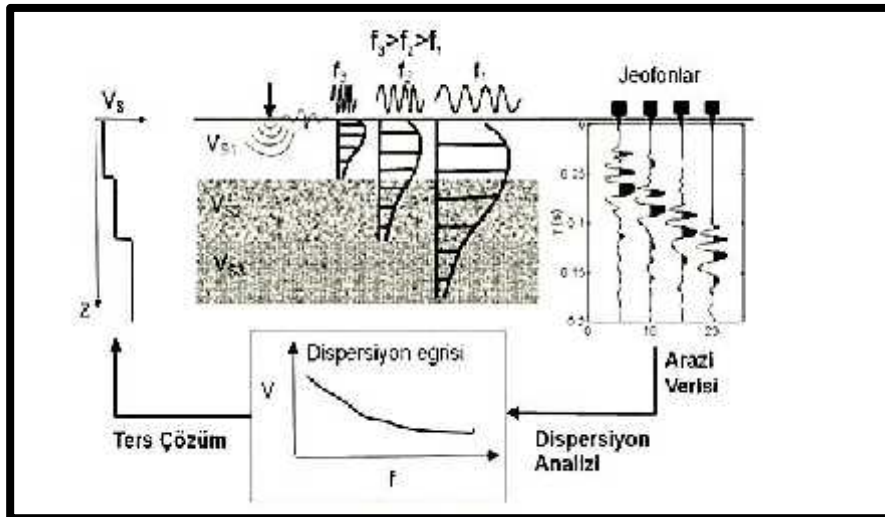
1. Geni bantlı (2-100 Hz) ground roll kaydedilmesi için uygulanabilir, tekrar uygulanması kolay ve yüksek enerji üretebilen bir sistemin geliştirilmesi,
2. Bir boyutta Rayleigh dalgası dispersiyon eğrilerinin belirlenmesi ve analiz edilmesi için kolay, kesin, etkili ve tutarlı algoritmaları kullanan veri işleme yönteminin oluşturulması,
3. Bir boyutlu yüzeye yakın S dalgası profillerinin bulunması için, gerekli en az sayıda kabul yapan, tutarlı ve etkili ters çözüm algoritmalarının geliştirilmesi ve
4. Bir boyutta bulunan kesme dalgası hız profillerinin, uygulamada iki boyutta genişletilerek yeraltındaki tabakanın S dalgası hızlarının görüntülenmesidir (Xia ve diğeri., 2002).

İlk amaçların bir bölümü olarak vibroseis veya bir yapay kaynak kullanarak elde edilen MASW yöntemi, geniş bantlı ground-roll oluşturulması, kaydedilmesi ve çözümlenmesi açısından başarılı sonuçlar vermiştir (Park vd., 1996; Park vd., 1999; Xia vd., 2002).

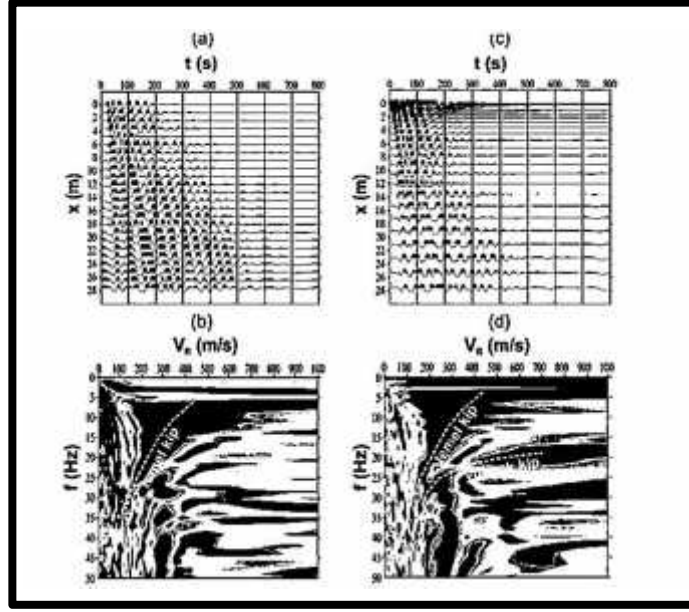
İkinci amaçta geliştirilen veri işleme algoritmaları faz hızlarının temel moddaki Rayleigh dalgasının frekansının fonksiyonu olarak elde edilmesini sağlamıştır (Park vd., 1999; Xia vd., 2002). Bu araştırma programının üçüncü basamağı olarak gerçekleştirilen yüksek frekanslı Rayleigh dalgaları verilerinin ters çözümlenmesi en az sayıda kabul yapılarak kesme dalgası hızlarının bulunmasını sağlamaktadır (Xia vd., 1999; Xia vd., 2002). S dalgası hızları ile Rayleigh dalgası dispersiyon eğrisi arasında bir ilişki kurmanın en kritik yönü Rayleigh dispersiyon verisinin yerin özelliklerine göre duyarlılığını tanımlamaktır. MASW yaklaşımının özelliği olarak, Rayleigh dalgaları faz hızı ile yerin özellikleri arasındaki ilişki, birinci kısmi türevlerin matrisinin analizinden bulunabilir. Yüksek frekanslı Rayleigh dalgası dispersiyon verisi için tabakalı bir yer modeli; P dalgası hızı, S dalgası hızı, kalınlık ve yoğunluk ile tanımlanır. P dalgası hızı ve yoğunluk değerlerinin, seçilen bu değerler için relatif hatanın %25 veya daha az olması halinde, her tabakaya bilinen sabit bir değer olarak atanabileceği, ampirik olarak gösterilmiştir. Temel modda S dalgası hızı baskın bir özellik gösterdiği için, bu hız değerleri Rayleigh dalgası dispersiyon verisinden kolaylıkla elde edilebilmektedir (Xia vd., 1999; Xia vd., 2002). MASW yönteminin diğer avantajları arasında veri toplama işleminin hızlı yapılabilmesi (her ölçüm noktasında birkaç dakika), bir boyutlu hız profilini üretmek için gerekli zamanın kısa olması sayılabilmektedir (Xia vd., 1998; Miller vd., 1999; Xia vd., 2002). MASW yöntemi kesme dalgası hızlarının derinlikle deriniminin kestirilebilmesi için geliştirilmiş olan çevre dostu ve kolay uygulanabilir bir

yöntemdir. Aynı zamanda çakıllı zeminlerin sıvıla ma potansiyeli ara tırmalarında, standart penetrasyon deneyi veya koni penetrasyon deneyi gibi yöntemlerin kullanılmasının uygun olmadığı yerlerde de kullanılabilir. Diğer yaklaşımlar ile karşılaştırıldığında, yüzeye yakın tabakalardaki S dalgası hızının bulunması için MASW yönteminin ekonomik avantajları oldukça fazladır. MASW yönteminde her ölçüm noktasında verilerin toplanması için gerekli süre birkaç dakika iken, bu süre SASW yönteminde 1 saattir. Sondaj ile hız ölçümlerinin yapılması ile ilgili maliyeti, S dalgası hızlarının belirlenmesi amacı ile MASW yönteminin tercih edilmesinin başlıca bir sebebi sayılabilmektedir ( birkaç bin dolara karşılık birkaç yüz dolar). Sondaj açma sırasında zaman problemi, çevreye verilen zarar, güvenlik gibi unsurlar arazide önemli rol oynar ve sondaj maliyetini daha da arttırabilir (Xia vd., 2002).

MASW yönteminde geniş bir dizilim halinde seyahat zamanları ölçülür. Serim 12 ile 48 adet arasında emite aralıklarla dizilmiş alıcılardan oluşur ( ekil 2.14). Kaynak 2-200 Hz arasında Rayleigh dalgası üretmelidir. Daha düşük frekanslar daha derinlerden bilgi taşıyan dalga boyları anlamına gelmektedir. MASW yöntemi genel olarak ters çözümleme için sadece temel moddaki dalgaları kullanır ( ekil 2.15). Bu yaklaşım dalga boyunun artması ile faz hızlarının da arttığı dispersiyon eğrilerinin görüldüğü zeminlerde oldukça tatmin edici sonuçlar vermektedir (Puech vd., 2004).



ekil 2.14 MASW yönteminde temel işlem adımları (Puech vd., 2004).



**ekil 2.15** Jeofon aralıkları farklı iki MASW kaydı ve dispersiyon görüntüsü: (a) sabit jeofon aralı 1, (b) dispersiyon görüntüsü, (c) artan jeofon aralı 1, (d) dispersiyon görüntüsü

Gerek aktif kaynaklı, gerekse pasif kaynaklı yüzey dalgası yöntemlerinde dispersiyon e risinin belirlenmesi için farklı sayısal yöntemler geli tirilmi tir. Geli en bu sayısal yöntemlerin tamamı, zaman-uzaklık (t,x) ortamında elde edilen verinin spektral özelliklerinin belirlenmesine dayanır. Kullanılan sayısal yöntemler arasında frekans-dalg a sayısı (f-k), kesime zamanı- yava lık (t-p), faz kaydırma veya uzaysal özili ki (SPAC) dönü ümleri yaygın kullanılan yöntemlerdir (Okada, 2003; Park vd., 2004).

Her bir tabakanın kalınlı ı, yo unlu u, P ve S-dalgası hız de erlerinin tanımlandı ı bir yeraltı modeli için yeryüzündeki alıcı noktalarında kuramsal yüzey dalgası hesaplanarak, dispersiyon e risi belirlenir. Kuramsal dispersiyon e risinin sayısal hesaplanmasında Thomson- Haskell yöntemi (Thomson, 1950; Haskell, 1953) veya bu yöntemi esas olarak geli tirilen sıklık dizeyi yöntemi (Kausel ve Roësset, 1981), ya da sonlu farklar (Hossian ve Drnevich, 1989), Green fonksiyonları (Hisada, 1995) gibi sayısal çözüm yöntemleri kullanılır. Ters-çözüm i lemi için en küçük kareler yöntemi tabanlı algoritmaların (Calderon-Macias vd., 2000) yanısıra genetik algoritma ve yapay sinir a ları (Santamarina ve Fratta, 1998), Monte Carlo yöntemi (Scales ve Tenorio, 2001) kullanılan di er algoritmalar dır.

#### 2.2.4 Kırılma Mikrotremor Yöntemi (ReMi)

Kırılma Mikrotremor yönteminin genel ilkeleri Louie tarafından 2001 yılında tanımlanmıştır. Yapıların sismik makaslama hızlarının tahmini, olması muhtemel bir sarsıntıda (depremde) o bölgenin tepkisinin önemli bir bileşeni olabilir (Borcherdt, 1992). Sismik yeraltının makaslama hızlarını bulmak için, yüzey dalgalarının dispersiyon özelliğinden faydalanılabilir. ReMi yönteminin temel amacı, gürültü kayıtları ile 100 m derinliğe kadar S dalga hızlarını bulmaktır. Ayrıca, sismik kırılma yöntemleri ile 30 m derinliğe kadar zeminle ilgili bilgi edinmek kolayken; alüvyon kalınlığının 30 m'den daha kalın olduğu durumlarda sismik kırılma yöntemi ile saptanması oldukça zordur. Ancak ReMi tekniği yalnızca 100 m derinliğe kadar olan jeolojik yapıların hızını çözümleyebilmektedir. Daha derin araştırmalar için daha etkili sismik yöntemler ve mikrotremor kayıtlarıyla gelişmiş cihazlar gerekmektedir (Horike 1985). ReMi yapılacak deney derinliğinin istenen uzunlukta yapılabileceği yerlerde tek boyutlu geniş yeraltı alanlarıyla ilgili olarak genel bir bilgi edinmek için etkili ve verimli yollar sunmaktadır.

ReMi ölçümlerinin temel kaynağı, aktif bir kaynak yerine çevresel gürültüler, trafik, insan gürültüleri, rüzgâr gibi atmosferik olayların tamamıdır. Kaynağın kökeni belli olmadığı için kaynak her an var olabilir (Asten ve Stephenson, 2005). ReMi yönteminde aktif kaynak kullanılmaması, veri toplama donanımlarının kolay taşınabilir olması ayrıca kentsel alanlarda uygulama kolaylığı getirmesi ve bunun gibi nedenler yöntemin yaygınlaşmasına neden olmuştur (Yanık, 2006).

ReMi tekniğinin temelinde iki ana fikir vardır. Birincisi bilinen sismik kırılma kayıt donanımları ile hemen hemen sismik P dalgası kırılma çalınmalarına benzeyen şekilde ayarlanarak 2 Hz gibi düşük frekanslarda yüzey dalgası etkili bir şekilde kayıt edilebilir. İkinci ana fikir, mikrotremor kayıtlarına iki-boyutlu yavaşlık-frekans (p-f) dönüşümü uygulanarak Rayleigh dalgası diğer sismik varyasyonlardan ayrılır ve görünür hızlara karşı gerçek faz hızı tanımlanabilir.

Aktif ve pasif kaynak kullanımının üstünlükleri;

- Aktif yöntemde görece yüksek frekans aralıklarında yüksek kalitede Rayleigh dalga dispersiyon verisi elde edilebilir (Malovichko vd., 2005).
- Pasif yöntem uzun dalga boylarının çözünürlüğü için olumludur. Daha derinlerdeki tabakalar hakkında bilgi içerir (Malovichko vd., 2005).

Aktif yöntemde Rayleigh dalgası dispersiyon e rileri, de i ik kaynak ve jeofon mesafelerinde kayıt edilen dalga formlarından faz spekturumu analizini temel alarak üretilir. Pasif yöntemde frekans - dalga sayısı analizi, jeofon dizisinden geçen uyumlu dalga paketleri hakkındaki bilgileri ayrı tırabilir. lemler sonucunda dispersiyon e risi elde edilir ki bu da verilen Rayleigh dalga modunda faz hızı frekans ili kisidir (Malovichko vd., 2005).

Ters çözüm ise Rayleigh dispersiyon e rileriyle en iyi çakı mayı veren dü ey makaslama hız profillerinin tahminidir. Rayleigh dalgası dispersiyon e rileri sıkı ma dalgalarına oldukça duyarlı oldu undan genellikle yalnızca makaslama dalga hızı (S dalga hızı) ters çözümü yapılır (sıkı ma dalgaları ve yo unlu u içermeyen). Global ve yerel arama olmak üzere iki farklı ters-çözüm stratejisi uygulanır. Global arama yordamına çok geni model uzayı ve herhangi bir sayıdaki parametre (örne in tabaka kalınlıkları) kolayca eklenebilir. Global arama yerel arama yönteminden daha çok yineleme gerektirir (Malovichko vd., 2005).

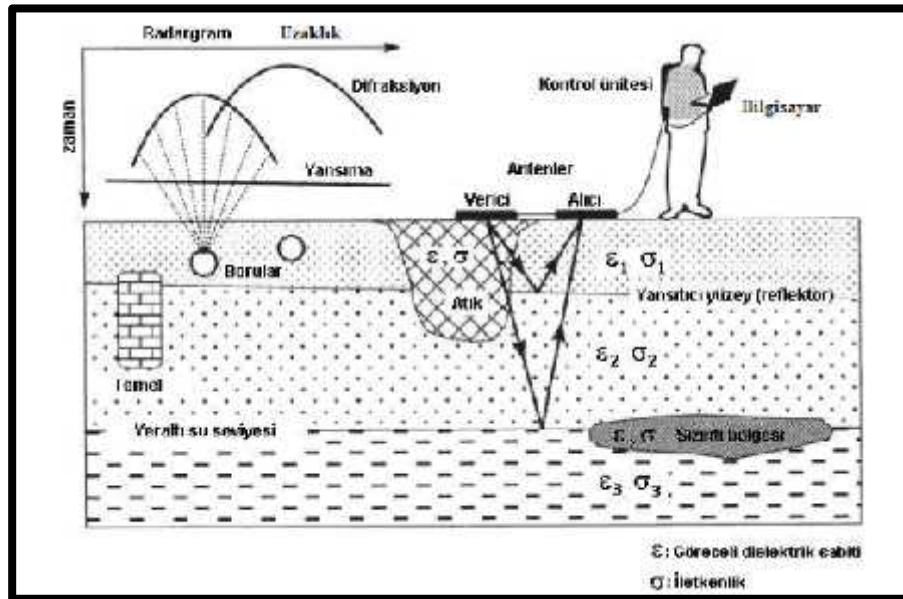
#### **2.2.4.1 Remi Yönteminin Avantajları**

- 1- Veri alma çok kısa sürede yapılır.
- 2- 100 – 200 m'lik hatlar kullanılır.
- 3- Trafi e açık yollarda, binalarda ve endüstriyel gürültü kaynaklarının yakınında kolayca uygulanır.
- 4- Özel bir kayıt aracı gerektirmez. Standart kırılma sismografi ve 4.5 Hz' lik P-dalgası jeofonu kullanılır.
- 5- Yapay bir kaynak kullanmayı gerektirmez. Çevresel gürültüler (ambient noise) kaynak olarak kullanılır.
- 6- Düz bir hat boyunca 15 – 20 s'lik mikrotremor kaydı almak yeterlidir.
- 7- Dizilimin yani hattın uzunlu u ara tırma derinli ine ba lı olup tavsiye edilen minimum hat uzunlu u 100 m'dir.

#### **2.3 Yer Radarı Yöntemi (GPR)**

Yer radarı (GPR) ara tırılan ortamın sı derinliklerini yüksek çözünürlükte görüntüleyebilen elektromanyetik bir yöntemdir (Davis ve Annan, 1986). Son otuz yıl içerisinde elektronik endüstrisinde ya anılan ola anüstü geli meler bir zamanlar

zahmetli ve pahalı bir i olan ı ık hızı ölçümlerini son derece ucuz, kolay ve duyarlı bir ekle dönü türülmü tür. 1970'li yıllarda milisaniye (10<sup>-3</sup>s) duyarlılıkla yapılan zaman ölçümleri 1980'li yıllarda mikrosaniye (10<sup>-6</sup>s), 1990'lı yıllarda ise nanosaniye (10<sup>-9</sup>s) duyarlılı a kadar inmi tir. Elektronikteki bu geli melere paralel olarak yer altında ı ık hızına yakın bir süratle hareket eden elektromanyetik dalgaların yolculuk sürelerinin nanosaniye mertebesinde ölçülebilmesi, sı jeofizik görüntüleme yöntemlerine önemli katkılarda bulunmu tur. Yer radarı yukarıda sözü edilen geli melerin somut bir sonucudur. Bu yöntemin ilk ba arılı uygulaması, kutuplarda ve Antartika'da yansıyan radyo dalgalarını kullanarak buz tabakalarının kalınlıklarını haritalamak ve eriyen buzulların kalınlıklarını tespit etmek olmu tur (Jol, 2009). Buzul olamayan GPR çalı maları 1970'lerde ba lamı tir. İlk çalı malar donmuş toprak yapısı üzerine olmu tur (Annan ve David, 1976). Yöntemin üstünlükleri ve zayıflıkları anla ılmaya ba ladıkça, uygulamaları (Davis ve Annan, 1989) tarafından geni letilerek tanımlanmış tir. Di er alanlardaki uygulamalar (Morey, 1974) ve (Ulriksen, 1982) tarafından tanımlanmış tir. Yer radarı yöntemi yeraltına gönderilen yüksek merkez frekanslı (10-600 MHz arası) elektromanyetik radar sinyallerinin yer içinde yayılımı sırasında farklı dielektrik özelliklere sahip süreksizliklerle kar ıla tıklarında enerjilerinin bir kısmının geriye yansıyıp yüzeydeki alıcı antenlerde dalganın çift yol seyahat zamanı nanosaniye cinsinden kaydedilmesi esasına dayanmaktadır (Kruk, 1999). Yer radarı yönteminin çalı ma prensibi ekil 2.16'da ifade edilmi tir.



ekil 2.16 Yer radarı yönteminin çalı ma prensibi (Kesemen, 2007)

Yer altının yüksek çözünürlükle görüntülenmesini sağlayan Yer radarı, yeraltındaki farklı iletkenlik ve hızlardaki değişimler nedeniyle doğru bilgi toplanmasına olanak sağlamaktadır. Ortam koşulları yer radarı ölçüleri için uygunsa, örneğin ortam yüksek oranda kil ve su içermiyorsa, uygun anten seçimleriyle yüzeye yakın santimetre boyutlarındaki hedef yapıların yerleri ve gömülü oldukları derinlikler belirlenebilir. Yer radarı yöntemiyle bot, kızak ve tekerlekli araçlar ve helikopter gibi çeşitli tasarımlar sayesinde çok geniş alanlar hızlı bir şekilde taranabilmektedir (Özretmen, 2012).

Penetrasyon derinliği ve radar sinyalinin ayrımlılık gücü iletilen dalganın ortamındaki malzemenin dielektrik özelliklerine ve frekansına bağlıdır (Çizelge 2.1). Kullanılan farklı frekanslar hem çözünürlüğü hem de penetrasyon derinliğini etkiler. Düşük frekanslarda ara tırma derinliği artarken, düşük ayrımlılık azalmakta ve düşük frekanslar madde içindeki yüklerin polarize olması yerine yüklerin hareket etmesine neden olur. Bu durumda elektromanyetik enerji iletkenliğe dönüşmekte ve soğulmaya neden olmaktadır. Yüksek frekanslarda ise düşük ayrımlılık artarken, penetrasyon derinliği azalmaktadır (Özretmen, 2012).

Genellikle çalınan ortamın düşük iletkenlikli ortam olması istenmektedir. Bu tip bir ortamın matematiksel ifadesi  $\sigma/w \ll 1$  olarak verilir. Kum ve granit gibi düşük iletkenlikli ortamlarda Yer radarı dalgaları derinlere ulaşabilirken, kil, çeyl gibi iletken ortamlar iletilen sinyalin penetrasyon derinliğinin azalmasına ve soğulmasına neden olmaktadır (Annan vd., 1988). Düşük iletkenlikli ortamda 5-20 metre derinlere kadar penetrasyon sağlanabilirken, iletken ortamlarda bu derinlik birkaç metre olmaktadır. (Davis ve Annan, 1986).

**Çizelge 2.1** Genel jeolojik malzemelerin dielektrik, iletkenlik, hız ve soğurma derinlikleri

$n/a$  bu malzemeler için bir derinlik değeri ifade etmemektedir (Wilchek, 2000).

| Malzeme            | Boşluk dielektrik Sabiti, $\epsilon_r (\epsilon/\epsilon_0)$ | İletkenlik, $\sigma$ (mS/m)               | Yayılan hız, $V_r$ (m/s) | Soğurma, Soğurma sabiti, $\alpha$         |
|--------------------|--|---|--------------------------|---|
| Hava               | 1  | 0   | 0.3                      | 0   |
| Düz                | 3-4  | 0.01                                      | 0.16                     | 0.01                                      |
| Su (taze)          | 80   | 0.5                                       | 0.033                    | 0.1                                       |
| Su (tuzlu)         | 80   | 5000                                      | 0.01                     | 1000                                      |
| Topraklar          |  |   |                          |   |
| Kil                | 5-40   | 2-1000                                    | 0.06                     | 1-300                                     |
| Toprak (kuru)      | 3-5  | 0.01                                      | 0.15                     | 0.01                                      |
| Toprak (doymuş)    | 20-30  | 0.1-1.0                                   | 0.06                     | 0.03-0.3                                  |
| Silt               | 5-30   | 1-100                                     | 0.07                     | 1-100                                     |
| Miyeroller         |  |   |                          |   |
| Kalsit             | 7.8-8.5  | $5 \times 10^{-10}$                       | 0.11                     | $3 \times 10^{-11}$                       |
| Kuarsit            | 4.7-5  | $5 \times 10^{-14}$ - $5 \times 10^{-13}$ | 0.13-0.15                | $2 \times 10^{-15}$ - $4 \times 10^{-14}$ |
| Toprak kayalar     |  |   |                          |   |
| Kireçtaşı          | 4-8  | 0.5-2                                     | 0.12                     | 0.4-1.0                                   |
| Tuz (kuru)         | 5-6  | 0.01-1                                    | 0.12                     | 0.01-1                                    |
| Kumtaşı            | 4.7-12   | $1 \times 10^{-13}$ - $0.7$               | 0.09-0.14                | $5 \times 10^{-15}$ - $0.6$               |
| Şeyl               | 5-15   | 1-100                                     | 0.09                     | 1-100                                     |
| Magnezitik kayalar |  |   |                          |   |
| Diazit             | 12   | $8 \times 10^{-8}$ - $0.025$              | 0.09                     | $4 \times 10^{-11}$ - $0.01$              |
| Diazit             | 6.8-8.7  | 0.01                                      | 0.12                     | 0.03                                      |
| Diyatiz            | 10.5-31.5  | $2 \times 10^{-11}$ - $10$                | 0.05-0.09                | $1 \times 10^{-13}$ - $0.6$               |
| Diazit             | 6  | 0.0002-0.002                              | 0.12                     | 0.0001-0.001                              |
| Gabro              | 8.5-40   | 0.001-1                                   | 0.05-0.10                | $3 \times 10^{-15}$ - $0.6$               |
| Granit             | 4.6  | 0.01-1                                    | 0.12                     | 0.01-1                                    |
| Nesit              | 6.1  | 0.02-1                                    | 0.04                     | 0.004-0.2                                 |
| Obsidyen           | 5.3-10.4   | $n/a$                                     | 0.11                     | $n/a$                                     |
| Peridotit          | 8.6  | 0.15-0.33                                 | 0.10                     | $n/a$                                     |
| Miyeritik kayalar  |  |   |                          |   |
| Granit             | 8.5  | 0.0003-0.02                               | 0.10                     | $n/a$                                     |
| Amfibit            | $n/a$  | 1-100                                     | $n/a$                    | $n/a$                                     |
| Kuarsit            | $n/a$  | $5 \times 10^{-14}$ - $100$               | $n/a$                    | $n/a$                                     |

### 2.3.1 Yer Radarı Yönteminin Avantaj ve Dezavantajları

Yer radarı yöntemi günümüzde birçok soruna karşı tercih edilen bir yöntem haline gelmiştir ve birçok avantajı bünyesinde taşır. Bunlar;

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

Yöntemin dezavantajları ise;

- Yüksek iletken bir ortamda çalışmaması ve çözünürlük derecesinin derinlikle azalmasıdır.
- Radar penetrasyon derinliği ve herhangi bir derinlikteki hedef nesnenin belirlenebilmesi o bölgedeki toprak özelliklerine bağlıdır. Toprak yüksek iletken ise

Yer radarı yöntemi etkisiz hale gelebilir. Yöntemin sonuç vermesi için aranan nesne ile çevre birim arasında yeterli farkın olması gerekir.

- Radar verisi yorumu kişiseldir. Bu nedenle yorumcunun deneyimi çok önemlidir.
- Çevredeki radyo vericileri, önemli bir gürültü kaynağıdır ve ölçülen sinyaller kayıt aygıtının dışına taşabilir. Kayıtlara çevredeki yapılardan gelen yansımalar karışabilmektedir. Yansımalar sismik yöntemde olduğu gibi yanlardan gelebilir ve yansıtıcı metalik nesne ise çok keskin olabilir

### **2.3.2 Yer Radarının Kullanıldığı Alanlar**

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

- Yol, havaalanı, baraj, su kanalı, santral, yerleşim alanı yer araştırmalarında
- Demiryolu, karayolu, su tünelleri, tüp geçitler, maden galerisi araştırmalarında
- Tavan, taban ve duvarların incelenmesi, restorasyon amaçlı yapı araştırmalarında
- Antik şehir, tapınak, mezar, duvar, temel, dehliz ve benzeri tarihi kalıntıların bulunmasında arkeojeofizik araştırmalarında
- Boşlukların Saptanmasında
- Su tablalarının belirlenmesinde
- Zemindeki Yanal ve Düşey Süreksizliklerin Saptanmasında
- Ana Kaya (Temel Kaya) Derinliğinin Saptanmasında
- Yüzeydeki gevşek zonların tespinde kullanılır.

### **2.3.3 Yer Radarının Temel Esasları**

Yer radarının esası elektromanyetik (EM) teoriye dayanır. Bu alanın geçmişi iki yüzyıldan daha uzun bir zamandan gelir.

Maxwell ilişkileri; malzemenin fiziksel özellikleriyle EM alanları ilişkilendirir ve bu alanların fizikselini matematiksel olarak ifade edilir. EM alanlar ve malzemenin fiziksel özelliklerinin ilişkilendirilmesi, GPR sinyallerinin tanımlanması için olması gereken temelleri sağlar.

### **2.3.4 Maxwell Denklemleri**

Elektromanyetik teorinin temeli olan Maxwell'in elde ettiği denklemler; zamanla değişen bir manyetik alanın bir elektrik alan oluşturması gibi, zamanla değişen bir elektrik alanın da bir manyetik alan oluşturacağını söyler. Buradan Maxwell teorisi ile

elektrik ve manyetik alanlar arasındaki çok önemli bağlantı gerçekleştirildi. Maxwell'in teorik olarak ispatladığı dalgaların varlığını H.R. Hertz 1887 yılında bir indüksiyon bobini kullanarak ilk olarak üretti ve onları algılayarak deneysel olarak kanıtladı (Yıldız, 2003).

Tüm elektrik ve manyetik olayları ve bunlar arasındaki ilişkiyi Maxwell Denklemleri olarak bilinen 4 temel denklem ile açıklamıştır. Bu 4 denklem elektromanyetik dalgaların tüm özelliklerini eksiksiz olarak açıklar.

Maxwell denklemleri aşağıdaki temel kurallara dayanmaktadır:

1. Zamana göre değişen elektrik alanı bir manyetik alan oluşturur.
2. Zamana göre değişen manyetik alan bir elektrik alanı oluşturur.

Matematiksel terimlerde, EM alanlar ve bunlar arasındaki ilişkileri aşağıdaki gibidir:

$$\nabla \times \vec{E} = - \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad [2.13]$$

$$\nabla \times \vec{H} = \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \quad [2.14]$$

$$\nabla \cdot \vec{D} = \rho \quad [2.15]$$

$$\nabla \cdot \vec{B} = 0 \quad [2.16]$$

Burada;

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

$\rho$ : Elektrik alan yükü yoğunluğu ( $C/m^3$ )

$\vec{B}$ : Manyetik akı yoğunluğu (T)

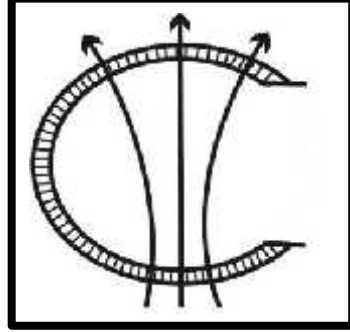
$\vec{J}$ : Elektrik akım yoğunluğu vektörü ( $A/m^2$ )

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

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

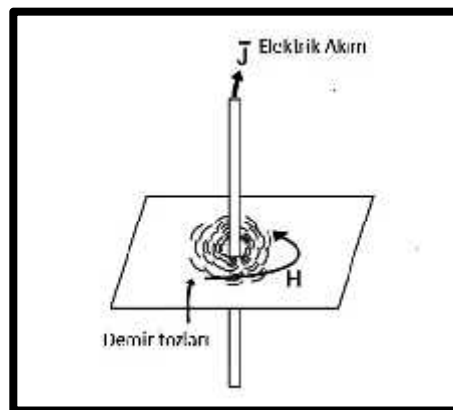
olarak tanımlanmaktadır.

Maxwell'in 1. e itli i [2.13] Faraday yasasını tanımlar. Zamanla de i en bir manyetik alan ortamdaki elektrik yüklerin hareket etmesine neden olur ve bu yük hareketi, kapalı dögüsel bir elektrik alanı meydana getirmektedir ( ekil 2.17).



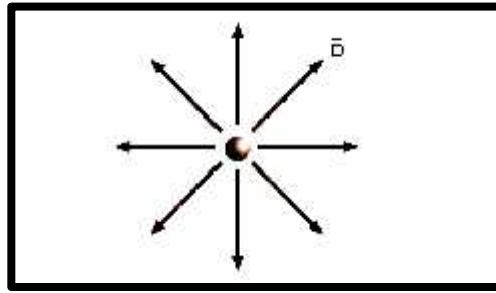
**ekil 2.17** Bir manyetik alan bir elektrik alanı meydana getirir (Annan, 1992)

Maxwell'in 2. e itli i [2.14] Amper yasasını tanımlar. Bir elektrik akımının uzayda bir manyetik alanın vektörel kayna mı olu turdu unu ve olu an bu manyetik alanın bölgedeki iletkenlik (yük akı  $i$ ) ve elektrik yüklerinin zamanla yer de i tirmesinden kaynaklanan toplam akıma orantılı oldu unu ifade eden Amper Kanununun matematiksel ifadesidir. Bunun fiziksel olarak en basit örne i, iletken bir çubuktan geçen elektrik akımının etrafında olu an manyetik alan ve bu manyetik alanın varlı mını ispat eden telin etrafındaki ka ıt düzleminde manyetik alanın eklini alan demir tozlarıdır ( ekil 2.18).



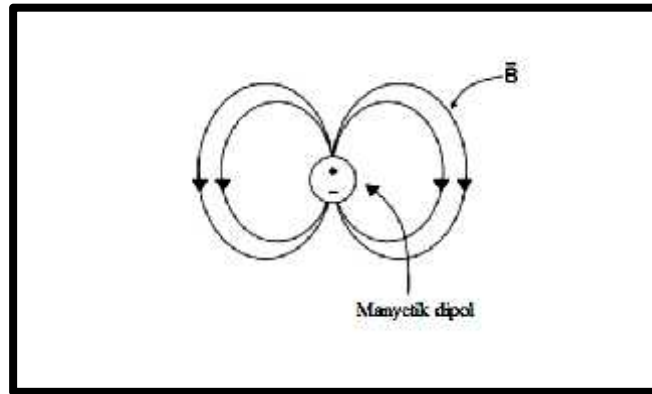
**ekil 2.18** Bir elektrik akımı bir manyetik alan meydana getirir (Annan,1992).

Maxwell'in 3. e itli i [2.15] Gauss Yasasını ifade etmektedir. Do ada elektrik alanının iki kayna 1 bulunmaktadır. Elektrik alanın skaler kayna 1, ya maddeler içerisindeki serbest elektrik yük yo unlu u ya da elektrik alanın noktasal yüklerde sonlanması ile olu ur ki, bu Gauss Yasası olarak bilinir. Bir di er elektrik alan kayna 1 olan indüklemeye olgusu meydana geldi inde, elektrik yükleri salınım yaparak zamanla de i im gösteren elektrik alanları (yani yüklerin hareketlenmesi) ile kapalı döngü ekinde olu turur. Genelde zamanla de i en sinyaller bu iki farklı kaynaktan ortaya çıkan elektrik alanının toplamından olu ur ( ekil 2.19).



**ekil 2.19** Kapalı bir yüzeydeki elektrik alan akı nın, bu yüzey etrafından çevrelenmi olan hacimde bulunan net yük ile orantılıdır (Annan, 1992).

Maxwell'in 4. E itli i [2.16]; do ada manyetik alan, elektrik yüklerinin hareketlenmesiyle olu an akım akı 1 sayesinde olu ur. Bu nedenle, manyetik alanlar sadece bu e itlikte ifade edilen kapalı döngüde olu acaktır ve manyetik alanın skaler kayna 1 yoktur. Bu durumda herhangi bir kapalı yüzeyde olu an manyetik alanın akısı sıfırdır ( ekil 2.20).

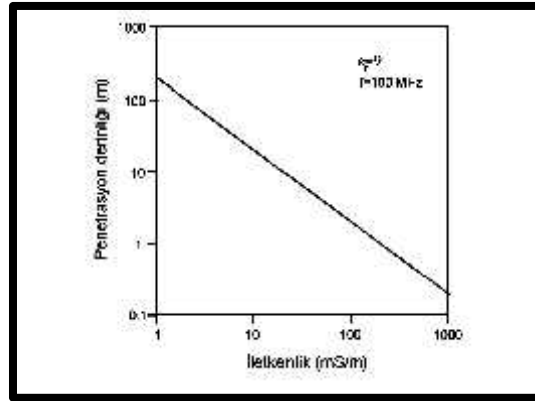


**ekil 2.20** Kapalı bir yüzeydeki manyetik alan akı nın sıfır oldu u ve dolayısıyla manyetik yüklerin var olmadı nı belirtir (Annan, 1992).

### 2.3.5 Penetrasyon Derinli i

Radar yansımalarını olu turan ara yüzeylerin sayısı ve her ara yüzeydeki dielektrik farklılık; yer içinde seyahat eden sinyalin sönümlenme oranı ve kullanılan antenin merkez frekansı ile yer radarının yeraltını görüntüleyebilme yetene inin yanı sıra, yer içinde ilerleyen radar dalgalarının penetrasyon derinli ini de etkiler. Radar dalgaları her bir arayüze ula tı nda, dalgaların bir kısmı yüzeye geri dönerken, geri kalan kısım daha derindeki katman ya da katmanların içlerine do ru ilerlemeye devam edebilir. Ara yüzeylerin sayısı arttıkça, derinlere do ru yayılım gösteren enerji miktarında azalma meydana gelir. Özellikle çökel tabakalardaki dielektrik farklılıklar, karma ık yansımalar olu turulabilir. İlgilenilen yansımalar bu karma ık yapı nedeniyle maskelenebilir ve bunun sonucunda ara tırma derinli i azalabilir (Moorman, 2001).

Elektromanyetik enerjinin yayıldı ı ortamın elektrik iletkenli i arttı nda, enerji çok hızlı ekilde sönümlenir ve bu nedenle elektromanyetik enerjinin penetrasyon derinli i azalır. Bu yüzden, yer radarı sinyalinin içerisinden geçti i maddenin iletkenli i sinyalin nüfuz edece i derinlik üzerinde büyük bir etkiye sahiptir (Moorman, 2001). Enerjinin penetrasyonu ile elektrik iletkenlik arasındaki ili ki ekil 2.21’de verilmi tir. ekilden görüldü ü gibi, ortamın iletkenli inin artması radar dalgalarının penetrasyon derinli ini çok hızlı bir biçimde azaltmaktadır.



**ekil 2.21** Elektromanyetik enerjinin yayıldı ı ortamın elektrik iletkenli i ile enerjinin penetrasyon derinli i ili kisi (Moorman, 2001).

Kullanılan antenin frekansı, penetrasyon derinli ini etkileyen bir di er önemli faktördür (Çizelge 2.2). Daha dü ük merkez-frekanslı antenler daha uzun dalga boylu sinyaller üretir. Bunun sonucu olarak iletkenlik kayıpları ve ortamda bulunan küçük boyutlu yapılardan kaynaklanan saçılmanın azalması nedeniyle, daha az sönümlenme

gerçekle ir ve dolayısıyla, radar dalgaları yerin daha derin kısımlarına ulaşabilir. Ancak düşük frekanslı dalga boyları kullanmanın en büyük dezavantajları, yeraltındaki küçük nesnelerin belirlenememesi ve ince tabaka kalınlıklarının ölçülememesinin yanı sıra, çalılıyan anten boyutlarının artmasıdır. Bu durum, yeraltının çözünürlüğünü azaltır ve alanda pratik şekilde çalılımayı zorlaştırır (Conyers ve Goodman, 1997). Eğer d derinlik çözünürlüğü alınırsa uygun frekans;

$$f = 150 / d\sqrt{\epsilon} \text{ MHz} \quad [2.11]$$

ile bulunur. Burada derinlik çözünürlüğü hedeflenen derinliğin %25'i olarak alınır. Çözünürlük ölçütü ve nüfuz derinliği koulları genelde karmaşık yaratır. Uygulamada buna dikkat edilmelidir. Çözünürlük iz aralığından da etkilenir. Sabit aralıklı profillerde iki iz arası uzaklık (Dx), dalga boyunun ¼'ünden daha büyük ise kuramsal olarak tanımlanabilir hedefler belirlenemez. Bu koullu yaklaşık olarak;

$$D_x = 75 / f\sqrt{\epsilon} \text{ (m)} \quad [2.12]$$

ile verilebilir. Diğer bir yaklaşımla her iki ölçümden Dx'in en fazla ara tırma derinliğinin 1/8'i kadar veya daha az olması gerektiği görülebilir. Anten dizilimleri genelde yan yana olarak yapılmasına rağmen uygulamada uçucu konularak da kullanılmaktadır. Jeolojik uzanımın bilinmesi durumlarında antenler yapıya paralel olarak tutulmalıdır. Uygulamalarda anten aralığı (D<sub>anten</sub>) ara tırma derinliğinin 1/5 veya daha azı alındığında iyi sonuç verildiği görülmüştür. Derinliğe bağlı olarak amirik bağıntısı ise

$$D_{\text{anten}} = (2 \text{ derinlik}) / \sqrt{\epsilon - 1} \text{ (m)} \quad [2.13]$$

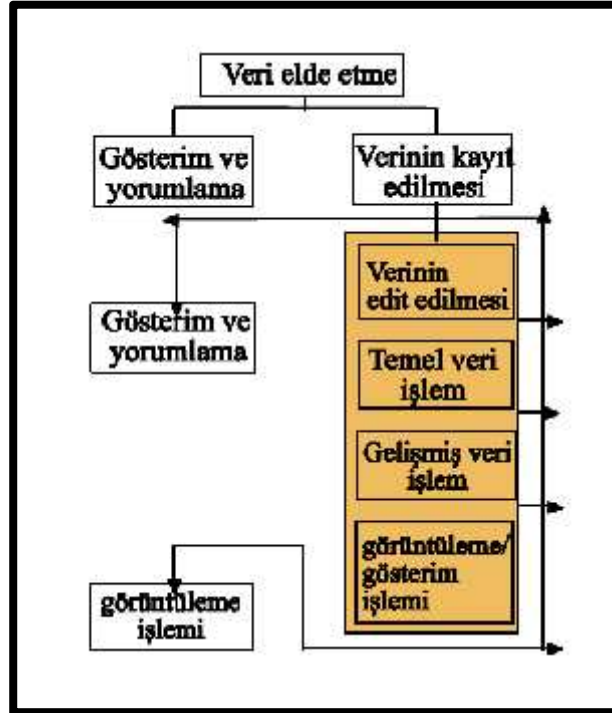
ile verilir. Örnekleme frekansının seçiminde örnekleme kuramı göz önünde tutulmalıdır. GPR da kullanılan en yüksek frekans merkezi frekansın 1.5 katı olduğuna göre örnekleme aralığı merkezi frekansın en az 3 katı olmalıdır. Sa lıklı ölçüm için 2 katsayısının da kullanımı önerilir (Örten, 2012).

**Çizelge 2.2** Frekansa ba lı penetrasyon derinli i (Ö retmen, 2012)

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

### 2.3.6 Yer Radarı Verilerinin İlenmesi

Yer radarı (GPR) ham kesitleri ile yeraltının yorumunu yapmak bir hayli zordur ( ekil 2.22). Bundan ötürü ham veriler, yoruma hazır hale getirilinceye kadar amaca yönelik olarak bazı veri i lem a amalarından geçirilmektedirler. Bir verinin akı eması Annan (2001) tarafından verilmi tir ( ekil 2.22).



**ekil 2.22** Yer radarı verisi akı eması (Annan, 2001).

### 2.3.7 Yer Radarı Ölçüm Alımında Kullanılan Parametreler

100 MHz'lik antenle alınan ölçümde kullanılan parametreler Çizelge 2.3'de verilmiştir.

**Çizelge 2.3** Yer radarı 100 MHz'lik antenle ölçüm yapılırken kullanılan parametreler

| Parametreler                  | Anten Frekansı : 100 MHz |
|-------------------------------|--------------------------|
| Ölçüm Aralığı                 | 10 cm                    |
| Zaman Örnekleme Aralığı       | 0.88 ns                  |
| Toplam Zaman Penceresi        | 512 ns                   |
| Merkez Frekansı               | 100 MHz                  |
| Antenler Arası Uzaklık        | 50 cm                    |
| Sinyal Yığılma Sayısı (Stack) | 16                       |

Veri düzenleme işlemleri Reflexw 6.0 programıyla yapılmıştır. Uygulanan veri işlemlerinin adımları sırasıyla;

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

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

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

#### 2.3.7.1 Dewow (Düşük Frekansların Giderilmesi)

Bu işlem, ilk DC sinyali bileşiminin kaldırılmasıdır veya DC etkisinin ve sonraki 'wow' etkisinin veya verideki düşük-frekanslı sinyal etkisinin giderilmesidir. 'Wow' etkisine,

kaydedilen sinyalde ilk gelenlerin neden oldu u a ırıla ma veya doygunluk etkileri neden olmaktadır ve sinyalden DC etkisinin atılmasını gerektirir. Ayrıca daha etkin düzeltme için alçak-geçi li veya medyan süzgeçlemesi de kullanılabilir. Dewow veriyi ortalama-sıfır seviyesine indirgemede önemli bir adımdır ve bu yüzden, kayıt edilmi izlerde kullanılmak üzere pozitif-negatif renk dolgusuna izin vermektedir. Bu i lem yanlı uygulandı nda veri, tüm izin spektrumunu bozan azalan alçak-frekans bile enine sahip olacaktır. Bu da sonraki spektral veri-i leme süreçlerini örne in kesitin do al görünümünü etkileyebilir. Neyse ki ço u modern GPR sistemleri imdilerde her izi otomatik olarak dewow en uygun durumlara ayarlı filtre parametreleriyle uygulamaktadır. Otomatik olmadan dewow düzeltmesi gerekli ise, ilk olarak ‘DC çıkarma’ uygulanabilir sonrasında ise kısa bir filtreleme penceresi ile ortalama filtre (uygulanır ve/veya kaydın bant geni li inin altında bir kesme frekansı ile alçak geçi li bir filtre uygulanır (Ö retmen, 2012)

#### **2.3.7.2 Kazanç Fonksiyonu**

Kazanç, GPR kesitlerinin görünürlülü ünü geli tirmektedir ve ço u teknik veri yapısını bir ekilde de i tirmektedir (örne in, ba ıl genlikler ve/veya faz ili kileri de i ir). Bu yüzden, kazanç fonksiyonlarının etkilerinin önemi uygulanmasından önce anla ılmalı ve veri yorumlanırken dikkat edilmeli (Annan, 1999). Geometrik açılım ve sinyal so rulmasının etkisine ba lı olarak sonraki varı ların görünümelerini kuvvetlendirmede geçici kazanç fonksiyonları gereklidir (Ö retmen, 2012).

#### **2.3.7.3 Background Removal**

Ringing etkisi, GPR verilerinde uyumlu gürültünün genel tiplerindedir. Bu tarz bir uyumlu gürültü kuvvetli ise ve uygunca atılmamı ise, derin yapılar tamamen örtülebilir. Ringing, hemen hemen yanal ve periyodik olaylar olarak görülür ki buda veri i lem ile gürültünün atılmasına olanak sa layan en önemli özelliklerdir. GPR verisi iddetli ringing gürültüsüne maruz kaldı nda, ara tırma derinli i daha da sı la ır çünkü kuvvetli ringing derinden gelen zayıf yansımaları maskeleymektedir. Bu i lem yüksek geçi li süzgeçler kullanılarak yapılmaktadır. Bu izlerin uzakla tırılması ile yeraltından gelen yansımaların daha görünür hale gelmesi sa lanmaktadır (Ö retmen, 2012).

