



**İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**YALOVA İLİ ZEMİN TEPKİ FONKSİYONLARININ  
MİKROTREMÖR VERİLERİ İLE BELİRLENMESİ**

**Jeofizik Müh. Serhat TEKEBAŞ  
Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman  
Doç.Dr. Eşref YALÇINKAYA**

**Aralık, 2010**

**İSTANBUL**



**İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**YALOVA İLİ ZEMİN TEPKİ FONKSİYONLARININ  
MİKROTREMÖR VERİLERİ İLE BELİRLENMESİ**

**Jeofizik Müh. Serhat TEKEBAŞ  
Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman  
Doç.Dr. Eşref YALÇINKAYA**

**Aralık, 2010**


**İSTANBUL**


Bu alışma 18/01/2011 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Jeofizik Mühendisliğı Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

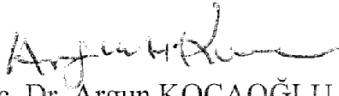
Tez Jürisi

  
Doç. Dr. Hřref YALÇINKAYA (Danışman)  
İstanbul Üniversitesi  
Mühendislik Fakóltesi

  
Prof. Dr. Demir KOLÇAK  
İstanbul Üniversitesi  
Mühendislik Fakóltesi

  
Prof. Dr. Ali PINAR  
İstanbul Üniversitesi  
Mühendislik Fakóltesi

  
Prof. Dr. Oğuz ÖZEL  
İstanbul Üniversitesi  
Mühendislik Fakóltesi

  
Doç. Dr. Argun KOCAOĞLU  
İstanbul Teknik Üniversitesi  
Maden Fakóltesi

## **ÖNSÖZ**

Lisans ve yüksek lisans öğrenimim sırasında ve tez çalışmalarım boyunca gösterdiği her türlü destek ve yardımdan dolayı çok değerli hocam Doç.Dr. Eşref YALÇINKAYA'ya en içten dileklerimle teşekkür ederim.

Bu çalışmanın uygulama kısmını destekleyen TÜBİTAK'a (Proje No: 109M317) teşekkürü borç bilirim.

Tez çalışmam esnasında sabır ve desteklerinden ötürü aileme teşekkür ederim.

**Aralık, 2010**

**Serhat TEKEBAŞ**

## İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	i
İÇİNDEKİLER .....	ii
ŞEKİL LİSTESİ.....	iv
TABLO LİSTESİ.....	vi
SEMBOL LİSTESİ .....	vii
ÖZET.....	ix
SUMMARY .....	x
1. GİRİŞ .....	1
2. GENEL KISIMLAR .....	3
2.1. İNCELEME ALANI.....	3
2.2. AMAÇ VE KAPSAM.....	3
2.3. JEOLojİ .....	7
2.4. STRATİGRAFİ .....	8
2.4.1. Pamukova metamorfizmaları .....	8
2.4.2. Taşköprü formasyonu (Trt) .....	9
2.4.3. Bakacak formasyonu (Kb) .....	9
2.4.4. İncebel formasyonu (Ti) .....	9
2.4.5. Sarısu formasyonu (Ts) .....	10
2.4.6. Kılıç formasyonu (Tk) .....	10
2.4.7. Yalakdere formasyonu (Ty) .....	10
2.4.8. Kireçtaşı üyesi (Tyk).....	11
2.4.9. Kuvarterner çökelleri .....	11
3. MALZEME VE YÖNTEM .....	13
3.1. ZEMİN TEPKİ FONKSİYONU .....	13
3.2. MİKROTREMÖR TANIMI.....	15
3.2.1. Mikrotremörlerin İçeriği .....	15
3.2.2. Mikrotremörlerin Genlik Dağılımları.....	17

3.2.3. Mikrotremor Kayıtlarının Değerlendirilmesi .....	18
3.2.3.1. Fourier Genliklerinin veya Güç Spektrumlarının Yorumlanması .....	18
3.2.3.2. Referans Noktasına Göre Spektral Oran Yöntemi .....	19
3.2.3.3. Sıfır Kesme (Kanai) Yöntemi .....	19
3.2.3.4. Nakamura Yöntemi .....	19
<b>4. BULGULAR .....</b>	<b>22</b>
<b>4.1. KULLANILAN KAYIT CİHAZI .....</b>	<b>22</b>
<b>4.2. ARAZİ ÇALIŞMASI .....</b>	<b>24</b>
<b>4.3. H/V EĞRİ TİPLERİ .....</b>	<b>35</b>
4.3.1. Endüstriyel veya keskin doruk .....	38
4.3.2. Belirgin ve belirsiz doruk .....	40
4.3.3. Geniş veya birden çok doruk .....	41
4.3.4. İki doruk .....	42
4.3.5. Temel kaya ve alüvyon zeminler için düz H/V eğrisi .....	42
<b>4.4. VERİ İŞLEM KRİTERLERİNİN BELİRLENMESİ .....</b>	<b>43</b>
<b>4.5. H/V EĞRİLERİNİN İNCELENMESİ .....</b>	<b>48</b>
4.5.1. H/V eğrilerinde aylık değişimler .....	48
4.5.2. H/V eğrilerinde günlük değişimler .....	49
4.5.3. Endüstriyel doruk durumu .....	51
4.5.4. Ölçüm aletinde geniş bant-kısa periyot karşılaştırması .....	51
4.5.5. Belirgin doruk durumu .....	58
<b>4.6. YALOVA İÇİN ZEMİN TRANSFER FONKSİYONLARI .....</b>	<b>62</b>
4.6.1. Hersek grubu .....	62
4.6.2. Taşköprü grubu .....	63
4.6.3. Çiftlikköy Grubu .....	64
4.6.4. Yalova Merkez Grubu .....	67
4.6.5. Hacımehmet-1 Grubu .....	67
4.6.6. Hacımehmet-2 Grubu .....	67
4.6.7. Çınarcık grubu .....	71
4.6.8. Sırtlar .....	73
<b>4.7. H/V SONUÇLARININ HASAR DURUMU İLE İLİŞKİLENDİRİLMESİ .....</b>	<b>76</b>
<b>5. TARTIŞMA VE SONUÇLAR .....</b>	<b>78</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>81</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>88</b>

## ŞEKİL LİSTESİ

<b>Şekil 1.1</b>	: Kuzey Anadolu Fayının Marmara bölgesindeki konumu ..... 2
<b>Şekil 2.1</b>	: İnceleme alanı yer bulduru haritası ..... 4
<b>Şekil 2.2</b>	: Yalova İli yüzey Jeoloji haritası (MTA) ..... 12
<b>Şekil 3.1</b>	: Farklı zeminler için örnek periyot dağılım eğrileri (Kanai ve Tanaka, 1961)..... 17
<b>Şekil 3.2</b>	: Nakamura (1989) tarafından önerilen H/V yöntemini temsil eden basit bir yer modeli ..... 21
<b>Şekil 4.1</b>	: CMG-6TD yarı Broadband kayıtçısı ve ekipmanları (Güralp System Manual, 2006)..... 23
<b>Şekil 4.2</b>	: Kullanılan cihaza ait tepki spektrumu (Güralp Systems Test ve Kalibrasyon verileri, 2006)..... 23
<b>Şekil 4.3</b>	: 81 ölçü noktası, noktalara verilen isimleri gösterir harita ..... 27
<b>Şekil 4.4</b>	: Arazide kullanılan ölçü karnesi. Sol tarafta boş olarak, sağ tarafta doldurulmuş örnek karne (SESAME, 2004'den değiştirilmiştir)..... 28
<b>Şekil 4.5</b>	: 30cm'lik bir kuyu içinde ve asfalt zemin üzerinde alınan ölçülerin H/V eğrilerinin karşılaştırılması (Chatelain ve diğ., 2008'den değiştirilmiştir) ..... 30
<b>Şekil 4.6</b>	: Çim zeminlerin rüzgarlı ve rüzgarsız havalarda H/V eğrileri üzerindeki etkileri. Sol tarafta bulunan şekil rüzgarsız hava, sağ taraftaki şekil ise rüzgarlı havada alınan kayıtları sembolize etmektedir (Chatelain ve diğ., 2008'den değiştirilmiştir) ..... 30
<b>Şekil 4.7</b>	: Rüzgarlı bir havada üstü açık bırakılan kuyu içerisinde alınan kayıt ile asfalt zemin üzerinde alınan kayıtların H/V sonuçlarının karşılaştırılması (Chatelain ve diğ., 2008'den değiştirilmiştir)..... 31
<b>Şekil 4.8</b>	: Aletin zemine direk temas etmesi (soldaki şekil), ve aletin altına bir ara cisim konularak alınan kayıtların (sağdaki şekil) H/V sonuçlarının karşılaştırılması (Chatelain ve diğ., 2008'den değiştirilmiştir)..... 31
<b>Şekil 4.9</b>	: Rüzgarlı havada H/V eğrileri. (A) Uzun ağaçlara 60 m uzaklıkta, (B) Ağaçlardan 20 m uzaklıkta, (C) 10 m uzaklıkta ve (D) ağaçların altında (Chatelain ve diğ., 2008'den değiştirilmiştir)..... 33
<b>Şekil 4.10</b>	: Otobandan farklı uzaklıklarda yapılan ölçümlerin H/V sonuçlarının karşılaştırılması. (A) otobandan 400 m uzaklıkta, (B) 40 m uzaklıkta, (C) 20 m uzaklıkta, (D) 6 m uzaklıkta, (E) 2 m uzaklıkta ve (F) otobanda alınan kayıtların H/V sonuçlarıdır (Chatelain ve diğ., 2008'den değiştirilmiştir)..... 34
<b>Şekil 4.11</b>	: Endüstriyel doruğu gösterir spektrum ve H/V eğrisine örnek. Solda bulunan grafik 3 bileşen spektrum eğrisi, sağ tarafta bulunan ise H/V sonucu (SESAME, 2004'den değiştirilmiştir)..... 39

<b>Şekil 4.12</b>	: Farklı yuvarlatma değerlerinin etkisi H/V eğrisi üzerinde görülmekte. Azalan yuvarlatma değeri H/V eğrilerini daha sivrileştirmekte (SESAME, 2004'den değiştirilmiştir)..... 39
<b>Şekil 4.13</b>	: Belirgin ve belirsiz doruk durumunu gösteren örnek H/V eğrisi (SESAME, 2004'den değiştirilmiştir)..... 41
<b>Şekil 4.14</b>	: H/V eğrilerindeki (solda) geniş veya çoklu doruk, (sağda) 2 doruk durumu..... 42
<b>Şekil 4.15</b>	: Temel kaya ve gevşek alüvyon zeminlerde görülen düz H/V eğrileri . 42
<b>Şekil 4.16</b>	: Filtreleme işleminin zaman kayıtlarında görünümü. Üst şekil filtre uygulanmamış ham veriyi, alt şekil ise 0.05 Hz-25 Hz arası bant geçişli filtre uygulanmış zaman sinyalinin göstermektedir ..... 44
<b>Şekil 4.17</b>	: Farklı pencere uzunluklarının H/V eğrileri üzerindeki etkileri ..... 45
<b>Şekil 4.18</b>	: Pencere seçiminde anti-triggering uygulamasını gösteren örnek. Üst resim anti-triggering uygulanmış, alt resim uygulanmamış pencere seçimini göstermektedir..... 45
<b>Şekil 4.19</b>	: Farklı yuvarlatma değerleri için H/V sonuçları..... 46
<b>Şekil 4.20</b>	: Örnek bir nokta için seçilen zaman pencereleri ve hesaplanan H/V eğrisi ..... 47
<b>Şekil 4.21</b>	: Hersek Deltasında 4 farklı zamanda alınan kayıtların H/V eğrilerinin karşılaştırılması. Her renk farklı zamana denk gelen H/V eğrisini göstermektedir ..... 48
<b>Şekil 4.22</b>	: H/V eğrilerinin 24 saatlik değişimini gösteren bir örnek. Yukardaki şekilde 24 saatlik kaydın zaman sinyali ve bu sinyal üzerinde seçilen 6 farklı örnek bulunmaktadır. Aşağıdaki şekil ise 6 örneğe ait H/V eğrileridir. H/V eğrilerinde sağ üst köşede hangi örneğe ait olduğu yazmaktadır ..... 49
<b>Şekil 4.23</b>	: Hersek Deltasındaki ölçü noktalarını gösterir harita..... 51
<b>Şekil 4.24</b>	: 1.5-2 Hz civarında endüstriyel kaynaklı bir doruğun her 3 bileşen spektrumlarındaki görüntüsü ..... 52
<b>Şekil 4.25</b>	: SBS istasyonu değişen yuvarlatma değerleri ile endüstriyel doruk tespiti.....53
<b>Şekil 4.26</b>	: Hersek bölgesi örnek ölçü noktaları H/V eğrileri. Eğrilerde okla gösterilenler endüstriyel kaynaklı doruklardır..... 53
<b>Şekil 4.27</b>	: ITF noktası 24 saatlik kayıta endüstriyel doruğun olduğu ve olmadığı bölümlere ait spektrum grafikleri (üst grafiklerden solda endüstriyel doruk olan, sağda olmayan) ve H/V eğrileri (alt grafiklerden solda endüstriyel doruk olan, sağda olmayan) görülmektedir ..... 54
<b>Şekil 4.28</b>	: Düşük frekanslardaki yüksek saçılmaları gösteren örnek H/V eğrisi .. 55
<b>Şekil 4.29</b>	: Farklı cihazların H/V eğrilerinin karşılaştırılması. Soldaki şekiller geniş-bant kayıtçısına ait H/V eğrileri, sağdaki şekiller kısa periyot kayıtçısına ait H/V eğrileri ..... 55
<b>Şekil 4.30</b>	: BAM noktasında eşzamanlı geniş-bant ve kısa periyot aletle alınmış mikrotremör kayıtlarının zaman ortamı görünümüleri (üst üç bileşen kısa periyot kayıtları, alt üç bileşen geniş bant kayıtları gösterir) ve Fourier spektrumları (sol grafikler geniş bant spektrumları, sağ grafikler kısa periyot spektrumları gösterir ..... 56



<b>Şekil 4.31</b>	: Yalova mikrotremor noktalarında H/V eğrilerinin SESAME (2004) kriterlerine göre değerlendirilmesi sonucunda noktaların belirgin doruk verme (mavi noktalar) ve belirgin doruk vermeme (beyaz noktalar) durumuna göre sınıflandırılmaları. Belirgin doruk veren noktalarda, nokta çapları belirlenen zemin hakim frekansına ( $f_0$ ) göre ölçeklendirilmiştir.....	60
<b>Şekil 4.32</b>	: Hersek grubu ortalama H/V eğrisi.....	61
<b>Şekil 4.33</b>	: Hersek deltası noktalarına ait kayıtların H/V eğrileri .....	62
<b>Şekil 4.34</b>	: Taşköprü grubu ölçüm noktaları H/V eğrileri.....	63
<b>Şekil 4.35</b>	: Taşköprü grubu ortalama H/V eğrisi.....	64
<b>Şekil 4.36</b>	: Çiftlikköy grubu H/V eğrileri.....	64
<b>Şekil 4.37</b>	: Çiftlikköy grubu ortalama H/V eğrisi .....	67
<b>Şekil 4.38</b>	: Yalova Merkez grubu H/V eğrileri .....	67
<b>Şekil 4.39</b>	: Yalova Merkez grubu ortalama H/V eğrisi .....	68
<b>Şekil 4.40</b>	: Hacımehmet-1 grubu H/V eğrileri .....	68
<b>Şekil 4.41</b>	: Hacımehmet-1 grubu ortalama H/V eğrisi .....	69
<b>Şekil 4.42</b>	: Hersek grubu ortalama H/V eğrisi.....	69
<b>Şekil 4.43</b>	: Hacımehmet-2 grubu ortalama H/V eğrisi .....	70
<b>Şekil 4.44</b>	: Çınarcık grubu H/V eğrileri .....	71
<b>Şekil 4.45</b>	: Çınarcık grubu ortalama H/V eğrisi .....	71
<b>Şekil 4.46</b>	: Sırtlardaki noktaların H/V eğrileri .....	72
<b>Şekil 4.47</b>	: Sırtlar grubu ortalama H/V eğrisi.....	73
<b>Şekil 4.48</b>	: Sırtlarda bulunup belirgin doruk veren noktaların H/V eğrileri.....	73
<b>Şekil 4.49</b>	: Yalova yüzey jeoloji haritası üzerinde gruplamaları gösterimi.....	74
<b>Şekil 4.50</b>	: Yalova merkez hasar derecesi haritası .....	76

## TABLO LİSTESİ

<b>Tablo 3.1</b>	: Mikrotremörlerin ve mikroseismlerin kaynak ve dalga yapılarının karşılaştırılması (SESAME 2004'den değiştirilmiştir).....	16
<b>Tablo 4.1</b>	: Ölçü noktaları ve koordinatları tablosu.....	25
<b>Tablo 4.2</b>	: Arazide mikrotremör ölçümü yapılırken dikkat edilmesi gerekenler (SESAME, 2004'den değiştirilmiştir).....	26
<b>Tablo 4.3</b>	: H/V eğrileri için güvenilirlik ve belirgin doruk koşulları (SESAME, 2004'den değiştirilmiştir).....	35
<b>Tablo 4.4</b>	: Tahmin edilen hakim frekansa bağlı kayıt süresi, pencere uzunluğu (sn) ve pencere sayısını gösterir tablo .....	37
<b>Tablo 4.5</b>	: 92 adet kayda ait H/V eğrilerinin doruk durumunun incelenmesi .....	57
<b>Tablo 4.6</b>	: Yalova ve ilçeleri hasar durumu (Özmen, 2000) .....	75

## SEMBOL LİSTESİ

<b>z</b>	: sismik empedans
<b><math>\rho</math></b>	: yoğunluk
<b>V<sub>s</sub></b>	: S dalga hızı
<b>E(t)</b>	: sismik enerji
<b>V(t)</b>	: tanecik hızı
<b>f<sub>0</sub></b>	: zemin hakim (rezonans) frekansı
<b>h</b>	: anakaya üzerindeki tabakanın kalınlığı
<b>H/V</b>	: yatay/düşey spektral oran
<b>S<sub>1</sub>(f)</b>	: temel kaya üzerinde yer alan sedimanter tabakanın transfer fonksiyonu
<b>H<sub>s</sub>(f)</b>	: sediman yüzeyinde kaydedilen yatay bileşenin spektrumu
<b>H<sub>b</sub>(f)</b>	: temel kaya üzerinde kaydedilen yatay bileşenin spektrumu
<b>V<sub>s</sub>(f)</b>	: sediman yüzeyinde kaydedilen düşey bileşenin spektrumu
<b>V<sub>b</sub>(f)</b>	: temel kaya üzerinde kaydedilen düşey bileşenin spektrumu
<b>S<sub>RW</sub>(f)</b>	: Rayleigh dalgaları transfer fonksiyonu
<b>L<sub>w</sub></b>	: pencere uzunluğu
<b>N<sub>w</sub></b>	: pencere sayısı
<b>n<sub>c</sub>(f<sub>0</sub>)</b>	: belirgin devirlerin sayısı
<b><math>\sigma_A</math>(f)</b>	: H/V eğrisindeki genliklerin standart sapması
<b>A<sub>0</sub></b>	: f <sub>0</sub> frekansının genliği
<b>f<sub>sensor</sub></b>	: sensörün kesme frekansı
<b>(f<sup>-</sup>)</b>	: f <sub>0</sub> /4 ile f <sub>0</sub> arasında kalan frekans değerleri
<b>(f<sup>+</sup>)</b>	: f <sub>0</sub> ile 4f <sub>0</sub> arasında kalan frekans değerleri
<b>A<sub>H/V</sub>(f<sup>-</sup>)</b>	: (f <sup>-</sup> ) değerlerine karşılık gelen genlik değerleri
<b>A<sub>H/V</sub>(f<sup>+</sup>)</b>	: (f <sup>+</sup> ) değerlerine karşılık gelen genlik değerleri
<b><math>\sigma_f</math></b>	: H/V doruk frekansının standart sapması
<b>V<sub>S30</sub></b>	: Yüzeyden 30m derinliğe kadar ortalama S dalga hızı

## ÖZET

### YALOVA İLİ ZEMİN TEPKİ FONKSİYONLARININ MİKROTREMÖR VERİLERİ İLE BELİRLENMESİ

Bilindiği gibi depremlerin yapılarda meydana getirdiği hasar, yapının kendi özellikleri ile ilgili olduğu kadar, oturduğu zeminin özellikleri ile de bire bir ilişkilidir. Bir deprem sırasında ana kayadan zemin tabakaları içine geçen sismik dalganın ne tür değişikliklere uğrayacağını zemin tepki fonksiyonu tanımlar. Zemin tepki fonksiyonunun en önemli iki parametresi; zemin hakim periyodu ve bu periyoda karşılık gelen zemin büyütmesidir. Depreme dayanıklı yapı tasarımı için, zemin tepki fonksiyonunun bilinmesi çok önemlidir. Mikrotremör yöntemi, kısa sürede ölçü alma imkanı sunması, herhangi bir kaynak kullanmaya gereksinim duymaması gibi özellikleri ile son yıllarda zemin tepki fonksiyonunun belirlenmesinde en çok tercih edilen yöntemdir. Mikrotremör yöntemi zemin hakim periyodunu belirlemede oldukça başarılı iken, zemin büyütmesinin tespitinde başarılı değildir.

Çalışma kapsamında Yalova ve çevresinde (Altınova, Çiftlikköy ve Çınarcık) toplam 81 noktada 92 adet mikrotremör ölçümü yapılmıştır. Ölçümler CMG 6-TD kayıtçısı ile; Ekim, Ocak, Nisan ve Temmuz ayı olmak üzere toplam 4 seferde tamamlanmıştır. Elde edilen bu verilerden, Nakamura (1989) tek istasyon yöntemi kullanılarak yatay/düşey (H/V) spektral oranlar hesaplanmış ve zemin tepki fonksiyonları elde edilmiştir. Elde edilen H/V eğrileri, jeoloji bilgisiyle beraber değerlendirilip, Yalova'nın zemin özellikleri belirlenmeye çalışılmıştır.

H/V sonuçları incelendiğinde Altınova-Hersek Deltası için zemin rezonans frekansına ait doruklar 0.5 Hz civarında, Çiftlikköy'de 0.9 Hz'de, Hacımehmet ovasında 0.9-1.1 Hz civarında tespit edilmiştir. Belirgin doruk gösteren noktaların azlığı ve H/V eğrilerindeki karmaşıklık, Yalova ve çevresinde bulunan sedimanların yanal ve düşey yöndeki süreksizliklerine ve dolayısıyla iki-üç boyutlu zemin etkilerine işaret etmektedir. 1999 depreminde ağır hasar gören Çınarcık, Hacımehmet ve Çiftlikköy bölgelerinde bir zemin-yapı rezonansı tespit edilememiştir.

## **SUMMARY**

### **DETERMINATION OF SOIL RESPONSE FUNCTIONS IN YALOVA CITY WITH MICROTREMOR DATA**

As it has been known for long time, building damage caused by earthquakes is directly related with characteristics of site on where structure is founded, as well as building characteristics. During an earthquake, the soil transfer function defines the differentiations of seismic waves traveling from bedrock to soil layers. The two most important parameters of soil transfer function are; soil resonance frequency and the soil amplification corresponding to this frequency. In order to design earthquake-resistant structure, it is too important to know soil transfer function. In recent years, at the determination of the soil response function, microtremor method is a most-preferred one which offers properties such as recording at short time and having no requirement of using any source. While microtremor method is considerably successful at the determination of resonance frequency, it is not successful at the assessment of soil amplification.

Within the context of study, the microtremor measurements were taken at 81 total stations at Yalova and around (Altınova, Çiftlikköy and Çınarcık). Measurements were collected with CMG 6-TD seismometer at four different times in October, January, April and July. The horizontal/vertical spectral ratios were computed by using Nakamura (1989) one station method from these data and soil transfer functions were derived. The obtained curves are evaluated with the geology and Yalova's soil properties are tried to be determined.

After analyzing the results of H/V, peaks of the soil resonance frequency are determined about 0.5 Hz at Altınova-Hersek Delta, 0.9 Hz at Çiftlikköy, about 0.9 Hz – 1.1 Hz at Hacımehmet plain. Few of the measurement points which have a clear peak and complex characteristics of H/V curves in Yalova point out the sediment discontinuities in lateral and vertical direction, resulting in 2D or 3D site effects. No soil-structure resonance were determined in Çınarcık, Hacımehmet, Çiftlikköy where the worst damage occurred during the 17 August 1999.

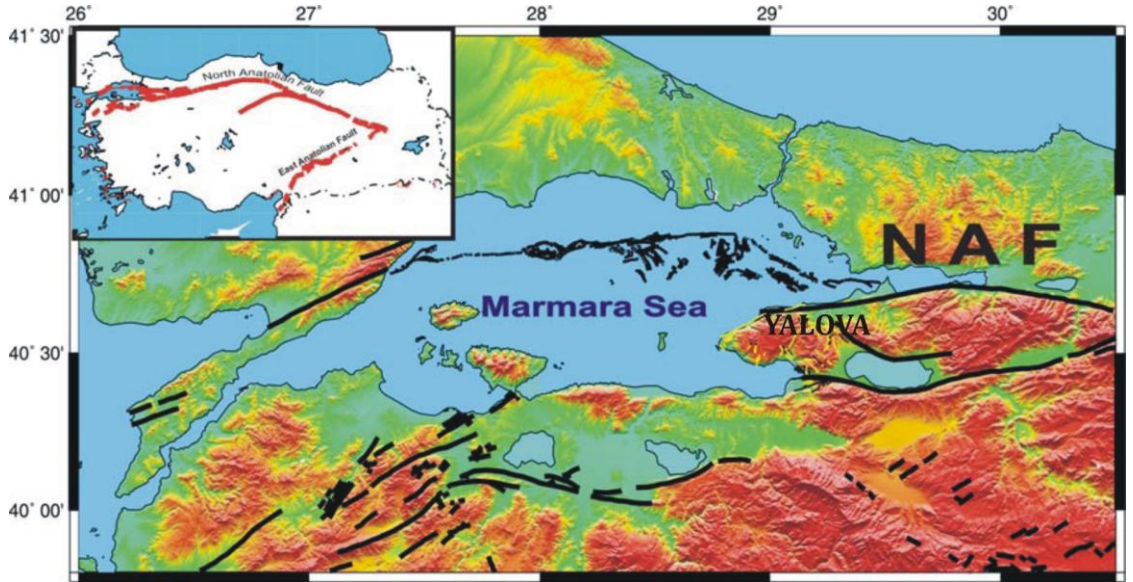
## 1. GİRİŞ

Türkiye Alp-Himalaya sıkışma kuşağı içerisinde yer alan, deprem açısından aktif bir bölgedir. Güneyden Kuzeye doğru hareket eden Arap levhasının Anadolu levhasını sıkıştırması ve Hellenik yayı boyunca dalan Afrika levhasının yarattığı çekme kuvvetleri sonucu ülkemizde iki önemli fay zone olan Kuzey Anadolu Fay Zonu ve Doğu Anadolu Fay Zonu meydana gelmiştir. Kuzey Anadolu Fay'ı Karlıova'dan başlayıp Marmara Denizine uzanan yaklaşık uzunluğu 1200 km olan D-B uzanımlı, sağ yönlü doğrultu atımlı bir faydır. Bolu'ya kadar tek bir hat şeklinde uzanan fay Bolu'nun batısından başlayarak iki kola ayrılmaktadır (Şekil 1.1). Kuzeyde kalan kol İzmit-Adapazarı, Gölcük koridorunu izleyerek Marmara Denizi'ne uzanır.

17 Ağustos 1999 yılında meydana gelen İzmit-Gölcük depremi ( $M_w=7.4$ ) Marmara bölgesinde son yüzyılda yaşanan en büyük depremdir. Depremi oluşturan kırık Gölyaka'dan başlayıp İzmit Körfezi'nin Marmara denizine açılan batı ucuna kadar devam etmektedir (Armijo ve diğ., 2005) ve yaklaşık uzunluğu 145 km'dir (Parson, 2004). Depremde yaklaşık 18 000 kişi hayatını kaybetmiş, 94 000 bina ağır hasar görmüş ve toplam 16 milyar dolara varan zarar meydana gelmiştir (Bakır ve diğ., 2007). Bu depremde oluşan ağır hasarın %48'i Kocaeli ilinde, %29'u Sakarya ilinde ve %14'ü ise Yalova ilindedir (Özmen, 2000). Yalova'da yaklaşık 2500 kişi hayatını kaybetmiş ve 2900 bina tamamen yıkılmıştır. Hasarın en yoğun görüldüğü bölgeler Yalova Çiftlikköy, Merkez ve Çınarcık ilçeleridir.

Yapılan çalışmalar İzmit körfezinin Marmara denizine açılan nokta ile 1912 yılında kırılan Mürefte arasını bir sismik boşluk olarak değerlendirmektedir (Parsons, 2004, Pondard ve diğ., 2007, Utkucu ve Durmuş, 2009). Parsons (2004) Marmara bölgesi için 7 den büyük bir depremin 30 yıl içinde olma olasılığının %60 civarında olduğunu söylemektedir. Olası bir Marmara depremi veya depremlerinin Marmara çevresindeki yerleşim alanları için ve özellikle Yalova için tehlikesi açıktır.

Zemin özellikleri, depremin meydana getireceği hasarla yakından ilgilidir. Son yıllarda mikrotremör yöntemi bu özelliklerin belirlenmesinde sıklıkla kullanılan bir yöntemdir. Bu çalışmada, 17 Ağustos depreminde ve ileride oluşabilecek depremlerde Yalova ilindeki hasar durumunun zemin özellikleriyle ilişkisi belirlenmeye çalışılmıştır. Çalışma kapsamında TÜBİTAK (Proje No:109M317) projesi desteği ile Yalova ilinde 81 noktada mikrotremör ölçümleri toplanmıştır. Bu ölçümler H/V spektral oran yöntemi kullanılarak değerlendirilmiş ve sonucunda ölçüm yapılan noktalar için zemin transfer fonksiyonları elde edilmiştir. Hesaplanan zemin transfer fonksiyonları, bölgenin jeolojik özellikleriyle, daha önce yapılmış benzer çalışmalarla karşılaştırılarak yorumlanmıştır. Son olarak, 17 Ağustos depreminin Yalova ilinde meydana getirdiği hasar ile karşılaştırılmış ve oluşan hasara zemin özelliklerinin etkisi tartışılmıştır.



**Şekil 1.1:** Kuzey Anadolu Fayının Marmara bölgesindeki konumu.

## 2. GENEL KISIMLAR

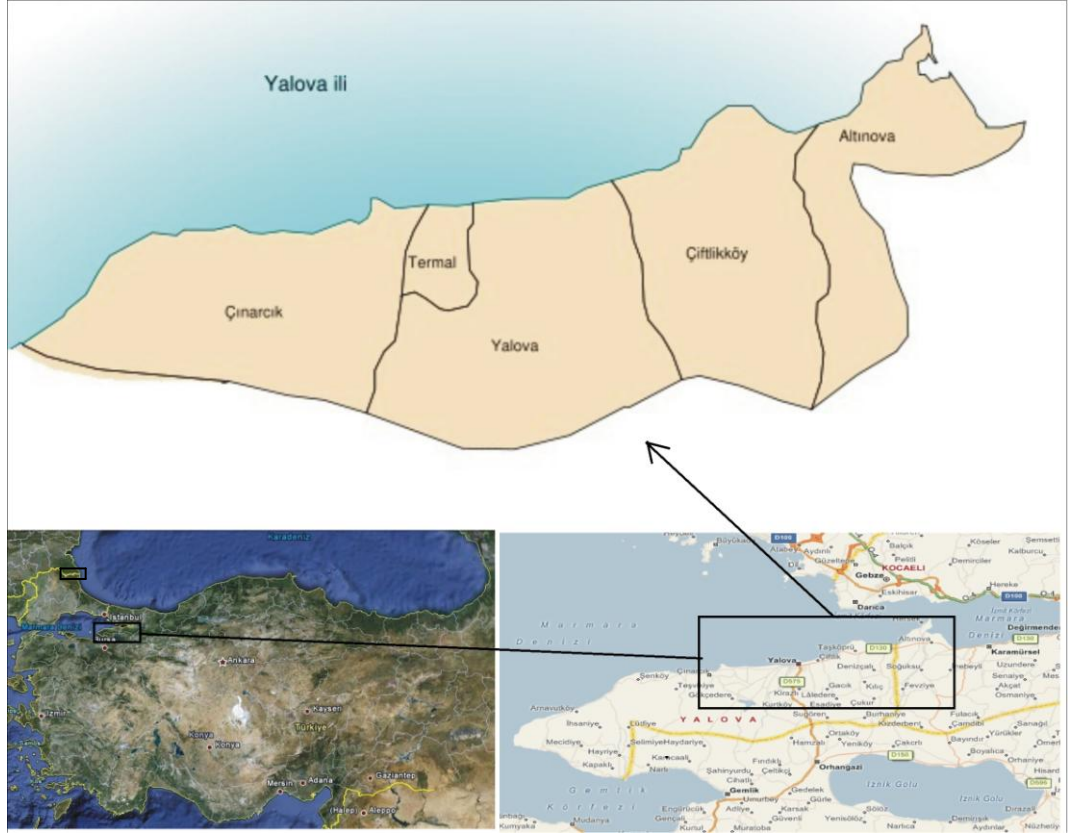
### 2.1. İNCELEME ALANI

Bu çalışmada inceleme alanı Yalova Merkez, Altınova, Çiftlikköy ve Çınarcık ilçelerini kapsamaktadır. İnceleme alanı yer bulduru haritası Şekil 2.1’de verilmiştir. Yalova, Anadolu’nun kuzey batısında yer alan, kuzeyinde Karadeniz, batısında Marmara denizi, güneyinde Sakarya nehri, doğusunda Kocaeli’nin olduğu, Armutlu yarımadası (Şekil 2.1) üzerinde bulunan bir ilimizdir. Yüzölçümü 839 km<sup>2</sup> olan Yalova’nın TÜİK (Türkiye İstatistik Kurumu) 2009 yılı verilerine göre 202.531 nüfusu bulunmaktadır. Yalova 28° 45’ ve 29° 35’ doğu boylamları, 40° 28’ ve 40° 45’ kuzey enlemleri arasında yer almakta olup, şehir merkezinin denizden yüksekliği 2 metre, il sınırları içindeki en yüksek nokta 921 metredir. 839 km<sup>2</sup>’lik alanı ile ülke yüzölçümünün % 0.11’lik bölümünü kaplamaktadır. Merkez ilçe, Altınova, Armutlu, Çınarcık, Çiftlikköy ve Termal olmak üzere toplam 6 ilçeden oluşur. Merkez ilçeye 1 belde, 11 köy; Altınova ilçesine 3 belde, 13 köy; Armutlu ilçesine 5 köy, Çınarcık ilçesine 4 belde, 3 köy; Çiftlikköy ilçesine 1 belde, 10 köy ve Termal ilçesine 2 köy bağlı bulunmaktadır. İnceleme alanına karayolu ile E 130 karayolu üzerinden, denizyolu ile Pendik-Yalova ve Eskişehir-Topçular feribot hatları ile ulaşılabilir.

### 2.2. AMAÇ VE KAPSAM

Depremler, oluş zamanı önceden bilinmeyen, bilinse dahi gerçekleşmesi engellenemeyen, özellikle deprem bölgelerinde yaşayan milletlerin her an karşı karşıya kalabileceği doğal olaylardır. Türkiye, bir deprem ülkesi olduğu gerçeğini 17 Ağustos 1999 yılında gerçekleşen ve ağır kayıplar verdiğimiz İzmit-Gölcük depremiyle tam manasıyla anlamıştır. 17 Ağustos 1999 gecesi meydana gelen bu depremde en ağır hasar alan bölgelerden biri de Yalova olmuştur.





**Şekil 2.1:** İnceleme alanı yer bulduru haritası.

Depremi meydana getirdiği hasarlardan kurtulmanın tek yolu, depreme dayanıklı yapıların tasarlanmasıdır. Depremi ne zaman olacağının bilinmesinin halihazırdaki yapılar için pek faydası bulunmamaktadır. Fakat depreme dayanıklı yapı yapıldığı takdirde de depremi ne zaman olacağının önemi kalmamaktadır. Depreme dayanıklı yapı tasarlanması demek zeminin özelliklerinin çok iyi bilinmesi demektir. Çünkü deprem dalgaları anakayadan zemin içerisine girdikleri anda zeminin özelliklerine göre davranış göstermektedirler. Dolayısıyla zemin özelliklerinin belirlenmesi halinde, deprem esnasında zeminin ne tür davranış gösterebileceği önceden belirlenmiş ve üzerindeki binalar da buna dayanıklı yapılmış olacaktır. Temel olarak incelenmesi gereken zemin özellikleri zeminin hakim periyodu ve zemin büyütmesidir. Zemin hakim periyodu; bir deprem sırasında o zeminin salınım yapacağı frekansı verirken zemin büyütmesi ise anakayadan zemin içerisine giren deprem dalgalarının zeminin fiziksel özelliklerine bağlı olarak yüzeydeki etkisinin şiddetini belirler.

Zemin özelliklerinin belirlenmesiyle ilgili olarak son yıllarda en çok kullanılan yöntemlerden biri de mikrotremör yöntemidir. Bu yöntem sayesinde deprem olmasına

veya yapay bir kaynağa ihtiyaç duyulmadan zemin içerisindeki doğal titreşim kaydedilerek zemin tepki fonksiyonları elde edilebilir. Mikrotremorlarla ilgili çalışmalar ilk olarak 1908’de Omori ile başlamıştır. Ancak 1950’li yıllara kadar dikkat çekici bir konu olarak bulunmaması ve teknolojik gelişmenin yeterli olmaması nedeniyle bu alanda bir ilerleme kaydedilememiştir (Çetinol, 2003).

Mikrotremörlerin mühendislik açısından uygulaması ilk kez Kanai ve Tanaka (1961) tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada 1sn’ den daha kısa periyotlu mikrotremörler ile yerin jeolojik özellikleri sınıflandırılmıştır. Bu çalışmanın ardından pek çok araştırmacı zemin özelliklerinin belirlenmesinde mikrotremör yönteminin uygulanabilirliğini araştırmışlardır. Otha ve diğ. (1978), tortul havzalarda uzun periyotlu mikrotremörlerden yararlanarak temel kaya üzerinde bulunan zeminin kalınlığındaki artışla, zemin hakim periyodu arasında düzenli bir değişim olduğunu saptamışlardır.

