

**T.C.  
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**OBA DÜZLÜĞÜ'NDE (ALANYA-ANTALYA) YEREL ZEMİN  
KOŞULLARININ MİKROTREMÖR YÖNTEMİYLE ARAŞTIRILMASI**

**Neziha ATAR**

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ**

**ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS**

**TEMMUZ 2019**

**ANTALYA**

**T.C.  
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**OBA DÜZLÜĞÜ'NDE (ALANYA-ANTALYA) YEREL ZEMİN  
KOŞULLARININ MİKROTREMÖR YÖNTEMİYLE ARAŞTIRILMASI**

**Nezihâ ATAR**

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ**

**ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS**

**TEMMUZ 2019**

**ANTALYA**

T.C.  
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

OBA DÜZLÜĞÜ'NDE (ALANYA-ANTALYA) YEREL ZEMİN  
KOŞULLARININ MİKROTREMÖR YÖNTEMİYLE ARAŞTIRILMASI

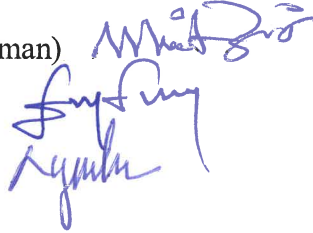
Neziha ATAR  
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ  
ANABİLİM DALI  
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Bu tez 26/07/2019 tarihinde jüri tarafından Oybirliği / Oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Nihat DİPOVA (Danışman)

Dr. Öğr. Üyesi Engin EMSEN

Dr. Öğr. Üyesi Altan YILMAZ



## ÖZET

### Oba DÜZLÜĞÜ'NDE (ALANYA-ANTALYA) YEREL ZEMİN KOŞULLARININ MİKROTREMÖR YÖNTEMİYLE ARAŞTIRILMASI

Neziha ATAR

Yüksek Lisans İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Nihat DİPOVA

Temmuz 2019; 59 sayfa

Bu tez çalışması Antalya İli, Alanya İlçesi, Cumhuriyet Mahallesi ve Obagöl Mahallesi'ni içine alan Oba Düzlüğü'ndeki zeminlerin dinamik özelliklerinin belirlenmesini, mikrotremör ölçümlerini, yer (saha) tepki spektrumlarının oluşturulmasını, hâkim titreşim periyotlarının ve buna karşılık gelen büyütme katsayılarının araştırılmasını kapsamaktadır.

Çalışma bölgesi yumuşak kil ve turba gibi geoteknik açıdan zayıf zemin olarak nitelendirilen zemin sınıflarını içermektedir. Bölgede yer altı su seviyesi yeryüzüne yakındır. Çalışma bölgesi seçiminde, Alanya'da yaşanan depremler, çalışma alanının sorunlu zeminlerden oluşması ve yer altı su seviyesinin yeryüzüne yakınlığı etkili olmuştur.

Bölge zeminin, zemin hâkim periyodu ve zemin büyütme katsayılarını belirlemek için 18 noktada mikrotremör ölçümü yapılmıştır. Alınan mikrotremör kayıtları Geopsy programıyla değerlendirilmiştir. Yürürlükteki Türkiye Deprem Tehlike Haritasına göre bölgenin en büyük yer ivmesi tespit edilmiş ve bu yer ivmesine uygun deprem kayıtları Türkiye deprem kataloğundan seçilmiştir. Çalışma alanındaki 8 ayrı nokta için MASW ölçümlerinden elde edilen kayma dalgası hızı profilleri kullanılarak yer (saha) tepki spektrumu eğrileri oluşturulmuştur. Elde edilen bu veriler, zeminin dinamik davranışlarını ortaya koyan EERA programında eşdeğer lineer analize tabi tutularak bölgede yer alan zeminlerin dinamik davranışları araştırılmıştır. Ana kaya ve yer yüzeyindeki ivme spektrumu grafikleri oluşturulmuştur. Oluşturulan grafikler kıyaslanarak zeminlerin ana kayada girdi hareketinin zemin yüzeyinde ne kadar büyütüldüğü yorumlanmıştır. EERA programında yapılan eşdeğer lineer analiz sonuçlarına göre ortalama 0.5 saniyede en büyük büyütme gerçekleştiği, mikrotremör sonuçlarına göre ise ortalama 0.8 saniyede zemin hâkim periyotlarının oluştuğu görülmüştür.

**ANAHTAR KELİMELER:** EERA, Mikrotremör, MASW, Saha Tepki Analizi

**JÜRİ:** Prof. Dr. Nihat DİPOVA

Dr. Öğr. Üyesi Engin EMSEN

Dr. Öğr. Üyesi Altan YILMAZ

## **ABSTRACT**

### **INVESTIGATION OF LOCAL SITE CONDITIONS IN THE OBA PLAIN (ALANYA-ANTALYA) VIA MICROTREMOR METHOD**

**Neziha ATAR**

**MSc Thesis in Civil Engineering**

**Supervisor: Prof. Dr. Nihat DİPOVA**

**July 2019; 59 pages**

This thesis study covers microtremor measurements, determination of dynamic properties of soils in Cumhuriyet Quarter and Obagöl Quarter of Oba Plain (Alanya-Antalya), preparation of site response spectra, investigation of predominant periods and amplification magnification coefficients.

The study area includes so-called geotechnically weak soils such as soft clay and peat. The groundwater level in the region is close to the surface. The earthquakes experienced in Alanya, the fact that the study area consists of problematic soils and the shallow ground water were effective in the selection of the study area.

Microtremor measurements were performed at 18 points to determine the soil predominant periods and amplification coefficients. Microtremor recordings were evaluated with Geopsy software. Peak ground acceleration of the region was identified according to the current Turkey Earthquake Hazard Map, and appropriate records were selected from Turkey the earthquake database. For 8 different locations in the study area, the response spectrum curves were generated using shear wave velocity profiles obtained from MASW measurements. The data obtained were subjected to equivalent linear analysis in EERA software, which visualize the dynamic behavior of the soil, and the dynamic behavior of the soils in the region was investigated. Graphs of acceleration spectra on bedrock and ground surface were generated. By comparing the graphs created, the extent of the amplification of the input bedrock movement to the ground surface movement. According to the results of the equivalent linear analysis performed in the EERA software, it was observed that the soils had greater amplification at 0.5 seconds on average, and the predominant periods occurred in an average of 0.8 seconds according to the microtremor results.

**KEYWORDS:** EERA, Microtremor, MASW, Site Response Analysis

**COMMITTEE:** Prof. Dr. Nihat DİPOVA

Assist. Prof. Dr. Engin EMSEN

Assist. Prof. Dr. Altan YILMAZ

## ÖNSÖZ

Bu tez çalışması Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Geoteknik Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans tezi olarak hazırlanmıştır. Çalışmalarım boyunca bilgi, görüş ve tavsiyelerini esirgemeyen değerli tez danışman hocam Prof. Dr. Nihat DİPOVA'ya,

Çalışmalarım süresince bilgi ve deneyimlerini benimle paylaşan Jeofizik Mühendisi Erman KAPTANOĞLU'na, maddi manevi tüm desteği ile yanımda olan kuzenim Mehmet ATAR'a, arkadaşlarım Mimar Hatice DEMİRHAN'a, İnşaat Mühendisi Ebru ERBEYOĞLU'na, Mimar Taha HACİFAZLIOĞLU'na, işverenlerim Mimar R. Zuhâl UĞURTAY AYAYDIN 'a ve İnşaat Mühendisi Mehmet Ali TEKİN'e,

Hayatım boyunca bana olan inançlarını hep hissettiğim, maddi manevi her konuda desteklerini benden hiçbir şekilde esirgemeyen başta canım annem Hatice ATAR olmak üzere tüm aile üyelerine,

Sonsuz teşekkür ve sevgilerimi sunarım.

## İÇİNDEKİLER

ÖZET .....	i
ABSTRACT .....	ii
ÖNSÖZ .....	iii
AKADEMİK BEYAN .....	v
SİMGELER VE KISALTMALAR .....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xi
1. GİRİŞ .....	1
1.1. Amaç ve Kapsam.....	1
2. KAYNAK TARAMASI.....	5
3.MATERYAL VE METOD .....	12
3.1. Çalışma Alanının Depremselliği .....	12
3.2. Zeminlerin Dinamik Özelliklerinin Belirlenmesi.....	12
3.3. Yer (Saha) Tepki Analizleri .....	15
3.4. Mikrotremör .....	20
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	29
4.1. Çalışma Alanının Deprem Parametreleri .....	29
4.2. MASW Ölçüm Sonuçları.....	33
4.3. Yer (Saha) Tepki Spektrumları .....	38
4.4. Mikrotremör Sonuçları .....	46
5. SONUÇLAR.....	56
7. KAYNAKLAR.....	57
ÖZGEÇMİŞ	

## AKADEMİK BEYAN

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Oba Düzlüğü’nde (Alanya-Antalya) Yerel Zemin Koşullarının Mikrotremör Yöntemiyle Araştırılması” adlı bu çalışmanın, akademik kurallar ve etik değerlere uygun olarak yazıldığını belirtir, bu tez çalışmasında bana ait olmayan tüm bilgilerin kaynağını gösterdiğimi beyan ederim.

26 / 07 / 2019  
Neziha ATAR





## SİMGELER VE KISALTMALAR

### Simgeler

$A_0$	: zemin büyütme katsayısı
$F$	: transfer fonksiyonu
$G$	: ivme
$G$	: kayma modülü
$H/V$	: yatay/düşey spektral oran
$Hz$	: herz
$kN$	: kilonewton
$m$	: metre
$sn$	: saniye
$T$	: periyot
$V_p$	: metre
$V_s$	: kayma dalga hızı
$\tau$	: kayma gerilmesi
$\gamma$	: kayma şekil değiştirmesi
$\dot{\gamma}$	: şekil değiştirme hızı
$\eta$	: viskozite

### Kısaltmalar

AFAD	: Afet ve Acil Durum Yönetmeliği
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemleri
EERA	: Equivalent Liner Earthquake Response Analyses
FFT	: Hızlı Fourier Dönüşümü
MASW	: Çok Kanallı Yüzey Dalgası Analizi
PGA	: Pik Yer İvmesi
SASW	: Yüzey Dalgalarının Spektral Analizi

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Çalışma alanı lokasyon haritası .....	3
Şekil 1.2. Çalışma alanı çevresindeki depremler .....	4
Şekil 2.1. Mikrotremörlerin frekans-periyot dağılımları (Kanai ve Tanaka, 1961) .....	6
Şekil 2.2. Mikrotremör verilerini açıklayan basit model (Nakamura 1989) .....	7
Şekil 2.3. MASW yöntemi .....	8
Şekil 2.4. Giriş hareketi, transfer fonksiyonu ile çarpılarak zemin yüzeyindeki ivme-zaman grafiğinin elde edilmesi .....	9
Şekil 3.1. a) P dalgası; b) S dalgası (Everett 2013) .....	13
Şekil 3.2. Yüzey dalgalarının hareketi: a) Rayleigh dalga hızı (Bolt, 1976) b) Love dalga hızı (Bolt 1976) .....	14
Şekil 3.3. Yer yüzeyine yakın kesimde yaklaşık olarak düşey dalga yayılması oluşturan kırılma süreci. (Kramer 1996) .....	15
Şekil 3.4. Yer tepkisi terminolojisi a) anakaya üzerinde zemin; b) anakaya üzerinde zemin yok. Düşey ölçek büyütülmüştür (Kramer 1996) .....	16
Şekil 3.5. Eşdeğer lineer metotta kullanılan gerilme-şekil değiştirme modeli (Bardet vd. 2000) .....	16
Şekil 3.6. EERA programı deprem veri girişi .....	17
Şekil 3.7. EERA programı profil tanımlama .....	18
Şekil 3.8. Kil için $G/G_{max}$ ve sönüm oranı-kayma şekil değiştirmesi ilişkileri (Idriss 1990) .....	18
Şekil 3.9. Eşdeğer lineer model a) Histerisis eğrisi, b) Sekant kayma modülü ve sönüm oranının şekil değiştirme seviyesi ile değişimi .....	19
Şekil 3.10. Bir boyutlu zemin tepki analizleri için seçilen Denizli Merkez Kıvrıklı Pamukkale Üniversitesi (24/05/2019) depremi ivme kaydı (Anonim 1, 2019) .....	20
Şekil 3.11. Mikrotremör kayıtlarının alınmasında kullanılan ekipman .....	21
Şekil 3.12. SCREAM programına ait ana pencere .....	22
Şekil 3.13. Ana menü ve üç bileşen mikrotremör verisinin çağırılması .....	22
Şekil 3.14. Üç bileşen mikrotremör kaydının “Files” kısmındaki görünümü ve bulunduğu dosyadan çağırılması .....	23

<b>Şekil 3.15.</b> Taper menüsü.....	23
<b>Şekil 3.16.</b> Trend etkisi giderilmiş mikrotremör verisinin tablo ve grafik olarak görüntülenmesi.....	24
<b>Şekil 3.17.</b> Filtreleme menüsü.....	24
<b>Şekil 3.18.</b> Filtreleme işlemi uygulanmış mikrotremör kaydı.....	25
<b>Şekil 3.19.</b> Taper menüsü.....	25
<b>Şekil 3.20.</b> Taper işlemi uygulanmış mikrotremör kaydı .....	26
<b>Şekil 3.21.</b> Mikrotremör kaydına uygulanacak seçeneklerin görünümü .....	26
<b>Şekil 3.22.</b> Mikrotremör kaydına uygulanacak H/V seçenekleri .....	27
<b>Şekil 3.23.</b> Mikrotremör kaydında analiz için seçilen pencereler .....	27
<b>Şekil 3.24.</b> Mikrotremör analiz aşamasında mikrotremör kaydı üzerinde seçilen pencereler.....	28
<b>Şekil 3.25.</b> Nakamura yöntemi (H/V) ile belirlenen grafik .....	28
<b>Şekil 4.1.</b> AFAD, 2007 Antalya İli Deprem Durumu Haritası.....	29
<b>Şekil 4.2.</b> AFAD, 2018 Türkiye Deprem Tehlike Haritası .....	29
<b>Şekil 4.3.</b> AFAD, 2018 Türkiye Deprem Tehlike Haritası Çalışma bölgesi en büyük yer ivme değerleri.....	30
<b>Şekil 4.4.</b> Zemin etüt raporunda bulunan sondaj kuyularının yerleri (Kaptanoğlu 2016) .....	31
<b>Şekil 4.5.</b> SK-1 sondaj verilerine göre spektral ivme - periyot grafiği.....	38
<b>Şekil 4.6.</b> SK-2 sondaj verilerine göre spektral ivme - periyot grafiği.....	38
<b>Şekil 4.7.</b> SK-3 sondaj verilerine göre spektral ivme - periyot grafiği.....	39
<b>Şekil 4.8.</b> SK-4 sondaj verilerine göre spektral ivme - periyot grafiği.....	39
<b>Şekil 4.9.</b> SK-5 sondaj verilerine göre spektral ivme - periyot grafiği.....	40
<b>Şekil 4.10.</b> SK-6 sondaj verilerine göre spektral ivme - periyot grafiği.....	40
<b>Şekil 4.11.</b> SK-7 sondaj verilerine göre spektral ivme - periyot grafiği.....	41
<b>Şekil 4.12.</b> SK-8 sondaj verilerine göre spektral ivme - periyot grafiği.....	41

<b>Şekil 4.13.</b> Ana kaya ve zemin yüzeyi (MASW-1 verilerine göre oluşturulmuş) ivme spektrum grafiği .....	42
<b>Şekil 4.14.</b> Ana kaya ve zemin yüzeyi (MASW-2 verilerine göre oluşturulmuş) ivme spektrum grafiği .....	42
<b>Şekil 4.15.</b> Ana kaya ve zemin yüzeyi (MASW-3 verilerine göre oluşturulmuş) ivme spektrum grafiği .....	43
<b>Şekil 4.16.</b> Ana kaya ve zemin yüzeyi (MASW-4 verilerine göre oluşturulmuş) ivme spektrum grafiği .....	43
<b>Şekil 4.17.</b> Ana kaya ve zemin yüzeyi (MASW-5 verilerine göre oluşturulmuş) ivme spektrum grafiği .....	44
<b>Şekil 4.18.</b> Ana kaya ve zemin yüzeyi (MASW-6 verilerine göre oluşturulmuş) ivme spektrum grafiği .....	44
<b>Şekil 4.19.</b> Ana kaya ve zemin yüzeyi (MASW-7 verilerine göre oluşturulmuş) ivme spektrum grafiği .....	45
<b>Şekil 4.20.</b> Ana kaya ve zemin yüzeyi (MASW-8 verilerine göre oluşturulmuş) ivme spektrum grafiği .....	45
<b>Şekil 4.21.</b> Mikrotremör ölçüm lokasyon haritası .....	46
<b>Şekil 4.22.</b> Arazide mikrotremör ölçümü .....	46
<b>Şekil 4.23.</b> 1 nolu ölçüm için Nakamura yöntemine göre yapılan değerlendirmeler: a) H/V grafiği çizdirilmesi için seçilen pencereler, b) H/V – frekans grafiği .....	47
<b>Şekil 4.24.</b> 2 nolu ölçüm için Nakamura yöntemine göre yapılan değerlendirmeler: a) H/V grafiği çizdirilmesi için seçilen pencereler, b) H/V – frekans grafiği .....	47
<b>Şekil 4.25.</b> 3 nolu ölçüm için Nakamura yöntemine göre yapılan değerlendirmeler: a) H/V grafiği çizdirilmesi için seçilen pencereler, b) H/V – frekans grafiği .....	48
<b>Şekil 4.26.</b> 4 nolu ölçüm için Nakamura yöntemine göre yapılan değerlendirmeler: a) H/V grafiği çizdirilmesi için seçilen pencereler, b) H/V – frekans grafiği .....	48
<b>Şekil 4.27.</b> 5 nolu ölçüm için Nakamura yöntemine göre yapılan değerlendirmeler: a) H/V grafiği çizdirilmesi için seçilen pencereler, b) H/V – frekans grafiği .....	49
<b>Şekil 4.28.</b> 6 nolu ölçüm için Nakamura yöntemine göre yapılan değerlendirmeler: a) H/V grafiği çizdirilmesi için seçilen pencereler, b) H/V – frekans grafiği .....	49
<b>Şekil 4.29.</b> 7 nolu ölçüm için Nakamura yöntemine göre yapılan değerlendirmeler: a) H/V grafiği çizdirilmesi için seçilen pencereler, b) H/V – frekans grafiği .....	50

- Şekil 4.30.** 8 nolu ölçüm için Nakamura yöntemine göre yapılan değerlendirmeler:  
a) H/V grafiği çizdirilmesi için seçilen pencereler, b) H/V – frekans grafiği ..... 50
- Şekil 4.31.** 9 nolu ölçüm için Nakamura yöntemine göre yapılan değerlendirmeler:  
a) H/V grafiği çizdirilmesi için seçilen pencereler, b) H/V – frekans grafiği ..... 51
- Şekil 4.32.** 10 nolu ölçüm için Nakamura yöntemine göre yapılan değerlendirmeler:  
a) H/V grafiği çizdirilmesi için seçilen pencereler, b) H/V – frekans grafiği ..... 51
- Şekil 4.33.** 11 nolu ölçüm için Nakamura yöntemine göre yapılan değerlendirmeler:  
a) H/V grafiği çizdirilmesi için seçilen pencereler, b) H/V – frekans grafiği ..... 52
- Şekil 4.34.** 12 nolu ölçüm için Nakamura yöntemine göre yapılan değerlendirmeler:  
a) H/V grafiği çizdirilmesi için seçilen pencereler, b) H/V – frekans grafiği ..... 52
- Şekil 4.35.** 13 nolu ölçüm için Nakamura yöntemine göre yapılan değerlendirmeler:  
a) H/V grafiği çizdirilmesi için seçilen pencereler, b) H/V – frekans grafiği ..... 53
- Şekil 4.36.** 14 nolu ölçüm için Nakamura yöntemine göre yapılan değerlendirmeler:  
a) H/V grafiği çizdirilmesi için seçilen pencereler, b) H/V – frekans grafiği ..... 53
- Şekil 4.37.** 15 nolu ölçüm için Nakamura yöntemine göre yapılan değerlendirmeler:  
a) H/V grafiği çizdirilmesi için seçilen pencereler, b) H/V – frekans grafiği ..... 54
- Şekil 4.38.** 16 nolu ölçüm için Nakamura yöntemine göre yapılan değerlendirmeler:  
a) H/V grafiği çizdirilmesi için seçilen pencereler, b) H/V – frekans grafiği ..... 54
- Şekil 4.39.** 17 nolu ölçüm için Nakamura yöntemine göre yapılan değerlendirmeler:  
a) H/V grafiği çizdirilmesi için seçilen pencereler, b) H/V – frekans grafiği ..... 55
- Şekil 4.40.** 18 nolu ölçüm için Nakamura yöntemine göre yapılan değerlendirmeler:  
a) H/V grafiği çizdirilmesi için seçilen pencereler, b) H/V – frekans grafiği ..... 55

## ÇİZELGELER DİZİNİ

<b>Çizelge 4.1.</b> Genelleştirilmiş zemin profilleri (Kaptanoğlu 2016).....	32
<b>Çizelge 4.2.</b> Sismik kırılma elastik serim parametreleri (S1-S2 serimi) (Kaptanoğlu 2016).....	33
<b>Çizelge 4.3.</b> Sismik kırılma elastik serim parametreleri (S3-S4 serimi) (Kaptanoğlu 2016).....	34
<b>Çizelge 4.4.</b> Sismik kırılma elastik serim parametreleri (S5-S6 serimi) (Kaptanoğlu 2016).....	35
<b>Çizelge 4.5.</b> Sismik kırılma elastik serim parametreleri (S7-S8 serimi) (Kaptanoğlu 2016).....	36
<b>Çizelge 4.6.</b> MASW ölçümlerine göre $V_s$ değerleri (Kaptanoğlu 2016).....	37
<b>Çizelge 4.7.</b> Yoğunluk parametreleri (Kaptanoğlu 2016).....	37
<b>Çizelge 5.1.</b> Mikrotremör sonuçları.....	56

## 1. GİRİŞ

Depremler, oluş zamanı önceden bilinmeyen, bilinse dahi gerçekleşmesi engellenemeyen, her an karşı karşıya kalınabilecek doğal olaylardır. Deprem meydana getirdiği hasarlardan korunmanın en pratik yolu, depreme dayanıklı yapıların tasarlanmasıdır. Deprem sırasında yapıda meydana gelen hasar miktarı, yapının tasarım özelliklerine ve üzerine inşa edildiği zeminin özelliklerine bağlıdır. Deprem anında ortaya çıkan sismik dalga ana kayadan yeryüzüne ulaşmaya kadar geçmiş olduğu zemin tabakalarının özelliklerinden etkilenmektedir. Sismik dalgaların farklı zeminlerden geçerken etkilenmiş olduğu en önemli zemin parametreleri, zeminin dinamik özellikleri, zemin hâkim periyodu ve zemin büyütme katsayısıdır.

Çalışma alanı olarak seçilen Oba Düzlüğü yumuşak kil ve turba gibi geoteknik açıdan zayıf zemin olarak nitelenen zemin sınıflarından oluşmaktadır. Çalışma alanında yer altı su seviyesi yeryüzüne yakındır. Bölge hâlihazırda yerleşim alanı olup, yeni projeler ile yapılaşma hızla devam etmektedir. Çalışma alanı hızlı kentleşmenin ve turizm kaynaklı ekonomik faaliyetlerin yoğun olduğu bir bölgedir. Bu durum bölgede yapılaşmanın artmasına ve yapı niteliğinin çeşitlenmesine neden olmaktadır. Bu nedenlerle bölgede yapılacak inşaatla için yerel zemin özelliklerinin ve geoteknik deprem mühendisliği parametrelerinin belirlenmesi ve elde edilen veriler ile yerel zeminin, deprenselliğe etkisinin tespiti ihtiyacı ortaya çıkmıştır.

### 1.1. Amaç ve Kapsam

Oba düzlüğü, Antalya İli'ne bağlı Alanya İlçesi'nde bulunan Cumhuriyet Mahallesi ve Obagöl Mahallesi'ni içine alan bölgeyi kapsamaktadır (Şekil 1.1). Düzlük jeolojik tarih içinde Oba Çayı'nın taşıdığı sedimanlar ve kıyı dinamikleriyle şekillenerek oluşmuştur. Bölge yumuşak kil ve turba gibi geoteknik açıdan zayıf zemin olarak nitelenen zemin sınıflarını içermektedir (Dipova 2002). Çalışma alanında yer altı su seviyesi yeryüzüne yakındır (Kaptanoğlu 2016). Alanya civarında geçmişte büyük depremler ( $M > 4$ ) gözlenmiştir. Dipova ve Cangir (2017) çalışmasına göre çalışma alanı Kıbrıs Yayı ve Antalya Dalma-Batma fayı etkisi altındadır (Şekil 1.2).

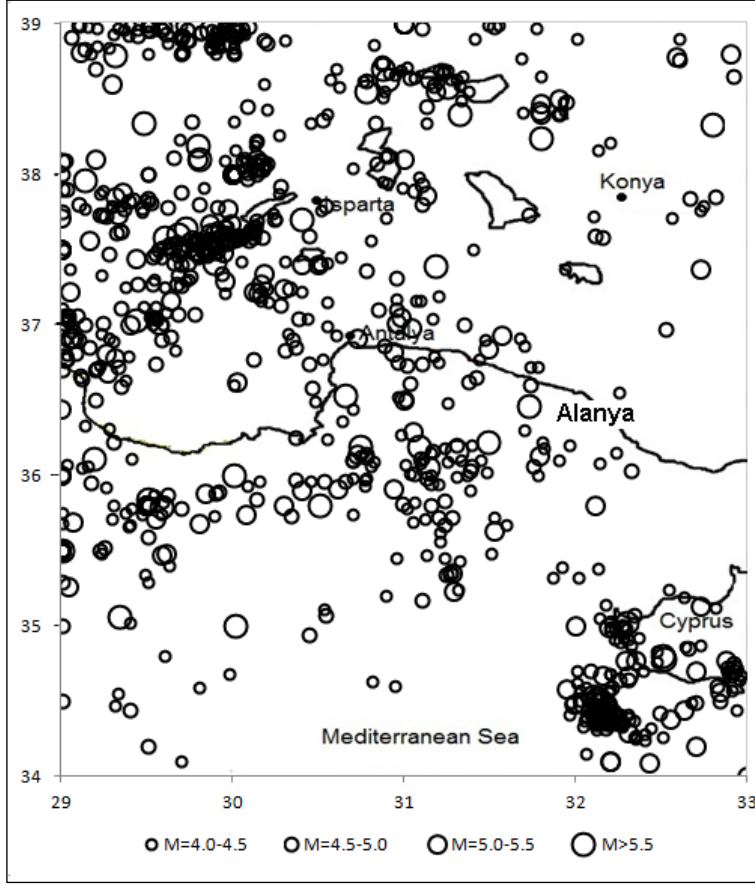
Tez çalışmasında, Oba Düzlüğü'ndeki zeminlerin, zemin dinamik özelliklerinin oluşturulmasını, bu dinamik özelliklerin ve MASW sonuçlarına göre zeminlerin dinamik özelliklerini ortaya koyan EERA programı ile eşdeğer lineer analizler yapılarak yer (saha) tepki spektrumlarının oluşturulmasını ve bölge zeminin, zemin hâkim periyodu ve zemin büyütme katsayılarının mikrotremör yöntemi ile belirlenmesini ve sonuçların yorumlanıp kıyaslanması amaçlanmaktadır. Çalışma süreci;

- Çalışma alanının lokasyon haritasının oluşturulması,
- Ölçüm noktaları için uygun alanların belirlenmesi,
- Bölge zemin tabaka yapısının ortaya çıkarılması için arşiv derleme çalışması,
- Bölgenin en büyük yer ivmesinin (PGA) Afet ve Acil Durum Yönetmeliği'ne (AFAD) göre belirlenmesi,

- EERA programında veri olarak kullanılmak üzere katalogdan deprem ivme kayıtlarının alınması,
- Ölçüm noktalarının kayma dalgası hızı ( $V_s$ ) profillerinin oluşturulması,
- Belirlenen noktalarda mikrotremör ölçümlerinin yapılması ve ölçüm verilerinin Scream programıyla kaydedilmesi,
- Alınan mikrotremör verilerinin Geopsy programıyla analiz edilmesi,
- Zemin hâkim titreşim periyodunun ve buna bağlı zemin büyütme katsayısı parametrelerinin mikrotremör sonuçlarından bulunması,
- Bir boyutlu saha tepki analizlerinin EERA programı ile analizinin yapılması,
- Bulguların değerlendirilmesini kapsamaktadır.







**Şekil 1.2.** Çalışma alanı çevresindeki depremler (Dipova ve Cangir 2017)

Çalışma kapsamında, Antalya İli, Alanya İlçesi, Cumhuriyet Mahallesi ve Obagöl Mahallesi'ni içine alan Oba Düzlüğü'ndeki zeminlerin jeolojik profilleri, bölgeye ait zemin etüt raporlarında bulunan verilere göre belirlenmiştir. Zeminlerin yer (saha) tepki spektrumları EERA programında eşdeğer lineer analiz yöntemiyle, zemin hâkim titreşim periyotları ve buna karşılık gelen büyütme katsayıları ise mikrotremör yöntemi ile belirlenmiştir.

Oba Düzlüğü, yumuşak kil ve turba gibi geoteknik açıdan zayıf zemin olarak nitelenen zemin sınıflarından oluşmaktadır. Çalışma alanında yer altı su seviyesi zemin yüzeyine yakındır. Bölge hâlihazırda yerleşim alanı olup, yeni projeler ile yapılaşma devam etmektedir. Çalışma alanı hızlı kentleşmenin ve turizm kaynaklı ekonomik faaliyetlerin yoğun olduğu bir bölgedir. Bu durum bölgede yapılaşmanın artmasına ve yapı niteliğinin çeşitlenmesine neden olmaktadır. Oba Düzlüğü'nde gerçekleştirilen bu çalışma ile elde edilen veriler yerel veri tabanına önemli oranda katkı sağlayacaktır. Bu veri tabanı, bölgede gerçekleştirilecek olası bir kentsel dönüşüm çalışması kapsamında riskli alanların belirlenmesinde, deprem master planlarının oluşturulmasında ve yeni yapılacak yapıların projelendirmelerinde önemli yer tutacağı düşünülmektedir.

## 2. KAYNAK TARAMASI

Çalışma alanı olarak Antalya İli, Alanya İlçesi'nde bulunan Oba Düzlüğü seçilmiştir. Jeolojik tarih içinde Oba Çayı'nın taşıdığı sedimanlar ve kıyı dinamikleriyle şekillenerek oluşmuş olan düzlük, yumuşak kil ve turba gibi geoteknik açıdan zayıf zemin olarak nitelenen zemin sınıfları içermektedir. Çalışma alanı seçiminde bölgede yeraltı su seviyesinin yeryüzüne yakın olması da etkili olmuştur.

