

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**KTÜ YERLEŞKESİNDE MİKROTREMOR YÖNTEMİ İLE ZEMİN
ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Jeofizik Müh. Yasemin BEKER

**HAZİRAN 2011
TRABZON**

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

KTÜ YERLEŞKESİNDE MİKROTREMOR YÖNTEMİ İLE ZEMİN
ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Jeofizik Müh. Yasemin BEKER

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
"JEOFİZİK YÜKSEK MÜHENDİSİ"
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 20.05.2011
Tezin Savunma Tarihi : 15.06.2011

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Nilgün SAYIL

Trabzon 2011

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalında

Yasemin Beker tarafından hazırlanan

**KTÜ YERLEŞKESİNDE MİKROTREMOR YÖNTEMİ İLE ZEMİN
ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ**

**başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 24 / 05 / 2011 gün ve 1406 sayılı
kararıyla oluşturulan jüri tarafından 15 / 06 / 2011 tarihinde yapılan sınavda**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan : Doç. Dr. Nilgün SAYIL

Üye : Yrd. Doç. Dr. Fadime SERTÇELİK

Üye : Yrd. Doç. Dr. Fatma GÜLTEKİN

Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ

Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

Yerleşim alanlarının hakim peryod ve zemin büyütme haritalarının oluşturulması sağlıklı bir yapılaşma için büyük önem taşır. Yerleşim alanları için öncelikli olarak riskli bölgeler belirlenmiş olur. Ayrıca her türlü yapının proje ve tasarım aşamasında, zemin hakim peryodunun bilinmesi yıkılmaya sebep olan rezonans olayından kaçınmaya olanak sağlar. Mühendislik sismolojisi çalışmalarında kullanılan mikrotremor yöntemi, dinamik zemin parametrelerinin ve değişimlerinin belirlenebilmesinde oldukça önemli bir yer tutmaktadır. Mikrotremor ölçümleri ile elde edilen yatay ve düşey bileşen gürültü kayıtları arasındaki oran, ölçü alınan noktanın altındaki zeminin hakim frekansı ve büyütme faktörü ile ilişkilidir.

Bu çalışma Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır. Bu çalışmada; Karadeniz Teknik Üniversitesi kampus alanında 75 noktada alınan mikrotremor kayıtlarından bölgeye ait hakim peryod, hakim frekans ve büyütme haritaları hazırlanmıştır.

Bu tez çalışmasının her aşamasıyla yakından ilgilenen, bilgi ve birikimleriyle her zaman yanımda olan değerli hocam ve tez danışmanım Doç. Dr. Nilgün SAYIL' a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Katkılarından dolayı sayın hocalarım Yrd. Doç. Dr. Fatma GÜLTEKİN ve Yrd. Doç. Dr. Hakan ÇINAR'a ve tüm hocalarıma teşekkürü bir borç bilirim. Arazi aşamasındaki yardımlarından dolayı kuzenim Burak AYDIN'a, değerli arkadaşlarım Ayşe AKTAŞ, Meltem ERBAŞ, Hamdi ALKAN, Zeynep ÖĞRETMEN, Ebru KARLANKUŞ, Arş. Gör. Mustafa ŞENKAYA'ya ve tezin yazımı sırasında yardımlarını esirgemeyen değerli arkadaşlarım Arş. Gör. Recep GÜNEY ve Arş. Gör. Suna ALTUNDAŞ'a teşekkür ederim.

Ayrıca, yaşamımın her evresinde ve tez çalışmam süresince maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen sevgili aileme gönülden teşekkür ederim.

Yasemin BEKER
Trabzon 2011

TEZ BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “KTÜ Yerleşkesinde Mikrotremor Yöntemi İle Zemin Özelliklerinin Belirlenmesi” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Doç. Dr. Nilgün SAYIL’ın sorumluluğunda tamamladığımı, verileri kendim topladığımı, analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 20/05/2011

Yasemin BEKER

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ	III
TEZ BEYANNAMESİ	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	VII
SUMMARY	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ	IX
TABLolar DİZİNİ.....	XII
SEMBOLLER DİZİNİ.....	XIII
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş	1
1.2. Daha Önce Yapılan Çalışmalar	2
1.3. Mikrotremorların Genel Özellikleri	8
1.3.1. Mikrotremorların Tanımı	7
1.3.2. Mikrotremorları Oluşturan Dalgalar	9
1.3.3. Mikrotremorların İstatistiksel Özellikleri	10
1.3.4. Mikrotremorların Güç Spektrumu	12
1.3.5. Mikrotremorların Zamana Göre Değişimi	14
1.3.6. Mikrotremorların Konumsal Değişimi	15
1.4. Zemin Büyütmesi, Zemin Hakim Peryodu ve Zemin Transfer Fonksiyonu	22
1.5. Mikrotremor Ölçüm Yöntemleri	24
1.5.1. ReMi Yöntemi (Kırılma-Mikrotremor, Refraction-Mikrotremor)	24
1.5.2. Frekans-Dalga Sayısı (F-K) Yöntemi.....	25
1.5.3. Uzaysal Özilişki (SPAC) Yöntemi.....	26
1.5.4. Genişletilmiş Uzaysal Özilişki (ESPAC) Yöntemi	29
1.6. Tek İstasyon Mikrotremor Kayıtlarının Değerlendirilmesi İçin Kullanılan Yöntemler	30
1.6.1. Fourier Genlik veya Güç Spektrumlarının Yorumlanması.....	30
1.6.2. Referans İstasyonuna Göre Spektral Oranlar Yöntemi	32
1.6.3. Yatay/Düşey Spektral Oran Yöntemi (Nakamura Yöntemi, H/V)	33

1.6.4. Sıfır Kesme Yöntemi (Kanai Yöntemi)	36
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR	38
2.1. İnceleme Alanının Jeolojisi	38
2.1.1. Stratigrafi.....	38
2.1.2. Tektonik.....	39
2.2. Kullanılan Ölçüm Cihazı ve Özellikleri	39
2.3. İnceleme Alanında Yapılan Mikrotremor Ölçümleri	41
2.4. Mikrotremor Verilerinin Nakamura Tekniği ile Değerlendirilmesi.....	44
3. ARAŞTIRMA BULGULARI	49
3.1. Nakamura Yöntemine Göre En Büyük Genliklerin Değerlendirilmesi	49
3.2. Spektral Oranlara Göre Zemin Sınıflarının Belirlenmesi	55
3.3. Büyütme Analizi	62
3.4. Hakim Peryod ve Hakim Frekans Analizi	66
3.5. S Dalga Hızı Dağılım Haritasının Oluşturulması.....	70
4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	73
5. KAYNAKLAR	77
6. EKLER	85
ÖZGEÇMİŞ	

Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

KTÜ YERLEŞKESİNDE MİKROTREMOR YÖNTEMİ İLE ZEMİN
ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Yasemin BEKER

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Doç. Dr. Nilgün SAYIL
2011, 84 Sayfa, 43 Ek

Mühendislik sismolojisi çalışmalarında kullanılan mikrotremor yöntemi, dinamik zemin parametrelerinin ve değişimlerinin belirlenebilmesinde oldukça önemli bir yer tutmaktadır. Yatay ve düşey bileşen mikrotremor kayıtlarının frekans içeriğinin belirlenmesine dayanan yöntem, dinamik zemin parametrelerinin kestiriminde oldukça hızlı ve ekonomik sonuçlara ulaşılmasını sağlar. Tek istasyon yöntemi olarak tanımlanan Nakamura yönteminin en büyük avantajı referans noktası gerektirmeyen, sismik yoğunluğun az olduğu veya temel kaya'nın bulunmadığı alanlarda kolayca uygulanabilmesidir. Bu çalışmada KTÜ kampus alanının zemin hakim frekansı, zemin hakim periyodu ve büyütme parametrelerinin belirlenmesi amacıyla oluşturulan profillerde CMG-6TD geniş-band hız ölçen üç bileşen sismometre ile alınan mikrotremor kayıtlarına Nakamura tarafından geliştirilen H/V yöntemi uygulanmıştır. İnceleme alanındaki her bir ölçüm noktası için hakim frekans, hakim periyod ve büyütme değerleri belirlenmiştir. Elde edilen değerler kullanılarak inceleme alanına ait büyütme haritası, hakim frekans haritası ve hakim periyodlara göre zemin sınıfı (Z_1 , Z_3 , Z_4) haritası oluşturulmuştur. Mikrotremor ölçümlerinin alındığı profiller üzerinde daha önce bu alan için yapılmış olan sismik kırılma ölçümlerinden belirlenen S-dalga hızı verileri mikrotremorlardan bulunan sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. KTÜ kampus alanının geneli için mikrotremor ölçüm noktalarına ait hakim periyod ve büyütme değerleri birbirini desteklemekte ve ölçüm noktaları buldukları zeminin özelliğini iyi bir şekilde yansıtmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Mikrotremor, Yer Büyütmesi, Hakim Periyod, Hakim Frekans, Nakamura (H/V) Yöntemi

Master Thesis

SUMMARY

DETERMINATION OF SITE CHARACTERISTICS WITH THE MICROTREMOR
METHOD AT THE KTU CAMPUS

Yasemin BEKER

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Geophysics Engineering Graduate Program
Supervisor: Assoc. Prof. Nilgün SAYIL
2011, 84 Pages, 43 Appendix

Microtremor method used for engineering seismology is very important for determining of dynamic ground parameters and its variations. Method based on frequency of horizontal and vertical component microtremor records provides to quick and economical estimation of dynamic ground parameters. Most important advantage of Nakamura method defined as single station method isn't required reference point and it can be applied easily in the area with low seismic density and without base rock. In this study, Nakamura (H/V) method has been applied to microtremor records taken with CMG-6TD three component broad band velocity seismometers in each profile with the aim of determining ground predominant period and magnification parameters of KTU campus area. The ground predominant period, ground predominant frequency and magnification values are determined for each measurement point in the study area. Maps of magnification, predominant frequency and ground classification (Z_1 , Z_3 , Z_4) according to the predominant period are created by derived values. S-wave velocity data found by prior seismic refraction measurements in the same area are compared with results of microtremor measurement.

The ground predominant period and magnification values belongs to microtremor measurement point are support to each other and measurement point is substantially describe to the ground characteristic for global of KTU campus area.

Key Words: Microtremor, Ground Magnification, Predominant Period, Predominant Frequency, Nakamura (H/V) Method

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.	10 dakikalık mikrotremor kaydı ve genlik histogramı.....	11
Şekil 2.	İlk 10 saniyelik kısım için mikrotremor kayıtlarının özilişki katsayıları.....	12
Şekil 3.	Yerküre üzerinde 75 ayrı noktada ölçülmüş mikrotremor gözlem noktaları	13
Şekil 4.	75 noktada hesaplanan güç spektrumları.....	13
Şekil 5.	OB85B alanında kullanılan 10 istasyonun dizilim geometrisi	14
Şekil 6.	Birbirine yakın 10 istasyonda 6 farklı zamanda alınan 45 dakikalık mikrotremor kayıtlarına ait güç spektrumları.....	15
Şekil 7.	Gece ve gündüz arasındaki mikrotremorların genlik ilişkileri	16
Şekil 8.	Gece ve gündüz arasındaki mikrotremorların peryod ilişkileri	16
Şekil 9.	(a) Yatay bileşen mikrotremor genliğinin zamanla değişimi (b) zamanla değişken kaynak içeren mikrotremor kayıtlarının yatay bileşen (KG: kuzey-güney) Fourier Genlik Spektrumları	17
Şekil 10.	Tabata bölgesindeki mikrotremor kayıtlarının (a) hız genliklerinin zamanla değişimi (b) baskın frekanslarının zamana göre dağılımları	18
Şekil 11.	Mikrotremor gözlemlerinin yapıldığı istasyonlar (HKD, OYF).....	19
Şekil 12.	Oyafuru (OYF) istasyonundan elde edilen üç bileşen mikrotremor kayıtları	20
Şekil 13.	OYF istasyonunda 17.08.1984 saat 21:00'da (üstteki) ve 23.08.1984 saat 6:00'da (alttaki) kaydedilen üç bileşen mikrotremor kayıtları	21
Şekil 14.	15 günlük bir zaman aralığında HKD ve MIS istasyonlarında gözlenen mikrotremorların düşey (D) ve doğu-batı (DB) bileşenlerinin güç spektrumu ..	21
Şekil 15.	HKD ve MIS istasyonlarında gözlenen mikrotremorların düşey (D) ve doğu-batı (DB) bileşenlerin gece ve gündüz ortalama güç spektrumları.....	22
Şekil 16.	(a) SPAC yöntemi için kurulan dört istasyon dizilimi (b) R yarıçaplı dairesel dizilim üzerinde çok sayıdaki istasyon konumları.....	27
Şekil 17.	SPAC yönteminde kullanılan farklı dizilim türleri.....	28
Şekil 18.	Mikrotremorların güç spektrumları (düz çizgi) ile transfer fonksiyonunun (kesikli çizgi) karşılaştırılması.....	31
Şekil 19.	Mikrotremorların güç spektrumu, kuvvetli yer hareketi güç spektrumu, matematik model ile hesaplanan transfer fonksiyonu.....	31
Şekil 20.	Mikrotremor sinyallerini oluşturan bileşenler	32
Şekil 21.	Nakamura (1989) tarafından mikrotremor ölçümlerini açıklamak için önerilen basit model.....	33

Şekil 22.	Kuvvetli yer hareketi ile mikrotremorlara ait spektral oranların ve genlik spektrumlarının karşılaştırılması.....	35
Şekil 23.	Mikrotremorların frekans-peryod dağılımları	36
Şekil 24.	(a) ortalama peryod ile en büyük peryod arasındaki ilişkiye göre zemin sınıflaması (b) baskın peryod ile en büyük genlik arasındaki ilişkiye göre zemin sınıflaması	37
Şekil 25.	İnceleme alanı ve yakın çevresinin jeoloji haritası	38
Şekil 26.	(a) GÜRALP marka CMG-6TD üç bileşen geniş band hız ölçen sismometre (b) ölçü düzeni	40
Şekil 27.	Güralp CMG-6TD sismometrenin tepki spektrumu	40
Şekil 28.	Arazide mikrotremor kayıtlarının alınmasında kullanılan üç bileşen CMG-6TD hız ölçen sismometre, GPS, akü ve bilgisayar.....	41
Şekil 29.	KTÜ kampus alanında 6 profil için belirlenen mikrotremor ölçüm noktaları....	43
Şekil 30.	Veri İşlem Akış Şeması	44
Şekil 31.	(a) ham veri (b) trend etkisi giderilmiş, süzgeç uygulanmış ve kenarlarından %10 tıraşlanmış üç bileşen mikrotremor kaydı	45
Şekil 32.	1. profilin 4. ölçüm noktası için pencere boyu seçimi: (a) 10 (b) 20 (c) 25 (d) 40 sn uzunluğundaki pencere boyları için çizdirilen H/V spektral oranlar ..	46
Şekil 33.	Çözümlemede kullanılmak üzere üç bileşen mikrotremor verisinden seçilen 25 sn'lik pencereler	47
Şekil 34.	6. profilin 7. ölçüm noktasına ait mikrotremor kaydının üç bileşen genlik spektrumu	47
Şekil 35.	(a) yuvarlatma uygulanmamış (b) Konno&Ohmachi penceresi ile yuvarlatılmış mikrotremor kaydının H/V spektral oran grafikleri.....	48
Şekil 36.	KTÜ kampus alanında yapılan mikrotremor ölçümlerinden 1. profilin (a) 1 (b) 3 (c) 5 (d) 11 (e) 16. ölçüm noktasına ait H/V oran spektrumları.....	50
Şekil 37.	KTÜ kampus alanında yapılan mikrotremor ölçümlerinden 2. profilin (a) 8 (b) 9 (c) 10 ölçüm noktasına ait H/V oran spektrumları	51
Şekil 38.	KTÜ kampus alanında yapılan mikrotremor ölçümlerinden 3. profilin (a) 5 (b) 13. ölçüm noktasına ait H/V oran spektrumları	51
Şekil 39.	KTÜ kampus alanında yapılan mikrotremor ölçümlerinden 4. profilin (a) 8 (b) 9 (c) 10 (d) 12. ölçüm noktasına ait H/V oran spektrumları	52
Şekil 40.	KTÜ kampus alanında yapılan mikrotremor ölçümlerinden 5. profilin (a) 1 (b) 8. ölçüm noktasına ait H/V oran spektrumları	52
Şekil 41.	KTÜ kampus alanında yapılan mikrotremor ölçümlerinden 6. profilin (a) 1 (b) 2 (c) 3 (d) 5 (e) 7. ölçüm noktasına ait H/V oran spektrumları.....	53
Şekil 42.	(a) 1. profilin 15. ölçüm noktasına ait üç bileşen mikrotremor kaydının (b) 3. profilin 2. ölçüm noktasına ait üç bileşen mikrotremor kaydının ortalama H/V spektral oranı ve genlik spektrumları	54

Şekil 43.	6 profilde alınan 75 noktadaki mikrotremor kayıtlarından elde edilen H/V spektral oranlar kullanılarak oluşturulan KTÜ kampus alanına ait büyütme haritası	63
Şekil 44.	KTÜ kampus alanı için 75 noktadaki mikrotremor ölçümlerinden belirlenen hakim peryodlar ve her bir noktaya ait büyütme değerleri kullanılarak oluşturulan zemin sınıfı haritası.....	65
Şekil 45.	KTÜ kampus alanı için Nakamura H/V oran tekniği sonucu hesaplanan hakim peryod değerleri kullanılarak Kanai ve Tanaka'nın (1961) yaptığı sınıflandırmaya göre oluşturulan zemin sınıfı haritası.....	68
Şekil 46.	6 profilde alınan 75 noktadaki mikrotremor kayıtlarından elde edilen H/V spektral oranlar kullanılarak oluşturulan KTÜ kampus alanına ait hakim frekans haritası.....	69
Şekil 47.	KTÜ kampus alanı için oluşturulan S-dalga hızı dağılım haritası.....	72

TABLolar DİZİNİ

Sayfa No

Tablo 1. Kanai yönteminde kullanılan zemin sınıflaması.....	37
Tablo 2. Mikrotremor ölçümlerinin değerlendirilmesi sonucu elde edilen 1.profile ait hakim frekans, hakim periyod, büyütme ve zemin sınıfı değerleri.....	56
Tablo 3. Mikrotremor ölçümlerinin değerlendirilmesi sonucu elde edilen 2.profile ait hakim frekans, hakim periyod, büyütme ve zemin sınıfı değerleri.....	57
Tablo 4. Mikrotremor ölçümlerinin değerlendirilmesi sonucu elde edilen 3.profile ait hakim frekans, hakim periyod, büyütme ve zemin sınıfı değerleri.....	58
Tablo 5. Mikrotremor ölçümlerinin değerlendirilmesi sonucu elde edilen 4.profile ait hakim frekans, hakim periyod, büyütme ve zemin sınıfı değerleri.....	59
Tablo 6. Mikrotremor ölçümlerinin değerlendirilmesi sonucu elde edilen 5.profile ait hakim frekans, hakim periyod, büyütme ve zemin sınıfı değerleri.....	60
Tablo 7. Mikrotremor ölçümlerinin değerlendirilmesi sonucu elde edilen 6.profile ait hakim frekans, hakim periyod, büyütme ve zemin sınıfı değerleri.....	61
Tablo 8. Vs Hızı-Yersel birim türü ilişkisi.....	70
Tablo 9. Zemin sınıflarından beklenen periyod, büyütme, Vs hız aralıkları.....	71

SEMBOLLER DİZİNİ

a	: Ortalama genlik
A	: Daire merkezi
$A_S(\omega)$: Kaynak etkisi
b	: Düzeltme sabiti
BFM	: Işın Biçimlendirme Yöntemi
c	: Faz hızı
DB	: Doğu-Batı
dk	: Dakika
E(f)	: Kaynak etkisi
ESPAC	: Genişletilmiş Uzaysal Özilişki
f	: Frekans
FFT	: Hızlı Fourier Dönüşümü
F-K	: Frekans-Dalga sayısı
GCF	: Güralp sıkıştırılmış format (Guralp Compressed Format)
GPS	: Küresel Yer Hareketi Sistemi
h	: katman kalınlığı
H_B	: Yüzey tabakasının tabanındaki hareketin yatay bileşeni
HKD	: Hokkaido
H_S	: Yüzeydeki hareketin yatay bileşeni
H/V	: Yatay/Düşey Spektral Oran
Hz	: Hertz
KG	: Kuzey-Güney
km	: Kilometre
KTÜ	: Karadeniz Teknik Üniversitesi
m	: Metre
MIS	: Misumai
mkine	: 10^{-5} metre/saniye
MLM	: Maksimum Olasılık Yöntemi
m/sn	: Metre/saniye
OYF	: Oyafuru

p-f	: Yavaşlık-frekans
P(f)	: Dalga yolu etkisi
r	: Yarıçap
R(f)	: Genlik spektrumu
$R_B(\omega)$: Yüzey tabakasının tabanındaki hareketin Düşey/Yatay bileşen oranı
ReMi	: Kırılma-Mikrotremor (Refraction-Microtremor)
$R_S(\omega)$: Yüzeydeki hareketin yatay bileşeninin düşey bileşene oranı
s	: Standart sapma
s^2	: Standart sapmanın karesi
S(f)	: Zemin etkisi
$S_E(\omega)$: Gözlem noktasındaki transfer fonksiyonu
$S_M(\omega)$: Yer etkisi
sn	: Saniye
SPAC	: Uzaysal Özilişki
SSO	: Standart Spektral Oran
SV	: S dalgasının düşey düzlemdeki bileşeni
T	: Etkin titreşim periyodu
V	: Volt
V/m/s	: Volt/metre/saniye
V_B	: Yüzey tabakasının tabanındaki hareketin düşey bileşeni
V_i	: Hız
V_S	: Yüzeydeki hareketin düşey bileşeni
V_s	: S-dalga hızı
Z	: Zemin tabakasının kalınlığı
μHz	: Mikrohertz
x	: Bessel fonksiyonunun yatay eksen değeri
ω	: Açısal frekans

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Aktif deprem kuşağında yer alan ülkemizde günümüze kadar meydana gelen depremlerden kaynaklanan ağır hasar ve kayıpların temelinde, zayıf zeminler üzerinde bilinçsizce gerçekleştirilen çarpık kentleşmeler yer almaktadır. Bu sorunun üstesinden gelebilmek, olabilecek can ve mal kayıplarını en aza indirmek için özellikle deprem riski yüksek bölgelerde yer tepkisinin ve fiziksel parametrelerinin haritalanması oldukça önemli bir yer tutmaktadır. Yeryüzünde hiçbir olay durağan olmadığı gibi yeryüzünün kendisi de durağan değildir, sürekli hareket halindedir. Yeryüzündeki bu hareket, açığa çıkan enerjiye göre veya oluşan titreşimlerin genliklerinin büyüklüğüne göre çeşitlilik gösterir. Zeminin deprem gibi dinamik kuvvetler altındaki davranışı, küçük alanlarda bile hasarın yer yer farklı boyutlarda oluşmasını sağlayabilir. Bu farklılığın oluşmasında ki ana unsur; farklı jeolojik birim içinde yayılan deprem dalgalarının genliğinin ortama bağlı olarak büyümesidir. Bilindiği gibi depremlerde yapının oturduğu zeminin sallanması durumunda mühendislik yapısı da sallanmaktadır. Mühendislik yapısı ile oturduğu yapının periyodunun birbirine yakın olması durumunda girişim (rezonans) oluşur ve girişim sonucunda mühendislik yapısının salınım genliği sonsuza doğru büyür ve hasar görür. Deprem tehlikesi üzerine yapılan çalışmalar, sismik kuvvetlerin yapılar üzerindeki etkilerinin oldukça çeşitli olduğunu göstermiştir. Bunların bazıları neredeyse tamamen hasarsızken, diğerleri ciddi hasarlara sebep olmaktadır. Bu durum yapıların sismik tepki özelliklerindeki farklılıklardan dolayı meydana gelir. Ayrıca, bu yapıları taşıyan zeminlerin deprem sırasındaki davranışları da birbirinden farklı olabilmektedir. Bundan dolayı, yüzey tabakalarının özelliklerini anlamamanın deprem zararlarının analizinde önemli bir inceleme konusu olduğu söylenebilir (Nakamura, 1989).

Deprem öncesi ve sonrası zemin davranışı ile deprem sırasında zemin-yapı etkileşimi hakkında bilgi sahibi olmak amacıyla yapılan ve mühendislik sismolojisi çalışmalarında kullanılan mikrotremor yöntemi, doğruluk ve güvenilirlik açısından son yıllarda sıklıkla kullanılmaya başlanmış, kolay uygulanabilirliği sayesinde jeofizik yöntemler içerisinde önemli bir konuma gelmiştir. Yerel zemin etkilerinin belirlenmesinde en çok kullanılmak istenen veri türü deprem kayıtlarıdır. Bu şekilde zemin koşullarının etkisi deprem kayıtları

üzerinde doğrudan doğruya görülebilir. Ancak bu işlem hem uzun zaman alır hem de yüksek maliyet gerektirir. Ayrıca sismik etkinliği düşük olan bölgeler için de uygun değildir. Yüzey tabakalarının dinamik özellikleri dikkate alındığında kuyu araştırmaları elbette çok doğru bilgi verecektir. Ancak geniş bir alan üzerindeki yüzey tabakası özelliklerini anlamak için çok sayıda kuyu ölçümü yapılmalıdır. Kuyu araştırmaları çok maliyetli olmasının yanında fazla sayıda insan gücü ve çok zaman gerektirdiği için uygun bir araç değildir. Diğer bir veri grubu sondaj, sismik veya özdirenç çalışmaları ile elde edilen geoteknik parametrelerdir. Bu çalışmalarında maliyeti yüksektir. Buna karşın mikrotremor veya ivmeölçer gibi aletlerle gürültü verileri çok kısa zamanda ve çok küçük bir bütçe ile kolayca toplanabilir (Alptekin ve Yalçınkaya, 2001).

Mühendislik sismolojisi çalışmalarında kullanılan mikrotremor yöntemi, dinamik zemin parametrelerinin ve değişimlerinin belirlenebilmesinde oldukça önemli bir yer tutmaktadır. Baskın salınım periyodu ve zemin büyütmesi gibi parametrelerin, zemin esneklik özellikleri ile yer-yapı salınım periyodunun belirlenmesinde mikrotremor yönteminin kullanımı, hem arazi çalışmalarında kolaylık sağlaması hem de güvenilir sonuç vermesi yönünden son yıllarda oldukça yaygınlaşmıştır. Yatay ve düşey bileşen mikrotremor kayıtlarının frekans içeriğinin belirlenmesine dayanan Nakamura yöntemi, dinamik zemin parametrelerinin kestiriminde oldukça hızlı ve ekonomik sonuçlara ulaşılmasını sağlar. Nakamura yönteminin en büyük avantajı referans noktası gerektirmeyen bir yöntem olarak, sismik yoğunluğun az olduğu veya temel kayanın bulunmadığı alanlarda kolayca uygulanabilen bir yöntem olmasıdır.

Bu çalışmada Karadeniz Teknik Üniversitesi kampus alanının zemin yapısını belirlemek amacıyla, Nakamura tarafından geliştirilen yatay/düşey (H/V) oran yöntemi kullanılarak zemin büyütmesi ve zemin hakim frekansı belirlenmiş, buna göre inceleme alanının zemin sınıflandırılması yapılmıştır.

1.2. Daha Önce Yapılan Çalışmalar

Mikrotremorlara ilişkin ilk çalışmalar Omori (1908) tarafından yapılmıştır. Omori (1908), mikroseismler (periyodu 2 saniyeden daha büyük titreşimler) üzerine çalışmış ve Ewing ve diğ. (1957), bu tip titreşimlerin kaynağı, okyanusal dalga yolundaki iletim mekanizması, kıtasal kabuktaki etkisi ve kıtasal kabuktaki yayılım türü gibi mikroseism problemlerinin çözümünü araştırmıştır. 1960'lı yıllardan bu yana pek çok araştırmacı

mikrotremorların spektral özellikleri ile zeminin dinamik davranışları arasındaki ilişkileri araştırmışlardır (Kanai ve Tanaka, 1954, 1961; Kanai ve diğ., 1965; Aki, 1957; Kanai, 1966; Kanai ve diğ., 1966; Ohta ve diğ., 1978; Iruka ve Kawanaka, 1980; Kanai, 1983; Horike, 1985; Kobayashi ve diğ., 1986; Lermo ve diğ., 1989; Field ve diğ., 1990; Sato ve diğ., 1991; Finn, 1991; Hough ve diğ., 1992; Guitierrez ve Singh, 1992; Field ve Jacob, 1993; Lermo ve Chavez-Garcia, 1994; Lachet ve Bard, 1994; Costa ve diğ., 1996; Bard, 1998; Mucciarelli, 1998; Delgado ve diğ., 2000; Ojeda ve Escallon, 2000; Fah ve diğ., 2001; Bodin ve diğ., 2001; Rodriguez ve Midorikawa, 2002; Mirzaoğlu ve Dikmen, 2003).

Zeminlerin dinamik özelliklerini belirlemek amacıyla mikrotremor yönteminin mühendislik uygulamaları ilk olarak Kanai ve diğ. (1954), Kanai ve Tanaka (1961) tarafından yapılmıştır. Bu amaçla, Kanai ve Tanaka (1961) yüzlerce noktada aldığı mikrotremor ölçümlerinden 2 dakikalık pencereler alarak frekans-peryod dağılımlarını incelemiştir. Kanai ve Tanaka (1961) tarafından elde edilen frekans-peryod dağılımlarına göre elde edilen sonuçlar şu şekilde sıralanabilir:

- Basit jeolojik yapılarda, frekans-peryod dağılım eğrisinden elde edilen keskin doruk yaklaşık 0.1-0.6 sn aralığındadır.
- Jeolojik birimin karmaşık olması halinde frekans-peryod dağılım eğrisinde, birden fazla doruk noktası gözlenmektedir. Bu doruk noktasından biri 0.2 sn'den daha düşük peryodlarda, diğeri ise 1 sn'den daha büyük peryodlarda görülmektedir.
- Yüksek bölgelerde (dağ) alınan ölçülerde doruk nokta 0.1-0.2 sn arasında iken dilüvyal birimlerde doruk noktalar 0.2-0.4 sn arasındadır. Buna karşın alüvyon birimlerde frekans-peryod dağılım eğrisi düzensiz ve doruk değerleri 0.4-0.8 sn aralığında gözlenir. Alüvyon kalınlığı artmasıyla frekans-peryod dağılım eğrisi düz ve peryod aralığı 0.05-2 sn arasında değişmektedir.

Kanai ve Tanaka (1961), mikrotremorların frekans-peryod dağılımlarına dayanarak Japon Bina Kodu'nu geliştirmiş ve dört farklı zemin grubu belirlemiştir.

Gençoğlu ve Ayhan (1974), İzmit'te yaptıkları mikrotremor çalışmasında 45 noktada mikrotremor ölçümü alarak zeminin dinamik parametrelerini belirlemiş ve zemin sınıflaması yapmışlardır. Bu araştırmacılar, o dönem çoğunlukla kullanılan Kanai'nin (1952) sınıflamasını ve Medvedev (1962) tarafından önerilen yöntemi uygulayarak bölgenin baskın peryod haritasını oluşturmuşlardır.

Yurdatapan ve Stheisberg (1974), eski Sovyetlerde gerçekleştirdikleri sismik mikrobölgelendirme çalışmasında, baskın peryodun ve büyütmenin önemini belirtmişlerdir.

Udwadia ve Trifunac (1973), mikrotremorların zemin büyütmesinde kullanılabilirliğini belirlemek amacıyla California deprem kayıtları ile mikrotremor kayıtlarını karşılaştırmış ve kuvvetli yer hareketi kayıtları ile mikrotremor kayıtları arasında zayıf bir ilişki olduğunu gözlemlemişlerdir. Mikrotremor verilerinin yorumlanmasındaki en büyük sorun kaynağın belirsizliğidir. Diğer taraftan, mikrotremorlar 5-10 dakikalık süreçte durağan iken gün boyutunda bu özellik geçerli değildir. Udwadia ve Trifunac'a (1973) göre bir noktadaki mikrotremor ölçümü, o noktaya ait transfer fonksiyonundan ziyade kaynak fonksiyonu hakkında bilgi vermektedir.

Kagami ve diğ. (1982) ile Yamanaka ve diğ. (1994), oldukça kalın tabakalardaki uzun peryodlu mikrotremorları incelemişlerdir. Ana kaya derinliği ile mikrotremorların Fourier spektrumları arasında sistematik bir ilişki olduğunu belirlemişlerdir. Kagami ve diğ. (1986), San Fernando Vadisi'nde yaptıkları çalışmalarda yer büyütme etkisini Referans noktasına göre spektral oran yöntemi ile hesaplamışlar ve belirlenen sonuçların bölgenin jeolojisi ile tutarlı olduğunu saptamışlardır.

Aki (1988), mikrotremor kayıtlarını kullanarak frekans bağımlı zemin büyütmesini incelemiş, mikrotremor gözlemlerinin yorumunda en büyük sorunun farklı yerde farklı kaynakların bulunması nedeniyle kaynak ile zemin etkisinin birbirinden ayrılamamasına dikkat çekmiştir. Bu inceleme sonucunda, bir nokta için ortak kaynak ve dalga yolu kullanılmasından dolayı birbirine yakın noktaların genlik büyütme etkilerinin koda dalgaları ile daha güvenilir bir şekilde belirlenebileceğini göstermiştir.

Seo ve diğ. (1989), deprem kayıtları ile ivme kayıtlarını karşılaştırmak amacıyla Ashigara-Japonya havzasında ölçümler yaparak yer dinamik tepkisinin değişimini incelemiştir. 1989 Chiba depremini kaya üzerinde ve zeminde ayrı ayrı istasyonlarda gözlemlemiş ve bu noktalarda mikrotremor kayıtları da alarak karşılaştırmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, kayada gözlenen deprem kaydına ait spektrum, bağıl olarak düz iken zeminde 0.5 sn'de bir doruk vermiştir. Böylece mikrotremor kayıtlarından hareketle bir yerin sismik büyütmesinin belirlenmesinin güvenilir olmayacağını göstermiştir.

Nakamura (1989), yaptığı çok sayıda mikrotremor gözlemlerinde 30 dakikalık kayıtlar kullanarak kültürel etkilerin (tren geçmesi) Fourier spektrumunu ne ölçüde değiştirdiğini incelemiştir. Nakamura (1989) yaptığı mikrotremor ölçümleri ile değişken kaynakların doruk peryodları üzerindeki etkilerini incelemiştir.

Bour ve diğ. (1998), sismik mikrobölgeleme çalışmalarında mikrotremor kayıtlarının kullanımını üzerine Güney Fransa'da yaklaşık 60 km²'lik bir alan için toplam 137 adet

mikrotremor kaydı almışlardır. Bu çalışmada, Nogoshi (1978) ve Nakamura (1989) yöntemini kullanarak mikrotremor kayıtlarından elde ettikleri sonuçları, zemin profillerinden belirlenen analiz sonuçları ile karşılaştırmışlardır. Mikrotremor verilerinden elde edilen hakim titreşim frekanslarının, analizler sonucu elde edilen titreşim frekansları ile uyumlu olduklarını, ancak büyütme faktörü açısından aynı durumun söz konusu olmadığını görmüşlerdir. Mikrotremor yöntemiyle belirledikleri büyütme faktörleri diğer yöntemlerle elde edilenlere göre daha büyük değerde çıkmıştır. Büyütme açısından iki yöntem arasındaki farkın ana kaya üzerinde yer alan örtü kalınlığı ile ilişkili olduğunu savunan araştırmacılar, örtü tabakası kalınlığının 10 m'den daha az olması halinde iki yöntem arasındaki farkın kapanarak hemen hemen eşitlendiğini gözlemlemişlerdir. Buna karşın, örtü tabakası kalınlığının 10 m'den fazla olduğu durumlarda ise mikrotremor kayıtlarından elde edilen büyütme faktörünün %50 daha büyük olduğunu görmüşlerdir. Sonuç olarak, mikrotremor yönteminin zeminlerin hakim titreşim frekansını belirlemede etkin, pratik ve kolay uygulanabilir bir yöntem olduğunu ortaya koymuşlardır.

Mucciarelli (1998), Nakamura tekniğinin güvenilirliği ve uygulanabilirliği üzerine bir çalışma yaparak, farklı deney koşullarında elde ettiği mikrotremor sonuçlarını değerlendirmiştir. Buna göre ölçümler sırasında ivme ölçerlerin yerine sismometrelerin kullanılmasını önermiştir. Ölçümlerde rüzgar, yağmur gibi iklim etkileri olumsuzluklar yaratırken trafik gürültüsünün bir problem oluşturmayacağına dikkati çekmiştir. Bu nedenle Nakamura tekniği ile oldukça güvenilir ve tutarlı sonuçlar elde edilebileceğini açıklamıştır.

Ibs-Von ve Wohlenberg (1999), Batı Rhine Embayment'te (Almanya) aldıkları mikrotremor ölçümlerinde Nakamura yöntemini kullanmışlardır. Bu bölgede yapılan sondaj verileri yardımıyla bölgesel bir bağıntı oluşturmuşlardır ve böylece gevşek zemin tabakasının hakim frekansının yanı sıra, kalınlığını da belirlemişlerdir. Onlarca metreden binlerce metreye kadar Nakamura yönteminin kullanılabilirliğini ortaya koymuşlardır.

Delgado ve diğ. (2000), Bajo Segura Vadisi'nde alınan 33 adet mikrotremor kaydından Nakamura yöntemi ile baskın frekansları hesaplamışlardır. Belirlenen baskın frekansları ve 23 kuyu verisinden belirlenen değerleri kullanarak oluşturdukları bölgesel bağıntı ile gevşek zemin kalınlığını hesaplamışlardır.

Ojeda ve Escallon (2000), yapmış oldukları çalışmada zeminlerin hakim periyodunun belirlenmesinde kuvveti yer hareketi kayıtları ile mikrotremor kayıtlarının kullanımını karşılaştırmışlardır. Nakamura yöntemi kullanılarak hesaplanan hakim periyodun güçlü ve

zayıf dalga kayıtlarından elde edilen sonuçlarla benzer olduğunu savunmuşlardır. Mikrotremor kayıtlarından elde edilen sonuçların bölgenin tipik dinamik davranışlarının belirlenmesinde oldukça başarılı olduğunu belirtmişlerdir. Bu yüzden mikrotremor kayıtlarının, yerleşim alanları için mikrobölgelendirme çalışmalarında kullanılmasının son yıllarda oldukça önem kazandığını ortaya koymuşlardır.

Çetinel (2003) mikrotremor verilerine Nakamura Yöntemi ve Referans Noktasına göre oran yöntemi uygulayarak İzmit ve civarının zemin özelliklerini belirlemiştir.

Mukhopadhyay ve Bormann (2003), mikrotremor verilerinin sismik tehlike bölgelendirmeleri için en hızlı, etkili ve ekonomik yöntem olduğunu savunmuşlardır. Delhi civarında alınan 75 adet mikrotremor ölçümünde, mevcut zeminlerin dinamik davranışlarında etkili olan rezonans frekansı değerleri 0.6-4.6 Hz aralığındadır. Alüvyal zeminlerde elde edilen rezonans frekansı değerleri kayalık bölgelere oranla daha düşük seviyelerdedir. Mikrotremor yönteminden elde edilen verilerin deprem ve zemin yapı verileri ile karşılaştırıldığında aralarında uyumlu bir ilişki olduğunu tespit etmişlerdir.

Nguyen ve diğ. (2004), Belçika için yapılan mikrotremor kayıtları ve tek boyutlu sayısal analiz sonuçlarına göre bölgesel sismik yer tepkilerini değerlendirerek elde edilen sonuçların 1938 Belçika depremi şiddet dağılımı üzerindeki etkilerini açıklamıştır. 1938 depremi ile ilgili önceki çalışmalarda, hasar dağılımında bölgenin sahip olduğu jeolojik yapının önemli bir rol oynadığı belirtilmiş ve temel üzerinde yer alan Mesozoyik ve Senozoyik yaşlı yumuşak sedimanların dinamik davranışları üzerine çalışmalar yapmıştır. Bunun için Nakamura (1989) tarafından önerilen üç bileşenli mikrotremor ölçümlerini kullanmıştır. Elde edilen sonuçlar sadece hakim frekansın bulunmasıyla sınırlandırılmış olup, hakim titreşim periyodu örtü kalınlığının artmasına paralel olarak yükselmiştir. Belçika'da hakim titreşim periyodunun güneyden kuzeye doğru sistematik bir şekilde arttığını belirten yazar bu durumun 1938 depremi hasar dağılımı ile de uyumlu olduğunu ve sismik tehlike çalışmalarında bölgesel jeolojik yapının mutlaka gözönünde bulundurulması gerektiğini belirtmiştir.

Dikmen ve Mirzaoğlu (2005), Bursa-Yenişehir yerleşim alanında mikrotremor ölçümlerinden yola çıkarak hazırlanmış oldukları sismik mikrobölgelendirme çalışmalarında elde ettikleri sonuçları değerlendirmişlerdir. Araştırmacılar çalışma alanı için hakim titreşim periyodu ve sismik büyütme haritası oluşturmuşlardır. Bu haritalara göre çalışma alanının güney ve kuzeyinde daha yüksek hakim titreşim periyodu ve sismik büyütme değerleri elde edilmiştir. Bu durumun oluşmasında havzanın sahip olduğu topografik yapı

etkili olmuştur. Mikrotremor sonuçlarından elde edilen büyütme ve hakim titreşim periyodlarının vadi ve düzlüklere göre tepe ve sırtlarda daha yüksek olduğu görülmüştür. Daha önce konu ile ilgili yapılmış çalışmalarda da belirtildiği gibi araştırmacılar, Nakamura yönteminin sismik tehlikenin değerlendirilmesinde hızlı, basit ve ekonomik bir yöntem olduğunu savunmuşlardır. Brambati ve diğ. (1980), Çelebi (1987, 1991), Aki (1989), Facioli'de (1991) mikrotremor verilerini kullanarak yüzey topoğrafyasının sismik büyütme üzerindeki etkisini incelemişlerdir.

Karabulut (2005), “Büyükçekmece ilçesinde mikrotremor verileriyle mikrobölgeleme çalışmaları” adlı çalışmasında bölgede yapılan mikrotremor, sismik kırılma, sondaj ve laboratuvar verileriyle mikrobölgeleme yapmıştır.

Beker (2007), KTÜ kampus alanı içerisinde aldığı üç bileşen ivme kayıtlarına Nakamura (H/V) tekniğini uygulayarak KTÜ kampusu içerisindeki deprem istasyonlarının konumları için gürültü analizleri yapmış ve zemin özelliklerini belirlemiştir.

Ankara Etimesgut Şeker Fabrikası arazisinde dairesel dizilimle ivmeölçerler kullanılarak, pasif kaynaklı Uzaysal Özilişki (SPAC) yöntemi ile Rayleigh dalgası dispersiyon eğrisi Ekincioğlu (2007) tarafından hesaplanmıştır. Bir-boyutlu modellere ait P, S-dalga hızları, tabaka kalınlıkları ve yoğunlukları verilerek hızlı delta dizey yöntemi ile Rayleigh dalgası dispersiyon eğrileri elde edilmiştir. Parametre değişimine göre dispersiyon eğrisi değişimleri incelenmiş ve hangi parametrelerin dispersiyon eğrisini etkilediği belirlenmiştir.

Sarıca (2008) tarafından yapılan “Isparta İl Merkezi Mikrobölgeleme Analizi” adlı çalışmada Isparta İl merkezinde tek istasyon mikrotremor ölçümü yapılmış ve kayıtların analizi için Nakamura tekniği kullanılmıştır. Değerlendirme sonucu elde edilen bulgular ile bölgenin jeolojisi ve sismik yapısını yansıtan verilerin birbiriyle uyumlu olduğu gözlenmiştir. Bu uyum Nakamura yönteminin benzer bölgeler için uygulanabilir ve aynı zamanda etkili bir yöntem olduğunu göstermektedir.

1.3. Mikrotremorların Genel Özellikleri

1.3.1. Mikrotremorların Tanımı

Yüzey tabakaları genellikle doğal kaynaklar (fırtına, deniz dalgaları) ve yapay kaynaklarla (bitkiler, otomobil, tren vs...) titreşim açığa çıkarırlar (Nakamura, 1989). Mikrotremorlar, farklı kaynaklardan yayılan yeryüzündeki sürekli titreşimlerdir. Bu titreşimlerin genlikleri 0.1-1 mikron arasında, periyodları ise 0.05-2 sn arasında değişir. Mikrotremorların kaynağı da çeşitlilik gösterir. Araştırmacılara göre mikrotremorlar doğal kaynaklı çevresel titreşimler veya insan aktivitesi sonucu oluşurlar. 0.1-1 sn arası periyodlardaki mikrotremorların, rüzgar, trafik, tren ve diğer endüstriyel aktivitelerle oluştuğu, orta periyodlu (0.3-0.5 Hz ve 1 Hz arasında) mikrotremorların deniz dalgalarının kıyıdaki yayılımından kaynaklandığı, daha uzun periyodlu hareketlerin ise atmosferdeki alçak basınç-okyanus etkileşmesi ile ilgili olduğu belirtilmiştir. Bu tür mikrotremorlar 6-8 saniyelik periyodlarla yayılırlar ve çok uzaklara ulaşabilirler. Okyanusların oluşturduğu titreşimler 12 sn, durağan dalgaların oluşturduğu periyodlar ise 6 saniyede maksimum verir. Bütün bu etkenler yeryüzünde titreşim olarak algılanabilir. Mikrotremorların en önemli özelliği, bu tür titreşimlerin noktadan noktaya belirgin değişimler göstermesidir. Bu değişimler ölçülen yerin jeolojik özellikleri ile ilişkilidir.

1 saniye ve altındaki (1 Hz üzeri) periyodlarda ve kültürel kaynaklarca (trafik, insan faaliyetleri, ...vb. gibi) oluşturulan titreşimlere kısa periyodlu titreşimler buna karşın, 1 saniye ve üzerindeki (1 Hz altı) periyodlarda ve doğal olaylarca (okyanusal gel-gitler, rüzgar ve atmosferik değişimler, ...vb. gibi) oluşturulan titreşimlere uzun periyodlu titreşimler denilir. Kimi araştırmacılar 0.01–0.5 sn periyod aralığındaki titreşimleri kısa periyod, 0.5–1 sn periyod aralığındaki titreşimleri orta periyod ve 2 saniyeye kadar olan titreşimlere de uzun periyod derken, 2 sn üzerindeki titreşimleri ‘mikroseism’ olarak adlandırmaktadır (Dikmen, 2006).

Genel olarak mikrotremorlar, cisim ve yüzey dalgalarının girişimi ile oluşur ve enerjisinin büyük bir kısmı yüzey dalgası olarak yayılır (Toksöz ve Lacoss, 1968). Mikrotremorların içerdiği cisim ve yüzey dalgaları çeşitli mekanizmalarla zamansal ve uzaysal rastgele kaynaklar tarafından oluşur ve değişik jeolojik birimlerde ilerlerler. Sonuç olarak, mikrotremor kayıtları basit matematiksel işlemlerle tanımlanamayan çok karmaşık bir dalga formuna sahiptirler. Böylece belli bir zaman ve konumda mikrotremorların

genlikleri kestirilemez. Bu aslında stokastik (rastgele) bir olaydır. Şöyle ki mikrotremorların genliği belirsiz ve tekrarlanamazdır (Okada, 2003).

1.3.2. Mikrotremorları Oluşturan Dalgalar

Mikrotremor gözlemleri zemin koşullarının etkilerinin saptanmasında yaygın olarak kullanılır (Bour ve diğ., 1998). Mikrotremor kayıtları, mikrotremorların zamansal ve uzaysal, çok değişken ve düzensiz doğal titreşimler olduğunu ortaya koymuştur. Bununla birlikte, elastisite teorisine göre mikrotremorlar cisim ve yüzey dalgalarından oluşurlar (Toksöz ve Lacoss, 1968). Mikrotremor kaynaklarının çoğu deniz tabanı veya yer yüzeyi üzerindeki hareket olarak tanımlanabilir. Bundan dolayı yüzey dalgaları, cisim dalgalarına göre mikrotremorların baskın bileşeni olarak düşünülür. Bu yüzey dalgaları çeşitli mekanizmalarla ve çeşitli jeolojik birimlerde yayılmalarına göre zamansal ve uzaysal duyarlıkta rastgele oluşurlar. Doğal olarak, mikrotremorlar sadece cisim ve yüzey dalgalarından değil, aynı zamanda saçılan ve kırılan dalgaları da içeren elastik dalgaların çok karmaşık biçimde bir araya gelmesinden oluşurlar (Okada, 2003).

Başlangıçta araştırmacılar mikrotremorların tanımı hakkında farklı görüşleri savunmuşlardır. Kanai ve Tanaka (1961), mikrotremorların zemin tabakalarındaki S dalgasının tekrarlı yansımaları sonucunda ortaya çıktığını belirtmiştir. Kanai (1983) mikrotremorların düşey düzlemde polarize olmuş S dalgalarından oluştuğu kabulü ile yapmış olduğu çalışmalar sonucunda deprem kayıtları ile benzerlikler yakalamıştır. Ancak, bu yaklaşım diğer araştırmacılar tarafından kabul görmemiştir (Aki, 1957; Nogoshi ve Igarashi, 1971; Irikura ve Kawanaka, 1980; Horike, 1985; Matsushima ve Okada, 1990; Milana ve diğ., 1996; Chouet ve diğ., 1998). Aki (1957), mikrotremorların kaynağının büyük bölümünün yüzey dalgalarından oluştuğunu ortaya koymuştur. Rodriguez ve diğ. (2000), deprem verileri ve mikrotremor kayıtlarından yer etkisini belirledikleri çalışmalarında mikrotremorları f-k spektrası kullanarak incelemişler ve mikrotremorların ağırlıklı olarak Rayleigh dalgası içerdikleri sonucuna varmışlardır. Mikrotremorların ağırlıklı olarak Rayleigh dalgası nedeniyle oluştuğu sonucuna varan araştırmaların sayısı da oldukça fazladır.

Nogoshi ve Igarashi (1971) çalışmalarında mikrotremorlardan elde edilenlerle Rayleigh dalgalarının H/V (yatay/düşey) değerlerini karşılaştırmışlar ve mikrotremorların çoğunlukla Rayleigh dalgalarından oluştuğu sonucuna varmışlardır. H/V deki dorukların

ana mod Rayleigh dalgasıyla açıklanabileceğini içeren bazı kuramsal çalışmalar yapılmıştır (Lachet ve Bard, 1994; Konno ve Ohmachi, 1998; Bard, 1998). Eğer bu yaklaşımın doğru olduğu düşünülürse mikrotremorun sadece Rayleigh dalgasından oluştuğu düşünülebilir. Diğer taraftan, Nogoshi ve Igarashi'nin (1971) çalışmasında verilen örnekler dikkatlice incelenirse açıkça görülebilir ki Rayleigh dalgasının H/V oranının pik yaptığı (maksimum) frekansında Rayleigh dalga enerjisi çok küçüktür, neredeyse sıfırdır. Rayleigh dalgası H/V oranının en küçük olduğu (minimum) frekans civarında maksimum enerjiye sahiptir. Bundan dolayı, mikrotremorun H/V oranlarının pik (maksimum) değeri Rayleigh dalga enerjisiyle açıklanamaz. Nakamura (1989) tarafından açıklandığı gibi, pik frekans aralığında mikrotremorun H/V'si düşey gelen SH dalgasıyla açıklanabilir.

Genel olarak rüzgar, deniz dalgaları, insan aktivitelerinin neden olduğu (trafik, endüstriyel makineler vs.) yüzeysel kaynakların yüzey dalgaları ürettikleri, buna karşın derin kaynaklı etkilerin (küçük yer sarsıntıları, volkanik hareketler vs.) neden olduğu titreşimlerin ise düşey doğrultulu cisim dalgaları olarak yayıldıkları kabul edilmektedir.

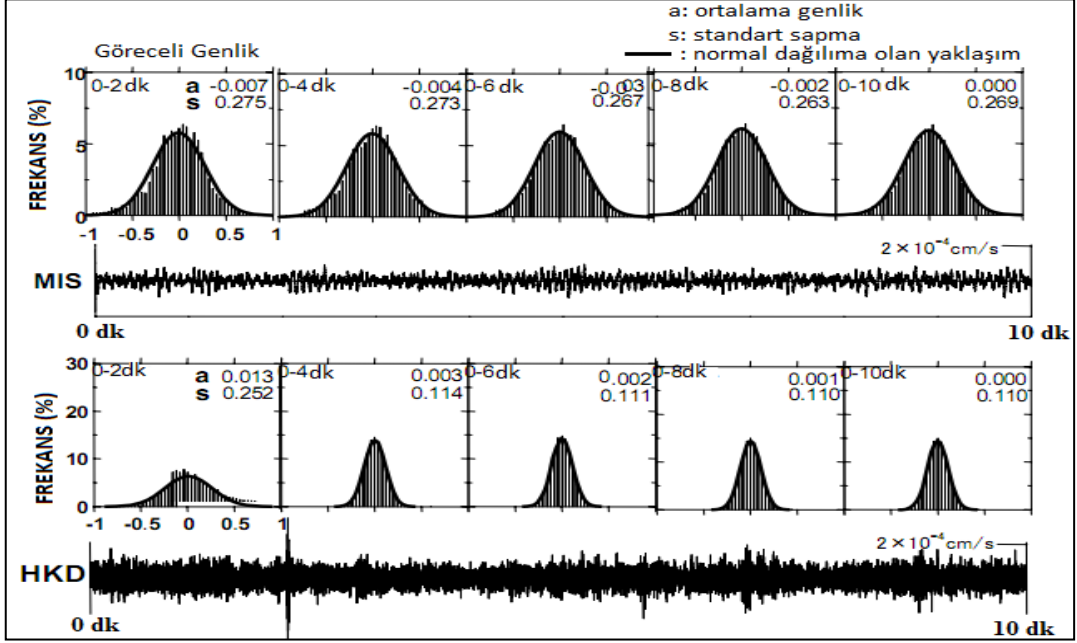
1.3.3. Mikrotremorların İstatistiksel Özellikleri

Mikrotremorların genliğinin stokastik (rastgele) değiştiği fikri bir olasılık problemi olarak tanımlanabilir. Bu olasılık, mikrotremorların genliğinin olasılık yoğunluk fonksiyonu veya olasılık dağılım fonksiyonunu tanımlayabilir (Okada, 2003).

Nogoshi ve Igarashi (1970) mikrotremorların genliklerinin frekans dağılımlarının, örnek sayısının artmasıyla normal bir dağılıma yaklaştığını göstermiştir. Sakaji (1998) HKD ve MIS istasyonlarında toplanan çok sayıda mikrotremor verisini kullanarak, çeşitli koşullar altında bunu tekrar incelemiştir. Sakaji (1998) mikrotremorların stokastik bir değişim gösterdiğini ve bu değişimin Özilişki fonksiyonu olarak mikrotremorların olası frekans dağılımlarının hesaplanmasıyla mikrotremorların zamansal kararlılığının incelenmesine katkıda bulunmuştur. Şekil 1.'de düşey bileşen mikrotremor verilerinden frekans dağılımının hesabı gösterilmiştir. Her bir histogramın sağ üst köşesinde bulunan a ortalamayı ve s standart sapmayı göstermektedir. a ortalama değeri 10 dakikalık aralıktaki ortalama genlikteki standart sapmayla ifade edilir. a ve s değerleri çok küçük değişimler gösterir.

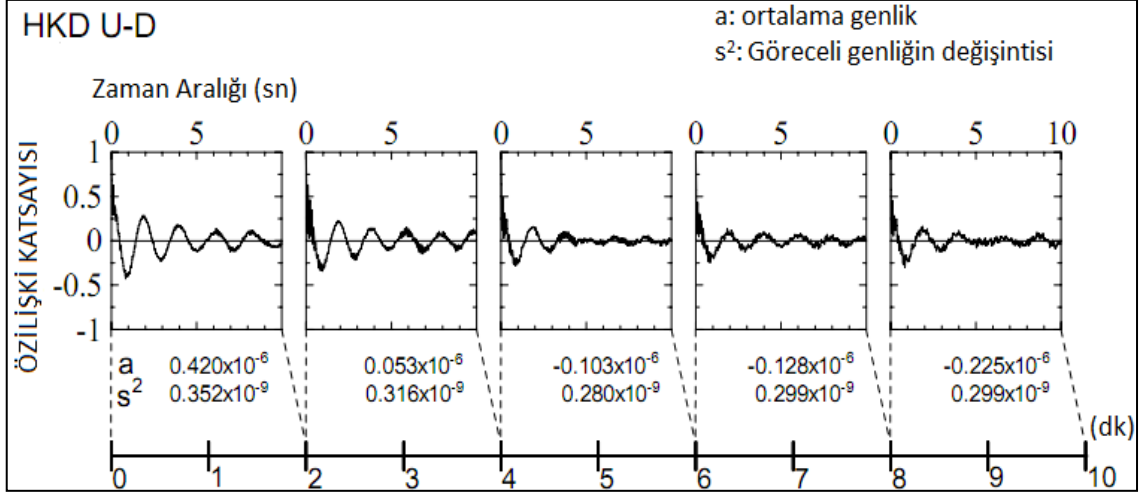
Histogramlar üzerine çizilen eğriler her bir kolonda gösterilen ortalama ve standart sapmaya bağlı olarak normal dağılımın olası frekans fonksiyonunu temsil etmektedir. Bazı

karışıklıklar MIS’ de alınan mikrotremor kaydının ilk 2 dakikalık kısmında gözlenmesine karşın MIS ve HKD’de alınan kayıtlar örnekleme aralığının artırılmasıyla frekans dağılımının düzleştiğini ve histogramlardaki sıklık dağılımının verinin uzunluğu 4 dakikayı aştığında normal dağılıma yaklaştığını göstermiştir (Okada, 2003).



Şekil 1. 10 dakikalık mikrotremor kaydı ve genlik histogramı (Eğri, histogramın normal dağılıma yaklaştığı kabul edilerek belirlenen olasılık yoğunluk fonksiyonudur)

Şekil 2.’de HKD istasyonunda ölçülen 10 dakikalık mikrotremor verisinin 2’şer dakikalık kısımlarına ait olan özilişki fonksiyonları gösterilmiştir. Genlikteki ortalama (a) ve standart sapmanın karesi (s^2 , değişinti) her bir grafikte gösterilmiştir. Ortalama genlik tüm 10 dakikalık veri setinden olan sapma olarak ifade edilir. Ortalama ve standart sapmanın karesinden olan değişim çok fazla değildir, hemen hemen sabit değerdedir. 10 dakikalık mikrotremor verisinden Şekil 1. ve Şekil 2.’de mikrotremorların genliğinin ortalaması, değişintisi ve özilişki fonksiyonlarının örnekleme aralığından bağımsız sabit değerde oldukları gösterilmektedir ve böylece mikrotremorların durağan stokastik bir süreç özelliği gösterdiği söylenebilir. Stokastik özellikteki mikrotremorlar farklı zamanlardaki veri için tekrarlanabilir. Bununla birlikte, 3 saatten daha uzun mikrotremor verileri için bu her zaman doğru değildir. Bu mikrotremorlardaki sabitliğin, 3 saatten daha uzun verilerde olmayacağını göstermektedir (Okada, 2003).

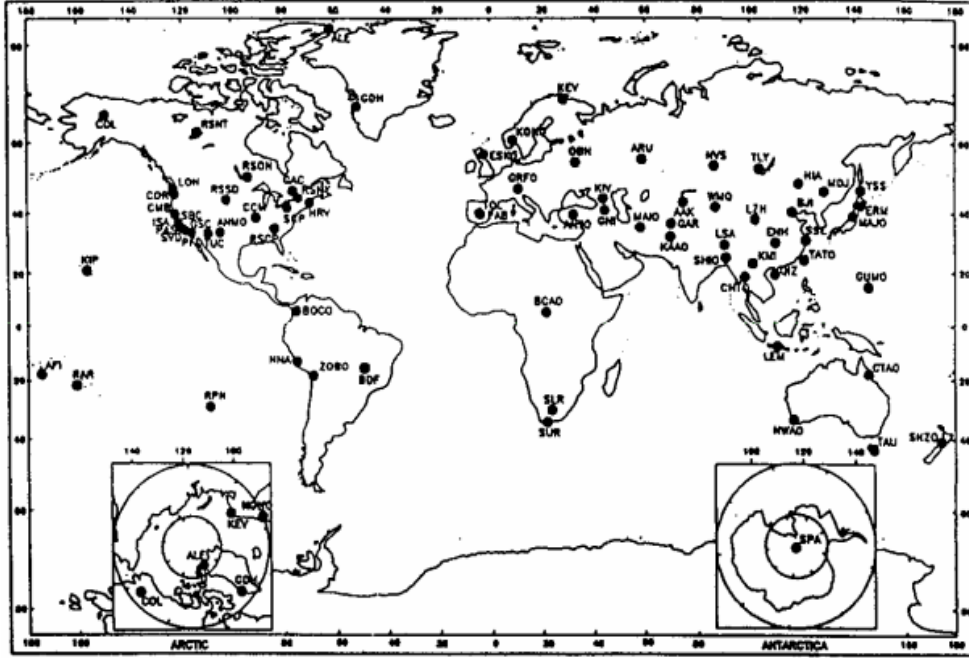


Şekil 2. İlk 10 saniyelik kısım için mikrotremor kayıtlarının özilişki katsayıları: 10 dakikalık bir kayıt 2 dakikalık kısımlar halinde beş parçaya bölünmüş ve her bir kısım için özilişki hesaplanmıştır (Okada, 2003).

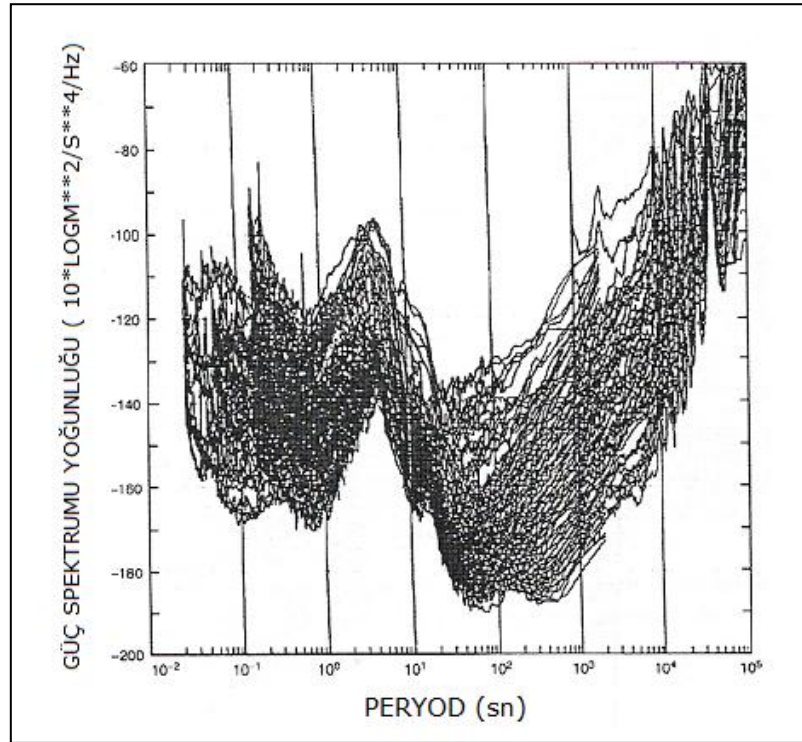
1.3.4. Mikrotremorların Güç Spektrumu

Kültürel gürültülerden oluşan ve periyodları 1 saniyenin altında olan mikrotremorlar hem genlik hem de periyod bakımından gece ve gündüz belirgin değışimler gösterir. Diğer yandan, periyodu 2 saniyenin üzerindeki doğal olaylardan kaynaklanan mikrotitreşimlerin gece ve gündüz değışimleri tamamen doğal olayların değışimine bağlıdır. 1 Hz'in altındaki frekanslarda mikrotremorlar atmosferik değışimlerle ters orantılıdır (Okada, 2003). Mikrotremorların güç spektrumları, düşük atmosferik basınç ile artmakta ve atmosferik basıncın minimum olduğu anda maksimum değeri vermektedir. 1 Hz ve üzeri frekanslarda atmosferik basıncın etkisi belirgin olarak gözlenememektedir. Bununla birlikte bu frekans bandında etkin kaynak kültürel gürültüdür.

