

T.C
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**JEOTEKNİK PARAMETRELERİN HÂKİM TİTREŞİM PERİYODU VE
ZEMİN BÜYÜTME KATSAYISINA ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Gamze HAZER

Anabilim Dalı : Jeoloji Mühendisliği

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Erdal AKYOL

AĞUSTOS 2013

YÜKSEK LİSANS TEZ ONAY FORMU

Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü 091149017 nolu öğrencisi Gamze HAZER tarafından hazırlanan “Jeoteknik Parametrelerin Hâkim Titreşim Periyodu ve Zemin Büyütme Katsayısına Etkisi” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı : Doç.Dr. Erdal AKYOL (PAÜ)
(Jüri Başkanı)




Jüri Üyesi : Doç. Dr. Nihat ÇETİNKAYA (PAÜ)



Jüri Üyesi : Yrd. Doç. Dr. Turgay BEYAZ (PAÜ)



Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
11/09/2013.. tarih ve ...29/114..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.


Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü
Prof. Dr. Nuri KOLSUZ

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğine beyan ederim.

İmza : *G. Kuzu.*

Öğrenci Adı Soyadı : Gamze HAZER

ÖNSÖZ

Bu çalışmada, jeoteknik parametrelerin hâkim titreşim periyodu ve zemin büyütme katsayısına olan etkisi üzerinde durulmuştur. Bu amaçla, Denizli İli sınırları içinde belirlenen bölgelerde mikrotremör ve MASW ölçümleri alınmış ve zemin özellikleri tespit edilmiştir. Daha sonra elde edilen ölçüm sonuçlarından zemin büyütme katsayısı hesaplanmıştır. Bu çalışmanın gerçekleşmesinde katkıda bulunan, yüksek lisans eğitimim boyunca gerek ders aşamasında gerekse tez çalışmam boyunca bilgi ve tecrübeleriyle her zaman bana yol gösteren, hiç bir zaman desteğini esirgemeyen değerli hocam Doç. Dr. Erdal AKYOL'a, tez çalışmam için maddi yardım sağlayan Pamukkale Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü'ne, bütün hayatım boyunca gerek maddi gerek manevi her zaman yanımda olan ve tez çalışmam boyunca da her zamanki gibi desteğini esirgemeyen babam Raşit KUZU'ya, annem Rezzan KUZU'ya, abim Çağlar KUZU'ya ve Eşim Ömer Bora HAZER'e sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum.

Ağustos 2013

Ad Soyad : Gamze HAZER

Maden Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
SUMMARY.....	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
1. GİRİŞ	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
1.1 Tezin Amacı.....	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
1.2 Literatür Özeti.....	2
1.2.1 Önceki Çalışmalar	2
2. YAPI HASARLARINA NEDEN OLAN DEPREM PARAMETRELERİ	7
2.1 Deprem Parametreleri.....	7
2.1.1 Genlik.....	7
2.1.2 Frekans	8
2.1.3 Süre	8
2.2 Zemin Parametreleri	8
2.2.1 Zemin etkileri	8
2.2.2 Yerel zemin koşullarının yer hareketi üzerindeki etkileri.....	9
2.2.3 Sismik dalgaların yumuşak zemin tabakaları tarafından büyütülme nedenleri.....	11
2.2.4 Zemin büyütmesi	13
2.2.5 Zemin büyütmesini etkileyen faktörler	14
2.2.5.1 Empedans oranı ve rezonans etkisi	15
2.2.5.2 Zemin büyütme fonksiyonu.....	17
3. KULLANILAN YÖNTEMLER	19
3.1 Mikrotremör	19
3.1.1 Mikrotremör verilerinin kullanım amaçları	21
3.1.2 Mikrotremörlerin periyot dağılımları	21
3.1.3 Mikrotremör ölçümlerinde kullanılan cihazlar ve genel özellikleri	23
3.1.4 Mikrotremör verilerinin değerlendirilmesinde kullanılan yöntemler	25
3.1.5 Hâkim titreşim periyodunun hesaplanması.....	31
3.1.6 Hâkim titreşim periyodu-rezonans ilişkisi.....	32
3.1.7 Zemin büyütmesinin belirlenmesi.....	35
3.2 Aktif Kaynaklı Çok-Kanallı Yüzey Dalgası (MASW)	37
3.2.1 Aktif kaynaklı çok-kanallı yüzey dalgası yöntemi (MASW) ölçüm araçları ve özellikleri	39
3.2.2 Kullanılan cihazların teknik özellikleri.....	41
4. ARAZİ ÇALIŞMALARINI VE DEĞERLENDİRMELER	43
4.1 Arazi Çalışmaları.....	43
4.2 MASW Çalışmaları ve Değerlendirilmesi.....	44
4.3 Mikrotremör Çalışmaları ve Değerlendirilmesi	51
4.4 SPT Ölçümleri.....	57
4.5 Karşılaştırmalar	58
4.5.1 SPT- Vs ilişkisi	59
4.5.2 Vs -Büyütme Oranı ilişkisi.....	60

4.5.3 SPT – Büyütme Oranı İlişkisi.....	60
5. SONUÇ.....	62
KAYNAKLAR.....	64
EKLER.....	68

KISALTMALAR

A	: Zemindeki En Büyük Hız İçin Bağlı Büyütme Faktörü
A²	: Dalga Genliği
AHSA	: 0.4 ~ 2.0 s Periyot Aralığında Ortalama Yatay Spektral Büyütme
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
B	: Maksimum Büyütme
cm	: Santimetre
cm³	: Santimetre Küp
D-B	: Doğu-Batı
DB(w)	: D-B Yönünde Alınan Kayıtta En Büyük Genlik
E	: Enerji Akısı
E(t)	: Sismik Enerji Akısını
f	: Frekans
gr	: Gram
G	: Zemin Kayma Modülü
G.Ç	: Gözlem Çukuru
GCF	: Güralp Compressed Format
H	: Derinlik
H/V=Y/D	: Yatay Bileşen/Düşey Bileşen
HB	: Temel Kayanın Yüzeydeki Yatay Bileşeni
Hs	: Düşey Bileşenin Fouruier Spekturumu
HS	: Yumuşak Zeminde Deprem Kayıtlarının Yatay Bileşeni
Hv	: Yatay Bileşenin Fourier Spekturumu
Hz	: Hertz
k	: Dalga Sayısı
kg	: Kilogram
K-G	: Kuzey-Güney
KG(w)	: K-G Yönünde Alınan Kayıtta En Büyük Genlik
kPa	: Kilopaskal
m	: Metre
MASW	: Aktif Kaynaklı Çok Kanallı Yüzey Dalgası Yöntemi
µHz	: MikroHertz
n	: Titreşim Modu
η	: Zemin Viskozitesi
N	: Bina Katsayısı
p	: Yavaşlık
ρ	: Ortamın Yoğunluğu
ρ_r	: Ana Kayanın Yoğunluğu
ρ_s	: Zeminin Yoğunluğu
P	: Birincil (Primer) Dalga
s	: Saniye
S	: İkincil (sekonder) Dalga
SO	: Nakamura (H/V) Spektrumu
SPAC	: Faz Kaydırma veya Uzaysal Öz İlişki

Spt-N	: Standart Penetrasyon Deneyi – Darbe Sayısı
SR	: Spektral Oran
t	: Zaman
T	: Yapı Periyodu
To	: Zemin Hâkim Periyot
u(t)	: Tanecik Hızı
UD(w)	: Aşağı-Yukarı Yönünde Alınan Kayıtta En Büyük Genlik
v	: Ortamın Sismik Dalga Hızı
V1	: 30 m Derinlik İçerisindeki Ortalama Kayma Dalgası Hızı
V2	: Bir Saniye Periyotlu Dalga İçin ¼ Dalga Boyu Derinliğe Kadar Ortalama Kayma Dalgası Hızı
Vb.	: Ve Benzeri
Vd.	: Ve Diğerleri
v_F	: Ana Kayanın Hızı
VR	: Ragleigh Dalgası hızı
v_F	: Zeminin Hızı
Vs	: Kayma Dalgası Hızı
Vs₃₀	: İlk 30 m İçin Kayma Dalgası Hızı
w	: Açısal Frekans
x	: Uzaklık
z	: Empedans
%	: Yüzde
α	: Empedans Oranı
ξ	: Sönüm Oranı

TABLO LİSTESİ

Tablolar

2.1 : Zemin büyütmesini etkileyen faktörler	14
2.2 : Yatay tek tabaka durumunda dalga yansımalarının gösterimi (solda) ve bu parametreler kullanılarak düşey yayılan S dalgası için elde edilen büyütme fonksiyonu grafiği.....	16
3.1 : Zemin sınıflandırması ve zemin hâkim periyodu (Türkiye deprem şartnamesi (1975)).....	34
3.2 : N katlı bir bina için bina hâkim periyodu	35
3.3 : Zemin büyütme katsayısının hesaplanmasında yararlanılan eşitlikler.....	36
3.4 : Çeşitli jeolojik birimlere göre Borchardt&Gibbs (1976), Shima (1978) ve Midorikawa (1987) tarafından verilen bağıl büyütme katsayıları.....	37
4.1 : MASW ölçüm sonuçları.....	46
4.2 : Mikrotremör ölçüm sonuçları.....	53
A.1 : MASW ölçüm sonuçları.....	68
A.2 : Mikrotremör ölçüm sonuçları.....	72

ŞEKİL LİSTESİ

Şekiller

2.1 : Zemin büyütmesini etkileyen faktörler	14
2.2 : Yatay tek tabaka durumunda dalga yansımalarının gösterimi (solda) ve bu parametreler kullanılarak düşey yayılan S dalgası için elde edilen büyütme fonksiyonu grafiği	16
3.1 : Farklı tipteki yerlerde alınmış tipik mikrotremör kayıtları	22
3.2 : Çeşitli zeminler için örnek frekans ve periyod dağılım eğrileri	22
3.3 : Mikrotremör kayıtlarının alınmasında kullanılan temel birim	23
3.4 : Üç bileşenli mikrotremör kaydının bilgisayar görüntüsü.....	24
3.5 : Geopsy programı yardımı ile elde edilen üç bileşenli frekans grafiği	24
3.6 : Mikrotremör güç spektrumları (düz çizgi) ile transfer fonksiyonunun (kesikli çizgi) karşılaştırılması	27
3.7 : Mikrotremörlerin güç spektrumu (düz çizgi), kuvvetli yer hareketi güç spektrumu (kesikli çizgi), matematik model ile hesaplanan transfer fonksiyonu(noktalı çizgi)	28
3.8 : Nakamura yöntemi ile değerlendirme ait veri çözümlemesi akış şeması ...	30
3.9 : MASW yönteminde temel işlem adımları.....	38
3.10 : Jeofon aralıkları farklı iki MASW kaydı ve dispersiyon görüntüsü	39
3.11 : MASW ölçümlerinin bilgisayar görüntüsü	41
3.12 : Güralp System CMG-6TD-1 sismometre.....	42
3.13 : MASW ölçümlerinden bir görünüm	42
4.1 : Çalışma alanının yer bulduru haritası	43
4.2 : Çalışma alanındaki ölçüm noktaları.....	44
4.3 : Çalışma alanındaki MASW ölçüm noktaları.....	45
4.4 : Çalışma alanının Vs haritası	50
4.5 : Çalışma alanının büyütme oranı haritası	51
4.6 : Çalışma alanındaki mikrotremör ölçüm noktaları	52
4.7 : Çalışma alanının periyot haritası	55
4.8 : Çalışma alanının spektrum karakteristik T_A haritası.....	56
4.9 : Çalışma alanının spektrum karakteristik T_B haritası.....	57
4.10 : Çalışma alanının SPT haritası.....	58
4.11 : SPT – Vs değerlerinin değişimi grafiği.....	59
4.12 : Vs – Büyütme oranı grafiği	60
4.13 : SPT-Büyütme oranı grafiği	61

ÖZET

JEOTEKNİK PARAMETRELERİNİN HÂKİM TİTREŞİM PERİYODU VE ZEMİN BÜYÜTME KATSAYISINA ETKİSİ

Aktif deprem kuşağında yer alan ülkemizde depremlerden kaynaklanan hasar ve kayıpların azaltılması için yapıların iyi bir mühendislik hizmeti alması gerekmektedir. Bu kapsamda zeminin fiziksel, mekanik ve sismik parametrelerinin belirlenmesi oldukça önemlidir.

Bu çalışma ile MASW ve mikrotremör yöntemleri kullanılarak Denizli kent merkezinde yer alan belirli bir alandaki zeminlerin hâkim titreşim periyotları ve kesme dalgası hızları belirlenmiştir. Kesme dalgası hızı kullanılarak zemin büyütme değerleri hesaplanmıştır. Bölgede yapılan jeoteknik deneylerde elde edilen SPT N değerleri ile yukarıda elde edilen değerlerin inceleme alanında değişimleri ortaya konulduktan sonra aralarındaki ilişki ortaya konulmuştur.

Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde, inceleme alanının güneyinde jeoteknik ve sismik değerler daha yüksektir. Kuzeye doğru zeminlerin daha zayıf hale geldiği ve buna bağlı olarak bazı problemlili zeminlerin ortaya çıktığı söylenebilir. Çalışma ile belirlenen parametrelerin aralarındaki ilişkilerin ise literatürde yer alan birçok çalışma ile paralellik gösterdiği ortaya çıkmıştır.

Anahtar Kelimeler: Deprem, Mikrotremör, Zemin hâkim titreşim periyodu, Zemin büyütmesi, MASW

SUMMARY

EFFECTS OF GEOTECHNICAL PARAMETERS ON PREDOMINANT GROUND VIBRATION PERIOD AND SOIL AMPLIFICATION

An engineering supervision for structures is required to mitigate earthquake hazards in Turkey, located on an active tectonic belt. In this context, identifying physical, mechanical and seismic parameters of the soils is a major issue.

This study has introduced the distribution of predominant ground vibration periods and shear waves of an area in Denizli city center. Soil amplification values were calculated based on the shear wave velocities. Additionally, the variations of SPT N values over the study area have been clarified and relationships among them have been investigated.

The obtained results suggest that the southern part of the study area has satisfying geotechnical and seismic characteristics. These values are getting lower towards northern part of the area where more problematic soils are located. The study has also confirmed that the correlations of the obtained parameters are parallel to the literature.

