İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

AVCILAR VE YAKIN ÇEVRESİNDE DERİN SEDİMAN REZONANSININ İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Çağrı İMAMOĞLU
505991076

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 17 Mayıs 2002
Tezin Savunulduğu Tarih : 31 Mayıs 2002

Tez Danışmanı : **Doç.Dr. Aysun BOZTEPE-GÜNEY**

Diğer Jüri Üyeleri **Prof.Dr. Haluk EYİDOĞAN (İ.T.Ü.)**

Doç.Dr.Serdar ÖZALAYBEY (TÜBİTAK)

MAYIS 2002

ÖNSÖZ

Türkiye Bilimsel Teknik ve Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından desteklenen YDABÇAG - 101Y070 nolu, 'Marmara Denizinde Oluşacak Olası Büyük bir Depremin Avcılar ve Çekmece Çevresindeki Sığ Jeolojik Yapılar Üzerindeki Etkisinin Araştırılması' başlıklı projenin bir kısmını içeren bu çalışmayı yüksek lisans tezi bana veren, ayrıca eleştiri ve yönlendirmeleriyle sürekli daha iyiye gitmemi sağlayan hocam Doç. Dr. Aysun Güney'e, Prof. Dr. Nezihi Canıtez Veri İşlem Laboratuvarı'na önceden kestirilemeyen zamanlarda gelip eleştirilerde bulunan, tezimde kullandığım deprem verilerinin sağlanmasında yön gösteren hocam Prof. Dr. Haluk Eyidoğan'a teşekkür ederim. Verilerin işlenmesi sırasında sürekli olarak bilgi alış verişinde bulunduğum hocam Doç. Dr. Argun Kocaoğlu'na teşekkür ederim.

United States Geological Survey (USGS) ve Kandilli Rasathanesi Deprem Araştırma Enstitüsü (KRDAE) işbirliğinde toplanan 17 Ağustos 1999 Kocaeli depremi (Mw=7.4) artçılarına ait verileri temin ettiğim KRDAE'ne ve bu konuda bana yardımcı olan Prof. Dr. Mustafa Erdik'e teşekkür ederim. Mikrotremör verilerinin toplanmasında kullandığım sismometre ve kayıtçıyı temin ettiğim TÜBİTAK, Marmara Araştırma Merkezi, Yer ve Deniz Bilimleri Araştırma Enstitüsüne (YDBAE) ve bu konuda bana yardımcı olan Doç. Dr. Serdar Özalaybey ve ayrıca arazide teknik destek de vermiş olan Dr. Mehmet Ergin'e teşekkür ederim. Mikrotremör verilerinin toplanmasında arazide lojistik destek veren Prof. Dr. Ali Güney'e teşekkür ederim. Arazi çalışmalarımda bana yardımcı olan meslektaşlarım Jeofizik Mühendisi Veli Geçgel, Jeofizik Mühendisi Halit Kaya, Jeofizik Mühendisi Derya Taşkıra ve Jeoloji Mühendisi Kenan Güneyhan'a, sürekli olarak bana destek olan aileme ve Sayın Nihal Özçelik'e teşekkür ederim.

Mayıs 2002 Çağrı İmamoğlu

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR **iv**
TABLO LİSTESİ **v**
ŞEKİL LİSTESİ **vi**
EK LİSTESİ **ix**
SEMBOL LİSTESİ **x**
ÖZET **xi**
SUMMARY **xii**

1. GİRİŞ **1**

2. AVCILAR VE ÇEVRESİNİN JEOLOJİSİ **3**
3. YER ETKİSİ VE MİKROTREMÖRLER **6**
3.1. Yer Etkisinin Hesaplanması 7
3.1.1. İki istasyon yöntemi 9
3.1.2. Tek istasyon tekniği (Nakamura tekniği) 10
4. MİKROTREMÖRLER VE ARTÇI ŞOK VERİLERİ **13**
4.1. Veriler 13
4.1.1. Verilerin toplanması ve aletsel özellikler 13
4.1.2. Veri işlem 15
4.2. Mikrotremör Verilerinden Hesaplanan Ortalama Y/D Oranları 18
4.3. Artçı Şok Verilerinden Hesaplanan Y/D Oranları 22
4.4. Mikrotremör Artçı Şok Verilerinden Hesaplanan Y/D Oranlarının Karşılaştırılması 24
4.4.1. AVC istasyonu için karşılaştırma 25
4.4.2. ARL istasyonu için karşılaştırma 28
4.4.3. BKR istasyonu için karşılaştırma 31

5. KURAMSAL YAKLAŞIM **35**

6. TARTIŞMALAR **38**

7. SONUÇLAR **43**

KAYNAKLAR **44**

EKLER **48**

ÖZGEÇMİŞ **56**

KISALTMALAR

AVC	: Avcılar
ARL	: Ambarlı
BKR	: Bakırköy
YSL	: Yeşilköy
Y/D	: Yatay spektrumun düşey spektruma oranı
U.S.G.S.	: United States Geological Survey
GPS	: Global Positioning System
F.F.T.	: Fast Fourier Transform
Z	: Düşey bileşen
K-G	: Kuzey – güney bileşeni
D-B	: Doğu – batı bileşeni

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 4.1. Artçı şok ve mikrotremör verilerinin kaydedildiği istasyonların koordinatları 13

Tablo 4.2. Şekil 4.1'de episantrları verilen artçılara ait bilgiler ……..... 15

Tablo 5.1. AVC ve ARL istasyonları için S dalgası hızları ve tabaka kalınlıkları (Kudo ve diğ. 2000)..... 36

Tablo 5.2. AVC istasyonu için kuramsal rezonans frekansları..... 37

Tablo 5.3. ARL istasyonu için kuramsal rezonans frekansları.....….... 37

Tablo 6.1. Basit yer içi S-hızı – kalınlık modeli.....… 41

Tablo 6.2. Sedimanın değişik sönüm oranlarına karşılık gelen rezonans frekansları ve rezonans frekenslerının genlikleri.....…… 42

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1 : Avcılar'ın Marmara Denizi (üstte) ve İstanbul ili sınırları (altta) içindeki konumu (www.ibb.gov.tr)..... 3

Şekil 2.2 : Çalışma alanının jeolojik haritası (Yüzer ve Eyüboğlu, 1998)..... 4

Şekil 2.3 : Çalışma alanının basitleştirilmiş stratigrafik kesiti (Belirti, 2000)..... 5

Şekil 3.1 : Basit bir doğrusal dizgenin gösterimi..... 8

Şekil 3.2 : Basit bir yer içi modeli için doğrusal dizge yaklaşımına uygun gösterim..... 8

Şekil 3.3 : Şekil 3.2'de verilen yer içi modeli için transfer fonksiyonunun hesaplanmasında kullanılan kayıtlar..... 9

Şekil 3.4 : İki istasyon yönyeminin uygulanmasında kullanılan fiziksel model..... 12

Şekil 4.1 : Mikrotremör ve artçı şok kayıtçılarına ait istasyonların (AVC,ARL, BKR, YSL) lokasyonları..... 14

Şekil 4.2 : Veri işlem akış diyagramı..... 15

Şekil 4.3 : Çalışmada kullanılan artçı şok verilerine bir örnek..... 16

Şekil 4.4 : Çalışmada kullanılan mikrotremör verilerine bir örnek..... 17

Şekil 4.5 : a) Mikrotremör verisinin bileşenlerinin ortalama değerlerinin atılmış görünümü. b) Ortalama değerler atıldıktan sonra %10'luk kosinüs penceresi ile düzgünleştirilmiş görünümü..... 17

Şekil 4.6 : a) Hızlı Fourier dönüşümü (F.F.T.) alınmış olan bileşenlerin genlik spektrumu. b) Hanning Penceresi ile yuvarlatıldıktan sonraki görünümleri..... 18

Şekil 4.7a : AVC istasyonuna ait mikrotremör verisinin bileşenlerinin spektrumları..... 19

Şekil 4.7b : AVC istasyonuna ait mikrotremör verisinin ortalama Y/D oranları..... 19

Şekil 4.8a : ARL istasyonuna ait mikrotremör verisinin bileşenlerinin spektrumları..... 20

Şekil 4.8b : ARL istasyonuna ait mikrotremör verisinin ortalama Y/D oranları..... 20

Şekil 4.9a : BKR istasyonuna ait mikrotremör verisinin bileşenlerinin spektrumları..... 21

Şekil 4.9b : BKR istasyonuna ait mikrotremör verisinin ortalama Y/D oranları..... 21

Şekil 4.10 : AVC istasyonunda kaydedilmiş olan artçı şok verisinin Y/D oranı..... 22

Şekil 4.11 : ARL istasyonunda kaydedilmiş olan artçı şok verisinin Y/D oranı..... 23

Şekil 4.12 : BKR istasyonunda kaydedilmiş olan artçı şok verisinin Y/D oranı..... 24

Şekil 4.13 : AVC istasyonunda kaydedilen mikrotremör ve artçı şok verilerinden hesaplanan Y/D oranlarının karşılaştırılması..... 26

Şekil 4.14 : AVC istasyonunda kaydedilen Artçı şok verisi S dalgası, erken S koda, ve geç S koda pencerelerindeki verilerden hesaplanan Y/D oranlarının karşılaştırılması..... 27

Şekil 4.15 : Sağ: AVC istasyonunda kaydedilen artçı şok verisinden (Çizelge 4.2, 1 nolu artçı) hesaplanan Y/D oranlarının, S dalgası ve kodalarını içeren pencerelerinin ve frekansın fonksiyonu olarak konturlanmış gösterimi. Sol: aynı istasyonda kaydedilen mikrotremör verilerinden hesaplanan ortalama Y/D oranını göstermektedir..... 28

Şekil 4.16 : ARL istasyonunda kaydedilen mikrotremör ve artçı şok verilerinden hesaplanan Y/D oranlarının karşılaştırılması..... 29

Şekil 4.17 : ARL istasyonunda kaydedilen artçı şok verisi S dalgası, erken S koda, ve geç S koda pencerelerindeki verilerden hesaplanan Y/D oranlarının karşılaştırılması..... 30

Şekil 4.18 : ARL istasyonunda kaydedilmiş artçı şok verisinin ilerleyen pencerelerine karşı değişen baskın frekans ile mikrotremör verisinin Y/D oranının karşılaştırılması..... 31

Şekil 4.19 : BKR istasyonunda kaydedilen mikrotremör ve artçı şok verilerinden hesaplanan Y/D oranlarının karşılaştırılması..... 32

Şekil 4.20 : BKR istasyonunda kaydedilen artçı şok verisi S dalgası, erken S koda, ve geç S koda pencerelerindeki verilerden hesaplanan Y/D oranlarının karşılaştırılması..... 33

Şekil 4.21 : BKR istasyonunda kaydedilmiş kuvvetli ye hareketi verisinin ilerleyen pencerelerine karşı değişen baskın frekans ile mikrotremör verisinin Y/D oranının karşılaştırılması..... 34

Şekil 5.1 : Basit yer modeli için dalga boyu ve tabaka kalınlığı arasındaki ilişki..... 35

Şekil 5.2 : AVC ve ARL için S dalgası hız yapısınının göstermi..... 36

Şekil 6.1 : Kaya, orta sıkı ve gevşek zeminler için mikrotremörlerden hesaplanan Y/D oranları (Navarro ve diğ., 2001)..... 38

Şekil 6.2 : Kelvin – Voight fiziksel modeli..... 40

Şekil 6.3 : Sönümlenme oranı – Makaslama deformasyonu ilişkisi..... 41

Şekil 6.4 **:** %8 (kesik çizgi), %5 (noktalı çizgi) ve %1 (düz çizgi) sönümlenme oranları kullanıldığında frekans – büyütme oranı ilişkisi..... 42

Şekil A1 **:** Tablo 4.2, 2 nolu artçının üç istasyondaki (AVC, ARL, BKR) kaydı..... 48

Şekil A2 **:** Tablo 4.2, 3 nolu artçının üç istasyondaki (AVC, ARL, BKR) kaydı..... 48

Şekil A3 **:** Tablo 4.2, 4 nolu artçının üç istasyondaki (AVC, ARL, BKR) kaydı..... 49

Şekil A4 **:** Tablo 4.2, 5 nolu artçının üç istasyondaki (AVC, ARL, BKR) kaydı..... 49

Şekil B1 **:** Tablo 4.2, AVC'de kaydedilen 2 nolu artçı. İnce çizgi artçı şoka, kalın çizgi mikrotremöre ait Y/D oranları..... 50

Şekil B2 **:** Tablo 4.2, ARL'de kaydedilen 2 nolu artçı. İnce çizgi artçı şoka, kalın çizgi mikrotremöre ait Y/D oranları..... 50

Şekil B3 **:** Tablo 4.2, BKR'de kaydedilen 2 nolu artçı. İnce çizgi artçı şoka, kalın çizgi mikrotremöre ait Y/D oranları..... 51

Şekil B4 **:** Tablo 4.2, AVC'de kaydedilen 3 nolu artçı. İnce çizgi artçı şoka, kalın çizgi mikrotremöre ait Y/D oranları..... 51

Şekil B5 **:** Tablo 4.2, ARL'de kaydedilen 3 nolu artçı. İnce çizgi artçı şoka, kalın çizgi mikrotremöre ait Y/D oranları..... 52

Şekil B6 **:** Tablo 4.2, BKR'de kaydedilen 3 nolu artçı. İnce çizgi artçı şoka, kalın çizgi mikrotremöre ait Y/D oranları..... 52

Şekil B7 **:** Tablo 4.2, AVC'de kaydedilen 4 nolu artçı. İnce çizgi artçı şoka, kalın çizgi mikrotremöre ait Y/D oranları..... 53

Şekil B8 **:** ARL'de kaydedilen 4 nolu artçı. İnce çizgi artçı şoka, kalın çizgi mikrotremöre ait Y/D oranları..... 53

Şekil B9 **:** Tablo 4.2, BKR'de kaydedilen 4 nolu artçı. İnce çizgi artçı şoka, kalın çizgi mikrotremöre ait Y/D oranları..... 54

Şekil B10 **:** Tablo 4.2, AVC'de kaydedilen 5 nolu artçı. İnce çizgi artçı şoka, kalın çizgi mikrotremöre ait Y/D oranları..... 54

Şekil B11 **:** Tablo 4.2, ARL'de kaydedilen 5 nolu artçı. İnce çizgi artçı şoka, kalın çizgi mikrotremöre ait Y/D oranları..... 55

Şekil B12 **:** Tablo 4.2, BKR'de kaydedilen 5 nolu artçı. İnce çizgi artçı şoka, kalın çizgi mikrotremöre ait Y/D oranları..... 55

EK LİSTESİ

		Sayfa No
Ek A	Çalışmada kullanılan artçı kayıtları.....	48
Ek B	Artçı şoklardan hesaplanan Y/D oranları.....	50

SEMBOL LİSTESİ

Lg	**:** Yer kabuğunda granit tabakasında ilerleyen Love dalgası
Rg	**:** Yer kabuğunda granit tabakasında ilerleyen Rayleigh dalgası
Mw	**:** Depremin moment büyüklüğü
Vs	**:** S-dalga hızı
fr	**:** Rezonans frekansı
h	**:** Kalınlık
λ	**:** Dalga boyu
Vort	**:** Ortalama hız
γ	**:** Makaslama deformasyonu
γ*	**:** Makaslama deformasyonunun zamana göre türevi
τ	**:** Makaslama gerilmesi
G	**:** Makaslama modülü
η	**:** Viskozite sönüm faktörü

AVCILAR VE YAKIN ÇEVRESİNDE DERİN SEDİMAN REZONANSININ İNCELENMESİ

ÖZET

17 Ağustos 1999 Kocaeli depremi (Mw=7.4) episantrdan yaklaşık 110 km uzakta bulunan Avcılar ve yakın çevresinde büyük hasar meydana getirmiştir. Bu çalışmada Avcılar ve civarındaki sığ jeolojik yapıların titreşim frekansları incelenmiştir. Avcılar (AVC), Ambarlı (ARL), Bakırköy (BKR) ve Yeşilköy (YSL) lokasyonlarında bu çalışma sırasında toplanan mikrotremör verileri ve aynı istasyonlarda daha önce USGS tarafından toplanmış olan Kocaeli depremine ait artçı şokların verileri kullanılmıştır. Bu istasyonlardan YSL'de mikrotremör verilerinin sinyal kalitesi iyi olmadığından çalışmada kullanılamamıştır.

Temel rezonans frekansının hesaplanmasında Nakamura tekniği olarak bilinen yatay hareketin spekturumunun düşey hareketin spekturumuna (Y/D) oranı kullanılmıştır. Spektral oranlarda ana pike karşılık gelen frekans, sedimentin temel rezonans frekansı olup, sediment kalınlığının ve S-dalga hızının fonksiyonudur. Hesaplanan spektral oranlar 0.2 ve 5.0 Hz frekans aralığında incelenmiştir.

AVC ve ARL istasyonlarında kaydedilen mikrotremör verilerinden hesaplanan ortalama Y/D oranları, deprem verilerinde S-penceresi için hesaplanan Y/D oranlarına benzememekte ancak geç S koda pencereleri için benzerlik gözlenmektedir. BKR istasyonunda da benzer bir durum gözlenmektedir.

AVC, ARL ve BKR istasyonları için mikrotremör verilerinden hesaplanan temel rezonans frekansları sırası ile 0.33, 0.26 ve 0.54 Hz'dir. Hasarın ağır olduğu yerlerlere yakın olan AVC ve ARL istasyonlarında mikrotremör verilerinden hesaplanan ortalama Y/D oranlarında temel rezonans pikleri dışında farklı frekanslarda büyük genlikli pikler gözlenirken, BKR istasyonunda sadece temel rezonans frekansı civarında büyük genlikli pik vardır.

AVC ve ARL istasyonlarında daha önceki çalışmalarda hesaplanmış olan hız-derinlik modelleri kullanılarak temel rezonans pikleri ve harmonikleri hesaplandığındai, kuramsal olarak hesaplanan temel rezonans pik ve harmonikleri gözlemsel veriden hesaplananlar ile çakışmaktadır. Buda AVC ve ARL istasyonları altındaki derin sedimanter tabakada Kocaeli depremi sırasında rezonansın oluştuğunu göstermektedir.

INVESTIGATION OF DEEP SEDIMENT RESONANCE IN AVCILAR AND SURROUNDING AREA

SUMMARY

The 17 August 1999, Mw=7.4, Kocaeli earthquake caused a heavy damage in the region of Avcılar which is roughly 110 km away from the earthquake's epicenter. In this study, the resonance frequencies of the shallow geological structures in Avcılar and surroundings were investigated. The microtremor data recorded at the stations of Avcılar (AVC), Ambarlı (ARL), Bakırköy (BKR) and Yeşilköy (YSL) during this study and the aftershock data of Kocaeli earthquake recorded at the same stations by USGS were used. From these stations, only YSL can not be used in this study because of the poor quality of the collected microtremor data.

For the calculation of the resonance frequency, the spectral ratio of the horizontal ground motion to vertical ground motion (H/V), which is often called Nakamura's method, was used. The frequency of the main peak in these spectral ratios corresponds the fundamental resonance frequency of the sediments, which is a function of the thickness and the S-wave velocity of the sediment. The calculated spectral ratios were interpreted between 0.2 and 5.0 Hz frequency interval.

The average H/V ratios calculated from the microtremor data recorded at stations AVC, ARL and BKR and H/V ratios calculated from the earthquake data of S-wave window are not similar. However, they become similar for the late S-coda windows. For the BKR station, the similar results were obtained.

The resonance frequencies calculated from the microtremor data at AVC, ARL and BKR stations are 0.33, 0.26, and 0.54 Hz respectively. At AVC and ARL stations which are located close to the heavily damaged area, the average H/V ratios calculated from the microtremor data have additional peaks having high amplitudes at the different frequencies beside the fundamental resonance frequency. At BKR station, the high amplitude of average H/V ratio is only around the fundamental resonance frequency.

The theoretical calculations of the fundamental resonance frequencies and their harmonics by using the velocity-depth models at the AVC and ARL derived from the previous studies coincide with those estimated from the observed data. This observation indicates that the deep sediment resonance at AVC and ARL stations occurred during the Kocaeli earthquake.

1. GİRİŞ

17 Ağustos 1999 Kocaeli Depremi'nin (Mw=7.4), resmi açıklamalara göre 17000 kişinin ölümüyle sonuçlanması ve çok büyük maddi kayba neden olmasının ardından Kuzey Anadolu Fayı birçok kurum ve kuruluşça araştırılmaya başlanmıştır. Özellikle, Kuzey Anadolu Fayı'nın Marmara Denizi içindeki doğrultusunu ortaya çıkarmak üzere sismik yansıma ve batimetri çalışmaları yapılmıştır (Okay ve diğ., 2000; İmren ve diğ., 2001; Le Pichon ve diğ., 2001). Boztepe – Güney ve Horasan (2002), Kocaeli Depremi'nin artçı şokları ile yaptıkları çalışmada Moho'dan geniş açılı yansıma (SmS) fazlarının genliklerinin batıya doğru 120 – 160 km arasında 2 – 3 kat arttığını ve bu fazların frekanslarının 4 Hz civarında olduğunu gösterdiler.

Diğer taraftan, deprem episantrına yaklaşık 110 km uzakta bulunan ve yaklaşık 1000 kişinin hayatını kaybettiği Avcılar'da zemine yönelik çalışmalar da hızlandı. Artçı şoklara ait deprem kayıtları kullanarak zemin tepkisi incelediler. Cranswick ve diğ. (2000) ve Ergin ve diğ. (2000) tarafından incelendi. Özel ve diğ. (2002) ise Kocaeli Depremi'nin ana ve artçı şoklarını kullanarak bölgenin yer etkisini ortaya çıkarmaya yönelik çalışmalarında zeminin nonlinear davranışının da incelenmesi gerektiğini ileri sürdüler. Kudo ve diğ (2000), Avcılar ve yakın çevresinde S dalgası hız yapısını ve yer tepkisini ortaya çıkarırken, Tezcan ve diğ. (2002) Avcılar'da yaptıkları çalışmada yer büyütmesini ve büyütmenin olduğu frekansları hesapladılar.

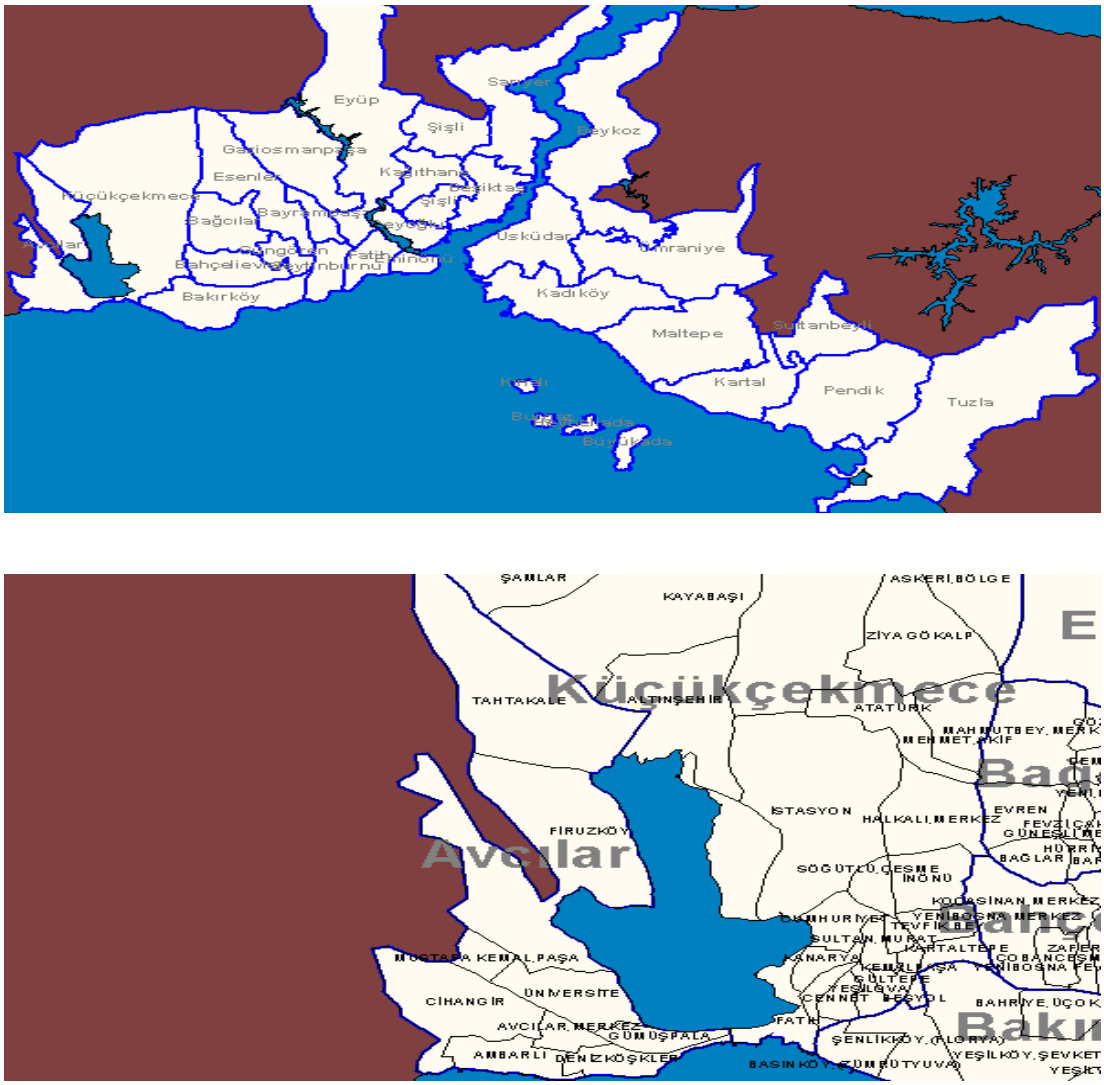
Kuzey Anadolu Fayı'nın etkinliği, geçmiş iki büyük depremde (17 Ağustos 1999 Kocaeli, Mw=7.4 ve 12 Kasım 1999 Düzce, Mw=7.2) büyük can kaybı ile maddi zararın ortaya çıkmış olması, sismik bölgeleme çalışmalarının önemini ortaya koymuştur. Bu çalışmada mikro bölgeleme çalışmalarının önemli parametrelerinden biri olan yer etkisi, Avcılar ve yakın çevresi için mikrotremör ve artçı şok verileri kullanılarak hesaplanmıştır. Çalışmada izlenen sıra aşağıdaki gibidir;

İkinci bölümde çalışılan alanın jeolojisi kısaca anlatılmıştır. Üçüncü bölümde yer etkisi ve yer etkisini hesaplama teknikleri verilmiştir. Dördüncü bölüm çalışmada kullanılan artçı şok ve mikrotremör verilerinin tanıtımını, işlenişini ve her iki veri tabanı kullanılarak hesaplanan yer etkisi fonksiyonlarının karşılaştırılmasını

içermektedir. Beşinci bölümde gözlemsel veriden hesaplanan, zemin temel titreşim frekansının kuramsal olarak hesaplananlar ile karşılaştırılması verilmiştir. Altıncı bölümde, yer etkisi fonksiyonuna etkiyen diğer parametreler incelenmiş ve son olarak yedinci bölümde sonuçlar açıklanmıştır.

2. AVCILAR VE ÇEVRESİNİN JEOLOJİSİ

Şekil 2.1a ve b'de Avcılar'ın coğrafi konumu verilmektedir. Avcılar, Avrupa kıtasında, Küçükçekmece gölünün batısında ve Marmara Denizi sahili boyunca İstanbul sınırlarında bulunan en son yerleşim yeridir.



Şekil 2.1 Avcılar'ın Marmara Denizi boyunca (üstte) ve İstanbul ili sınırları içindeki (altta) konumu (www.ibb.gov.tr)

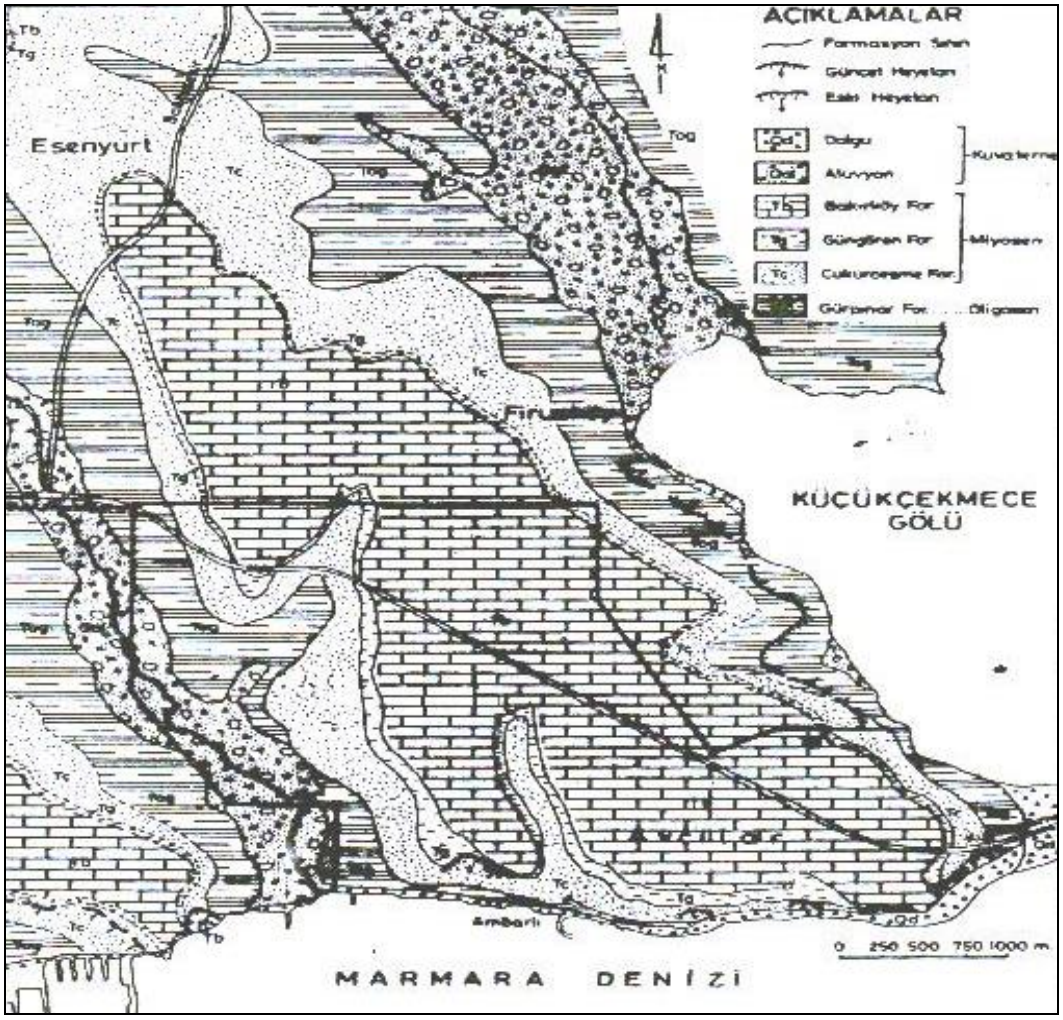
Çalışma alanına ait jeolojik harita Şekil 2.2'de gösterilmiştir. Bölgeye ait stratigrafik kesit en alttan en üste sırasıyla; Gürpınar Formasyonu, Güngören Formasyonu,

Çukurçeşme Formasyonu, Bakırköy Formasyonu, Alüvyon ve Dolgu Kısım olarak Şekil 2.3'de verilmiştir.