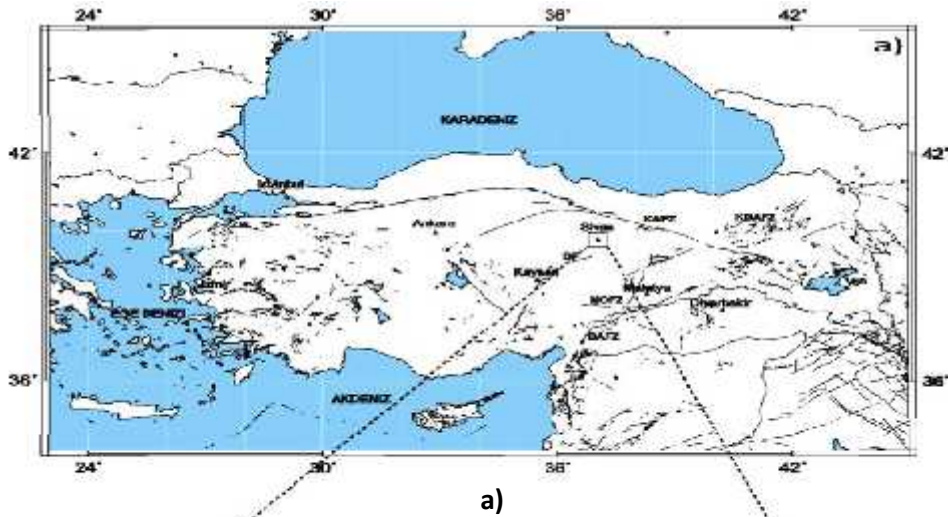
#### 2.3.7.4 Göç lemi (Migrasyon)

Saçılmı genlikleri düzenleme amaçlı göç i lemi uygulanır. Bu bize yer altının yorumlanmasında daha iyi yer tespitlerinin yapılmasında ve yapının daha belirgin bir ekilde tespit edilmesine yardımcı olur.

### 3.ARAZ ÇALI MASI

#### 3.1 Çalı ma Alanının Tanıtılması

nceleme alanı Sivas ehir merkezinin 6-8 km güneyinde Kızılırmakın kenarında bulunan Cumhuriyet Üniversitesi yerle kesi içerisinde yer almaktadır. Batıda Malatya karayolu,kuzeyde Kızılırmak,do uda Sidemir karayolu ve güneyde maret –Karatepe boyunca geçen bir hat ile sınırlanmaktadır ( ekil 3.1).



b)



c)

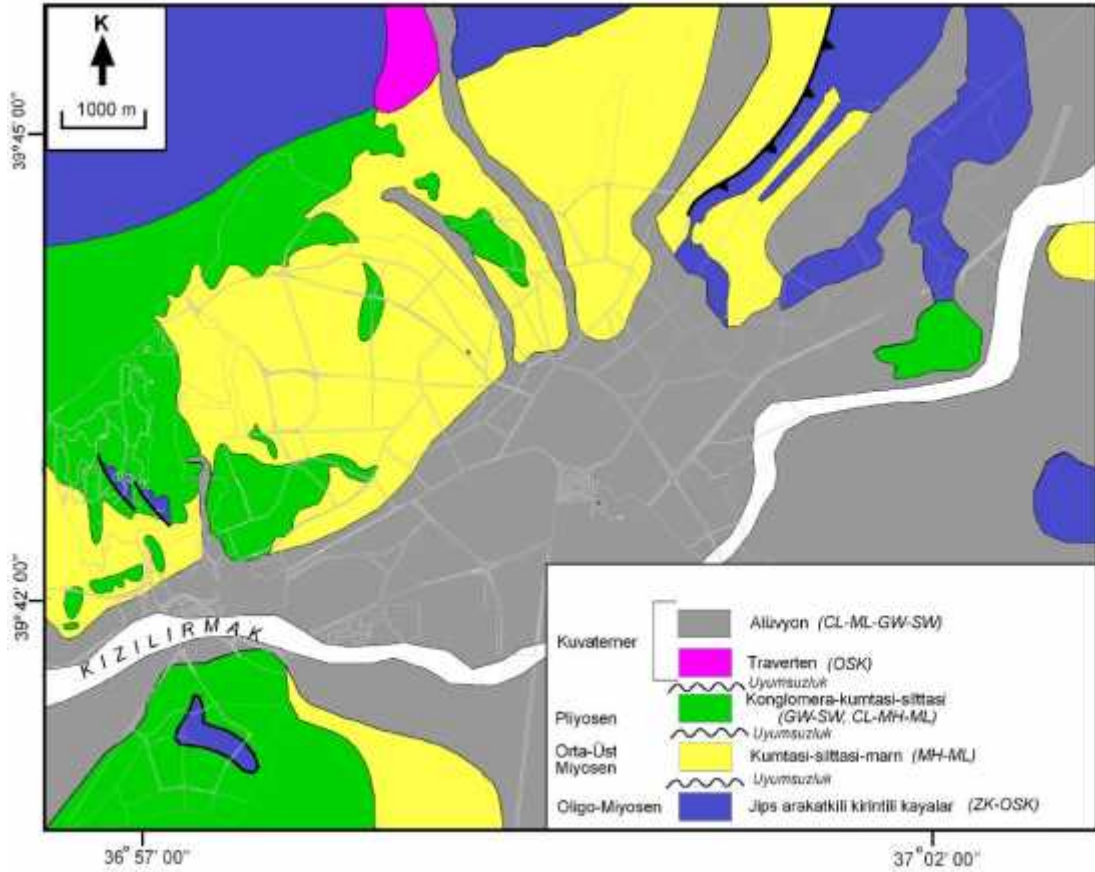
**ekil 3.1.** a) Sivas yer bulduru haritası. b) Sivas ve çalı ma alanının görünümü.

c) Çalı ma alanının görünümü

### 3.2 Çalı ma Alanının Genel Jeolojisi

Sivas Havzası Pre-Maastrichtiyen ya ta platform karbonatları, metamorfik ve ofiyolitik kayalardan olu mu bir mozai in üzerinde geli mi tir. Sivas bölgesinde Bu temelin üzerinde Maastrichtiyen (?) -Paleosen ya ta kireçta ları uyumsuz olarak yer alır. Bu birim yukarıya do ru Paleosen bazaltik lavlarına ve Eosen kırıntılı kayalarına geçi gösterir. Alt Miyosen kırıntılı kayaları ve karbonat kayaları daha ya lı birimleri yerel bir uyumsuzlukla üzerler ve üste do ru bazaltik ve karasal kırıntılı ara katkılı playa jipslerine geçer. Pliyo-Kuvaterner ya ta akarsu çökelleri ve Kuvaterner ya taki alüvyonlar ise Miyosen ve daha ya lı birimleri uyumsuz olarak örter (Yılmaz ve Yılmaz, 2006) ( ekil 3.2).

Sivas ehrinin yerle im alanı esas olarak Oligosen sabkha jipsleri, Alt Miyosen ya ta taban konglomerası, denizel kireçta ı ve karasal-denizel kırıntılı kayalar, Orta Miyosen ya ta, kırıntılı ara katkılı playa jips düzeyleri, Pliyosen ya lı kırıntılı akarsu çökelleri ve Kuvaterner ya ta peki memi alüvyonlar olu maktadır.



**ekil 3.2** Sivas Kenti ve yakın çevresinin jeoloji ve mühendislik jeolojisi haritası (Büyüksaraç vd., 2007) (CL-ML-GW-SW: iyi derecelenmiş kum-inorganik silt ve kum-iyi derecelenmiş çakıl ve kum; OSK: Orta derecede sağlam kaya; CL-MH-ML: inorganik kil-silt ve kum; MH-ML: inorganik silt-silt ve kum; ZK-OSK: Zayıf kaya- orta derecede sağlam kaya).

### 3.2.1 Çalı ma Alanına Ait Jeolojik Ana Birimler

Çalı ma alanında 4 ana birim ayırtlanmıştır. Bu birimler ya lıdan gence do ru ; **a.** Miyosen ya lı Karayün Formasyonu Fadlım üyesine ait Jipsler, **b.** Pliyosen ya lı Karatepe Çökellerine ait Konglomera- Kumtaşı, **c.** Eski Alüvyon (Kuvaterner), **d.** Yeni Alüvyon (Kuvaterner) eklindedir (Yılmaz, 1994) ( ekil 3.3).



Gökçe ve Ceyhan (1988)'in yaptıkları mikroskobik incelemelerde jipslerin kalıntı anhidrit kristalleri içeren ikincil jipsler ekinde oldukları saptanmıştır.

Karacan (1989) ise çalıştığı alanını da kapsayan doktora çalışmasında jipsler içerisinde anhidrite rastlanmadığını belirtmektedir.

### **3.2.1.b Konglomera-Kumta ı**

Çoğunlukla Konglomera ve yanısıra Kumta ından oluşan bu birim alanın güneyinde yerleşik alanının en yüksek topoğrafyasını oluşturan, tepeler ve sırtlar boyunca yüzeylenmektedir. Çökeller genel olarak gevrek çimentolu, çapraz tabakalı, polijenik çakıllı konglomeralar ekindeydir. Alt seviyelerde konglomeralar içinde kumta ı ara katkıları, üst seviyelerde ise kumta ı ve siltta ı ara katkıları bulunmaktadır. Kumta ı ve konglomera tabaka kalınlıkları değişken olup, birbirleri ile yanal ve düşey geçilidir. Çakılların tane boyu 1-40 cm arasında değişmektedir. Marnlı üst seviyeler alüvyonların altında gözlenmektedir (Yılmaz, 1994).

Konglomera ve Kumta larında yapılan incelemelerde farklı çökellerden serbestle en çakılların bu çökeller içinde yeniden depolanmış oldukları, ayrıca jipsli, kumta lı ve kireçta lı seviyelerden türemiş yeni çakılların ve kum boyu tanelerinde bile imine katıldıkları gözlenmiştir.

Çökellerde genellikle kırmızı-kahverenkli konglomera-kumta ı hakim olup, kil ve marnın çok az veya hiç olmaması, konglomera-kumta ı tabakalarının değişken olması, yanal devamlılık göstermemesi, çapraz tabakalı olmaları, kumta ı ve konglomeraların birbirine yanal ve düşey geçilimli olmaları, çökeller içerisinde hiçbir fosil olmaması bu çökellerin akarsu ortamında oluştuğunu düşündürmektedir (Yılmaz, 1994).

### **3.2.1.b Alüvyonlar**

Yerleşik alanının zeminlerini oluşturan Alüvyonlar ise yeni alüvyon ve eski alüvyon olmak üzere ayrılmıştır. Alanın kuzeyinde yer alan yeni alüvyon Kızılırmak boyunca ve Kızılırmak güneyinde yaklaşık olarak 200 m mesafeye kadar yüzeylenmektedir. Karatepe çökelleri ile yeni alüvyon arasında kalan bölgede ise eski alüvyon yüzeylenmektedir.

Alüvyonlar yöredeki çeyrekli birimlerden türemiş çakılları ve kum, kil boyu malzemeleri içerirler. Yeni alüvyonu oluşturan malzemeler daha gevrek ve az çimentoludur. Tane

boyları çok ince olup genelde silt, kil ve kum boyutundadır. Yanal ve dü ey süreklilik söz konusu de ildir. Alüvyonlarda sadece birkaç lokasyonda kama ve merceklenmeler gözlenmi tir (Yılmaz, 1994).

### 3.3 Uygulanan Jeofizik Yöntemler

#### 3.3.1 Mikrotremor Yöntemi

Mikrotremor ölçümleri, hareketli mikrotremor donanımı kullanılarak yapılmı tır. Cumhuriyet Üniversite'sinde varolan GURALP CMG-6TD marka üç bile enli hız sismometresi ve ekipmanı ile yapılmı tır. Sismometrenin do al periyodu 1 saniyedir. Kullanılan ölçüm düzene i, sinyal yükselticiler, 24 bit A/D çevirici, bir diz üstü bilgisayar ve kayıt ünitesinden olu maktadır ( ekil 3.4). Ekipman içerisinde bulunan 24 bitlik bir analog-dijital çevirici (A/D converter) analog elektrik sinyallerini, dijital sinyallere dönü türmekte ve hafızasında depolamaktadır. A/D çeviricinin en büyük örnekleme hızı 2 kHz'dir. Ancak, mikrotremor ölçümlerinde 100 Hz'lik örnekleme hızı kullanılmı tır. Kayıtçı olarak bir dizüstü bilgisayar kullanılmı tır. Kayıt uzunlukları 10-30 dakika arasında de i mektedir. Ölçümler tatil günlerinde gerçekleştirilmi tir.



**ekil 3.4** Guralp CMG-6TD mikrotremor cihazı, ekipmanlar ve çalı ma alanından bir görüntü

Alan 1 Jeoloji ve Maden Mühendisli inin yer aldı ı binaları ve oturdu u zemini kapsamaktadır. Jeoloji Mühendisli i Bölümünün yer aldı ı binada her katta 3 ölçü alınarak bu ölçülerin aritmetik ortalaması kullanılmı ve o katı temsil eden periyot

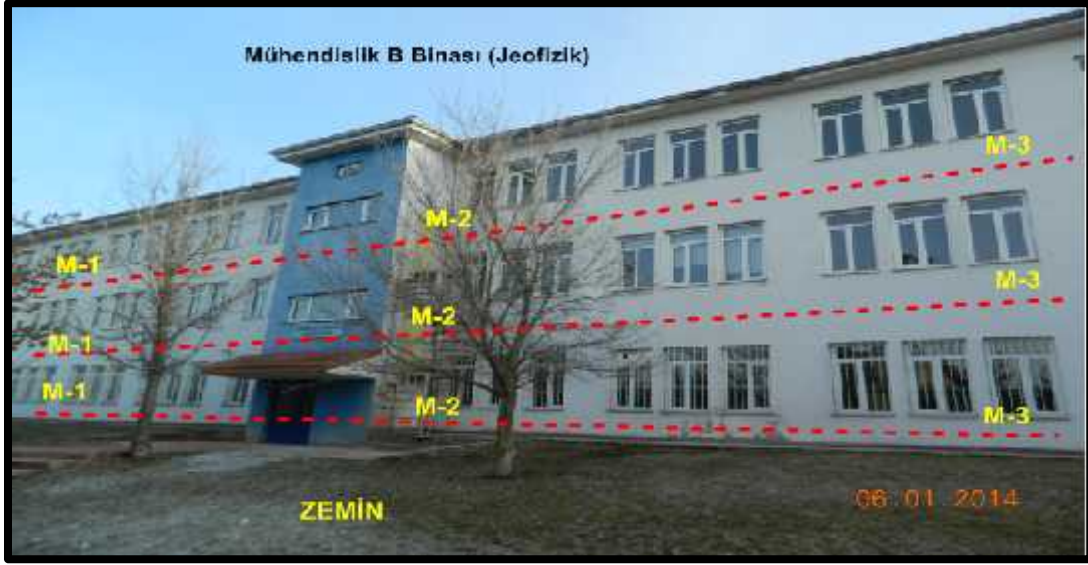
de eri hesaplanmı tır. Toplam 9 adet ölçü alınmı tır. Maden Mühendisli i Bölümünde ise aynı ekilde 9 adet ölçü alınmı tır. Ayrıca bu iki binayı birbirine ba layan koridorlarda her katta 2 adet olmak üzere 6 adet ölçü alınmı tır. Her iki binanın oturdu u zeminde ise bir adet ölçü alınmı tır ( ekil 3.5).



**ekil 3.5** Alan 1 Mikrotremor ölçü noktaları

2. Alan Jeofizik Mühendisli i Bölümünün yer aldığı binayı ve bu binanın oturdu u zemini kapsamaktadır. Diğer binalarda olduğu gibi her katı temsil edecek ekilde her katta 3 adet ölçü alınıp bu ölçülerden elde edilen periyot de erlerinin aritmetik ortalaması kullanılmı tır. Binanın oturdu u zeminde ise 1 adet ölçü alınmı tır ( ekil 3.6).

Alan 3 n aat Mühendisli i ve Elektrik-Elektronik Mühendisli i Bölümünün bulunduğu bina ve bu binanın oturdu u zemini kapsamaktadır. Diğer binalarda olduğu gibi her katı temsil edecek ekilde her katta 3 adet ölçü alınıp bu ölçülerden elde edilen periyot de erlerinin aritmetik ortalaması kullanılmı tır. Binanın oturdu u zeminde ise 1 adet ölçü alınmı tır ( ekil 3.7).



ekil 3.6 Alan 2 Mikrotremor ölçü noktaları



ekil 3.7 Alan 3 Mikrotremor ölçü noktaları

### 3.3.2 Sismik Yöntemler

1, 2 ve 3. alanda binaların oturduğu zeminlerde 1'er adet ölçüm yapılmıştır. Ölçümler KD-GB doğrultusundadır. Jeofon aralıkları 3 m ve offset mesafeleri düz ve ters atımlar için sırasıyla 3 ve 6 metre olarak alınmıştır ( ekil 3.8).

Çalı ma alanında MASW yöntemi için veri toplama i lemi Geometrics marka 12 kanallı sismograf, 4.5 Hz dü ey alıcılar (jeofonlar) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. MASW yöntemi için 0.5 msn örnekleme aralığı nda ve 0.512-1.00 s arasında kayıt uzunluğu seçilerek 2 kez yığı lı yapılarak veri alınmıştır. Sismik kaynak olarak ise 8 kg a ırlı nda balyoz kullanılmıştır ( ekil 3.9). 1, 2 ve 3. alanda binaların oturduğu zeminlerde birer adet ReMi ölçümü yapılmıştır. Ölçümler KD-GB do rultuludur ( ekil 3.10). Çalı ma alanında MASW yöntemi için veri toplama i lemi Geometrics marka 12 kanallı sismograf, 4.5 Hz dü ey alıcılar (jeofonlar) kullanılarak gerçekleştirilmiştir ( ekil 3.11). ReMi yöntemi için her alanda bir profil boyunca 20 saniyelik 20 adet ölçü alınmıştır. Arazinin durumu göz önüne alınarak 1 ve 2. alan için jeofon aralıkları 6 m, 3. alan için ise 5 m olacak şekilde ölçümler gerçekleştirilmiştir. Alınan ölçümler sonrasında veriler Geometrics firmasının Seisimager yazılımı içerisinde ki 1-D PickWin / Surface Wave Analysis yazılımları kullanılarak 1B olarak modellenmiştir. Sismik profillere ait sismik izler, zaman-uzaklık grafikleri ve yer altı hız kesitleri Ek 1’de verilmiştir.



**ekil 3.8** 1,2 ve 3. alan MASW Ölçü Profilleri Krokisi



ekil 3.9 Geometrics Smart Seis 12 cihazı ve çalı ma alanından bir görüntü(MASW)



ekil 3.10 1,2 ve 3. alan ReMi Ölçü Profilleri Krokisi



ekil 3.11 Geometrics Smart Seis 12 cihazı ve çalı ma alanından bir görüntü (ReMi)

### 3.3.3 Yer Radarı (GPR) Yöntemi

1. alanda 130 metre uzunluğunda 2. ve 3. alanda 80 metre uzunluğunda bir profil boyunca radar ölçüleri gerçekleştirilmiştir (ekil 3.12). Alınan yer radarı ölçümleri MALA-RAMAC model cihaz ile gerçekleştirilmiştir. Hedef aratırma derinliğine bağlı olarak 100 MHz korumalı (shielded) anten kullanılmıştır (ekil 3.13).



ekil 3.12 1,2 ve 3. alan GPR Ölçü Profilleri Krokisi

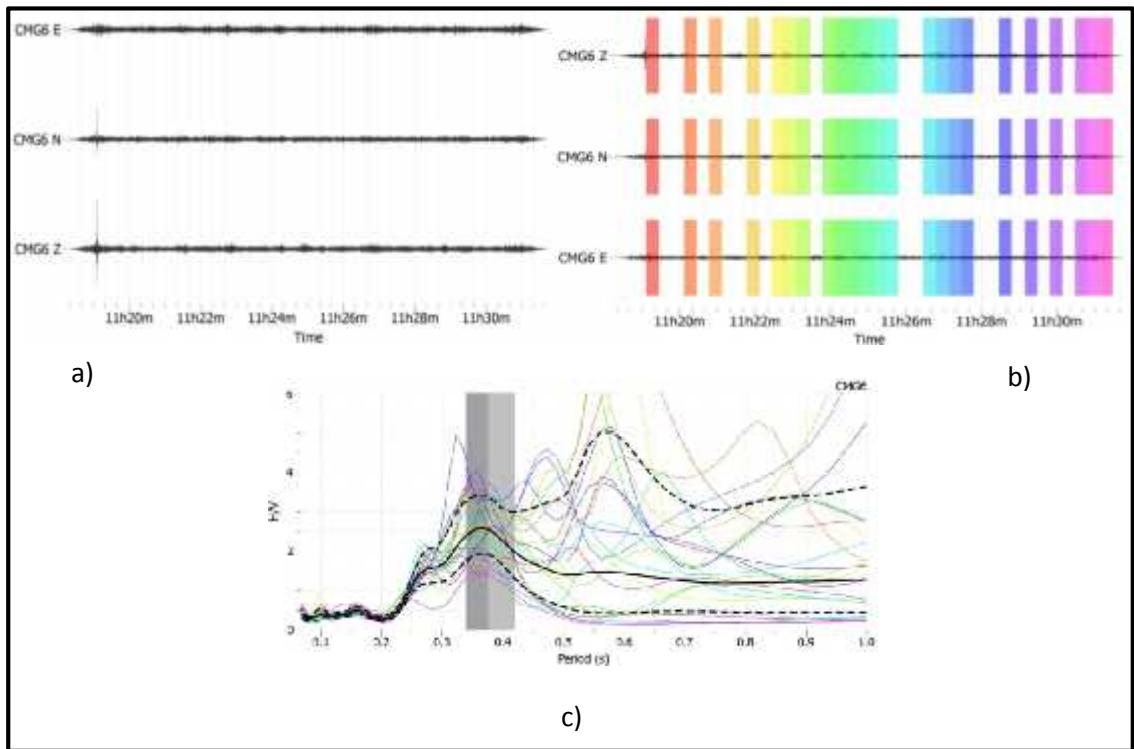


ekil 3.13 Mala-Ramac 100 MHz kapalı (shielded) anten cihazı ve çalıştırma alanından bir görüntü

## 4. ARAZ VERİLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

### 4.1 Mikrotremör Verilerinin Değerlendirilmesi

Alınan kayıtların analiz aşaması; Gcf uzantılı üç bileşenli mikrotremör kayıtlarının 3 bileşeni aynı anda Geopsy yazılımında açılarak değerlendirilmeye başlanmıştır. Değerlendirme aşamasında öncelikle kayıtlar bastırılarak genliklerin aritmetik ortalaması alınmıştır, daha sonra 0.50 Hz - 30 Hz arası Bant-geçirli (Pass) 4. dereceden Butterworth filtresi uygulanarak veri gürültülerden ayıklanmıştır. Daha sonra elde edilen verideki pik sinyalleri yumuşatmak için %5 oranda törpüleme işlemi uygulanarak filtreleme işlemi tamamlanmıştır. Elde edilen filtrelenmiş kayıtlar değerlendirilmeye alınırken 15 s - 20 s arasında pencereler seçilerek, seçilen pencerelerdeki kısma 0.5 Hz - 1.5 Hz arasında yüksek geçirli (high-pass) Butterworth filtresi uygulanmıştır. Mikrotremör kayıtları yukarıdaki işlemlerden geçirilerek değerlendirilmeye hazır hale getirildikten sonra Nakamura Spektral Oran Tekniği (QTS) verilere uygulanarak maksimum büyütme ve hakim periyot değerleri elde edilmiştir (ekil 4.1). Kayıtların değerlendirilmesi sonucu elde edilen baskın periyot ve frekans grafiği ve kayıttan değerlendirilmeye alınan 15-20 s'lik pencereler Ek 2'de verilmiştir.



**ekil 4.1** Araziden elde edilen Ham Veri (a), Süzgeçlenmiş Veri (b) ve Büyütme Periyot Grafiği (c)

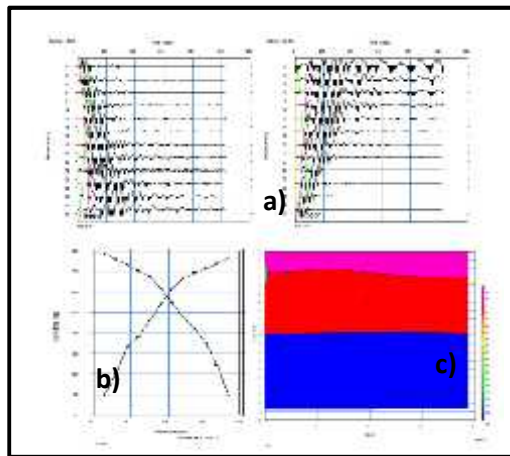
## 4.2 Sismik Yöntemlerden Elde Edilen Verilerin De erlendirilmesi

Alınan kayıtların analizi için öncelikle Geometrics firmasının Seisimager yazılımı içerisinde bulunan Pickwin programı kullanılarak MASW yönteminden elde edilen ters ve düz atı lar için sismik kırılma teorisi kullanılarak ilk varı hızları tespit edilmi tir. Daha sonra elde edilen ilk varı hızları kullanılarak yine Seisimager yazılımı içerisinde bulunan Plotrefra programı ile P dalgası için 3 tabakalı yer altı modeli olu turulmu ve tabakaların P hızları hesaplanmı tir ( ekil 4.2). Surface Wave Analysis programı kullanılarak yüzey dalgası için dispersiyon e risi belirlenerek 1 boyutlu yeraltı Vs dü ey hız kesiti elde edilmi tir ( ekil 4.3).

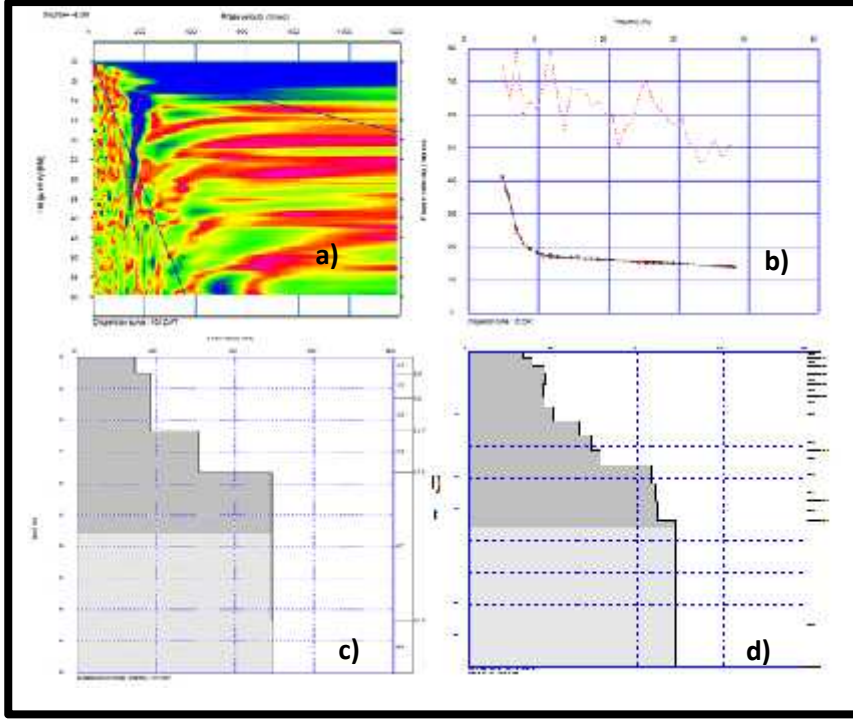
ReMi yöntemi için ise Surface Wave Analysis programı kullanılarak öncelikle dispersiyon e risi belirlenerek ve elde edilen dispersiyon e risi kullanılarak 1 boyutlu yeraltı Vs dü ey hız kesiti elde edilmi tir ( ekil 4.4). Bu iki yöntemin kar ıla tırılması Çizelge 4.1'de verilmi tir.

**Çizelge 4.1** Arazi Çalı masında kullanılan parametrelerin kar ıla tırılması

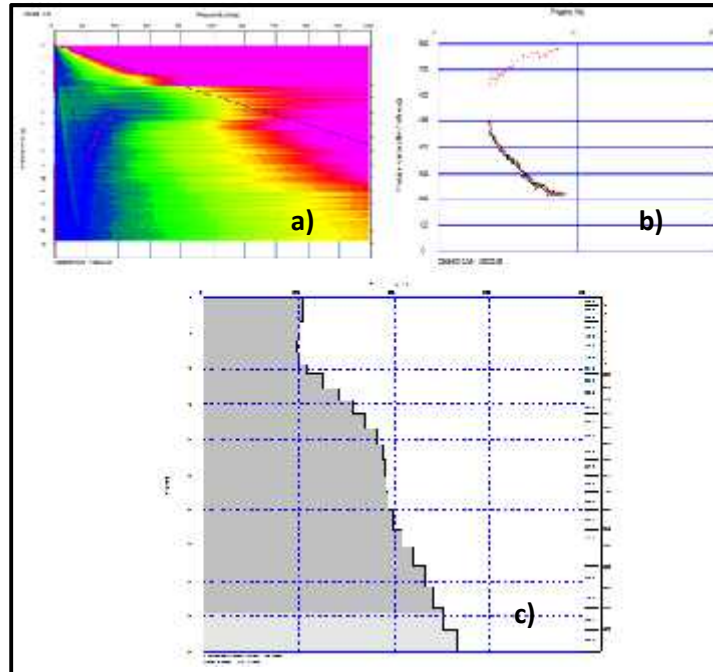
| Yöntem            | MASW          | REM          |
|-------------------|---------------|--------------|
| Kanal Sayısı      | 12            | 12           |
| Jeofon Aralı ı    | 3             | 5-6          |
| Örnekleme Aralı ı | 0,5 ms        | 2 ms         |
| Kayıt Uzunlu u    | 2048 ms       | 20 sn        |
| Alıcı             | 4.5 Hz Dü ey  | 4.5 Hz Dü ey |
| Kaynak            | Balyoz (8 kg) | Do al        |
| Ofset Mesafesi    | 3-6           | -----        |



**ekil 4.2** P Dalgası sismik izleri(a), hız-zaman grafi i(b) ve yer altı kesiti(c)



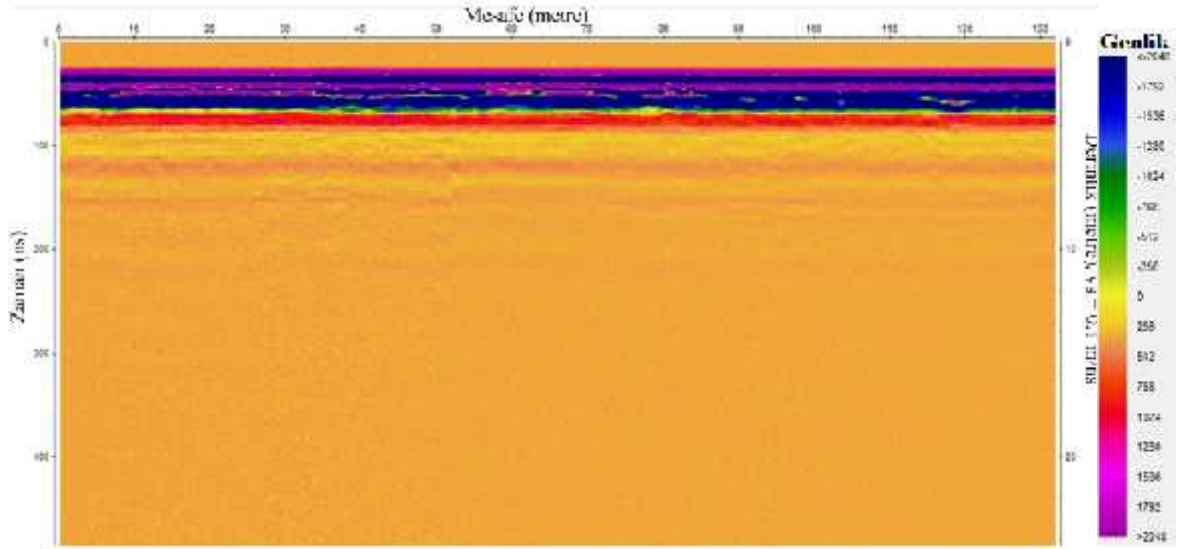
ekil 4.3 MASW Dispersiyon Pikleri (a), Dispersiyon E risi (b), Vs Hız Kesiti (c), Ayrıntılı Vs Dö ey Hız Kesiti (d)



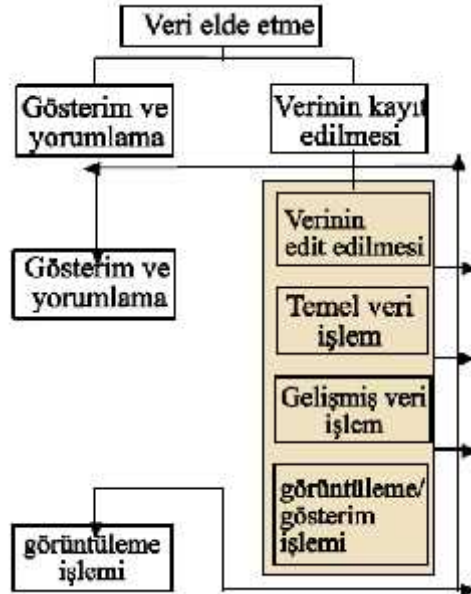
ekil 4.4 Remi Dispersiyon Pikleri (a), Dispersiyon E risi (b), Ayrıntılı Vs Dö ey Hız Kesiti (c)

### 4.3 Yer Radarı (GPR) Yöntemi

Yer Radarı (GPR) ham kesitleri ile yeraltının yorumunu yapmak bir hayli zordur ( ekil 4.5). Bundan ötürü ham veriler; yoruma hazır hale getirilinceye kadar amaca yönelik olarak bazı veri i lem a amalarından geçirilmektedir. Bir verinin akı ı ması Annan (2001) tarafından verilmi tir ( ekil 4.6).



ekil 4.5 çalı ma alanından elde edilen bir ham veri

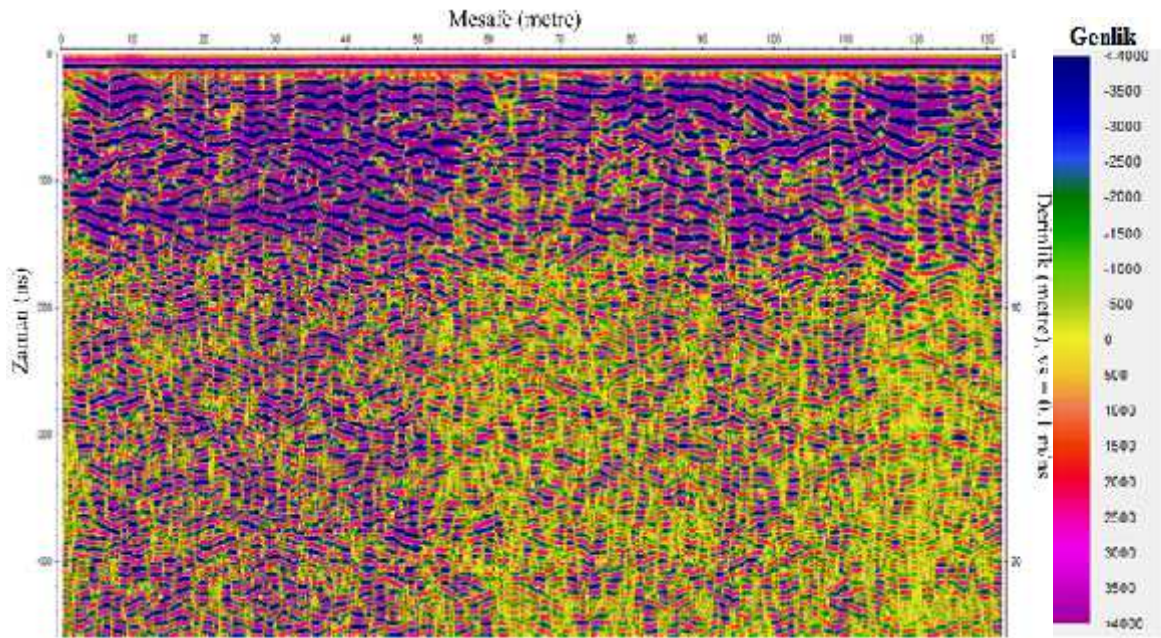


ekil 4.6 Yer radarı verisi akı ı ması (Annan, 2001).

Veri düzenleme i lemleri Reflexw 6.0 programıyla yapılarak 2B görüntüler elde edilmiştir ( ekil 4.7).

Uygulanan veri i lem a amaları sırasıyla;

- Profil yönlerini düzenleme
- Çok alçak frekanslı olayların kaldırılması (Dewow i lemi)
- Band geçi li Butterworth süzgeç fonksiyonu ile gürültü olarak görülen alçak ve yüksek frekanslı olayların kaldırılması
- Genlik kazanç i lemi
- Verideki ortak genlik bilgisinin kaldırılması (background removal) i lemi
- Gerekti inde veriye ikinci kez band aralı ı belirleyerek süzgeçleme yapılması ile hız belirleme
- Saçılmış genlikleri düzenleme amaçlı "diffraction stack" göç i lemi uygulanmıştır.



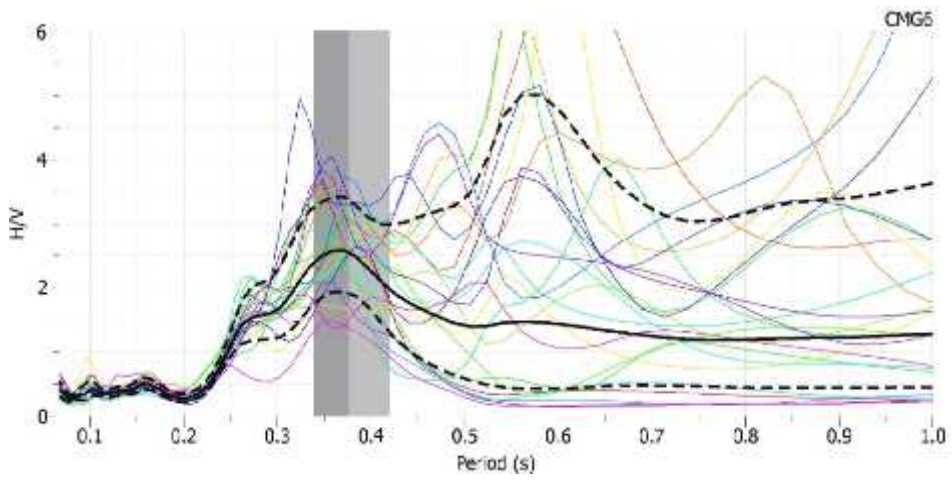
ekil 4.7 Arazi verisinin veri i lem uygulanmış hali

## 5. BULGULAR

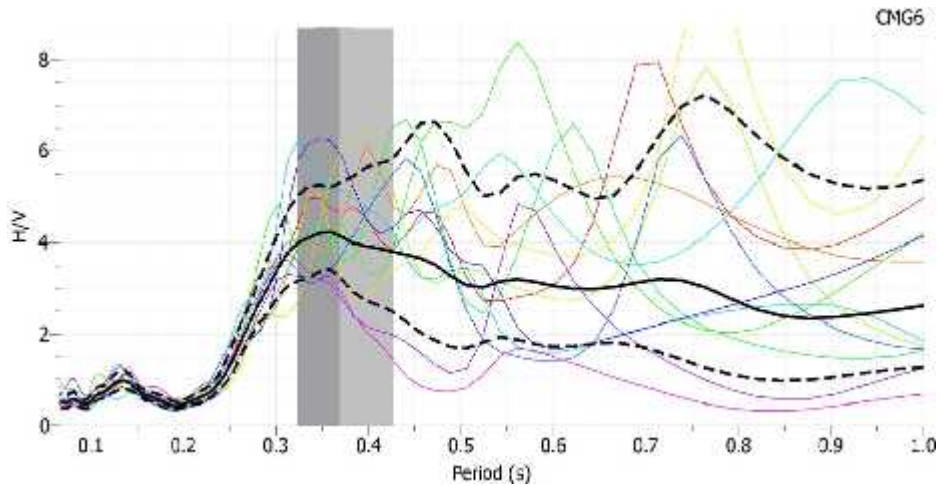
### 5.1 Alan 1

#### 5.1.1 Mikrotremor Verilerinin De erlendirilmesi

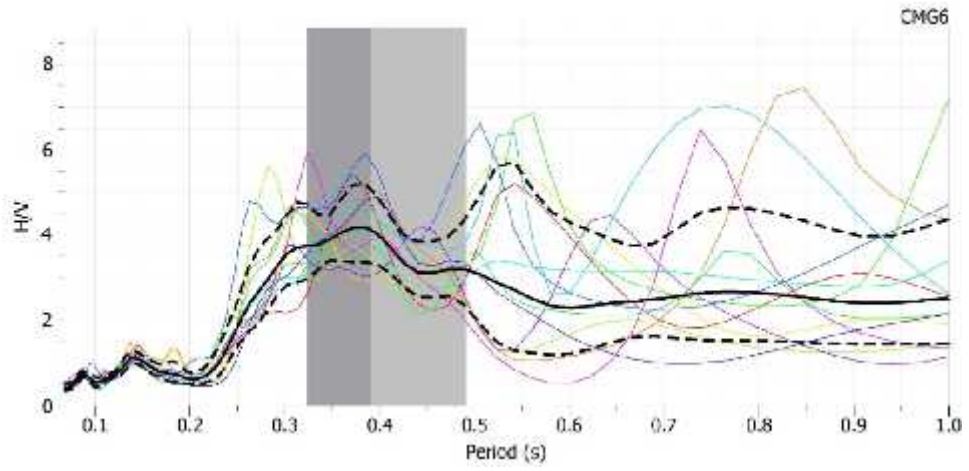
Alınan ölçümlere bölüm 4.1’de anlatılan veri i lem adımları uygulanarak her kat ve binanın oturdu u zemin için 15-20 s’lik pencereler kullanılarak baskın periyot ve frekans de erleri elde edilmiştir ( ekil 5.1). Elde edilen baskın periyot-frekans de erleri Çizelge 5.1’de verilmiştir.