1960'lı yıllarda mikrotremor spektrumlarının birbirine oldukça benzer olduğu düşünülmekteydi. Peterson (1993), bu benzerliği göstermek amacıyla yerküre üzerinde toplam 75 istasyonda ölçülen mikrotremor kayıtlarını kullanmıştır (Şekil 3). Bu güç spektrumları mikrotremorları ve dalga hareketlerini içeren yer titreşimlerinin düşey bileşenleri için hesaplanmıştır. Elde edilen güç spektrumları birbirleriyle şekilsel benzerlik göstermektedir (Şekil 4).



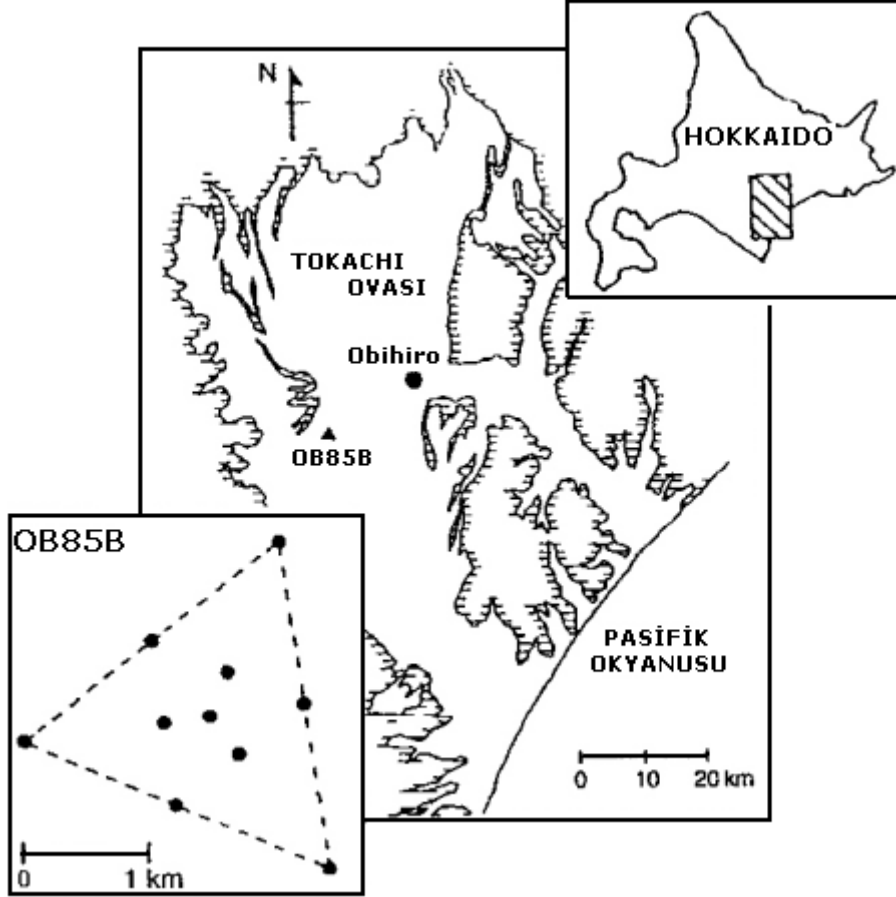
Şekil 3. Yerküre üzerinde 75 ayrı noktada ölçülmüş mikrotremor gözlem noktaları (Peterson, 1993).



Şekil 4. 75 noktada hesaplanan güç spektrumları (Peterson, 1993).

1.3.5. Mikrotremorların Konumsal Değişimleri

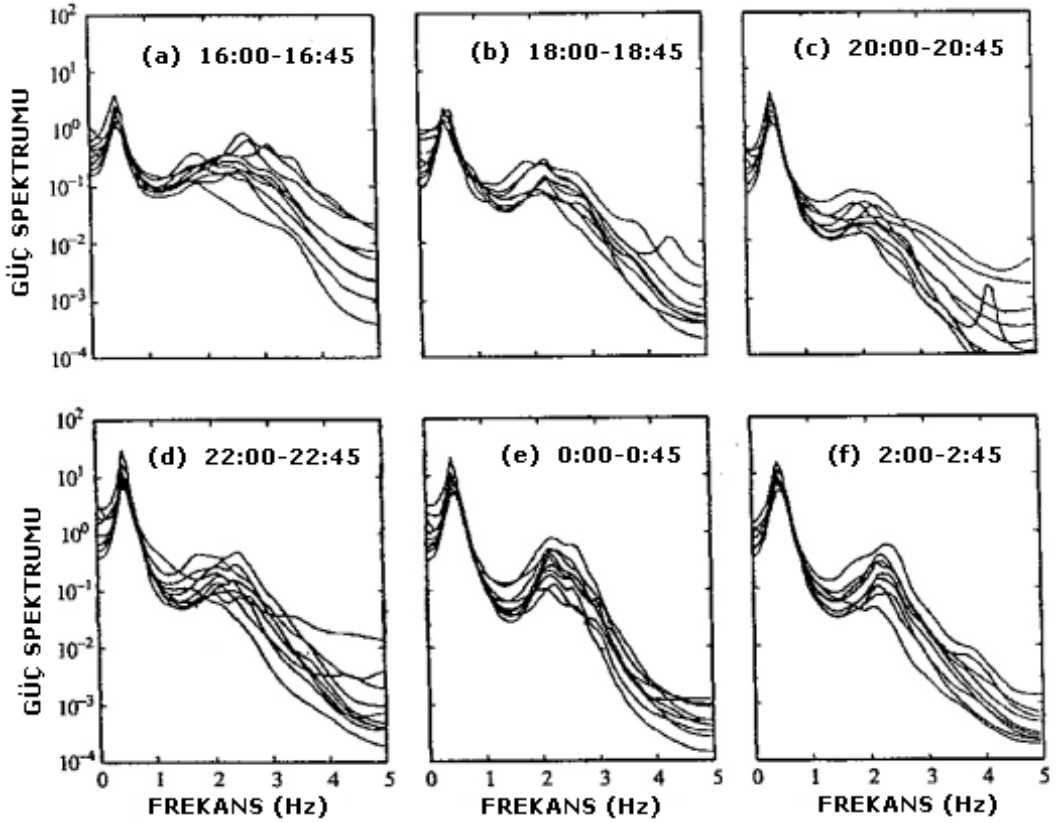
Mikrotremorların uzaklığa bağlı değişimlerini araştırmak için 1.5 km çapındaki bir alanda 10 istasyonda eş-zamanlı mikrotremor ölçümleri yapılmıştır (Şekil 5). Her bir istasyonda 45 dakikalık 6 ayrı kayıt 21 Temmuz 1985 saat 16:00'dan 22 Temmuz 1985 saat 02:00'a kadar alınmıştır (Okada, 2003).



Şekil 5. OB85B alanında kullanılan 10 istasyonun dizilim geometrisi (Okada, 2003).

Tüm kayıtların güç spektrumları şekilsel olarak birbirine benzerken 1.5 Hz ve üzeri bileşenler istasyondan istasyona farklılık göstermiştir (Şekil 6). Kayıtlardaki bu farklılığın mikrotremor kaynağının zamansal değişiminden ileri geldiği düşünülebilir. Diğer yandan bu farklılığın nedeni mikrotremorların konumsal durağanlık koşulunu sağlamadığı olarak ta görülebilir. Bununla birlikte istasyonların tümünde uzun periyodlu bileşenlerde (1 Hz'in altında) çok küçük farklılıkların gözlenmesi konumsal durağanlığın sağlanması olarak düşünülebilir.

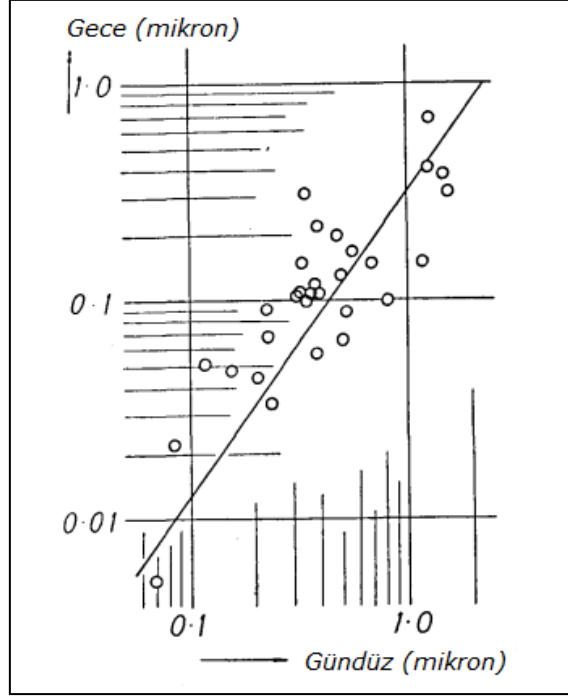
Sonuç olarak, mikrotremor enerjisinin bu band aralığında durağan olduğu söylenmiştir. 1.5 km konumsal ve 45 dakikalık bir zamansal boyutta 1 saniyeden daha kısa peryodlarda mikrotremorların spektral yapısı büyük ölçüde durağandır (Okada, 2003).



Şekil 6. Birbirine yakın 10 istasyonda 6 farklı zamanda alınan 45 dakikalık mikrotremor kayıtlarına ait güç spektrumları (Okada, 2003).

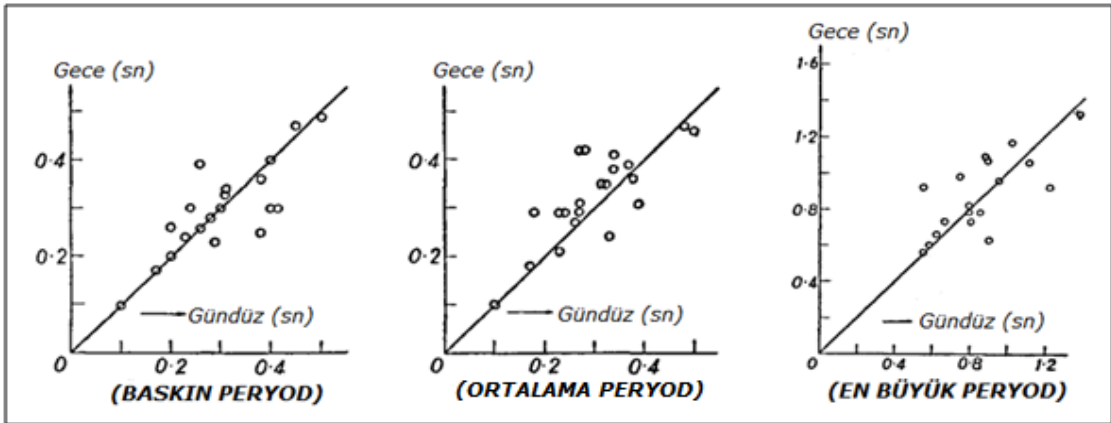
1.3.6. Mikrotremorların Zamana Göre Değişimi

Mikrotremor ölçümlerinin genlikleri çoğunlukla kayıt noktası civarındaki aktivite titreşimleri ile ilişkili olduğundan, gündüz saatlerinde yapılan ölçümlerde elde edilen genlikler, gece yapılanlara oranla daha yüksek değerlere sahiptir. Değişik bölgelerde gece ve gündüz saatleri boyunca tekrarlı olarak alınan kayıtlar göstermiştir ki gündüz saatlerindeki genlikler daha büyük değerlerdedir (Şekil 7) ve şehir içindeki genlikler kırsal alanlardaki genliklere oranla daha büyük değerler almaktadır.



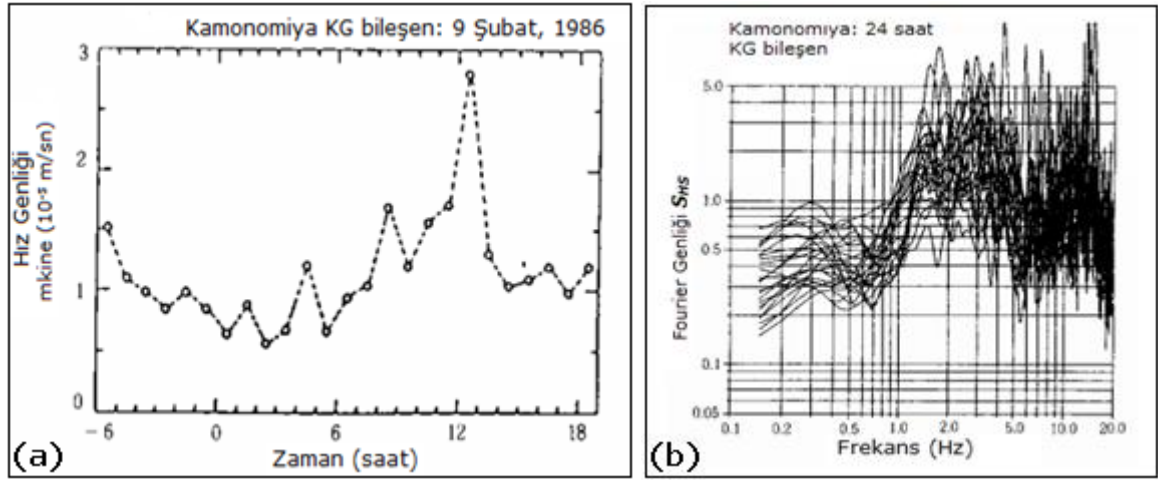
Şekil 7. Gece ve gündüz arasındaki mikrotremorların genlik ilişkileri (Kanai ve Tanaka, 1961).

Kanai ve Tanaka (1961) Japonya'da 30 noktada aldığı kayıtlar ile $Gece = 0.3 * (Gündüz)^{1.5}$ şeklinde deneysel bir formül tanımlamıştır. Şekil 8.'de bu noktalarda gece ve gündüz arasındaki baskın periyod, ana periyod ve en büyük periyod arasındaki ilişkiler gösterilmiştir. Mikrotremorların baskın, ana ve en büyük periyodları büyük ölçüde yüzeydeki titreşim özelliklerine bağlıdır ve zamanla yavaş bir değişim gösterirler.



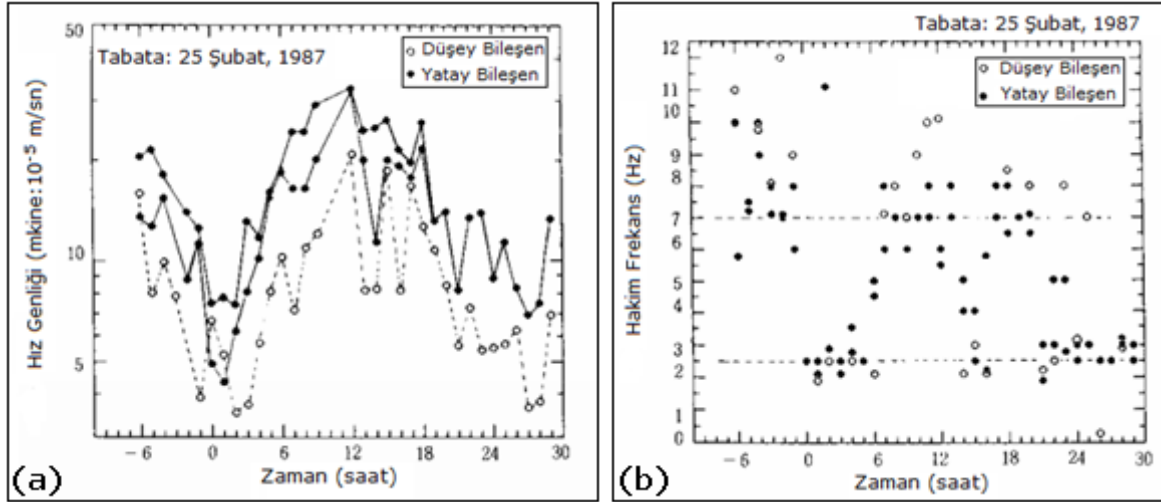
Şekil 8. Gece ve gündüz arasındaki mikrotremorların periyod ilişkileri (Kanai ve Tanaka, 1961).

Nakamura (1989), uzun süreli mikrotremor gözlemleri yaparak bu kayıtlara ait hız genliklerini incelemiştir. Gece 02:00-03:00 saatleri arasında genliklerin en küçük, öğle vakitlerinde ise en yüksek olduğu gözlenmiştir (Şekil 9a). Hız genliğinin değişim aralığı (maksimum ve minimum genlikler arasındaki oranın yaklaşık 4 katı kadar olan) $0.5-2$ m/sine (10^{-5} m/sn) civarındadır. Kamonomiya bölgesinde yapılan mikrotremor gözlemlerine ait Fourier Genliklerinin zamana göre düzensizlik gösterdiği ve yüzey tabakalarının hakim frekansının okunmasını zorlaştırdığı görülmektedir (Şekil 9b).



Şekil 9. (a) Yatay bileşen mikrotremor genliğinin zamanla değişimi (b) Zamanla değişken kaynak içeren mikrotremor kayıtlarının yatay bileşen (KG: Kuzey-Güney) Fourier Genlik spektrumları (Nakamura, 1989).

Tabata bölgesine ait mikrotremor kayıtlarının hız genliklerinin zamanla değişimi incelendiğinde özellikle gündüz saatlerinde alınan mikrotremor genliklerinin diğer saatlerdeki kayıtlara oranla belirgin biçimde büyük olduğu görülmektedir (Şekil 10a). Nakamura (1989), aynı bölgede aldığı 24 saatlik mikrotremor kayıtlarına ait genlik spektrumlarını üst üste çizdirerek her bir saatteki baskın frekansı zamanın fonksiyonu olarak grafikleştirmiştir (Şekil 10b).



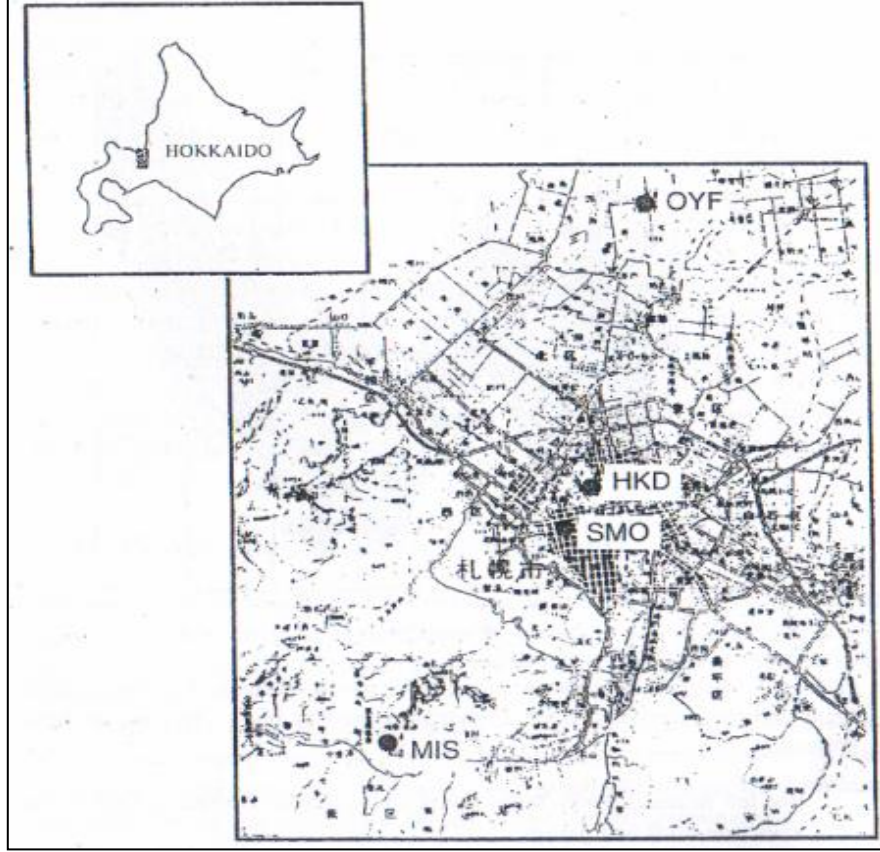
Şekil 10. Tabata bölgesindeki mikrotremor kayıtlarının (a) hız genliklerinin zamanla değişimi (b) baskın frekanslarının zamana göre dağılımları (Nakamura, 1989).

Şekil 10a.'da Kamonomiya'da olduğu gibi mikrotremorun hız genliği 02:00-03:00 saatleri arasında en küçük ve öğle saatlerinde en büyüktür. Diğer yandan, yatay bileşen hız genliği Kamonomiya'daki durumdan 10 kat daha büyük olan 5-30 m/s (10^{-5} m/s) arasında değişir. Maksimum ve minimum genliklerin oranı 6'dan daha büyüktür. Şekil 10b.'de ise baskın frekansın sakin zaman aralıklarında 2-3 Hz civarında yoğunlaştığı görülmektedir.

Nakamura (1989) tarafından yapılan benzer çalışmalar sonucunda mikrotremor kayıtlarının çevresel gürültüden oldukça fazla etkilendiği gözlenmiş ve yapay gürültülerin etkilerinden kaçınmak için kayıtların sosyal aktivitenin çok az veya tamamen sona erdiği zamanlarda (özellikle gece saatlerinde) alınması önerilmiştir.

Doğal titreşimler olan mikrotremorlar hem zamansal hem de konumsal değişim gösterir. Hokkaido bölgesinde yer alan Sappora şehri civarında 3 ayrı noktada yapılan mikrotremor ölçümleri bu duruma iyi bir örnektir. Ölçüm yapılan istasyon noktalarından birisi Oyafuru (OYF), ikinci istasyon Hokkaido Üniversitesi (HKD) yerleşkesinde ve üçüncü istasyon Toyama bölgesinde (Sappora'nın ilçesi) Misumai (MIS)'dir. OYF istasyonu kalın sedimanter havza üzerindedir (Şekil 11). Mikrotremor ölçümleri 7-19 Ağustos 1984 tarihleri arasında 12 gün süresince ve her 3 saatte bir 10 dakikalık ölçüler şeklindedir. İstasyon beton zemin üzerine kurulmuştur. HKD istasyonu yine OYF istasyonu gibi sedimanter havza üzerindedir. Bu istasyondaki ölçümler 4 Kasım-4 Aralık 1997 tarihinde yapılmış ve yine 3 saatte bir 10 dakikalık örnekler alınmıştır. İstasyon

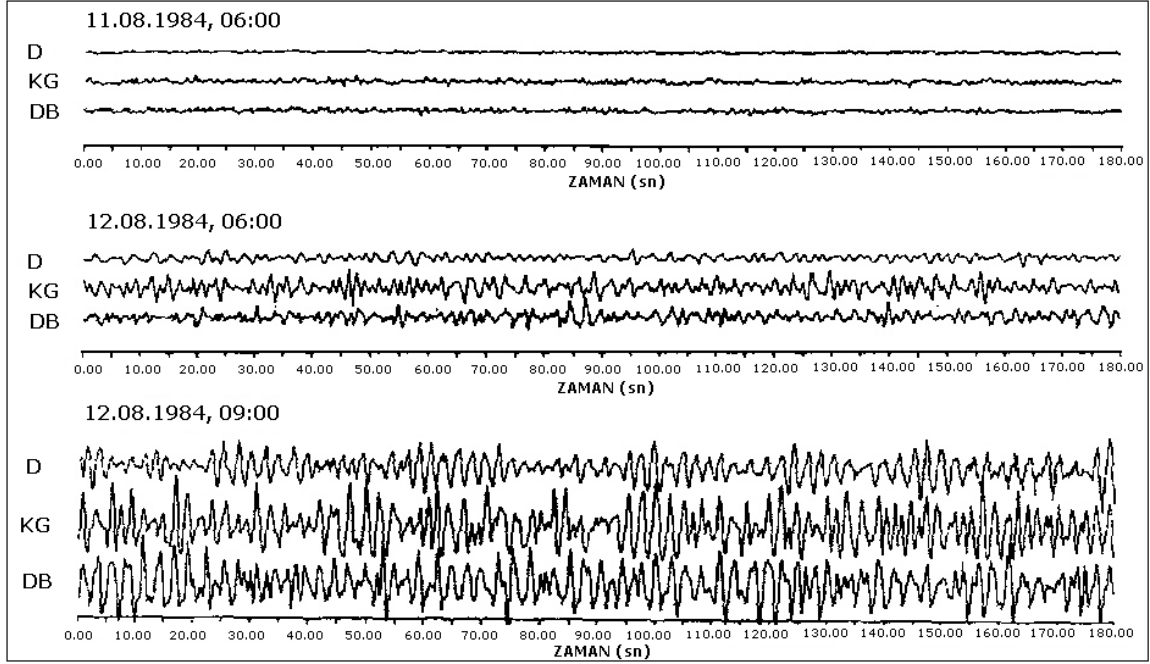
OYF’de olduğu gibi beton bir zemin üzerindedir. Bu istasyonda HKD istasyonunda olduğu gibi aynı tarihler ve saatlerde ölçüler alınmıştır (Okada, 2003).



Şekil 11. Mikrotremor gözlemlerinin yapıldığı istasyonlar (HKD, OYF)

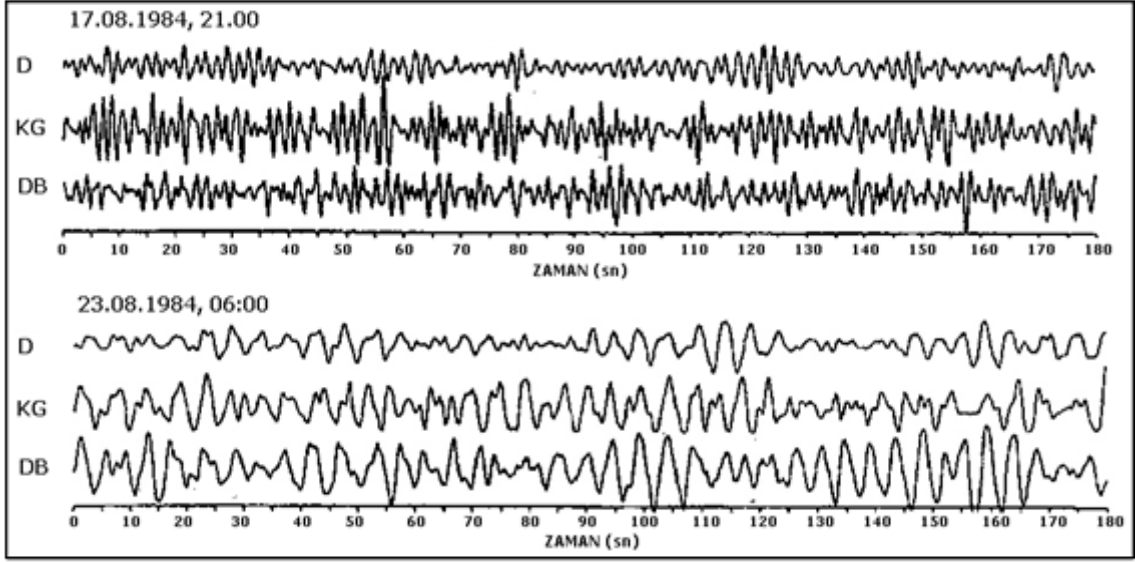
Her üç istasyonda yapılan ölçümler süresince hava durumu gözlenmiştir. Gözlem süresi boyunca OYF istasyonunda oldukça sessiz ve seyrek bir trafik mevcuttur. HKD istasyonu oldukça yoğun makine gürültüsü altındadır ve MIS istasyonu da kırsal kesimde olmasından dolayı oldukça sessizdir. Her üç istasyonda elde edilen mikrotremor kayıtlarından 10’ar dakikalık örnekler alınarak incelenmiştir (Okada 2003).

Şekil 12. OYF istasyonunda iki gün süresince üç farklı zamanda ölçülen 3 bileşen mikrotremor kayıtlarını ve bu mikrotremorların karşılaştırmasını göstermektedir. Kayıtlar incelendiğinde farklı zamanlarda ölçülen mikrotremorların karmaşık yapısı değişmezken genliklerde farklılık göstermiştir.

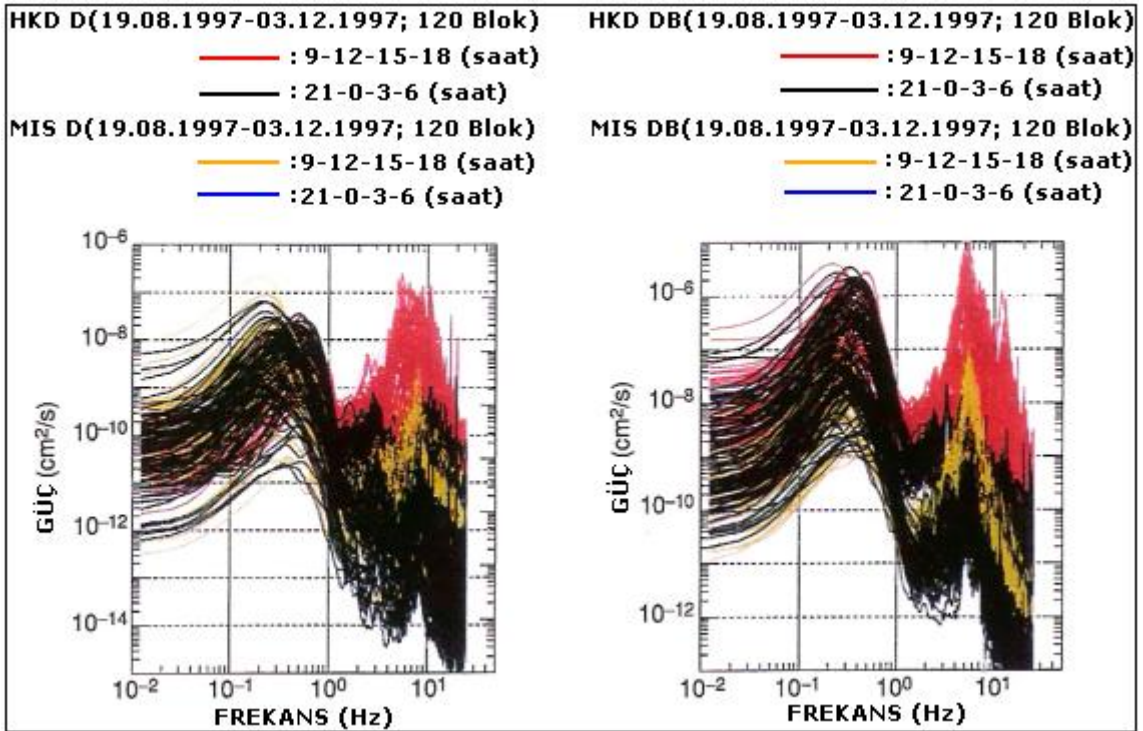


Şekil 12. Oyafuru (OYF) istasyonundan elde edilen üç bileşen mikrotremor kayıtları. 3 dakikalık kayıt süresince kayıtlardaki karmaşık dalga formu devam etmekte, ancak genlikler zaman içerisinde değişmektedir (Okada, 2003).

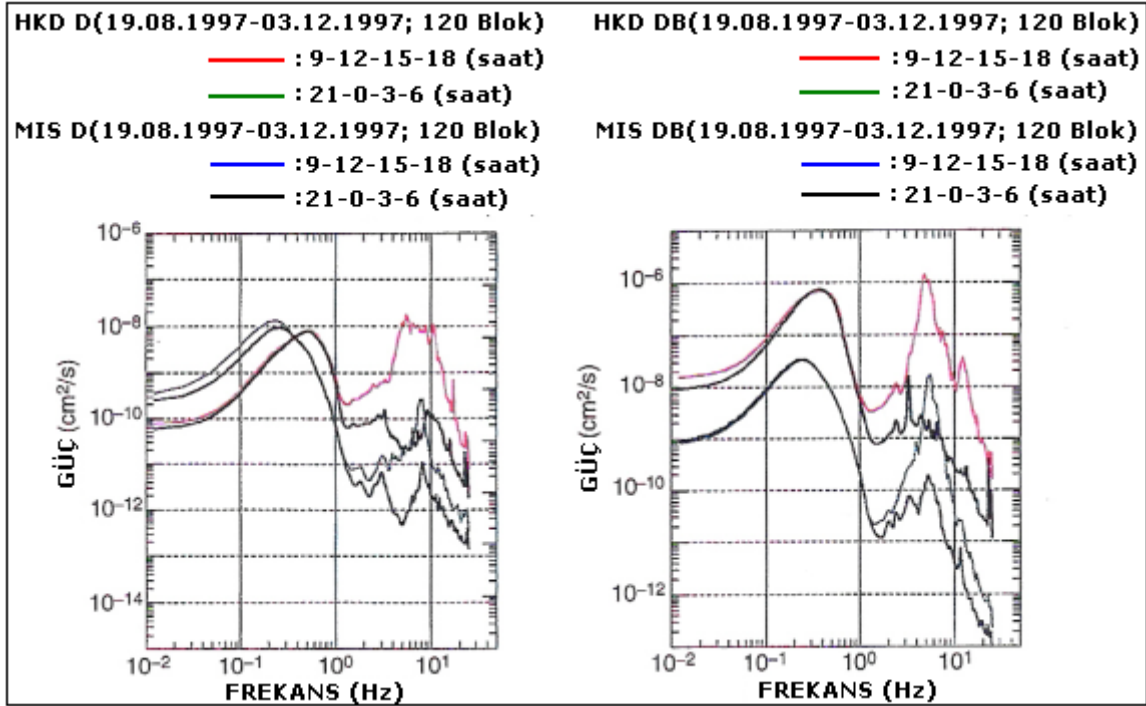
OYF istasyonunda bir hafta sonra ölçülen mikrotremor kayıtlarının genliklerinde belirgin değişimler meydana gelmezken baskın periyotlarda (veya frekanslar) değişimler vardır (Şekil 13). HKD ve MIS istasyonlarında ölçülen düşey ve doğu-batı bileşenlerinin 120 blok (20 saat) bölümü alınarak işlenmiştir. Güç spektrumu 10 dakikalık her bir blok için hesaplanmıştır (Şekil 14). Ölçümler gündüz 9, 12, 15, 18 ve gece 21, 0, 3, 6 saatlerinde yapılmıştır. Şekil 15.'de gece ve gündüz alınan kayıtların ortalama güç spektrumları karşılaştırılmaktadır. Şekil 14. ve Şekil 15.'de güç spektrallarının şeklinde değişim olmazken HKD istasyonunda alınan kayıtların güç seviyeleri genellikle MIS'de alınanlardan daha yüksektir. Gözlemler 1 Hz'den daha düşük ve 1 Hz'den daha yüksek frekanslar arasında güç spektrumundaki zamansal değişimdeki farklılıkları ortaya çıkarmaktadır. 1 Hz'in altındaki frekanslarda (veya 1 sn'den daha büyük periyotlarda) gece ve gündüz arasında güç spektrumundaki farklılık en azdır. Diğer taraftan, 1 Hz'in üzerinde (veya 1 sn'den daha küçük periyotlarda) spektrumlarda belirgin bir farklılık vardır. Sonuçta mikrotremor kayıtlarının güç spektrumları incelendiğinde 1 Hz'in altındaki bileşenlerin kültürel faaliyetlerden fazla etkilenmediği, 1 Hz'in üzerindeki bileşenlerin önemli ölçüde etkilendiği görülmüştür.



Şekil 13. OYF istasyonunda 17.08.1984 saat 21:00'da (üstteki) ve 23.08.1984 saat 6:00'da kaydedilen üç bileşen mikrotremor kayıtları (Okada, 2003).



Şekil 14. 15 günlük bir zaman aralığında HKD ve MIS istasyonlarında gözlenen mikrotremorların düşey (D) ve doğu-batı (DB) bileşenlerinin güç spektrumu. Bu spektrum 10 dakikalık 120 blok için hesaplanmış ve çizdirilmiştir (Okada, 2003).



Şekil 15. HKD ve MIS istasyonlarında gözlenen mikrotremorların düşey (D) ve doğu-batı (DB) bileşenlerin gece ve gündüz ortalama güç spektrumları (Okada, 2003).

1.4. Zemin Büyütmesi, Zemin Hakim Peryodu ve Zemin Transfer Fonksiyonu

Bir depremde oluşan, farklı sismik dalgalar kaynaktan itibaren yer içinde değişik hızlarda yayılmaya başlarlar. Bu dalgalar yer yüzüne eriştiklerinde birkaç saniyeden dakikalara varan sürelerde titreşimler üretirler. Belirli bir yerdeki elastik dalga titreşiminin süresi ve şiddeti, deprem kaynağına olan uzaklığa, depremin büyüklüğüne ve o yerin zemin özellikleri gibi birçok faktöre bağlıdır (Bullen ve Bolt, 1985). Sismik dalgalar, kaynaktan yeryüzüne kadar olan seyahatlerinin önemli bir bölümünü yer kabuğunu oluşturan sert ana kaya içinde geçirirler. Seyahatlerinin son aşaması, ana kayaya göre oldukça farklı özellikte olan gevşek tutturulmuş zemin tabakaları içinde gerçekleşir ve bu zemin tabakalarının fiziksel özellikleri büyük ölçüde yeryüzünde gözlenen titreşimin karakteristiğini belirler. Zemin tabakaları, sismik dalgalar için adeta bir süzgeç gibidir. Bazı frekanslardaki sismik dalgalar sönmüldürülürken bazıları da büyütülür. Sismik dalgaların zemin tabakaları içinde geçirdiği değişimlerin tümüne zemin etkisi adı verilir. Genellikle bu değişim genliklerin artması şeklinde gözlemlendiğinden, zemin etkisi terimi zemin büyütmesi olarak da adlandırılmaktadır.

Zemin transfer fonksiyonlarının teorik olarak hesaplanması, deprem olmasını beklemeden gerekli sonuçların elde edilmesine olanak sağlar. Zemin tabakalarının özellikleri, ana kayadan gelen deprem dalgalarının hangi frekans aralığını ne şekilde değiştireceğini belirlemektedir. Bu değişim, bazen yüksek frekanslarda yüksek büyütmelemler şeklinde görülse de, mühendislik yapıları için çok önemli olmayabilir. Asıl önemli olan, mühendislik yapılarının sahip olduğu hakim titreşim frekanslarına yakın frekanslardaki deprem dalga genliklerinin, zemin tabakaları tarafından büyütülmesidir. Kaynaktan yayılan deprem dalgaları yeryüzüne yaklaştıkça yerel zemin koşullarındaki farklılaşmalar nedeni ile önemli değişikliklere uğrarlar. Bunun en önemli kanıtı, yeryüzünde yakın bölgeler arasında hasar derecelerindeki önemli farklılıklardır. Aynı bölge içinde farklı zemin koşulları üzerine kurulu yerleşim alanlarında hasar derecelerinin önemli miktarda değişiklikler göstermesi, araştırmacıları yerel zemin koşullarının deprem dalgaları üzerindeki etkisini araştırmaya itmiştir (Borcherdt, 1970). Genel olarak gözlenen genç sedimanter alanların yaşlı kaya birimlere göre deprem dalgalarını önemli oranda büyüttüğüdür (Singh ve Ordaz, 1993). Ana kayadan daha düşük hız ve yoğunluğa sahip olan zemin tabakaları içinden geçen deprem dalgasının genliği empedans farkına bağlı olarak önemli oranda büyür.

Herhangi bir noktada zemin transfer fonksiyonu iki şekilde belirlenebilir. Bunlardan birincisi deneysel çalışmalar, yani deprem veya gürültü kayıtları kullanılarak Klasik Spektral Oran, Tek İstasyon veya Ters Çözüm gibi farklı yöntemlerle zemin transfer fonksiyonunun belirlenmesidir (Nakamura, 1989; Borcherdt, 1970; Yalçınkaya ve Alptekin 2000b; Akyol ve diğ., 2002). İkincisi ise teorik bağıntılar kullanılarak, bir boyutlu (Haskell, 1960; Kennett, 1983; Schnabel ve diğ., 1972), iki boyutlu (Sanchez-Sesma, 1987) ve üç boyutlu (Pitarka ve diğ., 1998) modellerle zemin transfer fonksiyonunun hesaplanmasıdır. Zemin transfer fonksiyonlarının belirlenmesinde en yüksek güvenilirlik gerçek deprem kayıtlarında olduğu halde, bunlar veri toplamadaki zorluklar nedeni ile pratik kullanıma sahip değildirler. Bunun yanında gürültü kayıtları her ne kadar pratik bir veri grubu olsa da, sonuçlarının güvenilirliği konusunda tartışmalar hala devam etmektedir (Field ve Jacob, 1995; Bonilla ve diğ., 1997). Tekdüze ve basit zemin yapıları için bir boyutlu modeller oldukça iyi sonuçlar verirken, yapı karmaşıklıklaştıkça 2 veya 3 boyutlu modellere ihtiyaç duyulur (Makra ve diğ., 2001).

1.5. Mikrotremor Ölçüm Yöntemleri

Mikrotremor kayıtları farklı noktalarda farklı zamanlarda alınabileceği gibi, bir bölgedeki titreşim özelliklerinin noktalar arasında veya seçilen bir referans noktasına göre yansıttığı değişimin belirlenmesi istendiğinde, genellikle bir hat üzerine yerleştirilen veya çok sayıda sismometre ile eş zamanlı kayıtların alınması yoluna gidilmektedir. Arazi çalışmalarında tek istasyon, iki istasyon veya ikiden fazla istasyon kullanılarak ölçümler yapılmaktadır. Tek istasyon ile zamandan bağımsız ve farklı noktalarda üç bileşen için titreşim kaydı alınmaktadır. İki istasyon kullanılarak gerçekleştirilen uygulamalarda sismometrelerden biri hareketli diğeri ise önceden belirlenen sağlam bir zemin (referans noktası) üzerine yerleştirilerek eş zamanlı ölçümler yapılmaktadır. Çok sayıda sismometre ile değişik türde istasyon dizilimleri kullanılarak elde edilen mikrotremorlardan yer altı yapısı tahmin edilebilmektedir. Remi (Refraction-Mikrotremor), F-K (Frekans-dalga sayısı), SPAC (Uzaysal Özilişki) ve ESPAC (Genişletilmiş Uzaysal Özilişki) yöntemi kullanılarak yüzey dalgalarının belirlenmesi için uygun mikrotremor verisi elde edilebilmektedir.

1.5.1. ReMi Yöntemi (Kırılma-Mikrotremor, Refraction-Mikrotremor)

Yöntem, Rayleigh dalgasının dispersiyonu nedeni ile nüfuz derinliğinin dalga boyuna bağımlı olmasından yararlanır. ReMi yönteminin amacı, gürültü kayıtları ile 100 metre derinliğe kadar S-dalgası hız kesitinin elde edilmesidir (Louie, 2001). Veri toplama için kırılma yönteminde kullanılan standart kayıtçılar ve düşey jeofonlar kullanılır. Kullanım amacı, uzay-zaman ortamındaki veriden yansımaları, kırılmaları, kırınımları ve yüzey dalgalarını ayırabilmektedir.

ReMi tekniğinin temelinde iki ana fikir vardır. Birincisi bilinen sismik kırılma kayıt donanımları ile hemen hemen sığ P-dalgası kırılma çalışmalarına benzeyen şekilde ayarlanarak 2 Hz gibi düşük frekanslarda yüzey dalgası etkili bir şekilde kayıt edilebilir. İkinci ana fikir, mikrotremor kayıtlarına iki-boyutlu yavaşlık-frekans (p-f) dönüşümü uygulanarak Rayleigh dalgası diğer sismik varışlardan ayrılır ve görünür hızlara karşı gerçek faz hızı tanımlanabilir. Yöntemin üstünlüğü hızlı ve kolay alan verisi toplamasıyla birlikte ağır kaynaklar gerektirmemesi ve ölçü süresinin kısa olmasıdır. ReMi yöntemi ile

sismik temel üzerindeki her katmanın kalınlığı ve S-dalgası hızı hesaplanabilir ise katmanlı ortam için zemin hakim titreşim periyodu;

$$T = \sum_{i=1}^n \frac{4h_i}{V_i} \quad (1)$$

Kanai bağıntısından bulunabilir. Burada, T etkin titreşim periyodunu, h ve V ise sırası ile katman kalınlık ve hızlarını göstermektedir.

1.5.2. Frekans-Dalga Sayısı (F-K) Yöntemi

Yöntemin ana prensibi, titreşimlerin karmaşık yapısından oldukça güçlü olan dalganın belirlenmesini sağlamaktır. Bu yöntem dalganın dispersif olup olmadığını araştırmaz. Bu yöntemde eğer yüksek moddaki yüzey dalgası baskınsa, yüksek moddaki bu yüzey dalgası belirlenebilir. Eğer, cisim dalgası baskınsa, bu sefer de cisim dalgası belirlenir. Bir sinyal kaydı içerisinde yüzey dalgaları diğer dalga türlerinden baskın ise, mikrotremor için kullanılan f-k yöntemi ile yüzey dalgaları belirlenebilir ve buradan yakın yüzey yer yapısı bulunabilir. Yani, f-k yöntemi, yalnız başına yüzey dalgalarını belirlemek için kullanılan bir yöntem değildir. Frekans-dalga sayısı yönteminde f-k güç spektrumunun hesaplanması için ışın biçimlendirme (BFM), maksimum olasılık (MLM) ve maksimum entropi teknikleri veri işlem aşamalarında kullanılır. Bu yöntem, çoklu istasyonların oluşturduğu dizilimlerle toplanan titreşim verisini ele alır. Toplanan veriyi bir araya getirir ve yüksek güçteki dalganın yönünü ve hızını belirler (Okada 2003). Dizilim türleri T, L, +, üçgen şeklinde olabilir.

Frekans-dalga sayısı yöntemi ile hedeflenen derinlik için uygun olan bir dizilim kullanılarak mikrotremor verisi elde edilir. Mikrotremorların içerdiği yüzey dalgası, faz hızı ve frekansın (veya periyodun) bir fonksiyonu olarak belirlenir. f-k yöntemi için olan dizilim planı SPAC yöntemi için olandan daha esnektir. İdeal dizilim alanı sismometreler arasında değişik uzaklıklı büyük bir yanal açılıma sahip olmalıdır. Genelde, sismometrenin üzerinde bulunduğu topografya ve diğer sınırlamalar, dizilim şekli ve boyunun seçimini belirler.

Mikrotremorların f-k spektrumu aşağıdaki iki yöntem ile belirlenebilir;

- 1) Mikrotremorların özilişki fonksiyonunu belirlemek ve buna Fourier dönüşümü uygulamak,
- 2) Mikrotremor kaydına doğrudan Fourier dönüşümü uygulamak ve bunların mutlak değerlerinin karesinin ortalamasını almak.

İlk yöntem bir güç spektrumu yoğunluk fonksiyonunun tam açıklamasıdır. Bu tek değişken durum için iyi bilinen ‘Wiener-Khinchine Teoremi’ne karşılık gelir. İkinci yöntem sonlu Fourier dönüşümü ile güç spektrumu yoğunluk fonksiyonunun hesaplanmasıdır. Daha pratik olarak FFT (Hızlı Fourier Dönüşümü) kullanılır.

1.5.3. SPAC (Uzaysal Özilişki) Yöntemi

SPAC (uzaysal özilişki) yöntemi sismik dalgaların zaman ve uzaysal spektrumu arasındaki ilişkiyi belirlemek için 1957’de Aki tarafından geliştirilen teoriyi temel alır. SPAC yönteminin temel ilkeleri:

1. Titreşimlerin karmaşık dalga hareketlerinin, zamanda ve uzayda yapılan stokastik bir işlem olduğu düşünülen bir yöntemdir.
2. Dairesel dizilimle belirlenen titreşim verisi için, uzaysal özilişki katsayısı, yüzey dalgaları gibi dispersif olan titreşimlerin oluşturduğu dalgalarla tanımlanabilir.
3. Uzaysal özilişki katsayısı, faz hızı ve frekansın bir fonksiyonudur.

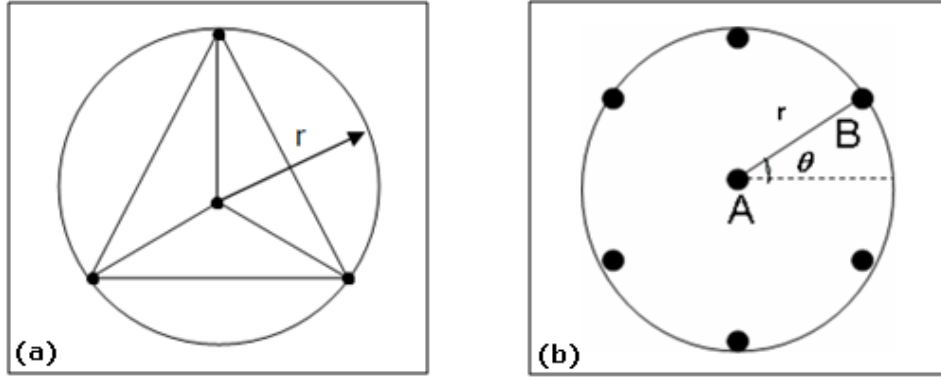
Titreşimlerden yüzey dalgalarının ayırt edilebilmesi için SPAC yöntemi, mükemmel bir yöntemdir. En basit tarifle, anlatılan bu iki yöntem, gürültüden sinyalleri belirleme kuramı üzerine kurulmuştur (Aki, 1957; Okada, 2003).

SPAC yöntemi deprem hareketleriyle oluşan çeşitli yayılma özelliğine sahip dalgaların ilerleyişini anlamak için kullanılan veri analiz yöntemiyle birlikte dairesel bir dizilime sahip gözlemsel bir uygulamadır. Bu yöntem ile alınan kayıt üç bileşenli olduğundan Love veya Rayleigh dalgaları incelenebilir. İki çeşit veri alma sistemi vardır: biri dizilimdeki tüm istasyonları birbirine bağlar ve çok kanallı bir kayıtçı ile kayıt alır ve diğeri her bir istasyonda ayrı ayrı kayıt alır. İlk sistemde tüm istasyonlarda aynı saate göre kayıt alındığı için zaman düzeltilmesi yapmak gerekmez, bu yöntemin bir avantajıdır (bu

sistem sığ yapının tahmini için küçük bir dizilimle uygundur). Ayrıca, büyük dizilimler için işlevsel dezavantajları vardır; kablo sorunu, istasyon yeri seçimini sınırlamakta ve gözlem boyunca telin muhafaza edilmesi için gerekli koşulları kısıtlar. İkinci sistem istasyonlar arasında zaman ayarı gerektirir, örneğin, kayıtları eşzamanlı kılmak için her bir kayıtçıya bir GPS saati bağlanır. Ancak bu, istasyon yerinin seçimindeki küçük sınırlamaları etkiler. Tüm avantaj ve dezavantajları göz önüne alınarak, mikrotremorların kaydedilmesi için ayrı (bağımsız) bir sistem daha uygun görülmektedir (Okada, 2003).

SPAC yöntemi uygulanırken en önemli unsur, arazide titreşim kaydı alan aletleri nasıl yerleştireceğimizi belirlemektir. Arazide, alıcılar farklı şekillerde daire üzerine yerleştirilebilirler. SPAC yöntemi için alıcı konumları birbirlerine eşit mesafelerde olmalıdır. En çok bilinen arazi düzeneğinde, en az dört sismometre bulunur ve bunların üç tanesi r yarıçaplı bir daire üzerine bir tanesinde bu dairenin merkezine yerleştirilir (Şekil 16a).

Orta noktası (dairenin merkezi) A olan ve r yarıçaplı bir daire üzerine yapılan dizilimin birçok istasyon içerdiği düşünülebilir. Bu dairesel dizilim ile alınan titreşim kayıtları için, ortak değişinti fonksiyonu kullanılarak SPAC katsayısı elde edilir (Şekil 16b).

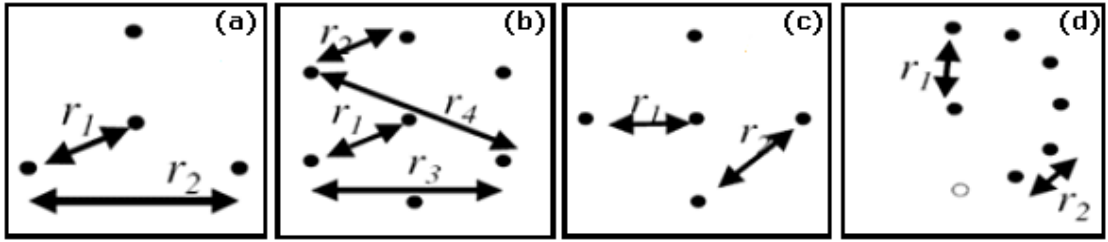


Şekil 16. (a) SPAC yöntemi için kurulan dört istasyon dizilimi, (b) R yarıçaplı dairesel dizilim üzerinde çok sayıda istasyon konumları

Basit olarak, belirli bir ω frekanslı tek bileşen için sonuç verilir. f frekansındaki SPAC katsayısı, sıfırdan birinci cins Bessel fonksiyonundaki $c(f)$ faz hızı ile ilişkilendirilmiştir. SPAC katsayıları için belli olan yatay eksenindeki frekans değerleri, dispersiyon eğrisini oluşturacak yatay eksen değerleri olarak kabul edilir. Bu durumda, her

bir f değeri için SPAC katsayı değeri belirlenir. Aynı düşey eksen değerine karşılık gelen Bessel fonksiyonunun (ilişki katsayısına eşit) o noktaya ait yatay eksenini oluşturan x ($A=2\pi r_0$ ($r = r_0$); $x=Af/c$) değeri belirlenir. Daha sonra bunlar faz hızı formülünde ($c(f) = Af / x$) yerine konulup hesaplanır. Her bir f değeri için bir faz hızı değeri bulunur ve dispersiyon eğrisi elde edilir.

SPAC yönteminde kullanılacak olan daha çok sayıda sismometre ve değişik dizilim türleri ile daha iyi sonuçlar elde edilebileceği düşünülmektedir (Şekil 17).



Şekil 17. SPAC yönteminde kullanılan farklı dizilim türleri (Asten ve diğ., 2004).

Gündüz ya da gece veri toplamak, veri içeriğini etkilemez. Özellikle yapılan çalışmalarda verilerin çoğu gece toplanır. Sebebi ise, durağan olmayan kültürel gürültünün gece az olmasıdır. Veri uzunluğu tipik olarak, uzun periyodlu titreşimler için, 45 dakikadan 1 saate kadardır. Buna rağmen, bazen 30 dakika, 1 saniyeden daha kısa periyodlu titreşimler için yeterlidir. Birbirinden bağımsız istasyonlarda kaydedilen titreşim verisi bazı işlemler gerektirir. Bunlardan biri de istasyonlar arasındaki zamanın ayarlanmasıdır (Okada 2003). SPAC yönteminin f - k yöntemine göre iki önemli üstünlüğü bulunmaktadır. Bunlar:

1. f - k yönteminden daha küçük dizilimler yaparak ve daha az sayıda istasyon kullanarak benzer sonuçlar üretir. Titreşim araştırmalarında dizilim boyutları önemlidir. Çünkü;
 - Büyük yarıçaplı dizilimler, deneme sayısını arttırırken, doğruluğu azaltır.
 - Büyük yarıçaplı dizilimler, dizilim altındaki paralel kabul edilen tabakalar için titreşim yönteminin sonucunu etkileyebilir.
2. Titreşim sinyalinin düşey ve yatay bileşenlerinin kaydı ile sadece Rayleigh dalgası değil aynı zamanda Love dalgaları da belirlenebilir (Okada ve Matsushima, 1989).

1.5.4. Geniştirilmiş Uzaysal Özilişki (ESPAC) Yöntemi

SPAC yönteminde verilerin toplanması için dairesel bir dizilime ihtiyaç vardır ve coğrafik bir alandaki bir daire üzerine birçok istasyonun yerleştirilmesi zordur. Bununla birlikte daire üzerindeki istasyonların sayısı azaltılarak bu zorluk kolay hale getirilebilir. Örneğin, eşkenar bir üçgenin köşelerine ve merkezine yerleştirilmiş sadece 4 istasyondan oluşan bir dizilim zor olmayabilir. Aslında bu şekilde az sayıda istasyona sahip eşkenar bir üçgen dizilimiyle büyük duyarlılıkta uzaysal özilişki katsayısı elde edilebilir. O zaman, tek ve boyutu değiştirilebilen bir eşkenar üçgen kullanılarak farklı dizilim çeşitleriyle çok sayıda veri seti oluşturulabilir. Farklı dizilimler kullanarak elde edilen verinin gözlem zamanlarındaki farklılık, bu şekilde toplanan veri için önemli bir problemdir. Bunun yanı sıra, farklı zamanlarda toplanan veriler birlikte işlenebilir, ayrı ayrı işlenmelerine gerek yoktur.

Bu ortak işlem metodu tek bir dairesel dizilimli yayılıma sahip olan SPAC yönteminden ayrı tutularak genişletilmiş uzaysal özilişki (ESPAC) yöntemi olarak adlandırılır (Ling ve Okada, 1993). ESPAC yönteminin önemli bir özelliği f-k yöntemiyle belirlenmesi imkansız olan, uygun olmayan bir değeri kolaylıkla belirleyebilmesidir. ESPAC yöntemi için yapılan çalışmalardan aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

1. ESPAC yöntemi yüksek frekans aralığında f-k yöntemi ile aynı sonucu vermektedir.
2. ESPAC yöntemi f-k yöntemine aşağıdaki nedenlerden dolayı üstündür;
 - a) Düşük frekans aralıklarında uyumlu (durağan) sonuç verir,
 - b) İlişki fonksiyonunun hesaplanması daha basittir ve bir bilgisayarla kolayca hesaplanabilir,
 - c) İyi bir sonuç daha az sayıda istasyon ile elde edilebilir,
 - d) Farklı zamanlarda toplanan birkaç veri seti birlikte işlenebilir ve
 - e) f-k yöntemiyle hesaplanamayan değerler ESPAC yöntemiyle belirlenebilir.

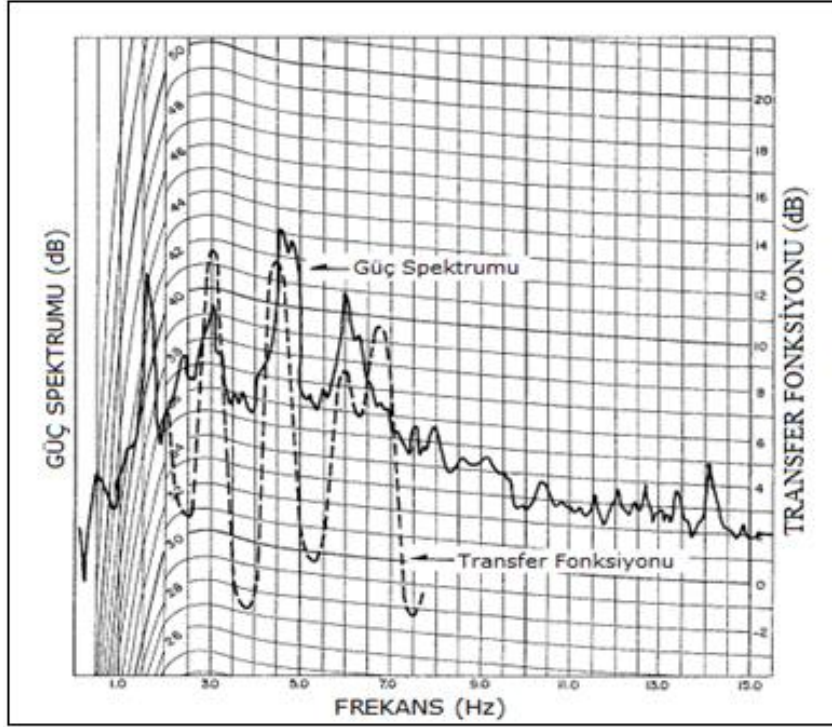
Diğer yandan, ESPAC yöntemi dalga kaynağının yönünü belirleyemez. Ayrıca veriye karışan yüksek modlu yüzey dalgaları varsa, ESPAC yöntemi bunu da saptayamaz. Bunlar açısından f-k yöntemi ESPAC yöntemine göre daha kullanışlıdır. Ayrıca ESPAC yöntemi çoklu dairesel dizilimlerle toplanan veriye de uygulanabilir. Bunun yanı sıra, bu tür veri seti (dizisi) aynı zamanda f-k yöntemi kullanılarak da iyi bir şekilde çözümlenebilir.