Mikrotremörler, farklı kaynaklar tarafından oluşturulan, genlikleri 0.1-1 mikron arasında, periyotları ise 0.05-2 sn arasında olan sürekli titreşimlerdir. Bu titreşimlerin kaynakları doğal kaynaklı veya kültürel gürültüler olabilir. Mikrotremörler jeolojik özellikleri nedeni ile noktadan noktaya belirgin değişimler gösterirler.

Mühendislik sismolojisi çalışmalarında kullanılan mikrotremör yöntemi, özellikle mikro bölgeleme çalışmalarındaki faydaları, diğer metotlara göre daha kolay ve maliyetsiz uygulanabilirliği, elde edilen sonuçların güvenilirliği yöntemi son yıllarda kalıcı kılmaktadır.

Sismometreler ivme, hız ve yer değiştirmeye duyarlı olup bu üç büyüklükten biri seçilerek kayıt alabilmektedir.

Mikrotremör ölçümlerinde yapay ve doğal gürültüler mikrotremör kayıtlarına kaynak oluşturmanın yanı sıra uygun mesafeyi koruyamama durumunda ölçümlerde bozucu etki yaratmaktadır. Gürültülü ortamlarda alınan mikrotremör kayıtları zeminin özelliklerinden daha çok kaynağın özelliklerini yansıtmaktadır. Bu sebeple aşırı gürültülü ortamlarda ve yapay gürültü kaynağı insan vb. faaliyetlerinin yoğun olduğu saat dilimlerinde, rüzgârlı ve yağışlı günlerde ölçüm yapılmamasına dikkat edilmelidir.

Mikrotremör verilerinin analizinde yaygın olarak dört yöntem kullanılmaktadır. Bunlar;

- Fourier genliklerinin ya da güç spektrumlarının yorumlanması
- Referans noktasına göre spektral oran hesaplanması
- Sıfır kesme
- Yatay bileşenin düşey bileşene spektral oranı (H/V) yöntemleridir.

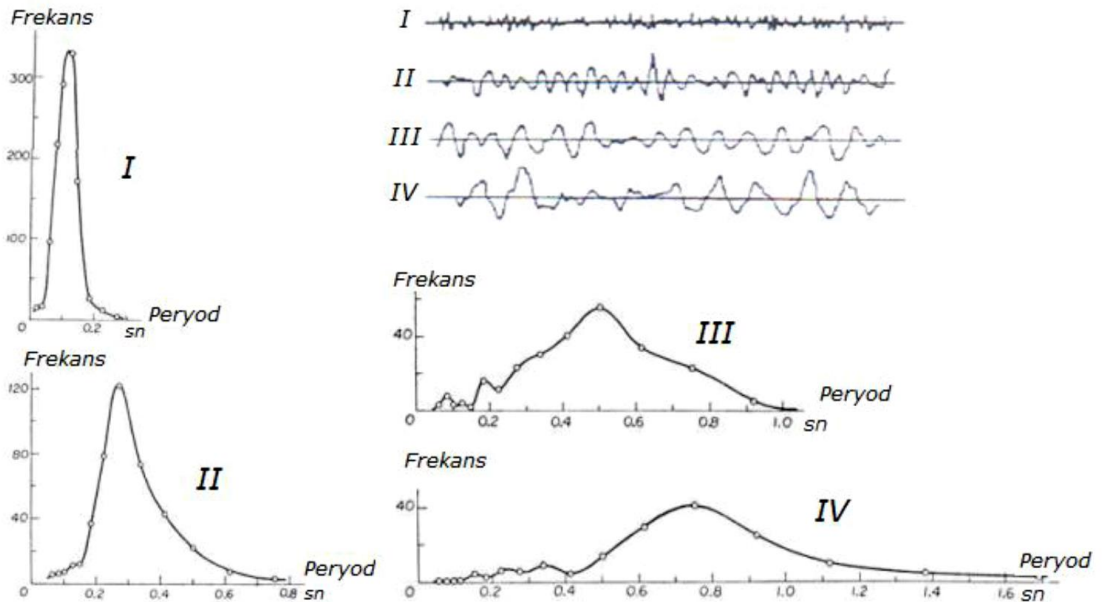
Fourier genliklerinin ya da güç spektrumlarının yorumlanması yöntemine göre alınan mikrotremör kayıtlarına fourier dönüşümleri uygulanarak genlik spektrumları elde edilmektedir. Elde edilen spektrumlar kaynak oluşturan dalganın frekans içeriği oluşturur. En büyük genliği veren frekansa baskın frekans denilmektedir. Güç spektrumları değerlendirildiğinde ise genlik spektrumunun karesi güç spektrumunu ile orantılı olduğu için güç spektrumunun yapılar üzerinde ki etkisi daha fazla olacaktır. Çok yaygın kullanılan bir yöntem değildir (Tekebaş 2010).

Referans noktasına göre spektral oran hesaplanması yönteminde, referans noktası ve gezici istasyonlar belirlenerek bu noktalardan alınan kayıtlarda bulunan her

bir bileşenin birbirine spektral oranının alınması ile hesaplama yapılmakta ve zemin büyütmesi hesaplanabilmektedir. Spektral oranlar içinde genliği en büyük olan frekans o bölgenin baskın frekansını temsil etmektedir. Ölçümlerin güvenilirliği açısından referans noktası ile gezici noktalarda alınan kayıtlarda, aynı kaynak ve dalga yayılım yolu etkisinde olmaları gerekmektedir. Bu nedenle referans noktası ile gezici istasyonlardaki ölçümler eş zamanlı olmalıdır. Referans noktasına göre spektral oran hesaplanması yöntemi ile zeminin baskın periyot ve büyütmesi belirlenebilmektedir. Ancak bu yöntemde referans noktası ve gezici istasyonların tespiti ve belirlenen noktalarda eş zamanlı ölçüm yapmak yöntemin tercih edilmeme sebeplerindedir.

Sıfır kesme yöntemi Kanai ve Tanaka (1961) tarafından önerilmiştir. Yöntem mikrotremör kayıtlarında belirlenen kısımda sıfır kesme noktaları arasındaki uzaklık ölçülerek bu uzaklığın iki katı periyot olarak tanımlanmaktadır. Periyotlar yatay eksen ve her periyota karşılık gelen yinelenme sayısı yani frekans düşey eksende işaretlenerek periyot dağılım eğrisi oluşturulmaktadır. Bu eğrinin pik noktası en sık tekrarlanan baskın periyodu verecektir. Bu yöntemde baskın periyoda ve maksimum genlik arasındaki ilişkiye göre zemin sınıflaması yapılmaktadır.

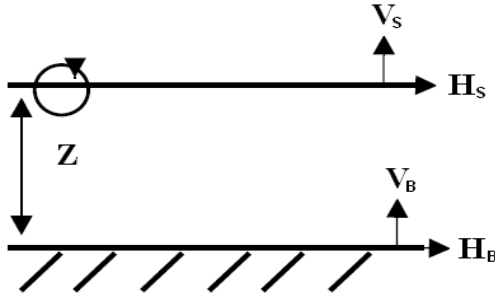
Kanai ve Tanaka (1961), yaptıkları çalışmalarda basit ve tek tabakalı yer yapısında mikrotremör verilerinin spektrumunda, tek bir şekilde doruk (pik, tepe) oluşumu görüldüğünü, yer yapısının karmaşık olduğu durumlarda ise birden fazla doruk görüldüğünü gözlemişlerdir.



**Şekil 2.1.** Mikrotremörlerin frekans-periyot dağılımları (Kanai ve Tanaka, 1961)

Nakamura yöntemi mikrotremör kayıtlarında alınan veriler ile ana kaya üzerinde bulunan zeminin yatay / düşey (H/V) spektral oranını kullanılarak o zeminin frekansını

belirlemektedir. Nakamura (1989) tarafından geliştirilen bir yöntemdir. Tek istasyon kullanılarak ölçümler yapılır ve referans noktasına ihtiyaç duyulmaz. Nakamura yönteminde mikrotremör kaynağı yarı uzay üzerinde uzanan, tek tabakalı ortamda yayılan rayleigh dalgaları olduğu kabul edilmektedir. Nakamura (1989) mikrotremörlerin yüzeyden gelen titreşimlerden oluştuğunu kabul etmekte ve derinden gelenleri ihmal etmektedir. Nakamura bu yöntemde mikrotremörleri, yarı sonsuz ortam üzerinde uzanan tek tabakalı bir ortamda yayılan rayleigh dalgaları ile açıklamaya çalışmıştır (Şekil 2.2).

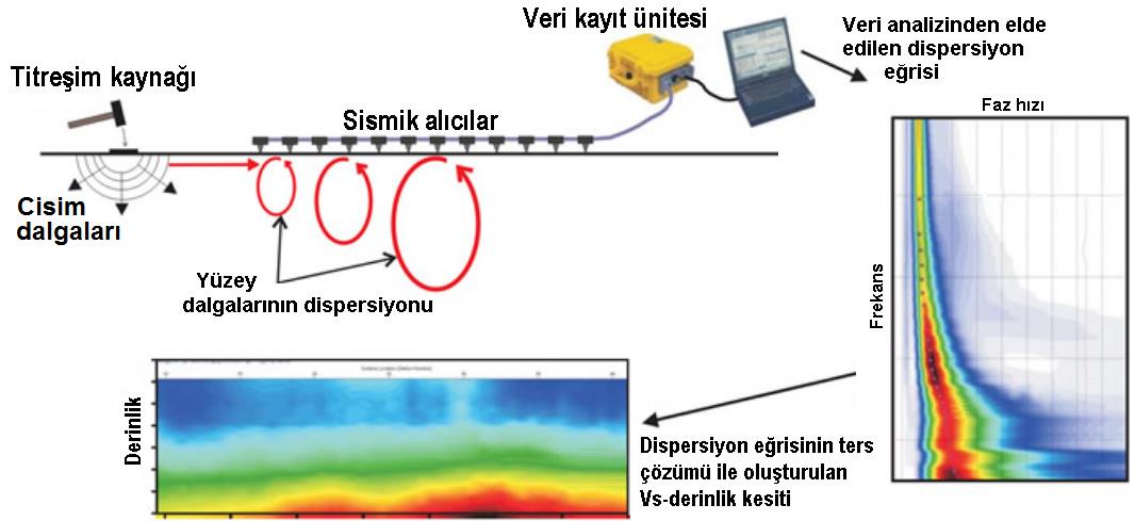


**Şekil 2.2.** Mikrotremör verilerini açıklayan basit model (Nakamura 1989)

Bu tez çalışmasında mikrotremör ile alınan kayıtlar GEOPSY programında Nakamura yöntemine göre analiz edilmiştir.

Yerel zemin koşullarının belirlenmesinde önemli bir süreç de kayma dalgası hız verisinin hassas bir şekilde belirlenmesi olmaktadır. Geoteknik deprem mühendisliğinde temel altındaki ilk 30 m derinliğin karakterizasyonu önem arz ettiğinden, cisim dalgalarının analizine dayanan klasik jeofizik yöntemler yeterli hassasiyet sağlayamamaktadır. Bu soruna çözüm olarak cisim dalgaları yerine, yüzey dalgalarının analizine dayanan SASW (Yüzey Dalgalarının Spektral Analizi), bundan sonra ise iki boyutlu profil elde edilmesine olanak sağlayan MASW (Çok Kanallı Yüzey Dalgası Analizi) geliştirilmiştir. Bu çalışmada kullanılan MASW yönteminde  $V_s$  değerlerinin elde edilmesi 3 aşamada gerçekleştirilmiştir;

- 1) Arazide yüzey dalgalarının kaydedilmesi,
- 2) Dispersiyon eğrisi elde edilmesi,
- 3) Ters çözüm yöntemi ile dispersiyon eğrilerinden  $V_s$  - derinlik kesitlerinin elde edilmesi (Şekil 2.3).

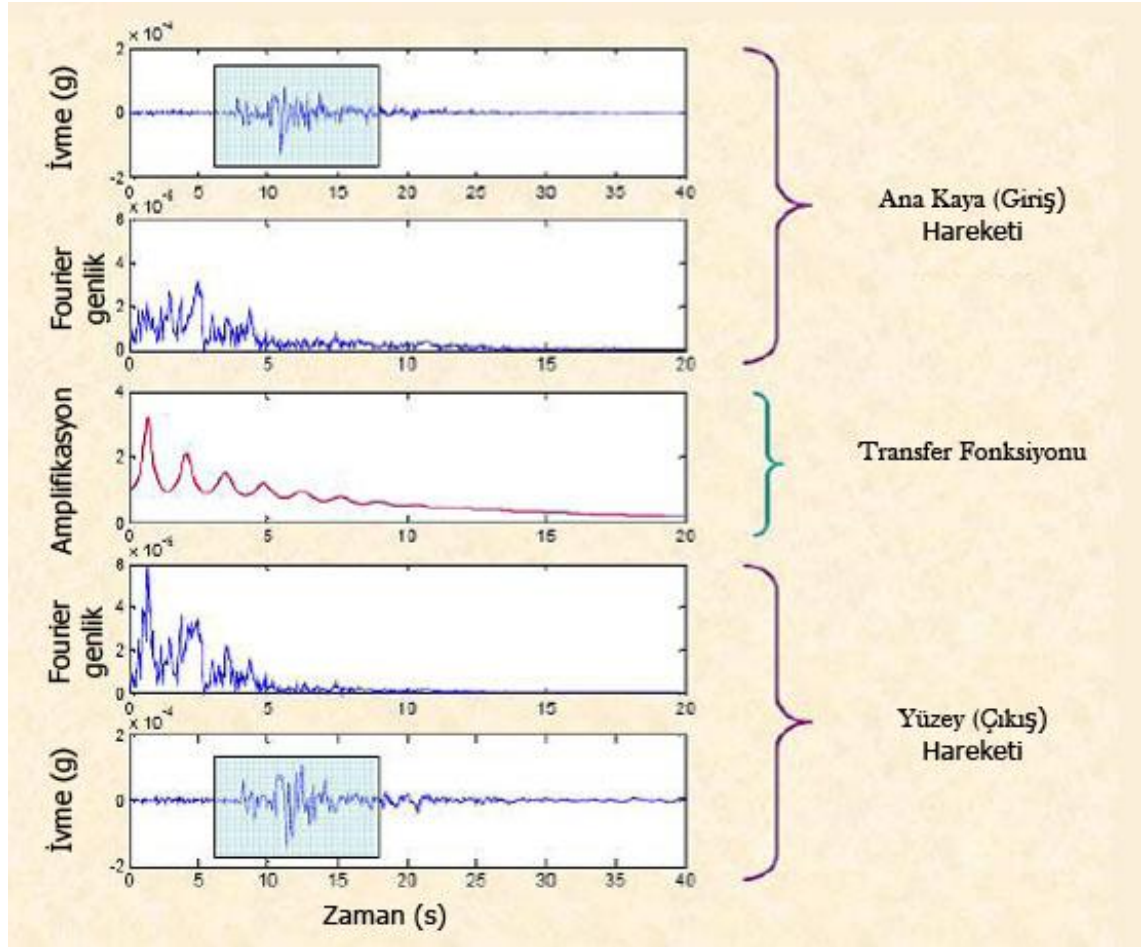


Şekil 2.3. MASW yöntemi

Yer tepki analizlerinde giriş hareketi ile Transfer Fonksiyonu frekans ortamında çarpılarak çıkış hareketi yani zemin yüzeyindeki hareket, frekans ortamında elde edilir. Ters Fourier dönüşümü ile zemin yüzeyindeki hareket zaman ortamında elde edilir (Şekil 2.4).

Bir boyutlu saha tepki analizlerinde, düşey yönde ilerleyen kayma dalgası yöntemi ne dayalı olarak geliştirilmiş EERA (Equivalent-Linear Earthquake Response Analysis) programı kullanılmıştır. EERA, FORTRAN 90 yazılım dili ile hazırlanmış olan eşdeğer lineer deprem tepki analizi programının EXCEL’de uygulanmasıdır. SHAKE programında yapılan kabuller EERA için de aynen geçerli olmakla birlikte, EERA’nın girdi ve çıktı verileri EXCEL programı ile ilişkilendirildiği için SHAKE programına göre kullanımı daha kolaydır. EERA analizlerinde ilk aşama olarak zemin profili, kayma dalgası hızları, formasyon kalınlıkları ve birim hacim ağırlıkları tanımlanır. Sondaj verileri, kayma dalgası hızı profilleri veya amprik ilişkiler kullanılarak katmanlar için dinamik zemin parametreleri tanımlanacaktır.





**Şekil 2.4.** Giriş hareketi, transfer fonksiyonu ile çarpılarak zemin yüzeyindeki ivme-zaman grafiğinin elde edilmesi

Çalışma konusu ile ilgili literatür taraması yapılmış olup incelenen kaynaklar aşağıda sıralanmıştır.

Mikrotremörler konusunda ilk çalışmalar Omori (1908) yapmış, bu çalışmalarını Aki (1957), Santo (1959), Kanai ve Tanaka (1961), Lermo vd. (1988), Yamanaka vd. (1993) gibi çalışmalar izlemiştir.

Kanai ve Tanaka (1961), kısa periyotlu mikrotremör ölçümlerini spektral analiz ile yerel zemin etkilerini tahmin etmek için kullanmışlardır.

Aykut Tuncel “Sismik Kırılma Yöntemi ve Mikrotremör Ölçümlerinden Elde Edilen Dinamik Zemin Parametrelerinin Karşılaştırılması” adındaki 2008 yılında yaptığı yüksek lisans tez çalışmasında; İzmir ilinde 58 noktada mikrotremör, 15 noktada MASW, 29 noktada sismik kırılma yapmış ve bu verileri karşılaştırarak haritalar oluşturmuştur (Tuncel 2008).

Sunay Mutlu “Sismik Kırılma Yöntemi ve Mikrotremör Ölçümlerinden Elde Edilen Dinamik Zemin Parametrelerinin Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) Kullanılarak

Haritalanması” adındaki 2012 yılında yaptığı yüksek lisans tez çalışmasında; Eskişehir Kent Merkezi’nde 23 farklı noktada mikrotremör ve sismik kırılma yapmıştır. Bu verileri kullanarak çalışma alanına ait sismik haritalar oluşturmuştur (Mutlu 2012).

Onur Engin Tokgöz “Bolu Ve Yakın Çevresinde Mikrotremör Verileri İle Yer Etkisinin İncelenmesi” adlı yüksek lisans tez çalışmasında; mikrobölgelendirme çalışmaları için Nakamura’nın spektral oranlar (H/V) yöntemi kullanmıştır (Tokgöz 2002).

Serhat Tekebaş“ Yalova İli Tepki Fonksiyonları Mikrotremör Verilerine Göre Değerlendirilmesi” adlı yüksek lisans tez çalışmasında; Yalova ve çevresinde (Altınova, Çiftlikköy ve Çınarcık) toplam 81 noktada 92 adet mikrotremör ölçümü ile Yalova’nın zemin özellikleri belirlemeye çalışmıştır (Tekebaş 2010).

2007 yılında Karavul ve diğerleri tarafından yazılmış “Gölcük İlçesi (İzmit) Sismik Hız ve Mikrotremör Çalışmalarının Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) İle Hazırlanan Haritalar Üzerinde İncelenmesi” konulu makale çalışmasında, Gölcük ilçesinde yapılmış olan yaklaşık 200 adet sismik kırılma ve 50 adet mikrotremör kaydı incelenerek Gölcük ilçesi zemin yapısı araştırılmıştır (Karavul vd. 2007).

Analitik yöntemle saha tepki analizinde, ana kaya ve bunun üzerindeki zemin katmanlarının yatayda sonsuz uzanımlı olduğu kabul edilmekte ve her katmana ait transfer fonksiyonu belirlenerek yüzeydeki hareketin genliği hesaplanmaktadır (Kramer 1996). Buna göre çalışma alanında bulunana zemin katmanlarını temsil eden  $V_s$  hızları kullanılarak bir boyutlu zemin büyütme analizleri yapılır (Ansal vd. 2009, 2010). Analizlerde öngörülen deprem büyüklüğü ile uyumlu deprem kayıtları seçilir (Ansal ve Tönük 2007).

Transfer fonksiyonları yüzeydeki spektral ivme artışını ve azalışını göstermesi bakımından önemlidir. Yüzey hareketi, ters FFT (fast fourier transform: hızlı fourier dönüşümü) kullanılarak zaman tanım alanında ifade edilebilir. Hangi frekansta ne şiddette bir titreşim olduğunu gösteren bu uygulama karmaşık sinyaller içinde periyodik olanları belirleyip harmonik bileşenlerine ayırır. Transfer fonksiyonu ise taban hareketindeki her frekansın zemin tarafından nasıl büyütüldüğünü veya sönümlendiğini belirler (Kramer 1996). Bir boyutlu tepki analizi yöntemi Schnabel, Lysmer ve Seed (1972) tarafından eşdeğer doğrusal modellemeyi esas alan SHAKE adlı bir bilgisayar programına dönüştürülmüştür. Daha sonra program yenilenmiştir (Idriss ve Sun, 1992). Aynı prensibi esas alan ve Excel altında çalışan EERA bilgisayar programı Bardet vd. (2000) tarafından geliştirilmiştir. Geoteknikte deformasyon ve stabilite analizi için tasarlanmış olan sonlu elemanlar yöntemine dayalı PLAXIS 2D yazılımı ile (Brinkgreve 2007) iki ve üç boyutlu analizler gerçekleştirilebilmektedir.

Zemin tepki analizlerinde önemli süreçlerden biri kayma dalgası hız profilinin oluşturulmasıdır. Geoteknik deprem mühendisliği analizleri için yeterli hassasiyette kayma dalgası hızı belirlemek amacıyla yüzey dalgalarının analizine dayanan Yüzey Dalgalarının Spektral Analizi (SASW) geliştirilmiştir (Nazarian ve Stokoe 1984; Stokoe vd. 1994). Bundan sonraki süreçte aynı prensiple çalışan fakat çok kanallı olarak yapıldığından iki boyutlu profil elde edilmesine olanak sağlayan Çok Kanallı Yüzey Dalgası Analizi (MASW) geliştirilmiştir (Park vd. 1999; Xia vd. 1999). MASW



yönteminde sismik kayıt cihazı ile yüzey dalgaları kaydedilir. Bu dalgaların hız-frekans grafikleri oluşturularak dispersiyon eğrisi elde edilir. Ters çözüm yöntemi ile dispersiyon eğrilerinden  $V_s$  kesitleri elde edilmiş olur (Socco ve Strobbia 2004).

Yapılan literatür taraması sonucunda, Antalya İli, Alanya İlçesi, Cumhuriyet Mahallesi ve Obagöl Mahallesi'ni içine alan Oba Düzlüğü'ndeki zeminlerin dinamik özelliklerinin belirlenmesini, yer (saha) tepki spektrumlarının oluşturulmasını, mikrotremör ölçümlerini, hâkim titreşim periyotlarının ve buna karşılık gelen büyütme katsayılarının araştırılmasını kapsayan herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır.

### 3.MATERYAL VE METOD

#### 3.1. Çalışma Alanının Depremselliği

Deprem yer kabuğunun iç kısımlarında bulunan kırıklarda oluşan enerjinin aniden boşalması durumunda ortaya çıkan titreşimlerin, dalgalar şeklinde yayılması sonucunda yeryüzünde hissedilen sarsıntılar olarak tanımlanabilir.

Sarsıntı olarak hissedilen titreşimler olduğu kaynaktan yeryüzüne ulaşmaya kadar çeşitli değişikliklere uğrarlar. Bu değişiklikler deprem parametrelerine bağlı olduğu gibi dalgaların geçtiği ortamların yerel zemin koşullarından da etkilendiği bilinmektedir. Yerel zemin etkisi olarak bilinen bu etki deprem dalgalarının her bir ortamda değişmesine sebep olmaktadır.

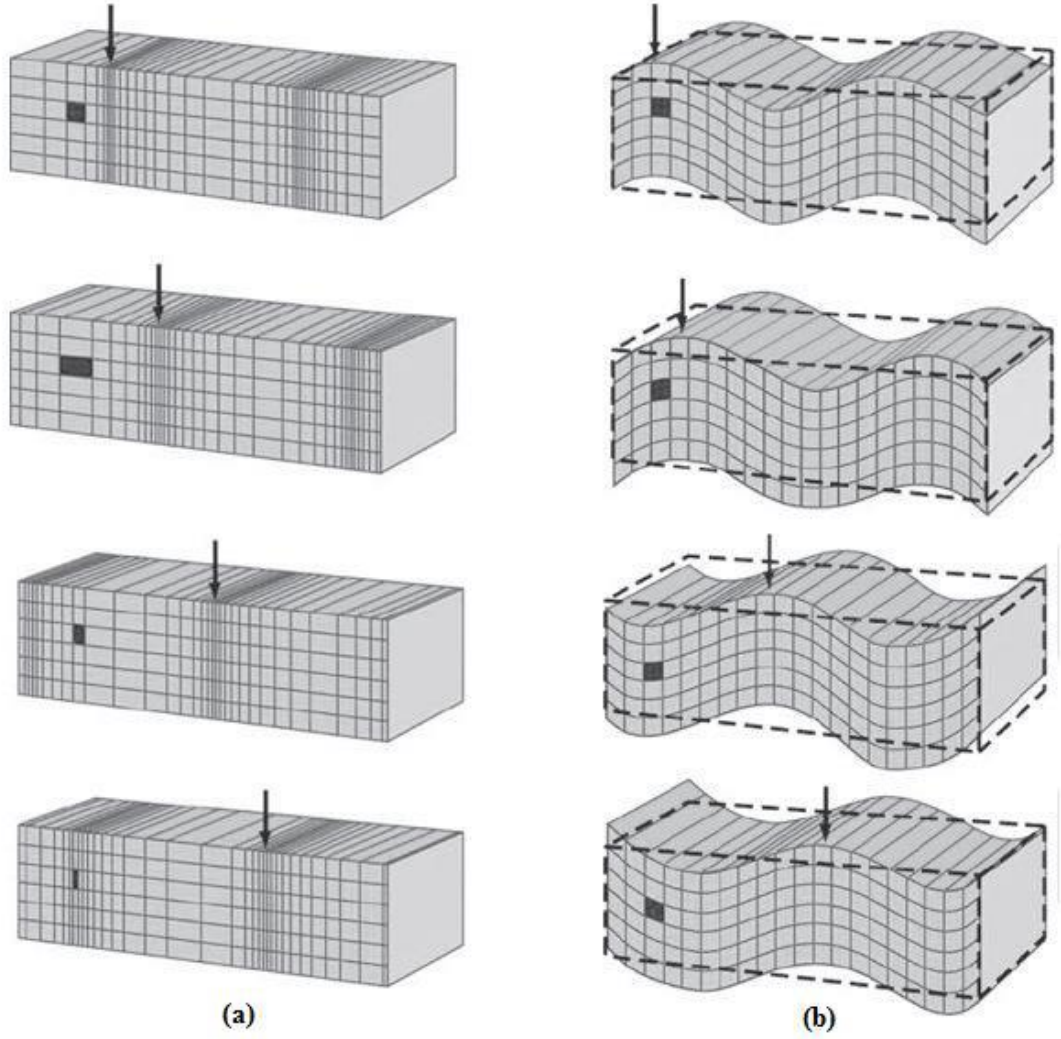
Depreme dayanıklı yapı tasarımının temelini deprem, zemin ve yapı etkileşimi oluşturmaktadır. Bölgenin depremselliği 2007 deprem haritasına göre değerlendirilmesi hedeflenmiştir. Ancak çalışma süresinde Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği değişmiştir. 01.01.2019 tarihinde yürürlüğe giren Türkiye Deprem Yönetmeliği 2019'a göre deprem bölgesi kavramı kalkmış yerine her koordinatta en büyük yer ivmesini tanımlayan, Türkiye Deprem Tehlikesi Haritaları yayınlanmıştır. Bölgeye hâkim en büyük yer ivmesi, "<https://www.turkiye.gov.tr/afad-turkiye-deprem-tehlike-haritalari>" adresinden, bölge zemininde çeşitli koordinatların en büyük yer ivmelerine göre yaklaşık bir değer şeklinde kabul edilmiştir (Anonim 2, 2019).

İnceleme alanı jeolojisi için bölgede daha önceden hazırlanan zemin etüt raporlarından yararlanılmıştır.

#### 3.2. Zeminlerin Dinamik Özelliklerinin Belirlenmesi

Yerkabuğu içerisinde var olan enerjinin ani boşalması sonucu açığa çıkan titreşimler, sismik dalgalar şeklinde yayılarak yeryüzüne ulaşır. Sismik dalgalar cisim dalgaları ve yüzey dalgaları olmak üzere iki ana gruba ayrılırlar. Cisim dalgaları yerin içinde ilerlerken yüzey dalgaları yerkabuğunun üzerinde hareket ederler.

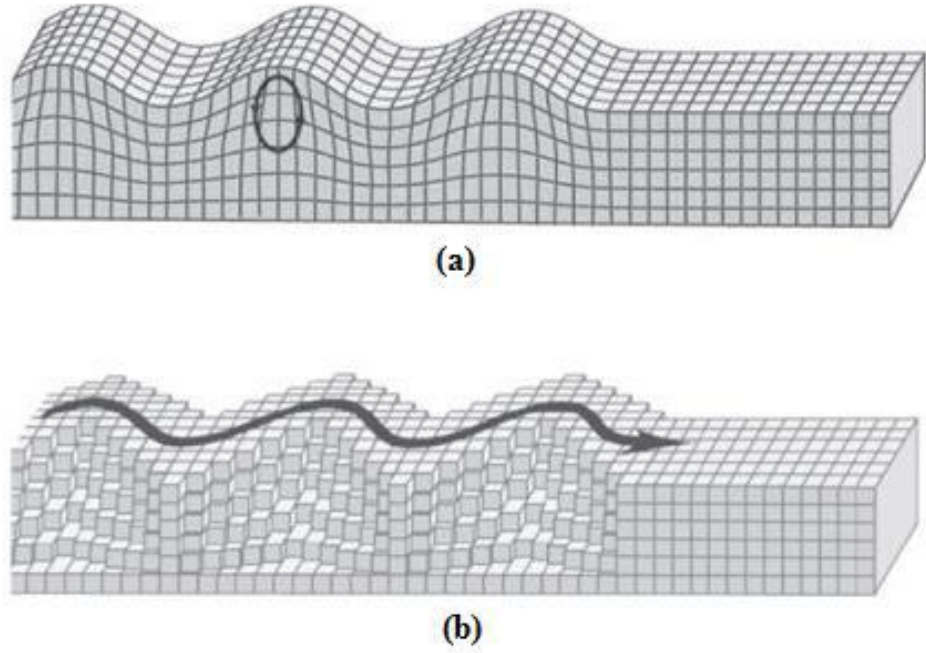
Cisim dalgaları yer içerisinde yayılma şekline göre P ve S olarak ikiye ayrılmaktadır. Cisim dalgaları sismik yöntemlerde (sismik kırılma ve yansıma, kuyu ölçümleri vb.) uygun kaynak - alıcı düzenleri oluşturularak istenilen dalga tipi elde edilip kullanılabilir. Ancak P ve S dalga tiplerini oluşturmak için kullanılan yöntemlerin pahalılığı ve her yerde kullanılamaması gibi sebepler bu dalga tipleri ile ölçüm yapan sismik yöntemlerin tercih edilmemesine neden olmaktadır (Şekil 3.1).