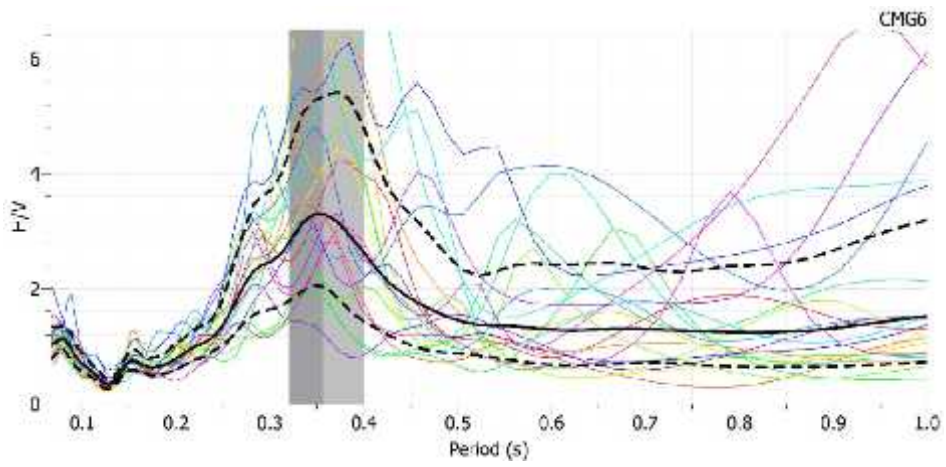
a)



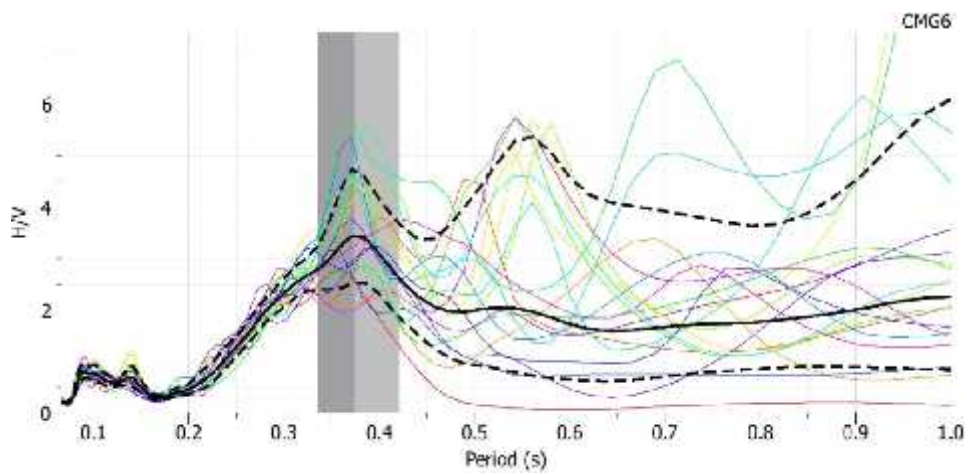
b)



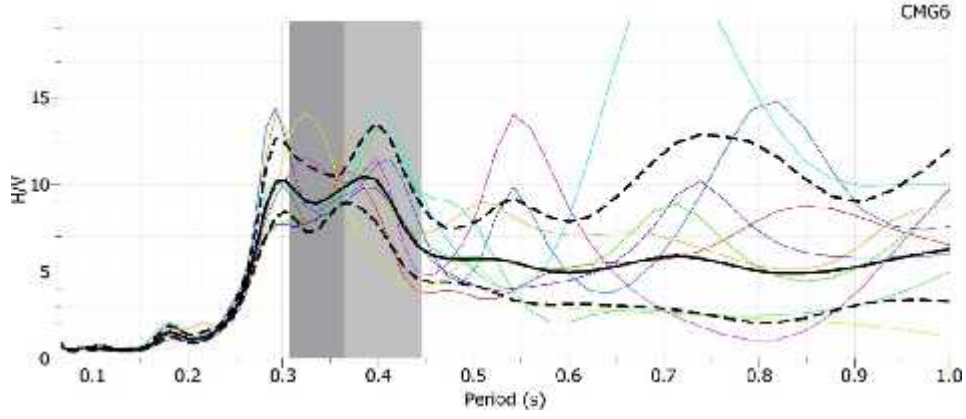
c)



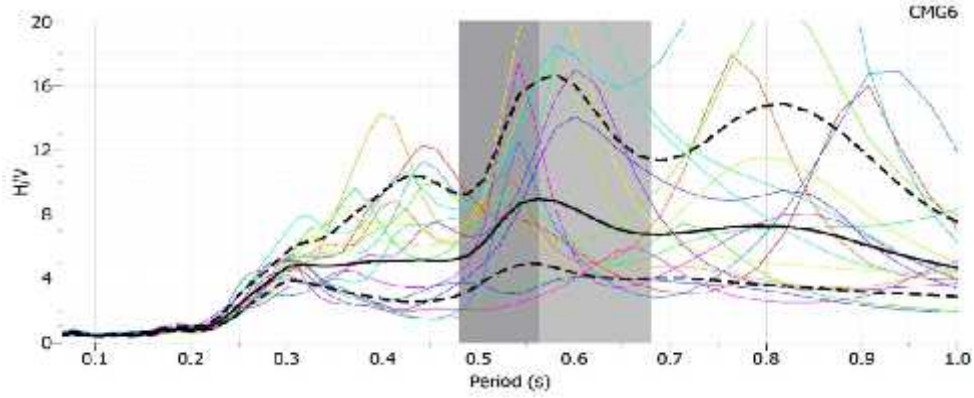
d)



e)



f)



g)

**ekil 5.1** a) Alan 1 Jeoloji binası kat-1 büyütme-periyot grafi i. b) Alan 1 Jeoloji binası kat-2 büyütme-periyot grafi i. c) Alan 1 Jeoloji binası kat-3 büyütme-periyot grafi i. d) Alan 1 Maden binası kat-1 büyütme-periyot grafi i. e) Alan 1 Maden binası kat-2 büyütme-periyot grafi i. f) Alan 1 Maden binası kat-2 büyütme-periyot grafi i. g) Alan 1 Zemini büyütme-periyot grafi i

**Çizelge 5.1** Alan 1 için elde edilen baskın frekans-periyot değerleri

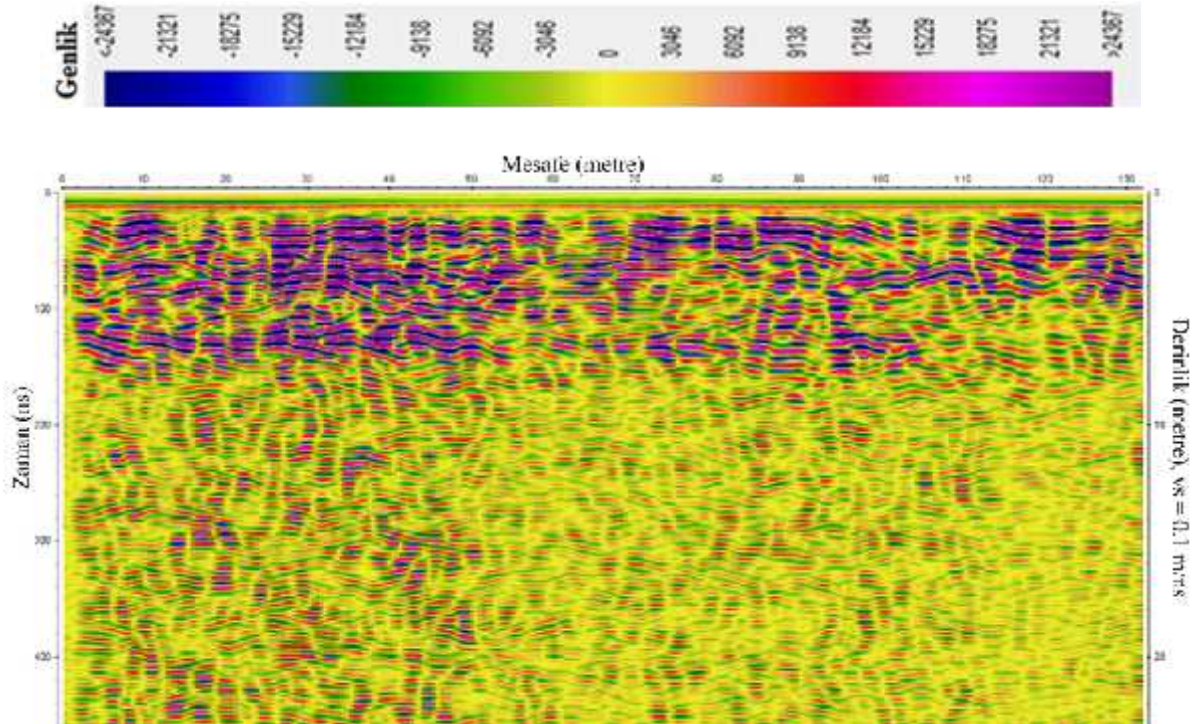
| Bina Adı              | Ortalama Periyot | Ölçü No | Baskın Periyot | Baskın Frekans |
|-----------------------|------------------|---------|----------------|----------------|
| A Binası<br>(Jeoloji) | 0.35             | Kat-1-1 | 0.34           | 2.94           |
|                       |                  | Kat-1-2 | 0.35           | 2.86           |
|                       |                  | Kat-1-3 | 0.36           | 2.78           |
|                       | 0.36             | Kat-2-1 | 0.35           | 2.86           |
|                       |                  | Kat-2-2 | 0.37           | 2.70           |
|                       |                  | Kat-2-3 | 0.36           | 2.78           |
|                       | 0.38             | Kat-3-1 | 0.35           | 2.86           |
|                       |                  | Kat-3-2 | 0.38           | 2.63           |

**Çizelge 5.1** (devam)

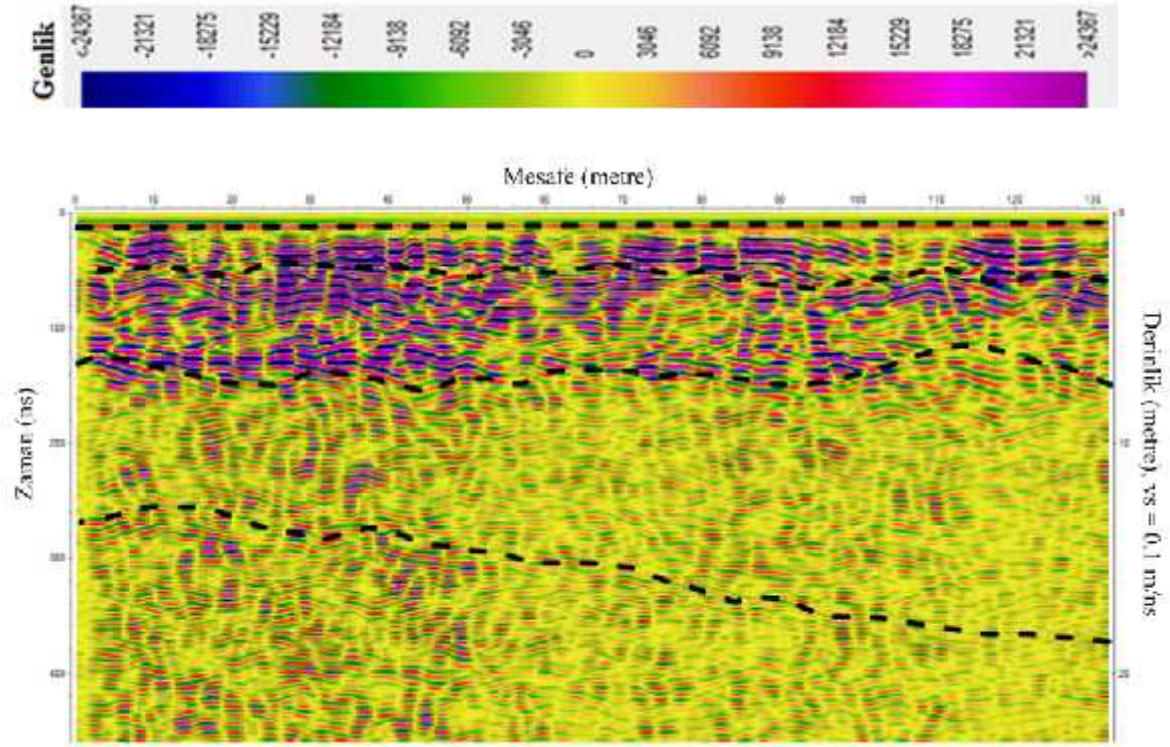
|                             |             |             |             |      |
|-----------------------------|-------------|-------------|-------------|------|
|                             |             | Kat-3-3     | 0.42        | 2.38 |
| <b>A Binası<br/>(Maden)</b> | <b>0.35</b> | Kat-1-1     | 0.34        | 2.94 |
|                             |             | Kat-1-2     | 0.35        | 2.86 |
|                             |             | Kat-1-3     | 0.29        | 3.45 |
|                             |             | Kat-1-yan-1 | 0.40        | 2.50 |
|                             |             | Kat-1-yan-2 | 0.35        | 2.86 |
|                             | <b>0.37</b> | Kat-2-1     | 0.37        | 2.70 |
|                             |             | Kat-2-2     | 0.40        | 2.50 |
|                             |             | Kat-2-3     | 0.40        | 2.50 |
|                             |             | Kat-2-yan-1 | 0.38        | 2.63 |
|                             |             | Kat-2-yan-2 | 0.31        | 3.23 |
|                             | <b>0.38</b> | Kat-3-1     | 0.40        | 2.50 |
|                             |             | Kat-3-2     | 0.40        | 2.50 |
|                             |             | Kat-3-3     | 0.36        | 2.78 |
|                             |             | Kat-3-yan-1 | 0.38        | 2.63 |
|                             |             | Kat-3-yan-2 | 0.36        | 2.78 |
| <b>A Bina Zemini</b>        | <b>0.56</b> | Zemin       | <b>0.56</b> | 1.78 |

### 5.1.2 Yer Radarı Verilerinin De erlendirilmesi

Alınan ölçümlere bölüm 4.3.'de anlatılan veri i lem adımları uygulanarak tabaka kalınlıklarının ve sınırlarının belirlenmesine çalı ılmı tır ( ekil 5.2). Elde edilen tabaka kalınlıkları Çizelge 5.2'de verilmi tir.



a)



b)

ekil 5.2 a) Alan 1 yorumlanmamı GPR kesiti, b) Alan 1 yorumlanmı GPR kesiti

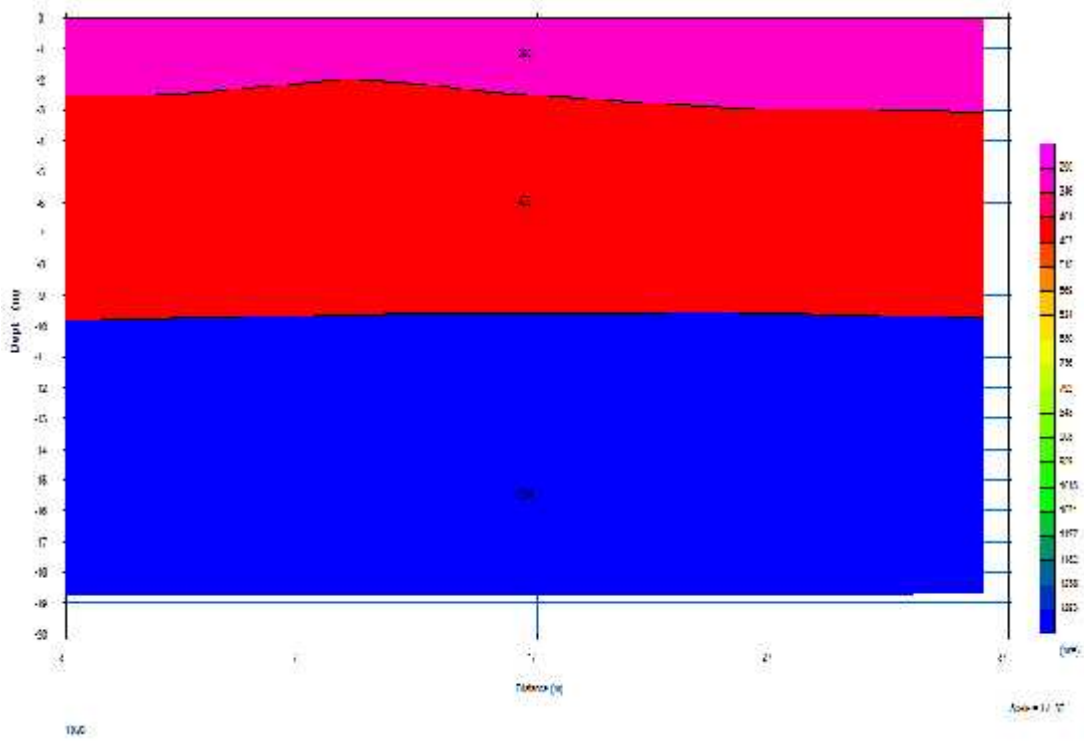
Çizelge 5.2 .Alan 1 için GPR kesitlerinin de erlendirme sonuçları

| Profil No | Bitkisel Toprak | 1.Tabaka | 2. Tabaka | 3. Tabaka |
|-----------|-----------------|----------|-----------|-----------|
| 1         | 0.50 m          | 2.50 m   | 8.00 m    | 18.50 m   |

### 5.1.3 Sismik Verilerin De erlendirilmesi

#### 5.1.3.1 MASW Verilerinin De erlendirilmesi

Alınan ölçümlere bölüm 4.2’de anlatılan veri i lem adımları uygulanmı ve sismik kırılma teorisi kullanılarak ilk varı hızlarından tabakaların Boyuna Dalga Hızları (P) belirlenmi tir ( ekil 5.3). Ayrıca elde edilen dispersiyon e rilerinden her alan için yeraltının 1 boyutlu Vs kayma dalgası hız kesitleri elde edilmi tir ( ekil 5.4). Elde edilen P Dalga hızları Çizelge 5.3’de belirtilmi tir.

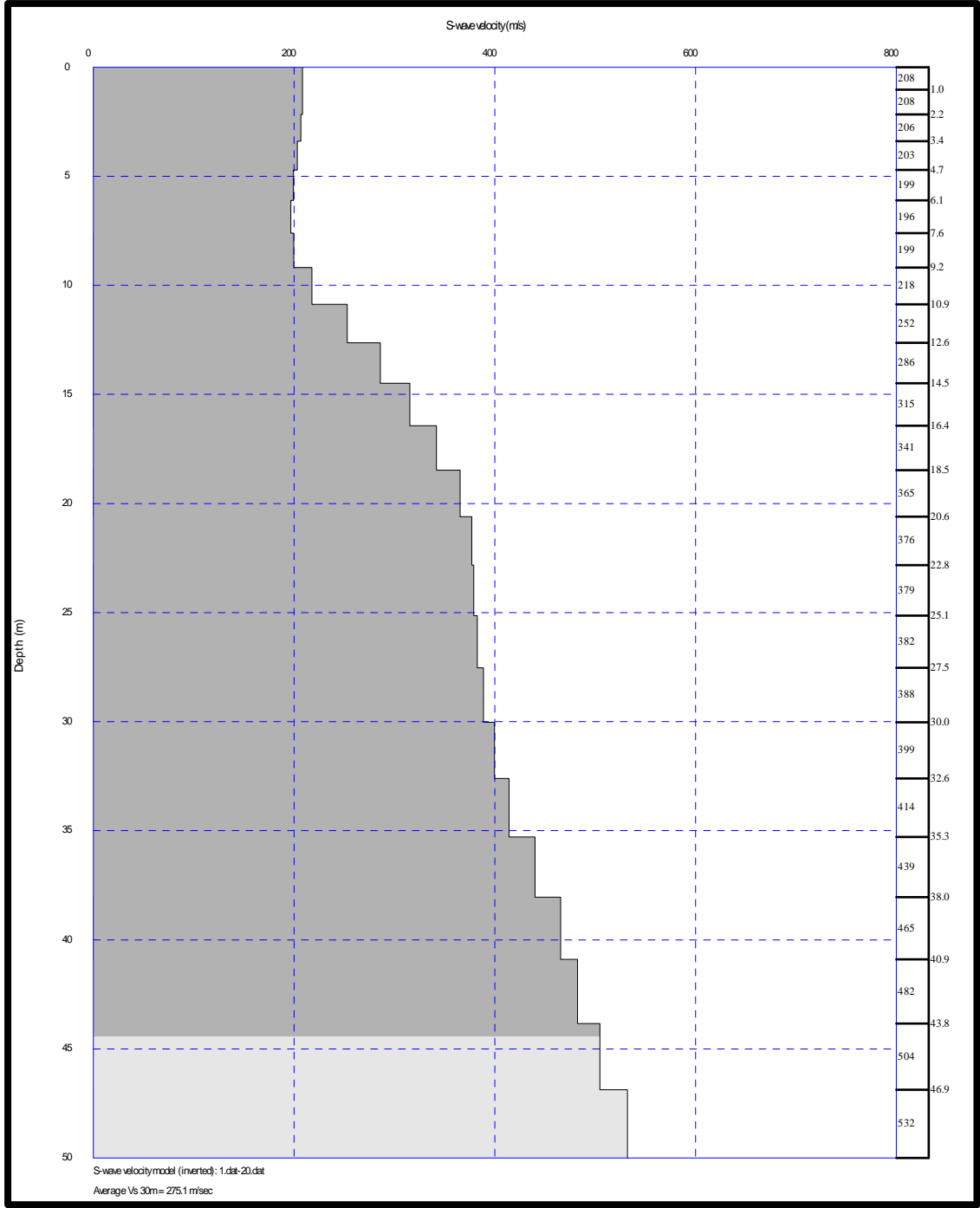


**ekil 5.3** Alan 1 için elde edilen tabakaların P dalga hızları

**Çizelge 5.3** Alan 1 için tabakaların P dalga hızı değerleri

| <b>Profil No</b> | <b>1. Tabaka</b> | <b>2. Tabaka</b> | <b>3. Tabaka</b> |
|------------------|------------------|------------------|------------------|
| 1                | 290 m/s          | 436 m/s          | 1294 m/s         |



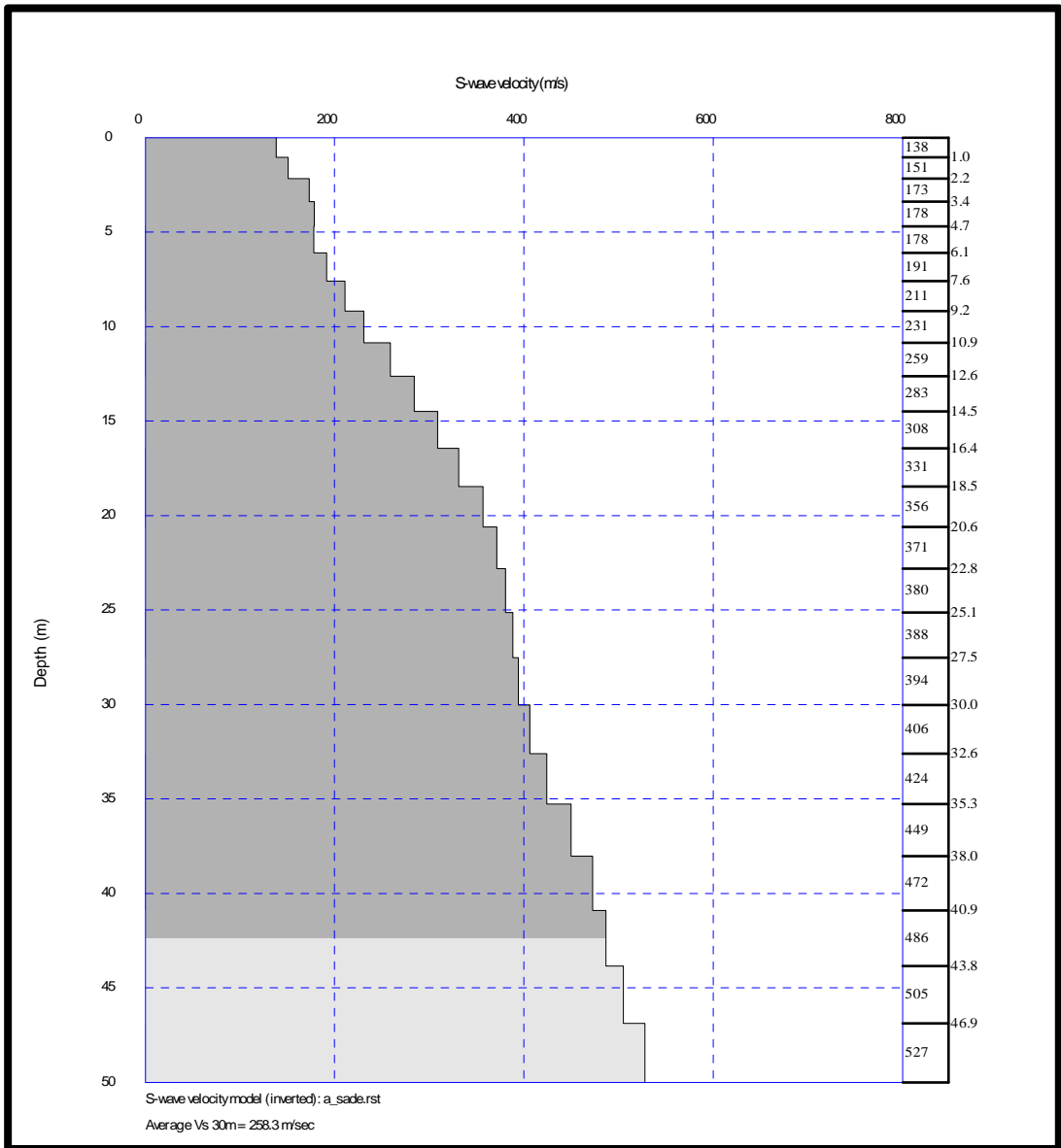


**ekil 5.5** Alan 1 için ReMi yönteminden elde edilen Vs dü ey hız kesiti

### 5.1.3.3 Birle tirilmi MASW-ReMi Verilerinin De erlendirilmesi

Stephenson vd. (2005) ve Kanbur vd. (2011) MASW ve ReMi yöntemlerinin birlikte kullanılmasının sonuçların güvenilirliğini artıracak ve dolayısıyla bu tekniklerin birlikte kullanılmasının yararına iaret etmektedirler. Bu çalı manın sonuçları bu

ara tırcıların önerilerini desteklemektedir. Sonuçlar MASW yönteminin ayrımlılığının daha yüksek fakat ReMi yönteminin de daha derinlerden bilgi elde etmek için hızlı, kolay ve uygulanabilir olduğunu göstermektedir. Dolayısıyla daha derinlerden bilgi alınması gerektiği durumlarda ReMi tekniyi tamamlayıcı yöntem olarak da kullanılabilir. MASW ve ReMi yöntemlerine bölüm 4.2’de anlatılan veri ile ilgili amaçları ayrı ayrı uygulandıktan sonra bu iki yöntem birleştirilerek yeraltının daha detaylı analizinin yapılması amaçlanmıştır (ekil 5.6). Bu iki yöntemin birlikte değerlendirilmesi analiz yaparken hata-gürültü oranının en aza indirilmesine ve daha sağlıklı sonuçlar elde edilmesine olanak sağlayacaktır.



ekil 5.6 Alan 1 için MASW+ReMi yönteminden elde edilen ayrıntılı Vs düzey hız kesiti

Bu iki yöntem birarada kullanılarak elde edilen Vs30 hız de erinin hata oranı daha az olmaktadır. MASW yönteminden elde edilen zemin elastik parametreleri Çizelge 5.4’de verilmi tir.

**Çizelge 5.4** Alan 1 için elde edilen elastik parametreler.Vs30 hız de eri MASW+ReMi’den elde edilmi tir.

| SER M<br>NO | Tbk. | V <sub>p</sub><br>(m/s) | V <sub>s</sub><br>(m/s) | h<br>(m) | Vs30 | V <sub>p</sub> /V <sub>s</sub> | ...1<br>(gr/cm <sup>3</sup> ) | G <sub>max</sub><br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | E <sub>d</sub><br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | €1   | q <sub>u</sub><br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | K<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) |
|-------------|------|-------------------------|-------------------------|----------|------|--------------------------------|-------------------------------|---|---|------|---|----------------------------|
| Mw-1        | 1    | 290                     | 145                     | 3        | 258  | 2.00                           | 1.3                           | 269                                       | 716                                     | 0.33 | 1.2                                     | 716                        |
|             | 2    | 436                     | 183                     | 8        |      | 2.38                           | 1.4                           | 474                                       | 1320                                    | 0.39 | 2.0                                     | 2057                       |
|             | 3    | 1294                    | 305                     | -        |      | 4.24                           | 1.9                           | 1727                                      | 5079                                    | 0.47 | 6.4                                     | 28782                      |

V<sub>p</sub> : Boyuna Dalga Hızı

V<sub>s</sub> : Enine Dalga Hızı

h : Tabaka Kalınlı ı

V<sub>s</sub><sup>30</sup> : İlk 30 metre için elde edilen ortalama Vs kayma dalga hızı

: Tabaka Yo unlu u

G<sub>max</sub>: Kayma (Shear) modülü

E<sub>d</sub> : Elastisite modülü

v : Poisson oranı

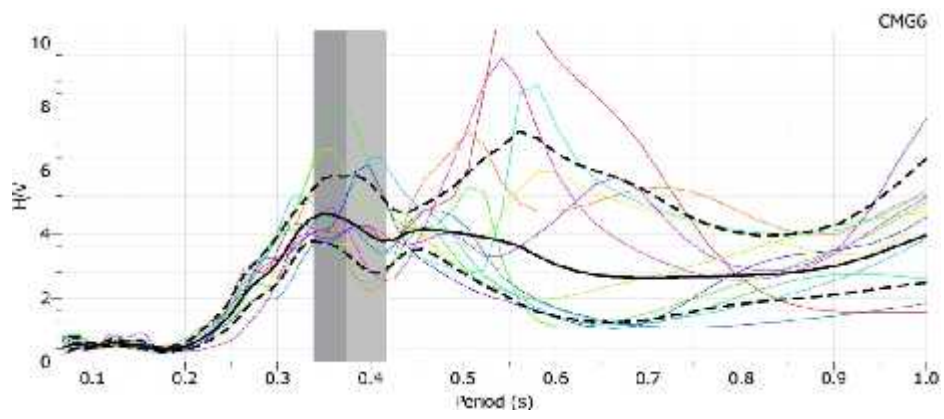
Q<sub>u</sub> : Ta ıma gücü

K : Yataklanma katsayısı

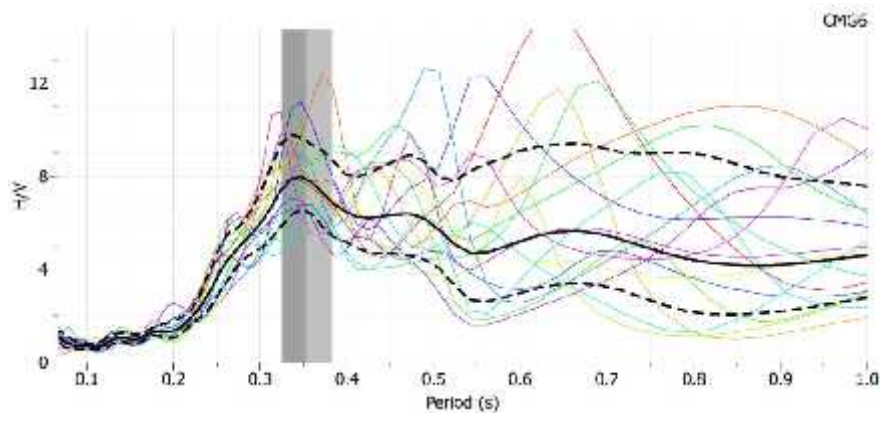
## 5.2. Alan 2

### 5.2.1 Mikrotremor Verilerinin De erlendirilmesi

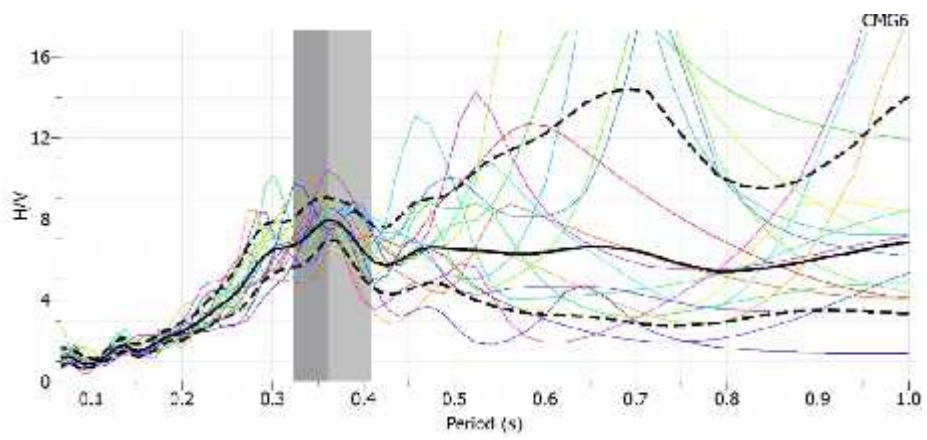
Alınan ölçümlere bölüm 4.1.’de anlatılan veri i lem adımları uygulanarak her kat ve binanın oturdu u zemin için 15-20 s’lik pencereler kullanılarak baskın periyot ve frekans de erleri elde edilmi tir.Bulunan baskın periyot-frekans de erleri Çizelge 5.6’da verilmi tir.



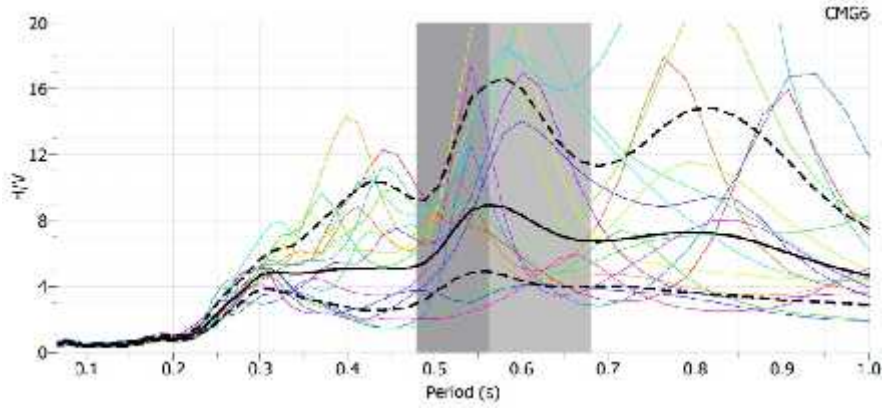
a)



b)



c)



d)

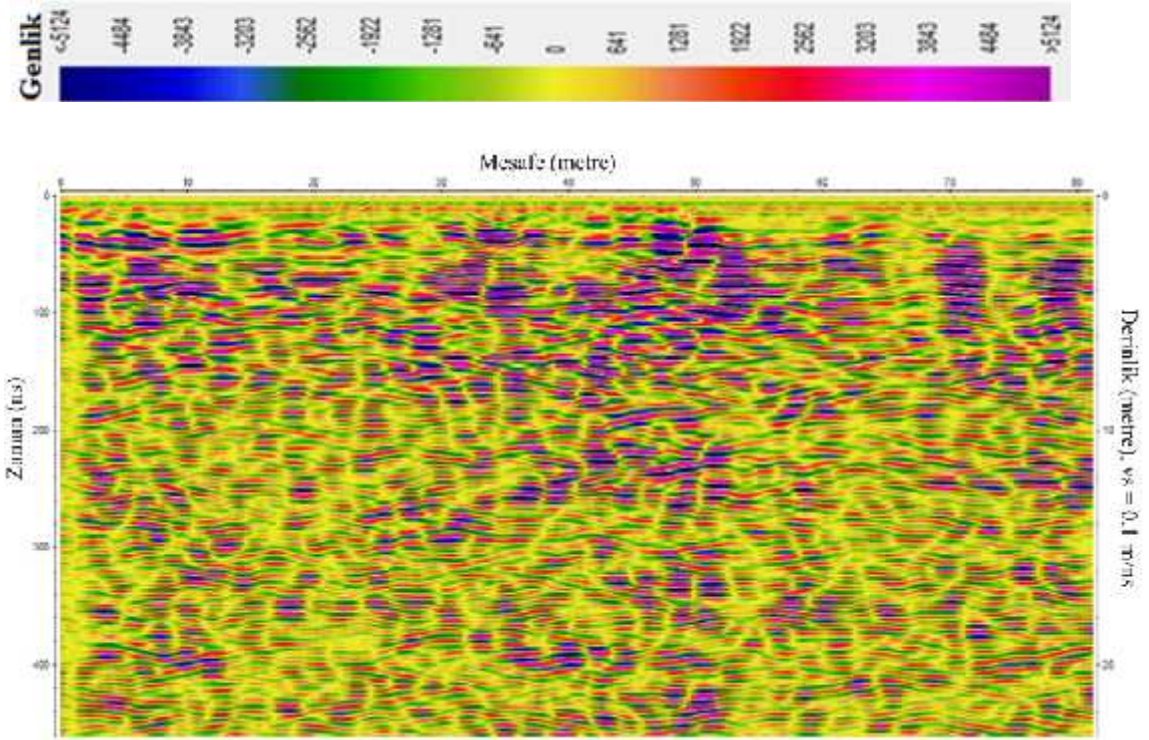
**ekil 5.7** a) Alan 2 Jeofizik binası kat-1 büyütme-periyot grafi i. b) Alan 2 Jeofizik binası kat-2 büyütme-periyot grafi i. c) Alan 2 Jeofizik binası kat-3 büyütme-periyot grafi i. d) Alan 2 Zemin büyütme-periyot grafi i

**Çizelge 5.5** Alan 2 için elde edilen baskın frekans-periyot değerleri

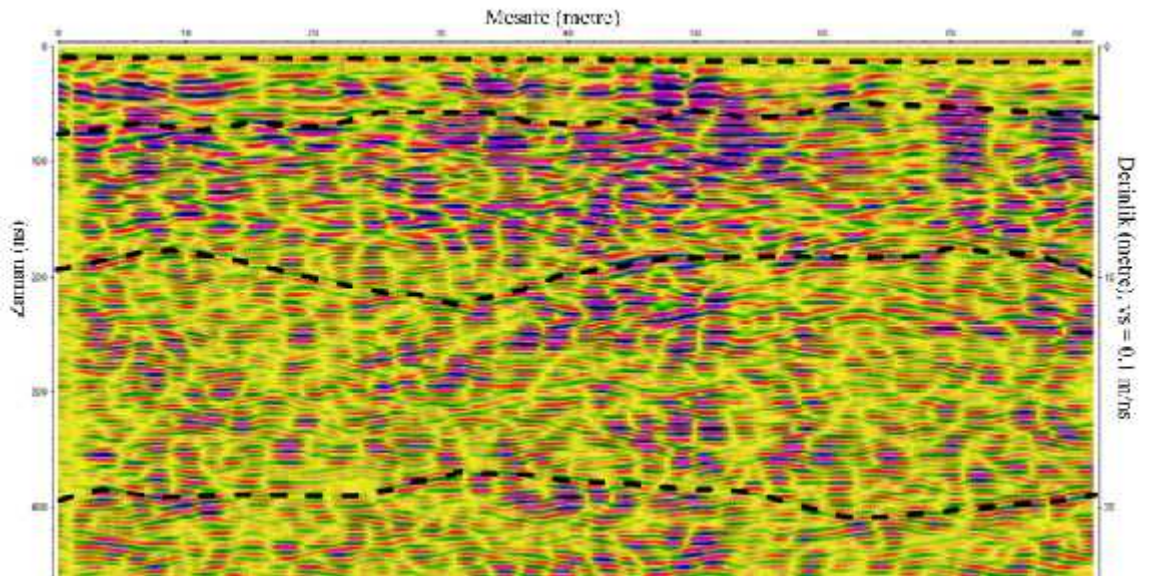
| Bina Adı      | Ortalama Periyot | Ölçü No | Baskın Periyot | Baskın Frekans |
|---------------|------------------|---------|----------------|----------------|
| B Binası      | 0.35             | Kat-1-1 | 0.34           | 2.94           |
|               |                  | Kat-1-2 | 0.35           | 2.86           |
|               |                  | Kat-1-3 | 0.35           | 2.86           |
|               | 0.36             | Kat-2-1 | 0.35           | 2.86           |
|               |                  | Kat-2-2 | 0.35           | 2.86           |
|               |                  | Kat-2-3 | 0.38           | 2.63           |
|               | 0.37             | Kat-3-1 | 0.36           | 2.78           |
|               |                  | Kat-3-2 | 0.36           | 2.86           |
|               |                  | Kat-3-3 | 0.38           | 2.63           |
| B Bina Zemini | 0.56             | Zemin   | 0.56           | 1.78           |

### 5.2.2 Yer Radarı (GPR) Verilerinin Değerlendirilmesi

Alınan ölçümlere bölüm 4.3'de anlatılan veri işleme adımları uygulanarak tabaka kalınlıklarının belirlenmesine çalışılmıştır (ekil 5.8). Bulunan tabaka kalınlıkları Çizelge 5.6'da verilmiştir.



a)



b)

ekil 5.8 a) Alan 2 yorumlanmamı GPR kesiti, b) Alan 2 yorumlanmı GPR kesiti

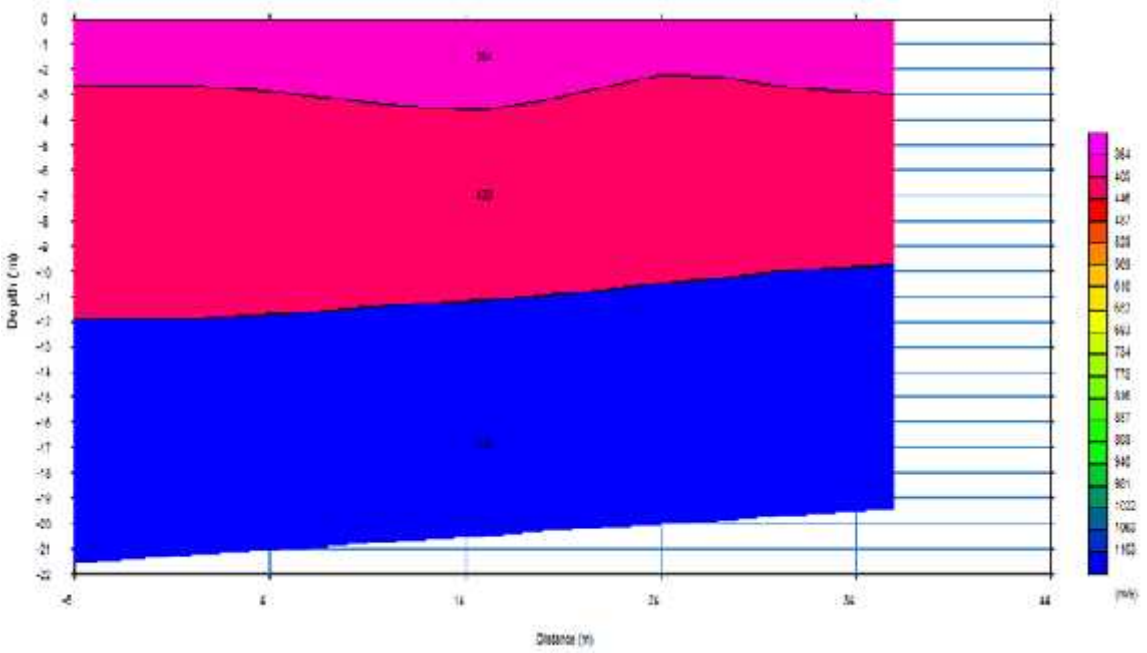
Çizelge 5.6 Alan 2 için GPR kesitlerinin de erlendirme sonuçları

| Profil No | Bitkisel Toprak | 1.Tabaka | 2. Tabaka | 3. Tabaka |
|-----------|-----------------|----------|-----------|-----------|
| 1         | 0.50 m          | 3.00 m   | 10.50 m   | 20.50 m   |

### 5.2.3 Sismik Verilerin De erlendirilmesi

#### 5.2.3.1 MASW Verilerinin De erlendirilmesi

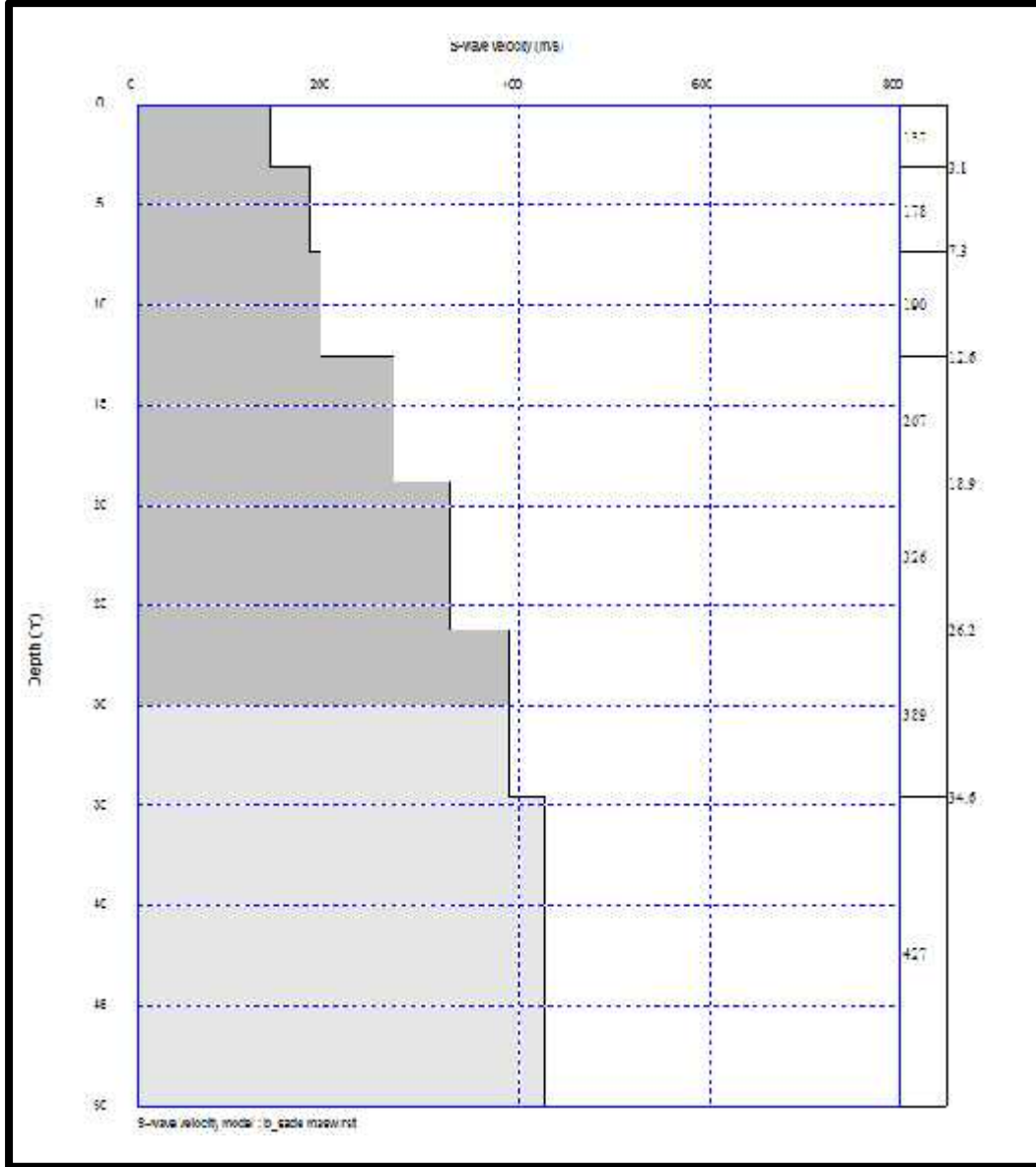
Alınan ölçümlere bölüm 4.2’de anlatılan veri i lem adımları uygulanarak sismik kırılma teorisi kullanılarak ilk varı hızlarından tabakaların Boyuna Dalga Hızları (P) belirlenmiştir ( ekil 5.9). Elde edilen boyuna dalga hızı (P) de erleri Çizelge 5.8’de verilmiştir. Ayrıca her alan için yeraltının 1 boyutlu Vs kayma dalgası hız kesitleri elde edilmiştir ( ekil 5.10).



ekil 5.9 Alan 2 için elde edilen tabakaların P dalga hızları

Çizelge 5.7 Alan 2 için tabakaların P dalga hızı de erleri

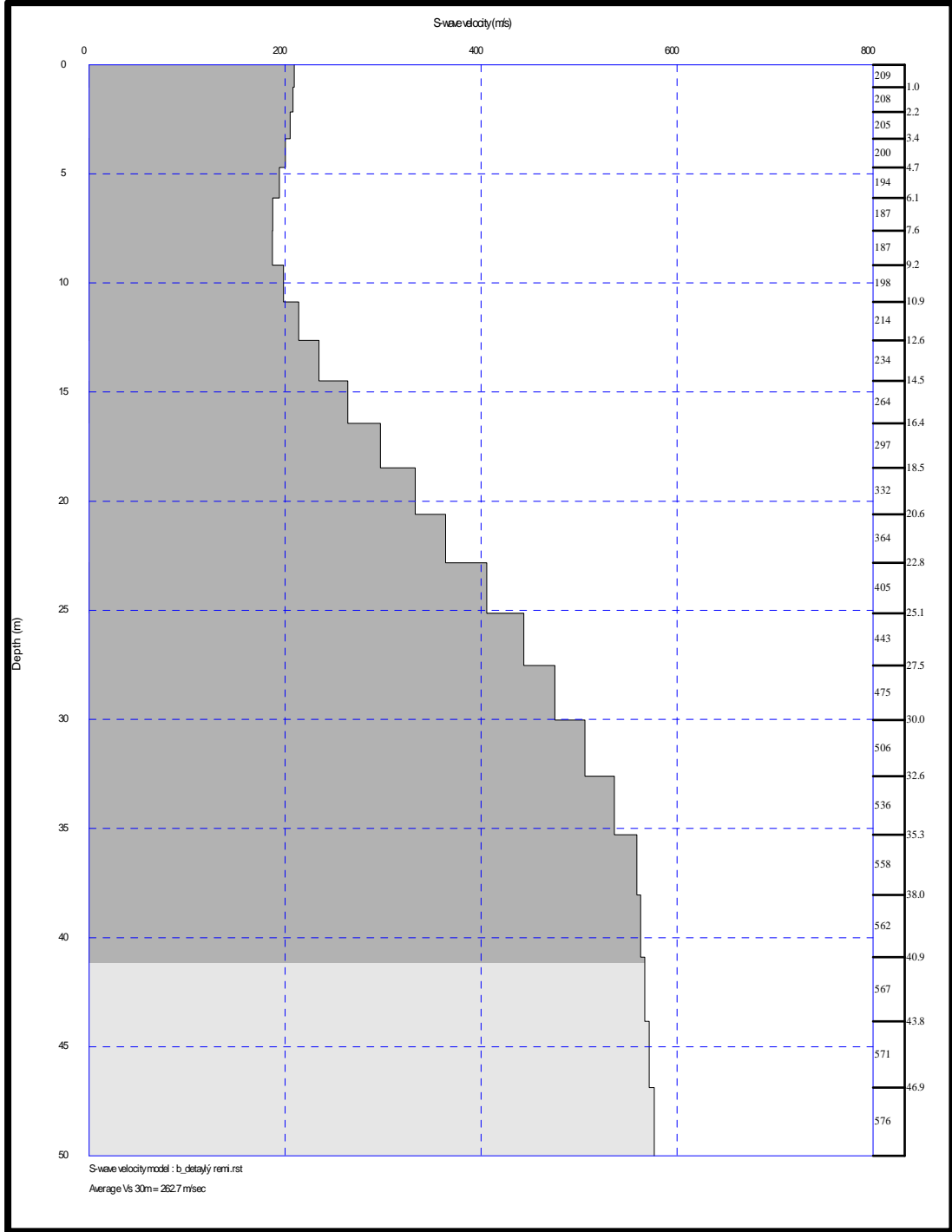
| Profil No | 1. Tabaka | 2. Tabaka | 3. Tabaka |
|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 1         | 364 m/sn  | 439 m/sn  | 1104 m/sn |



**ekil 5.10** Alan 2 için MASW yönteminden elde edilen Vs dü ey hız kesiti

### 5.2.3.2 ReMi Verilerinin De erlendirilmesi

Alınan ölçümlere Bölüm 4.2’de anlatılan veri i lem adımları uygulanarak her alan için yeraltının 1 boyutlu Vs kayma dalgası hız kesitleri elde edilmiştir ( ekil 5.11).