Gürpınar Formasyonu Oligosen yaşlı, katı - sert kil, silt - silttaşı litolojilerinden oluşmuş, başlıca koyu nefti - gri, yer yer bej - kahverengi renkli, yer yer laminalıdır.

Çukurçeşme Formasyonu Üst Miyosen yaşlı, çakıllı, bol mikalı, sıkı - çok sıkı ince kum - silt litolojisi hakimdir. Bazı kesimlerinde yer yer siltli kil ara seviyeleri ve/veya mercekleri olağandır.

Güngören Formasyonu Üst Miyosen yaşlı, başlıca yeşilimsi gri renkli kil litolojisinden oluşmuş bu birim üst seviyelerde ince kumlu - siltli kil seviyeleri ile başlar ve alt seviyelere doğru koyu yeşil - yeşilimsi gri renkli siltli kil ve fisürlü kil düzeyleri ile devam eder. Özellikle alt seviyelerde kum mercek ve ara seviyeleri gözlenir.

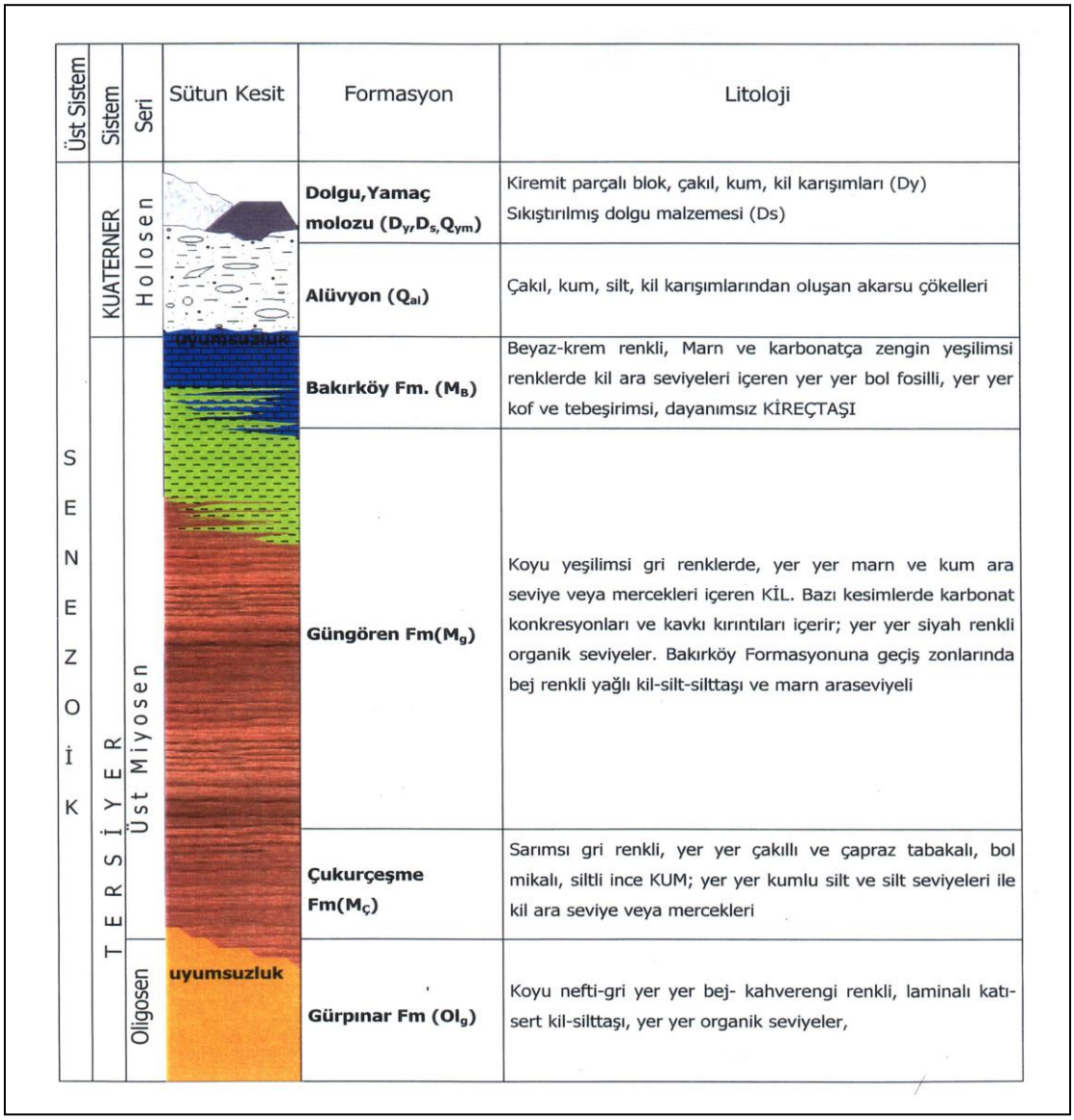


Şekil 2.2 Çalışma alanının jeolojik haritası (Yüzer ve Eyüboğlu, 1998)

Bakırköy Formasyonu Üst Miyosen yaşlı, sarımsı beyaz renkli, az dayanımlı kireçtaşlarından oluşmuştur. Yer yer kil/marn ara tabakaları, kireçtaşı tabakaları ile ardalanmalı olarak gözlenir.

Alüvyon kendisinden daha yaşlı jeolojik birimlerin aşınıp taşınarak birikmeleri ile oluşmuştur. Kahverengi renkli kumlu, çakıllı, killi siltli kum özelliğinde olup genellikle heterojen bir karışım göstermektedir.

Dolgu Kısım gerek mühendislik amaçlı olarak sıkıştırılmış malzemeden gerekse hafriyat dökümü ve sahil dolgusu gibi nedenlerle oluşturulmuş malzemeleri içermektedir.



Şekil 2.3 Çalışma alanının basitleştirilmiş stratigrafik kesiti (Belirti, 2001)

3. YER ETKİSİ VE MİKROTREMÖRLER

Herhangi bir gözlem noktasındaki deprem yer hareketinin özellikleri; a) depremin büyüklüğü b) enerjinin açığa çıktığı kaynaktan uzaklığı c) kaynaktan gözlem noktasına kadar olan dalga iletim yolu boyunca kayaçların sönümlenme özellikleri d) depremin kaynak mekanizması e) fayın yırtılma hızı ve doğrultusuna bağlı girişim etkileri f) gözlem noktasında yerel toprak koşulları gibi pek çok faktöre bağlıdır (Seed ve Idriss, 1982).

Yer etkisi (Site effect) de yerin depreme karşı davranışının incelenmesinde kullanılan önemli parametrelerden biridir. Bu parametre ana şok, artçı şok ya da sismisitesi yüksek olan bölgelerdeki küçük magnitüdlü deprem kayıtlarından yola çıkılarak hesaplanabileceği gibi (Lermo ve Chávez-Garcia, 1993; Field ve Jacob, 1995; Yamazaki ve Ansary, 1997; Huang ve Teng, 1999; Özel ve diğ., 2002), varolan, mikron mertebesinde genliklere sahip yüksek frekanslı (mikrotremör > 0.5 Hz) veya düşük frekanslı (microseism < 0.5 Hz) sismik gürültüleri kullanarak da hesaplanabilmektedir (Lermo ve Chávez-Garcia, 1994; Teves-Costa ve diğ., 1996; Delgado ve diğ., 2000).

Türkiye'de yer etkisini hesaplamak üzere ilk çalışmalar 1970'lerde başlamış (Gencoğlu ve Ayhan, 1974), ve özellikle 17 Ağustos 1999 Kocaeli Depremi'nden sonra bu çalışmaların sayısı artmıştır (Cranswick ve diğ., 2000; Ergin ve diğ. 2000; Özel ve diğ., 2002).

Bard (1999), zemin etkisinin incelenmesinde mikrotremör verilerinin kullanılması konusunda yapmış olduğu ön çalışmalardan oluşturduğu derlemesinin 'gürültü dalga alanının yapısı' alt başlığı altında gürültü alanını aşağıdaki biçimde sınıflandırmaktadır;

a) Uzun peryotlardaki (0.3-0.5 Hz aşağısında) gürültüler, okyanus dalgaları tarafından oluşturulur ve genliği bir kaç saat boyunca duraylıdır. Okyanustaki büyük ölçekli meteorolojik şartlar ile ilşkilidir.

b) Orta peryotlardaki (0.3-0.5 ve 1 Hz arası) gürültüler kıyıya yakın deniz dalgaları ve rüzgarlar tarafından oluşturulurlar. Bunların duraylılığı daha azdır.

c) 1 Hz'in üzerindeki gürültüler ise genellikle insan aktivitesi ile ilişkilidir.

Sınırları tam kesin olmamakla birlikte uzun peryotlu (T > 1 s) doğal kaynaklı olanlar mikroseismler ve kısa peryotlu (T > 1 s) yapay kaynaklı olanlar mikrotremör olarak adlandırılmaktadırlar. Eğer günlük değişimler 3 ve 4 katı düzeyinde ise bunlar mikrotremörlere karşılık gelmektedir. (Seo ve diğ., 1996; Seo, 1997; Yamanaka ve diğ., 1994). Mikroseismlerin, Love ve Rayleigh dalgalarından oluştuğunu destekleyen bir çok araştırma olmasına karşın, mikrotremörlerin hangi tür dalga tiplerinden oluştuğu konusunda değişik görüşler vardır. Araştırmacıların bir grubu gürültünün ağırlıklı olarak yüzey dalgalarından oluştuğu varsayımını yapmakta ve Y/D oranını düşey bileşende Rayleigh dalgaları baskın olduğu için, Rayleigh dalgalarının eliptikliği ile ile açıklamaktadırlar. Sediman ve ana kaya arasındaki empedans farkı yeteri kadar büyük olduğunda Y/D oranlarında temel frekans etrafında keskin pik elde edilir. (Nogoshi ve Iragashi, 1971; Konno ve Omachi, 1998, vb). Nakamura (1989) ile başlayan çalışmalarda diğer bir grup araştırmacı da gürültünün hem yüzey hem de cisim dalgaları içerdiğini, hesaplanan Y/D oranlarında ise yüzey dalgalarının etkisinin yok edildiği ya da gözardı edildiği varsayımı ile bu oranı S-dalgası transfer fonksiyonu olarak yorumlamışlardır. Bard (1999) yaptığı derleme çalışmasının sonuçlar bölümünde, gürültünün modellenebilmesinin ve Y/D oranlarının daha iyi anlaşılmasının, gürültünün içerdiği cisim ve yüzey (Rayleigh ve Love) dalgalarının göreceli oranlarının bilinmesi ile mümkün olabileceğine işaret etmektedir.

3.1. Yer Etkisinin Hesaplanması

Nakamura'nın, gürültünün yüzey dalgası ve cisim dalgalarından oluştuğu ve Y/D oranlarında yüzey dalgası etkisinin yok edildiği varsayımı izlendiğinde (Nakamura, 1986) yer etkisi ağırlık fonksiyonu $h[n]$ olan doğrusal bir dizgenin girdi; $x[n]$ ve çıktı, $y[n]$ ilişkisi (Şekil 3.1) (3.1) deki evrişim bağıntısı ile verilir,

$$y[n] = x[n] * h[n] \tag{3.1}$$

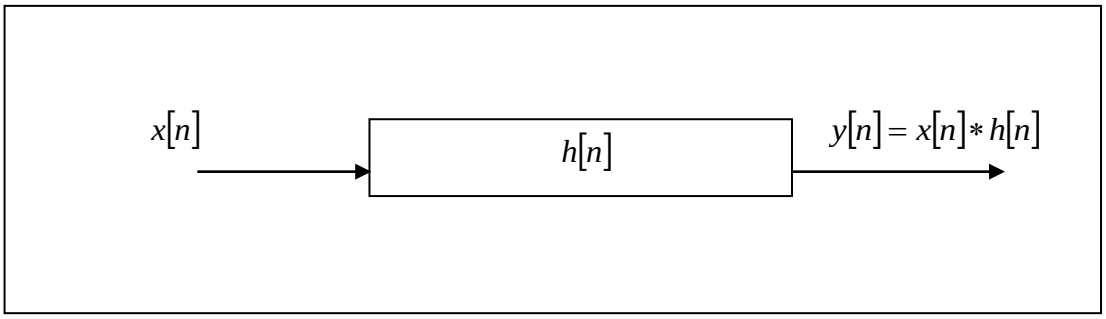
Zaman ortamındaki evrişimin frekans ortamındaki ifadesi izleyen eşitlik ile verilir

$$Y[\Omega] = X[\Omega] \cdot H[\Omega] \tag{3.2}$$

ve eşitlik, sistemin transfer fonksiyonunu tanımlayacak şekilde düzenlenirse,

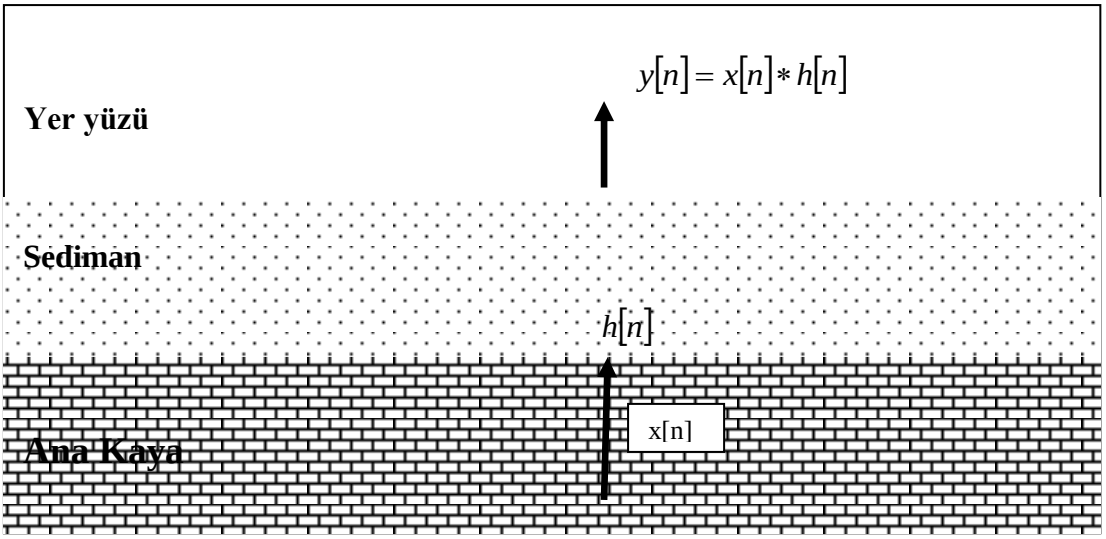
$$H[\Omega] = \frac{Y[\Omega]}{X[\Omega]} \tag{3.3}$$

bağıntısı elde edilir.



Şekil 3.1 Basit bir doğrusal dizgenin gösterimi

Basit bir yer içi modeli için eşitlik (3.3)'e karşılık gelen fiziksel model Şekil 3.2'de verilmektedir.



Şekil 3.2 Basit bir yer içi modeli için doğrusal dizge yaklaşımına uygun gösterim.

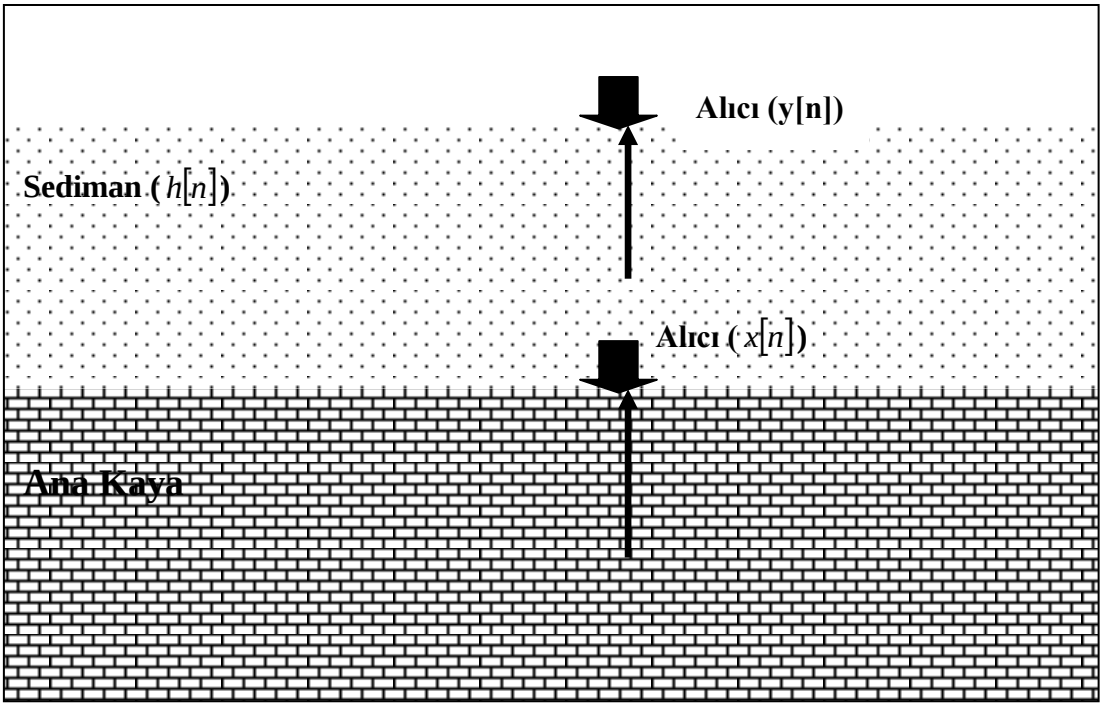
3.1.1. İki İstasyon Yöntemi

Şekil 3.2'de verilen fiziksel modelde yer etkisinin (transfer fonksiyonunun) hesaplanması için sisteme giren, $x[n]$, ve sistemden çıkan, $y[n]$, büyüklüklerinin bilinmesi gereklidir. Şekil 3.2'deki model için,

$x[n]$: ana kayada düşey doğrultuda ilerleyen, ana kaya – sediman ara yüzeyinde kaydedilen sismik dalga,

$y[n]$: ana kayadan sedimana giren, sedimanda düşey doğrultuda hareket eden, sediman – yer yüzü ara yüzeyinde kaydedilen sismik dalgadır (Şekil 3.3).

$x[n]$ ve $y[n]$'nin kaydedilmesi ile sistemin transfer fonksiyonu $h[n]$, (3.3) bağıntısından hesaplanabilir. Ancak alıcıyı sediman - ana kaya derinliğine yerleştirmek için açılacak olan sondaj pahalı ve zaman isteyen bir işlemdir. Bu nedenle kayıt, sediman altında bulunan ana kayanın yer yüzünde mostra verdiği bir yerde ve eş zamanlı olarak sediman üzerinde alınır (Şekil 3.4). Bu durumda iki kayıtçıyı eş zamanlı olarak kullanmak zorunlu olur. Bu yöntem, bugüne kadar pek çok araştırmacı tarafından yer etkisini hesaplamak için kullanılmıştır (Lachet ve diğ., 1996; Diagourtas ve diğ., 2001).



Şekil 3.3 Şekil 3.1'de verilen yer içi modeli için transfer fonksiyonunun hesaplanmasında kullanılan kayıtlar.

Şekil 3.4 de iki istasyon tekniğinin uygulaması verilmektedir. Şekilde kullanılan parametreler;

Ys : sediman – yeryüzü ara yüzeyinde sismik dalganın yatay bileşeni

Ds : sediman – yeryüzü ara yüzeyinde sismik dalganın düşey bileşeni

Ya : ana kaya – sediman ara yüzeyinde sismik dalganın yatay bileşeni

Da : ana kaya – sediman ara yüzeyinde sismik dalganın düşey bileşendir. Bu bileşenlerin frekans ortamı tanımlamaları $Ys[\Omega], Ds[\Omega], Ya[\Omega], Da[\Omega]$ olarak verildiğinde (3.3) bağıntısını kullanarak transfer fonksiyonu $T[\Omega]$

$$T[\Omega] = \frac{Ys[\Omega]}{Ya[\Omega]}, \tag{3.4}$$

olarak yazılır.

İki istasyon yönteminde tek varsayım ana kaya üzerinde kaydedilen sinyalin, sediman – ana kaya ara yüzeyine ulaşan sinyalin karakteristiğinde olmasıdır. Bu yöntemle ışın yolu (ray path) ve kaynak etkisi giderilir (Huang ve Teng, 1999). İki istasyon tekniğinin mikrotremör kayıtlarına uygulanmasında karşılaşılan en temel problem, spektral oranlamada kullanılan iki istasyon için ortak dalga trenini tanımlamadaki güçlüktür. Bu problem ya sismogramın görünüşüne bakmadan sadece mutlak zaman pencereleri seçilerek, ya da verilen istasyonda bir çok pencerenin ortalaması herhangi bir zamandaki hareketin karakteristiği olarak alınıp çözümlenebilir. Yöntemin mikrotremör verileri için başarılı (Kagami ve diğ., 1982) ve başarısız sonuçlar verdiği (Seo, 1992) durumlar vardır.

3.1.2. Tek İstasyon Tekniği (Nakamura Tekniği)

Nakamura (1989), bugüne kadar pek çok araştırmacı tarafından (Duval ve diğ., 2001; Tsuboi ve diğ., 2001) ve bu çalışmada da kullanılmış olan, iki istasyon tekniğine göre daha hızlı uygulanabilecek bir teknik geliştirmiştir. Tekniğin işlerliği aşağıdaki varsayımları gerektirmektedir:

1) Hareketin düşey bileşeni sedimanlarca büyütülmez.
2) Mikrotremörler, yarı sonsuz bir ortam üzerinde yer alan tek bir tabaka içinde ilerleyen ağırlıklı olarak yüzey dalgalarından ve bir miktarda cisim dalgalarından oluşmaktadır.

Bu varsayımların geçerliliği Nakamura (1989), (1996) ve Bard (1999)'da ayrıntıları ile tartışılmıştır. Birinci varsayımdan, sediman – yeryüzü ve ana kaya – sediman ara yüzeylerindeki düşey bileşenlerin spektrumlarının birbirlerine oranı 1'dir.

$$B[\Omega] = \frac{Ds[\Omega]}{Da[\Omega]} = 1 \tag{3.5}$$

Herhangi bir büyüklüğü 1 ile bölmek büyüklüğü değiştirmeyeceğinden, transfer fonksiyonu (3.4) nolu bağıntının (3.5) nolu bağıntıya bölümü olarak yeniden tanımlanabilir.

$$Tr[\Omega] = \frac{T[\Omega]}{B[\Omega]} \tag{3.6}$$

Bağıntı (3.6)'da gerekli parametreler açık olarak yazılırsa;

$$Tr[\Omega] = \frac{\dfrac{Ys[\Omega]}{Ya[\Omega]}}{\dfrac{Ds[\Omega]}{Da[\Omega]}}, \tag{3.7}$$

ve

$$Tr[\Omega] = \frac{Ys[\Omega]}{Ds[\Omega]} \cdot \frac{Da[\Omega]}{Ya[\Omega]}, \tag{3.8}$$

elde edilir.

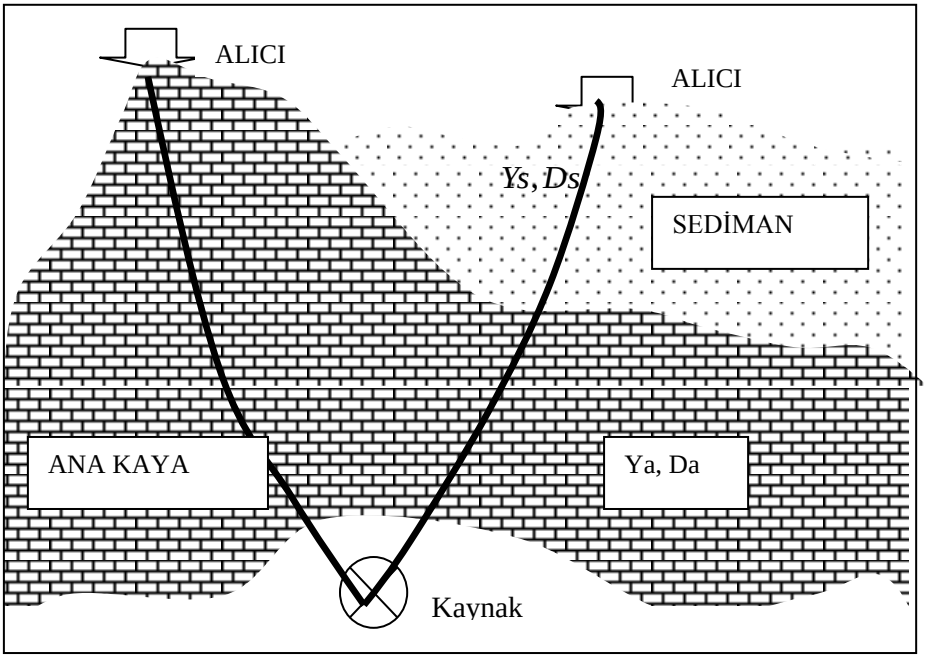
Ana kaya üzerinde yayınım tüm doğrultularda eşit olacağından,

$$\frac{Da[\Omega]}{Ya[\Omega]} = 1, \tag{3.9}$$

olacaktır. Bu tanımlama ile, transfer fonksiyonu, sediman – yeryüzü ara yüzeyinde kaydedilmiş hareketin yatay bileşeninin, yine aynı ara yüzeyde kaydedilmiş hareketin, düşey bileşenine oranına eşit olacaktır,

$$Tr[\Omega] = \frac{Ys[\Omega]}{Ds[\Omega]} \tag{3.10}$$

Bu yöntemle kaynak etkisi tamamen yok edilir (Lermo ve Chávez-Garcia, 1994) ve mikrotremör kayıtlarının Y/D oranları (Nakamura, 1989) hesaplandığında baskın frekans ortamın temel titreşim frekansına karşılık gelir (Ojeda ve Escallon, 2000). Ancak Y/D oranlarından elde edilen genlik bilgisinin, zemin büyütme katsayısının hesaplanmasında kullanılması tartışmalıdır (Bodin ve diğ., 2001).



Şekil 3.4 İki istasyon yönteminin uygulanmasında kullanılan fiziksel model.

4. MİKROTREMÖR VE ARTÇI ŞOK VERİLERİ

4.1. Veriler

Çalışmada artçı şok verisi olarak, United States Geological Survey (U.S.G.S.) tarafından 17 Ağustos 1999 Kocaeli depreminin (Mw=7.4) ardından Bakırköy (BKR), Yeşilköy (YSL), Avcılar (AVC) ve Ambarlı (ARL)'da yerleştirilmiş olan istasyonlarda (Tablo 4.1, Şekil 4.1) kaydedilmiş olan artçı şoklara ait kayıtlar kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan mikrotremör verileri de Tablo 4.1'de verilmiş olan lokasyonlarda toplanmıştır.