**Şekil 3.1. a) P dalgası; b) S dalgası (Everett 2013)**

Yüzey dalgaları yerkabuğu üzerinde yayılma şekline göre love ve rayleigh dalgalarından oluşur. Yüzey dalgalarının en önemli özelliği dalga hızlarının frekansa bağlı olmasıdır. Yani dispersiyon göstermeleridir. Kabuk ve üst mantoda yüzey dalgalarının dispersiyon özelliklerinden yararlanılarak kayma dalga hız dağılımı elde edilir. Kayıt edilen yüzey dalgalarının dispersiyon eğrilerine ters çözümü uygulanarak yüzey dalgasının geçtiği ortamların hız yapısı belirlenebilir. Dolayısıyla incelenen alanda bulunan yeraltı tabakaların dinamik özellikleri hakkında yüzey dalgaları incelenerek bilgi tespit edilebilmektedir.

Yüzey dalgaları: Love ve Rayleigh dalgası (Şekil 3.2)



**Şekil 3.2.** Yüzeysel dalgaların hareketi: **a)** Rayleigh dalgası hızı (Bolt, 1976) **b)** Love dalgası hızı (Bolt 1976)

Yeraltı tabakalarının dinamik özellikleri kayma dalgası hızı ( $V_s$ ) ile doğrudan ilişkilidir. Bu nedenle tabakaların kayma dalgası hızının belirlenmesi geoteknik mühendisliği açısından önemlidir. Kayma dalgası hızının belirlenmesi ile zemin büyütmesi, heyelan, sıvılaşma vb. mühendislik sorunlarının çözümü kolaylaşmış olacaktır.

Kayma dalgası hızı; sismik kırılma ve yansımaya, kuyu ölçümleri ve yüzey dalgası analiz yöntemleri yardımıyla belirlenebilmektedir. Ancak sismik kırılma ve yansımaya yönteminde S dalgası üretiminin zorluğu, kuyu ölçümleri yönteminin yüksek maliyetli olması gibi nedenler daha pratik ve daha ucuz olan yüzey dalgası analiz yöntemine yönlendirmiştir.

Yüzey dalgası analiz yöntemleri aktif ve pasif kaynaklı uygulanmaktadır.

Aktif kaynaklı olanlar:

- SASW (Yüzey dalgalarının spektral analizi),
- MASW (Yüzey dalgalarının çok kanallı analizi)

Pasif kaynaklı olanlar:

- ReMi (Kırılma mikrotremör),
- SPAC (Uzaysal öz ilişki yöntemi),
- Tek istasyon mikrotremör yöntemidir.

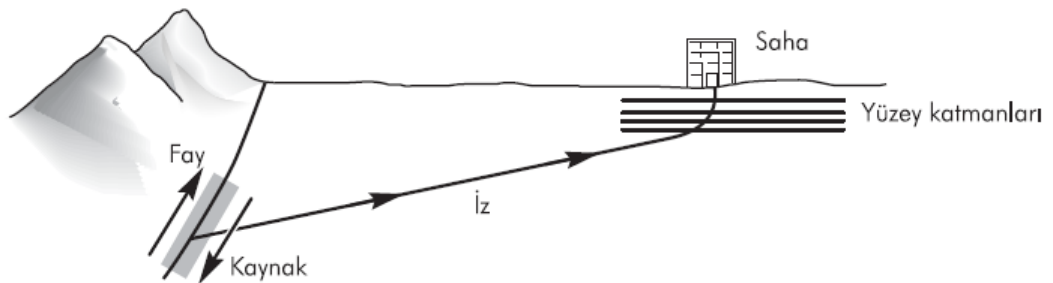
Bu çalışmada zeminlerin dinamik özelliklerinin belirlenmesinde MASW sonuçlarından yararlanılmıştır. İnceleme alanında zeminin dinamik-elastik mühendislik özellikleri, deprem yönetmeliklerine esas zemin sınıfları, hâkim titreşim periyotları, zemin büyütme ve zemin içerisindeki yanal ve düşey süreksizlikleri, bölgede daha önceden özel bir firma tarafından yapılmış olan zemin etüt çalışmasında bulunan MASW ölçümleri kullanılarak tespit edilmiştir. MASW çalışmaları sismik kırılma profilleri boyunca 36 m açıklımlı 3 m ofsetli 8 adet şekilde uygulanmıştır (Kaptanoğlu 2016). MASW sonuçlarına göre tabaka kalınlıklarına bağlı kayma dalgası hızları ( $V_s$ ) temin edilmiştir.

### 3.3. Yer (Saha) Tepki Analizleri

Deprem dalgaları binlerce kilometre derinliğe sahip kaya blokları içerisinde ilerleseler dahi karakteristikleri, yeryüzüne ulaşmadan hemen önce içinden geçtikleri sıg ve yumuşak zemin tabakaları tarafından etkilenir. Yerel zemin koşullarının etkisi olarak adlandırılan bu değişimleri belirlemede araştırmacılar tarafından mevcut zemin özelliklerinin modellenmesine ve nümerik bünye bağıntılarına bağlı olan 1, 2 veya 3 boyutlu analiz yöntemleri geliştirilmiştir.

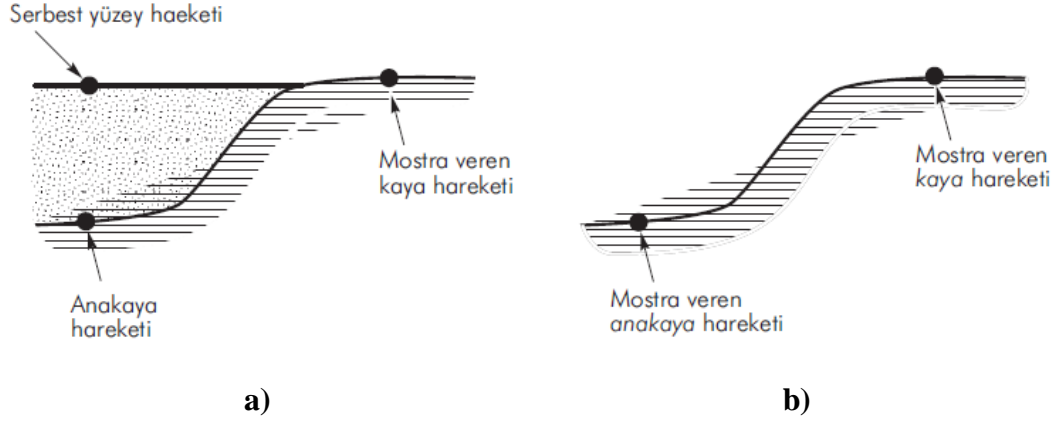
Zemin koşullarının yer sarsıntıları üzerindeki etkileri yer tepki analizleri ile tespit edilebilir. Bu tespitler genellikle, kayma dalgalarının yayılımını kapsamaktadır. Analizlerde kayma dalgasının taban kayasından yukarı doğru hareket ettiği kabulü yapılmaktadır.

Yerküre içerisinde enerjinin aniden boşalması sonucu oluşan titreşimler dalgalar şeklinde kaynaktan yeryüzüne doğru her yöne dağılırlar. Ancak titreşimler her geçtikleri tabakada, tabakanın jeolojik sınırlarında değişikliğe uğrarlar, kırılırlar ve yansılırlar (Kramer 1996).



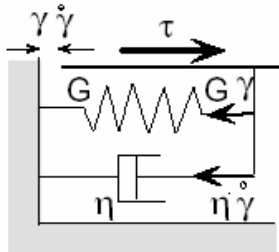
**Şekil 3.3.** Yer yüzeyine yakın kesimde yaklaşık olarak düşey dalga yayılması oluşturan kırılma süreci (Kramer 1996)

Zemin tepki modellerinden herhangi birini tanımlamadan önce yer hareketini açıklamada yaygınca kullanılan birkaç terimi tanımlamak gerekir. Şekil 3.4 a'dan hareketle, bir zemin yüzeyindeki harekete serbest yüzey hareketi denir. Zeminin tabanındaki (ve anakayanın tepesindeki) harekete anakaya hareketi denir. Anakayanın yüzeye çıktığı yerde herhangi bir lokasyondaki harekete mostra veren kaya hareketi denir. Zeminin bulunmadığı durumda ise (Şekil 3.4 b) anakayanın tepesindeki harekete anakaya mostra hareketi denir (Kramer 1996).



**Şekil 3.4.** Yer tepkisi terminolojisi **a)** anakaya üzerinde zemin; **b)** anakaya üzerinde zemin yok. Düşey ölçek büyütülmüştür (Kramer 1996)

Tek boyutlu doğrusal (lineer) davranış analizlerinde SHAKE, SHAKE 91 veya EERA vs. gibi standart programlar kullanılabilir. SHAKE (Schnabel vd. 1972), 40 yılı aşkın süredir geoteknik deprem mühendisliğinde kullanılmaktadır. 1998 de SHAKE in temel kabulleri üzerinden EERA (Equivalent- Linear Earthquake Response Analysis) programı geliştirilmiştir. EERA, EXCEL'de eşdeğer lineer deprem tepki analizi programının FORTRAN 90 dili ile hazırlanmış uygulanmasıdır. Programın girdi ve çıktıları EXCEL ile ilişkilendirildiği için SHAKE programına göre kullanımı daha kolaydır. Programda zemin Kelvin-Voigt (yani; kayma deformasyonuna direnci elastik kısım ile viskoz kısmın toplamı olan malzemeler) modeli ile tanımlanmaktadır (Şekil 3.5).



**Şekil 3.5.** Eşdeğer lineer metotta kullanılan gerilme-şekil değiştirme modeli (Bardet vd. 2000)

$$\tau = G\gamma + \eta\dot{\gamma}$$

$\tau$ : Kayma gerilmesi

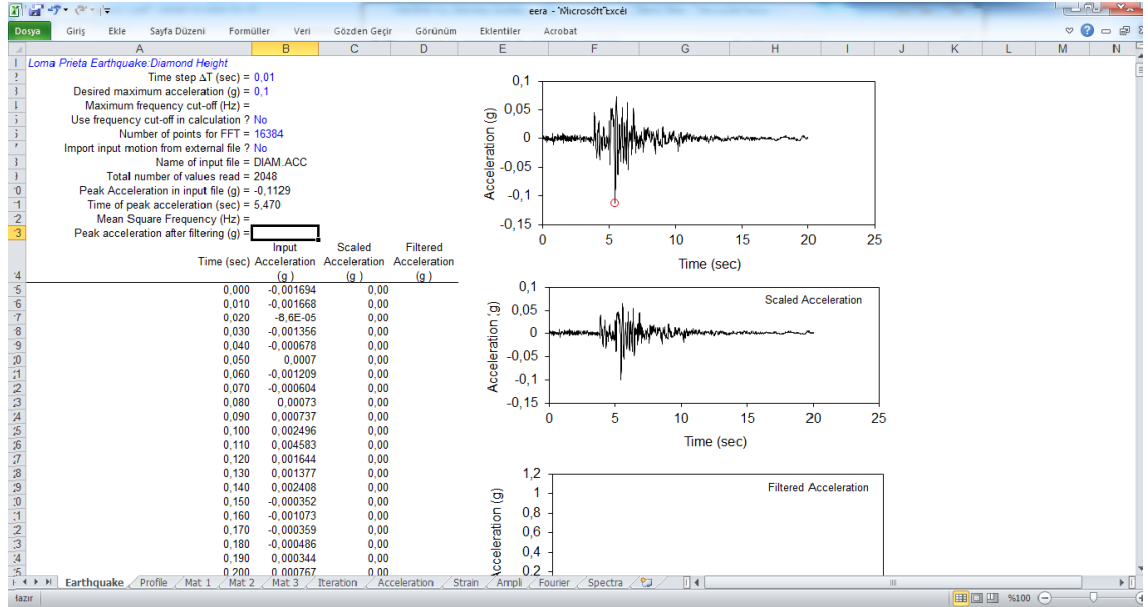
$G$ : kayma modülünü

$\gamma$ : kayma şekil değiştirmesi

$\dot{\gamma}$ : şekil değiştirme hızı,

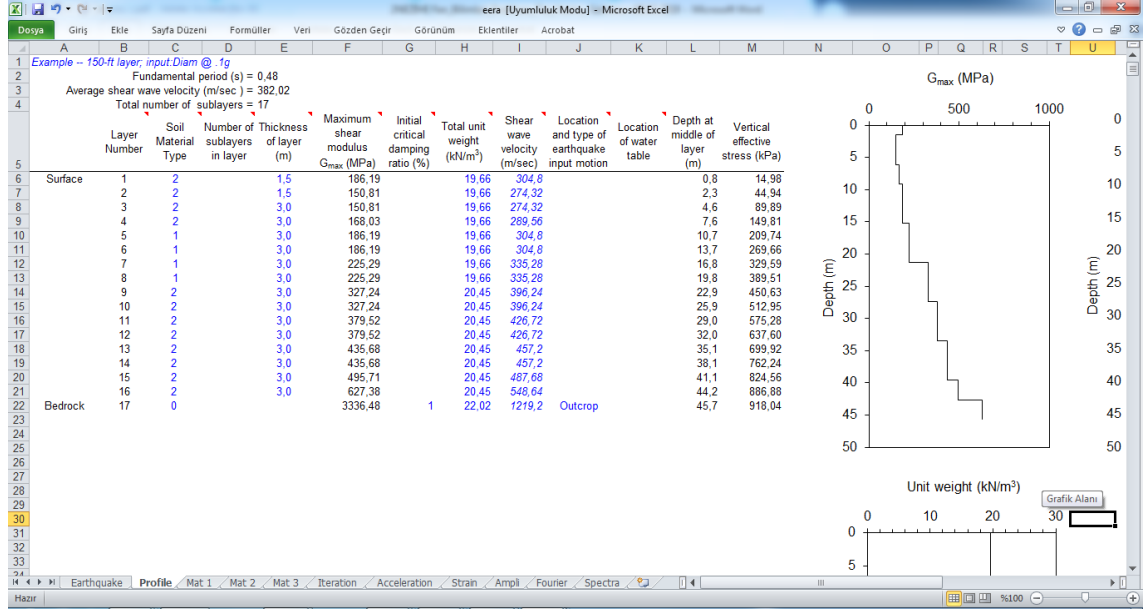
$\eta$ : viskozite

EERA programı altı excel çalışma alanından oluşmaktadır. Bunlar; deprem verisi, zemin profili, iterasyon, ivme, şekil değiştirme ve spektradır. Deprem verisi bölümünde deprem istasyonundan alınan kayıtlar kullanılarak deprem dalgası tanımlanır. Tanımlama yapılırken alınan deprem kayıtları, depremin zaman aralığı ( $\Delta T$  (sn)), istenilen en büyük ivme değeri (çalışma alanına ait PGA değeri) girilir (Şekil 3.6).



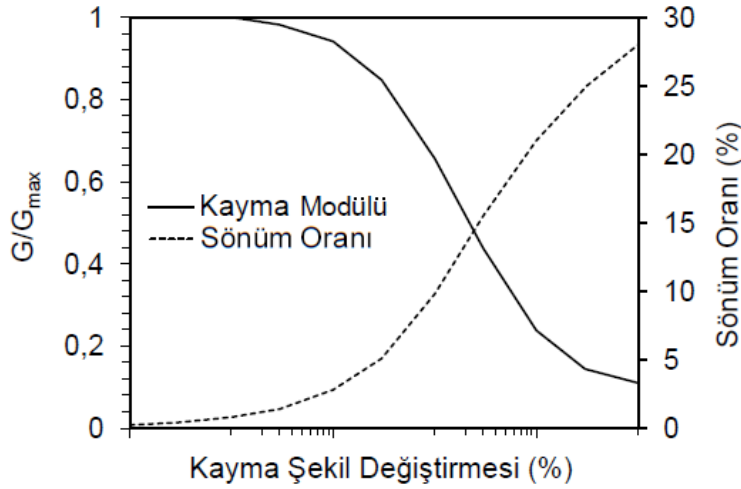
Şekil 3.6. EERA programı deprem veri girişi

Profil kısmında çalışma alanına ait zemin katmanlarının özellikleri tanımlanır. Bu kısımda zemini oluşturan katman sayısı ve kalınlıkları, kayma dalgası hızları, birim hacim ağırlıkları girilerek tanımlanır (Şekil 3.7).



Şekil 3.7. EERA programı profil tanımlama

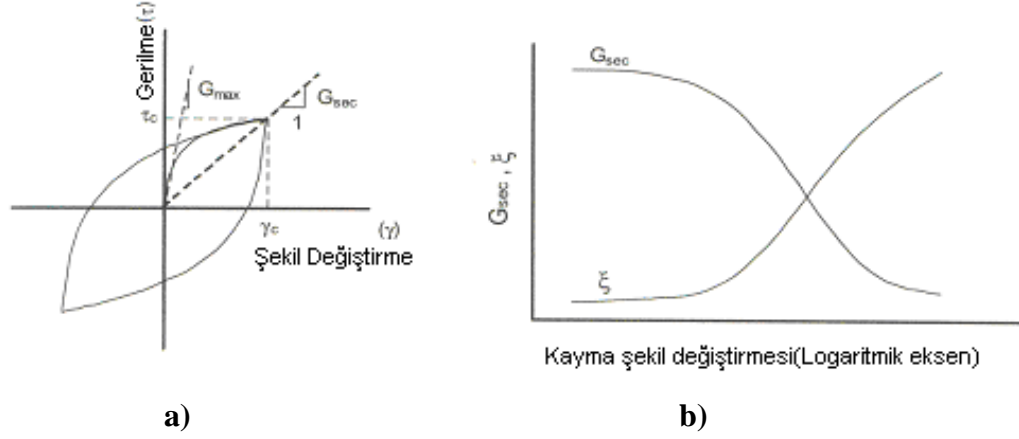
EERA analizlerinde önemli verilerden bir diğeri ise kayma modülü oranı ( $G/G_{max}$ ) ve sönüm oranı ile şekil değıştirme seviyesi arasındaki ilişkidir. EERA programında  $G/G_{max}$  ve sönüm oranı-kayma şekil değıştirmesi ilişkileri görülmektedir (Şekil 3.8).

Şekil 3.8. Kil için  $G/G_{max}$  ve sönüm oranı-kayma şekil değıştirmesi ilişkileri (Idriss 1990)

Dinamik yükleme altında malzemede veya mekanik sistemde var olan enerjinin ısıya dönüşerek azalması olarak tanımlanan sönüm, deprem yükleri altında zeminin davranışı hakkında bilgi vermekte bu nedenle dinamik sorunların çözümünde önem taşımaktadır. Bir malzemenin veya mekanik sistemin sönümünün yüksek olması



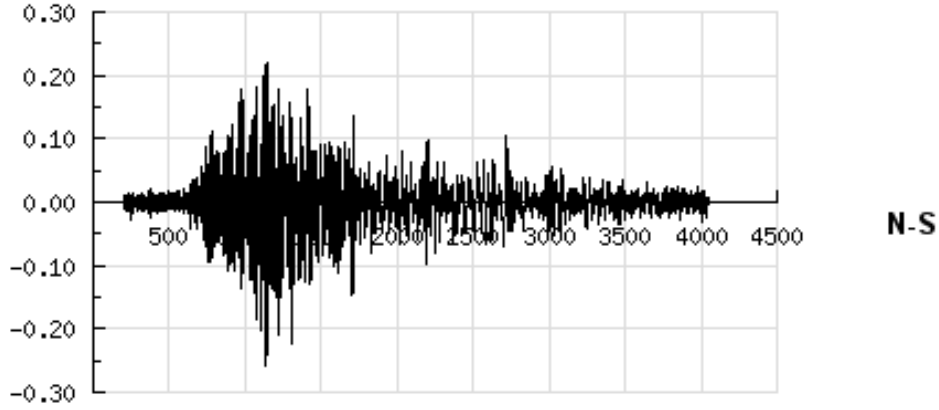
deprem yükleri altında çok fazla enerji yutması demektir. Enerji ısı, sürtünme, plastik akma gibi mekanizmalarla yutulur. Sönüm histerisis ilmeğinden hesaplanmaktadır (Şekil 3.9). Histerisis ilmeği dinamik gerilme – şekil değiştirme davranışından oluşmaktadır. İlmeğin altında kalan alan malzemenin sönümleme kapasitesi olarak tanımlanır.



**Şekil 3.9.** Eşdeğer lineer model **a)** Histerisis eğrisi, **b)** Sekant kayma modülü ve sönüm oranının şekil değiştirme seviyesi ile değişimi

Zeminde ve yapılarda yutulan enerji viskoz sönüm yani, visko-elastik bir sistem olarak idealize edilmiş bir malzemede, bir titreşim devrinde yutulan enerji olarak tanımlanmaktadır.

EERA programı analizlerinde 2019/05/24 Denizli Merkez Kınıklı Pamukkale Üniversitesi Kampüsü depreminde ölçülen ivme kaydı kullanılmıştır (Şekil 3.10). Kayıtlar Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı Deprem Dairesi Başkanlığı'nın internet sitesinden indirilmiştir. Çalışma alanına ait en büyük yer ivmesi Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2019 göre deprem tehlike haritaları üzerinden koordinatlara göre belirlenmiştir. Analizlerde kullanılacak olan geoteknik parametreler bölgede özel bir firma tarafından yapılan zemin etüt raporlarında bulunan sondaj çalışmaları ve MASW ölçümlerinden temin edilmiştir.

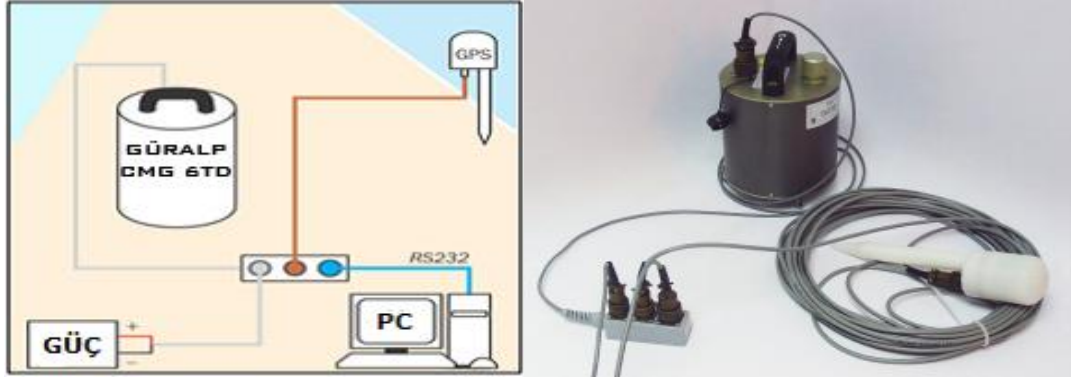


**Şekil 3.10.** Bir boyutlu zemin tepki analizleri için seçilen Denizli Merkez Kınıklı Pamukkale Üniversitesi (24/05/2019) depremi ivme kaydı (Anonim 1, 2019)

### 3.4. Mikrotremör

Çalışma süresince mikrotremör kayıtlarının elde edilmesinde hız ölçen sismometre kullanılmıştır. Sismometreye iki yatay (Kuzey-Güney ve Doğu-Batı) ve bir düşey olmak üzere üç bileşende okuma yaptırılmıştır. Kayıtlarda güç kaynağı kullanılmış ve arazide alınan kayıtlar doğrudan dizüstü bilgisayara Scream bilgisayar yazılımıyla sayısal olarak kaydedilmiştir. Ölçüm noktalarının koordinatları “<https://www.google.com.tr/intl/tr/earth/>” adresi üzerinden tespit edilmiştir (Anonim 3, 2019). Kaydedilen veriler GEOPSY programında açılarak, değerlendirme işlemi öncesi verilere filtreleme ve traşlama işlemleri uygulanarak veriler gereksiz gürültülerden temizlenmiştir.

Mikrotremör ölçüm cihazı olarak GÜRALP CMG 6TD (üç bileşen geniş band hızölçer) sismometre kullanılmıştır. Kayıtlarda 12 voltlu güç kaynağı (akü) kullanılmış ve arazide kayıtlar doğrudan dizüstü bilgisayar bağlantısı ile sayısal olarak kaydedilmiştir (Şekil 3.11). Ölçümler 15-20 dakika arası yapılmıştır. Ancak yapay gürültünün fazla olduğu alanlarda ölçüm süresi daha uzun tutulmuştur. Kayıt kalitesi düşük olan mikrotremör ölçümleri yenilenmiştir. 18 noktada iki yatay (Kuzey-Güney ve Doğu-Batı) ve bir düşey olmak üzere üç bileşenli okumalar yapılmıştır.



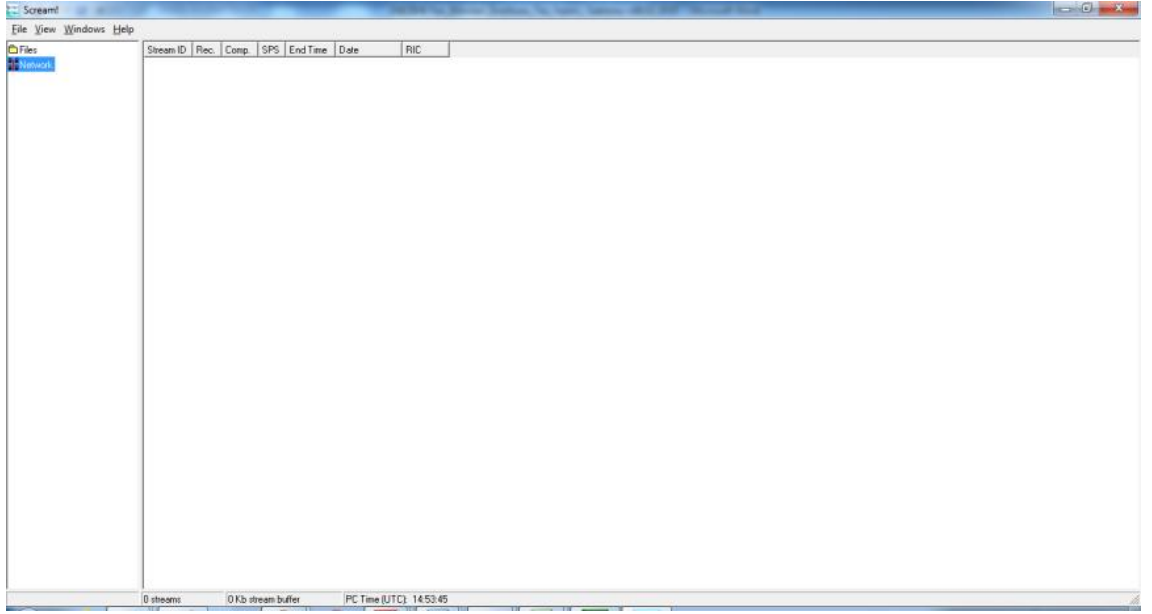
**Şekil 3.11.** Mikrotremör kayıtlarının alınmasında kullanılan ekipman

Ölçümlerde kaydedilen değerler sismometrenin üzerinde bulunduğu zeminin özelliklerini yansıtmaktadır. Bu nedenle ölçümlerde yapay zemin özelliğine sahip asfalt beton gibi alanlarda ölçüm yapılmamıştır. Yapay ve doğal gürültüler mikrotremöre kaynak oluşturmanın yanı sıra ölçüm alanlarında bu gürültüler ile yeterli mesafeyi koruyamama durumunda alınan kayıtlarda bozucu etki yapmaktadırlar. Böle durumlarda mikrotremör kayıtları zeminin özelliklerinden daha çok gürültü kaynağının özelliklerini yansıtacağı için aşırı gürültülü ortamlarda, insan faaliyetlerinin yoğun olduğu saat dilimlerinde, rüzgârlı ve yağışlı havalarda ölçüm yapılmamıştır.

Mikrotremör ölçümleri için lokasyon belirlenmesinde üç kriter göz önüne alınmıştır:

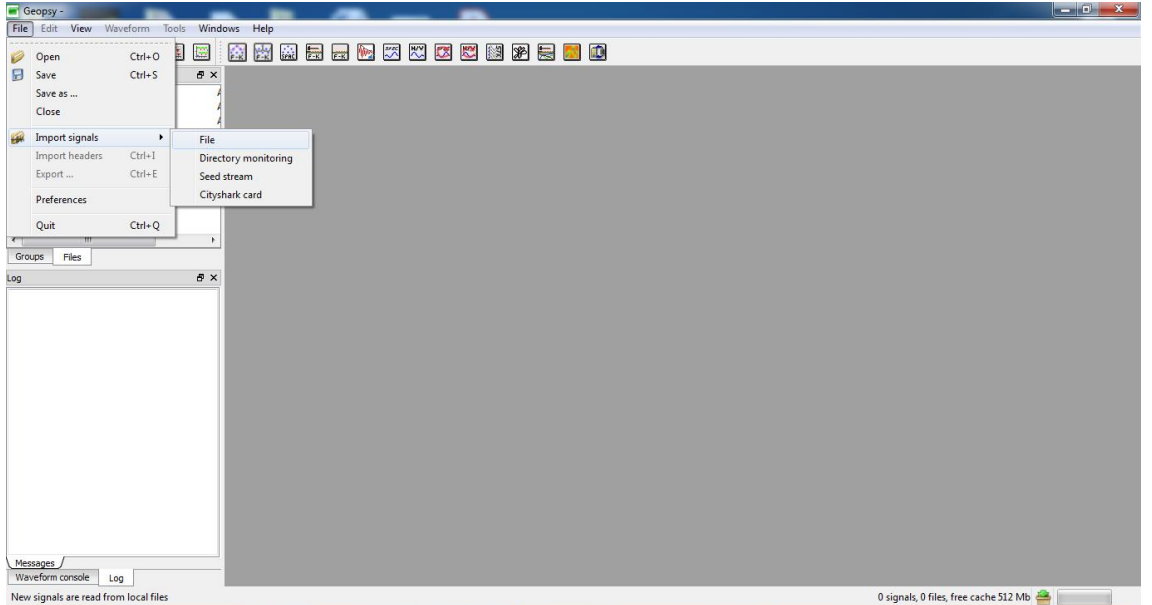
- 1) Yumuşak çökel üzerinde olması,
- 2) Mikrotremör ölçümlerinin sağlıklı bir şekilde yapılabileceği gürültü kaynaklarından uzak, ulaşım kolaylığı olan boş arazi olması,
- 3) Arşiv çalışmalarından elde edilen sondaj verilerine yakın olması.