Key Words: Earthquake, Microtremor, Predominant Ground Period, Soil Amplification, MASW

1. GİRİŞ

İnsanoğlunun doğayı keşfetme isteği onu devamlı olarak doğayla mücadeleye itmiştir. Bu mücadele sonucunda da çeşitli bilim dalları ve mühendislik alanları ortaya çıkmıştır. İnsanoğlunun doğayla mücadelesinde, doğal afetlerin de en önemlilerinden olan deprem incelemeleri büyük paya sahiptir. Yeryüzünde gerçekleşen hiçbir olay durağan olmadığı gibi yeryüzünün kendisi de durağan değildir ve devamlı olarak hareket halindedir. Yeryüzündeki bu hareket, oluşan enerjiye göre ve meydana gelen titreşimlerin genliklerinin büyüklüğüne göre çeşitlilik gösterir. Çok büyük enerjiler açığa çıkıyorsa, yeryüzünde fark edilebilir ve hasar oluşturan salınımlar hissediliyorsa bunlar deprem ya da kuvvetli yer hareketi olarak isimlendirilir. Bu hissedilebilir titreşimleri ve açığa büyük enerjiler çıkaran yer hareketlerinin yanında yeryüzünde insanlar tarafından algılanamayan sürekli salınımlar etkindir. Bu tür salınımlara mikrotremör (titreşimcik) denir.

1.1 Tezin Amacı

Bu tez çalışması kapsamında yapılan çalışmanın amacı, Denizli kent merkezindeki zeminlerin jeoteknik parametrelerin zemin büyütmesi ve hâkim titreşim periyodu arasındaki ilişkiyi belirlemektir. Yapıların deprem sırasında hasar görmelerindeki en önemli nedenlerden birisi üzerinde buldukları zeminlerin jeoteknik özelliklerinden dolayı kaynaklanmaktadır. Özellikle dinamik yükler altında zeminler üzerindeki yapılara oldukça büyük ivme ve deformasyon uygulanmasına neden olabilmektedir. Bu özellik zemin büyütme katsayısı ile ifade edilmektedir. Yani jeoteknik parametrelerin düşük olduğu zeminlerde depremin kaynağından daha fazla ivme ve yatay deformasyonlar görülebilmektedir. Ayrıca yapı ile üzerinde bulunduğu zemin aynı titreşim frekanslarına sahip ise yapıdaki titreşim çok daha fazla artarak yapıda

hasar oluşmasına neden olmaktadır. Bu nedenle yerleşim alanlarındaki zeminlerin ve bu alanlarda inşaa edilecek yapıların hâkim titreşim periyotlarının belirlenerek çakışma olmayacak şekilde tasarım yapılması gerekmektedir. Bu çalışma kapsamında Denizli kent merkezindeki belirlenmiş alanlardaki zeminlerin büyütme katsayıları ve hâkim titreşim periyotları belirlenmiştir. Ayrıca yapılarda da titreşim periyotları ölçülerek ilgili yönetmeliğin önerdiği değerlerin doğruluğu test edilmiş ve çalışma alanındaki yapıların hasar görübilirlikleri konusunda değerlendirmeler yapılmıştır. İnceleme alanında kamu ve özel sektör tarafından yapılmış çok sayıda jeoteknik çalışma bulunmaktadır. Bu nedenle zeminlerin jeoteknik özellikleri mevcut çalışmalar yardımıyla yapılmıştır. 1999 Marmara depreminden sonra mevcut yapıların depreme karşı güçlendirilme çalışmaları sırasında birçok sahada zemin iyileştirme çalışmaları da yapılmış ve halen yapılmaya devam edilmektedir. Bu kapsamda yapılan çalışmalar sırasında genellikle iyileştirilen zeminin iyileştirme öncesi ve sonrası fiziko–mekanik özellikleri dikkate alınmakta ancak yapılan iyileştirmenin zeminlerin dinamik özelliklerine olan etkisi genellikle göz ardı edilmektedir.

1.2 Literatür Özeti

Doğal afetler içerisinde çok büyük öneme sahip olan deprem olgusu, bütün dünyada olduğu gibi ülkemizde de büyük sosyo–ekonomik zararlara neden olmaktadır. Bu zararların önemli bir kısmı zemin özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Buna bağlı olarak özellikle 1999 Marmara depreminden sonra ülkemizde zemin iyileştirmesi ve güçlendirmesi büyük önem kazanmıştır. Önemli zemin tasarım parametrelerinden hâkim titreşim periyodu ve zemin büyütmesi gibi veriler hesaplamalarda dikkate alınmaya başlamıştır. Hâkim titreşim periyodu ve zemin büyütme katsayısının belirlenmesi ile ilgili yapılmış bazı çalışmalar aşağıda verilmiştir.

1.2.1 Önceki çalışmalar

Omeri (1908), mikrotremör çalışmaları ile ilgili ilk çalışmalar Omeri tarafından yapılmıştır. Fakat teknolojinin gelişmemiş olması ve dikkat çekici bir konu olarak görülmemesi sebebiyle 1950’li yıllara kadar bu alanda bir ilerleme kaydedilememiştir.

Okan (2005), Yenişehir (Bursa) ilçesinde zemin büyütmesinin jeoteknik açıdan değerlendirilmesi amacıyla yapılan çalışmaya göre; SPT–N değerlerine bağlı olarak Vs hesaplanmış ve Vs değerleri 2,20–3,37 arasında değerler aldığı gözlenmiştir. Bu sonuçlar Midorikawa (1987) öngördüğü eşitlikten elde edilen değerlerle karşılaştırılmıştır ve bu eşitliğin (Midorikawa 1987) dikkatli kullanılması gerektiği ortaya konmuştur. İnceleme alanı için mikro bölgelendirme haritası yapılmıştır. Bu Bölge için hâkim titreşim periyotları hesaplanmış ve 0,5–0,75 aralığında değerler elde edilmiştir ve bu sonuçlara göre bu bölgede inşa edilecek yapılar için rezonans olayına dikkat edilmesi gerektiği ortaya konmuştur.

Idriss ve Seed (1968), yerel zemin koşullarının, depremden sonra meydana gelen hasarlar üzerindeki etkisi yıllardır bilinmektedir. Bu konudaki ilk önemli bilgiler 1957 San Fransisco depreminde (ABD) değişik noktalarda yapılan bazı ölçümlerden elde edilmiştir. Bu ölçümler, birbirine yakın bölgelerde meydana gelen yer ivmelerinin bazen birbirlerinden %100'e yakın değerlerde farklılıklar gösterdiğini ve bunun sebebin büyük bir olasılıkla ölçüm istasyonlarının yer aldığı zemin koşullarından kaynaklandığı ortaya konmuştur.

Seht ve diğerleri (1999), mikrotremör ölçümlerinin yumuşak zemin tabakalarının kalınlığının belirlenmesinde kullanılabileceğini ortaya koymuşlardır. Mikrotremör ölçüm yöntemlerinden Nakamura yönteminin de bunu belirlemede en uygun teknik olduğunu belirtmişlerdir.

Ergin (2007), Antik Galata Bölgesi'nin (İstanbul) mikrotremör ölçümleri esaslı mikro bölgelendirme çalışması amacıyla yapılan çalışmada; Galata ve çevresinin hâkim titreşim periyodu, zemin büyütme değeri ve binaların rezonans olayı, 147 ölçüm noktasından alınan mikrotremör kayıtlarıyla incelenmiştir. Bu tarihsel alanın dinamik zemin özellikleri ortaya konmuştur.

Stone ve diğerleri (1987), 19 Eylül 1985 Michoacan depreminde (Meksika) meydana gelen hasarın dağılımıyla yerel zemin koşullarının sismik davranışa olan etkisini ortaya koymuşlardır. Genellikle 0.04 g den düşük olan taban kayası pik ivme değerleri, eski bir göl yatağındaki kalın kil tabakalarında yaklaşık olarak 5 kat daha fazla büyütme maruz kalmış ve bina periyodu, zemin periyoduna yakın olan yapılarda çok büyük hasarlara sebep olmuştur (rezonans).

Trifunac ve Todorovska (2000), 0,2 s den küçük periyotlarda, kaya alanların alüvyon zeminlerin bulunduğu bölgelerden yaklaşık 1,5 kat daha büyük büyütmeye sahip olduğunu ortaya koymuşlardır.

Özçimen (2000), 1999 Marmara depreminden etkilenen Derince de, mikrotremör kayıtları ile analiz sırasında yatay bileşenin düşey bileşene oranlanmasına dayanan Nakamura yöntemini kullanarak yerel zemin koşullarının yer hareketi üzerindeki etkisini incelemiştir. Bu incelemenin sonucunda, birbirine çok yakın noktalarda bile çok farklı değerlerin elde edilmesi yerel zemin koşullarının etkisini göstermektedir.

Zaslavsky ve diğerleri (2000), İsrail'deki aktif Ölü Deniz kırığı üzerinde yer alan Parsa bölgesinde, 7 sahayı incelemiştir. Zemin etkilerini incelemek amacıyla;

1) Zemin ana kaya spektral oranı

2) Kayma dalgalarının yatay–düşey spektral oranları

3) Mikrotremör ölçümlerinin yatay–düşey spektral oranı olmak üzere üç gözlem metodu kullanmışlardır. Bu sahaların zemin tepki spektrumlarının 1 ile 3 Hz arasında büyütme faktörünün 2,5–4,0s arasında maksimum değerlerini gösterdiği gözlenmiştir.

Tezcan ve diğerleri (2001), İstanbul'un Avcılar ilçesi için dalga büyütmesi çalışması yapmışlardır. Zeminin başlıca üç hâkim titreşim periyodu 1,60 s, 1,0 s ve 0,70s, SHAKE bilgisayar programı ile belirlenmiştir. Bu bölgedeki 5 ile 8 kat yüksekliğindeki binalarda meydana gelen hasarın nedenlerinin, deprem dalgalarının yüksek periyotlarına ve zemin büyütmesine bağlanabileceğini ortaya koymuşlardır.

Beliceli (2006), Eskişehir yerleşim yeri zemininin büyütme etkisinin makaslama dalga hızına (Vs) bağlı olarak belirlenmesi amacıyla yapılan çalışmaya göre; yer hareketi büyütme derecesi yüksek olan zeminlerin 0–7 m arasında kalan bölgede yoğunlaştığı görülmüştür. Genellikle silt ve kil yüzdesinin fazla olduğu zemin tabakalarında büyütme potansiyelinin var olduğunu ortaya konmuştur. Çalışma alanında genç alüvyon birimi üzerindeki bölge, büyütme riskinin olduğu kısımlardır. Riskli alanlar içerisinde, zemin büyütmelerinin yüksek olmasının yanı sıra daha önce yapılan çalışmalarda sıvılaşma riskinin yüksek olduğu alanlar tespit edilmiştir. Zeminin sıvılaşmaya karşı direncini arttırmak amacıyla zemin iyileştirme tekniklerinden uygun olanların yapılması gerektiğini ortaya koymuştur.

Akyol ve diğeri (2002), Bursa ili ve çevresinde standart spektral oran, yatay–düşey spektral oran ve genelleştirilmiş dönüşüm oranı yöntemlerini kullanarak zemin büyütme katsayısını elde etmişler ve zemine etkilerini ortaya koymuşlardır. En büyük büyütmenin, alüvyon havzada yer alan bölgelerde, sert kaya üzerinde yer alan bölgelerden 4–5 kat daha yüksek olduğu gözlenmiştir.

Ergin ve diğeri (2004), Avcılar’ın, zemin davranışını incelemek için, 5 sismograf istasyonu ve 1 sert kaya üzerinde referans istasyonu yerleştirilmiştir. 0,3 ile 1,6 Hz aralığında her bölgede, zemin büyütmesi varlığını işaret eden, benzer zemin tepkilerinin elde edildiği gözlenmiştir.

Yalçinkaya (2005), BYTNET projesi kapsamında yerleştirilen 6 adet istasyonda 5 farklı deprem kaydı kullanarak, istasyonların yerleştirildiği yerel zemin koşullarının deprem dalgaları üzerindeki etkisini araştırmıştır. Hesaplama klasik spektral oran ve yatay/düşey spektral oran yöntemleri kullanılmıştır. Yumuşak zemindeki istasyonların, binaların hâkim titreşim periyotlarına yakın periyotlarda önemli büyütme gösterdiği gözlenmiştir.

Ulusay ve Aydan (2005), 2003 Bingöl depreminin ana karakteristiklerinin belirlenmesi ve jeoteknik açıdan değerlendirilmesi amacıyla yapılan çalışmada, zemin özelliklerinden kaynaklanan büyütmenin yapı hasarları üzerinde önemli etkileri olduğunu ortaya koymuştur.

Gençoğlu ve Ayhan (1974), İzmit’te 45 noktada mikrotremör ölçümü olarak zeminin dinamik parametrelerini belirlemişler ve zemin sınıflaması yapmışlardır. Ayrıca bölgenin hâkim periyot haritasını oluşturmuşlardır.

Mukhopadhyay ve Bormann (2003), Hindistan Yeni–Delhi de mikro bölgelendirme çalışması kapsamında, 75 noktada mikrotremör ölçümleri gerçekleştirmişlerdir, elde edilen sonuçları değerlendirmede ise referans noktası ve Nakamura tekniklerini kullanmışlardır.

Özgirgin (1994), İstanbul, Bursa ve İzmir’de, deprem hareketi–zemin ilişkisini belirlemek için SHAKE bilgisayar programı yardımıyla inceleme yapmıştır. Bu inceleme, yatay tabakalanmış zeminlerin yüzeylerindeki zemin büyütme miktarını bir boyutlu kayma dalgası yayılımının temel ifadelerini kullanarak göstermektedir.

Biringen (1998), 1992 Petrolia, Cape Mendocino deprem kaydını kullanarak inceleme yapmıştır. Killi zeminlerin zemin büyütme faktörü üzerindeki etkilerini

ortaya koymak amacıyla hesaplamalarda EDUSHAKE bilgisayar programını kullanmıştır. Analiz için Türkiye Deprem Yönetmeliğinde Z1, Z2, Z3 ve Z4 şeklinde tanımlanan yerel zemin sınıflaması kullanılarak, bu analiz sonucunda Z4 tipi yerel zemininin Z1 türü yerel zeminine göre daha yüksek büyütme gösterdiği gözlenmiştir.

Sarıca (2008) tarafından yapılan “Isparta İl Merkezi Mikro bölgeleme Analizi” adlı çalışmada Isparta İl merkezin hâkim titreşim periyodu ve büyütme faktörü hesaplanmıştır. Mikrotremör (titreşimcik) yöntemleri veri işlem sırasında uygulanan Nakamura (H/V Spektral Oran) tekniği hakkında detaylı bilgi verilmiştir. Veriler haritalara işlenmiş ve Isparta il merkezindeki riskli bölgeler saptanmıştır.