Kagami ve diğ. (1986), San Fernando Vadisinde zemin büyütmesini referans noktasına göre oran yöntemini kullanarak belirlemişler ve kuvvetli yer hareketi verileri ile jeoloji bilgisinin birbirleriyle uyum içerisinde olduğunu saptamışlardır. Nakamura (1989) tarafından ise günümüzde halen sıklıkla kullanılan tek istasyon yöntemi olarak da bilinen yatay/düşey (H/V) oranlama yöntemi geliştirilmiştir. Bu yöntemde temel kabul mikrotremörlerin çoğunlukla Rayleigh dalgalarından oluştuğu ve düşey bileşen üzerinde bir zemin etkisi olmadığıdır. Bu yöntemde göre, belli bir noktada alınan 3 bileşen kaydın yatay bileşen spektrum ortalamasının (H) düşey bileşen spektrumuna (V) bölünmesiyle yatay/düşey (H/V) spektral oran hesaplanır ve bu o noktaya ait zemin tepki fonksiyonunu verir. Pek çok araştırmacı (Field ve Jacob 1993, Lermo ve Chavez-Garcia, 1994, Lachet ve Bard, 1994; Bard, 1998; Mucciarelli, 1998; Rodriguez ve diğ., 2000; Delgado ve diğ., 2000, Bonnefoy-Claudet ve diğ., 2006; Chatelain ve diğ., 2008; Guillier ve diğ., 2008) bu yöntem ile ilgili teorik ve uygulamalı çalışmalar yapmışlardır.

Lachet ve Bard (1994), yaptıkları analizler sonucunda, temerkaya üzerinde yer alan sedimanter zemin tabakalarında kaydedilen mikrotremorların Nakamura yöntemi ile değerlendirilmesinde dikkate alınması gereken sınırlamalar olduğunu belirtmişlerdir. Buna göre, bu tür ortamlarda kaydedilen mikrotremorların yatay/düşey spektral

oranlarının sadece rezonans frekansı gösteren bir doruk vereceğini fakat bu doruğun tüm sahadaki zemin büyütmesini temsil etmeyeceğini savunmuşlardır.

Ibs-Von ve Wohlenberg (1999), Almanya’da aldıkları mikrotremor ölçümlerinde Nakamura yöntemini kullanmışlardır. Çalışma alanındaki sondaj verileri yardımıyla bir bağıntı belirlemişler ve böylece gevşek zemin tabakasının rezonans frekansının yanında, kalınlığı hakkında da bilgi sağlamışlardır. Temelkaya derinliğinin bulunmasında Nakamura yönteminin uygulanabilirliğini ortaya koymuşlardır. Delgado ve diğ. (2000), 33 noktada aldıkları mikrotremör verisini kullanarak Nakamura yöntemiyle zemin rezonans frekansları hesaplamışlardır. Jeoloji bilgisine sahip oldukları 23 noktada zemin rezonans frekans verilerini de kullanarak, alüvyon zeminlerin kalınlığının hesaplanması için bir bağıntı oluşturmuşlardır.

Mikrotremör verisi kullanılarak yapılan birçok yüksek lisans tez çalışması mevcuttur. (Tokgöz, 2002; Gürbüz, 2002; Çetinel, 2003; Tüzel, 2004; Karabulut, 2005; Demirci, 2007; Ekincioglu, 2007; Fizali, 2008; Kepçeoğlu, 2008; Tunçel, 2008; Sarıca, 2008).

Kudo ve diğ., (2002), Adapazarı’nda SPAC (Spatial Autocorrelation) metodunu kullanarak yaptıkları mikrotremor ölçümleri sonucu bölgenin S dalga hız yapısını kestirmişlerdir. İmamoğlu (2003), çalışmasında deprem ve mikrotremor verileri kullanarak elde ettikleri spektrumları karşılaştırmış ve SPAC metodu ile yeraltı yapısını ortaya çıkarmıştır. Özel ve diğ., (2004), Avcılar-İstanbul’da SPAC yöntemini kullanarak yaptıkları mikrotremor ölçümleri sonucu bölgenin S dalgası hız yapısını kestirmişlerdir. Ergin ve diğ. (2004), İstanbul-Avcılar’da 5 noktada (biri kaya) sürekli titreşim kaydı alarak bölgenin baskın periyot ve büyütme seviyelerini tespit etmeye çalışmışlardır. Verileri, Referans noktası ve Nakamura yöntemi ile değerlendirmişler ve büyütme değerlerinin Nakamura yöntemine göre bazı noktalarda hatalı değerler verdiğini belirtmişlerdir (Demirci, 2007).

Mikrotremör yöntemi zemin özelliklerinin belirlenmesinde çok sık kullanılmasına karşın, yöntemin uygulanması ve bulguların yorumlanması aşamasında nelere dikkat edilmesi gerektiği üzerine yeterli çalışma bulunmamaktadır. Bu konuda en detaylı çalışmalar SESAME Projesi kapsamında yapılmıştır. Chatelain ve diğ., (2008), çevresel

koşulların mikrotremörler üzerindeki etkilerini incelemiş, Guillier ve diğ., (2008), farklı tip kayıtçıların mikrotremörlere etkisini incelemişlerdir. SESAME (2004) raporunda ise H/V eğrilerinin yorumlanmasında dikkat edilmesi gereken kriterler sayısal bağıntılarla ifade edilmektedir. Bonnefoy-Claudet ve diğ., (2009) Santiago, Chile’de zemin tepkisini belirlemek amacıyla yaptıkları mikrotremör ölçümlerinin değerlendirilmesinde SESAME (2004) kriterlerini uygulamışlardır.

Bu tez çalışmasının amacı mikrotremör verisi kullanılarak Yalova ve çevresinin zemin özelliklerinin belirlenmesidir. Bu amaçla 81 farklı noktada 92 adet mikrotremör kaydı alınmış ve veriler Nakamura (1989) yöntemi ile değerlendirilmiştir. Mikrotremör ölçümleri esnasında dikkat edilmesi gereken arazi şartlarından bahsedilmiş ve veri değerlendirme aşamasında H/V eğrileri üzerindeki etkilerinden bahsedilmiştir. Farklı karakterlerdeki H/V eğrilerinin ne tür zeminlere ait olabilecekleri anlatılmış ve H/V eğrilerinde görülen dorukların ayrıntılı incelemesi yapılmıştır. Bu bilgiler ışığında H/V eğrileri çizdirilmiş ve bu eğriler yorumlanarak ölçüm noktalarına ait hakim frekans değeri ve bu frekansa karşılık gelen büyütme değeri belirlenmiştir. Elde edilen bu değerler ile 17 Ağustos 1999 İzmit-Gölçük depreminin Yalova’da meydana getirdiği hasar üzerinde olası zemin etkileri değerlendirilmiştir.

### 2.3. JEOLojİ

Çalışma alanının ve çevresinin jeoloji üzerine birçok araştırma bulunmaktadır. Armutlu Yarımadasının jeolojisi Akartuna (1968), Güncüoğlu ve Erendil (1990), Yılmaz (1990), Bargu ve Sakıncı (1989) tarafından kapsamlı bir şekilde çalışılmış ve bölgeye ait haritalar oluşturulmuştur.

Armutlu Yarımadası sınırları dahilinde Paleozoyikten günümüze kadar değişik zamanları temsil eden kaya türleri yüzeylemektedir. Prekambriyen-Alt Paleozoyik yaşlı olduğu düşünülen Pamukova Metamorfikleri bölgenin temelini oluşturur. Alt Triyas yaşlı Taşköprü Formasyonu, Üst Kretase yaşlı Bakacak Formasyonu, Üst Paleosen yaşlı Bakacak Formasyonu, Üst Paleosen-Orta Eosen yaşlı İncebel Formasyonu, Eosen yaşlı Sarısu Formasyonu temeli örten sedimanter ve volkano-sedimanter birimlerdir. Eosen döneminde Fıstıklı Granitoyidi bölgede yerleşmiştir.

Daha üstte ise Sarmasiyen yaşlı Kılıç Formasyonu, Üst Miyosen-Alt Pliyosen yaşlı Yalakdere Formasyonu ve Pleyistosen yaşlı denizel seki çökelleri ile güncel alüvyonlar yer alır (Akartuna, 1968, Güncüoğlu ve Erendil, 1990).

Kuvaterner birimleri yörede yer alan iki delta sahası ve kıyı düzlüklerinde bulunmaktadır. Kuvaterner birimleri denizel çökelleri ile kıyı ve akarsu ortamlarında çökelmiş çökel topluluklarından oluşmaktadır. Denizel çökelleri Altınova – Yalova arasında kıyı ve gerisindeki düzlükler arkasında, temel kayalardan yamaç eteklerinde, dağınık halde küçük yüzlekler şeklinde izlenir.

Seki çökelleri dışında kalan Holosen birimleri kıyıda deniz, deniz-akarsu; karada ise akarsu ortamında depolanmış, tutturulmamış gereçten oluşur. Daha yaşlı kaya toplulukları üzerinde uyumsuz olarak bulunan bu çökeller, yanalda ve düşeyde birbiriyle geçişlidir. Denizel kökenli birimler kıyı boyunca plaj, kıyı kordonu, kıyı düzlüğü ve bataklık çökellerinden oluşmuştur (Akartuna, 1968).

## **2.4. STRATİGRAFİ**

### **2.4.1. Pamukova metamorfikleri**

Armutlu yarımadasının temelini oluşturan metamorfik kayalar Erendil ve diğ. (1991) tarafından Pamukova Metamorfikleri adı altında incelenmiştir. Pamukova metamorfikleri Yalova güneydoğusunda, Gacık köyünün 1 km kadar güneyinde yüzeyleyir (Şekil 2.2, açık mavi renkli birim). Amfibolit, amfibol şist, granit, metavolkanit, metagrovak, metakuvarsit ve fillitten oluşan ve bölgenin temeli olduğu düşünülen Pamukova Metamorfikleri yer yer aplit, pegmatit ve kuvars damarlarıyla kesilmiştir. Birimin temel litolojisi olan amfibolitler homojen kütleler halinde bulunur. Mineralojik bileşimi ve homojen yapısından dolayı bu birimin köken kayaları asidik mağma kökenli volkanik kayalar olmalıdır. Granitlerdeki mafik minerallerin dizilim yönleri amfibolit şistozitesiyle uyumludur. Amfibolitler irili ufaklı birçok granitik plutonlarla kesilmiştir. Çevre kayalarda gözlenen mekanik deformasyon granitlerde de açıkça gözlenir. Yapraklanmanın aşırı ölçüde geliştiği kesimlerde ise kaya gnaysik dokuludur. Bazı alanlarda amfibolitlerin üzerinde granit çakılları içeren çakıltaşı ile gelen metakırıntılı birim uyumsuz olarak yer alır. Genellikle metagrovak, metakuvarsit ve sleytten oluşan

birim, aşırı ölçüde deformasyona uğramış ve genel olarak milonitik bir yapı kazanmıştır. Çakıltası düzeyleri milonitik dokulu, kuvars ve plajiyoklastan oluşan hamur içinde deforme granitik çakıllıdır.

Bölgenin temelini oluşturan birimin tabanı çalışma alanı içerisinde gözlenemez. Pamukova Metamorfikleri, inceleme alanında Bakacak Formasyonu ile Eosen yaşlı formasyonlar tarafından uyumsuz olarak örtülür.

#### **2.4.2. Taşköprü formasyonu (Trt)**

Erendil ve diğ. (1991) tarafından Pamukova metamorfikleri içinde değerlendirilen, kumtaşı, silttaşı ve çakıltasından oluşan, birim Bargu ve Sakıncı (1990) tarafından Taşköprü Formasyonu olarak tanımlanmıştır. Birim, Yalova'nın doğusunda Taşköprü civarında yüzeylenir (Şekil 2.2, kırmızı renkli birim). İnceleme alanında birimin tabanı gözlenemez. İnceleme alanı dışında ise, metamorfik istifleri uyumsuz olarak örter (Erendil ve diğ., 1991). Mestriştien yaşlı Bakacak Formasyonu ve Üst Paleosen-Orta Eosen yaşlı İncebel Formasyonu tarafından aşıl uyumsuzlukla örtülür.

#### **2.4.3. Bakacak formasyonu (Kb)**

Birim, inceleme alanı dışında Kılıç Köyü güneyinde yüzeylenir (Şekil 2.2, yeşil renkli birim). İstifin taban seviyeleri, Taşköprü Formasyonuna ait köşeli blok ve çakılları içeren, kalın tabakalı taban çakıltısıyla başlar kumtaşı ile ardalanmalı olarak devam eder. Birim Paleozoyik ve Triyas yaşlı formasyonlar üzerinde uyumsuz olarak bulunmaktadır. Üst Paleosen-Orta Eosen yaşlı İncebel Formasyonu ile uyumlu Miyosen yaşlı Kılıç Formasyonu tarafından uyumsuz olarak örtülür . Birimin yaşı Erendil ve diğ. (1991) tarafından Mestriştien olarak belirlenmiştir.

#### **2.4.4. İncebel formasyonu (Ti)**

Birim, inceleme alanı dışında, Çınarcık İlçesi batısında, Ortaburun Köyü civarlarında Yalova doğusunda Subaşı, Mecidiye, İncebel arasında yüzeyler (Şekil 2.2, pembe renkli birim). İncebel Formasyonu, üzerlediği formasyonların çakıllarından oluşan ve aşındırılmış litolojilerin rengine bağlı olarak mor, gri yada sarı renkli taban çakıltası ile başlar. Genellikle tekdüze bir şekilde kumtaşı, çamurtaşı, marn ve çakıltası ardalanmasıyla devam eder. Alt düzeylerde çakıltası ve kumtaşının hakim olduğu 50-

100 m kalınlıkta bir bölüm vardır. Formasyon, üste doğru köşeli kuvars taneli kireçtaşı ve çamurtaşı aralanmasından oluşan bir istif niteliği kazanır. Bu bölümde yer yer volkanik düzeyler gözlenir. Bunlar, açık renkli tuf ve daha az oranda da andezitik aglomeralardan oluşur. Birimin kalınlığı yaklaşık 1000 m olarak kabul edilmektedir (Göncüoğlu ve diğ., 1992). İncebel Formasyonu üzerinde geçişli olarak Sarısu Formasyonu yer alır. Birimin yaşı fosil bulgularına göre Üst Paleosen-Orta Eosen'dir (Erendil ve diğ., 1991).

#### **2.4.5. Sarısu formasyonu (Ts)**

Birim, inceleme alanında, yaygın olarak Çınarcık güneybatısında Elmalık Köyü güneyinde ise sınırlı bir alanda yüzeyleyir (Şekil 2.2, koyu turuncu birim). Sarısu Formasyonu metamorfik kayalar üzerinde 5-10 m kalınlıkta bir çökel düzeyi ile başlar. Bu düzey çakıltası, çamurtaşı, kumtaşı ve kireçtaşı gibi litolojilerden oluşur. Bu seviye üzerinde yaklaşık 1000 m kalınlıktaki piroklastik kayalar bulunur. Sarısu Formasyonu, Orta Eosen döneminde gelişen bir volkanik yay ürünü olarak değerlendirilir (Göncüoğlu ve diğ., 1992). Birim, metamorfik kayalar ile uyumsuz, İncebel Formasyonu ile geçişlidir. Fıstıklı Graniti tarafından kesilen birim, üstte Kılıç Formasyonu tarafından örtülür.

#### **2.4.6. Kılıç formasyonu (Tk)**

İnceleme alanında en yaygın olarak gözlenen birimdir. Özellikle sırt kesimleri oluşturan birim Çiftlikköy, Kazımiye ve Kılıç Köyleri arasında yüzeyleyir (Şekil 2.2, açık yeşil renkli birim). Birim, laminalı, ince tabakalı, orta-sıkı tutturulmuş kıltaşı, silttaşı, marn ile mercek ve bant şeklinde kumtaşı ve çamurtaşından oluşur. Killer yer yer jips kristallidir. Üst seviyelere doğru marnlar arasında killi kireçtaşlarına rastlanır. Kılıç Formasyonu kendinden daha yaşlı birimler üzerine uyumsuz olarak gelir. Birim, Sarmasiyen yaşındadır (Akartuna, 1968).

#### **2.4.7. Yalakdere formasyonu (Ty)**

Birim, inceleme alanında, Yalova ile Çınarcık arasında, Çınarcık ile Dümbelek Dağı civarlarında ve Yalakdere civarlarında geniş alanlar kaplar (Şekil 2.2, turuncu renkli birim). Kumtaşı, çakıltası, silttaşı, kıltaşı ve çamurtaşından oluşur. Bu seviyeler

birbirleriyle geçişlidir. Birim içerisinde değişik lokasyonlarda kireçtaşı düzeyleri de izlenir. Birimin yaşı Akartuna (1968)'ya göre Ponsiyen-Pliyosen'dir.

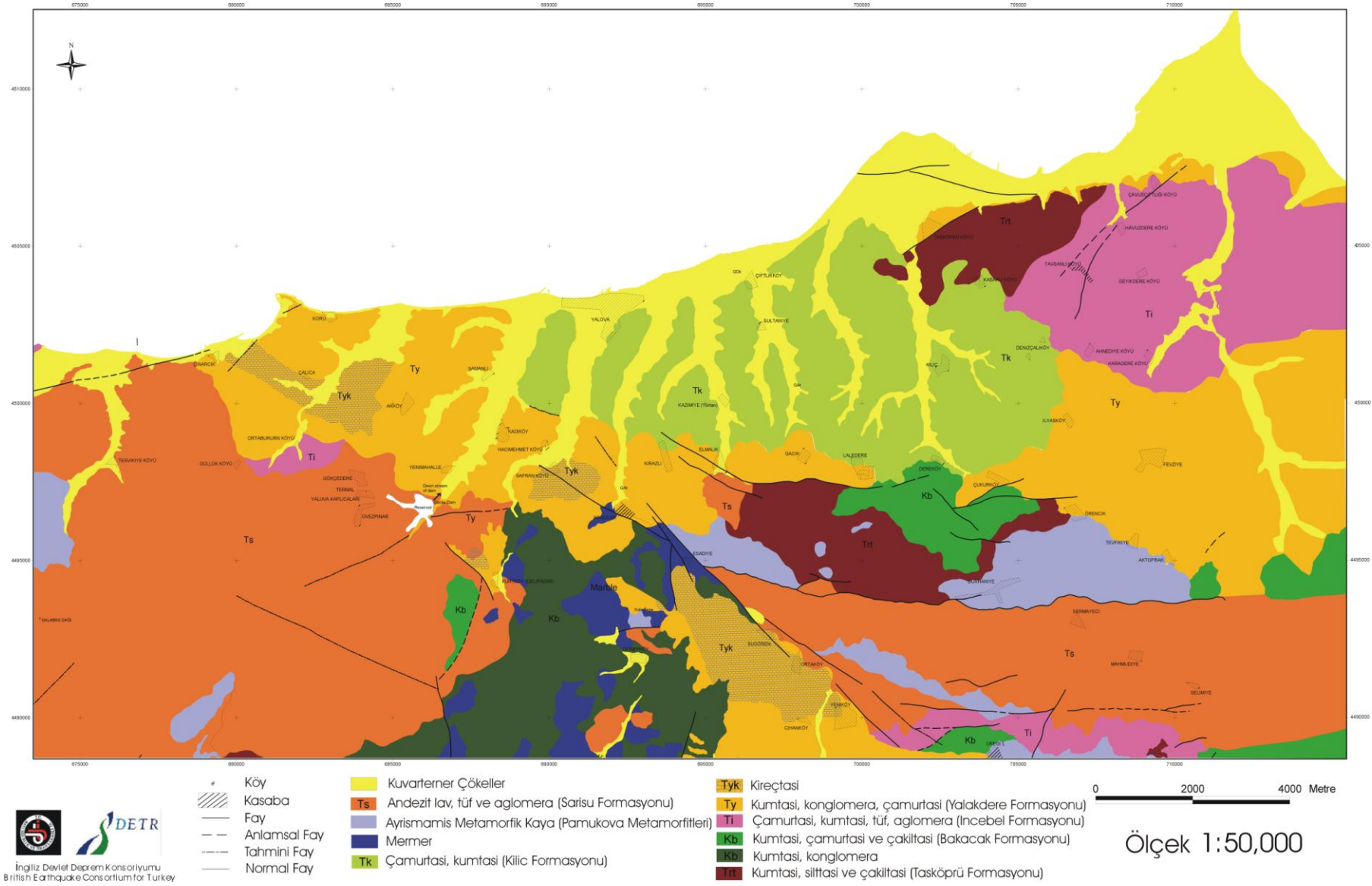
#### **2.4.8. Kireçtaşı üyesi (Tyk)**

İnceleme alanında, Çınarcık İlçesi ile Çalıcı ve Çiftlik köyleri arasında kalan alanda yüzeylenmektedir (Şekil 2.2, turuncu birimlerde kareleri alanlar). Yalakdere Formasyonu'nun kumtaşı, çakıltası, silttaşı, kiltaşlarının üzerinde beyaz, kireçtaşları yer almaktadır. Birim, genellikle yataya yakın konumlu olup, yer yer killi seviyeler içermektedir. Kireçtaşları içerisinde lamelli ve gastropod kavkıları gözlenmektedir. Masif olan kireçtaşlarının alt kesimlerinde tabakalanma iyi gözlenemezken üst seviyelerde belirginlik kazanmaktadır. Kireçtaşı üyesinin kalınlığı değişken olup, yer yer yüz metreye erişmektedir. Yalakdere Formasyonu'nun tabanı çok iyi görülmemekle birlikte önceki araştırmacılar tarafından Kılıç Formasyonu üzerine uyumsuz olarak geldiği belirtilmektedir (Akartuna, 1968; Erendil ve Diğerleri, 1991).

#### **2.4.9. Kuvarterner çökelleri**

İnceleme alanınınında, Altınova-Yalova-Çınarcık kıyı şeridi ve vadi tabanlarında yaygın olan Kuvarterner çökelleri yer almaktadır (Şekil 2.2, sarı renkli birimler). Kuvarterner birimleri denizel seki çökelleri ile kıyı ve akarsu ortamlarında çökelmiş çökel topluluklarından oluşmaktadır. Denizel seki çökelleri Altınova-Yalova arasında kıyı ve gerisindeki düzlükler arkasında, temel kayalardan oluşan yamaç eteklerinde, dağınık halde küçük yüzeyler şeklinde izlenir. Üst seki çökelleri kendinden daha yaşlı birimler üzerine transgresif ve açısal uyumsuzlukla gelmektedir. Üzerinde ise alüvyon çökelleri yer almaktadır. Treniyen fosilleri içeren bu çökeller, Üst Pleyistosen yaşındadır (Sakinç ve Bargu, 1989).





Şekil 2.2: Yalova İli yüzey jeoloji haritası (MTA).

### 3. MALZEME VE YÖNTEM

Zemin tepkisinin belirlenmesi amacıyla gürültü kayıtlarının kullanılması konusunda son yıllarda artan bir ilgi vardır. H/V yöntemi (Nakamura 1989), rezonans frekansını belirleyebilmesindeki başarı dolayısıyla bir çok araştırmacı tarafından (Lachet ve Bard 1995; Goula ve diğ., 1997; Mucciarelli 1998; Lebrun ve diğ., 2001) tercih edilse de, rezonans frekansın genliğini belirlemede aynı başarıyı gösterememektedir (Guillier ve diğ., 2008). Arazi çalışması, üç bileşen bir hız kayıtçısıyla belirli sürede yerin doğal gürültüsünü kaydetme esasına dayanmaktadır. Zeminlerin baskın periyodunun tayin edilebildiği, serim yapılması ve aktif kaynak kullanılması gereken diğer sismik yöntemlere nazaran uygulama, işçilik, zaman ve maliyet açısından çok daha avantajlıdır. Kullanılan ölçüm cihazları pratik ve kolay kurulabilir olduğundan, diğer yöntemlerle ölçü alınamayan yerlerde dahi kolaylıkla ölçü alabilme imkanı sunmaktadır. Ölçü noktalarının sıklığına bağlı olarak, çalışılan bölgelerinin baskın periyot ve büyütme haritalarının kolaylıkla hazırlanabilmesini sağlamaktadır. Yöntem sadece zemin hakim periyodunu belirlemekle kalmayıp, ampirik bağıntılar sayesinde yerin hız yapısının ve anakayaya olan derinliğin de belirlenebilmesini sağlamaktadır.

#### 3.1. ZEMİN TEPKİ FONKSİYONU

Bir deprem meydana geldiğinde, farklı sismik dalgalar kaynaktan itibaren yer içinde değişik hızlarda yayılmaya başlarlar. Bu dalgalar yer yüzeyine eriştiklerinde birkaç saniyeden dakikalara varan sürelerde titreşimler üretirler. Belirli bir yerdeki titreşimin süresi ve şiddeti; depremin büyüklüğüne, kaynaktan uzaklığına, dalgaların yol aldıkları ortamın fiziksel özelliklerine ve o yerin zemin özelliklerine 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, özellikleri ana kayaya göre oldukça farklı olan gevşek tutturulmuş zemin tabakaları içinde gerçekleşir ve bu zemin tabakalarının fiziksel özellikleri yeryüzünde gözlenen titreşimin karakteristiğini büyük ölçüde belirler. Zemin tabakaları, sismik

dalgalar için adeta bir süzgeç gibidir. Bazı frekanslardaki sismik dalgalar sönümlendirilirken 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 adlandırılır. Gelen deprem dalgaları hiçbir zaman tek bir harmonikten oluşmaz, genelde hasar yapıcı özelliğe sahip dalga grubu 0.1 Hz ile 10 Hz arasında bileşenlere sahiptir. Deprem dalgalarının frekans içeriğini kaynaktaki kırılmanın özellikleri belirler, daha sonra yayıldıkları ortamın özellikleri bunu şekillendirir. Yumuşak zemin tabakaları, bu farklı genlik ve frekanslardan oluşan deprem dalgalarının tümüne aynı tepkiyi vermez (Yalçinkaya, 2004).

Yumuşak zeminlerde deprem hareketinin genliğinin artmasının başlıca nedeni zemin ile onun altındaki ana kaya arasındaki sismik empedans farkıdır. Sismik empedans, tanecik hareketine karşı ortam direncinin bir ölçüsü olarak düşünülebilir (Aki ve Richards, 1980). Bir zemin tabakası içinde yayılan düşey S dalgası için sismik empedans ( $z$ ), yoğunluk ( $\rho$ ) ve S dalga hızının ( $V_s$ ) çarpımıdır,

$$z = \rho V_s \quad (3.1)$$

Genellikle yeryüzüne yakın bölgelerde sismik dalga hızları ve yoğunlukları daha küçüktür. Eğer saçılmalar ve sönüm nedeni ile oluşan kayıplar ihmal edilirse, enerjinin korunması ilkesine göre elastik dalga enerjisinin yer yüzüne kadar sabit kalması gerekir. Sismik enerji,  $E(t)$ 'yi

$$E(t) = (1/2).(\rho V_s)v^2(t) \quad (3.2)$$

Formülü ile gösterirsek, dalgalar yer yüzüne yaklaşırken ortam yoğunluğunun ( $\rho$ ) ve S dalga hızının ( $V_s$ ) azalması, yani sismik empedansın küçülmesi nedeni ile enerjinin korunması için tanecik hızının ( $v(t)$ ) artması gerekir (Kramer, 1996).

Anakaya ve zemin arasındaki sismik empedans farkı, sismik dalgaların zemin tabakaları içinde kapanlanmasına neden olur. Yatay olarak tabakalanmış 1 boyutlu, yani fiziksel özelliklerin tek yönde değiştiği zemin modelinde bu kapanlanma sadece zemin tabakası

içinde yukarı aşağı giden cisim dalgalarını etkiler. Zemin modeli 2 veya 3 boyutlu olup yanal süreksizlikleri içeriyorsa kapanlanma aynı zamanda bu süreksizliklerde oluşan yüzey dalgalarını da etkiler. Kapanlanan bu dalgalar arasındaki girişimler rezonans doruklarının oluşmasına yol açar. Rezonans doruklarının frekansı, ana kaya üzerindeki zemin tabakasının kalınlığı ve S dalga hızıyla, yapı 2 veya 3 boyutlu ise genişliğiyle ilişkilidir (Bard ve Bouchon 1985). Bir boyutlu tek tabaka modeli için temel rezonans frekansı aşağıdaki bağıntı ile verilir (Kramer, 1996)

$$f_0 = V_s / 4h \quad (\text{temel frekans}) \quad (3.3)$$

Burada  $V_s$ , tabakanın S dalga hızı,  $h$  ise ana kaya üzerindeki tabakanın kalınlığıdır.

### 3.2. MİKROTREMÖR TANIMI

Mikrotremörler yer içerisindeki düşük genlikli sürekli titreşimlerdir. Bu titreşimleri hem doğal hem de yapay kaynaklar meydana getirebilir. Bunlar oknyus dalgaları, rüzgar, gel- git olabildiği gibi, insan yaşamından kaynaklanan trafik, endüstriyel makineler, sanayi gürültüleri de olabilir. Bu titreşimlerin genlikleri 0.1 mikron ile 1 mikron, periyotları ise 0.05 saniye ve 2 saniye arasında değişir (Kanai ve Tanaka 1954, 1961).

Düşük frekans içeriğine sahip (<1Hz) atmosferik olaylar, gel-git etkisi, jeotermal aktiviteler, okyanus dalgaları yer içerisindeki titreşimleri meydana getiren doğal olaylarken; yüksek frekans (>1Hz) içeriğine sahip trafik, fabrika, makine ve benzeri titreşimler insan kaynaklı meydana gelen gürültülerdir. Bu hareketlerin kaynağı genelde yer üzerinde bulunur ve gece/gündüz, hafta içi/hafta sonu zaman dilimlerinde güçlü değişimler gösterir. Bu gürültülerden doğal kaynaklı olanlara mikroseism, insan kaynaklı yüksek frekanslı olanlarına ise mikrotremör denir (Tablo 3.1).

#### 3.2.1. Mikrotremörlerin İçeriği

Günümüzde mikrotremör yöntemi yaygın olarak kullanılmasına rağmen, mikrotremörlerin dalga içeriği halen netlik kazanmamıştır. Mikrotremör kayıtları hakkındaki birçok gözlem ve deneyim mikrotremörlerin hem cisim hem de yüzey dalgalarından meydana geldiğini göstermektedir. Fakat ne tür dalga hareketinin

mikrotremörleri oluşturduğu hakkında sabit bir teori bulunmamaktadır (Nakamura, 2000).

**Tablo 3.1:** Mikrotremörlerin ve mikroseismlerin kaynak ve dalga yapılarının karşılaştırılması (SESAME 2004'den değiştirilmiştir).

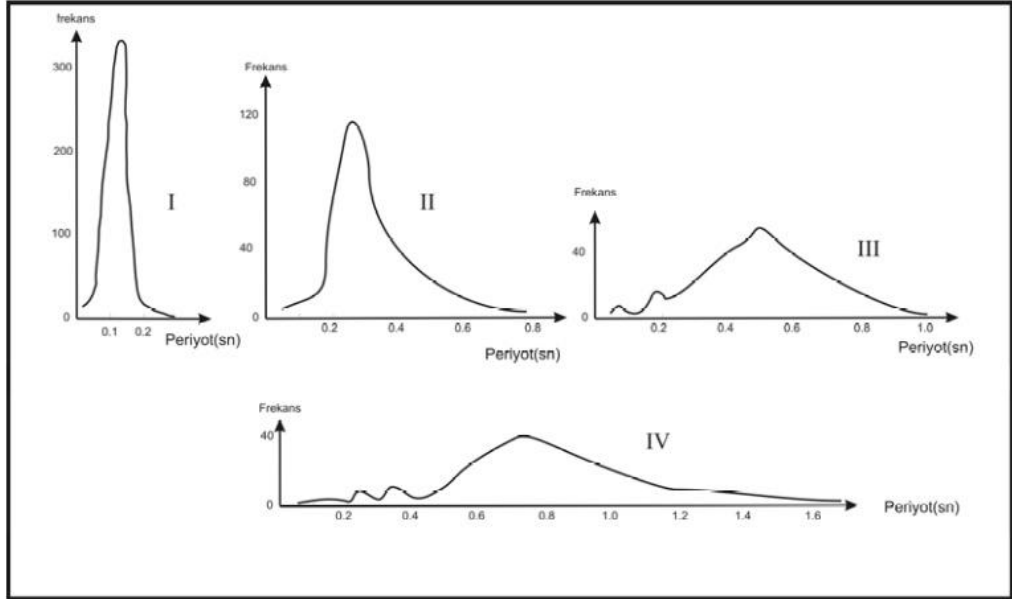
	Doğal Kaynaklı	İnsan Kaynaklı
İsim	Mikroseism	Mikrotremör
<b>Frekans</b>	$0.1 - f_{nh}$ ( $f_{nh}=0.5\text{Hz} - 1\text{ Hz}$ )	$f_{nh} - >10\text{ Hz}$
<b>Köken</b>	Okyanus	Trafik/endüstri/insan aktivitesi
<b>Dalga türü</b>	Yüzey dalgaları	Yüzey+cisim dalgaları
<b>Genlik değişkenliği</b>	Okyanus fırtınalarıyla ilişkili	Gece/gündüz, hafta içi/hafta sonu
<b>Rayleigh/Love</b>	Gelen dalga içeriği baskın olarak Rayleigh dalgasıdır.	Karşılaştırılabilir genliklere sahiptir. Love dalgaları nispeten daha çok enerji taşır
<b>Temel/Yüksek Mod</b>	Çoğunlukla temel mod	Yüksek frekanslarda yüksek modların olasılığı vardır (en az 2 tabaka durumu için)
<b>Diğer yorumlar</b>	yerel dalga içeriği gelen dalga içeriğinden farklı olabilir	Bazı (monochromatic) tekdüze dalgalar çalışan makinelerle ilişkilidir.

Nakamura (1989), mikrotremörlerin Rayleigh dalgalarının oluşturduğunu öne sürmüştür. Nogoshi ve İgarashi (1971) çalışmalarında mikrotremörün Rayleigh dalgalarından oluştuğunu belirtmişlerdir. Bazı teorik çalışmalar (Lachet ve Bard, 1994; Konno ve Ohmachi, 1998; Bard, 1998) H/V eğrilerindeki doruğun Rayleigh dalgalarının hakim moduyla açıklanabileceğini ileri sürmüştür.

Kanai ve Tanaka (1961), mikrotremörlerin zemin tabakalarındaki S dalgasının tekrarlı yansımaları sonucunda ortaya çıktığını belirtmiştir. Kanai (1983) mikrotremörlerin düşeyde polarize olmuş S dalgalarından oluştuğunu kabul ederek yapmış oldukları çalışmada deprem kayıtları ile benzerlikler saptamışlardır. Ancak, bu yaklaşım diğer araştırmacılar tarafından kabul görmemiştir (Irikura ve Kawanaka, 1980; Horike, 1985; Matsushima ve Okada, 1990; Milana ve diğ., 1996). Aki (1957), mikrotremörleri yüzey dalgaları ile ilişkilendirmiştir.

### 3.2.2. Mikrotremörlerin Genlik Dağılımları

Kanai ve Tanaka (1961), yer yapısının karmaşık olmadığı ve tek tabakalı olduğu durumlarda mikrotremor verilerinin spektrumunda, 0.1 sn ile 0.6 sn arasında bir doruk oluştuğunu belirtmişlerdir. Yer yapısının karmaşık olduğu durumlarda birden fazla doruk görülmektedir. Bu doruklar 0.2 sn'den kısa ve 1 sn'den uzun periyotlarda gözlenmektedir. Örtü tabakasının olmadığı ya da çok az olduğu yerlerde, örneğin dağlık bir bölgede mikrotremörlerin periyotları 0.1- 0.2 sn değerlerinde doruklar vermektedir. Akarsu kaynaklı yerlerde ise 0.2-0.4 saniyelerde doruklar gözlenmektedir. Alüvyonal yerlerde ise Kanai ve Tanaka (1961), Japonya'da 0.4-0.8 sn civarında düzgün dağılımı olmayan birden fazla doruk içeren spektrumlar gözlemiştir. Genellikle kalın ve yumuşak örtü tabakalı yerlerde eğri düz bir şekil alırken 0.05-0.1'den 1-2 saniyeye kadar bir dağılım göstermektedir (Şekil 3.1). Tabakalı ortamlarda periyot dağılım eğrileri çoğunlukla en üst tabakanın özelliklerinden etkilenmektedir (Kanai ve Tanaka, 1961).



**Şekil 3.1:** Farklı zeminler için örnek periyot dağılım eğrileri (Kanai ve Tanaka, 1961).

Şekil 3.1'de görüldüğü gibi Kanai zeminleri periyot eğrilerine göre 4 farklı şekilde sınıflamıştır. Bu sınıflamada I no'lu eğri için zeminin, kaya, sert kumlu çakıl vb. birimler ihtiva eden tersiyer ya da daha yaşlı tabakalardan oluştuğunu, II no' lu eğride

zeminin, kumlu çakıl, kumlu sert kil vb. birimler içerdiği ve ince alüvyon tabakalardan oluştuğunu öne sürmüştür. III no' lu eğrinin ise kalınlığı 30 m 'ye kadar olan alüvyon tabakalardan oluşmuş zeminleri ve son olarak IV no' lu gruba giren eğri tipinin, yumuşak vadi dolguları, 30 m' den fazla kalınlıktaki alüvyonal tabakalardan oluşan zemini temsil ettiğini belirtmiştir.

### **3.2.3. Mikrotremor Kayıtlarının Değerlendirilmesi**

Mikrotremör verilerinin değerlendirilmesinde birçok yöntem bulunmaktadır. Bu çalışmada Nakamura (1989) yöntemi kullanılmıştır. Yaygın olarak kullanılan dört adet yöntem aşağıdaki gibidir.

1. Fourier genliklerinin veya güç spektrumlarının yorumlanması
2. Referans noktasına göre spektral oran
3. Yatay bileşenin düşey bileşene spektral oranı (Nakamura, 1989)
4. Sıfır Kesme (Kanai, 1961)

yöntemleridir.

#### *3.2.3.1. Fourier Genliklerinin veya Güç Spektrumlarının Yorumlanması*

Mikrotremör verilerinin analiz edildiği birçok çalışmada spektral genliklerin yorumlamasına başvurulmuştur (Kanai ve Tanaka, 1954; Kobayashi ve diğ., 1986 ). Bu yöntemle göre, eldeki kaydın fourier dönüşümlerinden genlik spektrumları elde edilir. Bu spektrumlar bize dalganın bileşenlerinin frekans içeriğini gösterir. En büyük genliği veren frekans baskın frekans olarak belirlenir. Güç spektrumu alındığında ise, güç spektrumu genlik spektrumunun karesi olduğundan, 1'den büyük genlikler büyütülürken, 1'den küçük genlikler küçültülmüş olacaktır. Böylece en büyük genlikler daha belirgin olacak ve baskın frekansın belirginliği artacaktır. Bu yöntemin kullanıldığı birkaç çalışma haricinde (Kobayashi ve diğ., 1991; Gutierrez ve Singh, 1992) kayıtların bu teknik ile değerlendirilmesi çok tercih edilmemektedir.