Sismometre ile alınan sayısal veriler \*.gcf formatında (Güralp Compressed. Format) GURALP DM24-S3 sisteminden RS232 bağlantı kablosu ile bir dizüstü bilgisayara arazide direkt Scream (Güralp Systems Ltd., Version 3) programı ile aktarılmıştır. Scream Windows veri tabanlı bir programdır. Bu program ile sismometreden alınan sismik veriler \*.gcf formatında sıkıştırılır ve görüntülenir. Scream mikrotremör ölçümleri ile alınan kayıtlar için tüm veri akışlarının izlendiği bir ana pencere açar (Şekil 3.12).



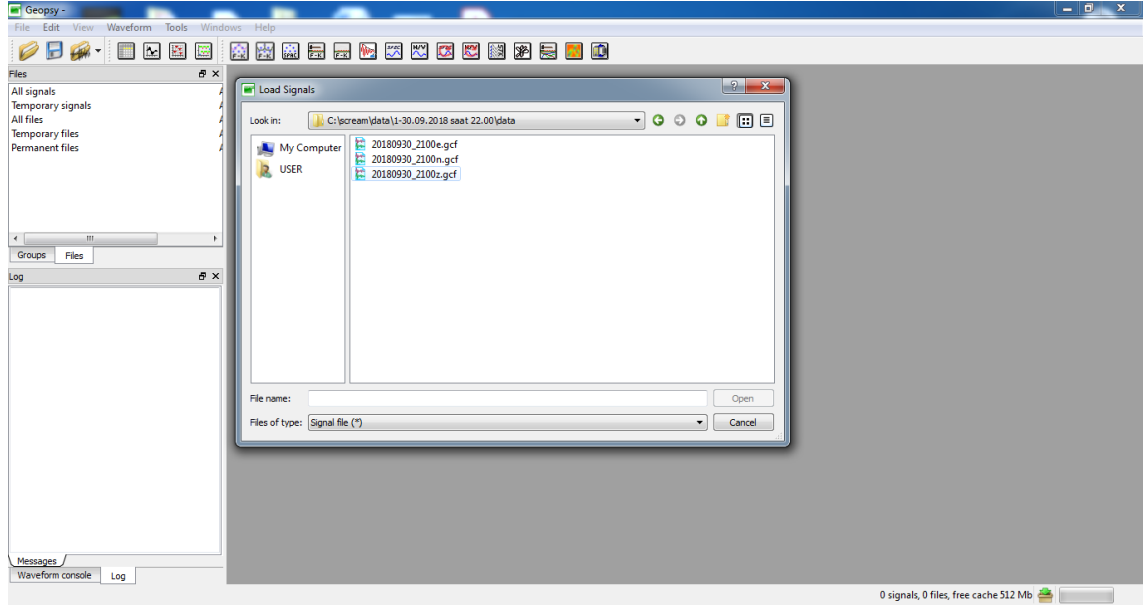
Şekil 3.12. SCREAM programına ait ana pencere

Scream programı ile sismometreden alınan veriler Geopsy programı ile değerlendirilmiştir. Program açıldığında değerlendirmek istenilen veri “File” menüsünden “import signals” seçeneği ile çağırılmıştır. Veri dosyasından değerlendirmek istediğimiz verinin üç bileşen kayıttı seçilir. Seçilenler “Files” kısmında görüntülenecektir (Şekil 3.13).



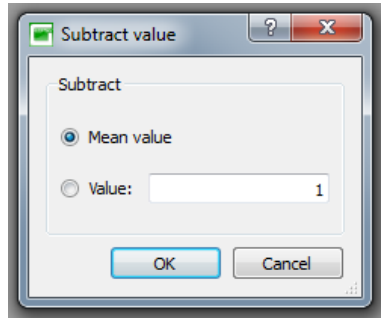
Şekil 3.13. Ana menü ve üç bileşen mikrotremör verisinin çağırılması

Mikrotremör kayıtları içerisinde iki yatay bir düşey ölçüm verisi programda analiz yapmak için çağrılır (Şekil 3.14).

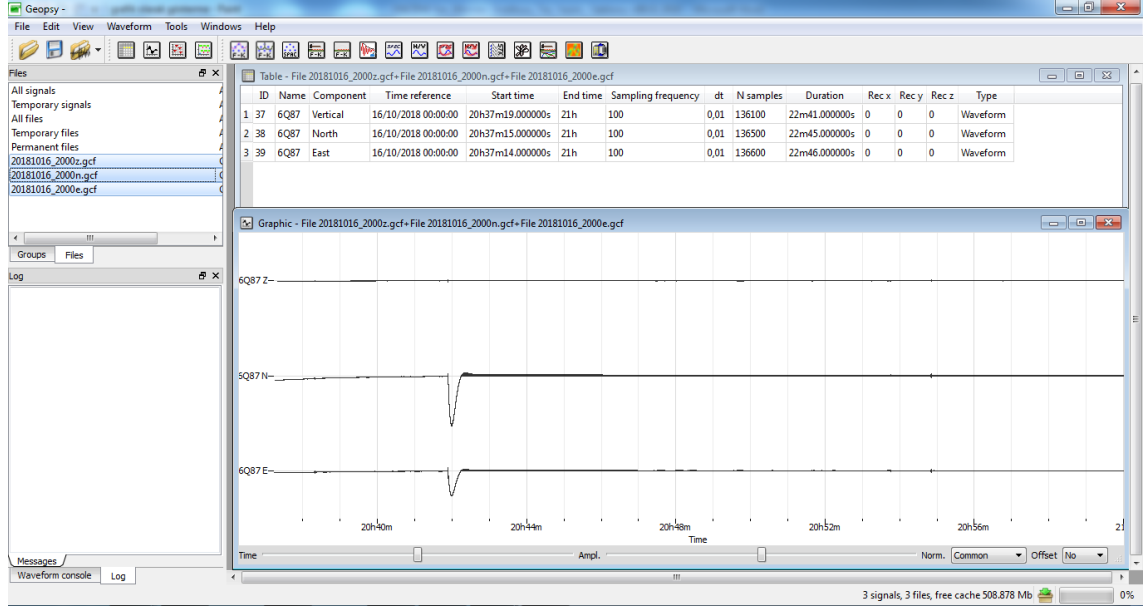


**Şekil 3.14.** Üç bileşen mikrotremör kaydının “Files” kısmındaki görünümü ve bulunduğu dosyadan çağırılması

Arazide yapılan mikrotremör kayıtları çevresinde oluşmuş yapay gürültülerden dolayı bozulmalara uğramış olabilir. Analiz öncesi filtreleme işlemi yapılarak bu bozulmalar ortadan kaldırılabilir. Bu nedenle alınan mikrotremör kayıtları analize tabii tutulmadan önce bir takım filtreleme işlemlerinden geçmesi gerekmektedir. Bu işlemlerin ilki trend etkisinin ortadan kaldırılmasıdır. Kayıtlarda trend etkisi yapay gürültü kaynaklı ani genlik değişimlerinden dolayı periyot seriminde yapay sıçramaların olması olarak tanımlanabilir. Trend etkisinin giderilmesi için Waveform sekmesinden Subtract Value seçilir (Şekil 3.15). Karşımıza çıkan iki seçenekten ilki “Mean Value” (ortalama değer alınarak yapılan düzeltme işlemi), ikincisi ise “Value” (manuel değer girilerek düzeltme işlemi) dir. Her iki düzeltmede aynı sonucu vermektedir. “Mean Value” ile periyodik zaman serimi üzerinden hesaplanan genlik sinyalinin aritmetik ortalaması kaldırılarak düzeltme işlemi yapılmış olur (Şekil 3.16).

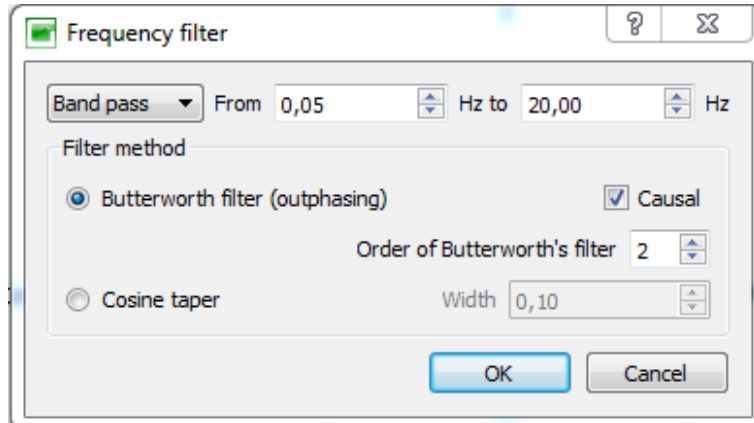


**Şekil 3.15.** Taper menüsü

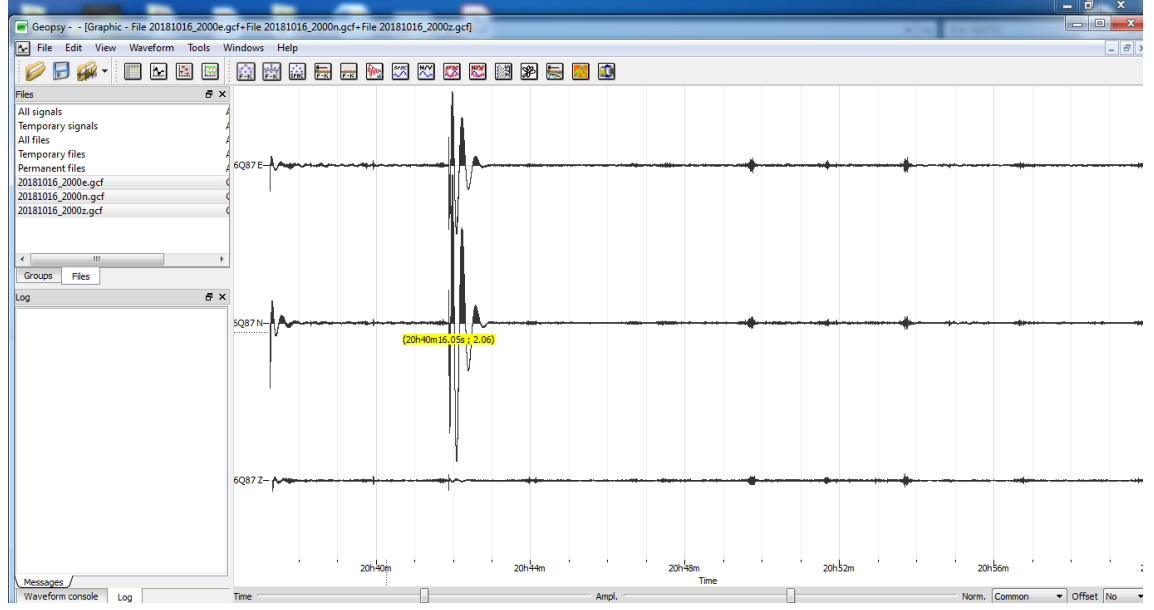


**Şekil 3.16.** Trend etkisi giderilmiş mikrotremör verisinin tablo ve grafik olarak görüntülenmesi

Mikrotremör kayıtları periyotları 0.05 - 2 sn arasında değişen titreşimlerdir. Arazi ölçümlerde alınan kayıtlarda bunun dışında oluşan frekans içeriklerinin atılması için 0.5 Hz ile 20 Hz Frekans içerikli bant geçişli Butterworth filtresi uygulanır. Burada Butterworth filtresinin değeri filtrenin derecesini tanımlamaktadır. Düşük dereceli uygulanan filtrelemeler sinyalleri az değiştirerek az etkin rol oynarken, yüksek dereceli filtrelemeler sinyali çok değiştirerek daha etkin rol oynamaktadır. Önerilen derece 2' dir. Mikrotremör ile alınan kayıtlara filtreleme işlemi uygulamak için Waweform Sekmesinden Filter menüsü seçilir. Filter menüsünden 0.5 Hz ile 20 Hz Frekans aralığında Band Geçişli Butterworth tipi fitre derecesi 2 olarak uygulanır (Şekil 3.17-3.18).

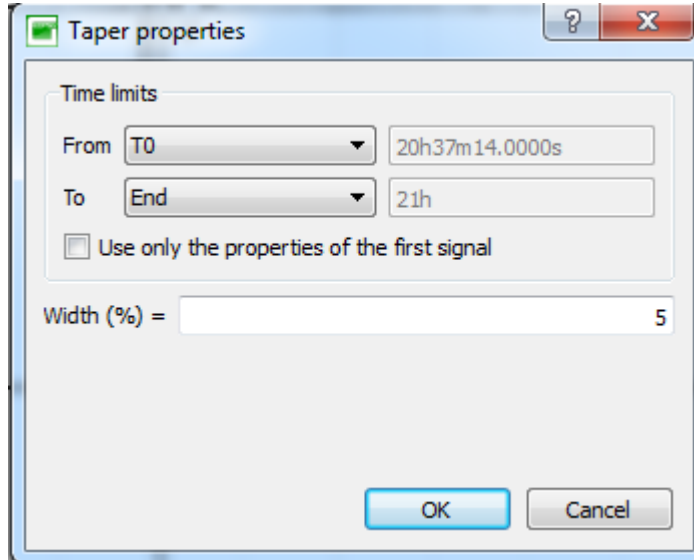


**Şekil 3.17.** Filtreleme menüsü

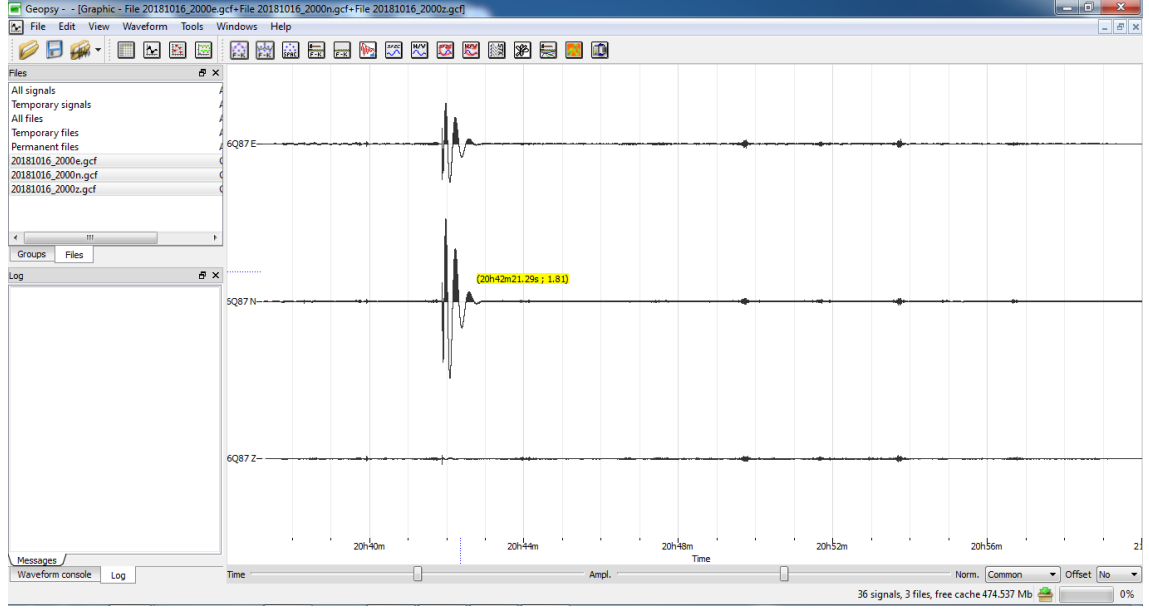


**Şekil 3.18.** Filtreleme işlemi uygulanmış mikrotremör kaydı

Mikrotremör verilerine son olarak % 5 taper yani törpüleme işlemi uygulanır. Bu işlem ile birlikte verilerin başlangıç ve bitiş noktaları belirtilen % oranında sıfıra getirilmiş olur. Mikrotremör ile alınan kayıtlara Taper işlemi uygulamak için Waveform sekmesinden Taper menüsü seçilir. Açılan Taper menüden törpüleme yüzdesi seçilir (Şekil 3.19). İşlem onaylandığı zaman mikrotremör verimiz girilen yüzde kadar törpülenmiş olacaktır (Şekil 3.20).

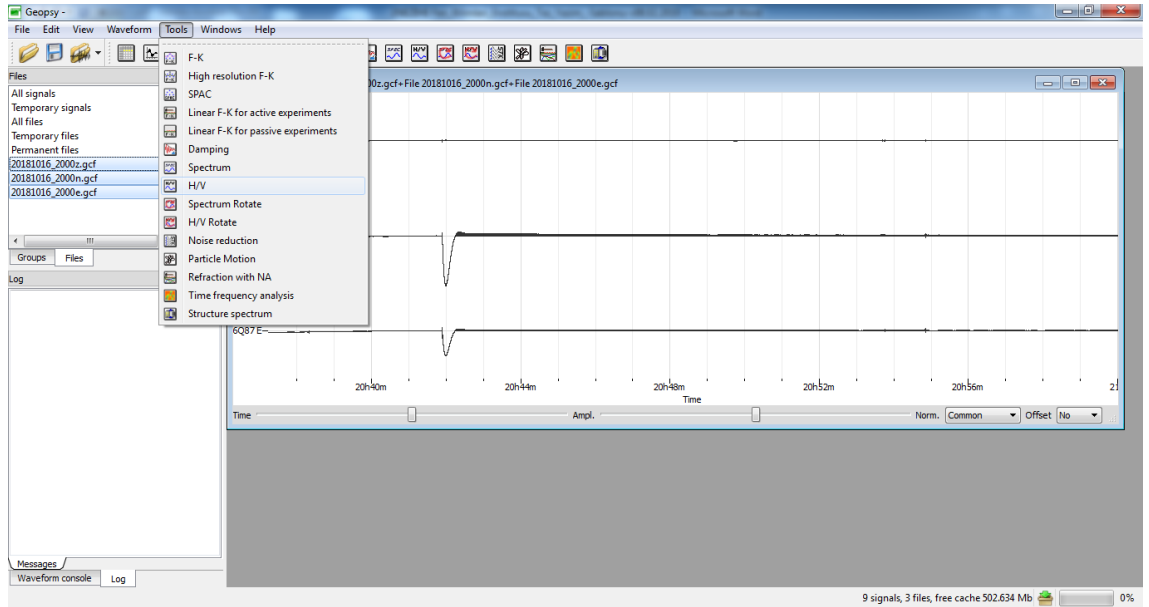


**Şekil 3.19.** Taper menüsü



**Şekil 3.20.** Taper işlemi uygulanmış mikrotremör kaydı

Bütün analiz öncesi veri işleme aşamaları tamamlandıktan sonra menüde Tools seçeneğinden H/V sekmesine tıklanır, böylelikle Nakamura yöntemine göre verilerimiz analiz edilmiş olur (Şekil 3.21).

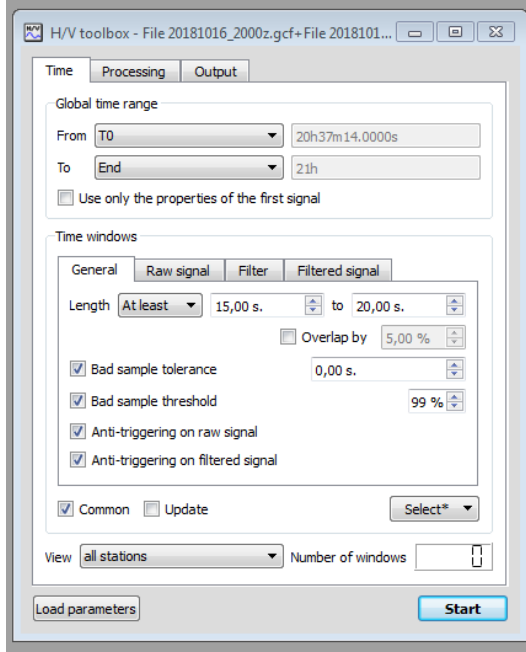


**Şekil 3.21.** Mikrotremör kaydına uygulanacak seçeneklerin görünümü

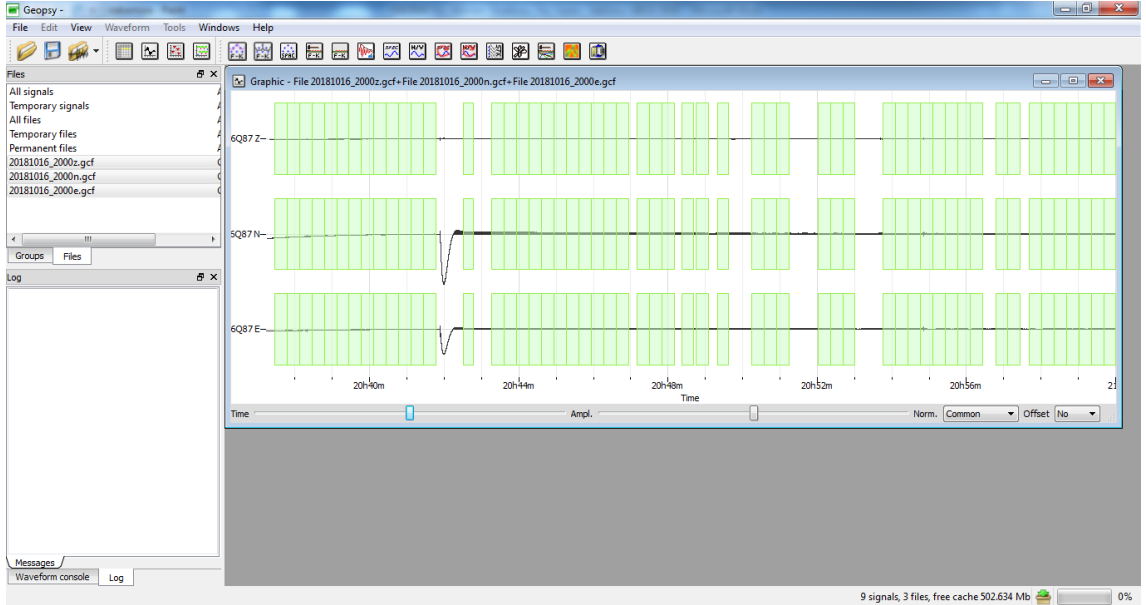
Açılan menüden select yapılarak manuel veya otomatik olarak kayıt üzerinde pencereler seçilir (Şekil 3.22). Doğru analiz yapmak için pencere seçiminde 10 sn altına düşülmemelidir (Şekil 3.23). Pencere seçimi tamamlandıktan sonra “Start” tuşuna



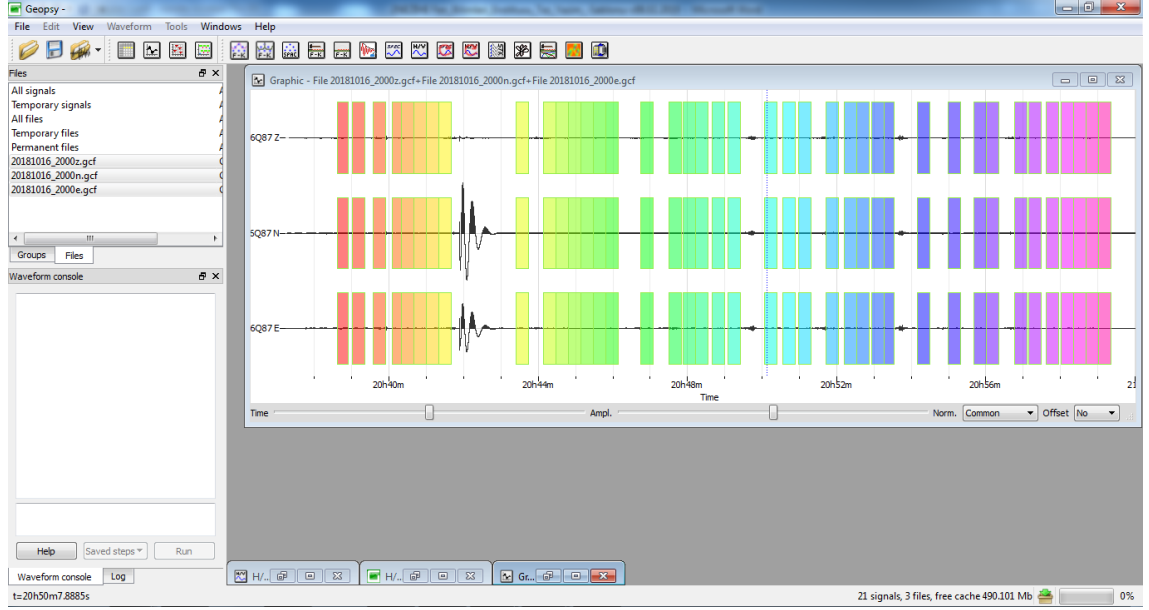
tıklanarak bütün pencerelerin H/V eğrileri elde edilir. Bu işlem sırasında seçilen pencereler farklı renklere boyanır (Şekil 3.24).



Şekil 3.22. Mikrotremör kaydına uygulanacak H/V seçenekleri

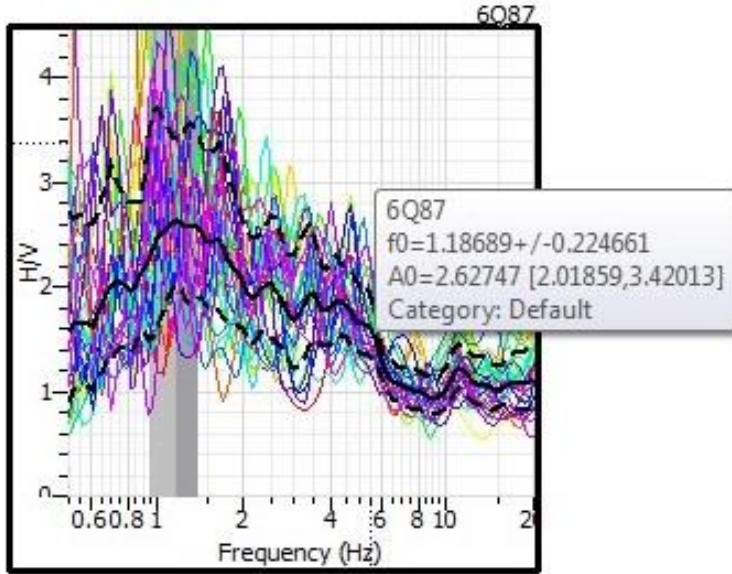


Şekil 3.23. Mikrotremör kaydında analiz için seçilen pencereler



**Şekil 3.24.** Mikrotremör analiz aşamasında mikrotremör kaydı üzerinde seçilen pencereler

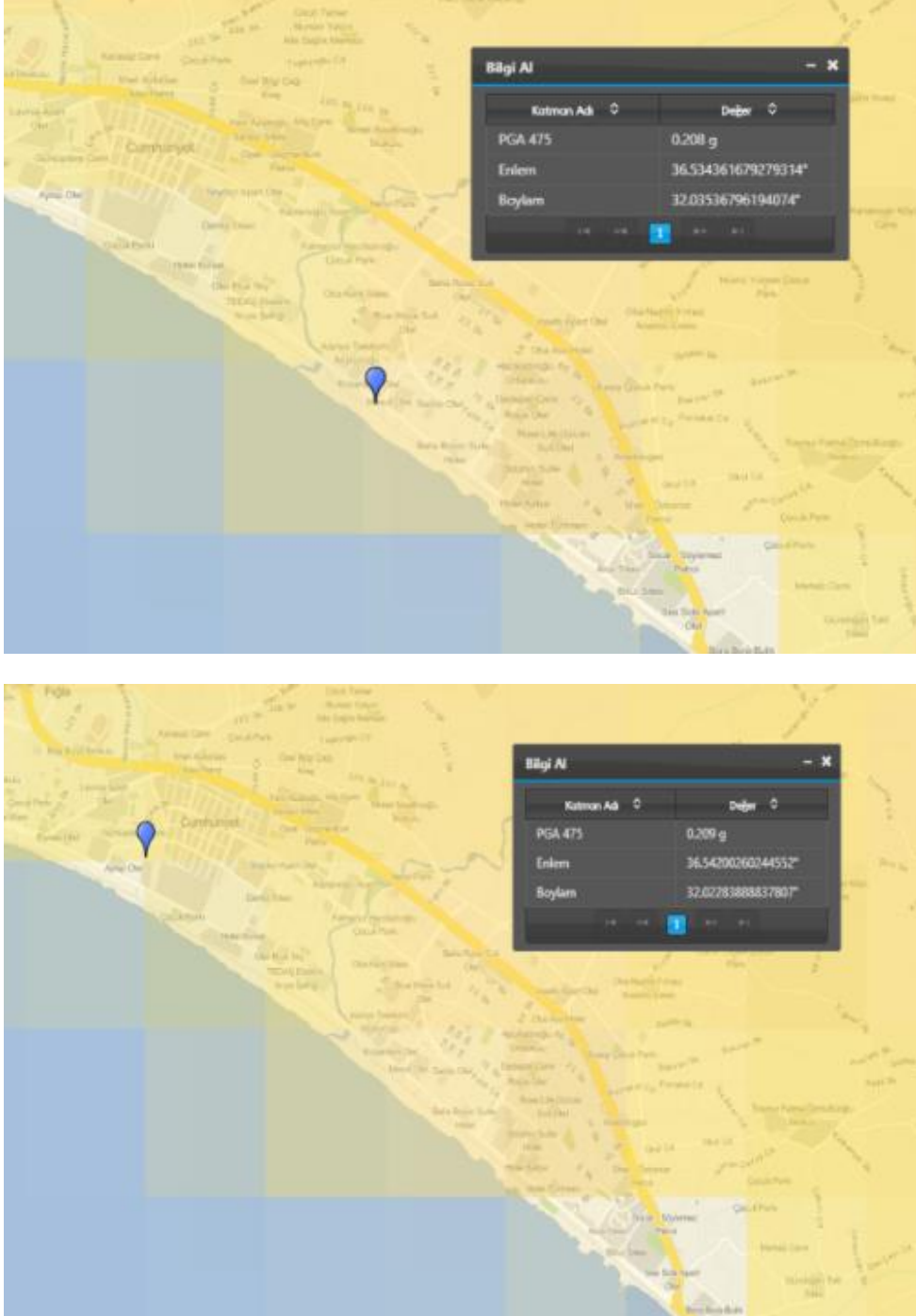
Analiz sonrası elde edilen H/V grafiğinden baskın periyod ve buna karşılık gelen büyütme değerleri elde edilir (Şekil 3.25).