1.6. Tek İstasyon Mikrotremor Kayıtlarının Değerlendirilmesi İçin Kullanılan Yöntemler

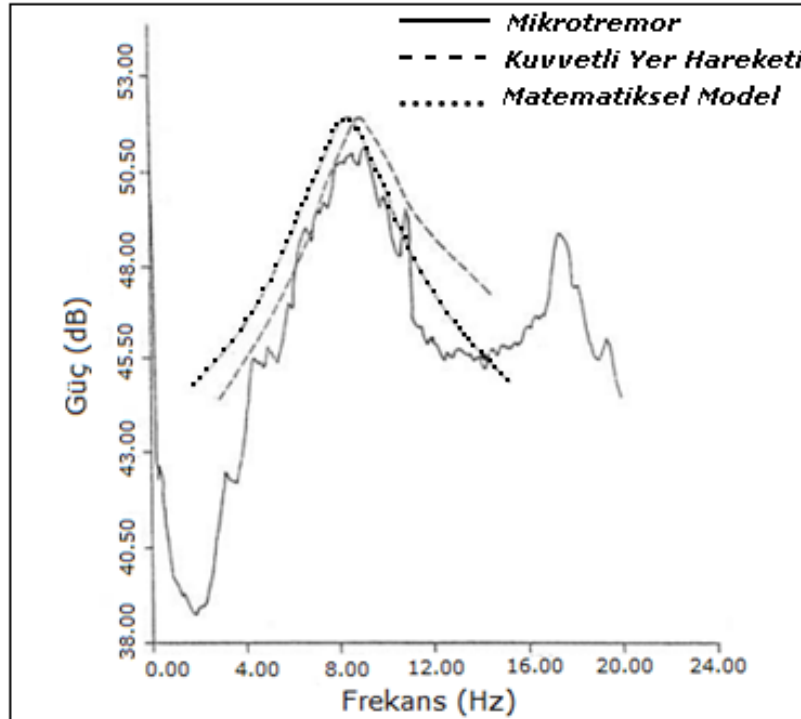
1.6.1. Fourier Genlik veya Güç Spektrumlarının Yorumlanması

Fourier dönüşümü ile elde edilen genlik spektrumları, analiz edilen dalganın bileşenlerinin frekans içeriğini ve dalganın hangi bileşeninin genliğinin büyük olduğunu gösterir. En büyük genliğe karşılık gelen frekans incelenen dalganın baskın frekansı olarak tanımlanır. Güç spektrumu genlik spektrumunun karesi olduğu için 1'den büyük genlikler büyütülürken, 1'den küçük genlikler küçültülmüş olacaktır. Böylece büyük genlikler daha belirgin hale gelecektir. En büyük genlik yine baskın frekansı temsil edecektir. Bir çok araştırmacı mikrotremor kayıtlarının değerlendirilmesinde genlik spektrumlarını (Kanai ve Tanaka, 1954; Udawadia ve Trifunac, 1973; Kobayashi ve diğ., 1986) veya güç spektrumlarını (Katz, 1976; Katz ve Bellon, 1978; Lermo ve diğ., 1989; Morales ve diğ., 1991) kullanmıştır. Katz (1976), Utah'ta yerel zemin jeolojisinin frekans bağımlı büyütme etkilerini belirlemek için mikrotremorların güç spektrumlarını kullanmıştır. Bu amaçla güç spektrumu için uzun zaman aralığındaki (>45 dk) mikrotremor verisini kullanmıştır. Güç spektrumlarında meydana gelen piklerin, Haskell-Thomson modeli ile elde edilen transfer fonksiyonlarından belirlenen pikler ile uyumlu olduğu gözlenmiştir (Şekil 18).

Katz ve Bellon (1978), Beatty (Nevada) Bölgesi'nde yapılan mikrobölgeleme çalışması için mikrotremorların kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Bölgede önceden yapılmış olan sondaj çalışmaları sonuçlarından zemine ait parametreler bilinmektedir. Ayrıca bölgede sık sık nükleer deneme amaçlı patlatmalar yapıldığından bölgeye ait çok sayıda kuvvetli yer hareketi kayıtları mevcuttur. Bu veriler sayesinde, mikrotremorların güç spektrumları ile kuvvetli yer hareketlerine ait spektrumlar ayrıca teorik modeller yardımı ile hesaplanan transfer fonksiyonu sonuçları karşılaştırılmıştır (Şekil 19). Tüm bu spektrumların benzer olarak elde edilmesi sonucunda, mikrobölgeleme çalışması için mikrotremorların kullanılabilceği sonucuna varılmıştır.



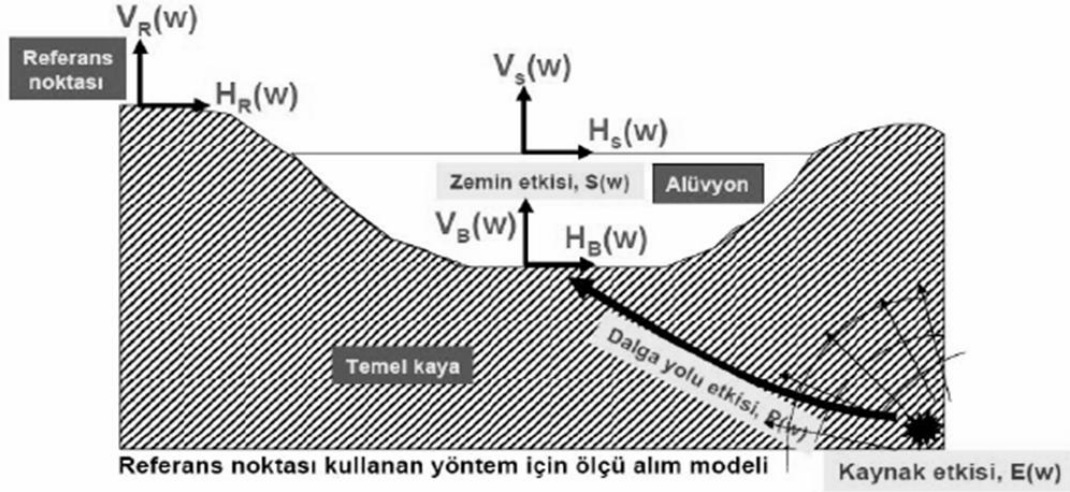
Şekil 18. Mikrotremorların güç spektrumları (düz çizgi) ile transfer fonksiyonunun (kesikli çizgi) karşılaştırılması (Katz, 1976).



Şekil 19. Mikrotremorların güç spektrumu, kuvvetli yer hareketi güç spektrumu, matematik model ile hesaplanan transfer fonksiyonu ile karşılaştırılması (Katz ve Bellon, 1978).

1.6.2. Referans İstasyonuna Göre Spektral Oranlar Yöntemi

Bu yöntem ilk olarak Borchardt (1970) tarafından deprem ivme kayıtlarına uygulanmıştır. Bu yöntemde mikrotremor kaydı, hem seçilen referans noktasında (V_R , H_R) hem de alüvyon (yüzeyde V_S , H_S ; tabanda V_B , H_B) birimde alınır (Şekil 20). Elde edilen tüm kayıtlar frekans ortamına aktarılarak her bir kayda ait bileşenlerin genlik spektrumları hesaplanır. Alüvyon birimde alınan ölçüm noktalarına ait spektrumların her biri, referans noktasında alınan kaydın genlik spektrumuna oranlanır. Bu şekilde her bir ölçü noktası ile referans noktası arasındaki Transfer fonksiyonu elde edilmiş olur. Yöntemin zorluğu çalışılan bölgede kolayca referans noktasının bulunmaması ve hem referans noktası hem de alüvyon birim üzerinde alınan ölçüm noktası için ortak bir veri penceresinin seçilmesindeki zorluktur. Bu ise, birden fazla pencere alınması ile aşılmaktadır (Dikmen, 2006).



Şekil 20. Mikrotremor sinyallerini oluşturan bileşenler (Dikmen, 2006).

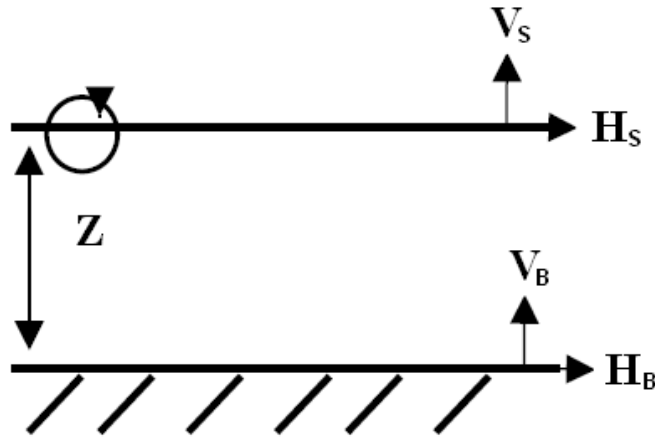
Spektral Oran yönteminde, ölçüm noktasının genlik spektrumu:

$$R(f) = E(f) \cdot P(f) \cdot S(f) \quad (2)$$

bağıntısı ile tanımlanır. (2) bağıntısında $E(f)$ kaynak etkisini, $P(f)$ dalga yolu etkisini ve $S(f)$ zemin etkisini gösterir. Temel kayada ve alüvyon birimde kaynak ve dalga yolu etkileri aynı olacağından birbirine oranı yalnızca alüvyon etkisini gösterecektir.

1.6.3. Yatay/Düsey Spektral Oran Yöntemi (Nakamura Yöntemi, H/V)

Yatay/Düsey spektral oran yöntemi Japonya'da çeşitli yerlerde alınan güçlü hareket kayıtları kullanılarak bulunmuştur. Yöntemin temeline bakıldığında Nakamura'ya göre mikrotremorları oluşturan Rayleigh türü dalgalardır ve bunlar yüzey kaynakları tarafından yaratılır. Bu dalga türü tabakalı bir ortamda hem yatay hem de düsey hareketlerden eşit şekilde etkilenmektedir. Nakamura (1989) mikrotremorların derinden değil, yüzeyden ve yüzeye yakın yersel, sismometreye yakın noktalardan gelen titreşimlerden (trafik, şehir gürültüleri vb.) oluştuğunu varsaymakta ve derinden kaynaklanan katkıları ihmal etmektedir. Nakamura yöntemine göre gürültü titreşimlerinin düsey bileşenleri zemin tabakalarından etkilenmezler. Buna karşılık yatay bileşenler, zemin tabakalarının sahip olduğu düşük hız ve yoğunluğa bağlı olarak önemli büyütmelelere uğrarlar. Böylece yatay bileşen kayıtların spektrumlarının düsey bileşen kayıtların spektrumlarına oranlanması zemin transfer fonksiyonunun elde edilmesini sağlar. Yöntem mikrotremorları, yarı sonsuz ortam üzerine uzanan tek tabakalı bir ortamda yayılan Rayleigh dalgaları yaklaşımı ile açıklamaya çalışmıştır (Şekil 21). Fourier frekans bölgesinde dört adet genlik spektrumu tanımlanmaktadır. Bunlar yüzeydeki hareketin yatay ve düsey doğrultudaki bileşenlerine (H_S , V_S) ait genlik spektrumları ve üstteki yüzey tabakasının tabanındaki hareketin yatay ve düsey doğrultudaki bileşenlerine (H_B , V_B) ait genlik spektrumlarıdır.



Şekil 21. Nakamura (1989) tarafından mikrotremor ölçümlerini açıklamak için önerilen basit model. Z: zemin tabakasının kalınlığı

Nakamura yukarıdaki kabulleri yaptıktan sonra V_S yüzeydeki, V_B yüzey tabakasının tabanındaki hareketlerin düşey bileşenleri olmak üzere; mikrotremor hareketlerini frekansın bir fonksiyonu olarak şöyle tanımlar (Dikmen, 2005):

$$A_S(\omega) = \frac{V_S(\omega)}{V_B(\omega)} \quad (3)$$

Gözlem noktasındaki transfer fonksiyonu, temel ve yüzeydeki yatay bileşenlerin spektral oranı olarak tanımlanır (4).

$$S_E(\omega) = \frac{H_S(\omega)}{H_B(\omega)} \quad (4)$$

Nakamura (1989) bu şekilde ölçüm noktasının (4) bağıntısında verilen transfer fonksiyonu $S_E(\omega)$ 'nın, (3) bağıntısında verilen kaynak etkisini gösteren $A_S(\omega)$ 'a oranlanarak, kaynak etkisinin ölçüm değerlerinden uzaklaştırılabileceğini göstermiştir. Bu orana $S_M(\omega)$ denirse;

$$S_M(\omega) = \frac{S_E(\omega)}{A_S(\omega)} = \frac{\frac{H_S(\omega)}{H_B(\omega)}}{\frac{V_S(\omega)}{V_B(\omega)}} = \frac{H_S(\omega)}{H_B(\omega)} \cdot \frac{V_B(\omega)}{V_S(\omega)} = \frac{H_S(\omega)}{V_S(\omega)} \cdot \frac{V_B(\omega)}{H_B(\omega)}$$

$$S_M(\omega) = R_S(\omega) \times R_B(\omega) \quad (5)$$

(5) bağıntısı elde edilir. Nakamura'ya göre mühendislik amaçlı çalışmalarda ilgilenilen frekans aralığında (1-20Hz), $R_B(\omega)$ yaklaşık 1'e eşittir. Böylece $R_S(\omega)$ olarak verilen transfer fonksiyonu yüzeyde ölçülen mikrotremor verisinden elde edilebilir.

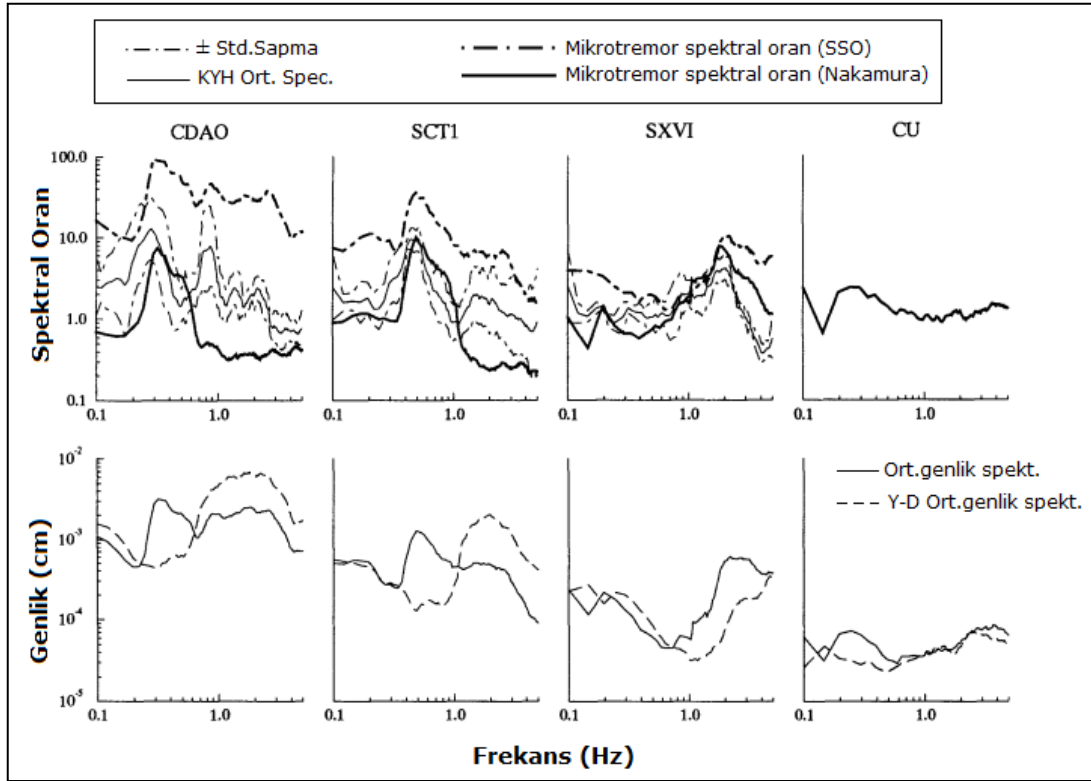
$$R_B(\omega) = \frac{V_B(\omega)}{H_B(\omega)} = 1 \quad (6)$$

(6) eşitliğinin kullanılması ile yer etkisi, hareketin yüzeydeki yatay ve düşey bileşenleri cinsinden tanımlanmış olur. Nakamura yöntemi referans noktası gerektirmeyen bir yöntem

olarak, sismik yoğunluğun az olduğu veya temel kayanın bulunmadığı alanlarda kolayca uygulanabilen bir yöntemdir (7).

$$S_M(\omega) = \frac{H_S(\omega)}{V_S(\omega)} \quad (7)$$

Nakamura (1989) tarafından önerilen Yatay/Düşey spektral oran yönteminin geçerliliği ile ilgili sayısal modeller Lermo ve Chavez-Garcia (1994) tarafından yapılmıştır. Lermo ve Chavez-Garcia (1994) Mexico City, Oaxaca ve Acapulco' da jeolojik özellikleri birbirinden farklı olan bölgelerde mikrotremor ve kuvvetli yer hareketi kayıtları almışlardır. Elde edilen mikrotremor ve kuvvetli yer hareketi kayıtlarına Standart Spektral Oran (SSO) ve Yatay/Düşey Oran (H/V) yöntemini uygulayarak elde edilen oranların sonuçlarını ve genlik spektrumlarını karşılaştırmışlardır (Şekil 22).



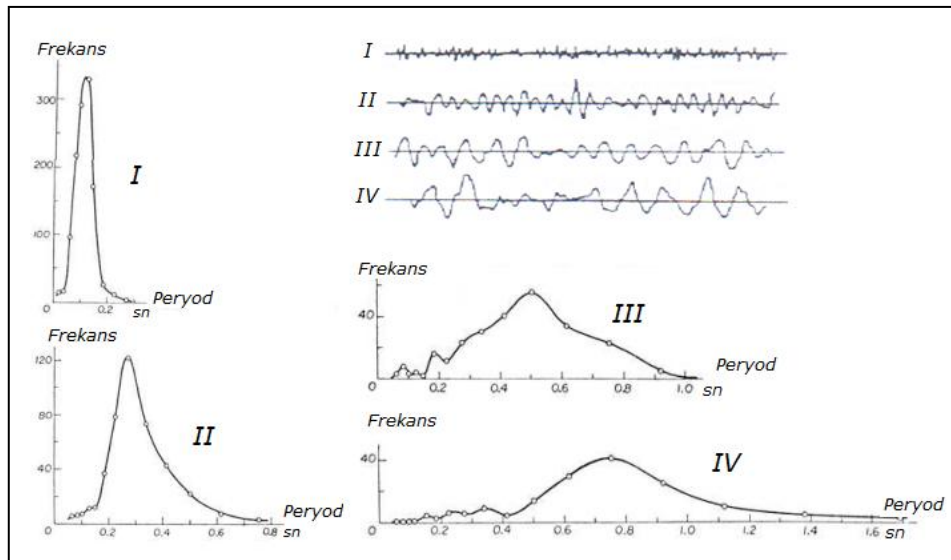
Şekil 22. Kuvvetli yer hareketi ile mikrotremorlara ait spektral oranların ve genlik spektrumlarının karşılaştırılması (Lermo ve Chavez-Garcia, 1994).

Yapılan uygulamalardan elde edilen grafikler incelendiğinde mikrotremorların SSO ve H/V sonuçlarının birbiri ile uyumlu olduğu ve H/V sonucunun SSO sonucuna kıyasla daha keskin pikler verdiği gözlenmiştir. Araştırmacılar Oaxaca ve Acapulco'da yaptıkları çalışmalarda da Mexico City'dekine benzer sonuçlar bulmuşlardır. Yapılan bu çalışmada en iyi sonuçları Nakamura yöntemi ile elde etmişlerdir.

1.6.4. Sıfır Kesme Yöntemi (Kanai Yöntemi)

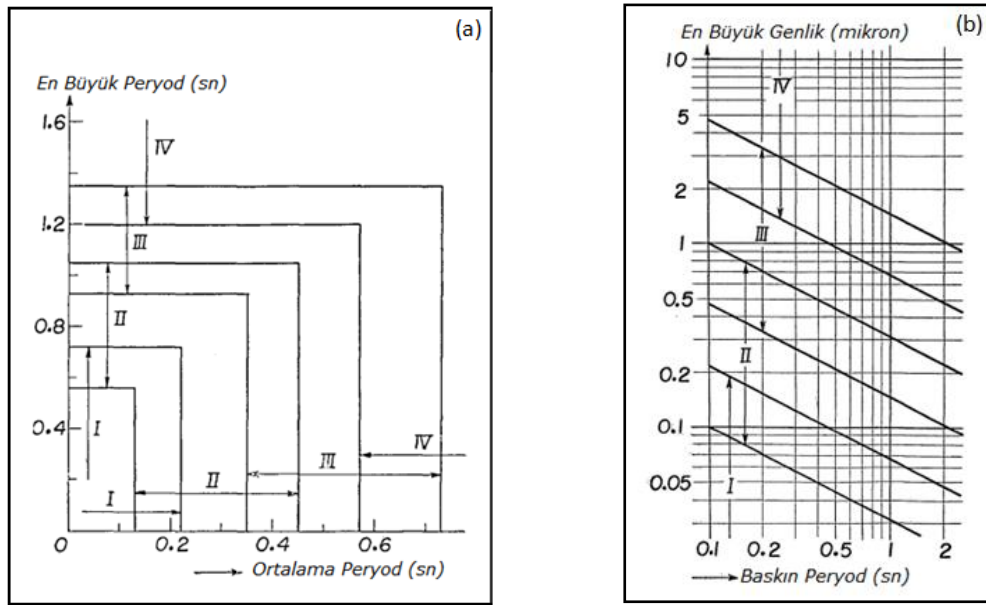
Kanai ve Tanaka (1961), tarafından önerilen sıfır kesme yönteminde mikrotremor kaydından herhangi iki dakikalık kısım alınarak sıfır kesme noktaları arasındaki uzaklık ölçülmekte ve bu uzaklıkların iki katı, periyod olarak kabul edilmektedir. Bulunan periyodlar yatay ekseninde ve her bir periyoda ait yineleme sayıları (frekans) dikey ekseninde işaretlenerek periyod dağılım eğrisi oluşturulur. Bu dağılım eğrisinin doruk noktasına karşılık gelen periyod, en çok tekrarlanan periyod olup baskın periyodu verecektir.

Kanai ve Tanaka (1961), yaptıkları çalışmalarda yer yapısının basit ve tek tabakalı olduğu durumlarda mikrotremor verilerinin spektrumunda, 0.1-0.6 sn arasında keskin bir şekilde doruk (pik, tepe) oluşumu görüldüğünü açıklamışlardır. Diğer yandan yer yapısı karmaşık olduğunda birden fazla doruk görülmektedir. Bu değerler 0.2 sn'den kısa ve 1 sn'den uzun periyodlarda gözlenmektedir.



Şekil 23. Mikrotremorların frekans-periyod dağılımları (Kanai ve Tanaka, 1961).

Örtü tabakasının olmadığı ya da çok az olduğu yerlerde, örneğin dağlık (I) bir bölgede mikrotremorların periyodları 0.1–0.2 saniyelerde doruklar vermektedir. Akarsu kaynaklı yerlerde (II) ise 0.2–0.4 saniyelerde pikler gözlenmektedir. Buna karşın alüvyon birimlerde (III) doruk değerleri 0.4-0.8 sn aralığında ve alüvyon kalınlığı arttıkça (IV) periyod aralığı 0.05 sn ile 2 sn aralığında değişmektedir (Şekil 23). Bu yöntemle analiz edilen mikrotremorlardan belirlenen ortalama periyod, en büyük periyod, baskın periyod ve en büyük genlik arasındaki ilişkiye göre zemin sınıflaması yapılmaktadır (Şekil 24 ve Tablo 1).



Şekil 24. (a) Ortalama periyod ile en büyük periyod arasındaki ilişkiye göre zemin sınıflaması, (b) Baskın periyod ile en büyük genlik arasındaki ilişkiye göre zemin sınıflaması (Kanai ve Tanaka, 1961).

Tablo 1. Kanai yönteminde kullanılan zemin sınıflaması (Kanai ve Tanaka, 1961).

Zemin Türü	Zemin Özellikleri
I	Kaya, sıkı kumlu çakıllı birimler
II	Kumlu çakıl, kumlu sıkı kil veya mil'den oluşmuş dilüviyal ya da kalınlığı 5 metre veya daha kalın çakıllı alüvyon
III	Kalınlığı 5 metre veya daha büyük alüvyon
IV	Yumuşak delta depolanmaları, kalınlığı 30 metre veya daha büyük çamur ve üst toprak birimlerini de içeren alüvyon

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. İnceleme Alanının Jeolojisi

2.1.1. Stratigrafi

Trabzon ili ve çevresinde Paleozoik–Kuvaterner zaman aralığında gelişmiş kaya birimleri yüzeylenmektedir. Liyas'tan başlayarak Eosen sonlarına kadar periyotlar halinde gelişimini sürdüren magmatizmanın ürünlerini içeren volkano-tortul, volkanik ve intrüzif kayalar yaygındır. İnceleme alanı ve yakın çevresinde Bakırköy Formasyonu (Güven, 1993), Kabaköy Formasyonu (Güven, 1993), Beşirli Formasyonu (Güven, 1993), kumlu-siltli kilaşları ve denizel taraçalar yüzeylenmektedir.



Şekil 25. İnceleme alanı ve yakın çevresinin jeoloji haritası (Yılmaz ve diğ., 1997'den).

KTÜ kampus alanında Eosen-Neojen yaşlı Kabaköy Formasyonu yüzeilenmektedir (Şekil 25). Birim Eosen yaşlı volkanik kayalardan (bazalt, andezit, bazaltik aglomera) ve bunların piroklastik ürünlerinden oluşur. Bütün bu kaya türleri birbirleriyle yanal ve düşey geçişli olarak, bazen birbirlerini kesmiş, çoklukla da ilişkileri belirsiz bir şekilde izlenir. Kabaköy Formasyonunun ayrışma ürünü olan kırmızı killer inceleme alanının güney kısmında küçük yüzlekler vermektedir. 1-10 m arasında kalınlıklara sahip olan kırmızı killer volkanik kayaların ayrışması sonucu oluşmuşlardır (kimyasal ayrışma). Bu birimin üzerinde kumlu-siltli kilttaşları yüzeilenir. Bu birim ilk kez Özsayar (1971) tarafından Ponsiyen Killeri olarak adlandırılmıştır. Güven (1993) tarafından birim Kaymaklı Formasyonu olarak tanımlanmıştır. Bu birim volkanik kayalardan daha genç olan sarımsı-gri renkli orta katmanlı gevşek çimentolu kumlu killi silttaş ve kilttaşlarından oluşur.

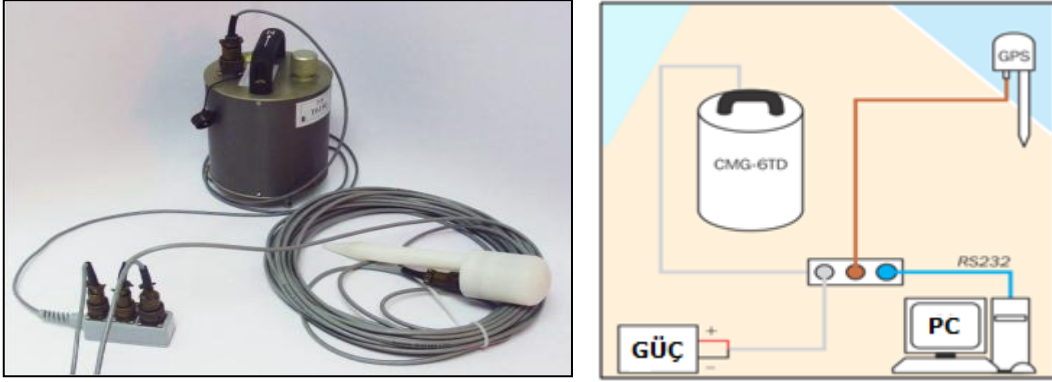
2.1.2. Tektonik

Trabzon ili ve yakın çevresi Doğu Karadeniz Ünitesinin kuzeydoğusunda yer alır (Ketin, 1966). Bu tektonik ünite batıda Kızılırmak vadisinden, doğuda Gürcistan sınırına kadar yaklaşık 500 km uzunluğunda, kuzey Karadeniz kıyısından, güneyde Kuzey Anadolu Fayına kadar yaklaşık 50-75 km genişliğinde metallojenik bir kuşak oluşturur. Geniş anlamda ise; Alpin dağ oluşumuna bağlı olarak Jura-Pliyosen zaman aralığında gelişmiş adayayı dizisinin bir parçasıdır. Trabzon ilinin de içinde yer aldığı Doğu Karadeniz, Erken Alpin dönemine ait Austirik, Orta Alpin dönemine ait Anadolu ve Genç Alpin dönemine ait tektonik fazların etkisinde kalmıştır. Bölgedeki granitik kayaların yerleşimi orojenik faaliyetlerle ilişkilidir. Kuvaterner döneminde epirojenik hareketlerin devam etmesi sonucunda gelişen regresif hareketlerle denizel sekiler oluşmuştur.

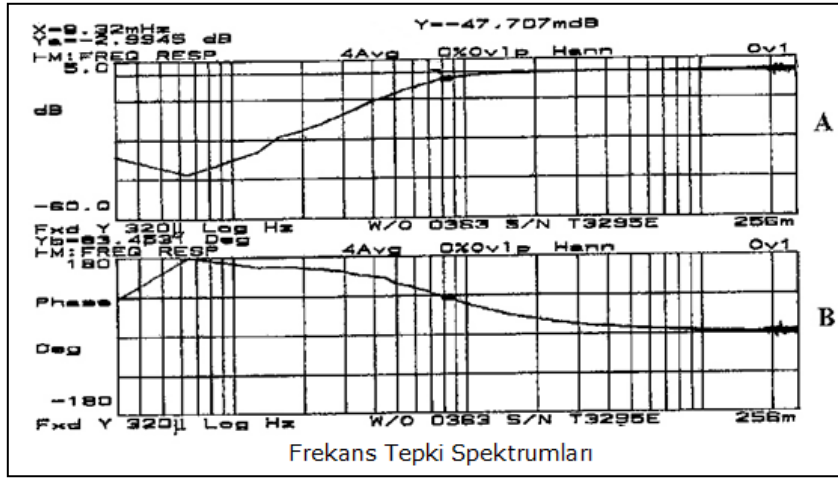
2.2. Kullanılan Ölçüm Cihazı ve Özellikleri

İnceleme alanında yapılan mikrotremor ölçümlerinde üç bileşen sayısal çıkışlı portatif geniş-bandlı sismometre (GURALP SYSTEM CMG-6TD) kullanılmıştır (Şekil 26a). Sismometreler ivme, hız ve yer değiştirmeye duyarlı olup bu üç büyüklükten biri seçilerek kayıt alınabilmektedir. Bu çalışmada sismometre ile yapılan ölçümlerde hız kaydı alınmıştır. Sismometrenin frekans tepki aralığı 320 μ Hz-256 miliHz' dir (Güralp Systems'

Manual). Uzun periyot tepkisi 10-120 sn ve kısa periyot tepkisi 50 Hz üzerindedir. Frekans aralığı 30sn-100Hz'dir (Şekil 27). Kullanılan sismometrenin tepki spektrumu Şekil 26b.'de verilmiştir. Hız sensörü 1 sn, hız duyarlılığı 2x1000 V/m/s'dir.



Şekil 26. (a) GÜRALP marka CMG-6TD üç bileşen geniş-band hız ölçen sismometre (b) ölçü düzeni



Şekil 27. Guralp CMG 6TD sismometrenin tepki spektrumu (Guralp ssystem manual ,CMG 6TD, 2000).

Kayıtlarda güç kaynağı olarak 12 V pil kullanılmıştır. Arazide kayıtlar doğrudan dizüstü bilgisayar bağlantısı ile sayısal olarak alınmıştır. Şekil 28.'de ölçümler sırasında kullanılan ekipmanlar görülmektedir.

Ölçümler Scream! 4.5 programıyla sayısal olarak GCF (Guralp sıkıştırılmış format, Guralp Compressed Format) formatında kaydedilmiştir. Alınan kayıtların örnekleme frekansı 100 Hz'dir. Ayrıca çalışma esnasında ölçü alınan noktaların koordinatları

GARMIN Etrex Vista HCX marka el GPS'i kullanılarak belirlenmiştir. GPS, <15 metre (33 feet) %95 doğrulukla hesap yapmaktadır. Altimetresi ise ± 10 feet'lik hata payına sahiptir.



Şekil 28. Arazide mikrotremor kayıtlarının alınmasında kullanılan üç bileşen CMG-6TD hız ölçen sismometre, GPS, akü ve bilgisayar

2.3. İnceleme Alanında Yapılan Mikrotremor Ölçümleri

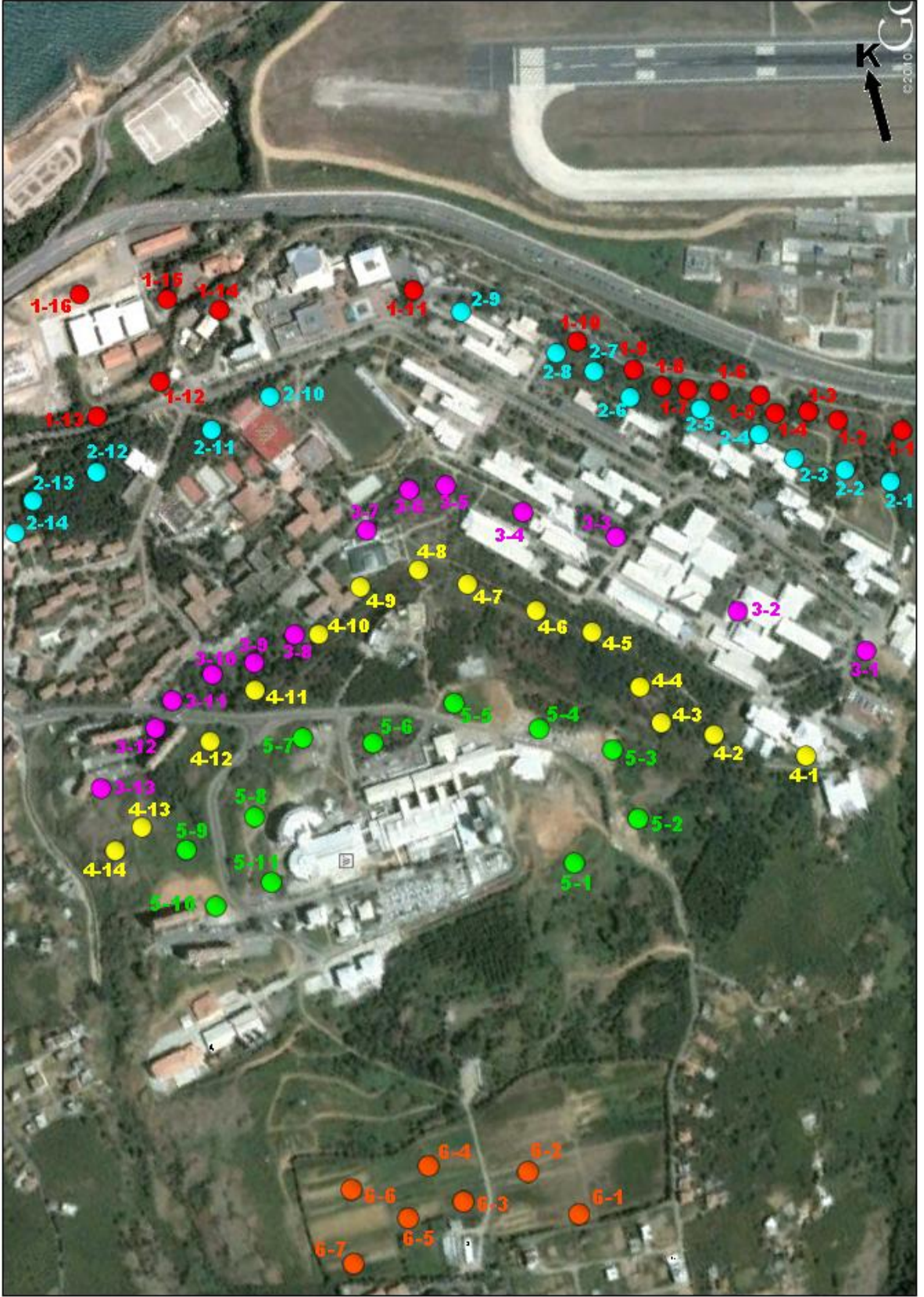
İnceleme alanı, Karadeniz Teknik Üniversitesi kampus sınırları içerisinde yaklaşık 2 km²'lik bir alanı kapsamaktadır. KTÜ kampus alanını kapsayan, doğu-batı doğrultusunda birbirine paralel 6 profil üzerinde CMG-6TD cihazı ile toplam 75 noktada mikrotremor ölçümü yapılmıştır (Şekil 29). Ölçüm noktalarının konumları ve aralarındaki uzaklık inceleme alanındaki yerleşimler gözönüne alınarak seçilmiştir. İnceleme alanının boyutu düşünülerek ölçüm aralıklarının 50m'den fazla olmamasına dikkat edilmiştir.

Mikrotremor ölçümlerinde kaydedilen değerler, sismometrenin üzerinde bulunduğu zeminin özelliklerini yansıtmaktadır. Bu sebeple ölçüm yapılan alanlarda sismometre doğal zemin üzerine yerleştirilmelidir. Aşırı gürültülü, asfalt ve beton gibi yapay zemin karakteri

taşıyan yüzeyler üzerinde, ağaç, elektrik direği ve benzeri yapıların yakınında, aşırı rüzgarlı ve yağışlı havlarda ve insan kaynaklı gürültülerin en yoğun olduğu zaman dilimlerinde kayıt alınmamaya çalışılmıştır. Ölçümlerin asfalt, kaldırım gibi yapay zeminlerde alınması durumunda elde edilen kayıtlar değerlendirildiğinde doğal zeminin baskın periyodu ve büyümesi değil, yapay zeminin baskın periyodu ve büyümesi bulunacaktır. Aynı şekilde sismometrenin üzerine yerleştirildiği zeminde çakıl, çimen gibi unsurların bulunması da kayıtlar üzerinde gerçek değerlerinden saptırıcı etki yapacaktır.

Mikrotremorların kaynakları çeşitli yapay ve doğal gürültüler olmasına rağmen, ölçüm alınan bölgenin bu gürültülerden (kaynağın büyüklüğüne ve özelliklerine bağlı olarak) yeterince uzak olmaması durumunda bu etkenler kaynak oluşturmak yerine ölçümlerde bozucu etkilere neden olabilmektedir. Böyle bir durumda alınacak kayıtlar zeminin özelliklerini yansıtmak yerine, kaynağın özelliklerini yansıtacaktır. Arazi çalışmasında böyle durumlardan kaçınılmıştır. Mikrotremor ölçümleri kültürel gürültünün en az olduğu 20:00-00:00 saatleri arasında alınmıştır.

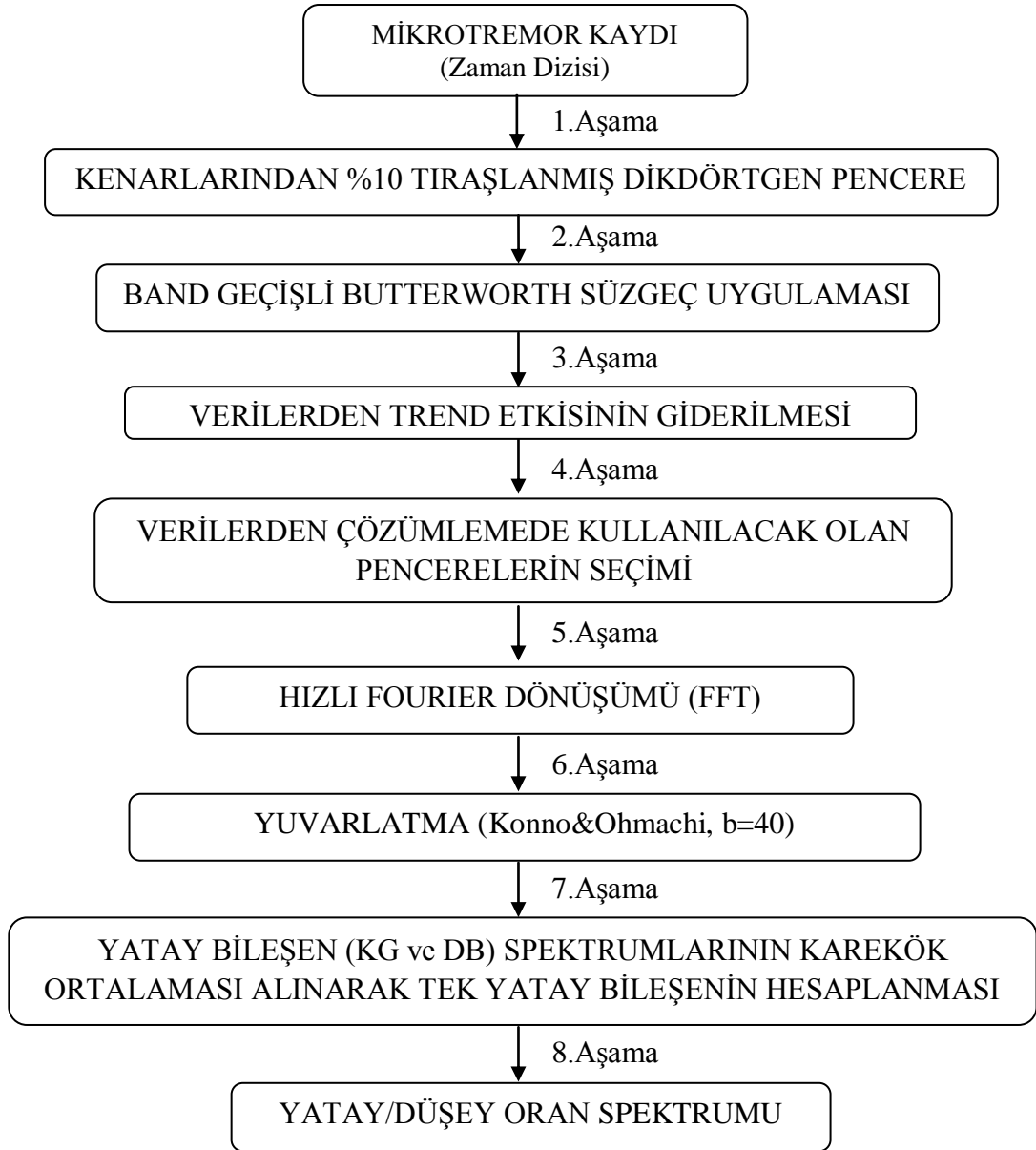
Arazide kayıtlar bilgisayar üzerinde anında görüntülenebildiğinden kayıt süresi, gürültü içeriği göz önüne alınarak belirlenmiştir. Gürültünün fazla olduğu yerlerde sakin aralıkları yakalayabilmek için kayıt süresi daha uzun tutulmuştur. Alınan kayıtların süresi 15-35 dk arasında değişmektedir. Ayrıca kayıt kalitesi düşük olan bazı mikrotremor ölçümleri yenilenmiştir.



Şekil 29. KTÜ kampus alanında 6 profil için belirlenen mikrotremor ölçüm noktaları

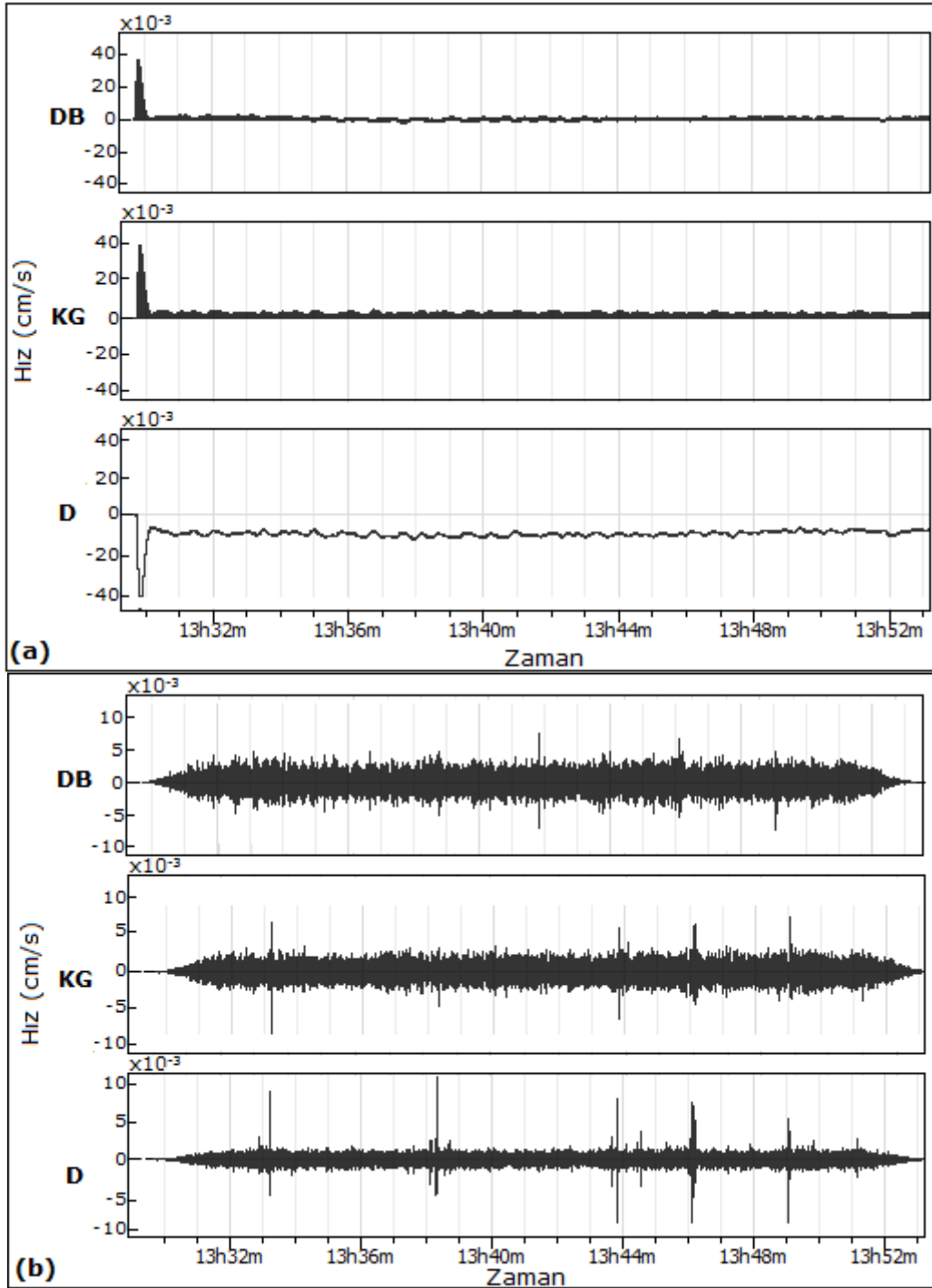
2.4. Mikrotremor Verilerinin Nakamura Yöntemi İle Değerlendirilmesi

KTÜ kampus alanının zemin hakim periyodu ve büyütme parametrelerinin belirlenmesi amacıyla oluşturulan 6 profilde geniş-band hız ölçen üç bileşen sismometre ile alınan mikrotremor kayıtlarına, Nakamura (1989) tarafından geliştirilen H/V (Yatay/Düşey Spektral Oran) yöntemi Geopsy paket programı kullanılarak uygulanmıştır (Ek 1). Mikrotremor verilerinin Nakamura Yöntemi ile değerlendirilmesinde yürütülen işlemlerin akış şeması Şekil 30.'da verilmiştir.



Şekil 30. Veri işlem akış şeması (Nakamura Yöntemi, H/V)

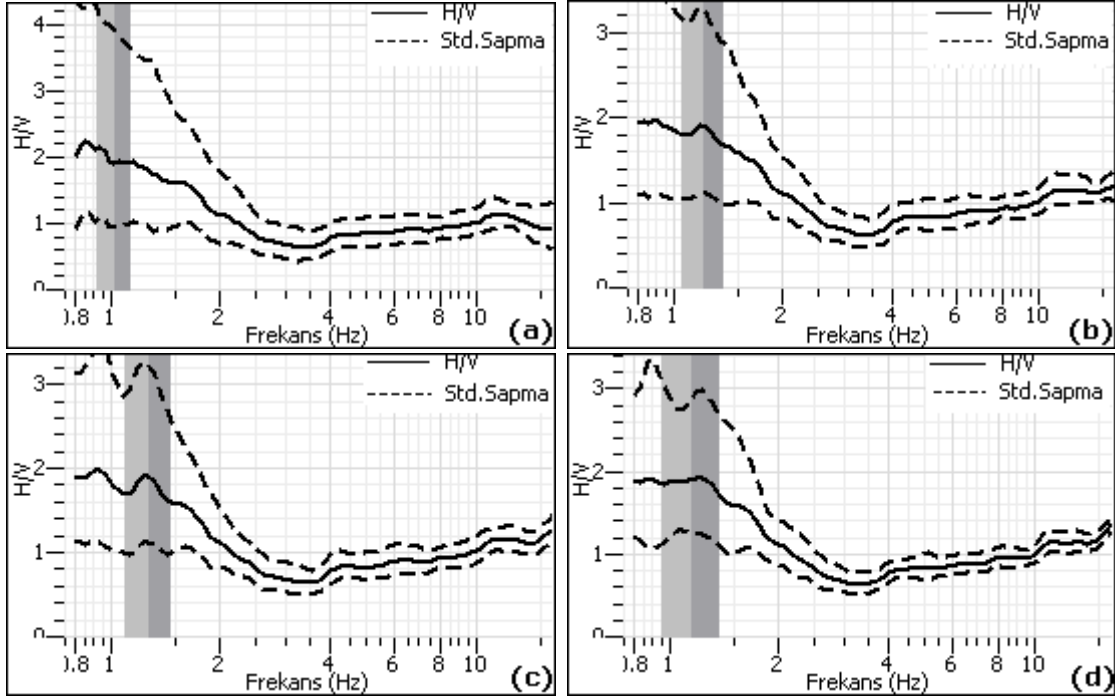
Değerlendirmenin ilk aşamasında kaydedilen ham veriye zaman ortamında pencereleme işlemi yapılmıştır. Kenarlarından %10 yuvarlatılmış Kosinüs penceresi uygulanarak zaman dizisinin her iki ucunda oluşacak ani değişimler sonucu spektrumlarda görülebilecek yan salınımların genlikleri düşürülmüştür (Şekil 31).



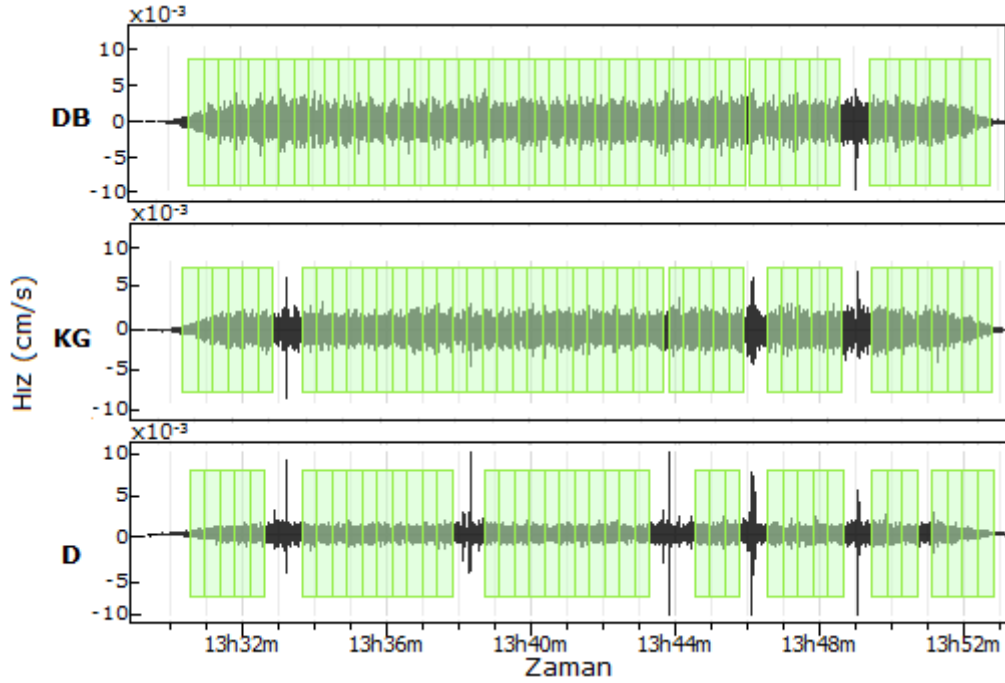
Şekil 31. (a) ham veri (b) trend etkisi giderilmiş, süzgeç uygulanmış ve kenarlarından %10 tıraşlanmış üç bileşen mikrotremor kaydı

İkinci aşamada, pencerelenmiş ham veri 0.5-10 Hz arasında band geçişli Butterworth süzgeç ile süzülmüştür. Böylece sinyallerden çok düşük ve yüksek frekanslardaki gürültüler atılmış, geriye mikrotremorları oluşturan frekans içeriği kalmıştır. Mikrotremorlar ile ilgili daha önce yapılan çalışmalar incelendiğinde, band aralığı için kesin sınır değerler olmadığı görülmektedir. İncelenen spektrumların frekans eksen uzunlukları 10-15 Hz arasında değişmekle beraber 8 Hz'in yukarısında baskın pikler gözlenmemiştir. Daha sonra üç bileşende sinyaller sıfır ortalamaya getirilerek trend etkisi giderilmiştir.

Üçüncü aşamada çözümlemede kullanılmak üzere süzülmüş verilerden gürültü içermeyen, temiz kısımlar pencereler halinde seçilir ve ilgilenilen frekans aralığına göre pencere boyları değiştirilerek uygun pencere boyu belirlenir. Şimdiye kadar yapılan çalışmalarda pencere boyunun ilgilenilen frekans aralığının 10 katı alınabileceği belirtilmiştir (Karabulut, 2005). Bu çalışmada da 10-40 sn aralığında pencere boyu değerleri denenmiş, tüm veriye uygulanabilecek en iyi değer için ilgilenilen frekans aralığının 10 katına karşılık gelen 25 sn olduğu bulunmuştur (Şekil 32 ve Şekil 33). Seçilen bu pencere boyuna göre çözümlemede kullanılan verilerin uzunlukları 250-1875 sn arasında değişmektedir.

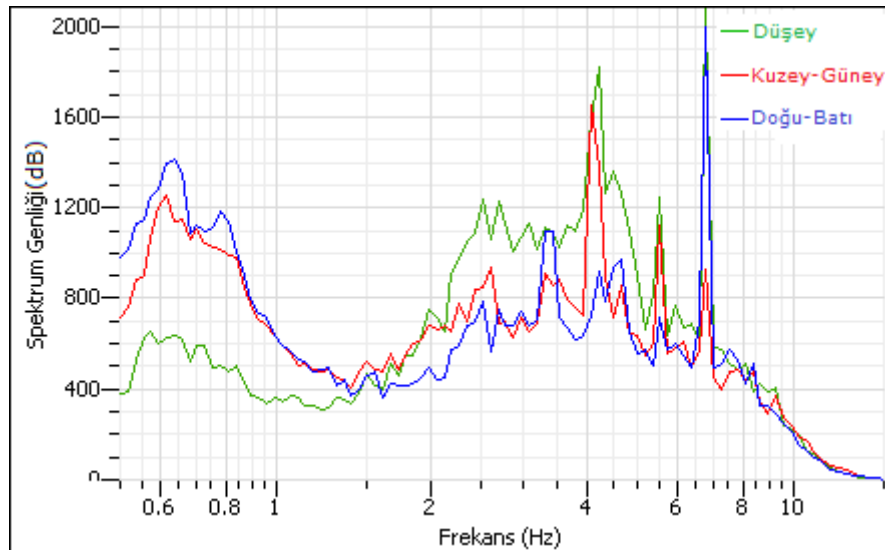


Şekil 32. 1. profilin 4. ölçüm noktası için pencere boyu seçimi: (a) 10, (b) 20, (c) 25 ve (d) 40 sn'lik pencere boyları için çizdirilen H/V spektral oranlar



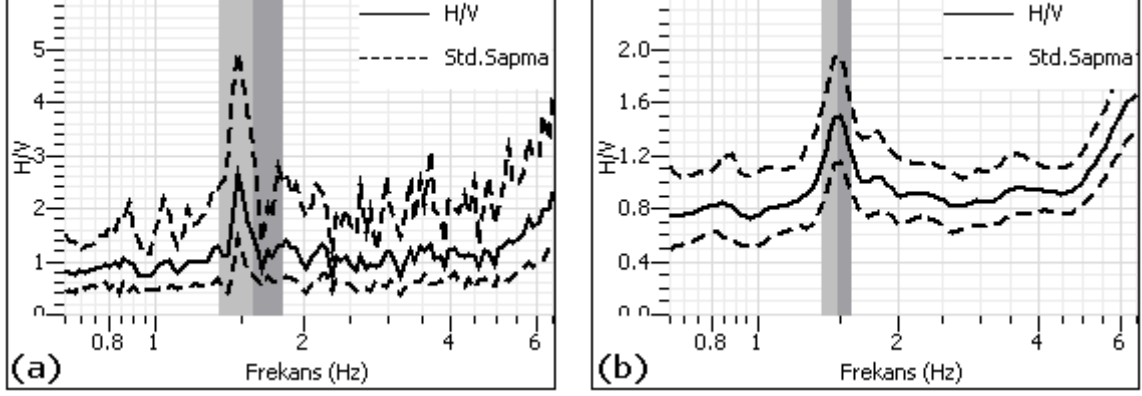
Şekil 33. Çözümlemede kullanılmak üzere üç bileşen mikrotremor verisinden seçilen 25 sn'lik pencereler

Dördüncü aşamada, süzülen ve Kosinüs penceresi uygulanan zaman dizisinin Hızlı Fourier Dönüşümü (Fast Fourier Transform, FFT) ile frekans ortamında üç bileşen (Kuzey-Güney, Doğu-Batı ve düşey bileşen) genlik spektrumları hesaplanmıştır (Şekil 34).



Şekil 34. 6. profilin 7. ölçüm noktasına ait mikrotremor kaydının üç bileşen genlik spektrumu

Beşinci aşamada, üç bileşene ait genlik spektrumları Konno&Ohmachi penceresi (düzeltme sabiti $b=40$ alınmıştır) ile yuvarlatılarak daha düzgün spektrum elde edilmeye çalışılmıştır (Şekil 35).



Şekil 35. (a) yuvarlatma uygulanmamış (b) Konno&Ohmachi penceresi ile yuvarlatılmış mikrotremor kaydının H/V spektral oran grafikleri

Altıncı aşamada, iki yatay bileşenin (KG ve DB) spektrum değerlerinin karekök ortalaması alınarak tek yatay bileşen (Y) elde edilmiştir. Böylece kullanılan yatay bileşen yön bağımsız duruma getirilmiştir ve bileşenlerden herhangi birinde olabilecek gürültü oranı azaltılmıştır.

Son olarak, her bir pencere için belirlenen yatay bileşenlerin ortalaması (karekök ortalama) düşey bileşen spektrumuna oranlanmış ve elde edilen H/V oran spektrumları aynı eksende çizdirilerek spektral uyum kontrol edilmiştir. Seçilen tüm pencereler için hesaplanan H/V oranlarının aritmetik ortalaması yatay eksen frekans, düşey eksen genlik olacak biçimde çizdirilmiştir. Bu grafikte en büyük genlikli pikin frekans ekseninde karşılık geldiği aralık, baskın frekans aralığı ve genlik değeri de büyütme olarak alınmıştır.

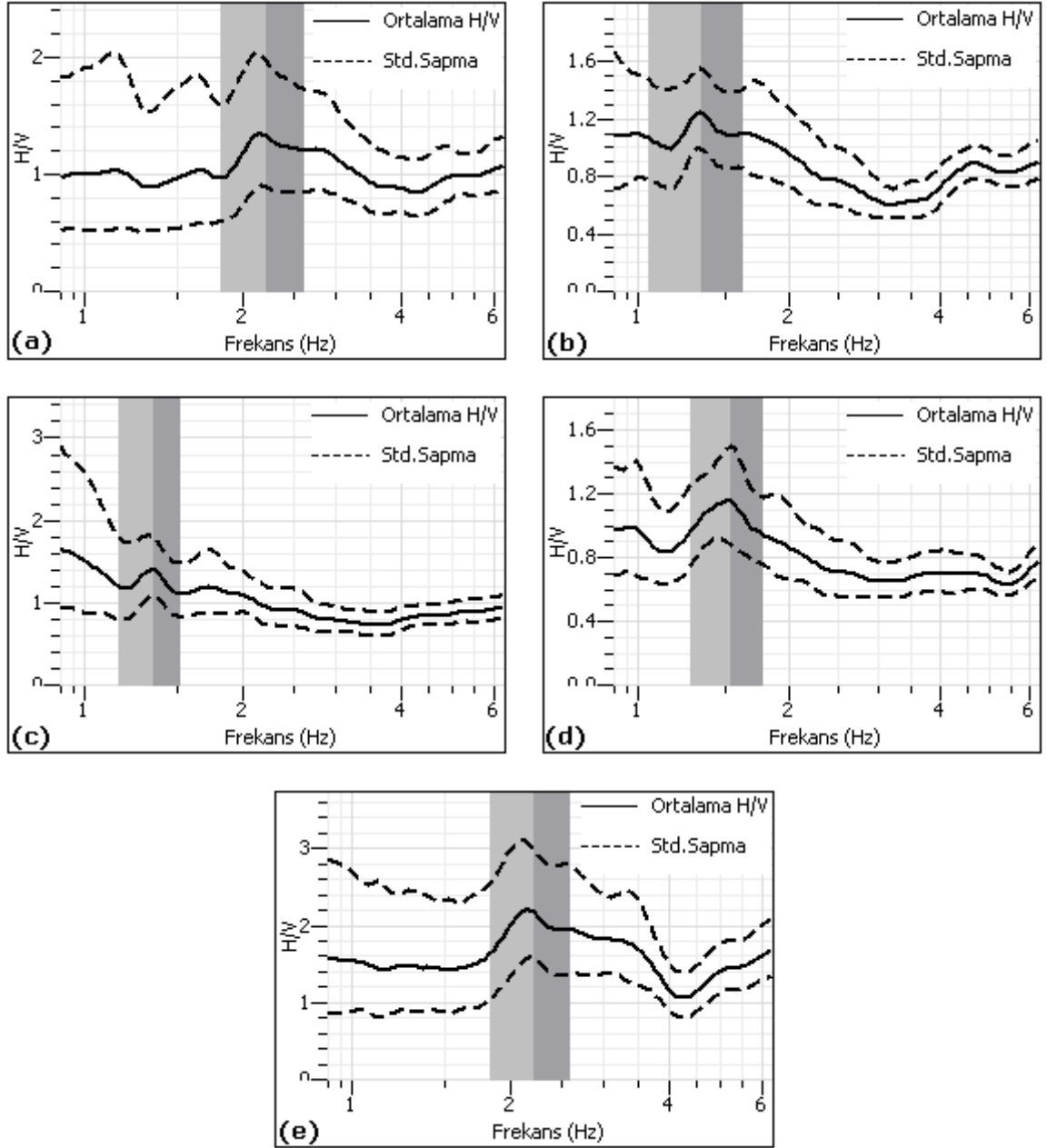
3. ARAŞTIRMA BULGULARI

Bu çalışma kapsamında, KTÜ yerleşkesine ait zemin parametrelerini belirlemek amacıyla oluşturulan 6 profilde toplam 75 noktada tek istasyon mikrotremor kayıtları alınmıştır (Şekil 29). Daha sonra bu kayıtlar Bölüm 2.5.'de tanımlanan veri işlem aşamalarından geçirilip Nakamura H/V oran yöntemi uygulanarak zemin hakim frekans (hakim periyod) ve büyütme değerleri bulunmuştur (Ek 2-7).