### 3.2.3.2. Referans Noktasına Göre Spektral Oran Yöntemi

Referans noktasına göre spektral oran yönteminde, iki ayrı noktada alınan ölçüler kullanılır. Bu noktalardan biri anakaya üzerinde olan referans noktası, diğeri yumuşak zemin üzerindeki ölçü noktasıdır. Kuvvetli ve zayıf yer hareketi değerlendirmesinde yaygın olarak kullanılan bu yöntemde referans nokta ve yumuşak zeminde alınan ölçümlerden ortak bir pencere seçilir. Bu seçimde genellikle sismogramın S dalgası kısmı seçilerek bunların yuvarlatılmış Fourier genlik spektrumlarının oranı alınır. Bu oran referans noktası ile yumuşak zemin arasındaki transfer fonksiyonunu verir.

Bu teknik, mikrotremölere Kagami ve diğ., (1986) tarafından uygulanmış ve olumlu sonuçlar bulunmuştur. Ancak Seo (1992) tarafından olumlu sonuçlar elde edilememiştir.

Referans noktasına göre spektral oran yönteminin uygulanmasında karşılaşılan temel problem, her iki istasyon için ortak dalga silsilesini belirleme güçlüğüdür. Bu sorun iki yolla giderilebilir. Birinci yol, sismogramdaki görünüme bakmaksızın belli bir zaman penceresi almaktır. İkinci yol ise, birçok pencere alınarak bunların ortalamalarının herhangi bir zamanda hareketi gösterdiği kabul edilir (Lermo ve Chavez-Garcia, 1994).

### 3.2.3.3. Sıfır Kesme (Kanai) Yöntemi

Kanai tarafından önerilen sıfır kesme yönteminde mikrotremor kaydından alınan bölüm için, sıfır eksenini kestiği zamanlar arasındaki farkın iki katı, olarak kabul edilmektedir. Bulunan lar yatay ekseninde, her bir periyoda ait yineleme sayıları (frekansı) düşey ekseninde işaretlenerek dağılım eğrisi oluşturulur. Bu dağılım eğrisinin doruk noktasına karşılık gelen, en çok tekrarlanan olup baskın periyodu verecektir.

### 3.2.3.4. Nakamura Yöntemi

Mikrotremor verisi kullanılarak temel kaya üzerinde yer alan bir zeminin hakim frekansını belirlemek için kullanılan yatay/düşey (H/V) spektral oran yöntemi Nakamura (1989) tarafından geliştirilmiştir.



H/V spektral oran tekniğinin hala hazırda net bir açıklaması olmasa da belli kabuller yapılarak kısaca şu şekilde açıklanabilir (Bour ve diğ., 1998; Delgado ve diğ., 2000).

Temel kaya üzerinde yer alan bir sedimanter tabakanın transfer fonksiyonu, sediman üzerinde elde edilen yatay bileşenin spektrumu,  $H_S$ , ile yakın civarda bulunan temel kaya üzerinde kaydedilen yatay bileşenin spektrumu,  $H_B$ , oranlarından hesaplanabilmektedir (Şekil 3.2).

$$S_1(f) = H_S(f)/H_B(f) \quad (3.4)$$

$S_1(f)$  transfer fonksiyonu mikrotremor veya deprem kayıtlarından belirlenebilmektedir. Mikrotremor verisi kullanıldığında aşağıdaki varsayımlar kabul edilmektedir.

Mikrotremor verileri şehir trafiği ve endüstri kaynaklı yüksek frekanslı gürültülerin yanında rüzgar, okyanus ve deniz dalgaları tarafından yaratılan uzun periyotlu gürültüleri de içermektedir.

Gürültü kökenli Rayleigh dalgaları temel kaya üzerinde yer alan sediman tabakası içinde oluşmakta ve yayınmaktadır. Rayleigh dalgaları sadece sediman üzerinde kaydedilen düşey bileşen ( $V_S$ ) tarafından gözlenmekte, temel kaya üzerindeki düşey bileşende ( $V_B$ ) ise gözlenmemektedir.

$$S_{RW}(f) = V_S(f)/V_B(f) \quad (3.5)$$

Mikrotremor verisinde düşey bileşen zemin tarafından büyütülmediği varsayılmaktadır.

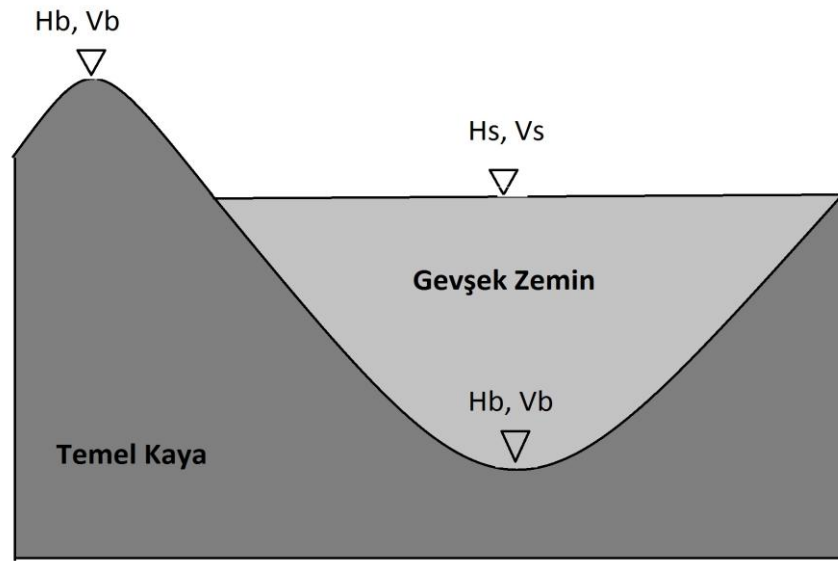
Temel kayada geniş bir frekans aralığında (0.1-10 Hz) yatay ve düşey bileşenlerin spektral oranı 1'e çok yakındır.

$$H_B(f)/V_B(f) \approx 1 \quad (3.6)$$

$S_1(f)/S_{RW}(f)$  oranı Rayleigh dalgalarının etkisini elemine eder ve bu şekilde zeminin transfer fonksiyonu belirlenmektedir.

$$S_1(f)/S_{RW}(f) = H_S/V_S \quad (3.7)$$

Yukarıdaki son ifade (3.7), 3-bileşenli tek bir sismograf kullanılarak yatay ve düşey bileşenlerin spektral oranlarından zemin transfer fonksiyonunun, yani, zemin hakim periyodunun kolayca belirlenebileceğini göstermektedir.



**Şekil 3.2:** Nakamura (1989) tarafından önerilen H/V yöntemini temsil eden basit bir yer modeli.

## 4. BULGULAR

Yalova ve çevresinde dört farklı zamanda ( Ekim 2009 ve Ocak, Nisan, Temmuz 2010), toplam 81 noktada CGM 6-TD yarı Broadband Sismometre kullanılarak, yerel zemin koşullarını belirlemek amacıyla mikrotremör ölçümleri yapılmıştır. 100Hz örnekleme frekansı ile 30dk uzunluklarda ölçüler yapılmıştır. Düzensiz gürültülerin yoğun olduğu şehir merkezi ve yakın noktalarında ölçüler gece saatlerinde alınmıştır. Bazı noktaların kayıtları rüzgar, sarkaç kilitlemesi gibi nedenlerden dolayı verilerdeki bozukluk sebebiyle değerlendirilmeye alınamamıştır. Çoğunlukla verilerden bozucu etkiler giderilerek H/V hesaplanmıştır.

Veri işlem aşamasında sonuçların güvenilir olup olmadığı, elde edilen baskın peryodların H/V eğrilerinin, belirgin doruk olup olmadığı SESAME Projesi'nin (Bard ve SESAME-Takımı 2004) ortaya koyduğu kriterlere göre denetlenmiştir.

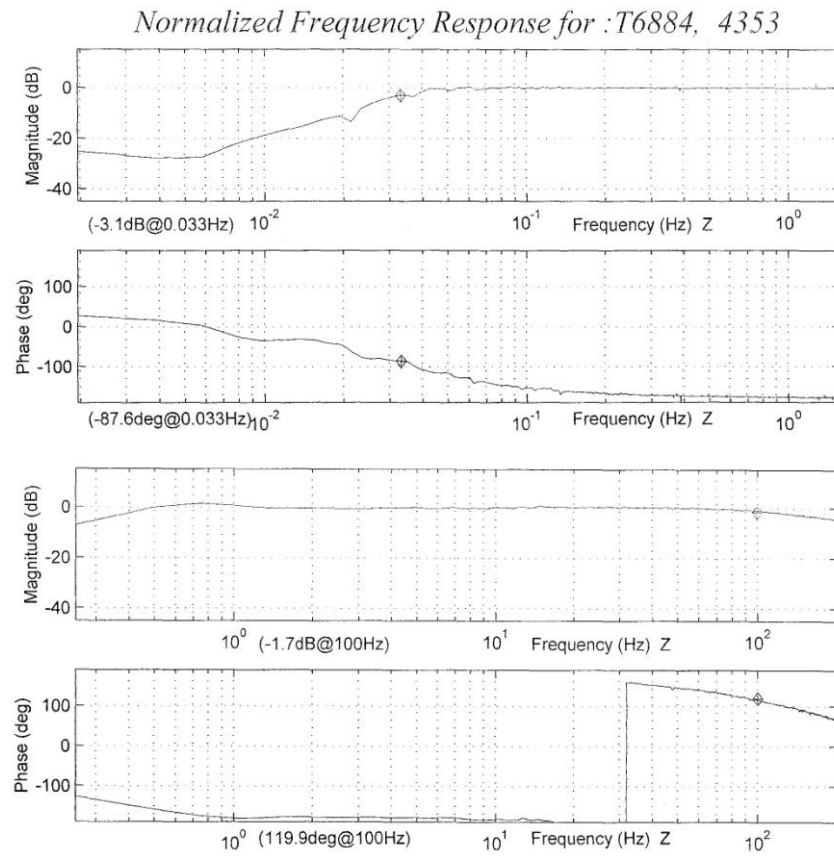
### 4.1. KULLANILAN KAYIT CİHAZI

(Mucciarelli 1998, Guillier ve diğ., 2008) yapmış oldukları çalışmalarda mikrotremör kayıtlarının ivme ölçerlerle değil, hız kayıtçılarıyla yapılmalarını tavsiye etmişlerdir. Bunun sebebi ivme kayıtçılarının gürültü kayıtlarına düşük hassasiyet göstermesidir. Bu nedenle arazi çalışması boyunca kayıt toplamak için Güralp Systems CMG-6TD Dijital yarı Broadband hız kayıtçısı kullanılmıştır.

CMG-6TD 3 ayaklı, su geçirmez dayanıklı bir muhafaza içerisinde, geniş bir frekans aralığında (standart olarak 0.033Hz-50Hz) yer hareketini kaydedebilen, 3 bileşenli bir hız kayıtçısıdır (Şekil 4.1). CMG-6TD kaydedilen yer hareketini, kendi içerisindeki 24-bit sayısallaştırıcı sayesinde maksimum uyumla dijital dataya dönüştürebilmektedir. Kaliteli kayıt elde edebilmek için yatay ve sert yüzeyler üzerine ayakların tam temas etmesi ve bu şekilde ölçü alınması üretici tarafından tavsiye edilmektedir. Üzerinde bulunan kuzey oku aletin doğru yönde kurulumunu sağlamaktadır. Ölçü alınan yüzeyde



**Şekil 4.1:** CMG-6TD yarı Broadband kayıtcısı ve ekipmanları (Güralp System Manual, 2006).



**Şekil 4.2:** Kullanılan cihaza ait tepki spektrumu (Güralp Systems Test ve Kalibrasyon Verileri, 2006).

eğim olduğu takdirde aletin üzerindeki denge terazisine bakılarak ayaklarından ayar yapmak mümkündür. 6TD 10-28 V'luk enerji ile otomatik olarak kayıt almaya başlamaktadır. Eğer kayıt esnasında alet bilgisayara bağlanırsa Scream programı ile kayıt eşzamanlı görüntülenebilmektedir. 6TD kayıt zamanını UTC birimi olarak göstermektedir ve istenirse alete bağlanan GPS ile bu saat güncellenebilmektedir. 6TD kendi içerisinde dahili termometresi ile alet içi sensor sıcaklığını  $\pm 0.33^\circ$  doğrulukla belirleyebilmektedir. 6TD dahili 16gb flash belleğe sahip olup bu bellekten kullanılan miktar kayıt süresi ve örnekleme aralığına bağlı olarak değişmektedir. Arazide kayıt tamamlandıktan sonra flash bellekteki datalar SCSI disk yardımıyla aletten çekilebilmektedir. 6TD'nin standart frekans aralığı 0.033Hz-50Hz olup 10/30/60sn-100Hz frekans aralığında broadband kayıt yapabilmektedir. Şekil 4.2'de aletin tepki spektrumu görülmektedir. Örnekleme aralığı çıkış hassasiyeti 2000m/s olup tercih edilen örnekleme aralığı ayarlanabilmektedir. Ayrıca STA/LTA tetikleme özelliği sayesinde triggering değerlerine müdahale edilebilmektedir. 6TD broadband kayıt alma özelliği yanında istenildiğinde 1sn tepkiyle kısa periyot ölçü alma imkanı sunmaktadır (Güralp System Manual, 2006).

#### 4.2. ARAZİ ÇALIŞMASI

Yalova Merkez ve çevresinde (Altınova, Çiftlikköy, Yalova, Çınarcık) toplam 81 noktada mikrotremör ölçümü yapılmıştır. Ölçü noktalarına, o noktayı anımsatacak isimler verilmiştir. Ölçü noktalarının isimleri ve koordinat bilgileri Tablo 4.1'de görülmektedir. Şekil 4.3'deki haritada ölçü noktaları, noktalara verilen isimleriyle görülmektedir. Bazı noktaların H/V eğrilerinde düşük frekanslarda bulunan saçılmaların alet etkisinden kaynaklı olabileceği düşünüldüğünden 81 noktanın 11 tanesinde eşzamanlı olarak hem geniş bant (0.033 Hz-50Hz) hem de kısa periyot (1Hz-50Hz) sismometre ile ölçü alınmıştır. Kayıtlar toplanırken 100 Hz örnekleme aralığı kullanılarak çevresel şartlara bağlı olarak 25-30dk ölçü alınmaya çalışılmıştır. Ölçümler yakın alan gürültüsünün fazla olduğu şehir merkezinde, gürültünün en az olduğu gece saatlerinde yapılmıştır. Arazi çalışmasında Şekil 4.4'de bulunan ölçü karnesi kullanılarak çevre koşulları ile ilgili bilgiler not edilmiştir. Bunun amacı H/V sonuçlarında bozucu etkilerle karşılaşılması halinde ölçü karnesine bakılarak muhtemel sebeplerin ortaya konulmasıdır. Ölçümler 2009 Ekim ayında 34 noktada, 2010 Ocak

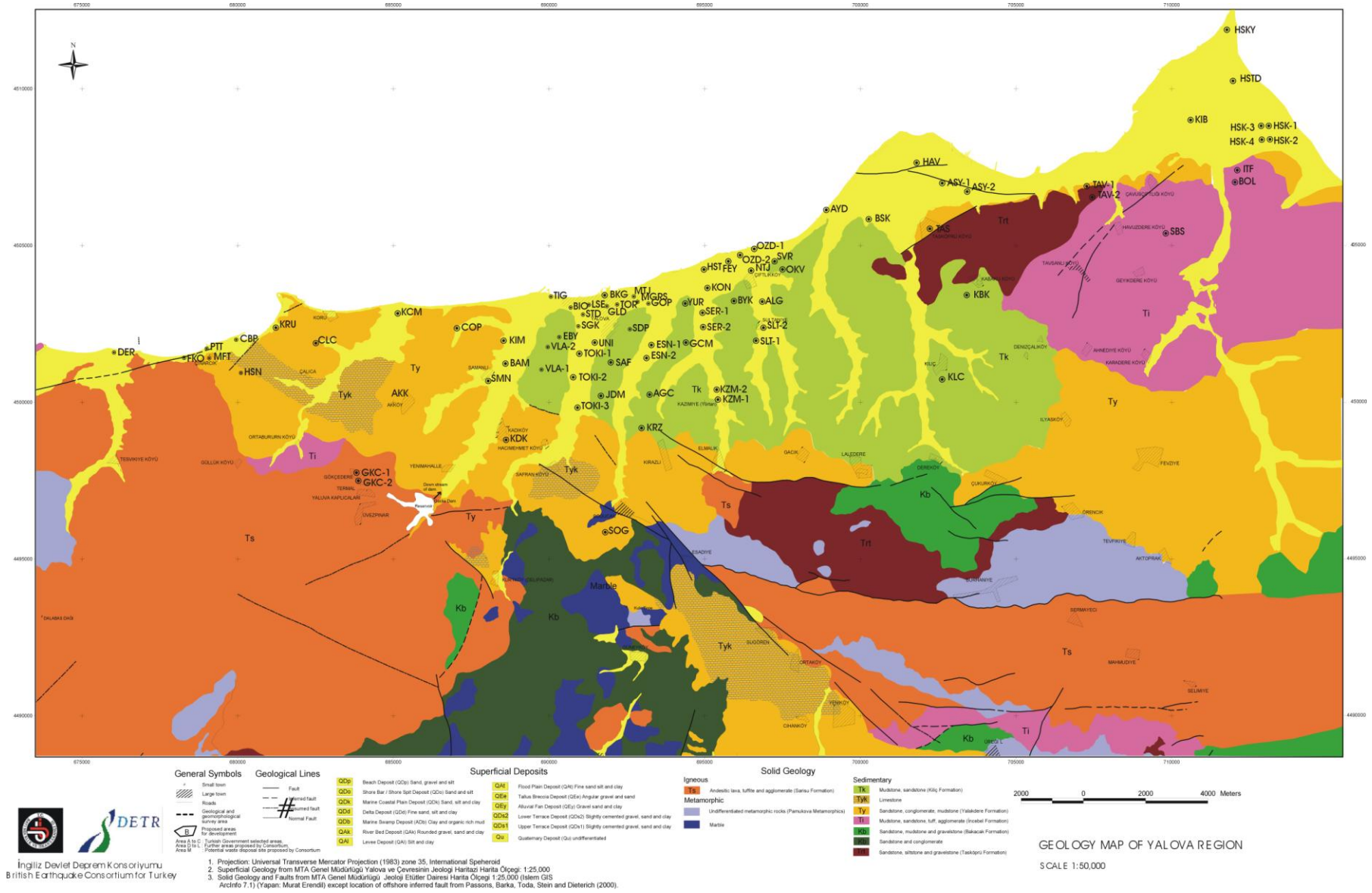
ayında 17 noktada, 2010 Nisan ayında 19 noktada, 2010 Temmuz ayında 11 noktada olmak üzere toplam 4 seferde yapılmıştır. Arazi çalışması esnasında SESAME Projesi (SESAME Takımı ve Bard, 2004; Chatelain ve diğ., 2008)'nin çevresel şartların H/V sonuçları üzerindeki etkilerini inceleyen çalışmaları dikkate alınmıştır. Bu çalışmada gürültü kayıtlarından hesaplanan H/V sonuçları üzerindeki alet, zemin, hava durumu, çevre etkileri v.b deneysel koşullar incelenirken, tahmin edilen hakim frekans için kayıt yapılması gereken süre hakkında da öneriler bulunmaktadır. Ortaya koyulan bütün sonuçlar Tablo 4.2'de özetlenmiştir.

**Tablo 4.1:** Ölçü noktaları ve koordinatları tablosu

İstasyon Adı	Enlem	Boylam	İstasyon Adı	Enlem	Boylam	İstasyon Adı	Enlem	Boylam
HSK-1	40.7024	29.5237	SLT-2	40.6496	29.3298	STD	40.6529	29.2601
HSK-2	40.7024	29.5267	FEY	40.6659	29.3165	SGK	40.6490	29.2580
HSK-3	40.6994	29.5237	BYK	40.6549	29.3190	UNI	40.6440	29.2640
HSK-4	40.6994	29.5267	HST	40.6659	29.3114	TOKI-1	40.6425	29.2601
HSTD	40.7137	29.5116	KON	40.6599	29.3107	TOKI-2	40.6351	29.2562
HSKY	40.7306	29.5102	SER-1	40.6517	29.3041	TOKI-3	40.6263	29.2572
KIB	40.7024	29.4932	SER-2	40.6538	29.3056	EBY	40.6472	29.2509
BOL	40.6891	29.5087	KZM-1	40.6260	29.3130	VLA-1	40.6402	29.2463
ITF	40.6908	29.5108	KZM-2	40.6273	29.3118	VLA-2	40.6452	29.2482
SBS	40.6730	29.4830	YUR	40.6556	29.2977	KDK	40.6180	29.2300
TAV-1	40.6860	29.4544	GCM	40.6443	29.2965	TIG	40.6578	29.2485
TAV-2	40.6830	29.4565	AGC	40.6303	29.2862	KIM	40.6454	29.2315
HAV	40.6934	29.3920	KRZ	40.6190	29.2810	BAM	40.6385	29.2299
ASY-1	40.6881	29.3981	GOP	40.6560	29.2876	SMN	40.6350	29.2240
ASY-2	40.6885	29.3967	ESN-1	40.6434	29.2860	COP	40.6497	29.2136
TAS	40.6747	29.3952	ESN-2	40.6424	29.2853	KCM	40.6546	29.1881
KBK	40.6550	29.4060	MTJ	40.6570	29.2800	AKK	40.6280	29.1890
KLC	40.6330	29.3970	MGRS	40.6560	29.2820	GKC-1	40.6093	29.1722
BSK	40.6765	29.3701	SDP	40.6487	29.2782	GKC-2	40.6093	29.1752
AYD	40.6806	29.3532	SAF	40.6384	29.2711	CLC	40.6445	29.1576
SVR	40.6690	29.3340	JDM	40.6282	29.2672	KRU	40.6518	29.1429
OKV	40.6643	29.3376	SOG	40.5911	29.2658	CBP	40.6477	29.1270
OZD-1	40.6669	29.3224	BKG	40.6579	29.2699	MFT	40.6429	29.1185
OZD-2	40.6679	29.3237	GLD	40.6551	29.2698	HSB	40.6380	29.1290
NTJ	40.6641	29.3259	TOR	40.6551	29.2739	PTT	40.6457	29.1173
ALG	40.6557	29.3288	LSE	40.6550	29.2630	FKO	40.6429	29.1059
SLT-1	40.6432	29.3264	BIO	40.6547	29.2578	DER	40.6447	29.0816

**Tablo 4.2:** Arazide mikrotremör ölçümü yapılırken dikkat edilmesi gerekenler (SESAME, 2004’den değiştirilmiştir).

Parametre tipi	Temel Öneriler	
Kayıt Süresi	Minimum beklenen $f_0$ [Hz]	Önerilen minimum kayıt süresi [dk]
	0.2	30'
	0.5	20'
	1	10'
	2	5'
	5	3'
	10	2'
Ölçü noktaları arası mesafe	<p>→<u>Mikrobölgeleme</u>: İki nokta arasında geniş boşluklar (örneğin 500m) seçilerek karelaajlama yapılır. Yanal değişimlerin gözlemlendiği durumlarda noktalar arası mesafe daha az tutulur (Örneğin 250m).</p> <p>→<u>Tek Nokta Kaydı</u>: Hiçbir zaman, <math>f_0</math> elde etmek için tek ölçü noktası kullanmayın, en az 3 noktada ölçü alın.</p>	
Kayıt Parametreleri	→Gain seviyesini mümkün olduğunca maksimumda tutun.	
Zemin-sensör teması (direk)	→Mümkün olduğunda cihazı, yere direk temas edecek şekilde yerleştirin. Aleti yumuşak zeminler (çamur, sürülmüş toprak, uzun çim v.b) veya yağmur sonrası suya doymuş zeminler üzerine kurmaktan kaçının.	
Zemin sensör teması (ara cisim)	<p>→Yumuşak maddelerden yapılmış (sünger, strofor v.b) plakalar kullanmayın</p> <p>→Cihazın dengelenemediği eğimli yüzeylerde aleti toprağa gömün veya kumla doldurulmuş bir kabın içine koyun.</p> <p>→Kar veya buz zemin üzerinde metal yada tahta bir plaka kullanın. Aletin zemine temas eden ayaklarının altında erimeler aletin dengesini bozacaktır.</p>	
Çevre yapılar	<p>→5m/sn'den hızlı esen rüzgar varsa bina, ağaç, gibi yapıların yakınında ölçü almaktan kaçınılmalıdır. Bu etki H/V eğrilerinde düşük frekanslarda bozucu etkiler meydana getirmektedir.</p> <p>→Yeraltı otoparkı, kuyu gibi yeraltı yapılarının üzerinde ölçü almaktan kaçınılmalıdır.</p>	
Hava Şartları	<p>→<u>Rüzgar</u>: Sensörü rüzgardan koruyunuz (5m/s'den fazla ise). Eğer çevrede yapı yoksa bu yararlı olacaktır.</p> <p>→<u>Yağmur</u>: Şiddetli yağmur altında ölçü almaktan kaçının. Kuvvetli olmayan yağmurun bir etkisi bulunmamaktadır.</p> <p>→<u>Sıcaklık</u>: Aletin kullanım klavuzuna bakınız.</p> <p>→<u>Meteorolojik koşullar</u>: Meteorolojik koşullar arazi ölçüm karnesine işlenmelidir.</p>	
Gürültüler	<p>→<u>Tekdüze (Monochromatic) kaynaklar</u>: yapı makineleri, endüstriyel makineler, pompalar, jeneratörler gibi aletlere yakın yerlerde ölçüm yapmayın</p> <p>→<u>Kısa Süreli Gürültüler</u>: İnsan yürüyüşü veya trafik gibi etkisi kısa süren gürültülü alanlarda kayıt süresini uzun tutarak değerlendirme için yeterli pencere seçilmesine izin verin.</p>	



Şekil 4.3: 81 ölçü noktası, noktalara verilen isimleri gösterir harita.



TARİH		SAAT		YER	
OPERATÖR			GPS TİPİ		
ENLEM		BOYLAM		YÜKSEKLİK	
İSTASYON		SENSÖR TİPİ		CİHAZIN ADI	
DOSYA ADI					
GENLİK ÇARPANI (GAIN)		ÖRNEKLEME FREK..		Hz	KAYIT SÜRESİ
HAVA ŞARTLARI		RÜZGAR		Ölçüm (varsa)	
		YAĞMUR		Ölçüm (varsa)	
ZEMİN TÜRÜ		Toprak		Çim	
		Sert		Kısa	
		Geveşek		Uzun	
		Çakıl			
		Kum			
		Kaya			
		Diğer			
ALET-ZEMİN ARASINDA PLAKA		Yok		Var, cinsi	
ÇEVRE YAPILAR		Yok		Dağınık	
		Sık		Diğer, tipi	
KISA SÜRELİ GÜRÜLTÜLER		Yok		Var, türü	
		Seyrek		Orta sıklık	
		Sık		Çok sık	
		Uzaklık			
Araba				5-10m	
Kamyon/tr				100m	
İnsan (yürüyen)				1-10m	
Diğer					
GÖZLEM NOTLARI		HAKİM FREKANS:		Hz	
		(eğer arazide hesaplandıysa)			

TARİH		SAAT		YER	
OPERATÖR			GPS TİPİ		
ENLEM		BOYLAM		YÜKSEKLİK	
İSTASYON		SENSÖR TİPİ		CİHAZIN ADI	
DOSYA ADI					
GENLİK ÇARPANI (GAIN)		ÖRNEKLEME FREK..		Hz	KAYIT SÜRESİ
HAVA ŞARTLARI		RÜZGAR		Ölçüm (varsa)	
		YAĞMUR		Ölçüm (varsa)	
ZEMİN TÜRÜ		Toprak		Çim	
		Sert		Kısa	
		Geveşek		Uzun	
		Çakıl			
		Kum			
		Kaya			
		Diğer			
ALET-ZEMİN ARASINDA PLAKA		Yok		Var, cinsi	
ÇEVRE YAPILAR		Yok		Dağınık	
		Sık		Diğer, tipi	
KISA SÜRELİ GÜRÜLTÜLER		Yok		Var, türü	
		Seyrek		Orta sıklık	
		Sık		Çok sık	
		Uzaklık			
Araba				5-10m	
Kamyon/tr				100m	
İnsan (yürüyen)				1-10m	
Diğer					
GÖZLEM NOTLARI		HAKİM FREKANS:		Hz	
		(eğer arazide hesaplandıysa)			

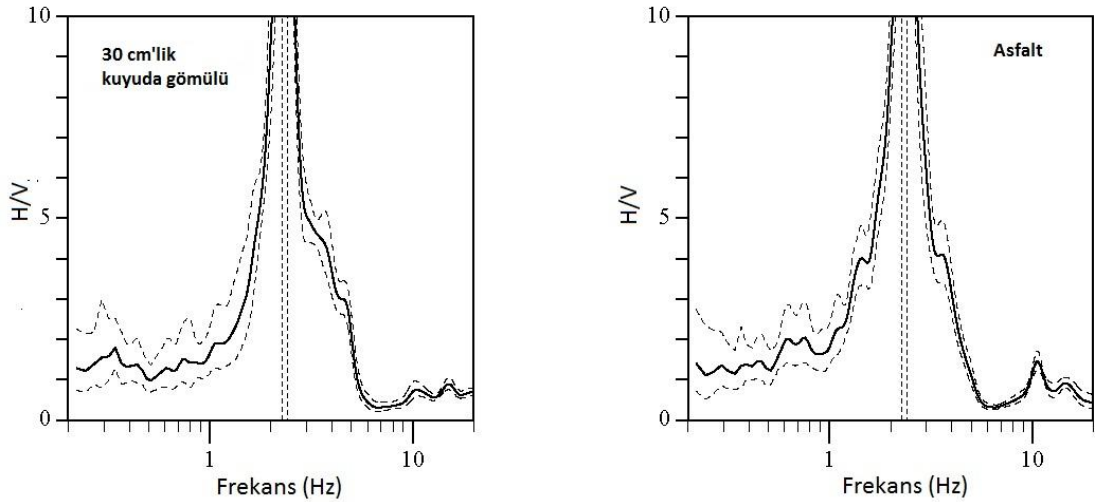
Karamürsel-Yalova yolu Yalova istikametinde sağ tarafta bulunan Özdelek mağazasından içeri girildi  
Anayola uzaklığımız 100m civarında. Ölçü noktası arasokakta ancak seyrek araç ve yaya geçişleri mevcut.  
Hava karardı. Hafif serin.

**Şekil 4.4:** Arazide kullanılan ölçü karnesi. Sol tarafda boş olarak, sağ tarafda doldurulmuş örnek karne (SESAME, 2004'den değiştirilmiştir).

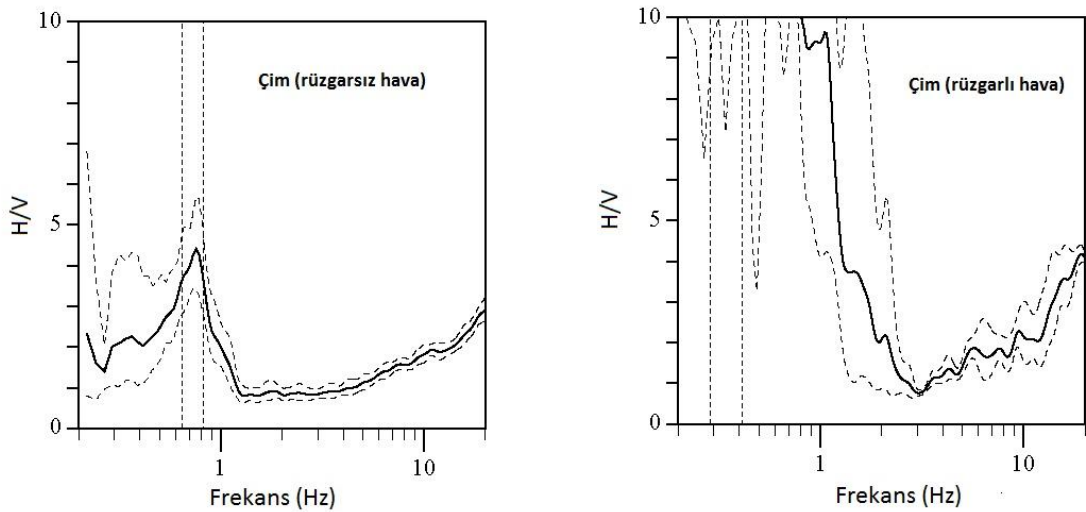
Chatelain ve diğ. (2008) yapmış oldukları çalışmalarda zemin, hava, gürültü kaynaklarının değişkenliğinin H/V sonuçları üzerindeki etkilerini ortaya koymuşlardır. Buna göre;

- Asfalt zemin üzerinde ölçüm yapmak H/V eğrilerinde bir değişikliğe yol açmaz (Chatelain ve diğ., 2008). Mucciarelli (1998) yapmış olduğu çalışmada asfalt zeminin 5 Hz civarında keskin doruk meydana getirdiğini ortaya koymuştur. Ancak böyle bir etki Chatelain ve diğ., (2008)'de görülmemektedir. Şekil 4.5'de asfalt üzerinde ve 30cm'lik açılmış kuyu içerisine konan aletle alınmış kayıtların karşılaştırılması mevcuttur. Görüldüğü gibi 2 eğri arasında belirgin bir fark bulunmamaktadır.
- Çim, asfalt, beton türü zeminin rüzgar olmadığı takdirde H/V eğrilerine bir etkisi bulunmamaktadır. Ancak rüzgarlı bir havada çim zeminde ölçüm yapmak, özellikle düşük frekans bölgelerinde tavsiye edilmemektedir. Çünkü bu durum düşük frekanslarda saçılmaları neden olacaktır (Chatelain ve diğ., 2008). Şekil 4.6'da rüzgarlı ve rüzgarsız havada çim üzerinde alınan ölçüm sonuçları karşılaştırılmaktadır. Görüldüğü gibi rüzgarlı havada düşük frekanslarda saçılmalar meydana gelmektedir. Özellikle rüzgarlı havalarda zemine bağlı etkilerden kaçınılmak isteniyorsa bir kuyu açılıp, alet kıpırdamayacak şekilde ölçü alınması daha doğru H/V sonuçları elde etmemizi sağlayacaktır. Şekil 4.7'de ise rüzgarlı havada asfalt zemin ile 30 cm'lik açılmış kuyu içerisinde alınan kayıt sonuçları karşılaştırılmaktadır. Eğrilerden görüldüğü gibi rüzgarın kayıtlar üzerinde belirgin bir etkisi bulunmamaktadır.
- Rüzgarlı havalarda yüksek binalar, uzun ağaçlar, direkler v.b gibi yapılara yakın noktalarda ölçü alınması tavsiye edilmemektedir (Chatelain ve diğ., 2008). Bu gibi durumlar H/V eğrilerinde düşük frekanslarda saçılmalar olarak gözlenmektedir. Şekil 4.9'da uzun ağaçlardan çeşitli uzaklıklarda alınan kayıtlara ait H/V sonuçları görülmektedir.
- Plaka kullanılması gereken durumlarda yumuşak, esnek cisimler konulmaması gerekmektedir (Chatelain ve diğ., 2008). Şekil 4.8'da zemine direk oturan aletin kaydı ile bir plaka üzerinde zemine kurulmuş aletin kaydının karşılaştırılması

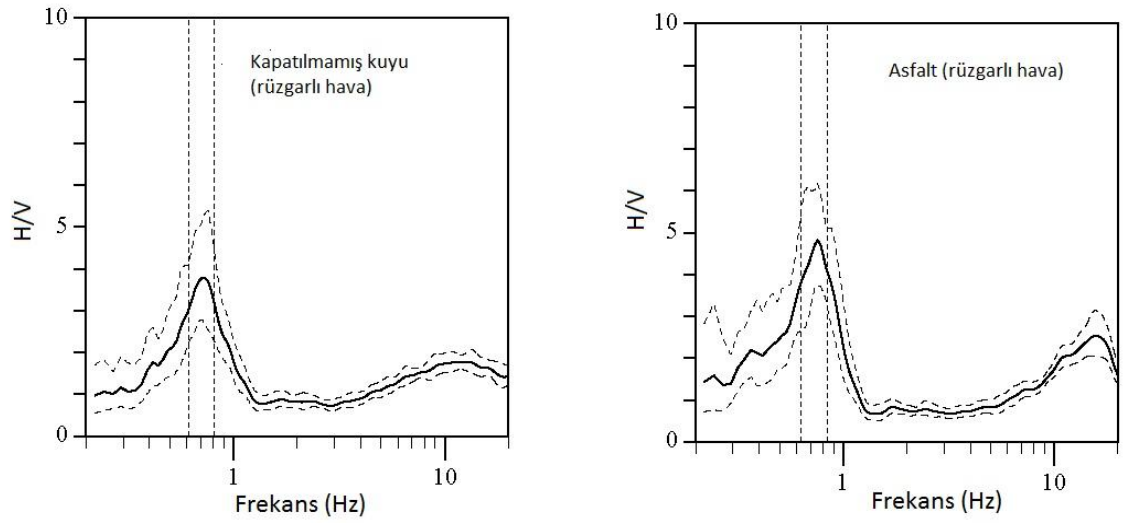
bulunmaktadır. Görüldüğü gibi yumuşak bir malzeme olan plastik köpük düşük frekanslarda saçılmalar meydana getirecektir. Kayıt aletinin yerle kuvvetli bir temas sağlaması tavsiye edilmekle beraber çok gerekli olmadıkça aletin altına herhangi bir cisim konulmasının gerekli olmadığı belirtilmektedir. Gerekli olduğu durumlarda, bu gibi noktalarda içi kum dolu bir kaba aleti kurmak daha sıhhatli olabilir.