Tokgöz (2002), Bolu ve yakın çevresinde mikrotremör verileri ile yer etkisinin incelenmesi amacıyla yapmış olduğu çalışmada, deprem hasarları açısından riskli olabilecek bölgeler ve daha az riskli bölgeleri belirlemiştir. Bölgede zeminin hâkim periyodunun ve yerin büyütme katsayısının dağılımı belirlenmiş ve bölgelendirme çalışması yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar ile bölgenin sismik ve jeolojik yapısını yansıtan veriler uyum içerisindedir. Bu uyumluluk çalışılan bölgeye benzeyen diğer bölgeler için Nakamura yönteminin uygulanabilirliğini ve etkili sonuçlar elde edilebileceğini göstermektedir.

2. YAPI HASARLARINA NEDEN OLAN DEPREM PARAMETRELERİ

Bu bölümde yapı hasarlarına neden olan deprem, yapı ve parametreleri açıklanmıştır.

2.1 Deprem Parametreleri

Yer küre durağan ve sessiz değildir. Milisaniyeden günlere kadar değişen periyotlarda ve nanometrelerden metrelerce kadar değişen genliklerde devamlı olarak titreşmektedir. Bu titreşimlerin büyük çoğunluğu çok zayıf olup hissedilemezler; hatta özel olarak tasarlanmış ölçüm cihazları olmadan tespit de edilemezler. Depremlerin belirli bir lokasyondaki etkilerinin değerlendirilmesi, kuvvetli yer hareketinin nesnel, nicel yollardan tanımlanmasını gerektirir (Kramer, 1996).

Depremin mühendislik açısından genlik, frekans ve süre olmak üzere üç önemli parametresi vardır.

2.1.1 Genlik

Hareketle ilgili parametre ivme, hız ve yer değiştirmedir. Tipik olarak bunlardan sadece biri ölçülür; diğer ikisi de integral ve/veya türev alma yoluyla hesaplanır (Kramer, 1996). Depremlerin oluşumu sırasında gözlem istasyonlarında bulunan kuvvetli yer hareketi ölçerlerle ölçülen ivme değerleri incelendiğinde, deprem episantrına aynı uzaklıkta bulunan yerlerde farklı ivme değerlerinin gözlenmesi ve ivmenin uzaklığa bağlı olarak düzenli bir artma ya da azalma göstermediği daha önce yapılan birçok araştırmada belirtilmiştir. Yapı tasarım ve uygulamalarında deprem yüklerinin hesaplanması için ivme kayıtlarından mutlak ivme ve bağıl hız tepki spektrumları kullanılır, bu spektrumlardan zeminin baskın periyodu ve zemin büyütmesi bulunabilir. Deprem kaydının tüm bileşenlerine özgü mutlak ivme spektrumu, o kayıta özgü ivme değerine bölünerek boyutsuz ivme oranı bulunabilir. Yalnızca deprem odağına ait özelliklerin değil aynı zamanda bölgesel yer

koşullarının özelliklerini de dikkate alarak tasarım ve uygulamalar yapılmasıyla deprem zararları en aza indirilebilir (Filazi, 2008).

Genlik parametreleri pik ivme, pik hız, pik yer değiştirme, efektif ivme, devamlı maksimum ivme ve hızdır.

2.1.2 Frekans

Depremler, hareket bileşenleri geniş bir frekans aralığında dağılım gösteren karmaşık yükleme şartları üretir. Frekans içeriği, bir yer hareketi genliğinin değişik frekanslar arasında nasıl dağıldığını tanımlamaktadır. Bir deprem hareketinin frekans içeriğinin o hareketin etkilerine katkısı çok büyük olduğundan, hareketin özelliklerinin tanımlanması onun frekans içeriğini dikkate almadan tanımlanmış sayılmaz (Kramer, 1996).

2.1.3 Süre

Bir kuvvetli yer hareketinin süresi, bir fay boyunca biriken deformasyon enerjisinin yırtılma ile boşalması için gerekli olan zaman ile ilişkilidir. Fay yırtılmasının uzunluğu veya alanı büyürken, yırtılma için gereken zaman da uzar. Sonuçta, artan deprem büyüklüğü ile beraber kuvvetli hareketin süresi de uzar.

Ayraçlanmış süre; eşik ivmenin (genellikle 0,05g) ilk ve son olarak aşıldığı noktalar arasındaki zaman olarak tanımlanmıştır. Sürenin diğer bir tanımı (Trifunac ve Brady, 1975) toplam enerjinin %5'i ile %95'inin kaydedildiği noktalar arasındaki süre şeklinde yapılmıştır.

2.2 Zemin Parametreleri

2.2.1 Zemin etkileri

Sahanın yumuşak ve suya doygun kil çökel gibi yumuşak zeminden oluşması durumunda, pik yer ivmesi büyütülebilir ve daha uzun bir zemin titreşim periyodu gelişebilir. Bununla ilgili tipik örneklerden birisi 19 Eylül 1985 Michoacan (Meksika) depremidir. Bu deprem Mexico City'de büyük bir hasara yol açmıştır.

Mexico City'deki en büyük hasar, şehrin Lake Zone olarak bilinen kısmında 39–50 m kalınlığındaki yumuşak kil temele oturan binalarda meydana gelmiştir (Stone vd. 1987). Bunun nedeni, depremin dış merkezinin Mexico City'den oldukça uzakta olmasıdır. Mexico City'nin dağ eteklerinde denk gelen kısımlarında (kaya alanda) kaydedilen pik yer ivmesi 0.04 g'dir. Bununla birlikte, Lake Zone'daki pik yer ivmesi kaya alandakilerden yaklaşık 5 kat daha fazlaydı (Kramer, 1996). Ayrıca, tipik zemin periyotları da 1.9 ile 2.8 s arasında tahmin edilmiştir (Stone vd.1987). Zemin titreşiminin bu uzun periyodu 5 ile 20 kat arasında değişim gösteren yüksek binaların doğal titreşim periyodu ile çakışma eğilimi göstermiştir. Büyütülmüş pik yer ivmesi ve rezonans etkisi, yüksek binaların ya çökmesine ya da ağır hasarına neden olmuştur. Artan pik yer ivmesi ve daha uzun olan yüzey titreşim periyodunun bu durumunu açıklamak için, çoğunlukla bu yumuşak killerin salınımı ile bir tas jölenin salınımı arasında bir benzeşim yapılır.

Konu ile ilgili bir diğer çarpıcı örnek San Francisco Körfez bölgesinde 17 Ekim 1989 tarihinde meydana gelen Loma Prieta depremidir. Yerba Buena adasında ve Treasure adasında doğu–batı yönlü yer ivmeleri kaydedilmiştir (Seed vd.1990). İki sahada da Loma Prieta depreminin dış merkezine yaklaşık aynı uzaklıktadır. Bununla birlikte, Treasure adasındaki sismografin temeli 17m'lik San Francisco körfez çamuru (normal konsolide siltli kil) üzerinde bulunan 14m'lik gevşek kumlu zeminden oluşurken, Yerba Buena adasındaki sismograf ise doğrudan kaya mostrası üzerine yerleştirilmiştir. Treasure adasındaki doğu–batı yönündeki pik yer ivmesi San Francisco körfez bölgesindeki yapıların hasarına neden olan faktör de, yumuşak kilin pik yer ivmesi büyütmesidir. Bu iki örnekten de anlaşıldığı gibi, yerel yumuşak zemin şartları 3 ile 5 katlık faktörler ile pik yer ivmesini önemli bir biçimde arttırabilmektedir. Yumuşak zemin, uzun yapıların rezonansına yol açarak yer yüzeyi salınım periyodunu da arttırabilmektedir.

2.2.2 Yerel zemin koşullarının yer hareketi üzerindeki etkileri

Son yıllarda meydana gelen depremlerde oluşan hasarlar ve bu konuda yapılmakta olan araştırmalardan elde edilen sonuçlar, karşılıklı etkileşim içinde olan zemin koşullarının deprem özelliklerine etkisi ve zemin tabakalarındaki oturmaların, çok önemli olduğunu göstermiştir (Ansal ve Lav, 1995; Ansal ve Siyahi, 1995). Deprem riskinin yüksek olduğu bölgelerde detaylı sismolojik, jeolojik ve jeoteknik

incelemelerinin yapılması ve bu çalışmalardan elde edilen sonuçların değerlendirilerek, bölgede oluşabilecek depremlerin özelliklerini ve bu özelliklerin farklı jeolojik ve zemin koşullarında nasıl olacağını belirlenebilmesi için bir kuvvetli yer hareketi kayıt ağı oluşturulması önemlidir.

Yerel zemin koşulları kuvvetli yer hareketinin genlik, frekans içeriği ve süreden oluşan önemli özelliklerinin tamamını kuvvetli bir şekilde etkilemektedir. Bunların etki derecesi, yer altındaki birimlerin geometrisi ile malzeme özellikleri, sahanın topografyası ve girdi hareketin özelliklerine bağlıdır (Kramer, 2003). Belirli bir sahadaki depremin karakteristikleri fay mekanizması, depremin merkez üssünün uzaklığı, jeolojik yapı ve yerel zemin koşullarının bir fonksiyonudur. Zemin koşullarının en etkili parametreleri ana kaya üzerinde yer alan zemin tabakasının yüksekliği, zemin profilinin ve karakteristiklerinin derinlikle değişmesi, yanal jeolojik heterojenlik, yüzey ve gömülü topografyadır (Biringen, 2000).

Depremlerde yapıları etkileyecek deprem özellikleri önemli ölçüde yapıların buldukları bölgelerdeki zemin koşullarından etkilenir. Bu nedenle yapılarda oluşabilecek hasarları tahmin etmek için yapılan çalışmalarda zemin tabakalarının etkisinin belirlenmesi önemli bir aşamadır. Zemin kesitinde yer alan tabakalar kalınlıklarına, cinslerine ve özelliklerine bağlı olarak farklılıklar gösterir. Aynı şekilde zemin kesitinde yer alan farklı kalınlıklarda ve özelliklerdeki zemin tabakaları, bir noktadan bir noktaya da farklı olabilir. Bu nedenle depreme dayanıklı yapı tasarımında zemin hâkim periyotları ve zemin büyütmesi gibi dinamik davranış özelliklerinin bir noktadan bir noktaya nasıl değiştiği belirlenmelidir (Ansal, 1994).

Alüvyon derinliği, zemin titreşim periyodu ile doğrudan ilişkilidir. H derinliğindeki bir zemin tabakası boyunca düşey olarak ilerleyen kayma dalgası göz önüne alındığında zeminin yatay hâkim titreşim periyodu: $T_n = \frac{4H}{(2n-1)v_s}$ şeklindedir.

Burada, n titreşim modunu gösteren 1,2,3, ... gibi bir tamsayı ve V_s kayma dalga hızıdır. Bölgesel jeoloji ve topoğrafik şartlar deprem dalgalarının özelliklerini önemli derecede değiştirerek aynı sismik hareketlere maruz, birbirine yakın bölgelerde aynı tip yapılarda farklı derecelerde hasara neden olabilmektedir. Bunun yanı sıra deprem dalgaları zeminlerin davranış özelliklerinin değişmesine ve yine yakın mesafelerde farklı hasarların oluşmasına yol açabilir.

Son yıllarda yapılan araştırmalar zemin tabakasının üst 30 metresi içinde yer alan zemin özelliklerinin önemli olduğunu göstermektedir (Borcherdt, 1994). Önerilen yaklaşımlardan biri bu üst 30 metre için bir eş değer kayma dalgası hızı hesaplanması ve bu değer kullanılarak zemin büyütmelerinin gene literatürde değişik araştırmacılar tarafından verilmiş bağıntılar kullanılarak bulunmasıdır.

Zemin tabakalarının yapısı, yapıların deprem davranışında büyük bir etkiye sahiptir. Deprem esnasında, sismik dalgalar ana kayadan temele bunların arasında yer alan zeminlerin vasıtasıyla zeminin büyütme etkisiyle iletilir. Bu küçültme ya da büyütme etkisine neden olabilir. Bu, yapılaşmanın olmadığı noktada meydana gelecek boş alan hareketi ve yapı temelinde meydana gelecek hareket arasındaki farkın sonucu olan yapı–zemin etkileşimi nedeniyle yapının varlığıyla etkili olabilecek zemin büyütmesini gösterir (Özgirgin, 1997; Biringen, 2000; Tezcan ve diğerleri, 2002). Sismik dalgaların zemin tabakaları içinde geçirdiği değişimlerin tümüne "yerel zemin etkisi" adı verilir. Genellikle bu değişim genliklerin artması şeklinde gözlemlendiğinden yerel zemin etkisi terimi; zemin büyütmesi, zemin transfer fonksiyonu veya zemin tepkisi olarak da adlandırılır.

2.2.3 Sismik dalgaların yumuşak zemin tabakaları tarafından büyütülme nedenleri

Sismik dalgaların taşıdıkları enerjiyi, enerji akısı kavramı (Stein ve Wysession, 2003) ile açıklamak istersek; basit bir harmonik dalga için enerji akısı (E);

$E=A^2W^2\rho v/2$ bağıntısı ile tanımlanır.

Burada A; dalga genliği, w; açısal frekans, ; ρ ortamın yoğunluğu ve v; ortamın sismik dalga hızıdır. Sismik dalgaların ilerleyişlerini sert ana kayadan yumuşak zemin tabakalarına doğru yaptığını hatırlarsak, yeryüzüne doğru sismik dalga hızının ve bununla beraber ortam yoğunluğunun giderek azaldığını görürüz. Sismik dalga enerji akısının başka hiçbir nedenle değişmediğini ve dalga frekansının seyahat sırasında sabit olduğunu kabul edersek, enerjinin korunması ilkesine göre; azalan ortam dalga hızı (v) ve yoğunluğunun (ρ), artan genlik ile (A) karşılanması gerekir. Bu nedenle, sert ana kayadan yumuşak zemin tabakalarına geçen deprem dalgalarının genliği büyür. Bu tıpkı sahile yaklaşan deniz dalgalarının genliklerinin artması gibidir. Bu durum;

$$B = \frac{1}{(1/\alpha) + (\pi/2)\xi}$$
 bağıntısı ile tanımlanabilir (Roesset, 1977)

Burada B; maksimum büyütme, α ; empedans oranı, ξ ; sönüm oranı'dır. Bağıntıda görüleceği gibi sismik dalgaların yumuşak zemin tabakaları içinde ne kadar büyütüleceğini belirleyen iki parametre vardır: empedans oranı ve sönüm oranı.