Tablo 4.1 Artçı şok ve mikrotremör verilerinin kaydedildiği istasyonlarının koordinatları

İstasyon (semt, yer)	**Enlem (derece.decimal)**	**Boylam (derece.decimal)**
Yeşilköy, İstasyon Caddesi	40.958°	28.821°
Bakırköy, Sinir ve Ruh Hastalıkları Hastanesi	40.985°	28.864°
Avcılar, Gümüşpala Mahallesi	40.982°	28.735°
Ambarlı, Termik santral	40.980°	28.692°

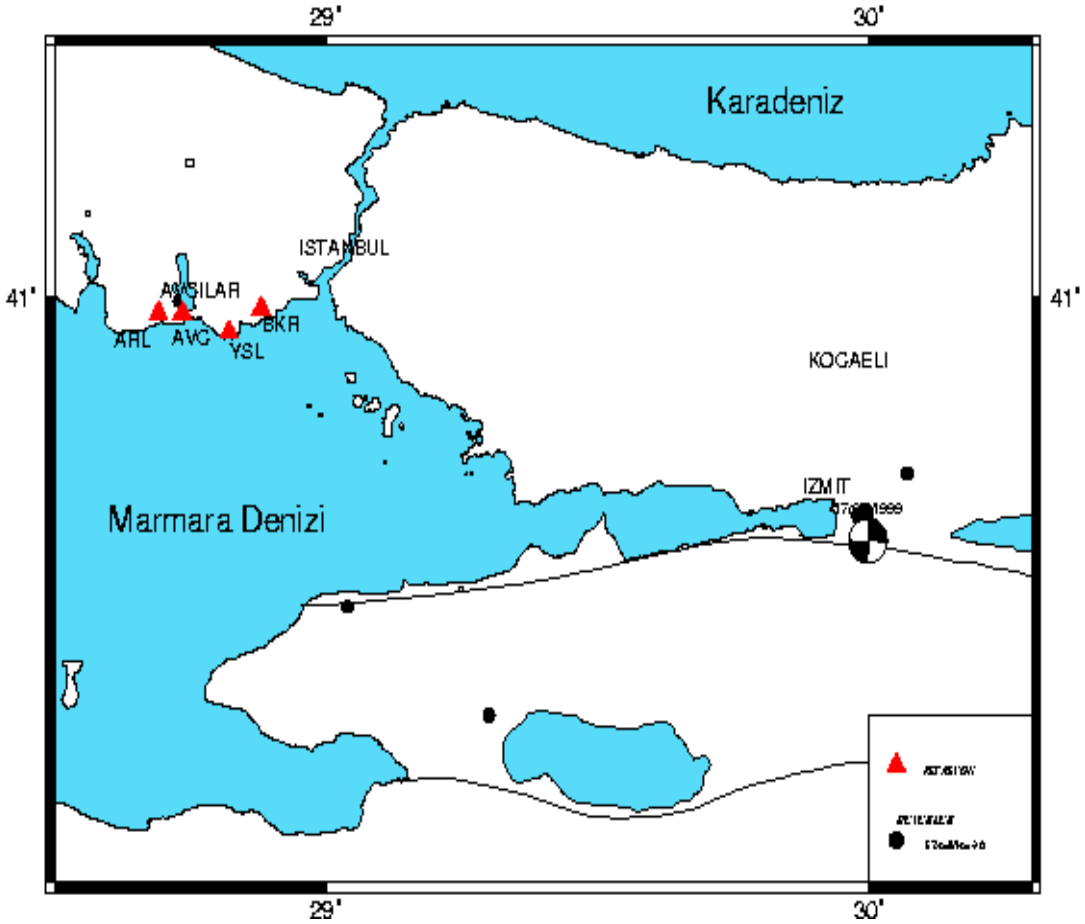
4.1.1. Verilerin Toplanması ve Aletsel Özellikler

Mikrotremör verilerinin toplanmasında, kayıtçı sistemi olarak TÜBİTAK YBDAE tarafından sağlanan Ref-Tek 72A-07 kullanılmıştır. Kayıtçı yüksek çözünürlüklü ve yüksek hacimli veri toplama sistemidir. Üç bileşende saniyede 1'den 1000'e kadar örnekleme aralığı ile veri toplanabilir. Dinamik aralığı 96 dB ya da 130 dB dir. Sekiz çeşit kayıt tetikleme, 1 - 256 dB aralığında seçilebilir kazançlarla kayıt alma özelliğine sahiptir. Zaman belirleyicisi olarak GPS sistemi vardır. Kullanılmış olan sismometre ise GURALP CMG-40T hız sismometresidir. Aletin tepki yanıtı 0.033 Hz - 50 Hz arasında düzdür.

Mikrotremör ölçümleri, şehir gürültüsünün nispeten az olduğu hafta sonunda toplanmıştır. Her istasyonda 1 saatlik ölçümler, on dakikalık paketler halinde

alınmıştır. Verilerin örnekleme frekansı 100 Hz'dir. Ölçümün alınması sırasında sismometre hava koşullarından etkilenmeyecek şekilde konuşlandırılmış ve istasyonun kurulacağı yerin beton olmasına özen gösterilmiştir.

Deprem verisi kayıtçılarının özellikleri (Özel ve diğ., 2002) ise şöyledir: Ambarlı (ARL) istasonunda kullanılan kayıtçı sistemi Ref-Tek, ve algılayıcı ise GURALP CMG - 40T hız ölçerdir. Aletin tepki yanıtı 0.033 Hz – 50 Hz arasında düzdür ve kaydın örnekleme frekansı 100 Hz dir. Diğer istasyonlarda (BKR, AVC, YSL) ise kayıtçı sistemi olarak yine Ref-Tek kullanılmış ancak algılayıcı olarak L22 – 2 Hz hız ölçer kullanılmıştır. Aletin tepki yanıtı 2 Hz – 50 Hz arası düzdür ve kaydın örnekleme frekansı 100 Hz dir. AVC, ARL ve BKR' de kaydedilmiş olan artçılara ait bilgiler Tablo 4.2'de verilmektedir.



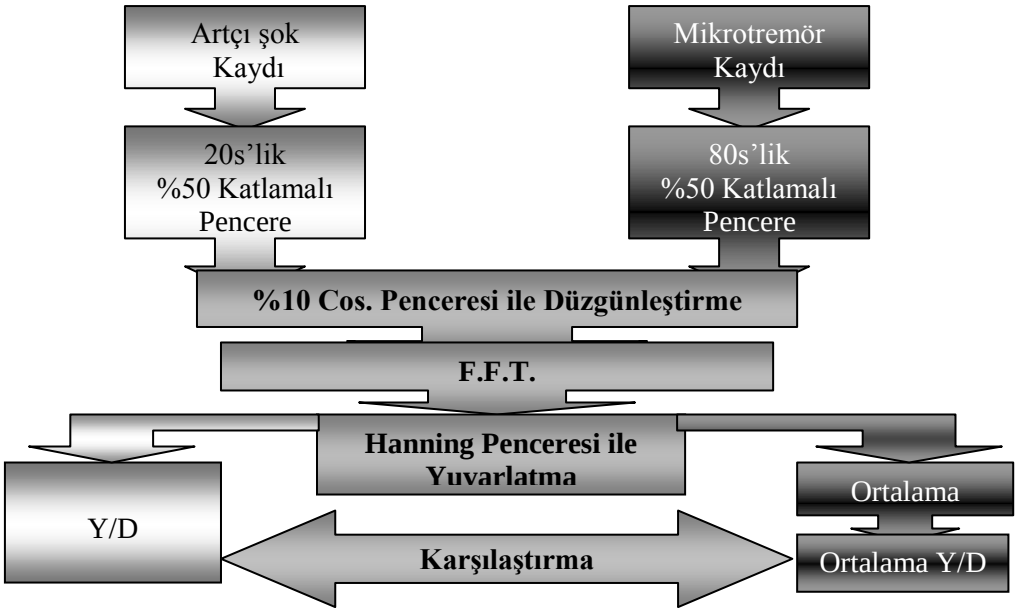
Şekil 4.1 Mikrotremör ve artçı şok verilerinin kaydedildiği istasyonların (AVC,ARL, BKR, YSL) lokasyonları kırmızı üçgenler ile, AVC, ARL ve BKR istasyonlarında kaydedilmiş olan artçı şokların yerleri, siyah daireler ile gösterilmiştir. 17 Ağustos 1999 Kocaeli depremi (Mw=7.4) kaynak mekanizması çözümü Taymaz (1999)'dan alınmıştır.

Tablo 4.2 Şekil 4.1'de episantrları verilen depremlere ait bilgiler. Beyaz fon (Özel ve diğ., 2002), gri fon (Özalaybey ve diğ., 2002)'den alınmıştır.

No	**Gün** (gün; ay; yıl)	**Oluş Zamanı** (saat: dak.: san.)	**Boylam** (derece. desimal)	**Enlem** (derece. desimal)	**Büyüklük** (M_D)
1	27.08.1999	08:02:07	29.04	40.63	3.2
2	27.08.1999	08:27:46	30.07	40.79	3.5
3	29.08.1999	20:16:19	29.30	40.50	3.5
4	31.08.1999	08:10:51	29.99	40.74	4.6
5	31.08.1999	08:33:23	29.98	40.74	4.2

4.1.2. Veri İşlem

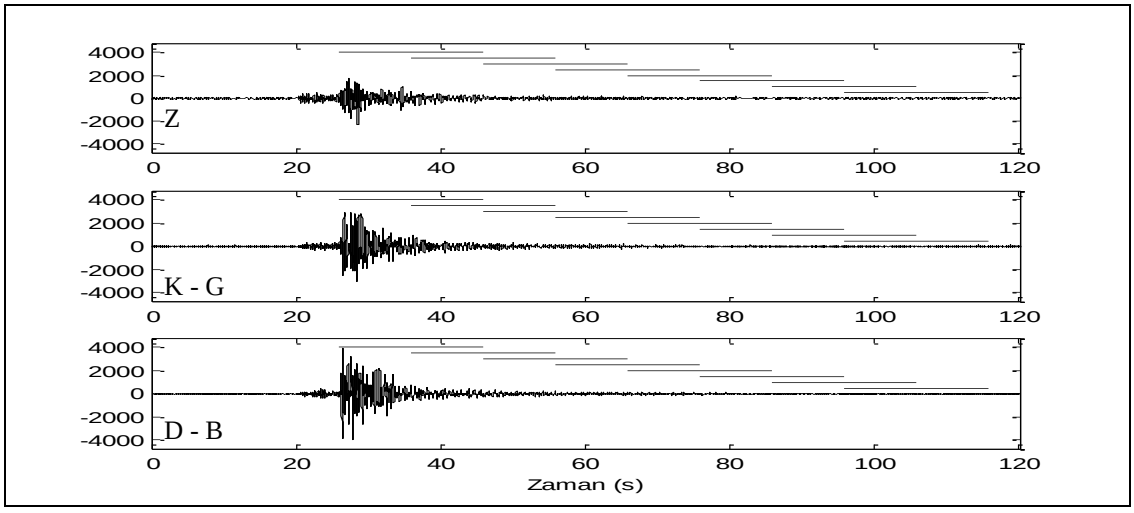
Çalışmada kullanılmış olan artçı şok ve mikrotremör kayıtlarının veri işlem aşamaları Şekil 4.2 de gösterilmiştir. Artçı şok ve mikrotremör verilerinin işlenmesi sırasında pencere boyu değişik araştırmacılar tarafından farklı uzunluklarda seçilmiştir. Satoh ve diğ., (2001) kuvvetli yer hareketi verisinde S-dalgası ve S-dalgası koda pencereleri için 10 s ve mikrotremör verileri için 81.92 s'lik veriler kullanmışlardır. Seekins ve diğ., (1996) kuvvetli yer hareketi verileri için 5, 10 ve 20 s'lik pencereleri denemişler ve 20 s'lik pencerenin durağanlığının daha fazla ve frekans çözünürlüğünün daha iyi olduğunu belirtmişlerdir.



Şekil 4.2 Veri işlem akış diyagramı

Üç bileşen artçı şok kayıtları, S dalgasının başladığı noktadan itibaren kayıt sonuna kadar %50 katlamalı 20 s'lik pencere ile pencerelendikten sonra, ortalama değeri sinyalden atılmış, %10'luk kosinüs penceresi ile düzgünleştirilmiş ve Hızlı Fourier Dönüşümü (F.F.T.) alınmıştır. Daha sonra frekans ortamında, hızlı değişimleri gidermek için 3 işleçli Hanning Penceresi ile yuvarlatılmış ve bu işlem her üç bileşen için gerçekleştirildikten sonra her 20 s'lik pencere için Y/D oranı hesaplanmıştır. Şekil 4.3'de bu çalışmada kullanılan artçı şok verilerinden Tablo 4.2'deki 1 nolu artçıya ait olan kayıt ve seçilen 20 s'lik pencereler gösterilmektedir. Tablo 4.2'deki diğer artçılara aait kayıtlar Ek A'da Şekil A1, A2, A3, A4 olarak, hesaplanan Y/D oranları da Ek B'de Şekil B1'den B12'ye kadar olarak verilmektedir.

Üç bileşenli olarak, on dakikalık paketler halinde toplam 60 dakika uzunluğunda toplanmış mikrotremör kayıtlarının her 10 dakikalık paketi %50 katlamalı 80 s'lik pencereler ile pencerelendikten sonra (Şekil 4.4), ortalama değeri sinyalden atılmış (Şekil 4.5a), %10'luk kosinüs penceresi ile düzgünleştirilmiş (Şekil 4.5b) ve Hızlı Fourier Dönüşümü (F.F.T.) alınmıştır (Şekil 4.6a). Frekans ortamında, hızlı değişimleri gidermek için 3 işleçli Hanning Penceresi ile yuvarlatıldıktan sonra (Şekil 4.6b) her bileşene ait pencerelerin aritmetik ortalaması alınarak hesaplanan ortalama yatay bileşen, ortalama düşey bileşene bölünerek her bir 10 dakikalık paket için tek bir ortalama Y/D oranı hesaplanmıştır.

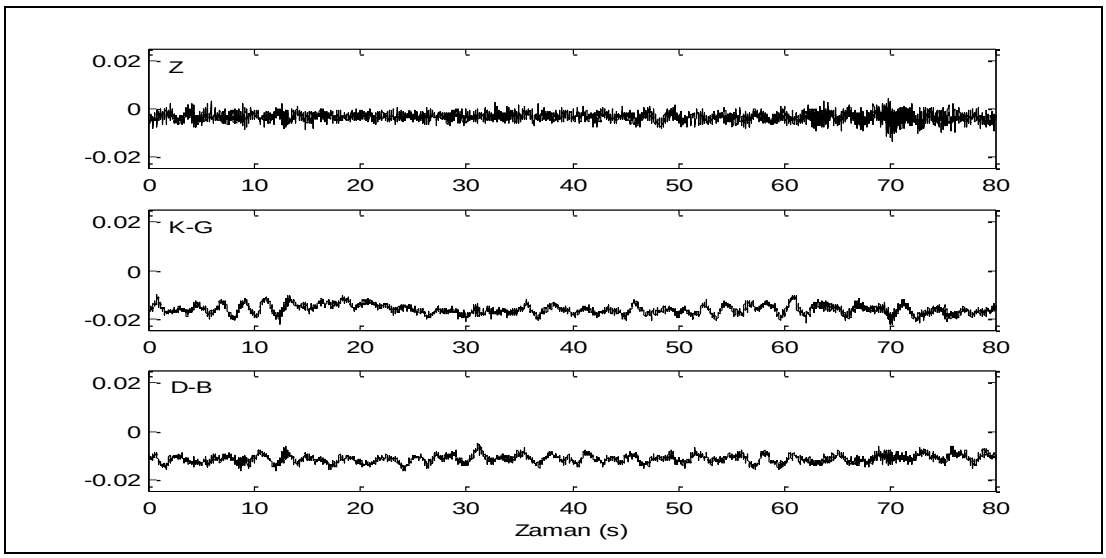


Şekil 4.3 Çalışmada kullanılan artçı şok verilerine bir örnek (BKR, Tablo 4.2, 1 nolu artçı). Z, K-G, D-B bileşenlerinin üzerinde görülen yatay çizgiler verinin işlenmesi sırasında kullanılan pencereleri göstermektedir.

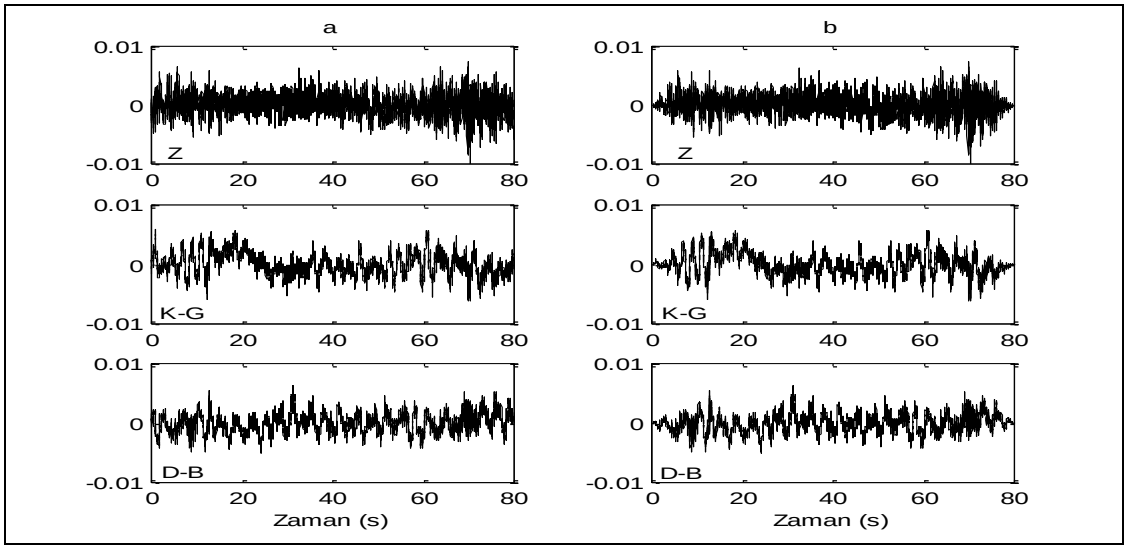
Birçok araştırmacı (Satoh ve diğ., 2001; Gosar ve diğ., 2001 ve Le Brun ve diğ., 2001) kullandıkları mikrotremör sinyallerinin her bir penceresine ait Y/D oranlarının

ortalamasını, ortalama Y/D oranı olarak kullanmışlardır. Ancak rasgele veriler için, periodogram yöntemi bozucu etkileri bastırmada etkilidir ve rasgele sinyalin aynı boydaki pencerelerinin güç spektrumlarının ortalaması alınarak hesaplanır. Bu çalışmada da genlik spektrumlarının ortalamaları hesaplanmış olduğundan, Şekil 4.2'deki akış diyagramında 'ortalama' olarak isimlendirilmiştir.

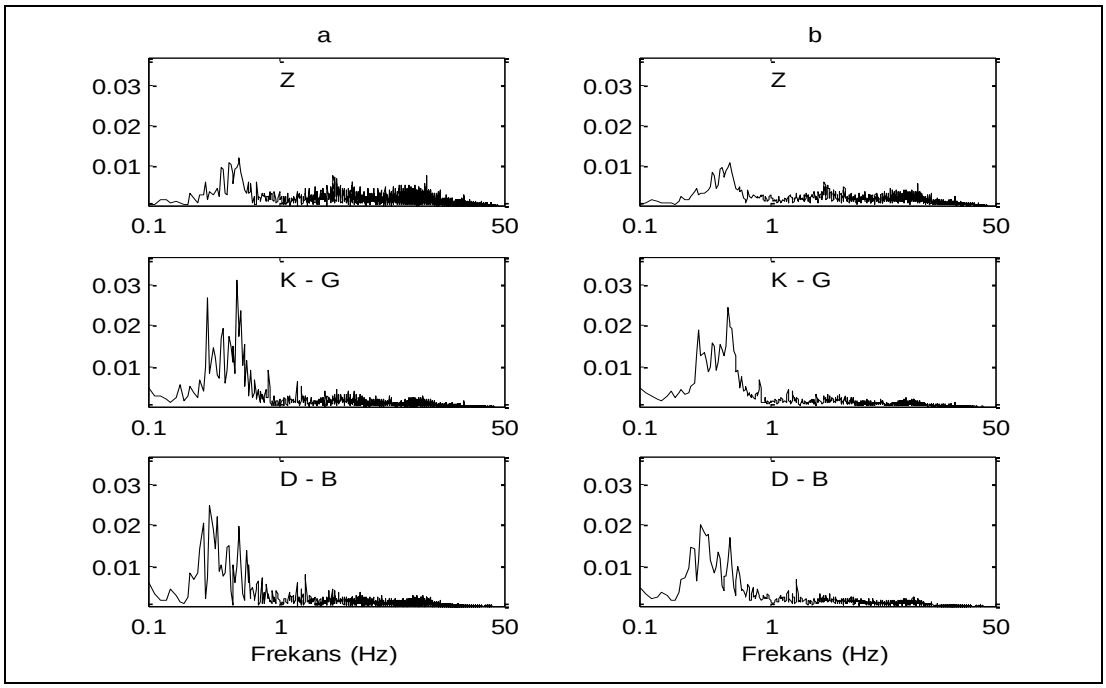
Kayıtların pencerelenmesinde Matlab programı yazılmış, veri işlem basamaklarının diğer adımları için Seismic Analysis Code, SAC, kullanılmıştır (Tapley ve diğ, 1992). Ortalama Y/D oranı ve sinyallerin çizimleri için Matlab kullanılmıştır.



Şekil 4.4 Çalışmada kullanılan mikrotremör verilerine bir örnek



Şekil 4.5 a) Mikrotremör verisinin bileşenlerinin ortalama değerlerinin atılmış görünümü. b) Ortalama değerler atıldıktan sonra %10'luk kosinüs penceresi ile düzgünleştirilmiş görünümü.

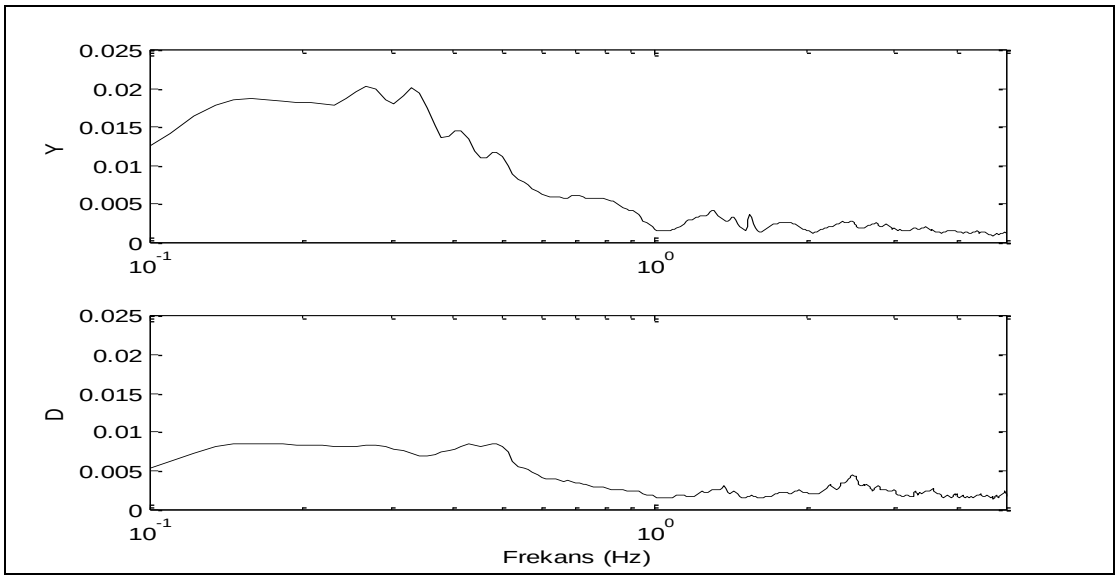


Şekil 4.6 a) Hızlı Fourier dönüşümü (F.F.T.) alınmış olan bileşenlerin genlik spektrumu. b) Hanning Penceresi ile yuvarlatıldıktan sonraki görünümleri.

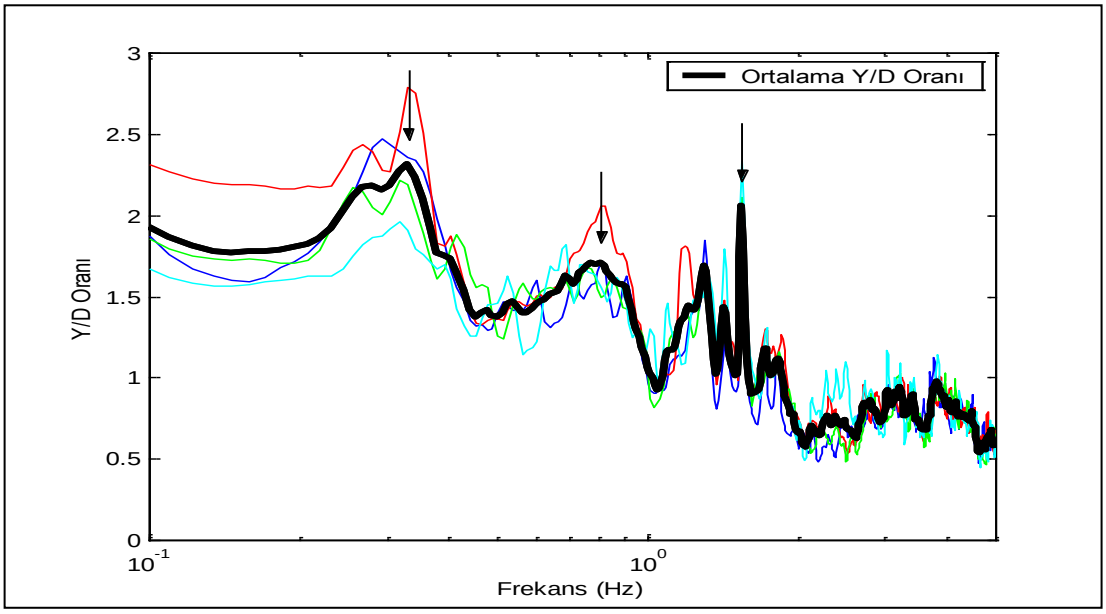
4.2. Mikrotremör Kayıtlarından Hesaplanan Ortalama Y/D Oranları

Tablo 4.1'de verilen 4 istasyondaki mikrotremör kayıtlarından sinyal kalitesi iyi olmayan Yeşilköy (YSL) istasyonuna ait mikrotremör kaydının dışındaki tüm istasyonlardaki veriler bu çalışmada kullanıldı. Ortalama Y/D oranlarına ait spektrumlar 0.2 – 5 Hz frekans aralığında incelendi. 0.2 Hz'in altındaki frekanslarda aletsel gürültüler, 5 Hz'in üzerindeki frekanslarda ise hızlı değişim gösteren çevresel gürültüler spektrumda baskın olarak gözlenmektedir. AVC, ARL ve BKR istasyonlarında kaydedilmiş olan on dakikalık altışar tane paketten AVC ve BKR için iki tanesi, ARL için 3 tanesi sinyal kaliteleri kötü olduğu için kullanılmadı.

Şekil 4.7a'da AVC istasyonunda kaydedilmiş mikrotremör verisinin yatay ve düşey bileşenlerinin genlik spektrumları verilmektedir. AVC istasyonuna ait ortalama Y/D oranları Şekil 4.7b'de verilmektedir. İnce, renkli çizgiler birbirini izleyen on dakikalık paketlerin ortalama Y/D oranına, kalın siyah çizgi ise bu renkli çizgilerin aritmetik ortalamasına karşılık gelmektedir. Ortalama Y/D oranında üç tane pik gözlenmiştir. Pikler 0.33, 0.80 ve 1.55 Hz'de gözlenmektedir. Baskın frekans ise 0.33 Hz'de yer almaktadır.

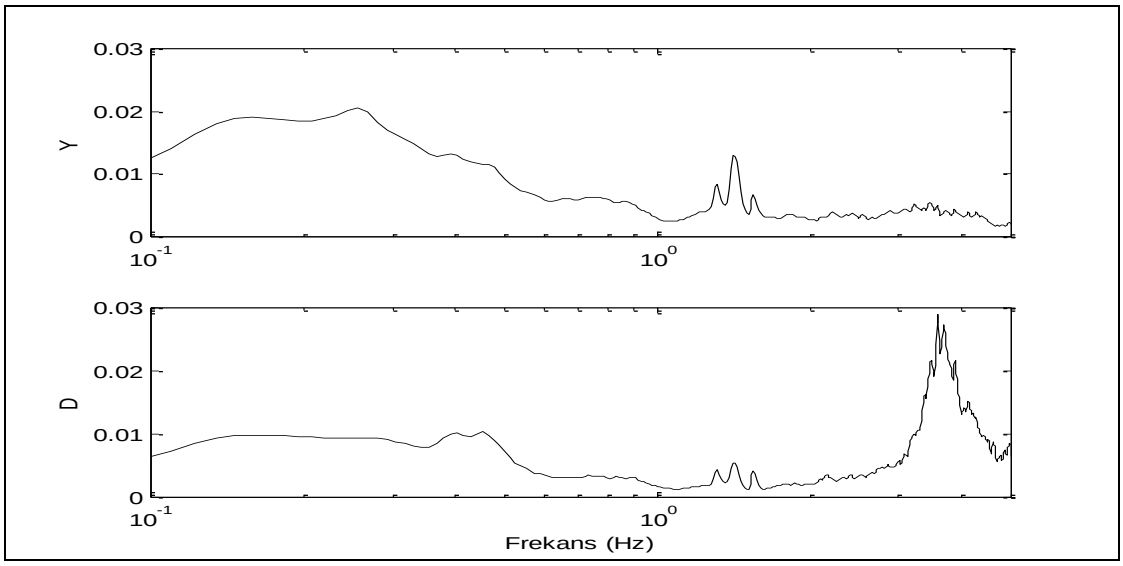


Şekil 4.7a AVC istasyonuna ait mikrotremör verisinin bileşenlerinin spektrumları. Üstte yatay bileşen, altta ise düşey bileşen spektrumu görülmektedir.