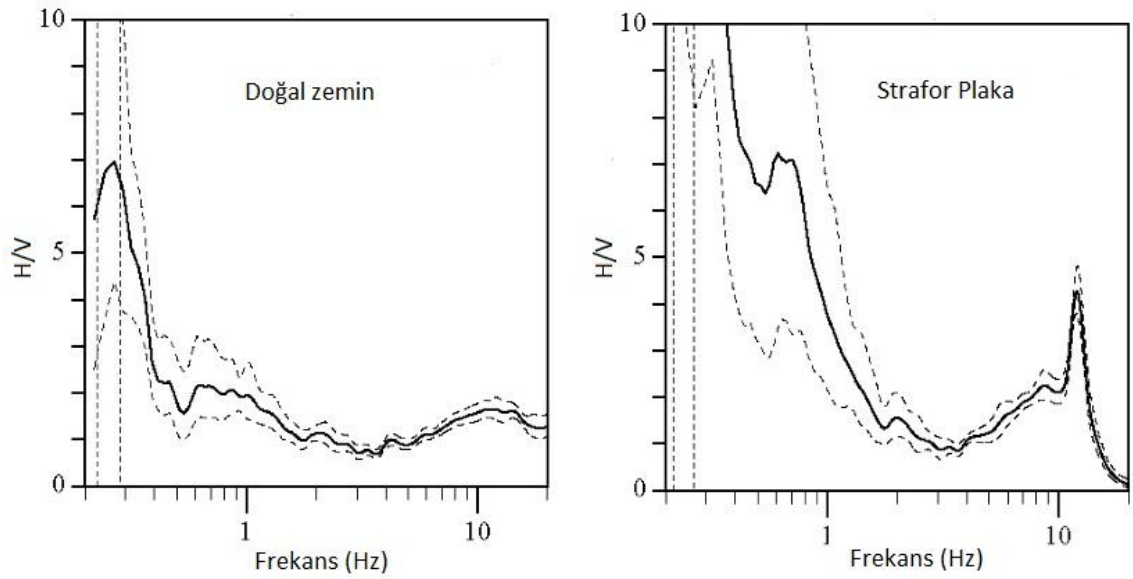
**Şekil 4.5:** 30cm'lik bir kuyu içinde ve asfalt zemin üzerinde alınan ölçülerin H/V eğrilerinin karşılaştırılması (Chatelain ve diğ., 2008'den değiştirilmiştir)



**Şekil 4.6:** Çim zeminlerin rüzgarlı ve rüzgarsız havalarda H/V eğrileri üzerindeki etkileri. Sol tarafta bulunan şekil rüzgarsız hava, sağ taraftaki şekil ise rüzgarlı havada alınan kayıtları sembolize etmektedir (Chatelain ve diğ., 2008'den değiştirilmiştir).



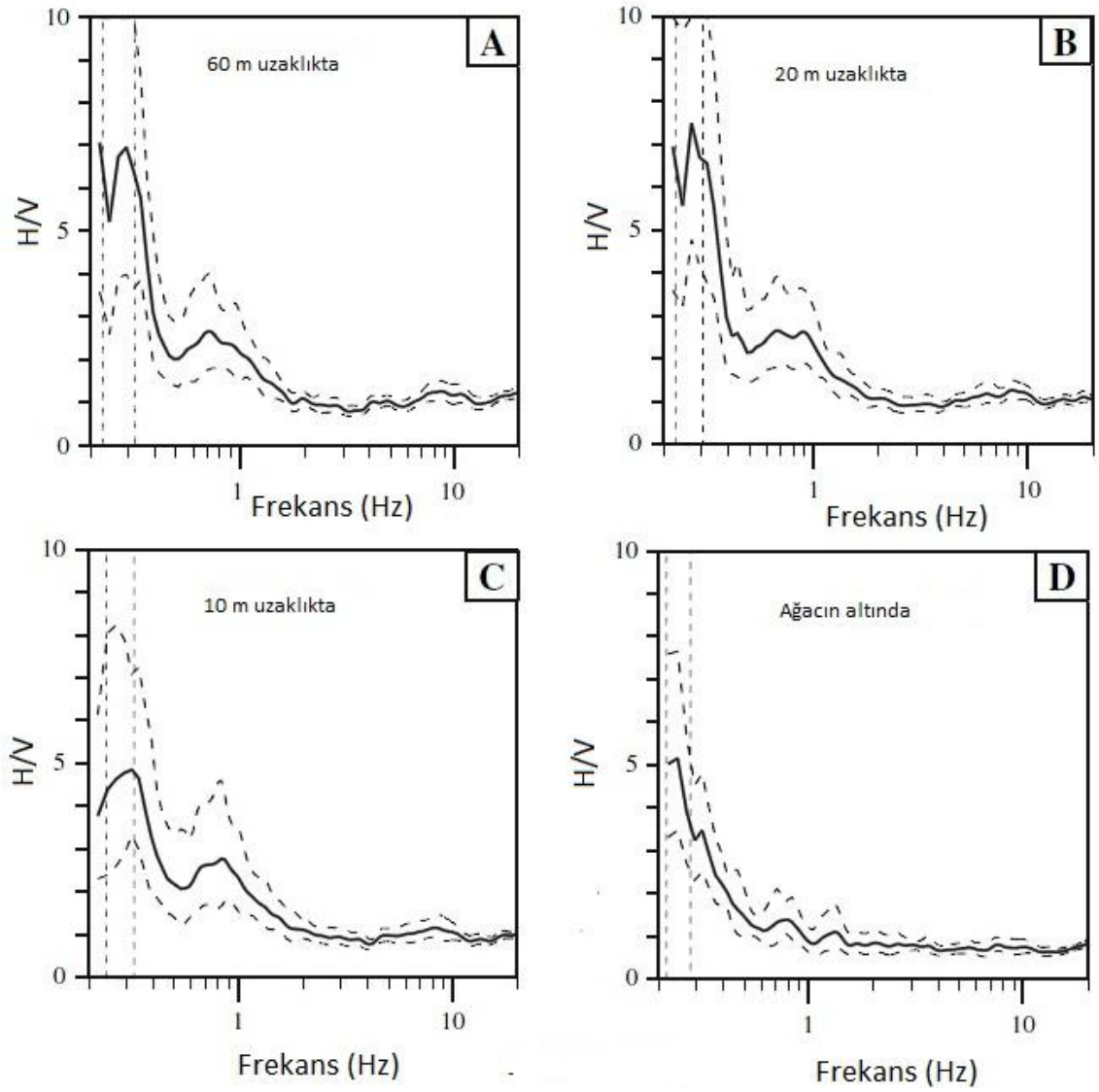
**Şekil 4.7:** Rüzgarlı bir havada üstü açık bırakılan kuyu içerisinde alınan kayıt ile asfalt zemin üzerinde alınan kayıtların H/V sonuçlarının karşılaştırılması (Chatelain ve diğ., 2008'den değiştirilmiştir).



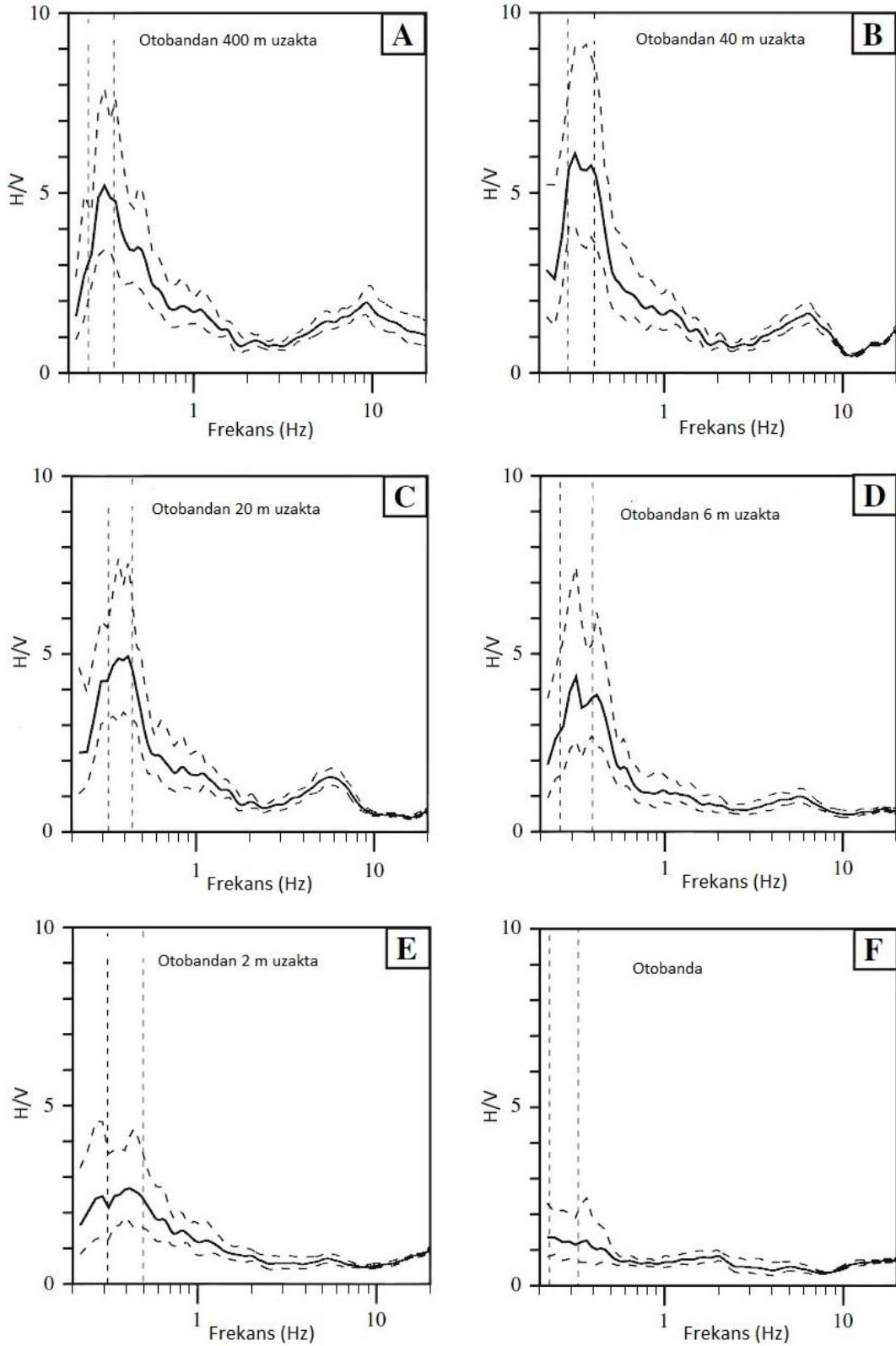
**Şekil 4.8:** Aletin zemine direk temas etmesi (soldaki şekil), ve aletin altına bir ara cisim konularak alınan kayıtların (sağdaki şekil) H/V sonuçlarının karşılaştırılması (Chatelain ve diğ., 2008'den değiştirilmiştir).

- Kısa süreli etkiye sahip arabalar, tren, insan yürümesi, otoban gibi gürültülerin sonuçları etkileyebileceği söylenmektedir. Ancak bu olayların ne kadar uzakta olduğu önemlidir. Eğer kayıt noktasının çok yakınından geçen bir araç varsa, veya yürüyen yayalar varsa bu sonuçları etkileyebilir (Chatelain ve diğ., 2008). Şekil 4.10'da otoban trafiğinin H/V eğrilerindeki etkileri görülmektedir. 400 m'den başlayıp giderek otobana yaklaşan noktalarda yapılan ölçümlerin sonuçları otoban etkisinin azalan uzaklıkla arttığını ortaya koymuştur. Bu kısa süreli etkiler veri işlem aşamasında elimine edilebilir. Bunun için bu bölgelerde, veri işlem aşamasında yeterli pencere seçebilmek için kayıt süresini uzun tutmakta fayda görülmektedir. Trafiğin birkaç 10 m uzağında ölçüm yapıldığı takdirde, H/V sonuçlarında herhangi bir etkisi bulunmamaktadır (Mucciarelli 1998).

3 yıldan 5 yıla kadar değişen aralıklarla yapılan tesler ortaya koymuştur ki H/V sonuçlarında zamana bağımlı (saatlik, aylık, yıllık değişim) kaydadeğer bir farklılık yoktur. Yalnızca güçlü meteorolojik fırtınalar nedeniyle H/V eğrilerine düşük frekanslarda saçılmalar meydana gelebilir (Cara ve diğ. 2003; Volant ve diğ., 1998; Mucciarelli ve Monachesi 1998; Bour ve diğ., 1998).



**Şekil 4.9:** Rüzgarlı havada H/V eğrileri. (A) Uzun ağaçlara 60 m uzaklıkta, (B) Ağaçlardan 20 m uzaklıkta, (C) 10 m uzaklıkta ve (D) ağaçların altında (Chatelain ve diğ., 2008'den değiştirilmiştir).



**Şekil 4.10:** Otobandan farklı uzaklıklarda yapılan ölçümlerin H/V sonuçlarının karşılaştırılması. (A) otobandan 400 m uzaklıkta, (B) 40 m uzaklıkta, (C) 20 m uzaklıkta, (D) 6 m uzaklıkta, (E) 2 m uzaklıkta ve (F) otobanda alınan kayıtların H/V sonuçlarıdır (Chatelain ve diğ., 2008'den değiştirilmiştir).

### 4.3. H/V EĞRİ TİPLERİ

**Tablo 4.3:** H/V eğrileri için güvenilirlik ve belirgin doruk koşulları (SESAME, 2004'den değiştirilmiştir)

<p><b>Güvenilir bir H/V eğrisi için kriterler</b></p> <p>i) <math>f_0 &gt; 10 / L_w</math></p> <p>ii) <math>n_c (f_0) &gt; 200</math></p> <p>iii)<math>\sigma_A(f) &lt; 2 \cdot 0.5f_0 &lt; f &lt; 2f_0</math> eğer <math>f_0 &gt; 0.5\text{Hz}</math></p> <p>veya <math>\sigma_A(f) &lt; 3 \cdot 0.5f_0 &lt; f &lt; 2f_0</math> eğer <math>f_0 &lt; 0.5\text{Hz}</math></p>	<ul style="list-style-type: none"><li>• <math>L_w</math> = pencere uzunluğu(sn)</li><li>• <math>N_w</math> = pencere sayısı</li><li>• <math>n_c = l_w \cdot n_w</math>, <math>f_0</math> = belirgin devirlerin sayısı</li><li>• <math>f</math> = kullanılan frekans</li><li>• <math>f_{\text{sensor}}</math> = sensorün kesme frekansı</li><li>• <math>f_0</math> = H/V doruk frekansı</li><li>• <math>\sigma f</math> = H/V doruk frekansının standart sapması (<math>f_0 \pm \sigma f</math>)</li><li>• <math>\varepsilon (f_0)</math> = denge şartı için eşik değeri <math>\sigma f &lt; \varepsilon(f_0)</math></li><li>• <math>A_0 = f_0</math> frekansının H/V doruk genliği</li><li>• <math>A_{H/V} (f) = f</math> frekansındaki H/V eğrisi genlik değeri</li><li>• <math>f^- = A_{H/V} (f^-) &lt; A_0/2</math> için <math>f_0/4</math> ve <math>f_0</math> arasındaki frekans değerleri</li><li>• <math>f^+ = A_{H/V} (f^+) &lt; A_0/2</math> için <math>f_0</math> ve <math>4f_0</math> arasındaki frekans değerleri</li><li>• <math>\sigma_A (f) = A_{H/V} (f)</math>'nin standar sapması, <math>\sigma_A (f)</math>, <math>A_{H/V} (f)</math> eğrisinin çarpılması veya bölünmesi gereken değer.</li><li>• <math>\sigma_{\log H/V} (f) = \log A_{H/V} (f)</math> eğrisinin standart sapması, <math>\sigma_{\log H/V} (f)</math> ifade edilen <math>\log A_{H/V} (f)</math> eğrisine eklenmesi veya çıkarılması gereken mutlak değer</li><li>• <math>\theta (f_0)</math> = denge şartı için eşik değeri <math>\sigma_A(f) &lt; \theta(f_0)</math></li><li>• <math>V_{s,av}</math> = bütün tabakaların ortalama S-dalga hızı</li><li>• <math>V_{s,surf}</math> = yüzey tabakasının S-dalga hızı</li><li>• <math>h</math> = anakaya derinliği</li><li>• <math>h_{\min}</math> = tahmin edilen kalınlık (<math>h</math>) için alt sınır</li></ul>				
<p><b>Belirgin H/V doruğu için kriterler</b> (6 kriterden en az 5 tanesi sağlanmalıdır)</p> <p>i) <math>\exists f^- \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V} (f^-) &lt; A_0/2</math></p> <p>ii) <math>\exists f^+ \in [f_0, 4f_0] \mid A_{H/V} (f^+) &lt; A_0/2</math></p> <p>iii) <math>A_0 &gt; 2</math></p> <p>iv) <math>f_{\text{peak}} [A_{H/V} (f) \pm \sigma_A (f)] = f_0 \pm 5\%</math></p> <p>v) <math>\sigma_f &lt; \varepsilon(f_0)</math></p> <p>vi) <math>\sigma_A (f_0) &lt; \theta (f_0)</math></p>					
$\sigma_f$ ve $\sigma_A (f_0)$ için eşik değerleri					
Frekans aralığı [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon (f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.20 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\sigma_A (f_0)$ için $\theta (f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\sigma_{\log H/V} (f_0)$ için $\log \theta (f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

Bu bölümde mikrotremör yöntemi ile elde edilen H/V eğrilerinin farklı tipleri ele alınacaktır. Ancak bundan önce H/V eğrilerinin güvenilirlik kriterleri SESAME (2004) çalışması ışığında anlatılacaktır. Tablo 4.3 H/V eğrileri için güvenilirlik koşullarını ve belirgin doruk koşullarını özetlemektedir. Güvenilirlik durumu; veri işlem aşamasında



seçilen pencere sayısı, pencere uzunluğu gibi parametreleri, tahmin edilen hakim frekansa bağlı denetleyen kriterlerdir.

Güvenilirlik kriterlerinden birincisinde tahmin edilen hakim frekans ( $f_0$ ) ile seçilen pencere uzunluğu ( $L_w$ ) arasında

$$f_0 > 10/L_w \quad (4.1)$$

şeklinde bir bağıntı tanımlanmıştır. Buna göre tahmin edilen hakim frekans, ölçüm noktası için 0.5 Hz ise, H/V eğrilerinin hesaplanmasında kullanılan pencere uzunluğu en az 20 sn olmalıdır. 20 sn'den daha kısa seçilen pencere boyuyla, 0.5 Hz veya daha küçük değerlerde hakim frekans tespit etmek güvenilir değildir.

Güvenilirlik şartlarından ikincisi; seçilen pencere sayısı da beklenen hakim frekansı tespit etmeye yeterli olmalıdır. Bunun için tahmin edilen hakim frekans ( $f_0$ ), pencere uzunluğu ( $L_w$ ) ve pencere sayısı ( $N_w$ ) arasında;

$$n_c(f_0) = L_w * N_w * f_0 \quad (4.2)$$

$$n_c(f_0) > 200 \quad (4.3)$$

şeklinde bir bağıntı tanımlanmıştır. Tablo 4.4 yukarıda açıklanan maddeleri özetlemektedir. Tahmin edilen hakim frekans ( $f_0$ )'a bağlı olarak seçilmesi gereken pencere sayısı, pencere uzunluğu, kayıt süresi gibi parametreler özetlenmiştir. Tablo 4.4'ün arazi çalışması yapılmadan önce incelenmesi, kayıt süresini doğru belirleme açısından faydalıdır.

Son güvenilirlik kriteri ise H/V eğrisi elde edildikten sonra standart sapma değerlerini denetleyen bir kriterdir.  $0.5*f_0$  ile  $2*f_0$  arasındaki frekans değerlerine karşılık gelen genlik değerleri  $\sigma A(f)$ ,  $f_0 > 0.5$  Hz olması durumunda 2'den küçük;  $f_0 < 0.5$  Hz olması durumunda 3'den küçük olmalıdır. Formül olarak gösterimi;

$$\sigma_A(f) < 2 \quad 0.5f_0 < f < 2f_0 \quad \text{eğer } f_0 > 0.5\text{Hz} \quad (4.4)$$

$$\sigma_A(f) < 3 \quad 0.5f_0 < f < 2f_0 \quad \text{eğer } f_0 < 0.5\text{Hz} \quad (4.5)$$

şeklindedir. Tablo 4.3’de yeralan 3 güvenilirlik koşulunun hepsi sağlanıyorsa, elde edilen H/V eğrisi güvenilirdir denilebilir (SESAME, 2004).

**Tablo 4.4:** Tahmin edilen hakim frekansa bağlı kayıt süresi, pencere uzunluğu (sn) ve pencere sayısını gösterir tablo

$f_0$ [Hz]	$I_w$ [sn] için minimum değer	Minimum toplam döngü sayısı ( $n_c$ )	Minimum pencere sayısı	Kullanışlı minimum sinyal süresi [sn]	Önerilen minimum kayıt uzunluğu [dk]
0.2	50	200	10	1000	30'
0.5	20	200	10	400	20'
1	10	200	10	200	10'
2	5	200	10	100	5'
5	5	200	10	40	3'
10	5	200	10	20	2'

Farklı zemin yapılarına göre (kalınlık, tabakalanma durumu, hız değişimi v.b) H/V eğrileri de farklı karakteristik özellik gösterirler H/V eğrilerinin tipik özellikleri şu şekilde sıralanabilir:

- 1) Endüstriyel köken veya keskin doruk
- 2) Belirgin doruk
- 3) Belirsiz doruk
- 4) Geniş veya birden çok doruk
- 5) İki doruk
- 6) Düz H/V oranı (Alüvyon zemin için)
- 7) Düz H/V oranı (Temel kaya için)

#### 4.3.1. Endüstriyel veya keskin doruk

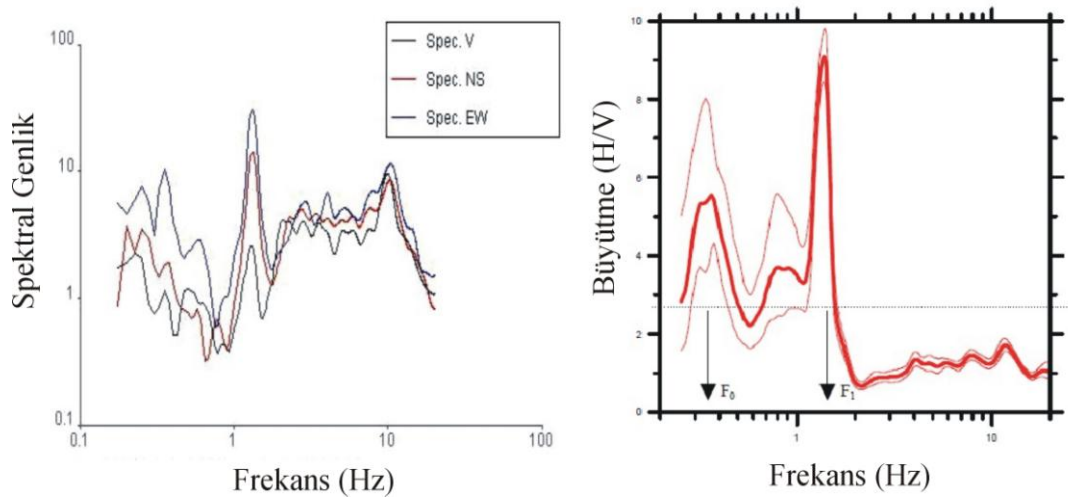
Daha çok kentsel alanlarda, H/V eğrilerinde dar doruklar veya çukurlar görülür. Çoğunlukla bu doruklar veya çukurlar jeneratör, türbin v.b gibi makinelerden oluşan endüstriyel kaynaklıdır. Bu gibi düzensiz durumlar iki karakteristik özelliğiyle tanımlanır;

- Belirli bir alana etki ederler (Kaynağından birkaç kilometre uzaklıklara kadar etki edebilirler).
- Özellikle mesai saatleri içerisinde alınan kayıtların spektrum eğrileri (yuvarlatmasız) keskin doruğa sahiptir.

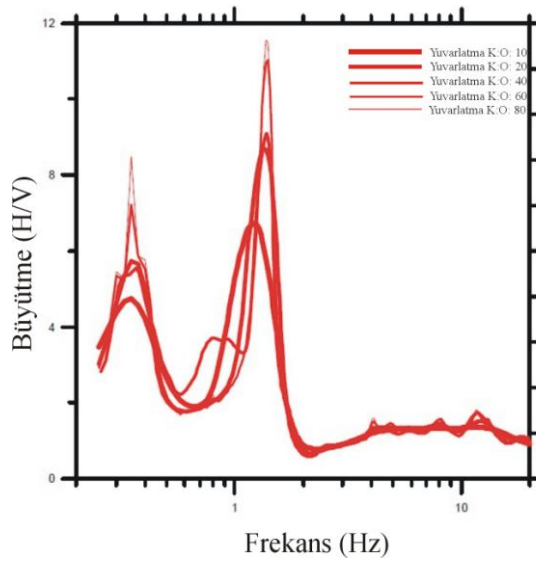
Aşağıda belirtilen aşamalar takip edilerek bir doruğun endüstriyel kaynaklı olup olmadığı kontrol edilebilir

- Ham (filtre, yuvarlatma v.s yapılmamış) spektrumun her bir penceresine bakılır: Eğer her pencere, genellikle 3 bileşende de keskin doruk gösteriyorsa, %95 olasılıkla bu doruk endüstriyel doruk olarak değerlendirmeye alınmalıdır.
- Diğer bir aşama da azalan yuvarlatma değerleri karşılaştırılarak yapılır: endüstriyel kaynak durumunda; H/V doruğu gittikçe sivrileşir.
- Endüstriyel doruk belirlenmesinde diğer bir etkin kontrol yöntemi rasgele azalım tekniğinin (random decrement technique) uygulanmasıdır (Dunand ve diğ., 2002). Eğer doruğa tekabül eden sönüm oranı çok küçük ise (%5'den küçük) bu doruğun endüstriyel kaynaklı varsayılabilir ve bu doruğa tekabül eden frekans, rezonans frekans olarak yorumlanmaz.
- Eğer aynı noktaya yakın birden fazla kayıt varsa, aynı frekansda bir doruğun olup olmadığına, genlikleri karşılaştırarak bakın (ilgili doruğun genliği, değişmeyen yuvarlatma parametresi kullanılsa da, noktadan noktaya değişkenlik gösterebilir, hatta doruklar çukurluklara da dönüşebilirler).
- Yukarıda açıklanan aşamalar endüstriyel doruğun tanımlanmasında yeterli kalmıyorsa son olarak şunlar yapılabilir: Gün içerisindeki (gece-gündüz) değişimi tespiti amacıyla 24 saat boyunca, haftaiçi ve hafta sonu değişimini tespit etmek amacıyla 7 günlük ölçümler yapılabilir.

Şekil 4.11’de H/V eğrilerindeki endüstriyel kaynaklı doruğa ait bir örnek görülmektedir. Yukarıda da açıklandığı gibi spektrumlara bakıldığında her 3 bileşende de aynı frekansta dar ve keskin bir doruk görülmektedir. Yaklaşık 1.5 Hz civarında olan bu doruk H/V eğrisine bakıldığında da dar bir frekans aralığında ve sivri bir şekilde görülmektedir. Bunların yanında Şekil 4.12’de aynı veriye ait farklı yuvarlatma değerleri sonuçları görülmektedir. Bu grafik incelendiğinde ise yukarıdaki açıklamalarda da bahsedildiği gibi yuvarlatma değeri azaldıkça eğrilerin keskinliği artmakta, daha keskin doruklar meydana gelmektedir.



**Şekil 4.11:** Endüstriyel doruğu gösterir spektrum ve H/V eğrisine örnek. Solda bulunan grafik 3 bileşen spektrum eğrisi, sağ tarafta bulunan ise H/V sonucu (SESAME, 2004’den değiştirilmiştir).



**Şekil 4.12:** Farklı yuvarlatma değerlerinin etkisi H/V eğrisi üzerinde görülmekte. Azalan yuvarlatma değeri H/V eğrilerini daha sivrileştirilmekte (SESAME, 2004’den değiştirilmiştir).

#### 4.3.2. Belirgin ve belirsiz doruk

Endüstriyel kökenli doruklar tespit edildikten sonra, ikinci aşamada H/V eğrilerinde görülen salınımların belirgin bir doruk olup olmadığı kontrol edilir.

Bunun için SESAME Projesi (Bard ve SESAME takımı, 2004) çalışmalar yapmıştır. Yaptıkları çalışmalarda H/V eğrilerinin genlik değerleri ve genliklerdeki standart sapmalar, doruk frekansı ve sapma değerleri inceleme altına alınmıştır. Bu incelemeler sonrasında Tablo 4.3’de yer alan belirgin doruk kriterlerini ortaya koymuşlar ve elde edilen bir doruğun belirgin doruk olabilmesi için bu şartlardan en az 5 tanesini sağlaması gerektiğini belirtmişlerdir (SESAME, 2004). Şekil 4.13’de belirgin doruk ve belirgin olmayan dorukların H/V eğrilerindeki görüntüsü bulunmaktadır. Belirgin doruk kriterleri şu şekilde sıralanabilir;

1) H/V eğrisi doruk frekansında genlik değeri ( $A_0$ ) 2’den büyük olmalıdır.

$$A_0 > 2 \quad (4.6)$$

2)  $f_0/4$  ile  $f_0$  arasındaki her bir frekans değerine ( $f^-$ ) karşılık gelen genlik değeri, doruk frekansındaki genlik değerinin yarısından küçük olmalıdır.

$$\exists f^- \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0/2 \quad (4.7)$$

3)  $f_0$  ile  $4*f_0$  arasındaki her bir frekans değerine ( $f^+$ ) karşılık gelen genlik değeri, doruk frekansındaki genlik değerinin yarısından küçük olmalıdır.

$$\exists f^+ \in [f_0, f_0*4] \mid A_{H/V}(f) < A_0/2 \quad (4.8)$$

4)  $f_0$  frekansının standart sapma eğrilerinde de tepe noktası gerçek  $f_0$  in %5 lik (artı ve eksi) sınırları içinde olmalıdır.

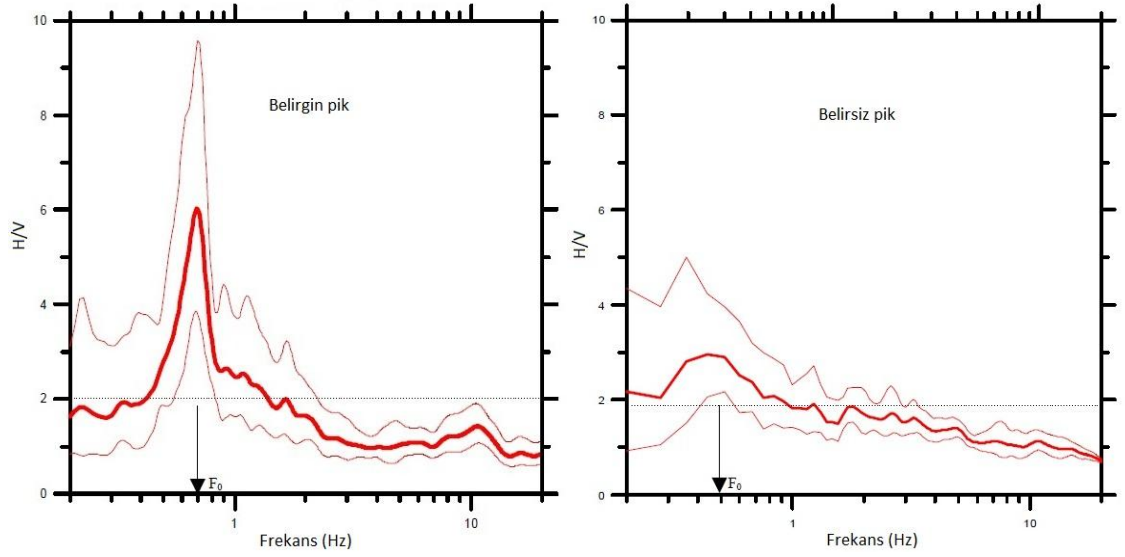
$$f_{\text{peak}} [A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\% \quad (4.9)$$

5) Bu madde Tablo 4.3'den okunan değerlere göre değerlendirilir. Baskın frekans için standart sapmanın sınırlarını belirler.

$$\sigma f < \varepsilon(f_0) \quad (4.10)$$

6) Bu madde Tablo 4.3'den okunan değerlere göre değerlendirilir. Frekans değerine bağlı, genliğin standart sapmasının sınırlarını belirler.

$$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0) \quad (4.11)$$



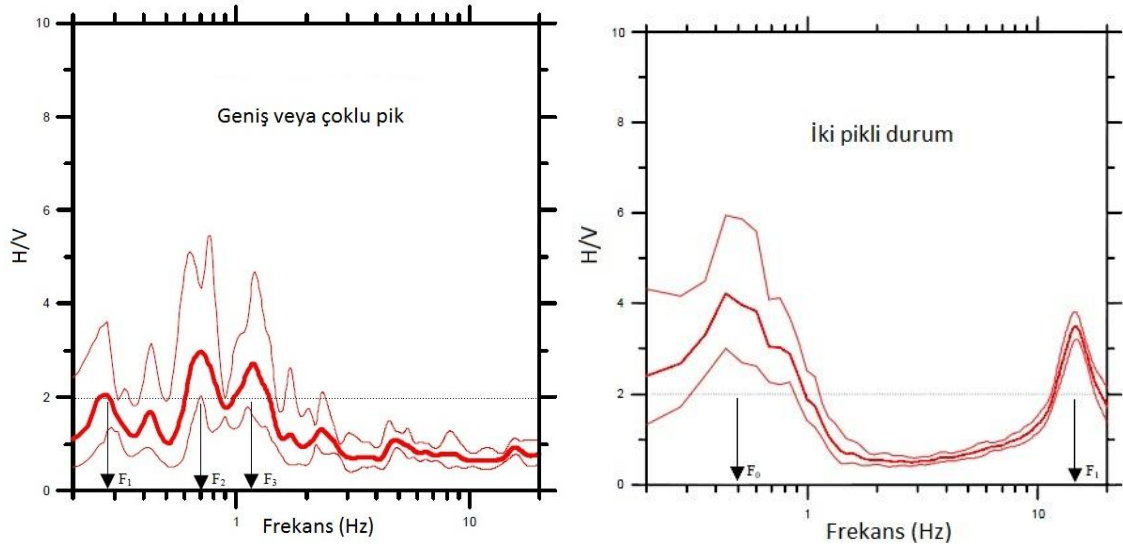
**Şekil 4.13:** Belirgin ve belirsiz doruk durumunu gösteren örnek H/V eğrisi (SESAME, 2004'den değiştirilmiştir)

#### 4.3.3. Geniş veya birden çok doruk

H/V eğrilerinde Şekil 4.14'de görüldüğü gibi çoklu doruk veya geniş doruk durumu görülmesi SESAME (2004)'e göre yeraltında yanal değişimlerin veya eğimli tabakalanmanın olması olabilmektedir.

#### 4.3.4. İki doruk

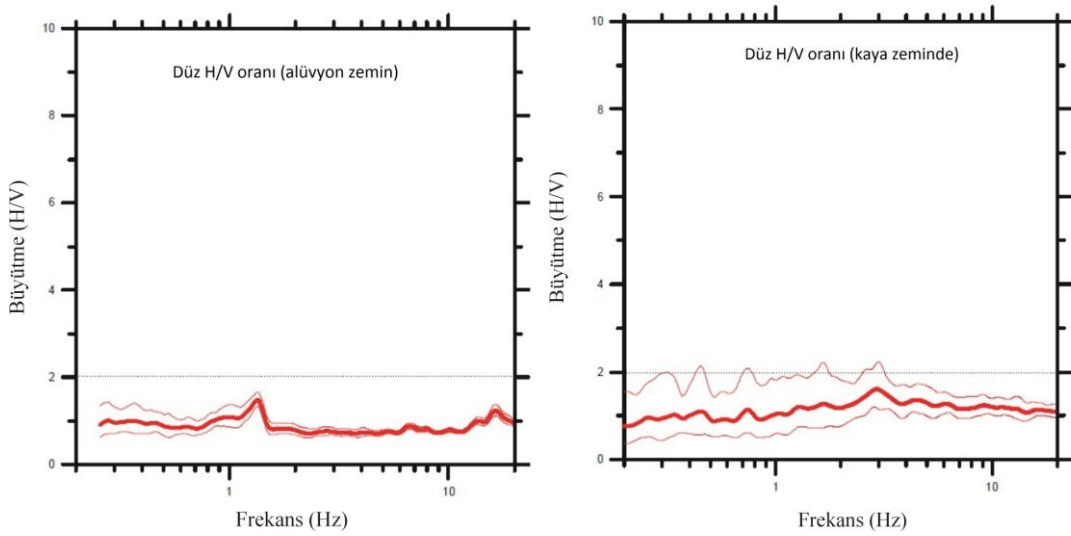
Eğer H/V eğrilerinde Şekil 4.14’de görüldüğü gibi 2 adet doruk görülürse önce bunlardan herbiri için endüstriyel doruk olup olmadığı kontrol edilir. Eğer her iki doruk da endüstriyel bir doruk değilse bu durum yerlatında aralarındaki sismik empedans farkın fazla olduğu 2 tabakalı bir yapı olarak yorumlanabilir (SESAME, 2004)



Şekil 4.14: H/V eğrilerindeki (solda) geniş veya çoklu doruk, (sağda) 2 doruk durumu

#### 4.3.5. Temel kaya ve alüvyon zeminler için düz H/V eğrisi

H/V eğrileri Şekil 4.15’de görüldüğü gibi düz olup herhangi bir doruk vermeyebilirler. Eğer temel kayada böyle bir eğri elde ediliyorsa ayrışmamış bir kaya olduğu söylenebilir. Eğer gevşek alüvyon zeminde böyle bir durum varsa derinlikle hız yapısında keskin bir değişimin olmadığı söylenebilir (SESAME, 2004).