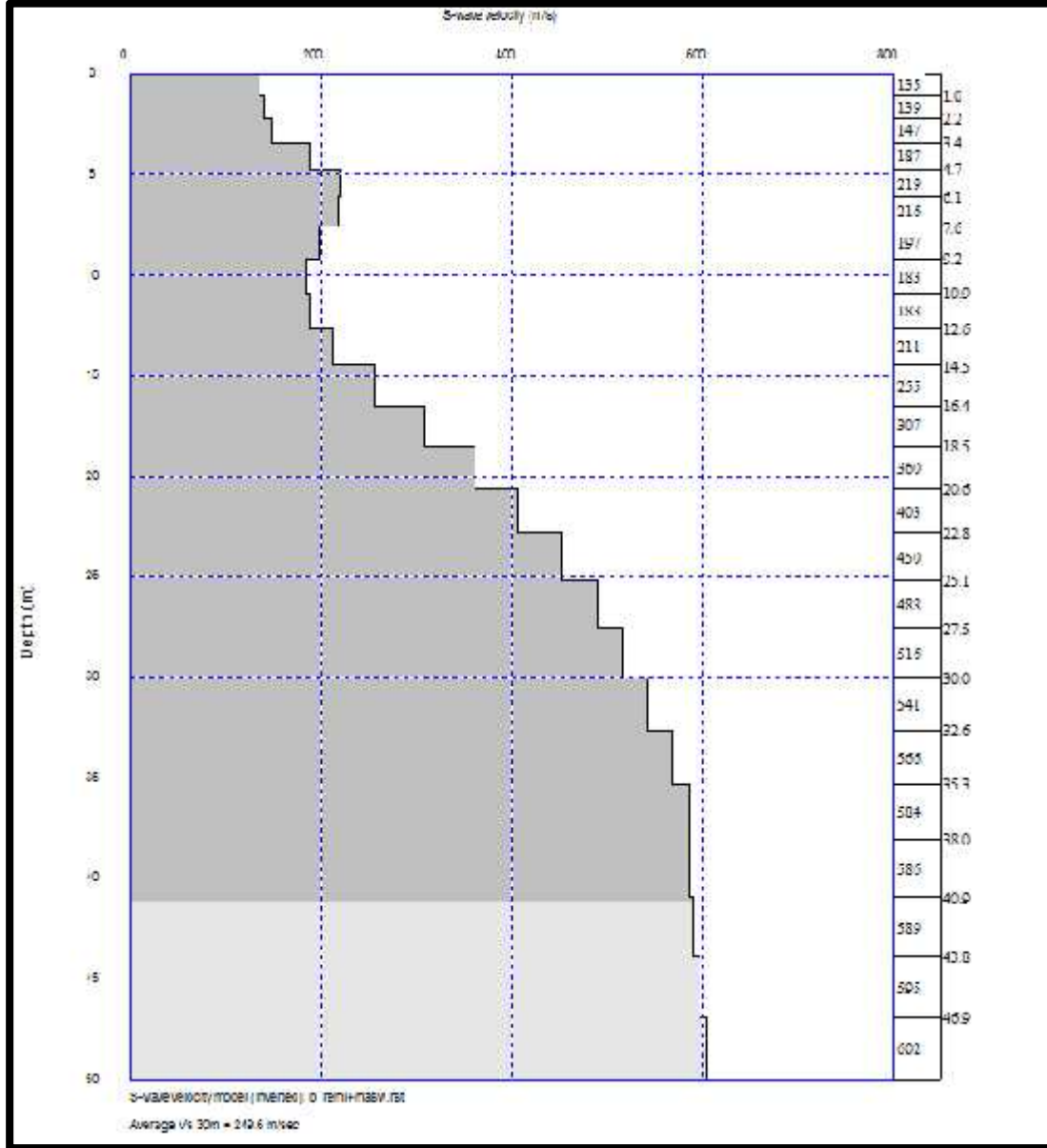


ekil 5.11 Alan 2 için Remi yönteminden elde edilen Vs dü ey hız kesiti

### 5.2.3.3 Birle tirilmi MASW-ReMi Verilerinin De erlendirilmesi

MASW ve ReMi yöntemlerine bölüm 4.2’de anlatılan veri i lem a amaları ayrı ayrı uygulandıktan sonra bu iki yöntem birle tirilerek yeraltının daha detaylı analizinin

yapılması amaçlanmıştır. Yüksek frekanslı MASW yöntemi sıfır derinliklerin analizini daha detaylı yaparken düşük frekanslı ReMi yöntemi ise daha derin bölgelerin detaylı analizini yapmaktadır ( ekil 5.12). Bu iki yöntemin birlikte değerlendirilmesi analiz yaparken hata-gürültü oranının en aza indirilmesine ve daha sağlıklı sonuçlar elde edilmesine olanak sağlayacaktır.



**ekil 5.12** Alan 2 için MASW+ReMi yönteminden elde edilen ayrıntılı Vs düşey hız kesiti

Bu iki yöntem birarada kullanılarak elde edilen  $V_s^{30}$  hız de erinin hata oranı daha az olmaktadır. MASW yönteminden elde edilen zemin elastik parametreleri Çizelge 5.9'da verilmi tir.

**Çizelge 5.8** Alan 2 için elde edilen elastik parametreler,  $V_s^{30}$  hız de eri MASW+ReMi'den elde edilmi tir.

| SER M<br>NO | Tbk. | $V_p$<br>(m/s) | $V_s$<br>(m/s) | h<br>(m) | $V_s^{30}$ | $V_p/V_s$ | ...1<br>(gr/cm <sup>3</sup> ) | $G_{max}$<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | $E_d$<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | €1   | $q_u$<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | <b>K</b><br>(kg/cm <sup>2</sup> ) |
|-------------|------|----------------|----------------|----------|------------|-----------|-------------------------------|------------------------------------|--------------------------------|------|--------------------------------|-----------------------------------|
| Mw-1        | 1    | 364            | 137            | 3        | 250        | 2.66      | 1.4                           | 254                                | 719                            | 0.42 | 1.1                            | 1453                              |
|             | 2    | 439            | 184            | 9        |            | 2.39      | 1.4                           | 480                                | 1337                           | 0.39 | 2.0                            | 2091                              |
|             | 3    | 1104           | 267            | -        |            | 4.13      | 1.8                           | 1272                               | 3737                           | 0.47 | 4.7                            | 20050                             |

$V_p$  : Boyuna Dalga Hızı

$V_s$  : Enine Dalga Hızı

h : Tabaka Kalınlı ı

$V_s^{30}$  : İlk 30 metre için elde edilen ortalama  $V_s$  kayma dalga hızı

: Tabaka Yo unlu u

$G_{max}$ : Kayma (Shear) modülü

$E_d$  : Elastisite modülü

$\nu$  : Poisson oranı

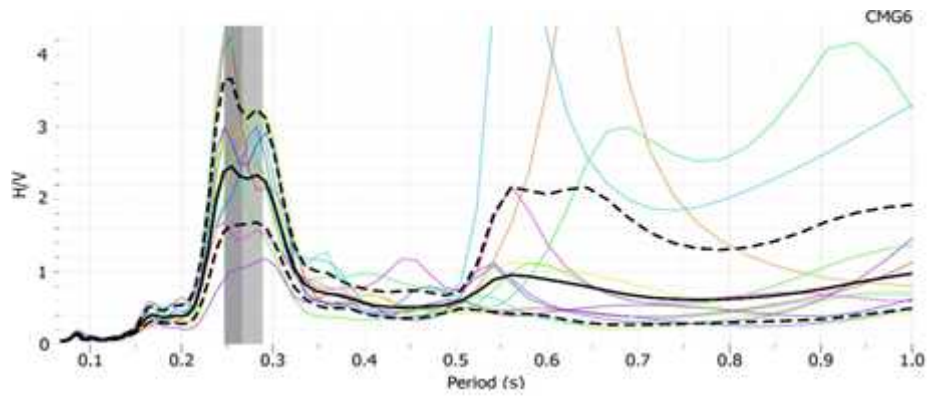
$Q_u$  : Ta ıma gücü

K : Yataklanma katsayısı

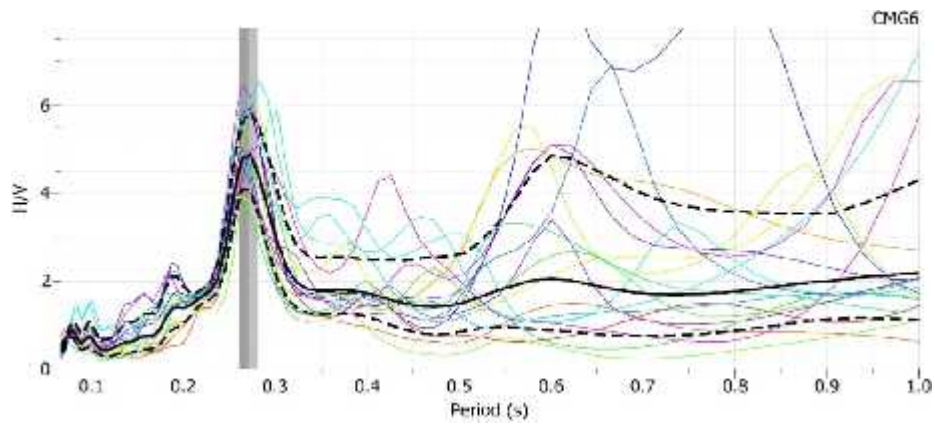
### 5.3. Alan 3

#### 5.3.1 Mikrotremor Verilerinin De erlendirilmesi

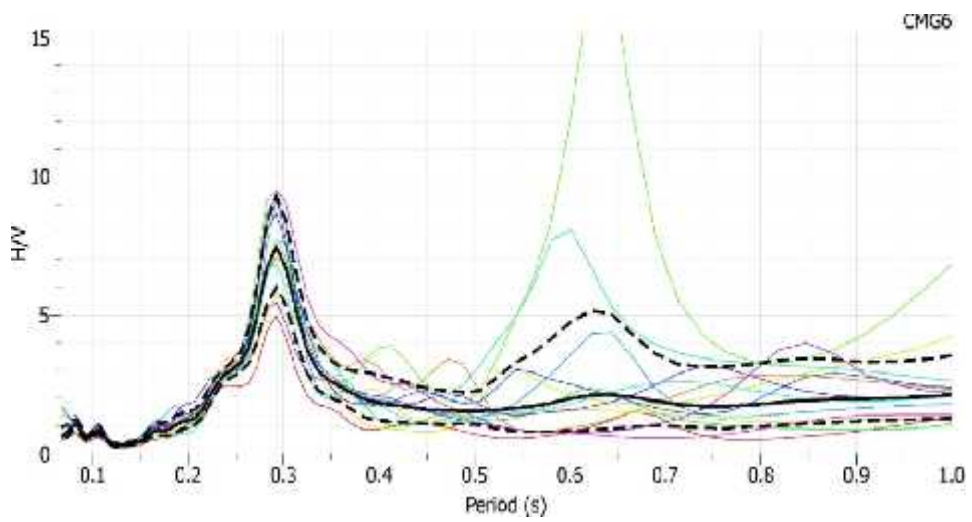
Alınan ölçümlere bölüm 4.1.'de anlatılan veri i lem adımları uygulanarak her kat ve binanın oturdu u zemin için 15-20 sn'lik pencereler kullanılarak baskın periyot ve frekans de erleri elde edilmi tir ( ekil 5.13). Elde edilen baskın periyot frekans de erleri Çizelge 5.11'de verilmi tir.



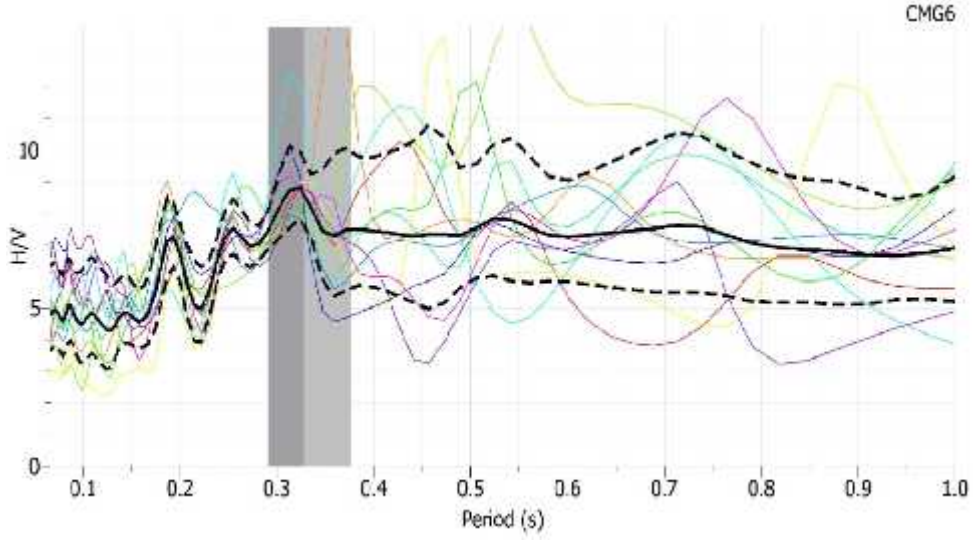
a)



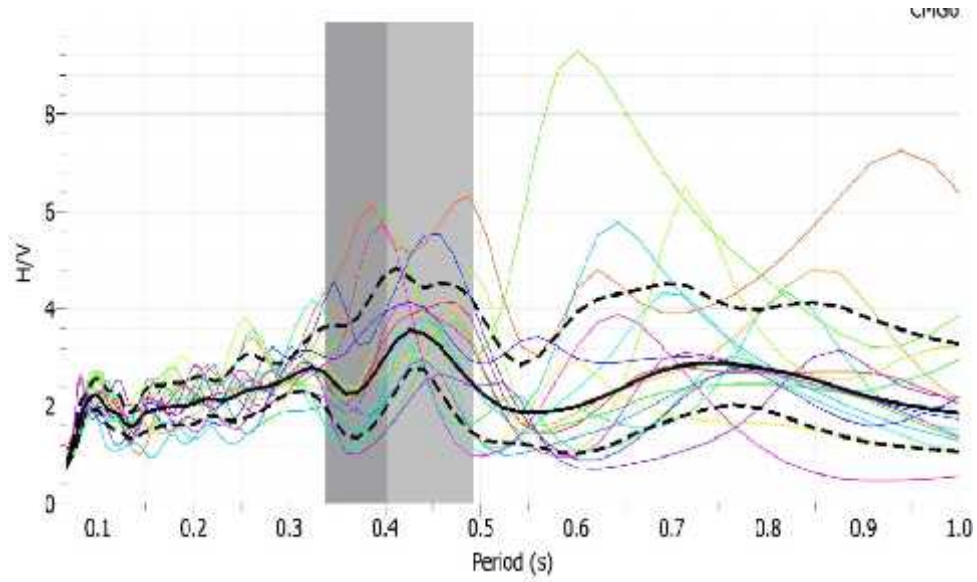
b)



c)



d)



e)

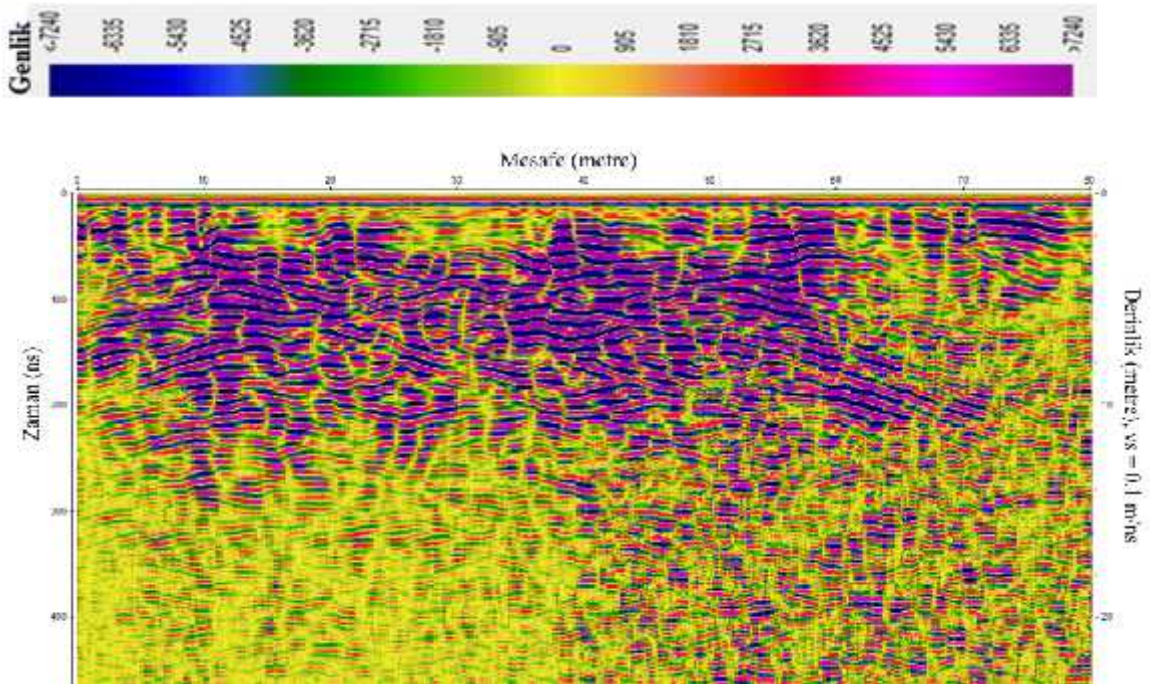
**ekil 5.13** a) Alan 3 n aat binası kat-1 büyütme-periyot grafi i. b) Alan 3 n aat binası kat-2 büyütme-periyot grafi i. c) Alan 3 n aat binası kat-3 büyütme-periyot grafi i. d) Alan 3 n aat binası kat-4 büyütme-periyot grafi i. e) Alan 3 Zemin büyütme-periyot grafi i.

**Çizelge 5.9** Alan 3 için elde edilen baskın frekans-periyot de erleri

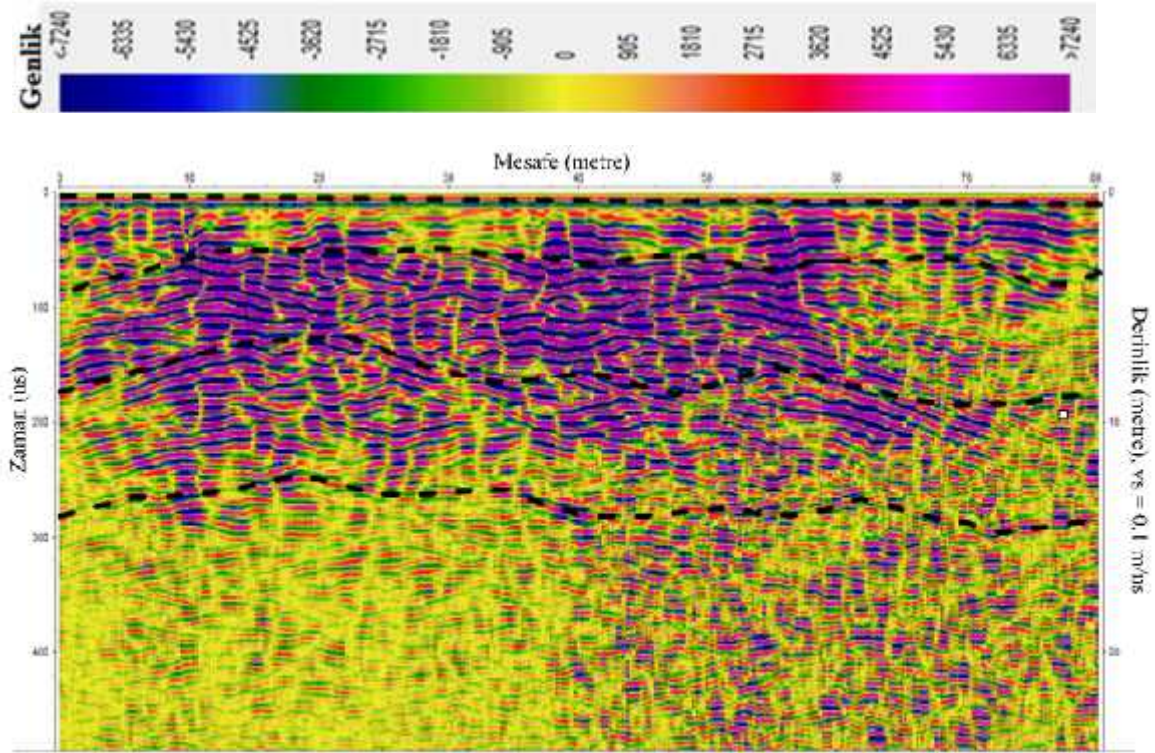
| Bina Adı      | Ortalama Periyot | Ölçü No | Baskın Periyot | Baskın Frekans |
|---------------|------------------|---------|----------------|----------------|
| C Binası      | 0.27             | Kat-1-1 | 0.26           | 3.85           |
|               |                  | Kat-1-2 | 0.28           | 3.57           |
|               |                  | Kat-1-3 | 0.28           | 3.57           |
|               | 0.28             | Kat-2-1 | 0.27           | 3.70           |
|               |                  | Kat-2-2 | 0.29           | 3.45           |
|               |                  | Kat-2-3 | 0.28           | 3.57           |
|               | 0.29             | Kat-3-1 | 0.29           | 3.45           |
|               |                  | Kat-3-2 | 0.29           | 3.45           |
|               |                  | Kat-3-3 | 0.30           | 3.33           |
|               | 0.31             | Kat-4-1 | 0.32           | 3.13           |
|               |                  | Kat-4-2 | 0.30           | 3.33           |
|               |                  | Kat-4-3 | 0.30           | 3.33           |
| C Bina Zemini | 0.44             | Zemin   | 0.44           | 2.27           |

### 5.3.2 Yer Radarı ( GPR) Verilerinin De erlendirilmesi

Alınan ölçümlere Bölüm 4.3’de anlatılan veri i lem adımları uygulanarak tabaka kalınlıklarının belirlenmesine çalışılmıştır ( ekil 5.14). Elde edilen tabaka kalınlık de erleri Çizelge 5.12’de verilmiştir.



a)



b)

ekil 5.14 a) Alan 3 yorumlanmamı GPR kesiti, b) Alan 3 yorumlanmı GPR kesiti

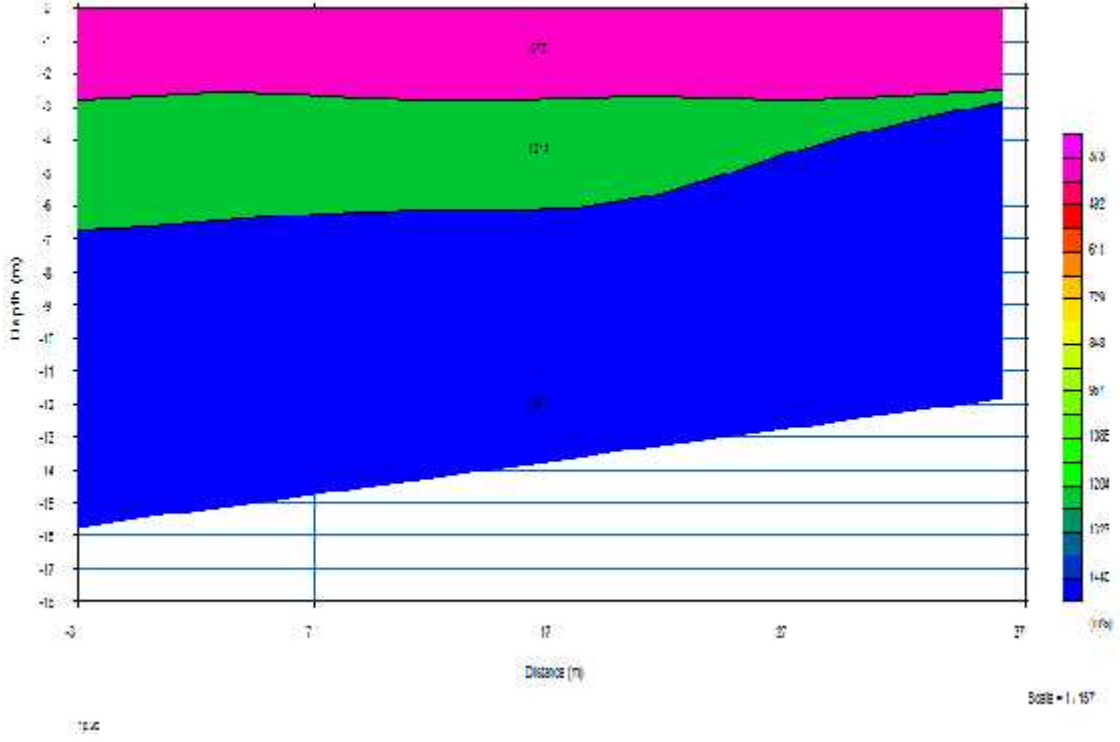
Çizelge 5.10 Alan 3 için GPR kesitlerinin de erlendirme sonuçları

| Profil No | Bitkisel Toprak | 1.Tabaka | 2. Tabaka | 3. Tabaka |
|-----------|-----------------|----------|-----------|-----------|
| 1         | 0.50 m          | 3.00 m   | 8.00 m    | 15.00 m   |

### 5.3.3 Sismik Verilerin De erlendirilmesi

#### 5.3.3.1 MASW Verilerinin De erlendirilmesi

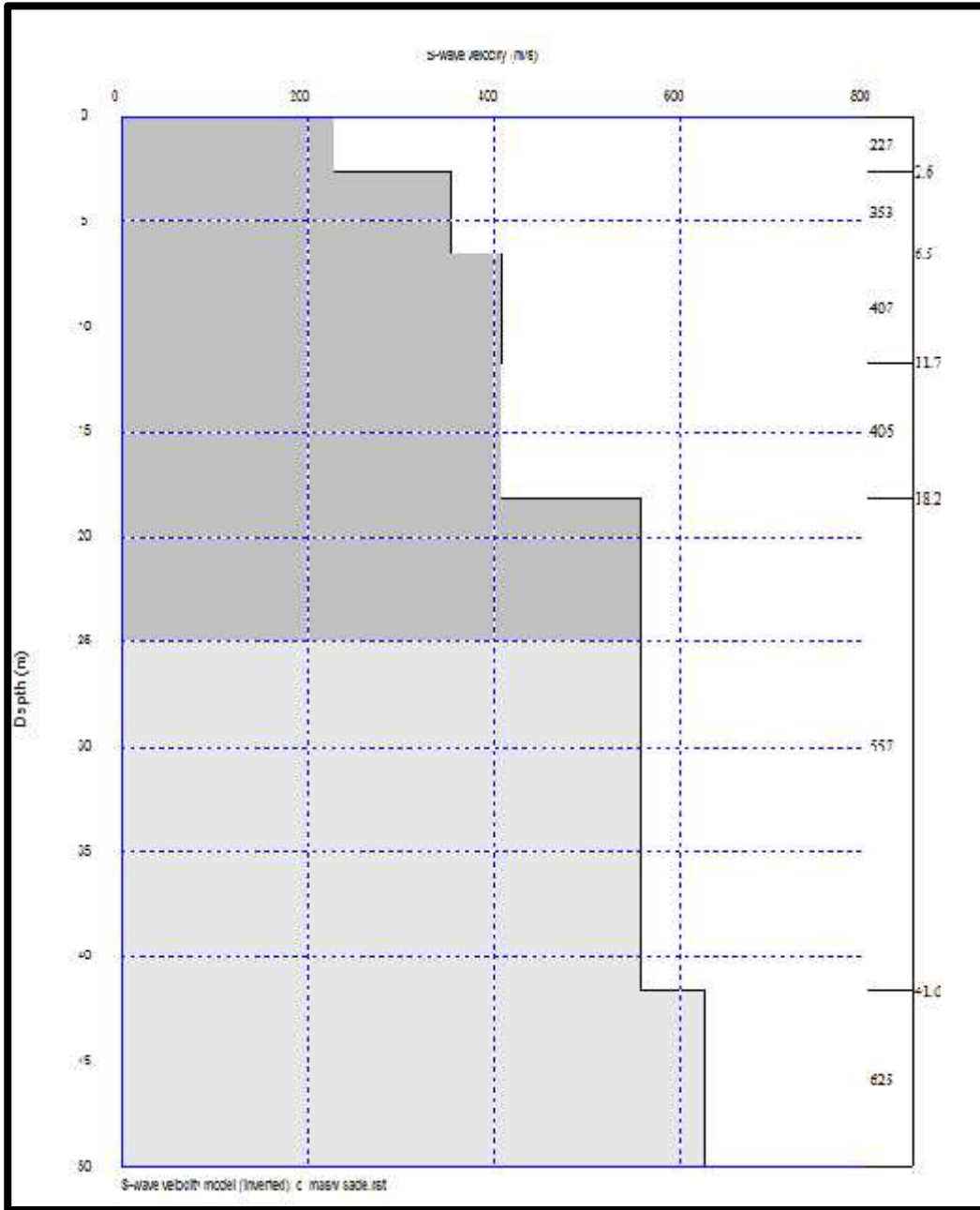
Alınan ölçümlere Bölüm 4.2’de anlatılan veri i lem adımları uygulanarak sismik kırılma teorisi kullanılarak ilk varı hızlarından tabakaların Boyuna Dalga Hızları (P) belirlenmi tir ( ekil 5.15). Elde edilen boyuna dalga hızı (P) de erleri Çizelge 5.13’de verilmi tir. Ayrıca her alan için yeraltının 1 boyutlu Vs kayma dalgası hız kesitleri elde edilmi tir ( ekil 5.16).



ekil 5.15 Alan 3 için elde edilen tabakaların P dalga hızları

Çizelge 5.11 Alan 3 için tabakaların P dalga hızı değerleri

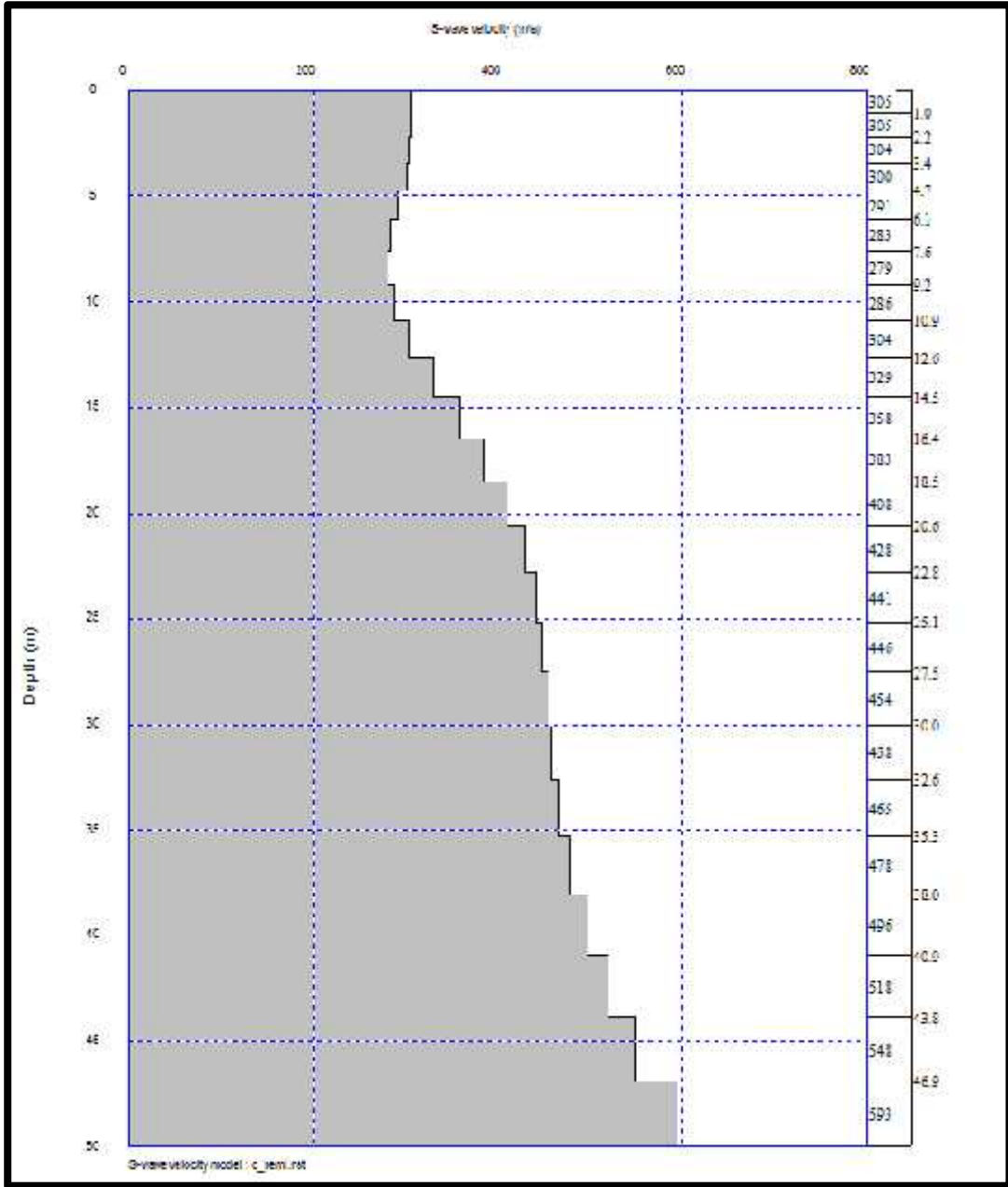
| Profil No | 1. Tabaka | 2. Tabaka | 3. Tabaka |
|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 1         | 373 m/sn  | 1214 m/sn | 1441 m/sn |



**ekil 5.16** Alan 3 için Masw yönteminden elde edilen Vs dü ey hız kesiti

### 5.3.3.2 ReMi Verilerinin De erlendirilmesi

Alınan ölçümlere Bölüm 4.2’de anlatılan veri i lem adımları uygulanarak her alan için yeraltının 1 boyutlu Vs kayma dalgası hız kesitleri elde edilmiştir ( ekil 5.17).

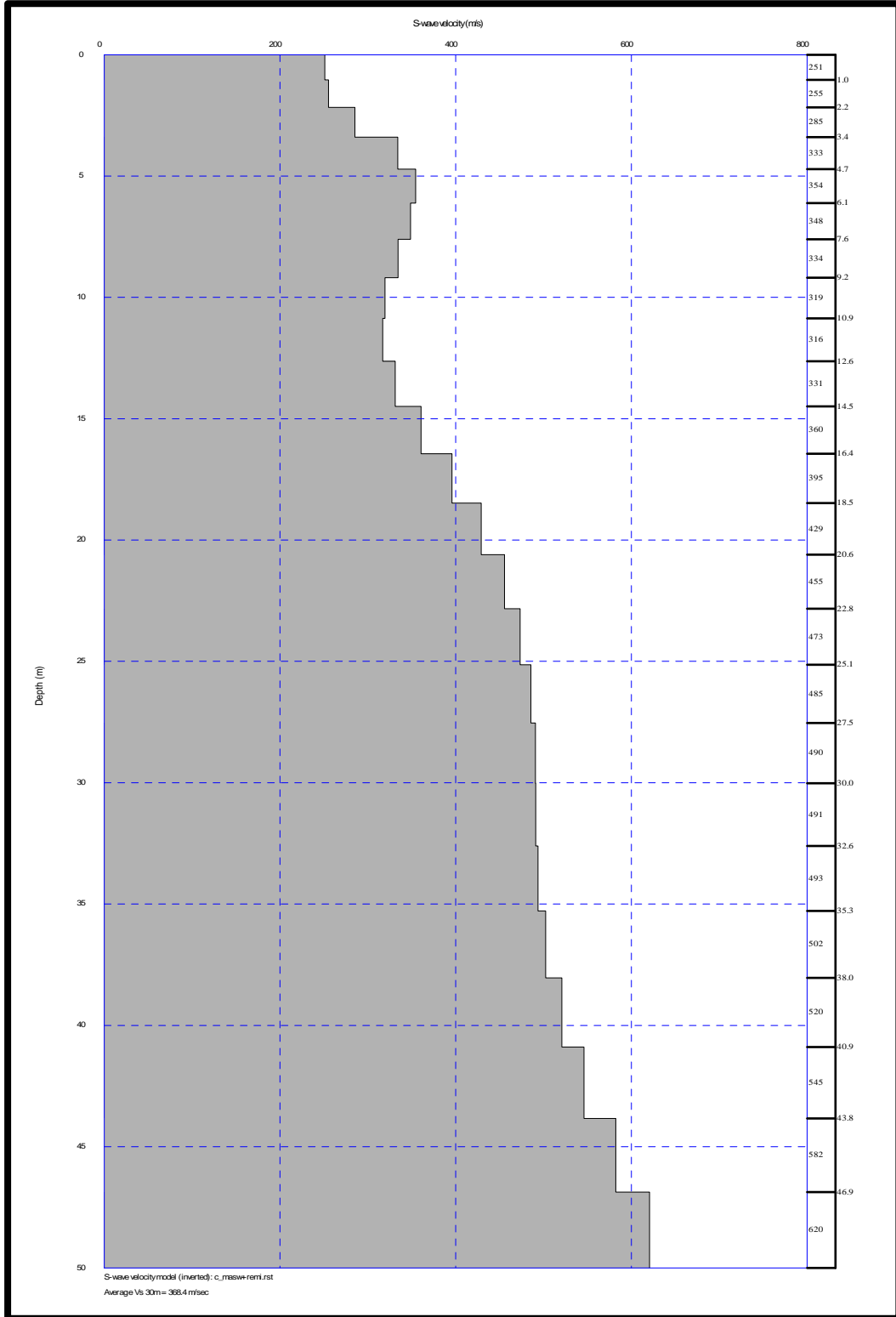


**ekil 5.17** Alan 2 için ReMi yönteminden elde edilen Vs dü ey hız kesiti

### 5.3.3.3 Birle tirilmi MASW-REM Verilerinin De erlendirilmesi

MASW ve ReMi yöntemlerine Bölüm 4.2’de anlatılan veri i lem a amaları ayrı ayrı uygulandıktan sonra bu iki yöntem birle tirilerek yeraltının daha detaylı analizinin yapılması amaçlanmı tır. Yüksek frekanslı MASW yöntemi sı derinliklerin analizini daha detaylı yaparken dü ük frekanslı ReMi yöntemi ise daha derin bölgelerin detaylı

analizini yapmaktadır ( ekil 5.18). Bu iki yöntemin birlikte de erlendirilmesi analiz yaparken hata-gürültü oranının en aza indirilmesine ve daha sa lıklı sonuçlar elde edilmesine olanak sa layacaktır.



**ekil 5.18** Alan 3 için MASW+ReMi yönteminden elde edilen ayrıntılı Vs dü ey hız kesiti

Bu iki yöntem birarada kullanılarak elde edilen Vs30 hız de erinin hata oranı daha az olmaktadır. MASW yönteminden elde edilen zemin elastik parametreleri Çizelge 5.14’de verilmi tir.

**Çizelge 5.12** Alan 3 için elde edilen elastik parametreler,Vs30 hız de eri MASW+ReMi’den elde edilmi tir.

| SER M<br>NO | Tbk. | V <sub>p</sub><br>(m/s) | V <sub>s</sub><br>(m/s) | h<br>(m) | Vs30 | V <sub>p</sub> /V <sub>s</sub> | ...1<br>(gr/cm <sup>3</sup> ) | G <sub>max</sub><br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | E <sub>d</sub><br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | €1   | q <sub>u</sub><br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | K<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) |
|-------------|------|-------------------------|-------------------------|----------|------|--------------------------------|-------------------------------|---|---|------|---|----------------------------|
| Mw-1        | 1    | 373                     | 227                     | 3        | 366  | 1.64                           | 1.4                           | 701                                       | 1690                                    | 0.21 | 3.3                                     | 958                        |
|             | 2    | 1214                    | 353                     | 4        |      | 3.44                           | 1.8                           | 2277                                      | 6620                                    | 0.45 | 8.9                                     | 23891                      |
|             | 3    | 1441                    | 407                     | -        |      | 3.54                           | 1.9                           | 3159                                      | 9203                                    | 0.46 | 12.3                                    | 35388                      |

V<sub>p</sub> : Boyuna Dalga Hızı

V<sub>s</sub> : Enine Dalga Hızı

h : Tabaka Kalınlı ı

Vs<sup>30</sup> : İlk 30 metre için elde edilen ortalama Vs kayma dalga hızı

: Tabaka Yo unlu u

G<sub>max</sub>: Kayma (Shear) modülü

E<sub>d</sub> : Elastisite modülü

v : Poisson oranı

Q<sub>u</sub> : Ta ıma gücü

K : Yataklanma katsayısı

### 5.3.4 NEHRP zemin sınıflaması

NEHRP, A.B.D’de jeoteknik ve in aat mühendisli i camiasında kabul görmü ve yeni yapılan in aatların sismik dizaynında yaygın olarak kullanılan zemin sınıflama kriterleridir. NEHRP’e göre zemin sınıfı, S-dalga hızının 30 metre derinli e kadar olan ortalama hızına (Vs30), dayanmaktadır ve bu sınıflar Çizelge 5.15’de verilmi tir.

**Çizelge 5.13** NEHRP zemin sınıflama sistemi

| Zemin Sınıfı | Vs <sup>30</sup> De eri | Zemin Tanımlaması   |
|--------------|-------------------------|---|
| <b>A</b>     | 1500 m/sn               | ntüzif Magmatik Kayaçlar  |
| <b>B</b>     | 750-1500 m/sn           | Volkanikler,Mesozoik Ana Kayalar ve Bazı Franciscan Anakayaları   |
| <b>C</b>     | 360-760 m/sn            | Kuvaterner Ya lı Kumlar(1.8 milyon yıldan daha az ya lı),Kumta ları,Çamurta ları ve Bazı Üst Tersiyer(1.8-24 milyon yıla lı)Kumta ları,Kireçta ları,Bazı Alt Tersiyer(24-64 milyon yıl ya lı)Çamurta ları ve Kumta ları,Franciscan Melanjı ve Serpantinitleri |
| <b>D</b>     | 180-360 m/sn            | Bazı Kuvaterner Çamurta ları,Kum,Çakıl ve Alüvyonlar  |
| <b>D1</b>    | 300-360 m/sn            |   |
| <b>D2</b>    | 250-300 m/sn            |   |
| <b>D3</b>    | 220-250 m/sn            |   |
| <b>D4</b>    | 200-220 m/sn            |   |
| <b>D5</b>    | 180-200 m/sn            |   |
| <b>E</b>     | 180 m/sn                | Suya Doygun Çamur ve Yapay Dolgular   |

Elde edilen veriler sonucu yapılan de erlendirmede NEHRP zemin sınıflama sistemine göre Alan 1 (258 m/s) ve Alan 2 (250 m/s) D2 sınıfı zeminler grubunda yer alırken, Alan 3 ( 366 m/s) C sınıfı zeminler grubunda yer almaktadır.

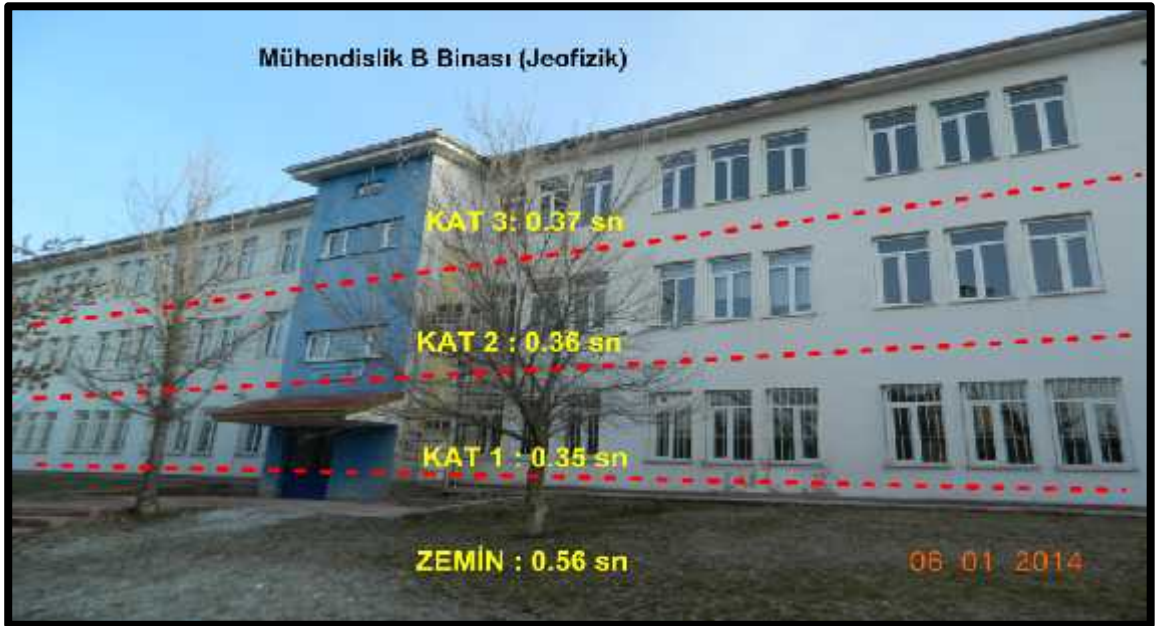
## 6. TARTI MA VE SONUÇLAR

Bu tez kapsamında Sivas ili Cumhuriyet Üniversitesi içerisinde seçilen pilot binalarda Mikrotremor, Yer radarı, MASW ve ReMi yöntemleri uygulanarak Bina-zemin ili kisi incelenmi ve elde edilen parametreler kar ıla tırılarak yoruma gidilmi tir.