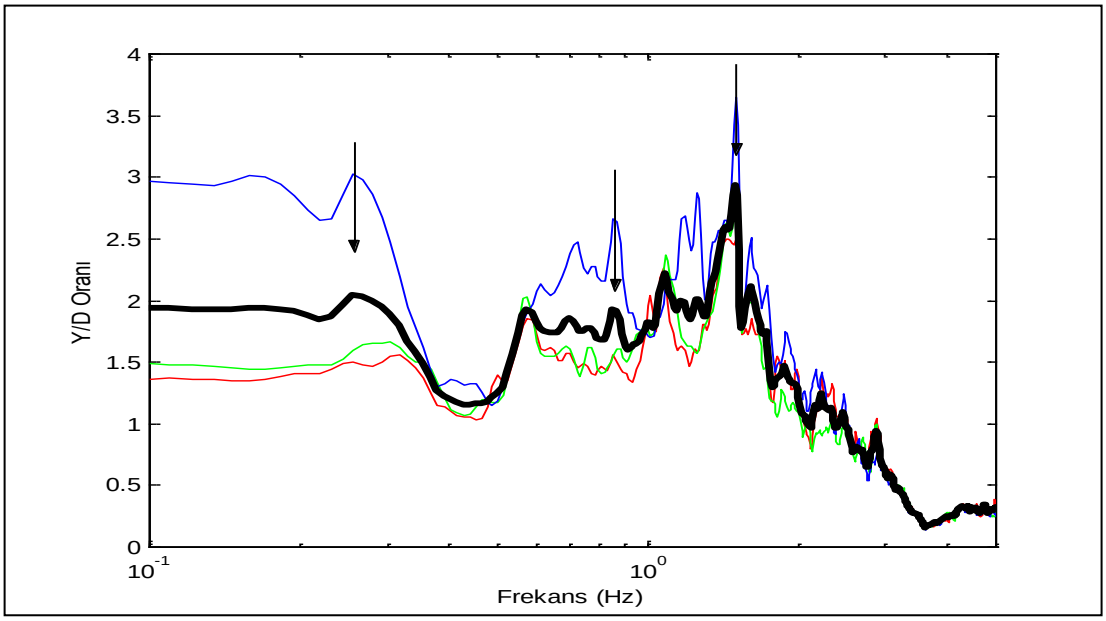


Şekil 4.7b AVC istasyonuna ait mikrotremör verisinin ortalama Y/D oranları. İnce, renkli çizgiler birbirini izleyen onar dakikalık paketlerin ortalama Y/D oranlarına, kalın siyah çizgi ise renkli çizgilerin aritmetik ortalamasına karşılık gelmektedir.

ARL istasyonuna ait mikrotremör verisinin yatay ve düşey bileşenlerinin spektrumları Şekil 4.8a'da, ortalama Y/D oranları ise Şekil 4.8b'de verilmektedir. İnce, renkli çizgiler birbirini izleyen on dakikalık paketlerin ortalama Y/D oranına, kalın siyah çizgi ise renkli çizgilerin aritmetik ortalamasına karşılık gelmektedir. Ortalama Y/D spektrumunda üç adet pik 0.26, 0.80 ve 1.49 Hz de gözlenmektedir. Baskın frekans ise 1.49 Hz'de yer almaktadır.

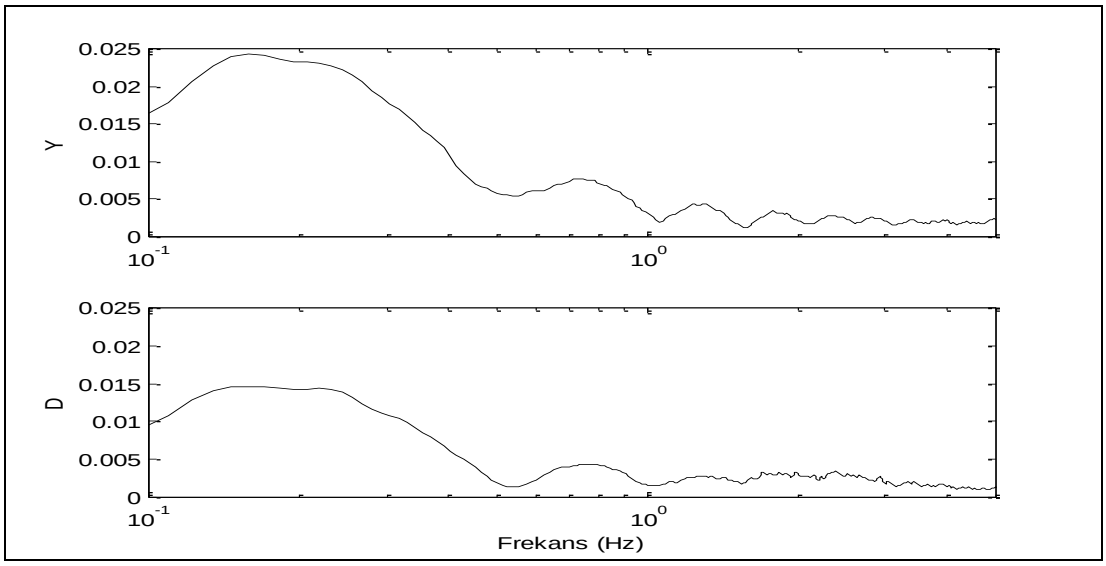


Şekil 4.8a ARL istasyonuna ait mikrotremör verisinin bileşenlerinin spektrumları. Üstte yatay bileşen, altta ise düşey bileşen spektrumu görülmektedir.

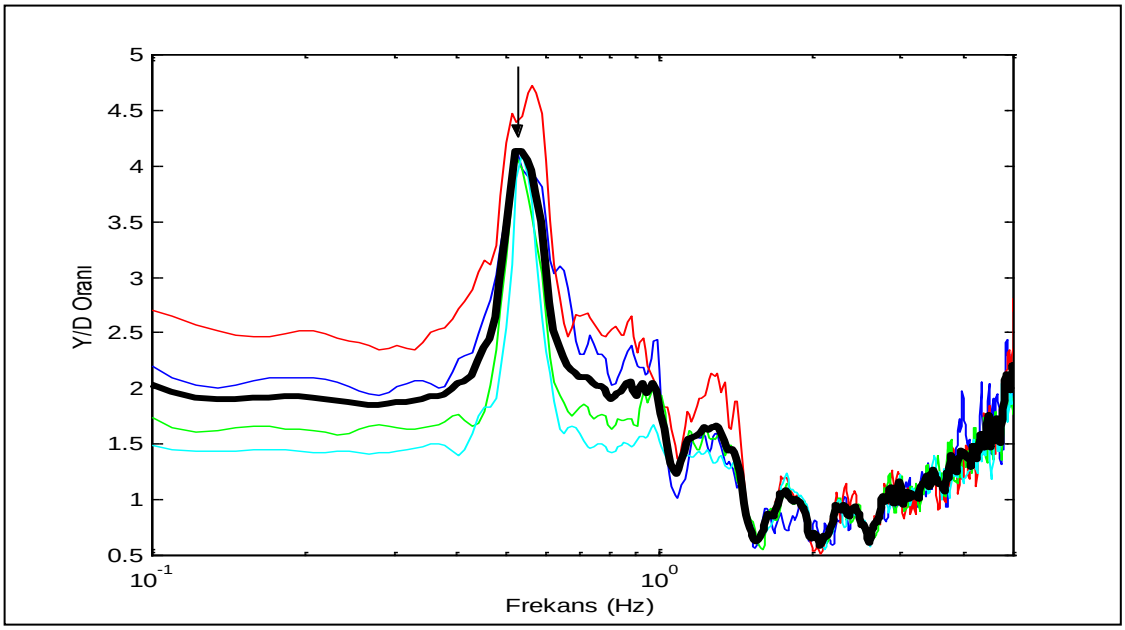


Şekil 4.8b. ARL istasyonuna ait mikrotremör verisinin ortalama Y/D oranları. İnce, renkli çizgiler birbirini izleyen onar dakikalık paketlerin ortalama Y/D oranlarına, kalın siyah çizgi ise renkli çizgilerin aritmetik ortalamasına karşılık gelmektedir.

Şekil 4.9a'da BKR istasyonunda kaydedilmiş mikrotremör verisinin yatay ve düşey bileşenlerinin genlik spektrumları verilmektedir. BKR istasyonunda alınmış olan mikrotremör kaydına ait ortalama Y/D oranları Şekil 4.9b'de gösterilmektedir. Ortalama Y/D oranı spektrumunda baskın frekans 0.54 Hz'de gözlenmektedir. Renkli, ince çizgiler, birbirini izleyen on dakikalık paketlerin ortalama Y/D oranına, kalın siyah çizgi ise renkli çizgilerin aritmetik ortalamasına karşılık gelmektedir.



Şekil 4.9a BKR istasyonuna ait mikrotremör verisinin bileşenlerinin spektrumları. Üstte yatay bileşen, altta ise düşey bileşen spektrumu görülmektedir.



Şekil 4.9b BKR istasyonuna ait mikrotremör verisinin ortalama Y/D oranları. İnce, renkli çizgiler birbirini izleyen onar dakikalık paketlerin ortalama Y/D oranlarına, kalın siyah çizgi ise renkli çizgilerin aritmetik ortalamasına karşılık gelmektedir.

AVC ve ARL istasyonlarına ait ortalama Y/D oranlarında (Şekil 4.7b, Şekil 4.8b) spektrumun değişik noktalarında ek pikler gözlenirken BKR istasyonuna ait ortalama Y/D oranında (Şekil 4.9b) bunlar gözlenmemektedir. Bodin ve diğ. (2001) gözlenen bu ek piklerin, temel rezonans frekansının harmonikleri olabileceğini belirtmiştir. Bu konu ile ilgili tartışmalara kuramsal hesaplama bölümünde (Bölüm 5) değinilecektir.

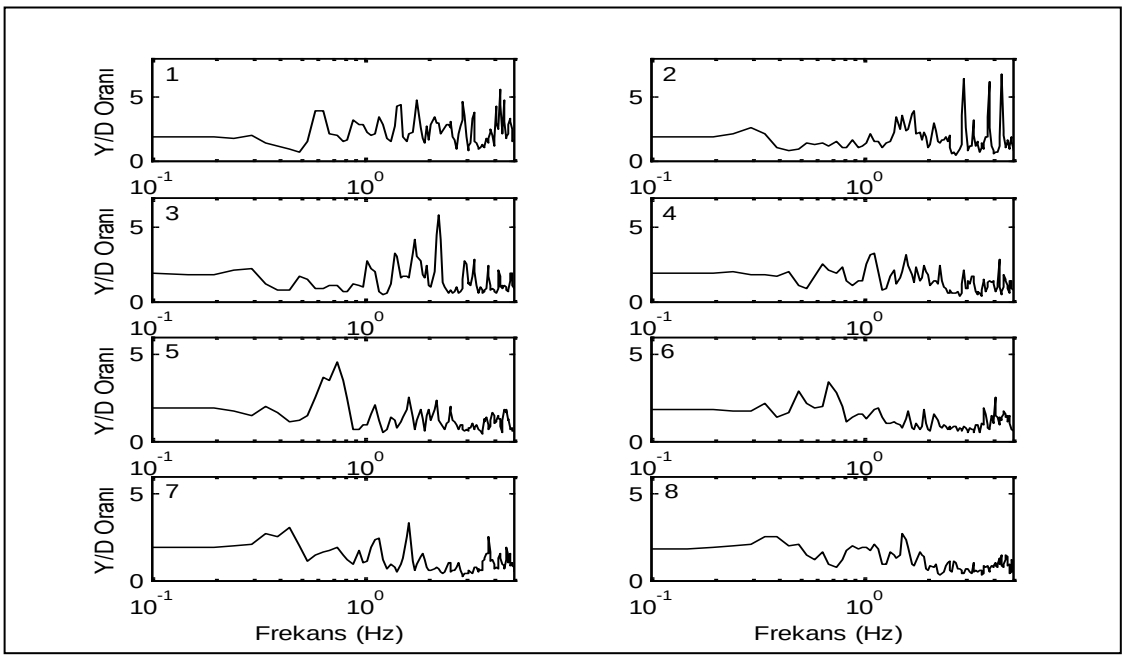
Üç istasyon (AVC, ARL, BKR) için her on dakikalık veri paketine ait ortalama Y/D oranlarının (Şekil 4.7b, Şekil 4.8b ve Şekil 4.9b, ince renkli çizgiler), piklere karşılık

gelen genliklerinin farklı olmalarına karşın, piklerin frekans değerleri hep aynı noktadadır. Bir başka deyişle zamana bağlı olarak, Y/D oranındaki piklerin gözlendiği frekans veya frekanslar aynı olmakta, ancak bu frekans ya da frekanslarda gözlenen genlikler değişebilmektedir.

4.3. Artçı Şok Verilerinden Hesaplanan Y/D Oranları

Bu bölümde Şekil 4.1'de verilen artçılardan sadece bir tanesi (Tablo 4.2, 1 nolu artçı) için hesaplanan Y/D oranı verilmiş ve bu oran aynı istasyonlarda toplanmış olan mikrotremör verilerinin ortalama Y/D oranları ile karşılaştırılmıştır. Diğer artçı şoklara ait hesaplanan Y/D oranları Ek-B'de verilmiştir.

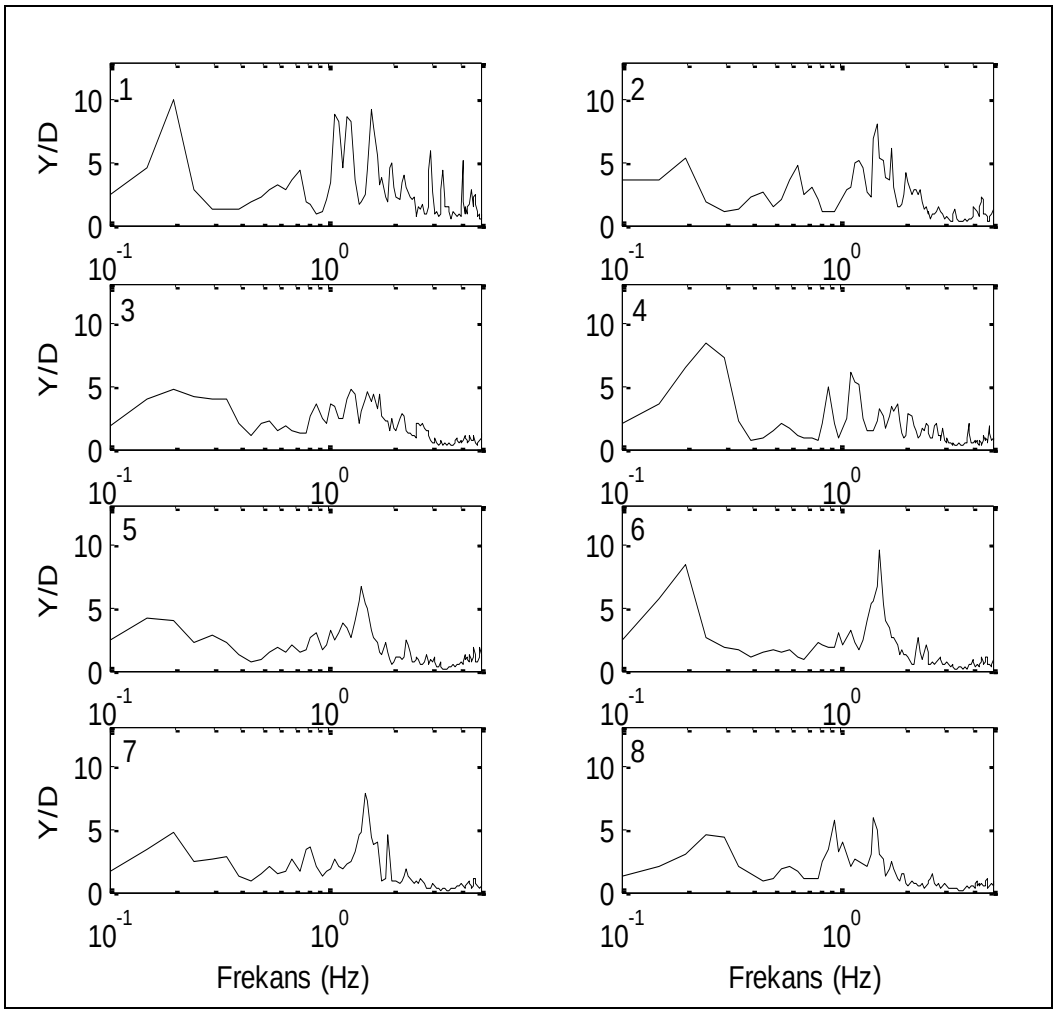
AVC istasyonunda kaydedilmiş artçı şoka ait Y/D oranları Şekil 4.10'da gösterilmiştir. Sırası ile 1'den 8'e kadar olan Y/D oranları S dalgası penceresinden başlayarak, S kodanın gidilebilen en son penceresine kadar olan kısmına karşılık gelmektedir. S dalgası penceresine ait olan Y/D oranı (Şekil 4.10, 1 nolu kutu) hemen hemen tüm frekanslarda pik gösterirken, kodanın ilerleyen pencerelerinde, baskın olan pikler daha kolay ayırt edilebilmektedir.



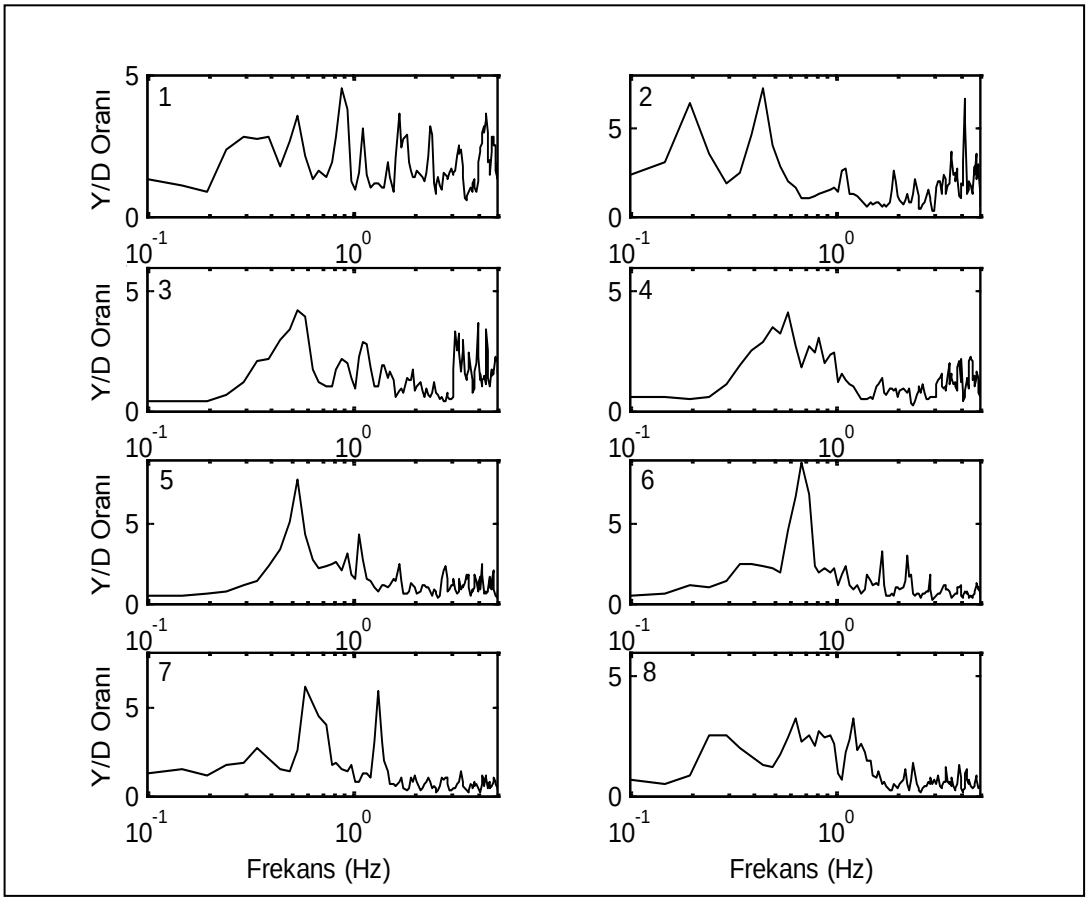
Şekil 4.10 AVC istasyonunda kaydedilmiş olan artçı şok verisinin (Tablo 4.2, 1 nolu artçı) Y/D oranı. Her bir kutunun sol üst köşesinde gösterilen sayılar S dalgası ilk varışından itibaren (1), %50 katlamalı, 20 s uzunluklu pencereler kullanılarak kodada gidilebilen en son pencereye (8) kadar olan pencere sayısını göstermektedir. Sekizinci pencere, S dalgasının varışından 70 s sonra başlayan, 20 s uzunluğundaki kodaya ait Y/D oranını göstermektedir.

ARL istasyonuna ait artçı şok kaydından hesaplanan Y/D oranları Şekil 4.11'de gösterilmiştir. Sırası ile 2'den 8'e kadar olan Y/D oranları, S dalgası ilk varış zamanından itibaren (1), kodada gidilebilen en son pencereye kadar (8), olan kısma karşılık gelmektedir. Yüksek frekansta birçok pik gözlenirken, düşük frekanslarda 0.30 Hz civarında değişmektedir.

BKR istasyonunda kaydedilen artçı şok kaydından hesaplanan Y/D oranında ise (Şekil 4.12), S dalgası penceresine ait Y/D oranında (1), aynı AVC istasyonunda olduğu gibi bir çok frekansta pik gözlenmekte ve zaman içinde ilerledikçe (kodalara doğru gidildikçe), baskın frekanslar netleşmektedir.



Şekil 4.11 ARL istasyonunda kaydedilmiş olan artçı şok verisinin (Tablo 4.2, 1 nolu artçı) Y/D oranı. Her bir kutunun sol üst köşesinde gösterilen sayılar S dalgası ilk varışından itibaren (1), %50 katlamalı, 20 s uzunluklu pencereler kullanılarak kodada gidilebilen en son pencereye (8) kadar olan pencere sayısını göstermektedir. Sekizinci pencere, S dalgasının varışından 70 s sonra başlayan, 20 s uzunluğundaki kodaya ait Y/D oranını göstermektedir.



Şekil 4.12 BKR istasyonunda kaydedilmiş olan artçı şok verisinin (Tablo 4.2, 1 nolu artçı) Y/D oranı. Her bir kutunun sol üst köşesinde gösterilen sayılar S dalgası ilk varışından itibaren (1), %50 katlamalı, 20 s uzunluklu pencereler kullanılarak kodada gidilebilen en son pencereye (8) kadar olan pencere sayısını göstermektedir. Sekizinci pencere, S dalgasının varışından 70 s sonra başlayan, 20 s uzunluğundaki kodaya ait Y/D oranını göstermektedir. Burada, 0.2 Hz'in altı güvenilir değildir.

4.4. Mikrotremör ve Artçı Şok Verilerinden Hesaplanan Y/D Oranlarının Karşılaştırılması

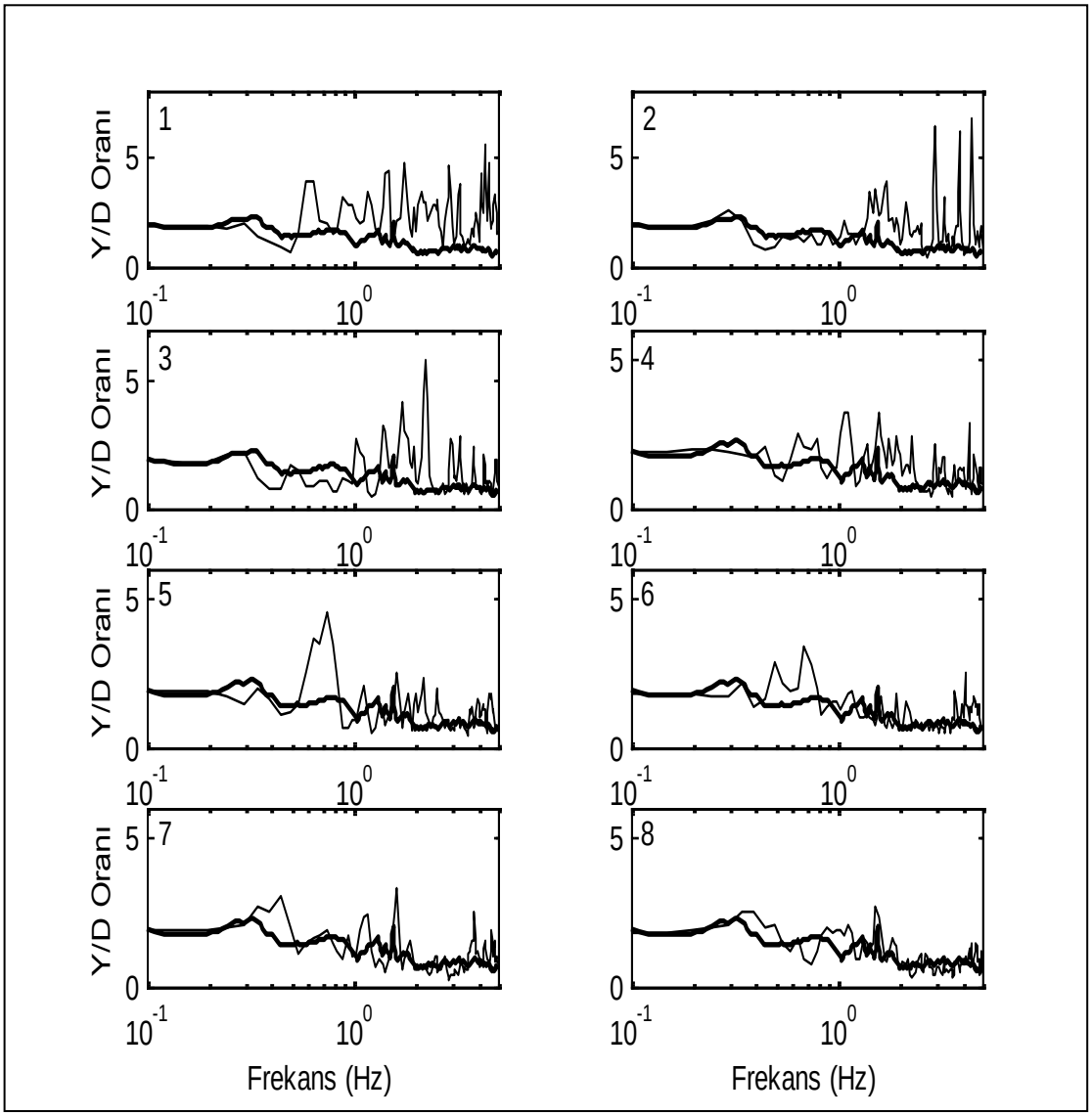
Mikrotremör kayıtlarından elde edilen ortalama Y/D oranlarının, kaynak deprem olduğunda, yer etkisini hesaplamada kullanılabilirliği konusunda bugüne kadar pek çok araştırmacı karşılaştırmalı çalışmalar yapmıştır. Udwadia ve Trifunac (1973) mikrotremör kayıtlarından hesaplanan ortalama Y/D oranlarının, deprem verilerinden elde edilen Y/D oranlarına benzemediğini ve dolayısıyla yer etkisi hesaplanmasında kullanılamayacağını savunurken, Lermo ve Chávez-Garcia (1994) Nakamura tekniğini kullanarak mikrotremör verilerinden hesaplanan ortalama Y/D oranlarının, kuvvetli yer hareketi verilerinden hesaplanan Y/D oranları ile benzer özellik gösterdiğini ve 0.3 ile 5 Hz frekans aralığındaki ortalama Y/D oranlarının yerin

baskın titreşim frekansını bulmak için kullanılabileceğini, inceleme alanındaki jeolojik yapı basit ise hesaplanan ortalama Y/D oranlarının yer büyütmesi hakkında da bilgi verebileceğini göstermişlerdir. Ojeda ve Escallon (2000) mikrotremör verilerinin, Nakamura tekniği kullanılarak ortalama Y/D oranları hesaplandığında 0.2 Hz ile 5 Hz frekans aralığında gerçek deprem verisinden elde edilen sonuçlarla çok iyi benzeştiğini göstermişdir. Satoh ve diğ. (2001) mikrotremör ve kuvvetli yer hareketi verilerini hem Nakamura hem de iki istasyon tekniğine göre karşılaştırmışlar ve bölgesel jeolojik yapının, spektral oranların benzeşmesi ya da benzeşmemesinde önemli bir etken olduğunu ortaya koymuşlardır. Bu çalışmaya göre gevşek zeminler için S kodada ilerledikçe hesaplanan Y/D oranları, mikrotremörlerden hesaplanan ortalama Y/D oranlarına 3 Hz'in altındaki frekanslarda yaklaşmaktadır ve kaya zeminler için S dalgasını içeren pencereden hesaplanan Y/D oranı, erken S koda penceresinden hesaplanan Y/D oranı ile benzemektedir.

4.4.1. AVC İstasyonu İçin Karşılaştırma

AVC istasyonuna ait mikrotremör verisinden hesaplanan ortalama Y/D oranı ve artçı şok verisinden hesaplanan Y/D oranı karşılaştırma amaçlı olarak Şekil 4.13'de üst üste çizdirilmiştir. Artçı şok verisinin S dalgası penceresi (1) için hesaplanan Y/D oranı ile mikrotremör verisinin ortalama Y/D oranı arasında 0.33 Hz'de yer alan ilk pik dışında benzerlik yoktur. S dalgasının kodası boyunca ilerledikçe, artçı şok verisinden hesaplanan Y/D oranı ile mikrotremör verisinden hesaplanan ortalama Y/D oranı arasındaki benzerlik artmaktadır. Özellikle yedinci ve sekizinci pencerelerde bu iki farklı veri grubundan hesaplanan Y/D oranları hemen hemen örtüşmekte ve yaklaşık aynı frekanslarda pikler gözlenmektedir.

AVC istasyonunda kaydedilen artçı şok verisinin S-dalga penceresi, erken S koda penceresi, ve geç S koda penceresi (Şekil 4.13, 1, 2 ve 8 nolu kutular) için hesaplanan Y/D oranları Şekil 4.14'de gösterilmektedir. Her üç pencere için hesaplanan Y/D oranları arasında benzerlik yoktur.