Empedans oranı, yukarıda enerji akışı bağıntısında belirtilen ana kaya / yumuşak zemin tabakası geçişinde hız ve yoğunluğun ne kadar değiştiğini tanımlar.

$$\alpha = \frac{\rho_r v_r}{\rho_s v_s}$$

Burada ρ_r ve v_r ; ana kayanın yoğunluğu ve hızı ρ_s ve v_s ise zeminin yoğunluğu ve hızı gösterir. Empedans oranı ne kadar büyük olursa, sismik dalga genliği o oranda büyür.

Girişte de anlatıldığı gibi, sismik dalgalar yumuşak zemin tabakaları içinde sadece büyütülmezler, aynı zamanda sönümlenirler, yani genlikleri azalır. Elastik dalga enerjisinin bir kısmı ısıya dönüşür. Üstelik yumuşak zemin tabakalarının sert ana kayaya göre sismik dalgaları sönümlendirme özelliği daha fazladır.

Zeminlerin sönümlendirme özelliği, sönüm oranı (ξ) ile temsil edilir (Kramer, 1996);

$$\xi = \frac{\eta w}{2G}$$

Burada η ; zemin viskozitesi, w ; açısal frekans, G ; zemin kayma modülüdür. Enerji kaybını temsil eden sönüm oranı, farklı özellikteki zemin tabakaları için laboratuvar deneyleri ile belirlenmiştir. Kaya ortamlar için sönüm oranı %2 civarında iken, yumuşak zemin ortamlarda yaklaşık %5 alınabilir. Sönüm oranının daha yüksek olması, empedans oranının aksine, bu kez dalga genliklerini daha da azaltılacağı anlamını taşır.

Sismik dalga genlikleri üzerinde biri arttıran, diğeri azaltan bu iki etkinin büyütme değerine sonucunu bir örnekte inceleyelim. Binanızın bulunduğu yumuşak zeminin ρ_s ve v_s değerleri sırasıyla 1.8gr/cm³ ve 180 m/s, onun altındaki sert ana kayanın ρ_r ve v_r değerleri ise sırasıyla 2.2gr/cm³ ve 760 m/sn olsun. Bu durumda, empedans oranı (α) 5.16 olarak hesaplanır. Eğer sönüm oranını (ξ) sıfır kabul edersek, ana kayadan zemin tabakası içine geçen sismik dalga genliği en fazla yaklaşık 5 kat, yani empedans oranı kadar büyütülmüş olur.

Yumuşak zemin tabakasının sönüm oranını 0.05 alırsak, maksimum büyütme 3.67 olarak hesaplanır. Sonuçta, yumuşak zemin üzerindeki yapı, ana kaya üzerindeki yapıya göre 3.67 kat daha büyük genlikli bir dalga ile titreşim hareketini gerçekleştirmiş olur.

2.2.4 Zemin büyütmesi

Meydana gelen bir depremden sonra deprem odağından yayılan dalga karakteri sabit olarak kalmaz. Deprem odağına ait olan ve deprem dalgası yayılım ortamına ait olan özelliklerce deprem dalgası denetlenir. Depremin oluşum mekanizması, eğer faylanma varsa fayın durumu, atım miktarı, yönü, iç merkez derinliği, depremin süresi gibi depremin odağına ait parametrelerin yanı sıra bu oluşum koşullarına bağlı olarak deprem dalgalarının yayılım yönü boyunca yer alan ortamların jeofizik özellikleri de deprem dalgalarının etkiledikleri yerlerdeki karakteristik özelliklerini belirler. Deprem dalgaları iç merkezden belirli bir açı ile ayrıldıktan sonra ilerledikleri ortamlar boyunca, çeşitli tabakalı veya tabakasız yer oluşum biçimlerini geçerler. Bu yayınımları sırasında, sismik prensipler çerçevesinde kırılmalar ve yansımalar uğrayarak yeryüzüne ulaşırlar. Kırılmalar ve yansımalar genellikle karmaşık olur. Tabakalar arasındaki empedans farklılıkları, dalgaların geliş açıları ve diğer katman özellikleri ile kırılmalar ve yansımalar belirlenir. Genellikle sert birimlerden göreceli olarak daha yumuşak birimlere geçen dalgaların genlikleri büyür. Dolayısı ile ivme gibi özellikleri de büyür. Bu durum oluşan herhangi bir depremde gözlenebilir.

Genel bir kanı olarak, 0.2s den uzun periyotlarda zemin karakteri taşıyan yerler, sağlam kaya karakteri taşıyan yerlere göre 2–3 kat büyütme gösterirlerken 0.2s den kısa periyotlarda bu ilişki tersine dönmektedir. Episantra olan uzaklığın 50 km den fazla olduğu yerlerde yerel koşullar depremin ivmesine büyük ölçüde etki etmektedir. Yatay yer ivmesi, sert ana kayalarda en az, alüvyonlarda yüksek ve daha gevsek çamur benzeri yapılarda daha yüksek değerler olarak etkilenmektedir (Aki, 1993).

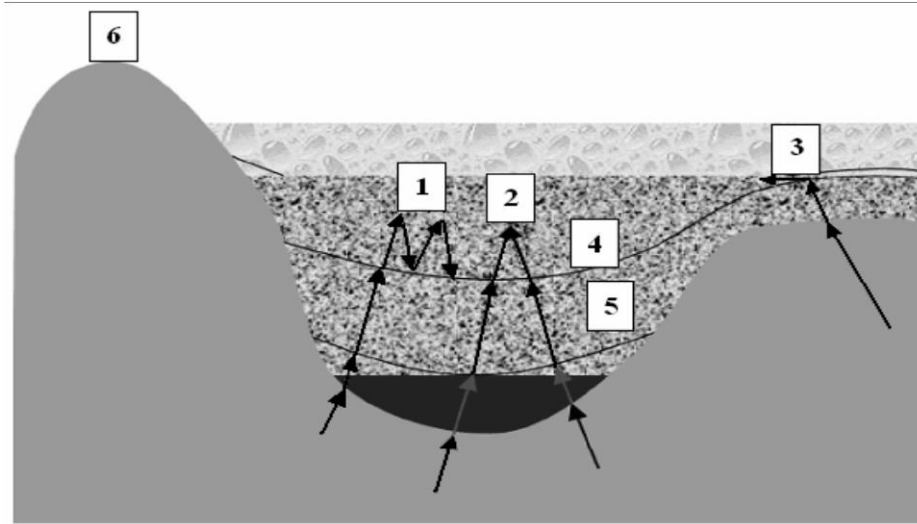
Dinamik zemin özelliklerinin yerinde belirlenmesinde sismik arazi deneylerinden yaygın olarak faydalanılır. Özellikle arazi çalışmaları sonucu elde edilen sismik veriler ve jeoteknik mühendisliğinde zeminlerin önemli bir özelliğini temsil eden kayma dalgası hızı kullanılarak zemin tabakalanması ve zemin cinsleri, gerilme–şekil

değiştirme davranışını belirleyen dinamik kayma modülü, sıvılaşma potansiyelinin belirlenmesi, zemin hâkim periyodu, ana kaya deprem ivmesinin yüzeye taşınması ve zemin büyütmesi gibi zeminlerin önemli mühendislik özellikleri bulunabilir. Ancak sismik arazi deneylerinin maliyetlerinin oldukça yüksek olduğu ve uygulanabilmeleri için kalifiye deney elemanlarına ihtiyaç duyulduğu bilinmektedir.

2.2.5 Zemin büyütmesini etkileyen faktörler

Teorik olarak, zemin büyütme ifadesi, yeryüzüne yakın yumuşak zemin tabakalarının içinden geçen sismik dalgaların genliklerindeki artışı ifade etmektedir. Bu artış, yüzeye yakın zemin tabakalarının düşük empedansından kaynaklanır. Empedans, ($Z = \rho \cdot Vs$) zemin kütle yoğunluğu ve dalga yayılma hızına bağlı bir değerdir (Beliceli, 2006).

Pratikte zemin büyütme ifadesi, farklılıkların empedans değişimlerinden kaynaklanıp kaynaklanmadığına bakılmaksızın birbirine yakın iki zemin arasındaki yer hareketindeki farklılıkları tanımlamak için kullanılır. Dalga odağı, kırılma doğrultusu, havza geometrisi ve topoğrafya (Şekil 2.1) birbirine yakın iki zemininin yer hareketinde farklılıklar oluşturabilecek diğer faktörlerdir (Beliceli, 2006).



Şekil 2.1: Zemin büyütmesini etkileyen faktörler: 1) Empedans değişimlerinden kaynaklanan rezonans, 2) Yüzey altı topografyasından kaynaklanan odaklanma, 3) Yüzey dalgalarına dönüşen cisim dalgaları, 4) Suiçeriği, 5) Zemin ortamının düzensizliği, 6) Yüzey topografyası (Şafak, 2001).

Jeoteknik risklere karşı sismik bölgelendirme çalışmaları yapan bir grup bilim adamı (The Technical Comitee for Earthquake Geotechnical Eng., TC4, 1993), bir zemin tabakasının yüzey kesimlerinde elde edilen kayma dalgası hızının, söz konusu zeminin büyütme seviyelerinin belirlenmesi açısından oldukça önemli bir zemin özelliği olduğunu belirtmiştir.

Shima (1978), yüzeyde ölçülen kayma dalgası hızı ile ana kayada ölçülen kayma dalgası hızı oranına bağlı olarak büyütme faktörünün analitik olarak hesaplanabileceğini göstermiştir. Buna göre ana kayadaki kayma dalgası hız değerinin sabit olduğu bölge üzerinde büyütmeye neden olan etkinin yüzeydeki kayma dalgası hızından kaynaklandığını belirtmiştir.

Midorikawa (1987), Borcherdt vd. (1991); tarafından yapılan araştırmalarda yer hareketi esnasında ortaya çıkan kayma dalgası hızının gözlenmesi ve analizi sonucunda, açığa çıkan bu hızın ortalama değerinin, yüzeyde belirli derinlikte yer alan zeminlerde meydana gelen büyütme seviyeleri üzerinde önemli bir etkisi olduğunu belirtmişlerdir.

2.2.5.1 Empedans oranı ve rezonans etkisi

Empedans, tanecik hareketine karşın ortam direncinin bir ölçümü olarak düşünülebilir. Bir zemin tabakası içinde yayılan düşey S dalgası için empedans (Z), yoğunluk (ρ) ve S dalga hızının (V_s) çarpımıdır (Beliceli, 2006).

$$Z = \rho \cdot V_s$$

Genellikle yeryüzüne yakın birimlerin derinlerdeki birimlere göre dalga hızları ve yoğunlukları daha küçüktür. Eğer saçılmalar ve sönüm nedeni ile oluşan kayıplar ihmal edilirse, enerjinin korunması ilkesine göre elastik dalga enerjisinin yeryüzüne kadar sabit kalması gerekir. Sismik enerji akısını $E(t)$;

$$E(t) = \frac{1}{2} (\rho \cdot V_s) u(t)$$

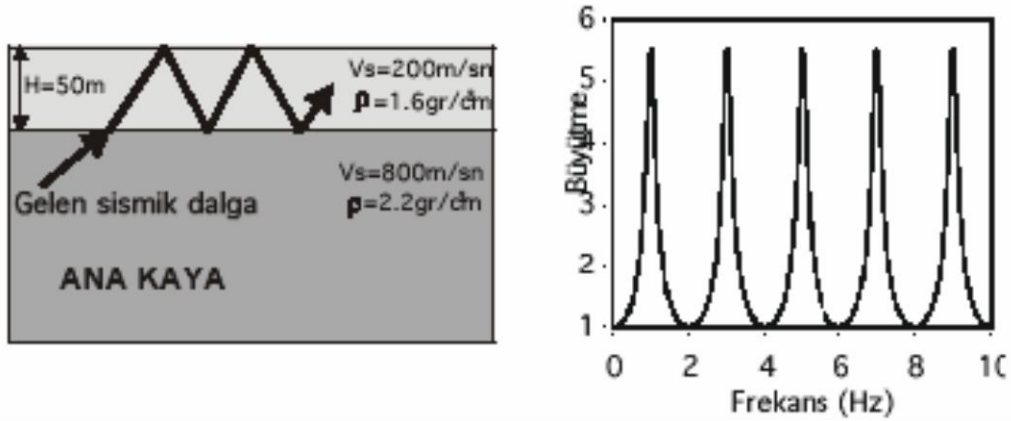
Formülü ile gösterirsek, dalgalar yeryüzüne yaklaşırken ortam yoğunluğunun (ρ) ve dalga hızının (V_s) azalması, yani empedansın küçülmesi nedeni ile enerjinin korunması için tanecik hızının $u(t)$ artması gerekir.

Ana kaya ve zemin arasındaki sismik empedans farkı, sismik dalgaların zemin tabakaları içinde kapanmasına neden olur. Yatay olarak tabakalanma bir boyutlu,

yani fiziksel özelliklerin tek yönde değiştiği zemin modelinde bu kapanma sadece zemin tabakası içinde yukarı aşağı giden cisim dalgalarını etkiler. Zemin modeli 2 veya 3 boyutlu olup yanal süreksizlikleri içeriyorsa kapanma aynı zamanda bu süreksizliklerde oluşan yüzey dalgalarını da etkiler. Kapanan bu dalgalar arasındaki girişimler en yüksek rezonans değerlerinin oluşmasına yol açar. Maksimum rezonans frekansı, ana kaya üzerindeki zemin tabakasının kalınlığı ve S dalga hızıyla, yapı iki veya üç boyutlu ise genişliğiyle de ilişkilidir. Bir boyutlu tek tabaka modeli için (Şekil 2.2) temel rezonans frekansı ve harmonikleri sırasıyla izleyen bağıntılar da verilmiştir (Beliceli, 2006).

$$f_0 = V_s / 4H(\text{temel frekans})$$

$$f_s = (2n+1) f_0(n=1,2,3,\dots) (\text{harmonikler})$$



Şekil 2.2: Yatay tek tabaka durumunda dalga yansımalarının gösterimi (solda) ve bu parametreler kullanılarak düşey yayılan S dalgası için elde edilen büyütme fonksiyonu grafiği.

V_s , tabakanın S-dalga hızı, H ise ana kaya üzerindeki tabakanın kalınlığıdır. Zemin hâkim periyodu $T_0 = 1/f_0$ olarak tanımlanır. Temel frekansın değeri 0.2Hz ile 10Hz veya daha yüksek değerler arasında değişir.

Rezonansın genliği, asıl olarak zemin tabakası ve ana kaya arasındaki sismik empedans farkına ve zemin tabakasının sönümleme özelliğine, ikinci derecede ise gelen dalga alanının özelliklerine (dalga tipi, geliş açısı, yakın veya uzak alan oluşu) ve üç boyutlu yapılar için yapının geometrisine bağlıdır.