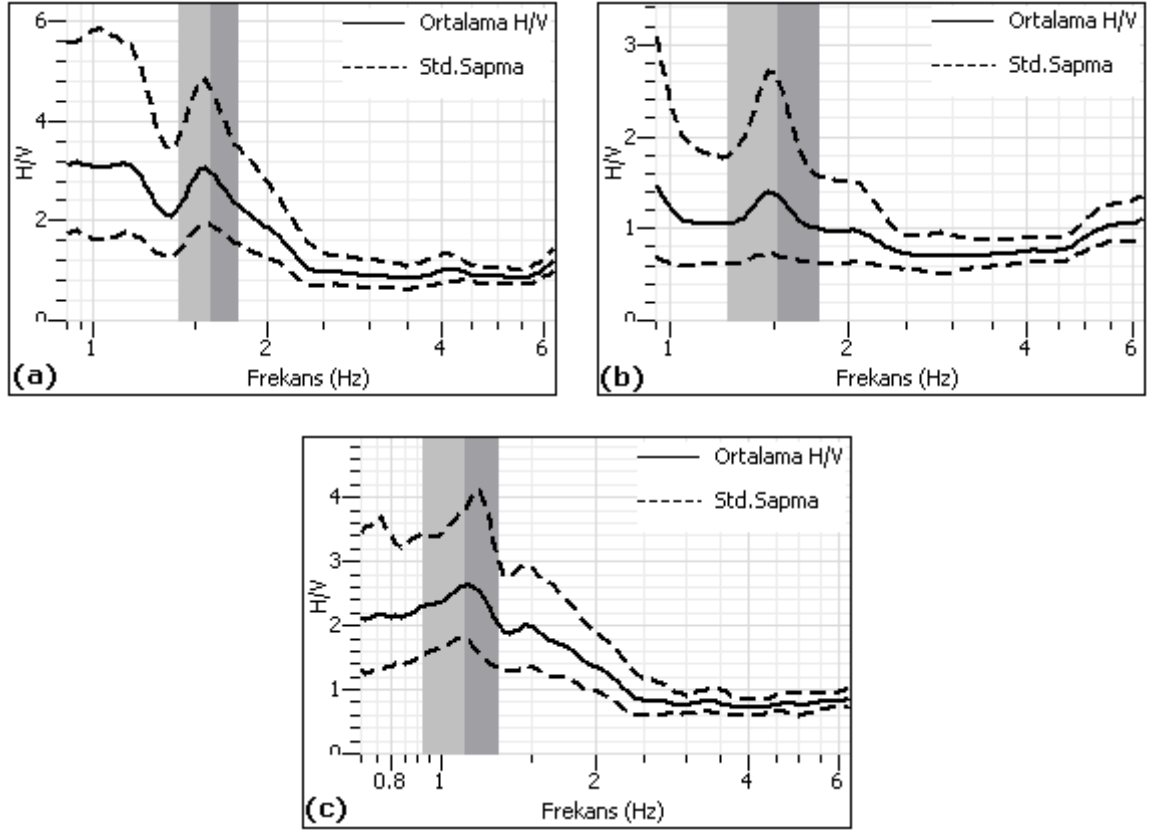
3.1. Nakamura Yöntemine Göre En Büyük Genliklerin Değerlendirilmesi

KTÜ kampus alanında mikrotremor verileri ile yapılan çalışma kapsamında ölçü alınan 21 noktaya ait verinin H/V spektral oranları Şekil 36., Şekil 37., Şekil 38., Şekil 39., Şekil 40. ve Şekil 41.'de verilmiştir. Bu noktalardaki pikler hakim frekansları (veya periyodları) belirlemede diğer ölçü noktalarına göre daha belirgindir. Şekiller incelendiğinde 1. profilin 1, 3, 5, 11 ve 16., 2. profilin 8, 9 ve 10., 3. profilin 5 ve 13., 4. profilin 8, 9, 10 ve 12., 5. profilin 1 ve 8., 6. profilin 1, 2, 3, 5 ve 7. ölçüm noktalarına ait H/V spektral oran grafiklerinde hakim pikler net olarak görülmektedir.

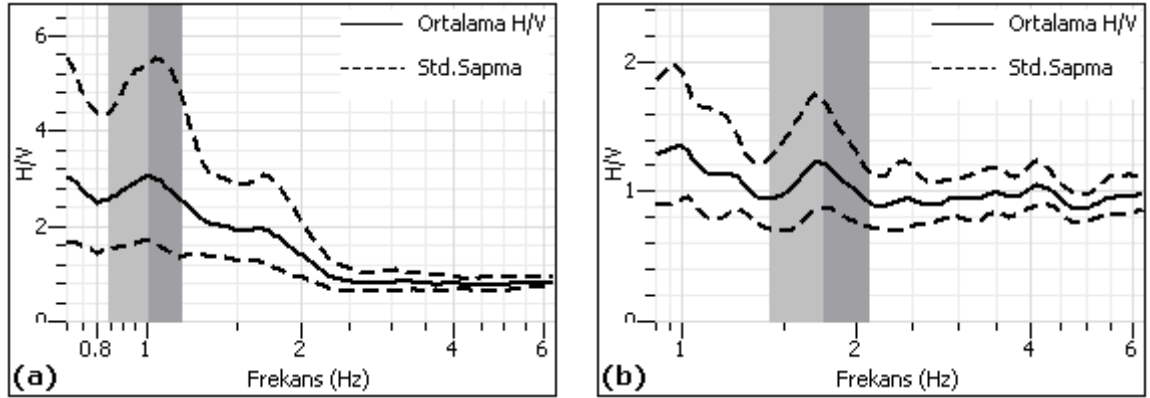
Spektrumlara ait en büyük genlikler incelendiğinde, yumuşak dolgu malzemesi özelliği taşıyan 1. profil, 2. profil, 3. profil ve 5. profillere ait H/V oran spektrumlarında hakim pik çok daha belirgin olup maksimum genlikli tek pik şeklindedir. Ayrıca kırmızı killerin bulunduğu 6. profilde alınan mikrotremor kayıtlarının H/V spektral oranlarına bakıldığında hakim piklerin çok net ve tek baskın pik şeklinde oldukları görülmektedir. Gevşek zeminlerin spektral oranlarında çoğunlukla bir tane hakim pik gözlenmektedir. Bu hakim pikler genellikle düşük frekanslarda bulunur ve genlik açısından ani yükselim sergilerler. Sağlam zeminlerin spektral oranlarında genellikle birden fazla pik gözlenmektedir. 4. profilde ölçülen mikrotremorlardan 8, 9 ve 10. noktalara ait spektral oranlar incelendiğinde diğer profillerin bulunduğu zeminlerden farklı olarak, kaya üzerinde yer alan bu noktaların H/V oran grafiklerinde hakim piklerin yüksek frekanslarda olduğu ve birden fazla pikin (9. ve 10. noktalar) yer aldığı görülmektedir.



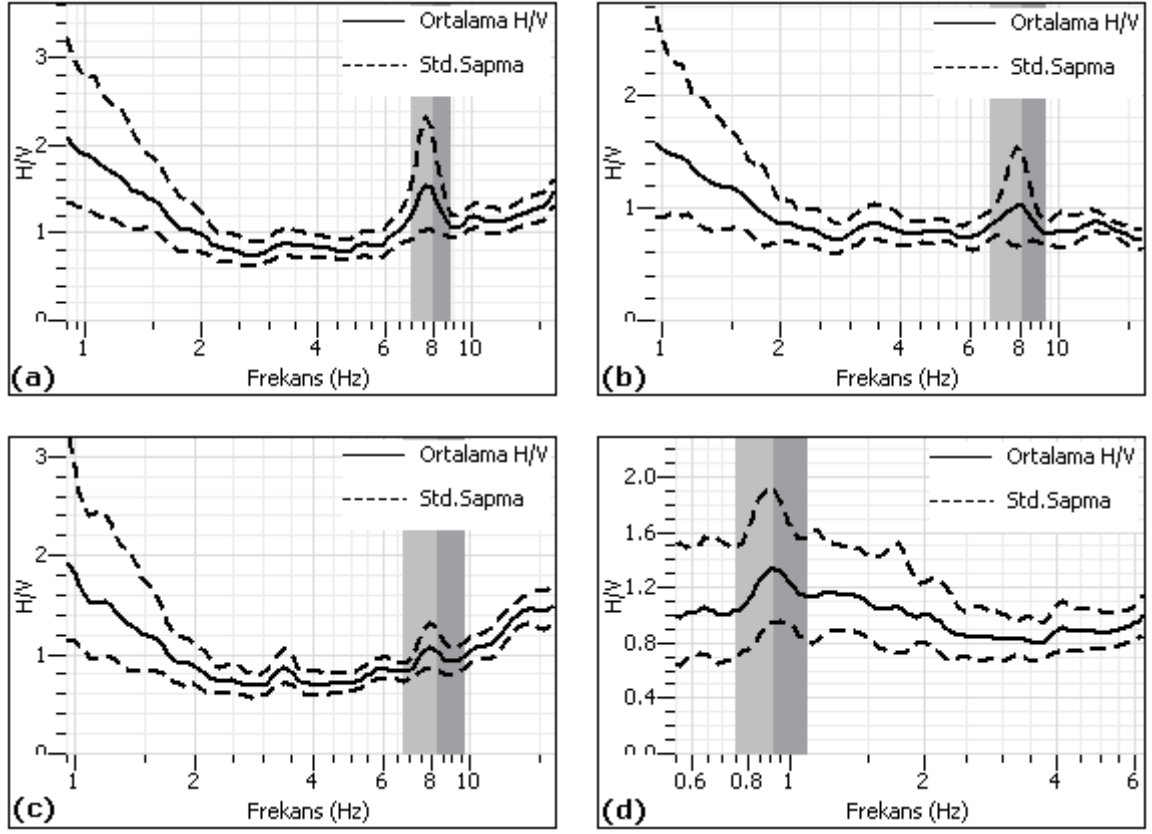
Şekil 36. KTÜ kampus alanında yapılan mikrotremor ölçümlerinden 1. profilin (a) 1 (b) 3 (c) 5 (d) 11 (e) 16. ölçüm noktasına ait H/V oran spektrumları



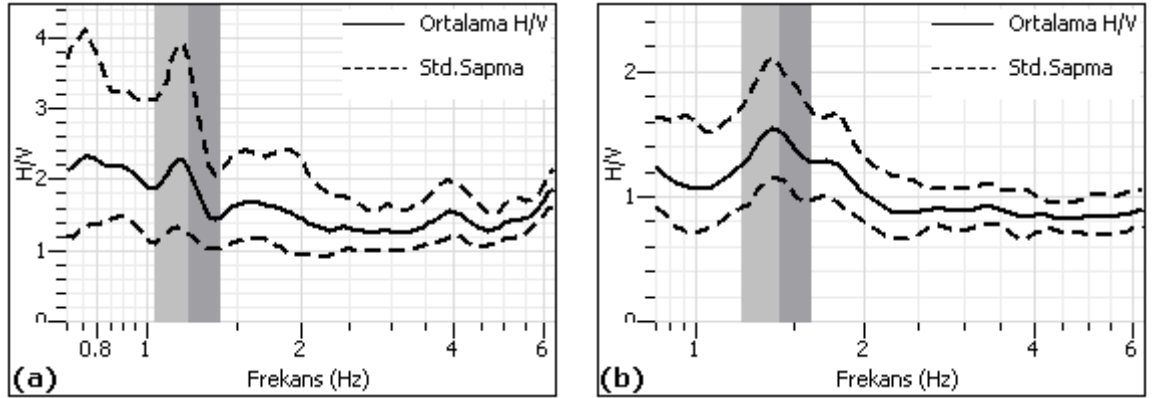
Şekil 37. KTÜ kampus alanında yapılan mikrotremor ölçümlerinden 2. profilin (a) 8 (b) 9 (c) 10. ölçüm noktasına ait H/V oran spektrumları



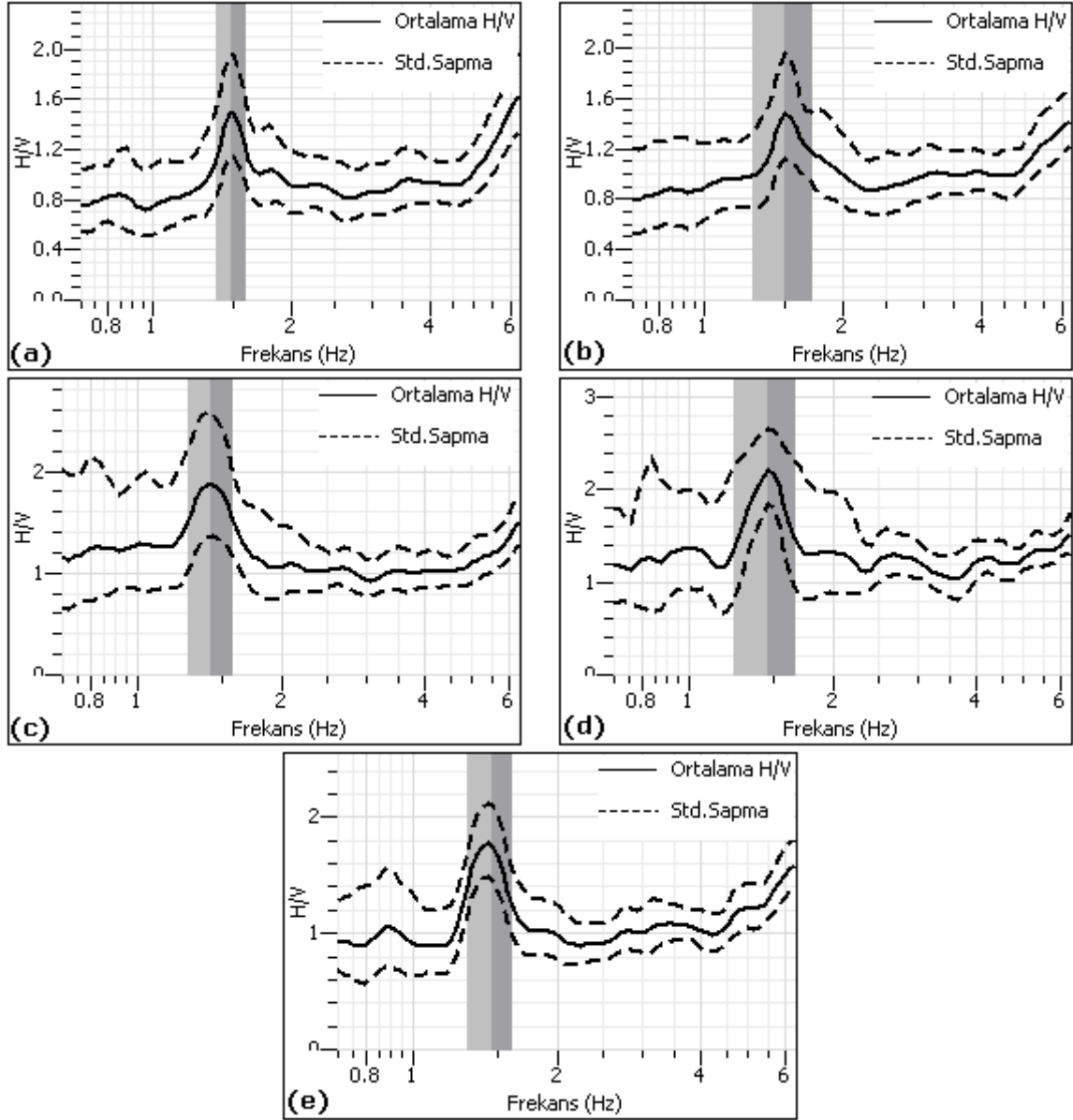
Şekil 38. KTÜ kampus alanında yapılan mikrotremor ölçümlerinden 3. profilin (a) 5 (b) 13. ölçüm noktasına ait H/V oran spektrumları



Şekil 39. KTÜ kampus alanında yapılan mikrotremor ölçümlerinden 4. profilin (a) 8 (b) 9 (c) 10 (d) 12. ölçüm noktasına ait H/V oran spektrumları



Şekil 40. KTÜ kampus alanında yapılan mikrotremor ölçümlerinden 5. profilin (a) 1 (b) 8. ölçüm noktasına ait H/V oran spektrumları



Şekil 41. KTÜ kampus alanında yapılan mikrotremor ölçümlerinden 6. profilin (a) 1 (b) 2 (c) 3 (d) 5 (e) 7. ölçüm noktasına ait H/V oran spektrumları

Birden fazla pik içeren bazı spektral oranlarda en büyük genlikli pik sahte pik olabilmektedir. Sahte piklerin görüldüğü H/V spektral oran grafiklerinde hakim frekanslar yer aldıkları zemin sınıfına göre beklenen değerlerden çok düşük ya da çok yüksek frekanslarda bulunmaktadır. 1. profilin 15. ölçüm noktası ile 3. profilin 2. ölçüm noktasına ait H/V spektral oran grafiklerinde sahte pikler yüksek frekanslarda yaklaşık 13 Hz civarındadır. Genlik spektrumlarında, 13 Hz civarındaki yatay genlik spektrum değerleri dikey genlik spektrum değerinden oldukça yüksektir. Bu sahte pikler yüksek genliğin düşük genliğe bölünmesinden kaynaklanmaktadır (Şekil 42).

3.2. Spektral Oranlara Göre Zemin Sınıflarının Belirlenmesi

Nakamura tekniği ile verilerin değerlendirilmesinden sonra elde edilen spektral oranlar incelendiğinde, gözlenen hakim periyod, hakim frekans ve büyütme değerleri zeminin gevşek veya sağlam (kaya) birim olmasına göre farklı özellikler göstermektedir. Bu değerlerden yararlanarak 6 profildeki 75 nokta için KTÜ kampus alanına ait zemin sınıfı belirlenmeye çalışılmıştır. Yerel zemin sınıfı oluşturmak için Kanai ve Tanaka (1961) tarafından yapılan sınıflandırma kullanılmıştır (Şekil 23 ve Tablo 1). Bu sınıflandırmaya göre KTÜ kampus alanı içerisinde 3 tür zemin sınıfı belirlenmiştir (Z_1 , Z_3 ve Z_4). 1. ve 2. profiller için birbirine çok yakın olan 1. profildeki 2, 3, 4 ve 5. ölçüm noktaları ile 2. profildeki 1, 2 ve 3. ölçüm noktalarının bulunduğu zemin türü Z_4 'tür. Elde edilen H/V spektral oranlardan belirlenen hakim periyod aralıkları (veya hakim frekans aralıkları) göz önüne alınarak 1., 2., 4. ve 6. profillerin Z_3 , 3. ve 5. profillerinin Z_4 türü zemin sınıfında yer aldığı söylenebilir. Z_3 ve Z_4 türü zemin sınıflarında hakim frekanslar genellikle 1.8 Hz'in altında bulunmuştur. Z_3 türü zemin sınıfının yer aldığı noktalara ait H/V spektral oranlardaki hakim frekansların, Z_4 türü zemin sınıfında yer alan noktalara kıyasla daha yüksek, hakim periyod değerlerinin ise daha düşük olduğu görülmektedir. Yani, zeminin sıklığı arttıkça frekans değeri yükselmekte, periyod değeri azalmaktadır. Bunlardan ayrı olarak 4. profile kaya üzerindeki 8., 9. ve 10. ölçüm noktaları ise Z_1 türü zemin sınıfındadır. Z_1 türü zemin sınıfındaki hakim frekanslar 7 Hz' in üzerinde, hakim periyodlar ise 0.1 sn civarındadır. KTÜ kampus alanının geneli için H/V spektral oranlardan gözlenen hakim frekansların zeminin sağlamlığı ile doğru orantılı olarak değiştiği ve grafiklerden elde edilen hakim frekans, hakim periyod ve büyütme sonuçlarının kendi zemin sınıfı içerisinde tutarlı olduğu söylenebilir.

Değerlendirme sonucunda, KTÜ kampus alanında 6 profildeki 75 nokta için H/V spektral oran grafiklerinden elde edilen hakim frekans ve hakim frekans aralıkları, hakim periyod ve hakim periyod aralıkları ve büyütme değerleri karşılık geldikleri ölçü numarası, koordinat, veri boyu, çözümlenmede kullanılan pencere sayısı, çözümlenen veri boyu ve zemin sınıflarına göre Tablo 2., Tablo 3., Tablo 4., Tablo 5., Tablo 6. ve Tablo 7.' de verilmiştir.

Tablo 2. Mikrotremor ölçümlerinin değerlendirilmesi sonucu elde edilen 1.profile ait hakim frekans, hakim peryod, büyütme ve zemin sınıfı değerleri

Ölçü No	Koordinatlar		Veri Boyu (dk)	Kullanılan Pencere Sayısı (PS)	Çözümlenen Veri Boyu PS*25 (sn)	Hakim Frekans Aralığı (Hz)	Hakim Frekans (Hz)	Hakim Peryod Aralığı (sn)	Hakim Peryod (sn)	Büyütme	Zemin Sınıfı
	BOYLAM (°K)	ENLEM (°D)									
1-1	40,99418	39,7781	35	33	825	1.80-2.58	2.147	0.38-0.55	0.465	1.32	Z3
1-2	40,99456	39,7773	26	53	1325	1.27-1.62	1.410	0.61-0.78	0.709	1.07	Z4
1-3	40,99478	39,77696	34	53	1325	1.23-1.46	1.328	0.68-0.81	0.753	1.21	Z4
1-4	40,99491	39,77651	26	37	925	1.10-1.40	1.257	0.71-0.90	0.795	1.81	Z4
1-5	40,99515	39,77641	32	47	1175	1.21-1.52	1.352	0.66-0.82	0.739	1.41	Z4
1-6	40,99538	39,77588	21	31	775	1.49-1.98	1.712	0.50-0.67	0.584	2.17	Z3
1-7	40,99553	39,77546	35	56	1400	1.78-2.32	2.045	0.43-0.56	0.489	1.30	Z3
1-8	40,99568	39,77486	30	50	1250	1.39-1.84	1.635	0.54-0.71	0.611	1.06	Z3
1-9	40,99596	39,77486	33	67	1675	1.48-1.86	1.658	0.54-0.67	0.603	1.24	Z3
1-10	40,9965	39,77428	35	75	1875	1.39-1.75	1.546	0.57-0.71	0.646	1.10	Z3
1-11	40,99771	39,77241	32	61	1525	1.34-1.69	1.503	0.59-0.74	0.665	1.15	Z3
1-12	40,99793	39,76851	21	40	1000	1.39-1.83	1.620	0.54-0.71	0.617	1.14	Z3
1-13	40,99788	39,76746	21	11	275	1.28-1.62	1.404	0.61-0.78	0.712	2.30	Z4
1-14	40,9984	39,76973	33	25	625	1.06-1.34	1.184	0.75-0.94	0.844	1.70	Z4
1-15	40,99876	39,76908	25	35	875	1.37-1.84	1.592	0.54-0.73	0.628	1.79	Z3
1-16	40,99923	39,76791	33	42	1050	1.90-2.49	2.158	0.40-0.53	0.463	2.22	Z3

Tablo 3. Mikrotremor ölçümlerinin değerlendirilmesi sonucu elde edilen 2.profile ait hakim frekans, hakim periyod, büyütme ve zemin sınıfı değerleri

Ölçü No	Koordinatlar		Veri Boyu (dk)	Kullanılan Pencere Sayısı (PS)	Çözümlenen Veri Boyu PS*25 (sn)	Hakim Frekans Aralığı (Hz)	Hakim Frekans (Hz)	Hakim Periyod Aralığı (sn)	Hakim Periyod (sn)	Büyütme	Zemin Sınıfı
	BOYLAM (°K)	ENLEM (°D)									
2-1	40,99371	39,77761	20	32	800	1.25-1.58	1.386	0.63-0.80	0.721	1.13	Z4
2-2	40,99426	39,77715	27	26	650	1.07-1.47	1.285	0.68-0.94	0.778	1.47	Z4
2-3	40,99426	39,77668	33	39	975	0.99-1.38	1.191	0.72-1.00	0.839	2.06	Z4
2-4	40,99476	39,77615	22	30	750	1.32-1.88	1.639	0.53-0.75	0.610	1.94	Z3
2-5	40,99528	39,77551	28	40	1000	1.76-2.49	2.185	0.40-0.56	0.457	1.75	Z3
2-6	40,9957	39,77465	35	48	1200	1.31-1.75	1.534	0.57-0.76	0.651	1.61	Z3
2-7	40,99611	39,77431	20	34	850	1.41-1.79	1.592	0.55-0.70	0.628	1.87	Z3
2-8	40,99646	39,77393	16	22	550	1.39-1.78	1.561	0.56-0.72	0.640	3.11	Z3
2-9	40,9973	39,77291	35	44	1100	1.23-1.74	1.477	0.57-0.81	0.677	1.41	Z3
2-10	40,99728	39,7699	18	32	800	0.94-1.29	1.147	0.77-1.06	0.871	2.62	Z4
2-11	40,99721	39,76893	20	28	700	0.92-1.34	1.147	0.74-1.09	0.871	1.79	Z4
2-12	40,9973	39,76716	20	22	550	1.01-1.38	1.191	0.72-0.98	0.839	1.66	Z4
2-13	40,9973	39,76615	21	32	800	1.51-1.81	1.666	0.55-0.66	0.600	1.83	Z3
2-14	40,99675	39,76523	34	51	1275	1.03-1.32	1.169	0.75-0.97	0.855	2.05	Z4

Tablo 4. Mikrotremor ölçümlerinin değerlendirilmesi sonucu elde edilen 3.profile ait hakim frekans, hakim peryod, büyütme ve zemin sınıfı değerleri

Ölçü No	Koordinatlar		Veri Boyu (dk)	Kullanılan Pencere Sayısı (PS)	Çözümlenen Veri Boyu PS*25 (sn)	Hakim Frekans Aralığı (Hz)	Hakim Frekans (Hz)	Hakim Peryod Aralığı (sn)	Hakim Peryod (sn)	Büyütme	Zemin Sınıfı
	BOYLAM (°K)	ENLEM (°D)									
3-1	40,99216	39,77625	25	32	800	1.88-2.44	2.134	0.41-0.53	0.468	1.44	Z3
3-2	40,99311	39,77478	25	48	1200	1.15-1.52	1.319	0.65-0.87	0.758	1.15	Z4
3-3	40,99436	39,77363	20	44	1100	1.22-1.50	1.345	0.66-0.82	0.743	1.07	Z4
3-4	40,99485	39,77305	23	34	850	0.86-1.12	0.986	0.88-1.16	1.014	2.77	Z4
3-5	40,99561	39,77169	34	51	1275	0.85-1.18	1.013	0.84-1.18	0.987	3.00	Z4
3-6	40,99573	39,77119	30	46	1150	1.41-1.72	1.561	0.58-0.70	0.640	1.72	Z3
3-7	40,99551	39,77041	23	25	625	0.99-1.31	1.151	0.75-1.00	0.868	1.44	Z4
3-8	40,99480	39,76889	20	25	625	0.89-1.17	1.027	0.85-1.11	0.973	1.73	Z4
3-9	40,99470	39,76816	31	57	1425	0.87-1.11	0.991	0.90-1.14	1.009	1.27	Z4
3-10	40,99476	39,76759	20	28	700	1.08-1.48	1.292	0.67-0.91	0.773	1.38	Z4
3-11	40,99468	39,76693	31	34	850	0.92-1.27	1.079	0.78-1.07	0.926	1.44	Z4
3-12	40,99448	39,76656	14	14	350	1.10-1.58	1.341	0.63-0.90	0.745	1.43	Z4
3-13	40,99406	39,76509	23	31	775	1.42-2.08	1.722	0.48-0.70	0.580	1.24	Z3

Tablo 5. Mikrotremor ölçümlerinin değerlendirilmesi sonucu elde edilen 4.profile ait hakim frekans, hakim periyod, büyütme ve zemin sınıfı değerleri

Ölçü No	Koordinatlar		Veri Boyu (dk)	Kullanılan Pencere Sayısı (PS)	Çözümlenen Veri Boyu PS*25 (sn)	Hakim Frekans Aralığı (Hz)	Hakim Frekans (Hz)	Hakim Periyod Aralığı (sn)	Hakim Periyod (sn)	Büyütme	Zemin Sınıfı
	BOYLAM (°K)	ENLEM (°D)									
4-1	40,99141	39,77481	15	20	500	1.61-2.09	1.821	0.47-0.61	0.549	1.20	Z3
4-2	40,99203	39,77373	25	41	1025	1.65-2.22	1.854	0.45-0.60	0.539	1.60	Z3
4-3	40,99238	39,77311	20	16	400	1.32-1.67	1.511	0.59-0.75	0.661	1.19	Z3
4-4	40,99281	39,77304	15	16	400	1.76-2.18	1.967	0.45-0.56	0.508	1.10	Z3
4-5	40,99355	39,77274	22	24	600	1.32-1.67	1.515	0.59-0.75	0.660	1.14	Z3
4-6	40,99399	39,77214	22	32	800	1.19-1.59	1.370	0.62-0.83	0.729	1.43	Z4
4-7	40,99454	39,77141	18	27	675	1.29-1.72	1.492	0.58-0.77	0.670	1.37	Z3
4-8	40,99490	39,77086	17	52	1300	6.85-8.81	7.684	0.11-0.14	0.130	1.55	Z1
4-9	40,99498	39,77001	21	34	850	6.62-9.22	7.862	0.10-0.15	0.127	1.03	Z1
4-10	40,99470	39,76921	22	41	1025	7.27-8.68	7.861	0.11-0.13	0.127	1.08	Z1
4-11	40,99460	39,76810	24	39	975	0.70-1.03	0.880	0.96-1.41	1.136	1.51	Z4
4-12	40,99441	39,76768	28	31	775	0.75-1.07	0.907	0.93-1.32	1.102	1.34	Z4
4-13	40,99358	39,76586	35	46	1150	1.65-2.05	1.790	0.48-0.60	0.558	1.16	Z3
4-14	40,99346	39,76538	21	20	500	1.47-1.82	1.668	0.55-0.68	0.599	1.85	Z3

Tablo 6. Mikrotremor ölçümlerinin değerlendirilmesi sonucu elde edilen 5.profile ait hakim frekans, hakim peryod, büyütme ve zemin sınıfı değerleri

Ölçü No	Koordinatlar		Veri Boyu (dk)	Kullanılan Pencere Sayısı (PS)	Çözümlenen Veri Boyu PS*25 (sn)	Hakim Frekans Aralığı (Hz)	Hakim Frekans (Hz)	Hakim Peryod Aralığı (sn)	Hakim Peryod (sn)	Büyütme	Zemin Sınıfı
	BOYLAM (°K)	ENLEM (°D)									
5-1	40,99146	39,77121	23	32	800	1.06-1.30	1.158	0.76-0.94	0.863	2.24	Z4
5-2	40,99159	39,77226	21	28	700	1.45-1.76	1.636	0.57-0.69	0.611	1.37	Z3
5-3	40,99234	39,77233	24	18	450	1.07-1.32	1.202	0.75-0.93	0.831	3.14	Z4
5-4	40,99286	39,77151	24	45	1125	1.14-1.56	1.381	0.64-0.87	0.724	1.56	Z4
5-5	40,99346	39,77058	23	36	900	1.31-1.64	1.480	0.61-0.76	0.675	1.90	Z4
5-6	40,99323	39,76933	21	25	625	1.30-1.67	1.502	0.59-0.77	0.665	1.29	Z3
5-7	40,99376	39,76844	18	66	1650	1.14-1.53	1.352	0.65-0.88	0.739	1.36	Z4
5-8	40,99321	39,76741	25	33	825	1.15-1.60	1.362	0.62-0.86	0.734	1.54	Z4
5-9	40,99318	39,76634	35	55	1375	1.21-1.54	1.366	0.65-0.82	0.732	1.41	Z4
5-10	40,99253	39,76644	30	24	600	1.39-1.74	1.587	0.57-0.72	0.630	1.63	Z3
5-11	40,99253	39,76729	22	41	1025	0.97-1.31	1.140	0.76-1.03	0.877	1.76	Z4

Tablo 7. Mikrotremor ölçümlerinin değerlendirilmesi sonucu elde edilen 6.profile ait hakim frekans, hakim peryod, büyütme ve zemin sınıfı değerleri

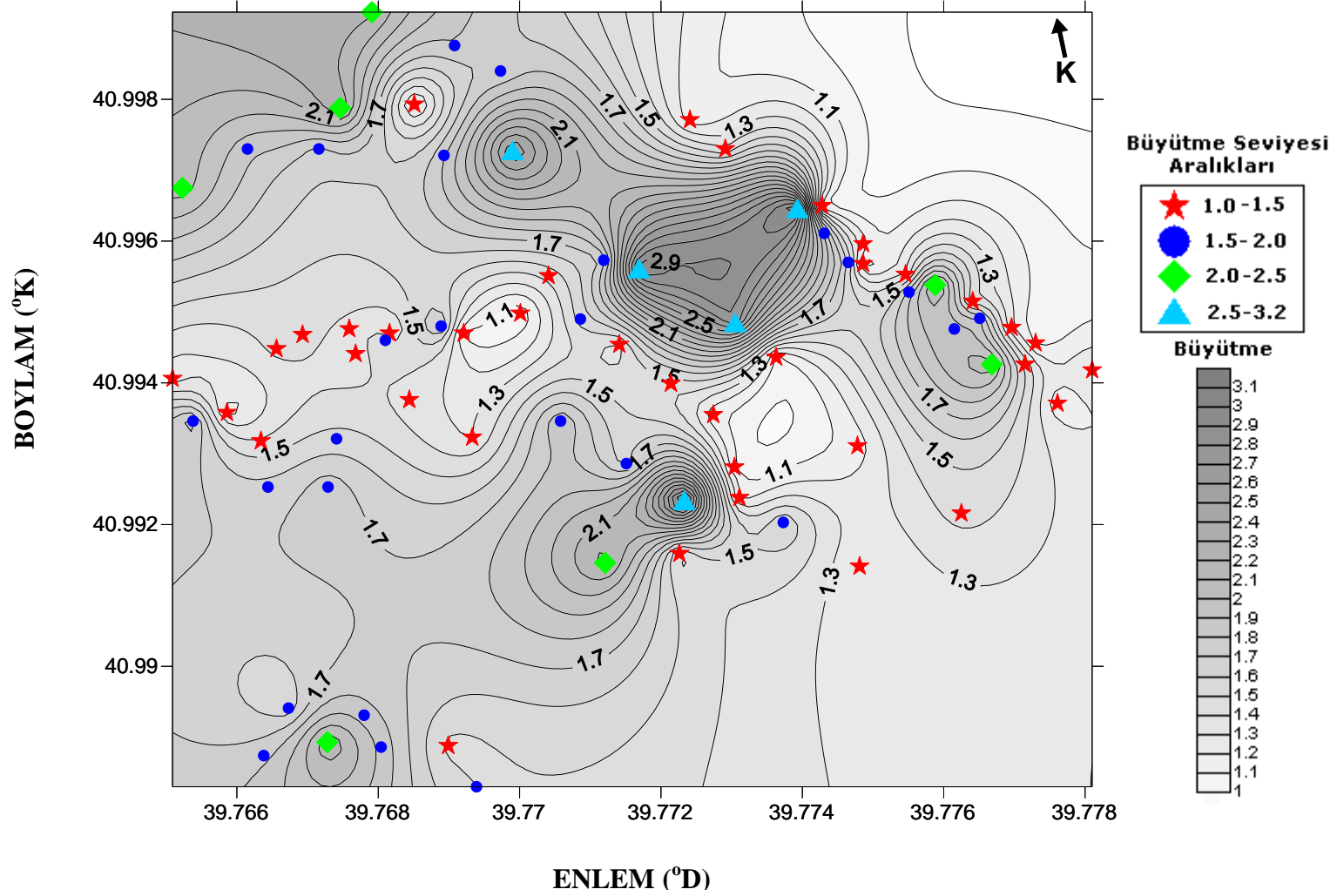
Ölçü No	Koordinatlar		Veri Boyu (dk)	Kullanılan Pencere Sayısı (PS)	Çözümlenen Veri Boyu PS*25 (sn)	Hakim Frekans Aralığı (Hz)	Hakim Frekans (Hz)	Hakim Peryod Aralığı (sn)	Hakim Peryod (sn)	Büyütme	Zemin Sınıfı
	BOYLAM (°K)	ENLEM (°D)									
6-1	40,98830	39,76939	20	24	600	1.37-1.57	1.484	0.64-0.73	0.673	1.50	Z3
6-2	40,98888	39,76899	22	33	825	1.29-1.71	1.513	0.58-0.77	0.660	1.47	Z3
6-3	40,98886	39,76804	21	33	825	1.22-1.56	1.426	0.64-0.81	0.701	1.87	Z4
6-4	40,98931	39,76780	20	20	500	1.28-1.67	1.479	0.59-0.78	0.676	1.85	Z3
6-5	40,98893	39,76728	17	10	250	1.25-1.66	1.479	0.60-0.80	0.676	2.19	Z3
6-6	40,98941	39,76673	20	28	700	1.29-1.69	1.518	0.59-0.77	0.658	1.53	Z3
6-7	40,98874	39,76638	23	39	975	1.28-1.59	1.422	0.63-0.78	0.703	1.77	Z4

3.3. Büyütme Analizi

Zemin büyütmesi, ortamın sağlamlığı hakkında bilgi vermektedir. Büyütme değeri ölçüm alınan noktanın sağlamlığı ile ters orantılıdır. Şöyleki, gevşek bir zeminde ilerleyen dalga genliği zeminin gevşekliği ile orantılı olarak büyütülecektir. Birim ne kadar sağlamsa büyütme değeri o kadar küçük, ne kadar zayıfsa büyütme değeri o kadar büyük elde edilecektir. Yüksek büyütme değerine sahip bir bölgenin kesinlikle zayıf bir yapıda olduğunu söylemek doğru değildir. Kesinlik taşıyan bir yoruma ulaşabilmek için diğer jeofizik yöntemlerden elde edilen veriler ile birlikte ortak bir değerlendirme yapmak gerekmektedir.

KTÜ kampus alanında 6 profilde alınan toplam 75 noktadaki mikrotremor ölçümlerinin H/V spektral oranları incelendiğinde bölgeye ait büyütme değerleri 1.03 ile 3.14 arasında değişmektedir. Ayrıca her bir profile ait büyütme değerleri ayrı ayrı değerlendirildiğinde 6 profil için büyütme aralıkları 1. profil için 1.06 ile 2.30, 2. profil için 1.13 ile 3.11, 3. profil için 1.07 ile 3.00, 4. profil için 1.03 ile 1.85, 5. profil için 1.29 ile 3.14 ve 6. profil için 1.47 ile 2.19 arasında değişmektedir. Profillere ait büyütme seviyesi aralıklarına bakıldığında 4. profildeki büyütme değerlerinin diğer noktalara kıyasla daha düşük olduğu söylenebilir (Tablo 5).

Mikrobölgeleme çalışmalarında büyütme oranı önemli bir parametredir. KTÜ kampus alanına ait büyütme haritası için Nakamura H/V spektral oran tekniği kullanılarak elde edilen büyütme değerleri Surfer 8 programında konturlanarak hazırlanmıştır. 75 noktada alınan mikrotremor ölçümlerinin değerlendirilmesiyle belirlenen büyütme değerleri kullanılarak KTÜ kampus alanı için ölçü noktalarının da üzerinde bulunduğu büyütme haritası oluşturulmuştur (Şekil 43). Bu haritada ölçüm alınan noktalara göre büyütme değerleri görülmektedir. Kampus alanı için büyütme değerlerinin en fazla olduğu yerler ölçüm noktalarının çoğunlukla bina çevresi ve arasına rastlayan yapay dolgu özelliği taşıyan 2., 3. ve 5. profillerdir (Tablo 3, Tablo 4 ve Tablo 6). 1. profildeki ölçüm noktalarına ait büyütme değerleri bu üç profile kıyasla daha düşük, ancak 2., 3. ve 5. profillerde olduğu gibi 1. profile ait 13, 14, 15 ve 16. ölçüm noktaları da yüksek büyütme değerlerine sahiptir. Kampus alanı içerisinde diğer profillere kıyasla daha sağlam ve doğal zemin özelliği taşıyan 4. profil ile doğal killi yapıda olan 6. profildeki ölçüm noktaları için elde edilen büyütme değerleri buldukları zemin birimi ile uyumlu sonuçlar vermiştir (Tablo 5 ve Tablo 7).

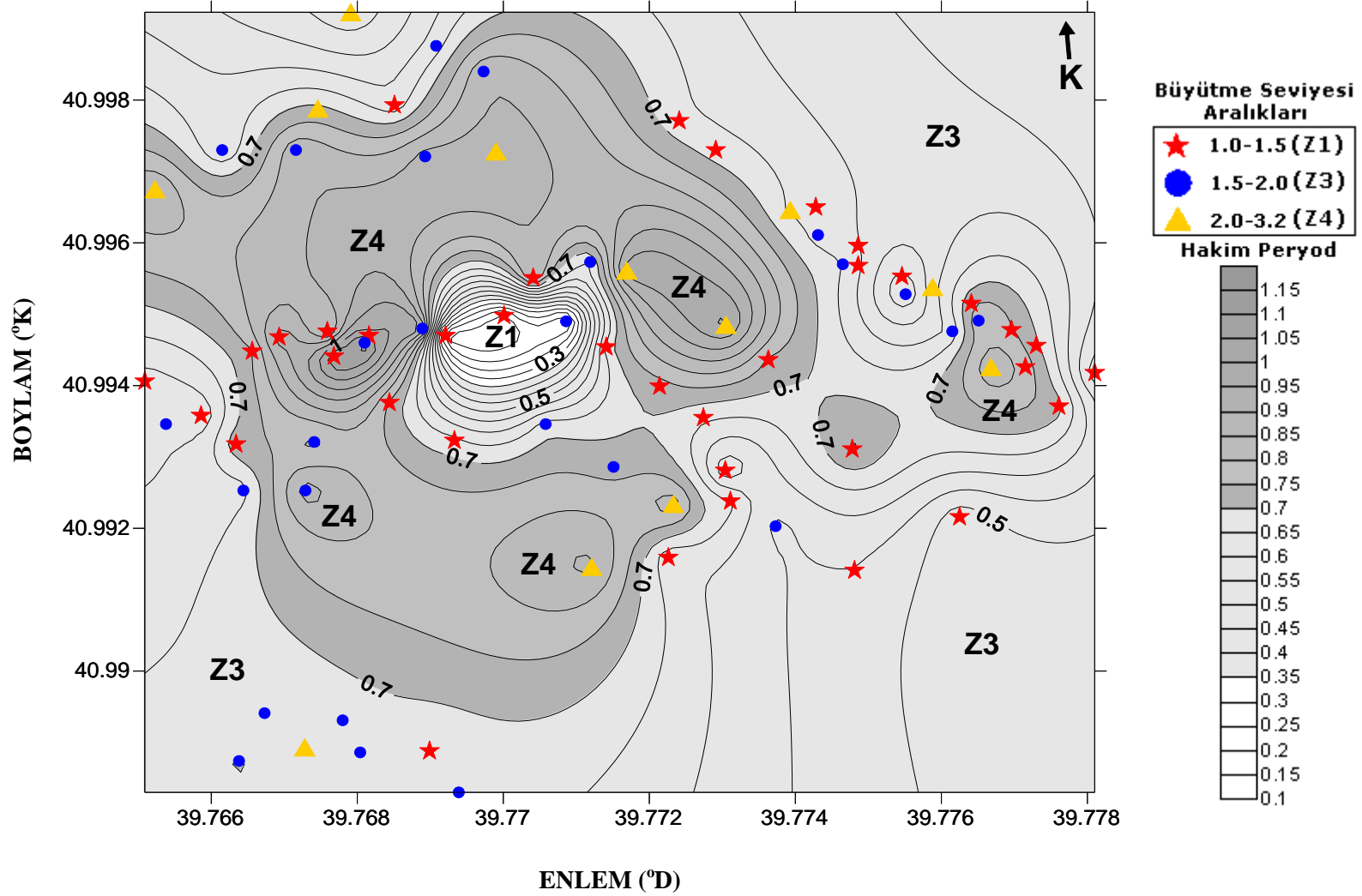


Şekil 43. 6 profilde alınan 75 noktadaki mikrotremor kayıtlarından elde edilen H/V spektral oranlar kullanılarak oluşturulan KTÜ kampus alanına ait büyütme haritası

KTÜ kampus alanı için oluşturulan zemin sınıflamasına göre elde edilen büyütme değerleri kullanılarak kampus alanına ait yaklaşık büyütme aralıkları belirlenmiştir (Şekil 44). Zemin sınıfları kampus alanında 75 noktadaki mikrotremor ölçümlerinden belirlenen hakim periyotlar kullanılarak gerçekleştirilmiş ve bu zemin sınıfı haritası üzerinde her bir noktaya ait büyütme değerleri işaretlenmiştir. Büyütme değerinin zeminin gevşekliği ile doğru orantılı olduğu bilindiğinden, zemin büyütme haritası oluşturulurken sınıflara göre büyütme değer aralıkları zemin sınıfı büyüdükçe artacak şekilde alınmıştır. Bu zemin sınıfı haritasına göre büyütme aralıkları Z_4 türü zemin sınıfı için 1.5-3 arasında, Z_3 türü zemin sınıfı için 1.2-1.8 ve Z_1 türü zemin sınıfı için 1-1.5 arasında değişmektedir. Bu harita üzerinde verilen sınıflandırmalara bakıldığında elde edilen en yüksek büyütme değerlerinin Z_4 türü zemin sınıfında yer aldığı ve 1.5 seviyesi üzerindeki büyütme değerlerinin ağırlıklı olarak bu zemin sınıfında bulunan noktalara ait olduğu görülmektedir. KTÜ kampus alanında büyük ölçüde yer alan Z_3 türü zemin sınıfı içerisindeki ölçüm noktalarına ait büyütme seviyeleri çoğunlukla daha gevşek bir yapıda olan Z_4 türü zemin sınıfı için elde edilen büyütme değerlerine oranla daha küçüktür.

İnceleme alanı için belirlenen zemin türlerine göre profiller incelendiğinde 1. ve 2. profillerdeki bazı noktaların Z_3 , bazılarının Z_4 türü zemin sınıfı içerisinde bulunmasından dolayı noktasal anlamda büyütme değerleri farklılıklar göstermektedir. Ancak her nokta bulunduğu zemin türü ile uyumlu büyütme değerlerine sahiptir. 3. ve 5. profillerin ölçü noktalarına ait büyütme değerleri çoğunlukla Z_4 türü zemin sınıfı için verilen büyütme seviyesi aralığında yer almaktadır. Diğer profillere kıyasla daha sağlam olduğu düşünülen 4. profildeki büyütme değerleri en küçük seviyelerdedir. Sert (kaya) zemin özelliği taşıyan 4. profile ait 8, 9. ve 10. ölçüm noktaları Z_1 türü zemin sınıfı üzerindedir ve bu ölçüm noktalarına ait büyütme değerleri buldukları jeolojik birim ile uyumludur. Ayrıca kampus alanının kırmızı killerden oluşan güney kısmındaki 6. profile ait ölçüm noktalarının büyütme değerleri aynı zemin türü içerisinde yer almalarına rağmen 4. profildeki büyütme değerlerinden daha yüksektir. Bunun nedeni 6. profilin gevşek killi zemin üzerinde yer alması, 4. profilin ise daha sıkı bir yapı üzerinde bulunmasıdır.

KTÜ kampus alanı için belirlenen büyütme noktaları noktasal anlamda farklılıklar gösterse de zemin sınıfına göre seçilen büyütme aralıkları belirlenen Z_1 , Z_3 ve Z_4 zemin türleri ile uyumludur (Şekil 46).



Şekil 44. KTÜ kampus alanı için 75 noktadaki mikrotremor ölçümlerinden belirlenen hakim periyodlar ve her bir noktaya ait büyütme değerleri kullanılarak oluşturulan zemin sınıfı haritası

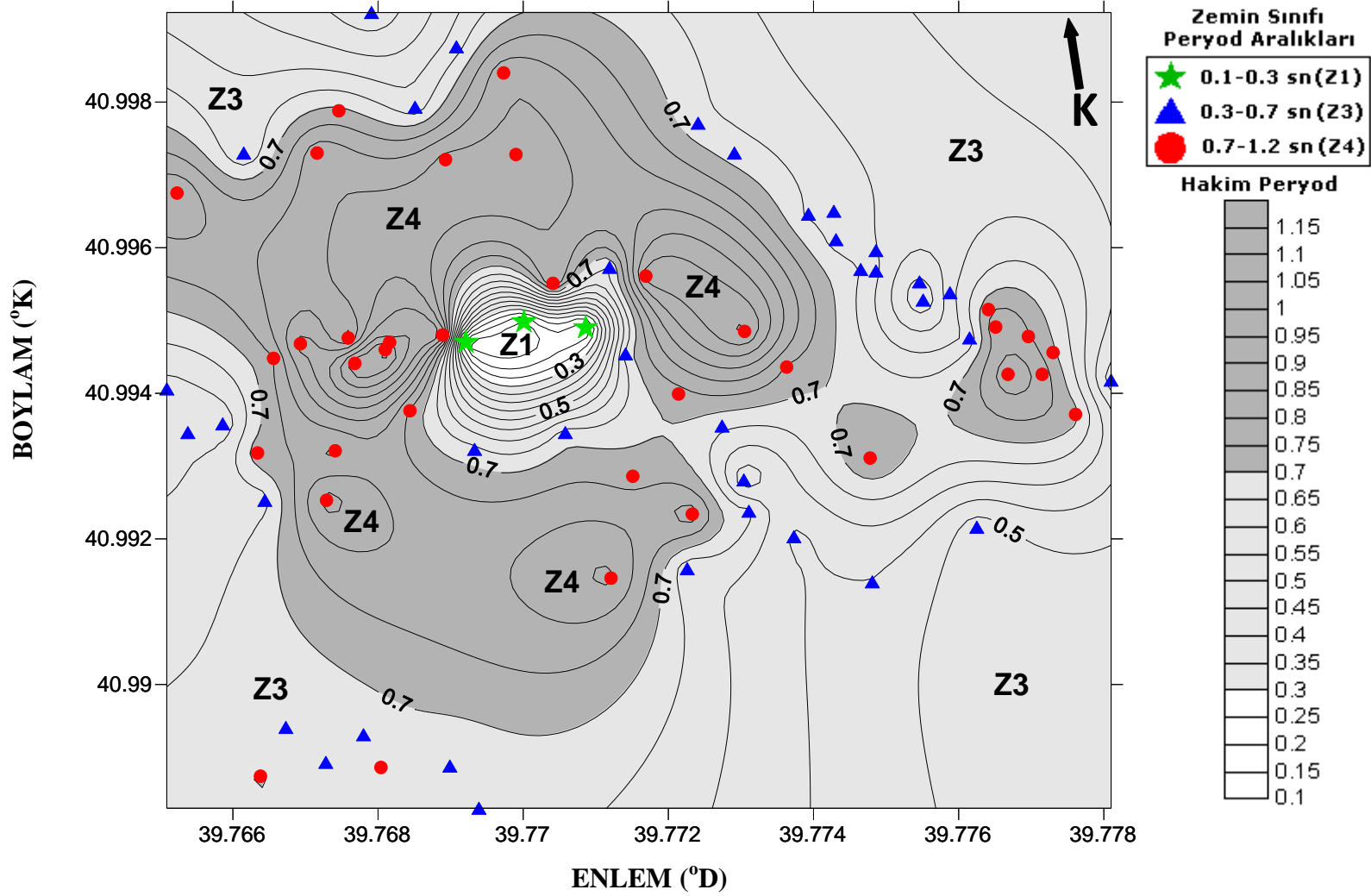
3.4. Hakim Peryod ve Hakim Frekans Analizi

Büyütme’de olduğu gibi hakim periyod ve hakim frekans değeri de zeminin sağlamlığı ve sıklığı hakkında bilgi vermektedir. Periyod değeri ölçüm alınan noktanın sağlamlığı ile ters, frekans değeri ise doğru orantılıdır. Örneğin gevşek bir zeminde ilerleyen dalganın periyodu uzun olacaktır. Birim ne kadar sağlamsa periyod değeri o kadar küçük, ne kadar zayıfsa o kadar büyük elde edilecektir. Ancak tüm yer bilimlerini uygulamalarında olduğu gibi, zemin sağlamlığı açısından bir sınıflama yapabilmek için bir tek uygulama, zeminin sağlamlık ölçüsünü belirlemeye yetmeyecektir. Bu çalışmada verilen sağlamlık ölçüsü mikrotremorlardan elde edilen periyod, frekans ve büyütme değerleri ile sınırlıdır.

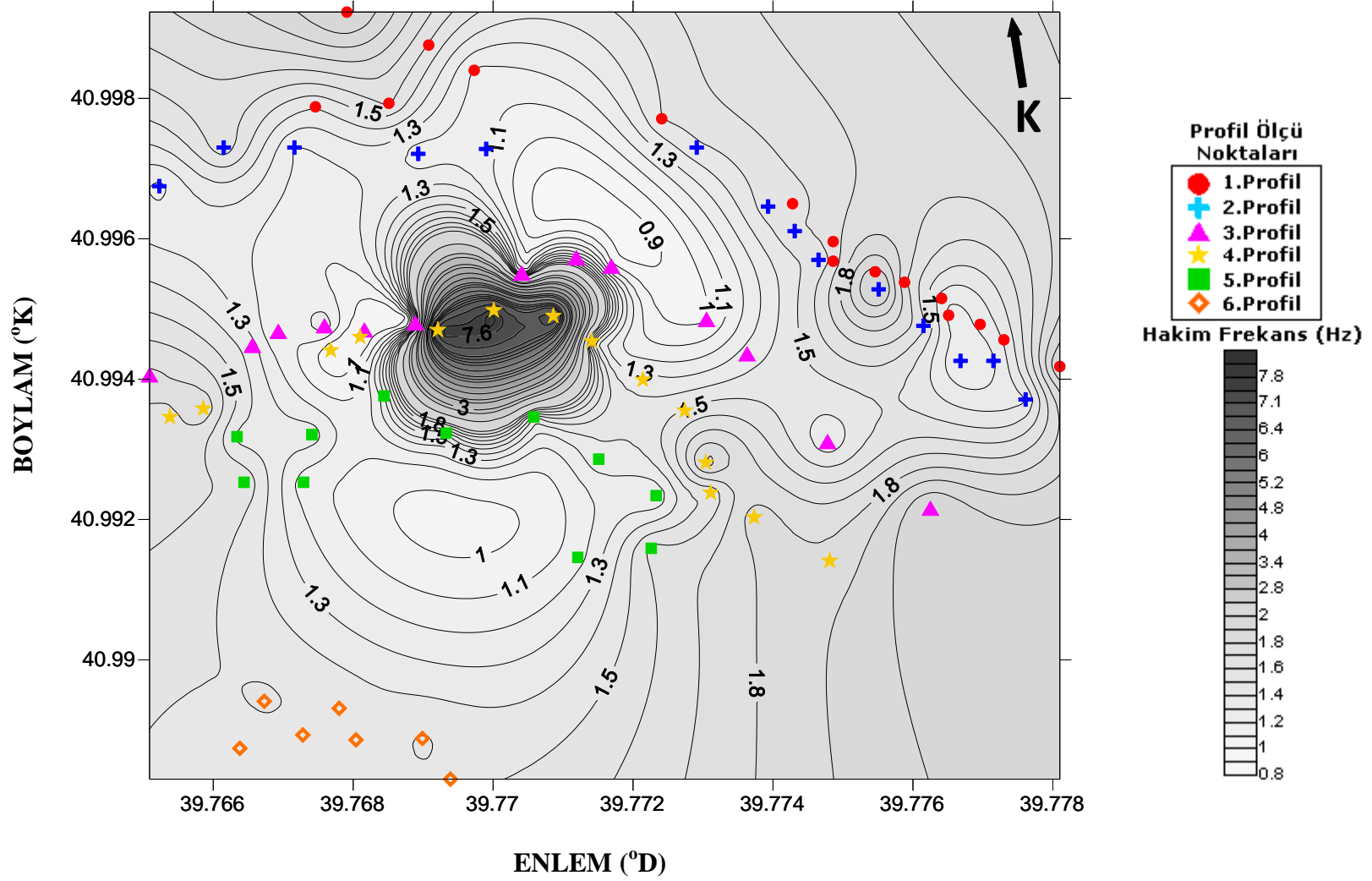
KTÜ kampus alanına ait hakim periyod haritası Nakamura H/V oran tekniği sonucu hesaplanan hakim periyod değerleri kullanılarak Kanai ve Tanaka’nın (1961) yaptığı zemin sınıflandırmasına göre Surfer 8 programında oluşturulmuştur (Şekil 45). Kontur aralıkları periyod değerlerine göre zemin sınıflaması temel alınarak belirlenmiştir. KTÜ kampus alanına ait zemin sınıfları için üç tür periyod aralığı oluşturulmuştur. Bu periyod aralıkları Z_1 türü zemin için 0.1-0.3 sn, Z_3 türü zemin için 0.3-0.7 sn ve Z_4 türü zemin için 0.7-1.2 sn arasında değişmektedir. Zemin sınıfı haritasında Z_4 türü zemin sınıfı içerisinde yer alan ölçüm noktalarına ait hakim periyod dağılımı beklenildiği gibi 0.7-0.9 sn civarlarındadır. Bu zemin türü içerisinde yer alan 3. profilde 1., 6. ve 13. ölçüm noktaları ile 5. profilde 2., 5., 6. ve 10. ölçüm noktalarına ait hakim periyod değerleri beklenenden biraz düşüktür. Buradaki düşük periyod dağılımının nedeni, bu profiller boyunca Z_4 türü zeminin aynı özellikteki diğer noktalara göre daha sıkı olması ve yer yer dolgu alanlarının bulunmasıdır. Z_3 türü zemin sınıfı içerisinde kalan profillere ait ölçüm noktalarının periyod dağılımına bakıldığında bu alanın genelinde periyodlar 0.4-0.6 sn aralığında gözlenmektedir. 1. ve 2. profillerde bazı ölçüm noktaları Z_3 türü zemin sınıfında (1. profilin 1, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 15 ve 16. ölçüm noktaları ile 2. profilin 4, 5, 6, 7, 8, 9 ve 13. ölçüm noktaları) yer alırken bazıları Z_4 türü zemin sınıfı içerisinde (1. profilin 2, 3, 4, 5, 13 ve 14. ölçüm noktaları ile 2. profilin 1, 2, 3, 10, 11, 12 ve 14. ölçüm noktaları). Aynı şekilde genel olarak Z_3 türü zemin sınıfı ile adlandırılan 4. profile ait 6., 11. ve 12. ölçüm noktaları ile 6. profile ait 3. ve 7. ölçüm noktaları da Z_4 türü zemin sınıfı içerisinde yer almaktadır. Bu durum bu noktaların ölçüm aşamasında gözle seçilemeyen, lokal bir sıklığa veya gevşekliğe sahip olmasından kaynaklanabilir. Çünkü mikrotremor ölçümleri noktasal olarak alındığından

küçük bir alanın özelliğini taşımaktadır. Ayrıca sert (kaya) zemin üzerinde olduğu bilinen 4. profilin 8., 9. ve 10. ölçüm noktaları en düşük periyodlara (0.1 sn civarında) sahiptir ve zemin sınıfının en sağlam bölgesini oluşturmaktadır. Bu küçük alan için hakim periyod ve büyütme değerleri birbirini desteklemekte ve buradaki ölçüm noktaları buldukları zeminin özelliğini tam olarak yansıtmaktadır.

İnceleme alanına ait hakim frekans haritası 75 noktada alınan mikrotremor ölçümleri sonucu belirlenen frekanslar kullanılarak Surfer 8 programında hazırlanmıştır (Şekil 46). Her bir profile ait ölçüm noktaları harita üzerinde noktasal olarak işaretlenmiştir. Hakim periyod değerlerinde olduğu gibi ölçüm noktalarına ait hakim frekanslar noktadan noktaya farklılıklar göstermektedir. Kampus alanında yapılan mikrotremor ölçümlerinden elde edilen hakim frekans değerleri 1. profil için 1.2-2.1 Hz, 2. profil için 1.1-2.1 Hz, 3. profil için 0.9-2.1 Hz, 4. profil için 0.8-7.9 Hz, 5. profil için 1.1-1.7 Hz ve 6. profil için 1.4-1.6 Hz arasında değişmektedir. KTÜ kampus alanına ait zemin sınıflaması için belirlenen hakim frekanslar Z_4 türü zemin için 0.9-1.4 Hz arasında, Z_3 türü zemin için 1.4-2.5 Hz arasında ve Z_1 türü zemin içinde 7 Hz'den büyüktür. Hakim frekanslar zemin sınıfları açısından incelendiğinde Z_4 türü zemin sınıfı içerisindeki 3. ve 5. profiller en düşük frekans değerlerine sahiptir. Z_3 türü zemin sınıfı içerisinde yer alan 1., 2. ve 4. profildeki hakim frekans değerleri noktadan noktaya belirgin farklar gösterirken aynı zemin sınıfında bulunan 6. profildeki ölçüm noktaları birbirlerine oldukça yakın hakim frekans değerine sahiptirler. Bu durum 6. profildeki noktaların diğer profillerdeki ölçü noktalarına kıyasla küçük bir alanda daha kısa bir profil uzunluğuna sahip ve konum itibarıyla birbirlerine çok daha yakın olmasından kaynaklanmaktadır. Hakim frekans haritasından da görüleceği gibi kampus içerisinde sağlam (kaya) zemin özelliği taşıyan ve Z_1 türü zemin olarak sınıflandırılan küçük bir alan bulunmaktadır. Bu kısım 4. profilin 8, 9 ve 10. ölçüm noktalarının bulunduğu konuma karşılık gelmektedir. Bu üç ölçüm noktasına ait hakim frekanslar beklenildiği gibi sıkı zemin özelliğinden dolayı yüksek değerlere sahiptir. Ayrıca 3. ve 4. profilde çok düşük (1 Hz'in altında) hakim frekans değerine sahip ölçüm noktaları da bulunmaktadır (3. profilin 4 ve 8., 4. profilin 11 ve 12. ölçüm noktaları). KTÜ kampus alanında 75 noktada alınan mikrotremor kayıtlarından belirlenen hakim frekans ve hakim periyod değerlerinin kampus alanının geneli için birbirleriyle tutarlı olduğu ve zemin özelliklerini iyi bir şekilde yansıttığı görülmektedir.



Şekil 45. KTÜ kampus alanı için Nakamura H/V oran tekniği sonucu hesaplanan hakim periyod değerleri kullanılarak Kanai ve Tanaka'nın (1961) yaptığı sınıflandırmaya göre oluşturulan zemin sınıfı haritası



Şekil 46. 6 profilde alınan toplam 75 noktadaki mikrotremor kayıtlarından elde edilen H/V spektral oranlar kullanılarak oluşturulan KTÜ kampus alanına ait hakim frekans haritası

3.5. S Dalga Hızı Dağılım Haritasının Oluşturulması

Mikrotremorlar ağırlıklı olarak Rayleigh dalgalarından oluşmaktadır. Rayleigh dalgaları ise serbest yüzeyde yansıyan SV dalgalarından oluşurlar. Bu sebeple birimlerin S-dalga hızı dağılımının mikrotremor ölçümleriyle belirlenen zemin sınıflaması ile uyumlu olması beklenmektedir. Sismik kırılma sonuçlarından belirlenen Vs hızı hakim periyod ve büyütme ile ters orantılı değişir. Zayıf zeminlerde Vs hızı düşük, periyod ve büyütme seviyesi de yüksektir. İnceleme alanına ait S-dalga hızı dağılım haritası oluşturmak için mikrotremor ölçü profilleri civarında bölgede daha önceden KTÜ Mühendislik Fakültesi Jeofizik Mühendisliği Bölümü tarafından yapılmış sismik kırılma ölçümlerinin değerlendirilmesi sonucu belirlenen S-dalga hızları kullanılmıştır (Şekil 47). Yapılan sismik kırılma sonuçlarına göre inceleme alanı iki ya da üç tabakalı yapı sergilemektedir.