**Şekil 3.25.** Nakamura yöntemi (H/V) ile belirlenen grafik



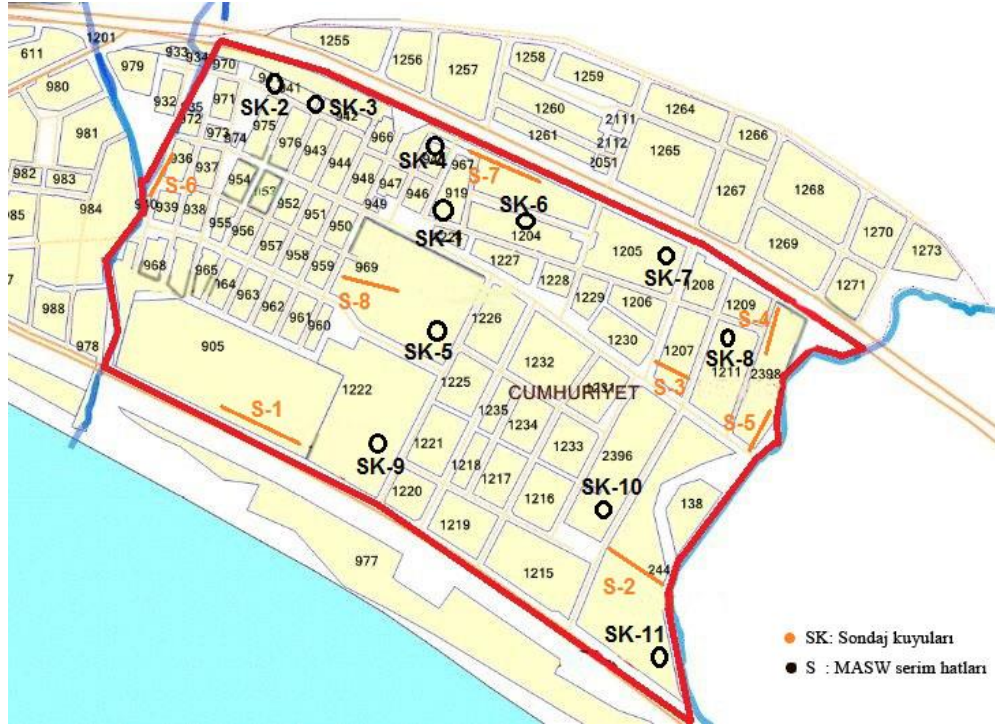
Bölgeye hâkim en büyük yer ivmesi “<https://www.turkiye.gov.tr/afad-turkiye-deprem-tehlike-haritalari>” üzerinden koordinatlara bakılmıştır (Anonim 2, 2019). Genelinde 0.208 -0.209 PGA olduğu görülmüştür (Şekil 4.3). Bu değerlere göre bölgenin en büyük yer ivmesi yaklaşık 0.21 PGA olarak kabul edilmiştir.



**Şekil 4.3.** AFAD, 2018 Türkiye Deprem Tehlike Haritası–Çalışma bölgesi en büyük yer ivme değerleri



İnceleme alanı jeolojisi için, bölgede daha hazırlanan zemin etüt raporlarında bulunan sondaj çalışmalarından yararlanılmıştır. Bu raporlara göre bölgede açılan 11 sondaj kuyusundan (Şekil 4.4) elde edilen bilgiler Çizelge 4.1’de gösterilmiştir.



**Şekil 4.4.** Zemin etüt raporunda bulunan sondaj kuyularının (SK) ve MASW (S) serim hatlarının yerleri (Kaptanoğlu 2016)

İnceleme alanı zeminin, zemin etüt raporuna ve açılan sondaj kuyusu çalışmalarına göre genelde çok gevşek, yüksek şişme derecesine sahip silt-kum-kil karışımı kuvaterner yaşlı alüvyonlardan oluştuğu ve 1.50 m derinlikte yer altı su seviyesine ulaşıldığı görülmektedir.

**Çizelge 4.1.** Genelleştirilmiş zemin profilleri (Kaptanoğlu 2016)

Kuyu No	Koordinatlar		Litoloji	Formasyon
	X	Y		
Sk 1	-	-	0.0 –1.5m = Dolgu Malz.	Alüvyon(Qal)
			1.5-5.0 = Kumlu Siltli Kil (CH)	
			5.0-12.0= Kumlu Siltli Killi (CL)	
			12.0-15.0= Çakıllı Siltli Killi Kum(SC)	
Sk 2	-	-	0.0 –1.5m = Bitkisel Toprak.	Alüvyon(Qal)
			1.5-15.0= Siltli Çakıllı Killi Kum(SM)	
Sk 3	-	-	0.0 –1.5m = Bitkisel Toprak	Alüvyon(Qal)
			1.5-7.0 = Çakıllı Killi Kum (SC)	
			7.0-15.0= Siltli Çakıllı Kum (SM)	
Sk 4	-	-	0.0 –1.0m = Dolgu Malz.	Alüvyon(Qal)
			1.0-15.0 = Çakıllı Kumlu Siltli Kil(CL)	
Sk 5	-	-	0.0 –2.0m = Dolgu Malz.	Alüvyon(Qal)
			2.0-15.0 = Çakıllı Kumlu Siltli Kil(CL)	
Sk 6	-	-	0.0 –2.0m = Dolgu Malz.	Alüvyon(Qal)
			2.0-15.0 = Çakıllı Kumlu Siltli Kil(CL)	
Sk 7	-	-	0.0 –4.5m = Dolgu Malz.	Alüvyon(Qal)
			4.5-15.0 = Çakıllı Siltli Killi Kum (SC)	
Sk 8	-	-	0.0 –1.5m = Dolgu Malz.	Alüvyon(Qal)
			1.5-15.0 = Kumlu Siltli Kil(CL)	
Sk 9	-	-	0.0 –1.5m = Dolgu Malz.	Alüvyon(Qal)
			1.5-5.0 = Organik Siltli Kil (OH)	
			5.0-15.0= Çakıllı Kumlu Siltli Kil(CH)	
Sk 10	-	-	0.0 –2.0m = Bitkisel Toprak	Alüvyon(Qal)
			2.0-6.0 = Kumlu Siltli Kil(CH)	
			6.0-12.0= Çakıllı Kumlu Siltli Kil(CL)	
			12.0-20.0= Çakıllı Siltli Killi Kum(SC)	
Sk 11	-	-	0.0 –2.0m = Dolgu Malz.	Alüvyon(Qal)
			2.0-4.0 = Siltli Killi Kumlu Çakıl(GM)	
			4.0-15.0= Çakıllı Siltli Kum (SM)	

## 4.2. MASW Ölçüm Sonuçları

MASW sonuçlarına göre 2.3-7.0 m derinlikte hızının  $V_s = 162-244$  m/s olduğu ve çok gevşek alüvyon (Qal) zeminden, tabandaki tabakanın ise ortalama hızının  $V_s = 179-317$  m/sn ve Gevşek-Orta Gevşek Alüvyon (Qal) zeminden oluştuğu görülmüştür (Çizelge 4.2-4.5) (Kaptanoğlu 2016).

Çizelge 4.2. Sismik kırılma elastik serim parametreleri (S1-S2 serimi) (Kaptanoğlu 2016)

S1		S DALGA HIZINA GÖRE SÖKÜLEBİLİRLİK		Sert/Sıkı		Nehrp	
ELASTİK PARAMETRELER		1. TABAKA	2. TABAKA	I. TABAKA	II. TABAKA	I. TABAKA	II. TABAKA
ZEMİN PARAMETRELERİ	SİMGELER VE BİRİMLERİ			YEREL ZEMİN SNRİ			
BOYUNA HIZ	$V_p$ (m/s)	1504	1582				
ENİNE HIZ	$V_s$ (m/s)	194	256	Z4	Z3	D	D
TABAKA KALINLIĞI	$h$ (m)	3.7					
TABAKA YOĞUNLUĞU (dinamik yoğunluk)	$d$ ( $kg/cm^3$ )	1.93	1.96				
SİSMİK HIZ ORANI	$V_p/V_s$	7.75	6.18	Z4	Z4		
POISSON ORANI	$\mu$	0.49	0.49				
KAYMA MODÜLÜ (Sheare)	$G$ ( $kg/cm^2$ )	727	1281	Z3	Z3		
ELASTİSİTE MODÜLÜ	$E$ ( $kg/cm^2$ )	2167	3809				
BULK MODÜLÜ (Sıkışabilirlik)	$K$ ( $kg/cm^2$ )	42700	47222				
ZEMİN HAKİM TİTREŞİM PERİYODU	$T_0$ (sn)	0.80					
ZEMİN TAŞIMA GÜCÜ	$q_u$ ( $kg/cm^2$ )	3.75	5.00	Z3	Z2		
ZEMİN EMNİYET GERİLMESİ	$\sigma_p$ ( $kg/cm^2$ )	0.48	0.81				
BOYUNA BİRİM DEFORMASYON (OTURMA)	$S_z$ (cm)	3.16	2.40				
DÜŞEY YATAK KATSAYISI	$ton/m^2$	1470	1964				
YAPI PERİYOTLARI AMLİFİKASYON ARALIĞI	$T_{01}-T_{02}$	0.54	1.20				
GÖZENKLİLİK		0.28	0.27				
ZEMİN DEPREM BÜYÜTMESİ (Zayıf Hareket)	%	3.61	2.73			Zayıf Hareket	
ZEMİN DEPREM BÜYÜTMESİ (Kuvvetli Hareket)	%	3.09	2.34			Kuvvetli Hareket	
PLASTİK OTURMA ETKİN YÜK DERİNLİĞİ	$Z$ (m)	18.28	42.94				
VS30 TABAKA HIZI	$V_{s30}$ (m/s)	248					
S2		S DALGA HIZINA GÖRE SÖKÜLEBİLİRLİK		Sert/Sıkı		Nehrp	
ELASTİK PARAMETRELER		1. TABAKA	2. TABAKA	I. TABAKA	II. TABAKA	I. TABAKA	II. TABAKA
ZEMİN PARAMETRELERİ	SİMGELER VE BİRİMLERİ			YEREL ZEMİN SNRİ			
BOYUNA HIZ	$V_p$ (m/s)	1509	1545				
ENİNE HIZ	$V_s$ (m/s)	201	229	Z3	Z3	D	D
TABAKA KALINLIĞI	$h$ (m)	7					
TABAKA YOĞUNLUĞU (dinamik yoğunluk)	$d$ ( $kg/cm^3$ )	1.93	1.94				
SİSMİK HIZ ORANI	$V_p/V_s$	7.51	6.75	Z4	Z4		
POISSON ORANI	$\mu$	0.49	0.49				
KAYMA MODÜLÜ (Sheare)	$G$ ( $kg/cm^2$ )	781	1019	Z3	Z3		
ELASTİSİTE MODÜLÜ	$E$ ( $kg/cm^2$ )	2328	3035				
BULK MODÜLÜ (Sıkışabilirlik)	$K$ ( $kg/cm^2$ )	42955	45034				
ZEMİN HAKİM TİTREŞİM PERİYODU	$T_0$ (sn)	0.89					
ZEMİN TAŞIMA GÜCÜ	$q_u$ ( $kg/cm^2$ )	3.88	4.45	Z3	Z3		
ZEMİN EMNİYET GERİLMESİ	$\sigma_p$ ( $kg/cm^2$ )	0.52	0.66				
BOYUNA BİRİM DEFORMASYON (OTURMA)	$S_z$ (cm)	3.40	2.99				
DÜŞEY YATAK KATSAYISI	$ton/m^2$	1524	1746				
YAPI PERİYOTLARI AMLİFİKASYON ARALIĞI	$T_{01}-T_{02}$	0.60	1.34				
GÖZENKLİLİK		0.28	0.28				
ZEMİN DEPREM BÜYÜTMESİ (Zayıf Hareket)	%	3.48	3.06			Zayıf Hareket	
ZEMİN DEPREM BÜYÜTMESİ (Kuvvetli Hareket)	%	2.99	2.62			Kuvvetli Hareket	
PLASTİK OTURMA ETKİN YÜK DERİNLİĞİ	$Z$ (m)	20.36	30.42				
VS30 TABAKA HIZI	$V_{s30}$ (m/s)	223					



Çizelge 4.3. Sismik kırılma elastik serim parametreleri (S3-S4 serimi) (Kaptanoğlu 2016)

S3				S DALGA HIZINA GÖRE SÖKÜLEBİLİRLİK		Zayıf Zemin		Nehrp	
ELASTİK PARAMETRELER				L TABAKA	II TABAKA	Zayıf		Nehrp	
ZEMİN PARAMETRELERİ	SİMGELER VE BİRİMLERİ	1. TABAKA	2. TABAKA	YEREL ZEMİN SINIRI		I. TABAKA	II. TABAKA		
BOYUNA HIZ	Vp (m/s)	1472	1481			P DALGA HIZINA GÖRE SÖKÜLEBİLİRLİK		Bilgin1989	
ENİNE HIZ	Vs (m/s)	162	179	Z4	Z4	Orta		Orta	
TABAKA KALINLIĞI	h(m)	2.3				YOĞUNLUK SINIFLAMASI		Keçeli1990	
TABAKA YOĞUNLUĞU(dinamik yoğunluk)	d (g/cm <sup>3</sup> )	1.92	1.92			Yüksek		Yüksek	
SİSMİK HIZ ORANI	Vp/Vs	9.09	8.27	Z4	Z4	HIZ ORANINA GÖRE ZEMİN SIKLIĞI		Lankston 1990	
POISSON ORANI	P	0.49	0.49			Çvrık-Svrı		Çvrık-Svrı	
KAYMA MODÜLÜ (Sheare)	G (kg/cm <sup>2</sup> )	504	616	Z4	Z3	Sağlam Kaya		Sağlam Kaya	
ELASTİSİTE MODÜLÜ	E (kg/cm <sup>2</sup> )	1506	1839			POISSON ORANINA GÖRE ZEMİN SIKLIĞI		Keçeli1990	
BULK MODÜLÜ (Sıkışabilirlik)	K (kg/cm <sup>2</sup> )	40934	41359			KAYMA MODÜLÜNE GÖRE DAYANIM		Keçeli1990	
ZEMİN HAKİM TİTREŞİM PERYODU	To (sn)	1.12				Zayıf		Zayıf	
ZEMİN TAŞIMA GÜCÜ	qs (kg/cm <sup>2</sup> )	3.11	3.44	Z3	Z3	ELASTİSİTE MODÜLÜNE GÖRE SIKIŞABİLİRLİK		Keçeli1990	
ZEMİN EMİNİYET GERİLMESİ	qs (kg/cm <sup>2</sup> )	0.34	0.42			Zayıf		Zayıf	
BOYUNA BİRİM DEFORMASYON (OTURMA)	SZ (cm)	2.18	1.97			BULK MODÜLÜNE GÖRE SIKIŞABİLİRLİK		Keçeli1990	
DÜŞEY YATAK KATSAYISI	ton/m <sup>2</sup>	1221	1351			Yüksek		Yüksek	
YAPI PERİYOTLARI AMLİFİKASYON ARALIĞI	T01-T02	0.75	1.68			ZEMİN HAKİM TİTREŞİM PERYODUNA GÖRE TEHLİKE ÖLÇÜTÜ		Ansal2004	
GÖZENKLİLİK		0.28	0.28			D - Çok Yüksek Tehlike			
ZEMİN DEPREM BÜYÜTMESİ (Zayıf Hareket)	%	4.32	3.91			Zayıf Hareket	C - Yüksek Tehlike	B - Orta Tehlike	
ZEMİN DEPREM BÜYÜTMESİ (Kuvvetli Hareket)	%	3.70	3.35			Kuvvetli Hareket	B - Orta Tehlike	B - Orta Tehlike	
PLASTİK OTURMA ETKİN YÜK DERİNLİĞİ	Z (m)	10.55	14.26						
VS30 TABAKA HIZI	VS30 (m/s)	179							
S4				S DALGA HIZINA GÖRE SÖKÜLEBİLİRLİK		Sert/Sıkı		Nehrp	
ELASTİK PARAMETRELER				L TABAKA	II TABAKA	Sert/Sıkı		Nehrp	
ZEMİN PARAMETRELERİ	SİMGELER VE BİRİMLERİ	1. TABAKA	2. TABAKA	YEREL ZEMİN SINIRI		I. TABAKA	II. TABAKA		
BOYUNA HIZ	Vp (m/s)	1531	1577			P DALGA HIZINA GÖRE SÖKÜLEBİLİRLİK		Bilgin1989	
ENİNE HIZ	Vs (m/s)	218	242	Z3	Z3	Zor		Zor	
TABAKA KALINLIĞI	h(m)	3.7				YOĞUNLUK SINIFLAMASI		Keçeli1990	
TABAKA YOĞUNLUĞU(dinamik yoğunluk)	d (g/cm <sup>3</sup> )	1.94	1.95			Yüksek		Yüksek	
SİSMİK HIZ ORANI	Vp/Vs	7.02	6.52	Z4	Z4	HIZ ORANINA GÖRE ZEMİN SIKLIĞI		Lankston 1990	
POISSON ORANI	P	0.49	0.49			Çvrık-Svrı		Çvrık-Svrı	
KAYMA MODÜLÜ (Sheare)	G (kg/cm <sup>2</sup> )	922	1144	Z3	Z3	Çok Gevşek		Çok Gevşek	
ELASTİSİTE MODÜLÜ	E (kg/cm <sup>2</sup> )	2746	3405			POISSON ORANINA GÖRE ZEMİN SIKLIĞI		Keçeli1990	
BULK MODÜLÜ (Sıkışabilirlik)	K (kg/cm <sup>2</sup> )	44224	47058			KAYMA MODÜLÜNE GÖRE DAYANIM		Keçeli1990	
ZEMİN HAKİM TİTREŞİM PERYODU	To (sn)	0.83				Zayıf		Zayıf	
ZEMİN TAŞIMA GÜCÜ	qs (kg/cm <sup>2</sup> )	4.23	4.73	Z3	Z3	ELASTİSİTE MODÜLÜNE GÖRE SIKIŞABİLİRLİK		Keçeli1990	
ZEMİN EMİNİYET GERİLMESİ	qs (kg/cm <sup>2</sup> )	0.60	0.73			Zayıf		Zayıf	
BOYUNA BİRİM DEFORMASYON (OTURMA)	SZ (cm)	4.02	3.63			BULK MODÜLÜNE GÖRE SIKIŞABİLİRLİK		Keçeli1990	
DÜŞEY YATAK KATSAYISI	ton/m <sup>2</sup>	1659	1855			Yüksek		Yüksek	
YAPI PERİYOTLARI AMLİFİKASYON ARALIĞI	T01-T02	0.56	1.25			ZEMİN HAKİM TİTREŞİM PERYODUNA GÖRE TEHLİKE ÖLÇÜTÜ		Ansal2004	
GÖZENKLİLİK		0.28	0.27			D - Çok Yüksek Tehlike			
ZEMİN DEPREM BÜYÜTMESİ (Zayıf Hareket)	%	3.21	2.89			Zayıf Hareket	B - Orta Tehlike	B - Orta Tehlike	
ZEMİN DEPREM BÜYÜTMESİ (Kuvvetli Hareket)	%	2.75	2.48			Kuvvetli Hareket	B - Orta Tehlike	A - Düşük Tehlike	
PLASTİK OTURMA ETKİN YÜK DERİNLİĞİ	Z (m)	26.14	36.25						
VS30 TABAKA HIZI	VS30 (m/s)	238							



Çizelge 4.4. Sismik kırılma elastik serim parametreleri (S5-S6 serimi) (Kaptanoğlu 2016)

S5				S DALGA HIZINA GÖRE SÖKÜLEBİLİRLİK		Sert/Sıkı		Nehrp	
ELASTİK PARAMETRELER				I. TABAKA	II. TABAKA	Sert/Sıkı		Nehrp	
ZEMİN PARAMETRELERİ	SİMGELER VE BİRİMLERİ	1. TABAKA	2. TABAKA	YEREL ZEMİN SINIRI		I. TABAKA	II. TABAKA		
BOYUNA HIZ	$V_p$ (m/s)	1561	1556						
ENİNE HIZ	$V_s$ (m/s)	244	243	Z3	Z3	D	D		
TABAKA KALINLIĞI	$h$ (m)	2.3							
TABAKA YOĞUNLUĞU (dinamik yoğunluk)	$d$ (g/cm <sup>3</sup> )	1.95	1.95						
SİSMİK HIZ ORANI	$V_p/V_s$	6.40	6.40	Z4	Z4				
POISSON ORANI	$\nu$	0.49	0.49						
KAYMA MODÜLÜ (Sheare)	$G$ (kg/cm <sup>2</sup> )	1160	1150	Z3	Z3				
ELASTİSİTE MODÜLÜ	$E$ (kg/cm <sup>2</sup> )	3451	3420						
BULK MODÜLÜ (Sıkışabilirlik)	$K$ (kg/cm <sup>2</sup> )	45934	45607						
ZEMİN HAKİM TİTREŞİM PERİYODU	$T_0$ (sn)	0.82							
ZEMİN TAŞIMA GÜCÜ	$q_u$ (kg/cm <sup>2</sup> )	4.75	4.73	Z3	Z3				
ZEMİN EMİNİYET GERİLMESİ	$\sigma_p$ (kg/cm <sup>2</sup> )	0.74	0.74						
BOYUNA BİRİM DEFORMASYON (OTURMA)	$S_z$ (cm)	5.09	5.11						
DÜŞEY YATAK KATSAYISI	$t_{01}/m^2$	1866	1857						
YAPI PERİYOTLARI AMLİFİKASYON ARALIĞI	$T_{01}-T_{02}$	0.55	1.23						
GÖZENEKLİLİK		0.27	0.27						
ZEMİN DEPREM BÜYÜTMESİ (Zayıf Hareket)	%	2.87	2.88			Zayıf Hareket	B - Orta Tehlike	B - Orta Tehlike	
ZEMİN DEPREM BÜYÜTMESİ (Kuvvetli Hareket)	%	2.46	2.47			Kuvvetli Hareket	A - Düşük Tehlike	A - Düşük Tehlike	
PLASTİK OTURMA ETKİN YÜK DERİNLİĞİ	$Z$ (m)	36.96	36.45						
VS30 TABAKA HIZI	$V_{s30}$ (m/s)	242							
S6				S DALGA HIZINA GÖRE SÖKÜLEBİLİRLİK		Sert/Sıkı		Nehrp	
ELASTİK PARAMETRELER				I. TABAKA	II. TABAKA	Sert/Sıkı		Nehrp	
ZEMİN PARAMETRELERİ	SİMGELER VE BİRİMLERİ	1. TABAKA	2. TABAKA	YEREL ZEMİN SINIRI		I. TABAKA	II. TABAKA		
BOYUNA HIZ	$V_p$ (m/s)	1536	1625						
ENİNE HIZ	$V_s$ (m/s)	218	317	Z3	Z3	D	D		
TABAKA KALINLIĞI	$h$ (m)	3.7							
TABAKA YOĞUNLUĞU (dinamik yoğunluk)	$d$ (g/cm <sup>3</sup> )	1.94	1.97						
SİSMİK HIZ ORANI	$V_p/V_s$	7.05	5.13	Z4	Z4				
POISSON ORANI	$\nu$	0.49	0.48						
KAYMA MODÜLÜ (Sheare)	$G$ (kg/cm <sup>2</sup> )	922	1978	Z3	Z3				
ELASTİSİTE MODÜLÜ	$E$ (kg/cm <sup>2</sup> )	2748	5855						
BULK MODÜLÜ (Sıkışabilirlik)	$K$ (kg/cm <sup>2</sup> )	44558	49337						
ZEMİN HAKİM TİTREŞİM PERİYODU	$T_0$ (sn)	0.65							
ZEMİN TAŞIMA GÜCÜ	$q_u$ (kg/cm <sup>2</sup> )	4.23	6.24	Z3	Z2				
ZEMİN EMİNİYET GERİLMESİ	$\sigma_p$ (kg/cm <sup>2</sup> )	0.60	1.22						
BOYUNA BİRİM DEFORMASYON (OTURMA)	$S_z$ (cm)	4.03	2.79						
DÜŞEY YATAK KATSAYISI	$t_{01}/m^2$	1660	2448						
YAPI PERİYOTLARI AMLİFİKASYON ARALIĞI	$T_{01}-T_{02}$	0.44	0.98						
GÖZENEKLİLİK		0.28	0.27						
ZEMİN DEPREM BÜYÜTMESİ (Zayıf Hareket)	%	3.21	2.21			Zayıf Hareket	B - Orta Tehlike	A - Düşük Tehlike	
ZEMİN DEPREM BÜYÜTMESİ (Kuvvetli Hareket)	%	2.75	1.89			Kuvvetli Hareket	B - Orta Tehlike	A - Düşük Tehlike	
PLASTİK OTURMA ETKİN YÜK DERİNLİĞİ	$Z$ (m)	26.18	82.28						
VS30 TABAKA HIZI	$V_{s30}$ (m/s)	303							

Çizelge 4.5. Sismik kırılma elastik serim parametreleri (S7-S8 serimi) (Kaptanoğlu 2016)

S7				S DALGA HIZINA GÖRE SÖKÜLEBİLİRLİK		Sert/Sıkı		Nehrp	
ELASTİK PARAMETRELER				L TABAKA	II TABAKA	Sert/Sıkı		Nehrp	
ZEMİN PARAMETRELERİ	SİMGELER VE BİRİMLERİ	1. TABAKA	2. TABAKA	YEREL ZEMİN SINIRI		I. TABAKA	II. TABAKA		
BOYUNA HIZ	Vp (m/s)	1505	1545			P DALGA HIZINA GÖRE SÖKÜLEBİLİRLİK		Bilgin1989	
ENİNE HIZ	Vs (m/s)	199	230	Z4 Z3	D	Zor	Zor		
TABAKA KALINLIĞI	h(m)	3.7				YOĞUNLUK SINIFLAMASI		Keçeli1990	
TABAKA YOĞUNLUĞU(dinamik yoğunluk)	d (g/cm <sup>3</sup> )	1.93	1.94			Yüksek	Yüksek		
SİSMİK HIZ ORANI	Vp/Vs	7.56	6.72	Z4 Z4		HIZ ORANINA GÖRE ZEMİN SIKILIĞI		Lankston 1990	
POİSSON ORANI	P	0.49	0.49			Cıvık-Sıvı	Cıvık-Sıvı		
KAYMA MODÜLÜ (Sheare)	G (kg/cm <sup>2</sup> )	765	1028	Z3 Z3		POİSSON ORANINA GÖRE ZEMİN SIKILIĞI		Keçeli1990	
ELASTİSİTE MODÜLÜ	E (kg/cm <sup>2</sup> )	2280	3061			Sağlam Kaya	Çok Gevşek		
BULK MODÜLÜ (Sıkışabilirlik)	K (kg/cm <sup>2</sup> )	42715	45022			KAYMA MODÜLÜNE GÖRE DAYANIM		Keçeli1990	
ZEMİN HAKİM TİTREŞİM PERYODU	To (sn)	0.88				Zayıf	Zayıf		
ZEMİN TAŞIMA GÜCÜ	qs (kg/cm <sup>2</sup> )	3.84	4.47	Z3 Z3		ELASTİSİTE MODÜLÜNE GÖRE SIKIŞABİLİRLİK		Keçeli1990	
ZEMİN EMİNİYET GERİLMESİ	qs (kg/cm <sup>2</sup> )	0.51	0.67			Zayıf	Zayıf		
BOYUNA BİRİM DEFORMASYON (OTURMA)	SZ (cm)	3.33	2.88			BULK MODÜLÜNE GÖRE SIKIŞABİLİRLİK		Keçeli1990	
DÜŞEY YATAK KATSAYISI	ton/m <sup>2</sup>	1508	1754			Yüksek	Yüksek		
YAPI PERİYOTLARI AMLİFİKASYON ARALIĞI	T01-T02	0.59	1.32			ZEMİN HAKİM TİTREŞİM PERYODUNA GÖRE TEHLİKE ÖLÇÜTÜ		Ansal2004	
GÖZENEKLİLİK		0.28	0.28	T	İngine	D - Çok Yüksek Tehlike			
ZEMİN DEPREM BÜYÜTMESİ (Zayıf Hareket)	%	3.52	3.04			Zayıf Hareket	B - Orta Tehlike	B - Orta Tehlike	
ZEMİN DEPREM BÜYÜTMESİ (Kuvvetli Hareket)	%	3.02	2.61			Kuvvetli Hareket	B - Orta Tehlike	B - Orta Tehlike	
PLASTİK OTURMA ETKİN YÜK DERİNLİĞİ	Z (m)	19.73	30.82						
VS30 TABAKA HIZI	VS30 (m/s)	227							
S8				S DALGA HIZINA GÖRE SÖKÜLEBİLİRLİK		Zayıf Zemin		Nehrp	
ELASTİK PARAMETRELER				L TABAKA	II TABAKA	Sert/Sıkı		Nehrp	
ZEMİN PARAMETRELERİ	SİMGELER VE BİRİMLERİ	1. TABAKA	2. TABAKA	YEREL ZEMİN SINIRI		I. TABAKA	II. TABAKA		
BOYUNA HIZ	Vp (m/s)	1498	1552			P DALGA HIZINA GÖRE SÖKÜLEBİLİRLİK		Bilgin1989	
ENİNE HIZ	Vs (m/s)	173	247	Z4 Z3	E	Orta	Zor		
TABAKA KALINLIĞI	h(m)	5.3				YOĞUNLUK SINIFLAMASI		Keçeli1990	
TABAKA YOĞUNLUĞU(dinamik yoğunluk)	d (g/cm <sup>3</sup> )	1.93	1.95			Yüksek	Yüksek		
SİSMİK HIZ ORANI	Vp/Vs	8.66	6.28	Z4 Z4		HIZ ORANINA GÖRE ZEMİN SIKILIĞI		Lankston 1990	
POİSSON ORANI	P	0.49	0.49			Cıvık-Sıvı	Cıvık-Sıvı		
KAYMA MODÜLÜ (Sheare)	G (kg/cm <sup>2</sup> )	577	1187	Z4 Z3		POİSSON ORANINA GÖRE ZEMİN SIKILIĞI		Keçeli1990	
ELASTİSİTE MODÜLÜ	E (kg/cm <sup>2</sup> )	1724	3530			Sağlam Kaya	Çok Gevşek		
BULK MODÜLÜ (Sıkışabilirlik)	K (kg/cm <sup>2</sup> )	42508	45285			KAYMA MODÜLÜNE GÖRE DAYANIM		Keçeli1990	
ZEMİN HAKİM TİTREŞİM PERYODU	To (sn)	0.85				Zayıf	Zayıf		
ZEMİN TAŞIMA GÜCÜ	qs (kg/cm <sup>2</sup> )	3.34	4.81	Z3 Z3		ELASTİSİTE MODÜLÜNE GÖRE SIKIŞABİLİRLİK		Keçeli1990	
ZEMİN EMİNİYET GERİLMESİ	qs (kg/cm <sup>2</sup> )	0.39	0.76			Zayıf	Zayıf		
BOYUNA BİRİM DEFORMASYON (OTURMA)	SZ (cm)	2.51	1.76			BULK MODÜLÜNE GÖRE SIKIŞABİLİRLİK		Keçeli1990	
DÜŞEY YATAK KATSAYISI	ton/m <sup>2</sup>	1309	1886			Yüksek	Yüksek		
YAPI PERİYOTLARI AMLİFİKASYON ARALIĞI	T01-T02	0.57	1.27			ZEMİN HAKİM TİTREŞİM PERYODUNA GÖRE TEHLİKE ÖLÇÜTÜ		Ansal2004	
GÖZENEKLİLİK		0.28	0.27	T	İngine	D - Çok Yüksek Tehlike			
ZEMİN DEPREM BÜYÜTMESİ (Zayıf Hareket)	%	4.05	2.83			Zayıf Hareket	C - Yüksek Tehlike	B - Orta Tehlike	
ZEMİN DEPREM BÜYÜTMESİ (Kuvvetli Hareket)	%	3.47	2.43			Kuvvetli Hareket	B - Orta Tehlike	A - Düşük Tehlike	
PLASTİK OTURMA ETKİN YÜK DERİNLİĞİ	Z (m)	12.95	38.21						
VS30 TABAKA HIZI	VS30 (m/s)	232							

MASW ölçümlerine göre  $V_s$  değerleri Çizelge 4.6'da, yoğunluk ise Çizelge 4.7'de verilmiştir.