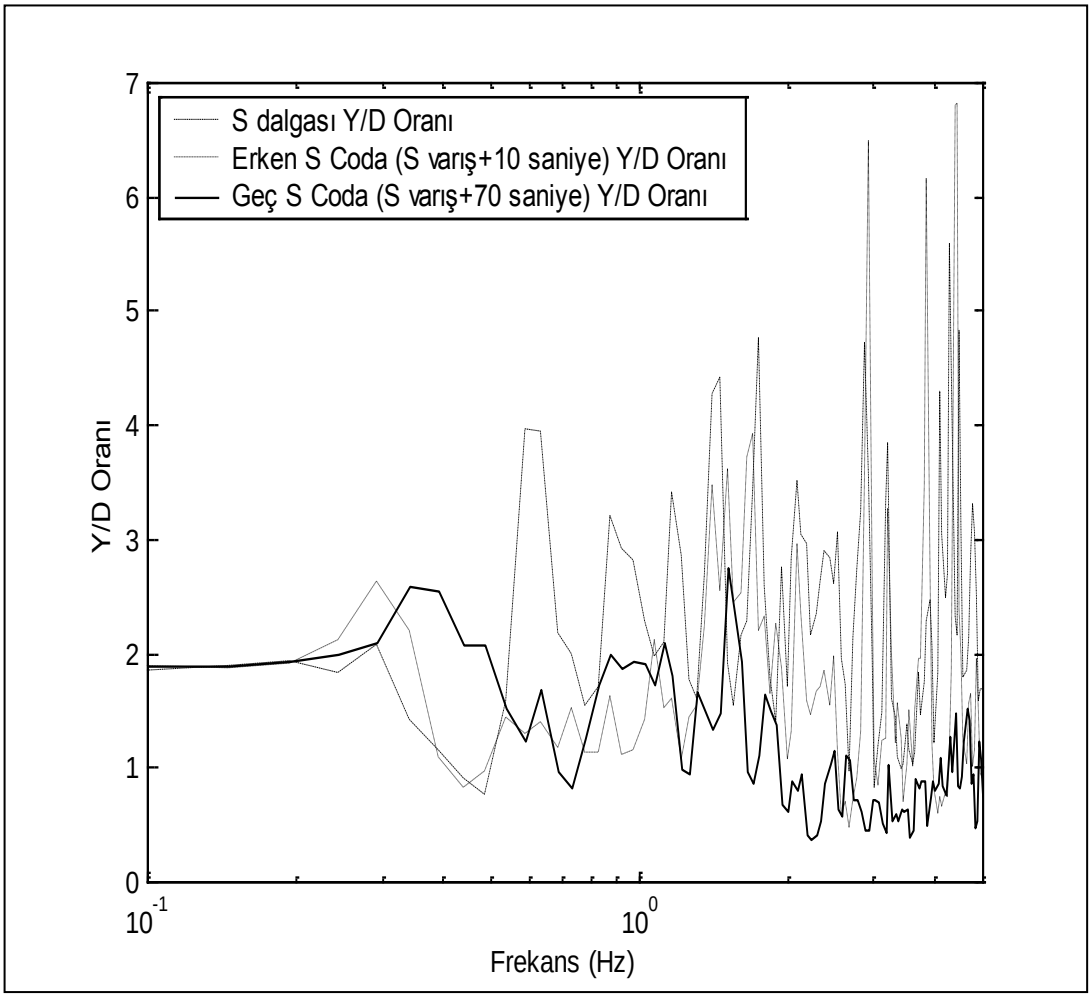


Şekil 4.13 AVC istasyonunda kaydedilen mikrotremör ve artçı şok verilerinden hesaplanan Y/D oranlarının karşılaştırılması. İnce çizgiler artçı şok verisinden (Tablo 4.2, 1 nolu artçı) hesaplanan Y/D oranını, kalın çizgiler mikrotremör verisinden hesaplanan ortalama Y/D oranını göstermektedir. Her kutunun sol üst köşesinde verilen sayılar artçı şok verisinin S-dalgası ilk varışından itibaren (1), koda kısmında gidilebilen en son pencereye kadar (8) olan kısım içinde Y/D oranının hesaplandığı pencere numarasını göstermektedir.

Hesaplanan Y/D oranlarını hem frekansın, hem de zaman penceresinin fonksiyonu olarak izleyebilmek için değerler Şekil 4.15'de sağda konturlanmış olarak verilmektedir.

Kontur haritasının yatay ekseni, AVC istasyonunda kaydedilmiş olan artçı şok verisinin S dalgasının ilk varışından itibaren başlayan zaman pencerelerine ve düşey ekseni, frekansa karşılık gelmektedir. S dalgası ilk varışından itibaren, zaman pencereleri ilerledikçe Y/D oranlarında baskın frekansın değişimi izlenebilmektedir.

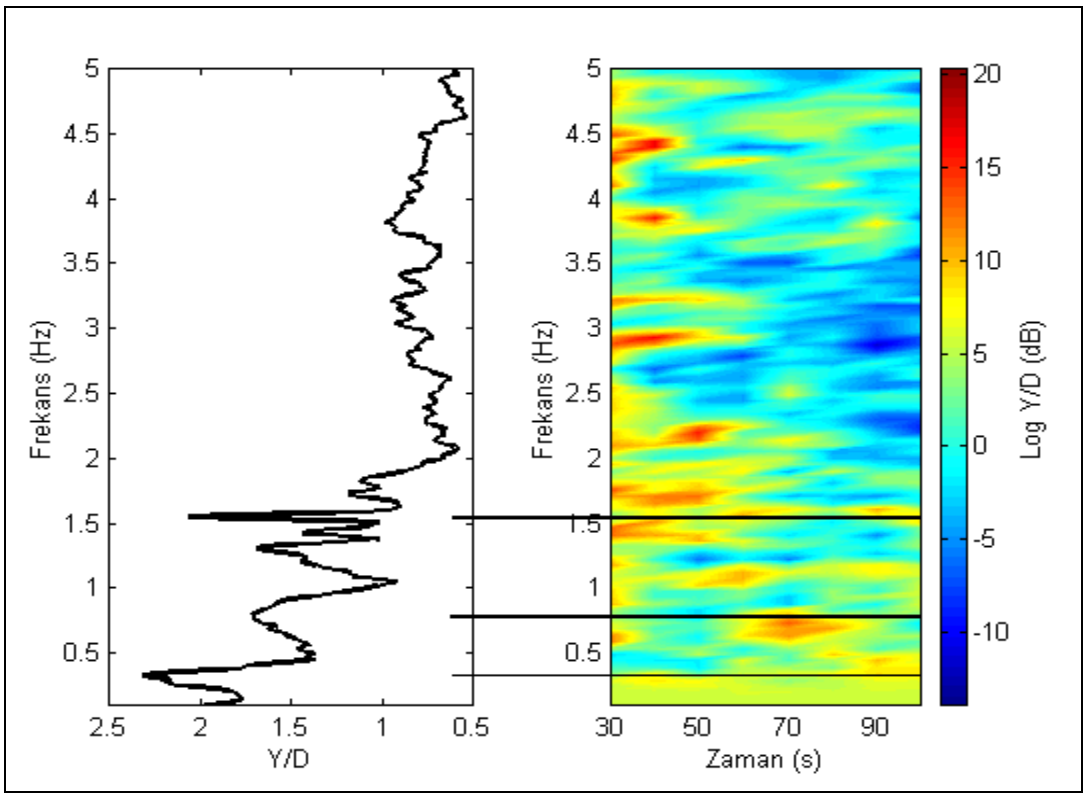
Şekil 4.15'de sol taraftaki spektrum mikrotremör verisinden hesaplanan ortalama Y/D oranını göstermektedir. Kontur haritasında, S dalgası ve erken S kodalara ait pencerelerdeki verilerden hesaplanan Y/D oranlarında yüksek frekanslar baskın olarak izlenmesine karşın, zaman içinde ilerledikçe baskın frekanslar düşük frekans değerlerine doğru kaymaktadır.



Şekil 4.14 AVC istasyonunda kaydedilen artçı şok verisi (Tablo 4.2, 1 nolu artçı) S dalgası, erken S koda, ve geç S koda (Şekil 4.13, sırasıyla 1, 2 ve 8 nolu kutular) pencerelerindeki verilerden hesaplanan Y/D oranlarının karşılaştırılması. Çizgi – nokta, S penceresi; nokta – nokta, erken S koda penceresi; düz çizgi ise geç S koda penceresi için hesaplanan Y/D oranlarını göstermektedir.

S dalgası penceresi ve erken koda penceresine ait verilerden hesaplanan Y/D oranlarında benzerliğin bulunmaması, geç koda penceresine ait verilerden hesaplanan Y/D oranlarının mikrotremör verilerinden hesaplanan ortalama Y/D oranları ile benzeşmesi, Satoh ve diğ. (2001)'nin çalışması da göz önüne alındığında, AVC istasyonunun bulunduğu zeminin gevşek zemin özelliğinde olduğu sonucunu göstermektedir. Ayrıca sediman kalınlığı, başka bir deyişle ana kaya derinliği

arttıkça, mikrotremör verilerinden hesaplanan ortalama Y/D oranının baskın frekansının düşük değerlere kayması beklenmelidir (Otha ve diğ.,1978; Kagami ve diğ., 1982). Bodin ve diğ. (2001) Y/D oranlarında gözlenen baskın frekansın, sediman kalınlığına, sedimana ait S dalgası hızından daha duyarlı olduğunu göstermiştir. Buradan, mikrotremör verilerine ait ortalama Y/D oranında 0.33 Hz'de gözlenen baskın frekans istasyonun altında kalın bir sediman tabakası bulunduğuna işaret etmektedir.



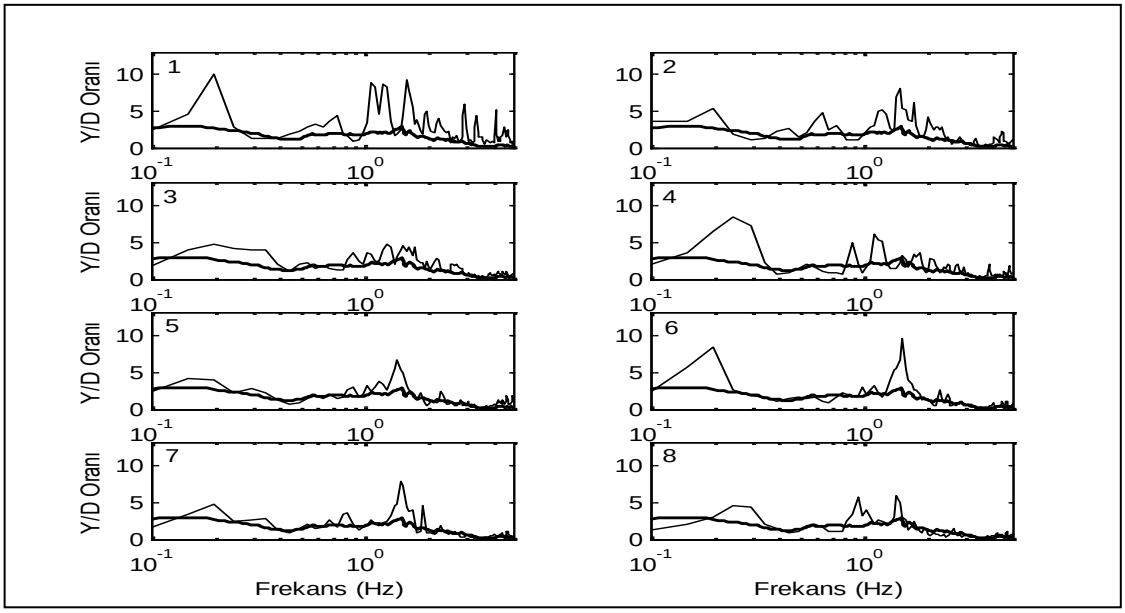
Şekil 4.15 AVC istasyonunda kaydedilmiş artçı şok verisinin (Tablo 4.2, 1 nolu artçı) ilerleyen pencerelerine (sağ taraf) karşı değişen baskın frekans ile mikrotremör verisinin ortalama Y/D oranının (sol taraf) karşılaştırılması. Şeklin ortasında üst üste duran üç siyah yatay çizgi mikrotremör verisinin ortalama Y/D oranında, gözlenen piklerin yerlerini göstermektedir.

4.4.2. ARL İstasyonu İçin Karşılaştırma

ARL istasyonunda kaydedilen mikrotremör verisinden hesaplanan ortalama Y/D oranı ve artçı şok verisinden (Tablo 4.2, 1 nolu artçı) hesaplanan Y/D oranı karşılaştırma amaçlı olarak Şekil 4.16'da üst üste çizdirilmiştir. AVC istasyonunda olduğu gibi, artçı şok kaydının S dalgası penceresine ait verilerden hesaplanan Y/D oranı ile aynı istasyonda kaydedilen mikrotremör verilerinden hesaplanan ortalama Y/D oranı arasında bir benzerlik yoktur (Şekil 4.16, 1 nolu kutu). Yalnızca ilk

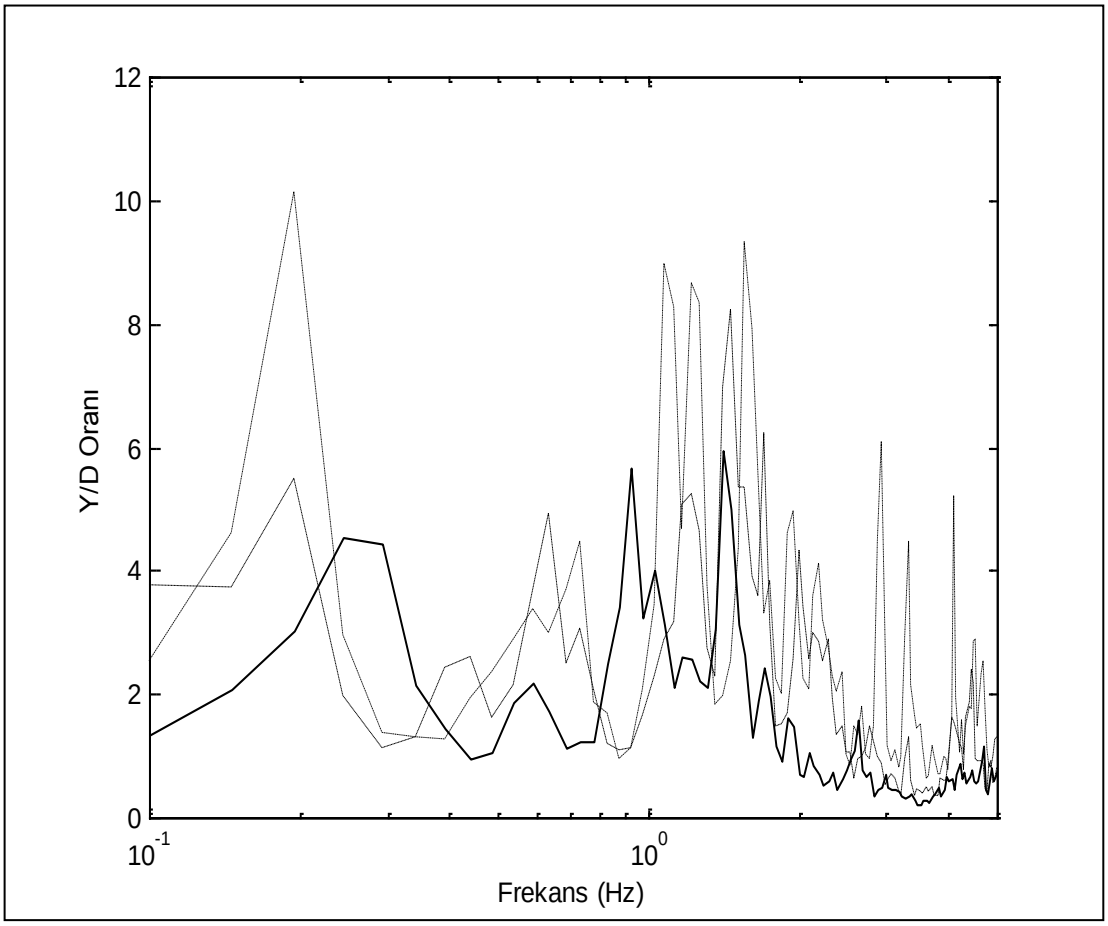
piklerin gözlendiği frekanslar birbirine yakındır (mikrotremör verilerinden hesaplanan Y/D oranında 0.26 Hz, artçı şok S penceresi verilerinden hesaplanan Y/D oranında 0.20 Hz). S koda pencerelerinde ilerledikçe, mikrotremör kayıtlarından hesaplanan ortalama Y/D oranı ile artçı şok kaydının pencerelerinden hesaplanan Y/D oranı arasındaki benzerlik artmaktadır.

ARL istasyonunda kaydedilen artçı şok verisinin (Tablo 4.2, 1 nolu artçı) S dalgası penceresi, erken S koda penceresi ve geç S koda penceresi için hesaplanan Y/D oranları (Şekil 4.16, 1,2 ve 8 nolu kutular), karşılaştırma amaçlı olarak Şekil 4.17'de üst üste çizdirilmiştir. Kaydın S penceresine ait Y/D oranı ile erken S koda penceresine ait Y/D oranı karşılaştırıldığında genlikler farklı seviyelerde, ancak piklerin karşılık geldiği frekansların yakın olduğu gözlenmektedir. Ancak mikrotremör verisinden hesaplanan Y/D oranı ile artçı şok verisinden hesaplanan Y/D oranı arasında benzerlik kodalara ilerledikçe artmaktadır.



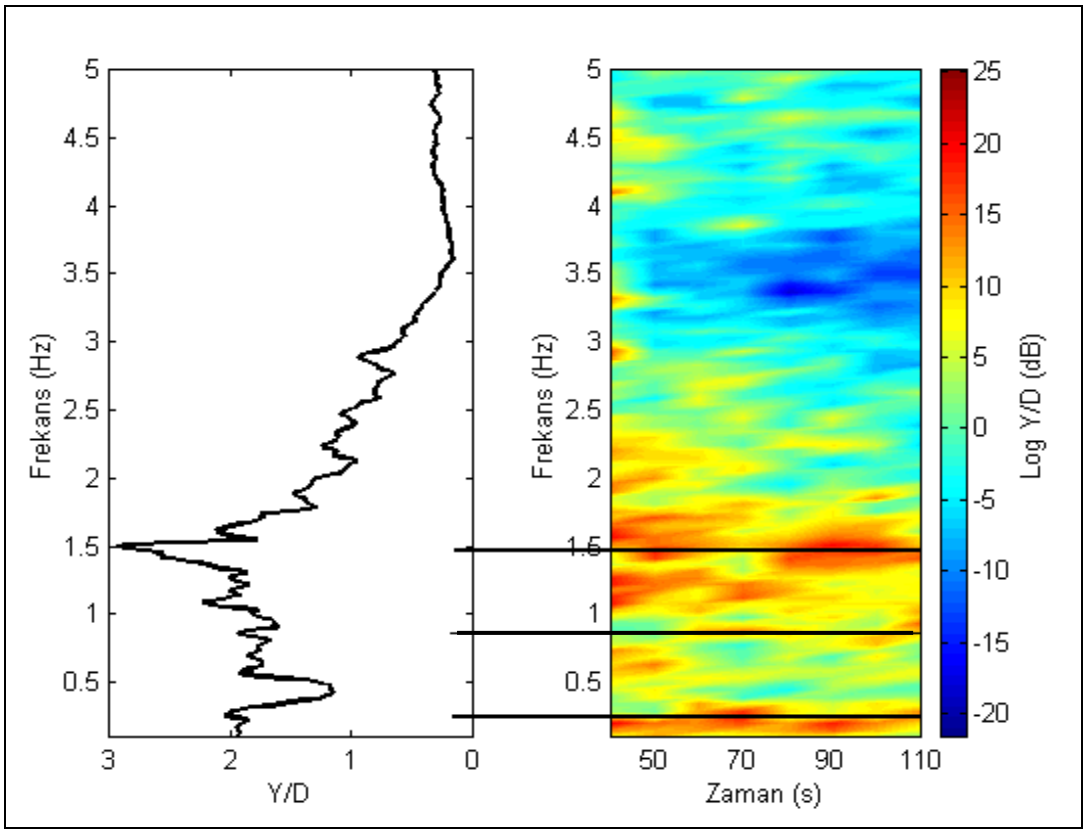
Şekil 4.16 ARL istasyonunda kaydedilen mikrotremör ve artçı şok verilerinden hesaplanan Y/D oranlarının karşılaştırılması. İnce çizgiler artçı şok verisinden (Tablo 4.2, 1 nolu artçı) hesaplanan Y/D oranını, kalın çizgiler mikrotremör verisinden hesaplanan ortalama Y/D oranını göstermektedir. Her kutunun sol üst köşesinde verilen sayılar artçı şok verisinin S-dalgası ilk varışından itibaren (1), koda kısmında gidilebilen en son pencereye kadar (8) olan kısım içinde Y/D oranının hesaplandığı pencere numarasını göstermektedir.

ARL istasyonunda kaydedilen artçı şok verisinden (Tablo 4.2, 1 nolu artçı) hesaplanan Y/D oranlarının frekans ve zaman penceresinin fonksiyonu olarak konturlanmış görüntüsü Şekil 4.18 sağda, aynı istasyonda kaydedilen mikrotremör verilerinden hesaplanan ortalama Y/D oranı da Şekil 4.18 solda verilmektedir. Şekil 4.18 sağda verilen Y/D oranlarının konturlanmış görüntüsünden S dalgası ve erken S kodalara ait pencereler için Y/D oranlarında pikler 0.25, 1.20 ve 1.60 Hz'de yer almaktadır. Kullanılan tüm zaman pencerelerinde baskın olarak gözlenen frekans 0.25'Hz dir. Başlarda 0.25 Hz ile beraber 1.60 Hz ve 1.20 Hz baskın olarak görünmesine karşın sonlara doğru sadece 0.25 Hz ile 1.50 Hz baskın hale gelmiştir.



Şekil 4.17 ARL istasyonunda kaydedilen artçı şok verisi (Tablo 4.2, 1 nolu artçı) S dalgası, erken S koda, ve geç S koda pencerelerindeki verilerden hesaplanan Y/D oranlarının (Şekil 4.16, sırasıyla 1, 2 ve 8 nolu kutular) karşılaştırılması. Çizgi - nokta S penceresi, nokta - nokta erken S koda penceresi, düz çizgi ise geç S koda penceresi için hesaplanan Y/D oranlarını göstermektedir.

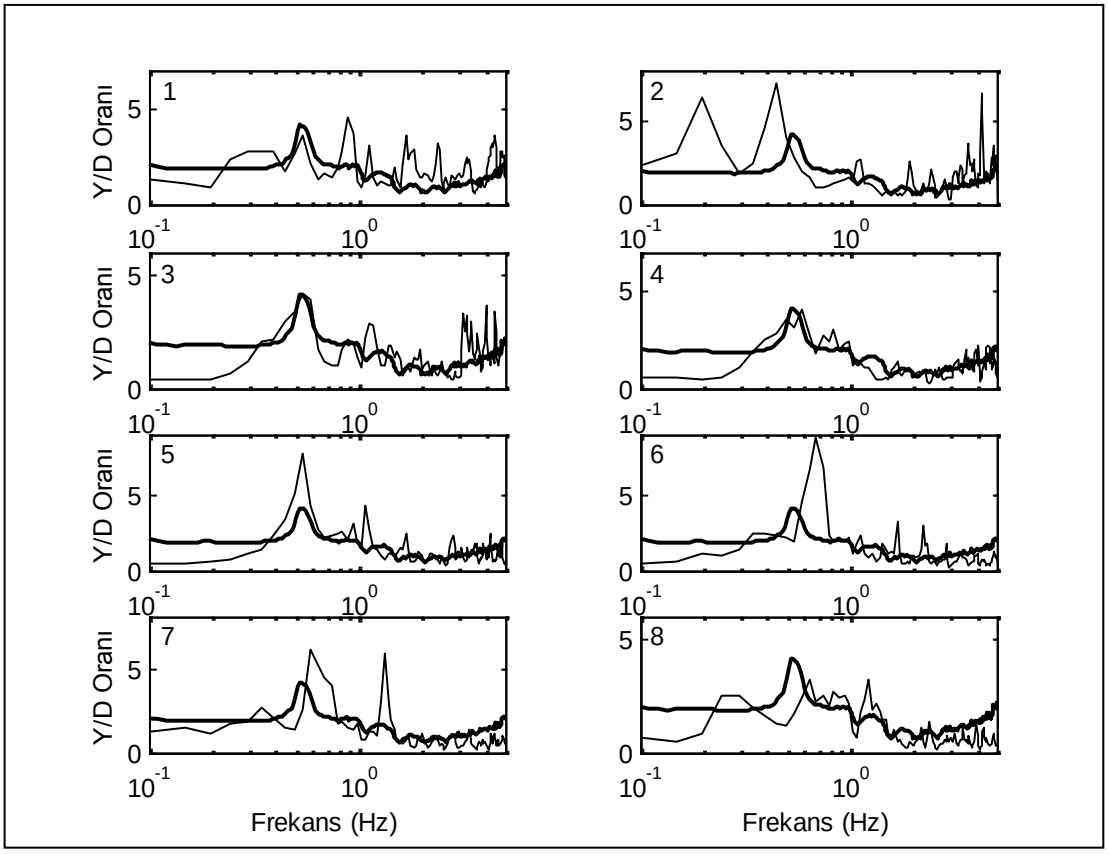
Şekil 4.18 solda verilen mikrotremör verilerinden hesaplanan ortalama Y/D oranına ait pikler, artçı şok verisinin geç koda kısmından hesaplanan Y/D oranları ile benzerlik göstermektedir.



Şekil 4.18 ARL istasyonunda kaydedilmiş artçı şok verisinin (Tablo 4.2, 1 nolu artçı) ilerleyen pencerelerine (sağ taraf) karşı değişen baskın frekans ile mikrotremör verisinin ortalama Y/D oranının (sol taraf) karşılaştırılması. Şeklin ortasında üst üste duran üç siyah yatay çizgi mikrotremör verisinin ortalama Y/D oranında, gözlenen piklerin yerlerini göstermektedir.

4.4.3. BKR İstasyonu İçin Karşılaştırma

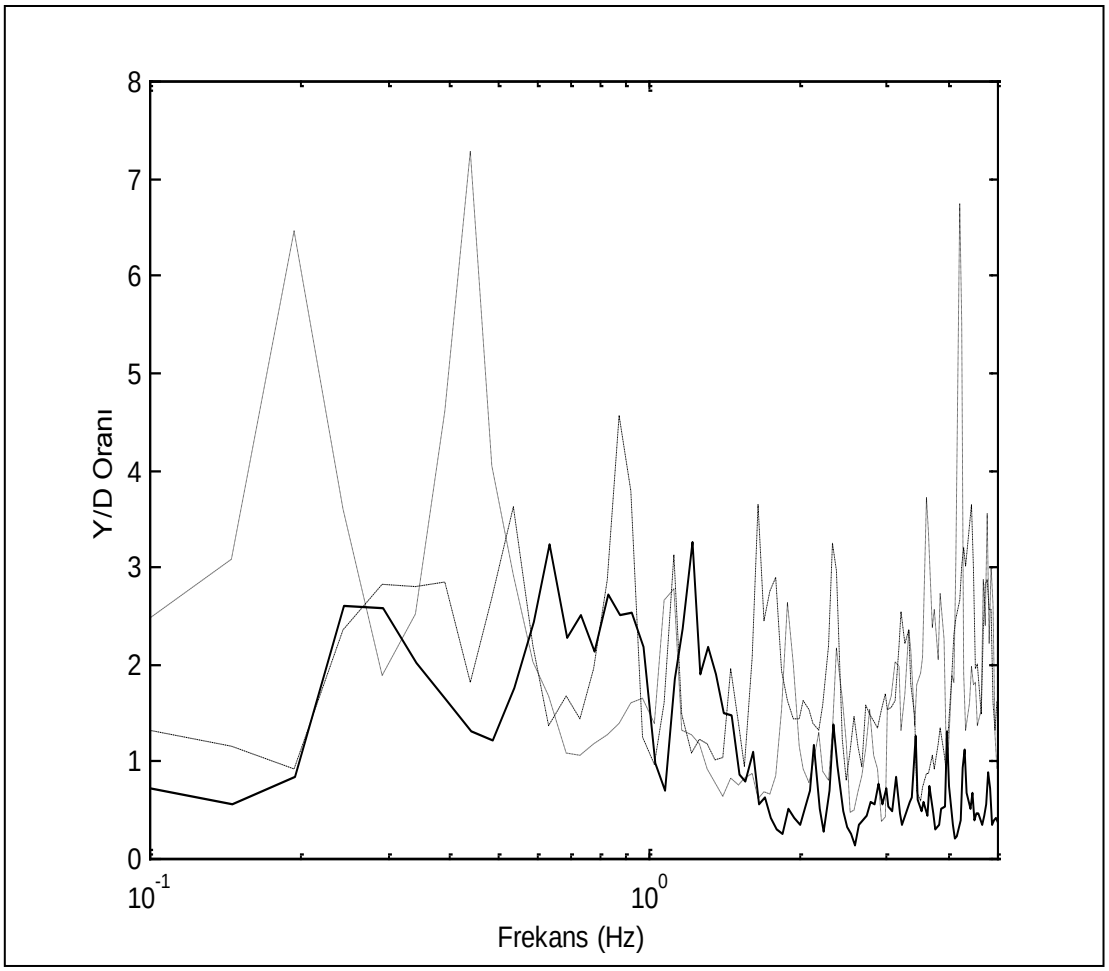
BKR istasyonunda kaydedilen mikrotremör verisinden hesaplanan ortalama Y/D oranı ve artçı şok verisinden (Tablo 4.2, 1 nolu artçı) hesaplanan Y/D oranları Şekil 4.19'da verilmektedir. Artçı şok verisine ait S-dalga penceresi (1) için hesaplanan Y/D oranı ile mikrotremör verisinden hesaplanan ortalama Y/D oranı 0.54 Hz'de genlik ve frekans olarak çakışmaktadır. Her iki veri grubundan hesaplanan Y/D oranları 4 nolu pencerede (Şekil 14.19, 4 nolu kutu) en iyi benzerliği göstermektedir.