İki ortam arasındaki geçiş ne kadar sert olursa büyütme değeri o kadar yüksek olur. Ayrıca, zemin tabakası hızı azaldıkça zemin hâkim frekansı daha yüksek frekanslara

doğru kayar. Zemin tabakası kalınlığı arttıkça veya zemin tabakası hızı azaldıkça zemin hâkim periyodu büyür.

Bu sonuç, kalın alüvyonlar üzerine yüksek katlı, sığ zemin tabakaları üzerine ise düşük katlı yapılar yapılmamalıdır anlamına gelmez, yapılması gereken mümkün olduğunca rezonans olayından kaçıdır. Bunun için zemin hâkim periyodu değiştirilemeyeceğine göre yapı hâkim periyodunun zemin hâkim periyodundan uzak tutulması gerekir (Beliceli, 2006).

2.2.5.2 Zemin büyütme fonksiyonu

Gelen deprem dalgaları hiçbir zaman tek bir harmonikten oluşmaz, genelde hasar yapıcı özelliğe sahip dalga grubu 0.1Hz ile 10Hz arasında bileşenlere sahiptir. Deprem dalgalarının frekans içeriği kaynaktaki kırılmanın özellikleri belirler, daha sonra yayıldıkları ortamın özellikleri bunu şekillendirir. Yumuşak zemin tabakaları, bu farklı genlik ve frekanslardan oluşan deprem dalgalarının tümüne aynı tepkiyi vermez. Yani; büyütme frekans bağımlıdır, bazı frekanslar daha çok, bazı frekanslar ise daha az büyütülür. En fazla büyütmenin ne olacağına, yukarıda açıkladığımız empedans oranı ve sönüm oranı karar verirken, bunun hangi frekanslı dalgada olacağına yumuşak zemin tabakasının kalınlığı ve sismik dalga hızı karar verir:

$$f_0 = \frac{v_s}{4H} \text{ ya da } t_0 = \frac{4H}{v_s}$$

Bağıntıda f_0 ve t_0 ; maksimum büyütmenin görüleceği frekans ve periyot, H ; sert ana kaya üzerinde yer alan yumuşak zemin tabakasının kalınlığı ve v_s ; zemin tabakasının sismik dalga hızıdır. Maksimum büyütmenin görüldüğu periyot; t_0 , genellikle zemin hâkim periyodu (veya frekansı) olarak adlandırılır. Yukarıda verdiğimiz örnekte yumuşak zemin tabakasının kalınlığını (H) 30 m kabul edersek, zemin hâkim periyodunu yaklaşık 0.7s (ya da $f_0 = 1.5$ Hz) buluruz. Yumuşak zemin tabakası, ana kayadan gelen sismik dalgalardan 0.7s periyotlu olan dalga için oldukça büyük önem arz eder ve onun genliğini en fazla, yani 3.67 kat büyütür. Maksimum büyütmenin görüldüğu ilk hâkim frekans, yani f_0 , aynı zamanda rezonans frekansı olarak ta adlandırılır (Yalçınkaya, 2005).

Rezonans olayı, etkileşim halindeki iki farklı titreşimin frekanslarının çakışması durumudur. Bu durumda titreşimin genliği en büyük değerine ulaşır. Bu durum istenmeyen bir durumdur. Kısacası zemin ve üzerindeki yapının bu durumdan uzak

durması gerekir. Yani, hâkim frekanslarının çakışmaması, böylece bir deprem sırasında rezonansın neden olacağı aşırı kuvvetlerden uzak kalması gerekir. Anlaşılacağı üzere zeminlerin olduğu gibi, üzerindeki yapıların da bir hâkim periyodu (veya frekansı) vardır. Yapıların hâkim periyodunu, inşa edildiği malzemelerin özellikleri ve yapının boyutları belirler. Kaba bir hesapla kat sayısı $n/10$ şeklinde bulunabilir. Yani 7 katlı bir bina için; bina hâkim periyodu; $7 / 10 = 0.7s$ 'dir (Yalçınkaya, 2005).

3.KULLANILAN YÖNTEMLER

3.1 Mikrotremör

Deprem titreşimleri altında hâkim periyodu belirlemek için kullanılan yöntem mikrotremör kayıtlarının değerlendirilmesidir. Mikrotremörler rüzgâr, dalga, küçük şiddetli yer sarsıntıları gibi doğal etkiler ve başta trafik olmak üzere insanların yaşam sürecinde neden oldukları hareketlilikten kaynaklanan kültürel gürültü olarak tanımlanan çok küçük titreşimlerdir.

Mikrotremör ölçüm sonuçlarından elde edilen hâkim titreşim periyodu ile zemin özellikleri arasında bir ilişki kurulduğunda; hâkim titreşim periyodu büyük olan zeminlerin daha gevşek ve/veya yumuşak, hâkim titreşim periyodu küçük olan zeminlerin ise daha sıkı yapıdadır.

Zemin titreşim özellikleri ve parametrelerini ortaya çıkarmak amacıyla yapılan bu çalışmada, zemin etüdü sonucu belirlenen zemin özelliklerine ek olarak titreşim özelliklerinin de saptanması amaçlanmıştır.

Depremler ve sismik patlamalar dışında, doğal ve doğal olmayan nedenlerle oluşan, periyotları birkaç dakikayı aşmayan, yeryüzünün titreşim hareketlerine genel olarak mikrosesim (çok küçük yer sarsıntıları) denir (Sarıca, 2008).

1s'den küçük periyoda sahip salınımlar mikrotremör, 1s'den büyük periyoda sahip salınımlar ise mikrosesim olarak adlandırılmaktadır (Taga ve Kagami,1993). Mikrotremörlerin genlikleri 0.1 mikron ile 1 mikron, periyotları ise 0.05 saniye ve 2 saniye arasında değişir (Kanai ve Tanaka 1954; 1961). Mikrotremör, farklı kaynaklardan yayılan yeryüzündeki sürekli titreşimlerdir. Bu mikro sarsıntıların kaynağı da çeşitlilik gösterir. Yerkürenin belli bir ekseninde dönmesi, gelgit etkisi, jeotermal aktiviteler, yeraltındaki sismik aktiviteler, atmosfer etkileri, rüzgâr ve kültürel gürültüler (trafik, endüstriyel aktiviteler ve diğer bazı insan kaynaklı etkiler) bütün bu etkenler yeryüzünde titreşim olarak algılanabilir (Kanai ve Tanaka 1954; 1961).

Bu küçük titreşimler kayıtçılarla kayıt edildiğinden yerin hangi periyotlarla salındığı hakkında fikir sahibi olmamızı sağlar. Yerin hangi periyotlarla salındığı ve hangi hâkim periyotlarla salındığı bize o yerin bir deprem sırasında hangi periyotlarla salınacağı konusunda fikir verir.

Hâkim titreşim periyodu; temel tasarım sırasında yapının kaç katlı olması gerektiğini belirlemede kullanılır. Hâkim titreşim periyodu ile aynı periyotta bir bina yapacak olursak binada rezonans gerçekleşir. Mikrotremör bize zarar görmeyecek binanın yapılması konusunda bilgi verecektir.

Mikrotremör çalışmaları, sismoloji bilimi ile paralel olarak 1900'lü yılların başından beri özellikle Japonya'da yapılmaktadır. 1960 yılından sonra sismolojideki öneminden dolayı gelişmiştir (Alçık vd.1995). Mikrotremör çalışmaları ile yerin dinamik özelliklerinin incelenmesine Kanai ve arkadaşları öncülük etmişlerdir.

Japonya'da birçok noktada yapılmış mikrotremör ölçümleri sonucunda, titreşimciklerin depreme dayanıklı bina inşa edilmesinde, sismik faktörlerin saptanabilmesi amacıyla kullanılabileceği ortaya konulmuştur (Kanai ve diğ. 1954, 1957, 1961, 1965). Genel olarak rüzgâr, okyanus dalgaları ve kültürel gürültüler gibi yüzeysel kaynakların yüzey dalgaları ürettikleri, buna karşı derin kaynaklı ve küçük magnitüdü yer hareketlerinin neden olduğu titreşimlerin ise düşey yönlü cisim dalgaları olarak yayıldıkları benimsenir. Kısacası günümüze kadar mikrotremörlerin yüzey dalgaları mı, yoksa cisim dalgaları mı olduğu konusunda çeşitli araştırmacılarca ayrı görüşler ileri sürülmüştür. Bunlar;

Akamatsu (1956, 1958), Mikrotremörlerin, Rayleigh ve Love dalgalarının birleşiminden oluşmuş yüzey dalgaları olduğunu ortaya koymuşlardır.

Kubetoro ve Otsuka (1970), Aso Caldera alanında 1s ile 3 s arasındaki periyot dağılımı gösteren mikrotremörleri gözlemişler ve bu dalgaların Love dalgaları olduğunu ve baskın periyotlarının zemin tabakasının kalınlığı ile doğrudan ilişkili olduğunu belirtmişlerdir.

Aki (1957), yapmış olduğu çalışmada mikrotremörlerin yüzey dalgaları olduğunu belirlemiş ve yatay hareketleri Love dalgaları olarak ortaya koymuştur.

Kanai; Mikrotremörlerin zemin içinde S dalgalarının tekrarlamalı yansımaların sonucu olduğunu belirtmiştir.

Wilson (1953), 4 ile 100 Hz frekans aralığındaki mikrotremör kayıtlarını incelemiş ve üç bileşenli sismometre kullanarak yaptığı ölçümler sonucunda oluşan parçacık hareketinin Rayleigh dalgasına benzer olduğu 9 Hz den yüksek olan mikrotremörlerin cisim dalgaları, 9 Hz e yakın olanların ise yüzey dalgaları olduğunu ortaya koymuştur.

Nakamura ise; mikrotremörlerin Rayleigh dalga türü ile ilişkili olduğu görüşündedir.

3.1.1 Mikrotremör verilerinin kullanım amaçları

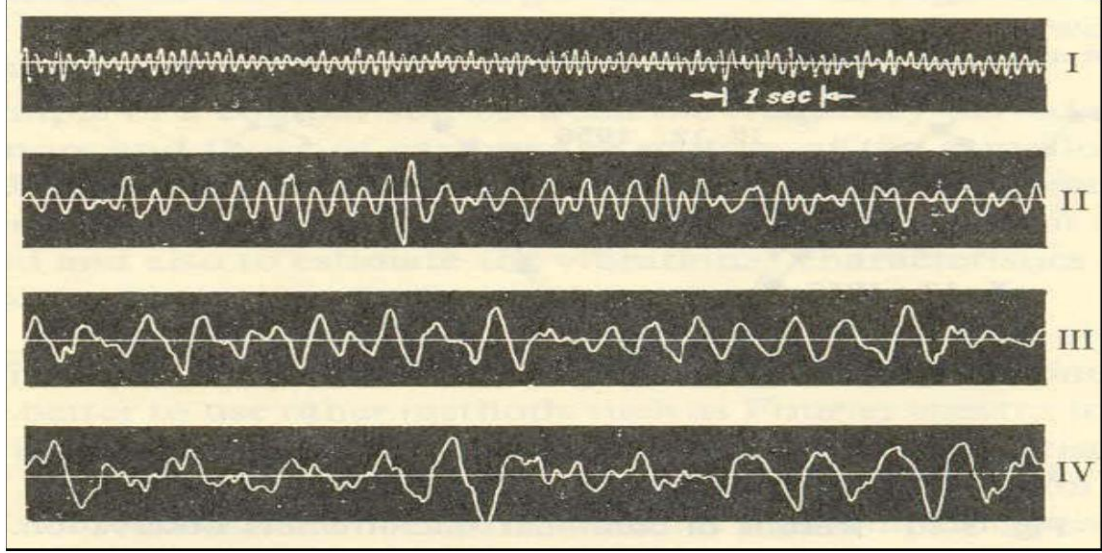
Yer hareketlerinin çok küçük genlikli doğal salınımları incelenerek zeminin baskın salınım periyotları saptanabilir ve bu şekilde zeminin davranış özellikleri belirlenebilir. Bu durumda zeminin bu doğal titreşimlerinden yararlanılarak elde edilecek parametrelere göre bölgesel olarak zemin sınıflamaları yapılabilir. Bu görüşü ilk savunan ve uygulamasını yapan zemini dört ana gruba ayırarak bu sınıflamanın Japon bina yönetmeliğinde kullanılmasını sağlayan araştırmacılar Kanai ve arkadaşları olmuştur (Kanai, 1961).

Mikrotremör verilerinden ve kuvvetli yer hareketi verilerinden elde edilen genlik spektrumlarına bakıldığı zaman spektrumların benzerlik gösterdiği görülür. Deprem kayıtlarına ve mikrotremör kayıtlarına bakıldığında görülen farklılık ise genellikle genlik değerlerinde gözlenirken, baskın frekansların çok fazla farklılık göstermediği görülmektedir (Kanai ve Tanaka, 1965).

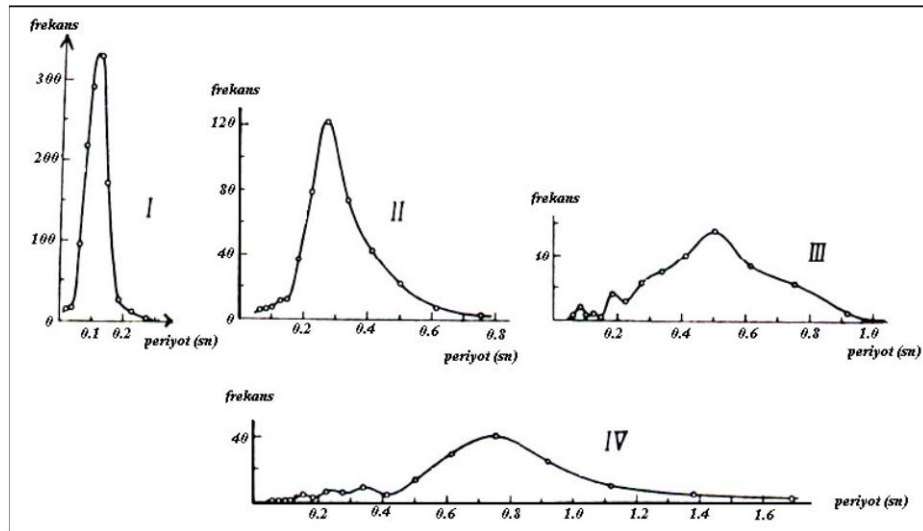
3.1.2 Mikrotremörlerin periyot dağılımları

Kanai ve Tanaka (1961), yaptıkları çalışmalarda yer yapısının basit ve tek tabakalı olduğu durumlarda mikrotremör verilerinin spektrumunda, 0.1s ile 0.6s arasında keskin bir şekilde doruk (pik, tepe) oluşumu görüldüğünü açıklamışlardır. Diğer yandan yer yapısı karmaşık olduğunda birden fazla doruk görülebilmektedir. Bu değerler 0.2s den kısa ve 1s den uzun periyotlarda (I) gözlenmektedir. Örtü tabakasının olmadığı ya da çok az olduğu yerlerde, örneğin dağlık bir bölgede mikrotremörlerin periyotları 0.1s – 0.2s arasında doruklar (II) vermektedir. Akarsu kaynaklı yerlerde ise 0.2s – 0.4s pikler gözlenmektedir. Alüvyonal yerlerde ise Kanai (1961), Japonya'da 0.4s – 0.8s civarında (III) düzgün dağılımı olmayan birden fazla pik içeren spektrumlar gözlemiştir.