Çalı ma alanında toplam 48 adet mikrotremor ölçüsü alınmı olup bu ölçümlerden 45 tanesi binaların içinde ve 3 tanesi binaların oturdu u zeminlerde gerçekleştirilmi tir.Her kat için 3 adet ölçü alınıp bu ölçülerin aritmetik ortalaması kullanılarak her katı temsil eden ortalama periyot de eri elde edilmi tir ( ekil 6.1).



a)



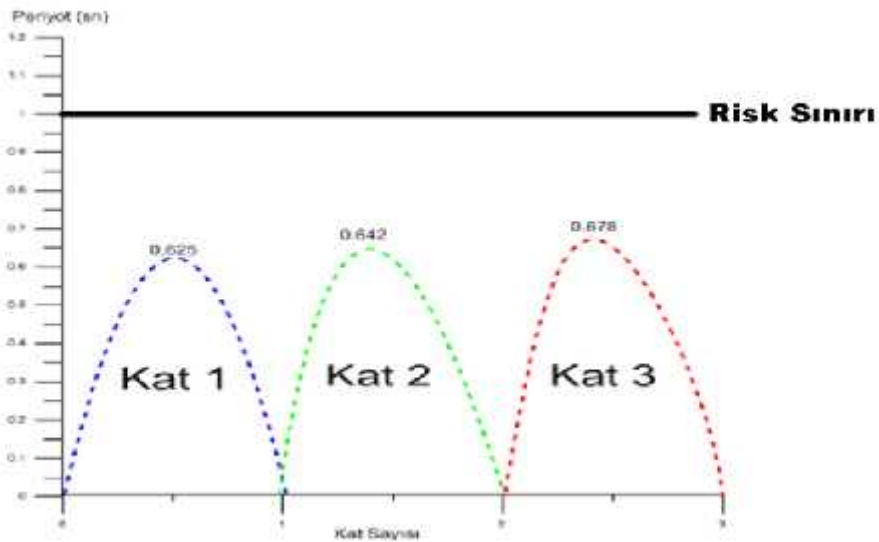
b)



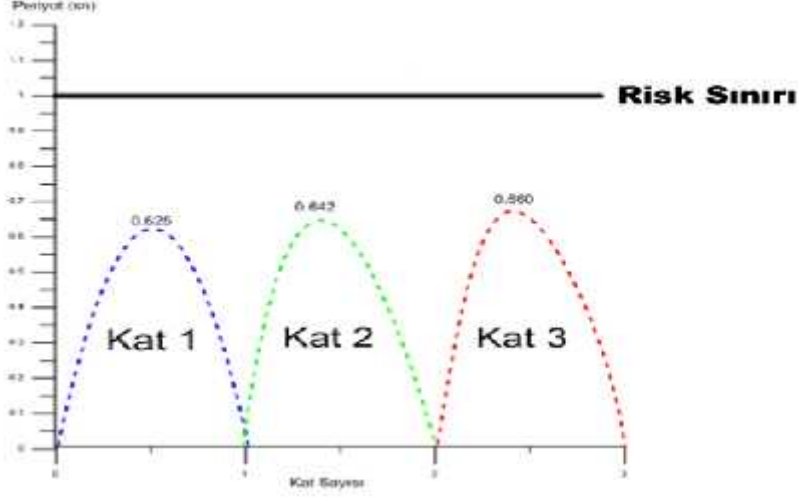
c)

ekil 6.1 a) Alan 1 için elde edilen periyot değerleri. b) Alan 2 için elde edilen periyot değerleri. c) Alan 3 için elde edilen periyot değerleri

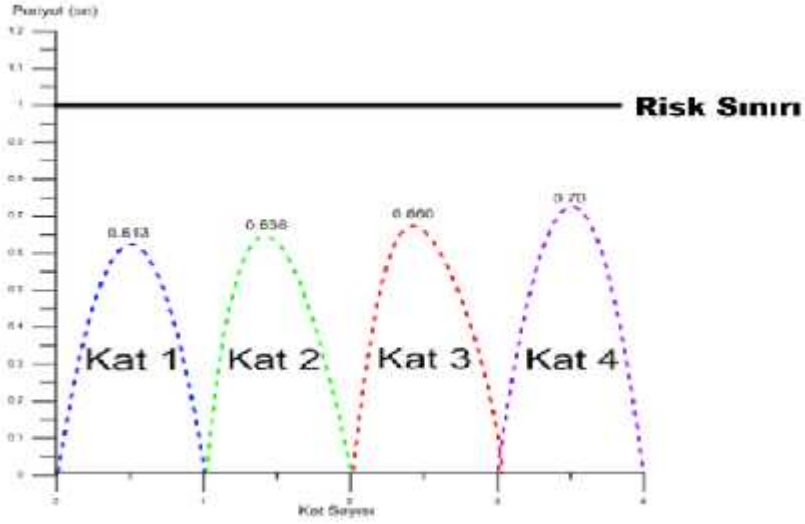
Elde edilen periyot değerlerinin zeminden elde edilen periyot değerlerine bölünmesiyle katların herhangi bir deprem anında risk taşıyıp taşımadığını tespit edilmiştir ( ekil 6.2).



a)



b)

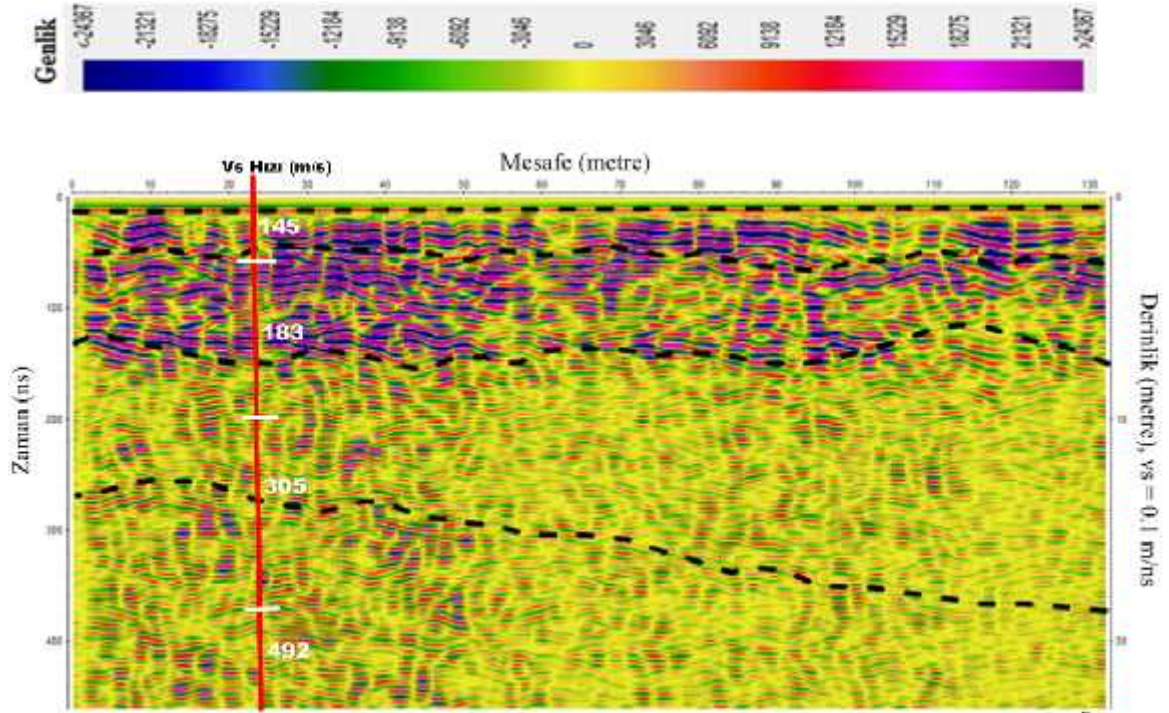


c)

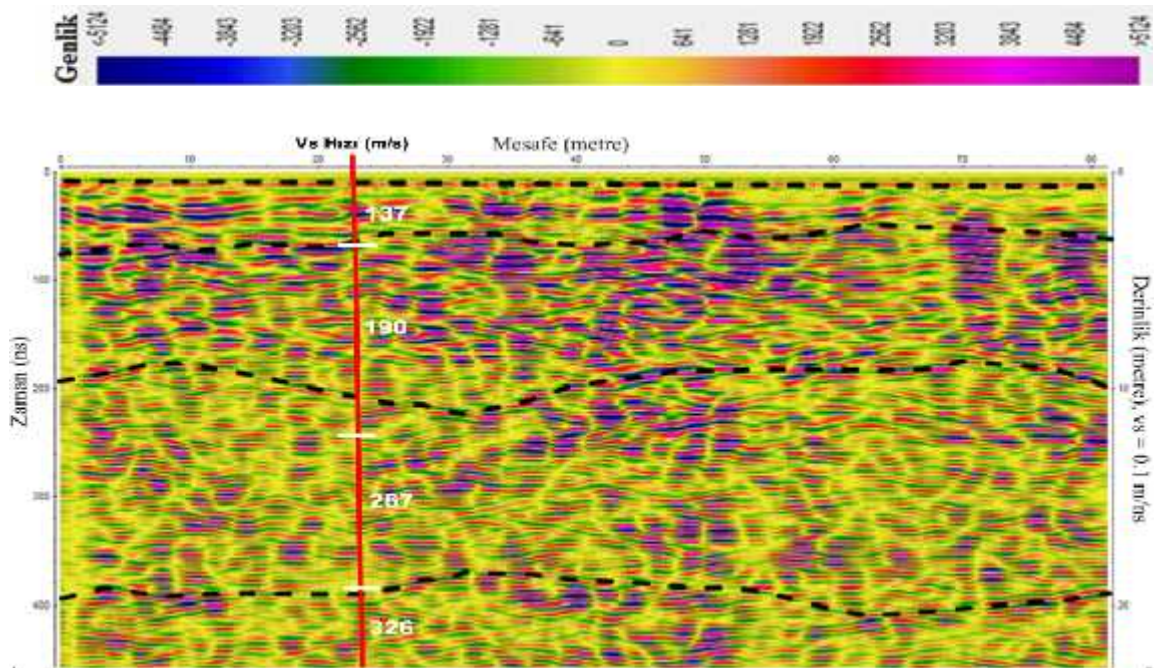
**ekil 6.2** a) Alan 1 için kat periyotları-zemin periyotu risk değerlendirilmesi. b) Alan 2 için kat periyotları-zemin periyotu risk değerlendirilmesi c) Alan 3 için kat periyotları-zemin periyotu risk değerlendirilmesi.

Elde edilen sonuçlara göre binalar güvenli bölgede kalmaktadır ancak binaların dışında zeminlerin davranışı da ayrıca önem kazanmaktadır. Zeminlerin binalar ile olan ilişkisini belirlemek amacıyla MASW ve ReMi yöntemi ile yeraltının Vs düşey hız kesitleri ortaya çıkarılmıştır. Ayrıca sismik kırılma teorisi kullanılarak ilk varı hızlarından P dalgası hızı analizi yapılmıştır. Tabaka sınırlarının belirlenmesi amacıyla da yer radarı yöntemi kullanılmıştır ve elde edilen kayma dalgası hızlarının çok düşük ve tabaka kalınlıklarının tam olarak karılamadığı görülmüştür ( ekil 6.3). Bu durum tabakaların

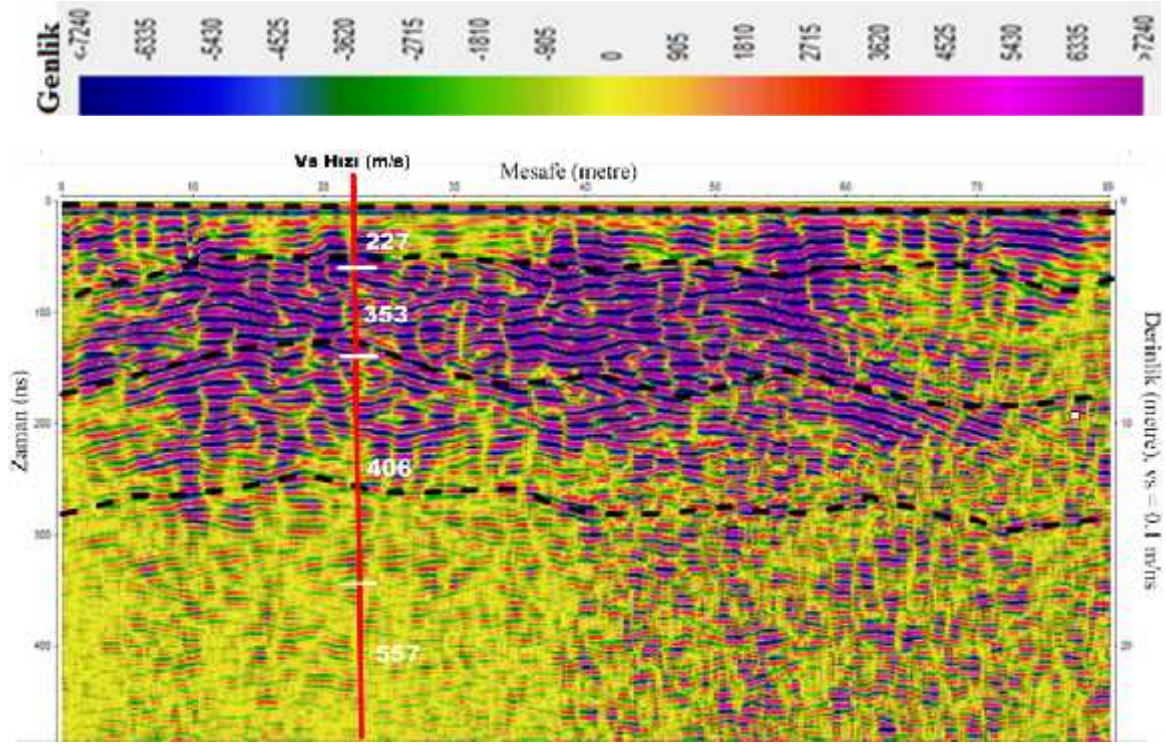
suya doygunluğunun çok fazla olmasından kaynaklanmaktadır. ncelenen derinlikte yer alan alüvyon birimlerinin killi olmasından dolayı, bu birimlerin suyu içerisinde tutarak doygunluk kazanmasına sebep olmaktadır.



a)



b)



c)

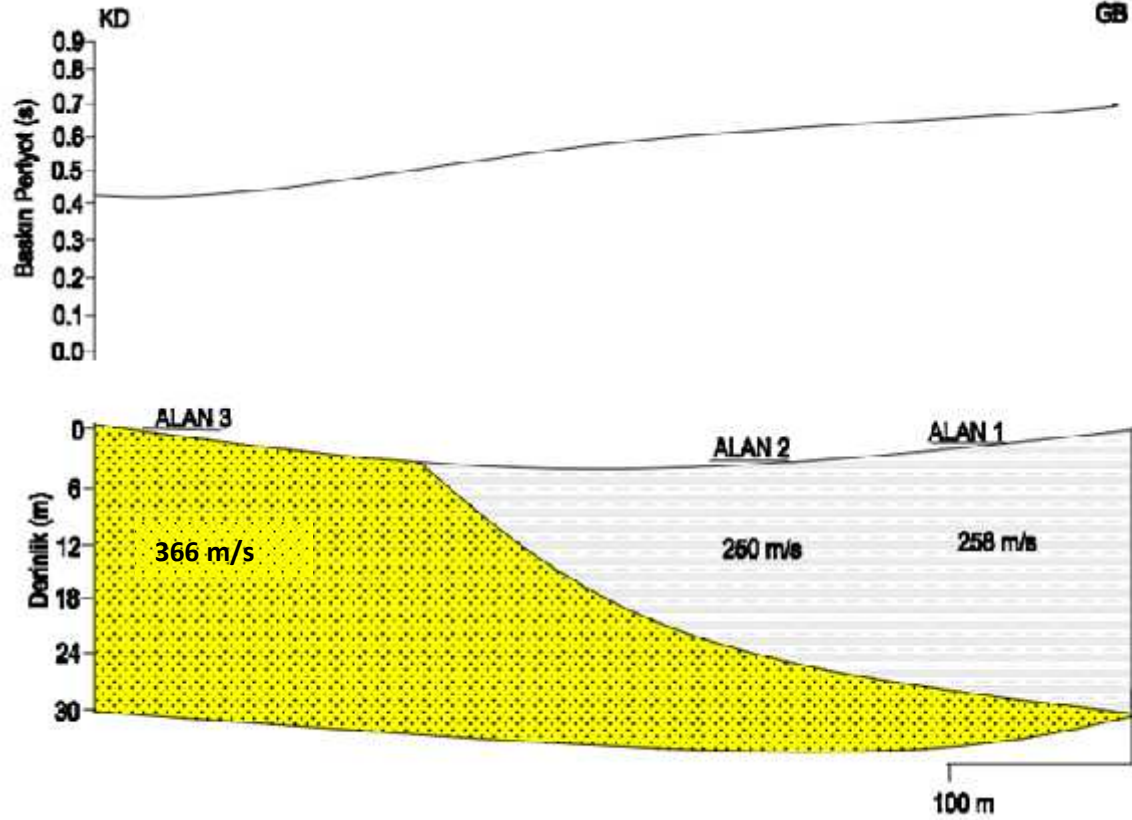
**ekil 6.3** a) Alan 1 radar kesiti ve tabakaların Vs hızlarının kar ıla tırılması. b) Alan 2 radar kesiti ve Tabakaların Vs hızlarının kar ıla tırılması. c) Alan 3 radar kesiti ve Tabakaların Vs hızlarının kar ıla tırılması.

MASW ve ReMi yöntemlerinden elde edilen dispersiyon e rilerinin birle tirilmesi ile yeraltının Vs hızı analizi daha sa lıklı olarak elde edilmi tir. Buradan elde edilen  $V_s^{30}$  de erlerine göre yapılan zemin sınıflaması sonuçları a a ıda belirtilmi tir (Çizelge 6.1).

**Çizelge 6.1** Çalı ma alanına ait  $V_s^{30}$  kayma dalgası hesaplamalarına göre NEHRP zemin sınıfı de erleri

| Ölçü No | $V_s^{30}$ | Zemin Sınıfı |
|---------|------------|--------------|
| Alan 1  | 258        | D2           |
| Alan 2  | 250        | D2           |
| Alan 3  | 366        | C            |

Alan 3'ten Alan 1'e kadar bir kesit çizilerek mikrotremor yönteminden elde edilen baskın periyot de erleri gösterilmi tir ( ekil 6.4).



ekil 6.4 Alan 3-Alan 1 do rultusunda alınan kesit

Sivas'ın çevresinde meydana gelebilecek büyük depremlerden etkilenme potansiyeli vardır. Böyle bir deprem sırasında Sivas'ın farklı zemin özellikleri gösteren bölgelerinde davranış farklılığı, üzerindeki yapıyı etkileyeceği için zemin davranışlarının ve gevşeklik-sıkılık ayrımının iyi yapılması gerekmektedir. Bu şekilde yapılacak olan yeni yapılar için deprem güvenliğini önne çıkarılması sağlanacaktır (Büyüksaraç vd., 2007).

Sivas Cumhuriyet Üniversitesi yerleşkesi Kızılırmak havzası boyunca kurulmuştur. Cumhuriyet Üniversitesi yerleşkesinde geniş alanlar kaplayan çökeller genellikle akarsu ortamlarına özgü karakteristiklere sahiptir; istifin altında Fadımlı üyesi Miyosen yaşlı jips ve üzerinde kumlu çakıllar, en üstte ise Cumhuriyet Üniversitesi Yerleşkesi alanı zeminlerini oluşturan siltli killi düzeyler yer almaktadır. Alanın büyük bir kısmı kuvaterner yaşlı alüvyon birimlerden meydana gelmektedir (Yılmaz, 1994). Bu sebeple alanda gerçekleştirilmesi planlanan yapılar için zemin

özellikleri ve binaların zemin ile ili kisi büyük önem kazanmaktadır. Elde edilen veriler 11'inde çalı ma alanında yer alan binalardan hesaplanan baskın titre im periyotları 0.26 – 0.42 s arasında, binaların oturdu u zeminlerde ise 0.44 – 0.56 saniye arasında de i mektedir ( ekil 6.1). Sarsıntı duyarlılı ının en fazla oldu u alanlar 1 ve 2. alanlardır. 3. alan ise daha az sarsıntı duyarlılı na sahiptir. Deprem anında binalarda olu acak olan salınım periyotları zemin periyotlarından farklı oldu undan rezonans olayı meydana gelmesi beklenmemektedir ancak Alan 1 ve Alan 2 alüvyon birimlerden meydana gelmektedir ve Vs kayma dalgası hızları dü üktür. Vs<sup>30</sup> hızlarına göre NEHRP zemin sınıflaması yapılmı ve her iki alanda D2 sınıfı Kuvaterner ya lı Alüvyon zeminler sınıfında yer almaktadır. Bu nedenle rezonans olayı meydana gelmese bile deprem anında sarsıntıyı büyütme etkisi fazla olacaktır. Alan 3 ise C sınıfı zeminler içerisinde yer almaktadır ve göreceli olarak di er 2 alandan daha yüksek Vs hızına sahiptir. Çalı ma alanında farklı kalınlıklarda killi birimlerinden olu an alüvyon tabakalarının bulundu u elde edilen verilerden ortaya çıkarılmı tır. Bu durumda farklı kil tabakaları için farklı oturma de erleri söz konusudur ve yapılacak binalar için sorun te kil edecektir. Bu oturmalarından do acak deformasyonlar mühendislik yapılarına zarar verecektir. Söz konusu durumların meydana gelmemesi için yapıla madan önce ayrıntılı Jeofizik ve Jeolojik çalı malar yapılarak kil tabakasının kalınlı ı belirlenmeli ve oturma ve statik hesaplar bu çalı malar 11'inde gerçekte tirilmelidir.

## KAYNAKLAR

- Aki, K., 1957. Space and Time Spectra of Stationary Stochastic Waves with Special Reference to Microtremors, *Bulletin of the Earthquake Research Institute*, 35, 415-456.
- Aki, K., and Richards, P.G., 1980, *Quantitative seismology*:W.H.Freeman&Co.
- Aki, K.1993. Local Site Effects on Weak and Strong Ground Motion. *Tectonophysics*, 218; 93-111.
- Alçık, H, A., Gürbüz, C.,Üçer, B.1995. Kadıköy ve Üsküdar bölgelerinde yapılan mikrotremor ölçümleri ile mikrobölgelendirme.*Jeofizik Dergisi* (9, 10); 235-245.
- Annan, A. P., & Davis, J. L. (1976). Impulse radar profiling in permafrost. *Radio Sciences*, 11, 383-394.
- Annan, A. P., Davis, J. L. ve Gendzwill, D., 1988. Radar Sounding in Potash Mines, Saskatchewan, Canada, *Geophysics*, 53, 1556-1564.
- Annan, A. P., 1992. Ground penetrating radar workshop notes. Mississauga.
- Annan, A. P., 1999. Practical Process of GPR Data, Sensors and Software Inc. Mississauga, ON, Canada
- Annan, A. P., 2001. Ground penetrating radar workshop notes. Mississauga, Ontario Sensors and Software Inc.
- Asten, M.W., Stephenson, W.R. and Davenport, P.N. 2005. Shear-wave velocity profile for Holocene sediments measured from microtremor array studies, SCPT, and seismic refraction. *Journal of Environmental Engineering Geophysics*, 10, 235-242.
- Bard, P.Y., 1998. Microtremor Measurements: A Tool For Site Effect Estimation? Second International Symposium on the Effects of Surface Geology on Seismic Motion- ESG98-held in Yokohama, Japan, December 1-3.
- Bath, M., 1973, *Introduction to Seismology*, Birkhauser verlag, Basel and Stuttgart.
- Bolt, B.A., 1988, *Earthquakes*. New York: Freeman
- Borcherdt, R. D., and Glassmoyer, G., 1992, On the characteristics of local geology and their influence on ground motions generated by the Loma Prieta earthquake in the San Francisco Bay region, California: *Bull. Seimol. Soc. Amer.*, v. 82, p. 603-641.
- Büyüksaraç, A., Bekta , Ö. Yılmaz, H. and Arısoy, M.Ö., 2007. Preliminary seismic microzonation of Sivas city (Turkey) using microtremor and refraction microtremor (ReMi) measurements. *Journal of Seismology*, DOI 10.1007/s10950-012-9328-1.

- Calderon-Macias, C., Sen, M. K., and Stoffa, P.L., 2000. Artificial neural networks for parameter estimation in geophysics. *Geophysical Prospecting*, 48, 21–48.
- Conyers, L.B., and Goodman, D., 1997. *Ground-penetrating radar: An introduction for archaeologists*. California: Altamira Press
- Davis, J.L. and Annan, A.P., 1986. High Resolution Sounding Using Ground Penetrating Radar, *Geoscience*, 13, 3, 205-208.
- Davis, J.L. and Annan, A.P., 1989. Ground penetrating radar for high-resolution mapping of soil and rock stratigraphy. *Geophysical Prospecting*, Vol. 37, pp. 531–551.
- Grant, F.S., and West, G.F., 1965, *Interpretation theory in applied Geophysics*, New York, McGraw-Hill.
- Gosar, A., 2012. Determination of masonry building fundamental frequencies in five Slovenian towns by microtremor excitation and implications for seismic risk assessment. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 62:1059-1079.
- Gosar, A., 2010. Site effects and soil-structure resonance study in the Kobarid basin (NW Slovenia) using microtremors. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 10:761-772.
- Gosar, A., Roser, J., Motnikar, S. B., Zupancic, P., 2009. Microtremor study of site effects and soil-structure resonance in the city of Ljubljana (central Slovenia). *Bull Earthquake Engineering*, 8:571-592.
- Gökce, A. ve Ceyhan, F., 1988. Sivas güneydo usundaki Miyosen ya lı jipsli çökellerin strati rafisi, yapısal özellikleri ve olu umu. *Cumhuriyet Üniv., Müh. Fak., Yerbilimleri Dergisi*, 5/1, 91-113.
- Gül, A. 1972. Mikrobölgelendirme Etüdleri Ilke ve Yöntemleri. *Türkiye’ de Deprem Sorunu ve Deprem Mühendisliği Sempozyumu*, Ankara.
- Haskell, N. A., 1953. The dispersion of surface waves on multilayered media. *Bulletin of Seismological Society of Americal*, 43, 17-34.
- Hisada, Y., 1995. An efficient method for computing Green’s functions for a layered half-space with sources and receivers at close depths (Part 2). *Bulletin of the Seismological Society of America*, 85, 1080-1093.
- Horike, M., 1985. Inversion of phase velocity of long-period microtremors to the S-wave-velocity structure down to the basement in urbanized areas, *J. Phys. Earth*, **33**(2), 59–96.
- Hossian, M. M., and Drnevich, V.P., 1989. Numerical and optimization techniques applied to surface wave for backcalculation of layer moduli. In: *Nondestructive Testing of Pavements and Cack-calculation of Moduli*, III. A. J, Bush., and G.Y. Baladi (eds.), American Society for Testing and Materials, Special Publication, 1026, pp. 649-669.

- Jol, M.H., (2009). Ground penetrating radar theory and applications, Elsevier Science, The Netherlands.
- Kagami, H., Okada, S., Shino, K., Oner, M., Dravinski, M., Mal, A. K. 1986. Observation of 1 to 5 second microtremors and their application to earthquake engineering. Part III. A two dimensional study of site effects in S. Fernando valley. Bulletin of the Seismological Society of America, 76; 1801-1812.
- Kanai, K., Tanaka, T., Osada, K. 1954. Measurement of the Microtremor 1. Bulletin of the Earthquake Research Institute, University of Tokyo, 32; 200-208.
- Kanai, K., Tanaka, T. 1961. On Microtremors 8. Bulletin of the Earthquake Research Institute, University of Tokyo, 39; 97-114.
- Kanai, K., Tanaka, T., Yoshizawa, S. 1965. On Microtremors 9th Bulletin of the Earthquake Research Institute, University of Tokyo, 43; 577-588.
- Kanai, K. 1983. Engineering Seismology. University of Tokyo, 251, Japonya.
- Kanbur, Z., Silahtar, A., Özsoy, C., 2011. Sı Sismik Yansıma, MASW ve ReMi Yöntemleri ile Sı Yapıların ncelenmesi: Isparta Yerle im Merkezi Kuzeyi Pliyo-Kuvaterner Çökel Yapı Örne i. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 15-3, p.224-232.
- Karacan, E., 1989. Sivas Güneydo usundaki Jipslerin Jeo-mühendislik özelliklerinin incelenmesi. Doktora Tezi. H. Ü., Fen Bilimleri Ens., Beytepe – Ankara, 99 s.
- Katz, L.J., 1976. Microtremor Analysis of Local Geological Conditions, Bulletin of the Sesimological Society of America, 66, 45-61.
- Kausel, E., and Roësset, J. M., 1981. Stiffness matrices for layered soils. Bulletin of Seismological Society of America, 71, 1743-1761.
- Kesemen. O., 2007.Yer Radarı (Gpr) Verilerinin lenmesinde Yeni Yakla ımlar, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Kobayashi, H., Seo, K., Midorikawa, S. 1986. Part 1, Estimated strong ground motions in the Mexico city due to the Michoacan, Mexico earthquake of September 19, 1985 based on characteristics of microtremor, Part 2, Report on seismic microzoning studies of the Mexico earthquake of September 19, 1985. The Graduate School of Nagatsuta, Tokyo Institute of Technology, 34-68.
- Kruk, J.V., Slob, E.C., and Fokkema, J.T., 1999. Background of Ground Penetrating Radar measurements, Geologie en Mijnbouw, 77, 177-188
- Kurtman, F., 1973. Sivas-Hafik-Zara- mranlı Bölgesinin Jeolojik ve Jeotektonik Yapısı: M.T.A. Derg., 80, 132, Ankara

- Kurtulu , C., 2002, Sismik Arama Teori ve Uygulama, Kocaeli Üniversitesi Yayınları, Yayın No: 55
- Lay, T., and Wallace, T.C., 1995, Modern Global Seismology, Academic Press
- Lermo, J. ve Chavez-Garcia F. J., 1994. Are Microtremors useful in site response evaluation. Bulletin of the Seismological Society of America, 84, 5, 1350 - 1364.
- Love, A. E. H. 1911. Some problems of geodynamics, Chapter 11: Theory of the propagation of seismic waves. New York : Cambridge University Press
- Malovichko, A.A., Anderson, N.L. and etc. 2005. Active-passive array surface wave inversion and comparison to borehole logs in Southeast Missouri. Journal of Environmental Engineering Geophysics, 10, 243-250.
- Mayne, WH., 1962, Horizontal data stacking techniques, Geophysics, 27(Suppl): 927-37.
- Miller, R.D., Xia, J., Park, C.B., Ivanov, J., 1999, Multichannel analysis of surface waves to map bedrock, Leading Edge; 18(12):1392-6.
- Moorman, B. J., 2001. Ground-penetrating radar applications in paleolimnology. In W. M. Last and J. P. Smol, (Ed.). Tracking environmental change using lakesediments: Physical and chemical techniques (23-47). Boston: Kluwer Academic Publishers
- Morey, R.M., 1974, Detection of subsurface cavities by ground penetrating radar: Highway Geological Symposium, Proceedings 27, 28-30.
- MTA, 1996. Sivas Kentinin Çevre Jeolojisi ve Doğal Kaynakları in Turkish, MTA Orta Anadolu I. Bölge Müdürlüğü, Sivas, ss. 169
- Mucciarelli, M., 1998. Reliability and Applicability of Nakamura's Technique Using Microtremors: An Experimental Approach., Journal of Earthquake Engineering, 2, 625-638.
- Nakamura, Y. [1989] "A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface", Quarterly Report of Railway Technical Research Institute (RTRI) 30 (1).
- Okada H., 2003. The microtremor survey method. Geophysical Monograph Series-12, Society of Exploration Geophysicists, Tulsa.
- Osman ahin, ., 1989, Yüzey Dalgası Ortam Tepki Fonksiyonlarından Yararlanarak Anadolu ve Civarında Kabuk ve Üst Manto Yapısının Belirlenmesi, Doktora Tezi, .Ü.Fen Bilimleri Enstitüsü.

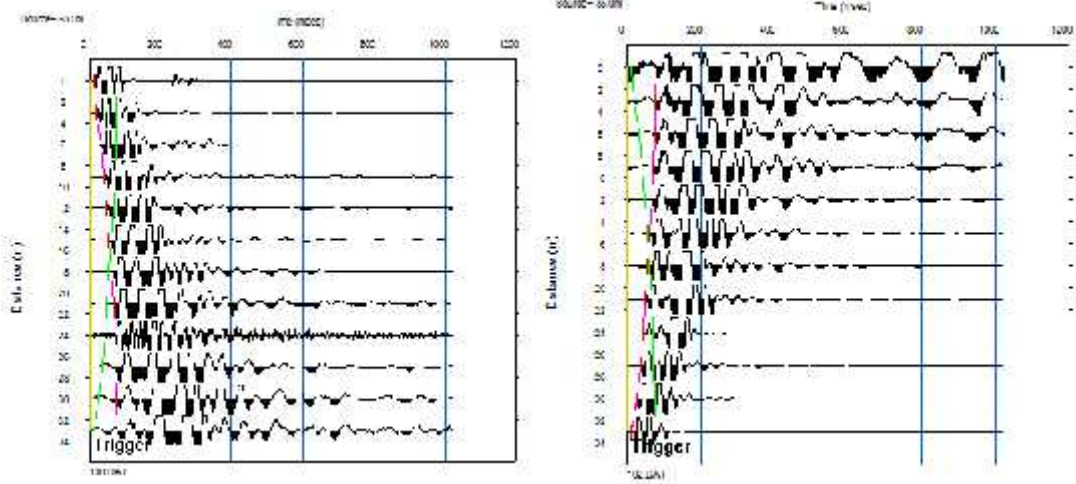
- Ö retmen. Z.,2012. Bayburt Kıratlı Traverten sahasında jeofizik yöntemlerle kırık çatlak sistemlerinin ara tırılması, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. Trabzon.
- Över, S., Büyüksaraç, A., Bekta , Ö. And Filazi, A., 2011. Assessment of potential seismic hazard and site effect in Antakya (Hatay Province), SE Turkey. *Environmental Earth Sciences*, 62: 313-326.
- Park, C.B., Miller, R.D., Xia, J., 1996, Multi-channel analysis of surface waves using Vibroseis(MASWV), Expanded Abstracts of Technical Program with Biographies, SEG, 66th Annual Meeting, Denver, CO, p.68-71.
- Park, C.H., Miller, R.D., and Xia, J., 1999, Multichannel analysis of surface waves, *Geophysics*, 64, 800-808.
- Park, C. B., Miller, D., Laflen, N., Cabrillo, J., Ivanov, B., and Huggins R., 2004. Imaging dispersion curves of passive surface waves. *Society of Exploration Geophysics, Abstracts*, pp. 1357-1360.
- Puech, A., France, F., Rjvoallan, X., Cherel, L., Institut Françajs Du Pétrole, 2004, The use of surface waves in the characterisation of seabed sediment: Development of a MASW system for offshore applications, Seatech Week, Brest, France.
- Rayleigh, L., 1885, On waves propagated along the plane surface of an elastic solid: *Proc. Lond. Math. Soc.*, 17, 4.
- Richart, F.E., Hall, J.R., and Woods, R.D., 1970, *Vibrations of soils and foundations*, Prentice-Hall, Inc.
- Santamarina, J. C., and Fratta, D., 1998. *Introduction to Discrete Signals and Inverse Problems in Civil Engineering*. ASCE Press, Reston, VA.
- Scales, J., and Tenorio, L., 2001. Prior information and uncertainty in inverse problems. *Geophysics*, 66, 389–397.
- Stephenson, W.J. Louie, J.N. Pullammanappallil, S. Williams, R.A. Odum, J.K. 2005, Blind shear-wave velocity comparison of ReMi and MASW results with boreholes to 200 m in Santa Clara Valley: implications for earthquake ground motion assessment, *Bull Seism Soc Am.* 95, 2506–2516.
- Tokgöz, O.E. 2002. Bolu ve yakın çevresinde mikrotremor verileri ile yer etkisinin incelenmesi, Y.L. Tezi, Ankara Üniversitesi, Ankara.
- Thomson, W.T. 1950. Transmission of elastic waves through a stratified soil media. *Research Report R81-2*, Department of Civil Engineering, MIT, Cambridge.

- Ulriksen, C.P.F., 1982, Application of impulse radar to civil engineering: ph.D. thesis, Lund University of Technology.
- Xia, J., Miller, R.D., Park, C.B., 1998, Construction of vertical seismic section of near-surface shear-wave velocity from ground roll, Exp Abstract, SEG/AEGE/CPS, Beijing, p.29-33.
- Xia, J., Miller, R.D. and Park, C.B., 1999, Estimation of near-surface shearwave velocity by inversion of Rayleigh wave, Geophysics, 64, 691-700.
- Xia, J., Miller, R.D., Park, C.B., Hunter, J.A., Harris, J.B., and Ivanov, J., 2002, Comparing shear-wave velocity profiles inverted from multichannel surface wave with borehole measurements, Soil Dyn. Earthq. Eng. 22, 181-190.
- Warnana, D. D., Triwulan, Sungkono, Utama, W., 2011. Assessment to the Soil-Structure Resonance Using Microtremor Analysis on Pare-East Java, Indonesia. Asian Transactions on Engineering, 1:6-12.
- Wilchek, L. (2000). Ground Penetrating Radar for Detection of Rock Structure. M.S. Thesis, Alberta University, Canada.
- Wilson, CDV. 1953. The Origins and Nature of Microseism in the Frequency Range 4 to 100 Hertz. Proceedings of the Royal Society of London. Series A, 217, p.176.
- Yanık, K., 2006. Yüzey Dalgası Dispersiyon Verilerinden Sönümlü En Küçük Kareler Ters Çözüm Yöntemi ile S Dalga Hızlarının Hesaplanması, Y.L. Tezi, Ankara Üniversitesi, Ankara
- Yıldız U. Mayıs 2003 ankara üniversitesi astronomi ve uzay bilimleri bölümü
- Yılmaz, I.(1994). Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Kampüs Alanı Zeminlerinin Jeo-Mühendislik Özelliklerinin ncelenmesi, Y.L. Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas.
- Yılmaz, A., Yılmaz, H., 2006. Characteristic Features and Structural Evolution of a PostCollisional Basin: The Sivas Basin, Central Anatolia, Turkey: Journal of Asian Earth Sciences 27, 164 – 176.

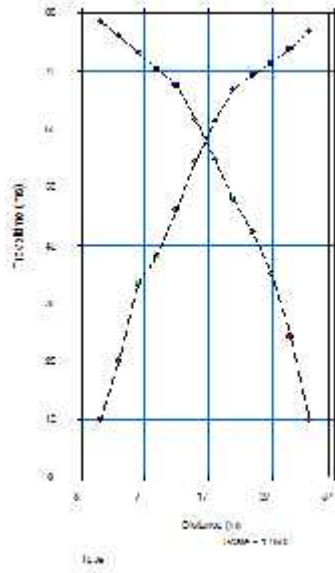
## EKLER

## EK-1. S SM K ÇALI MALAR

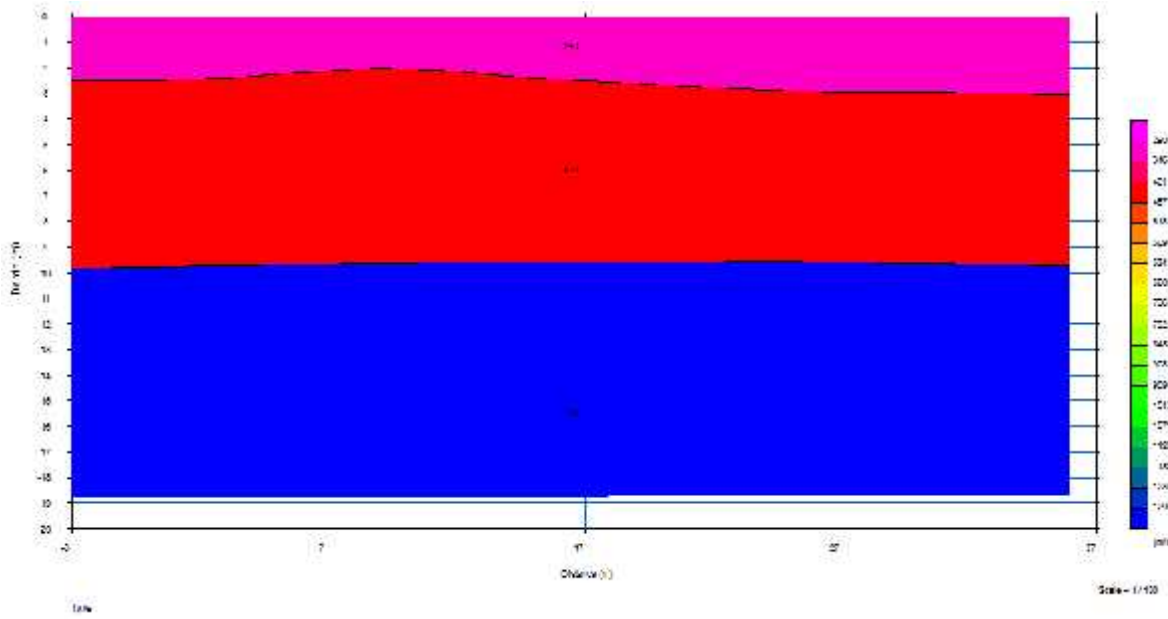
Alan1-Sis-1 P Dalgası sismik izleri(a), hız-zaman grafi i(b) ve yer altı kesiti(c)



(a)

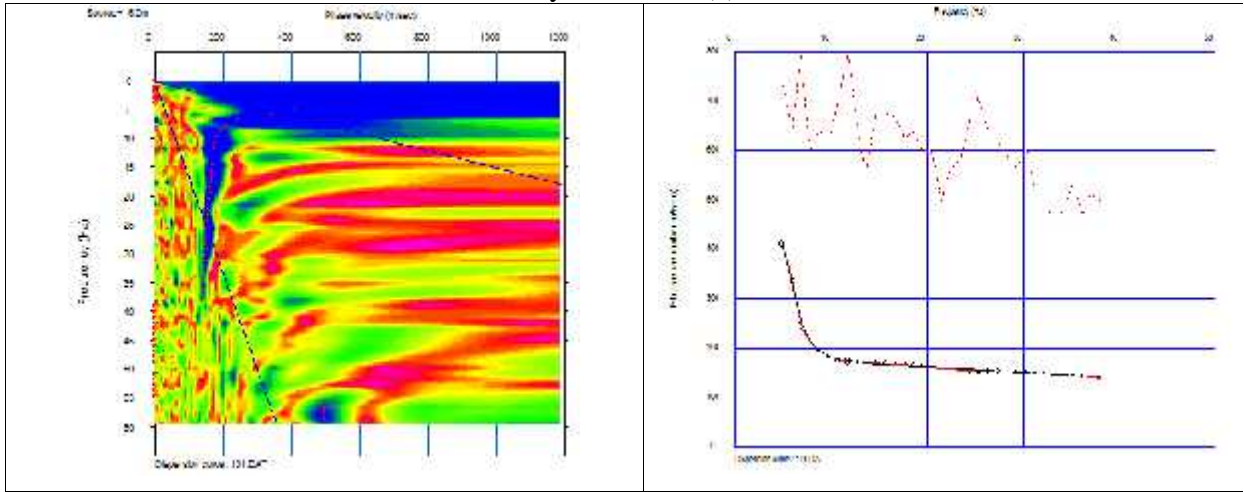


(b)



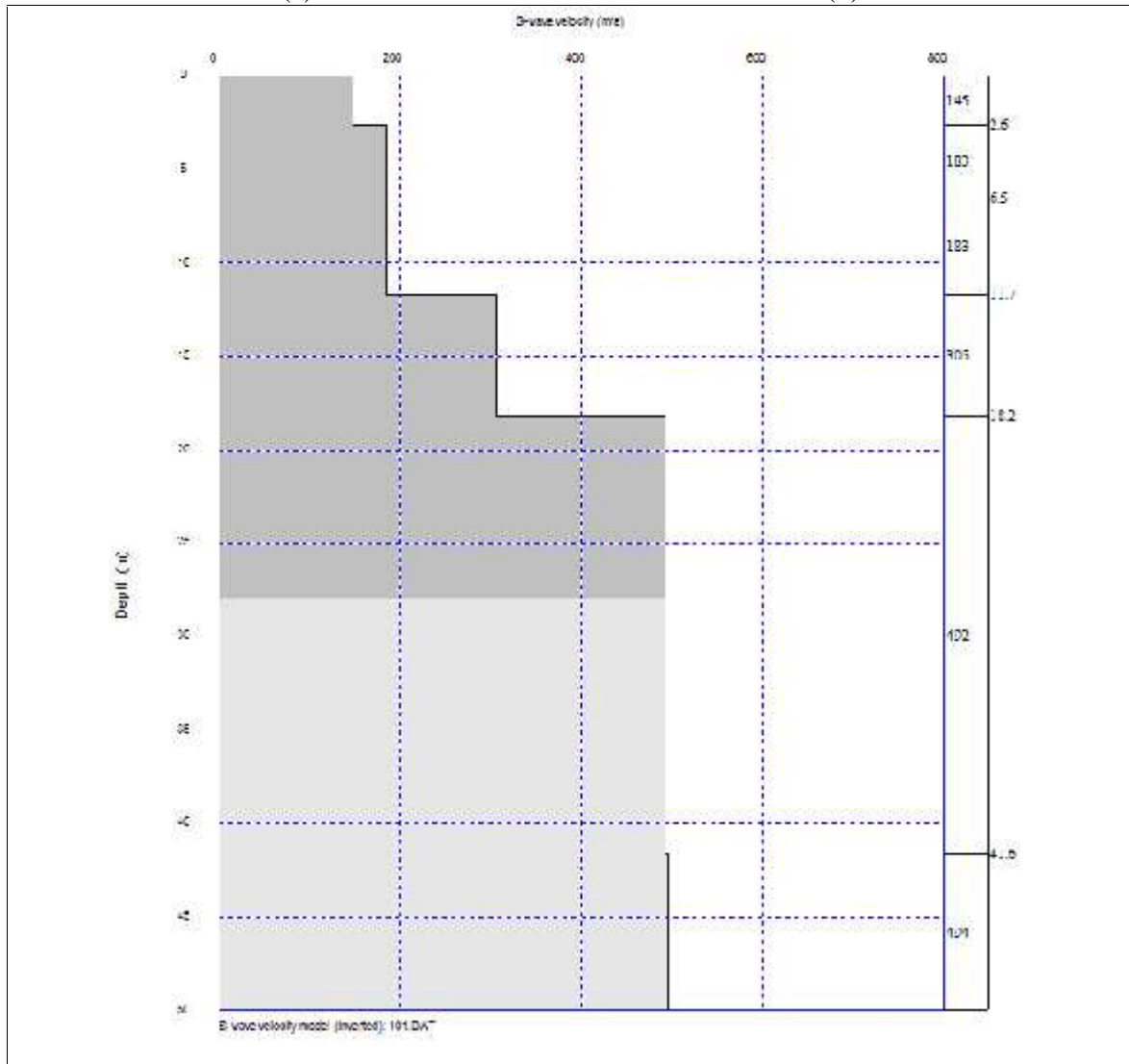
(c)

Alan1-Mw-1. Dispersiyon Pikleri(a), Dispersiyon E risi(b), Vs Hız Kesiti(c), Ayrıntılı Vs Düzey Hız Kesiti(c),