Şekil 4.19. BKR istasyonunda kaydedilen mikrotremör ve artçı şok verilerinden hesaplanan Y/D oranlarının karşılaştırılması. İnce çizgiler artçı şok verisinden (Tablo 4.2, 1 nolu artçı) hesaplanan Y/D oranını, kalın çizgiler mikrotremör verisinden hesaplanan ortalama Y/D oranını göstermektedir. Her kutunun sol üst köşesinde verilen sayılar artçı şok verisinin S-dalgası ilk varışından itibaren (1), koda kısmında gidilebilen en son pencereye kadar (8) olan kısım içinde Y/D oranının hesaplandığı pencere numarasını göstermektedir.

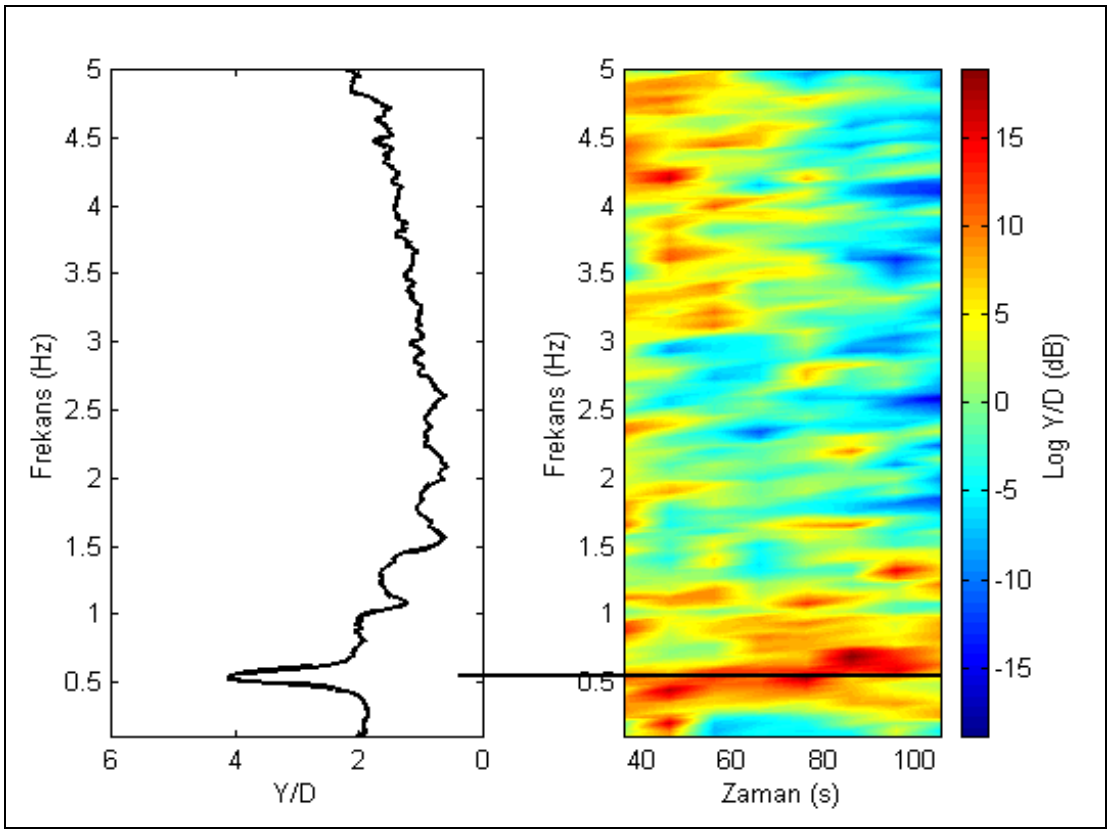
BKR istasyonunda kaydedilen artçı şok verisinde, S penceresi, erken S koda penceresi ve geç S koda penceresi için hesaplanan Y/D oranları (Şekil 4.19, sırasıyla 1, 2 ve 8 nolu kutular) Şekil 4.20'de verilmektedir. Her üç pencere için Y/D oranları birbirine benzememektedir.

BKR istasyonunda kaydedilen artçı şok verisinden (Tablo 4.2, 1 nolu artçı) hesaplanan Y/D oranlarının frekans ve zaman penceresinin fonksiyonu olarak konturlanmış görüntüsü Şekil 4.21 sağda verilmektedir. Aynı istasyonda kaydedilen mikrotremör verisinden hesaplanan ortalama Y/D oranı ise Şekil 4.21 solda verilmiştir.



Şekil 4.20. BKR istasyonunda kaydedilen artçı şok verisi (Tablo 4.2, 1 nolu artçı) S dalgası, erken S koda, ve geç S koda pencerelerindeki verilerden hesaplanan Y/D oranlarının (Şekil 4.19, sırasıyla 1, 2 ve 8 nolu kutular) karşılaştırılması. Çizgi – nokta, S penceresi; nokta – nokta, erken S koda penceresi; düz çizgi ise geç S koda penceresi için hesaplanan Y/D oranlarını göstermektedir.

Şekil 4.21'deki artçı şoka ait verinin Y/D oranlarının kontur görüntüsünde zaman pencerelerinin başlarında pikler yüksek frekanslarda, sonlarına doğru ise 0.5 Hz civarında yer almaktadır. BKR istasyonunda kaydedilen mikrotremör verisinden hesaplanan ortalama Y/D oranı, AVC ve ARL için hesaplanan ortalama Y/D oranından, değişik frekanslarda ek piklerin bulunmaması ve baskın pikin 0.54 Hz'de olması açısından farklılıklar göstermektedir.



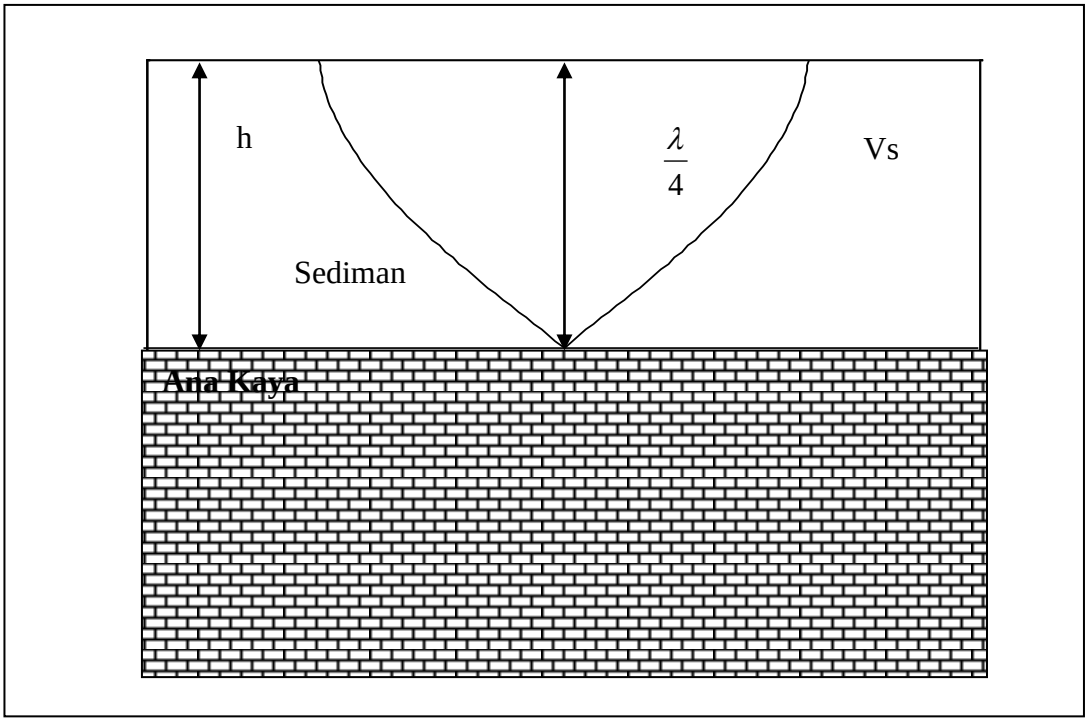
Şekil 4.21. BKR istasyonunda kaydedilmiş artçı şok verisinin (Tablo 4.2, 1 nolu artçı) ilerleyen pencerelerine (sağ taraf) karşı değişen baskın frekans ile mikrotremör verisinin ortalama Y/D oranının (sol taraf) karşılaştırılması. Şeklin ortasındaki görülen siyah yatay çizgi mikrotremör verisinin ortalama Y/D oranından elde edilmiş olan transfer fonksiyonunda gözlenen pikin yerini göstermektedir.

5. KURAMSAL YAKLAŞIM

Mikrotremör verisinden hesaplanan ortalama Y/D oranlarındaki baskın pikin gözlendiği frekans (temel rezonans frekansı), sediman kalınlığının (ana kaya derinliği) ve S-dalga hızının fonksiyonu olarak izleyen bağıntı ile verilir (Ibs-von Seth and Wohlenberg, 1999)

$$f_r = \frac{(2k-1)V_S}{4h} \quad (k = 1....,n) \tag{5.1}$$

Burada k, harmonikleri; Vs, S-dalga hızını; h, sediman kalınlığını göstermektedir.



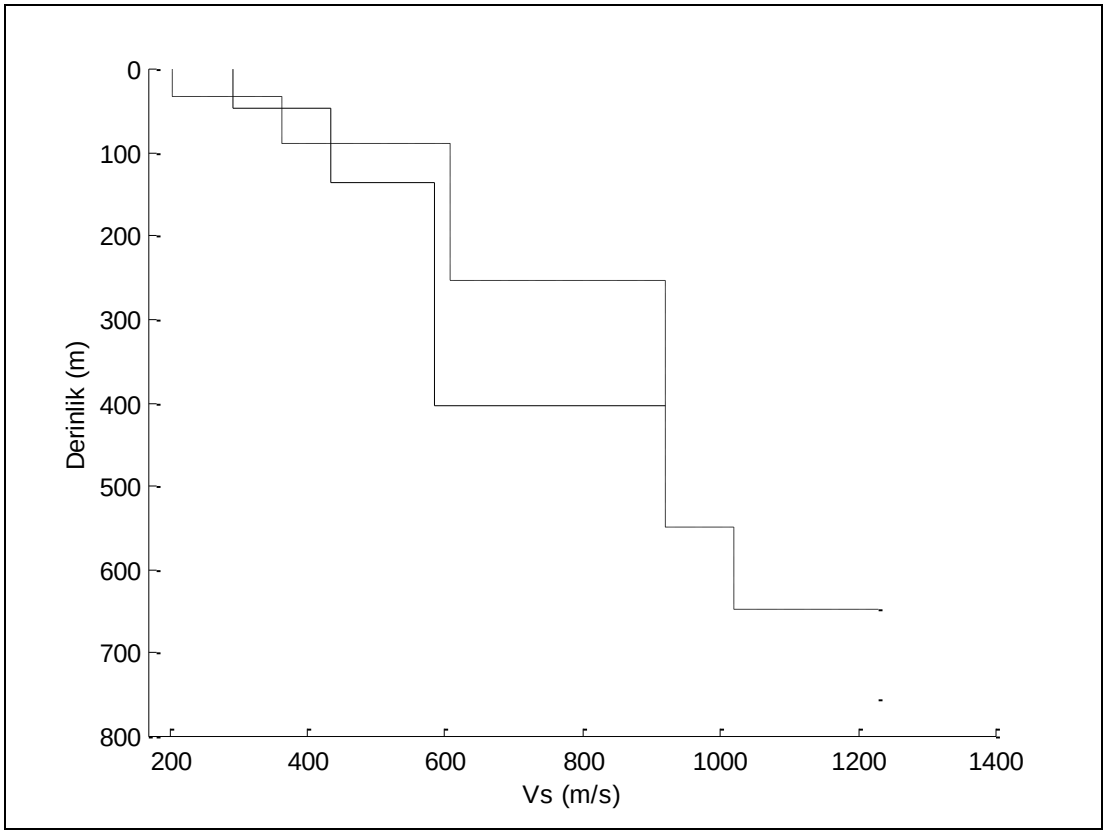
Şekil 5.1 Basit bir yer modeli için dalga boyu (λ) ve tabaka kalınlığı (h) arasındaki ilişki. Vs sedimanın S-dalga hızını göstermektedir.

Kudo ve diğ. (2000), 17 Agustos 1999 Koceli depremi (Mw=7.4) sonrası AVC ve ARL istasyonlarında kaydedilen mikrotremör alıcı dizin kayıtlarından yüzey dalgalarının dispersif özelliğini kullanarak S-dalgası hız yapısını uzamsal

otokorelasyon (The Spatial autocorrelation method, SPAC) (Aki, 1957; Okada, 1998) metodu ile hesapladılar (Tablo 5.1 ve Şekil 5.2)

Tablo 5.1 AVC ve ARL istasyonları için S dalgası hızları ve tabaka kalınlıkları (Kudo ve diğ. 2000).

AVC		**ARL**	
Vs (m/s)	**Kalınlık (m)**	**Vs (m/s)**	**Kalınlık (m)**
291	46	204	32
434	91	364	57
584	267	608	164
919	∞	919	295
		1018	100
		1230	∞



Şekil 5.2 Düz çizgiler AVC istasyonuna, kesikli çizgiler ARL istasyonuna ait S dalgası hız yapısını (Tablo 5.1) göstermektedir.

İzleyen bölümde Kudo ve diğ. (2000) tarafından AVC ve ARL istasyonları için hesaplanmış hız-derinlik yapısı (Tablo 5.1) kullanılarak, (5.1) nolu bağıntıdan

zemine ait temel titreşim frekansı ve harmonikleri kuramsal olarak hesaplanacak (Tablo 5.2 ve Tablo 5.3) ve gözlemsel verilerle karşılaştırılacaklardır.

Tablo 5.2 ve 5.3'deki ortalama hızlar izleyen bağıntı ile hesaplanmıştır;

$$V_{ORT} = \frac{V_1 h_1 + V_2 h_2 + ... + V_n h_n}{h_1 + h_2 + ... + h_n} \tag{5.2}$$

Tablo 5.2 AVC istasyonu için kuramsal olarak her bir seviye için hesaplanan temel rezonans frekansı ve harmonikleri

Ana kaya varsayılan tabakanın Numarası	**Hızı (m/s)**	**Sedimanın Ortalama S Hızı (m/s)**	**Sediman Kalınlığı (m)**	**Hesaplanan Rezonans Frekansları (Hz)**		
2	434	291	46	1.58	4.74	7.91
3	584	386	137	0.70	2.11	3.52
4	919	517	404	0.32	0.92	1.60

AVC istasyonunda kaydedilen mikrotremör verilerinden hesaplanan ortalama Y/D oranlarında gözlenen baskın piklere karşılık gelen frekanslar 0.33 Hz, 0.80 Hz ve 1.55 Hz olarak verilmişti (Bölüm 4). Tablo 5.2'de bu değerin örtüştüğü seviye 404 m'lik sediman kalınlığıdır.

Benzer şekilde ARL istasyonu için Tablo 5.1 ve 5.1 nolu bağıntıdan hesaplanan temel titreşim frekansı ve harmonikleri Tablo 5.3'de verilmiştir.

Tablo 5.3 ARL istasyonu için kuramsal olarak her bir seviye için hesaplanan temel rezonans frekansı ve harmonikleri

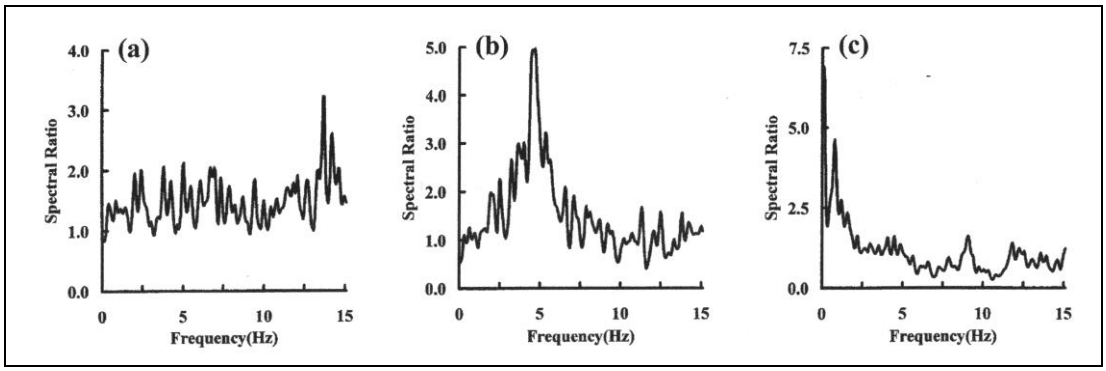
Ana kaya varsayılan tabakanın Numarası	**Hızı (m/s)**	**Sedimanın Ortalama S (m/s)**	**Sediman Kalınlığı (m)**	**Hesaplanan Rezonans Frekansları (Hz)**		
2	364	204	32	1.59	4.78	7.97
3	608	306	89	0.86	2.58	4.30
4	919	502	253	0.50	1.49	2.48
5	1018	726	548	0.33	0.99	1.66
6	1230	781	648	0.30	0.90	1.50

ARL istasyonunda kaydedilen mikrotremör verilerinden hesaplanan ortalama Y/D oranlarında gözlenen baskın piklere karşılık gelen frekanslar 0.26 Hz, 0.80 Hz ve 1.49 Hz olarak verilmişti (Bölüm 4). Tablo 5.3'de bu değerin örtüştüğü seviye 648 m'lik sediman kalınlığıdır.

6. TARTIŞMALAR

Bölüm 4'de AVC, ARL ve BKR istasyonlarında kaydedilen artçı şok verilerinden hesaplanan Y/D oranlarının ve aynı istasyonlarda kaydedilen mikrotremör verilerinden hesaplanan ortalama Y/D oranlarının baskın piklerinin karşılık geldiği frekanslar karşılaştırılmıştı (Şekil 4.13, Şekil 4.16 ve Şekil 4.19). AVC ve ARL istasyonlarında, S penceresi için hesaplanan Y/D oranı spektrumunun, mikrotremör verilerinden hesaplanan ortalama Y/D oranı spektrumu ile benzerlik göstermediği ve benzerliğin geç kodadan elde edilen Y/D oranı spektrumları için olduğu belirtilmişti. Satoh ve diğ. (2001) bu tür bir gözlemin istasyon altındaki zeminin gevşek olmasına karşılık geldiğini, tersi durumda ise sıkı zemine karşılık geldiğini örnekleri ile göstermiştir. Çalışma alanındaki AVC ve ARL istasyonlarının altındaki zeminin gevşek, BKR istasyonu altındaki zeminin ise daha sıkı olduğu ortaya konmuştur.

Navarro ve diğ. (2001) kalınlığı 0 – 10 m arasında değişen kaya, orta sıkı ve gevşek zemin için mikrotremör verilerinden hesaplanan Y/D oranlarının göreceli olarak değişimini göstermiştir (Şekil 6.1).



Şekil 6.1 Kaya (a), orta sıkı (b) ve gevşek (c) zeminler için mikrotremör verilerinden hesaplanan Y/D oranları (Navarro ve diğ., 2001).

Şekil 6.1'de görüldüğü gibi gevşek zeminlerde baskın pik daha düşük frekanslara kaymaktadır. AVC ve ARL istasyonlarında kaydedilen mikrotremör verisinden hesaplanan ortalama Y/D oranlarının sırası ile 0.33 Hz ve 0.26 Hz'de pik vermesi, BKR istasyonu için baskın pikin 0.54 Hz olması BKR istasyonunun altındaki

zeminin AVC ve ARL istasyonlarının altındaki zemine göre daha sıkı olduğu bulgusunu güçlendirmektedir.

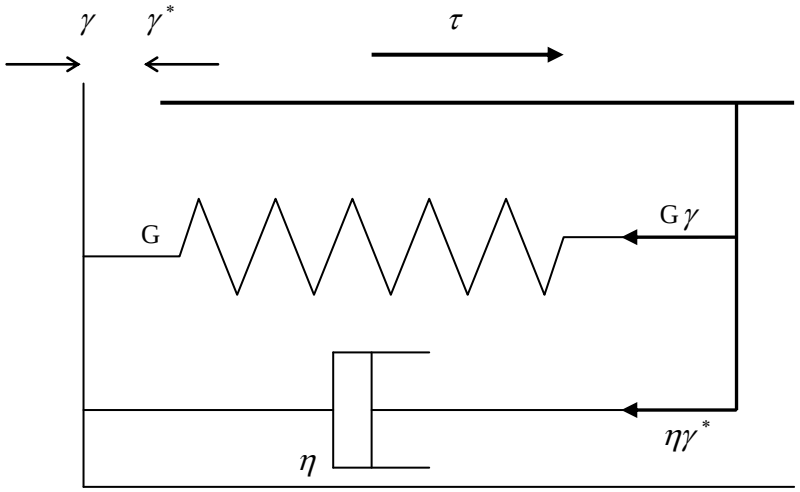
Bölüm 4'de AVC, ARL ve BKR istasyonlarında kaydedilen mikrotremör verilerinden hesaplanan ortalama Y/D oran spektrumlarına baktığımızda (Şekil 4.7, Şekil 4.8, Şekil 4.9) ilk ikisinin temel rezonans pik dışında başka frekanslarda da yüksek genlikli pikler gösterdiğini, oysa BKR istasyonunda baskın pikin 0.54 Hz'de yer aldığını görmekteyiz. Bodin ve diğ. (2001) mikrotremörlerden hesaplanan ortalama Y/D oranlarında gözlenen ek piklerin sedimanter tabakanın temel titreşim frekansının harmonikleri olabileceğini, bu harmoniklerin oluşması için sediman kalınlığının birkaç yüz metre olması gerektiğini ortaya koydular. AVC ve ARL istasyonlarında gözlenen ek piklerin temel rezonans frekansının harmonikleri olabileceği Bölüm 5'de kuramsal olarak gösterilmişti. Ancak bu piklerin genliklerinin önemi üzerinde durulmamıştı. İzleyen bölümde bu konu, zeminin doğrusal ve elastik olmayan davranışları ile ilişki kurularak anlatılacaktır. Zemin gerilme ve deformasyon eğrisinin doğrusal olmaması, zemine ait makaslamaa modülünün sürekli olarak değişmesi anlamına gelmektedir. Zeminin elastik olmaması ise, parçacıklar arasındaki dokunak noktalarında enerjinin dağıtılması şeklinde açıklanabilir.

Aki (1991), episantr uzaklığının 50 km'den fazla olduğu bölgelerde nonlineariteninin zemin bağımlı olabileceğini açıklamış, Özel ve diğ. (2002) nonlineariteninin önemini vurgulamışlardır. Seed ve Idriss (1982) yer tepkisi spektrumunun yerel zemin şartlarından etkilenebileceğini belirtmiş ve Fäh ve diğ. (2001) kaynak uzaklığının ve ana kaya ile sediman arasındaki empedans kontrastının, Y/D oranlarının genlik ve frekansını çok fazla etkilediğini kuramsal çalışmaları ile göstermişlerdir.

Zeminin, kaynak deprem olduğunda davranışını kestirebilmek için birçok araştırmacı (Ching ve Glasser, 2001; Bardet ve diğ., 2000) gerilme ve deformasyon arasındaki ilişkiyi Kelvin-Voight fiziksel modeline göre (Şekil 6.2) izleyen bağıntı ile tanımlamıştır.

$$\tau = G\gamma + \eta\gamma^{*} \tag{6.1}$$

Bu bağıntıda τ ve γ makaslama gerilmesi ve deformasyonu, G makaslama modülü, η viskozite sönüm faktörüdür.



Şekil 6.2 Kelvin-Voight fiziksel modeli

Makaslama deformasyonu (γ) ve onun zamana göre türevi (γ^*) izleyen bağıntı ile tanımlıdır.

$$\gamma = \frac{\partial u(z,t)}{\partial z} \text{ ve } \gamma^* = \frac{\partial \gamma(z,t)}{\partial t} = \frac{\partial^2 u(z,t)}{\partial z \partial t} \tag{6.2}$$

Bu bağıntıda u(z,t), t zamanında, z derinliğindeki yatay yer değiştirmedir.

Aşağıda verilen 1 boyutlu viskoelastik dalga yayınımı eşitliğinin zaman ortamındaki çözümü ile zemin etkisi hesaplanır,

$$\rho \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = G \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} + \eta \frac{\partial^3 u}{\partial z^2 \partial t} \tag{6.3}$$

Bu hesaplama yöntemi 'Equivalent Linear Approximation' olarak bilinir (Bardet ve diğ., 2000).

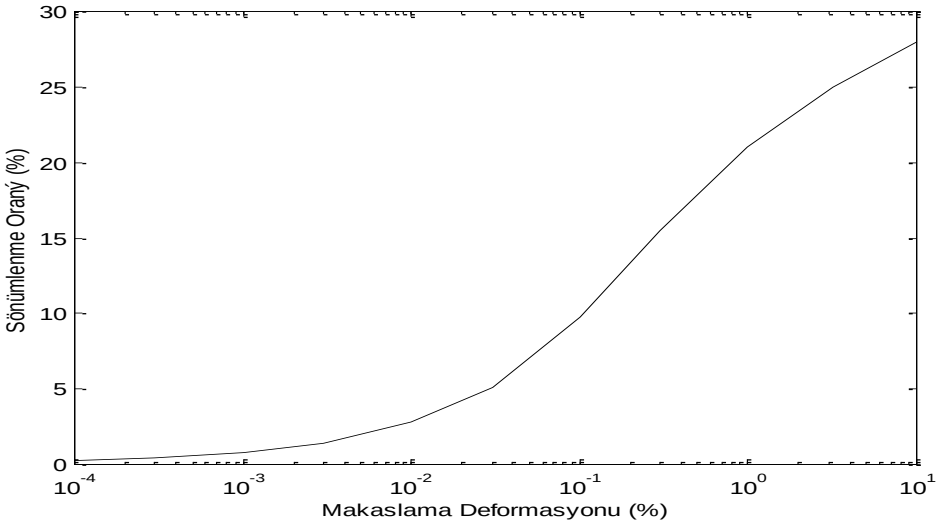
Mikrotremör verilerinden hesaplanan ortalama Y/D oranlarında gözlenen ek piklerden (Şekil 4.7 ve 4.8) 1.5 Hz'de olanının, deprem verilerinden hesaplanan Y/D oranı spektrumlarında da yüksek genlikli olarak gözlenmesi (Şekil 4.15, Şekil 4.18 ve Şekil 4.12), ek piklerin genliklerinin düşük deformasyon (kaynak mikrotremör) ve yüksek deformasyon (kaynak deprem) durumunda ne olacağının incelenmesinin gerekliliğini göstermektedir.

Parametreleri Tablo 6.1'de verilen basit yer içi modeli için EERA (Equivalent Linear Earthquake Site Response Analyses) program paketini (Bardet ve diğ., 2000) kullanarak hesaplanan makaslama deformasyonu ile sönüm oranı (sistemde yitirilen enerjinin, depolanan maksimumu deformasyon enerjisine oranı) arasındaki ilişki Şekil 6.3'de görüntülenmektedir.

Tablo 6.1 Basit yer içi modeli parametreleri

Sediman Kalınlığı (m)	**Sedimandaki S-dalga hızı (m/s)**	**Ana kayadaki S-dalga hızı (m/s)**	**Sönümlenme oranı (Ana kaya, %)**
404	517	919	1

Tablo 6.2'de aynı yer modeli için değişik sönüm oranlarına karşılık gelen baskın frekans ve genlik büyütme değerleri verilmiştir. Sediman sönümlenme oranları %1, %5 ve %8 için hesaplanan yer tepkisi spektrumları Şekil 6.4'de verilmiştir. Şekil 6.3'den makaslama deformasyonu arttıkça sönümlenme oranının arttığı görülmektedir.