**Çizelge 4.6.** MASW ölçümlerine göre  $V_s$  değerleri (Kaptanoğlu 2016)

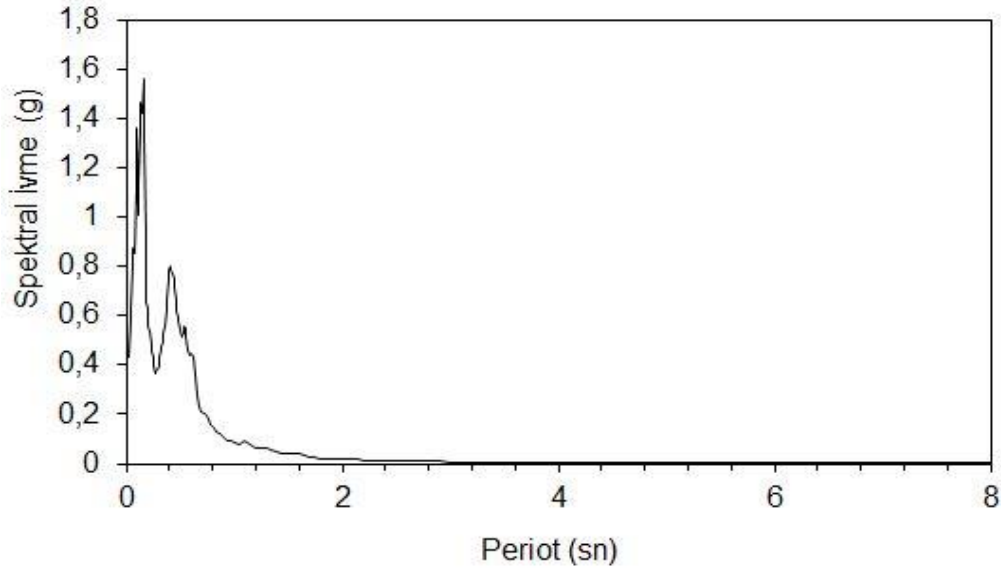
Derinlik (m)	Masw-1 $V_s$ m/sn	Masw - 2 $V_s$ m/sn	Masw - 3 $V_s$ m/sn	Masw - 4 $V_s$ m/sn	Masw - 5 $V_s$ m/sn	Masw - 6 $V_s$ m/sn	Masw - 7 $V_s$ m/sn	Masw - 8 $V_s$ m/sn
1.1	190	198	162	216	243	213	196	164
2.3	191	197	163	217	245	213	196	165
3.7	202	196	171	223	281	230	205	171
5.3	240	203	174	246	275	287	222	194
7	244	213	176	253	221	299	230	227
8.9	261	228	180	256	226	320	233	254
11	262	229	181	254	234	322	234	252
13.2	262	230	181	249	239	323	234	250
15.6	260	230	181	244	242	324	233	249
18.1	259	230	181	240	243	325	232	249
20.9	259	230	181	236	242	325	231	249
23.7	259	230	181	233	241	324	231	249
26.8	259	229	180	230	240	324	230	250
-	258	229	180	229	238	324	230	250

**Çizelge 4.7.** Yoğunluk parametreleri (Kaptanoğlu 2016)

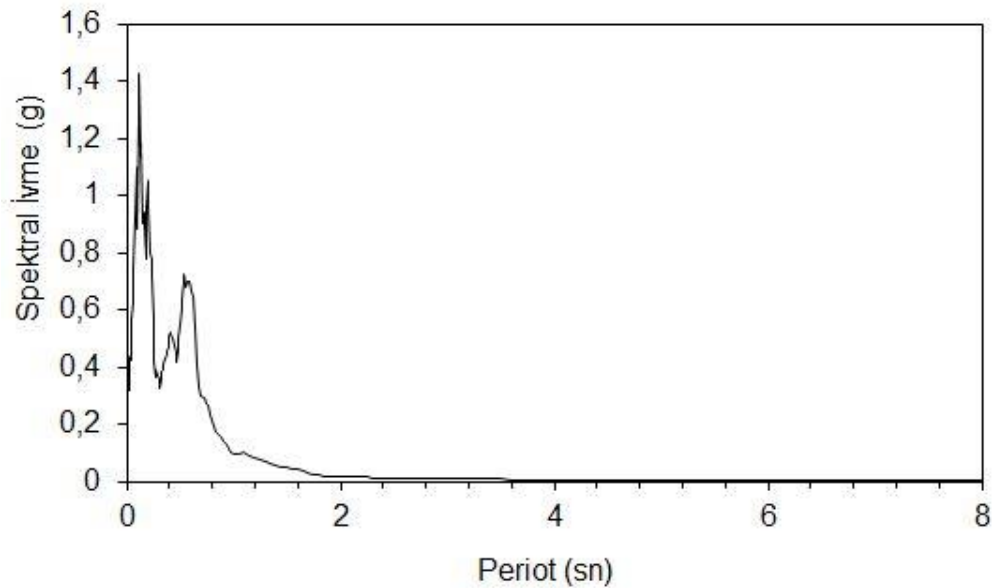
HATLAR	Tabakalar	Derinlik	Yoğunluk
MASW Serimleri		m	$g/m^3$
<b>1.HAT</b>	1. Tabaka	3.7	1.93
	2. Tabaka		1.96
<b>2.HAT</b>	1. Tabaka	7	1.93
	2. Tabaka		1.94
<b>3.HAT</b>	1. Tabaka	2.3	1.92
	2. Tabaka		1.92
<b>4.HAT</b>	1. Tabaka	3.7	1.94
	2. Tabaka		1.95
<b>5.HAT</b>	1. Tabaka	2.3	1.95
	2. Tabaka		1.95
<b>6.HAT</b>	1. Tabaka	3,7	1.94
	2. Tabaka		1.97
<b>7.HAT</b>	1. Tabaka	3.7	1.93
	2. Tabaka		1.94
<b>8.HAT</b>	1. Tabaka	5.3	1.93
	2. Tabaka		1.95

### 4.3. Yer (Saha) Tepki Spektrumları

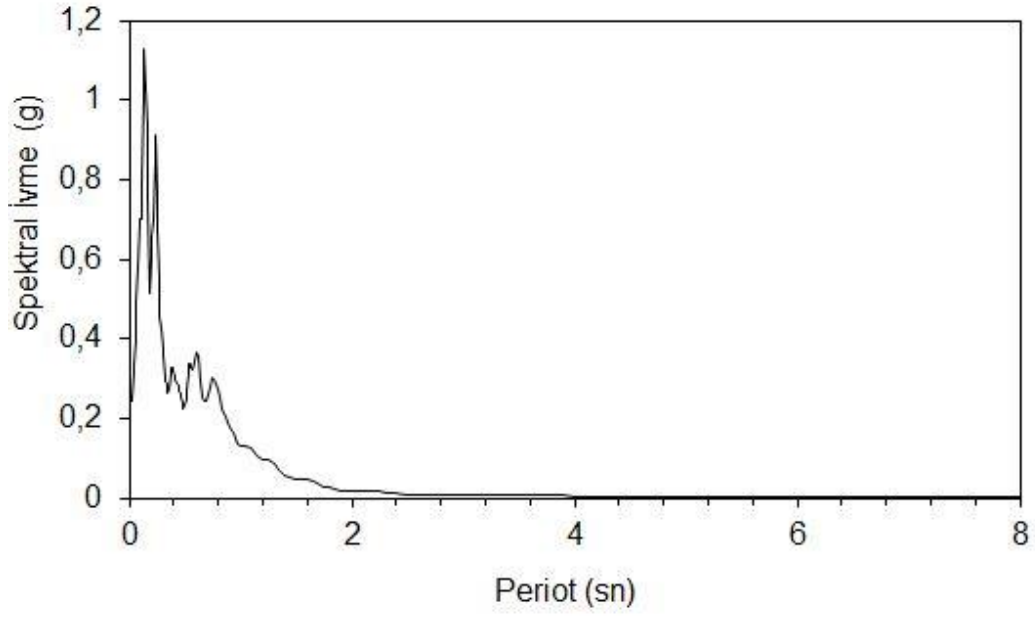
Bu tez çalışmasında, Antalya İli, Alanya İlçesi, Cumhuriyet Mahallesi ve Obagöl Mahallesi'ni içine alan Oba Düzlüğü'ndeki kumlu ve killi zeminlerde 8 noktada % 5 sönüm oranlı ve ana kaya hızı 1209 m/s için bir boyutlu dinamik analizler yapılmıştır. Analizlerde EERA programı kullanılmış ve gerekli olan zemin parametreleri bölge için yapılmış olan zemin etüt raporlarından alınmıştır. Analiz sonuçları Şekil 4.5 ile 4.12 arasında gösterilmiştir.



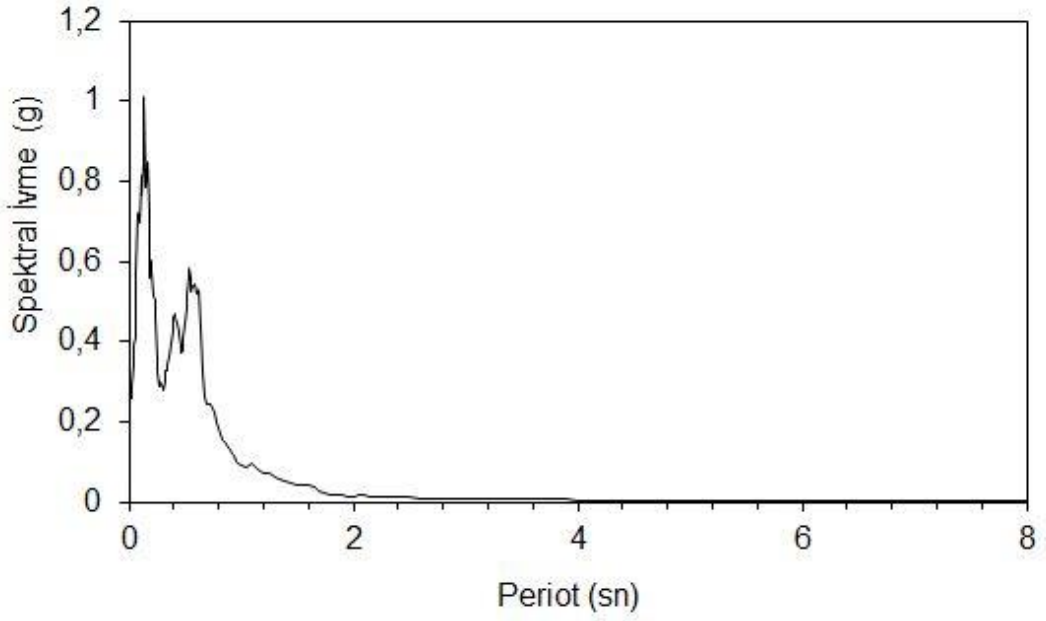
Şekil 4.5. SK-1 sondaj verilerine göre spektral ivme - periyot grafiği



Şekil 4.6. SK-2 sondaj verilerine göre spektral ivme - periyot grafiği

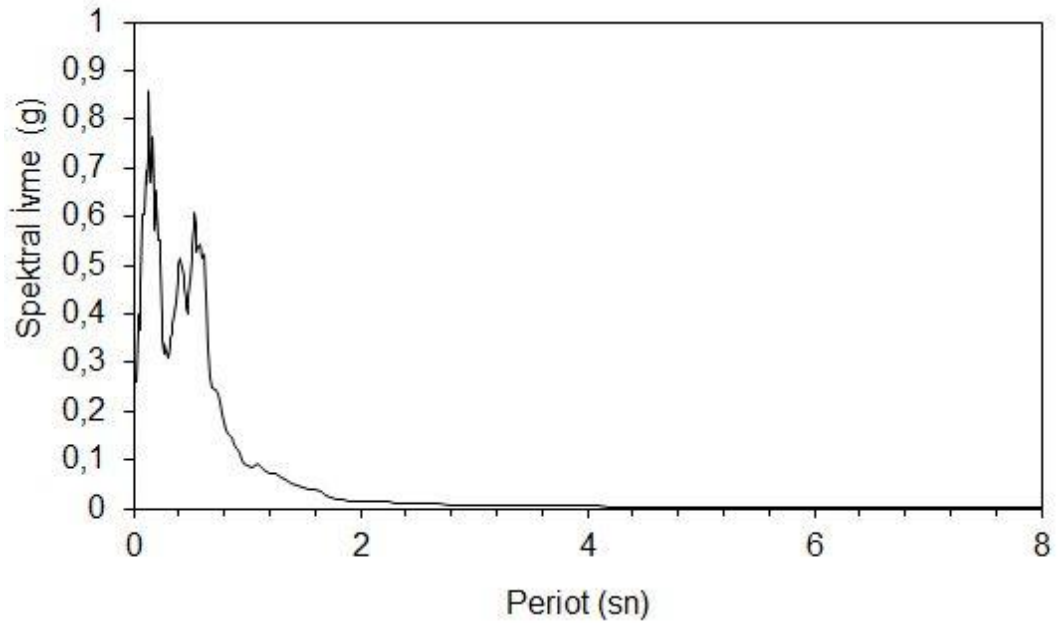


Şekil 4.7. SK-3 sondaj verilerine göre spektral ivme - periyot grafiği

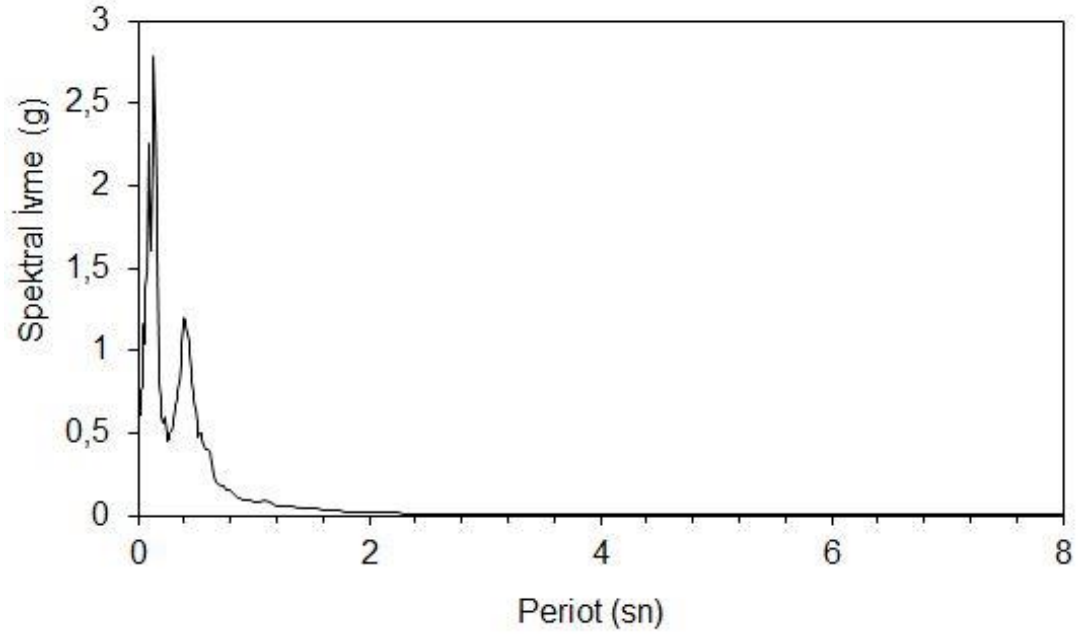


Şekil 4.8. SK-4 sondaj verilerine göre spektral ivme - periyot grafiği

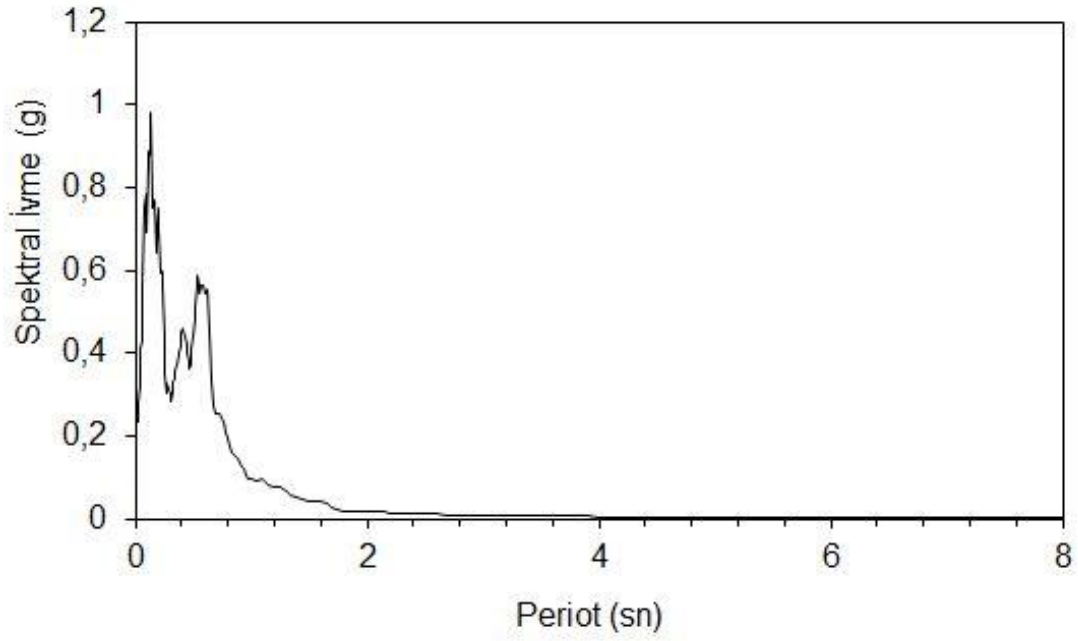




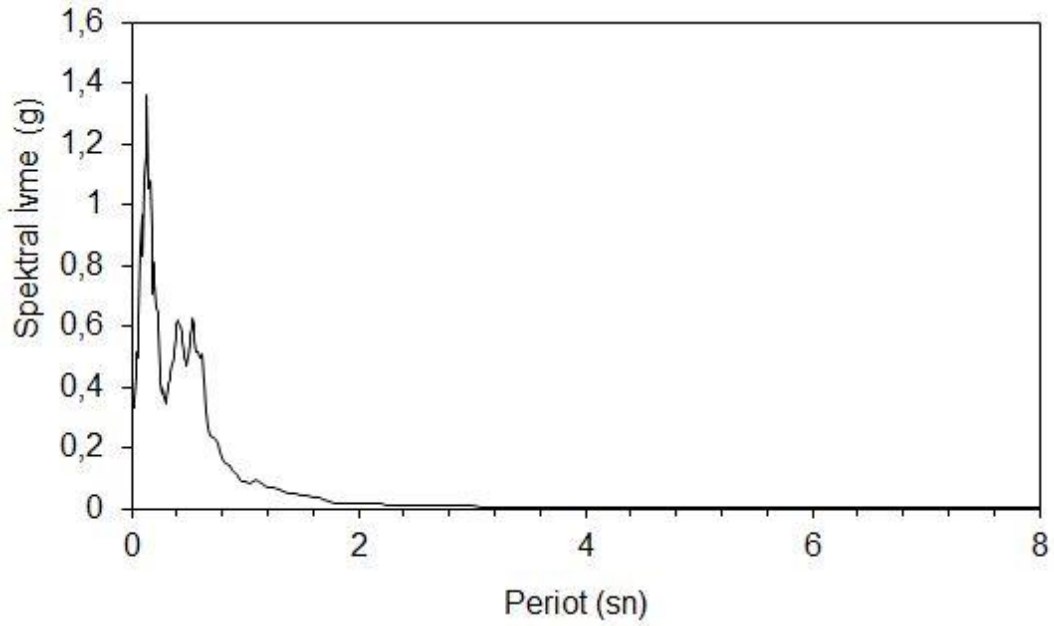
Şekil 4.9. SK-5 sondaj verilerine göre spektral ivme - periyot grafiği



Şekil 4.10. SK-6 sondaj verilerine göre spektral ivme - periyot grafiği

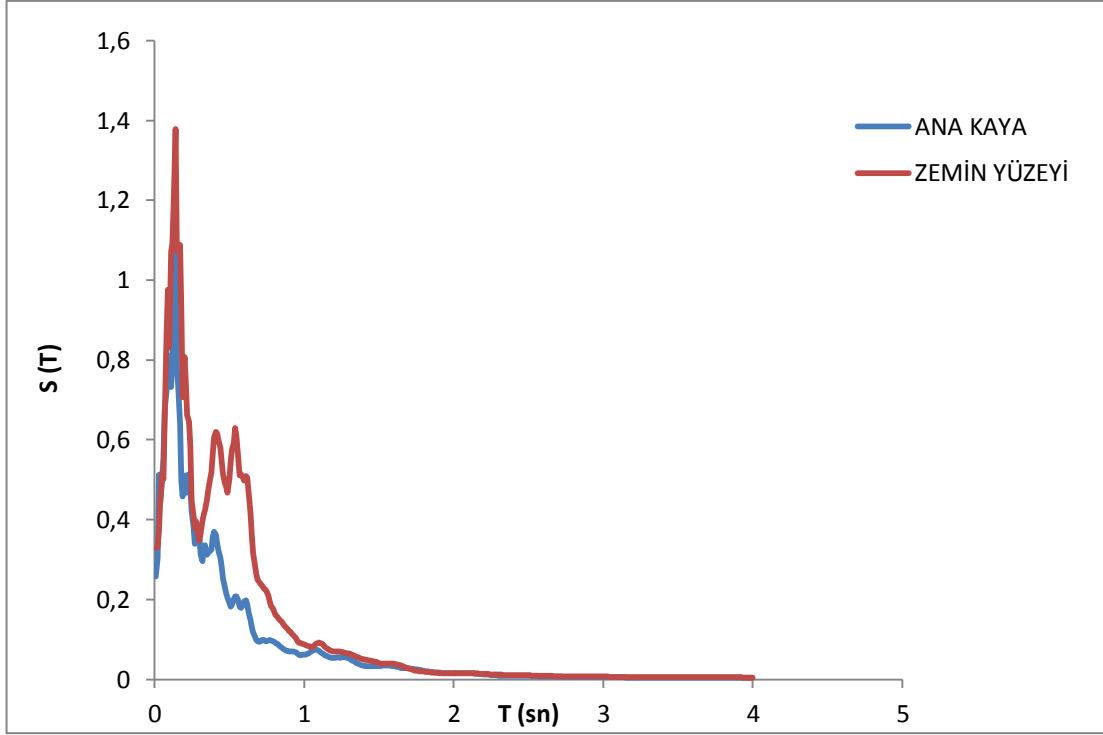


Şekil 4.11. SK-7 sondaj verilerine göre spektral ivme - periyot grafiği

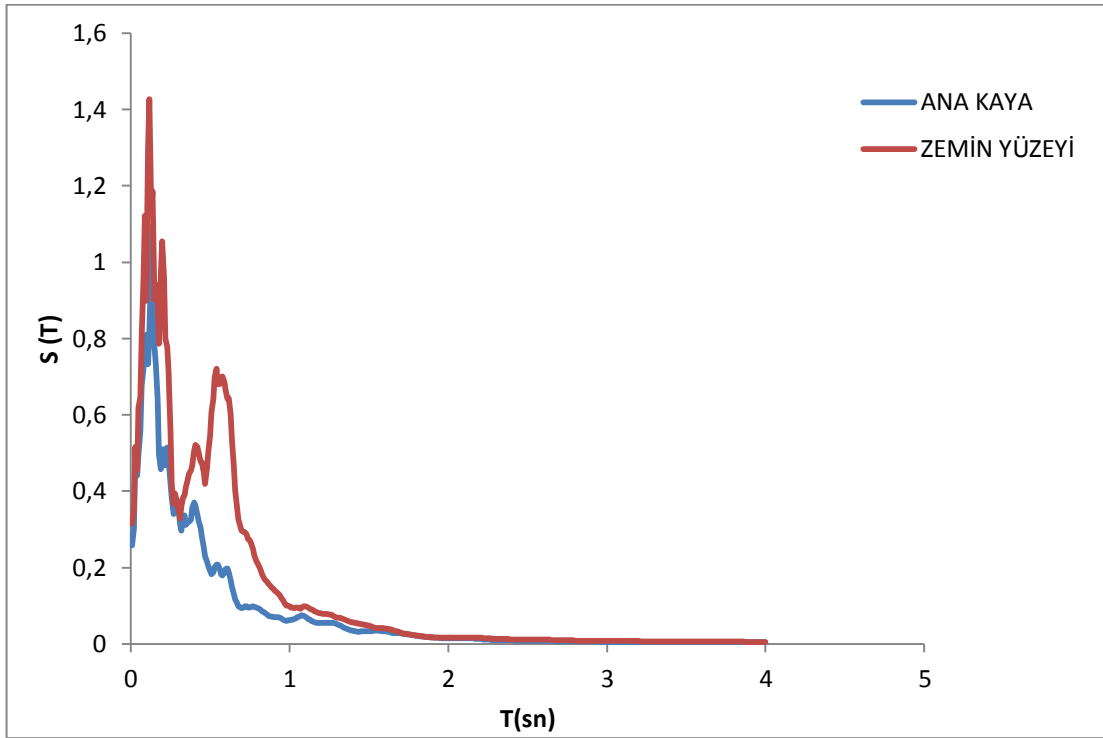


Şekil 4.12. SK-8 sondaj verilerine göre spektral ivme –periyot grafiği

Ana kaya ile zemin yüzeyine ait ivme kayıtları SEISMOSIGNAL programında, fourier dönüşümü uygulanarak zaman alanında tanımlanmıştır (Şekil 4.13 - 4.20). Bu grafikler ana kaya girdi hareketinin zemin tarafından ne kadar büyütüldüğünü göstermektedir (Anonim 4, 2019).