Genellikle kalın ve yumuşak örtü tabakalı yerlerde eğri düz bir şekil alırken 0.05s–0.1s'den 1s– 2s kadar (IV) bir dağılım göstermektedir (Şekil 3.1–3.2). Tabakalı ortamlarda periyot dağılım eğrileri çoğunlukla bu ortamın en üst tabakasının özelliklerinden etkilenmektedirler (Kanai ve Tanaka, 1961).



Şekil 3.1: Farklı tipteki yerlerde alınmış tipik mikrotremör kayıtları (Kanai, 1983).



Şekil 3.2: Çeşitli zeminler için örnek frekans ve periyot dağılım eğrileri (Kanai 1961)

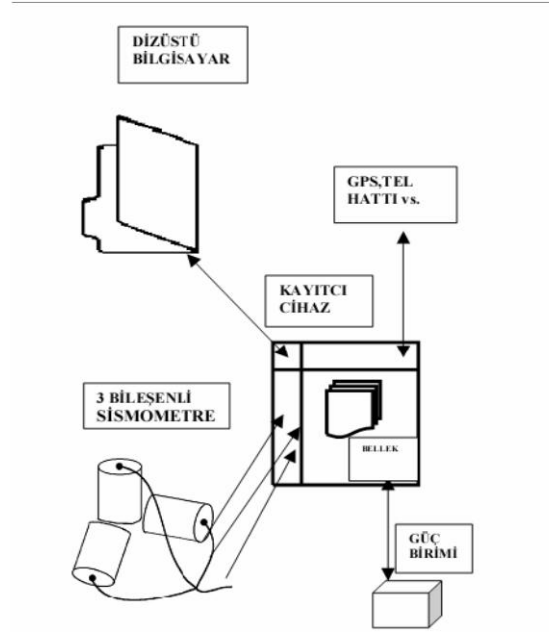
3.1.3 Mikrotremör ölçümlerinde kullanılan cihazlar ve genel özellikleri

Titreşimcikler özel titreşim ölçerler (sismometre) yardımıyla, hız, ivme veya yer değiştirme türünden kaydedilebilirler. Arazide ölçü alınırken temel olarak bir kayıt aleti, kayıt aletinin yapısına bağlı olarak bir dizüstü bilgisayar, sismometre sistemi, güç birimi ve bunlara bağlı yan birimler gerekmektedir (Şekil 3.3).

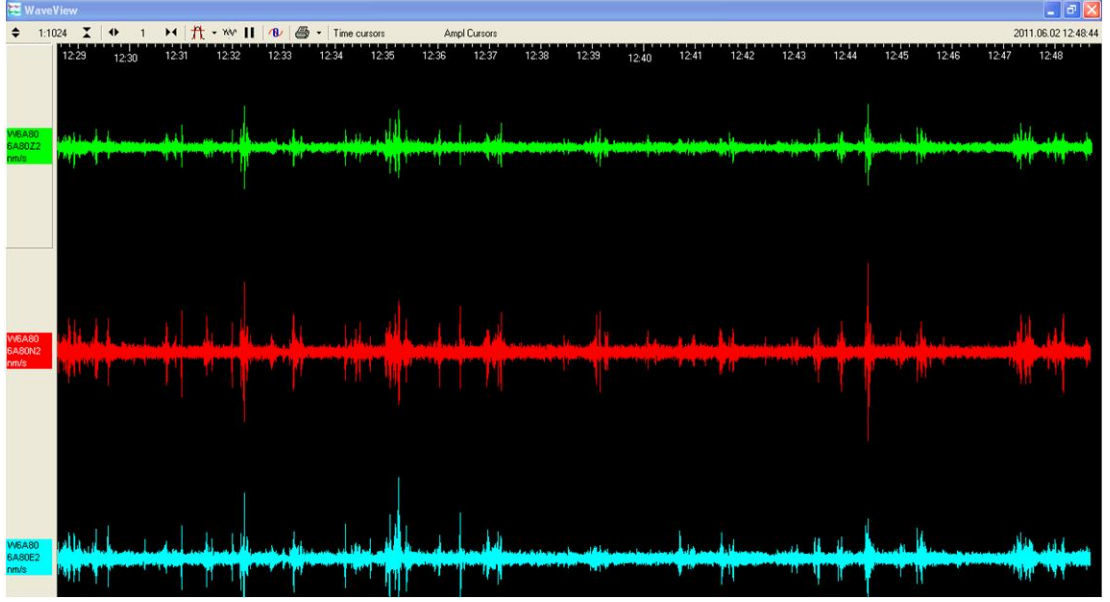
Titreşimciklerin genliklerinin küçük olması nedeniyle büyütmesi oldukça fazla olan sismometrelerle kaydetmek mümkündür. Sismometreler üç bileşenli (Şekil 3.4) kayıt alır;

- 1) Doğu–Batı,
- 2) Kuzey–Güney,
- 3) Düşey

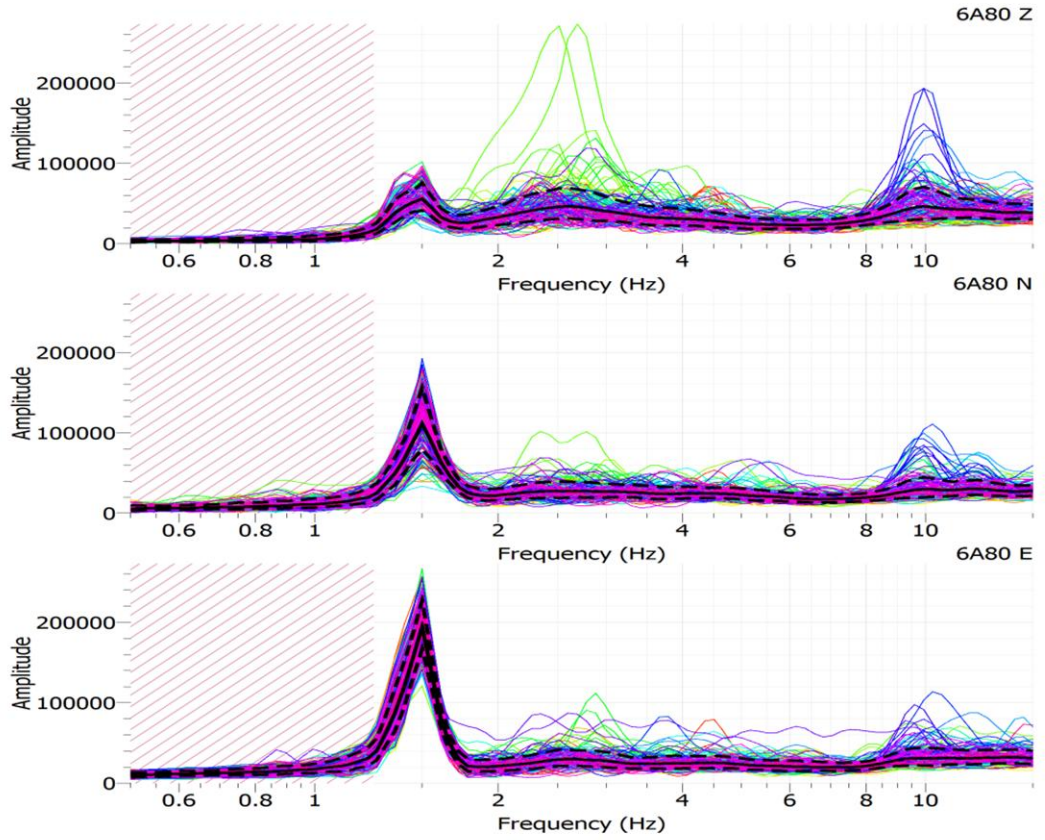
Kayıtlar sayısal olarak elde edilir, bu sayede verilerin bilgisayara aktarılması ve değerlendirilmesi kolay olur.



Şekil 3.3: Mikrotremör kayıtlarının alınmasında kullanılan temel birim.



Şekil 3.4: Üç bileşenli mikrotremör kaydının bilgisayar görüntüsü.



Şekil 3.5: Geopsy programı yardımı ile elde edilen üç bileşenli frekans grafiği.

3.1.4 Mikrotremör verilerinin değerlendirilmesinde kullanılan yöntemler

Mikrotremör kayıtların çözümlemesinde, ağırlıklı olarak spektral çözümleme yöntemleri kullanılmaktadır. Bilindiği üzere spektral çözümleme sonucunda, yer içinde ilerleyen bir dalganın çözümlemesi yapılarak bileşenleri üzerinde bilgi almak üzerine kuruludur. Buna bağlı olarak, gelen dalganın yer içinde geçtiği ortamların etkisi belirlenebilmekte ve zemin koşulları hakkında bilgi edinilebilmektedir.

Mikrotremör verilerinin analizinde yaygın olarak üç yöntem kullanılmaktadır. Bunlar;

- 1) Fourier genliklerinin ya da güç spektrumlarının yorumlanması
- 2) Referans noktasına göre spektral oran hesaplanması
- 3) Yatay bileşenin düşey bileşene spektral oranı (Nakamura) yöntemleridir.

Bu yöntemlerdeki ortak varsayım; yer etkisinin elastik, yarı sonsuz bir ortam üzerinde uzanan tek ve yumuşak tabakadan kaynaklandığı tek boyutlu yer modelidir (Tokgöz, 2002). Lermove Garcia (1994), bu üç yöntemi de uygulayarak bölgesel yer etkileri çalışmalarında en uygun yaklaşımı veren yöntemi araştırmış ve Nakamura yönteminin en iyi sonucu verdiğini belirtmişlerdir.

Nakamura (1989), mikrotremörleri, yarı uzay üzerinde uzanan tek tabakalı bir ortamda yayılan Rayleigh dalgaları yaklaşımı ile açıklamıştır. Araştırmacı, yüzeydeki hareketin yatay ve düşey doğrultulardaki bileşenlerine ait genlik spektrumları ve yüzey tabakasının tabanındaki hareketin yatay ve düşey doğrultudaki bileşenlerine ait genlik spektrumları olmak üzere, Fourier frekans bölgesinde dört adet genlik spektrumu tanımlamaktadır.

Nakamura (1989); mikrotremörlerin derinden değil, yüzeyden ve yüzeye yakın yersel, sismometreye yakın noktalardan gelen titreşimler olduğu, düşey yöndeki hareketlerin yatay tabaka tarafından büyütülmediği ve tabandaki harekete yüzeydeki bölgesel titreşimlerin etkisinin olmadığı varsayımlarını yapmış aşağıdaki eşitliğin kullanılarak Nakamura (H/V) spektrumunun (spektral oran, SO) hesaplanmasını önermiştir.

$$SO = \frac{[KG^2(w) + DB^2(w)]^{0.5}}{UD^2(w)}$$

Burada;

SO: Nakamura (H/V) spektrumu

KG(w) : K–G yönünde alınan kayıta en büyük genlik

DB(w) : D–B yönünde alınan kayıta en büyük genlik

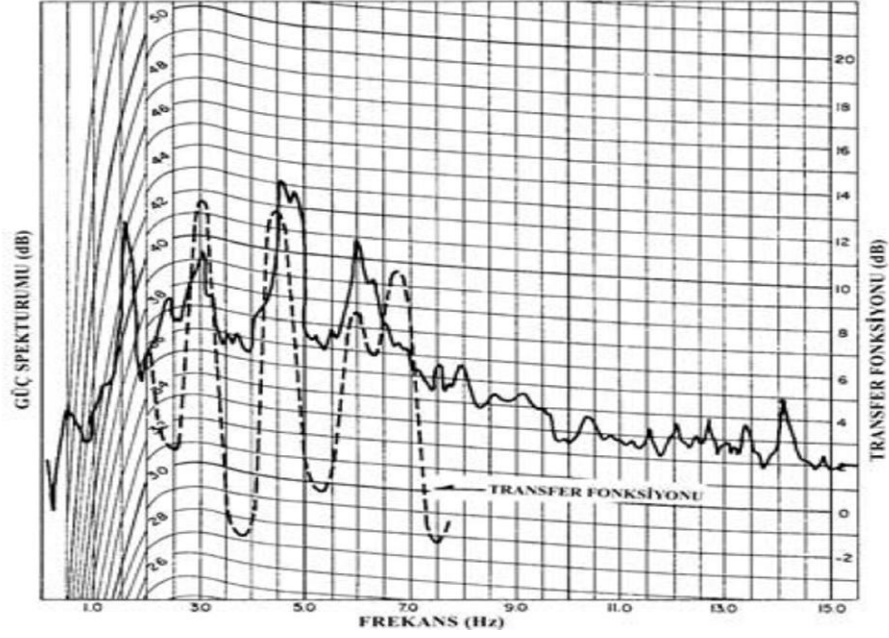
UD(w) : Aşağı–yukarı yönünde alınan kayıta en büyük genlik

Yapılan çalışmada Nakamura çözümü yöntemi kullanılmıştır. Alınan kayıtların değerlendirilmesi geopsy programı ile yapılmıştır.