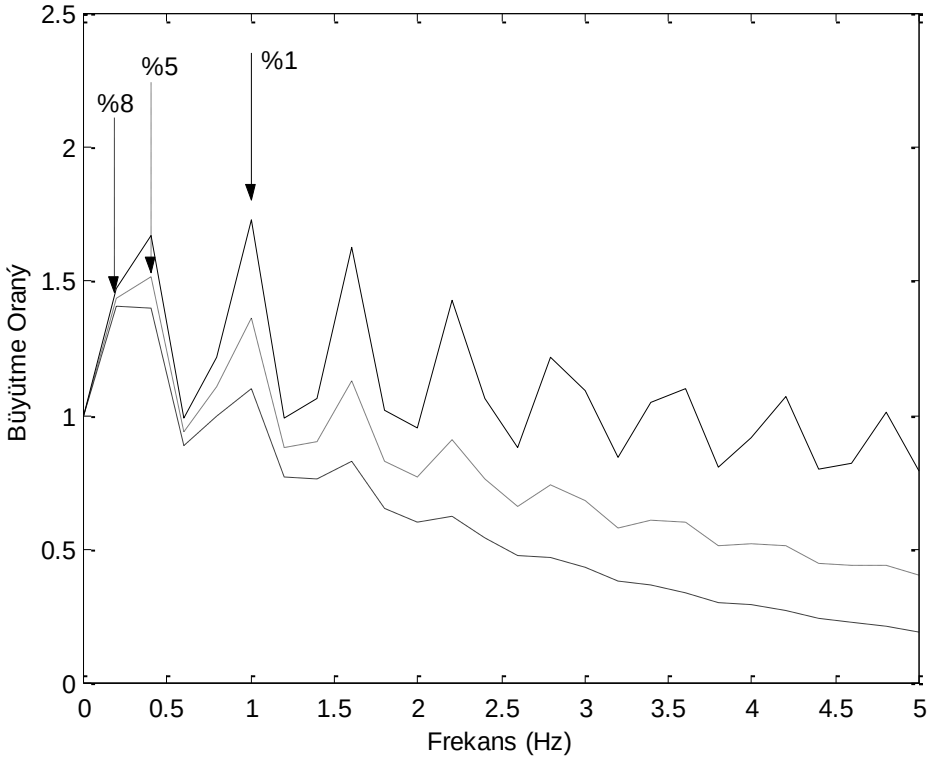


Şekil 6.3. Sönümlenme oranı – Makaslama deformasyonu ilişkisi

Tablo 6.2 ve Şekil 6.4'den de görüldüğü gibi sönüm oranının değişimine bağlı olarak baskın frekans ve baskın frekansın genliği değişmektedir. Sönümlenme oranı arttıkça, ya da makaslama deformasyonu arttıkça (Şekil 6.3), baskın pik düşük frekanslara kaymaktadır. Bu özellik dikkate alındığında mikrotremör verilerinin Y/D oranlarından elde edilen her pik, zemin farklı makaslama deformasyonu seviyeleri altında farklı davranacağından önem kazanmaktadır.

Tablo 6.2. Sedimanın değişik sönüm oranlarına karşılık gelen rezonans frekansları ve rezonans frekenslerının genlikleri

Sönüm Oranı (%)	Rezonans Frekansı (Hz)	Genlik Oranı
1	1.00	1.84
2	1.00	1.69
3	0.40	1.59
4	0.40	1.54
5	0.40	1.50
6	0.40	1.46
7	0.40	1.42
8	0.20	1.40
9	0.20	1.39



Şekil 6.4 %8 (kesik çizgi), %5 (noktalı çizgi) ve %1 (düz çizgi) sönümlenme oranları kullanıldığında frekans – büyütme oranı ilişkisi.

7. SONUÇLAR

1) 17 Ağustos 1999 Kocaeli depreminde (Mw=7.4) ağır hasarın gözlendiği AVC ve ARL istasyonlarında kaydedilen mikrotremör verilerinden hesaplanan ortalama Y/D oranları ile aynı istasyonlarda kaydedilen artçı şok verilerinden hesaplanan Y/D oranları geç S codada birbirine benzemektedir. BKR istasyonunda ise benzeşme S penceresinde başlayarak dördüncü pencereye kadar artmaktadır. Bu gözlemlerden AVC ve ARL istasyonlarına ait zeminler BKR'ye göre daha gevşek zeminlerdir.

2) AVC ve ARL istasyonlarında kaydedilen mikrotremör verilerinden hesaplanan ortalama Y/D oranlarında sırası ile 0.33 Hz ve 0.26 Hz olan temel rezonans pikleri dışında değişik frekanslarda, genlikleri büyük olan ek pikler gözlenmiştir. BKR istasyonunda ise sadece 0.54 Hz civarında baskın pik vardır.

3) AVC ve ARL istassyonlarına ait daha önce hesaplanmış olan S-dalga hızı yapısı kullanılarak hesaplanan kuramsal temel rezonans frekansı ve harmonikleri gözlemsel değerler ile örtüşmektedir.

4) EERA programı kullanılarak değişik sönümlenme oranları ile aynı yer modeli için elde edilen yer tepkisi fonksiyonları değişik genliklerde farklı frekanslarda baskın olarak gözlenmiştir. AVC ve ARL istasyonlarında kaydedilen mikrotremör verilerden hesaplanan ortalama Y/D oranlarında gözlenmiş olan ek piklerin genliklerinin zaman içinde değişmesi ve AVC de 1.55 Hz'nin büyük genlikli, ARL'de ise 1.49 Hz'nin baskın olarak gözlenmiş olması, bu ek piklerin değişik makaslama deformasyon seviyeleri altında önem kazanabileceğini ortaya koymaktadır.

KAYNAKLAR

Aki, K., 1991. Local site effect on weak and strong ground motion, *Tectonophysics*, **218,** 93-111.

Bard, P.-Y., 1999. *Microtremor measurements: A tool for site effect estimation?*, pp. 1251-1279, The Effects of Surface Geology on Seismic Motion, Balkema, Rotterdam.

Bardet, J.P., Ichii, K., Lin, C.H., 2000. *EERA A computer program for equivalent-linear earthquake site respose analyses of latered soil deposits,* University of Southern California Department of Civil Engineering.

Belirti Mühendislik-Danışmanlık A.Ş., 2001. *Avcılar ilçesi 1000 hektarlık alanının imara esas jeolojik-jeofizik-jeoteknik etüt raporu,* Acıbadem, İstanbul

Bodin, P., Smith, K., Horton, S., Hwang, H., 2001. Microtremor observation of deep sediment resonance in metropolitan Memphis, Tennessee, *Engineering Geology,* **62,** 159-168.

Boztepe – Güney, A., Horasan, G., 2002. Enhanced ground motion due to large-amplitude critical Moho reflections (SmS) in the Sea of Marmara, Turkey, *Geophysical Research Letters,* **29,** X-1 – X-4.

Ching, J.-Y. and Glaser, S.D., 2001. 1 D time-domain solution for seismic ground motion prediction, *Journal of Geotechnical and Geoenviromental Engineering,* **127,** 36-47

Cranswick,E., Özel, O., Meremonte, M., Erdik, M., Şafak, E., Mueller, C., Overturf, D., Frankel, A., 2000. Earthquake damage, site response, and building response in Avcılar, West of İstanbul, Turkey, *Housing Science,* **24,** 85-96.

Delgado, J., Castado, C.L., Giner, J., Estévez, A., Cuenca, A., Molina, S., 2000. Microtremors as a geophysical exploration tool: Applications and limitations, *Pure and Applied Geophysics,* **157,** 1445-1462.

Diagourtas, D., Tzanis, A. and Makropoulos, K., 2001. Comparative study of microtremor analysis methods, *Pure and Applied Geophysics,* **158,** 2463-2479.

Duval, A.-M., Vidal, S., Méneroud, J.-P., Singer, A., De Santis, F., Ramos, C., Romero, G., Rodriguez, R., Pernia, A., Reyes, N. and Griman, C., 2001. Carcas, Venezuela, site effect determination with microtremors, *Pure and Applied Geophysics,* **158,** 2513-2523.

Ergin, M., Aktar M.T., Yalçın, N., Özalaybey, S., 2000. *Avcılar yöresinde yer büyütme etkisinin sismolojik yöntemle araştırılması,* TÜBİTAK Raporu, Proje No: 5007101, Gebze.

Fäh, D., Kind, F., Giardini, D., 2001, A theoretical investigation of average H/V ratios, *Geophys. J. Int.*, **145,** 535-549.

Field, E.H. and Jacob, K.H., 1995, A comparison and test of various site-respone estimation techniques, including three that are not reference-site dependent, *Bull. Seism. Soc. Am.,* **85,** 1127-1143.

Gencoğlu, S., Ayhan, E., 1974, İzmit ili mikrobölgeleme etüdünde yapılan mikrotremör çalışmaları, *Deprem Araştırma Enstitüsü Bülteni.,* **5,** 28-51.

Gosar, A., Stopar, R., Car, M., Mucciarelli, M., 2001, The earthquake on 12 April 1998 in the Krn mountains (Slovenia): ground motion amplification study using microtremors and modellingbased on geophysical data, *Pure and Applied Geophysics,* **47,** 153-167.

Huang, H.-C., and Teng, T.-L., 1999. An evaluation on H/V ratios vs. spectral ratio for site-response estimation using the 1994 Northridge Earthquake sequences, *Pure and Applied Geophysics,* **156,** 631-649.

Ibs-von Seth, M. and Wohlenberg, J., 1999, Microtremor measurments used to map thickness of soft sediment, *Bull. Seism. Soc. Am.,* **89,** 250-259.

İmren, C., Le Pichon X., Rangin, C., Demirbağ, E., Ecevitoğlu, B., Görür, N., 2001. The North Anatolian Fault within the sea of Marmara: a new interpretation based on multi-channel seismic and multi-beam bathymetry data, *Earth and Planetary Science Letters,* **186,** 143-158.

İstanbul Büyükşehir Belediyesi internet Erişimi, www.ibb.gov.tr.

Kagami, H., Duke, C.M., Liang, G.C. and Otha, Y., 1982. Observation of 1- to 5-second microtremors and their application to earthquake engineering. Part II. Evaluation of site effect upon seismic wave amplification due to extremely deep soil deposits, *Bull. Seism. Soc. Am.,* **72,** 987-998.

Konno, K. and Omachi, T., 1998. Ground-motion charasteristics estimated from spectral ratio between horizontal and vertical components of microtremor, *Bull. Seism. Soc. Am.,***88-1,** 228-241.

Kudo,K., Kanno, T., Okada, H., Özel, O., Erdik, M., Takahashi, M., Sasatani, T., Higashi, S. and Yoshida, K., 2000, Site specific issues on strong ground motion during the Kocaeli, Turkey Earthquake of August 17, 1999, as inferred from array obsevations of microtremors and aftershocks, *Bull. Seism. Soc. Am.,* Submitted to BSSA Special Issue (August 10, 2000).

Lachet, C., Hatzfeld, D., Bard, P.-Y., Theodulidis, N., Papaioannou, C. and Savvaidis, A., 1996. Site effects and microzonation in the city of Thessaloniki (Greece) comparison of different approaches, *Bull. Seism. Soc. Am.,* **86,** 1692-1703.

Le Brun, B., Hatzfeld, D. and Bard, P.Y., 2001. Site effect study in urban area: Experimental results in Grenoble (France), *Pure and Applied Geophysics,* **158,** 2543-2557.

Le Pichon, X., Şengör, A.M.C., Demirbağ, E., Rangin, C., İmren, C., Armijo, R., Görür, N., Çağatay, N., Mercier de Lepinay, B., Meyer, B., Saatçılar, R., Tok, B., 2001. The active main Marmara Fault, *Earth and Planetary Science Letters,* **192,** 595,616.

Lermo, J. and Chávez-Garcia, F.J., 1993. Site effect evaluation using spectral ratios with only one station, *Bull. Seism. Soc. Am.*, **83,** 1574-1594.

Lermo, J. and Chávez-Garcia, F.J., 1994. Are microtremors useful in site response evaluation ?, *Bull. Seism. Soc. Am.*, **84,** 1350-1364.

Nakamura, Y., 1989. A method for dynamic charasteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface, *QR of RTRI,* **30-1,** 25-33.

Nakamura, Y., 1996. Real-time information systems for hazard mitigation UrEDAS, HERAS and PIC, *QR of RTIR,* **37-3,** 112-127.

Navarro, M., Enomoto, T., Sánchez, F.J., Matsuda, I., Iwatate, T., Posadas, A.M., Luzón, F., Vidal, F. and Seo, K., 2001. Surface soil effects study using short-period microtremor obsevations in Almería City, Southern Spain, *Pure and Applied Geophysics,* **158,** 2481-2497.

Nogoshi, M. and Igarashi, T., 1971. On the amplitude charasteristics of microtremor (Part 2), *Jour. Seism. Soc. Japan,* **24,** 26-40 (Japonca, İngilizce özetli).

Ojeda, A., Escallon, J., 2000. Comparison between different techniques for evaluation of predominant periods using strong ground motion records and microtremors in Pereira Colombia, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering,* **20,** 137-143

Okay, A.I., Kaşlılar-Özcan, A., İmren, C., Boztepe-Güney, A., Demirbağ, E., Kuşçu, İ., 2000, Active faults end evolving strike-slip basins in the Marmara Sea, northwest Turkey: a multichannel seismic reflection study, *Tectonophysics,* **321,** 189-218.

Özalaybey, S., Ergin, M., Aktar, M., Tapırdamaz, C., Biçem, F. and Yörük, A., 2002. The 1999 İzmit earthquake sequence in Turkey: Seismological and tectonics aspects, *Bull. Seism. Soc. Am.,* **92,** 376-386.

Özel, O., Cranswick, E., Meremonte, M., Erdik, M., Şafak, E., 2002, Site effect in Avcılar, West of İstanbul, Turkey, from strong- and weak-motion data, *Bull. Seism. Soc. Am.,* **92,** 499-508.

Satoh, T., Kawase, H., Matsushima, S., 2001, Differences between site charasteristics obtained from microtremors, S-waves, P-waves and codas, *Bull. Seism. Soc. Am.,* **91,** 313-334.

Seed, H.B., and Idriss, I.M., 1982. *Ground motions and soil liquefaction during earthquakes,* pp. 5-56, Earthquake Engineering Research Institude, Berkeley, California

Seekins.L., Wennerberg, L., Margheriti, L. and Liu, H.-P., 1996. Site amplification at five locations in San Francisco, California: A comparison of S waves, codas, and microtremors, *Bull. Seism. Soc. Am.,* **86,** 627-635.

Seo, K., 1992. A joint work for measurments of microtremors in the Ashigara valley, in *Int. Symp. Effects of Surf. Geol. On Seismic Motion,* ESG, Odawara, Japan, **Vol I,** 43-52

Seo, K., Haile, M., Kurita, K., Yamazaki, K. and Nakamaru, A., 1996. Study of site effects in Kobé area using microtremors, *Xth World Conf. Earthq. Engng., Acapulco,* **# 1656,** Elsevier Science Ltd.

Seo, K., 1997. Comparison of measured microtremors with damage distribution, *JICA Research and Development project on Earthquake Disaster prevention,* 306-320.

Tapley, W.C., Tull, J.E., Minner, L. and Goldstein, P., 1992, *SAC Seismic Analysis Code,* Lawrence Livermore National Laboratory Livermore, California

Taymaz, T., 1999. Seismotectonics of the Marmara Region: Source charasteristics of 1999 Gölcük, Sapanca, Düzce earthquakes, Proceedings, *İTÜ-IAHS International Conference on the Kocaeli Earthquake 17 August, 1999, A scientific assessment and recommendations for re-building,Pub. By İstanbul Teknik Üniversitesi, Türkiye,* 55-77.

Teves-Costa, P., Matias, L., Bard, P.Y., 1996. Seismic behaviour estimation of thin alluvium layers using microtremor recordings, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering,* **15,** 201-209.

Tezcan, S.S., Kaya, E., Bal, İ.E., Özdemir, Z., 2002. Seismic amplification at Avcılar, İstanbul, *Engineering Structures*, **24,** 661-667.

Tsuboi, S., Saito, M. and Ishihara, Y., 2001. Verification of horizontal –to-vertical spectral-ratio technique for estimation of site response using borehole seismographs, *Bull. Seism. Soc. Am.,* **91,** 499-510.

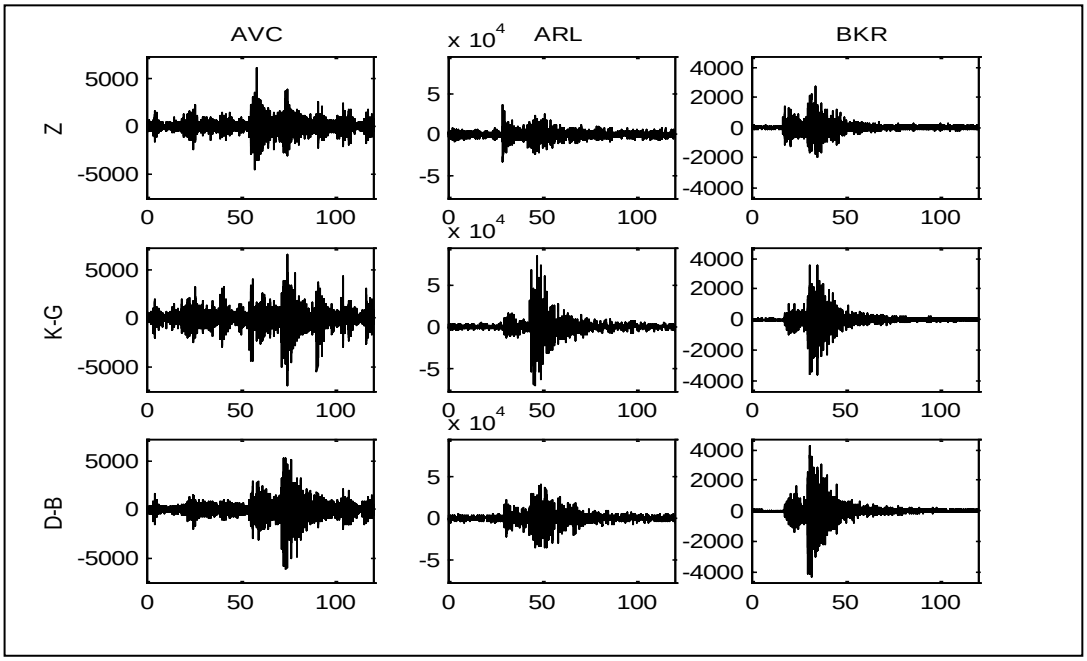
Udwadia, F.E. and Trifunac, M.D., 1973. Comparison of earthquake and microtremor ground motions in El Centro, California, *Bull. Seism. Soc. Am.,* **63,** 1227-1253.

Yamazaki, F. and Ansary, M.A., 1997. Horizontal-to-vertical spectrum ratio of earthquake ground motion for site characterization, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics,* **26,** 671-689.

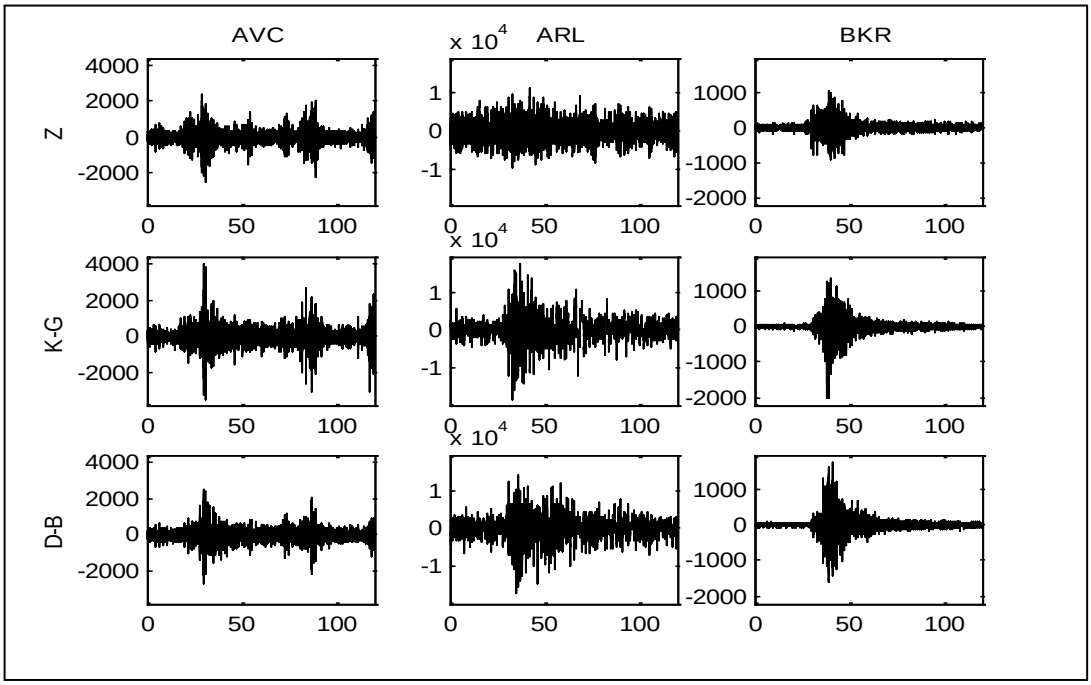
Yüzer, E. ve Eyüboğlu, R., 1998. Kentsel yerleşim planlamasında genelleştirilmiş bir mühendislik jeolojisi yaklaşımı (Avcılar-İstanbul), *Kentleşme ve Jeoloji Sempozyumu, Uluslar arası Mühendislik Jeolojisi Türk Milli Komitesi, T.M.M.O.B. Jeoloji Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi, Avcılar Belediye Başkanlığı,* 19-20 Kasım 1998, İstanbul, 300 sayfa, 233-248.

Ek A

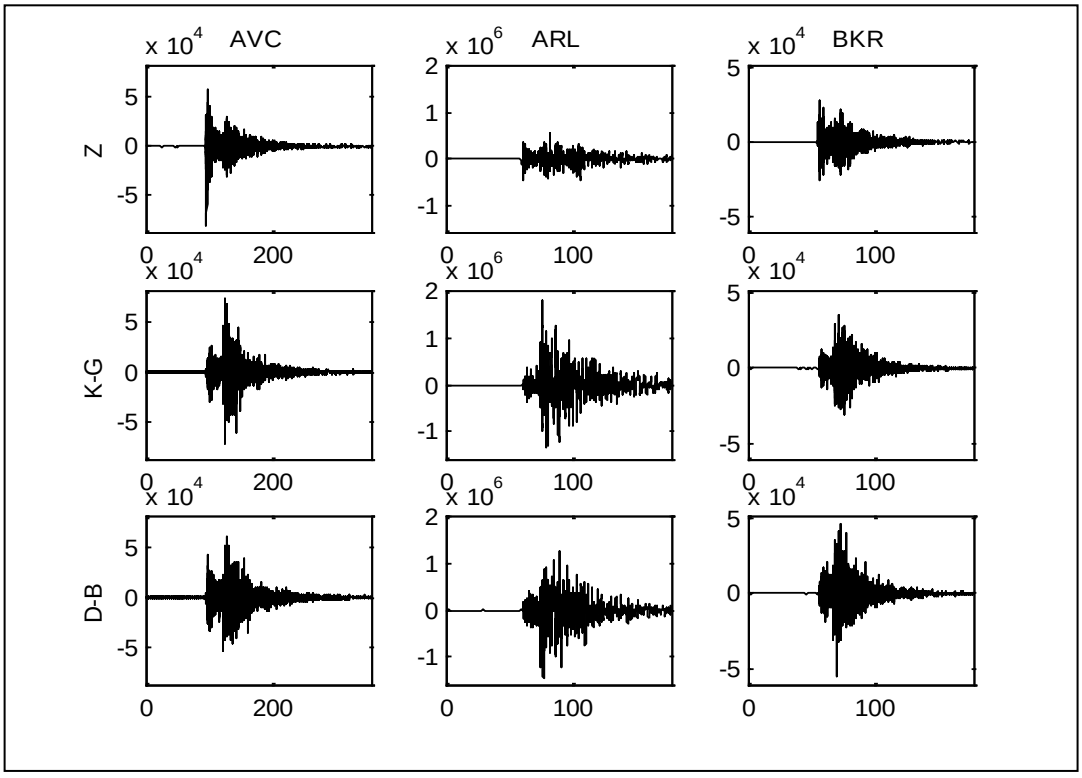
ÇALIŞMADA KULLANILAN ARTÇI KAYITLARI



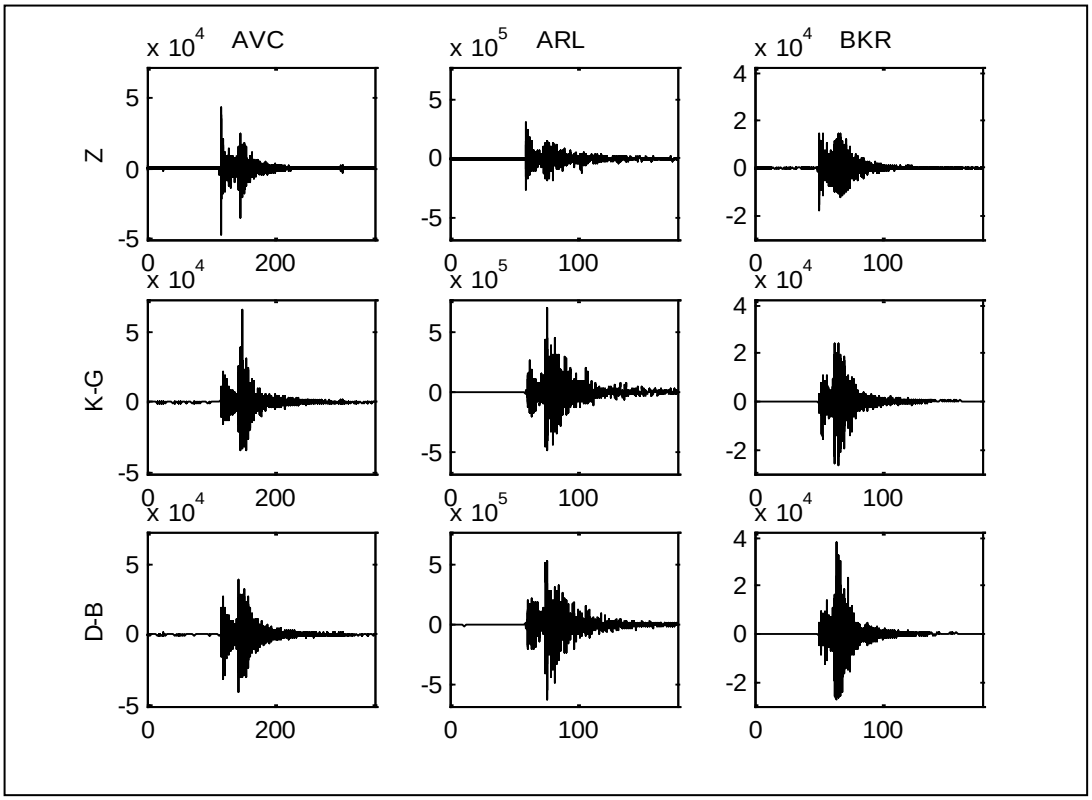
Şekil A1. Tablo 4.2, 2 nolu artçının üç istasyondaki (AVC, ARL, BKR) kaydı



Şekil A2. Tablo 4.2, 3 nolu artçının üç istasyondaki (AVC, ARL, BKR) kaydı



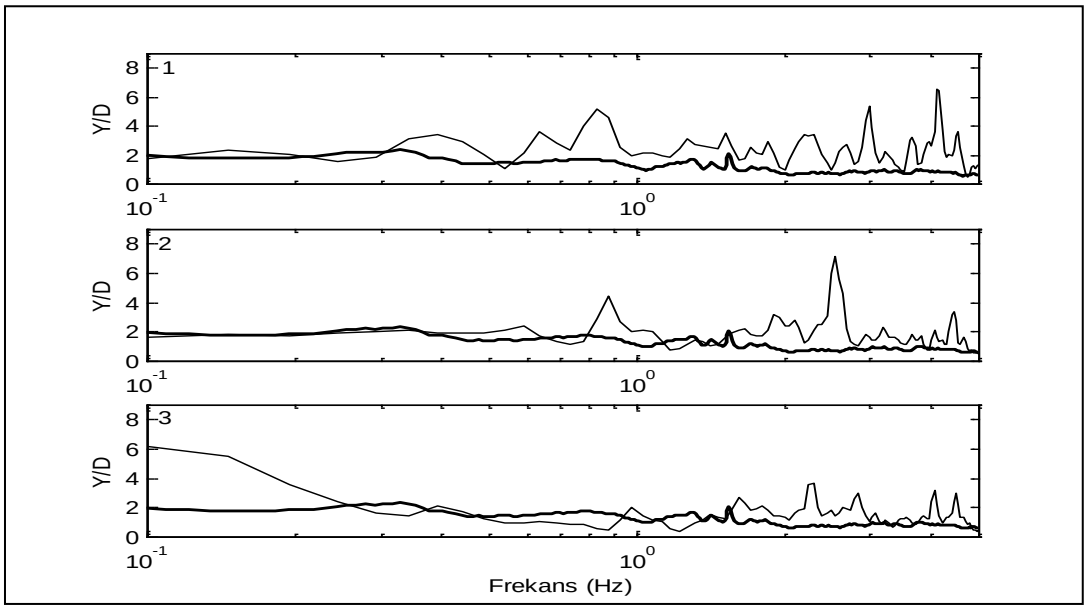
Şekil A3. Tablo 4.2, 4 nolu artçının üç istasyondaki (AVC, ARL, BKR) kaydı



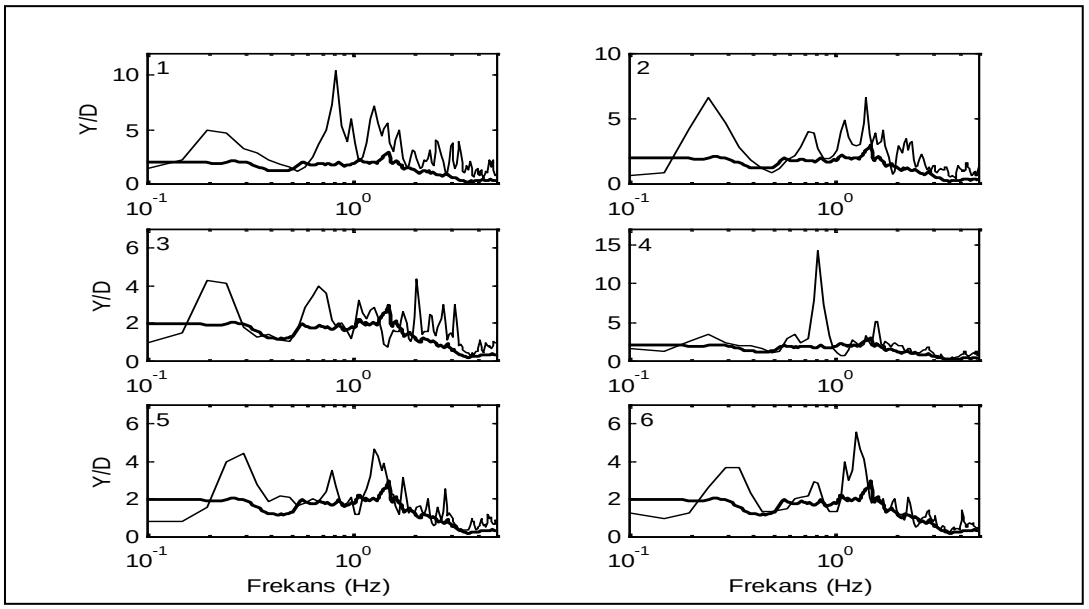
Şekil A4. Tablo 4.2, 5 nolu artçının üç istasyondaki (AVC, ARL, BKR) kaydı