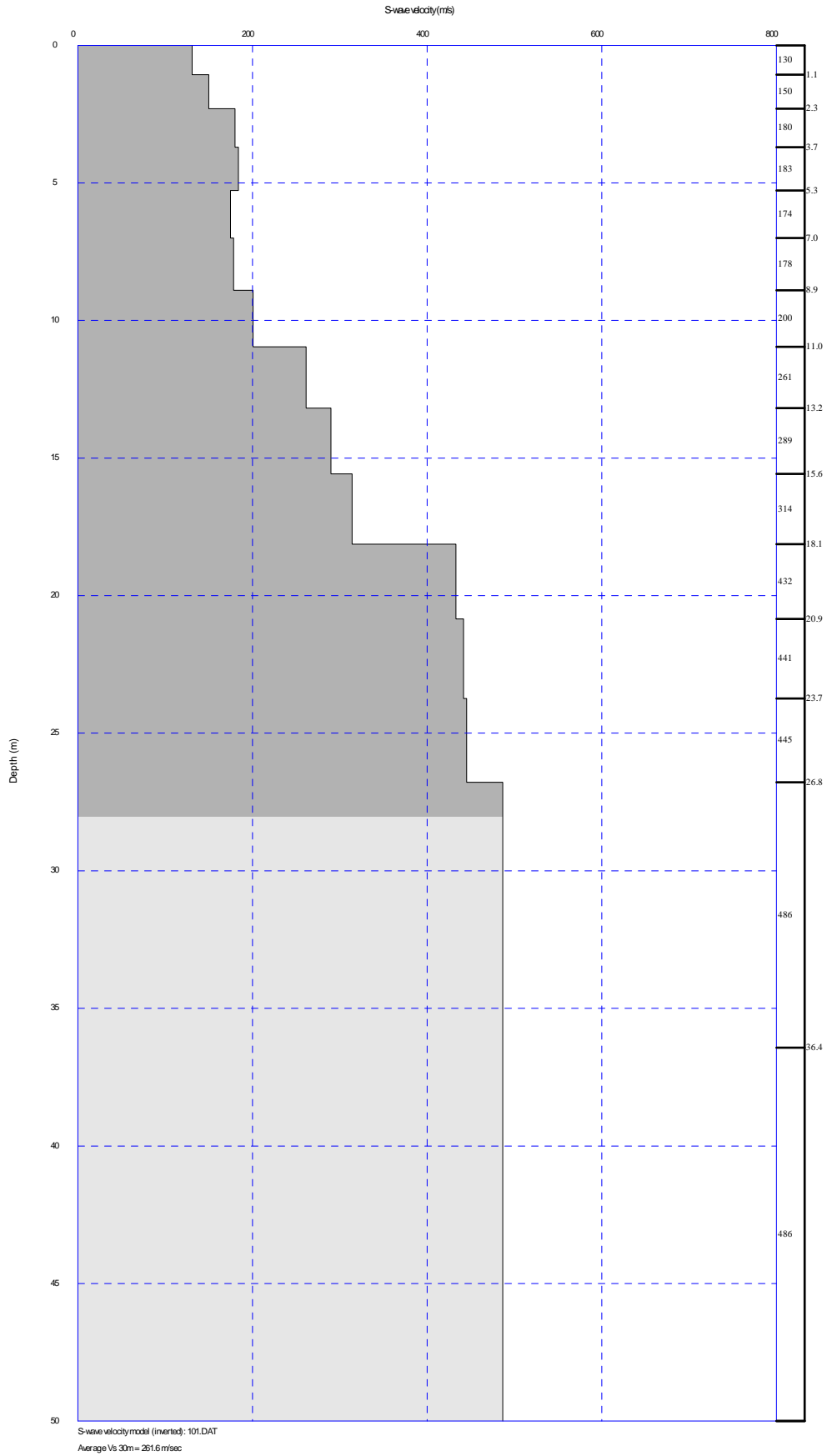


(a)

(b)

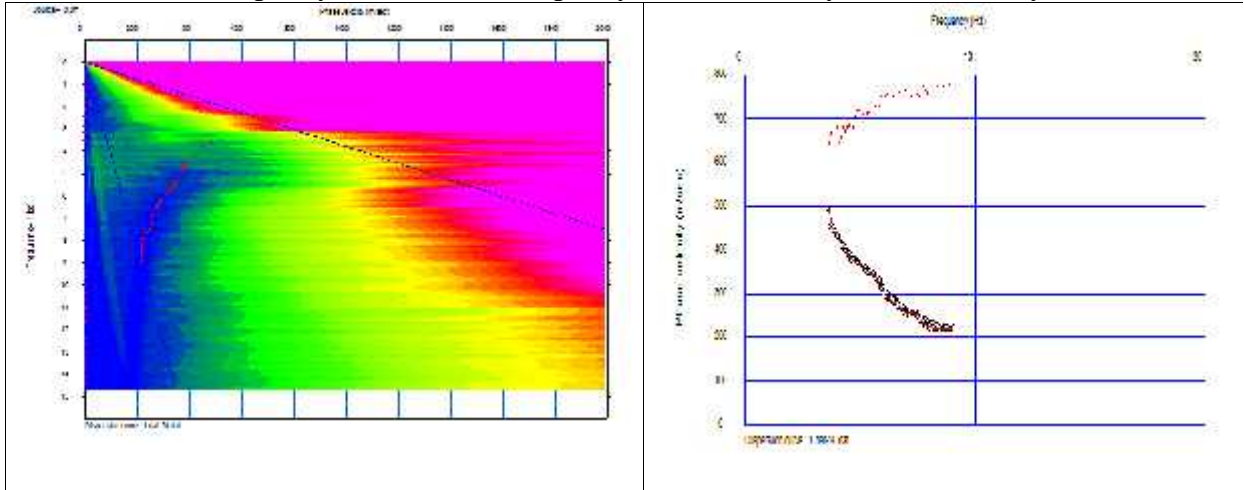


(c)



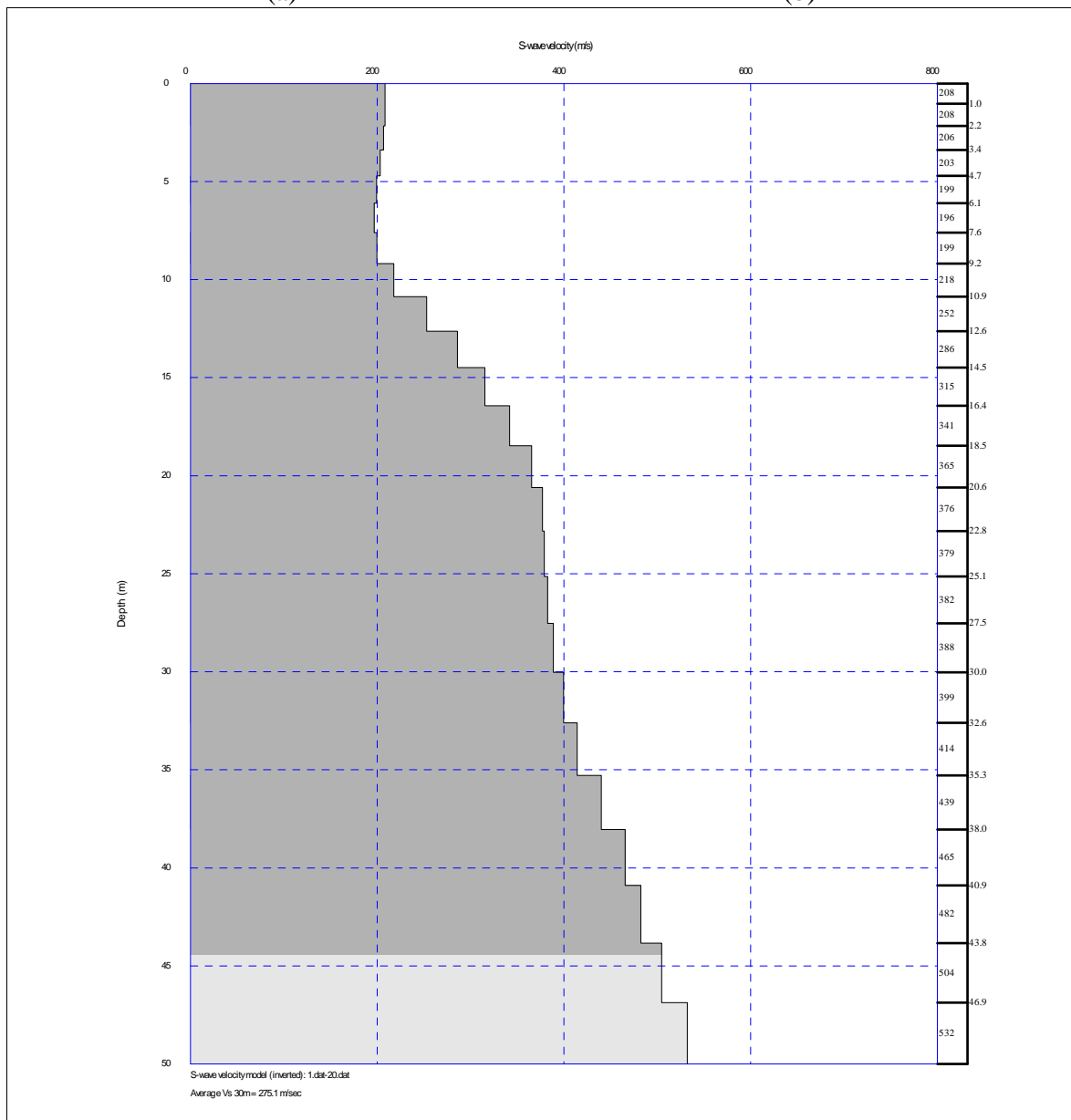
(d)

Alan 1-Remi-1. Dispersiyon Pikleri(a), Dispersiyon Erisi(b), Ayrıntılı Vs Döey Hız Kesiti(c),



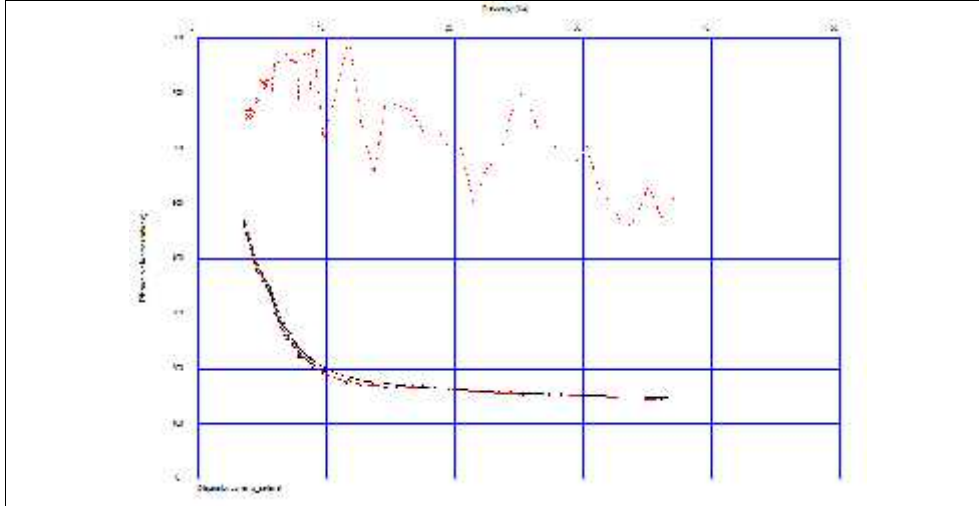
(a)

(b)

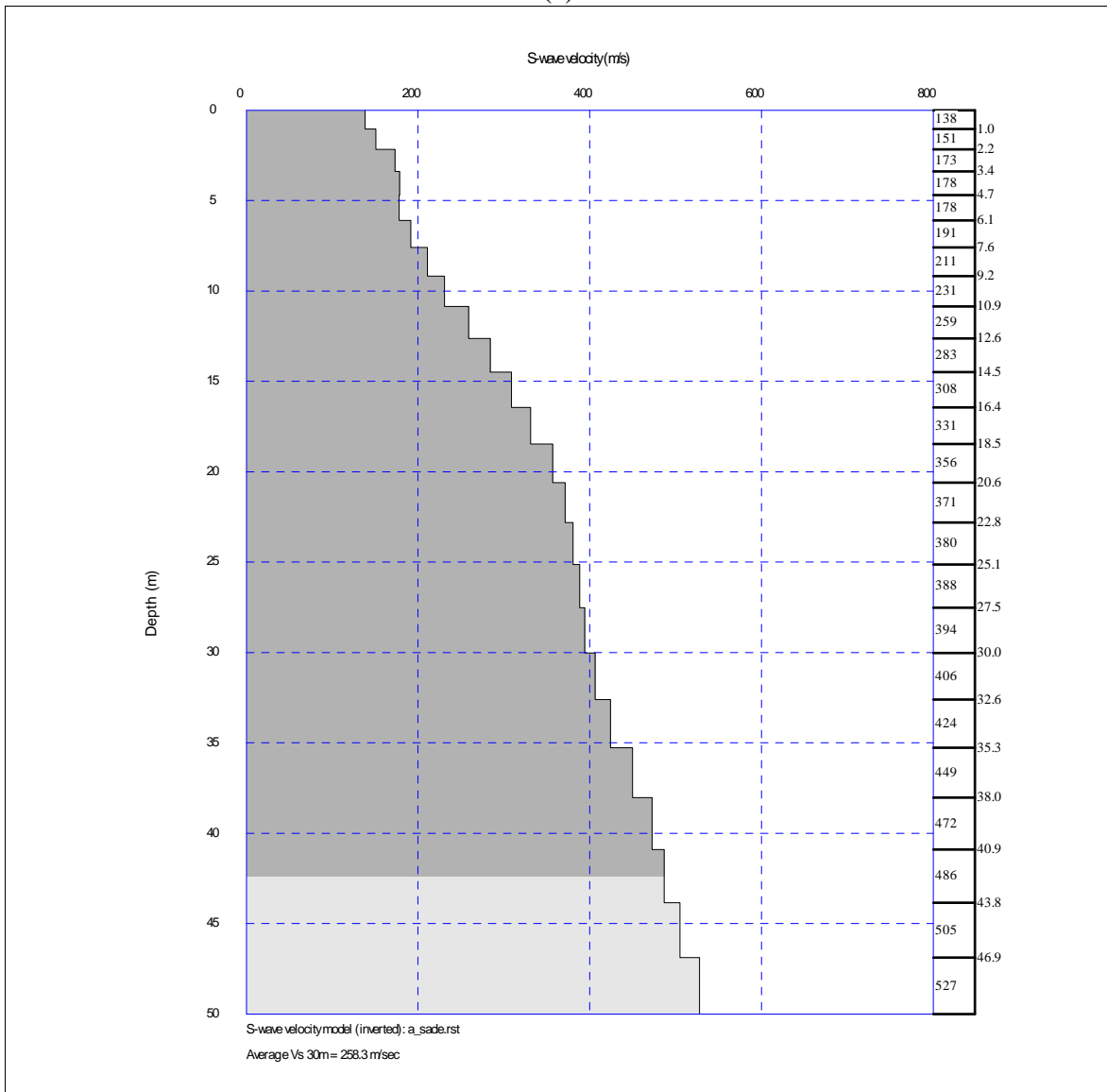


(c)

Alan1-Masw-1+Remi-1. Dispersiyon Erişi(a), Ayrıntılı Vs Düşey Hız Kesiti(b),



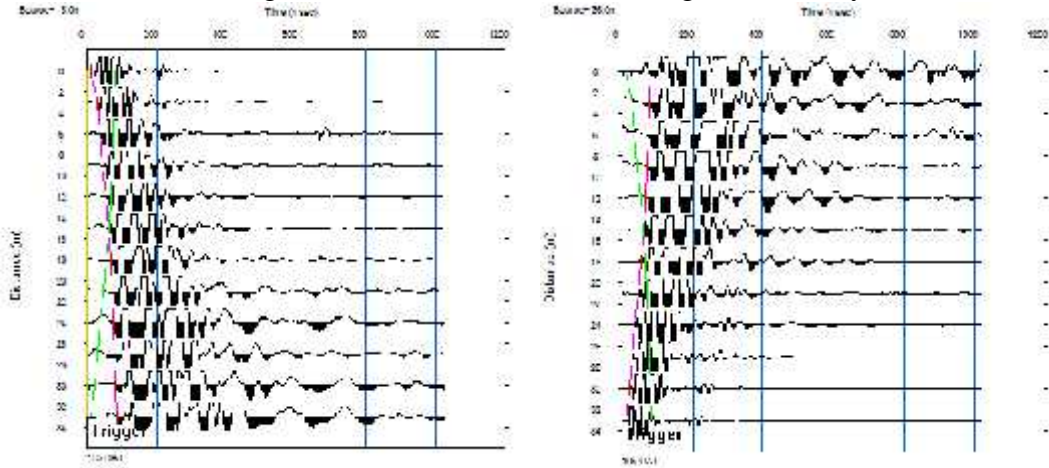
(a)



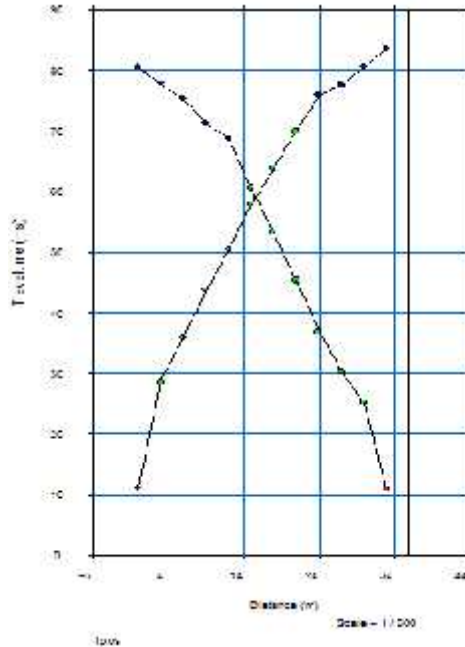
(b)

| SER M NO | Tbk. | V <sub>p</sub><br>(m/s) | V <sub>s</sub><br>(m/s) | h<br>(m) | V <sub>s30</sub> | V <sub>p</sub> /V <sub>s</sub> | ...1<br>(gr/cm <sup>3</sup> ) | G <sub>max</sub><br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | E <sub>d</sub><br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | €1   | q <sub>u</sub><br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | K<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) |
|----------|------|-------------------------|-------------------------|----------|------------------|--------------------------------|-------------------------------|---|---|------|---|----------------------------|
| Mw-1     | 1    | 290                     | 145                     | 3        | 258              | 2.00                           | 1.3                           | 269                                       | 716                                     | 0.33 | 1.2                                     | 716                        |
|          | 2    | 436                     | 183                     | 8        |                  | 2.38                           | 1.4                           | 474                                       | 1320                                    | 0.39 | 2.0                                     | 2057                       |
|          | 3    | 1294                    | 305                     | -        |                  | 4.24                           | 1.9                           | 1727                                      | 5079                                    | 0.47 | 6.4                                     | 28782                      |

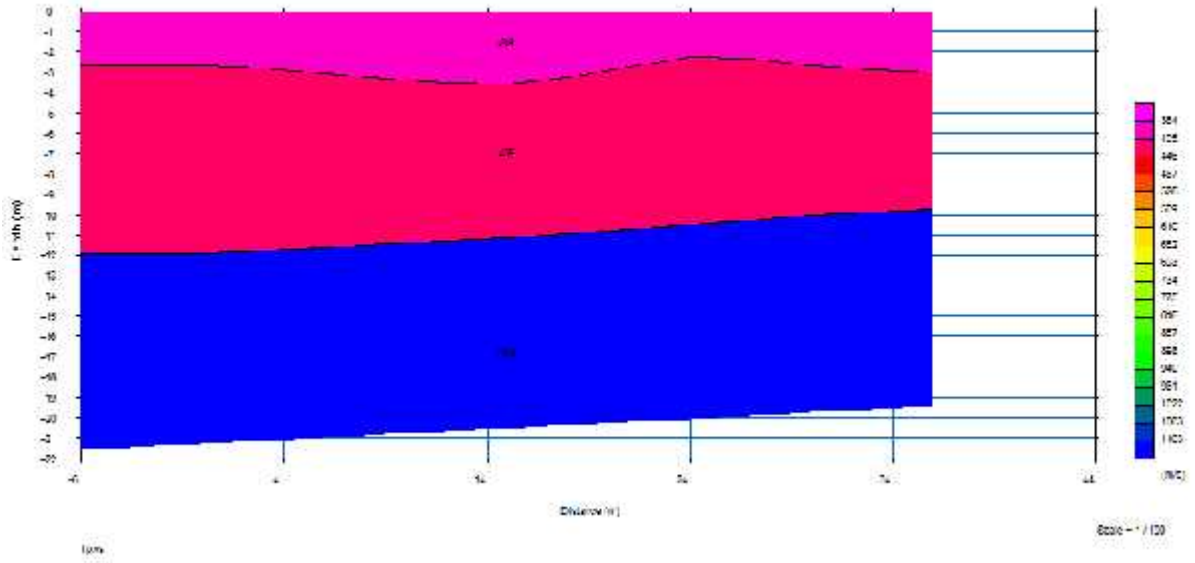
Alan 2-Sis-1 P Dalgası sismik izleri(a), hız-zaman grafi i(b) ve yer altı kesiti(c)



(a)

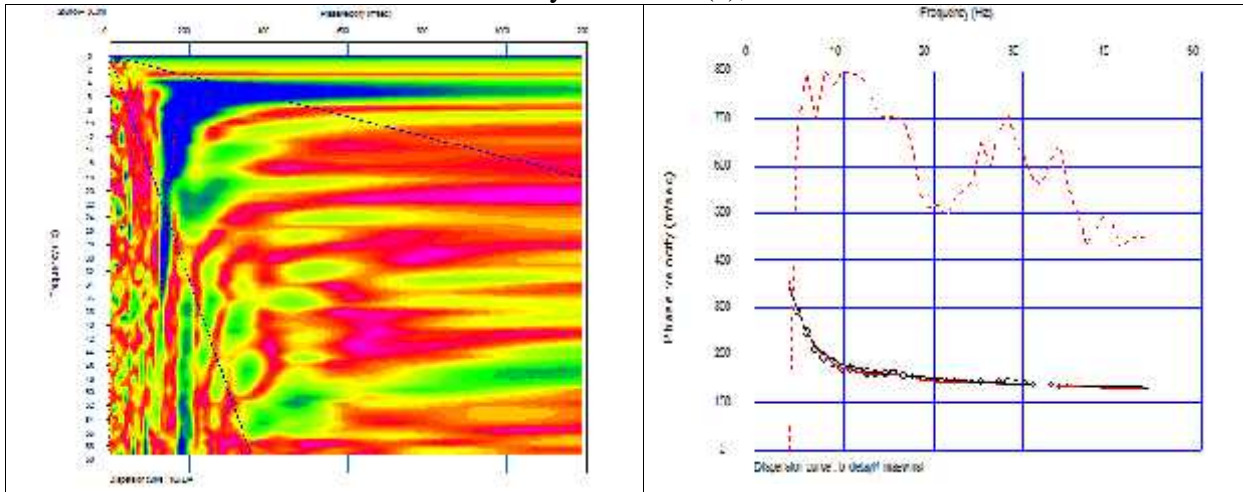


(b)



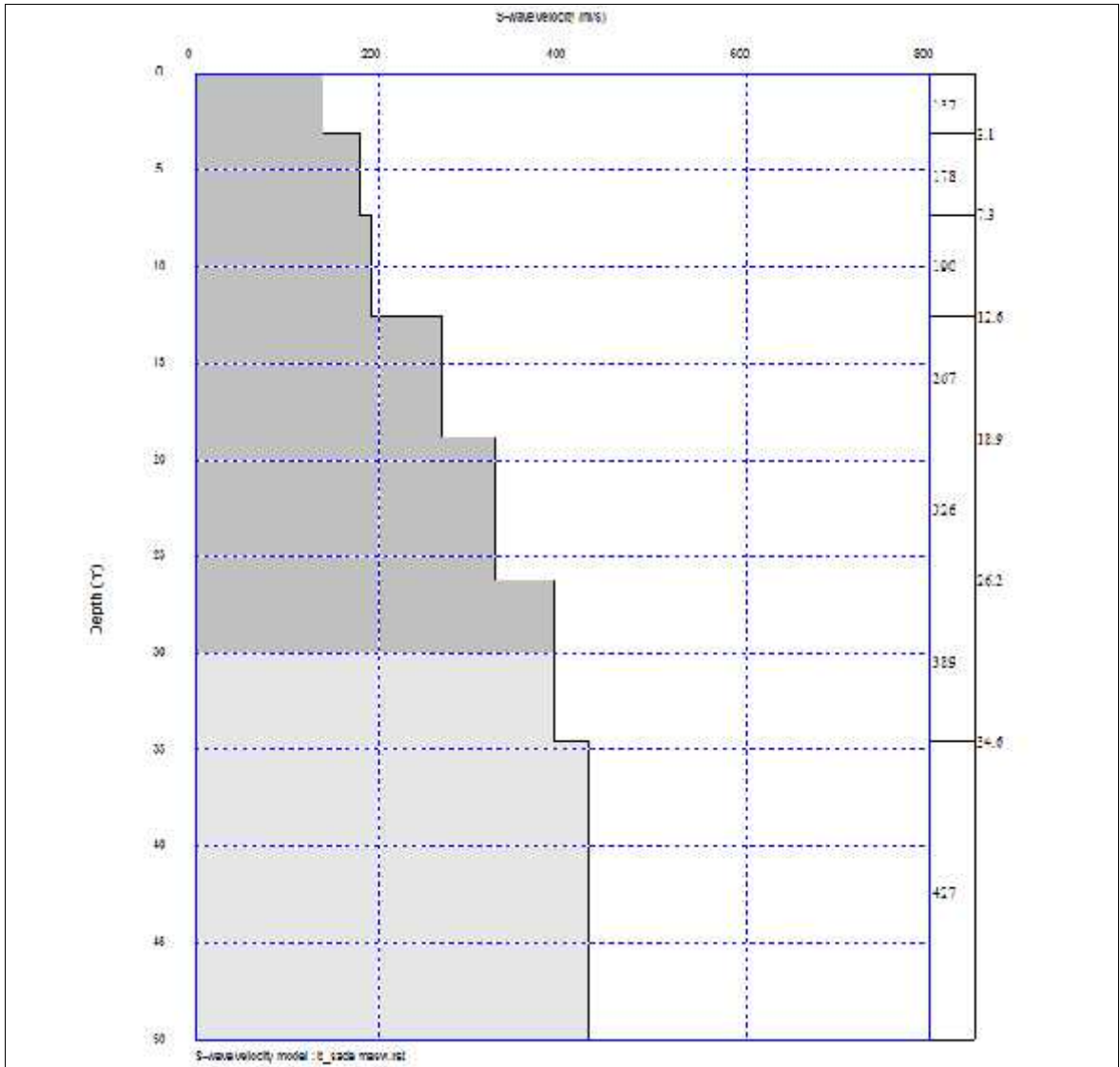
(c)

Alan 2-Mw-1. Dispersiyon Pikleri(a), Dispersiyon E risi(b), Vs Hız Kesiti(c), Ayrıntılı Vs Dü ey Hız Kesiti(c),

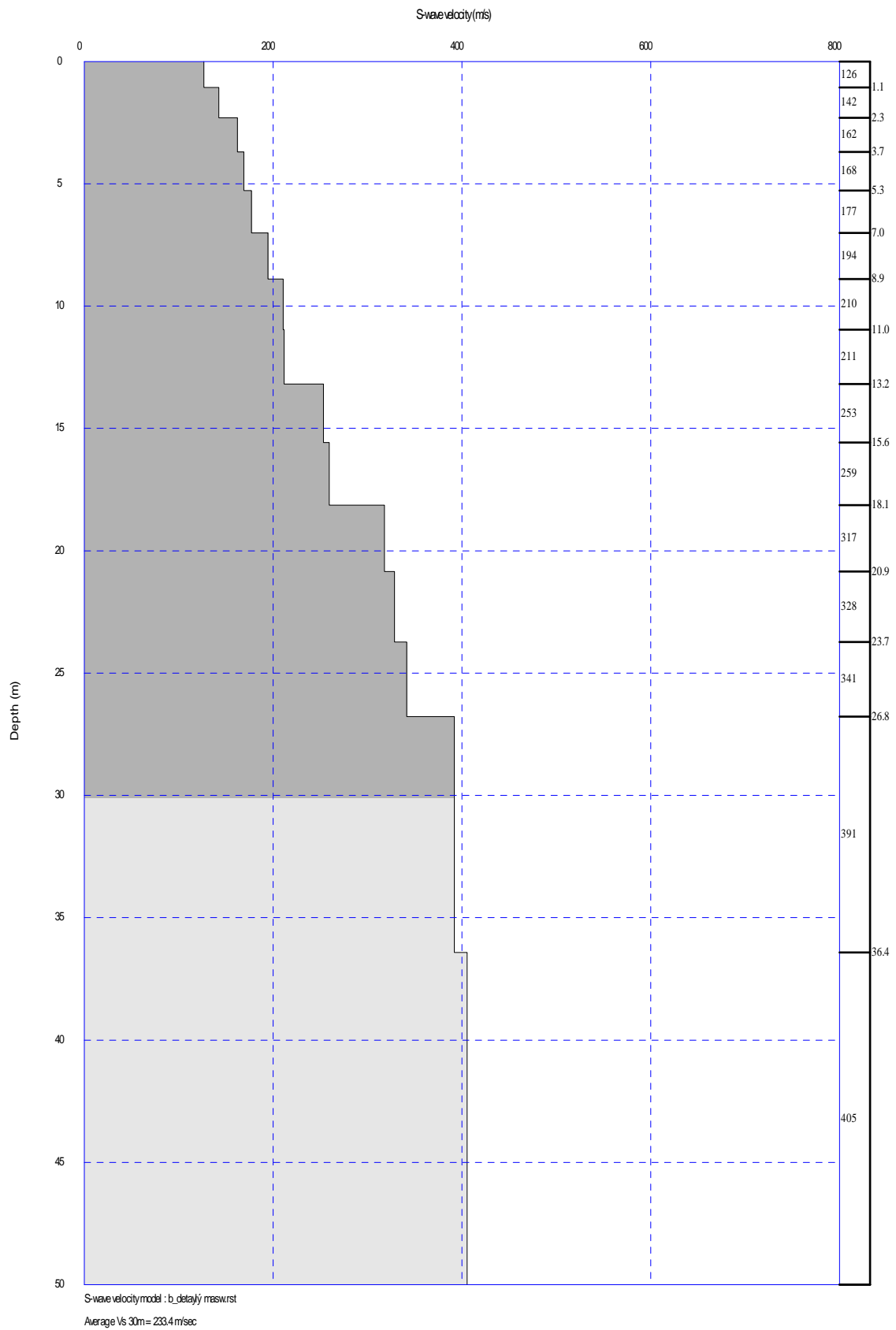


(a)

(b)

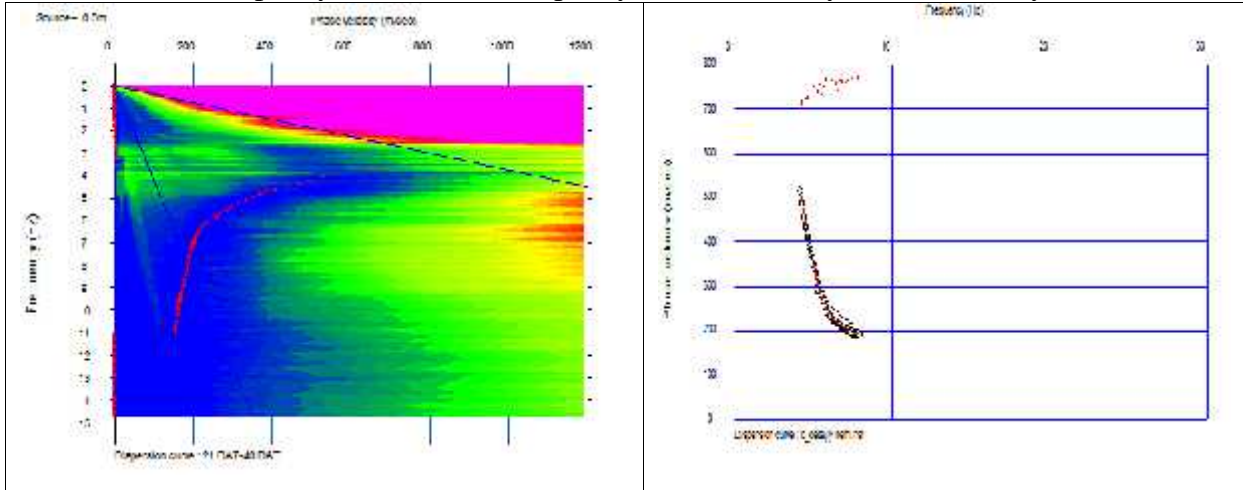


(c)



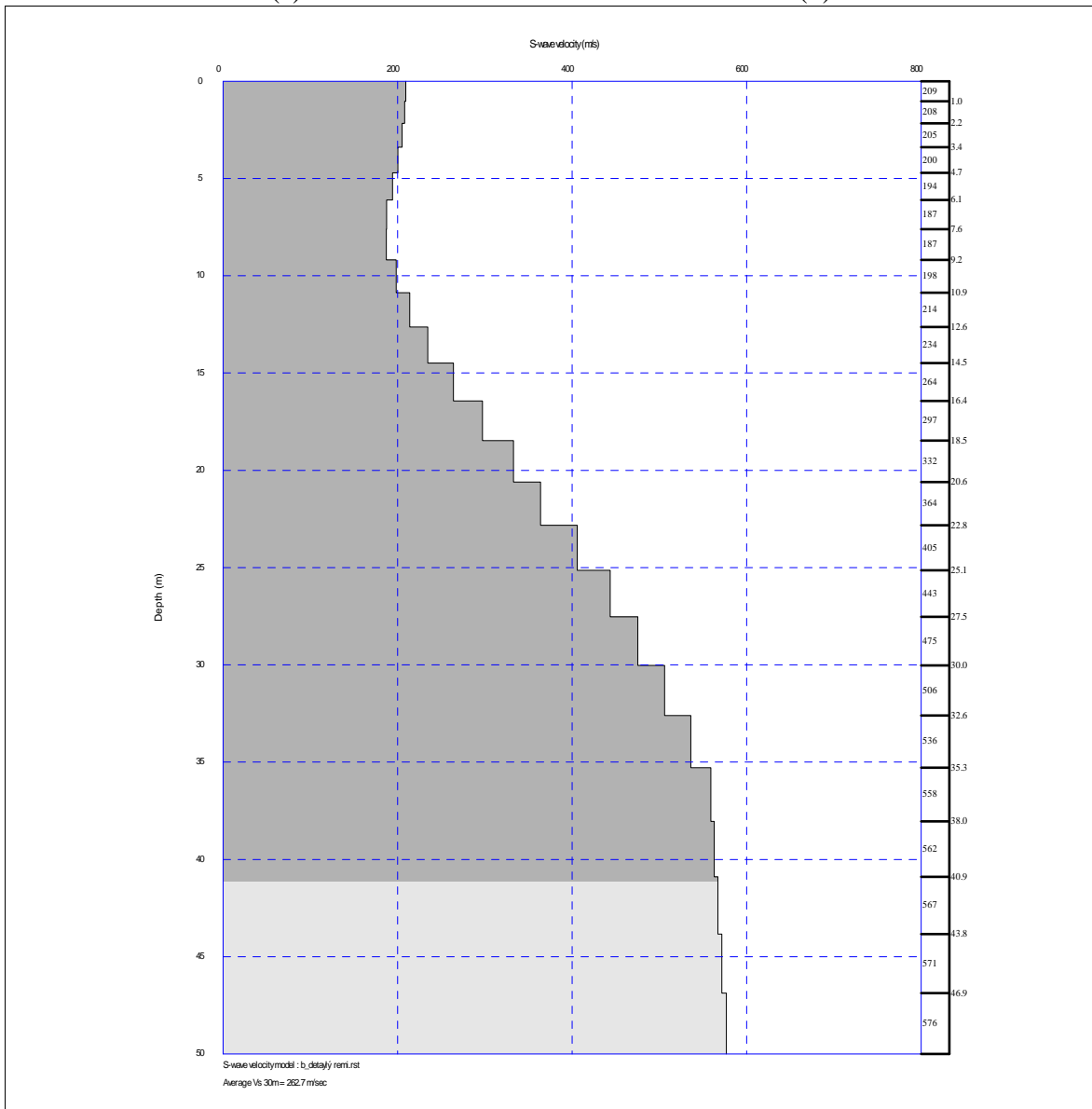
(d)

Alan 2-Remi-1. Dispersiyon Pikleri(a), Dispersiyon Erisi(b), Ayrıntılı Vs Döey Hız Kesiti(c),



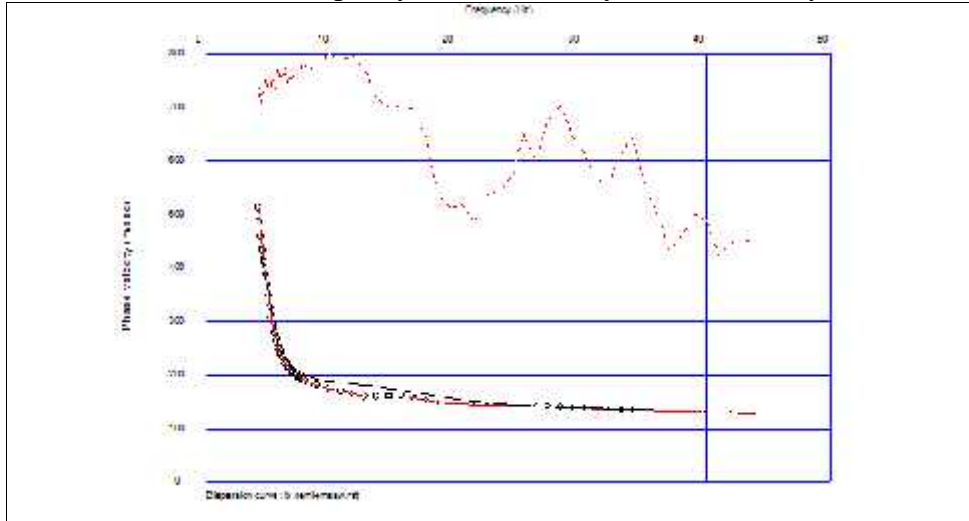
(a)

(b)

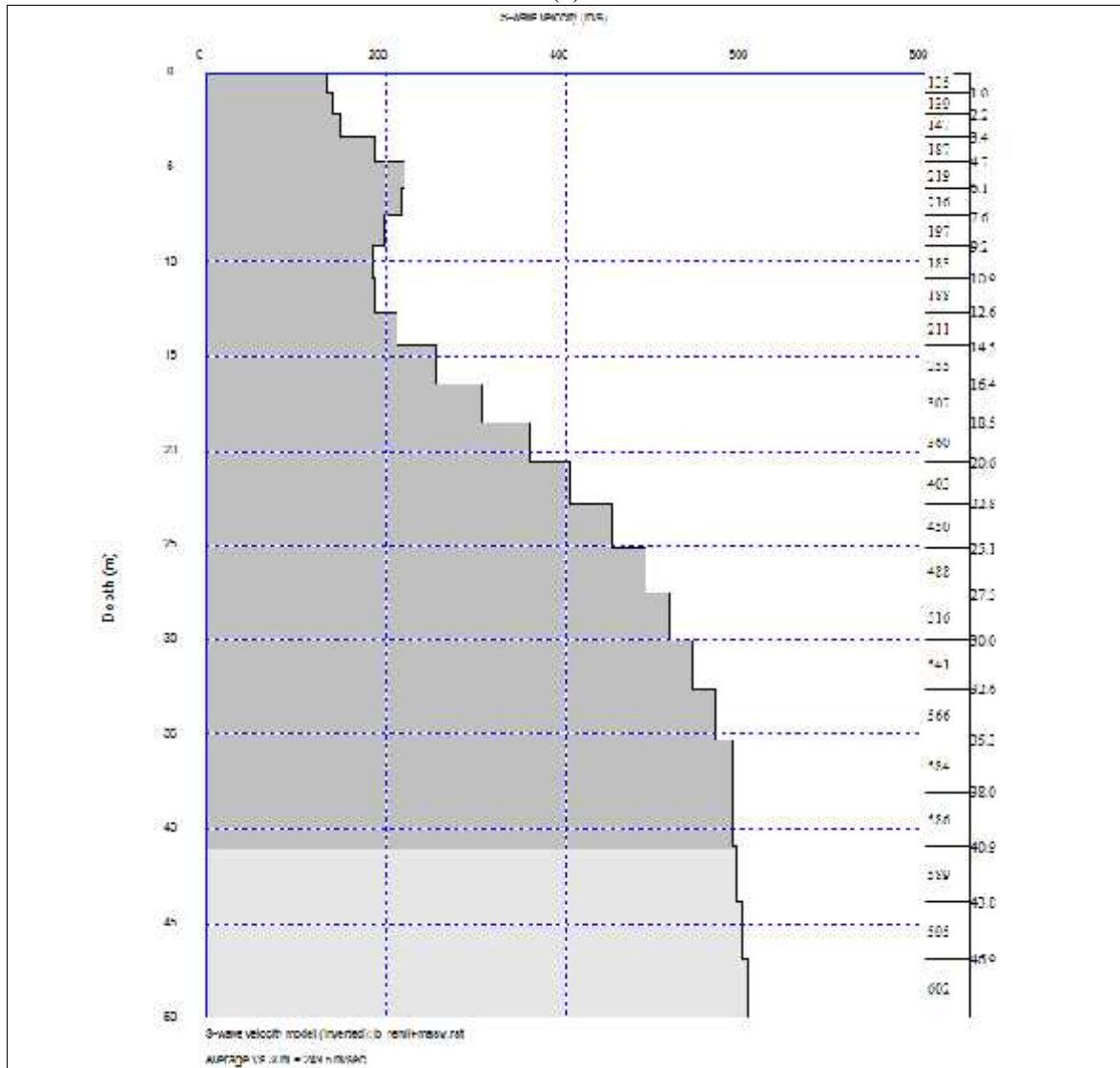


(c)

Alan 2-Masw-1+Remi-1. Dispersiyon Erisi(a), Ayrıntılı Vs Düzey Hız Kesiti(b),



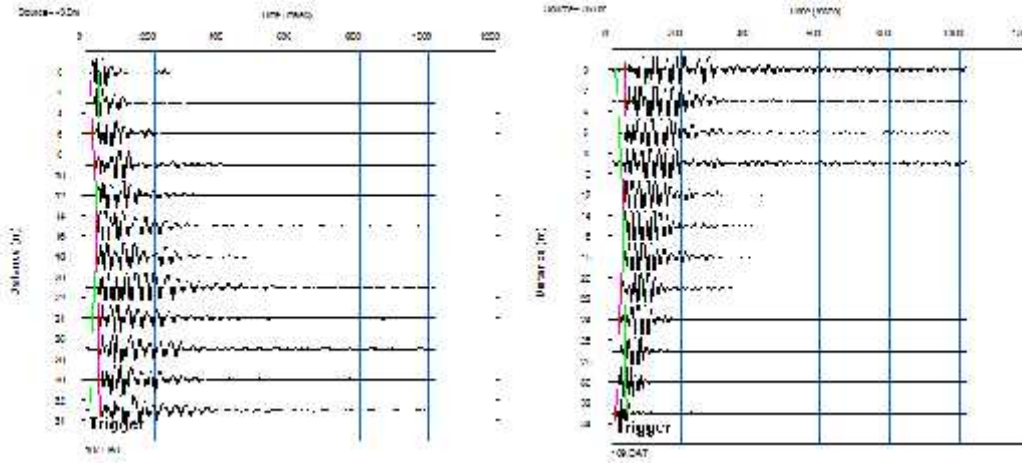
(a)



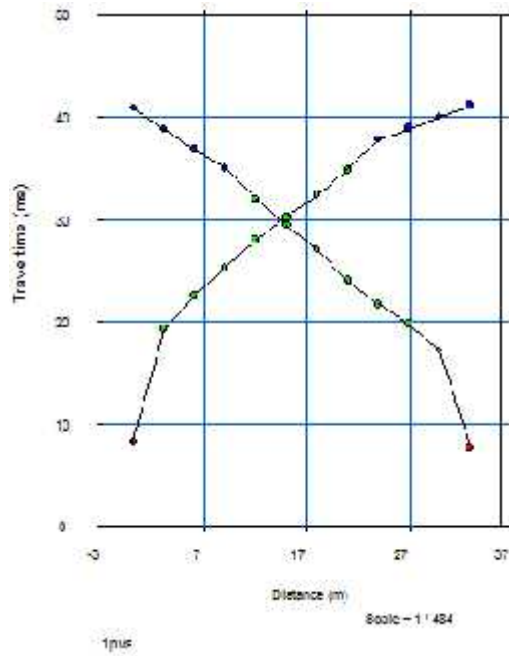
(b)

| SER M NO | Tbk. | $V_p$<br>(m/s) | $V_s$<br>(m/s) | h<br>(m) | $V_{s30}$ | $V_p/V_s$ | ...1<br>(gr/cm <sup>3</sup> ) | $G_{max}$<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | $E_d$<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | $\epsilon_1$ | $q_u$<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | $K$<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) |
|----------|------|----------------|----------------|----------|-----------|-----------|-------------------------------|------------------------------------|--------------------------------|--------------|--------------------------------|------------------------------|
| Mw-1     | 1    | 364            | 137            | 3        | 250       | 2.66      | 1.4                           | 254                                | 719                            | 0.42         | 1.1                            | 1453                         |
|          | 2    | 439            | 184            | 9        |           | 2.39      | 1.4                           | 480                                | 1337                           | 0.39         | 2.0                            | 2091                         |
|          | 3    | 1104           | 267            | -        |           | 4.13      | 1.8                           | 1272                               | 3737                           | 0.47         | 4.7                            | 20050                        |

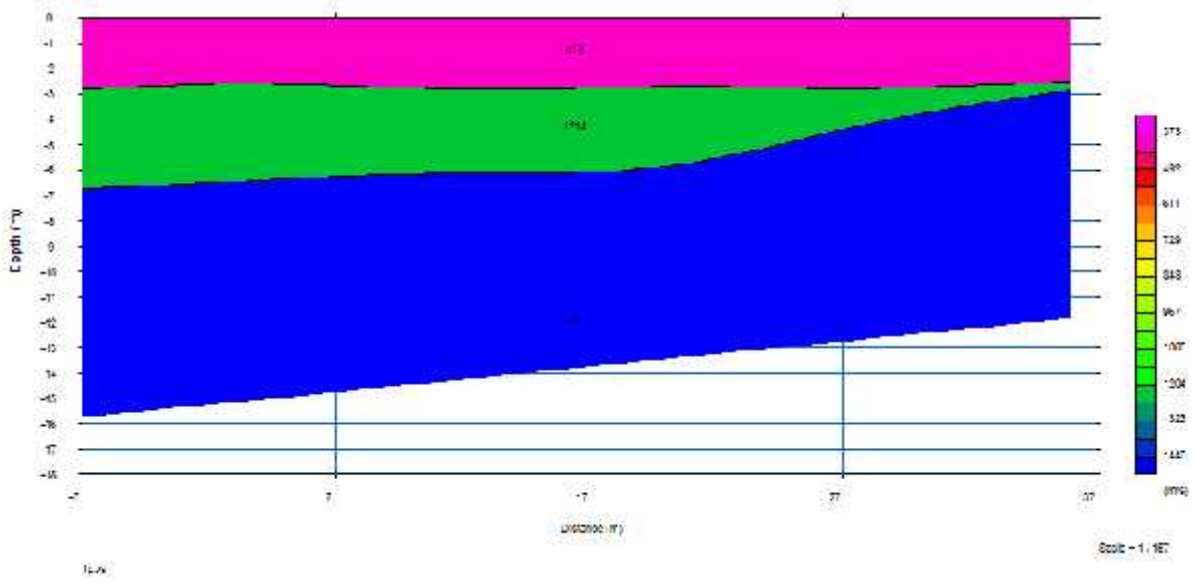
Alan 3-Sis-1 P Dalgası sismik izleri(a), hız-zaman grafi i(b) ve yer altı kesiti(c)



(a)