1) Fourier genlik ya da güç spektrumlarının yorumlanması

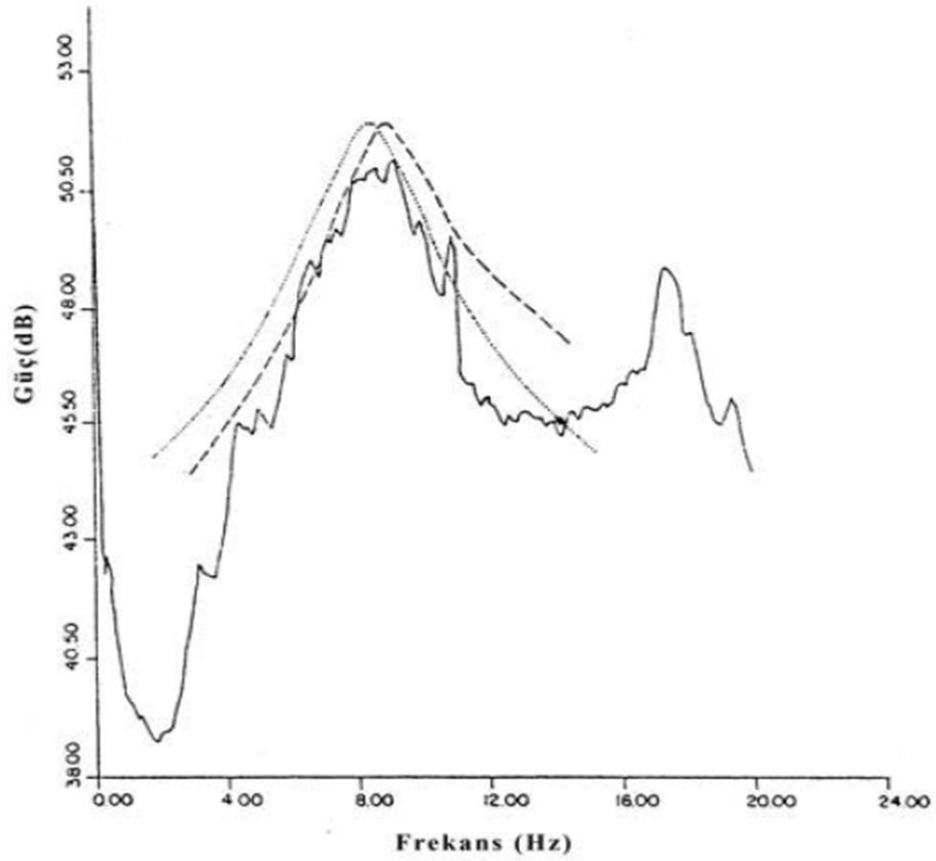
Fourier genlik ya da güç spektrumlarının yorumlanması Fourier dönüşümü sonucu elde edilen genlik spektrumları, çözümlemesi yapılan dalganın bileşenlerinin frekans içeriği ve dalganın hangi bileşeninin genliğinin büyük olduğunu gösterir. En büyük genliği veren frekans, incelenen dalganın baskın frekansı olarak belirlenir. Güç spektrumu genlik spektrumunun karesi olduğundan 1'den büyük genlikler büyütülürken, 1'den küçük genlikler küçültülmüş olacaktır. Bu sayede büyük genlikler daha belirgin hale gelecektir, en büyük genlik yine baskın frekansı temsil edecektir.

Katz (1976), Utah'ta yapmış olduğu çalışmada, uzun süreli (>45 dk) mikrotremör ölçümleri kullanarak güç spektrumlarını incelemiştir. Güç spektrumlarından belirlediği pikler ile Haskell Thomson modeli kullanarak belirlediği transfer fonksiyonlarından belirlenen pikleri karşılaştırmış ve aralarında oldukça iyi bir uyum olduğunu belirlemiştir.



Şekil 3.6: Mikrotremör güç spektrumları (düz çizgi) ile transfer fonksiyonunun (kesikli çizgi) karşılaştırılması (Katz, 1976).

Katz ve Bellon (1978), Beatty (Nevada) Bölgesi'nde mikro bölgelendirme çalışması için mikrotremör yönteminin kullanılıp kullanılmayacağını araştırmışlardır. Çalışma alanında önceden yapılmış olan sondaj çalışmaları sayesinde zemine ait parametreler bilinmektedir. Ayrıca bölgede sık sık nükleer denemeler yapıldığından bölgeye ait çok kuvvetli yer hareketi kayıtları mevcuttur. Bu veriler sayesinde, mikrotremörlerin güç spektrumları ile kuvvetli yer hareketlerine ait spektrumlar ayrıca teorik modeller yardımı ile hesaplanan transfer fonksiyonu sonuçları karşılaştırılmıştır. Tüm bu spektrumların benzer olarak elde edilmesi sonucunda, mikro bölgeleme çalışması için mikrotremörlerin kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.



Şekil 3.7: Mikrotremörlerin güç spektrumu (düz çizgi), kuvvetli yer hareketi güç spektrumu (kesikli çizgi), matematik model ile hesaplanan transfer fonksiyonu (noktalı çizgi) (Katz ve Bellon, 1978).

2) Referans Noktasına Göre Spektral Oranlar Yöntemi

Kuvvetli ya da zayıf zemin hareketi değerlendirme çalışmalarında, ortak pencere tanımı yapılabilecek türden çalışmalarda, referans istasyonundan ve veri alınan diğeri istasyonlarda, referans noktasına göre spektral oranlar yöntemi sıkça kullanılmaktadır. Bu yöntemde S dalgalarının etkin olduğu kısımlar genellikle pencereleme işlemi ile çıkarılır ve Fourier Genlik spektrumları alınır. İstasyondan alınan verilerden hesaplanan spektrum oranlanarak referans istasyonu ile istasyon arasındaki transfer fonksiyonu hesaplanmış olur. Bu yöntemde karşılaşılan en önemli sorun referans istasyon ile veri alınan diğeri istasyonlar arasında ortak zaman pencereleri tanımlamaktır (Filazi, 2008).

Bu yöntem kullanılırken yapılan ana kabul, tüm istasyonlar için dalga yayılma yolu ve kaynak özelliklerinin aynı olduğudur. Uzun periyotlu mikrotremörlerde dalga yayılma yolu ve kaynak özellikleri aynı kabul edilmektedir ancak kısa periyotlu

mikrotremörler genellikle kültürel gürültüler olduklarından dalga yayılım yolu ve kaynak özelliklerini aynı kabul etmek olanaksızdır. Bu sebepten büyütme düzeyi doğru olarak belirlenemese de zemin baskın periyodu doğru olarak belirlenebilmektedir.

3) Nakamura Yöntemi

Bu yöntemde esas alınan temel, yatay spektrumların düşey spektrumlara oranlanmasıyla bölgesel yer etkilerinin hesaplanabilmesidir. Bu fikir Nakamura tarafından 1989 yılında açıklanmıştır. Bu yöntem ile 3 bileşenli titreşim kayıtları kullanılarak zeminin özellikleri belirlenebilmektedir.

Yöntem mikrotremörleri, sonsuz ortamda üzerine uzanan tek tabakada yayılan Rayleigh dalgaları yaklaşımı ile açıklamaya çalışmıştır. Fourier frekans bölgesinde dört adet genlik spektrumu tanımlanmaktadır. Bunlar, yüzeydeki hareketin yatay ve düşey doğrultudaki bileşenlerine ait genlik spektrumları ve üstteki yüzey tabakasının tabanındaki hareketin yatay ve düşey doğrultudaki bileşenlerine ait genlik spektrumlarıdır.

Nakamura mikrotremörlerin derinden değil, yüzeyden ve yüzeye yakın yersel, sismometreye yakın noktalardan gelen titreşimlerden (trafik, şehir gürültüleri vb.) oluştuğunu varsaymakta ve derinden kaynaklanan katkıları ihmal etmektedir (Filazi, 2008).

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

Yüzey jeolojisinden kaynaklanan zemin etkileri yüzeyin yumuşak kısmındaki deprem kayıtlarının yatay bileşenleri ile temel kayanın yüzeydeki yatay bileşeni arasındaki spektral oran olarak kabul edilir.

$$SR=HS/HB$$

SR: Spektral oran

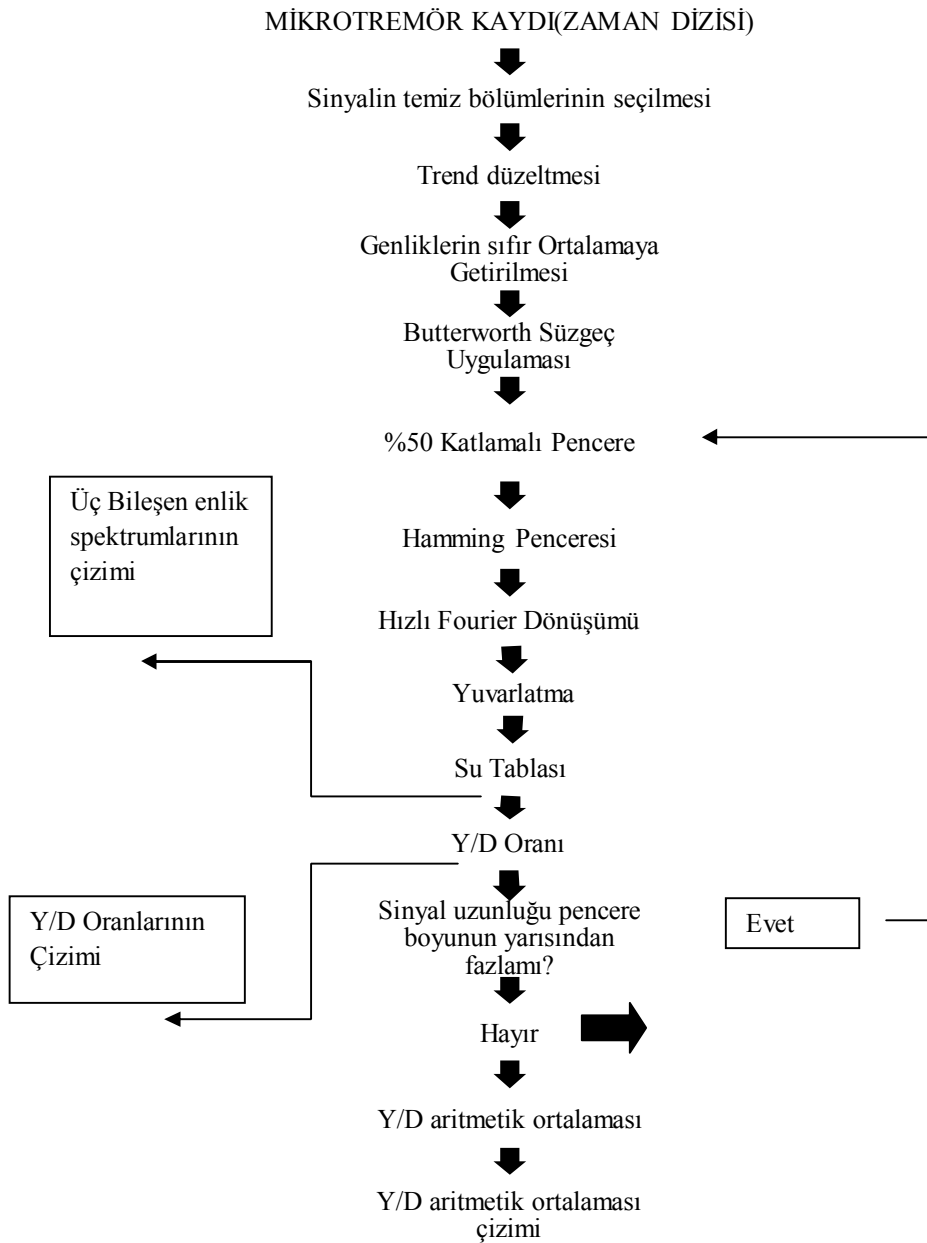
HS: Yumuşak zeminde deprem kayıtlarının yatay bileşeni

HB: Temel Kayanın yüzeydeki yatay bileşeni

H/V mikrotremör analiz yönteminde, mikrotremörlerin yatay ve düşey bileşeni tek bir istasyonda ölçülmüştür. Önceki mikrotremör analizlerinin tersine, bu yöntem referans ölçülerine ihtiyaç göstermez. H/V spektrum çizimleri, yatay ve düşey bileşenlerin Fourier spektrumlarının oranını alarak elde edilmektedir.

$$\text{H/V spektrum} = \frac{\text{Düsey Bileşenin Fourier Spektrumu (Hs)}}{\text{Yatay Bileşenin Fourier Spektrumu (Hv)}}$$

Elde edilen mikrotremör kayıtlarının Nakamura yöntemi ile değerlendirilmesi aşamaları aşağıda gösterilmiştir (Şekil3.8).



Şekil 3.8: Nakamura yöntemi ile değerlendirme ait veri çözümlemesi akış şeması.

3.1.5 Hâkim titreşim periyodunun hesaplanması

- 1) Mikrotremör ölçümlerinde iki yatay ve bir düşey bileşen ölçülür.
- 2) Zaman ortamında alınan her bir bileşenin verisi fourier dönüşümü ile frekans ortamına aktarılır.
- 3) Yatay bileşenlerin bileşkesi alınır. ($B=X^2+Y^2$)
- 4) Yatay bileşkenin düşey bileşene oranı hesaplanır ve H/V grafiği elde edilir.
- 5) Grafiğin doruk noktasının düşey değeri büyütme oranı yatay değeri zemin hâkim periyodu olarak kullanılır.

Nakamura tekniği kullanılarak yapılan çalışmalarla yumuşak zeminin baskın frekansının güvenli bir şekilde hesaplandığı ispatlanmıştır. Özellikle deşim farkının belirgin olduğu durumlarda, Y/D oranı ile baskın frekansın belirlenmesi, genlik spektrumu ya da referans noktasına göre spektral oran ile belirlenmesinden daha kolaydır.

Uygulamalı sonuçlar Y/D oranına ait grafiğin gelen S dalgasına ait olan yer büyütmesi grafiğinden farklı olduğu görülmüş ve bu nedenle büyütmenin bulunması konusunda güvence vermediği düşünülmektedir (Bard, 1998).

Bu yöntemi kullanmak için çeşitli varsayımlar yapmak gerekir;

- Titreşimcikler özellikle temel kaya çevresinde yüzeylenen yumuşak zeminden yayılan Rayleigh dalgalarından oluşur.
- Rayleigh dalgaları gürültü olarak kabul edilir ve tabaka tabanından değil yüzeydeki düşey spektrumdan kaynaklanır.
- Rayleigh dalgalarının mikrotremör hareketi üzerinde düşey ve yatay bileşene etkisi eşittir.
- Mikrotremör hareketinin düşey bileşeni yumuşak zemin tarafından büyütülmez.
- Yatay ve düşey bileşen arasında spektral oran arka planda yumuşak zeminden kaynaklanarak Rayleigh dalgası etkisi gürültü olarak kaydedildiğinde bu etkilenme gerekmektedir.

3.1.6 Hâkim titreşim periyodu–rezonans ilişkisi

Deprem oluşumu sırasında, hasar olasılığını artıran olumsuz durumların rezonans durumları olduğu, yapı ile zemin tabakalarının hâkim periyotlarının çakışması ya da birbirine yakın olmasının sonucu, yapıların etkisi altında kaldığı yatay yüklerin önemli ölçüde büyüdüğü ve buna paralel olarak hasarın arttığı bilinmektedir.