**Şekil 4.15:** Temel kaya ve gevşek alüvyon zeminlerde görülen düz H/V eğrileri

#### 4.4. VERİ İŞLEM KRİTERLERİNİN BELİRLENMESİ

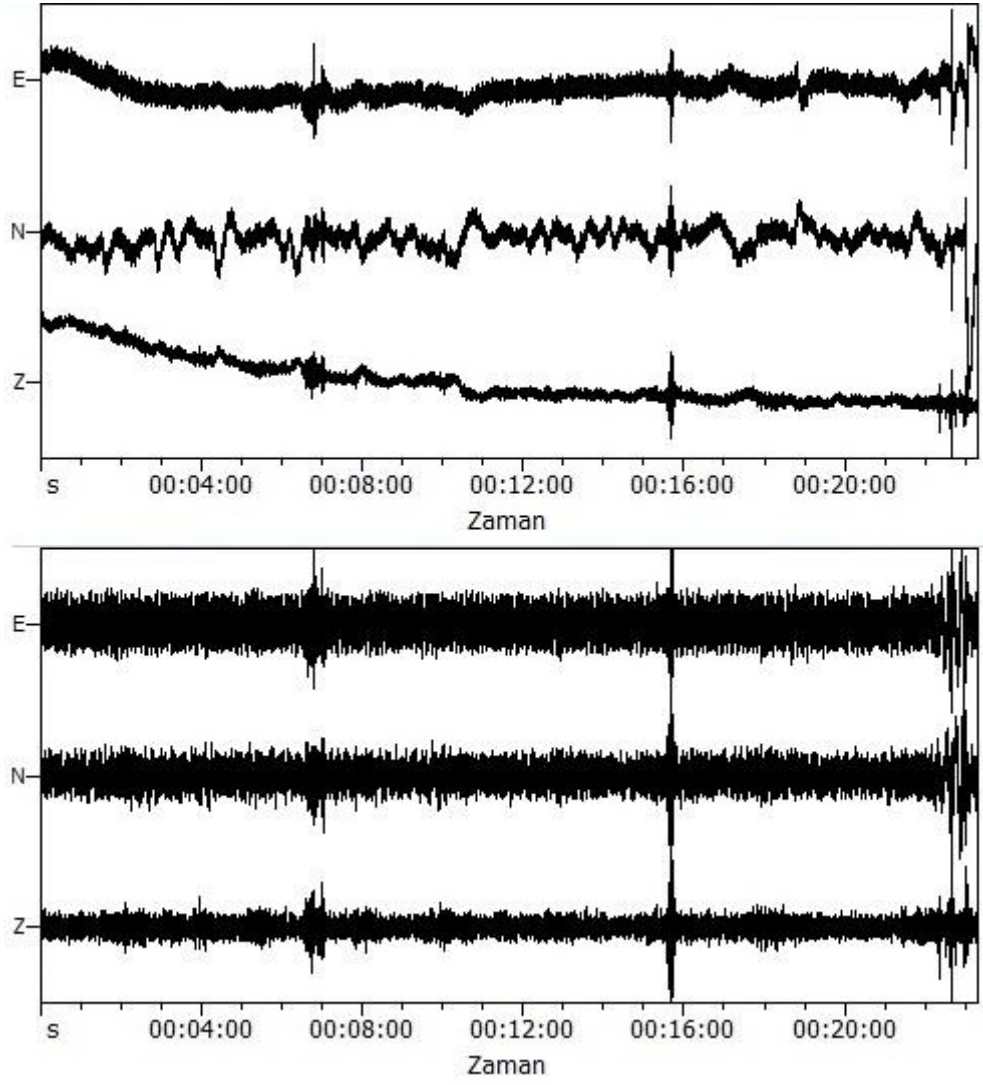
Bu çalışmada yatay/düşey spektral oranlar Geopsy programı (<http://www.geopsy.org>) kullanılarak hesaplanmıştır. Yatay bileşen (H), KG ve DB bileşenlerin ortalaması alınarak hesaplanır:

$$H = \sqrt{\frac{KG^2 + DB^2}{2}} \quad (4.12)$$

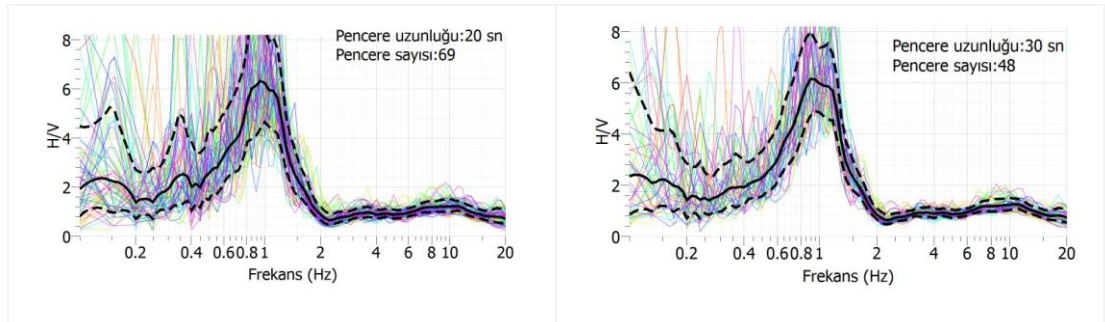
Zaman sinyalleri öncelikle 0.05Hz-25Hz arası bant geçişli bir filtre uygulanarak beklenen zemin rezonans frekansı dışındaki etkiler arındırılmıştır. Şekil 4.16 filtre öncesi ve sonrası 3 bileşen örnek bir kaydı göstermektedir. H/V eğrileri hesaplanırken, değişen pencere boylarının H/V eğrilerindeki etkileri incelenerek, kayıt süresine bağlı olarak 50sn ve 100sn pencere uzunlukları kullanılmıştır (Şekil 4.17). Pencere boyunun belirlenmesinde aynı zamanda SESAME (2004) kriterleri de göz önünde bulundurulmuştur (Tablo 4.4). Derin alüvyon üzerinde bulunan noktalarda, düşük frekanslarda yakalanabilecek bir doruğun kaçırılmaması için en az 100 sn pencere uzunluğu seçilmiştir. Bozucu etkilerin sık olduğu ve kayıt süresinin 100 sn'lik pencere seçimine yeterli olmadığı bazı noktalarda ise 50 sn pencere uzunluğu kullanılmıştır. Pencerelerin %20 oranında birbirinin üzerine binmesine izin verilmiştir.

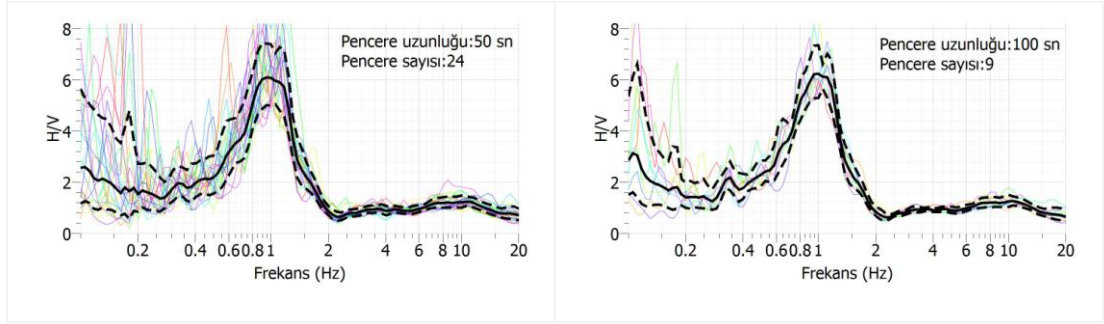


Pencere seçiminde kısa süreli bozucu gürültülerin giderilmesi için anti-triggering uygulaması yapılır. Anti-triggering işlemi; sinyal içindeki kısa süreli, ani değişimleri sinyalin geneline bakarak belirleyen ve buraları kullanılamaz olarak işaretleyen bir yazılımdır. Anti-triggering için SESAME (2004) önerileri doğrultusunda STA değeri 1sn, LTA değeri 30 sn ve STA/LTA oranı 0.3-2 arasında seçilmiştir. Şekil 4.18 anti-triggering uygulanarak ve uygulanmadan seçilen pencereleri göstermektedir. Seçilen her bir pencerenin kenarları % 5 cosinus pencere ile traşlandıktan sonra Fourier spektrumları hesaplanır. Spektrumların oranlanması sırasında genlik değerlerindeki farkların neden olabileceği saçılmaları önlemek amacıyla spektrumlar Konno ve Ohmachi (1998) fonksiyonu ile yuvarlatılırlar. Farklı yuvarlatma katsayılarının H/V eğrileri üzerindeki etkileri Şekil 4.19'da gösterilmektedir. Görüldüğü gibi  $b$  parametresinin değerinin azalması yuvarlatmanın artması anlamı taşır ve H/V eğrisi genlikleri küçülür. Bu çalışmada literatüre uygun olarak  $b$  parametresi 40 seçilerek yuvarlatma yapılmıştır.

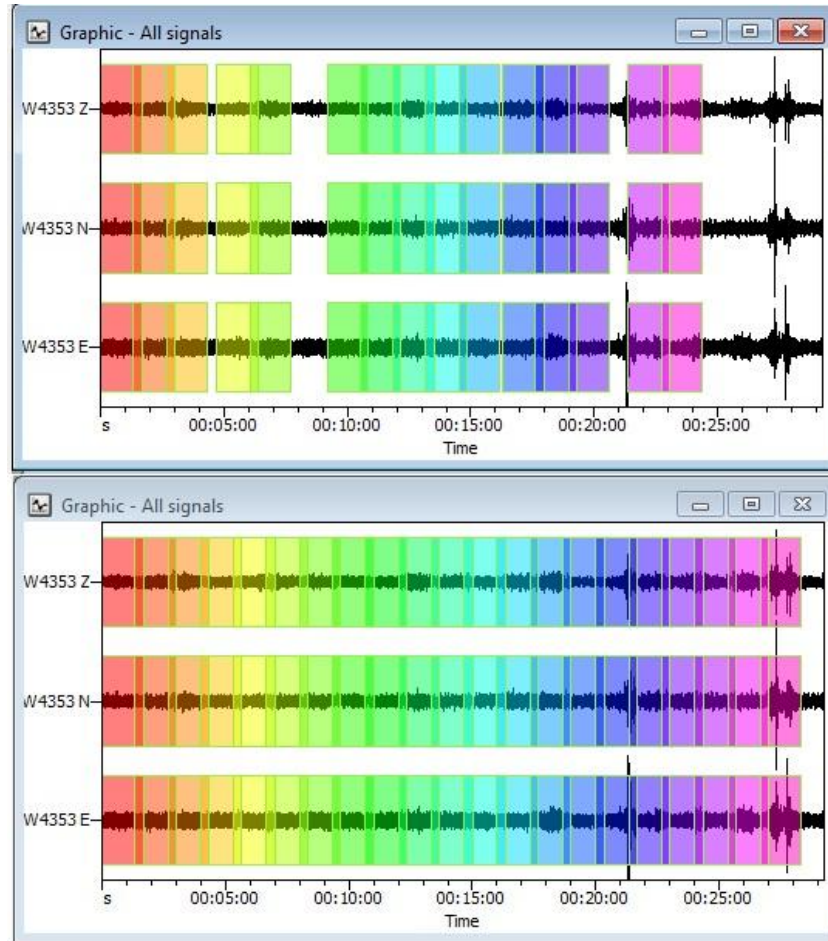


**Şekil 4.16:** Filtreleme işleminin zaman kayıtlarında görünümü. Üst şekil filtre uygulanmamış ham veriyi, alt şekil ise 0.05-25 Hz arası bant geçişli filtre uygulanmış zaman sinyalini göstermektedir.

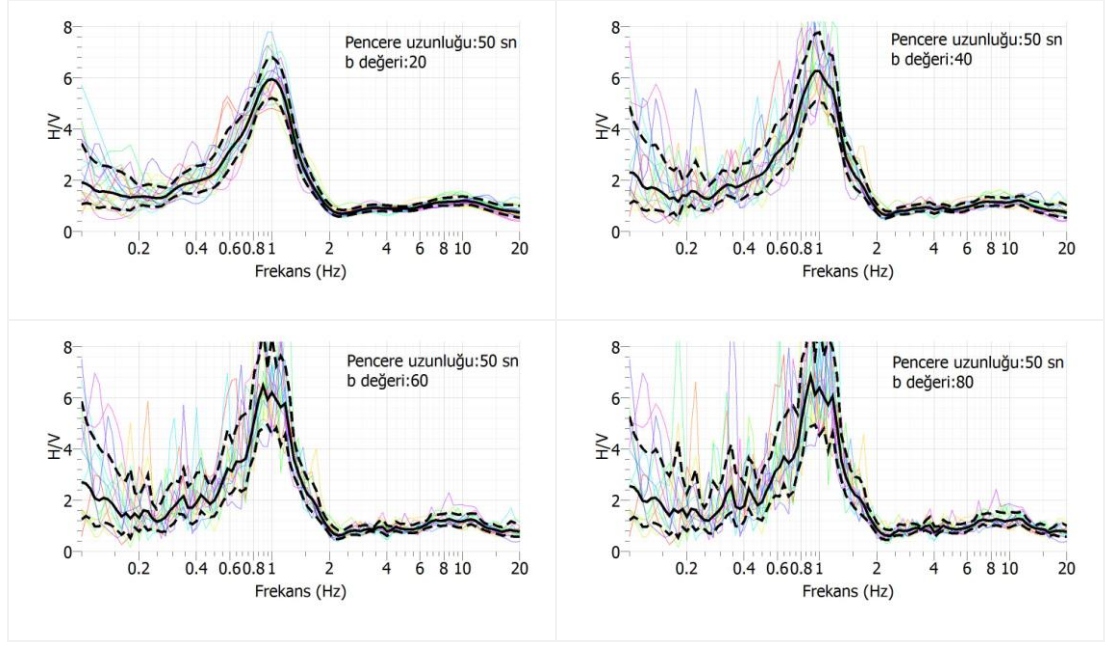




Şekil 4.17: Farklı pencere uzunluklarının H/V eğrileri üzerindeki etkileri.



Şekil 4.18: Pencere seçiminde anti-triggering uygulamasını gösteren örnek. Üst resim anti-triggering uygulanmış, alt resim uygulanmamış pencere seçimini göstermektedir.



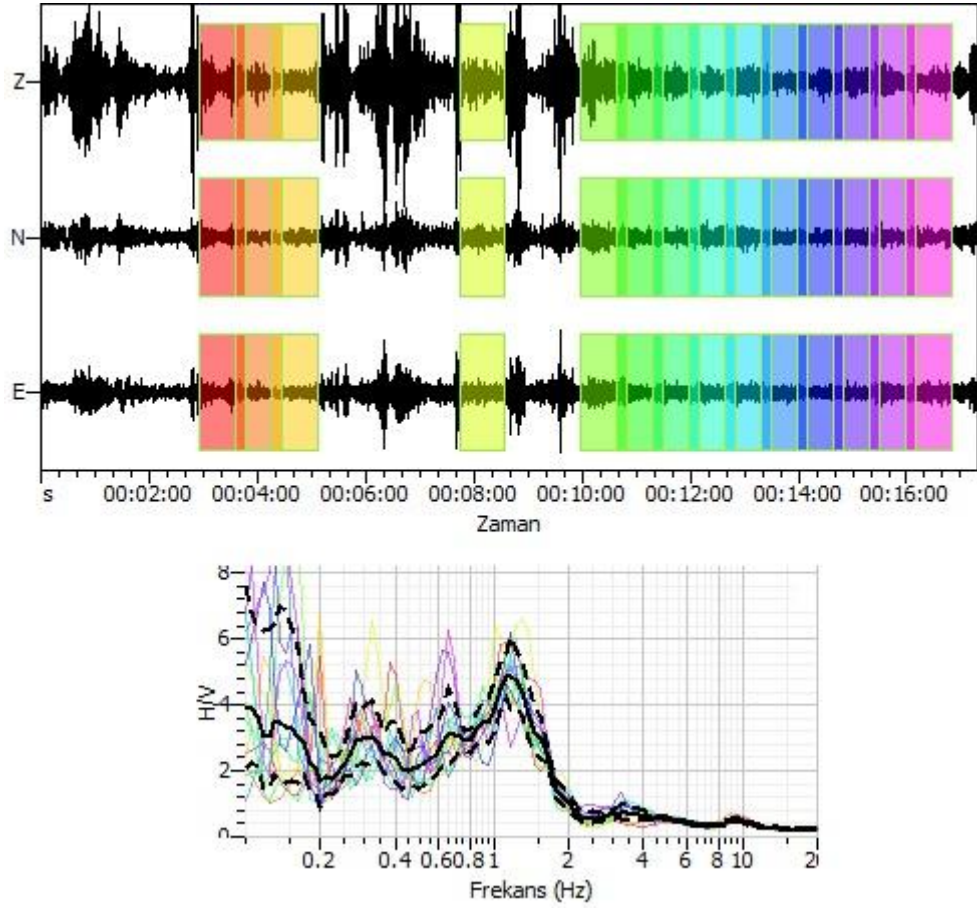
Şekil 4.19: Farklı yuvarlatma değerleri için H/V sonuçları.

Yatay/Düşey (H/V) spektral oranlar her bir pencere için hesaplandıktan sonra ortalama H/V eğrisi ( $H/V_{ort}$ ) ve standart sapmaları ( $\sigma_{H/V}(f)$ ) hesaplanır;

$$H/V_{ORT}(f) = \frac{\sum_{i=1}^n H/V_i(f)}{n_{penc}} \quad (4.13)$$

$$\sigma_{H/V}(f) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \{H/V_i(f) - H/V_{ORT}(f)\}^2}{n_{penc} - 1}} \quad (4.14)$$

Şekil 4.20 örnek bir noktada seçilen zaman pencerelerini, pencerelerden her biri için hesaplanan H/V eğrilerini (renkli eğriler) ve ortalama H/V eğrisi ile (siyah sürekli eğri), ortalama çarpı ve bölü standart sapma eğrilerini (kesikli eğrileri) göstermektedir.



**Şekil 4.20:** Örnek bir nokta için seçilen zaman pencereleri ve hesaplanan H/V eğrisi.

## 4.5. H/V EĞRİLERİNİN İNCELENMESİ

Elde edilen H/V eğrileri ve spektrum grafikleri çalışma kapsamında bir takım incelemeye tabi tutulmuştur. Bu incelemeler; H/V eğrilerinde aylık değişimlerin araştırılması, H/V eğrilerinde günlük değişimlerin araştırılması, endüstriyel doruk durumu, ölçüm aletinin geniş bant, kısa periyot karşılaştırılması ve belirgin doruk durumu şeklinde sıralanmaktadır.

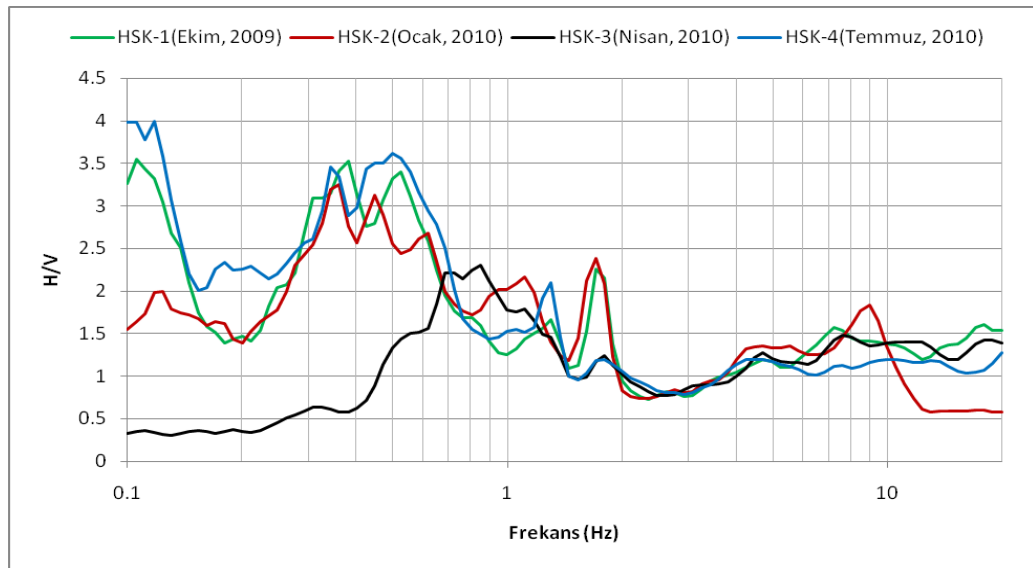
### 4.5.1. H/V eğrilerinde aylık değişimler

Ölçümler sırasında HSK noktası Ocak, Ekim, Nisan, Temmuz aylarında olmak üzere 4 farklı zamanda mikrotremör kaydı alınarak H/V eğrilerinin daha uzun süreli (aylık) değişimleri gözlenmeye çalışılmıştır. 4 farklı zaman ölçümünden hesaplanan H/V

eğrileri Şekil 4.21’de görülmektedir. Şekilden görüldüğü gibi 23 Nisan’da elde edilen H/V eğrisi diğer 3 zamana göre farklılık göstermektedir. 23 Nisan H/V eğrisinde zemin hakim periyodu 0.8 Hz iken, diğer eğrilerde 0.4 Hz-0.5 Hz civarındadır. H/V eğrilerindeki bu değişim; ölçüm sayısının az olması nedeniyle ispatlanamasa da, geniş zaman dilimleri içerisinde H/V eğrilerinde değişiklikler olabileceğinin göstergesidir. Bu değişim mevsimsel, yer altı su seviyesi gibi veya 23 nisanın resmi tatil olması gibi nedenlerden kaynaklanıyor olabilir.

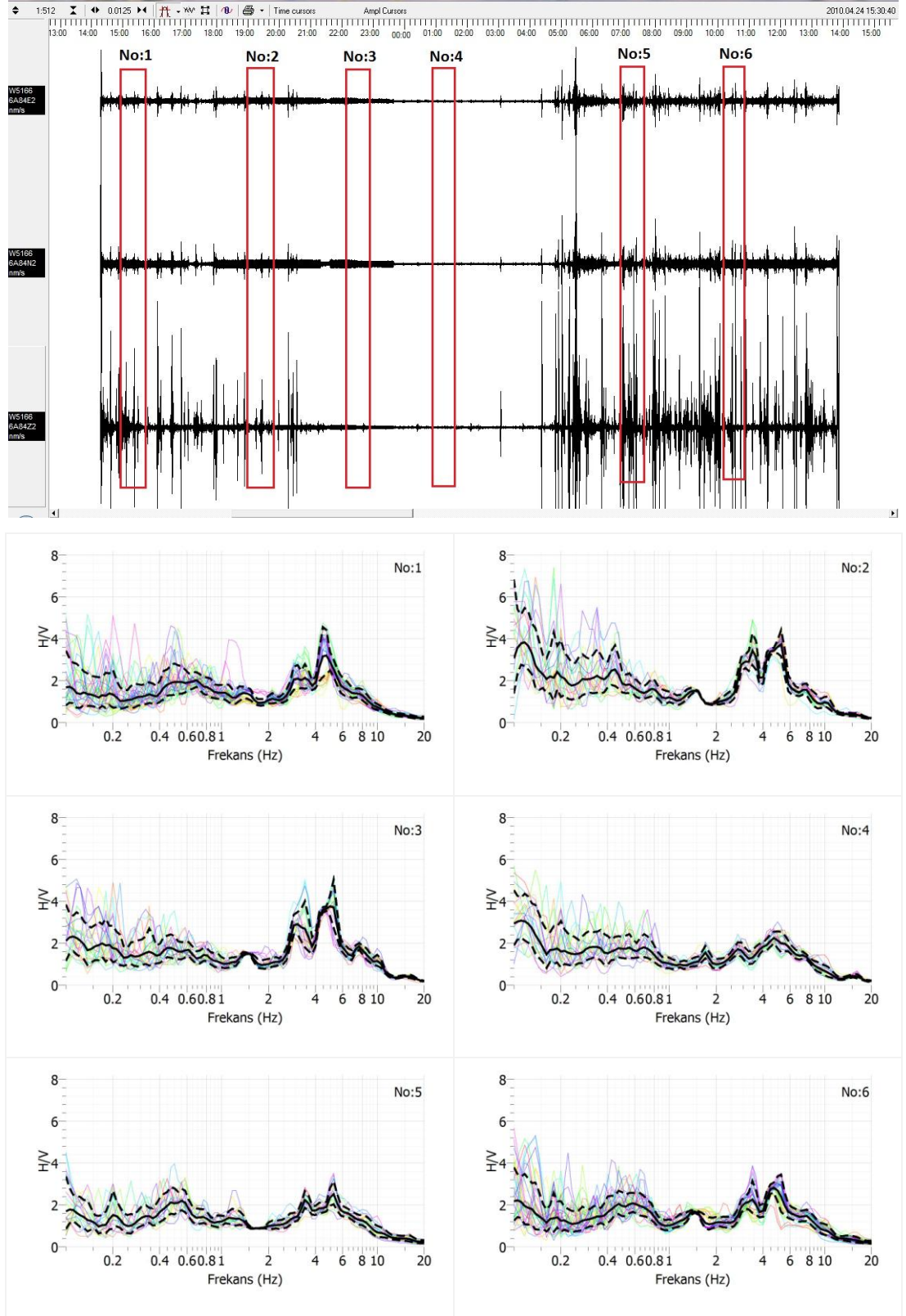
#### 4.5.2. H/V eğrilerinde günlük değişimler

Çalışma kapsamında H/V eğrilerinin gün içinde değişimlerini araştırmak amacıyla ITF (Altınova İtfaiye istasyonu) noktasında 24 saatlik mikrotremör kaydı alınmıştır (Şekil 4.22). 24 saatlik kayıt süresinde gece saatlerinde gürültü genliklerinin gündüze göre çok düşük olduğu açıkça görülmektedir. Bu kayıttan 30’ar dakikalık 6 farklı zaman dilimi için H/V eğrileri hesaplanmış ve sonuçlar Şekil 4.22’de gösterilmektedir. Görüldüğü gibi 6 farklı zaman için hesaplanan H/V eğrileri çok farklılık göstermemektedirler. Maksimum doruk yerleri bütün eğrilerde kendini göstermekle birlikte genlik değerleri küçük değişkenlikler gösterir. Sonuç olarak mikrotremör ölçümlerinin gece veya gündüz yapılmasının H/V eğrilerinde çok farklılık yaratmadığı söylenebilir.



**Şekil 4.21:** Hersek Deltasında 4 farklı zamanda alınan kayıtların H/V eğrilerinin karşılaştırılması. Her renk farklı zamana denk gelen H/V eğrisini göstermektedir.





**Şekil 4.22:** H/V eğrilerinin 24 saatlik değişimini gösteren bir örnek. Yukardaki şekilde 24 saatlik kaydın zaman sinyali ve bu sinyal üzerinde seçilen 6 farklı örnek bulunmaktadır. Aşağıdaki şekil ise 6 örneğe ait H/V eğrileridir. H/V eğrilerinde sağ üst köşede hangi örneğe ait olduğu yazmaktadır.

#### 4.5.3. Endüstriyel doruk durumu

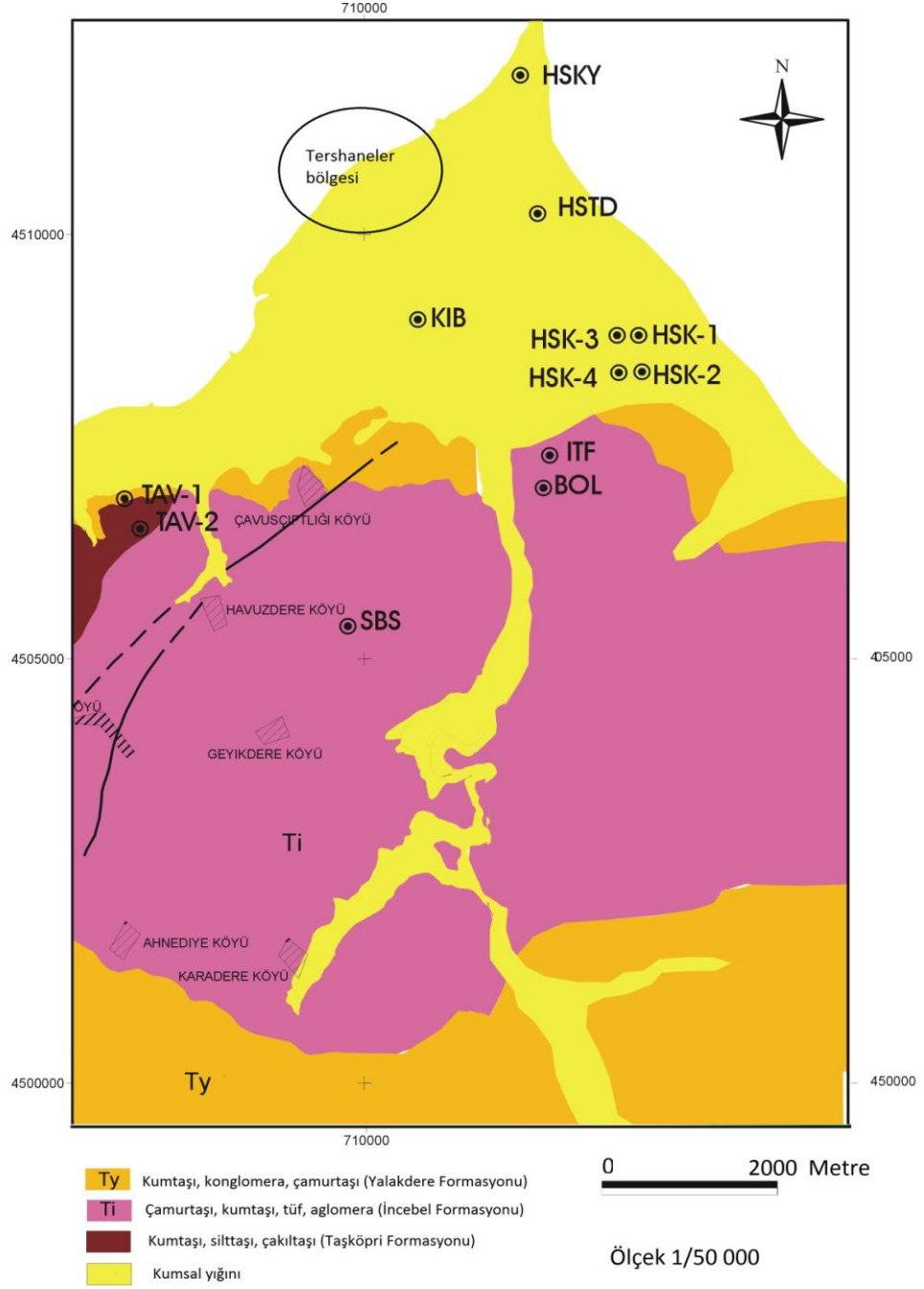
Hersek deltası ve çevresinde bulunan noktaların (Şekil 4.23) H/V eğrileri incelendiğinde endüstriyel kaynaklı dorukların varlığı dikkat çekmiştir. Bölüm 4.3.1’de ayrıntılı şekilde anlatıldığı gibi, Hersek bölgesindeki endüstriyel doruğun tespiti için öncelikle kayıt spektrumları incelenmiştir. Şekil 4.24’de örnek olarak 4 noktanın spektrumları, Şekil 4.26’da ise H/V eğrileri verilmektedir. Spektrumlardan görüldüğü gibi her 3 bileşende ve tüm pencerelerde 1.5-2 Hz civarında sivri doruklar görülmektedir. Azalan yuvarlatma değerine göre SBS istasyonunda H/V eğrisindeki endüstriyel doruğun sivriliğinin artması Şekil 4.25’de gösterilmektedir. Endüstriyel doruğun genliği, istasyonlarda ve bileşenlerde farklılıklar gösterir. Örneğin SBS noktasında endüstriyel doruk genliğinin diğer istasyonlara göre oldukça düşük olması bu noktanın endüstriyel kaynaktan uzak olduğunu göstergesidir. Hersek deltasının dışındaki noktalarda bu gürültü tamamen kaybolmaktadır. H/V eğrilerinde endüstriyel doruğun varlığı, bunun bir zemin rezonans frekansı olarak yorumlanabilme tehlikesi taşır.

Endüstriyel gürültünün günlük değişimini inceleyebilmek amacıyla uygun bulunan ITF noktasında 24 saatlik kayıt kullanılmıştır. İnceleme sonucunda endüstriyel gürültünün gece yaklaşık 02:00 ila 07:00 saatleri arasında kesildiği ortaya çıkmıştır. ITF noktasında endüstriyel gürültünün olduğu ve olmadığı zaman dilimleri için hesaplanan spektrumlar ve H/V eğrileri Şekil 4.27’de gösterilmektedir. Şekilden görüldüğü gibi endüstriyel kaynaklı doruğun frekansı 1.5-2 Hz civarındadır. Bu doruğu oluşturabilecek kaynağın, bölgede faaliyet gösteren Tersaneler (Şekil 4.23) olabileceği düşünülmektedir.

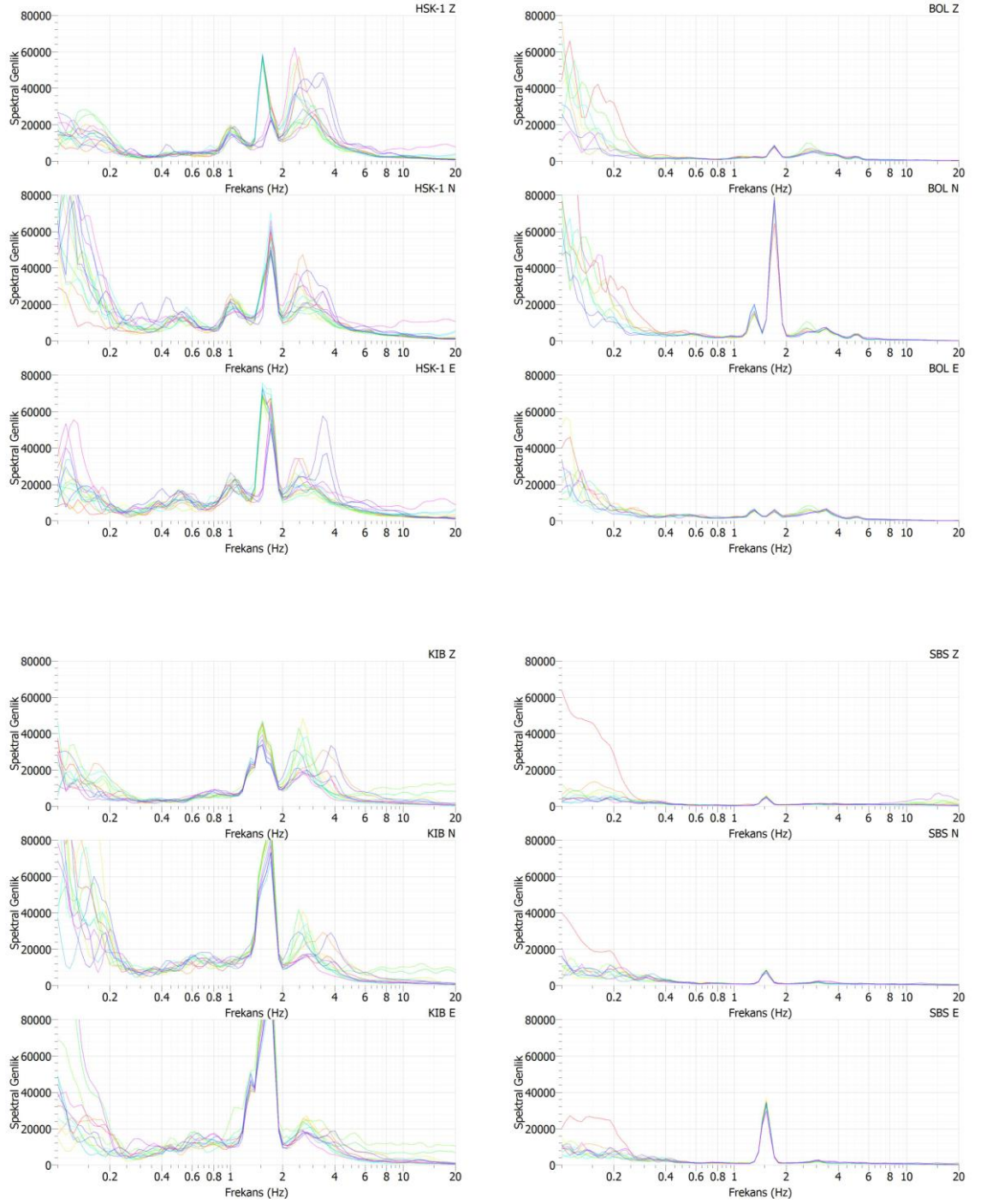
#### 4.5.4. Ölçüm aletinde geniş bant-kısa periyot karşılaştırması

H/V eğrileri incelendiğinde bazı noktalarda düşük frekanslarda yüksek saçılmalar veya genlik değerlerinin çok yüksek değerlere doğru gittiği dikkat çekmiştir. Buna örnek OZD-1 noktası H/V eğrisi Şekil 4.28’de gösterilmektedir. Bu durum bazen H/V eğrilerinde belirgin doruk belirlemeyi güçleştirmekte, ya da düşük frekanslarda bir doruk olabileceği şüphesini doğurmaktadır. Bu etkinin kullanılan geniş bant aletle ilgili olabileceği düşüncesiyle 11 noktada iki alet, biri geniş bant diğeri kısa periyot olarak birlikte ölçüm alınmıştır. Geniş bant durumunda sismometrenin frekans aralığı 0.033-50 Hz iken, kısa periyot durumunda 1-50 Hz frekans aralığına sahip olmaktadır.