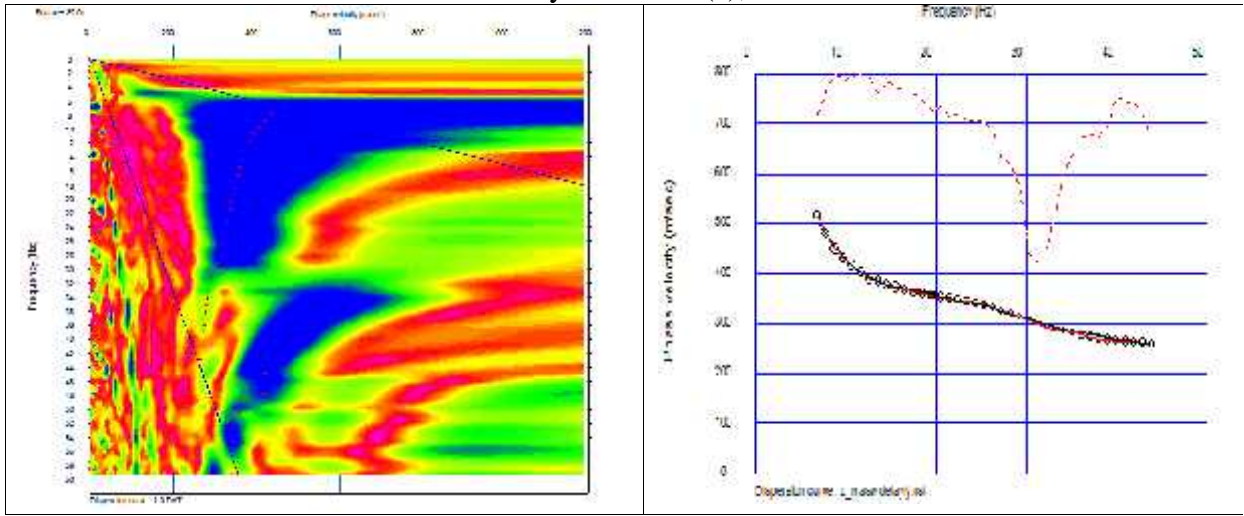


(b)



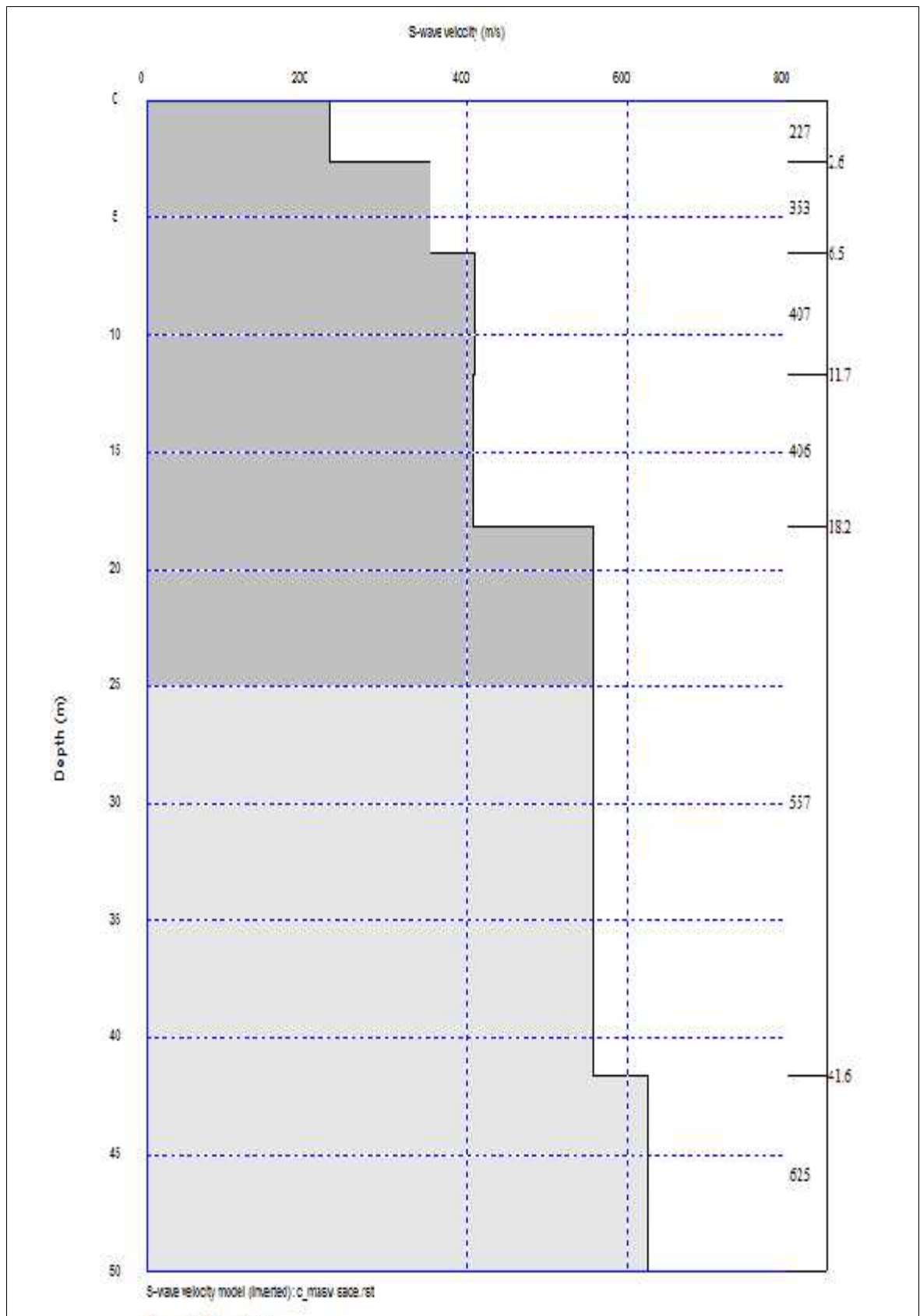
(c)

Alan 3-Mw-1. Dispersiyon Pikleri(a), Dispersiyon E risi(b), Vs Hız Kesiti(c), Ayrıntılı Vs Düzey Hız Kesiti(c),

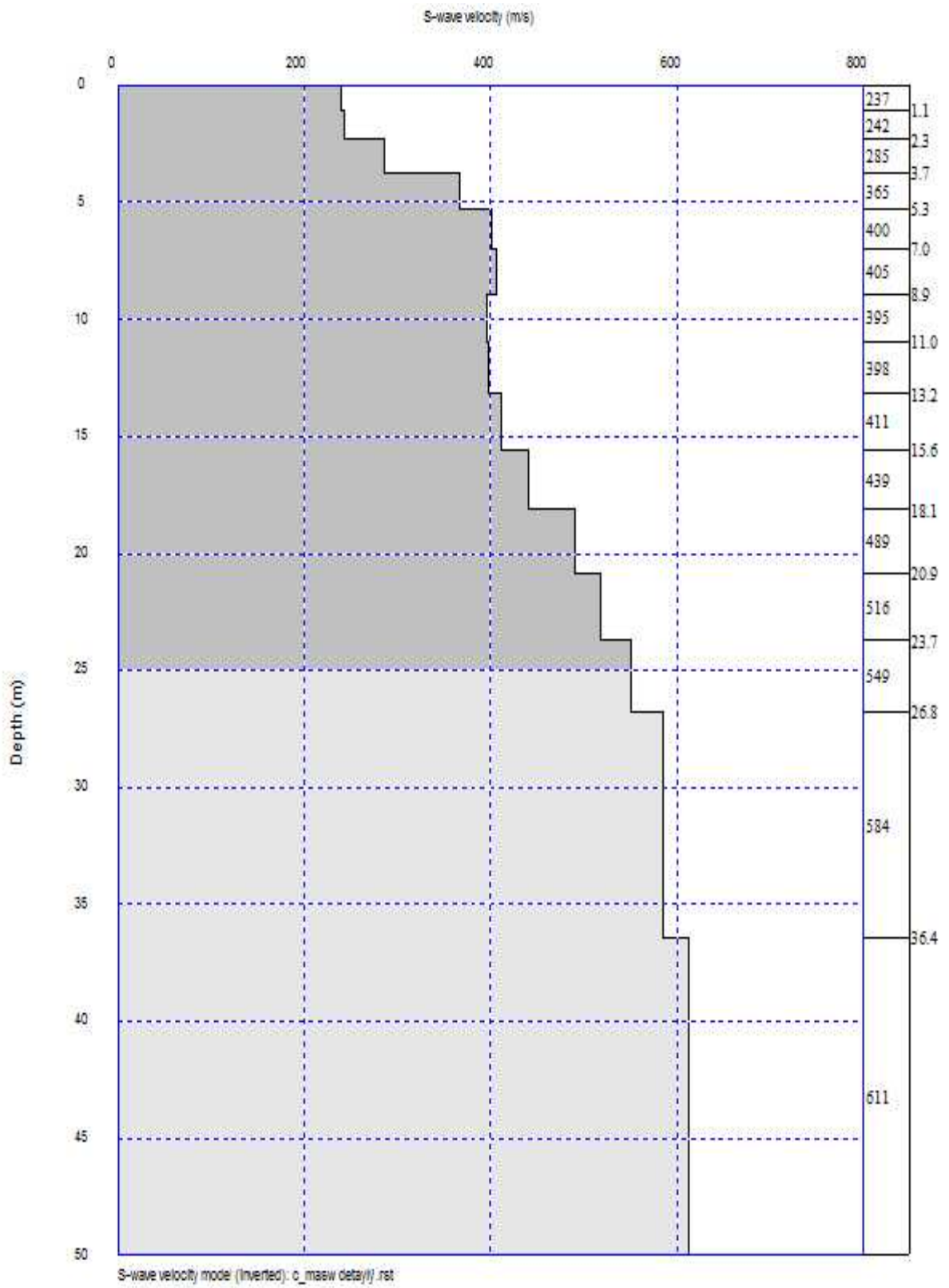


(a)

(b)

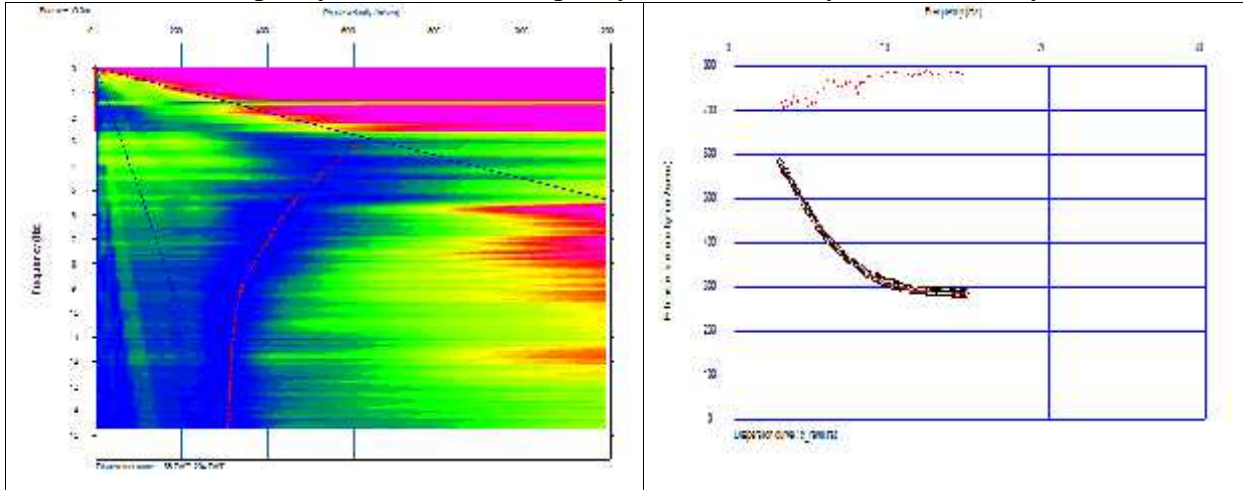


(c)



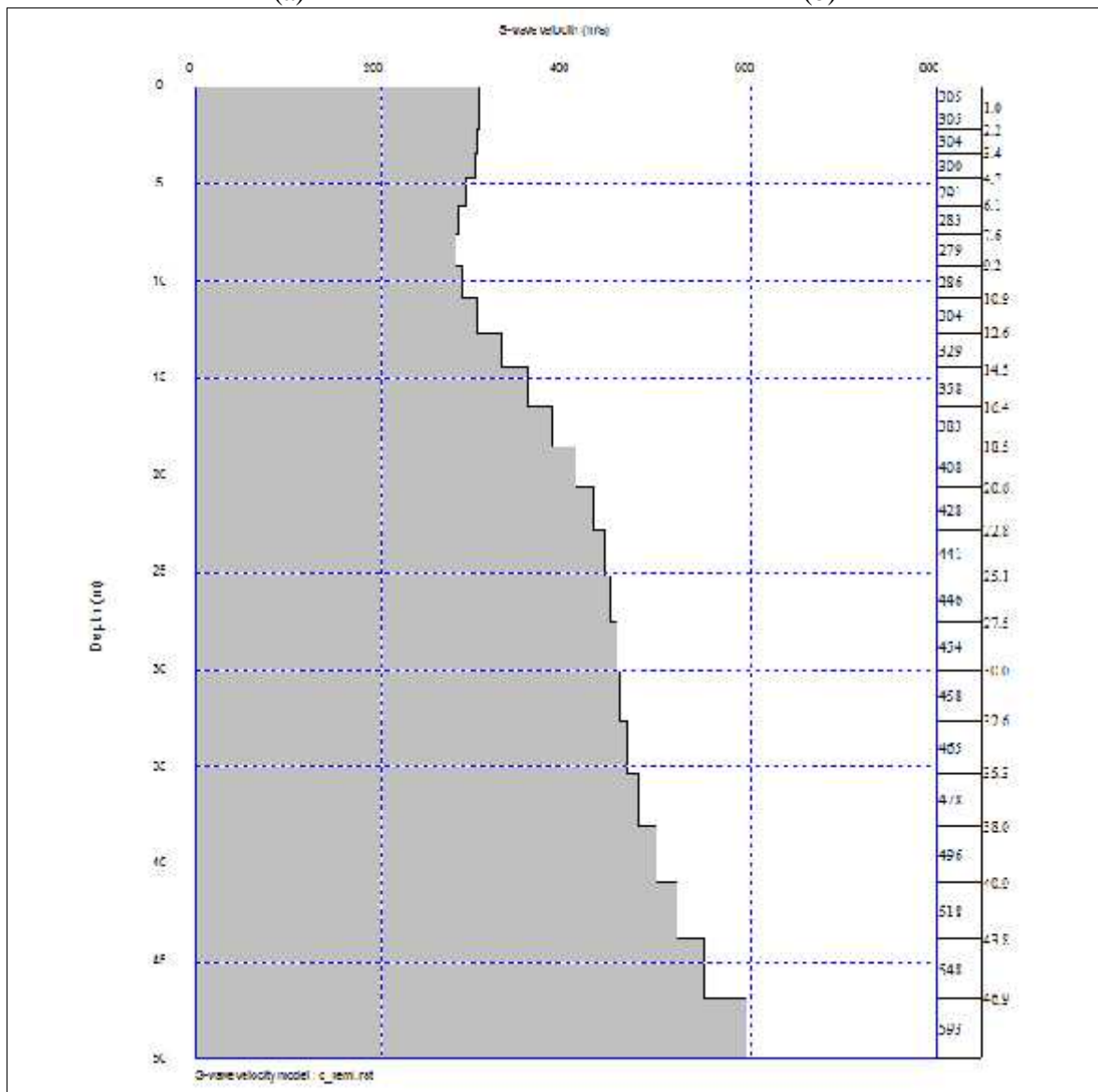
(d)

Alan 3-Remi-1. Dispersiyon Pikleri(a), Dispersiyon Erisi(b), Ayrıntılı Vs Döey Hız Kesiti(c),



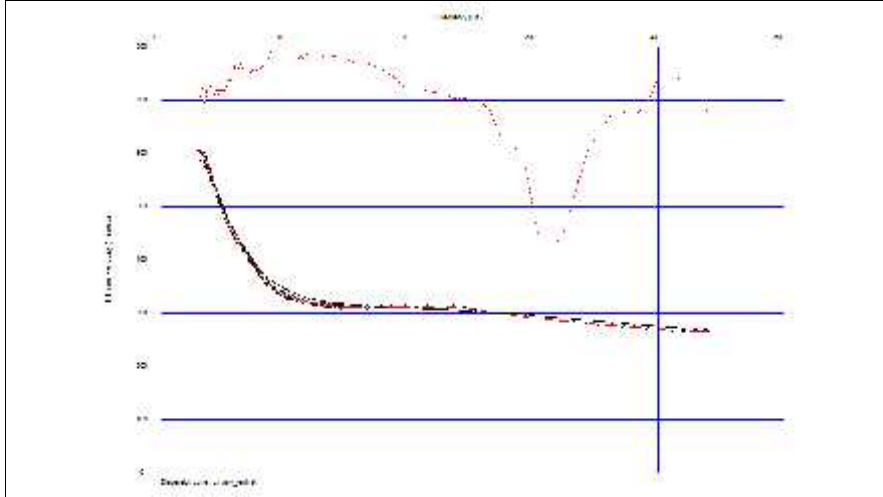
(a)

(b)

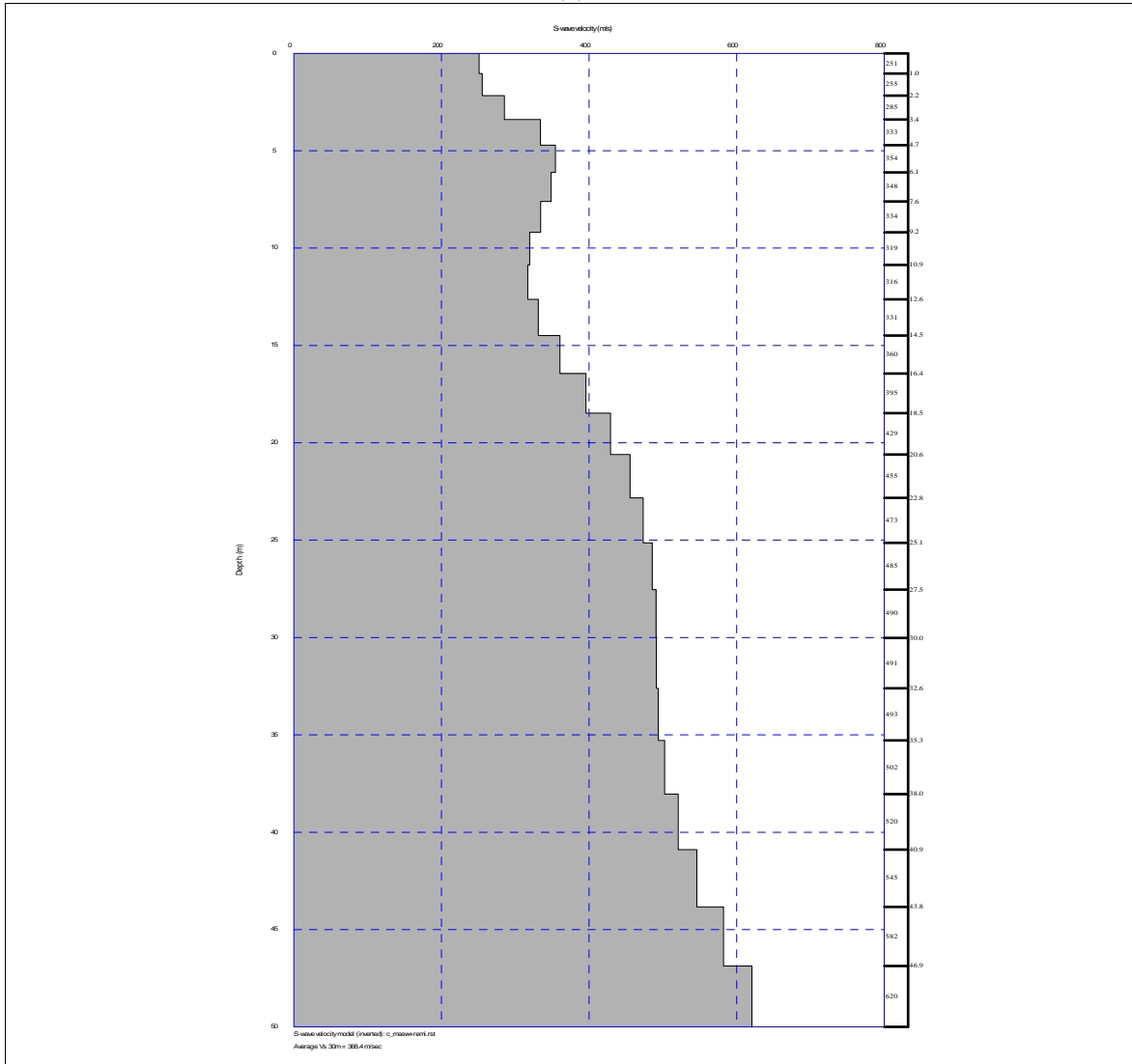


(c)

Alan 3-Masw-1+Remi-1. Dispersiyon Erisi(a), Ayrıntılı Vs Düzey Hız Kesiti(b),



(a)



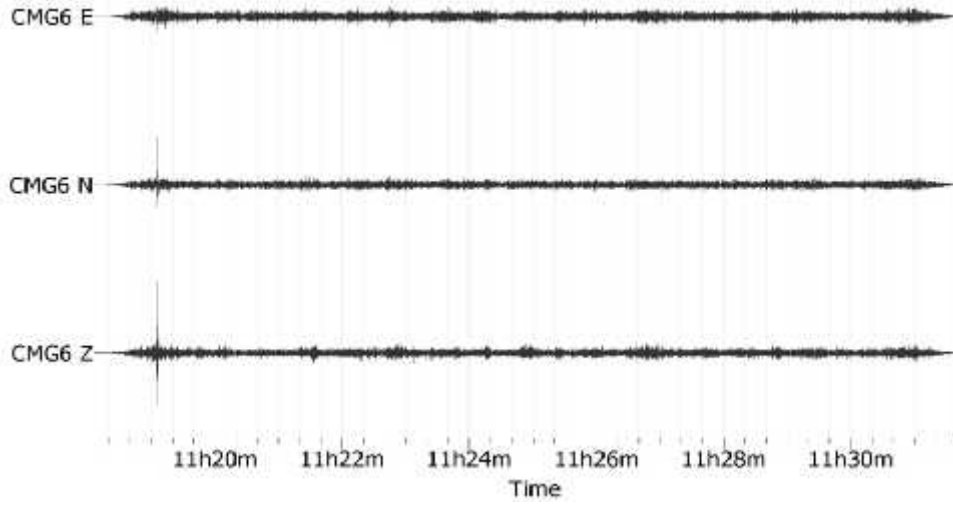
(b)

| <b>SER M<br/>NO</b> | <b>Tbk.</b> | <b>V<sub>p</sub></b><br>(m/s) | <b>V<sub>s</sub></b><br>(m/s) | <b>h</b><br>(m) | <b>V<sub>s30</sub></b> | <b>V<sub>p</sub>/V<sub>s</sub></b> | <b>...1</b><br>(gr/cm <sup>3</sup> ) | <b>G<sub>max</sub></b><br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | <b>E<sub>d</sub></b><br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | <b>€1</b> | <b>q<sub>u</sub></b><br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | <b>K</b><br>(kg/cm <sup>2</sup> ) |
|---------------------|-------------|-------------------------------|-------------------------------|-----------------|------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|---|---|-----------|---|-----------------------------------|
| <b>Mw-1</b>         | 1           | 373                           | 227                           | 3               | 366                    | 1.64                               | 1.4                                  | 701   | 1690  | 0.21      | 3.3   | 958                               |
|                     | 2           | 1214                          | 353                           | 4               |                        | 3.44                               | 1.8                                  | 2277  | 6620  | 0.45      | 8.9   | 23891                             |
|                     | 3           | 1441                          | 407                           | -               |                        | 3.54                               | 1.9                                  | 3159  | 9203  | 0.46      | 12.3  | 35388                             |

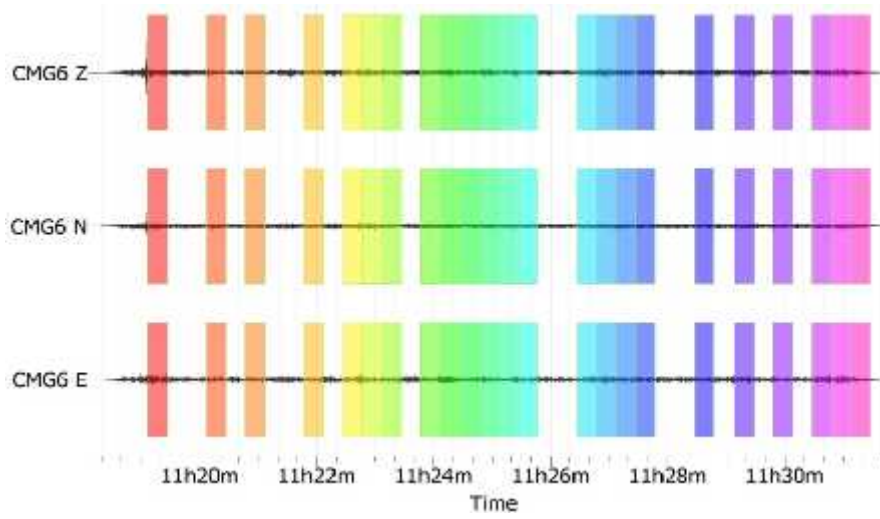
## EK-2. Mikrotremor alı ması Ekleri

## **A BİNASI (JEOLJİ)**

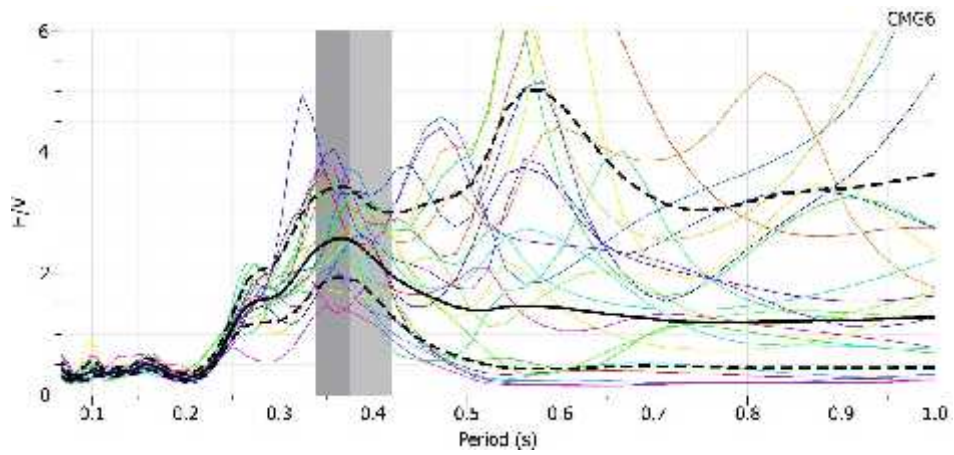
K-1. Ham Veri (a), Süzgeçlenmiş Veri(b) ve Büyütme Periyot Grafiği(c)



(a)

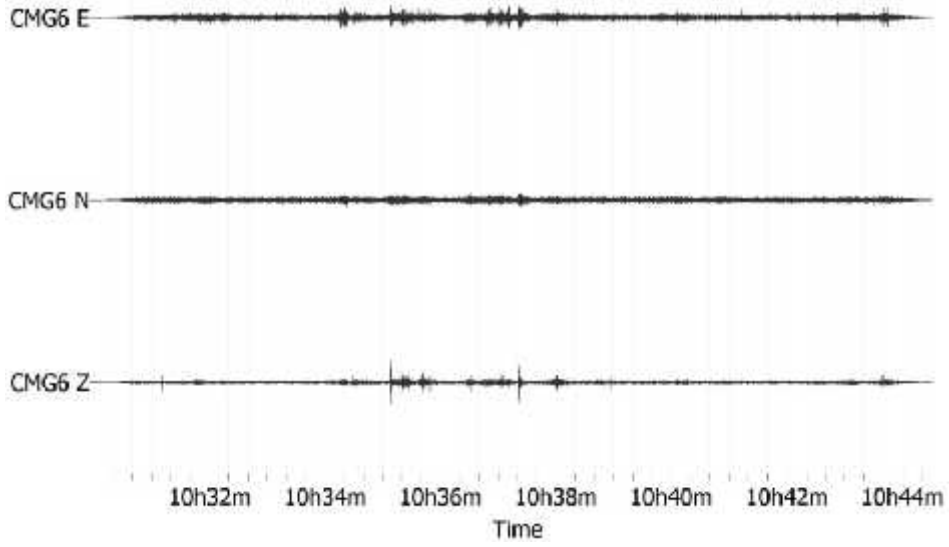


(b)

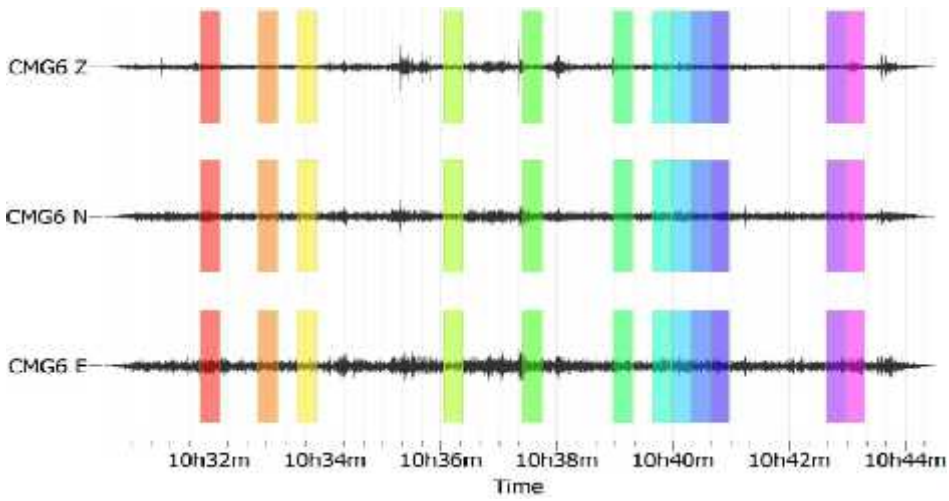


(c)

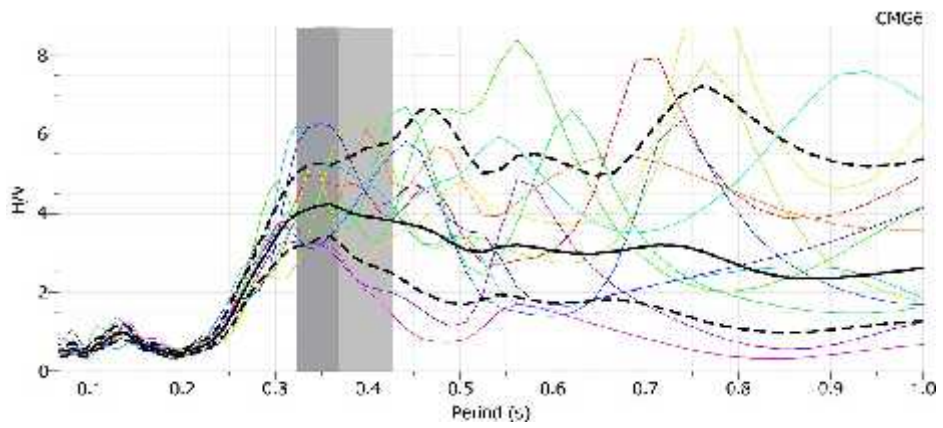
K-2. Ham Veri (a), Süzgeçlenmiş Veri(b) ve Büyütme Periyot Grafiği(c)



(a)

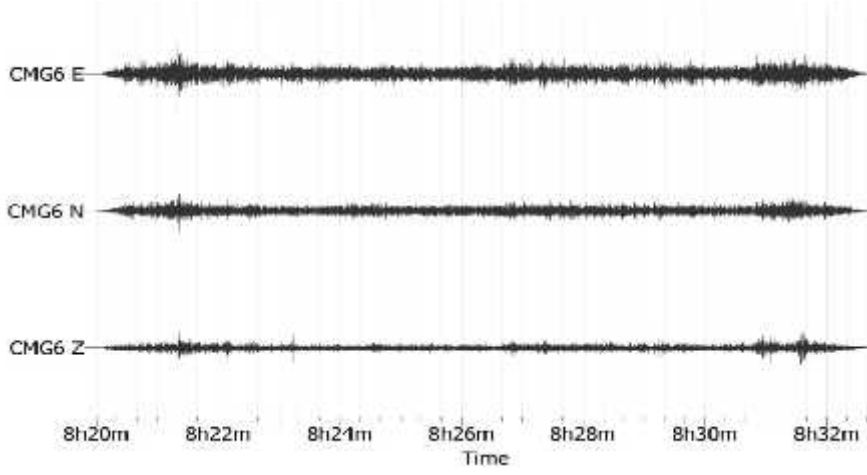


(b)

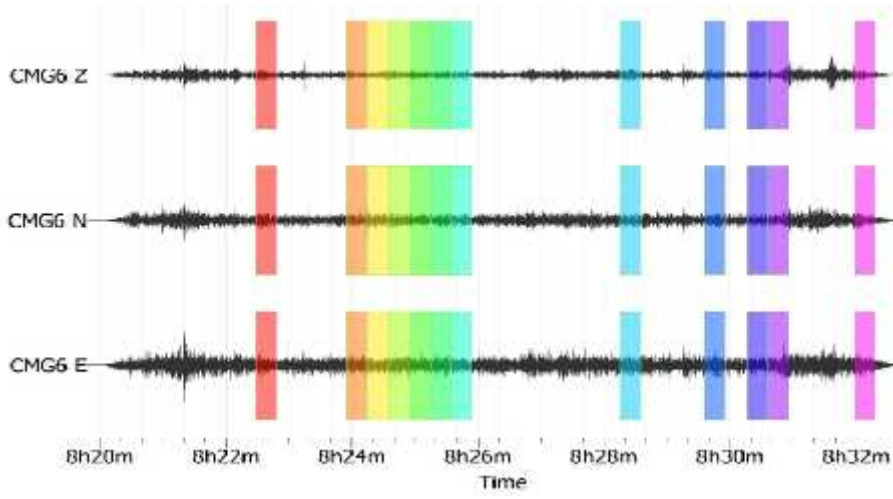


(c)

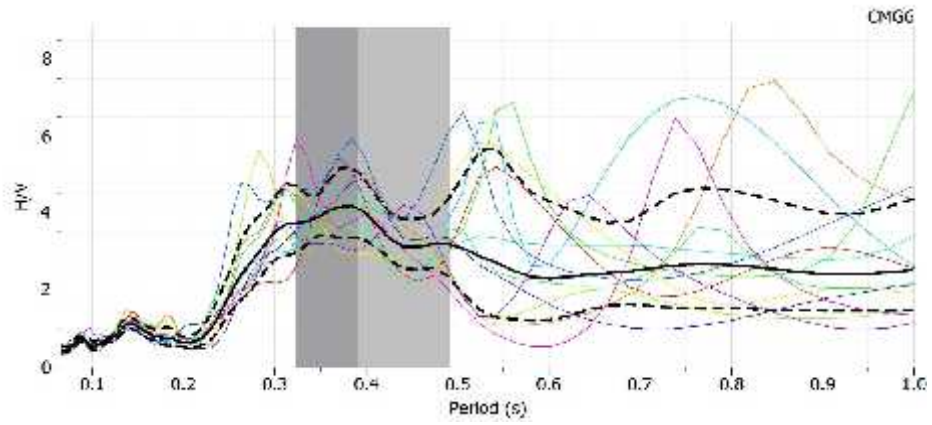
K-3. Ham Veri (a), Süzgeçlenmiş Veri(b) ve Büyütme Periyot Grafiği(c)



a)



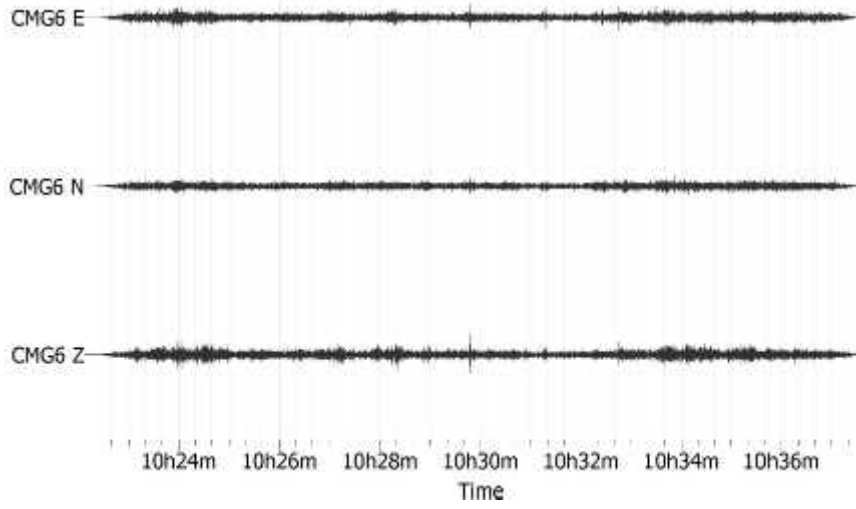
b)



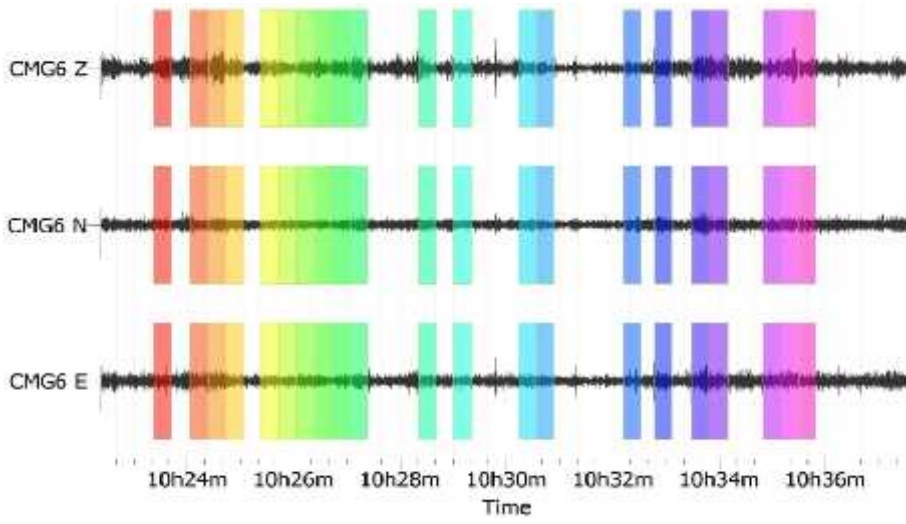
c)

## **A BİNASI (MADEN)**

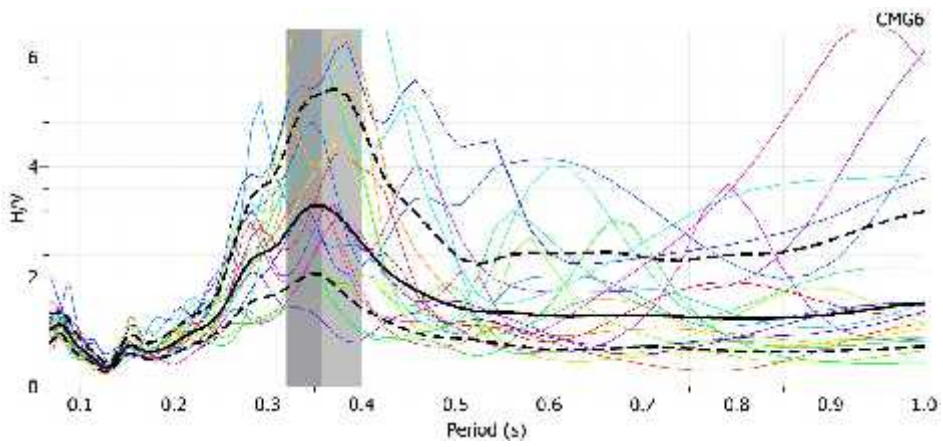
K-1. Ham Veri (a), Süzgeçlenmiş Veri(b) ve Büyütme Periyot Grafiği(c)



(a)

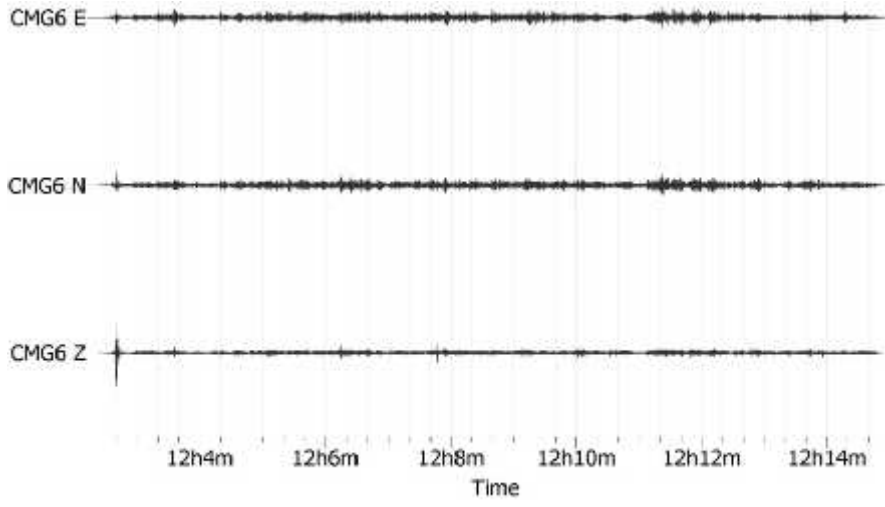


(b)

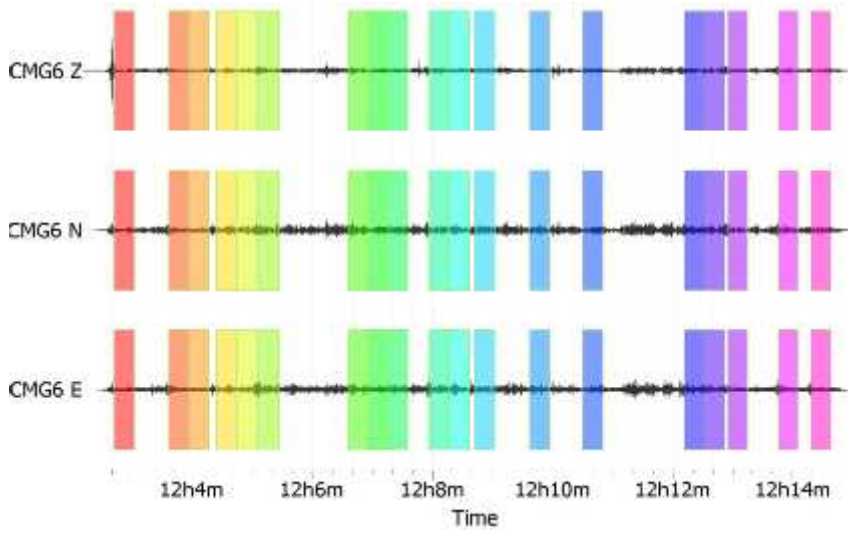


(c)

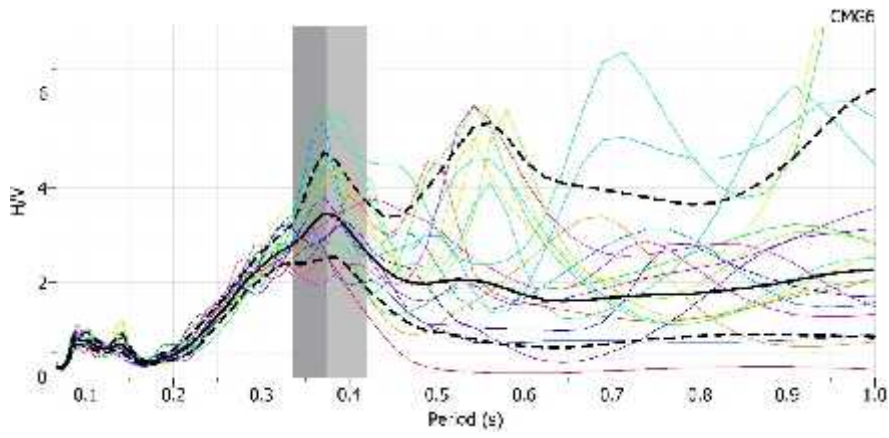
K-2. Ham Veri (a), Süzgeçlenmiş Veri(b) ve Büyütme Periyot Grafiği(c)



(a)

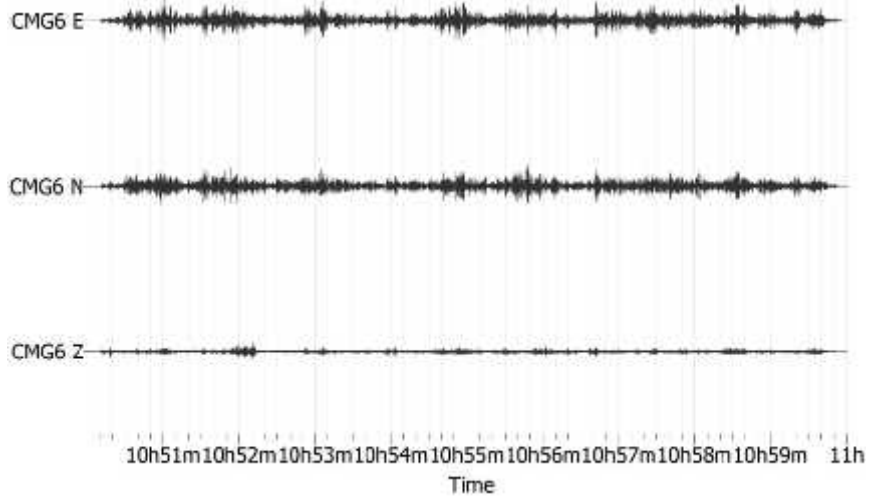


(b)

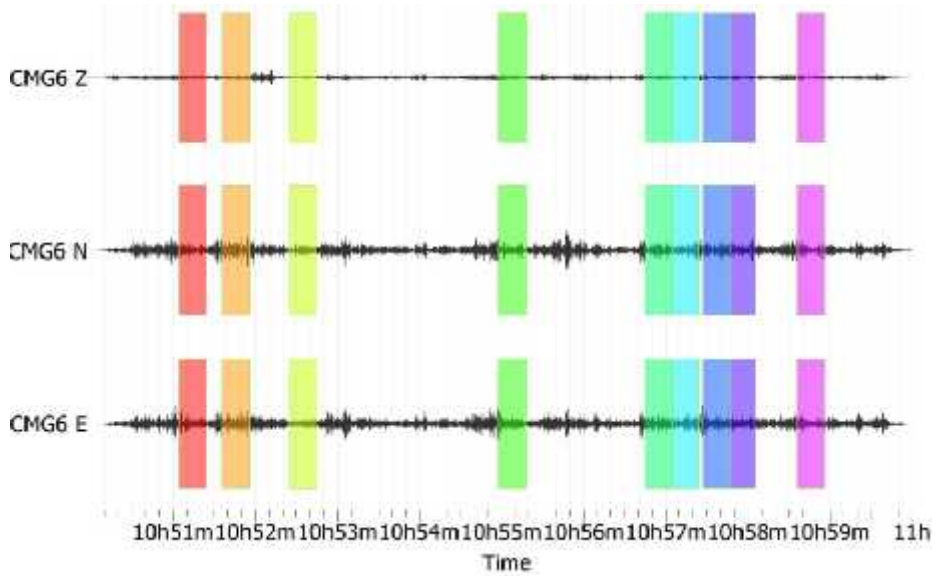


(c)