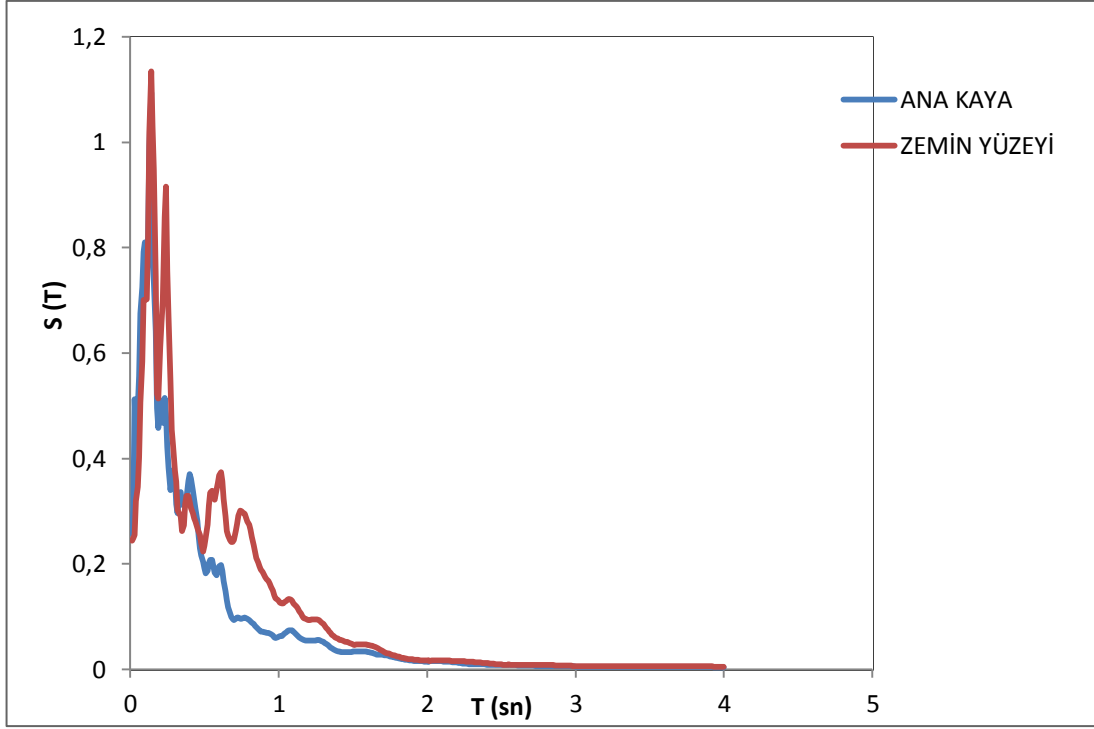


Şekil 4.13. Ana kaya ve zemin yüzeyi (MASW-1 verilerine göre oluşturulmuş) ivme spektrum grafiği

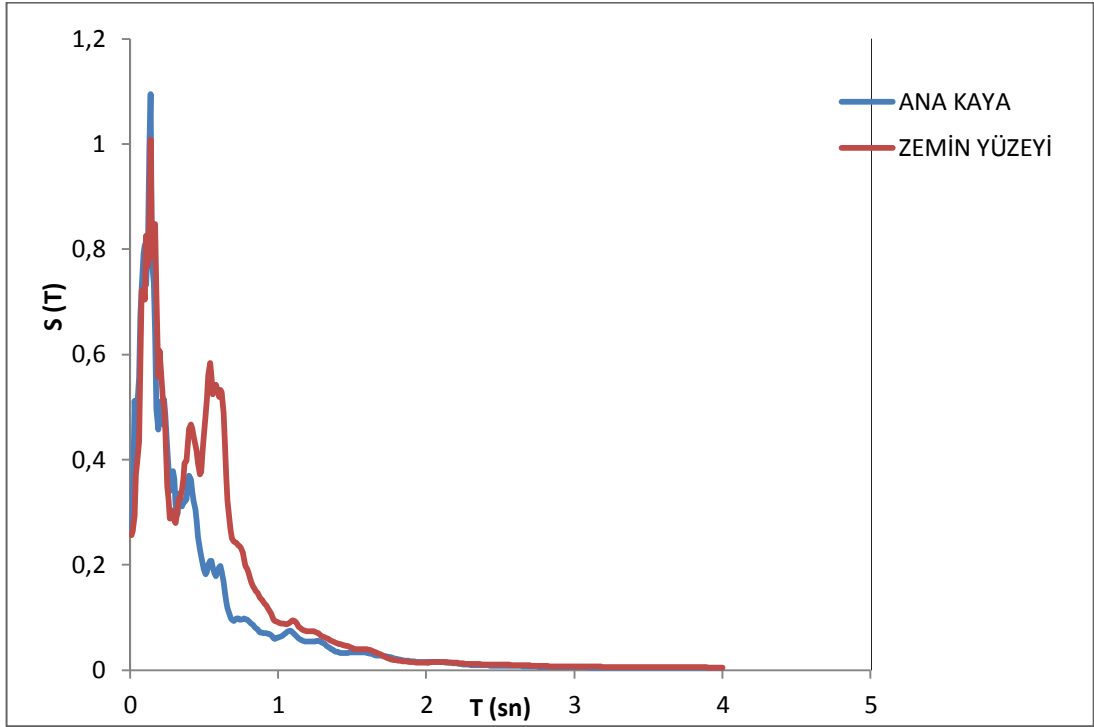


Şekil 4.14. Ana kaya ve zemin yüzeyi (MASW-2 verilerine göre oluşturulmuş) ivme spektrum grafiği

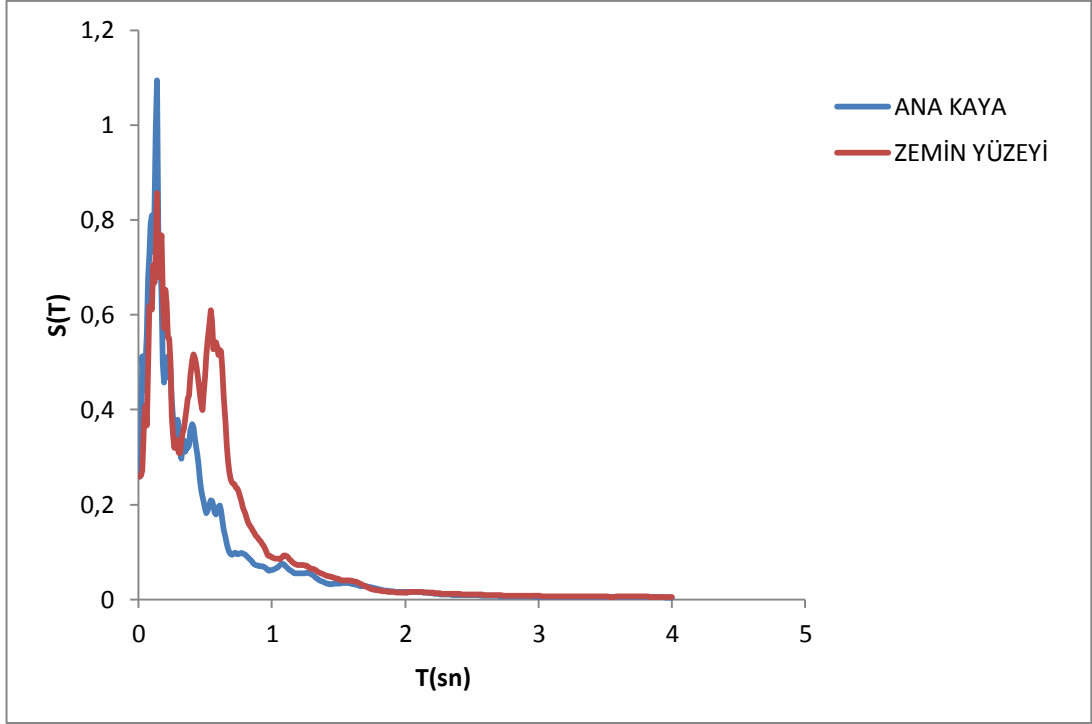




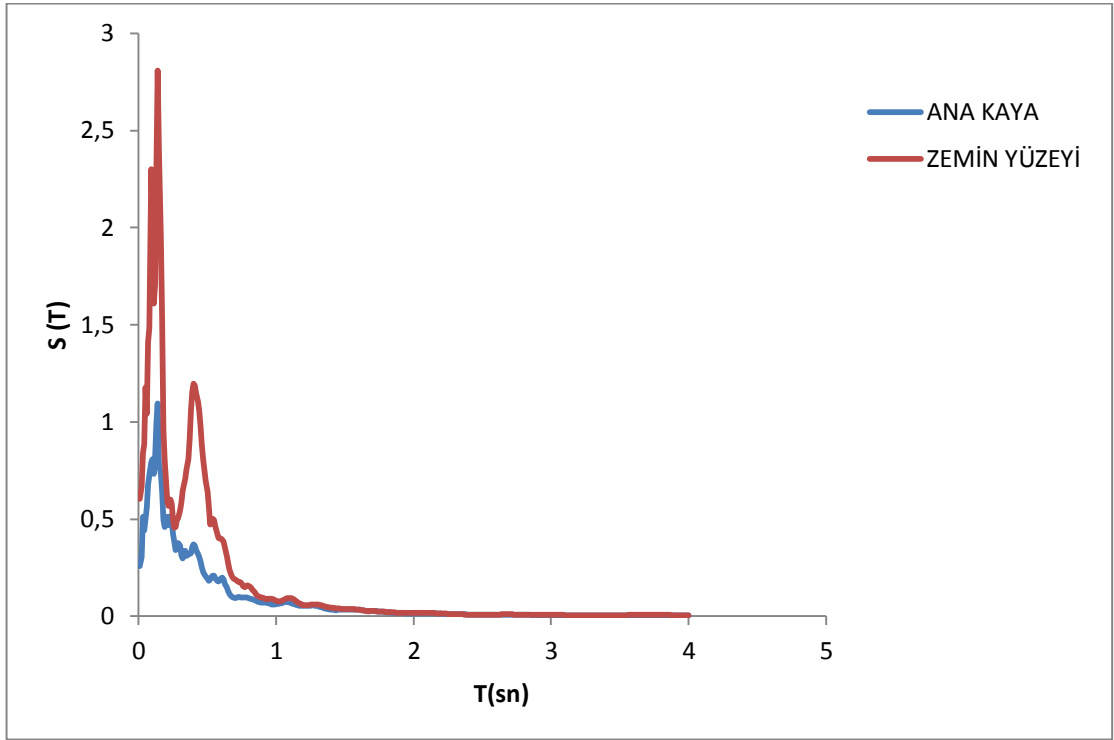
Şekil 4.15. Ana kaya ve zemin yüzeyi (MASW-3 verilerine göre oluşturulmuş) ivme spektrum grafiği



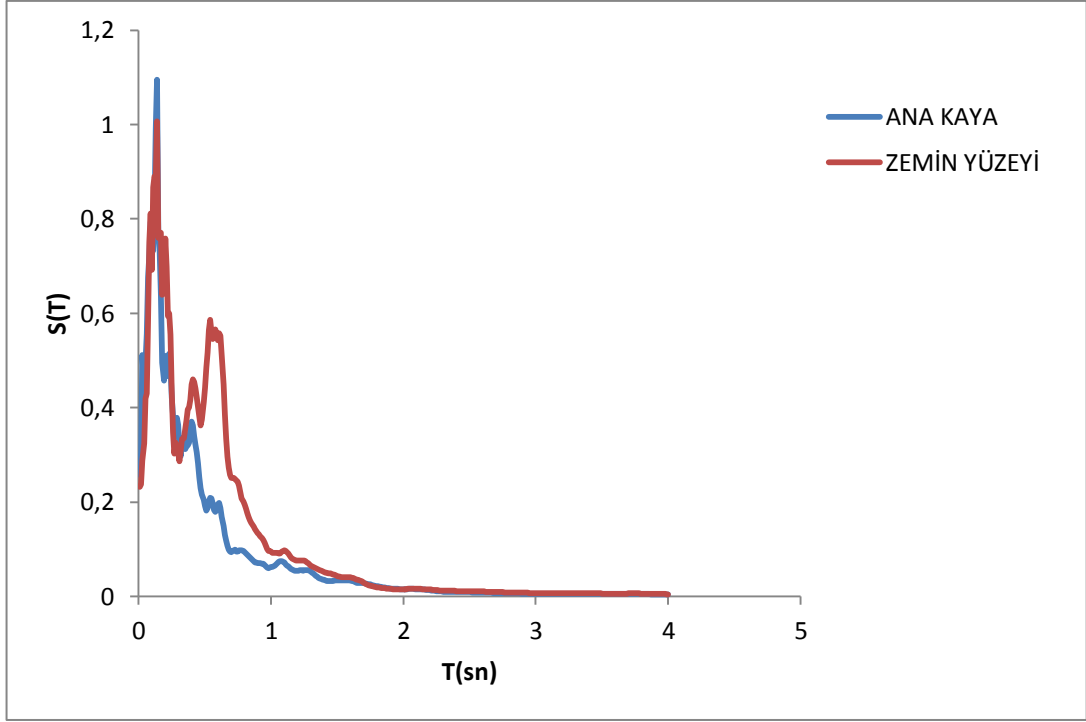
Şekil 4.16. Ana kaya ve zemin yüzeyi (MASW-4 verilerine göre oluşturulmuş) ivme spektrum grafiği



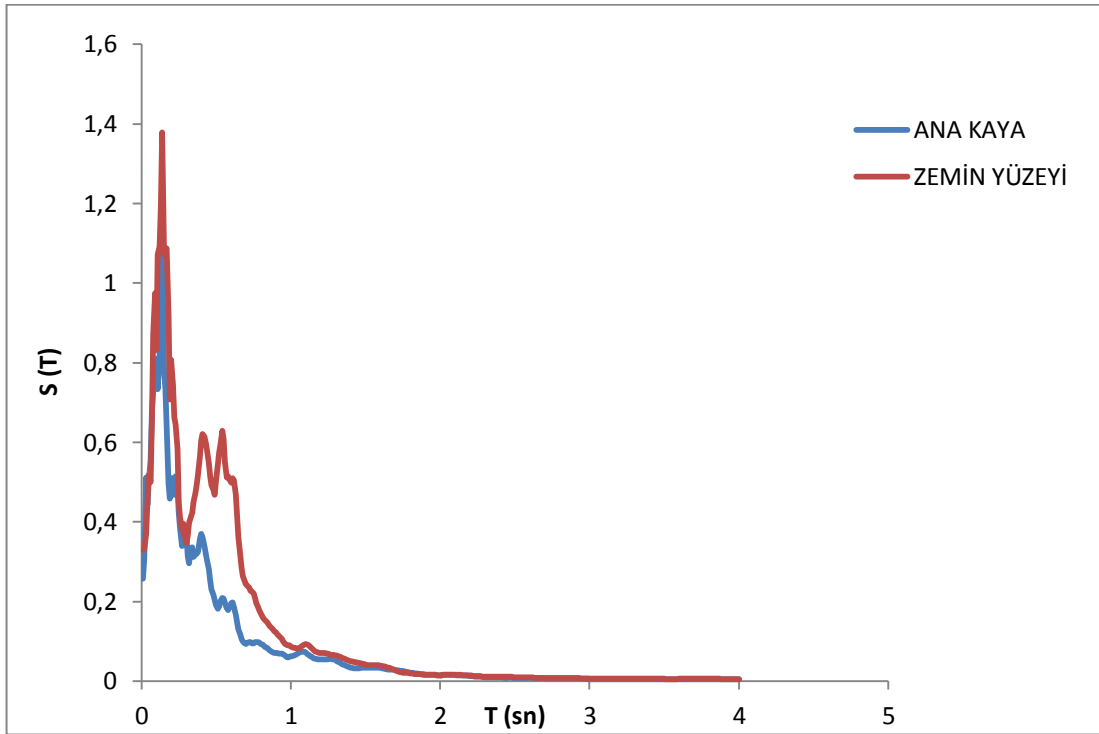
Şekil 4.17. Ana kaya ve zemin yüzeyi (MASW-5 verilerine göre oluşturulmuş) ivme spektrum grafiği



Şekil 4.18. Ana kaya ve zemin yüzeyi (MASW-6 verilerine göre oluşturulmuş) ivme spektrum grafiği



Şekil 4.19. Ana kaya ve zemin yüzeyi (MASW-7 verilerine göre oluşturulmuş) ivme spektrum grafiği



Şekil 4.20. Ana kaya ve zemin yüzeyi (MASW-8 verilerine göre oluşturulmuş) ivme spektrum grafiği

#### 4.4. Mikrotremör Sonuçları

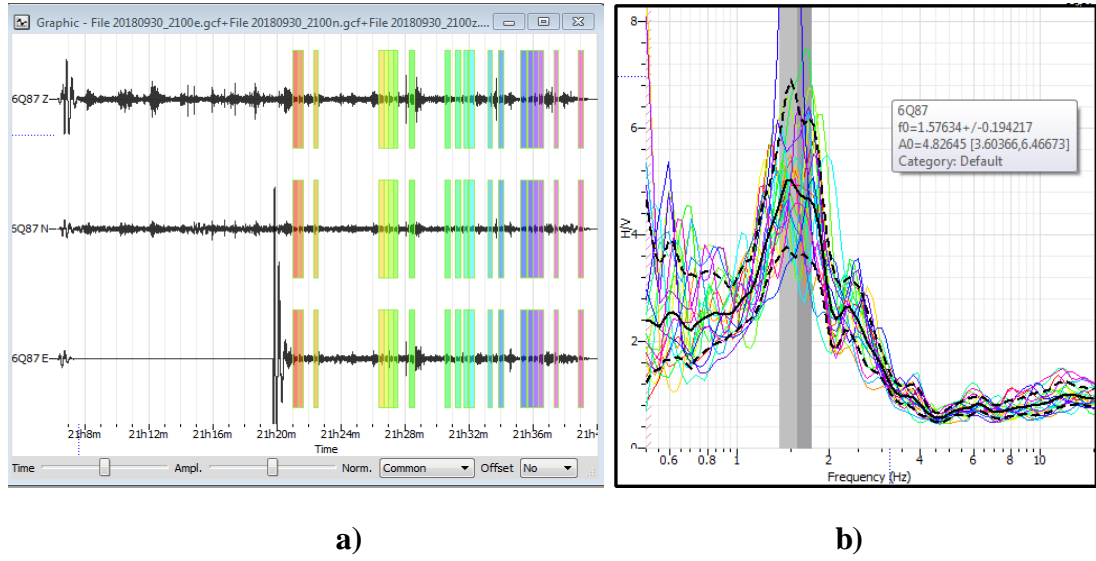
Mikrotremör yapılan noktalar Şekil 4.21’de, mikrotremör cihazına ait arazide uygulama Şekil 4.22’de gösterilmiştir. Noktalarda alınan mikrotremör sonuçları Şekil 4.23 - 4.40’dadır.



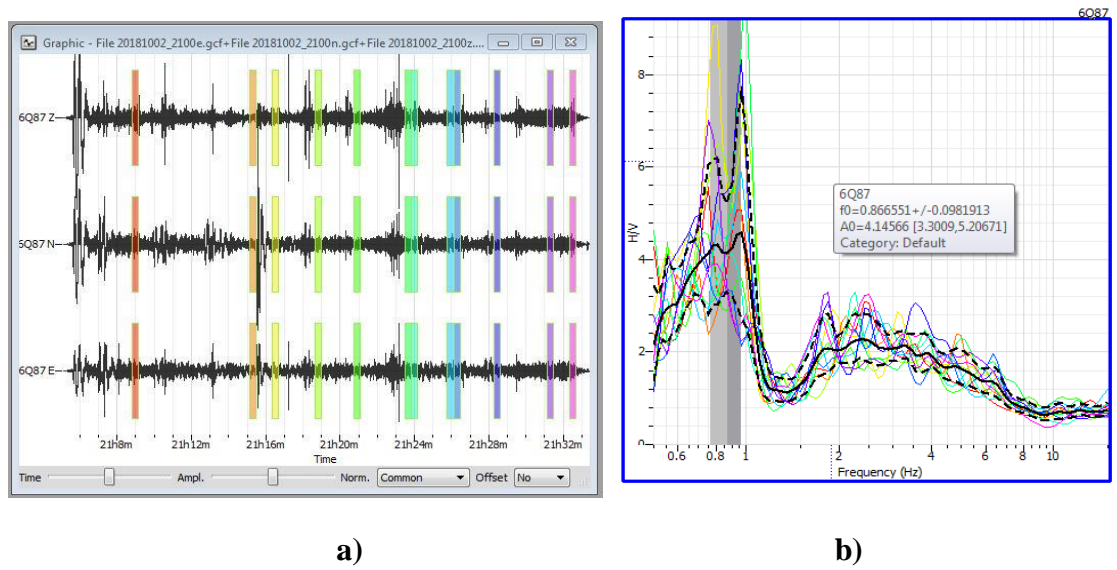
Şekil 4.21. Mikrotremör ölçüm lokasyon haritası



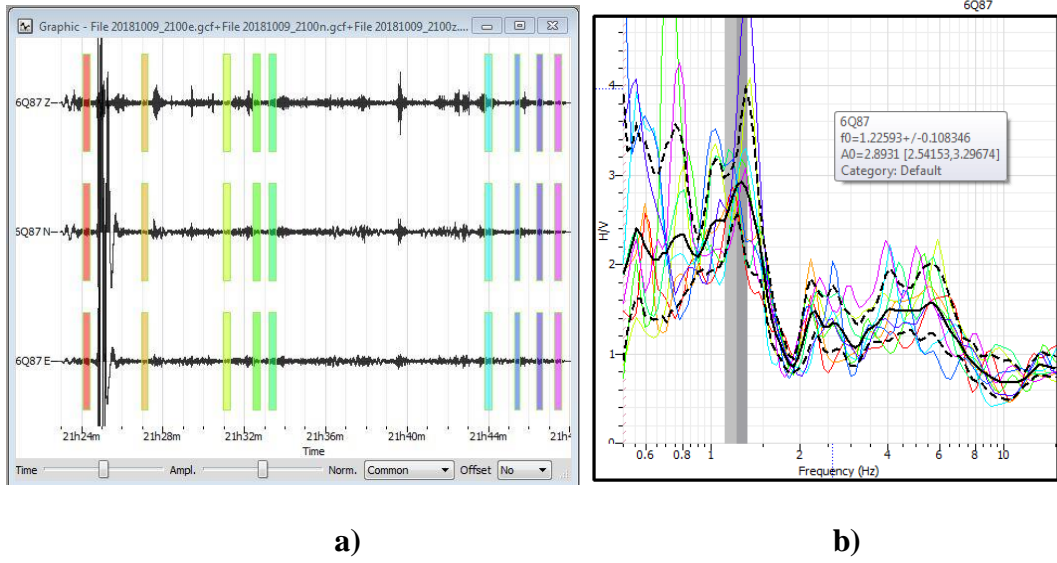
Şekil 4.22. Arazide mikrotremör ölçümü



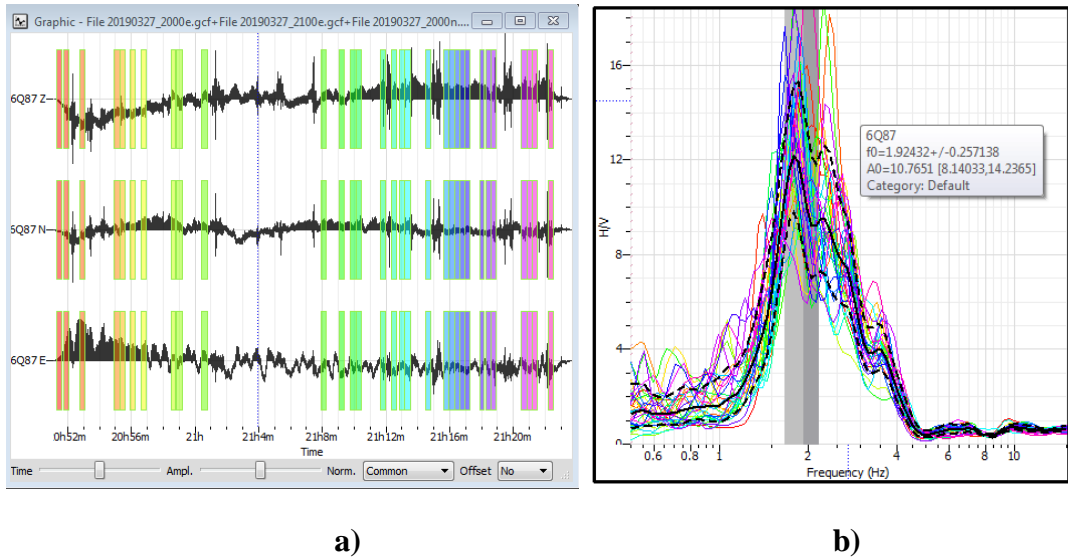
**Şekil 4.23.** 1 nolu ölçüm için Nakamura yöntemine göre yapılan değerlendirmeler: **a)** H/V grafiği çizdirilmesi için seçilen pencereler, **b)** H/V – frekans grafiği



**Şekil 4.24.** 2 nolu ölçüm için Nakamura yöntemine göre yapılan değerlendirmeler: **a)** H/V grafiği çizdirilmesi için seçilen pencereler, **b)** H/V – frekans grafiği

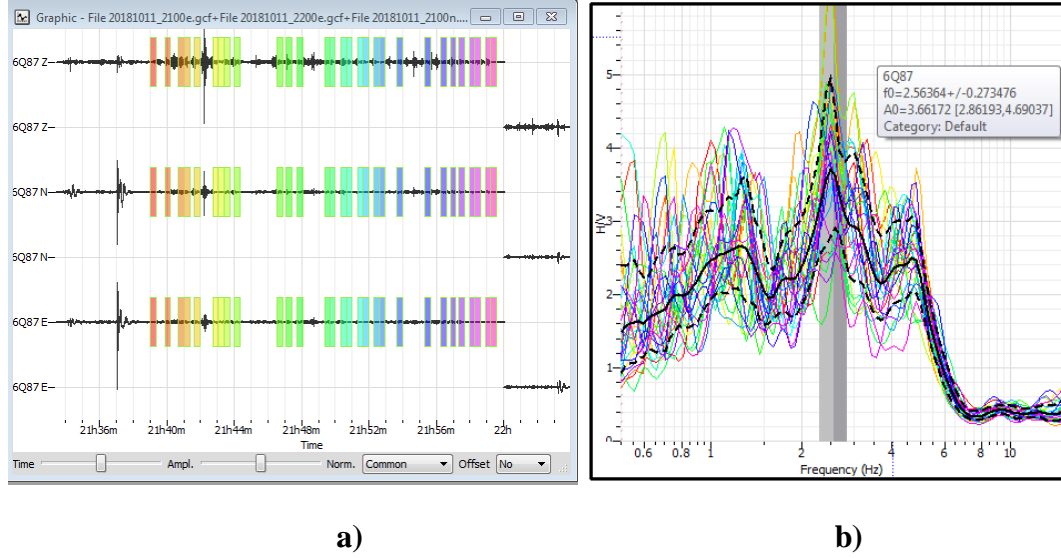


**Şekil 4.25.** 3 nolu ölçüm için Nakamura yöntemine göre yapılan değerlendirmeler: **a)** H/V grafiği çizdirilmesi için seçilen pencereler, **b)** H/V – frekans grafiği

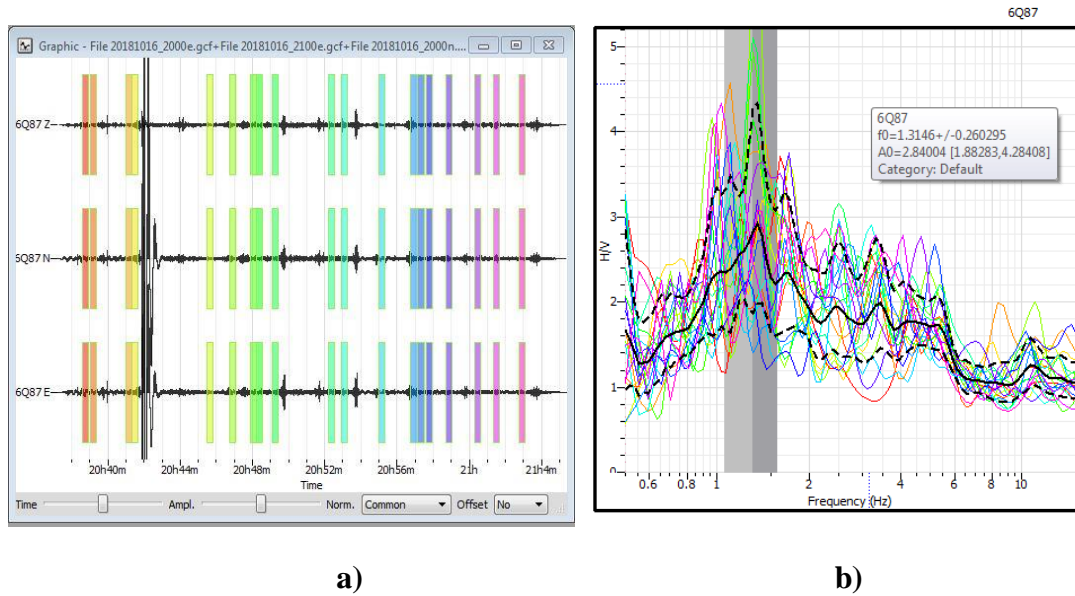


**Şekil 4.26.** 4 nolu ölçüm için Nakamura yöntemine göre yapılan değerlendirmeler: **a)** H/V grafiği çizdirilmesi için seçilen pencereler, **b)** H/V – frekans grafiği

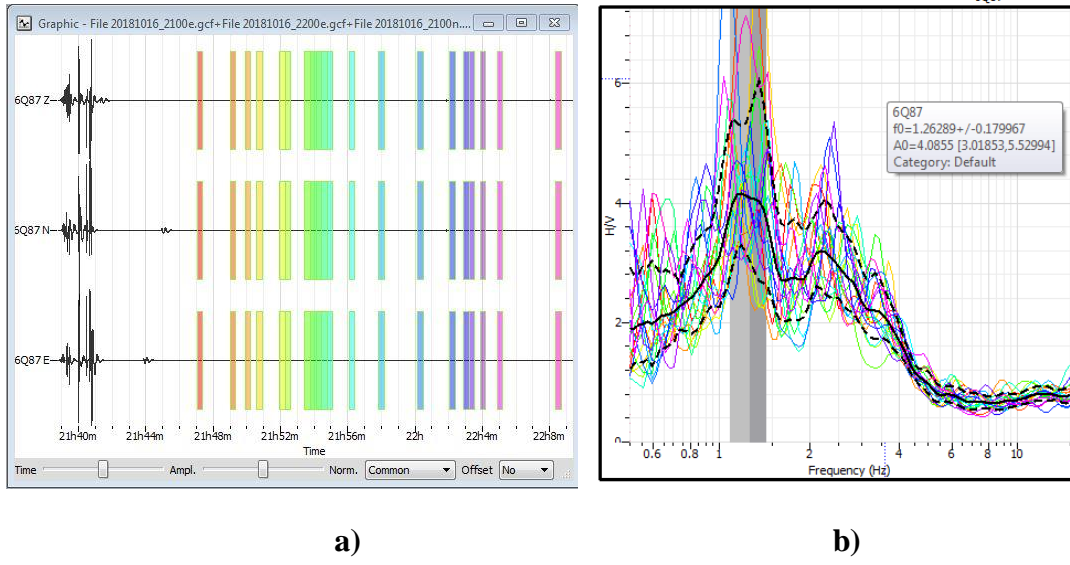




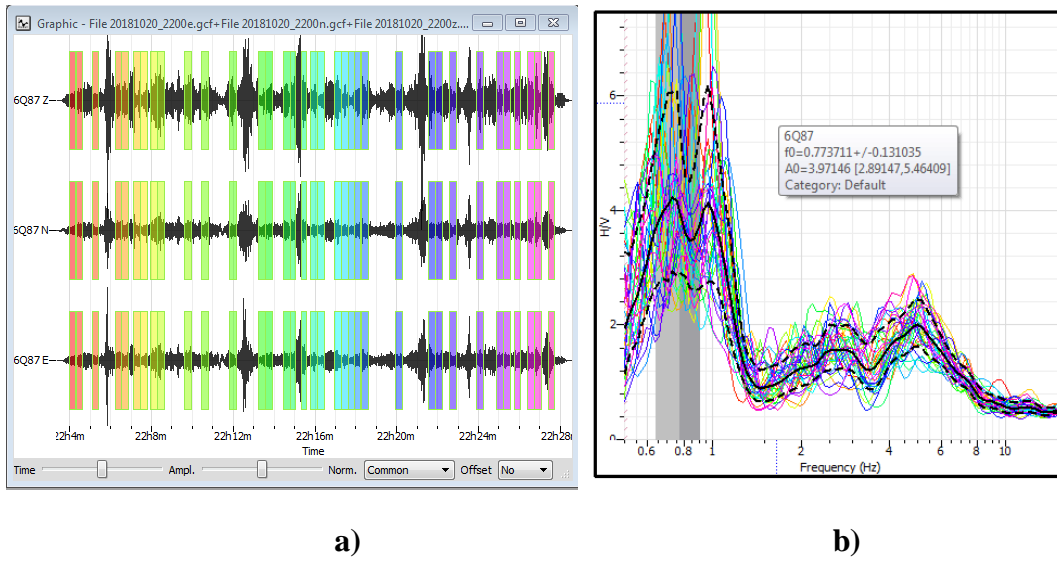
**Şekil 4.27.** 5 nolu ölçüm için Nakamura yöntemine göre yapılan değerlendirmeler: **a)** H/V grafiği çizdirilmesi için seçilen pencereler, **b)** H/V – frekans grafiği



**Şekil 4.28.** 6 nolu ölçüm için Nakamura yöntemine göre yapılan değerlendirmeler: **a)** H/V grafiği çizdirilmesi için seçilen pencereler, **b)** H/V – frekans grafiği

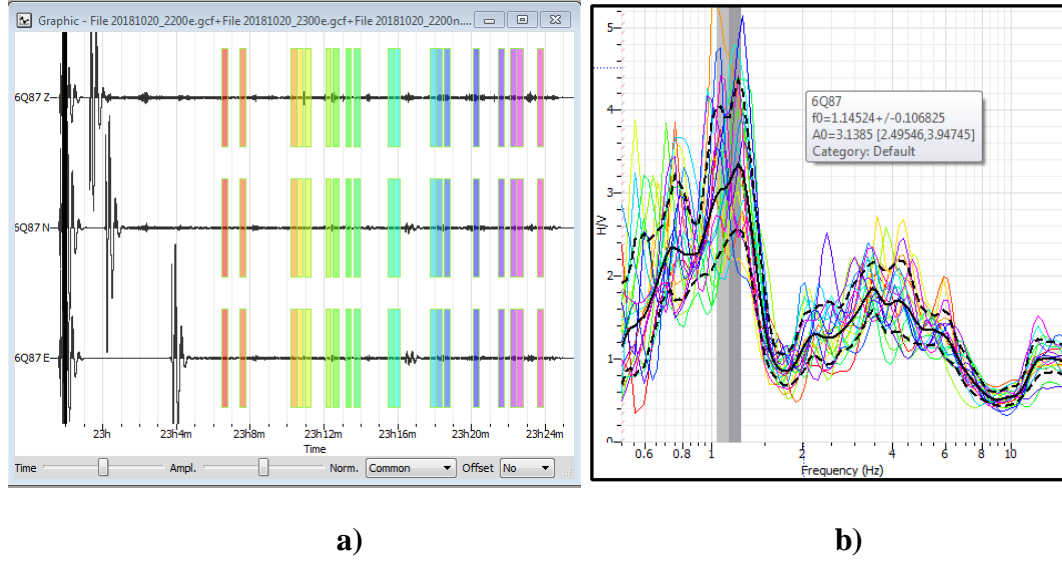


**Şekil 4.29.** 7 nolu ölçüm için Nakamura yöntemine göre yapılan değerlendirmeler: a) H/V grafiği çizdirilmesi için seçilen pencereler, b) H/V – frekans grafiği