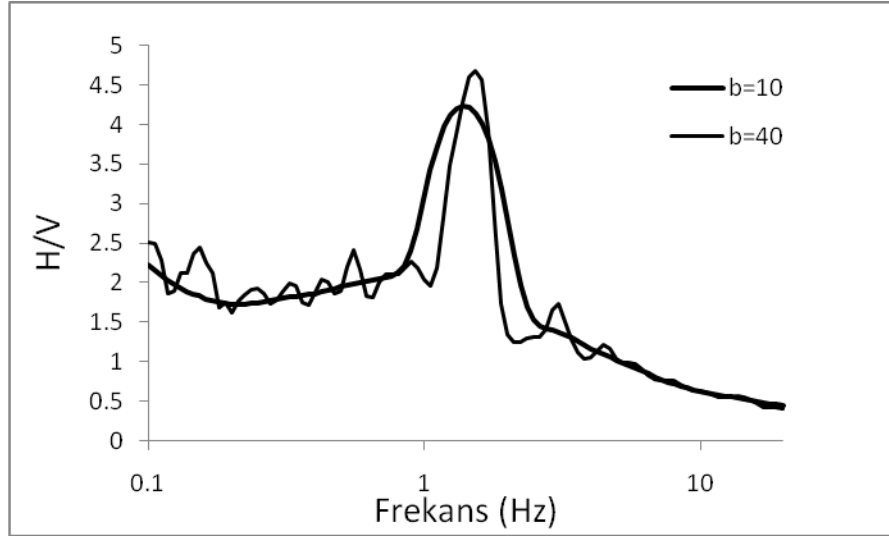




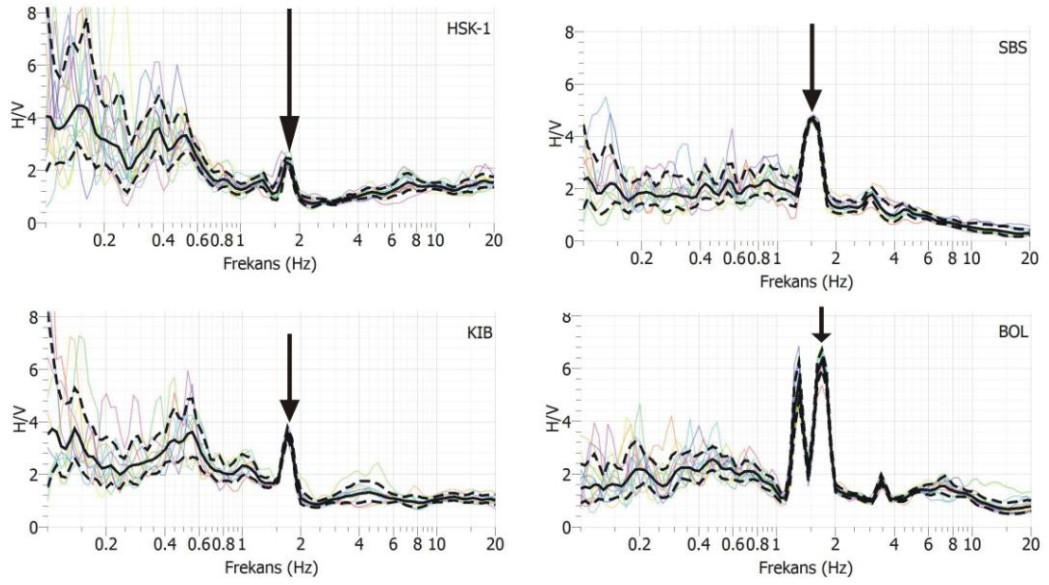
**Şekil 4.23:** Hersek Deltasındaki ölçü noktalarını gösterir harita



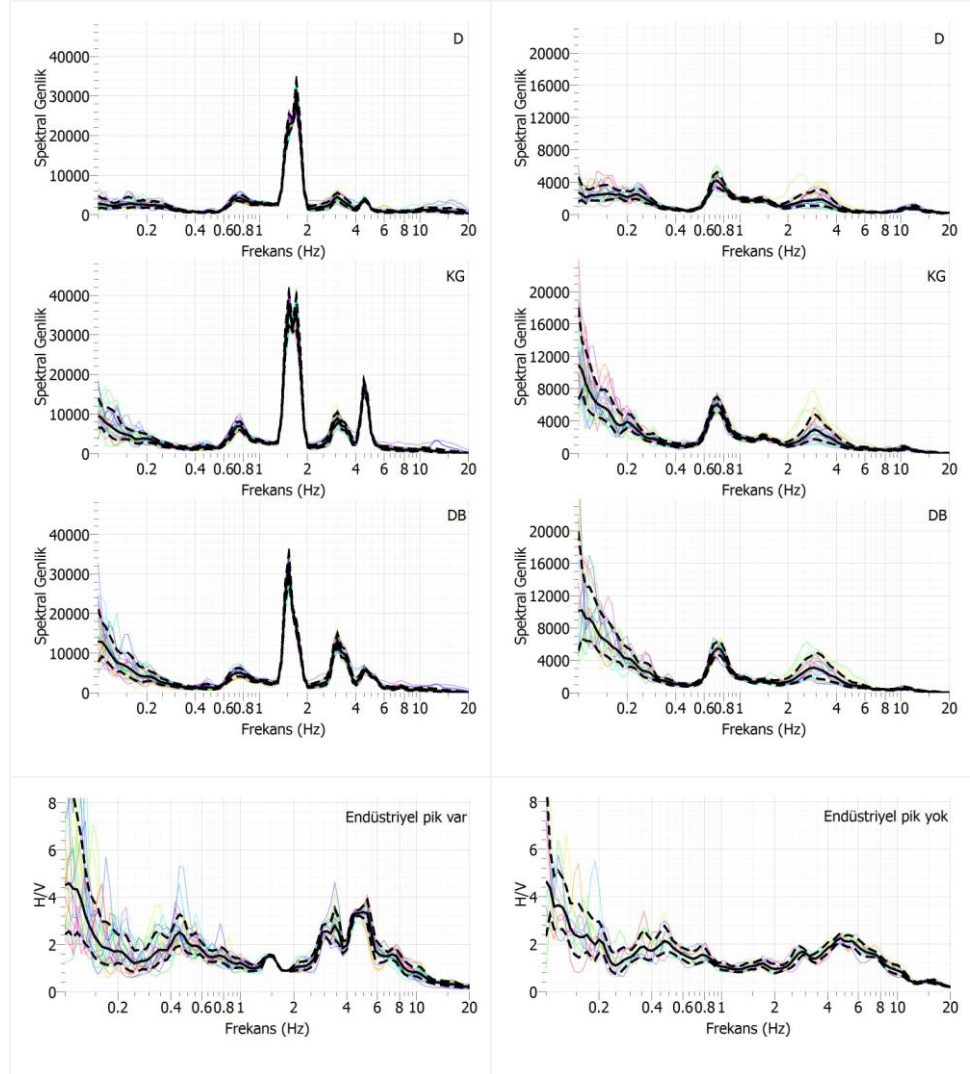
Şekil 4.24: 1.5-2 Hz civarında endüstriyel kaynaklı bir doruğun her 3 bileşen spektrumlardaki görüntüsü.



**Şekil 4.25:** SBS istasyonu değişen yuvarlatma değerleri ile endüstriyel doruk tespiti.



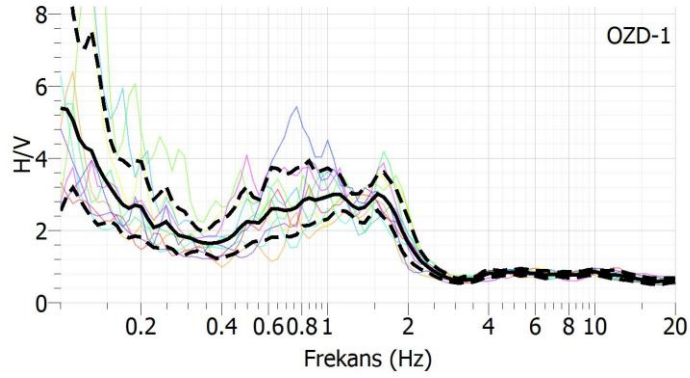
**Şekil 4.26:** Hersek bölgesi örnek ölçü noktaları H/V eğrileri. Eğrilerde okla gösterilenler endüstriyel kaynaklı doruklardır.



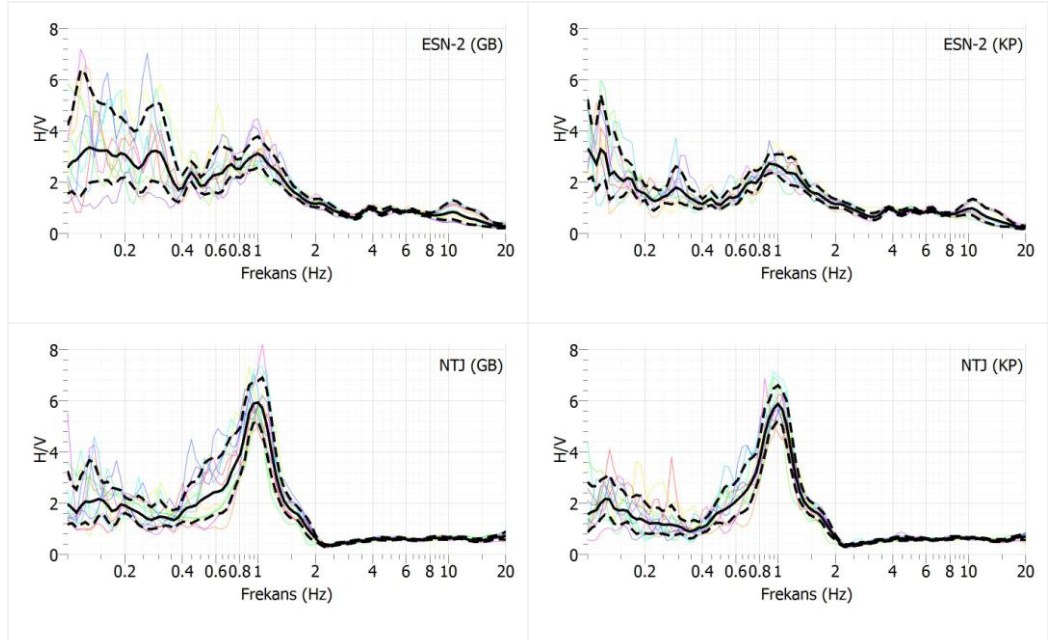
**Şekil 4.27:** ITF noktası 24 saatlik kayıta endüstriyel doruğun olduğu ve olmadığı bölümlere ait spektrum grafikleri (üst grafiklerden solda endüstriyel doruk olan, sağda olmayan) ve H/V eğrileri (alt grafiklerden solda endüstriyel doruk olan, sağda olmayan) görülmektedir.

Şekil 4.30’da BAM noktasında her iki cihaz ile alınan mikrotremör ölçümlerinin zaman ve frekans ortamı karşılaştırmaları gösterilmektedir. Şekilden görülebildiği gibi, geniş bant cihazın zaman ortamı sinyalde düşük frekans duyarlılığı açıktır. Spektrumlara bakıldığında kısa periyot cihaz kayıtlarında yaklaşık 0.5 Hz’in altındaki genlikler beklenildiği gibi önemli ölçüde bastırılmaktadır. Şekil 4.29’da ise örnek olarak ESN-2 noktası geniş bant (GB) ve kısa periyot (KP) kayıtlar hesaplanan H/V eğrileri karşılaştırılmaktadır. Görüldüğü gibi kısa periyot cihaz ile elde edilen H/V eğrisinde düşük frekanslarda saçılmalar ortadan kalkmış, rezonans frekansı belirgin hale

gelmiştir. Fakat kısa periyot cihaz kullanımı durumunda 0.5 Hz'in altındaki bir zemin hakim periyodunun gözlenememesi gibi bir durum ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle tahmin edilen zemin rezonans frekansının 0.5 Hz'in altında olduğu yerler için geniş bant cihaz kullanımı gereklidir. Daha yüksek zemin rezonans frekansı beklenen noktalarda kısa periyot cihaz kullanımı, düşük frekanslardaki saçılımı azaltır ve rezonans frekansının belirgin ortaya çıkmasına yardımcı olur.

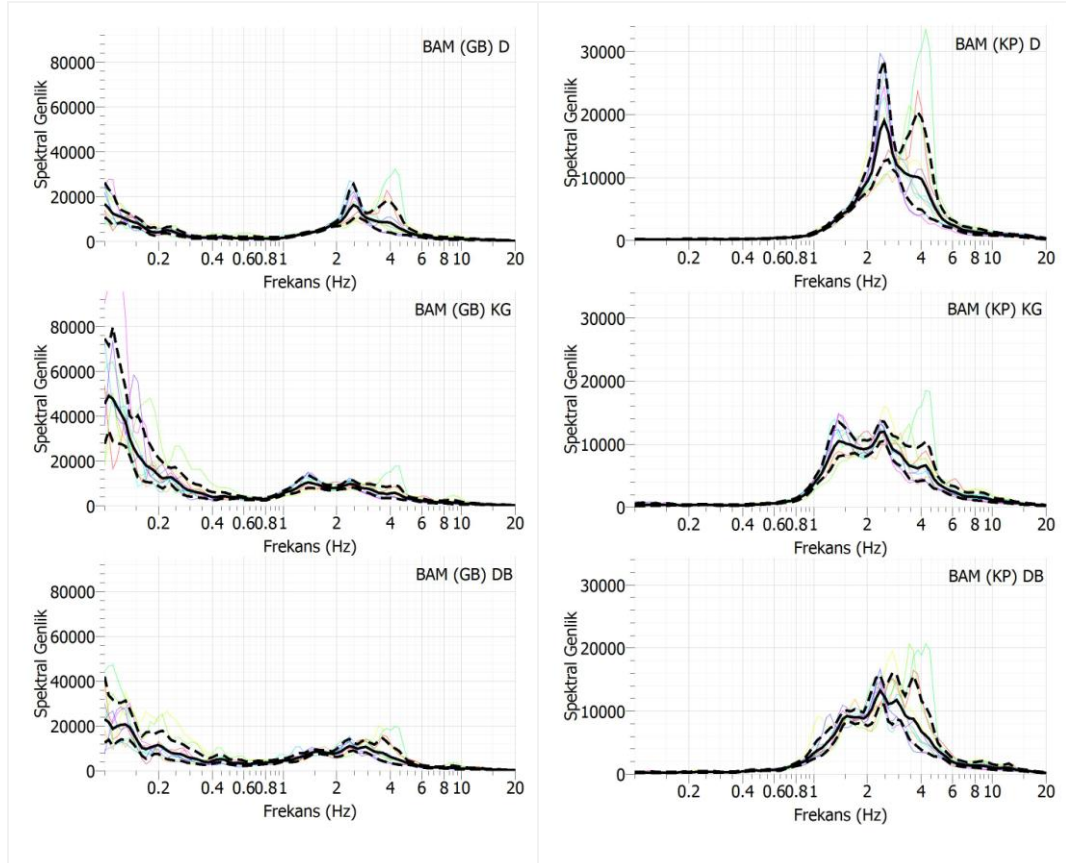
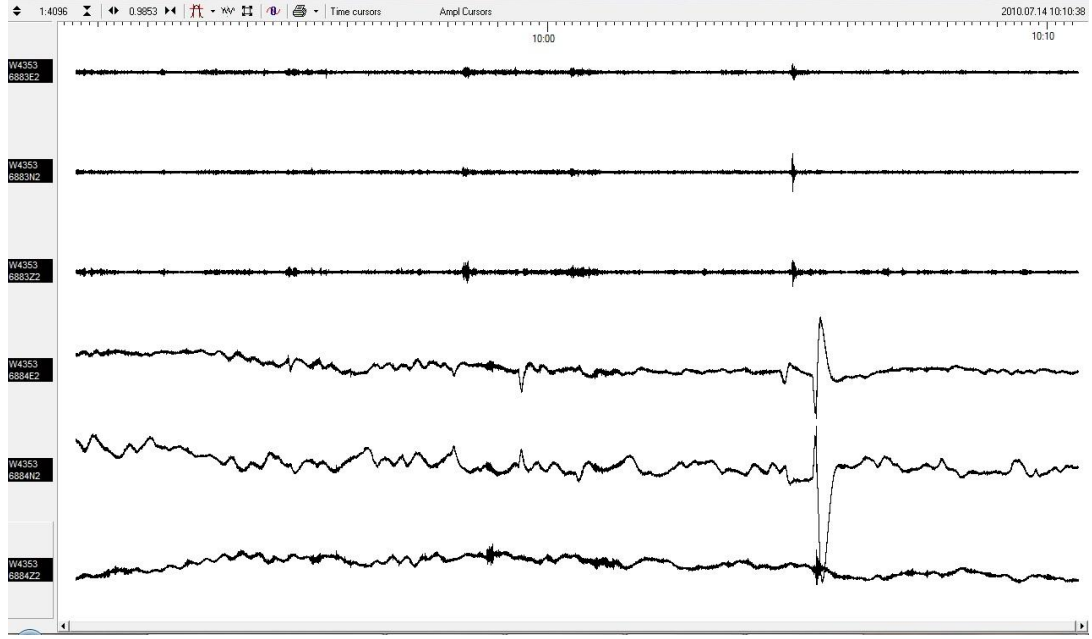


**Şekil 4.28:** Düşük frekanslardaki yüksek saçılmaları gösteren örnek H/V eğrisi



**Şekil 4.29:** Farklı cihazların H/V eğrilerinin karşılaştırılması. Soldaki şekiller geniş-bant kayıtçısına ait H/V eğrileri, sağdaki şekiller kısa periyot kayıtçısına ait H/V eğrileri.





**Şekil 4.30:** BAM noktasında eşzamanlı geniş-bant ve kısa periyot aletle alınmış mikrotremör kayıtlarının zaman ortamı görünüşleri (üst üç bileşen kısa periyot kayıtları, alt üç bileşen geniş bant kayıtları gösterir) ve Fourier spektrumları (sol grafikler geniş bant spektrumları, sağ grafikler kısa periyot spektrumları gösterir).

#### 4.5.5. Belirgin doruk durumu

H/V eğrilerinde belirgin doruk durumu ile ilgili kıstaslar bölüm 4.3.2’de incelenmiştir. Bu kıstaslara uygun olarak 92 adet ölçümün (81 geniş bant, 11 kısa periyot) H/V eğrileri belirgin doruk gösterip göstermeme durumuna göre sınıflandırılmışlardır. Tablo 4.5’te her bir nokta için H/V eğrisinin tipi, belirlenen zemin rezonans frekansı ve maksimum büyütme değerleri birlikte gösterilmektedir. Şekil 4.31 ise ölçüm noktalarının belirgin doruk gösterip göstermeme durumuna ve rezonans frekansına göre harita üzerinde gösterilmektedir. Ölçüm noktalarından 38 tanesinde zemin rezonans frekansı belirgin olarak tespit edilirken, diğer istasyonlarda belirgin doruk tanımlaması yapılamamıştır. Şekil 4.31’da görüldüğü gibi belirgin doruk noktalarının ölçüm alanının tamamına yayılmış olması nedeniyle, jeolojik birimlerle bir ilişkisi kurulamamıştır. Yalova bölgesi için özellikle alüvyon üzerinde belirgin doruk göstermeyen noktaların çokluğu dikkat çekicidir. Bunun nedenleri olarak; hız geçişlerinin çok keskin olmayışı ve yer altı tabakalarının 2-3 boyutlu etkileri, karmaşık jeolojik yapı sayılabilir.

**Tablo 4.5:** 92 adet kayda ait H/V eğrilerinin doruk durumunun incelenmesi

Ölçü Noktası	Pencere Sayısı	Pencere Uzunluğu (sn)	H/V eğri tipi	A0	f0(Hz)
HSK-1	15	100	Belirgin doruk değil		
HSK-2	11	100	Belirgin doruk	3.34	0.36
HSK-3	12	100	Belirgin doruk	2.32	0.68
HSK-4 (GB)	15	100	Belirgin doruk	3.9	0.47
HSK-4 (KP)	14	100	Belirgin doruk değil		
HSTD	15	100	Belirgin doruk değil		0.89
KIB	10	100	Ends. doruk		
HSKY	10	100	Belirgin doruk değil	1.57	0.80
ASY-1	10	100	Düz (alüvyon)		
ASY-2 (GB)	11	100	Düz (alüvyon)		
ASY-2 (KP)	11	100	Düz (alüvyon)		
HAV	14	100	Düz (alüvyon)		
BSK	10	100	Belirgin doruk	2.31	0.52
AYD	11	50	Düz (alüvyon)		
SVR	10	100	Belirgin doruk değil		
OZD-1	10	100	Belirgin doruk değil		
OZD-2 (GB)	9	100	Belirgin doruk	4.78	0.89
OZD-2 (KP)	9	100	Belirgin doruk	4.40	0.89
ALG	10	50	Belirgin doruk değil		
SLT-1	12	50	Belirgin doruk	2.52	1.53
SLT-2 (GB)	10	100	Belirgin doruk	4.18	1.45

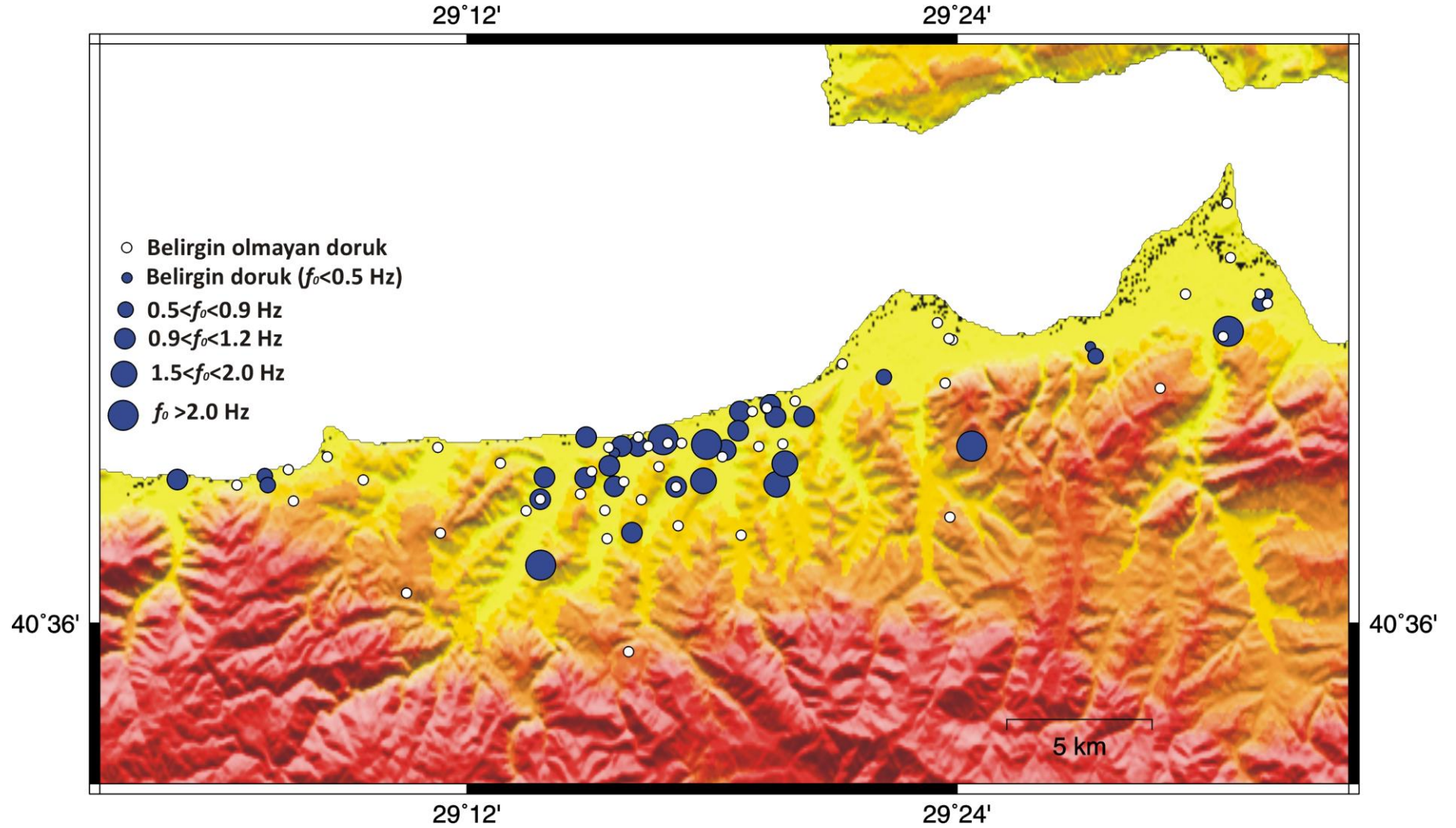
**Tablo 4.5:** devam ediyor

Ölçü Noktası	Pencere Sayısı	Pencere Uzunluğu (sn)	H/V eğri tipi	A0	f0(Hz)
SLT-2 (KP)	10	100	Belirgin doruk	3.90	1.45
FEY	10	100	Belirgin doruk değil		
HST	9	100	Belirgin doruk	5.39	1.17
KON	10	100	Belirgin doruk	3.69	0.89
SER-1	10	100	Belirgin doruk değil		
SER-2 (GB)	11	100	Belirgin doruk	4.48	1.11
SER-2 (KP)	15	100	Belirgin doruk	4.17	1.11
KZM-1	Kullanılmadı				
ESN-1	Kullanılmadı				
ESN-2 (GB)	10	100	Belirgin doruk değil		
ESN-2 (KP)	10	100	Belirgin doruk	2.72	0.89
GOP	9	100	Belirgin doruk değil		
MGRS	10	50	Belirgin doruk değil		
MTJ	13	100	Belirgin doruk	3.08	2.11
BKG	10	50	Belirgin doruk değil		
GLD	10	80	Belirgin doruk	3.71	0.99
TOR	10	100	Belirgin doruk değil		
LSE	10	50	Belirgin doruk	3.92	1.17
BIO	16	100	Belirgin doruk değil		
STD	10	100	Belirgin doruk	2.83	0.30
SGK	11	100	Belirgin doruk	2.8	0.99
UNI	10	100	Belirgin doruk değil		
TOKI-1	15	100	Belirgin doruk	5.32	1.11
TOKI-2	11	100	Belirgin doruk değil		
TOKI-3	16	100	Belirgin doruk değil		
TIG	12	100	Belirgin doruk	3.69	1.37
KIM	10	100	Belirgin doruk	5.94	1.17
BAM (GB)	10	100	Belirgin doruk değil		
BAM (KP)	10	100	Belirgin doruk	3.34	0.99
COP	18	100	Düz (temel kaya)		
SMN	9	100	Belirgin doruk değil		
KRU	10	50	Belirgin doruk değil		
PTT	11	50	Belirgin doruk	2.89	0.52
FKO	11	100	Belirgin doruk değil		
CBP	10	50	Belirgin doruk değil		
DER	10	100	Belirgin doruk	5.99	0.99
NTJ GB	13	100	Belirgin doruk	5.94	0.99
NTJ KP	13	100	Belirgin doruk	5.88	0.99
KZM-2 (GB)	9	100	Belirgin doruk değil		
KZM-2 (KP)	Kullanılmadı				
KBK	9	50	Belirgin doruk	2.94	2.35



Tablo 4.5: devam ediyor

Ölçü Noktası	Pencere Sayısı	Pencere Uzunluğu (sn)	H/V eğri tipi	A0	f0(Hz)
KLC	10	50	Belirgin doruk değil		
OKV	11	50	Belirgin doruk	2.84	1.05
BYK	10	50	Belirgin doruk değil		
YUR	10	50	Belirgin doruk	2.35	5.24
GCM	10	50	Belirgin doruk	2.46	1.23
AGC (GB)	16	100	Belirgin doruk değil		
AGC (KP)	14	100	Belirgin doruk değil		
KRZ	Kullanılmadı				
SDP	19	50	Belirgin doruk değil		
SAF	10	100	Belirgin doruk değil		
JDM	22	100	Belirgin doruk	8.73	0.94
EBY	10	50	Belirgin doruk değil		
VLA-2	10	100	Belirgin doruk	3.37	1.11
VLA-1	11	100	Belirgin doruk değil		
BOL	14	100	Ends. doruk		
TAV-1	10	50	Belirgin doruk	2.71	0.36
ITF	20	100	Belirgin doruk	2.27	4.71
SBS	11	100	Ends. doruk		
TAV-2	20	100	Belirgin doruk	5.09	0.85
TAS	9	100	Düz		
KDK	10	50	Belirgin doruk	2.50	2.11
SOG	11	100	Belirgin doruk değil		
GKC-1	Kullanılmadı				
GKC-2	17	100	Belirgin doruk değil		
KCM	10	50	Belirgin doruk değil		
AKK	9	50	Belirgin doruk değil		
CLC	10	50	Düz (temel kaya)		
HSB	10	50	Belirgin doruk değil		
MFT	11	50	Belirgin doruk	2.38	0.52



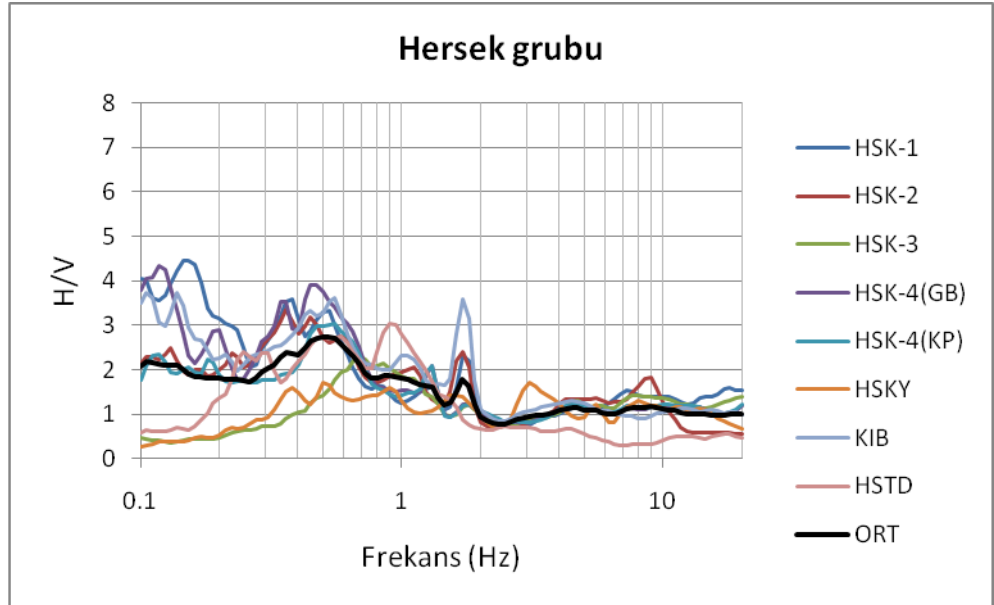
**Şekil 4.31:** Yalova mikrotremor noktalarında H/V eğrilerinin SESAME (2004) kriterlerine göre değerlendirilmesi sonucunda noktaların belirgin doruk verme (mavi noktalar) ve belirgin doruk vermeme (beyaz noktalar) durumuna göre sınıflandırılmaları. Belirgin doruk veren noktalarda, nokta çapları belirlenen zemin hakim frekansına ( $f_0$ ) göre ölçeklendirilmiştir.

#### 4.6. YALOVA İÇİN ZEMİN TRANSFER FONKSİYONLARI

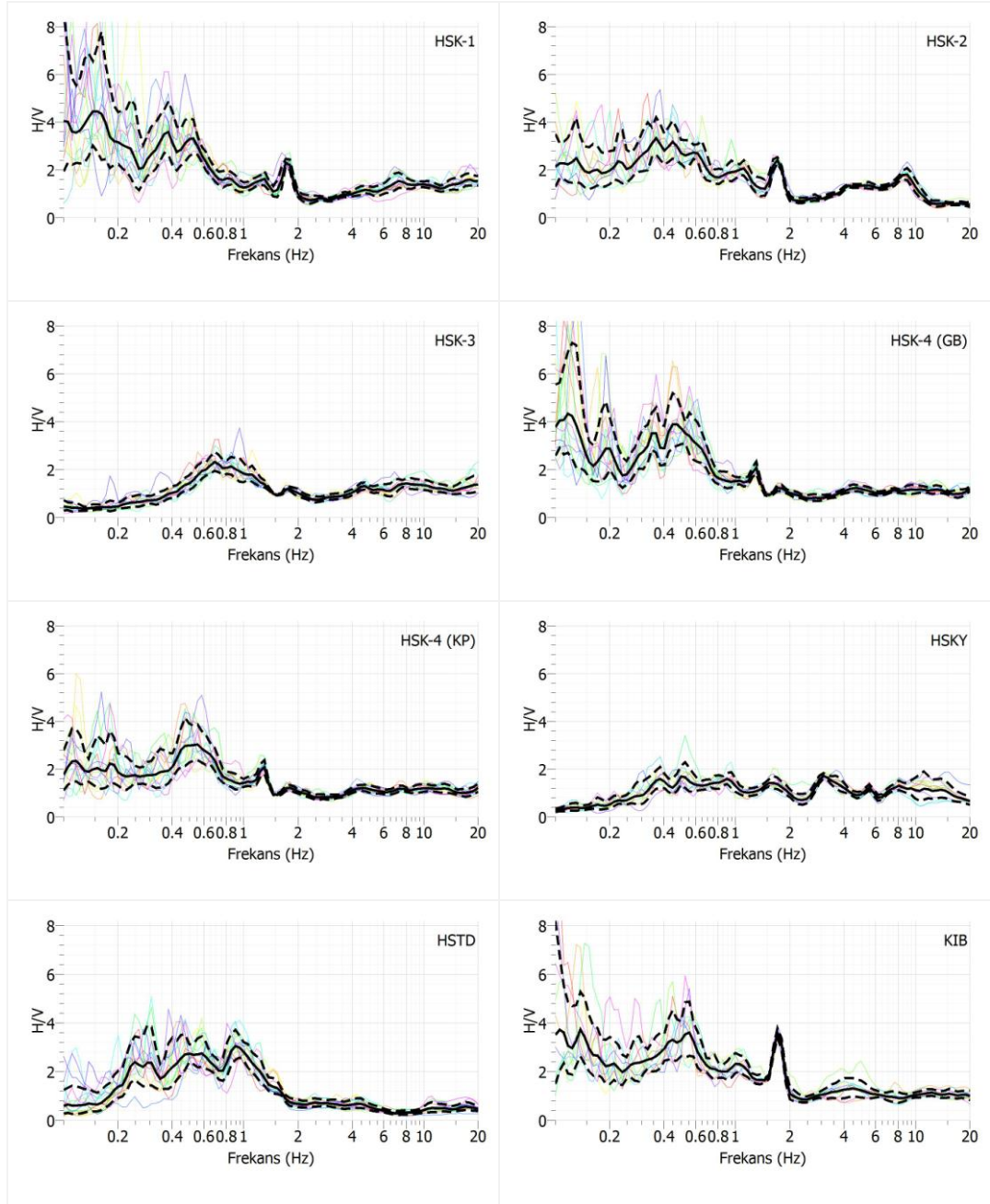
Yalova için H/V eğrilerinin yorumlanması sırasında birbirine yakın noktalar H/V eğrilerinin benzerliklerine ve yüzey jeolojisine uygun olarak gruplandırılarak değerlendirme yoluna gidilmiştir. Bunun nedenlerinden birtanesi inceleme alanı bütününde zemin özelliklerinin çok kısa mesafeler içinde hem yatay hem düşey yönde önemli değişiklikler göstermesi nedeniyle, gevşek, sıkı, sert zeminlere ait olarak H/V eğri karakteristikleri yakalayamamamızdan kaynaklanmaktadır. İnceleme alanı içinde çok farklı karakteristikler gösteren bazı noktalar gruplara dahil edilmemiştir.

##### 4.6.1. Hersek grubu

Hersek grubu noktalar Şekil 4.49'da gösterilir. Her bir nokta için H/V eğrileri Şekil 4.33'de, Hersek grubu için ortalama H/V eğrileri ise Şekil 4.32'de gösterilmektedir. Hersek deltası yer altı su seviyesinin yüzeye yakın olduğu ve alüvyon kalınlığının 200-300 m olduğu tahmin edilen bir alandır. Her ne kadar ortalama H/V eğrileri birbirinden farklılıklar gösterse de zemin rezonans frekansının yaklaşık 0.5 Hz civarında olduğu görülmektedir (Şekil 4.32).



Şekil 4.32: Hersek grubu ortalama H/V eğrisi



**Şekil 4.33:** Hersek deltası noktalarına ait kayıtların H/V eğrileri.

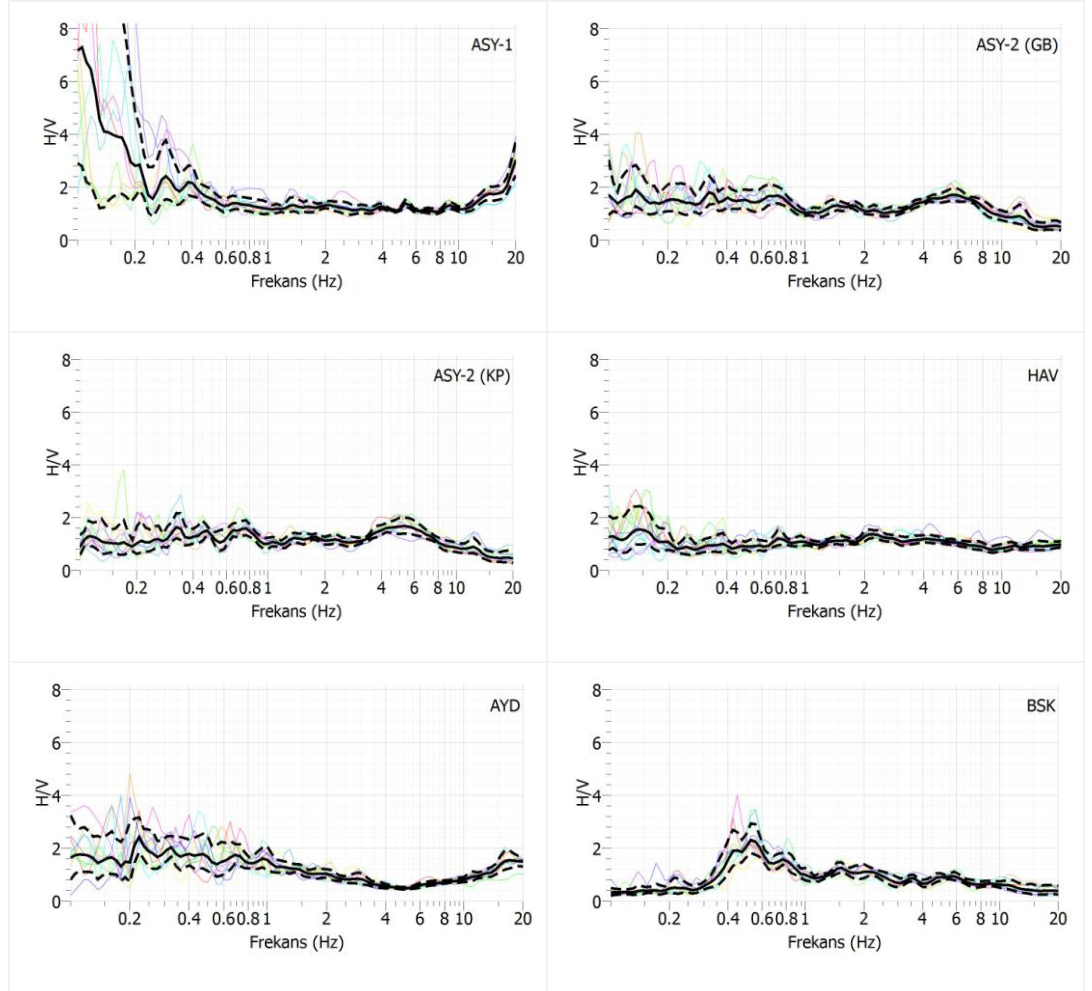
#### 4.6.2. Taşköprü grubu

Taşköprü grubu noktaları Şekil 4.49’da gösterilir. Her bir nokta için H/V eğrileri Şekil 4.34’de, Taşköprü grubu için ortalama H/V eğrileri ise Şekil 4.35’de gösterilmektedir. Hersek Deltası’nın hemen batısındaki bu alüvyon zeminde tamamen farklı özellikte H/V eğrileri tespit edilmiştir. Gevşek alüvyon zemine sahip olmasına rağmen Laledere

Deltası için H/V eğrilerinde herhangi bir büyütme gözlenmemektedir (Şekil 4.35). Yani alüvyon zemin için elde edilen bu düz H/V eğrileri sismik empedans farkının az olduğu yani derinlikle hız değişiminin tedrici olduğuna işaret etmektedir.