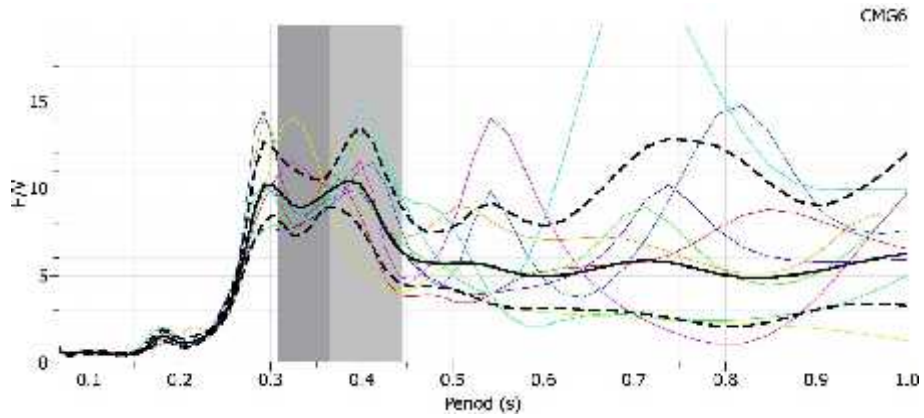
K-3. Ham Veri (a), Süzgeçlenmiş Veri(b) ve Büyütme Periyot Grafiği(c)



(a)

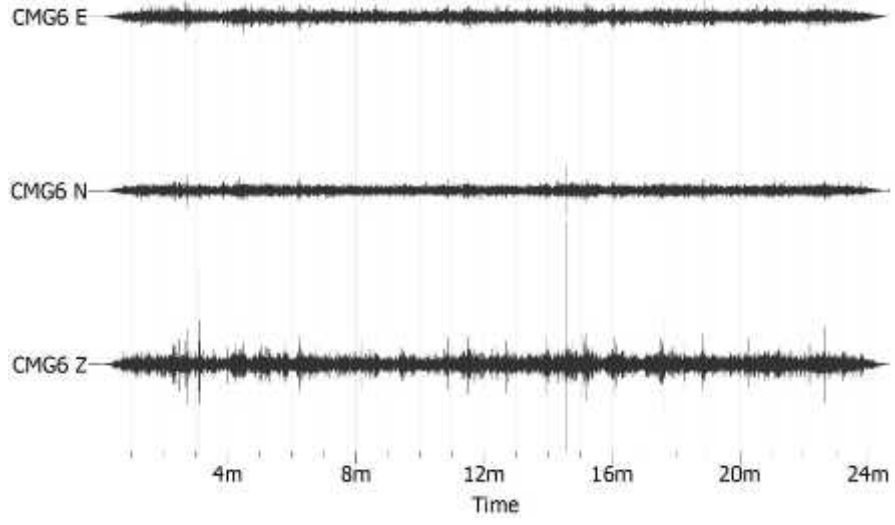


(b)

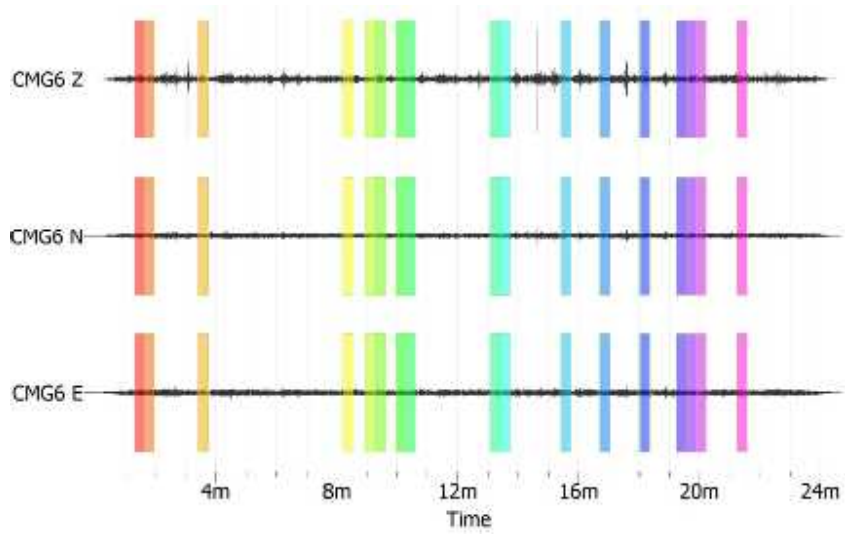


(c)

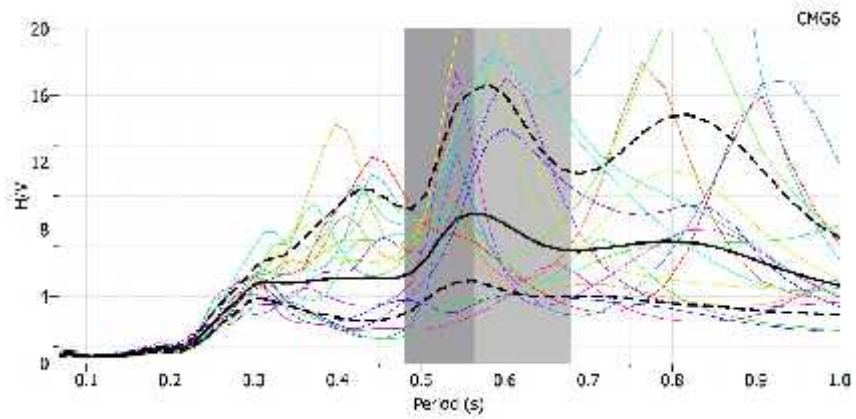
A Binası Zemin. Ham Veri (a), Süzgeçlenmiş Veri(b) ve Büyütme Periyot Grafiği(c)



(a)



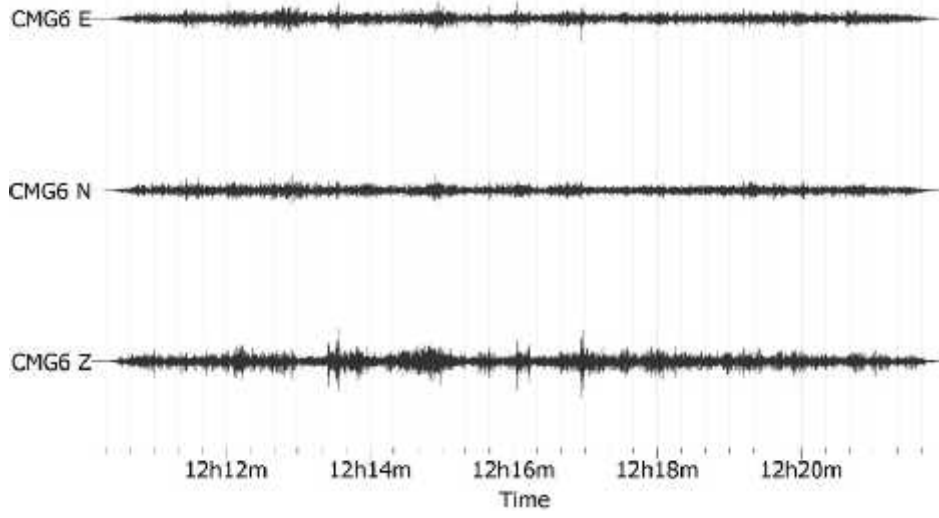
(b)



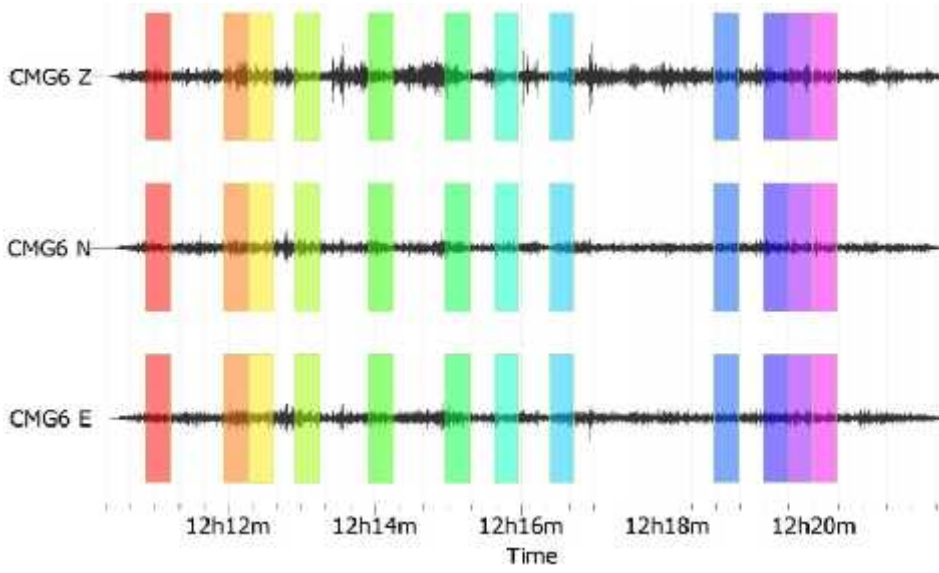
(c)

## **B BİNASI (JEOFİZİK)**

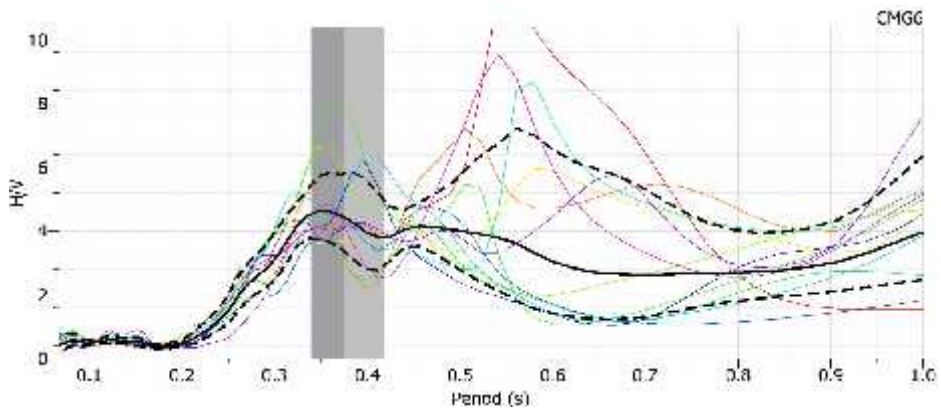
K-1. Ham Veri (a), Süzgeçlenmiş Veri(b) ve Büyütme Periyot Grafiği(c)



(a)

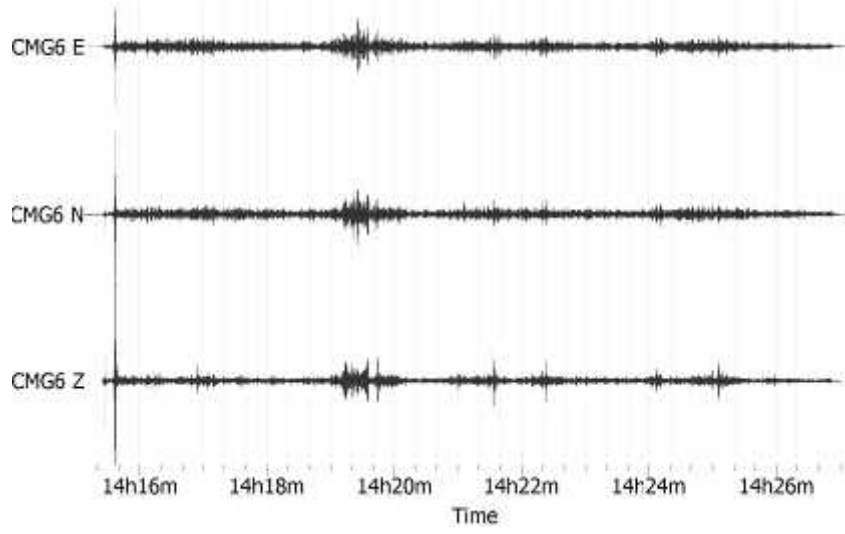


(b)

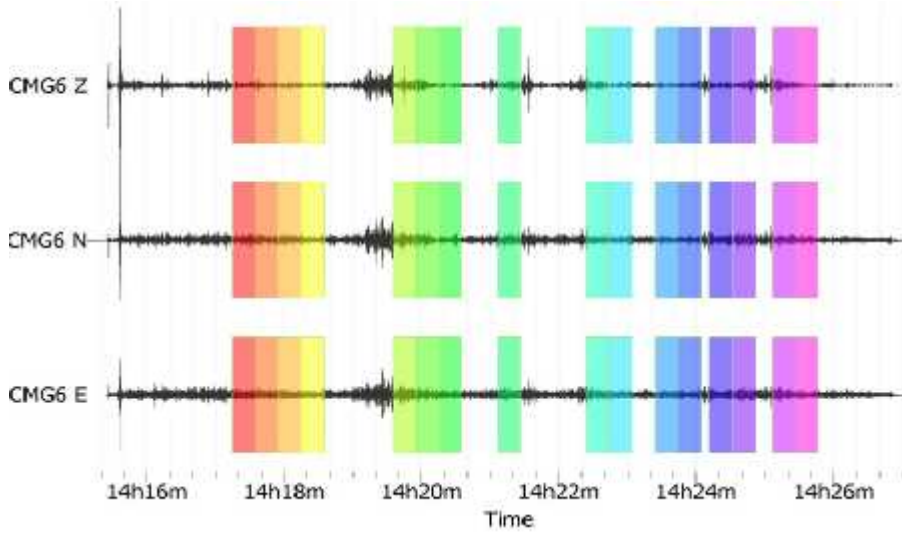


(c)

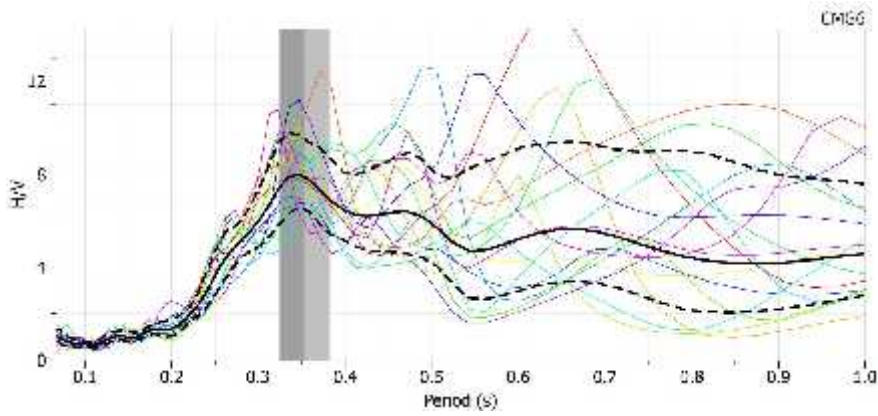
K-2. Ham Veri (a), Süzgeçlenmiş Veri(b) ve Büyütme Periyot Grafiği(c)



(a)

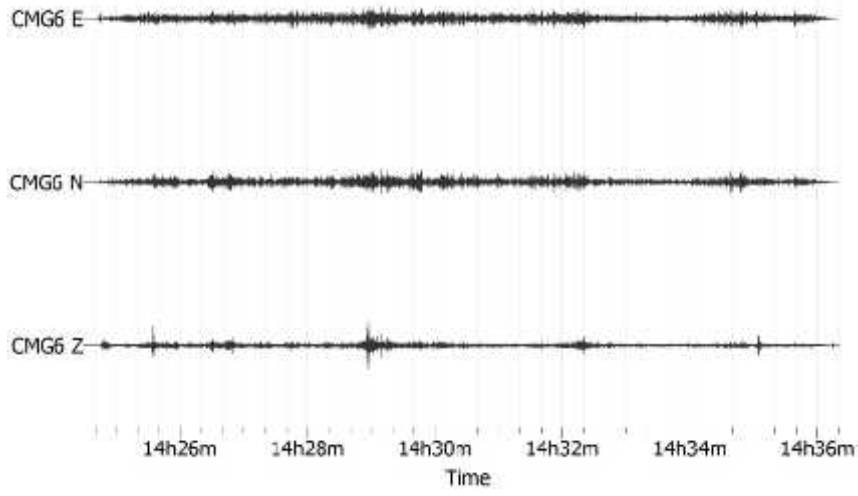


(b)

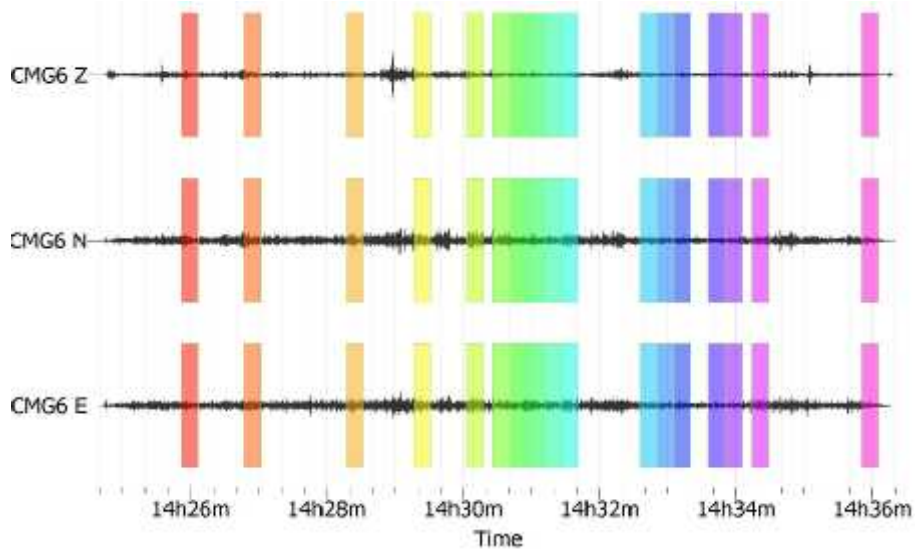


(c)

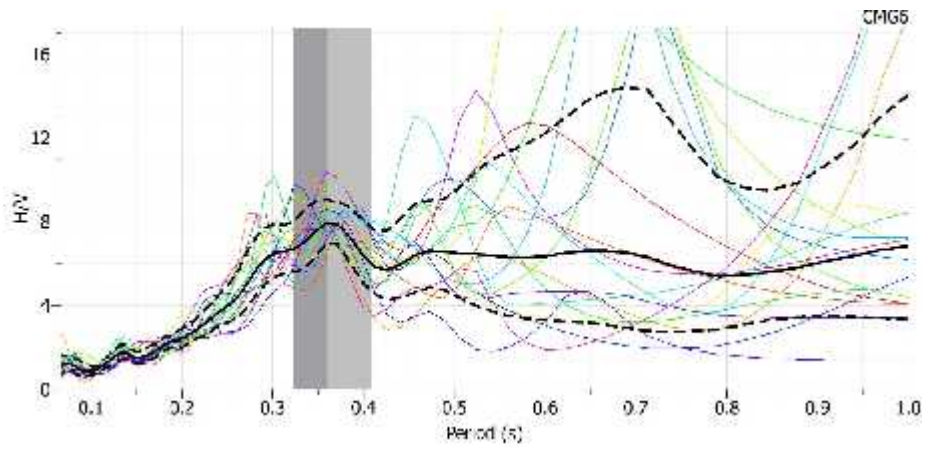
K-3. Ham Veri (a), Süzgeçlenmiş Veri(b) ve Büyütme Periyot Grafiği(c)



(a)

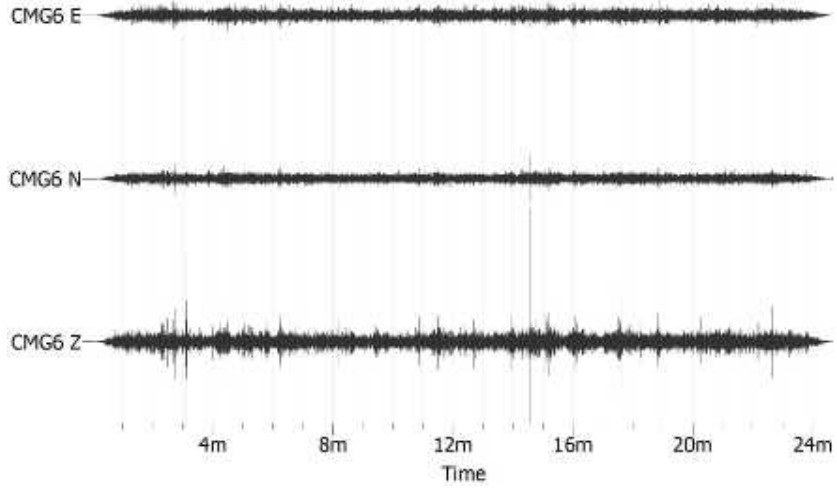


(b)

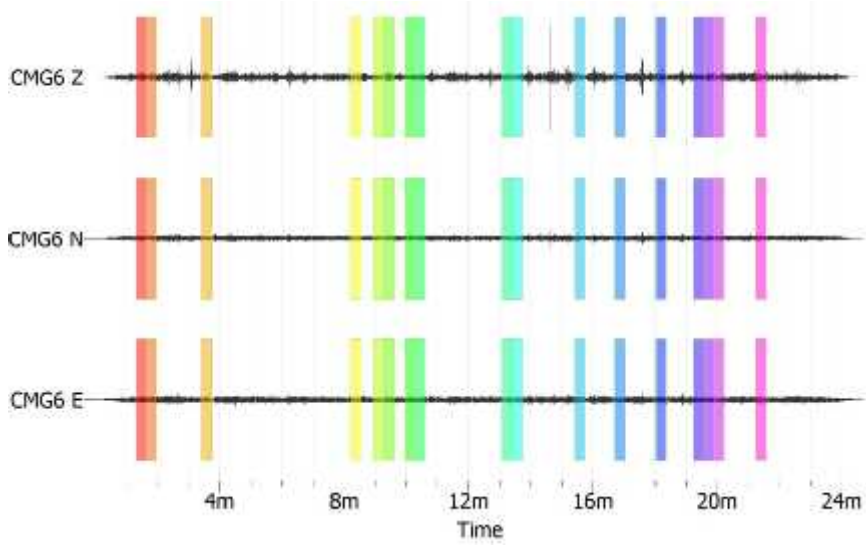


(c)

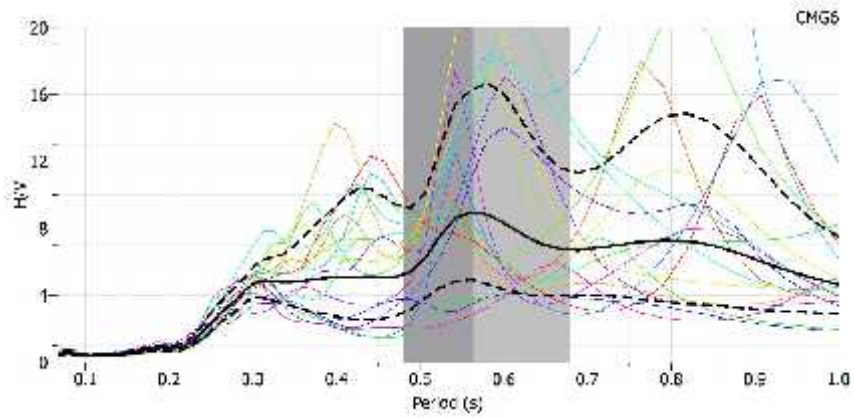
B Binası Zemin. Ham Veri (a), Süzgeçlenmiş Veri(b) ve Büyütme Periyot Grafiği(c)



(a)



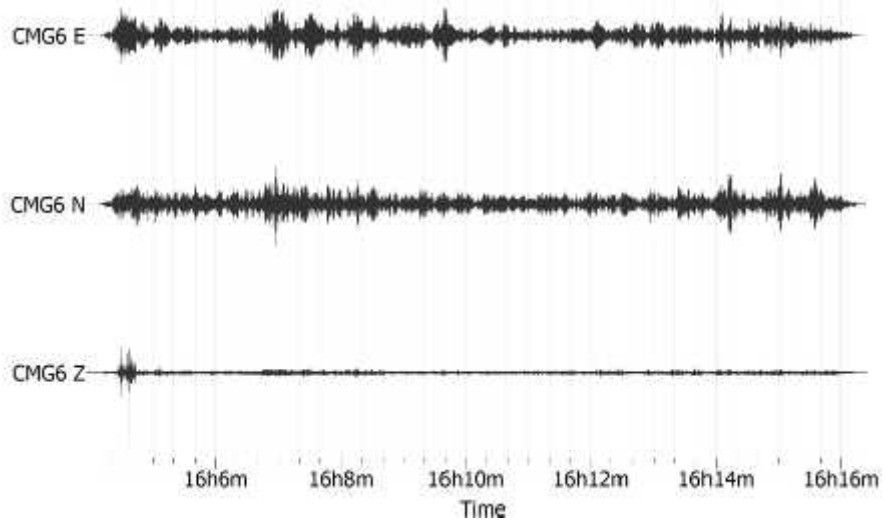
(b)



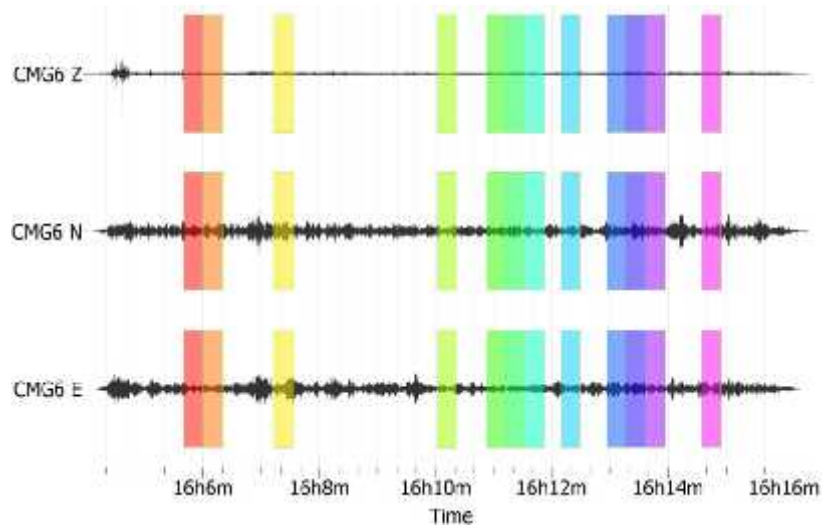
(c)

## **C BİNASI (İNŞAAT-ELEKTRİK)**

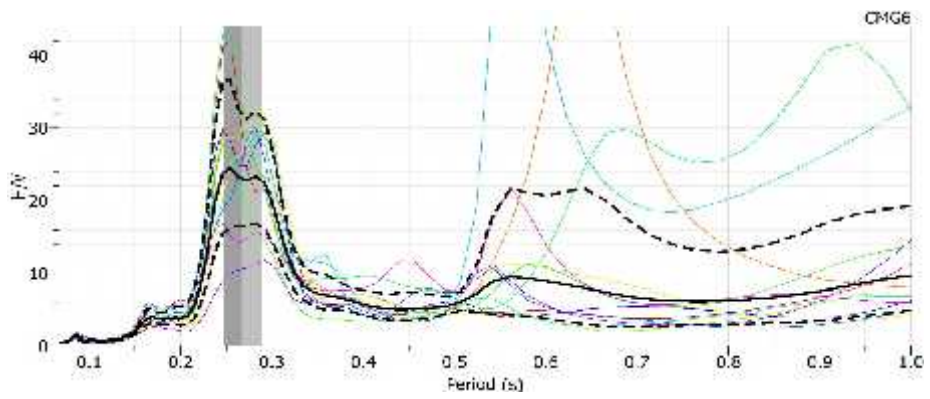
K-1. Ham Veri (a), Süzgeçlenmiş Veri(b) ve Büyütme Periyot Grafiği(c)



(a)

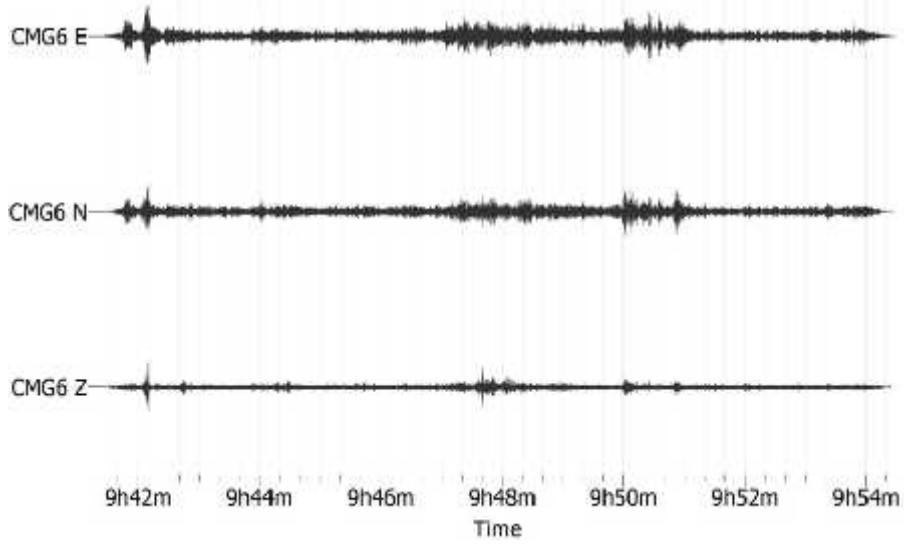


(b)

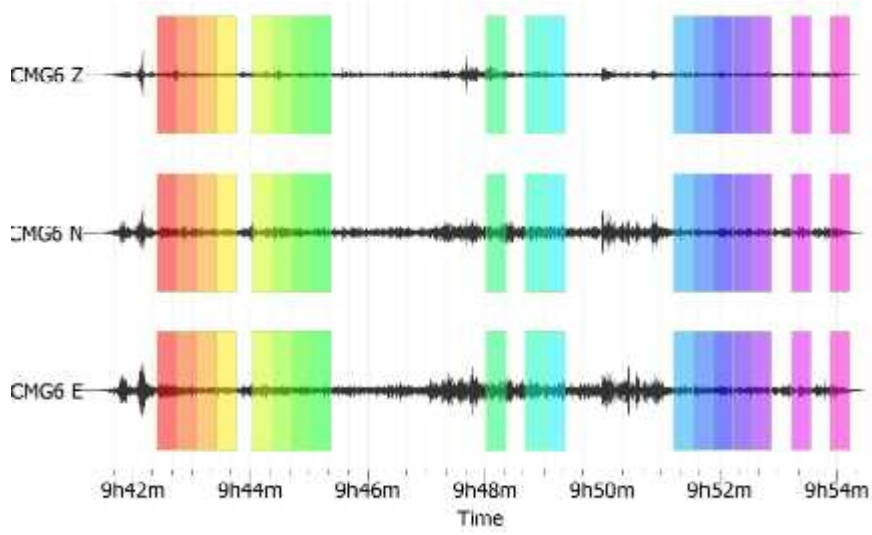


(c)

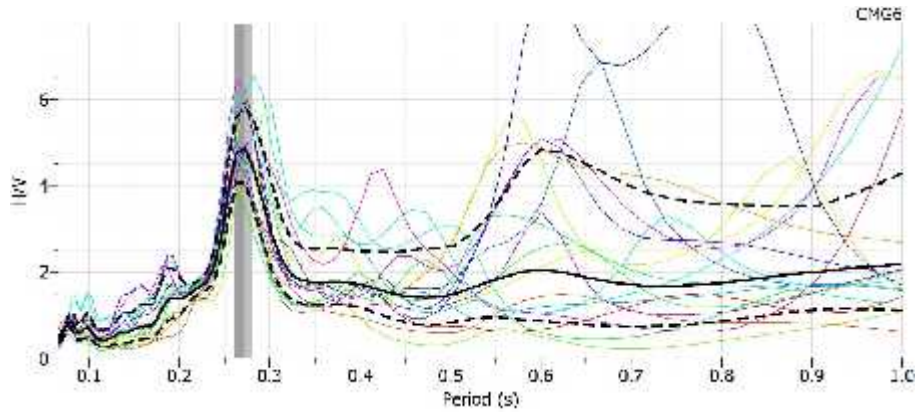
K-2. Ham Veri (a), Süzgeçlenmiş Veri(b) ve Büyütme Periyot Grafiği(c)



(a)

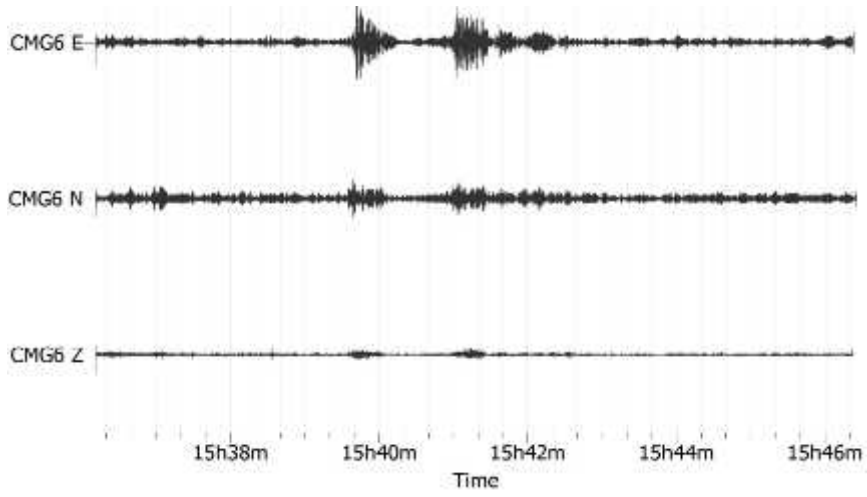


(b)

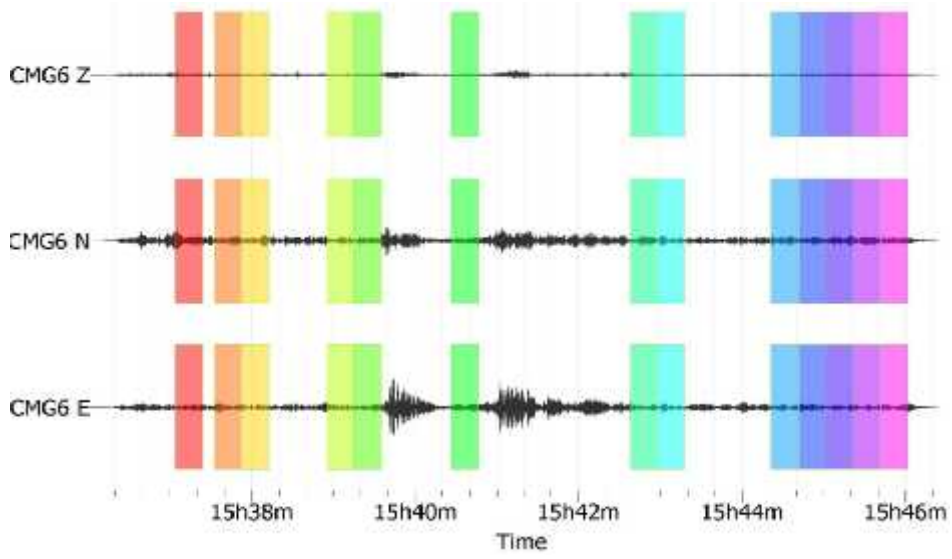


(c)

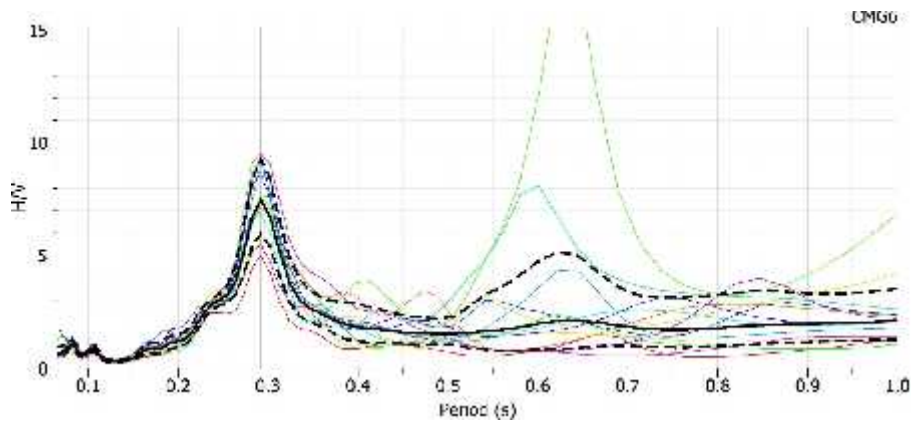
K-3. Ham Veri (a), Süzgeçlenmiş Veri(b) ve Büyütme Periyot Grafiği(c)



(a)

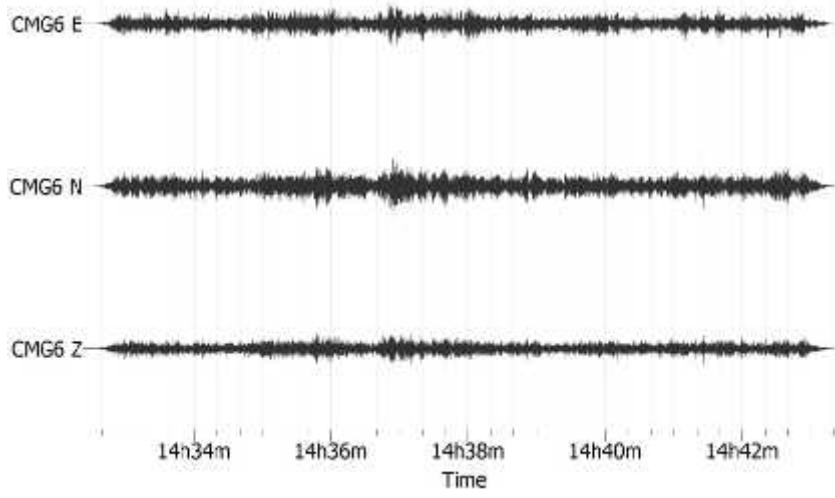


(b)

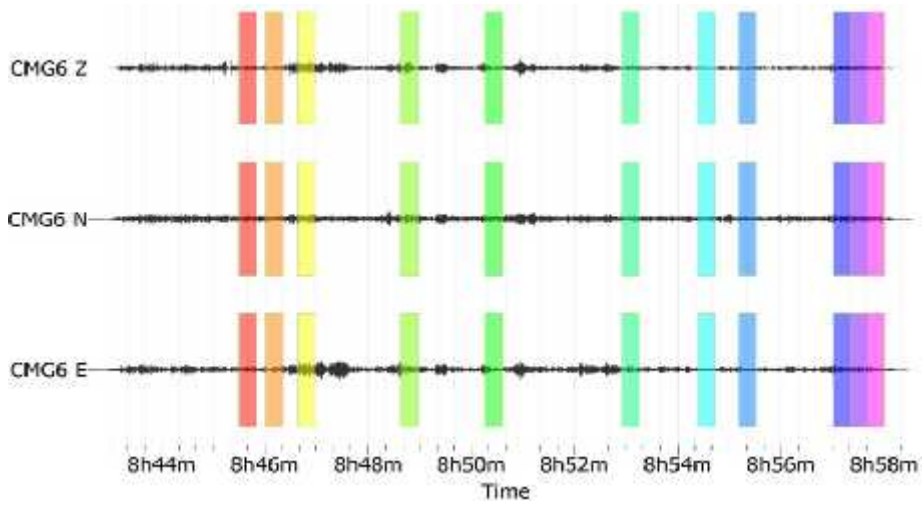


(c)

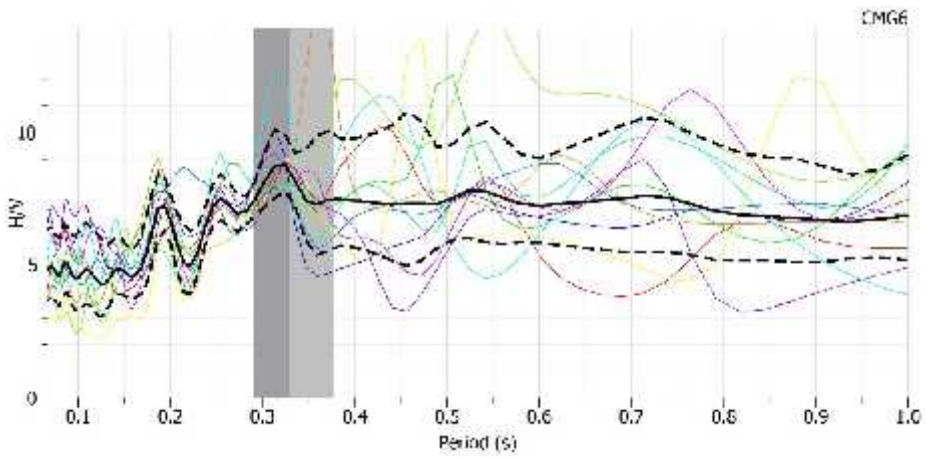
K-4. Ham Veri (a), Süzgeçlenmiş Veri(b) ve Büyütme Periyot Grafiği(c)



(a)

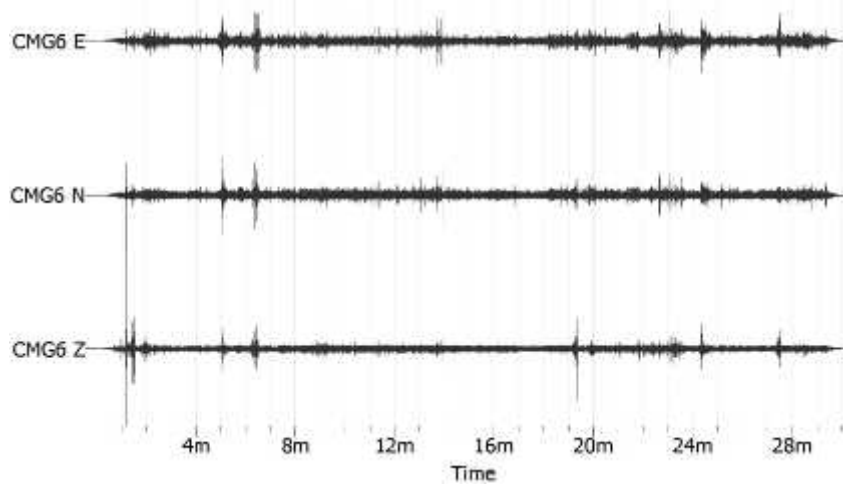


(b)

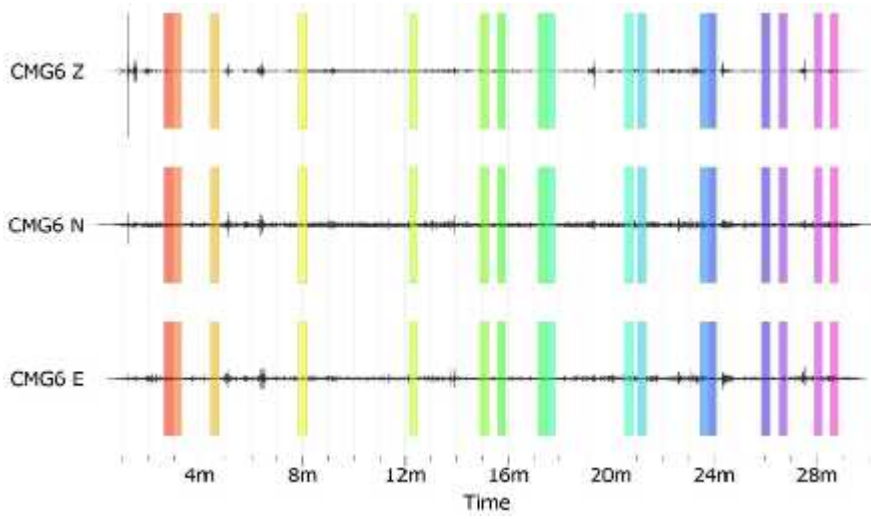


(c)

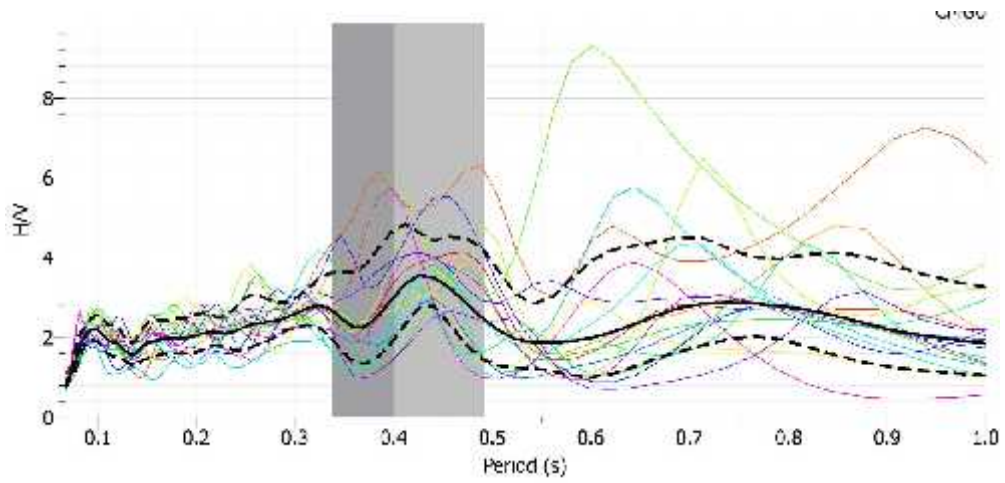
C Binası Zemin. Ham Veri (a), Süzgeçlenmiş Veri(b) ve Büyütme Periyot Grafiği(c)



(a)



(b)



(c)

## ÖZGEÇM



### **Kişisel bilgiler**

|                      |  |
|----------------------|--|
| Adı Soyadı           | Serdar FEYZ  |
| Doğum Yeri ve Tarihi | İstanbul, 17/11/1984   |
| Medeni Hali          | Bekar  |
| Yabancı Dil          | İngilizce  |
| İletişim Adresi      | Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik<br>Mühendisliği Bölümü, 58140-Sivas |
| E-posta Adresi       | <a href="mailto:serdarfezyi2012@gmail.com">serdarfezyi2012@gmail.com</a>                     |

### **Eğitim ve Akademik Durumu**

|               |                               |
|---------------|-------------------------------|
| Lise          | Kaif Kalkavan Lisesi, 2001    |
| Lisans        | Cumhuriyet Üniversitesi, 2011 |
| Yüksek Lisans | Cumhuriyet Üniversitesi, 2014 |

### **Tecrübesi**

|                            |                               |
|----------------------------|-------------------------------|
| Geoid Mühendislik          | Jeofizik mühendisi, 2011-2011 |
| Temel Zemin<br>Mühendislik | Jeofizik mühendisi, 2012-2012 |
| Merkez Mühendislik         | Jeofizik Mühendisi, 2014-     |