EK B

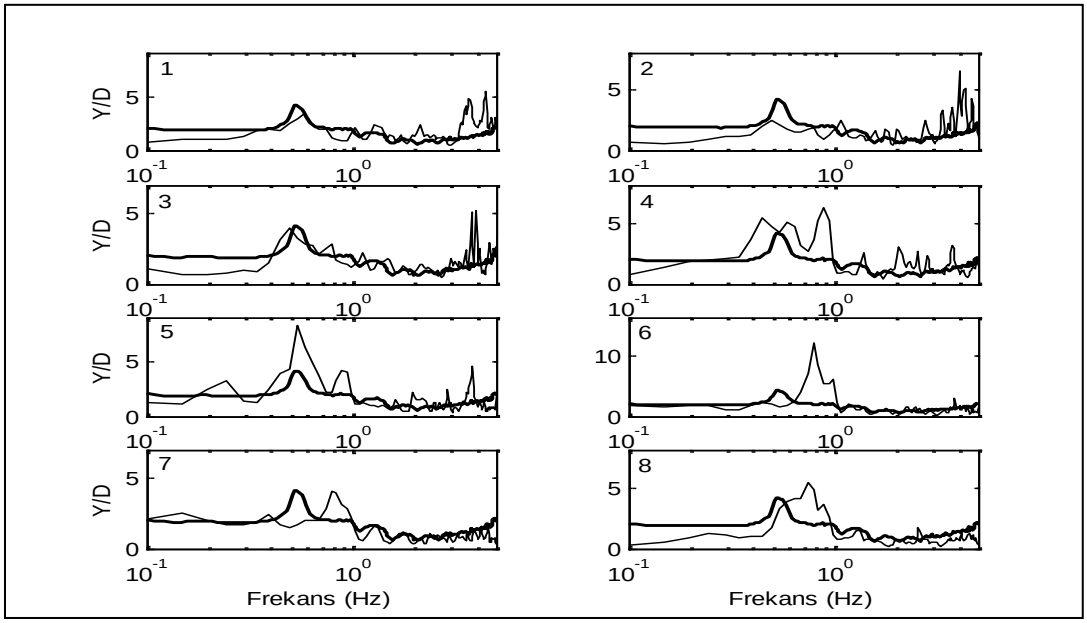
ARTÇI ŞOKLARDAN HESAPLANAN Y/D ORANLARI



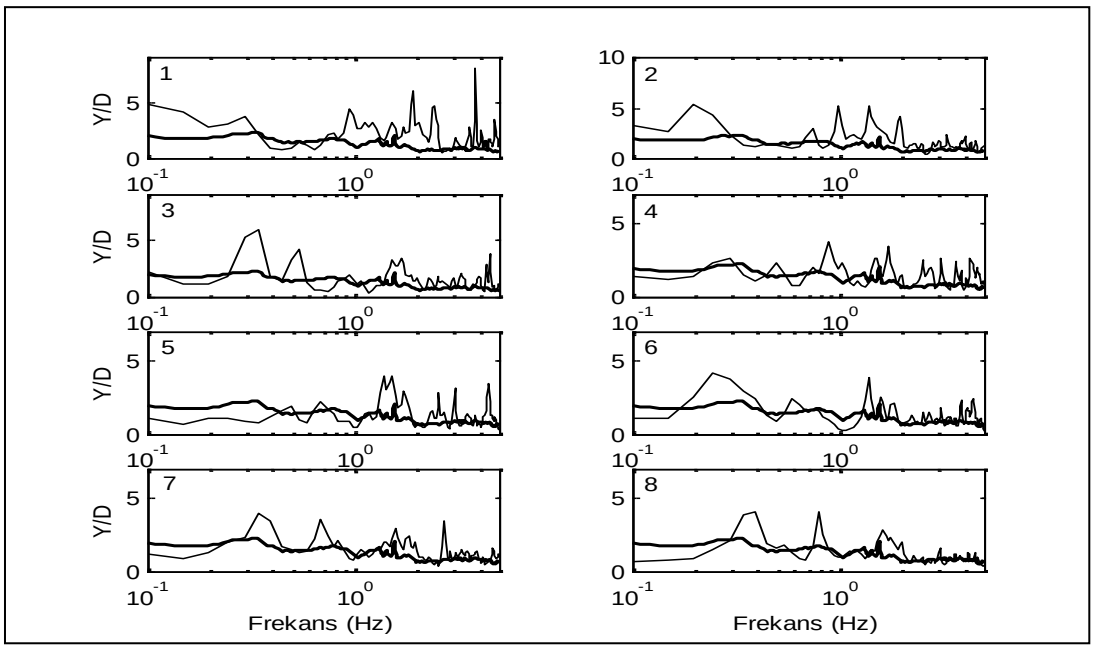
Şekil B1. Tablo 4.2, AVC'de kaydedilen 2 nolu artçı. İnce çizgi artçı şoka, kalın çizgi mikrotremöre ait Y/D oranları.



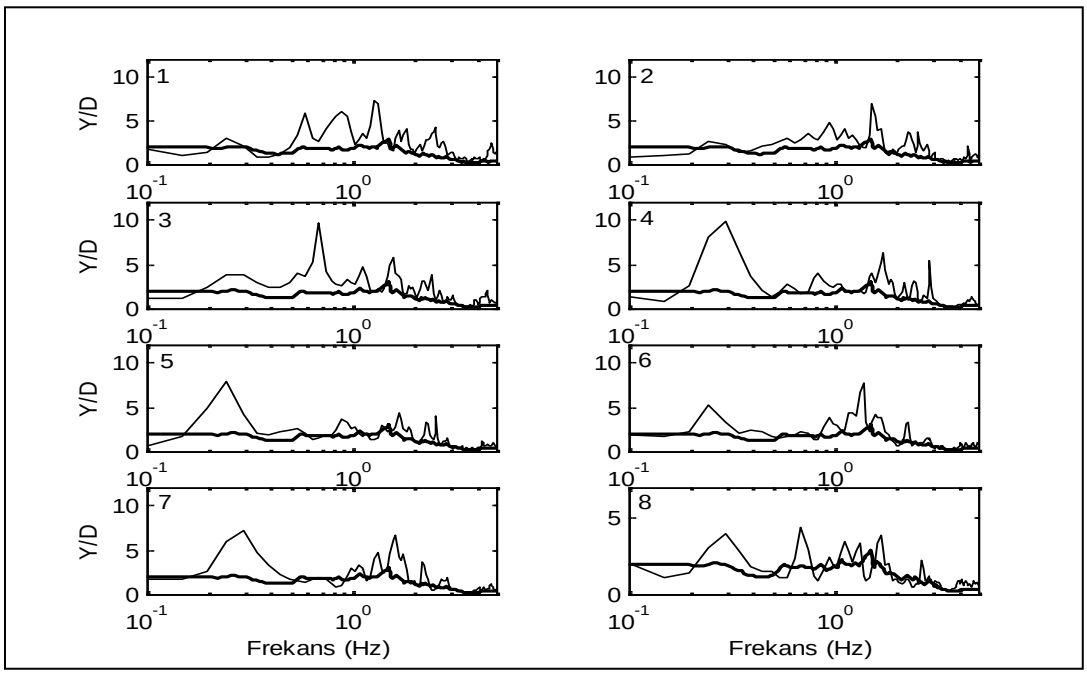
Şekil B2. Tablo 4.2, ARL'de kaydedilen 2 nolu artçı. İnce çizgi artçı şoka, kalın çizgi mikrotremöre ait Y/D oranları.



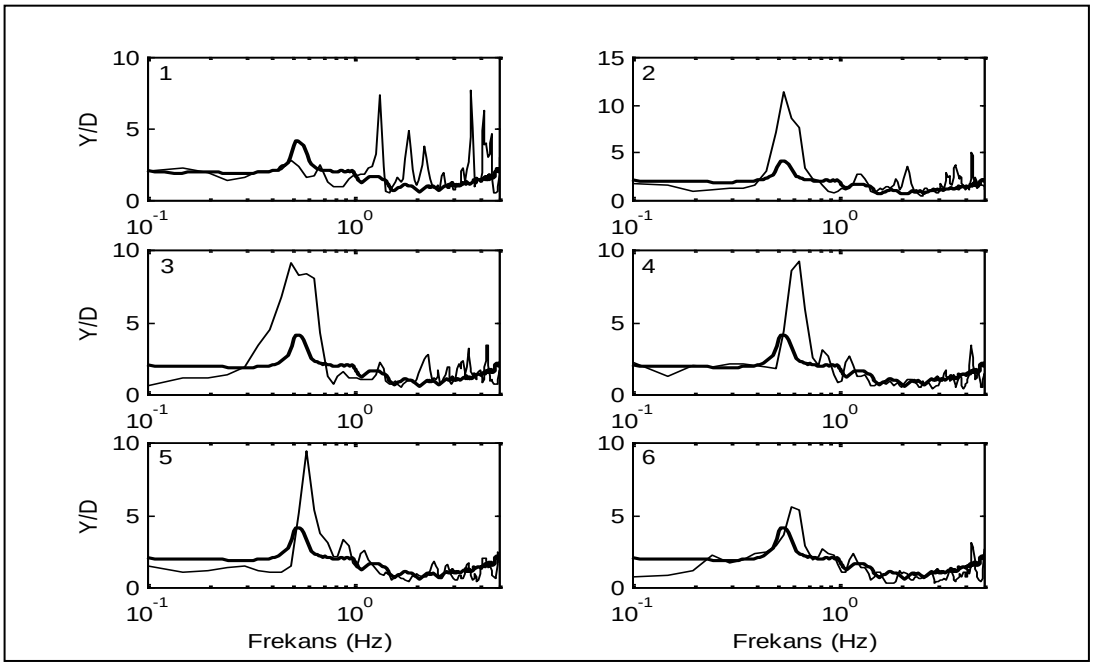
Şekil B3. Tablo 4.2, BKR'de kaydedilen 2 nolu artçı. İnce çizgi artçı şoka, kalın çizgi mikrotremöre ait Y/D oranları.



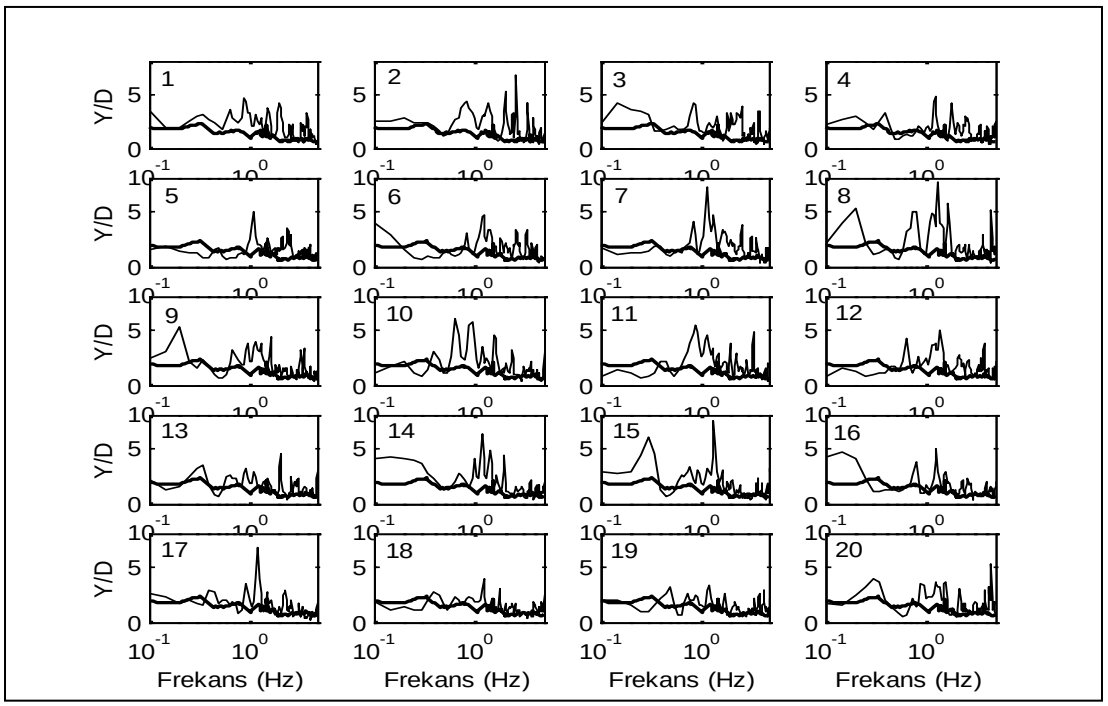
Şekil B4. Tablo 4.2, AVC'de kaydedilen 3 nolu artçı. İnce çizgi artçı şoka, kalın çizgi mikrotremöre ait Y/D oranları.



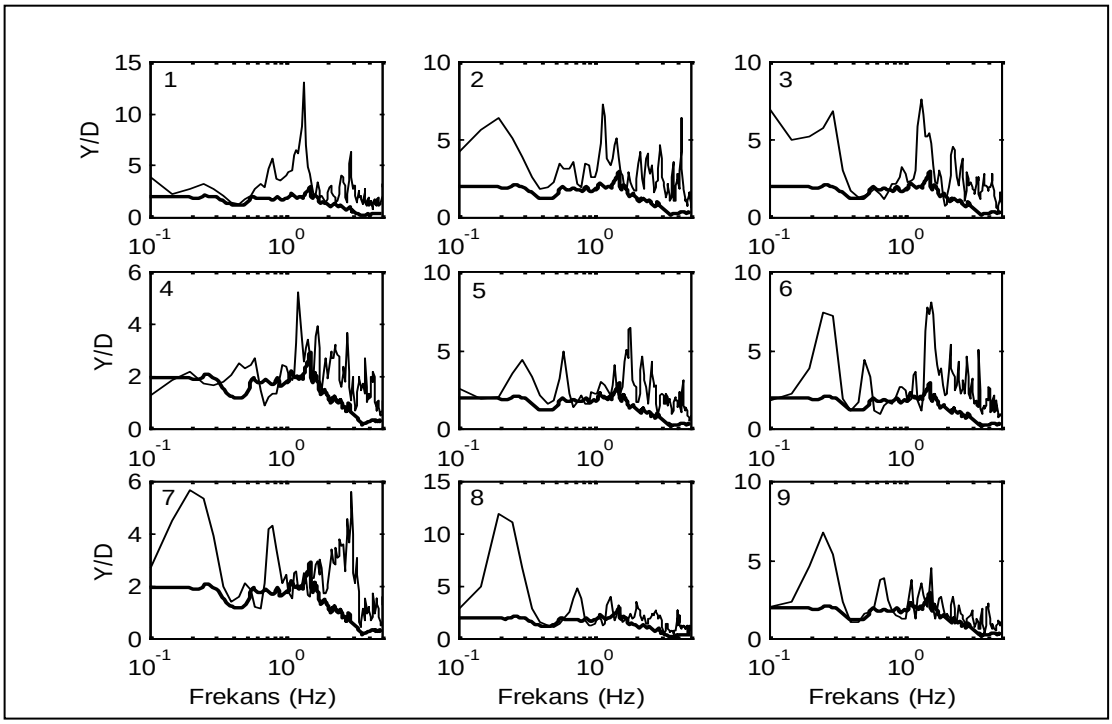
Şekil B5. Tablo 4.2, ARL'de kaydedilen 3 nolu artçı. İnce çizgi artçı şoka, kalın çizgi mikrotremöre ait Y/D oranları.



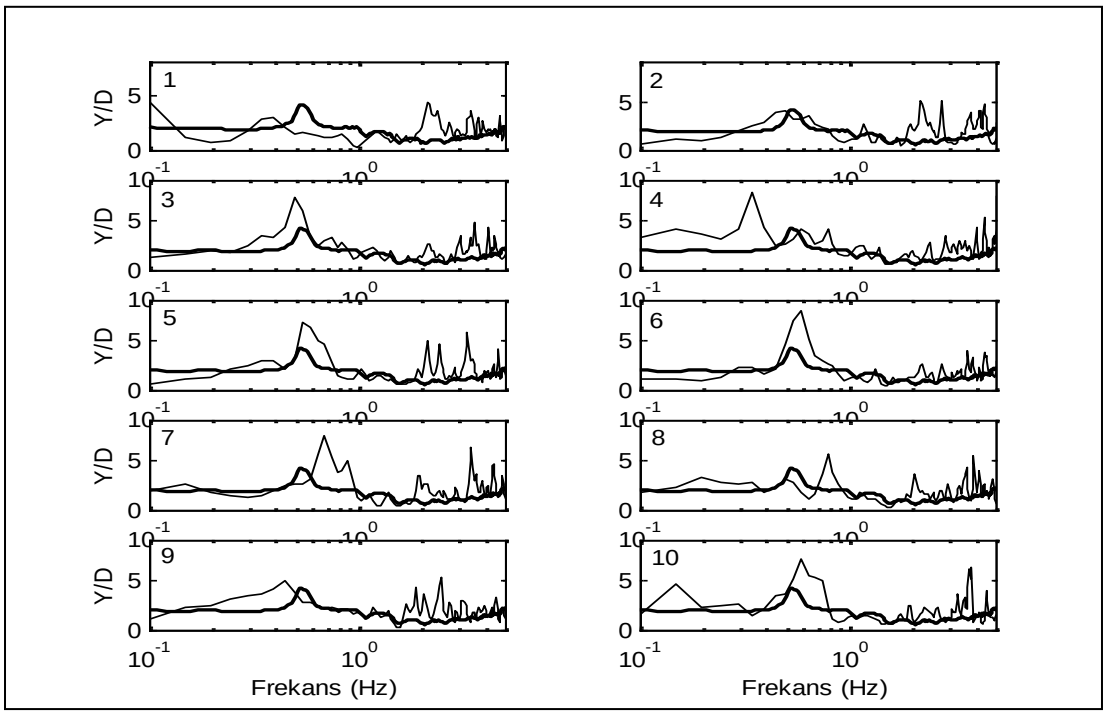
Şekil B6. Tablo 4.2, BKR'de kaydedilen 3 nolu artçı. İnce çizgi artçı şoka, kalın çizgi mikrotremöre ait Y/D oranları.



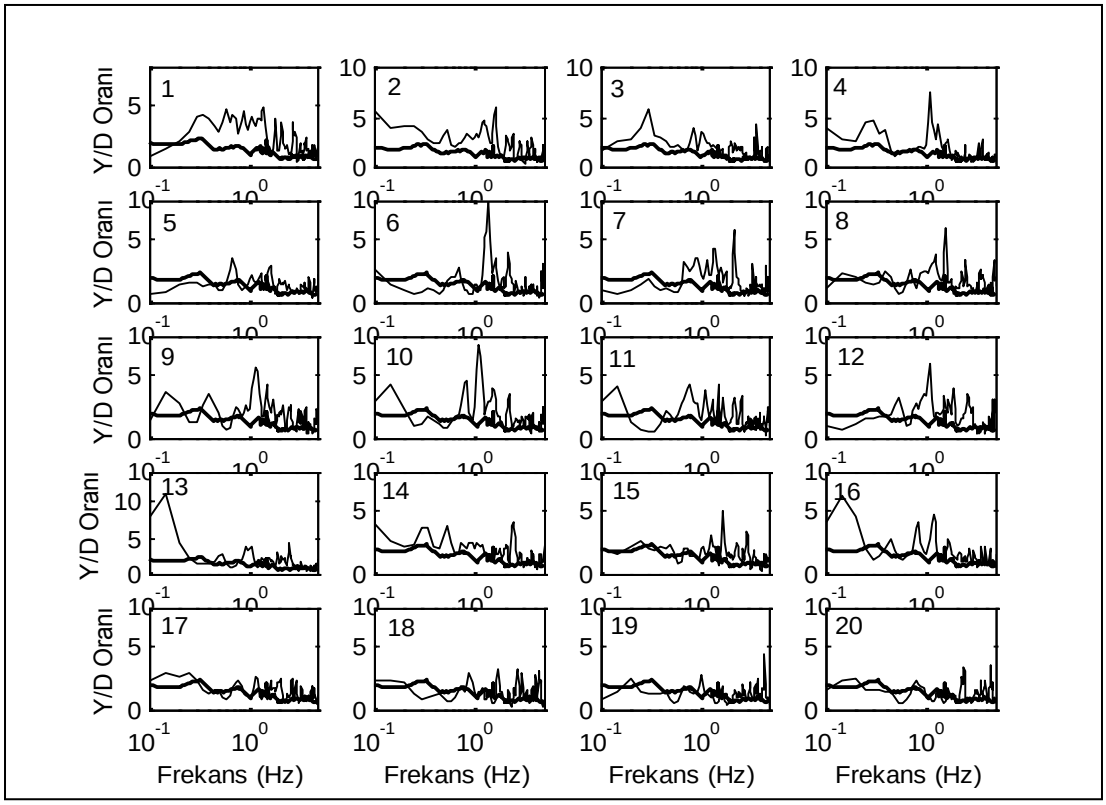
Şekil B7. Tablo 4.2, AVC'de kaydedilen 4 nolu artçı. İnce çizgi artçı şoka, kalın çizgi mikrotremöre ait Y/D oranları.



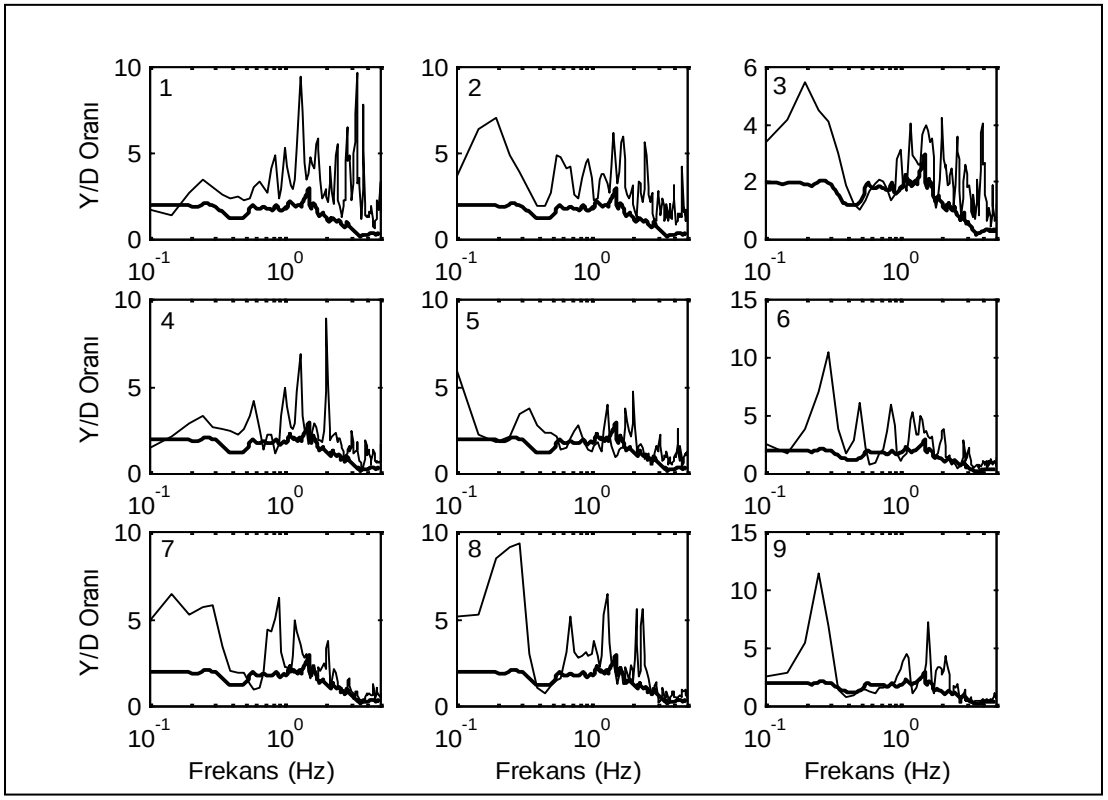
Şekil B8. Tablo 4.2, ARL'de kaydedilen 4 nolu artçı. İnce çizgi artçı şoka, kalın çizgi mikrotremöre ait Y/D oranları.



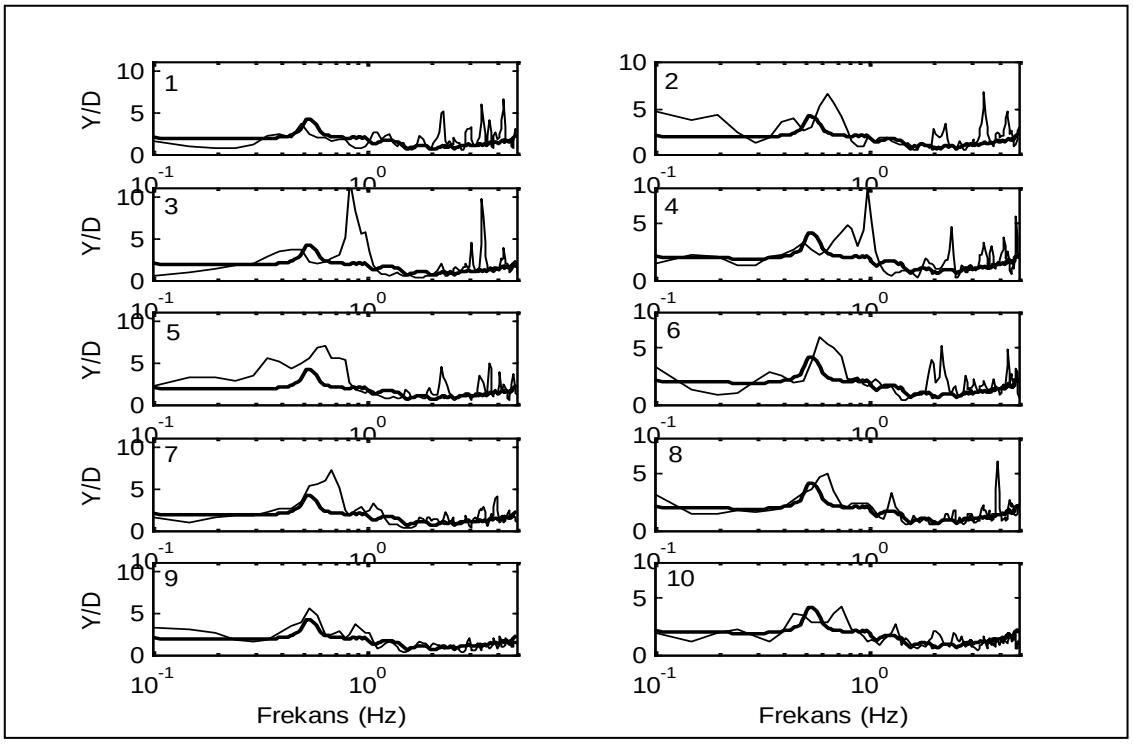
Şekil B9. Tablo 4.2, BKR'de kaydedilen 4 nolu artçı. İnce çizgi artçı şoka, kalın çizgi mikrotremöre ait Y/D oranları.



Şekil B10. Tablo 4.2, AVC'de kaydedilen 5 nolu artçı. İnce çizgi artçı şoka, kalın çizgi mikrotremöre ait Y/D oranları.



Şekil B11. Tablo 4.2, ARL'de kaydedilen 5 nolu artçı. İnce çizgi artçı şoka, kalın çizgi mikrotremöre ait Y/D oranları.



Şekil B12. Tablo 4.2, BKR'de kaydedilen 5 nolu artçı. İnce çizgi artçı şoka, kalın çizgi mikrotremöre ait Y/D oranları.

ÖZGEÇMİŞ

1973 İstanbul doğumluyum. İlk, Orta ve Lise öğrenimimi İstanbul'da tamamladıktan sonra, 1995'de Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeofizik Mühendisliği Bölümü'ne girdim ve 1999'da lisans düzeyi öğrenimimi tamamladım. Aynı yıl İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeofizik Mühendisliği Programı'nda yüksek lisans yapmaya hak kazandım. 1999-2000 yılları arasında İstanbul Teknik Üniversitesi İngilizce Hazırlık Okulu'na devam ettim ve Hedef Müh. L.T.D. Sti.'nde Jeofizik Mühendisi olarak çalıştım. 2000'de yüksek lisans programına başladım. 2000-2002 yılları arasında M.T.M. Yapı Denetim L.T.D. Şti.'nde Jeofizik Mühendisi olarak çalıştım. TÜBİTAK YDABÇAG 1017070 nolu 'Marmara Denizi'nde oluşacak olası büyük bir depremin Avcılar ve Çekmece çevresindeki sığ jeolojik yapılar üzerindeki etkisinin incelenmesi' başlıklı projede araştırmacı olarak çalıştım. Tezde sunulan malzeme ,1st International Symposium of İstanbul Technical University, the Faculty of Mines on Earth Sciences and Engineering konferansında Strong Ground Motion and Earthquake Hazard oturumunda 'Investigation of Sedimentary Resonance in Avcılar Region, İstanbul' başlıklı seminer olarak sunulmuştur.