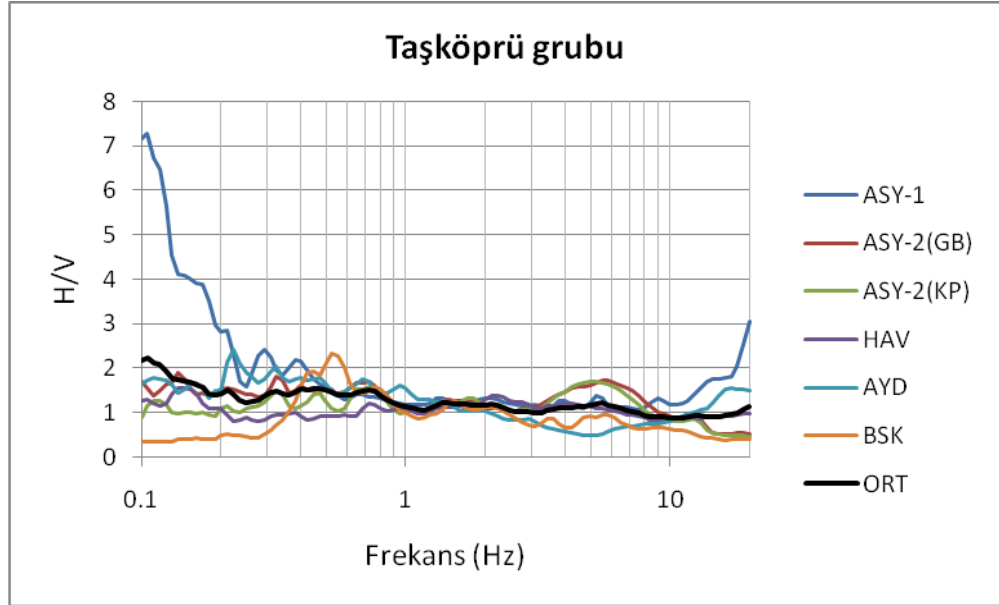
#### 4.6.3. Çiftlikköy Grubu

Çiftlikköy grubu noktaları Şekil 4.49’da gösterilir. Her bir nokta için H/V eğrileri Şekil 4.36’da, Çiftlikköy grubu için ortalama H/V eğrileri ise Şekil 4.37’de gösterilmektedir. Gevşek alüvyon zemin üzerinde bulunan bu noktaların H/V eğrilerinde 0.9 Hz’de bir rezonans frekans tespit edilmiştir (Şekil 4.37).

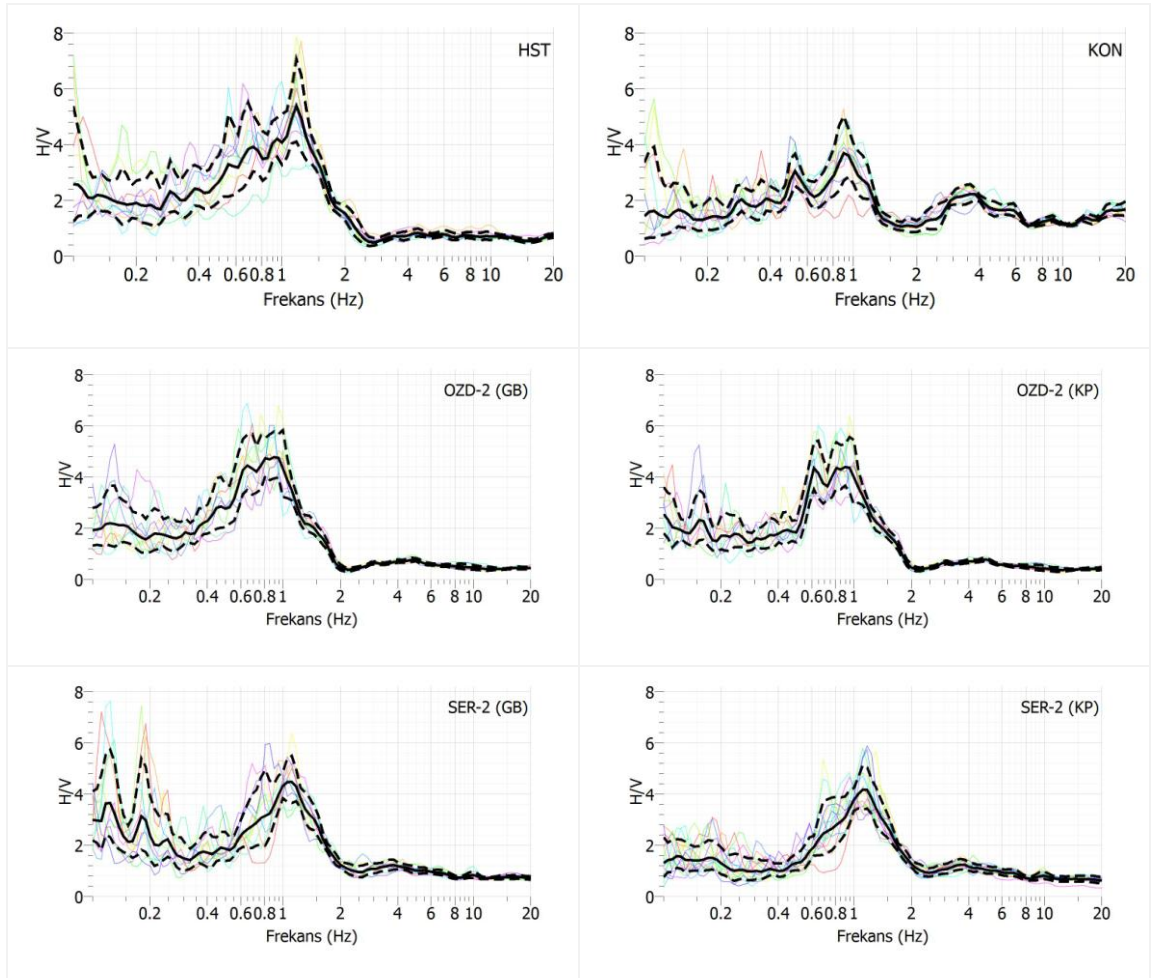


Şekil 4.34: Taşköprü grubu ölçüm noktaları H/V eğrileri

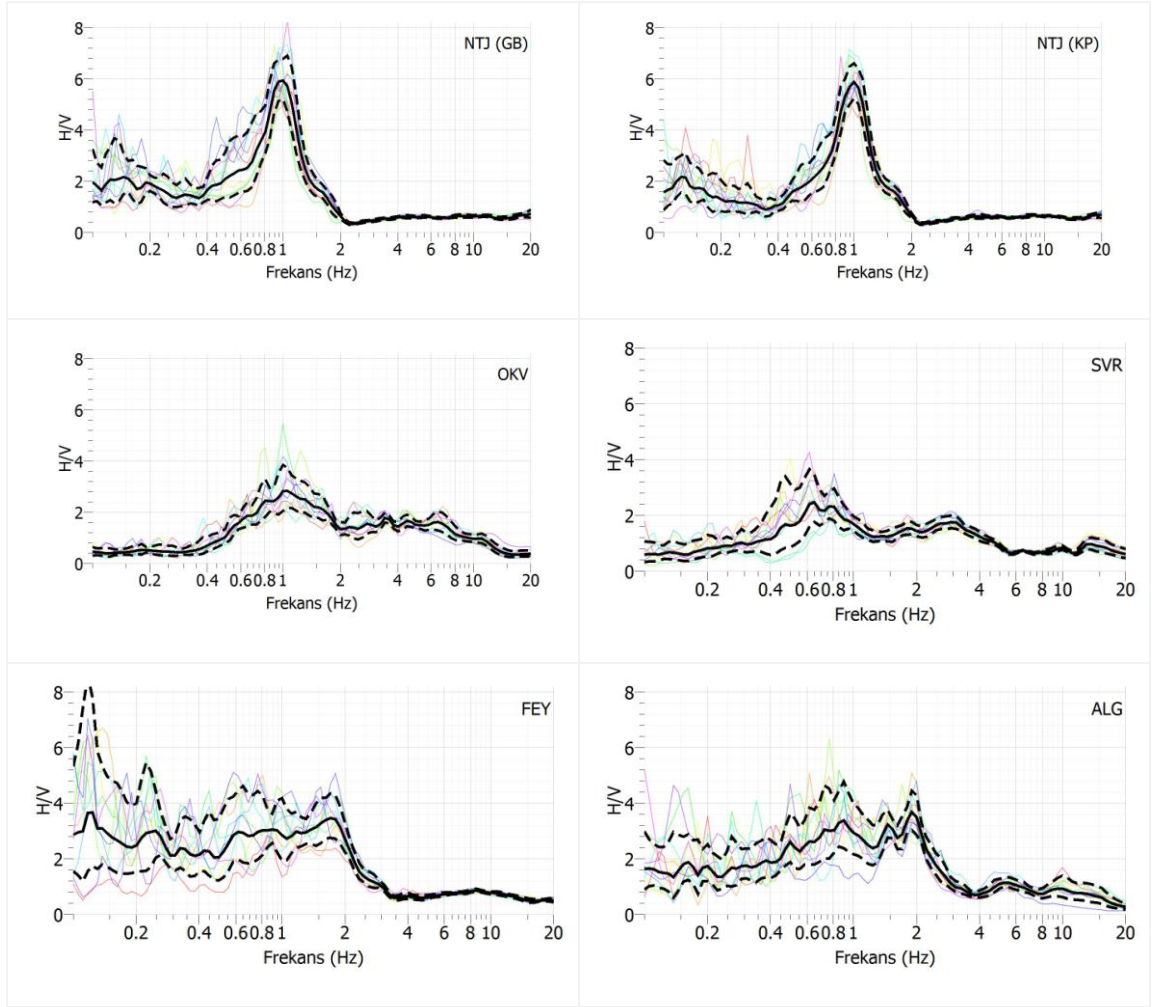




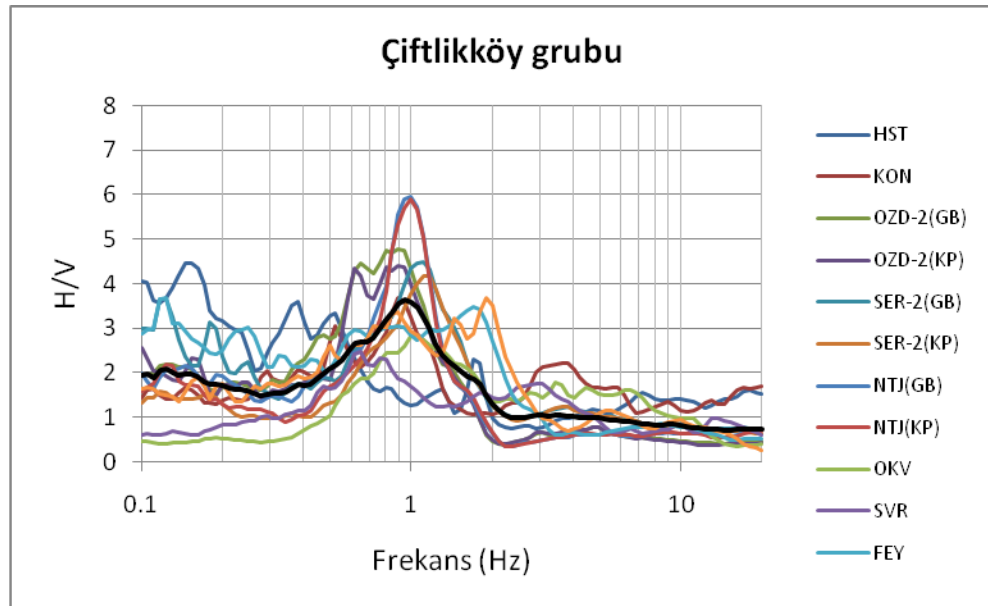
**Şekil 4.35:** Taşköprü grubu ortalama H/V eğrisi.



**Şekil 4.36:** Çiftlikköy grubu H/V eğrileri



Şekil 4.36: devam ediyor



Şekil 4.37: Çiftlikköy grubu ortalama H/V eğrisi.

#### 4.6.4. Yalova Merkez Grubu

Yalova merkez grubu noktaları Şekil 4.49'da gösterilir. Her bir nokta için H/V eğrileri Şekil 4.38'de, Yalova merkez grubu için ortalama H/V eğrileri ise Şekil 4.39'da gösterilmektedir. Yalova merkez için çok belirgin olmasa da 0.6 Hz civarında bir zemin rezonans frekansından bahsedilebilir (Şekil 4.39).

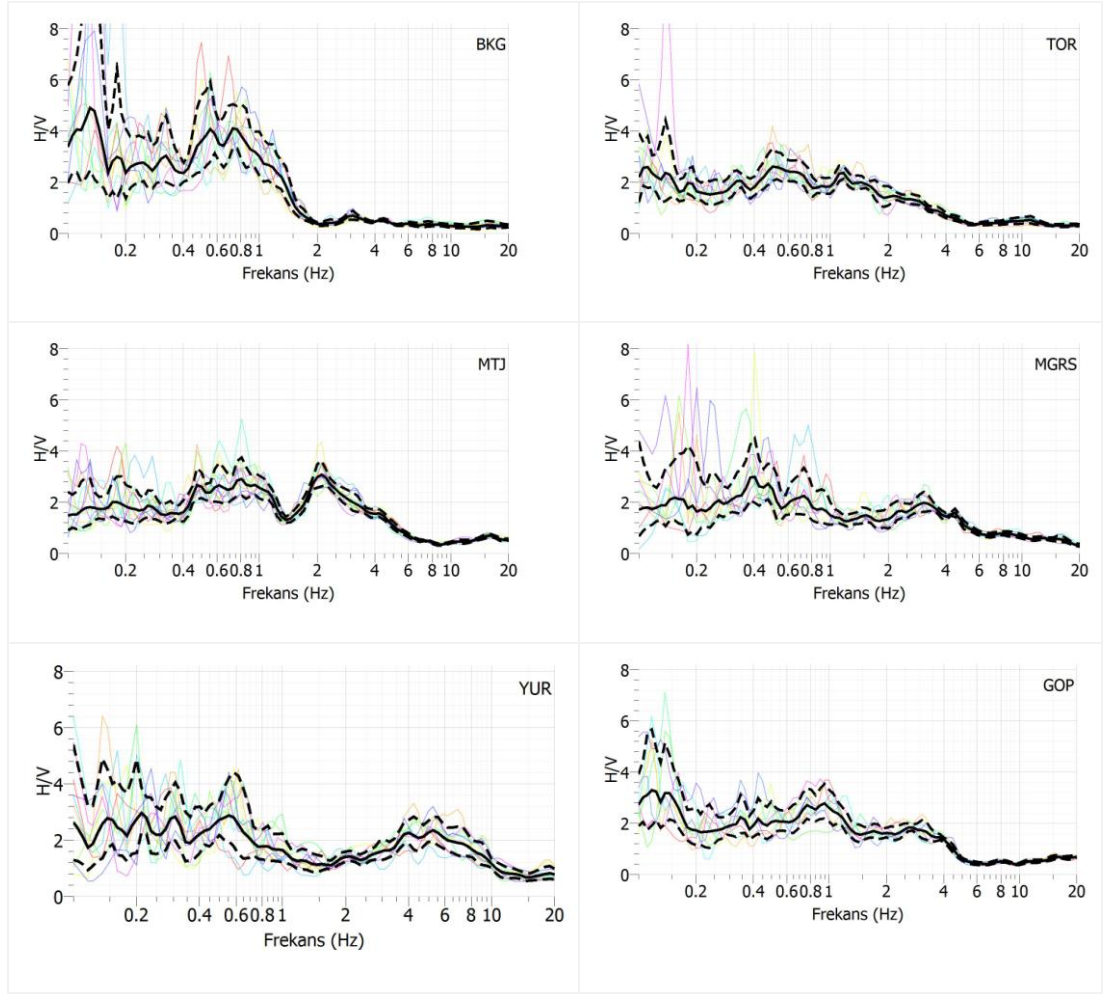
#### 4.6.5. Hacımehmet-1 Grubu

Hacımehmet-1 grubu noktaları Şekil 4.49'da gösterilir. Her bir nokta için H/V eğrileri Şekil 4.40'da, Hacımehmet ovası-1 grubu için ortalama H/V eğrileri ise Şekil 4.41'de gösterilmektedir. Hacımehmet ovası-1 grubu 1.1 Hz'de belirgin bir zemin rezonans frekansına sahiptir. TÜBİTAK (2005) bir proje kapsamında bölgede yapmış olduğu mikrotremör çalışmasında B05 (Şekil 4.49) noktasına ait zemin rezonans frekansını 1.1 Hz, aynı noktanın SPAC yöntemi ile  $V_{s30}$  hızını 168m/s olarak belirlemiştir. Görüldüğü gibi tespit edilen zemin rezonans frekansları aynıdır. Alüvyon kalınlığı  $f_0=1.1$  Hz ve  $V_s=168$ m/s değerleri için ( $f_0 = V_s/4H$ ) 38m olarak tespit edilmiştir.

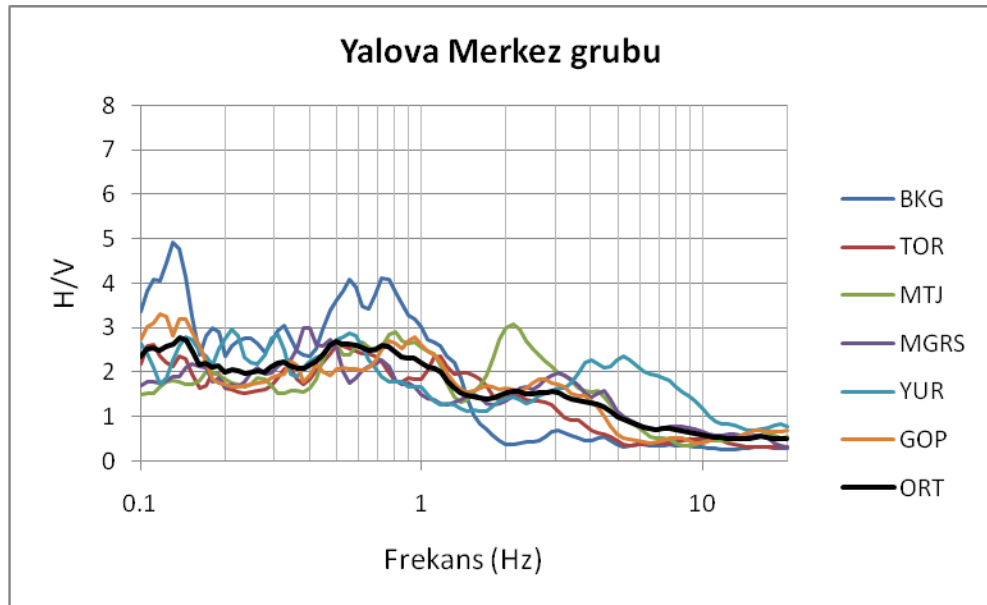
#### 4.6.6. Hacımehmet-2 Grubu

Hacımehmet-2 grubu noktaları Şekil 4.49'da gösterilir. Her bir nokta için H/V eğrileri Şekil 4.42'de, Hacımehmet ovası-1 grubu için ortalama H/V eğrileri ise Şekil 4.43'de gösterilmektedir. Hacımehmet ovası-2 grubu 1.1 Hz'de belirgin bir zemin rezonans frekansına sahiptir. Bunun yanında Hacımehmet ovası-2 grubu 0.3-0.4 Hz civarında bir doruğa daha sahiptir. Bu gruba ait zeminde 2 farklı sismik empedans değerinden bahsedilebilir. TÜBİTAK (2005) çalışmasında B03 (Şekil 4.49) noktası için zemin rezonans frekansını 0.9 Hz ve SPAC yöntemi ile  $V_{s30}$  hızını 335m/s olarak tespit etmiştir. Alüvyon kalınlığı  $f_0=1.1$  Hz ve  $V_s=335$ m/s değerleri için ( $f_0 = V_s/4H$ ) 76m olarak tespit edilmiştir. B05 noktasıyla kıyaslandığında alüvyon kalınlığının denize doğru arttığı görülmektedir.

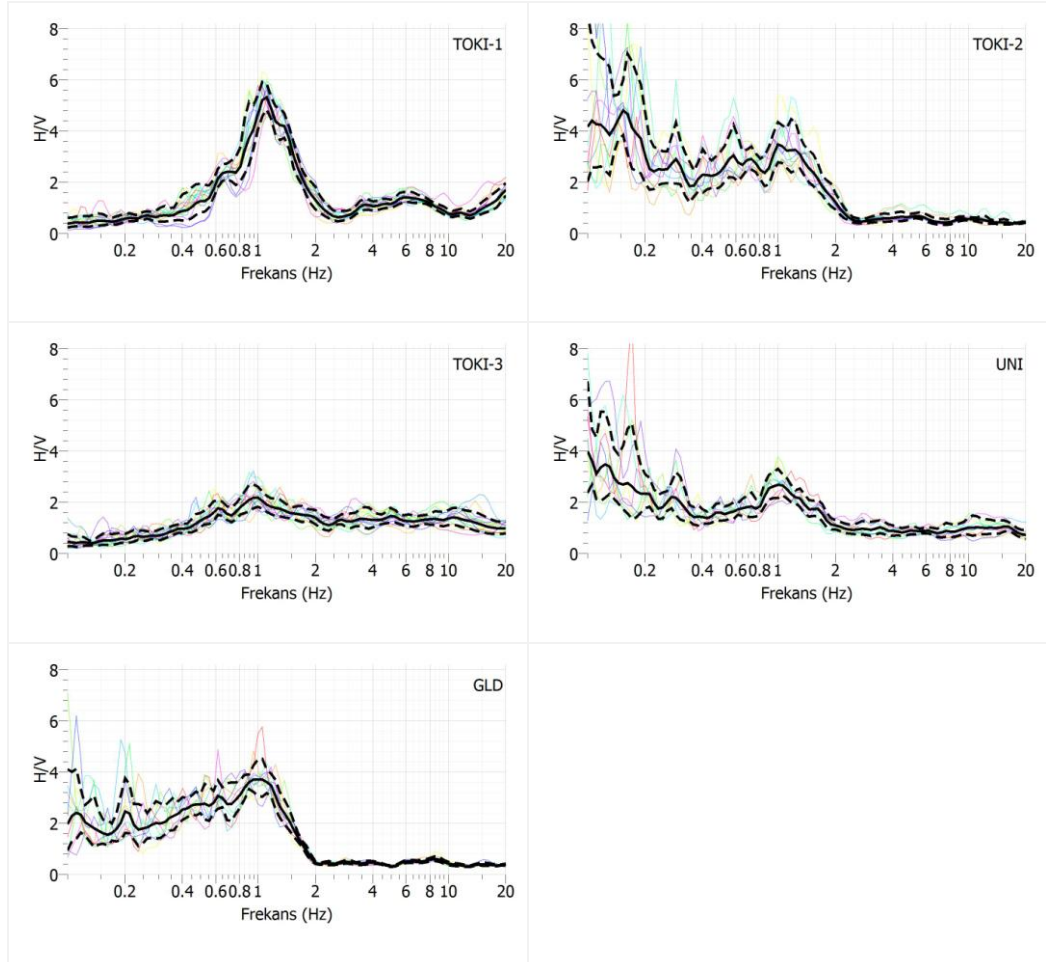




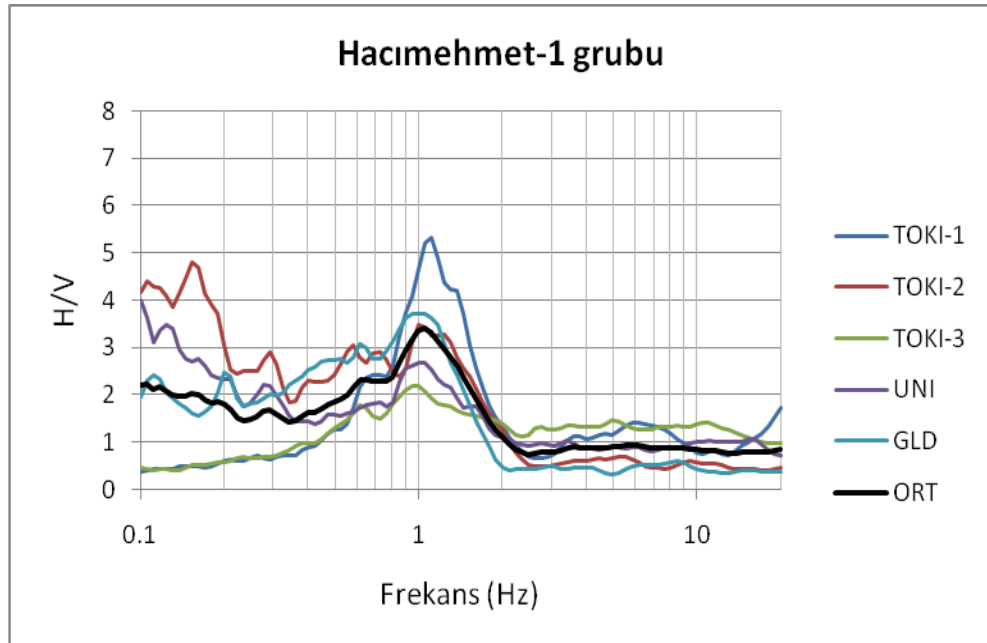
**Şekil 4.38:** Yalova Merkez grubu H/V eğrileri.



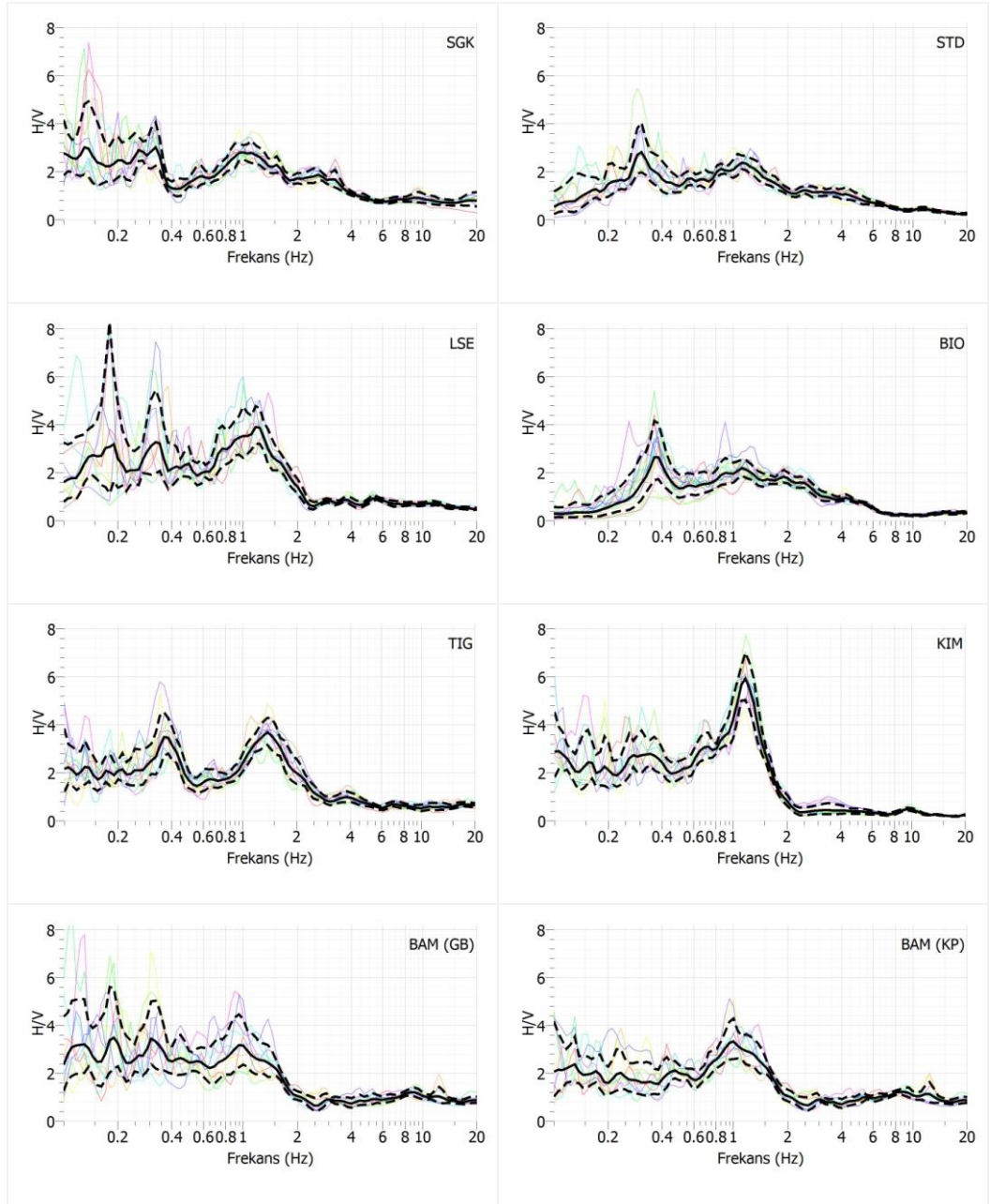
**Şekil 4.39:** Yalova Merkez grubu ortalama H/V eğrisi.



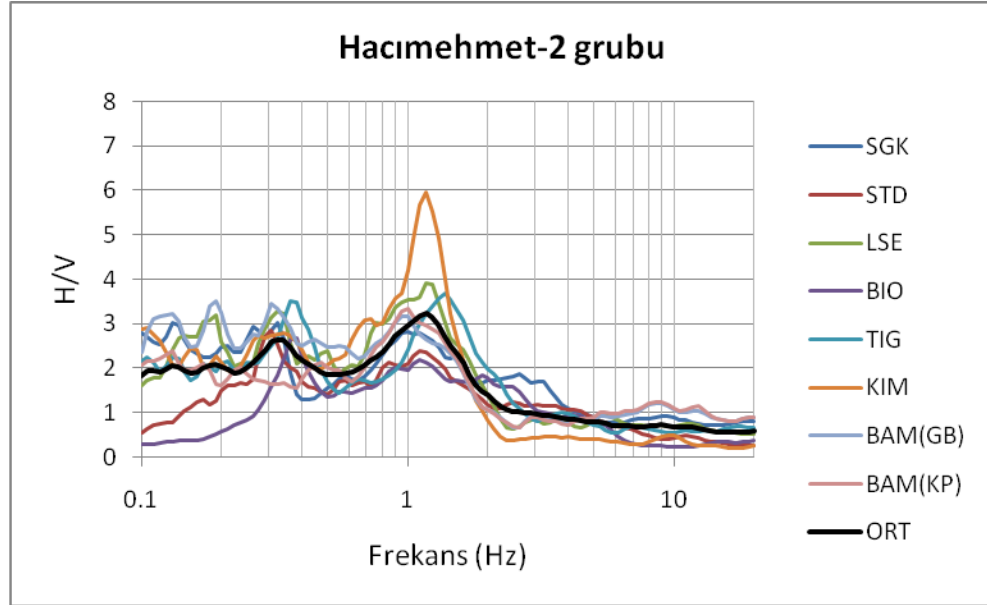
Şekil 4.40: Hacımehmet-1 grubu H/V eğrileri.



Şekil 4.41: Hacımehmet-1 grubu ortalama H/V eğrisi.



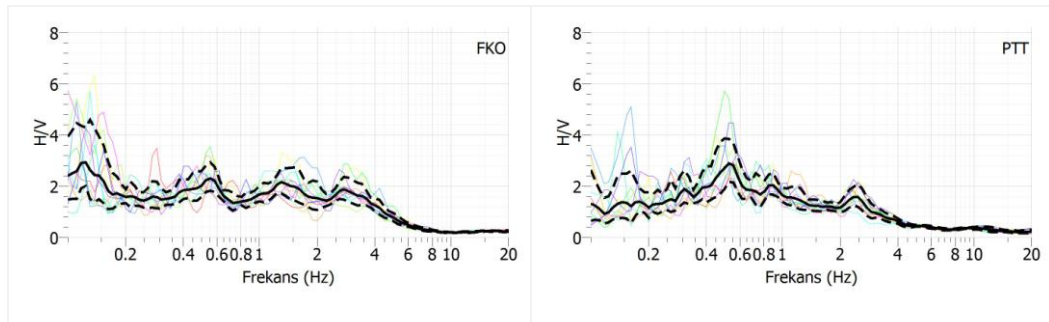
**Şekil 4.42:** Hacı Mehmet-2 grubu H/V eğrileri.



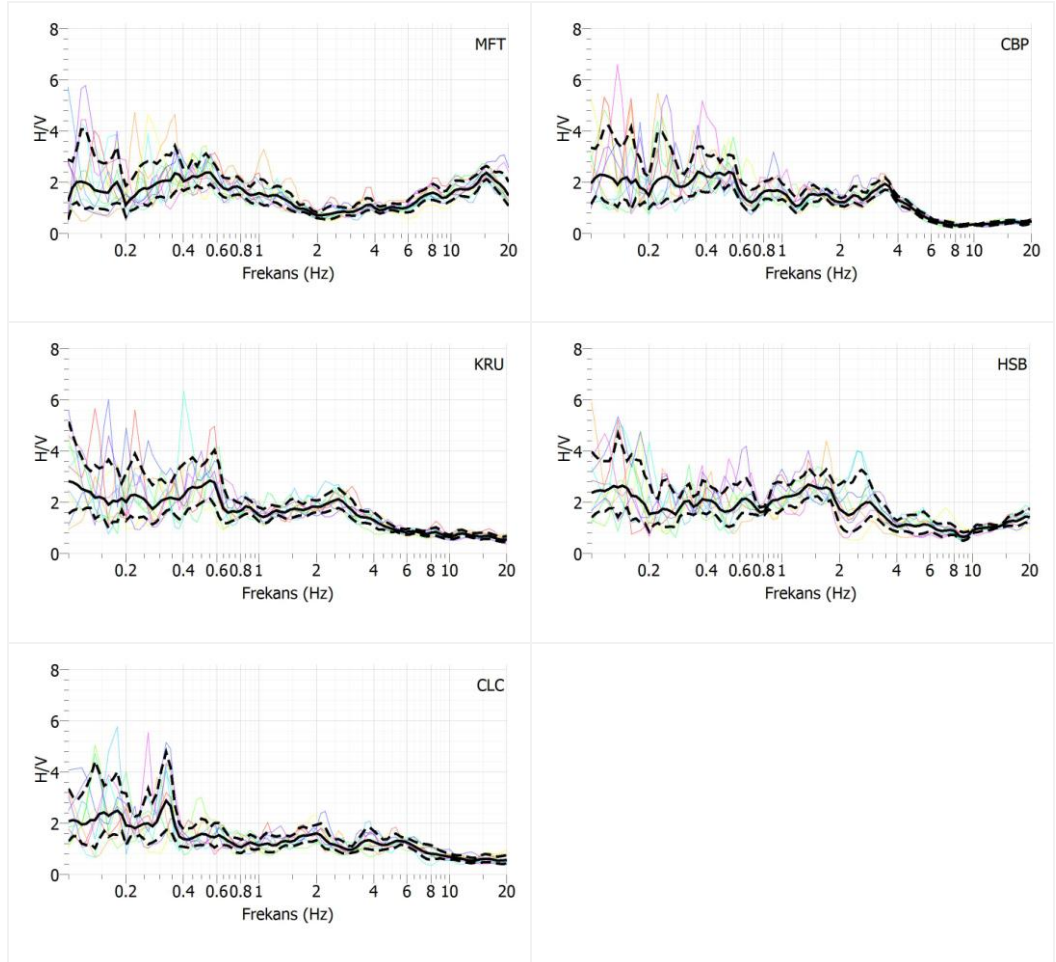
Şekil 4.43: Hacimehmet-2 grubu ortalama H/V eğrisi.

#### 4.6.7. Çınarcık grubu

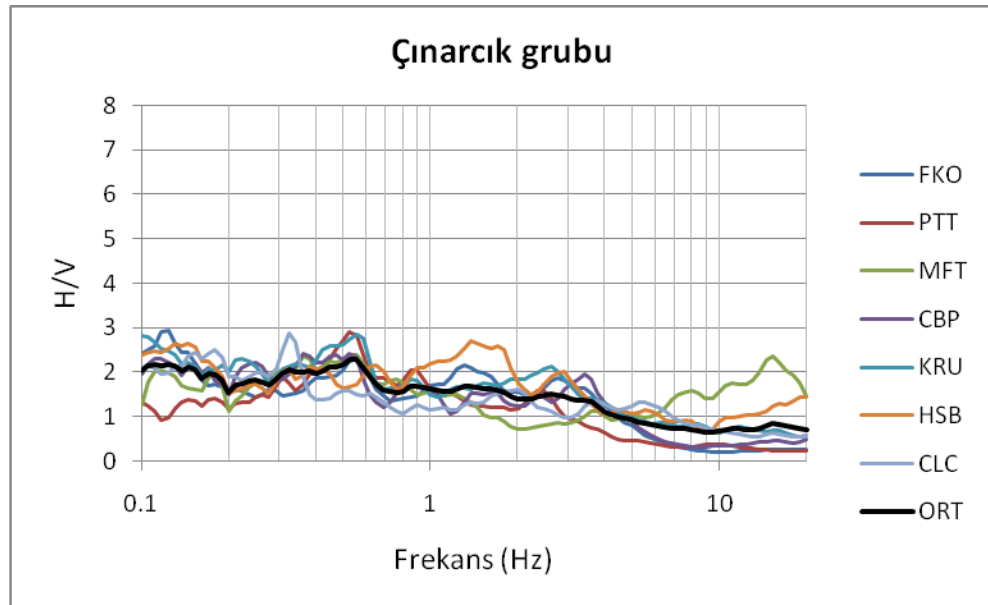
Çınarcık grubu noktaları Şekil 4.49'da gösterilir. Her bir nokta için H/V eğrileri Şekil 4.44'de, Çınarcık grubu için ortalama H/V eğrileri ise Şekil 4.45'de gösterilmektedir. Çınarcık grubu H/V eğrileri belirgin bir doruk göstermezler. Büyütme değerleri 4 Hz'e kadar ortalama 1-2 aralığındadır. Çınarcık grubundaki ölçüm noktalarının bir kısmı sahil kenarında alüvyon üzerinde, bir kısmı ise yamaçlardadır. Deniz kenarı alüvyon alanının çok dar olması ve muhtemelen kalınlığı düşük, bloklu malzemedan oluşmuş olabileceği bu grup H/V eğrilende önemli bir zemin etkisinin oluşmamasının nedenleri olabilir.



Şekil 4.44: Çınarcık grubu H/V eğrileri.