KTÜ kampus alanına ait zemin sınıfları için Vs hızı kestiriminde yersel birim türleri için Bayındırlık İskan Bakanlığı Afet İşleri tarafından önerilen Vs hızları kullanılmıştır (Tablo 8).

Tablo 8. Vs Hızı-Yersel birim türü ilişkisi (Aydınöğlü, 1998).

Vs Hızı (m/sn)	Yersel Birim Türü
>1000	Sağlam kaya
>700	Çok sıkı kum-çakıl, sert kil
200-400	Orta sıkı kum-çakıl
200-300	Katı kil, siltli kil
<200	Yer altı su düzeyinin yüksek olduğu, suya doymun kalın alüvyon katmanları
<200	Yumuşak kil-siltli kil

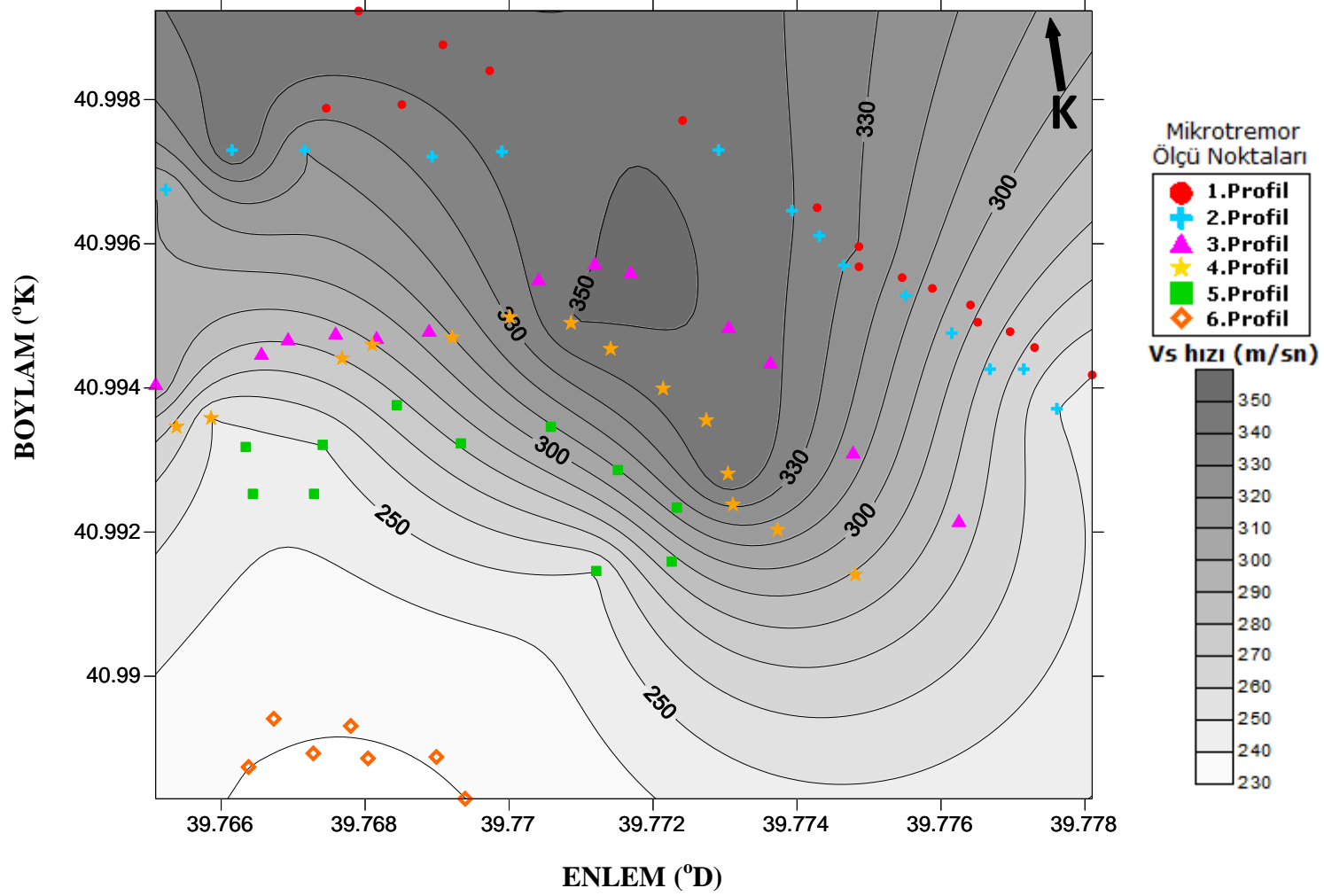
İnceleme alanında zemin sınıflarına göre beklenen Vs hızları önceki bölümlerde zemin sınıfları için H/V spektral oranlardan belirlenen periyod ve büyütme sınır değerleri ile birlikte Tablo 9.'da verilmiştir.

Tablo 9. Zemin sınıflarından beklenen periyod, büyütme, Vs hız aralıkları

SINIF	TANIM	H/V Peryod (sn)	H/V Büyütme	Vs (m/sn)
I	Kaya, sıkı kumlu çakıllı birimler	<0.3	<1.5	>900
II	Kumlu çakıl, kumlu sıkı kil veya mil'den oluşmuş dilüviyal ya da kalınlığı 5 metre veya daha kalın çakıllı alüvyon	0.3-0.5	1.5-2	600-900
III	Kalınlığı 5 metre veya daha büyük alüvyon	0.5-0.7	1.5-2.5	300-600
IV	Yumuşak delta depolanmaları, kalınlığı 30 metre veya daha büyük çamur ve üst toprak birimlerini de içeren alüvyon	>0.7	>2	< 300

KTÜ kampus alanı için oluşturulan Vs hız dağılım haritası incelendiğinde, zemin sınıfı haritasına göre (Şekil 45) Z_3 ve Z_4 türü zeminlere ait hızların Vs hız dağılım haritasında 230-350 m/sn arasında olduğu görülmektedir. Bu hız değerleri buldukları zemin sınıfından beklenen aralıklardadır. İnceleme alanındaki profillere ait Vs hız değerleri 1. ve 2. profiller için 300-330 m/sn, 3. ve 4. profiller için 300-350 m/sn, 5. profil için 250-300 m/sn, 6. profil için 230-250 m/sn arasında değişmektedir. Tablo 9.'a göre 1. profil, 2. profil ve 4. profiller sahip oldukları hakim periyod ve büyütme değerleri göz önüne alınarak Vs dağılım haritasında Z_3 türü zemin sınıfı için beklenen hız değerlerini iyi bir şekilde yansıtmaktadırlar. Z_3 türü zemin sınıfı içerisinde bulunan 6. profilin Vs hız dağılım haritasına göre en düşük hız değerlerine sahip olduğu söylenebilir. Yer aldığı zemin türüne kıyasla daha düşük hız değerini yansıtmaması bu profilin gevşek killi yapı üzerinde bulunmasından kaynaklanabilir. 3. profil inceleme alanındaki yüksek hakim periyod ve büyütme değerlerine sahip olmasına karşın yer aldığı Z_4 türü zemin sınıfından beklenenden daha yüksek hız değerlerine sahiptir. 5. profil sahip olduğu hakim periyod ve büyütme ile bulunduğu Z_4 türü zeminden beklenen hız değerlerini iyi bir şekilde yansıtmaktadır.

KTÜ kampus alanının geneli için Vs hız dağılımının zemin sınıflarından beklenen Vs hızları ile örtüştüğü söylenebilir.



Şekil 47. KTÜ kampus alanı için oluşturulan S-dalga hızı dağılım haritası

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışma kapsamında, KTÜ kampus alanı içerisinde 6 profilde toplam 75 noktada üç bileşen mikrotremor ölçümleri alınmıştır. İnceleme alanının boyutları düşünülerek seçilen ölçüm noktaları arasındaki mesafelerin 50 m'den fazla olmamasına özen gösterilmiştir. Yapılan mikrotremor ölçümlerinin süresi 15-35 dk arasında değişmektedir. Alınan mikrotremor kayıtlarından her bir ölçüm noktası için genlik seviyesi durağan kısımlar (250-1875 sn) seçilerek çözümleme aşamasında kullanılmıştır. Mikrotremor ölçümlerinin genellikle kültürel gürültünün en az olduğu 20:00-00:00 saatleri arasında alınmasına özen gösterilmiştir. Gürültü içeriği fazla olan bazı ölçüm noktalarında kayıt süresi uzun tutulmuş ve kayıt kalitesi düşük olan noktalara ait mikrotremor ölçümleri yenilenmiştir.

KTÜ kampus alanı için alınan mikrotremor ölçümlerinin değerlendirmesinde Nakamura yöntemi olarak bilinen H/V spektral oran tekniği kullanılmıştır. Her bir ölçüm noktasına ait üç bileşen mikrotremor kayıtlarına Nakamura yöntemi uygulanarak her bir noktanın H/V spektral oranı hesaplanmıştır. Hesaplanan H/V spektral oranlar yatay eksen frekans düşey eksen genlik olacak şekilde grafiklenmiştir. Elde edilen her bir noktaya ait H/V spektral oran grafikleri incelendiğinde 21 ölçüm noktasına ait baskın piklerin diğer ölçü noktalarına kıyasla daha net olduğu görülmektedir. Bunun nedeni bu ölçüm noktalarının diğer noktalara göre daha gevşek malzeme üzerinde yer almasıdır. Yumuşak dolgu malzemesi özelliği taşıyan zeminlerin spektral oranlarında hakim pikler net olarak gözlenebilir ve çoğunlukla tek pik şeklindedir. Bu hakim pikler genellikle düşük frekanslarda bulunur ve genlikleri ani yükselim sergilerler. Sağlam zeminlerin spektral oranlarında genellikle birden fazla pik gözlenmektedir. Mikrotremor ölçümlerinin değerlendirilmesi sonucu KTÜ kampus alanı içerisinde sağlam (kaya) zemin özelliği taşıyan küçük bir alana rastlanmıştır. 4. profil üzerinde yer alan bu küçük kısımdaki 9 ve 10. ölçüm noktalarına ait H/V spektral oranlarında birden fazla hakim pik bulunmaktadır.

Nakamura tekniği ile verilerin değerlendirilmesinden sonra elde edilen H/V spektral oran grafiklerinden ölçüm noktalarına ait hakim frekans ve büyütme değerleri okunarak her bir profil için bu değerleri gösteren tablolar oluşturulmuştur. Tablolardaki değerler kullanılarak KTÜ kampus alanına ait hakim periyot, büyütme, hakim frekans ve elde edilen

hakim peryod değerleri ile oluşturulan zemin sınıfı haritası üzerinde büyütme değerleri verilerek karşılaştırma yapılmıştır. Kanai ve Tanaka'nın (1961) yapmış olduğu sınıflandırma temel alınarak mikrotremor ölçümleri sonucu elde edilen hakim peryod değerleri ile 6 profildeki 75 nokta için KT kampus alanına ait zemin sınıfı haritası oluşturulmuştur. Bu zemin sınıfı haritasına göre inceleme alanı içerisinde Z_1 , Z_3 ve Z_4 olmak üzere üç tür zemin sınıfı belirlenmiştir. Mikrotremor lmlerinin alındığı 6 profile ait zemin sınıflaması için bir genelleme yapılacak olursa, 1. profilin Z_3 , 2. profilin Z_3 , 3. profilin Z_4 , 4. profilin Z_3 , 5. profilin Z_4 ve 6. profilin Z_3 türü zemin sınıfında yer aldığı söylenebilir.

Çalışma alanında mevcut zemin sınıflarına göre spektral oranlar incelendiğinde Z_1 türü zeminler için hakim peryod 0.1-0.3 sn olup bölgedeki diğer zemin sınıflarına göre çok daha sağlam bir zemini göstermektedir. Bu zemin sınıfına göre büyütme değerlerinin 1-1.5 arasında değiştiği görülmüştür. Z_3 türü zeminler için hakim peryodlar 0.3-0.7 sn aralığında değişirken daha gevşek yapıda olan Z_4 türü zeminler için hakim peryodlar 0.7-1.2 sn aralığında değişmektedir. Büyütme değerleri Z_3 türü zemin sınıfı için 1.2-2.5, Z_4 türü zemin sınıfı için 1.5-3.2 arasında değişmektedir. KT kampus alanındaki zemin sınıflarına karşılık gelen spektral oranlara bakıldığında, genel olarak her bir ölçüm noktası beklenen büyütme ve hakim peryod değerini yansıtılmaktadır.

KT kampus alanı içerisindeki zemin sınıflarının tümünde hakim frekanslar 0.88 ile 7.86 Hz aralığında ve hakim peryodlar 0.12 ile 1.12 sn aralığındadır. KT kampus alanı için oluşturulan zemin sınıfı haritasında binaların Z_4 türü zemin sınıfı içerisinde yer aldığı ve buralardaki hakim peryod değerlerinin yüksek olduğu görülmektedir. Peryod değerinin zeminin sağlamlığı ile ters orantılı olduğu bilinmektedir. Bu durumda yüksek hakim peryod değerine sahip olan bu bölgelerdeki yapıların çok sağlam olmayan yumuşak zemin üzerinde yer aldıkları söylenebilir. KT kampus alanının güneyinde yer alan 6. profile ait ölçüm noktaları için hesaplanan hakim peryod değerleri 0.6-0.7 sn aralığında değişmektedir.

Mikrotremor lmlerinin değerlendirilmesiyle elde edilen büyütmeler kullanılarak KT kampus alanı için büyütme haritası hazırlanmıştır. Ölçümlerin yapıldığı profillere ait büyütme değerleri 1. profil için 1.07-2.3, 2. profil için 1.13-3.11, 3. profil için 1.07-3, 4. profil için 1.03-1.85, 5. profil için 1.29-3.14 ve 6. profil için 1.47-2.19 arasında değişmektedir. Büyütme seviyesi aralıklarına bakıldığında en düşük büyütmelerin 4. profile ait olduğu gözlenmiştir. 4. profildeki ölçü noktalarının sahip olduğu büyütmelerin

hakim peryod değerleriyle uyumlu olduğu ve bu profilin yer aldığı zeminin özelliğini iyi bir şekilde yansıttığı söylenebilir. Ayrıca kampus içerisinde sağlam (kaya) zemin özelliği gösteren küçük bir kısım yer almaktadır (Z_1 türü zemin sınıfı). 4. profilin üzerinde yer alan bu kısım sahip olduğu en yüksek hakim frekans ve en düşük büyütme değerleri ile sağlam zemin özelliğini iyi bir şekilde yansıtmaktadır. KTÜ kampus alanı için oluşturulan büyütme haritası incelendiğinde, bölge için net bir ayırım yapmak mümkün olmasa da oluşturulan zemin sınıflaması ile büyütme haritası arasında bir uyum görülmüştür. İnceleme alanına ait zemin sınıfı haritasına göre hakim peryod aralığı değerleri 1. profil için 0.46-0.84 sn, 2. profil için 0.45-0.87 sn, 3. profil için 0.46-1.01 sn, 4. profil için 0.12-1.13 sn, 5. profil için 0.61-0.87 sn ve 6. profil için 0.65-0.7 sn arasındadır. Hakim peryodlara göre hazırlanan zemin sınıfı haritası üzerinde elde edilen en büyük büyütme değerleri ile Z_4 türü zemin sınıfı içerisinde yer alan noktalara ait olduğu görülmektedir. Dolayısıyla yüksek büyütme ve hakim peryod değerlerine sahip bu alanların kampus içerisinde en zayıf zemin özelliğini yansıttığı görülmektedir. Z_4 türü zemin sınıfına göre daha sıkı bir yapıda olan ve Z_3 türü zemin sınıfı içerisinde kalan ölçüm noktalarının sahip olduğu hakim peryod ve büyütme değerleri bu zemin yapısından beklenen sonuçları desteklemektedir.

Tek istasyonda ölçülen mikrotremorlardan belirlenecek olan zemin parametreleri hakim peryod (veya hakim frekans) ve büyütme değeri ile sınırlıdır. Buna karşın çok sayıda sismometre ile değişik türde istasyon dizilimleri kullanılarak elde edilen mikrotremor kayıtlarından yer altı yapısı ve derinlik tahmin edilebilmektedir. Bu çalışmada dizilim oluşturabilecek sayıda yeterli ölçüm aleti bulunmadığından tek istasyonda mikrotremor kayıtları alınmıştır. KTÜ kampus alanının geneli için tek istasyon mikrotremor kayıtlarına uygulanabilen Nakamura (H/V) yöntemi kullanılarak alınan ölçümlerin değerlendirilmesinden elde edilen sonuçlar ile çalışılan bölgenin sismik ve jeolojik yapısını yansıtan veriler uyum içerisindedir. Bu uyumluluk çalışılan bölge için Nakamura yönteminin uygulanabilirliğini ve doğru sonuçlar elde edilebileceğini göstermektedir.

Mikrotremor ölçü profilleri civarında KTÜ Mühendislik Fakültesi Jeofizik Mühendisliği Bölümü tarafından bölgede daha önceden yapılmış sismik kırılma ölçümlerinden belirlenen S-dalga hızları kullanılarak inceleme alanına ait S-dalga hızı dağılım haritası oluşturulmuştur. V_s hızı dağılım haritasında 1. profil, 2. profil, 4. profil ve 5. profillerin yer aldıkları zemin sınıfları için beklenen hız değerlerini iyi bir şekilde

yansıttığı, 3. profilin bulunduğu zemin sınıfına göre daha yüksek ve 6. profilin de daha düşük hız değerlerine sahip olduğu görülmektedir. KTÜ kampus alanı için S-dalga hızı dağılımı dizilim oluşturabilecek sayıda ölçüm cihazı bulunması halinde mikrotremor kayıtlarından S-dalga hız yapısı belirlenerek inceleme alanına ait derinlik bilgisi de elde edilebilecektir.

Mikrobölgelendirme çalışmaları depremsellik ve bölgesel yer koşullarıyla ilgili geniş bilgiler içerdiğinden ilgili tüm mühendislik bilimleri için kaynak ve rehber olma özelliği taşıyacaktır. Mikrobölgelendirme çalışmalarında elde edilecek en önemli parametreler zemin hakim periyodu ve büyütme faktörüdür. Bu çalışmada mikrobölgelendirme çalışmaları için önemli olan zemin hakim periyodu ve zemin büyütmesi saptanmıştır. Bölgeyi etkileyebilecek bir depremin etkili olacağı frekans değeri ve inceleme alanında deprem etkilerinin göreceli olarak büyütüleceği yerler belirlenmiştir. Bulunan bu parametreler aynı zamanda deprem kayıt istasyonlarının yerlerinin seçiminde de kullanılabilir.

Kuvvetli yer hareketi verilerinin olmaması veya kısıtlı sayıda olması durumunda ve ayrıca sismik aktivitenin az olduğu bölgelerde mikrotremor verilerinin kullanılması yer etkisinin belirlenmesi çalışmalarına çözüm getirecektir. KTÜ kampus alanı için daha önceden bir mikrobölgeleme çalışması yapılmadığından inceleme alanını yeteri kadar temsil edecek noktada tek istasyon mikrotremor kayıtları alınmıştır. Elde edilen tek istasyon mikrotremor kayıtları bu bölgede daha sonra yapılacak olan mikrobölgeleme çalışması için de bir ön hazırlık niteliği taşımaktadır.

5. KAYNAKLAR

- Aki, K., 1957. Space and Time Spectra of Stationary Stochastic Waves with Special Reference to Microtremors, Bulletin of the Earthquake Research Institute, 35, 415-456.
- Aki, K., 1988. Local site effects on strong ground motion, Proc. Earthquake Eng. Soil Dyn. II, 103–155.
- Aki, K., 1989. Ideal probabilistic earthquake prediction, Tectonophysics, 169, 197-198.
- Akyol, N., Akçığ, Z., Utku, M. ve Danışman, M.A., 2003. Afyon ve Çevresinin Depremselliği: 03 Şubat 2002 Çay Depremi Eşşiddet Haritası ve Deprem Riski, Jeoloji Mühendisleri Dergisi.
- Alptekin, Ö. ve Yalçinkaya, E., 2001. Deprem yer hareketine lokal jeolojinin etkisi, İstanbul Üniversitesi Araştırma Fonu Raporu, Proje No: 1176/070998.
- Asten, M.W., Dhu, T. ve Lam, N., 2004. Optimised array design for microtremor array studies applied to site classification: comparison of results with SCPT logs. 13 th World Conference on Earthquake Engineering, Vancouver, B.C., Canada.
- Bard, P.Y., 1998. Microtremor Measurements: A Tool For Site Effect Estimation? Second International Symposium on the Effects of Surface Geology on Seismic Motion-ESG98- held in Yokohama, Japan, December 1-3.
- Beker, Y., 2007. KTÜ Kampusu İçerisindeki İstasyonların Konumları için Gürültü Analizlerinin İncelenmesi ve Zemin Özelliklerinin Belirlenmesi, Jeofizik Mühendisliği 4. Öğrenci Kongresi, Trabzon.
- Bodin, P., Smith, K., Horton, S. ve Hwang, H., 2001. Microtremor Observations of Deep Sedimentary Resonance in Metropolitan Memphis, Tennessee, Engineering Geology, 62, 152-168.
- Bonilla, L.F., Steidl, J.H., Lindley, G.T., Tumarkin, A.G. ve Archuleta, R.J., 1997. Site amplification in the San Fernando Valley, California: variability of site-effect estimation using the S-wave, coda, and H/V methods, Bulletin of the Seismological Society of America, 87, 710-730.
- Borcherdt, R.D., 1970. Effects of local geology on ground motion near San Francisco Bay, Bulletin of the Seismological Society of America, 60, 29-61.
- Bour, M., Fouissac, D., Dominique, P. ve Martin, C., 1998. On the use of microtremor recordings in seismic microzonation, Soil Dyn. and Earthq. Eng., 17, 465-474.

- Brambati, A., Faccioli, E., Carulli, E.B., Culchi, F., Onofri, R., Stefanini, S. ve Ulcigrai, F., 1980. Studio de microzonizzazione sismica dell'area di Tarcento (Friuli), Edito da Regiona Autonoma FriulliVenezia-Giulia (in Italian).
- Bullen, K.E. ve Bolt, B., 1985. An introduction to the theory of seismology, Cambridge Univ. Press, 433.
- Chouet, B., De Luca, G., Milana, G., Dawson, P., Martini, M. ve Scarpa, R., 1998. Shallow Velocity Structure of Stromboli Volcano, Italy, Derived from Small-Aperture Array Measurements of Strombolian Tremor, Bulletin of the Seismological Society of America, 88, 3, 653-666.
- Costa, P.T., Matias L. ve Bard, P.Y., 1996. Seismic Behavior Estimation of Thin Alluvium Layers Using Microtremor Recordings, Soil Dyn. and Earthq. Eng., 15, 201-209.
- Çelebi, M., 1987. Topographical and geological amplifications determined from strong-motion and aftershock records of the 3 March 1985 Chile earthquake, Bulletin of the Seismological Society of America, 77, 4, 1147-1167.
- Çelebi, M., 1991. Topographical and geological amplification: case studies and engineering implications, Structure Safety, 10, 199-217.
- Çetinoğ, T., 2003. İzmit ve Civarının Zemin Özelliklerinin Mikrotremor Ölçümleriyle Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- Delgado, J., Casado, L.C., Estevez, A., Giner, J., Cuenca, A. ve Molina, S., 2000. Mapping Soft Soils in the Segura River Valley (SE Spain): A Case Study of Microtremors As An Exploration Tool, Journal of Applied Geophysics, 45, 19-42.
- Dikmen, Ü., 2005. Mikrotremor yöntemi, Mühendislik Jeofiziği ve Uygulamaları Kurs notları-1, Bölüm 10, sayfa:313-345, TMMOB Jeofizik Mühendisleri Odası.
- Dikmen, Ü. ve Mirzaoğlu, M., 2005. The Seismic Microzonation Map of Yenişehir Bursa, Nw Of Turkey By Means Of Ambient Noise Measurements, Journal Of Balkan Geophysical Society, 8, 2, 53-62.
- Dikmen, Ü., 2006. Mikrotremor Yöntemi, Veri Toplama, Veri İşlem ve Yorum, Kısa Kurs notları, Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas.
- Ekincioglu, E., 2007. Dairesel Diziliimli Mikrotremorlar ve SPAC Yöntemi İle Yakın Yüzey S Dalgası Hız Yapısının Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Ewing, M., Jardetzky, W. ve Press, F., 1957. Elastic Waves in Layered Media, Mc Graw-Hill, New York.

- Faccioli E., 1991. Seismic amplification in the presence of geological and topographic irregularities, Proceedings of the second International Conference on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics, March 11-15, St. Louis, Missouri, S, Prakash (editors), Univ. of Missouri-Rolla, 2, 1779-1797.
- Fah, D., Kind, F. ve Gardini, D., 2001. A Theoretical Investigation of Average H/V Ratios, Geophysical Journal International, 145, 535-549.
- Field, E.H., Hough, S.E. ve Jacob, K.H., 1990. Using Microtremors to Assess Potential Earthquake Site Response: A case Study in Flushing Meadows, New York City, Bulletin of Seismological Society of America, 80, 6, 1456-1480.
- Field, E.H. ve Jacob, K.H., 1993. The Theoretical Response of Sedimentary Layers to Ambient Seismic Noise, Geophysical Research Letters, 20-24, 2925-2928.
- Field, E.H. ve Jacob, K.H., 1995. A comparison and test of various site-response estimation techniques, including three that are not reference-site dependent, Bulletin of Seismological Society of America, 85, 1127-1143.
- Finn, W.D.L., 1991. Geotechnical engineering aspect of microzonation, Proc. Fourth Intern'l. Conf. On Seismic Zonation, 1, 199-259.
- Gençoğlu, S. ve Ayhan, E., 1974. İzmit İli Mikrobölgeleme etüdünde Yapılan Mikrotremor Çalışması, Deprem Araştırma Enstitüsü Bülteni, 2, 5., 28-51.
- Gutterrez, C. ve Singh, S.K., 1992. A Site Effect Study in Acapulco, Guerrero, Mexico: Comparison of Results from Strong Motion and Microtremor Data, Bulletin of Seismological Society of America, 82, 1186-1205.
- Guralp System's Manual, 2000. Guralp Systems Limited 3 midas House Calleve Park Aldermaston, Reading Berks, RG7 8EA England.
- Güven, İ.H., 1993, Doğu Pontidlerin 1/25 000 ölçekli jeolojisi ve komplikasyonu, MTA, Ankara (Yayınlanmamış).
- Haskell, N.A., 1960. Crustal reflections of plane SH waves, Journal of Geophysical Research, 65, 4147-4150.
- Horike, M., 1985. Inversion of Phase Velocity of Long Period Microtremors to the S-Wave Velocity Structure Down to the Basement in Urbanized Areas, Journal of Physics of the Earth, 38, 59-96.
- Hough, S.E., Seeber, L., Rovelli, A., Malagnini, L., DeCesare, A., Selveggi, G. ve Lerner-Lam, A., 1992. Ambient noise and weak-motion excitation of sediment resonances: results from the Tiber Valley, Italy: Bulletin of the Seismological Society of America, 82, 1186-1205.
- Ibs-Von, S. ve Wohlenberg, J., 1999. Microtremors Measurements Used to Map Thickness of Soft Sediments, Bulletin of the Seismological Society of America, 89, 250-259.

- Iruka, K. ve Kawanaka, T., 1980. Characteristic of Microtremors on Ground Discontinues Underground Structure, Bulletin of Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, 30, 81-96.
- Kagami, H., Duke, C.M., Liang, G.C. ve Otha, Y., 1982. Observation of 1-to 5 Second Microtremors and Their Application to Earthquake Engineering. Part II. Evaluation of site Effect Upon Seismic Wave Amplification Due to Extremely Deep Soil Deposit, Bulletin of the Seismological Society America, 72, 987-98.
- Kagami, H., Okada, S., Shiono, K., Oner, M., Dravinsky, M. ve Mal, A.K., 1986. Observation of 1 to 5 second microtremors and their application to earthquake engineering. Part III. Two -Dimensional Study of Site Effects in the San Fernando Valley. Bulletin of the Seismological Society America, 76, 1801-1812.
- Kanai, K., 1952. Relation between the nature of the surface layer and the amplitudes of earthquake. Bulletin of the Earthquake Research Institute, University of Tokyo, 30.
- Kanai, K. ve Tanaka, T., 1954. Measurement of the Microtremor, Bulletin of the Earthquake Research Institute, University of Tokyo, 32, 192-209.
- Kanai, K., Tanaka, T. ve Osada, K., 1954. Measurement of the Microtremor 1. Bulletin of the Earthquake Research Institute, University of Tokyo, 32; 200-208.
- Kanai, K. ve Tanaka, T., 1961. On Microtremors, VII, Bulletin of the Earthquake Research Institute, 39, 97-114.
- Kanai, K., Tanaka T. ve Yoshizawa, S., 1965. On Microtremors 8. Bulletin of the Earthquake Research Institute, University of Tokyo, 39, 97-114.
- Kanai, K., 1966. Observation of Microtremor, XI., Matsushiro Earthquake Swarm Areas, Bulletin of the Earthquake Research Institute, XLIV, Part 3, University of Tokyo.
- Kanai, K., Tanaka, T., Suzuki, T., Morishita T. ve Yoshizawa S., 1966. An Amprical Formula for spektrum of strong earthquake motion. Bulletin of the Earthquake Research Institute, Tokyo Univ. 39, 85 (1961); 44, 645 (1966).
- Kanai, K., 1983. Engineering Seismology. University of Tokyo, 251, Japonya.
- Karabulut S., 2005. Büyükçekmece İlçesinde Mikrotremor Verileriyle Mikrobölgeleme Çalışmaları, Yüksek Lisans Tezi, İ.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Katz, L.J., 1976. Microtremor Analysis of Local Geological Conditions, Bulletin of the Sesimological Society of America, 66, 45-61.
- Katz, L.J. ve Bellon, R.S., 1978. Microtremor Site Analysis Study at Beatty, Nevada, Bulletin of the Sesimological Society of America, 68, 757-765.
- Kennett, B.L.N., 1983. Seismic Wave Propagation in a Stratified Half-space, Cambridge University Press, Cambridge.

- Ketin, İ., 1966. Anadolu'nun Tektonik Birlikleri, MTA Dergisi, 66, 20-43.
- Kobayashi, H.K., Seo, K. ve Midorikawa, S., 1986. Estimated Strong Ground Motions in the Mexico City Due to the Michoacan, Mexico Earthquake of September 19, 1985 Based on Characteristics of Microtremor. Part II, Report on Seismic Microzoning Studies of the Mexico Earthquake of the September 19, 1985, The Graduate School of Nagatsuta, Tokyo Institute of Technology, Yokohama, Japan.
- Konno, K. ve Ohmachi, T., 1998. Ground-Motion Characteristics Estimated from Spectral Ratio between Horizontal and Vertical Components, Bulletin of the Seismological Society of America, 88, 1, 228-241.
- Lachet, C. ve Bard, P.Y., 1994. Numerical and Theoretical Investigation on the possibilities and Limitations of the Nakamura's Technique, Journal of Physics of the Earth, 42, 377-397.
- Lermo, J., Rodriguez, M. ve Singh, S.K., 1989. Estudio del Periodo Dominante del Suelo en la Zona Urbana de Ciudad Guzman, Jal., ,n Memories del VIII Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, SMIS, I, Acapulco, Guittero, A87-A96, Spain.
- Lermo, J. ve Chavez-Garcia F. J., 1994. Are Microtremors useful in site response evaluation. Bulletin of the Seismological Society of America, 84, 5, 1350 - 1364.
- Ling, S. ve Okada, H., 1993. An extended use SPAC for the estimation of the geological structures using microtremors (in Japanese). Proceedings of the 89th SEGJ Conference, 44-8.
- Louie, J.N., 2001. Faster, Better: Shear-Wave Velocity to 100 Meters Depth from Refraction Microtremor Arrays, Bulletin of the Seismological Society of America, 91, 2, 347-364.
- Makra, K., Raptakis, D., Chavez-Garcia, F.J. ve Pitalakis, K., 2001. Site effects and design provisions: the case of Euroseistest, Pure and Applied Geophysics, 158, 2349-2367.
- Matsushima, T. ve Okada, H., 1990. Determination of Deep Geological Structures Under Urban Areas Using Long Period Microtremors, Butsuri-Tansa, 43-1, 21-33.
- Medvedev, S.V., 1962. Engineering Seismology. Gosstroyizdat.
- Mirzaoğlu, M. ve Dikmen, U., 2003. Application of Microtremors to Seismic Microzoning Procedure, Journal of the Balkan Geophysical Society, 6, 3, 143-156.
- Milana, G., Barba, S., Del Pezzo, E. ve Zambonelli, E., 1996. Site Response from Ambient Noise Measurements: New Perspectives from An Array Study in Central Italy, Bulletin of the Seismological Society of America, 86, 2, 320-328.
- Morales, J., Vidal, F., Pena, A., Alguacil, G. ve Ibanez, J.M., 1991. Microtremor Study in the Sediment-Filled Basin of Zafarraya, Granada (Southern Spain), Bulletin of the Seismological Society of America, 81, 687-693.

- Mucciarelli, M., 1998. Reliability and Applicability of Nakamura's Technique Using Microtremors: An Experimental Approach., Journal of Earthquake Engineering, 2, 4., 625-638.
- Mukhopadhyay, S. ve Bormann, P., 2003. Low Cost Seismic Microzonation Using Microtremor Data: An Example from Delhi, India, Journal of Asian Earth Sciences 24, 271-280.
- Nakamura, Y., 1989. A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface, QR of RTRI, February, 30, 1, 25-33.
- Nguyen, F., Rompaey, V., Teerlynck, H., Van Camp, M., Jongmans, D. ve Camelbeeck, T., 2004. Use of microtremor measurement for assessing site effects in Northern Belgium—interpretation of the observed intensity during the Ms=5.0 June 11 1938 earthquake: Journal of Seismology, 8, 41–56.
- Nogoshi, M. ve Igarashi, T., 1970. On the amplitude characteristics of microtremor (Part 1). Journal of the Seismic Society of Japan; 23, 281–303.
- Nogoshi, M. ve Igarashi, T., 1971. On the Amplitude Characteristic of Microtremor, Part II, Journal of Seismic Society of Japan, 24, 26-40.
- Nogoshi, M., 1978. On fundamental nature of microtremors and its application. Journal of the Mining College, Akita University, Japan, Series A, 5, 3, 1–51.
- Ohta, Y., Kagami, H., Goto, N. ve Kudo, K., 1978. Observation of 1-to-5 Second Microtremors and Their Application to Earthquake Engineering, Part I: Comparison with Long Period Accelerations at the Tokachi-Oki Earthquake of 1968, Bulletin of the Seismological Society of America, 68, 767-779.
- Ojeda, A. ve Escallon, J., 2000. Comparison Between Different Techniques for Evaluation of Dominant Period Using Strong Motion Records and Microtremors in Pereira Colombia, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 20, 137-143.
- Okada, H. ve Matsushima, T., 1989. An exploration method using microtremors (1), A theory to identify Love waves in microtremors. Proc. 81st SEGJ Conf., 15-18.
- Okada, H., 2003. The Microtremor Survey Method, Geophysical Monograph Series, 12, Society of Exploration Geophysicists, 135.
- Omori, F., 1908. On Microtremors, Bull. of Earth. Inv. Com. 2, I-II.
- Özsayar, T. , 1971. Geologie und Palaentologie des Gebites Östlich Trabzon (Anatolien), Doktora Tezi, Giessen Geologische Schriften, 1, 138, Giessen.
- Peterson, J., 1993. Observation and modeling of background seismic noise: U.S. Geol. Surv. Open-File rept., Albuquerque, 93-322.

- Pitarka, A., Irikura, K., Iwata, T. ve Sekiguchi, H., 1998. 3D simulation of the near-fault ground motion for the 1995 Hyogo-ken Nanbu (Kobe), Japan, earthquake, Bulletin of the Seismological Society of America, 88, 428-440.
- Rodriguez, M., Chavez-Garcia, F.J. ve Stephanson, W.R., 2000. 132WCEE, 1441.
- Rodriguez, V.H.S. ve Midorikawa, S., 2002. "Applicability of the H/V Spectral Ratio of Microtremors in Assessing Site Effects on Seismic Motion." Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 31, 261-279.
- Sakaji, K., 1998. Temporal variation of the power spectra of microtremors observed at soil and rock sites: Graduation thesis, Hokkaido University (in Japanese).
- Sanchez-Sesma, F.J., 1987. Site effects on strong ground motion, Soil. Dyn. And Earthq. Eng., 6, 124-132.
- Sarıca, S.S., 2008. Isparta İl Merkezi Mikrobölgeleme Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Sato, T., Kawase, H., Matsui, M. ve Kataoki, S., 1991. Array measurement of high frequency microtremors for underground structure estimation, in Proc. 4th Int. Conf. on Seismic Zonation, Stanford, California, II, 409-415.
- Schnabel, B., Lysmer, J. ve Seed, H.B., 1972. Shake, a computer program for earthquake response analysis of horizontally layered sites, College of Engineering, University of California, Berkeley, Report EERC, 72-12, 88.
- Seo, K., Samano, T., Yamanaka, H., Hao, X., Koyama, S. ve Takeuchi, M., 1989. Comparative considerations about the effect of surface geology on seismic motion among different site conditions in meeting of IASPEI, İstanbul.
- Singh, S.K. ve Ordaz, M., 1993. 'On The Origin of Long Coda Observed in The Lake-Bed Strong Motion Records of Mexico City', Bulletin of the Seismological Society of America, 83, 1298-1306.
- Toksöz, M.N. ve Lacoss, R.T., 1968. Microseisms: mode structures and sources. Science, 159, 872-873.
- Udwadia, F.E. ve Trifunac, M.D., 1973. Comparison of Earthquake and Microtremor Ground Motions in El Centro, California, Bulletin of the Seismological Society of America, 63, 1227-1253.
- Yalçınkaya, E. ve Alptekin, Ö., 2000b. 27 Haziran 1998 Adana-Ceyhan depreminde zemin şartlarının yer hareketine ve hasar dağılımına etkisi, Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Sekizinci Ulusal Kongresi, Ekim, 2000, İTÜ, İstanbul, Bildiriler Kitabı: 311-320.

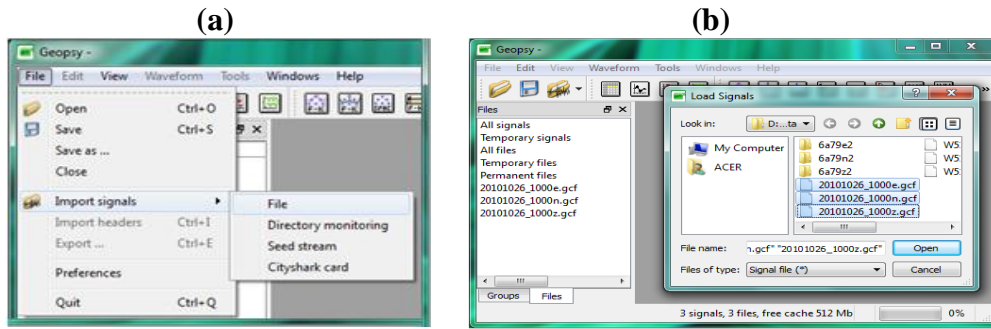
- Yamanaka, H., Takameura, M., Ishida, H. ve Niwa, M., 1994. Characteristic of long-period microtremors and their applicability in exploration of deep sediments. Bulletin of the Seismological Society of America, 84, 1831–41.
- Yılmaz, B.S., Gülibrahimoğlu, İ., Konak, O., Yaprak, S. ve Köse, Z., 1997. Trabzon İlinin Çevre Jeolojisi ve Doğal Kaynakları, MTA Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Yurdatapan, O. ve Stheisberg, V., 1974. Sovyet Sosyalist cumhuriyetler Birliğinde Sismik Mikrobölgeleme Metodlarının Geliştirilmesi, Deprem Araştırma Enstitüsü Bülteni, 2, 5., 52-86.

6. EKLER

Ek 1. Çözümlemede Kullanılan Bilgisayar Programı (Geopsy)

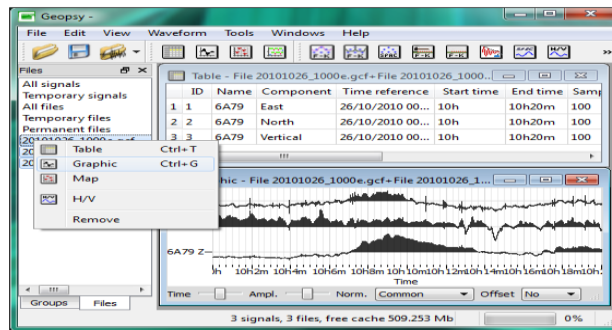
SESARRAY projesi kapsamında bulunan ve sismometre yardımı ile alınan verilerin değerlendirilmesi için kullanılan bir programdır. SESARRAY projesi, içerisinde birçok zemin hareketlerine yönelik programı barındıran bir projedir. Bu proje Sesame European, Universite Joseph Fourier (Grenoble, Fransa) ve Universitat Potsdam (Potsdam, Almanya) işbirliğiyle ortaya çıkmıştır.

Programı ilk açtığımızda karşımıza Ek Şekil 1.1a.'da gösterilen ana ekran çıkmaktadır. Yapmamız gereken öncelikli işlem değerlendirmek istediğimiz veriyi çağırmaktır. Bu işlemi yapmak için gereken yol "File" menüsünden "import signal" seçeneği ile verileri çağırmak veya ana ekran üzerinde yer alan kısa yol tuşu kullanılarak ta bu işlem gerçekleştirilebilir. Verilerin bulunduğu dosya kütüğü içerisinde değerlendirilmek istediğimiz verinin üç bileşen kayıtlarını seçiyoruz. Seçilen veriler ekranın sol tarafındaki "Files" kısmında görülecektir (Ek Şekil 1.1b).



Ek Şekil 1.1. (a) ana menü ve üç bileşen mikrotremor verisinin çağırılması (b) üç bileşen mikrotremor kaydının "Files" kısmındaki görünümü ve bulunduğu kütük

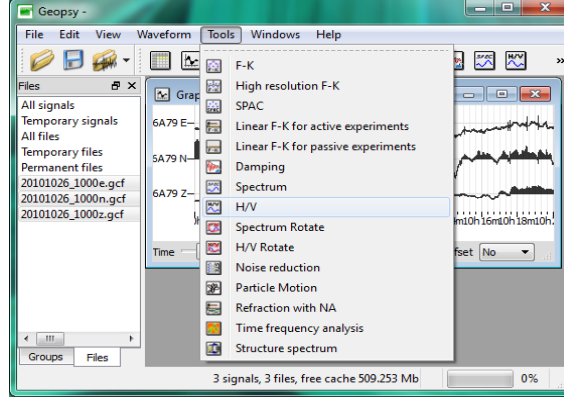
Verilere ait bilgileri (başlangıç ve bitiş süresi, örnekleme zamanı, örnek sayısı, veri boyu vs.) tablo, grafik veya harita şeklinde görüntüleyebiliriz (Ek Şekil 1.2).



Ek Şekil 1.2. Mikrotremor verisinin tablo ve grafik olarak görüntülenmesi

Ek-1'in devamı

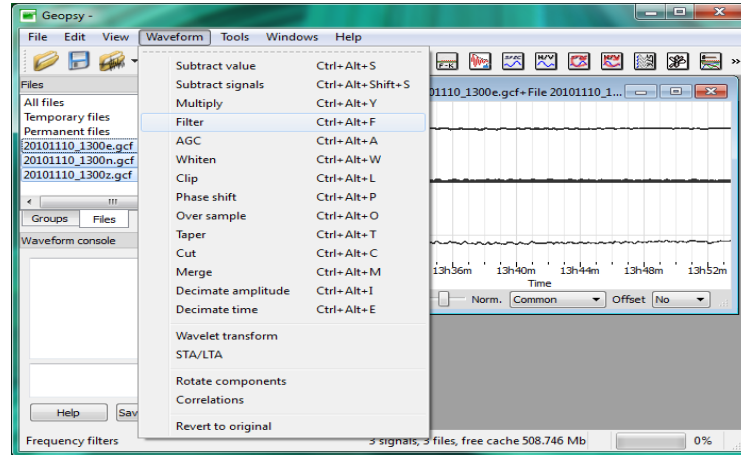
Veriler tablo veya grafik olarak görüntüledikten sonra ana ekranda bulunan “tools” menüsünden uygulamak istediğimiz işlem üç bileşen için seçilir (Ek Şekil 1.3).



Ek Şekil 1.3. Veriye uygulanacak olan seçeneklerin görünümü

Kaydedilen tek istasyon 3 bileşen mikrotremor verilerine H/V oranı şu şekilde uygulanır:

- ✓ Ana ekranda görüntülenen üç bileşen mikrotremor verisine öncelikle “Waveform” menüsünden “filter” ve “taper” seçenekleri ile zaman ortamında filtreleme ve tıraşlama işlemleri uygulanır (Ek Şekil 1.4).

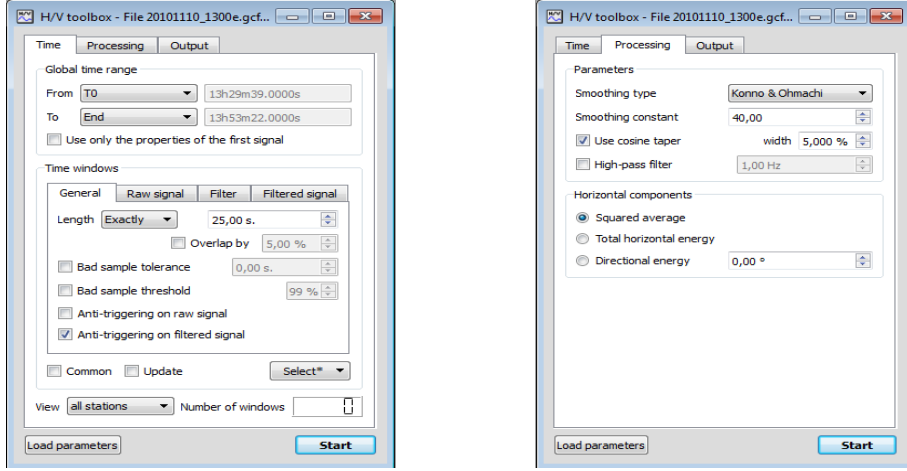


Ek Şekil 1.4. Mikrotremor verisine uygulanabilecek veri işlem seçenekleri

- ✓ Zaman ortamında gerekli veri işlem adımları uygulandıktan sonra üç bileşen mikrotremor verisinin H/V spektral oranını hesaplamak için “tools” menüsünde yer alan H/V seçeneği tıklanır. Açılan pencerede yer alan Time kısmında, verinin başlangıç ve bitiş zamanı “Global time range” başlığında, çözümleme için veriye uygulanacak pencerelerin ve pencere boyunun seçimi “General” başlığında, ham sinyale ait STA (kısa zaman ortalama), LTA (uzun zaman ortalama) değerleri “Raw signal” başlığında verilmektedir.

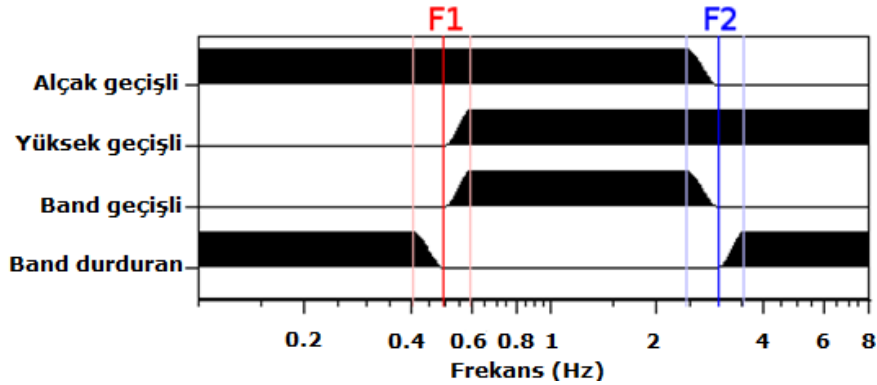
Ek-1'in devamı

Filtre seçenekleri “*Filter ve Filtered signal*” başlığında verilmiştir. Processing kısmında ise veriye uygulanacak olan pencereleme, tıraşlama ve yuvarlatma seçenekleri yer almaktadır. Output bölümü, elde edecek olan çıkış verisinin kaydedileceği kütük, eksenlerin logaritmik mi yoksa lineer mi olacağını içermektedir (Ek Şekil 1.5).



Ek Şekil 1.5. Pencere boyunun ile veriye uygulanacak olan pencereleme, tıraşlama ve yuvarlatma fonksiyonlarının seçilmesi

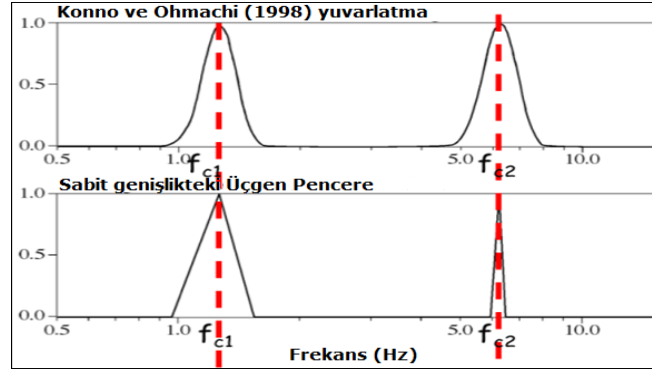
- ✓ Veride çözümlenme için kullanılmak istenen kısımlar (genellikle gürültü seviyesinin fazla değişmediği) Time bölümünde yer alan “select” kısmından (Auto) otomatik veya (Add) manuel olarak seçilebilir. Aynı şekilde veriden çözümlenmede kullanılmak istenmeyen bir kısım varsa yine buradan (Remove) kaldırılabilir.
- ✓ Kosinüs tıraşlama; Tıraşlanmış Kosinüs penceresi veya Tukey penceresine dayanan lineer sonlu impuls tepki süzgecidir (FIR). Genişlik parametresi, süzgecin eğimlenen kısmının kesme frekansı (F1 ve F2) ile olan genişliğini tanımlar (Ek Şekil 1.6). Önerilen değer 0.1 dir (kesme frekansının %10).



Ek Şekil 1.6. Çeşitli band durumları için frekans ortamında tıraşlanmış kosinüs fonksiyonları

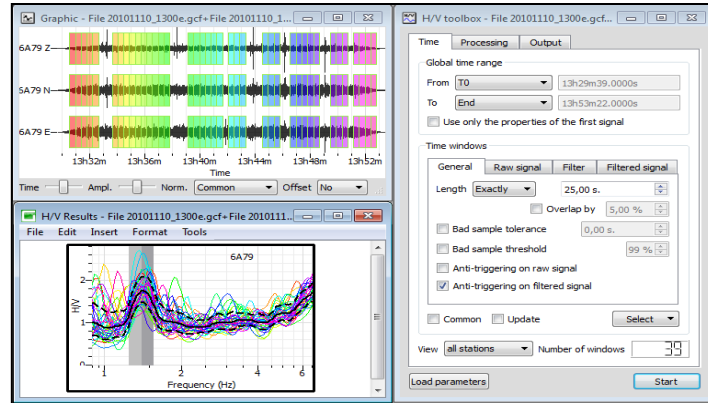
- ✓ Konno&Ohmachi fonksiyonu ile yuvarlatma; bu yuvarlatma logaritmik ölçekte sabit band genişliğini kullanmaktadır. Bu yuvarlatma fonksiyonu farklı sayıda alçak ve yüksek frekanslı olayları ayırmada iyi sonuç verdiği için, frekans analizi çalışmalarında tavsiye edilmektedir (Ek Şekil 1.7). Bu yuvarlatma 0-100 arasında değişen yuvarlatma sabiti ile kontrol edilir. Sıfır değeri oldukça keskin bir yuvarlatmaya, 100 değeri ise çok az bir yuvarlatmaya karşılık gelir. Konno&Ohmachi (1998) penceresi aşağıda verilen bağıntı ile tanımlanır:

$$\frac{\sin\left(\log_{10}\left(\frac{f}{f_c}\right)^b\right)}{\left(\log_{10}\left(\frac{f}{f_c}\right)\right)^4}$$



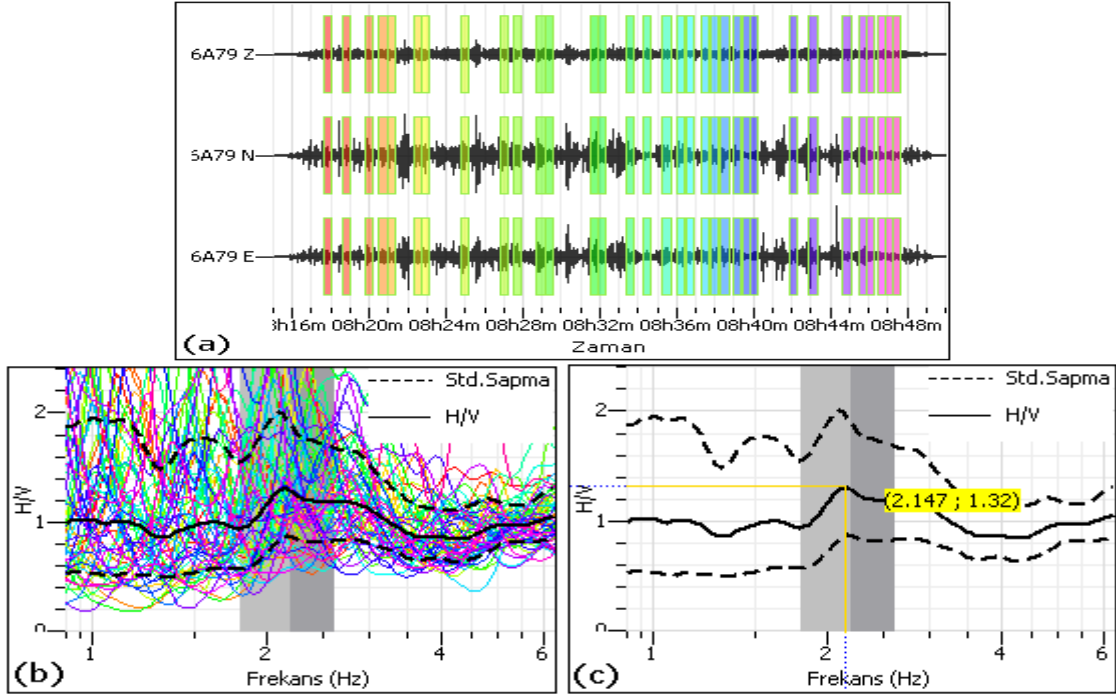
Ek Şekil 1.7. Konno&Ohmachi pencere fonksiyonu

- ✓ Daha sonra veri için gerekli olan yuvarlatma, tıraşlama parametreleri aynı ekran üzerinde seçilerek “START” butonuna basılır ve üç bileşen mikrotremor verisine ait H/V spektral oran grafiği elde edilir (Ek Şekil 1.8).