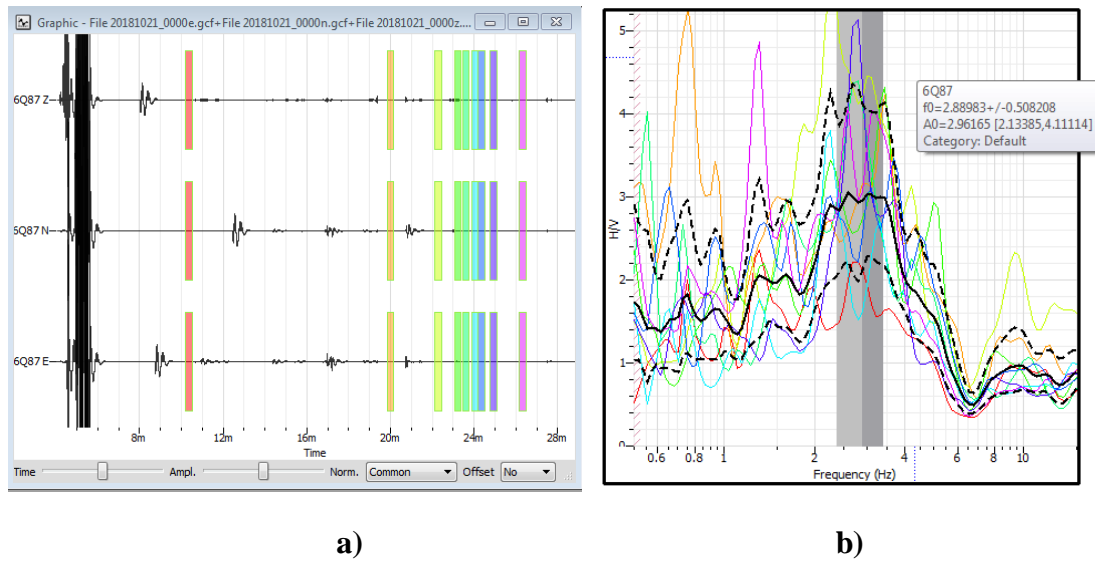


**Şekil 4.30.** 8 nolu ölçüm için Nakamura yöntemine göre yapılan değerlendirmeler: a) H/V grafiği çizdirilmesi için seçilen pencereler, b) H/V – frekans grafiği

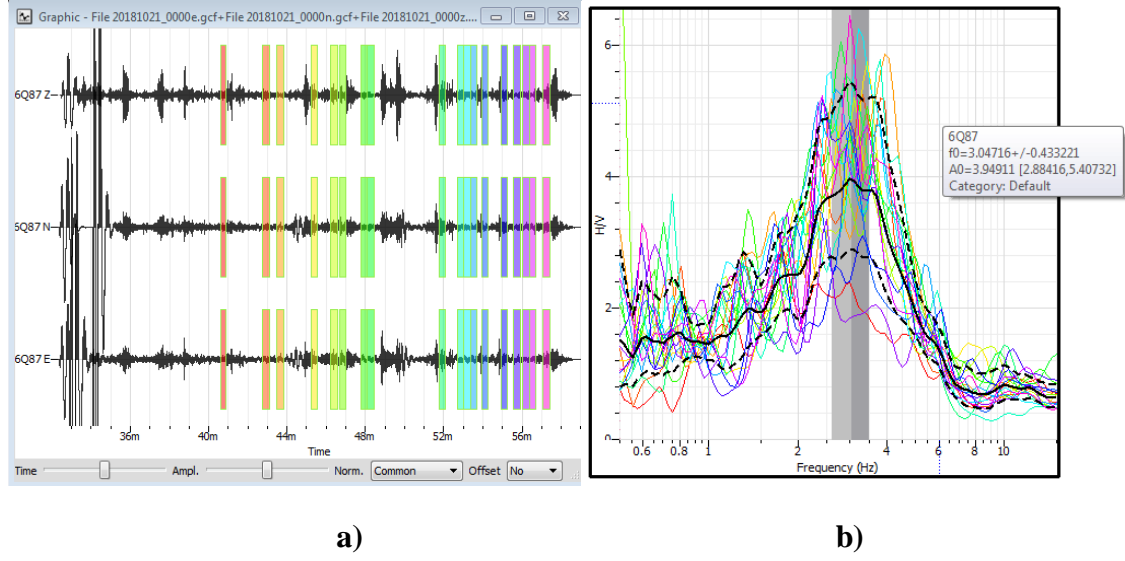




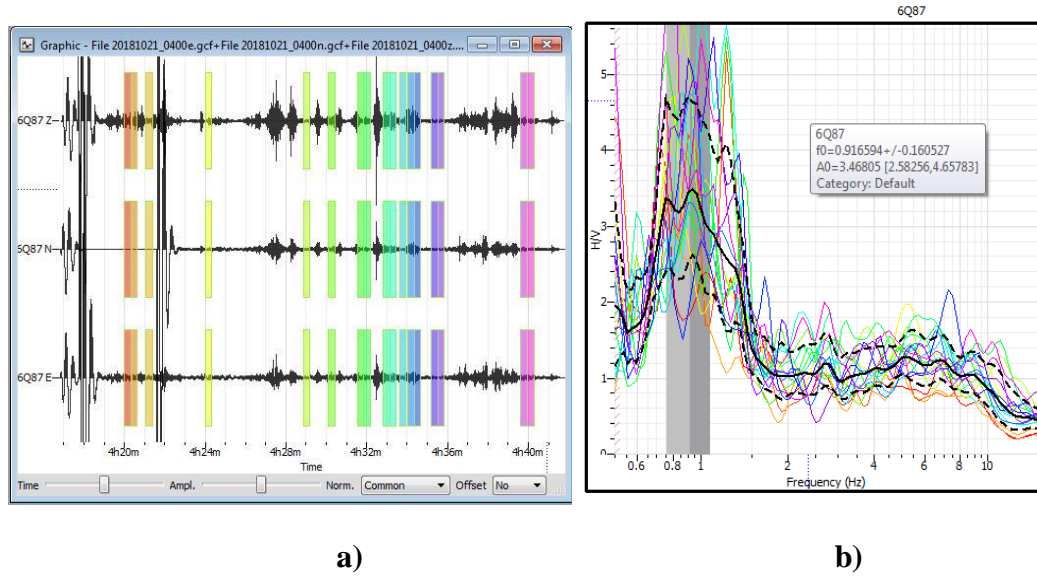
**Şekil 4.31.** 9 nolu ölçüm için Nakamura yöntemine göre yapılan değerlendirmeler: a) H/V grafiği çizdirilmesi için seçilen pencereler, b) H/V – frekans grafiği



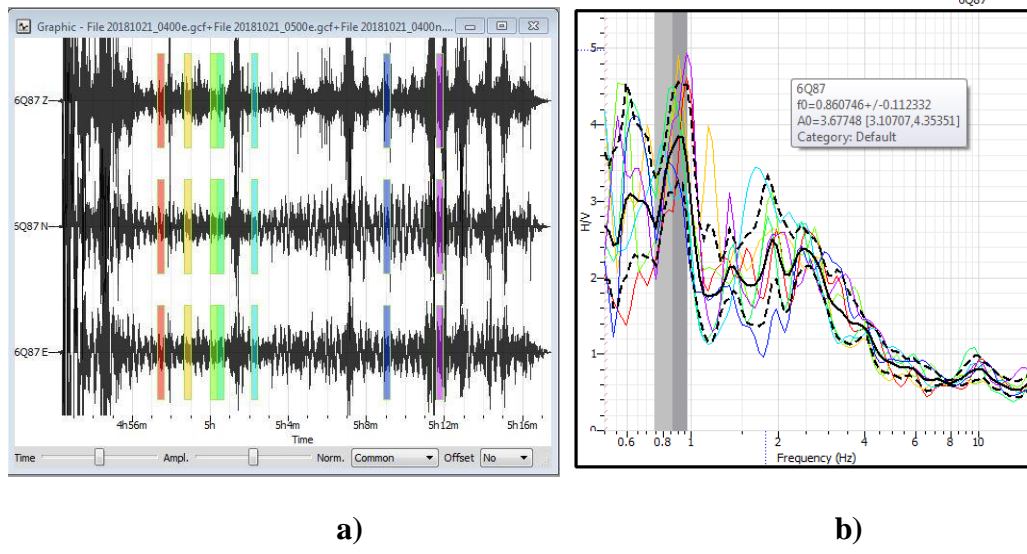
**Şekil 4.32.** 10 nolu ölçüm için Nakamura yöntemine göre yapılan değerlendirmeler: a) H/V grafiği çizdirilmesi için seçilen pencereler, b) H/V – frekans grafiği



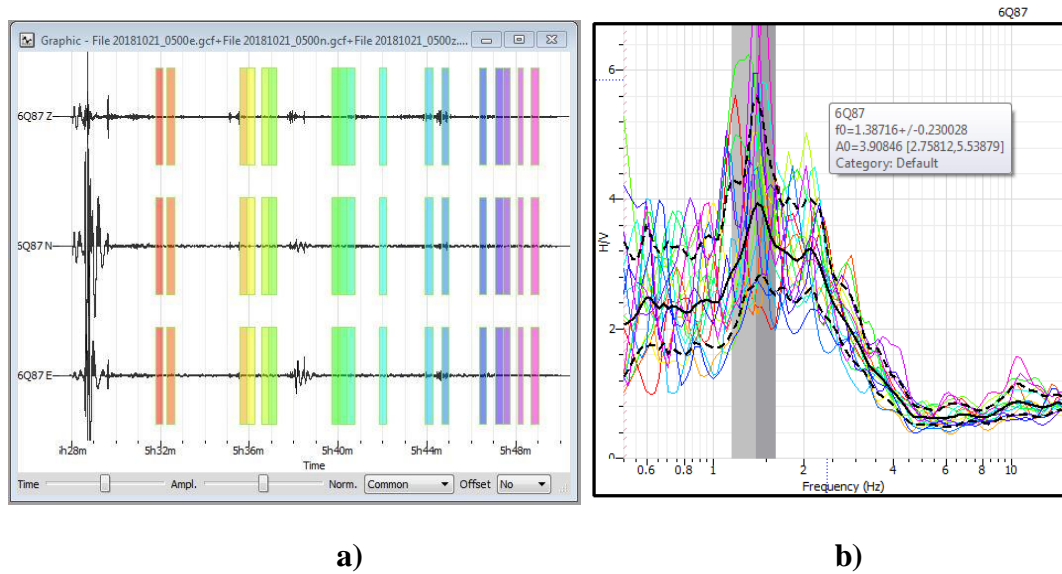
**Şekil 4.33.** 11 nolu ölçüm için Nakamura yöntemine göre yapılan değerlendirmeler: a) H/V grafiği çizdirilmesi için seçilen pencereler, b) H/V – frekans grafiği



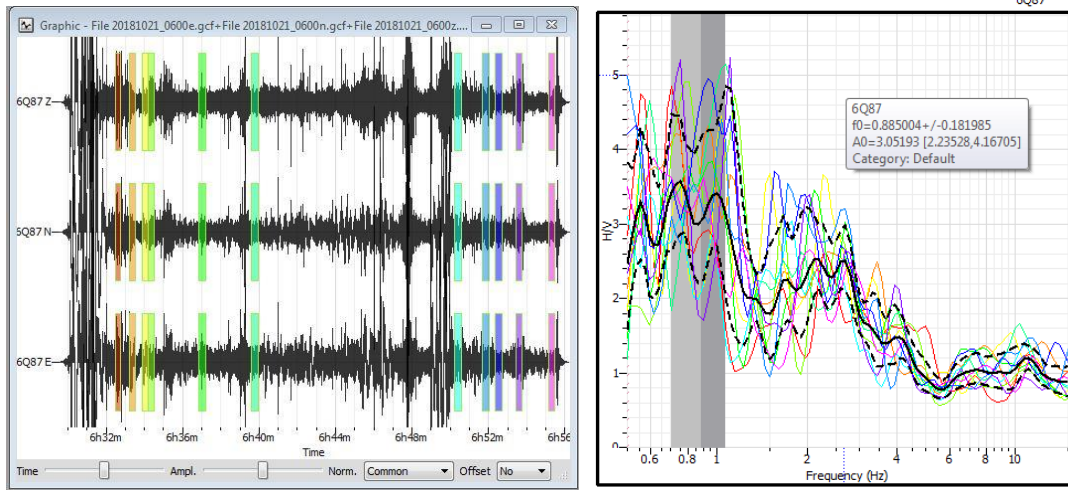
**Şekil 4.34.** 12 nolu ölçüm için Nakamura yöntemine göre yapılan değerlendirmeler: a) H/V grafiği çizdirilmesi için seçilen pencereler, b) H/V – frekans grafiği



**Şekil 4.35.** 13 nolu ölçüm için Nakamura yöntemine göre yapılan değerlendirmeler: **a)** H/V grafiği çizdirilmesi için seçilen pencereler, **b)** H/V – frekans grafiği



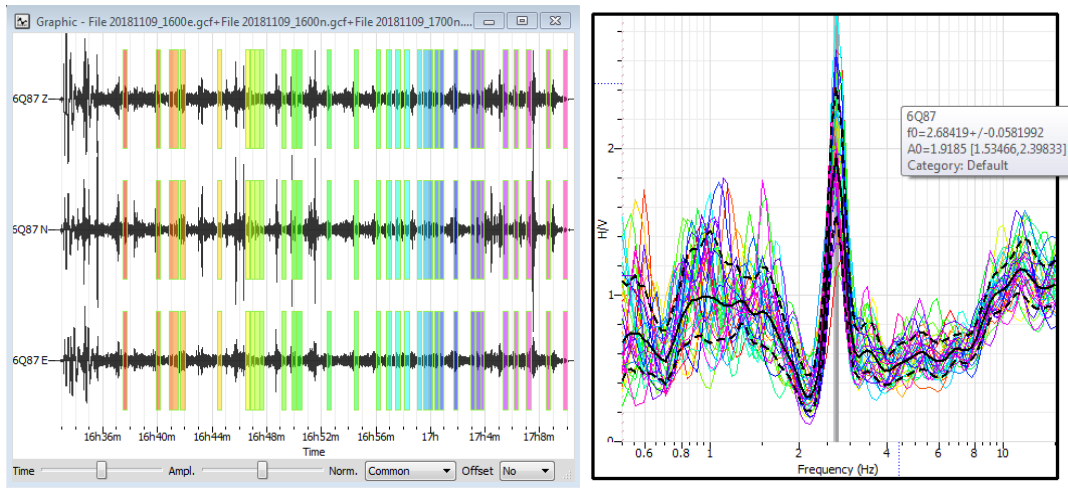
**Şekil 4.36.** 14 nolu ölçüm için Nakamura yöntemine göre yapılan değerlendirmeler: **a)** H/V grafiği çizdirilmesi için seçilen pencereler, **b)** H/V – frekans grafiği



a)

b)

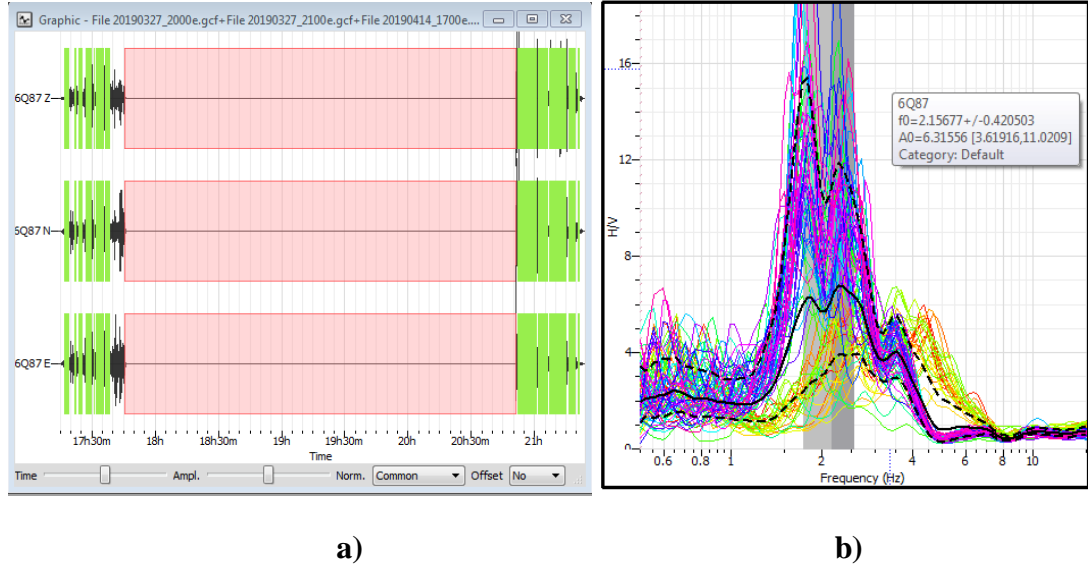
**Şekil 4.37.** 15 nolu ölçüm için Nakamura yöntemine göre yapılan değerlendirmeler: a) H/V grafiği çizdirilmesi için seçilen pencereler, b) H/V – frekans grafiği



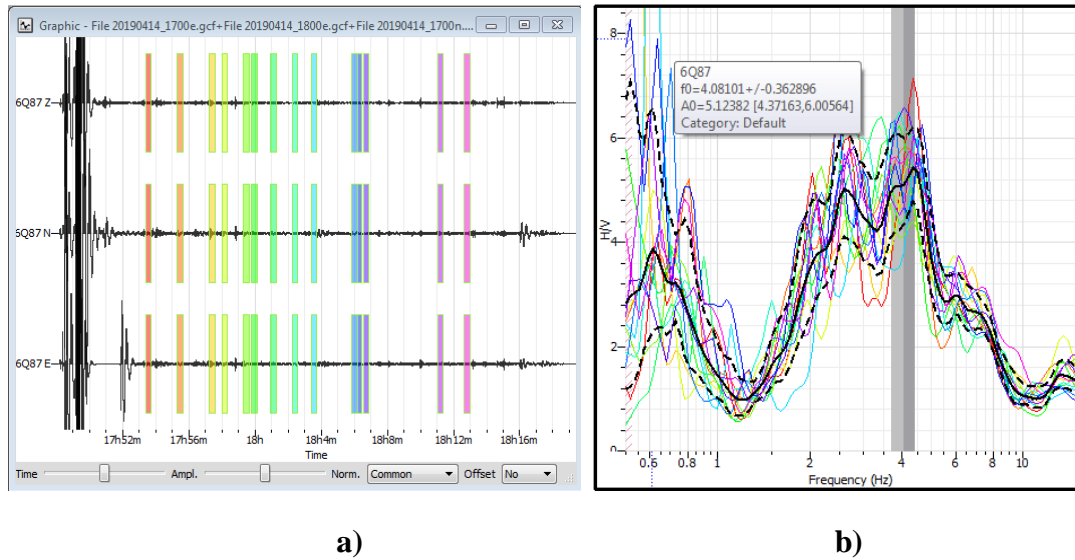
a)

b)

**Şekil 4.38.** 16 nolu ölçüm için Nakamura yöntemine göre yapılan değerlendirmeler: a) H/V grafiği çizdirilmesi için seçilen pencereler, b) H/V – frekans grafiği



**Şekil 4.39.** 17 nolu ölçüm için Nakamura yöntemine göre yapılan değerlendirmeler: **a)** H/V grafiği çizdirilmesi için seçilen pencereler, **b)** H/V – frekans grafiği



**Şekil 4.40.** 18 nolu ölçüm için Nakamura yöntemine göre yapılan değerlendirmeler: **a)** H/V grafiği çizdirilmesi için seçilen pencereler, **b)** H/V – frekans grafiği

Şekil 4.23 - 4.40'da bulunan “a) H/V grafiği çizdirilmesi için seçilen pencereler” arazide alınan mikrotremör kayıtlarına uygulanan filtreleme işlemlerinden sonra kalan, H/V grafiği çizilecek olan titreşimleri göstermektedir. “b) H/V – frekans ” grafiğinde yatay eksen zemin frekansını, dikey eksen genlik değerini ifade etmektedir. Bu grafikten mikrotremör kaydı yapılan noktaya ait zemin hakim frekansı ve zemin büyütme değerleri okunmaktadır.

## 5. SONUÇLAR

Çalışma alanı yumuşak kil ve turba gibi geoteknik açıdan zayıf zemin olarak nitelenen zemin sınıflarını içermektedir. Çalışma alanında yer altı su seviyesi yeryüzüne yakındır. Alanya civarında geçmişte Kıbrıs Yayı ve Antalya Dalma-Batma fayı etkisi altında oluşan büyük depremler ( $M > 4$ ) gözlenmiştir.

Bölgeye hâkim en büyük yer ivmesinin [https://www.turkiye.gov.tr/afad-turkiye-deprem - tehlike-haritalasına](https://www.turkiye.gov.tr/afad-turkiye-deprem-tehlike-haritalasina) göre, genelinde 0.208 - 0.209 PGA olduğu görülmüştür. Bu değerlere göre bölgenin en büyük yer ivmesi yaklaşık 0.21 PGA olarak kabul edilmiştir.

Zeminin, yer (saha) tepki analizlerine göre en büyük yer ivmesinin 0.85 g–2.78 g arasında, hâkim periyot değerinin ise 0.12 s–0.16 s arasında değerler aldığı görülmüştür.

Ana kaya ile zemin yüzeyine ait ivme kayıtları, fourier dönüşümü uygulanarak zaman alanında tanımlanmıştır. Ana kaya girdi hareketinin, zemin tarafından 0.5sn – 0.6sn periyotları arasında büyütme yaptığı görülmüştür.

Mikrotremör ölçüm ve değerlendirmeleri sonucunda elde edilen H/V – frekans grafiklerinden, yatay eksen okuması yapılarak zemin hâkim frekansı, düşey eksen okuması yapılarak zemin büyütme değerleri ( $A_0$ ) bulunmuştur. Zemin hâkim frekanslarından zemin hâkim periyotları elde edilmiştir (Çizelge 5.1).

**Çizelge 5.1.**Mikrotremör sonuçları

Mikrotremör No	$A_0$	T(sn)
1	4.82	0.6
2	4.14	1.2
3	2.89	0.8
4	10.76	0.5
5	3.66	0.4
6	2.84	0.8
7	4.08	0.8
8	3.97	1.3
9	3.13	0.9
10	2.96	0.3
11	3.94	0.3
12	3.46	1.1
13	3.67	1.2
14	3.90	0.7
15	3.05	1.1
16	1.91	0.4
17	6.31	0.5
18	5.12	0.2

## 7. KAYNAKLAR

- Ansal, A., Kurtuluş, A. ve Tönük, G. 2009. Earthquake Damage Scenario Software for Urban Areas. *Hesaplamalı Yapısal Dinamik ve Deprem Mühendisliği*, 2, ss.377-391.
- Ansal, A., Kurtuluş, A. ve Tönük, G. 2010. Seismic Microzonation and Earthquake Damage Scenarios for Urban Areas. *Zemin Dinamiği ve Deprem Mühendisliği*, 30, ss.1319-1328.
- Ansal, A. ve Tönük, G. 2007. Source and Site Effects for Microzonation. Theme Lecture 4th International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering, *Deprem Geoteknik Mühendisliği*, 4, ss.73-92.
- Aki, K. 1957. Space and Time Spectra of stationary stochastic wave with special reference to microtremors. *Bulletin of the Earthquake Research Institute*, 35, ss. 415-457.
- Bardet, J.P., Ichii, K. ve Lin, C.H. 2000. EERA: A Computer Program for Equivalent-Linear Earthquake Site Response Analyses of Layered Soil Deposits. University Güney Kaliforniya Üniversitesi, Kaliforniya.
- Bolt, B.A. 1976. Nuclear Explosions and Earthquakes. W.H. Freeman and Company.
- Brinkgreve, R. 2007. PLAXIS 2D Versiyon 8.5 Finite Element Code for Soil and Rock Analyses: Complete Set of Manuals.
- Dipova, N. 2002. Antalya Kıyı Düzleklerinin Oluşumu ve Geoteknik Özellikleri. IV. Kıyı Mühendisliği Ulusal Sempozyumu, ss.429-442, 24-27 Ekim, Antalya.
- Dipova, N. ve Cangir, B. 2017. Probabilistic seismic hazard assessment for the two layer fault system of Antalya (SW Turkey) area. *Sismoloji Dergisi*, 21, ss.1067-1077.
- Everett, M.E. 2013. Near-Surface Applied Geophysics. Cambridge Üniversitesi Yayınları, Cambridge.
- Idriss I. M. 1990. Response of soft soil sites during earthquakes. Proceedings of the Symposium to Honor Professor Harry Bolton Seed, Berkeley Kaliforniya, 2, ss. 273-289.
- Idriss, I.M. ve Sun, J.I. 1992. SHAKE91: A Computer Program for Conducting Equivalent Linear Seismic Response Analyses of Horizontally Layered Soil Deposits User's Guide. Kaliforniya Üniversitesi, Kaliforniya.

- Kanai, K.ve Tanaka, T. 1961. On Microtremors 8. Bulletin of the Earthquake Research Institute, Tokyo Üniversitesi, 39, ss. 97-114.
- Karavul, C., Kurnaz, T.F. ve Kıyak, A. 2007. Gölcük İlçesi (İzmit) Sismik Hız ve Mikrotremör Çalışmalarının Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ile Hazırlanan Haritalar Üzerinde İncelenmesi. Uluslararası Deprem Sempozyumu, Kocaeli.
- Kaptanoğlu, E. 2016. Antalya İli Alanya İlçesi Cumhuriyet Mahallesi 138, 905, 919, 935, 936, 937, 938, 939, 940, 941, 942, 943, 944, 945, 946, 947, 948, 949, 950, 951, 952, 953, 954, 955, 956, 957, 958, 959, 960, 961, 962, 963, 964, 965, 966, 967, 968, 969, 970, 971, 972, 973, 974, 975, 976, 1204, 1205, 1206, 1207, 1208, 1209, 1211, 1215, 1216, 1217, 1218, 1219, 1220, 1221, 1222, 1224, 1225, 1226, 1227, 1228, 1229, 1230, 1231, 1232, 1233, 1234, 1235, 1236, 1238, 2396 ve 2448 No'lu Adalar İle Sınırlandırılmış Bölgenin Deprem Risk Analizi Raporu. Antalya.
- Kramer, S.L. 1996. Geotechnical Earthquake Engineering. Prentice-Hall, ABD.
- Lermo, J., Rodriguez, M. ve Singh, S.K. 1988. Natural Period of Sites İn The Valley of Mexico from Microtremor Measurements and Strong Motion Data Earthquake Spectra. The Mexico City Earthquake of September, 19 1988.
- Mutlu, S. 2012. Sismik kırılma yöntemi ile mikrotremör ölçümlerinden elde edilen dinamik zemin parametrelerinin coğrafi bilgi sistemleri (CBS) kullanılarak haritalanması. Yüksek lisans tezi, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir, 126 s.
- Nakamura, Y., 1989. A Method for Dynamic Characteristics Estimation of Subsurface Using Microtremor On The Ground Surface. Quarterly Report of Railway Technology Research Institute, 30, ss. 25-33.
- Nazarian, S. ve Stokoe, K.H. 1984. In Situ Shear Wave Velocities from Spectral Analysis of Surface Waves. Dünya Deprem Mühendisliği Konferansı Bildirileri, 21-22 Temmuz, San Francisco, Kaliforniya.
- Omori, F. 1908. On Microtremors, Res. Imp. Earthquake Inv. Comm.. 2, ss. 1-6.
- Park, C.B., Miller, D.M. ve Xia, J. 1999. Multichannel Analysis of Surface Waves. Geophysics.
- Santo, T. 1959. Investigation Into Microseisms Using The Observational Data Many Stations İn Japan Bölüm 1: On Theorigins of Microseisms. Bulletin of the Earthquake Research Institute, Tokyo Üniversitesi, 37, ss.307-325.



- Schnabel, P.B., Lysmer, J. ve Seed, H.B. 1972. Shake: A Computer Program for Earthquake Response Analysis of Horizontally Layered Sites. Rapor No: UCB/EERC 72-12, Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi, Kaliforniya, Kaliforniya.
- Socco, L.V. ve Strobbia, C. 2004. Surface Wave Methods for Near-Surface Characterisation: A tutorial. Near Surface Geophysics. 2, ss.165-185.
- Stokoe, K.H., Wright, G.W., James, A.B. ve Jose, M. R. (1994). Characterization of geotechnical sites by SASW method, in Geophysical characterization of sites. ISSMFE Technical Committee 10, Oxford Yayınları.
- Tekebaş, S. 2010. Yalova İli Zemin Tepki Fonksiyonlarının Mikrotremör Verileri İle Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, İstanbul.
- Tokgöz, O.E. 2002. Bolu ve Yakın Çevresinde Mikrotremör Verileri ile Yer Etkisinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Ankara.
- Tuncel, A. 2008. Sismik Kırılma Yöntemi ve Mikrotremör Ölçümlerinden Elde Edilen Dinamik Zemin Parametrelerinin Karşılaştırılması. Yüksek lisans tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.
- Xia, J., Miller, R.D., ve Park, C.B. 1999. Estimation of Near Surface Shear Wave Velocity by Inversion of Raleigh Waves. Geophysics, 64(3), ss. 691-700.
- Yamanaka, H., Dravinski, M., Kagami, H. 1993. Continuous Measurements of Microtremors on Sediments and Basement in Los Angeles. Kaliforniya, 83, ss.1595-1609.
- Anonim 1: <http://kyhdata.deprem.gov.tr> [Son erişim tarihi: 20.07.2019].
- Anonim 2: <https://www.turkiye.gov.tr/afad-turkiye-deprem-tehlike-haritalari>  
[Son erişim tarihi: 20.07.2019].
- Anonim 3: <https://www.google.com.tr/intl/tr/earth/> [Son erişim tarihi: 20.07.2019].
- Anonim 4: <https://seismosoft.com/product/seismosignal/> [Son erişim tarihi:20.07.2019].

## ÖZGEÇMİŞ

**NEZİHA ATAR**  
neziheatar@hotmail.com



### ÖĞRENİM BİLGİLERİ

Yüksek Lisans 2015-2019	Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Antalya
Lisans 2011-2015	Akdeniz Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Antalya

### MESLEKİ VE İDARİ GÖREVLER

İnşaat Mühendisi 2015-Devam Ediyor	Geçit Proje Alanya, Antalya
---------------------------------------	--------------------------------