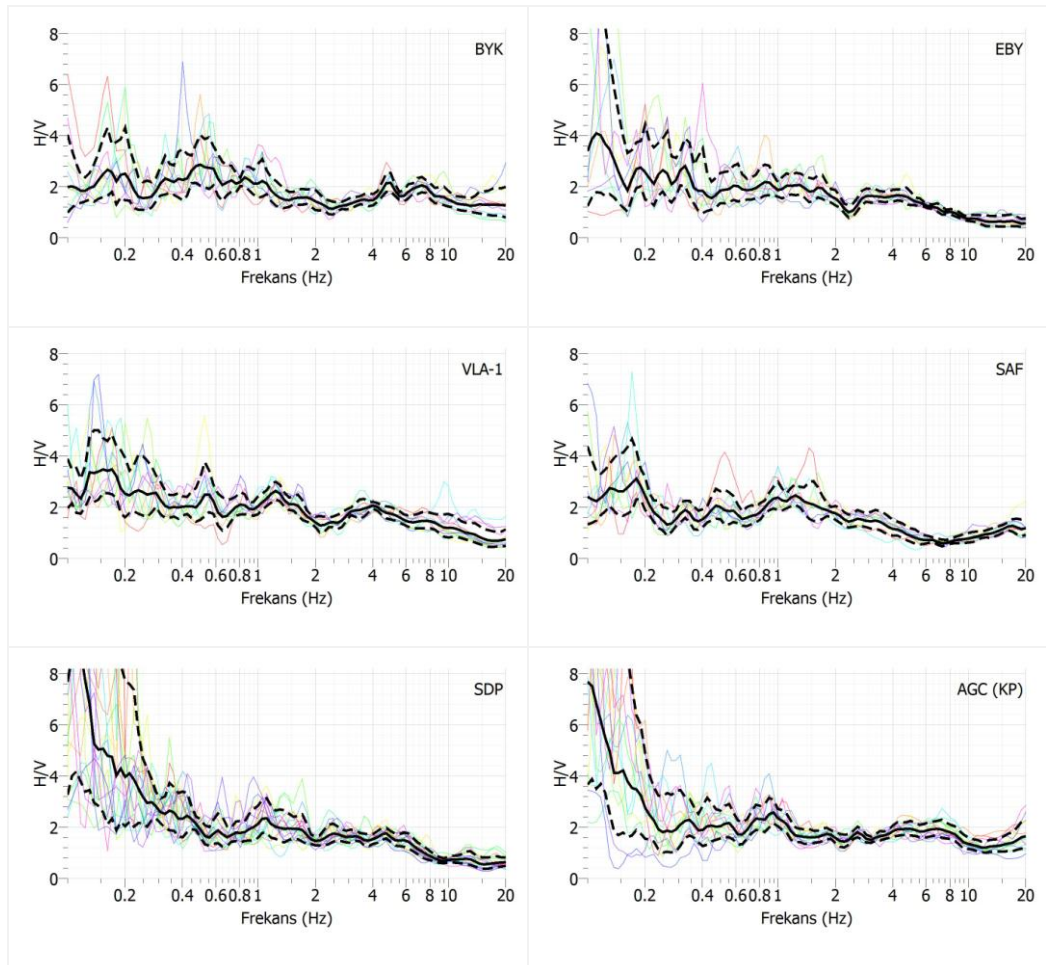
Şekil 4.44: devam ediyor.



Şekil 4.45: Çınarcık grubu ortalama H/V eğrisi.

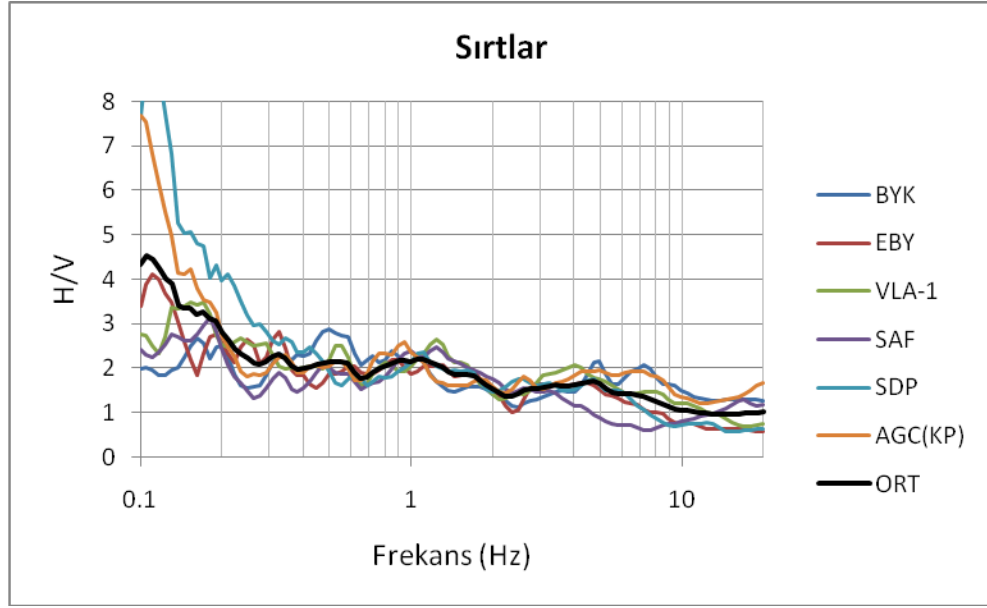
#### 4.6.8. Sırtlar

Sırtlarda bulunan noktalar Şekil 4.49’da sarı renkli alüvyon dışında kalan noktalardır. Her bir nokta için H/V eğrileri Şekil 4.46’da, ortalama H/V eğrileri ise Şekil 4.47’de gösterilmektedir. Kılıç formasyonunu teşkil eden sırtlar genel olarak belirgin bir rezonans frekansı göstermezler ancak daha iç kesimlerde bulunan bazı noktada belirgin rezonans dorukları tespit edilmiştir (Şekil 4.48). Bu durum jeolojinin karmaşık bir yapıya sahip olması şeklinde yorumlanabilir.

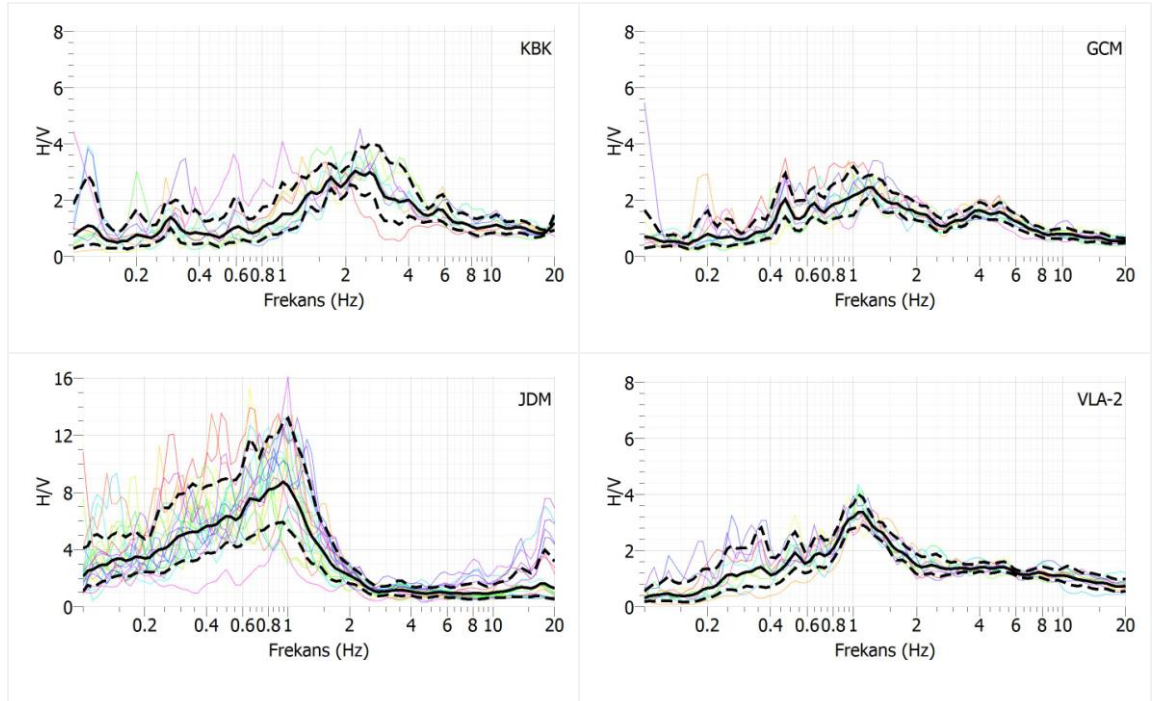


**Şekil 4.46:** Sırtlardaki noktaların H/V eğrileri.

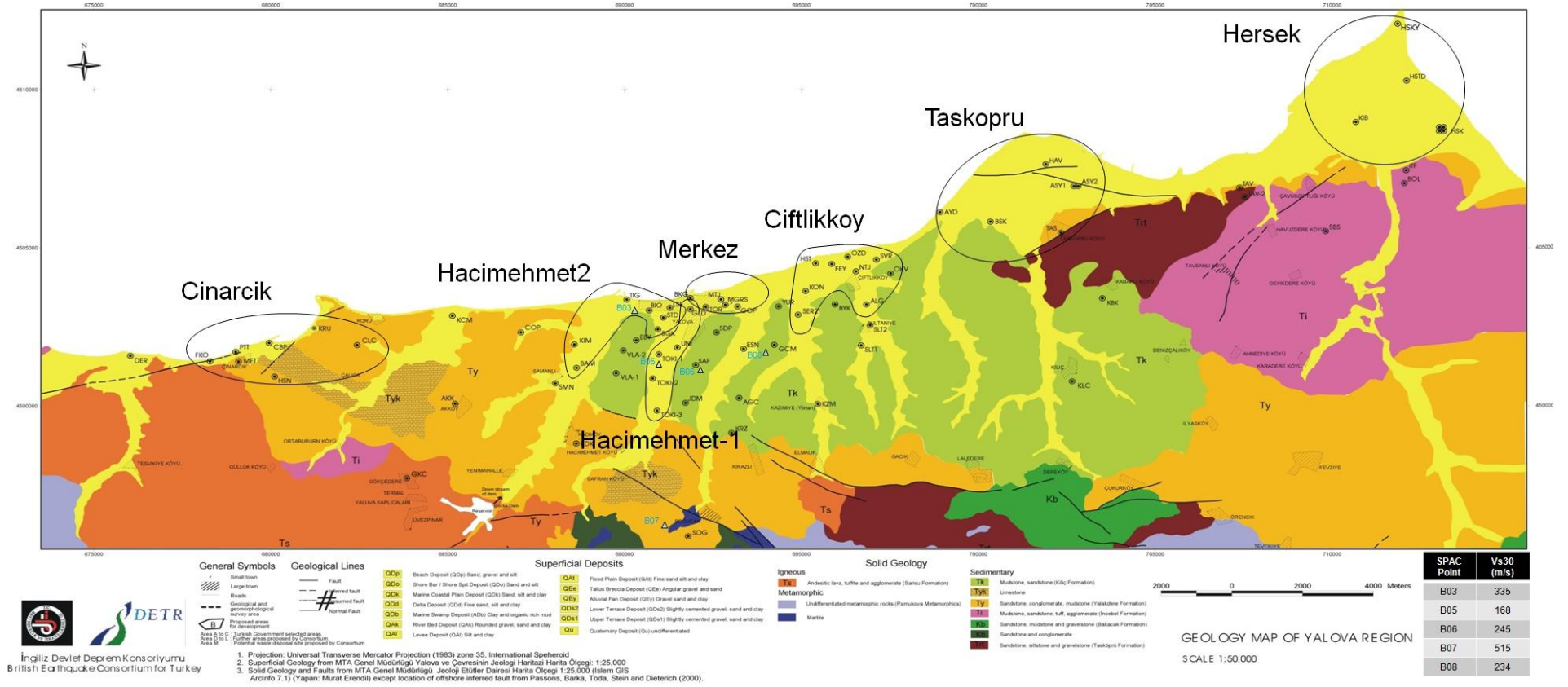




Şekil 4.47: Sırtlar grubu ortalama H/V eğrisi.



Şekil 4.48: Sırtlarda bulunup belirgin doruk veren noktaların H/V eğrileri.



Şekil 4.49: Yalova yüzey jeoloji haritası üzerinde gruplamaları gösterimi.



#### 4.7. H/V SONUÇLARININ HASAR DURUMU İLE İLİŞKİLENDİRİLMESİ

Giriş bölümünde belirtildiği gibi 17 Ağustos 1999 İzmit-Gölcük depreminin ağır hasara yol açtığı yerlerden biri de Yalova ve çevresi olmuştur. Tablo 4.6’da Yalova merkez ve ilçelerdeki bina hasar durumu yer almaktadır.

**Tablo 4.6.** Yalova ve ilçeleri hasar durumu (Özmen, 2000)

YALOVA İLİ	Toplam Ağır	Toplam Orta	Toplam Hafif
<b>Yalova(M)</b>	5172	4411	8228
<b>Altınova</b>	561	438	643
<b>Armutlu</b>	0	15	33
<b>Çiftlikköy</b>	2303	1443	1297
<b>Çınarcık</b>	1374	1596	2129
<b>Termal</b>	52	14	355
<b>Toplam</b>	<b>9462</b>	<b>7917</b>	<b>12685</b>

En fazla hasarın Hacı Mehmet-Yalova Merkez, Çınarcık ve Çiftlikköy’de olduğu görülmektedir. Bu yerleşim alanlarında hasarın toplandığı yerler genellikle genç alüvyon zeminler üzerindedir. Şekil 4.50’de Yalova Merkezinin aldığı hasarın derecesini gösteren harita görülmektedir. Çiftlikköy ilçesinde en fazla hasar gören yerlerin başında deniz kenarında bulunan tatil siteleri gelir. Bu binalar genellikle 4-8 katlı betonarme yapılardır. Yalova merkezde ağır hasar Hacı Mehmet ovasında 4-8 katlı binalardadır. Çınarcık’ta da durum benzerdir. Bu nedenle bölgede en fazla etkilenen binaların 4-8 kat aralığında, genç alüvyon zemin üzerinde yer alan binalar olduğu söylenebilir. Mikrotremor çalışması bu zeminlerin Yalova genelinde 0.9-1.1 Hz civarında rezonans frekansına sahip olabileceğini göstermektedir. Yalova’da ağır hasara uğrayan bina tiplerinin rezonans frekansları tam olarak bilinmemekle birlikte, teorik olarak 0.4 sn ile 0.8 sn (frekans olarak 1.25 Hz ile 2.5 Hz) civarında olmaları beklenebilir. Bu durumda bir zemin–yapı rezonans frekansı çakışması görülmemektedir.



**Şekil 4.50:** Yalova merkez hasar derecesi haritası

## 5. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Mikrotremor yöntemi son yıllarda zemine ilişkin çalışmalarda sıklıkla kullanılan bir yöntemdir. Yöntemin halen tartışılan yönleri mevcuttur. Ancak hızlı ölçü alma, düşük maliyet, güvenilir sonuçlar elde etmesi gibi özellikleriyle çok tercih edilen bir yöntemdir. Bu çalışmada Yalova İli ve çevresine ilişkin zemin özelliklerinin saptanmasına yönelik mikrotremör çalışması yapılmıştır. Önceden belirlenen ve farklı jeolojik birimler gözönünde bulundurularak toplam 81 noktada 92 adet ölçüm yapılmıştır. Ölçümler CMG 6TD kayıtçısı kullanılarak her noktada en az 25 dk ölçüm yapılmıştır. Bir noktada (ITF) ise 24 saat süreli kayıt alınmıştır. Arazi çalışması esnasında gürültünün fazla olduğu şehir merkezlerinde gece ölçüm yapılmasına özen gösterilmiştir. Rüzgar, yağmur, trafik, aşırı sıcaklık, insan kaynaklı gürültüler, yüksek yapılar gibi kayıtları bozan etkilere kaçınmaya özen gösterilmiştir.

Arazi çalışması sonucu elde edilen veriler Geopsy programı ile değerlendirilmiştir. Veri işlem aşamasında SESAME (2004) kriterleri gözönüne alınarak değerlendirmelerin güvenilirlik koşullarına dikkat edilmiştir. Veriler üzerinde birçok deneme yapılarak veri işlem parametreleri belirlenmiştir. Kayıtların değerlendirilmesi Nakamura (1989) yöntemi olarak bilinen yatay/düşey (H/V) spektral oran yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Herbir ölçü noktası için H/V eğrileri oluşturulmuştur. Elde edilen eğrilerde gözlenen dorukların rezonans frekansı temsil eden belirgin doruk olup olmadığı yine SESAME (2004) kriterleri baz alınarak değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmeler sonucunda 38 adet eğride belirgin doruk gözlenirken 54 adet eğride belirgin bir doruk tespit edilememiştir.

Hersek deltasında bulunan noktalarda 1.5 Hz-2Hz de endüstriyel doruk tespit edilmiş ve doğruluğu SESAME (2004)'de açıklanan veri işlem aşamalarıyla teyid edilmiştir. ITF noktasında alınan 24 saatlik kaydın belli zaman dilimlerine ait spektrum grafikleri incelenmiş ve Hersek deltasında etkili olan endüstriyel gürültünün yaklaşık 02:00 ila

07:00 saatleri arasında kesildiği tespit edilmiştir. Ayrıca aynı kayıt kullanılarak bir mikrotremör verisinin günlük değişimine bakılmış, 24 saatlik kayıt süresinde gece saatlerinde gürültü genliklerinin gündüze göre çok düşük olduğu tespit edilmiştir. Ancak genel karakter olarak H/V eğrilerinde bir farklılık görülmemiştir.

Arazi çalışması tek seferde yapılmayıp yılın 4 farklı ayında (Ekim 2009, Ocak-Nisan-Temmuz 2010) yapıldığından H/V eğrilerinin yıl içerisindeki değişimine bakılmıştır. Hersek deltası üzerinde bulunan HSK noktasının 4 farklı zamana ait H/V eğrileri karşılaştırıldığında Nisan ayına ait H/V eğrisinin genel karakterden farklı olduğu görülmüştür.

Mikrotremör verileri değerlendirilirken herbir noktaya ait H/V eğrisi için çevre noktaların sonuçlarıyla uyumluluğuna bakılmış ve benzer eğriler gruplandırılmıştır. Böylece ölçü noktalarının bulunduğu bölgeye ait H/V karakteristikleri tayin edilmiştir. Çalışma sahasında 8 farklı H/V karakteristiği elde edilmiştir.

Benzer H/V eğrileri beraber değerlendirildiğinde Hersek Deltası için çok belirgin olmasa da tespit edilen zemin rezonans frekansı 0.5 Hz'dir. Hersek Deltası'nın batısında yer alan Laledere Deltası aynı alüvyon birimden oluşmasına rağmen Taşköprü grubu olan bu bölgede H/V eğrilerinde herhangi bir doruk elde edilememiştir. Bunun sebebi olarak, alüvyonun çok kalın olması veya tabakalar arasında sismik empedans farkının bir büyümeye neden olabilecek kadar yüksek olmaması tahmin edilmektedir.

Merkez grubu noktaları çok belirgin olmayan 0.6 Hz civarında bir doruğa sahiptir. Çiftliköy grubu belirgin 0.9 Hz civarında bir doruğa sahiptir. Çınarcık grubu H/V eğrileri belirgin bir doruk göstermezler. Büyütme değerleri 4 Hz'e kadar ortalama 1-2 aralığındadır. Çınarcık grubundaki ölçüm noktalarının bir kısmı sahil kenarında alüvyon üzerinde, bir kısmı ise yamaçlardadır. Deniz kenarı alüvyon alanın çok dar olması ve muhtemelen kalınlığı düşük, bloklu malzemeden oluşmuş olabileceği bu grup H/V eğrilende önemli bir zemin etkisinin oluşmamasının nedenleri olabilir.

Hacımehtmet Ovasındaki sonuçlar incelendiğinde ortaya iki farklı durum çıkmaktadır. TOKİ kalıcı konutların olduğu bölge ve çevresinde 1.1 Hz civarında çok net bir doruk

elde edilmiştir. Bunun yanı sıra Hacımehmet Ovası'nın diğer bir karakteri de Yalova merkeze daha yakın bölgelerde, Atatürk Stadı civarında 2 doruklu bir durum tespit edilmiştir. İlk doruk yine 1.1 Hz civarında iken 0.3-0.4 Hz civarında bir doruk daha mevcuttur. Bu bölgede iki tabakalı bir yapı olabileceği düşünülmektedir.

Jeoloji haritasında yeşil renkle görülen ve Kılıç formasyonu olarak adlandırılan zemin üzerinde, bazı noktalarda belirgin doruklar elde edilmiştir. Bu belirgin doruklar iç kesimlerdeki noktalarda gözlenmiştir ve genlikleri 7-8'e kadar çıkmaktadır. Alüvyona yakın olan noktalarda ise H/V eğrilerinde bir doruk tespit edilememiştir.

Birçok noktadaki H/V sonuçlarında düşük frekanslar bölgelerinde görülen yüksek saçılmalar kullanılan geniş bant kayıtcıdan kaynaklanabileceği gibi, Yalovanın bir sahil bölgesi olması nedeniyle deniz dalgalarının bu saçılmaları oluşturabileceği düşünülmektedir.

Son olarak; 17 Ağustos 1999 depreminin Yalova'da oluşturduğu hasarın genellikle gevşek alüvyon zeminler üzerindeki yapılarda toplandığı göz önünde bulundurulursa zemin etkilerinin oluşan hasarda rol aldığı aşikardır. Fakat bu çalışmada elde edilen sonuçlar bir zemin-yapı rezonansına işaret etmemektedir. Hasar bölgeleri olan Hacımehmet ve Çiftlikköy için belirlenen 0.9-1.1 Hz zemin hakim frekansları en çok hasar gören 4-8 katlı binaların olası hakim frekanslarından küçüktür. Bu alanlarda yapılacak  $\approx 10$  katlı binalar için zemin-yapı rezonansı potansiyel tehlike olarak gözükmemektedir.

## KAYNAKLAR

- AKARTUNA, M., 1968, Armutlu yarımadasının jeolojisi, *İÜ Fen Fakültesi Monografileri*, 20, 105s
- AKI, K., 1957, Space and Time Spectra of Stationary stochastic Waves with Special Reference to Microtremors, *Bull. Earthq. Res. Inst.*, 35, 415-456.
- AKI, K., ve RICHARDS, P. G., 1980, Quantitative Seismology, *W. H. Freeman and Co.*, san Francisco, California, Vol. 1, Page 137, ISBN 0-7167-1058-7.
- ARMIJO, R., ve diğ., 2005, Submarine fault scarps in the Sea of Marmara pullapart (North Anatolian Fault): implications for seismic hazard in Istanbul, *Geochem. Geophys. Geosyst.*, 6, Q06009, doi:10.1029/2004GC000896.
- BAKIR, P.G., ROECK, G., DEGRANDE, G., ve REYNDERS, E., 2007, Seismic demands and analysis of site effects in the Marmara region during the 1999 Kocaeli earthquake, *Nat Hazards*, 42:169–191.
- BARGU, S., SAKINÇ, M., 1989, İzmit körfezi-İzmit gölü arasında kalan bölgenin jeolojisi ve yapısal özellikleri, *İÜ Müh. Fak. Yerbilimleri Dergisi*, 6, 45-76.
- BARD, P. Y., ve BOUCHON, M., 1985, The Two-dimensional reonance of sediment-filled valleys, *Bull. Seism. Soc. Am.* 75, 519-541.
- 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*
- BONNEFOY-CLAUDET, S., CORNOU, C., BARD, P-Y., COTTON, F., MOCZO, P., KRİSTEK, J., FAH, D., 2006, H/V Ratio: a tool for site effect evaluation. Results from 1-D noise simulations, *G.J.I. Seismology*, 167, 827-837
- BONNEFOY-CLAUDET, S., BAIZE, S., BONILLA, L. F., BERGE-THİERRY, C., PASTEN, C., CAMPOS, J., VOLANT, P., VERDUGO, R., 2009, Site Effect Evaluation in the Basin of Santiago de Chile Using Ambient Noise Measurements, *G.J.I. Seismology*, 176, 925-937
- BOUR, M., FOUISSAC, D., DOMINIQUE, P., MARTIN, C., 1998, On the use of microtremor recordings in seismic microzonation, *Soil Dyn. and Earthquake Eng.* Vol. 17, pp. 465-474.

- BULLEN, K. E. ve BOLT, B., 1985, An introduction to the theory of seismology, *Cambridge Univ. Press*, p433.
- CARA, F., DI GULIO, G., ROVELLI, A., 2003 A study on seismic noise variations at Colfiorito, Central Italy: implications for the use of H/V spectral ratios, *Geophys Res Lett* 30(18): 1972
- ÇETİNOĞLU, T., 2003, İzmit ve Civarının Zemin Özelliklerinin Mikrotremor Ölçümleriyle Belirlenmesi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, *Yüksek Lisans Tezi*, Kocaeli.
- CHATELAIN, J-L., GUILLIER, B., CARA, F., DUVAL, A-M., ATAKAN, K., BARD, P-Y., The WP02 SESAME Team, 2008, Evaluation of the experimental conditions on H/V results from ambient noise recordings, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 6, 33-74.
- DELGADO, J., LOPEZ CASADOS, C., GİNER, J., ESTEVEZ, A., CUENCA, A., MOLİNA, S., 2000, Microtremor as a geophysical exploration tool: applications and limitations. *Pure and Applied Geophysics* 157 (9), 1445-1462.
- DEMİRCİ, A., 2007, Çanakkale Şehirmerkezi Sismik Mikrobölgelendirmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi.
- DUNAND, F., BARD, P.-Y., CHATELAIN, J.-L, GUEGUEN, Ph., VASSAILLİ, T., FARSI, M.N., 2002. Damping and frequency from random method applied to in-situ measurements of ambient vibrations: evidence for effective soil structure interaction. In: *Proceedings of the 12th European Conference on Earthquake Engineering*, London, Paper No. 868.
- EKİNCİOĞLU, E. E., 2007, Dairesel Diziliimli Mikrotremorlar ve SPAC Yöntemi İle Yakın Yüzey S Dalgası Hız Yapısının Belirlenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara Üniversitesi.
- ERENDİL M., AKSAY, A., KUŞÇU L., ORAL, A., TUNAY, G., TEMREN, A., 1991, Bolu Masifi ve çevresinin jeolojisi: MTA Arşivi Rap. 9425, (yayımlanmamış), Ankara.
- ERGİN, M., ÖZALAYBEY, S., AKTAR, M., YALÇIN, M, N., 2004. Site Amplification at Avcılar, Istanbul, *Tectonophysics*, 391, pp. 335-346.
- FIELD, E. H., and JACOB, K., 1993. The Theoretical Response of Sedimentary Layers to Ambient Seismic Noise, *Geophysical Res. Letters*, 20-24, pp. 2925-2928.
- FİLAZİ, A., 2008, Antakya Kent Merkezinin Mikrotremör Yöntemi İle Yer Etkisinin İncelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mustafa Kemal Üniversitesi.

- GOULA, X., SUSAGNA, T., FÍGUERAS, S., FARRES, P., CÍD, X., ALFARO, A., BARCHIESI, A., 1997, Analysis of Site Effect in the City of Barcelona (Spain), XIX General Assembly of the IASPEI, Thessaloniki, *Abstract Book*, p 324
- GÖNCÜOĞLU, M.C., ERENDİL, M., 1990, Pre Late Cretaceous tectonic units of Armutlu Peninsula: 8. *Petroleum Congress of Turkey*, Proceedings, 161-168.
- GÖNCÜOĞLU, M. C., ÖZCAN, A., TURHAN, N., IŞIK, A., 1992, Stratigraph of the Kütahya region, International Symposium on the Geology of the Black Sea Region (ISGB). *Guide Book*, 3-8, Ankara.
- GUI TERREZ, C., SINGH, S. K., 1992, A SITE Effect Study in Apapulco, Guerrero, Mexico: Comparison of Results from Strong Motion and Microtremor Data, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 82, pp. 1186-1205
- GUILLIER, B., ATAKAN, K., CHATELAIN, J. L., HAVSKOV, J., OHRNBERGER, M., CARA, F., DUVAL, A. M., ZACHAROPOULOS, S., TEVES-COSTA, P., THE SESAME TEAM, 2008, Influence of instruments on the H/V spectral ratios of ambient vibrations, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 6, 3-31.
- GURALP SYSTEM'S MANUAL, 2006, GÜRALP Systems Limited 3 Midas House Callave Park Aldermaston, *Reading Berks*, RG7 8EA England
- GÜL, A., 1972, Mikrobölgeleme Etüdları İlke ve Yöntemleri, *Türkiye'de Deprem Sorunu ve Deprem Mühendisliği Sempozyumu*, Ankara.
- GÜRBÜZ, M., 2002. Avcılar Mikrobölgeleme Çalışmaları, *Yüksek Lisans Tezi*, Fen Bilimleri Enstitüsü, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta.
- HORIKE, M., 1985, Inversion of phase velocity of long-period microtremors to the S wave-velocity structure down to the basement in urbanized areas, *J. Phys. Earth*, 33, 59-96.
- IBS-VON, S., ve WOHLLENBERG, J., 1999, Microtremors Measurements Used to Map Thickness of Soft Sediments, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 89, 250-259.
- IRIKURA, K., KAWANAKA, T., 1980, Characteristics of microtremors on ground with discontinuous underground structure, *Bull. Disas. Prev. Inst*, Kyoto Univ., 30-3, 81-96.
- İMAMOĞLU, Ç., 2003. Avcılar ve Yakın Çevresinde Derin Sediman Rezonansının İncelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi.
- KAGAMI, H., OKADA, S., SHIONO, K., ONER, M., DRAVINSKY, M. and MAL, A. K., 1986, Observation of 1 to 5 Second Microtremors and Their Applications to Earthquake Engineering. Part III. Two-Dimensional Study of Site Effects in the San Fernando Valley, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 76i 1801-1812.



- KANAI, K. ve TANAKA, T., 1954, Measurement of the Microtremor, *Bull. Earthquake Res. Ins. Tokyo Univ.* 32, pp. 192-209.
- KANAI, K. ve TANAKA, T., 1961, On Microtremors, VII, *Bull. Earthquake Res. Inst.* Vol. 39, pp. 97-114.
- KANAI, K., TANAKA, T., YOSHIZAWA, S., 1965, On Microtremors 9. *Bulletin of Earthquake Research Institute*, University of Tokyo, 43
- KANAI, K. 1983, Engineering Seismology, *University of Tokyo Press*. pp 128-140
- KARABULUT, S., 2005, Büyükçekmece İlçesinde Mikrotremör Verileriyle Mikrobölgeleme Çalışmaları, *Yüksek Lisans Tezi*, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Üniversitesi
- KEPÇEOĞLU, Ö., 2008, Bursa İli Güzelyalı Beldesi İçin mikrotremör ölçümlerine dayanan bir mikrobölgeleme uygulaması, *Yüksek Lisans Tezi*, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi.
- KOBAYASHI, H. K., SEO, K. and 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.
- KOBAYASHI, H., SEO, K., MIDORIKAWA S., SAMANO, T., YAMAZAKI, Y., 1991, Seismic microzoning study of Mexico City by means of Microtremor Measurements, *Proceedings [of the] Fourth International Conference on seismic Zonation*, Stanford University, August, II, 557-564.
- KONNO, K., OHMACHI, T., 1998, Ground-motion characteristics estimated from spectral ratio between horizontal and vertical components of mikrotremör, *Bull. Seism. Soc. Am.* 88(1):228-241.
- KRAMER, S. L., 1996, *Geotechnical Earthquake Engineering*, Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, USA, ISBN 0-13-374943-6.
- KUDO, K., KANNO, T., OKADA, H., ÖZEL, O., ERDİK, M., TAKAHASHI, M., SASATANI, T., HIGASHI, S., YOSHIDA, K., 2002, Site specific issues for strong ground motions during the Kocaeli, Turkey Earthquake of 17 August 1999, as inferred from array observations of microtremors and aftershocks, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 92,11, 448-465.
- 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, pp. 377-397.

- LACHET, C., BARD, P.Y., 1995, Theoretical investigation on the Nakamura's technique. *Proceeding 3<sup>rd</sup> International Conference On Recent Advances in Geot. Earthq. Eng. & Soil Dyn.*, April 2–7, II, St Louis, MI, Paper no 10.06
- LEBRUN, B., HATZFELD, D., BARD, P. Y., 2001, A site effect study in urban area: experimental results in Grenoble (France). *Pure Applied Geophys* 158:2543–2557
- LERMO, J., and CHAVEZ-GARCIA F. J., 1994, Are Microtremor Useful Site Response Evolution?, *Bull. Seism. Soc. Am.* Vol. 84, No 5, pp. 1350-1364, October 1994
- MATSUSHIMA, T., OKADA, H., 1990, An exploration method using microtremors (2) - An experiment to identify Love waves in long-period microtremors -, *Proc. the 82nd SEGJ Conf.*, pp. 5-8.
- MILANA, G., BARBA, S., DEL PEZZO, E. 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, 320–328.
- MUCCIARELLI, M., 1998, Reliability and Applicability of Nakamura's Technique Using Microtremors: An Experimental Approach, *Journal of Earthquake Engineering*, Vol. 2, No. 4., pp. 625-638.
- MUCCIARELLI, M., MONACHESI, G., 1998, A quick survey of local amplifications and their correlations with damage observed during the Umbro- Marchesan earthquake of September 26, 1997, *Journal of Earthquake Engineering*, Vol. 2, pp. 325-337
- NAKAMURA, Y., 1989, A Method for Dynamic Characteristics using Microtremor on the Ground Surface, *Quarterly Reports of the Railway Technical Research Institute Tokyo*, 30. Pp. 25-33.
- NAKAMURA, Y., 2000, Clear identification of fundamental idea of Nakamura's technique and its applications. *12WCEE, 2000*.
- NOGOSHI, M., IGARASHI, T., 1971, On the Amplitude Characteristics of Microtremor, *Jour. Seism. Soc. Japan*, 24, 26-40.
- OHTA, Y., KAGAMI, H., GOTO, N., 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, *Bull. Seism. Soc. Am.*, Vol. 68, No.3, pp.767-779.
- OMORI, F., 1908, On Micro-tremors, *Bull. of Earth Inv. Com.* 2, I-II.

- ÖZEL, O., SASANATI, T., KUDO, K., OKADA, H., KANNO, T., TSUNO, S., YOSHIKAWA, M., NOGUCHI, S., MIYAHARA, M., GOTO, H., 2004. Estimation of S Velocity Structures in Avcilar-Istanbul from Array Microtremor Measurements Journal of the Faculty of Science, Hokkaido University Series VII (Geophysics ), Vol.12, No.2 Sapporo, Japan.
- ÖZMEN, B., 200, 17 Ağustos 1999 İzmit Körfezi Depreminin Hasar Durumu (Rakamsal Verilerle), TDV/DR 010-53, *Türkiye Deprem Vakfı*, 132 sayfa.
- PARSONS, T., 2004, Recalculated probability of  $M > 7$  earthquakes beneath the Sea of Marmara, Turkey, *Journal of Geophysical Research*, Vol. 109, B05304, 1-21.
- PONDARD, N., ARMIJO, R., KING, G. C. P., MEYER, B., FLERIT, F., 2007, Fault interactions in the Sea of Marmara pull-apart (North Anatolian Fault): earthquake clustering and propagating earthquake sequences. *Geophys. J. Int.*171, 1185–1197, doi:10.1111/j.1365-246X.2007.03580.x
- RODRÍGUEZ, M., CHAVEZ-GARCIA, F.J., STEPHENSON, W.R., 2000. Site effects in an alluvial valley : a comparison of estimates from earthquake and microtremor records, *12WCEE 2000 : 12th World Conference on Earthquake Engineering*. Upper Hutt, NZ: New Zealand Society for Earthquake Engineering.
- SARICA, S. S., 2008, Isparta İl Merkezi Mikrobölgeleme Analizi, *Yüksek Lisans Tezi*, Fen Bilimleri Enstitüsü, Süleyman Demirel Üniversitesi.
- SESAME, Site Effects Assessment Using Ambient Excitations, 2004, Guidelines for the implementation of the H/V spectral ratio technique on ambient vibrations: measurements processing and interpretation, *European Research Project*.
- SEO K., 1992, A joint work for measurements of microtremors in the Ashigara valley, in *Int. Symp. Effects of Surf. Geol. on Seismic Motion*, ESG, Odawara, Japan, Vol. I, 43-52.
- TOKGÖZ, O. E., 2002., Bolu ve Yakın Çevresinde Mikrotremor Verileri İle Yer Etkisinin İncelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara Üniversitesi.
- TUNÇEL, A., 2008, Sismik Kırılma Yöntemi ve Mikrotremör Ölçümlerinden Elde Edilen Dinamik Zemin Parametrelerinin Karşılaştırılması, *Yüksek Lisans Tezi*, Fen Bilimleri Enstitüsü, Dokuz Eylül Üniversitesi.
- TÜBİTAK, 2005, Yalova Yerleşim Merkezi için Sismik Bölgeleme ve CBS Çalışmaları, [http://www.mam.gov.tr/YDBE/projeler/yalova\\_yerlesim/yalova\\_yerlesim.html](http://www.mam.gov.tr/YDBE/projeler/yalova_yerlesim/yalova_yerlesim.html)
- TÜZEL, B., 2004., Isparta Kent Merkezinin zemin Büyütmelerinin Mikrotremor Yatay/Düşey Bileşen (H/V) tekniği ile Belirlenmesi ve Deprem Tehlikesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Fen Bilimleri Enstitüsü

- UTKUCU, M., ve DURMUŞ, H., 2009, Geniş-bant telesismik P ve SH dalga şekillerinin ters dönüşümünden 17 Ağustos 1999 İzmit depreminin ( $M_w=7.5$ ) kırılma süreci, *International Earthquake Symposium Kocaeli 2009*, 17-19 Ağustos.
- VOLANT, P., ORBOVIC, N., COTTON, F., 1998, Estimation of site response using the H/V method: application and limits of this technique on Garner Valley downhole array dataset (California). In: *Proceedings of the 11<sup>th</sup> European conference on earthquake engineering*, Paris
- YALÇINKAYA, E., 2004, Bir boyutlu modeller için zemin büyütmesine etki eden parametrelerin incelenmesi, *İ.Ü. Müh. Fak. Yerbilimleri Dergisi*, C. 17, S. 1, Syf. 1-9.
- YILMAZ, Y., 1990 Allochthonous terranes in the Tethyan Middle East: Anatolia and the surrounding regions, *Phil. Trans. R. Soc. Land.*, A331, 611-624.

[www.geopsy.org](http://www.geopsy.org) erişim tarihi 20.12.2010

## **ÖZGEÇMİŞ**

24.03.1983 Kastamonu doğumluyum. 2001 yılında liseyi, 2006 yılında İstanbul Üniversitesi Jeofizik Mühendisliği Bölümünü bitirdim. 2006 yılında, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeofizik Mühendisliği Yüksek Lisans programına başladım.