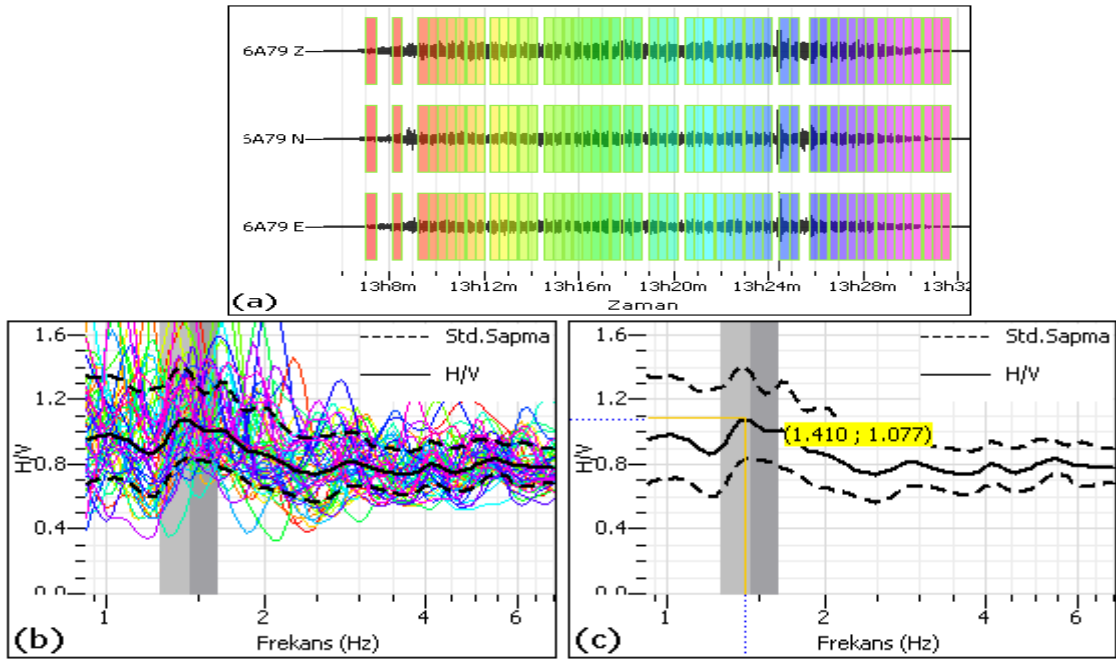


Ek Şekil 1.8. H/V spektral oranı hesaplanmış verinin çözümleme için seçilen pencereleri ve H/V spektral oran grafiği

Ek 2. Birinci Profile Ait Ölçü Noktalarının Mikrotremor Kayıtları ve H/V Spektral Oran Grafikleri

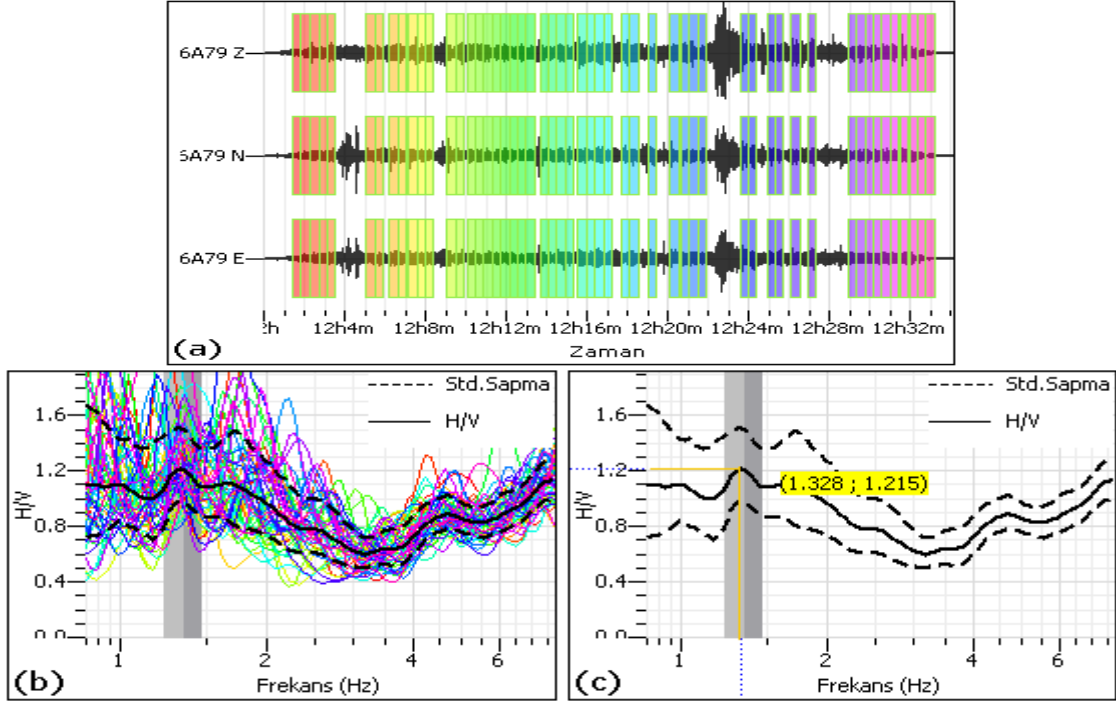


Ek Şekil 2.1. 1-1. ölçüm noktasına ait (a) seçilen çözümleme pencereleri (b) çözümleme pencerelerinin her birine ait H/V ve ortalama H/V oran spektrumu (c) ortalama H/V oran spektrumu üzerinde hakim frekans ve büyütme değeri

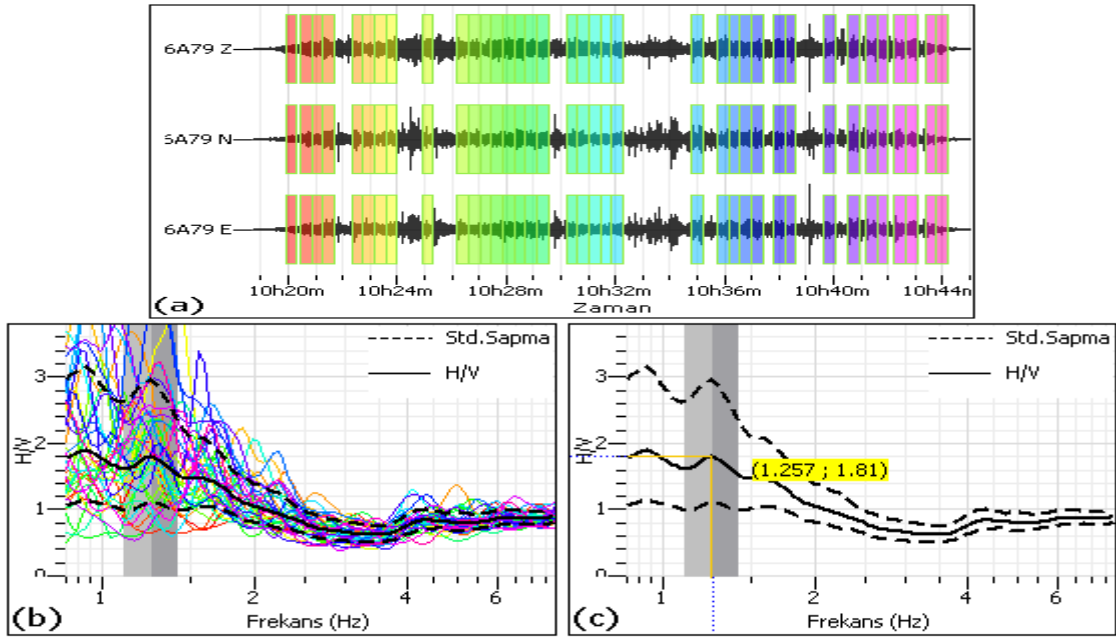


Ek Şekil 2.2. 1-2. ölçüm noktasına ait (a) seçilen çözümleme pencereleri (b) çözümleme pencerelerinin her birine ait H/V ve ortalama H/V oran spektrumu (c) ortalama H/V oran spektrumu üzerinde hakim frekans ve büyütme değeri

Ek-2'nin devamı

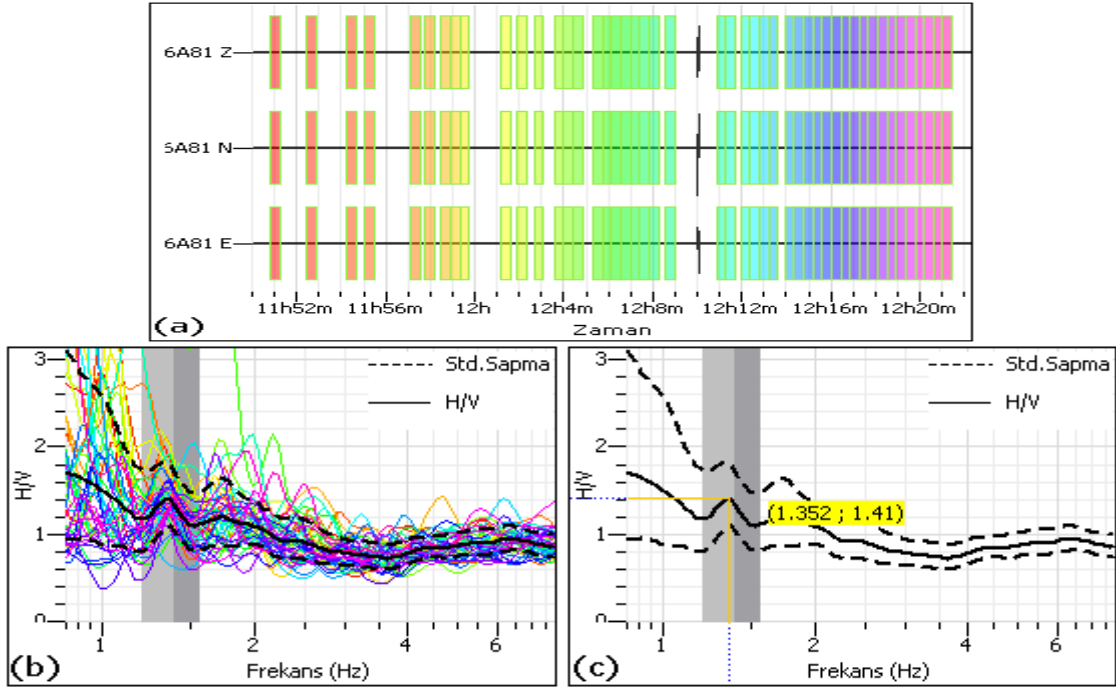


Ek Şekil 2.3. 1-3. ölçüm noktasına ait (a) seçilen çözümleme pencereleri (b) çözümleme pencerelerinin her birine ait H/V ve ortalama H/V oran spektrumu (c) ortalama H/V oran spektrumu üzerinde hakim frekans ve büyütme değeri

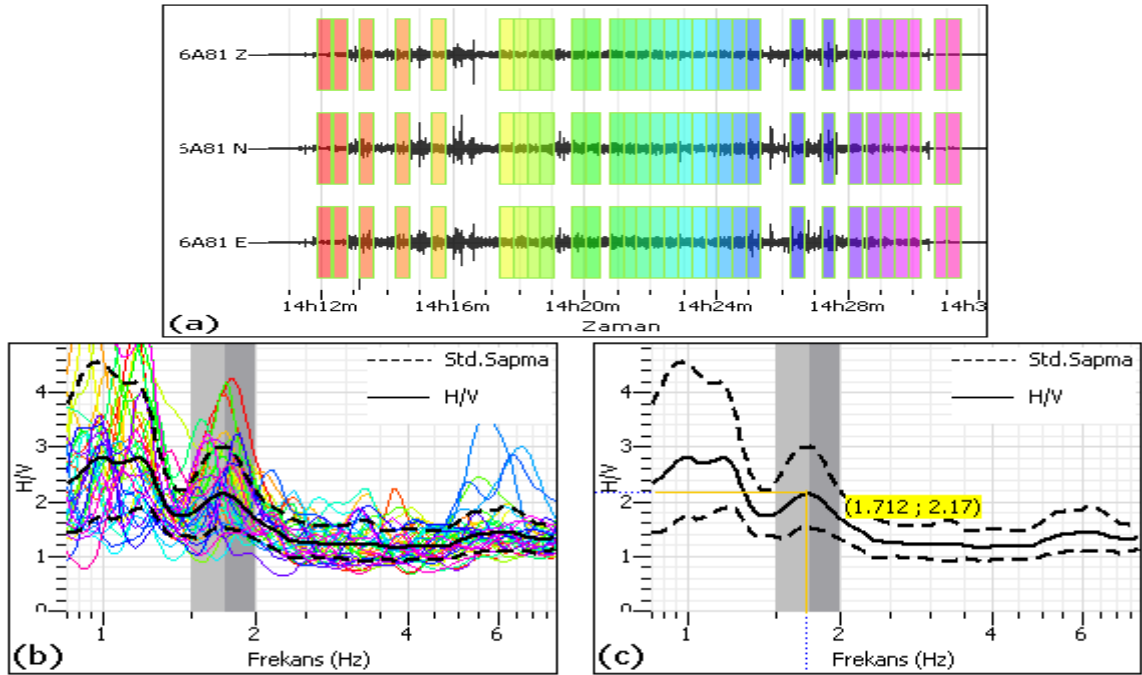


Ek Şekil 2.4. 1-4. ölçüm noktasına ait (a) seçilen çözümleme pencereleri (b) çözümleme pencerelerinin her birine ait H/V ve ortalama H/V oran spektrumu (c) ortalama H/V oran spektrumu üzerinde hakim frekans ve büyütme değeri

Ek-2'nin devamı

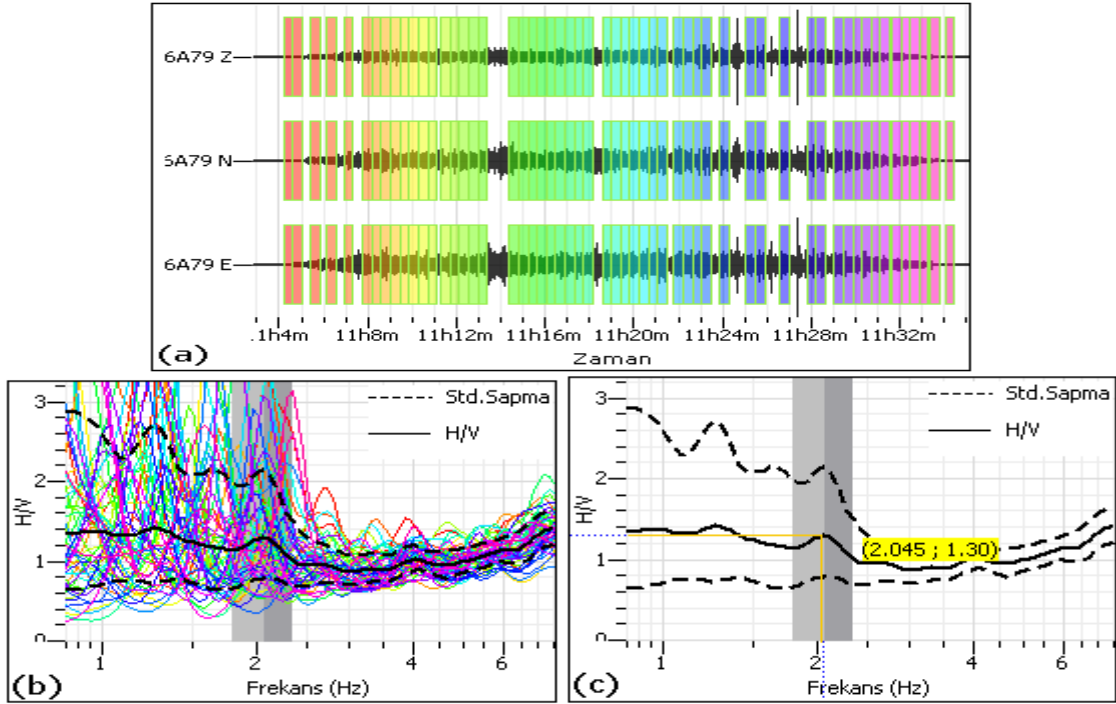


Ek Şekil 2.5. 1-5. ölçüm noktasına ait (a) seçilen çözümleme pencereleri (b) çözümleme pencerelerinin her birine ait H/V ve ortalama H/V oran spektrumu (c) ortalama H/V oran spektrumu üzerinde hakim frekans ve büyütme değeri

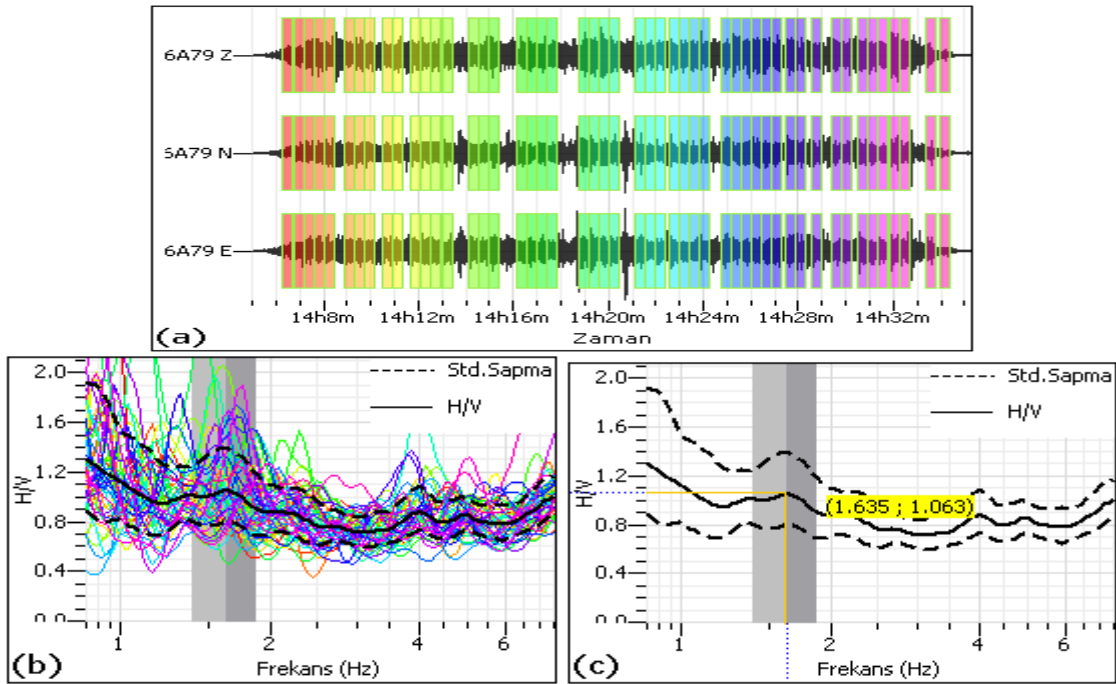


Ek Şekil 2.6. 1-6. ölçüm noktasına ait (a) seçilen çözümleme pencereleri (b) çözümleme pencerelerinin her birine ait H/V ve ortalama H/V oran spektrumu (c) ortalama H/V oran spektrumu üzerinde hakim frekans ve büyütme değeri

Ek-2'nin devamı

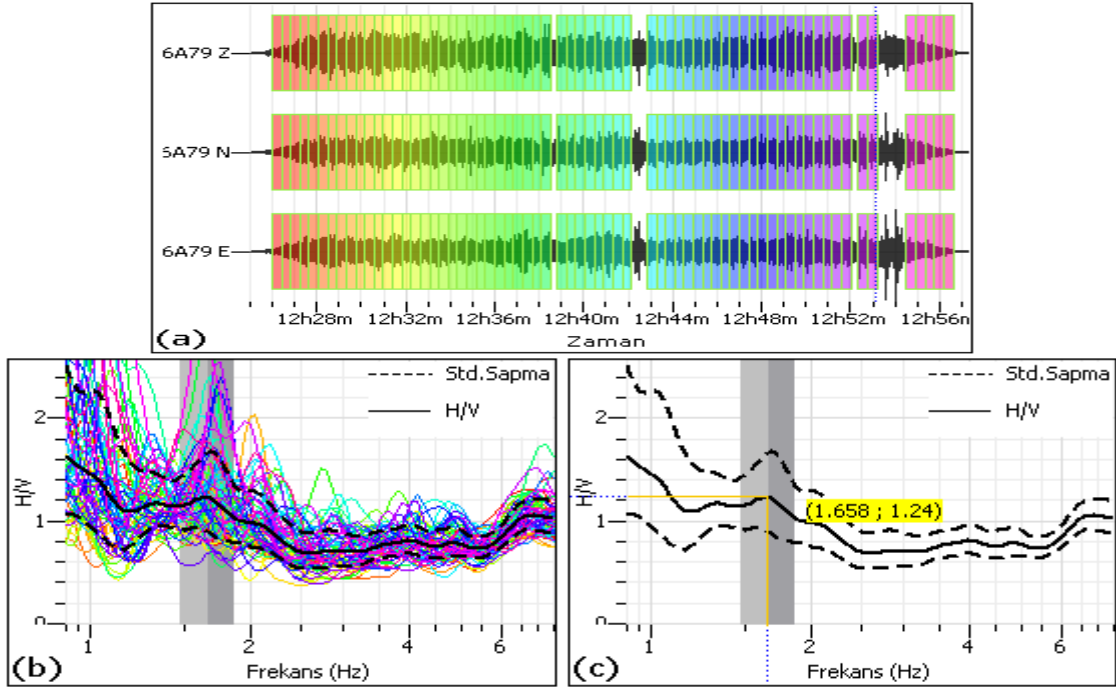


Ek Şekil 2.7. 1-7. ölçüm noktasına ait (a) seçilen çözümümler pencereleleri (b) çözümümler pencerelelerinin her birine ait H/V ve ortalama H/V oran spektrumu (c) ortalama H/V oran spektrumu üzerinde hakim frekans ve büyütme değeri

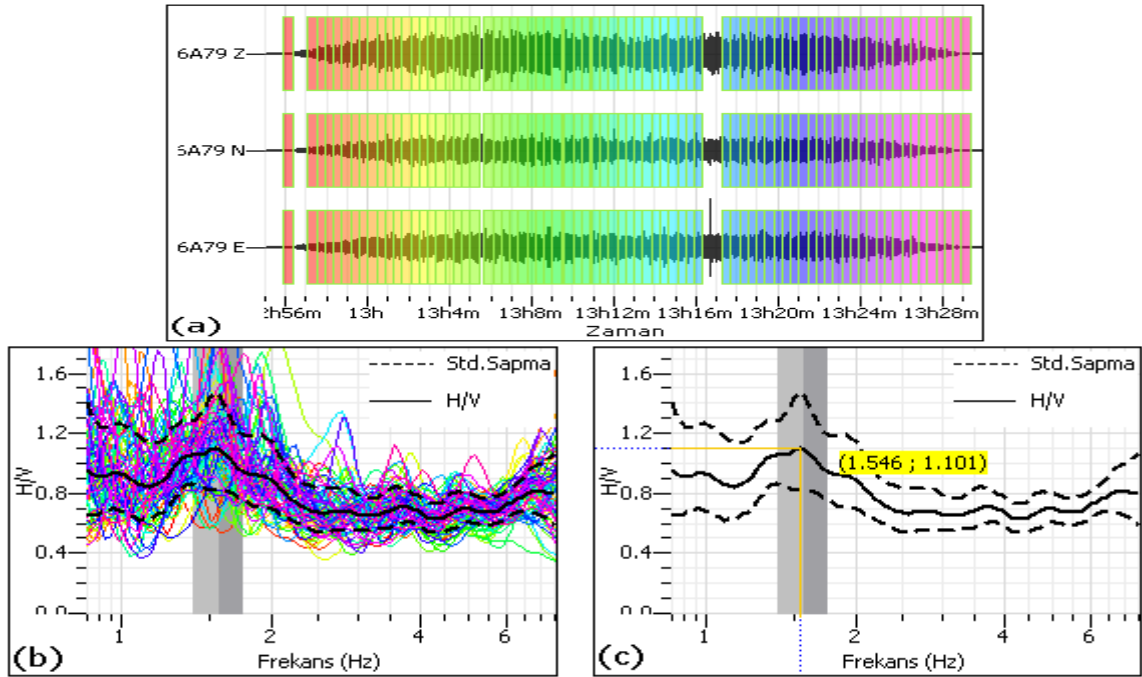


Ek Şekil 2.8. 1-8. ölçüm noktasına ait (a) seçilen çözümümler pencereleleri (b) çözümümler pencerelelerinin her birine ait H/V ve ortalama H/V oran spektrumu (c) ortalama H/V oran spektrumu üzerinde hakim frekans ve büyütme değeri

Ek-2'nin devamı

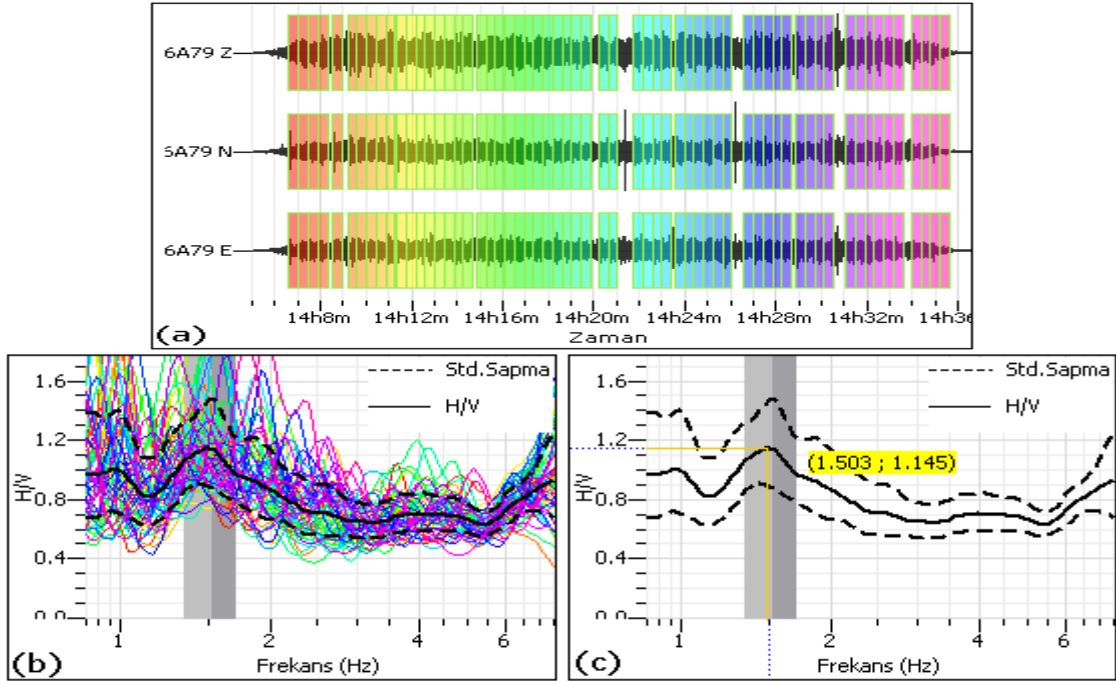


Ek Şekil 2.9. 1-9. ölçüm noktasına ait (a) seçilen çözümlene pencereleri (b) çözümlene pencerelerinin her birine ait H/V ve ortalama H/V oran spektrumu (c) ortalama H/V oran spektrumu üzerinde hakim frekans ve büyütme değeri

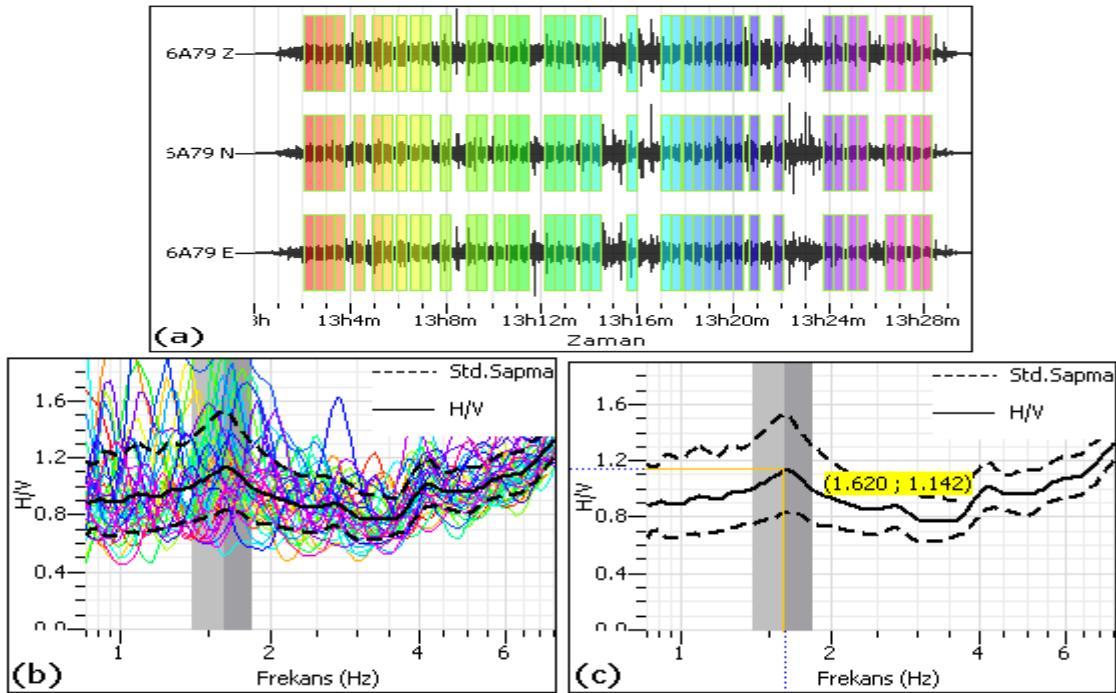


Ek Şekil 2.10. 1-10. ölçüm noktasına ait (a) seçilen çözümlene pencereleri (b) çözümlene pencerelerinin her birine ait H/V ve ortalama H/V oran spektrumu (c) ortalama H/V oran spektrumu üzerinde hakim frekans ve büyütme değeri

Ek-2'nin devamı

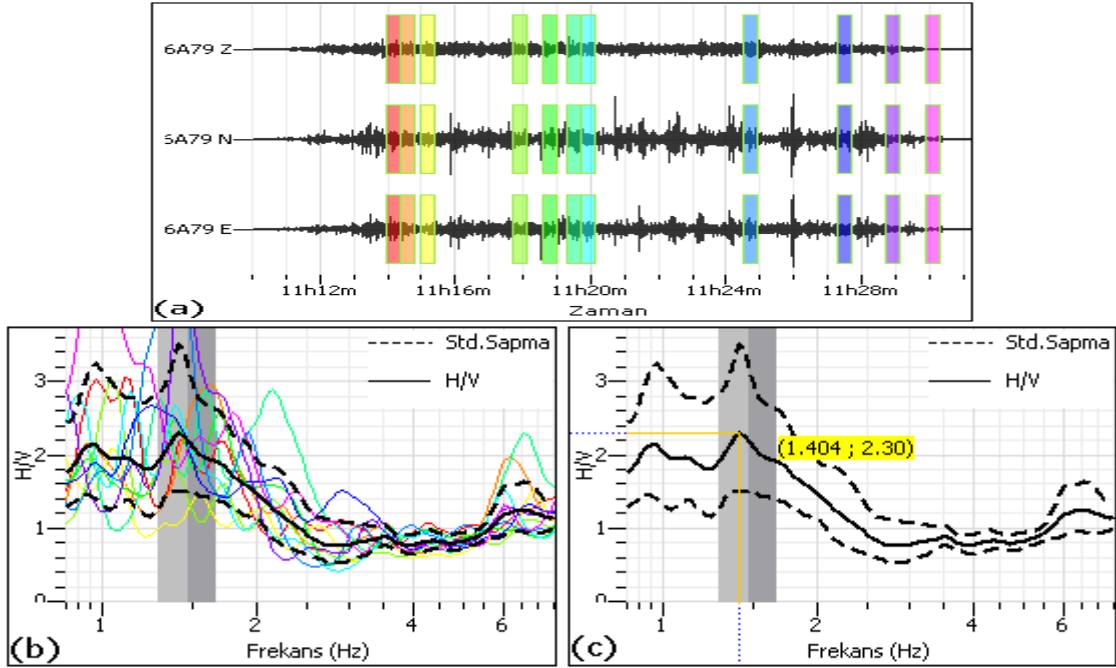


Ek Şekil 2.11. 1-11. ölçüm noktasına ait (a) seçilen çözümleme pencereleri (b) çözümleme pencerelerinin her birine ait H/V ve ortalama H/V oran spektrumu (c) ortalama H/V oran spektrumu üzerinde hakim frekans ve büyütme değeri

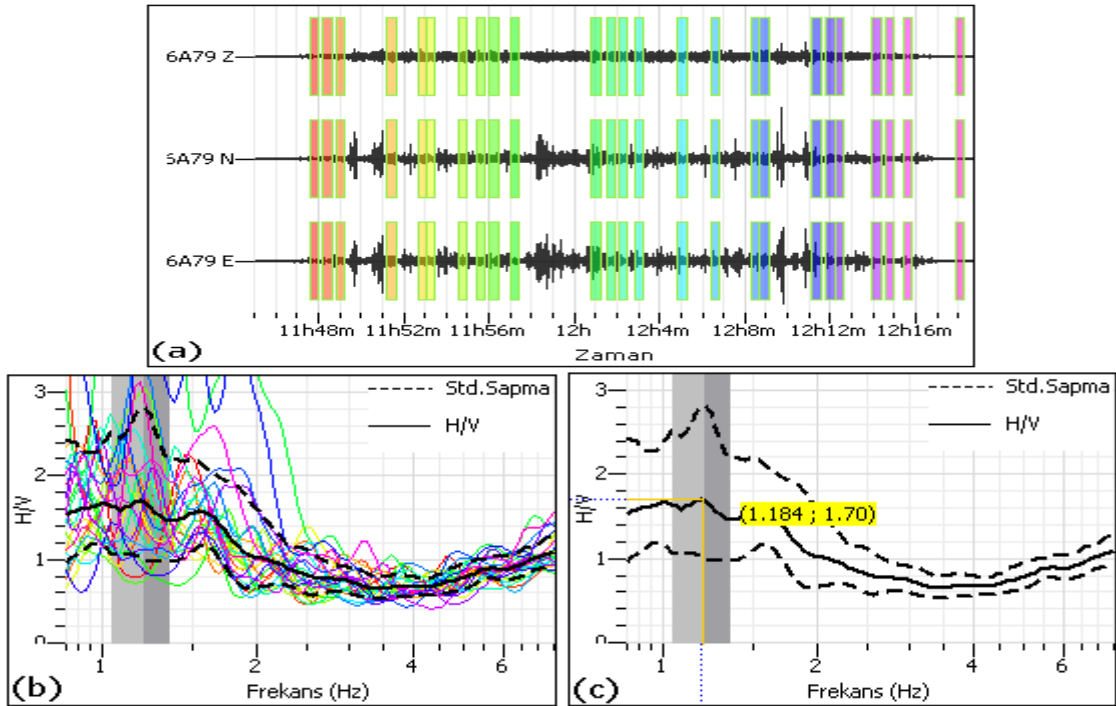


Ek Şekil 2.12. 1-12. ölçüm noktasına ait (a) seçilen çözümleme pencereleri (b) çözümleme pencerelerinin her birine ait H/V ve ortalama H/V oran spektrumu (c) ortalama H/V oran spektrumu üzerinde hakim frekans ve büyütme değeri

Ek-2'nin devamı

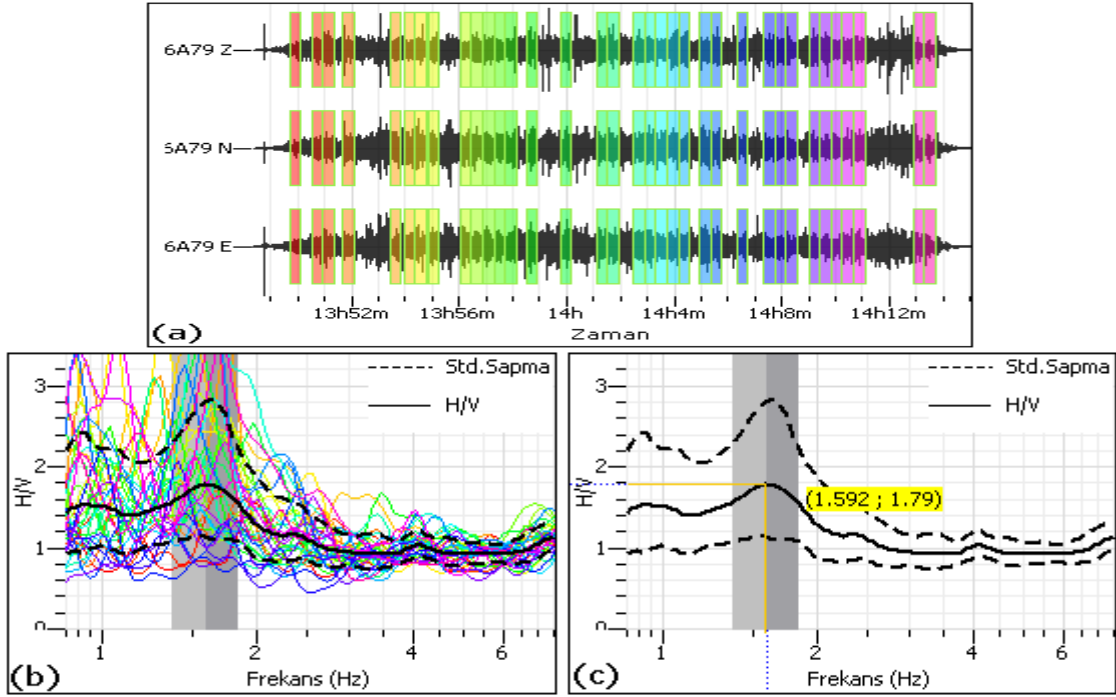


Ek Şekil 2.13. 1-13. ölçüm noktasına ait (a) seçilen çözümleme pencereleri (b) çözümleme pencerelerinin her birine ait H/V ve ortalama H/V oran spektrumu (c) ortalama H/V oran spektrumu üzerinde hakim frekans ve büyütme değeri

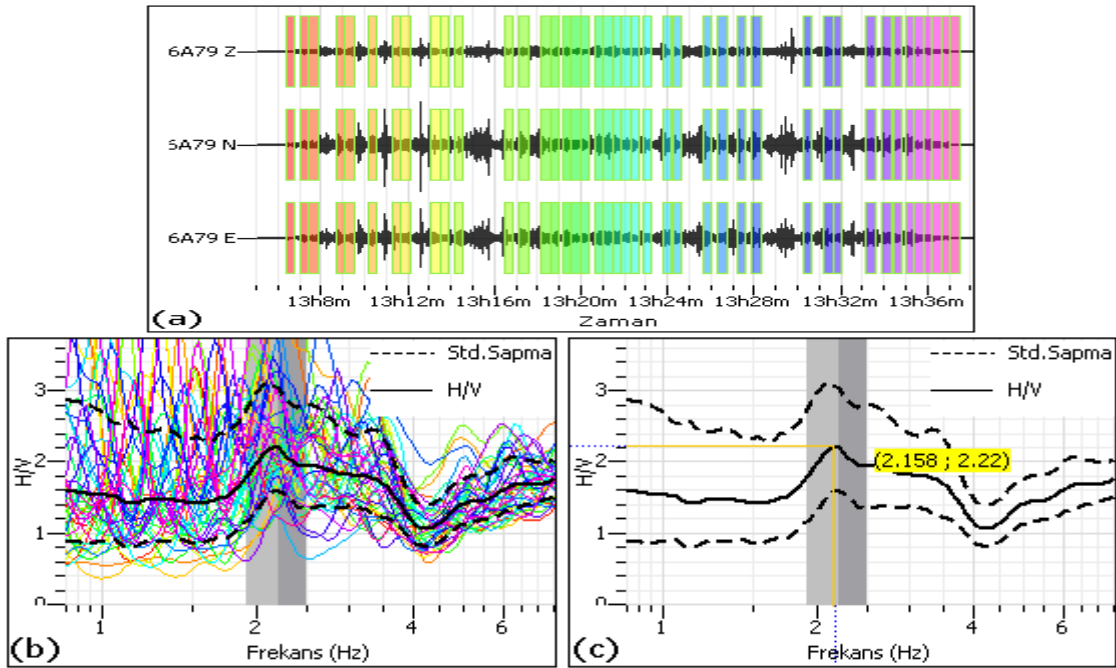


Ek Şekil 2.14. 1-14. ölçüm noktasına ait (a) seçilen çözümleme pencereleri (b) çözümleme pencerelerinin her birine ait H/V ve ortalama H/V oran spektrumu (c) ortalama H/V oran spektrumu üzerinde hakim frekans ve büyütme değeri

Ek-2'nin devamı

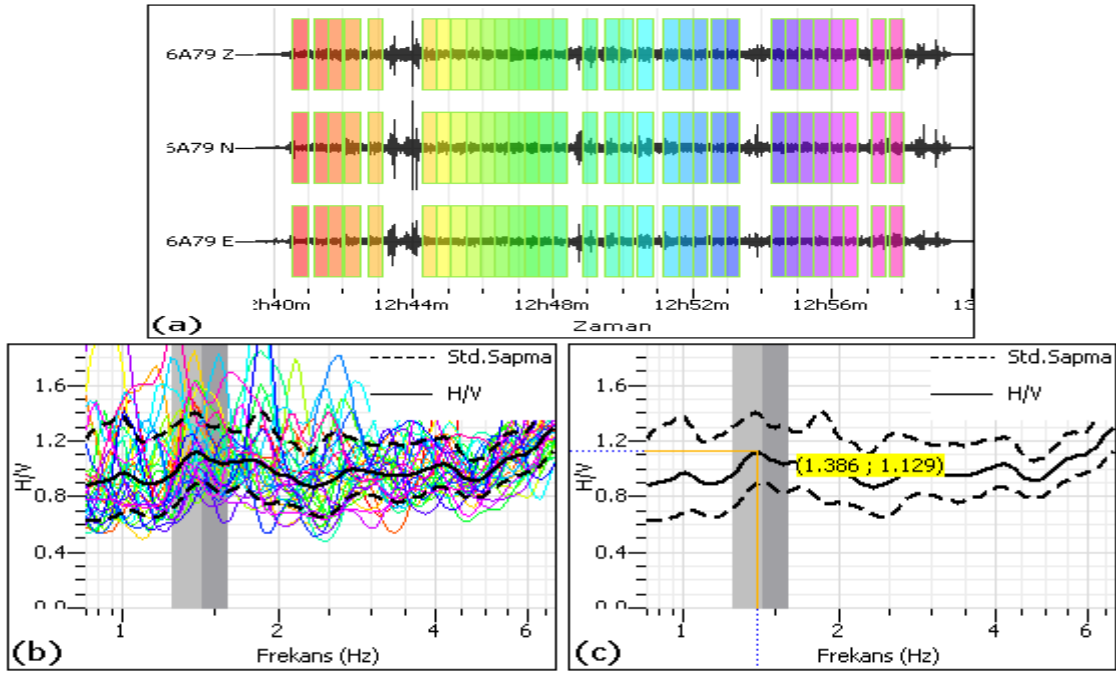


Ek Şekil 2.15. 1-15. ölçüm noktasına ait (a) seçilen çözümüleme pencereleri (b) çözümüleme pencerelerinin her birine ait H/V ve ortalama H/V oran spektrumu (c) ortalama H/V oran spektrumu üzerinde hakim frekans ve büyütme değeri

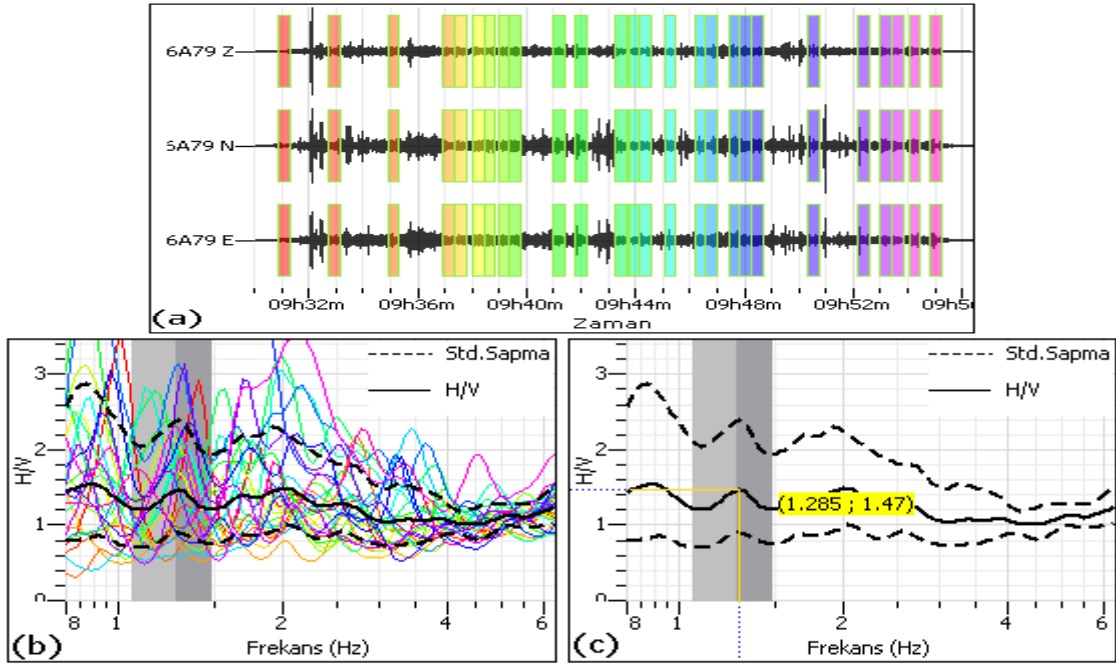


Ek Şekil 2.16. 1-16. ölçüm noktasına ait (a) seçilen çözümüleme pencereleri (b) çözümüleme pencerelerinin her birine ait H/V ve ortalama H/V oran spektrumu (c) ortalama H/V oran spektrumu üzerinde hakim frekans ve büyütme değeri

Ek 3. İkinci Profile Ait Ölçü Noktalarının Mikrotremor Kayıtları ve H/V Spektral Oran Grafikleri

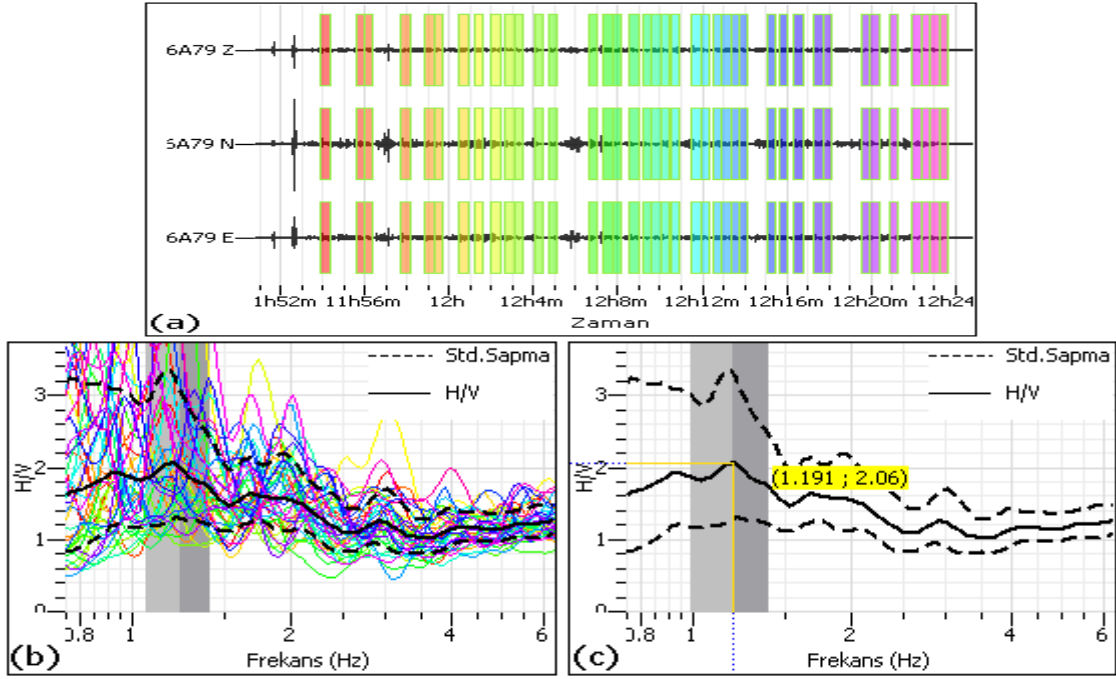


Ek Şekil 3.1. 2-1. ölçüm noktasına ait (a) seçilen çözümleme pencereleri (b) çözümleme pencerelerinin her birine ait H/V ve ortalama H/V oran spektrumu (c) ortalama H/V oran spektrumu üzerinde hakim frekans ve büyütme değeri

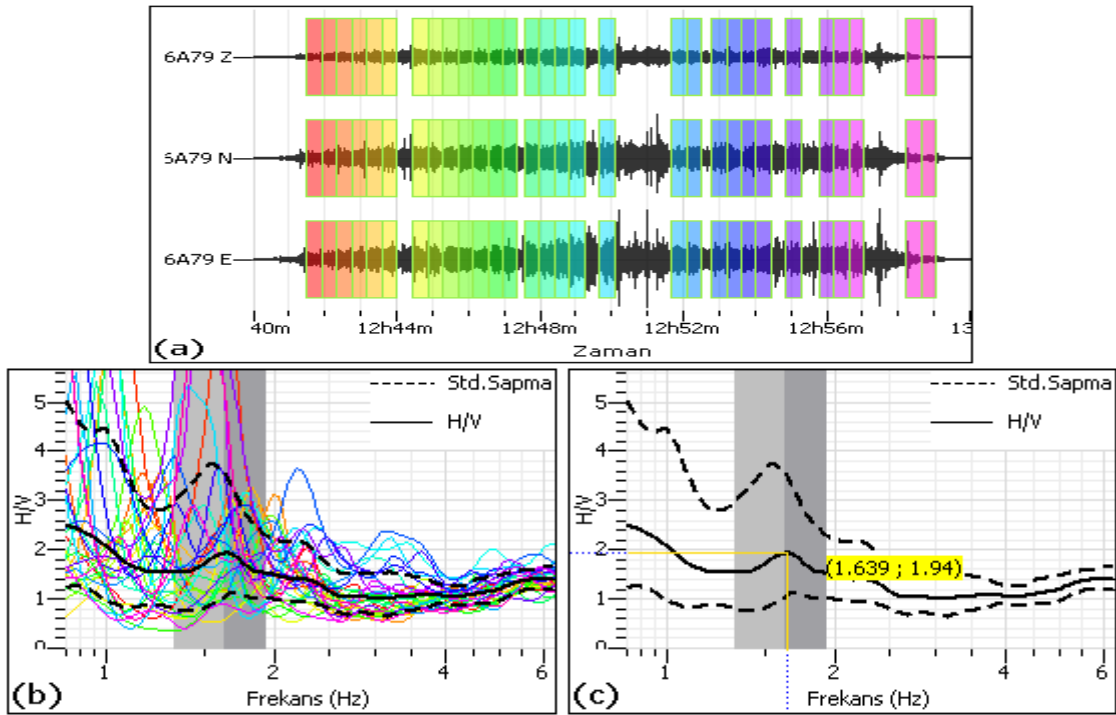


Ek Şekil 3.2. 2-2. ölçüm noktasına ait (a) seçilen çözümleme pencereleri (b) çözümleme pencerelerinin her birine ait H/V ve ortalama H/V oran spektrumu (c) ortalama H/V oran spektrumu üzerinde hakim frekans ve büyütme değeri

Ek-3'ün devamı

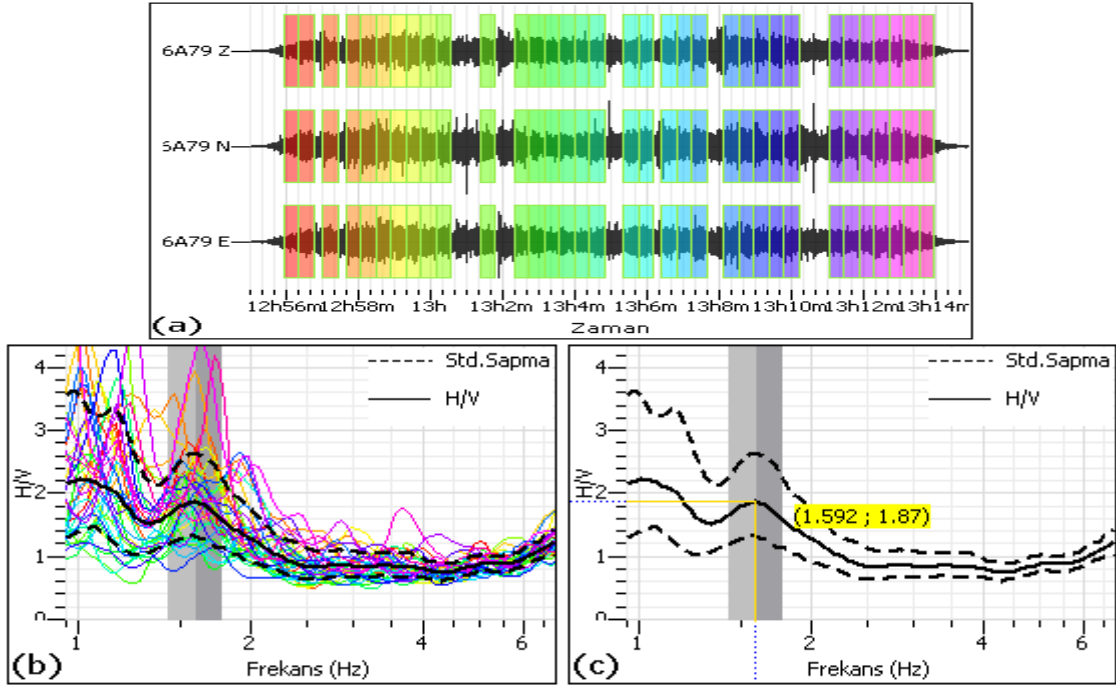


Ek Şekil 3.3. 2-3. ölçüm noktasına ait (a) seçilen çözümlene pencereleri (b) çözümlene pencerelerinin her birine ait H/V ve ortalama H/V oran spektrumu (c) ortalama H/V oran spektrumu üzerinde hakim frekans ve büyütme değeri

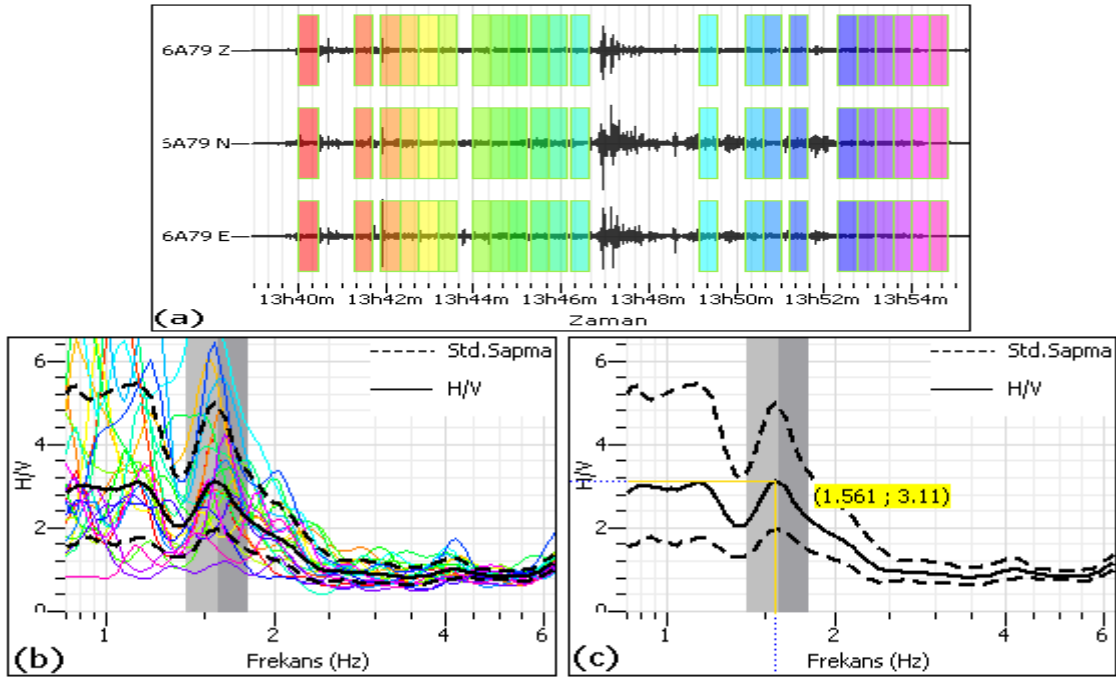


Ek Şekil 3.4. 2-4. ölçüm noktasına ait (a) seçilen çözümlene pencereleri (b) çözümlene pencerelerinin her birine ait H/V ve ortalama H/V oran spektrumu (c) ortalama H/V oran spektrumu üzerinde hakim frekans ve büyütme değeri

Ek-3'ün devamı

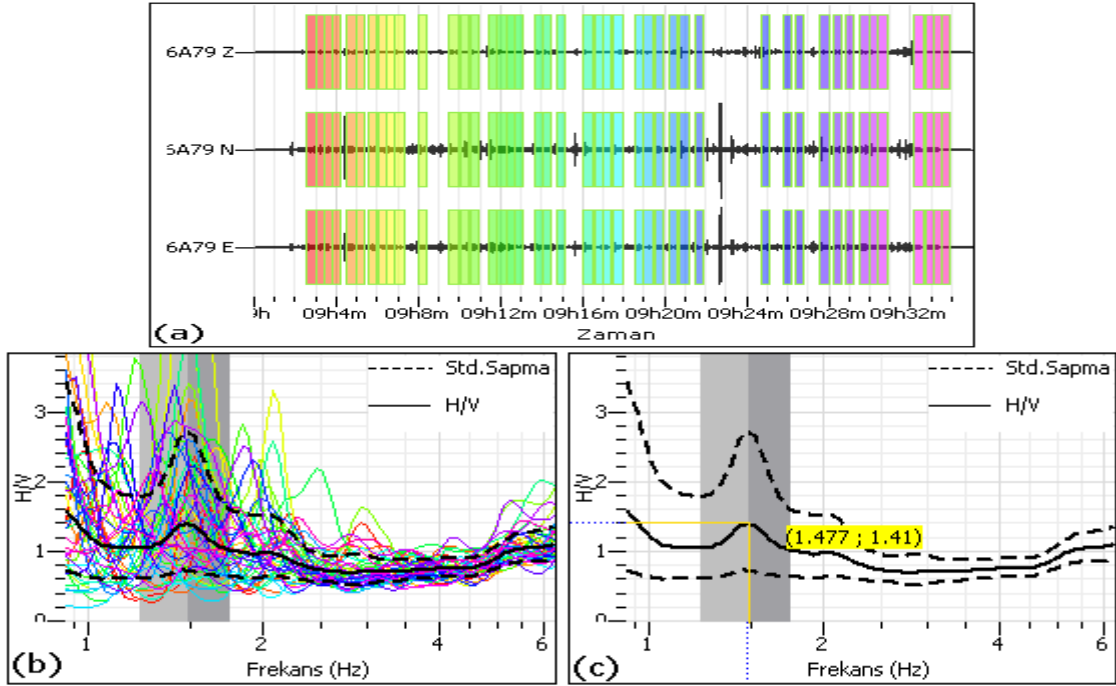


Ek Şekil 3.7. 2-7. ölçüm noktasına ait (a) seçilen çözümleme pencereleri (b) çözümleme pencerelerinin her birine ait H/V ve ortalama H/V oran spektrumu (c) ortalama H/V oran spektrumu üzerinde hakim frekans ve büyütme değeri

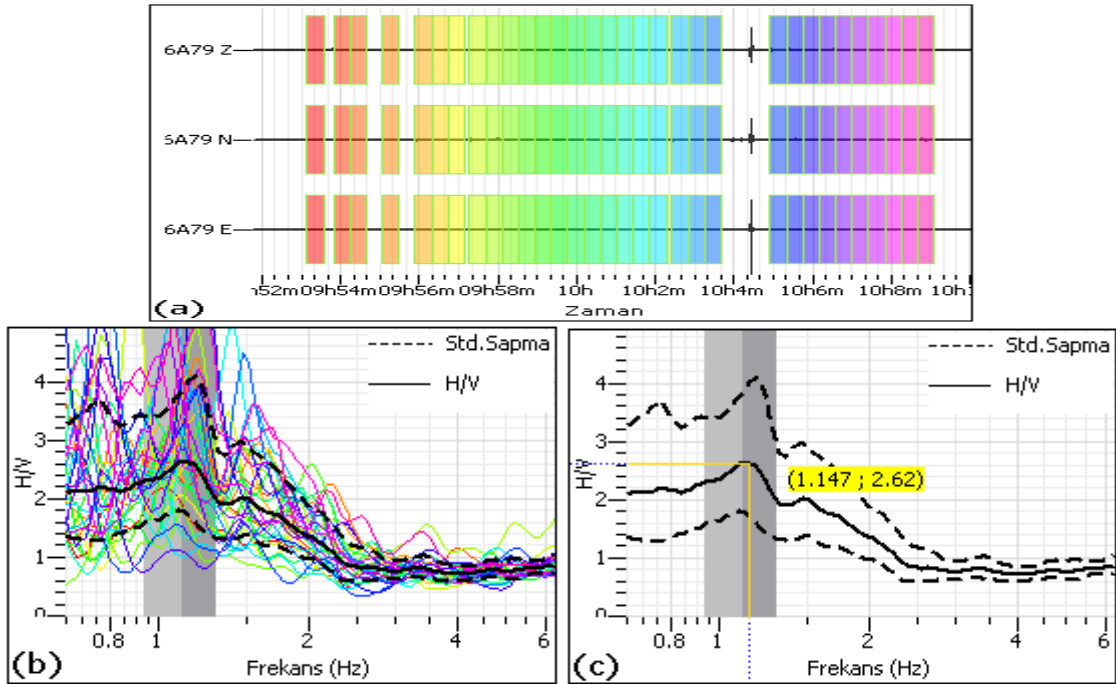


Ek Şekil 3.8. 2-8. ölçüm noktasına ait (a) seçilen çözümleme pencereleri (b) çözümleme pencerelerinin her birine ait H/V ve ortalama H/V oran spektrumu (c) ortalama H/V oran spektrumu üzerinde hakim frekans ve büyütme değeri

Ek-3'ün devamı

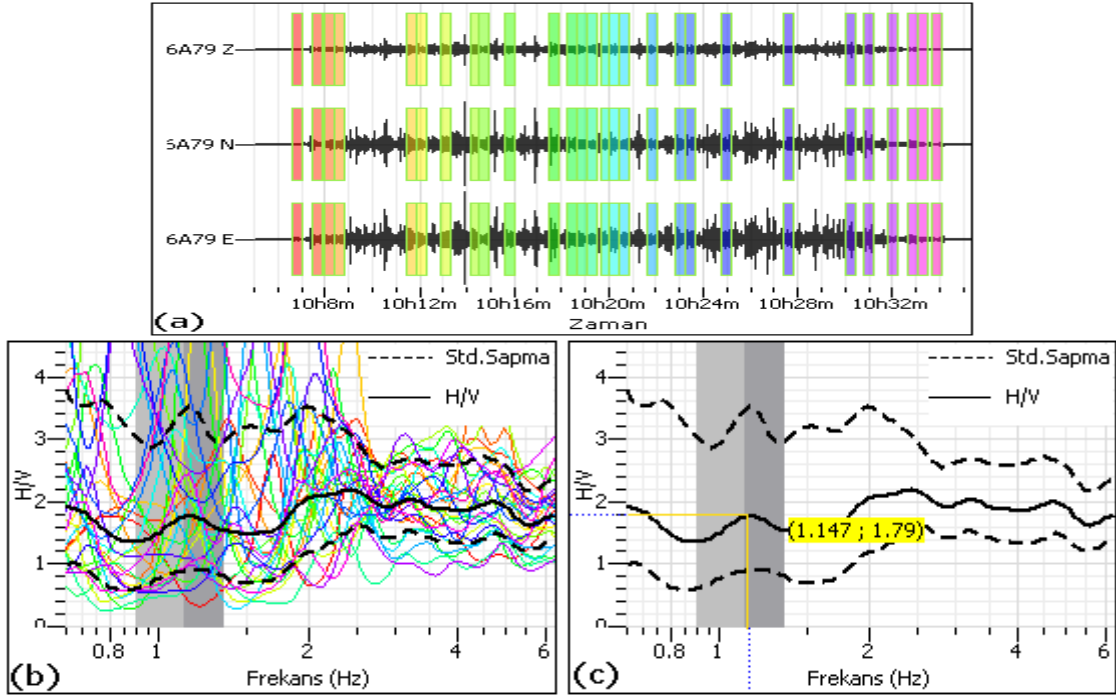


Ek Şekil 3.9. 2-9. ölçüm noktasına ait (a) seçilen çözümleme pencereleri (b) çözümleme pencerelerinin her birine ait H/V ve ortalama H/V oran spektrumu (c) ortalama H/V oran spektrumu üzerinde hakim frekans ve büyütme değeri

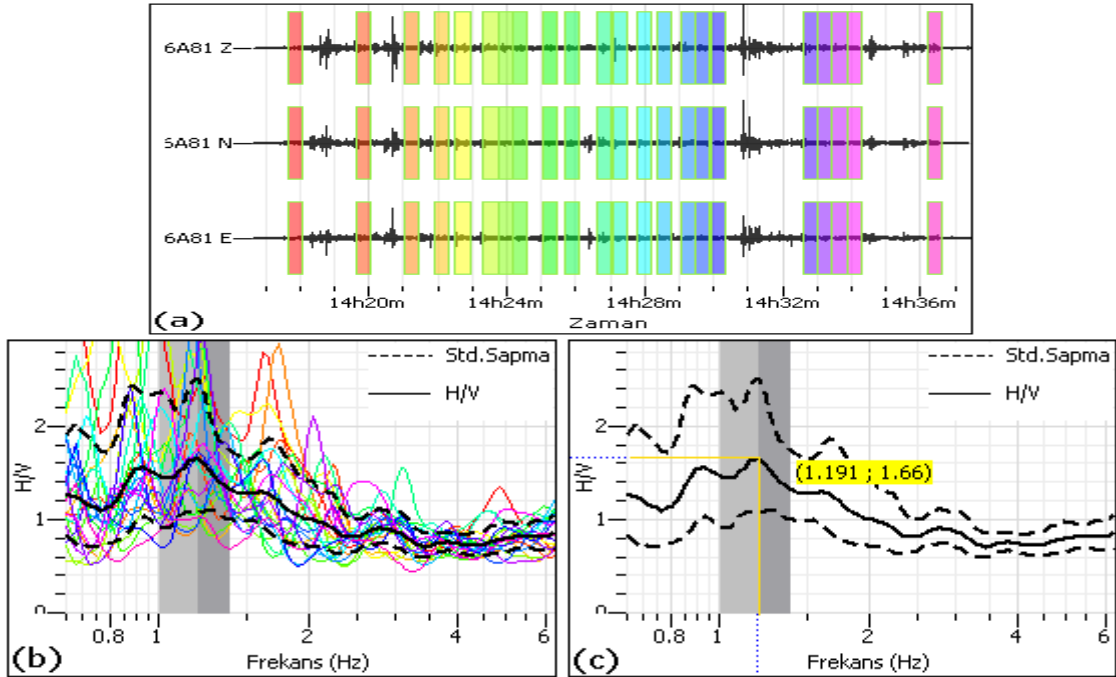


Ek Şekil 3.10. 2-1. ölçüm noktasına ait (a) seçilen çözümleme pencereleri (b) çözümleme pencerelerinin her birine ait H/V ve ortalama H/V oran spektrumu (c) ortalama H/V oran spektrumu üzerinde hakim frekans ve büyütme değeri

Ek-3'ün devamı

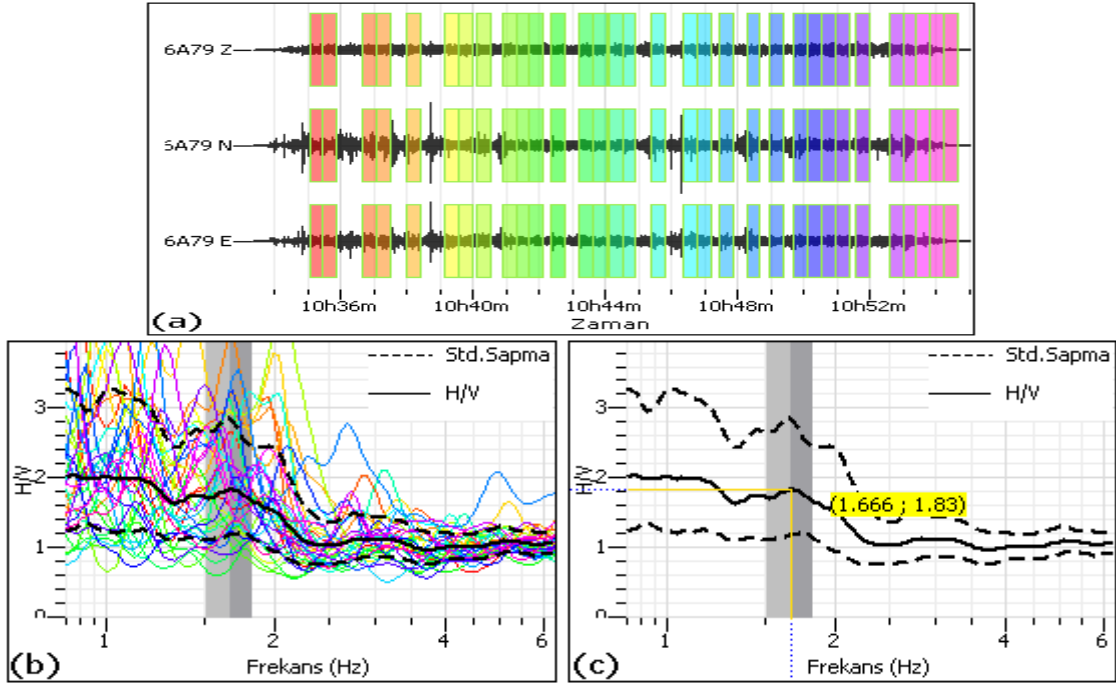


Ek Şekil 3.11. 2-11. ölçüm noktasına ait (a) seçilen çözümleme pencereleri (b) çözümleme pencerelerinin her birine ait H/V ve ortalama H/V oran spektrumu (c) ortalama H/V oran spektrumu üzerinde hakim frekans ve büyütme değeri

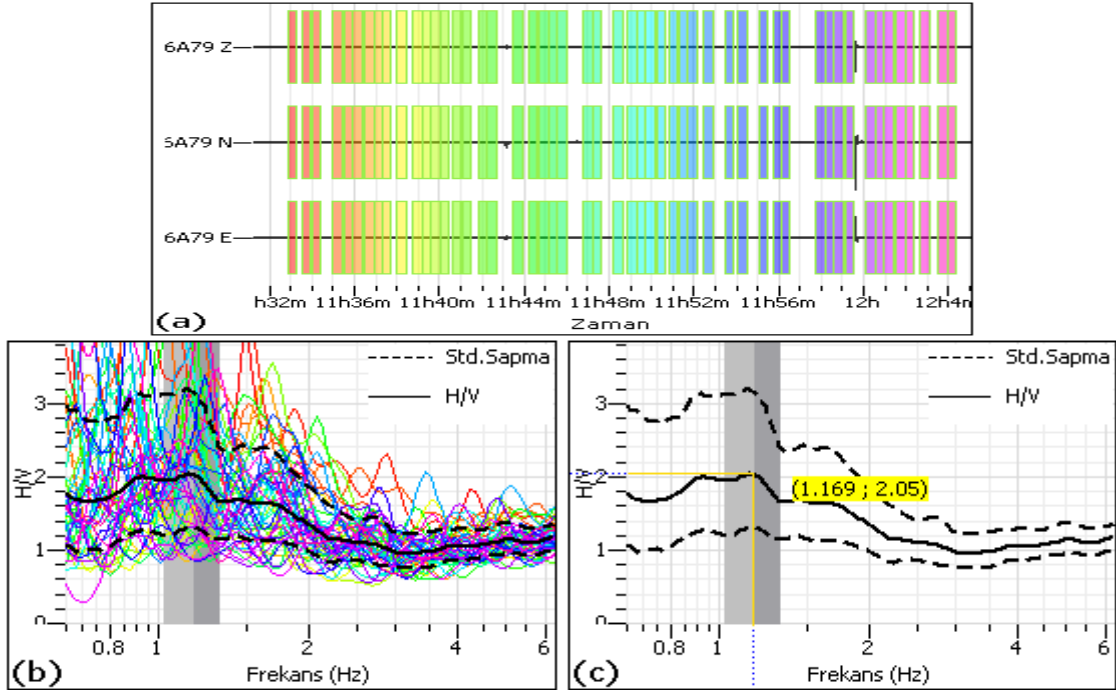


Ek Şekil 3.12. 2-12. ölçüm noktasına ait (a) seçilen çözümleme pencereleri (b) çözümleme pencerelerinin her birine ait H/V ve ortalama H/V oran spektrumu (c) ortalama H/V oran spektrumu üzerinde hakim frekans ve büyütme değeri

Ek-3'ün devamı

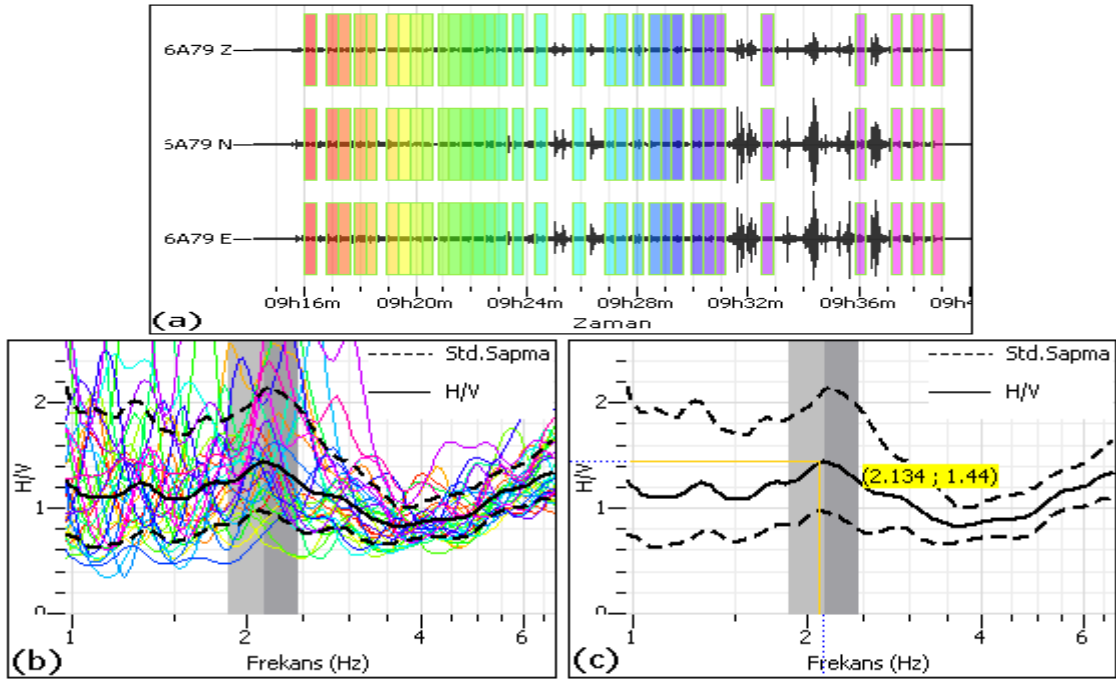


Ek Şekil 3.13. 2-13. ölçüm noktasına ait (a) seçilen çözümleme pencereleri (b) çözümleme pencerelerinin her birine ait H/V ve ortalama H/V oran spektrumu (c) ortalama H/V oran spektrumu üzerinde hakim frekans ve büyütme değeri

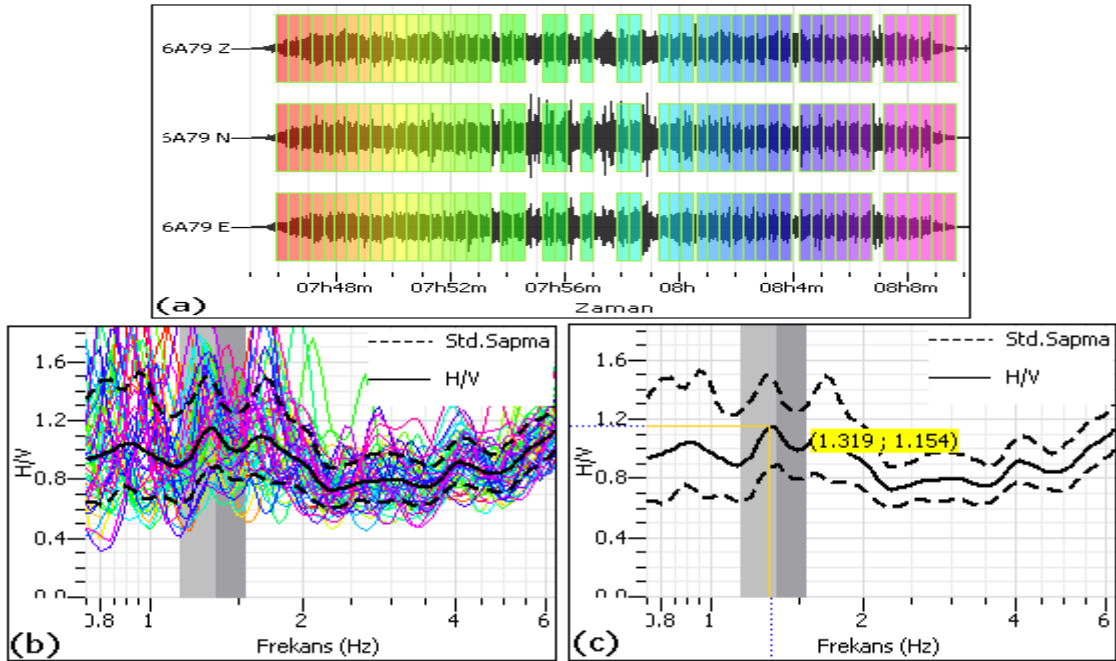


Ek Şekil 3.14. 2-14. ölçüm noktasına ait (a) seçilen çözümleme pencereleri (b) çözümleme pencerelerinin her birine ait H/V ve ortalama H/V oran spektrumu (c) ortalama H/V oran spektrumu üzerinde hakim frekans ve büyütme değeri

Ek 4. Üçüncü Profile Ait Ölçü Noktalarının Mikrotremor Kayıtları ve H/V Spektral Oran Grafikleri

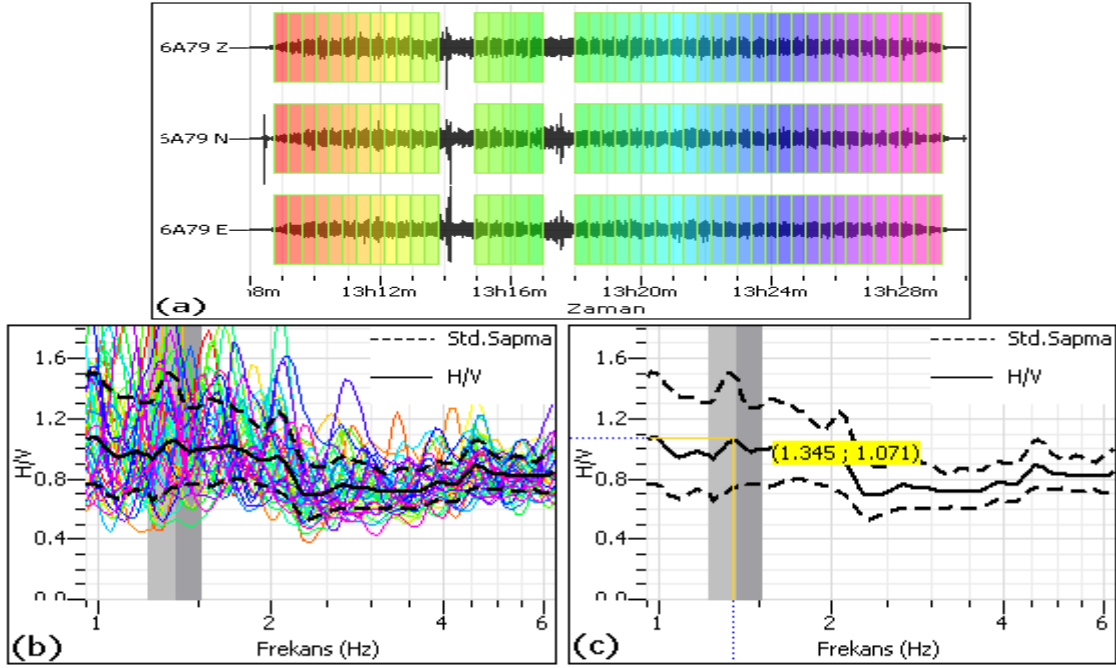


Ek Şekil 4.1. 3-1. ölçüm noktasına ait (a) seçilen çözümleme pencereleri (b) çözümleme pencerelerinin her birine ait H/V ve ortalama H/V oran spektrumu (c) ortalama H/V oran spektrumu üzerinde hakim frekans ve büyütme değeri

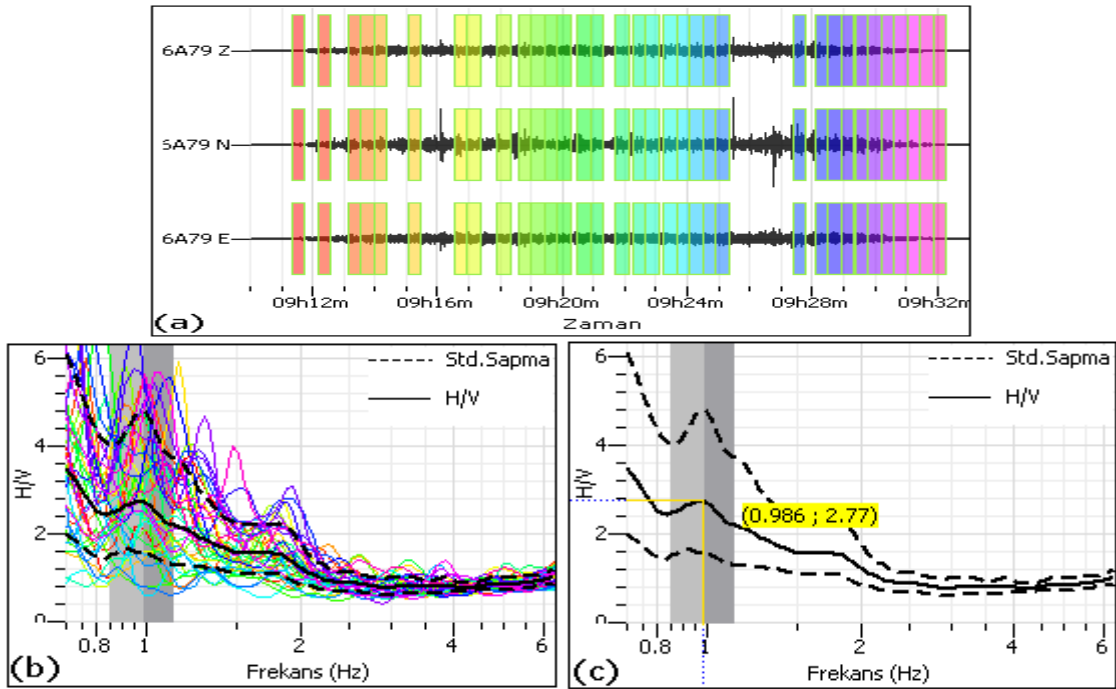


Ek Şekil 4.2. 3-2. ölçüm noktasına ait (a) seçilen çözümleme pencereleri (b) çözümleme pencerelerinin her birine ait H/V ve ortalama H/V oran spektrumu (c) ortalama H/V oran spektrumu üzerinde hakim frekans ve büyütme değeri

Ek-4'ün devamı

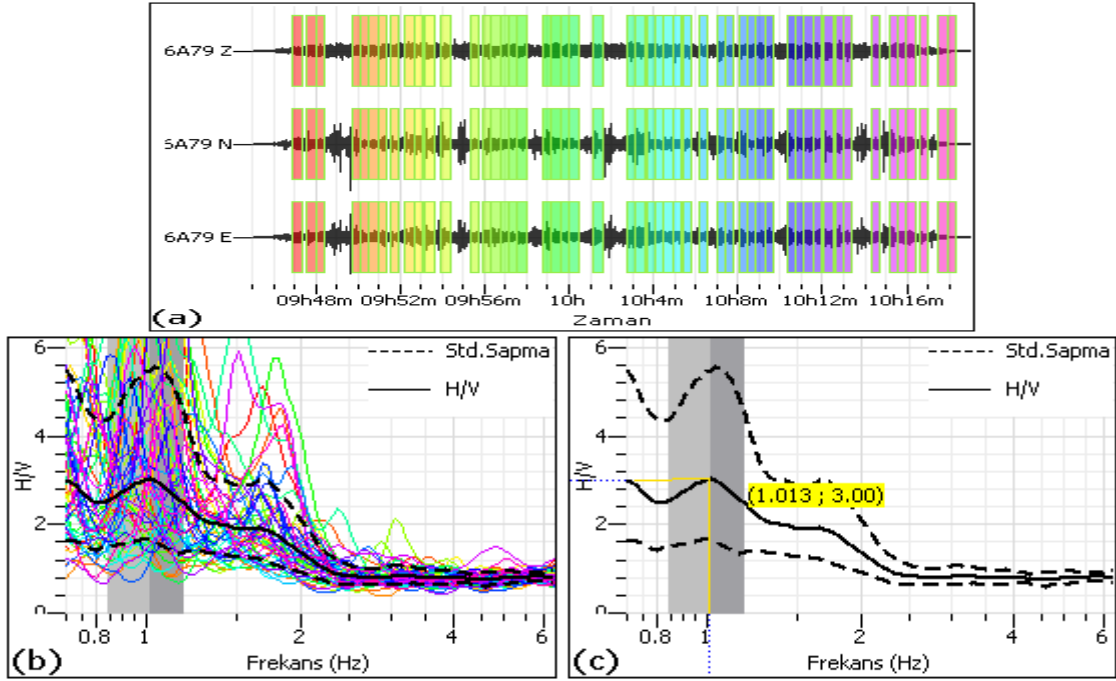


Ek Şekil 4.3. 3-3. ölçüm noktasına ait (a) seçilen çözümleme pencereleri (b) çözümleme pencerelerinin her birine ait H/V ve ortalama H/V oran spektrumu (c) ortalama H/V oran spektrumu üzerinde hakim frekans ve büyütme değeri

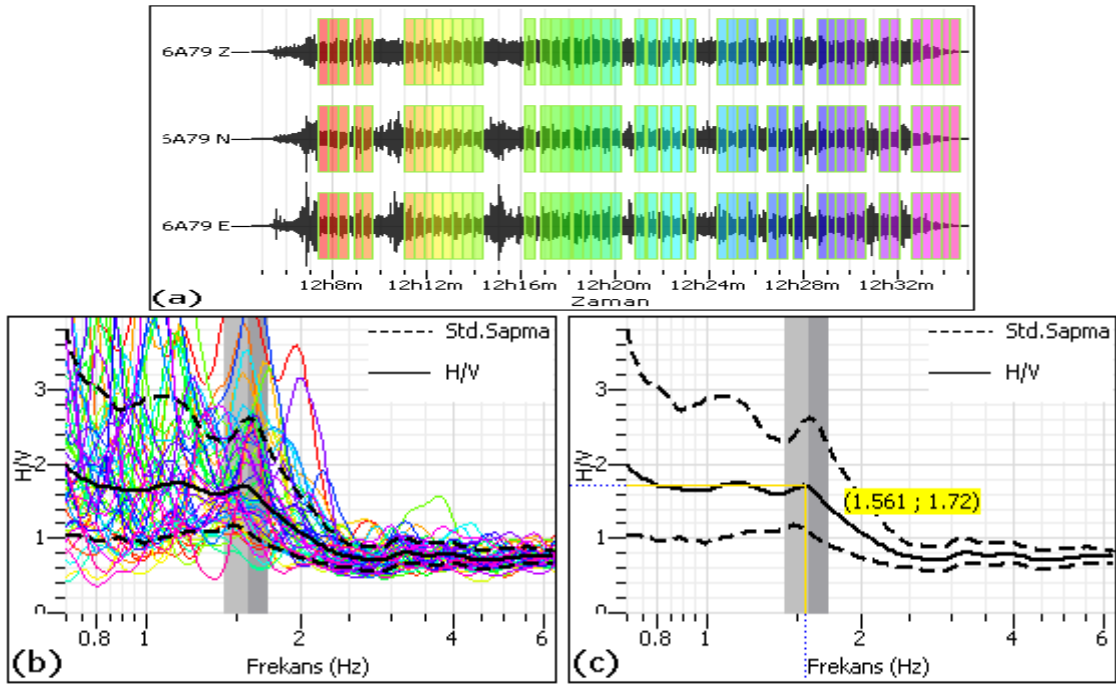


Ek Şekil 4.4. 2-1. ölçüm noktasına ait (a) seçilen çözümleme pencereleri (b) çözümleme pencerelerinin her birine ait H/V ve ortalama H/V oran spektrumu (c) ortalama H/V oran spektrumu üzerinde hakim frekans ve büyütme değeri

Ek-4'ün devamı

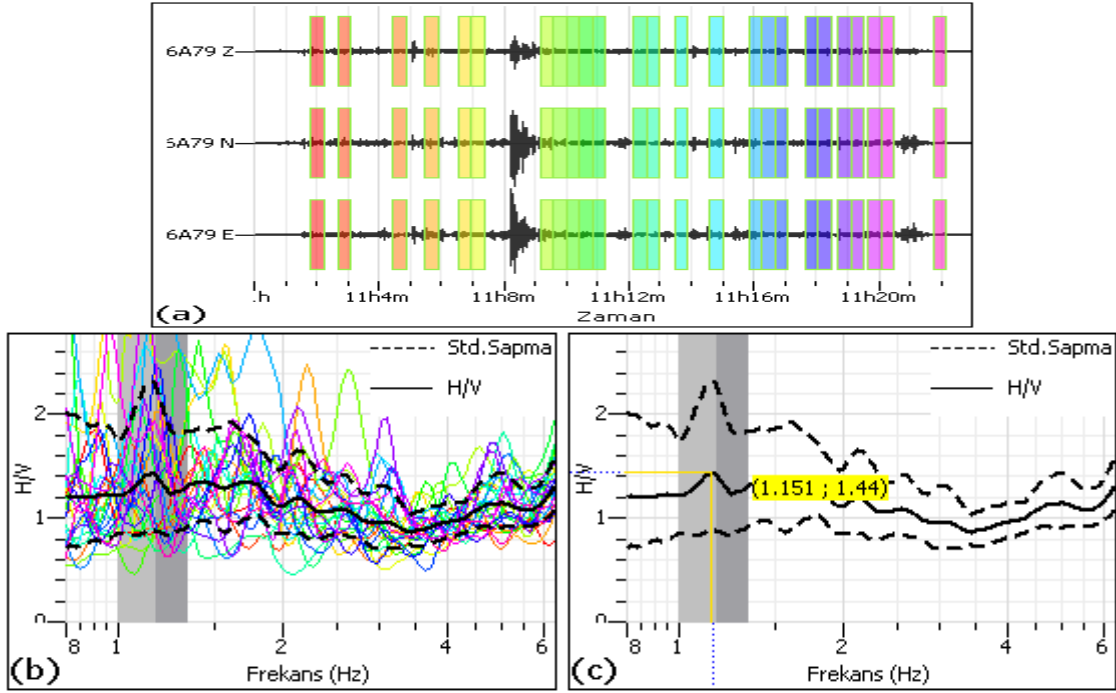


Ek Şekil 4.5. 3-5. ölçüm noktasına ait (a) seçilen çözümleme pencereleri (b) çözümleme pencerelerinin her birine ait H/V ve ortalama H/V oran spektrumu (c) ortalama H/V oran spektrumu üzerinde hakim frekans ve büyütme değeri

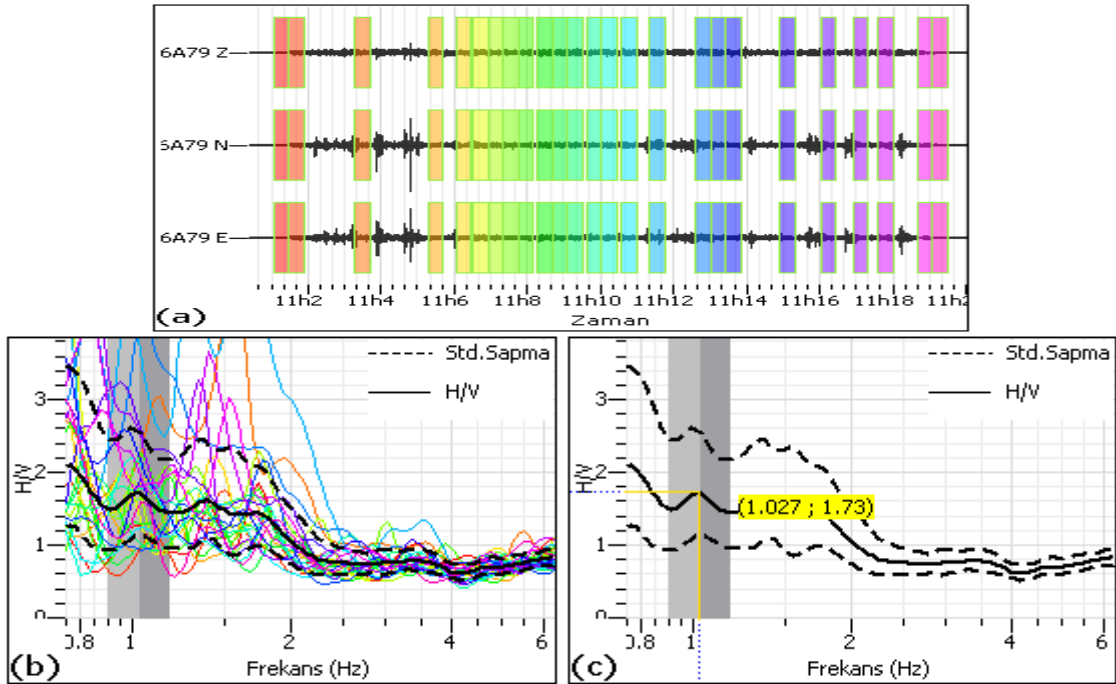


Ek Şekil 4.6. 3-6. ölçüm noktasına ait (a) seçilen çözümleme pencereleri (b) çözümleme pencerelerinin her birine ait H/V ve ortalama H/V oran spektrumu (c) ortalama H/V oran spektrumu üzerinde hakim frekans ve büyütme değeri

Ek-4'ün devamı

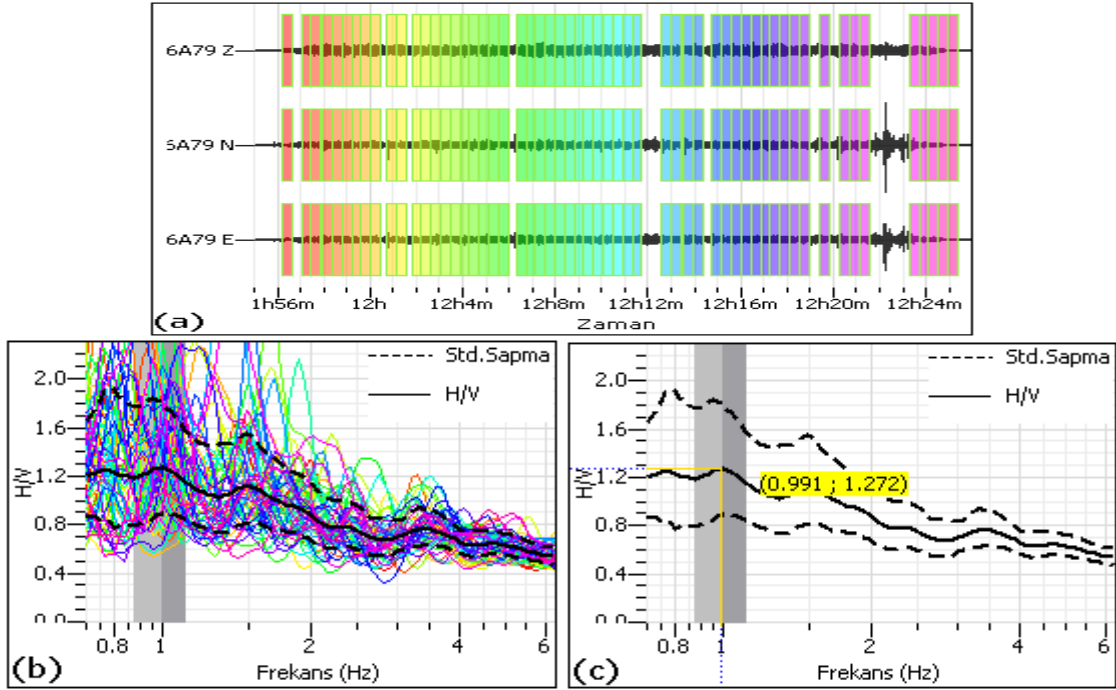


Ek Şekil 4.7. 3-7. ölçüm noktasına ait (a) seçilen çözümleme pencereleri (b) çözümleme pencerelerinin her birine ait H/V ve ortalama H/V oran spektrumu (c) ortalama H/V oran spektrumu üzerinde hakim frekans ve büyütme değeri

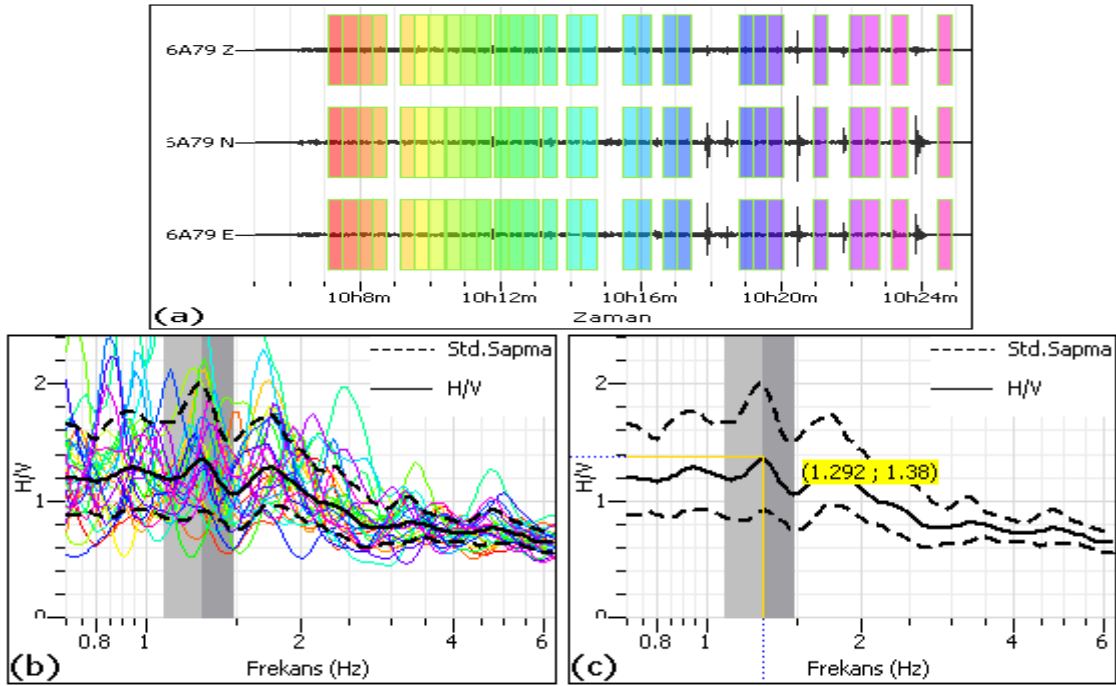


Ek Şekil 4.8. 3-8. ölçüm noktasına ait (a) seçilen çözümleme pencereleri (b) çözümleme pencerelerinin her birine ait H/V ve ortalama H/V oran spektrumu (c) ortalama H/V oran spektrumu üzerinde hakim frekans ve büyütme değeri

Ek-4'ün devamı

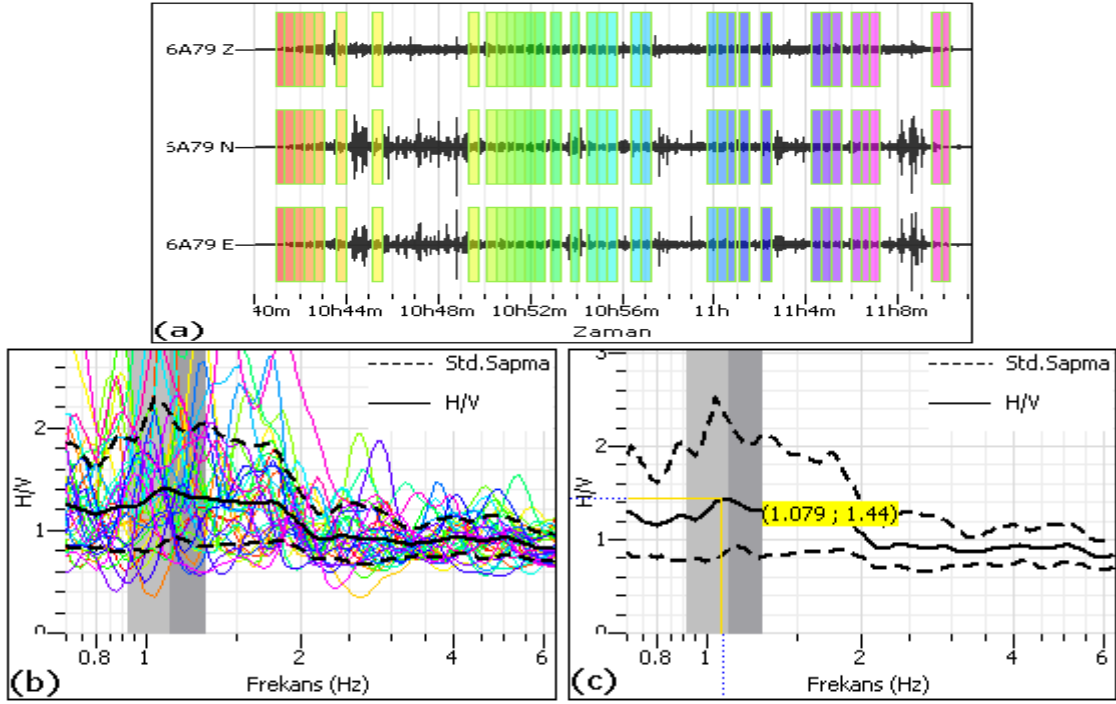


Ek Şekil 4.9. 3-9. ölçüm noktasına ait (a) seçilen çözümleme pencereleri (b) çözümleme pencerelerinin her birine ait H/V ve ortalama H/V oran spektrumu (c) ortalama H/V oran spektrumu üzerinde hakim frekans ve büyütme değeri

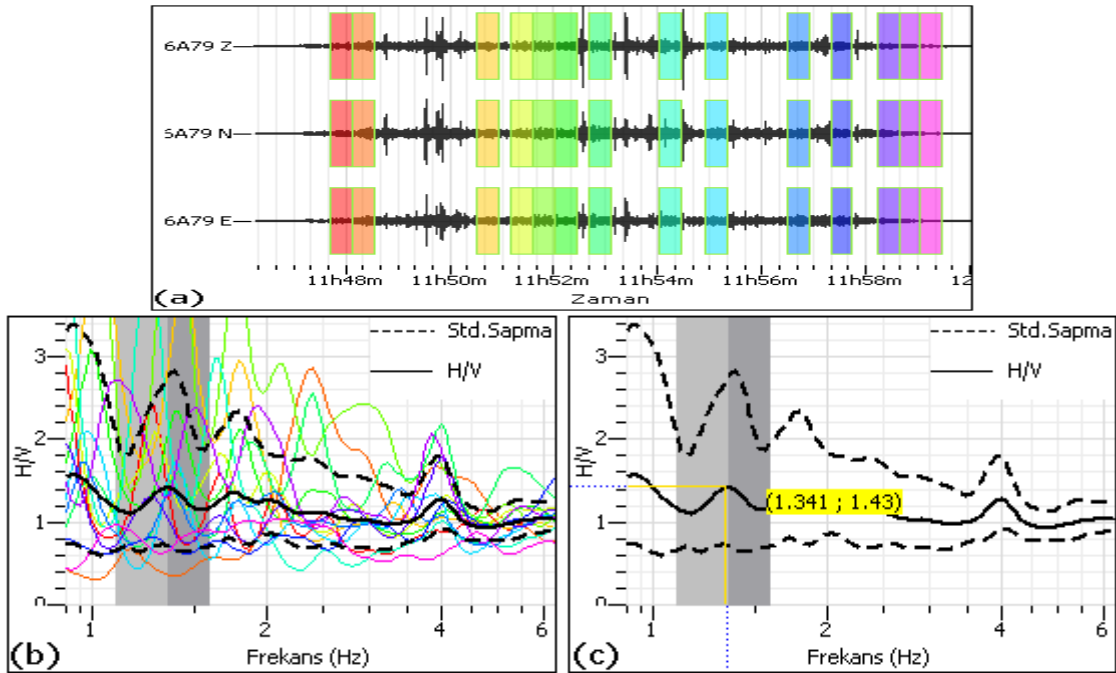


Ek Şekil 4.10. 3-10. ölçüm noktasına ait (a) seçilen çözümleme pencereleri (b) çözümleme pencerelerinin her birine ait H/V ve ortalama H/V oran spektrumu (c) ortalama H/V oran spektrumu üzerinde hakim frekans ve büyütme değeri

Ek-4'ün devamı

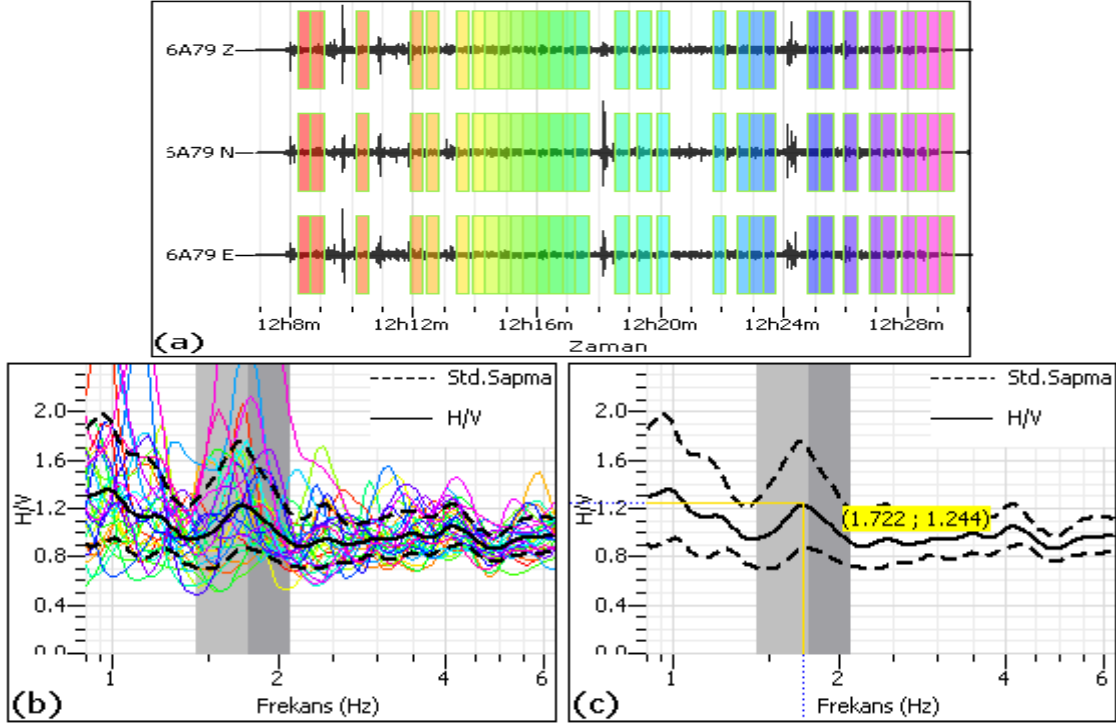


Ek Şekil 4.11. 3-11. ölçüm noktasına ait (a) seçilen çözümleme pencereleri (b) çözümleme pencerelerinin her birine ait H/V ve ortalama H/V oran spektrumu (c) ortalama H/V oran spektrumu üzerinde hakim frekans ve büyütme değeri



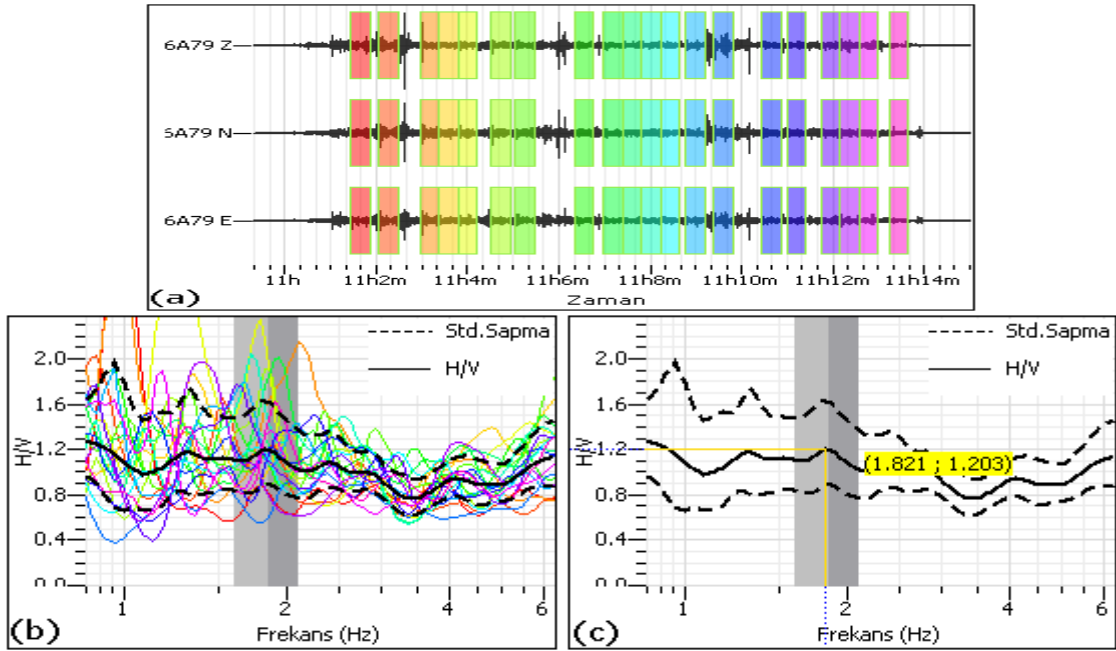
Ek Şekil 4.12. 3-12. ölçüm noktasına ait (a) seçilen çözümleme pencereleri (b) çözümleme pencerelerinin her birine ait H/V ve ortalama H/V oran spektrumu (c) ortalama H/V oran spektrumu üzerinde hakim frekans ve büyütme değeri

Ek-4'ün devamı

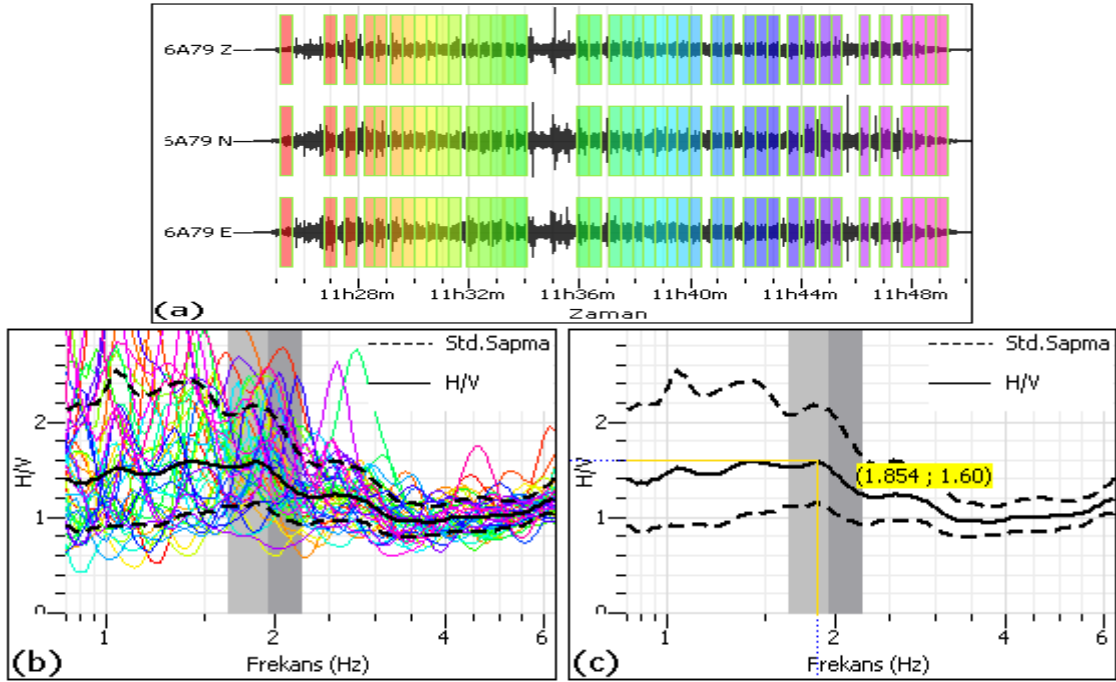


Ek Şekil 4.13. 3-13. ölçüm noktasına ait (a) seçilen çözümleme pencereleri (b) çözümleme pencerelerinin her birine ait H/V ve ortalama H/V oran spektrumu (c) ortalama H/V oran spektrumu üzerinde hakim frekans ve büyütme değeri

Ek 5. Dördüncü Profile Ait Ölçü Noktalarının Mikrotremor Kayıtları ve H/V Spektral Oran Grafikleri

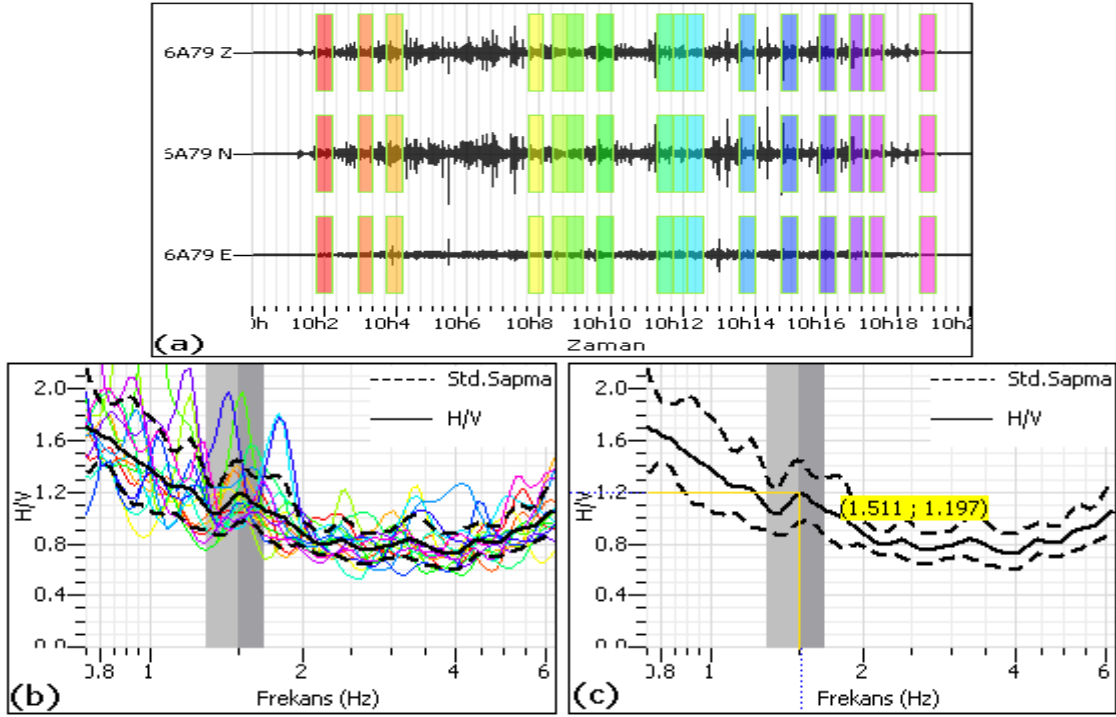


Ek Şekil 5.1. 4-1. ölçüm noktasına ait (a) seçilen çözümleme pencereleri (b) çözümleme pencerelerinin her birine ait H/V ve ortalama H/V oran spektrumu (c) ortalama H/V oran spektrumu üzerinde hakim frekans ve büyütme değeri

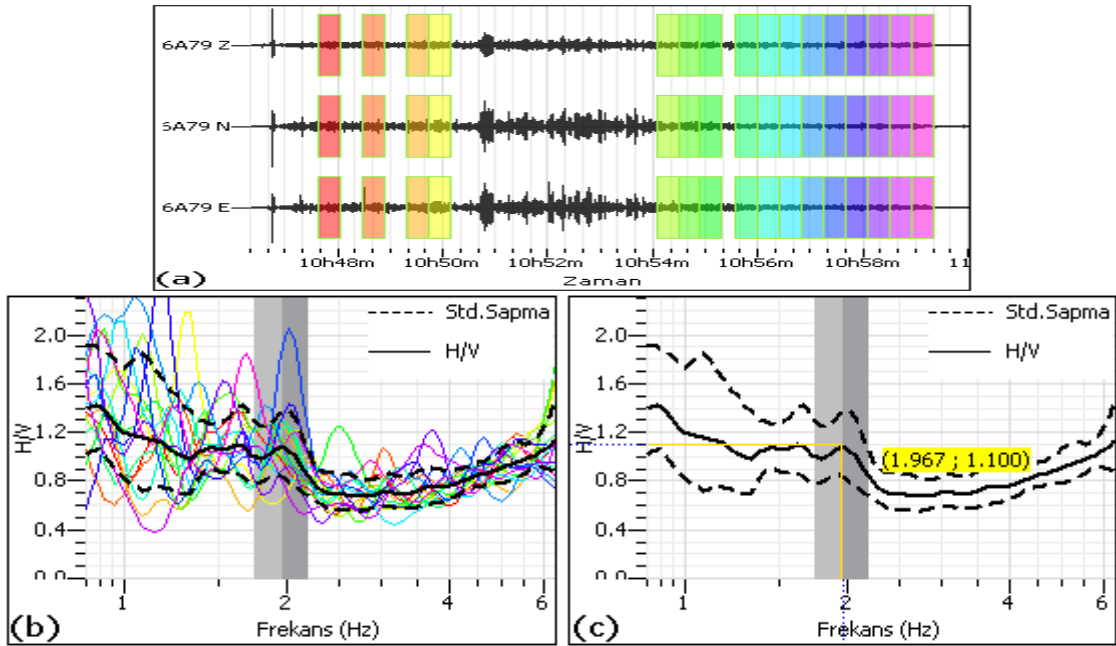


Ek Şekil 5.2. 4-2. ölçüm noktasına ait (a) seçilen çözümleme pencereleri (b) çözümleme pencerelerinin her birine ait H/V ve ortalama H/V oran spektrumu (c) ortalama H/V oran spektrumu üzerinde hakim frekans ve büyütme değeri

Ek-5'in devamı

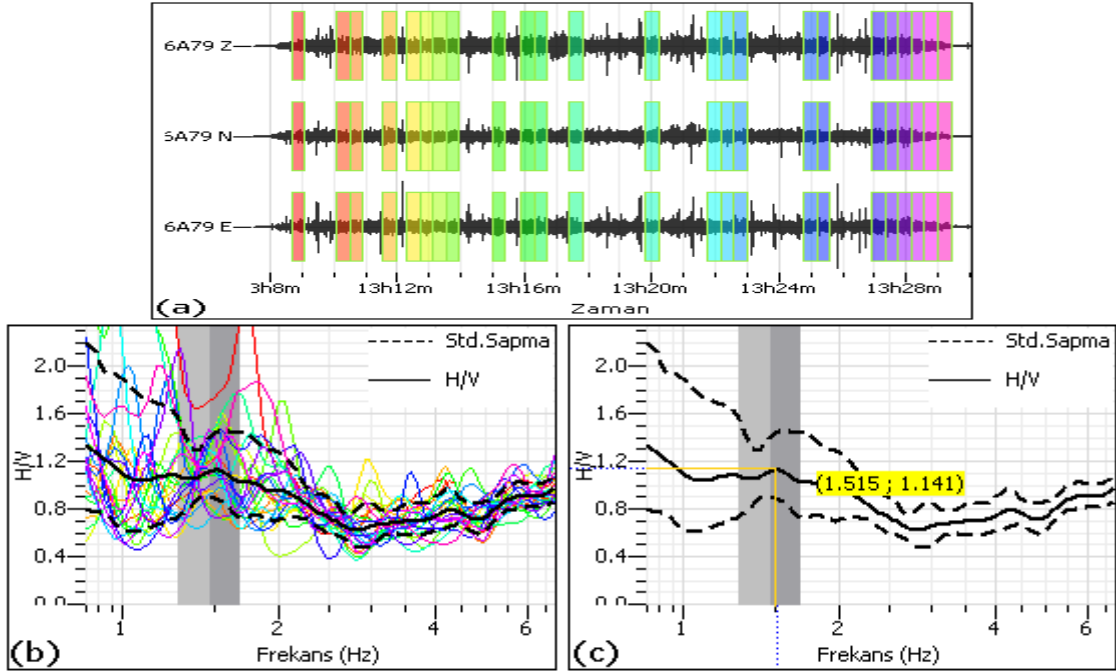


Ek Şekil 5.3. 4-3. ölçüm noktasına ait (a) seçilen çözümleme pencereleri (b) çözümleme pencerelerinin her birine ait H/V ve ortalama H/V oran spektrumu (c) ortalama H/V oran spektrumu üzerinde hakim frekans ve büyütme değeri

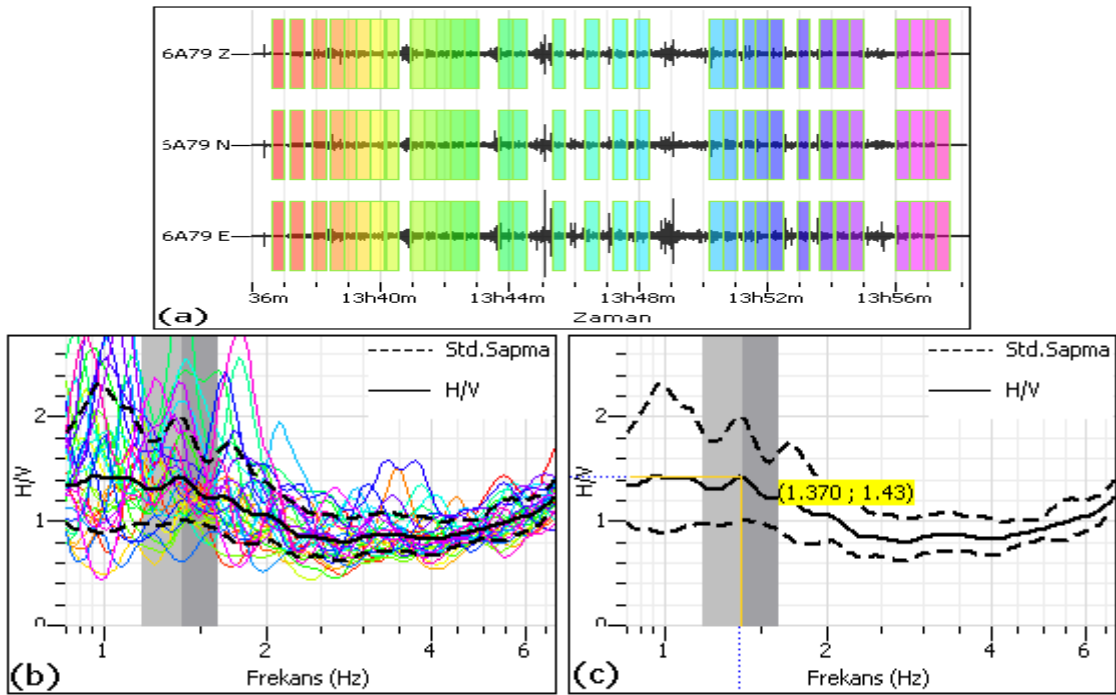


Ek Şekil 5.4. 4-4. ölçüm noktasına ait (a) seçilen çözümleme pencereleri (b) çözümleme pencerelerinin her birine ait H/V ve ortalama H/V oran spektrumu (c) ortalama H/V oran spektrumu üzerinde hakim frekans ve büyütme değeri

Ek-5'in devamı

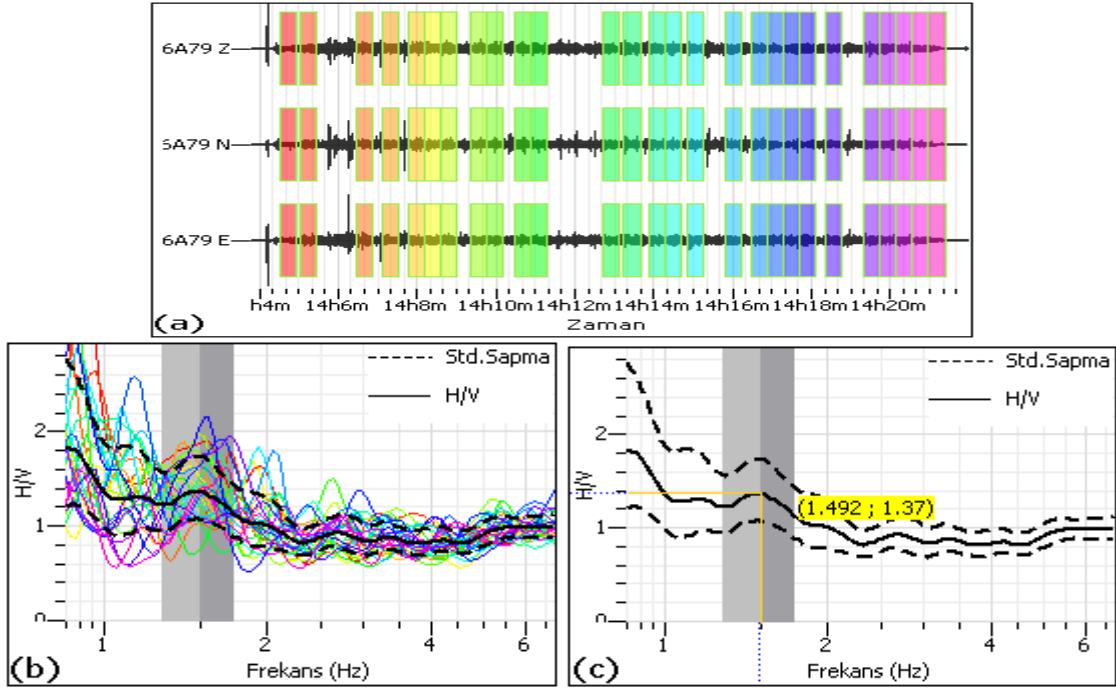


Ek Şekil 5.5. 4-5. ölçüm noktasına ait (a) seçilen çözümleme pencereleri (b) çözümleme pencerelerinin her birine ait H/V ve ortalama H/V oran spektrumu (c) ortalama H/V oran spektrumu üzerinde hakim frekans ve büyütme değeri

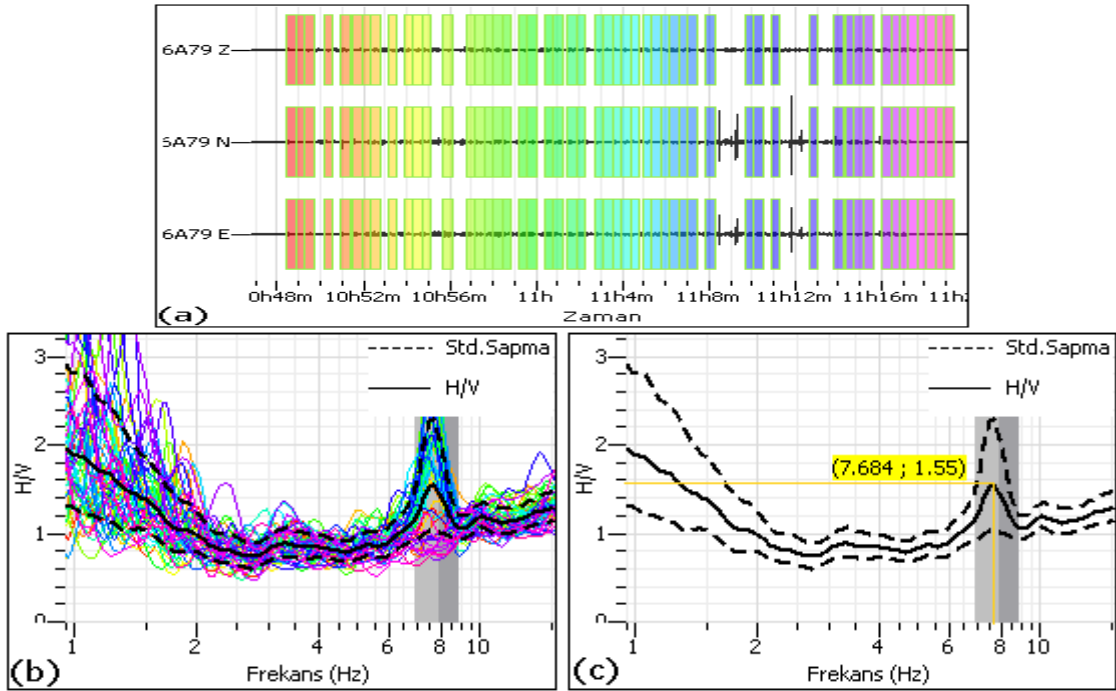


Ek Şekil 5.6. 4-6. ölçüm noktasına ait (a) seçilen çözümleme pencereleri (b) çözümleme pencerelerinin her birine ait H/V ve ortalama H/V oran spektrumu (c) ortalama H/V oran spektrumu üzerinde hakim frekans ve büyütme değeri

Ek-5'in devamı

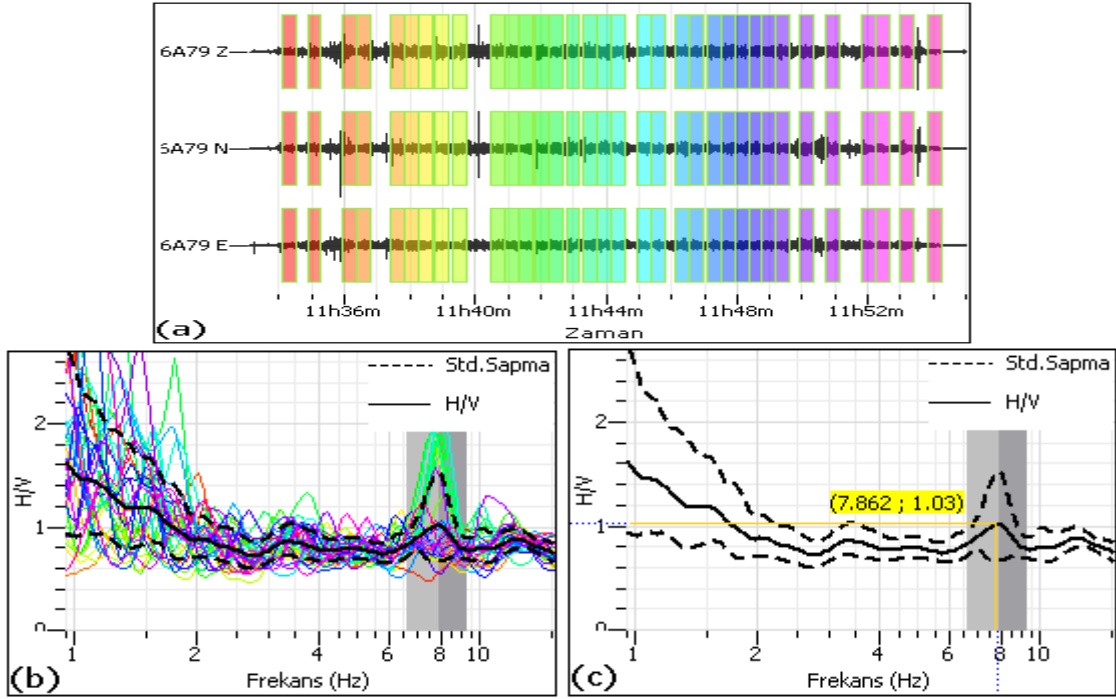


Ek Şekil 5.7. 4-7. ölçüm noktasına ait (a) seçilen çözümlene pencereleri (b) çözümlene pencerelerinin her birine ait H/V ve ortalama H/V oran spektrumu (c) ortalama H/V oran spektrumu üzerinde hakim frekans ve büyütme değeri

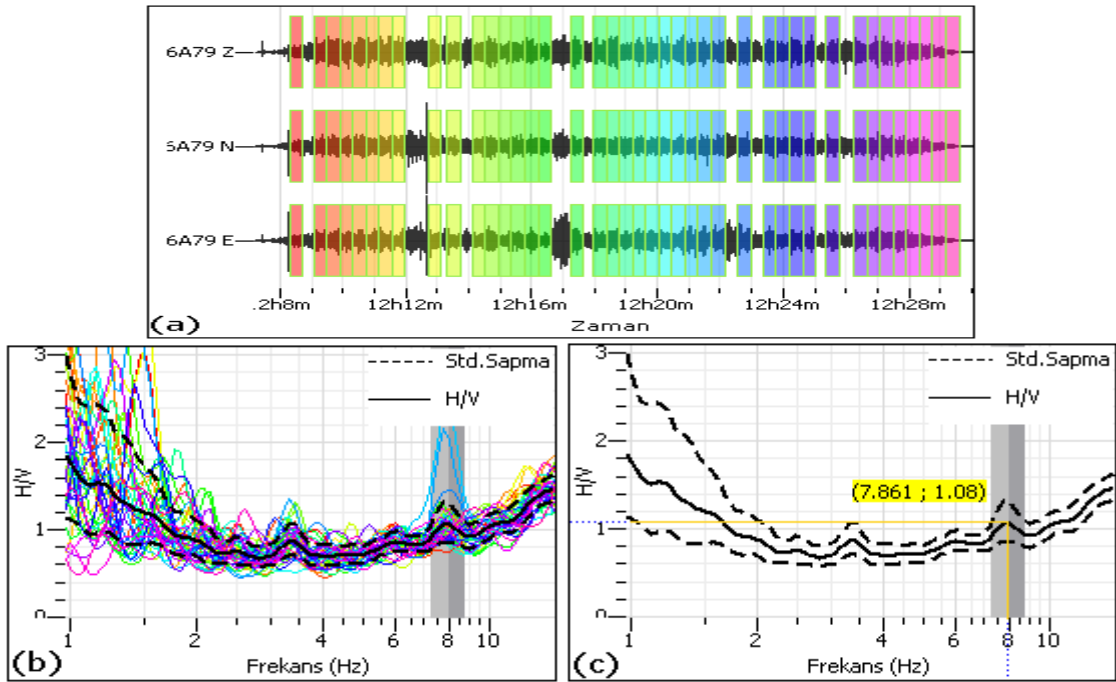


Ek Şekil 5.8. 4-8. ölçüm noktasına ait (a) seçilen çözümlene pencereleri (b) çözümlene pencerelerinin her birine ait H/V ve ortalama H/V oran spektrumu (c) ortalama H/V oran spektrumu üzerinde hakim frekans ve büyütme değeri

Ek-5'in devamı

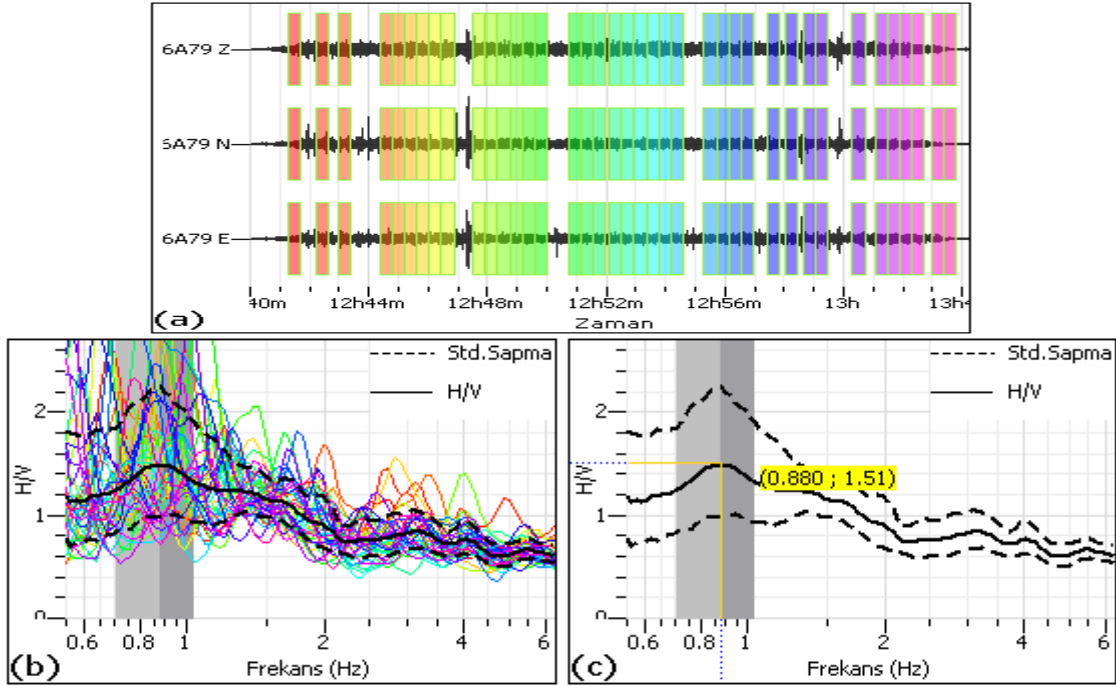


Ek Şekil 5.9. 4-9. ölçüm noktasına ait (a) seçilen çözümüleme pencereleri (b) çözümüleme pencerelerinin her birine ait H/V ve ortalama H/V oran spektrumu (c) ortalama H/V oran spektrumu üzerinde hakim frekans ve büyütme değeri

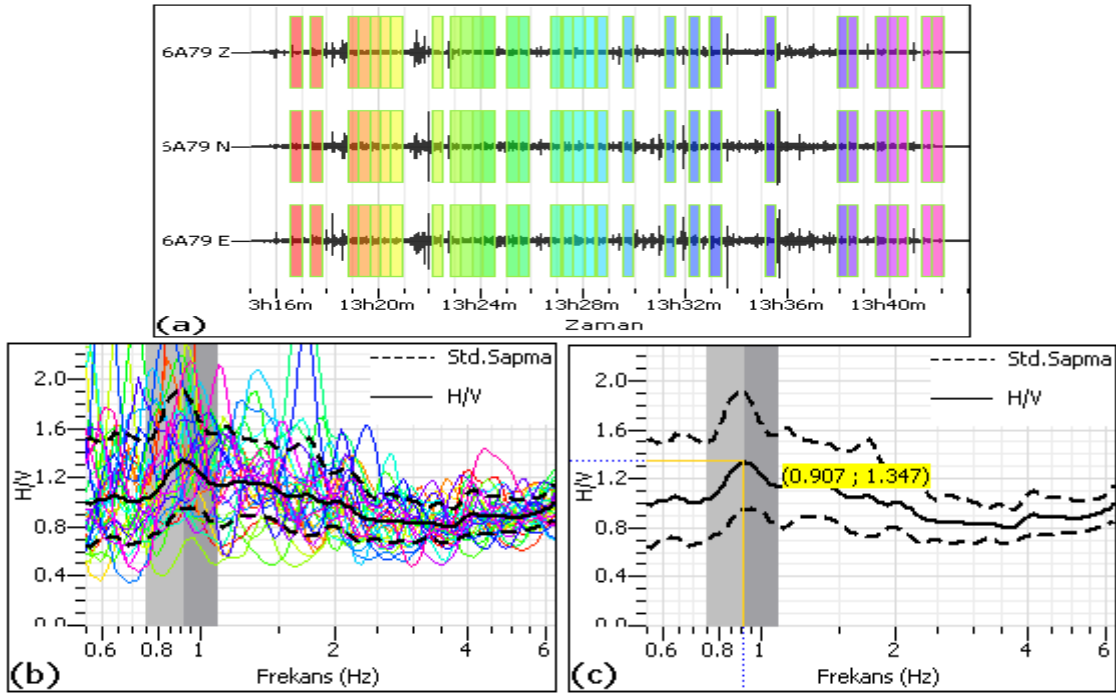


Ek Şekil 5.10. 4-10. ölçüm noktasına ait (a) seçilen çözümüleme pencereleri (b) çözümüleme pencerelerinin her birine ait H/V ve ortalama H/V oran spektrumu (c) ortalama H/V oran spektrumu üzerinde hakim frekans ve büyütme değeri

Ek-5'in devamı

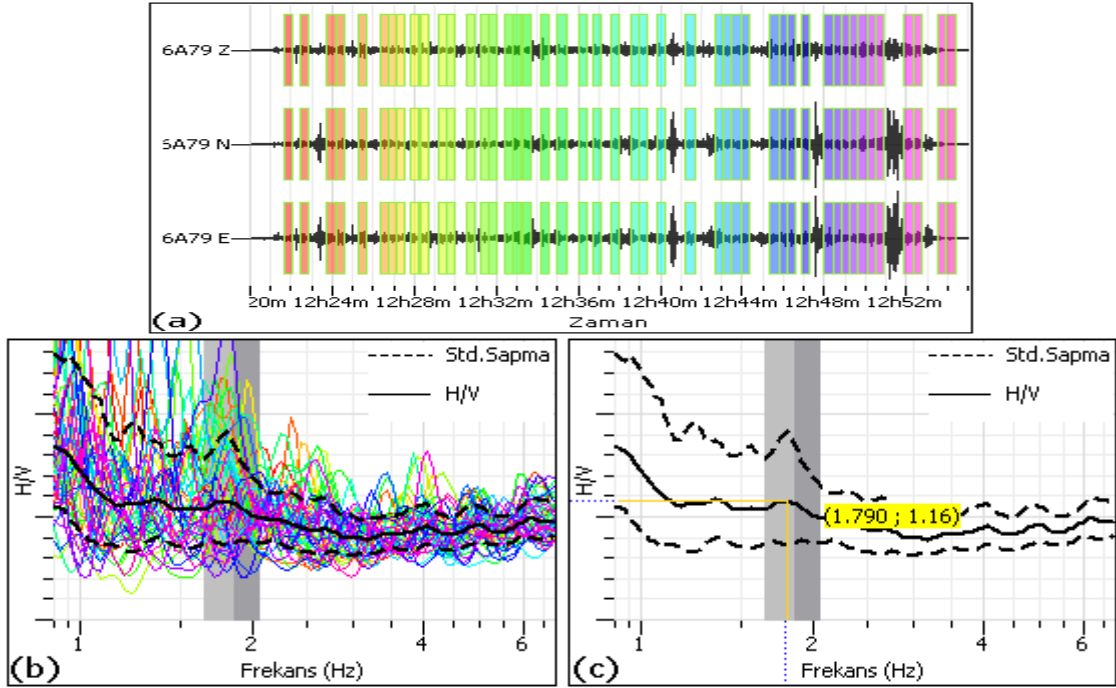


Ek Şekil 5.11. 4-11. ölçüm noktasına ait (a) seçilen çözümlenme pencereleri (b) çözümlenme pencerelerinin her birine ait H/V ve ortalama H/V oran spektrumu (c) ortalama H/V oran spektrumu üzerinde hakim frekans ve büyütme değeri

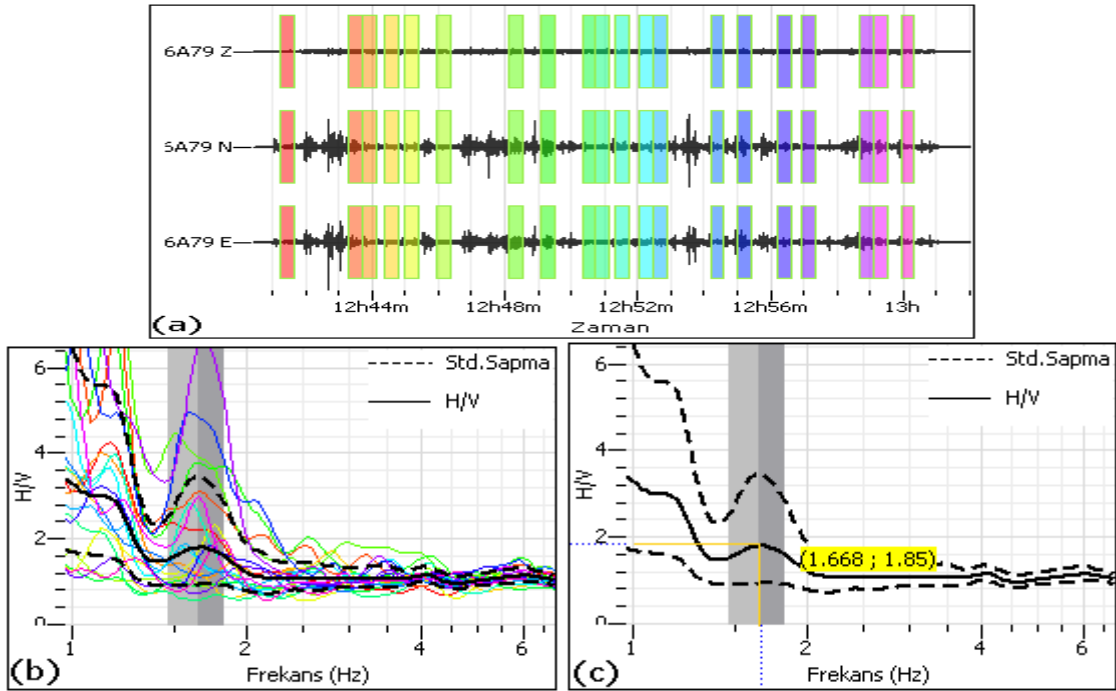


Ek Şekil 5.12. 4-12. ölçüm noktasına ait (a) seçilen çözümlenme pencereleri (b) çözümlenme pencerelerinin her birine ait H/V ve ortalama H/V oran spektrumu (c) ortalama H/V oran spektrumu üzerinde hakim frekans ve büyütme değeri

Ek-5'in devamı

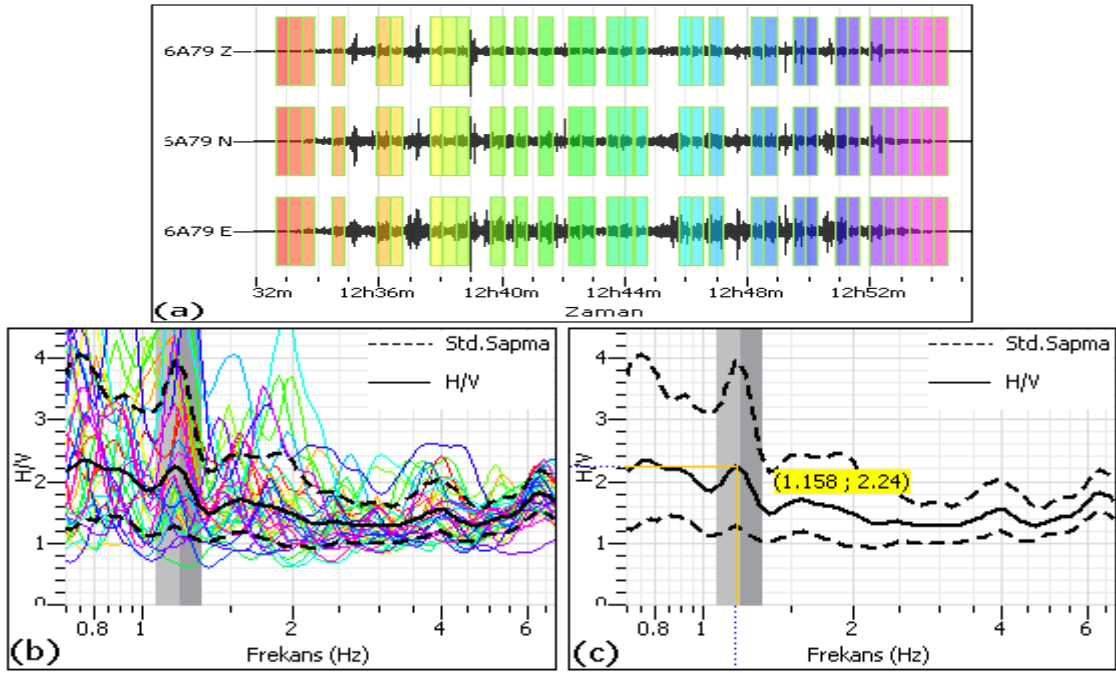


Ek Şekil 5.13. 4-13. ölçüm noktasına ait (a) seçilen çözümleme pencereleri (b) çözümleme pencerelerinin her birine ait H/V ve ortalama H/V oran spektrumu (c) ortalama H/V oran spektrumu üzerinde hakim frekans ve büyütme değeri

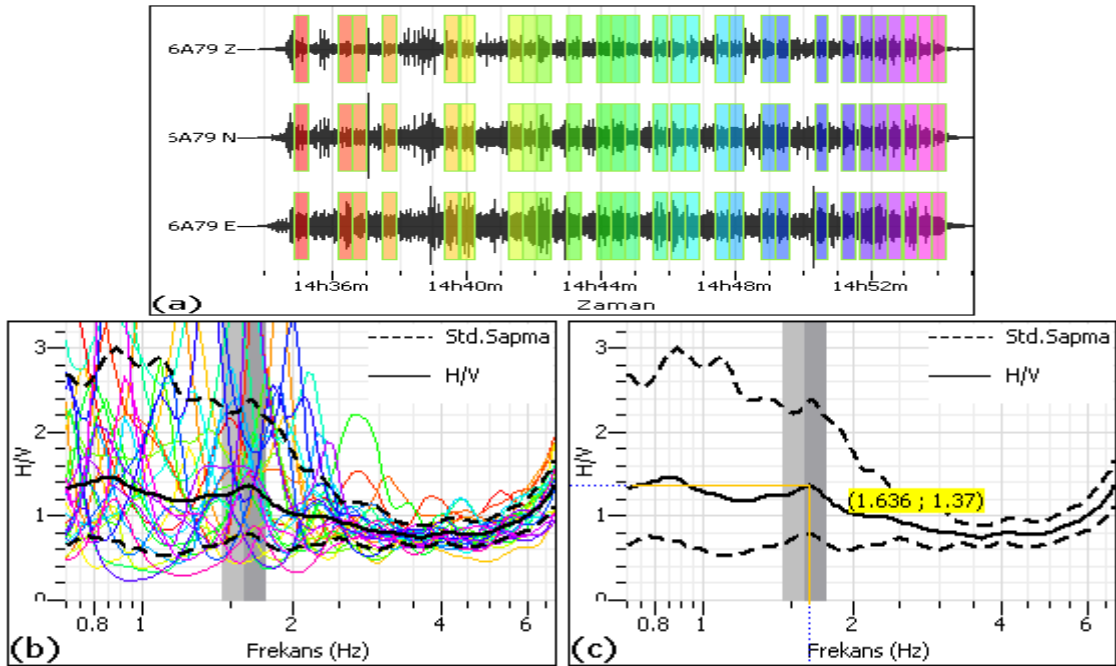


Ek Şekil 5.14. 4-14. ölçüm noktasına ait (a) seçilen çözümleme pencereleri (b) çözümleme pencerelerinin her birine ait H/V ve ortalama H/V oran spektrumu (c) ortalama H/V oran spektrumu üzerinde hakim frekans ve büyütme değeri

Ek 6. Beşinci Profile Ait Ölçü Noktalarının Mikrotremor Kayıtları ve H/V Spektral Oran Grafikleri

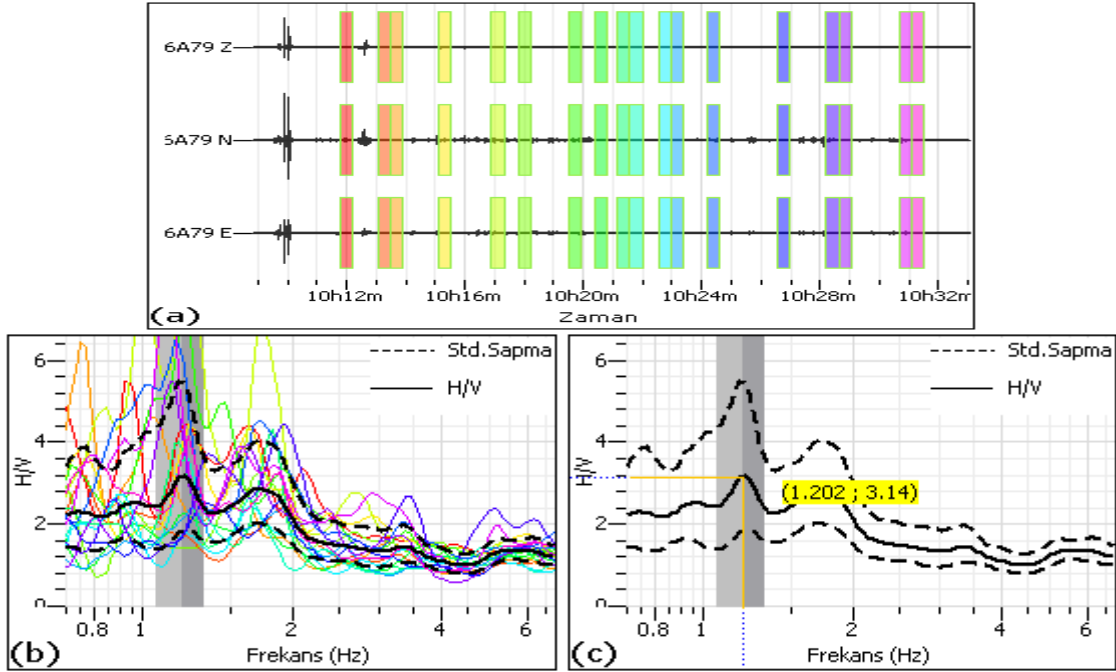


Ek Şekil 6.1. 5-1. ölçüm noktasına ait (a) seçilen çözümümler pencereleleri (b) çözümümler pencerelelerinin her birine ait H/V ve ortalama H/V oran spektrumu (c) ortalama H/V oran spektrumu üzerinde hakim frekans ve büyütme değeri

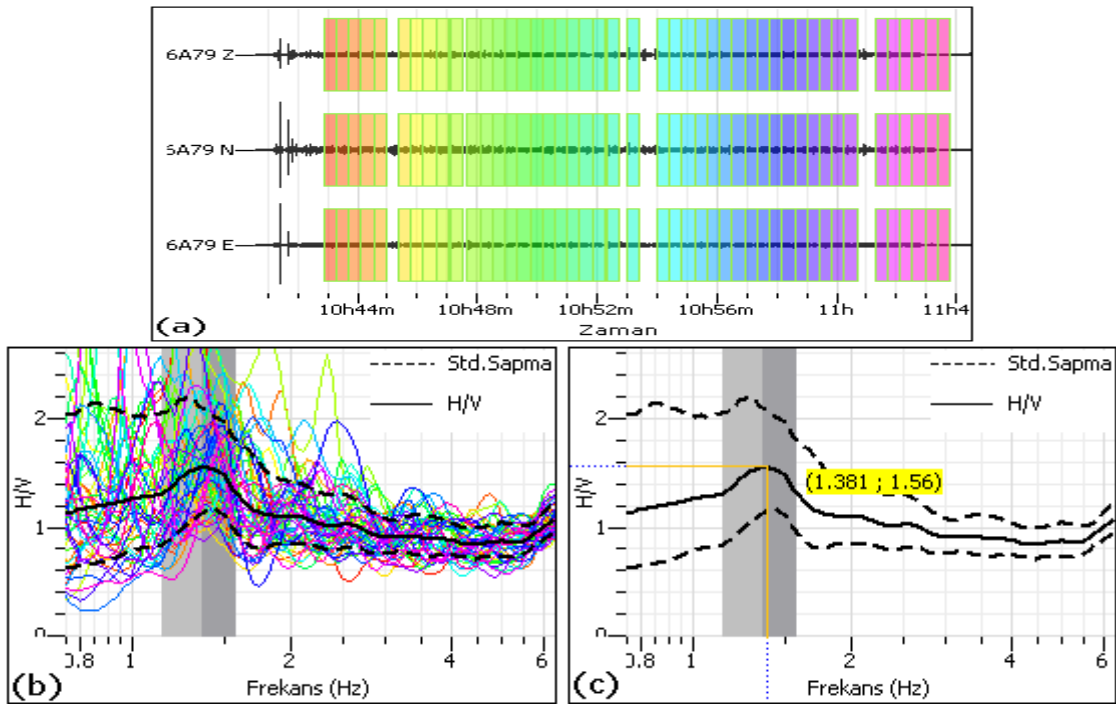


Ek Şekil 6.2. 5-2. ölçüm noktasına ait (a) seçilen çözümümler pencereleleri (b) çözümümler pencerelelerinin her birine ait H/V ve ortalama H/V oran spektrumu (c) ortalama H/V oran spektrumu üzerinde hakim frekans ve büyütme değeri

Ek-6'nın devamı

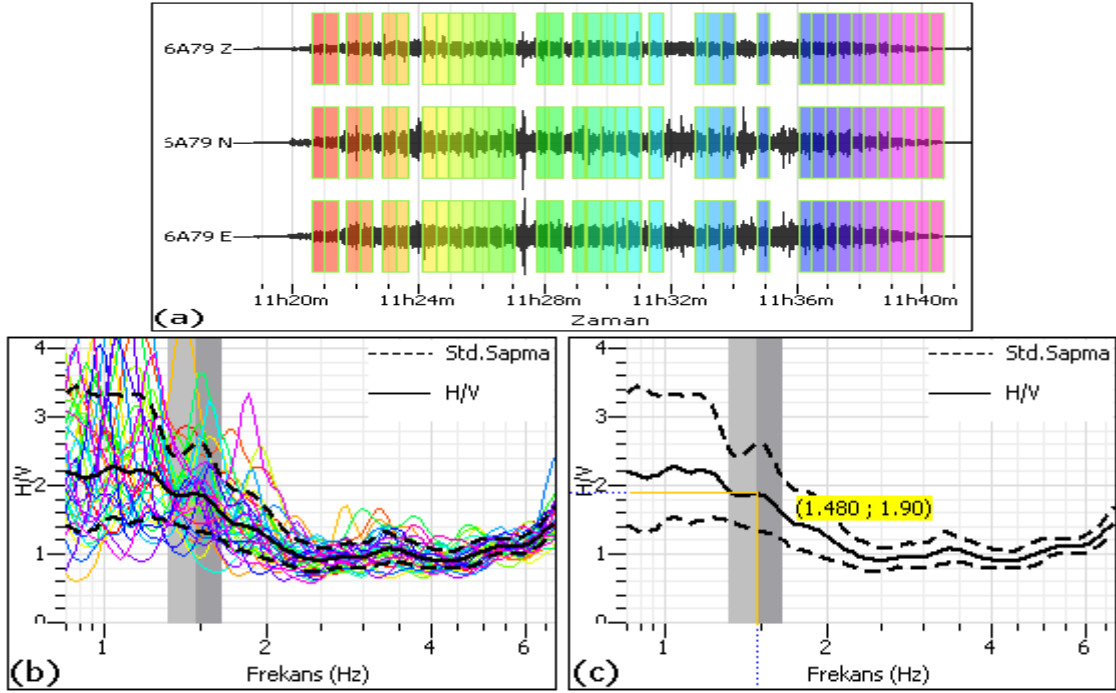


Ek Şekil 6.3. 5-3. ölçüm noktasına ait (a) seçilen çözümlene pencereleri (b) çözümlene pencerelerinin her birine ait H/V ve ortalama H/V oran spektrumu (c) ortalama H/V oran spektrumu üzerinde hakim frekans ve büyütme değeri

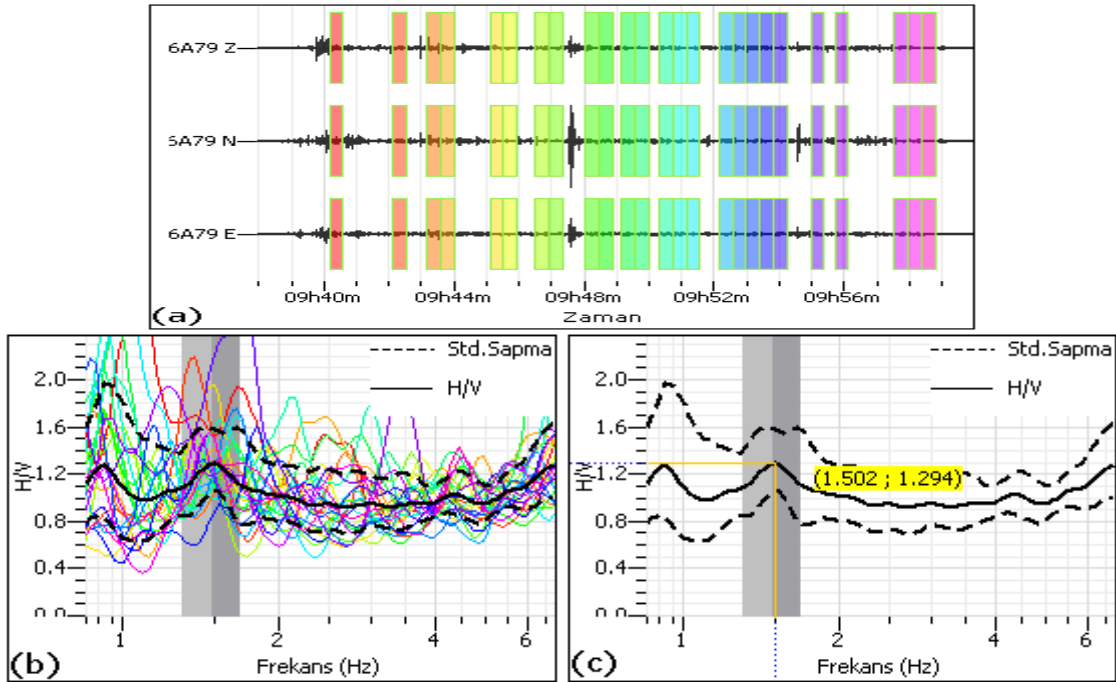


Ek Şekil 6.4. 5-4. ölçüm noktasına ait (a) seçilen çözümlene pencereleri (b) çözümlene pencerelerinin her birine ait H/V ve ortalama H/V oran spektrumu (c) ortalama H/V oran spektrumu üzerinde hakim frekans ve büyütme değeri

Ek-6'nın devamı

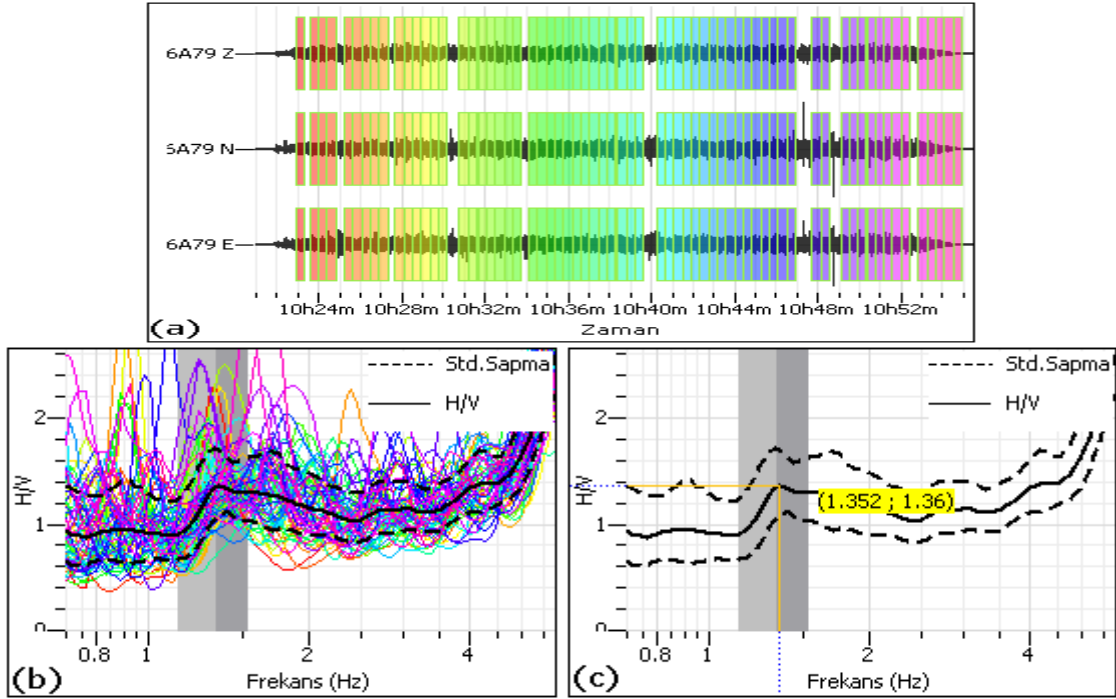


Ek Şekil 6.5. 5-5. ölçüm noktasına ait (a) seçilen çözümleme pencereleri (b) çözümleme pencerelerinin her birine ait H/V ve ortalama H/V oran spektrumu (c) ortalama H/V oran spektrumu üzerinde hakim frekans ve büyütme değeri

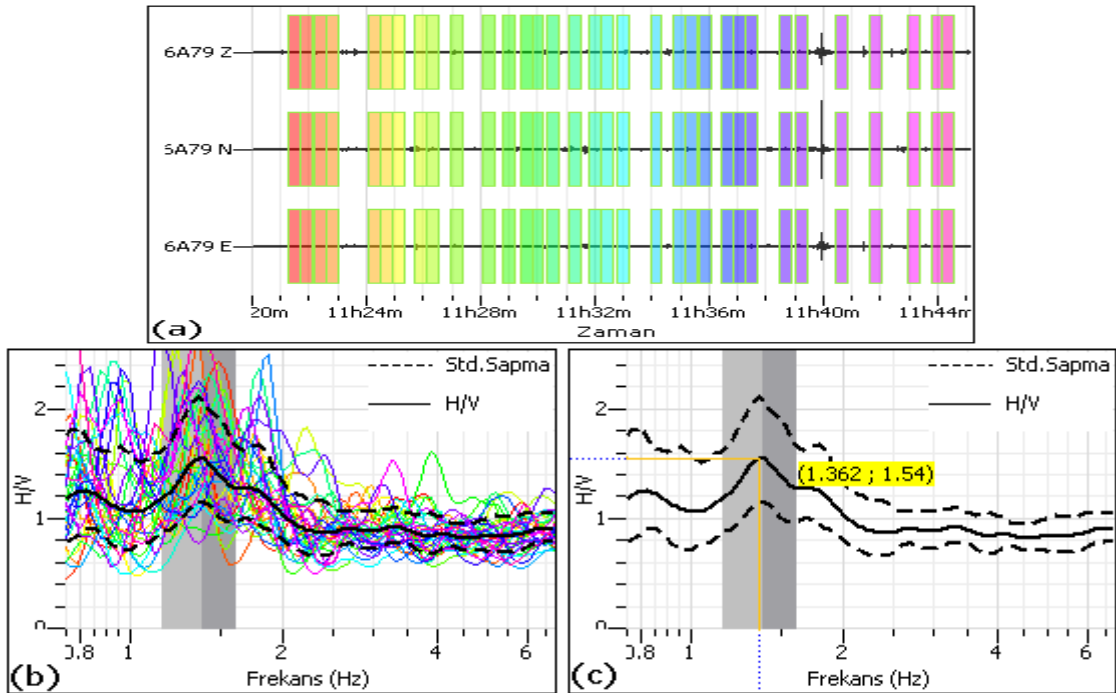


Ek Şekil 6.6. 5-6. ölçüm noktasına ait (a) seçilen çözümleme pencereleri (b) çözümleme pencerelerinin her birine ait H/V ve ortalama H/V oran spektrumu (c) ortalama H/V oran spektrumu üzerinde hakim frekans ve büyütme değeri

Ek-6'nın devamı

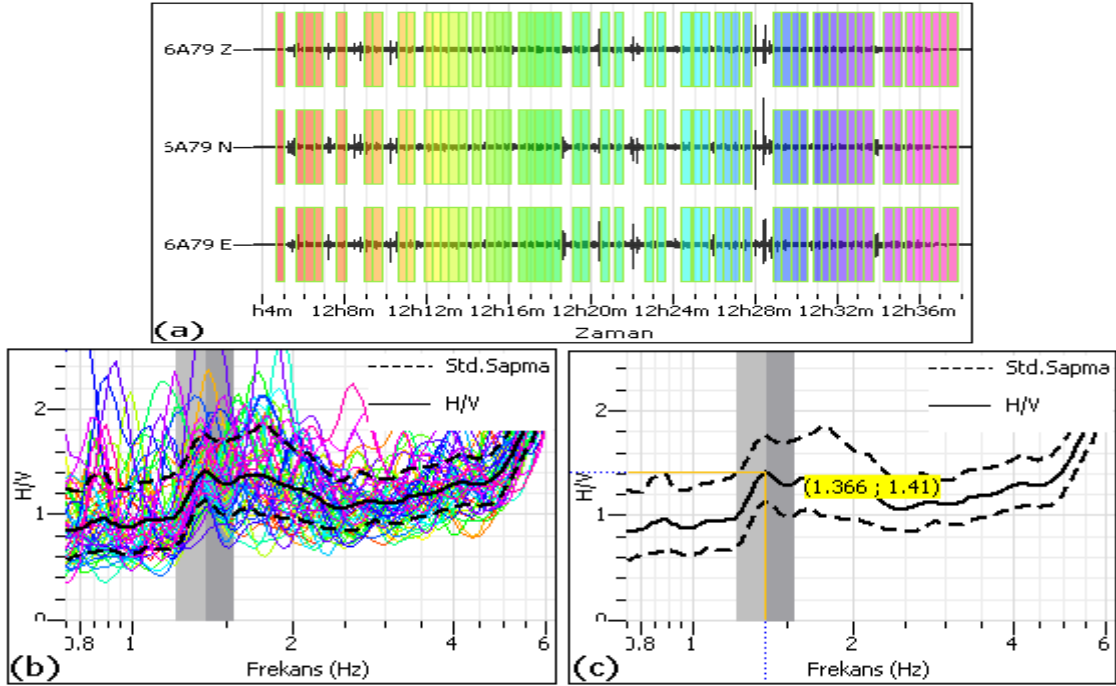


Ek Şekil 6.7. 5-7. ölçüm noktasına ait (a) seçilen çözümleme pencereleri (b) çözümleme pencerelerinin her birine ait H/V ve ortalama H/V oran spektrumu (c) ortalama H/V oran spektrumu üzerinde hakim frekans ve büyütme değeri

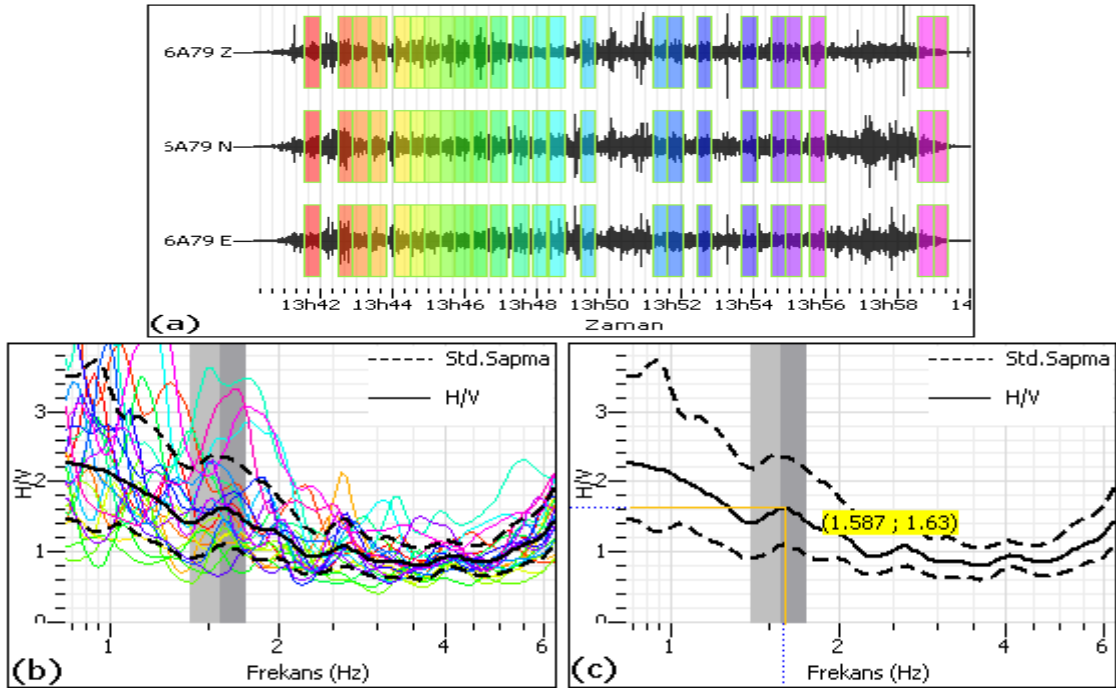


Ek Şekil 6.8. 5-8. ölçüm noktasına ait (a) seçilen çözümleme pencereleri (b) çözümleme pencerelerinin her birine ait H/V ve ortalama H/V oran spektrumu (c) ortalama H/V oran spektrumu üzerinde hakim frekans ve büyütme değeri

Ek-6'nın devamı

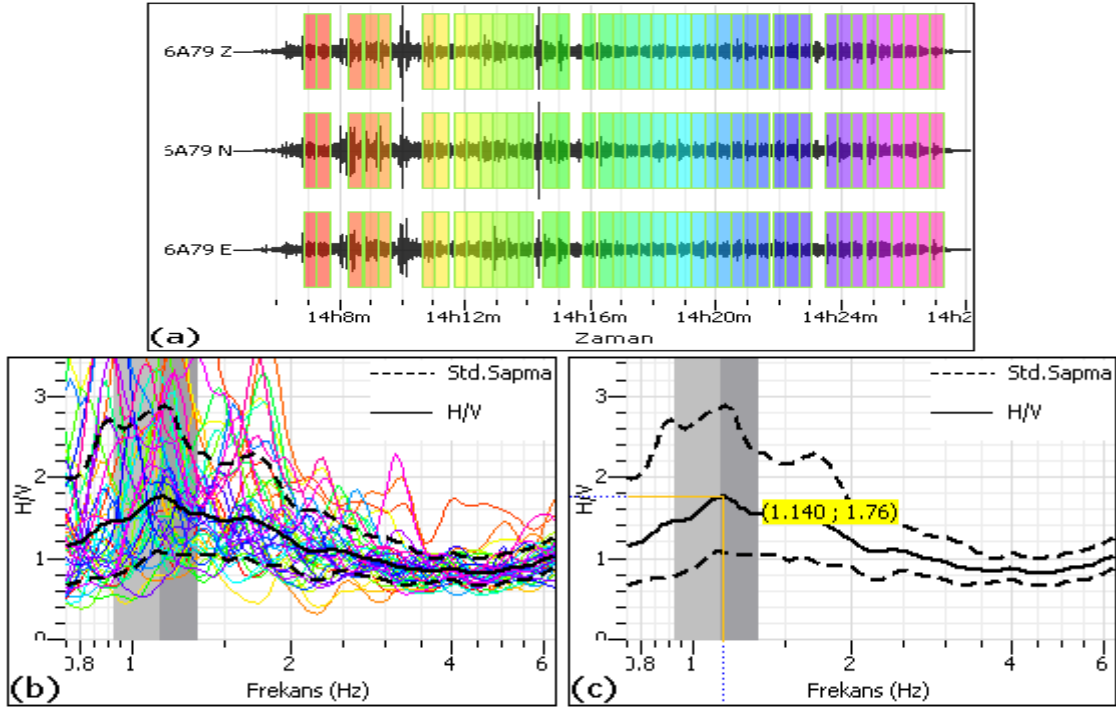


Ek Şekil 6.9. 5-9. ölçüm noktasına ait (a) seçilen çözümleme pencereleri (b) çözümleme pencerelerinin her birine ait H/V ve ortalama H/V oran spektrumu (c) ortalama H/V oran spektrumu üzerinde hakim frekans ve büyütme değeri



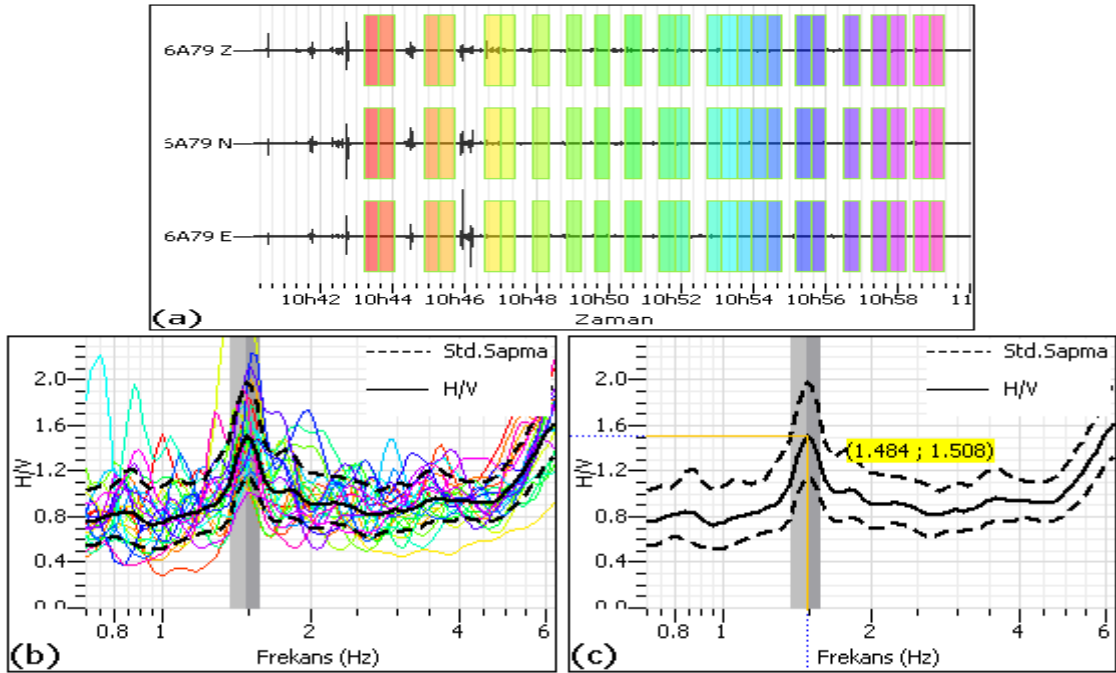
Ek Şekil 6.10. 5-10. ölçüm noktasına ait (a) seçilen çözümleme pencereleri (b) çözümleme pencerelerinin her birine ait H/V ve ortalama H/V oran spektrumu (c) ortalama H/V oran spektrumu üzerinde hakim frekans ve büyütme değeri

Ek-6'nın devamı

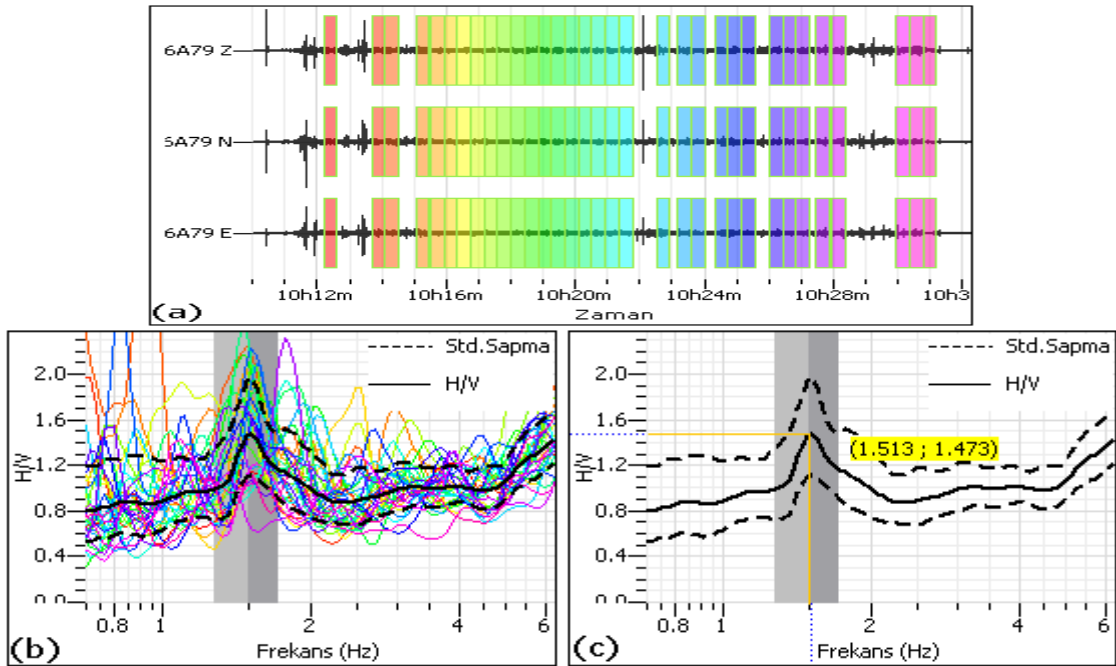


Ek Şekil 6.11. 5-11. ölçüm noktasına ait (a) seçilen çözümleme pencereleri (b) çözümleme pencerelerinin her birine ait H/V ve ortalama H/V oran spektrumu (c) ortalama H/V oran spektrumu üzerinde hakim frekans ve büyütme değeri

Ek 7. Altıncı Profile Ait Ölçü Noktalarının Mikrotremor Kayıtları ve H/V Spektral Oran Grafikleri

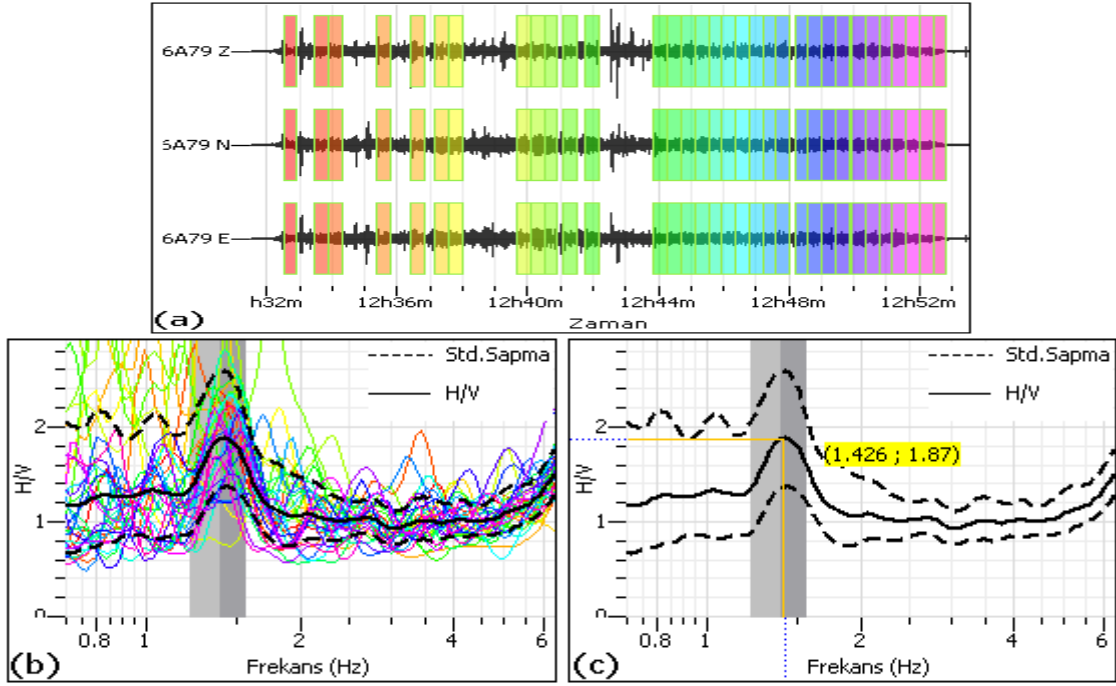


Ek Şekil 7.1. 6-1. ölçüm noktasına ait (a) seçilen çözümüleme pencereleri (b) çözümüleme pencerelerinin her birine ait H/V ve ortalama H/V oran spektrumu (c) ortalama H/V oran spektrumu üzerinde hakim frekans ve büyütme değeri

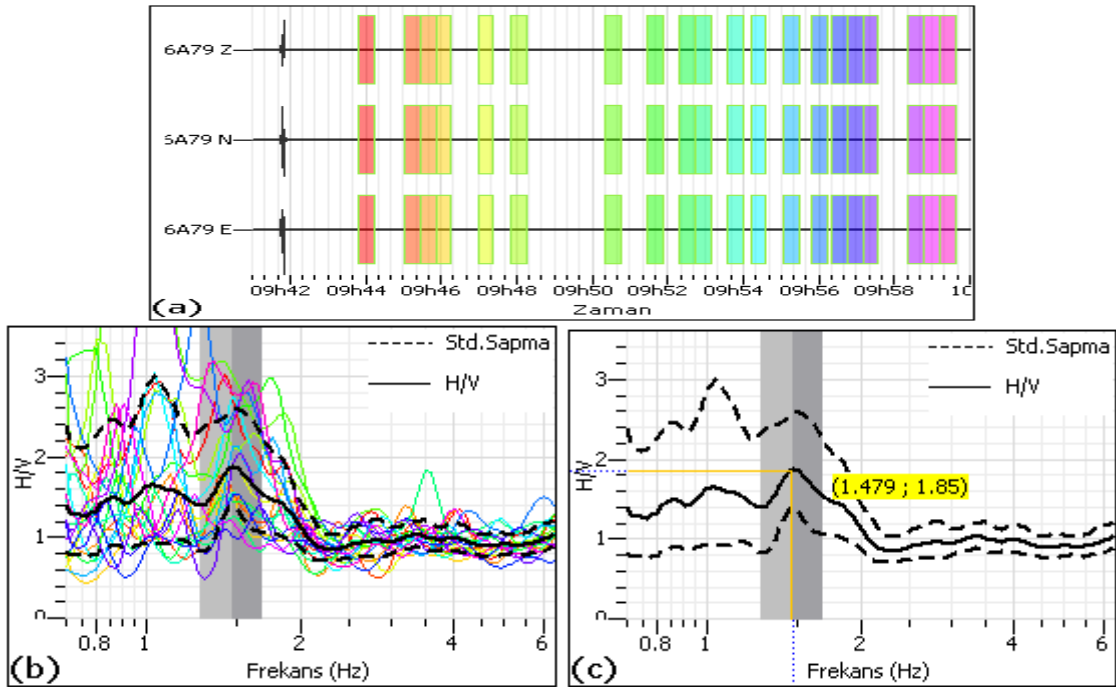


Ek Şekil 7.2. 6-2. ölçüm noktasına ait (a) seçilen çözümüleme pencereleri (b) çözümüleme pencerelerinin her birine ait H/V ve ortalama H/V oran spektrumu (c) ortalama H/V oran spektrumu üzerinde hakim frekans ve büyütme değeri

Ek-7'nin devamı

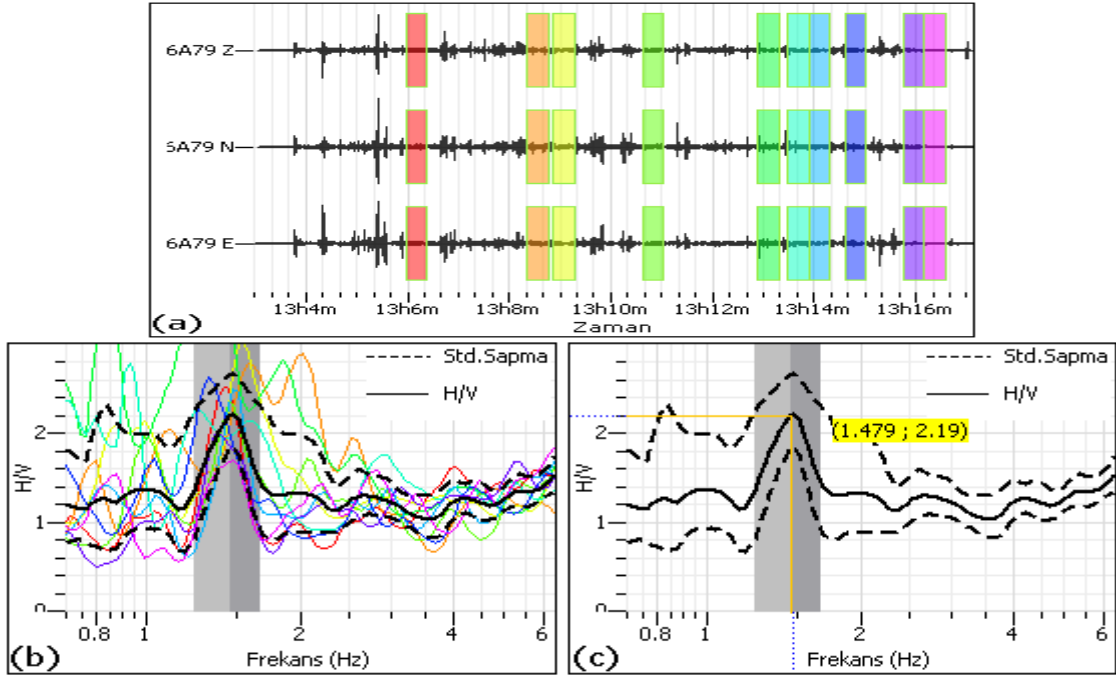


Ek Şekil 7.3. 6-3. ölçüm noktasına ait (a) seçilen çözümleme pencereleri (b) çözümleme pencerelerinin her birine ait H/V ve ortalama H/V oran spektrumu (c) ortalama H/V oran spektrumu üzerinde hakim frekans ve büyütme değeri

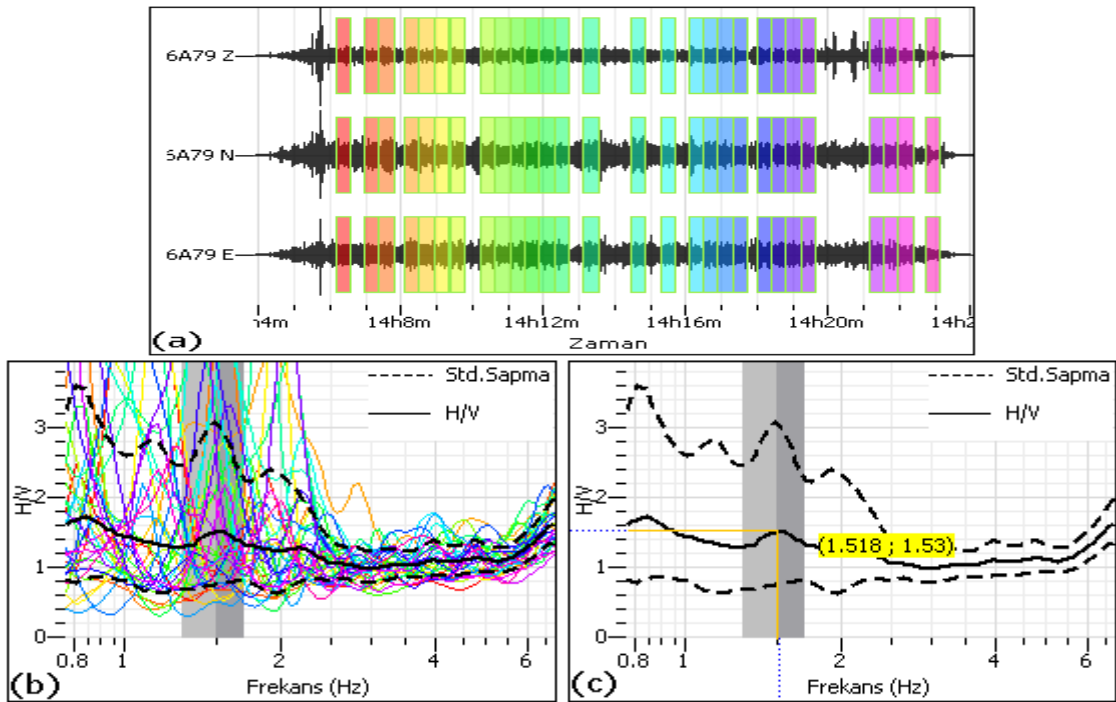


Ek Şekil 7.4. 6-4. ölçüm noktasına ait (a) seçilen çözümleme pencereleri (b) çözümleme pencerelerinin her birine ait H/V ve ortalama H/V oran spektrumu (c) ortalama H/V oran spektrumu üzerinde hakim frekans ve büyütme değeri

Ek-7'nin devamı

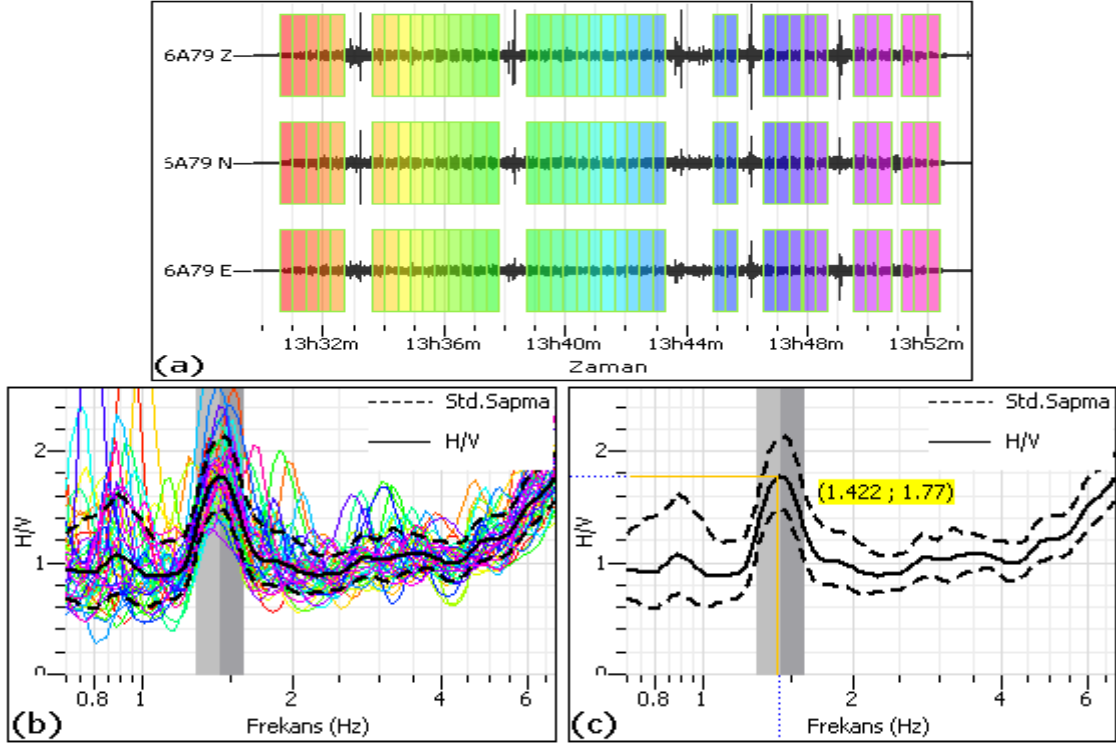


Ek Şekil 7.5. 6-5. ölçüm noktasına ait (a) seçilen çözümleme pencereleri (b) çözümleme pencerelerinin her birine ait H/V ve ortalama H/V oran spektrumu (c) ortalama H/V oran spektrumu üzerinde hakim frekans ve büyütme değeri



Ek Şekil 7.6. 6-6. ölçüm noktasına ait (a) seçilen çözümleme pencereleri (b) çözümleme pencerelerinin her birine ait H/V ve ortalama H/V oran spektrumu (c) ortalama H/V oran spektrumu üzerinde hakim frekans ve büyütme değeri

Ek-7'nin devamı



Ek Şekil 7.7. 6-7. ölçüm noktasına ait (a) seçilen çözümleme pencereleri (b) çözümleme pencerelerinin her birine ait H/V ve ortalama H/V oran spektrumu (c) ortalama H/V oran spektrumu üzerinde hakim frekans ve büyütme değeri

ÖZGEÇMİŞ

03.12.1985 tarihinde Trabzon'da doğdu. İlk ve orta öğreniminin ardından 2002 yılında lise öğrenimini Trabzon Lisesi'nde tamamladı. 2003 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeofizik Mühendisliği bölümüne girmeye hak kazandı. 2007 yılında Jeofizik Mühendisliği Bölümünden mezun oldu. Aynı yıl K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Jeofizik Mühendisliği Anabilim dalında yüksek lisans eğitimine başlamış olan Yasemin BEKER iyi derecede İngilizce bilmektedir.