Tabakalı zeminlerde, gelen dalga enerjisinin bir kısmı birinci ortamda yansımakta, bir kısmı ikinci ortama iletilmektedir. Yansıyan dalga, elastik yarı sonsuz üst yüzeyine ulaştığı zaman, katı ortam ile boşluk kesişme yüzeyine çarpmakta ve tamamen geri yansımaktadır. Zemin boşluk, su ve havadan oluşur. Kohezyonsuz zeminlerde sıvılaşıma ve büyütme, kohezyonlu zeminlerde aşırı deformasyon ve göçmeler olur (Kanai, 1983). $T = \sum \frac{4H}{v_s}$ periyoduna sahip dalgalar, yüzey tabakaları için en tehlikeli dalgalar olduğunu ortaya koymuştur. Yumuşak zeminde, sert zemine göre genliklerin en az iki kat büyük olduğu görülmektedir. Yüzeysel tabakalarda zorlanmış titreşimler halinde $T = \frac{4H}{v_s}$ geçerlidir. $L = \frac{4H}{(2n+1)}$ $n=0,1,2,3...$ gibi dalga boyuna sahip dalgalar tabaka ile rezonansa girer veya senkronize olur. Sert zeminlerde yalnız zemin hâkim periyoduna yakın değerlerde büyük ivmeler görülür. Yumuşak zeminlerde ise ivmeler sert zeminlerdeki kadar büyük değildir fakat geniş bir periyot alanını kaplar (Beliceli, 2006).

Deprem dalgası zemin yüzeyinde dalganın periyodunun $4H/V_s$ değerine eşit olmasıyla aşırı şekilde büyümektedir. $4H/V_s$ formülü, yüzey tabakasının doğal periyodunu gösterir, zemin hâkim periyodu da denir. Yapının periyodu, zeminin periyoduna yaklaştıkça ($T = T_0$) yükseltgenme büyür ve rezonans oluşur (T , yapı periyodu; T_0 , zemin hâkim periyodudur). Sönüm artarsa hasar azalır. Hasarın oluşmasında en büyük pay yer ivmesi ile periyot, frekans ve deprem süresine bağlıdır. İvme değeri büyük, yüksek frekanslı ve çok kısa sürede gerçekleşen bir deprem için hasar oluşumu azımsanacak boyuttadır. Buna karşılık düşük ivmeli bir deprem, frekans ve deprem süresine bağlı olarak büyük hasarlara neden olabilir. Zeminin doğal hâkim titreşim periyodu ile zemin cinsi arasındaki ilişki aşağıdaki tabloda gösterilmiştir (Tablo 3.1). Hâkim titreşim periyodu büyüdükçe zeminin daha yumuşak zemin sınıfına doğru gittiğini bu tablodan da görebiliriz

Zeminin doğrusal davranışında üniform elastik bir zeminde, farklı deprem etkilerinde tabakalar elastik olduğundan büyütme faktörleri yer hareketinin genliğine bağlı

olmayıp sadece frekans içeriğinden etkilenecektir. En büyük değişimin depremin hâkim periyodunda meydana geldiği kabul edilirse, depremin frekans içeriği kısa periyotlara kayarsa, hâkim periyotdaki büyütme azalacaktır. En büyük büyütme, daha yüksek doğal periyotlardan birinde meydana gelir. Depremde düşük titreşimlerde zemin davranışı elastiktir. Büyütme faktörü, periyot, kayma dalgası hızı, rijit tabaka derinliğine bağlıdır (Beliceli, 2006).

Deprem dalgasının genliği arttıkça zemin doğrusal olmayan davranış gösterecektir. Zayıf yer hareketlerinde düşük şiddette elastik zemin davranışı, kuvvetli yer hareketlerinde ise lineer olmayan zemin davranışları doğar. Zeminin kayma modülünde meydana gelen azalmaya bağlı olarak periyotlar büyüyecek, sönüm oranları artacak, zemin hâkim periyodunda meydana gelecek değişmeye göre pik davranışta azalma olacaktır. Kuvvetli zemin titreşimlerinde, büyütme zayıf yer hareketlerinin sebep olduğu büyütme değerinin 2–3 kat fazlası olmaktadır.

Deprem hareketinin tekrarlı yüklemeleri, zeminde boşluk suyu basınçlarının yükselmesine neden olur. Bundan dolayı konsolide killerde, kayma mukavemetlerinde azalma oluşur, neticede taşıma gücü düşer. Boşluk suyu basınçlarının artması suya doygun siltli kumlu zemin tabakalarında daha çok etkili olmaktadır (Beliceli, 2006).

Tablo 3.1: Zemin sınıflandırması ve zemin hâkim periyodu (Türkiye deprem şartnamesi (1975)).

Zemin Cinsi	Tanımlama	T ₀ (sn)	Ort. T ₀ (sn)
1	Masif volkanik ve derinlik kayaçları, ayrışmamış sağlam metamorfik kayaçlar, çok sert çimentolu tortul kayaçlar	0.20	0.25
	Çok sıkı kum, çakıl	0.25	
	Çok sert kil	0.30	
2	Tüf ve aglomera gibi gevsek magmatik kayaçlar, süreksizlik düzlemleri bulunan ayrışmış çimentolu kayaçlar	0.35	0.42
	Sıkı kum, çakıl	0.40	
	Sert kil	0.50	
3	Yumuşak süreksizlik düzlemleri bulunan, çok ayrışmış metamorfik kayaçlar ve çimentolu tortul kayaçlar	0.55	0.60
	Orta sıkılıkta kum, çakıl	0.60	
	Katı kil, siltli kil	0.65	
4	Yeraltı su seviyesinin yüksek olduğu yumuşak ve kalın alüvyon tabakları, bataklık tipi veya çamur diplideniz doldurulması ile oluşan zeminler ve dolgu tabakaları	0.70	0.80
	Gevsek kum	0.80	
	Yumuşak kil, siltli kil	0.90	

N katlı bir bina için bina hâkim periyodunu $T=N/10$ bağıntısından hesaplırsak bina yüksekliği veya kat adedi arttıka bina hâkim periyodunun arttığını görüyoruz (Tablo 3.2). Arıoğlu ve diğerleri (2000) kat sayısı–hâkim periyot ilişkisini $N \leq 6$ için $T=0.3 \pm 0.05N$ ve $N > 6$ için $T=N / 10$ bağıntılılarıyla tanımlamışlardır (Beliceli, 2006).

Tablo 3.2: N katlı bir bina için bina hâkim periyodu.

N (Kat Sayısı)	T (sn)
1	0.35
2	0.4
3	0.45
4	0.5
5	0.55
6	0.6
7	0.7
8	0.8
9	0.9
10	1

Örneğin; zemin hâkim periyodu 1 s olan bölgede, en büyük risk altındaki yapılar %20'lik sapmayla 0.8s –1.2s hâkim periyoda veya kaba bir hesapla ($T=N/10$)8–10 kata sahip yapılardır. Bunun tam tersini de sığ zemin tabakaları üzerinde yer alan düşük katlı binalar için söylemek mümkündür. Çünkü bu durumda, hem zemin hem de üzerindeki yapı küçük titreşim periyotlarına sahip olacak ve bunun sonucunda deprem sırasında rezonans etkisi oluşabilecektir. Ancak bu sonuç kalın alüvyonlar üzerine yüksek katlı, sığ zemin tabakaları üzerine düşük katlı yapılar yapılmamalıdır anlamı taşımaz. Yapılması gereken mümkün olduğunca rezonans olayından kaçmaktır (Beliceli, 2006).

Binaların hâkim periyotları yukarıda basit bağıntıyla hesapladığımız gibi sadece yüksekliklerine ya da kat sayılarına bağlı değildir. Aynı zamanda bina türüne (betonarme, kerpiç, vs.), kullanılan malzemelerin özelliklerine ve yapının boyutları gibi birçok özelliğe bağlıdır (Beliceli, 2006).

3.1.7 Zemin büyütmesinin belirlenmesi

Jeoteknik incelemelerde zemin özelliklerinin yerinde belirlenmesi amacıyla standart penetrasyon deneyi yaygın olarak kullanılmakta, zeminlerin dinamik özelliklerinin belirlenmesinde ise arazide yapılan sismik ölçümlerden yararlanılmaktadır. Laboratuvar ve diğer arazi deney yöntemleriyle karşılaştırıldığında önemli üstünlüklere sahip olan sismik yöntemler, zeminlerin elastik davranış sergiledikleri düşük deformasyon genliklerinde üretilen sismik dalga hızlarının belirlenmesini

içermektedir (İyisan, 1996). Dalgaların yayılma hızları doğrudan ortamın fiziksel özelliklerine bağlı olduğundan, sismik yöntemler zemin hakkında önemli bilgiler vermekte ve makaslama modülü gibi zemin davranışıyla ilgili özellikler yine dalga hızlarından elde edilmektedir (Stokoeet ve diğerleri,1999). Yüzeeye yakın zeminlerin makaslama dalgası hızı (V_s), deprem mühendisliğinde zeminin önemli özelliklerinden biri olarak kabul edilmektedir. Zeminin dinamik özelliklerinin belirlenmesi, mikro bölgeleme, sıvılaşma potansiyelinin tahmini vb. gibi birçok hesaplamada makaslama dalgası hızı bir girdi parametresi olarak kullanılmaktadır. Bunların yanı sıra, makaslama dalgası hızı ile arazi ve laboratuvar deneylerinden elde edilen zemin özellikleri arasında iyi bir ilişki bulunmaktadır (Iwasaki ve diğerleri, 1978; Tokimatsu ve diğerleri, 1991). Sismik yöntemin uygulanamadığı, yani makaslama dalgası hızının arazide doğrudan ölçülemediği durumlarda, dinamik özelliklerin tahmin edilebilmesi amacıyla standart penetrasyon ve konik penetrasyon deney sonuçları ile sismik ölçüm verileri arasında ilişkilerin belirlenmesi ilgi çekici bir araştırma ve uygulama konusu olmuştur.

Standart penetrasyon ve konik penetrasyon deney sonuçları olmadan kayma dalgası hızı V_s yardımıyla hesaplama yapabileceğimiz eşitlikler ve bulunan büyütme oranlarıyla jeolojik birim arasındaki ilişki (Tablo 3.3 ve 3.4) aşağıda gösterilmiştir.

Tablo 3.3: Zemin büyütme katsayısının hesaplanmasında yararlanılan eşitlikler.

Araştırmacılar	Eşitlikler
Joyner & Fumal (1984)	$A = 23V_2^{-0.45}$
Borcherdt vd. (1991)	AHSA = 700/ V_1 (zayıf hareket için) = 600/ V_1 (kuvvetli hareket için)
Midorikawa (1987)	$A = 68V_1^{-0.6}$ ($V_1 < 1100$ m/s) = 1.0 ($V_1 > 1100$ m/s)

A: Zemindeki en büyük hız için bağıl büyütme faktörü

AHSA: 0.4 ~ 2.0 s periyot aralığında ortalama yatay spektral büyütme

V_1 : 30 m derinlik içersindeki ortalama kayma dalgası hızı (m/s)

V_2 : Bir saniye periyotlu dalga için $1/4$ dalga boyu derinliğe kadar ortalama kayma dalgası hızı (m/s)

Tablo 3.4: Çeşitli jeolojik birimlere göre Borchardt & Gibbs (1976), Shima (1978) ve Midorikawa (1987) tarafından verilen bağıl büyütme katsayıları.

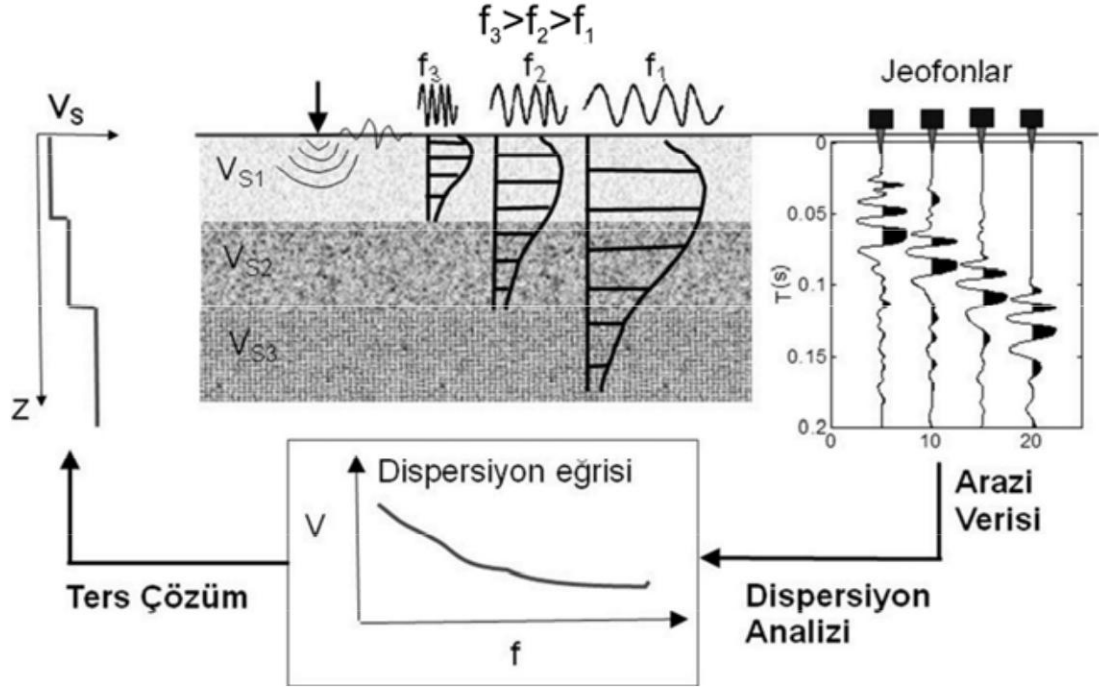
Araştırmacı	Jeolojik Birim	Bağıl Büyütme Faktörü
Midorikawa (1987)	Halosen	3.0
	Pleistosen	2.1
	Volkanik kaya	1.6
	Miyosen	1.5
	Tersiyer Öncesi	1.0
Shima (1978)	Turba	1.6
	Humuslu zemin	1.4
	Kil	1.3
	Kum	0.9
Borchardt & Gibbs (1976)	Körfez Çamuru	11.2
	Alüvyon	3.9
	Granit	1.0

3.2 Aktif Kaynaklı Çok-Kanallı Yüzey Dalgası (MASW)

MASW (Aktif Kaynaklı Çok-Kanallı Yüzey Dalgası Yöntemi) ölçümlerinin amacı ilk 30 metre için ortalama yüzey dalgası hızı (V_{S30}) hesaplamaktır.

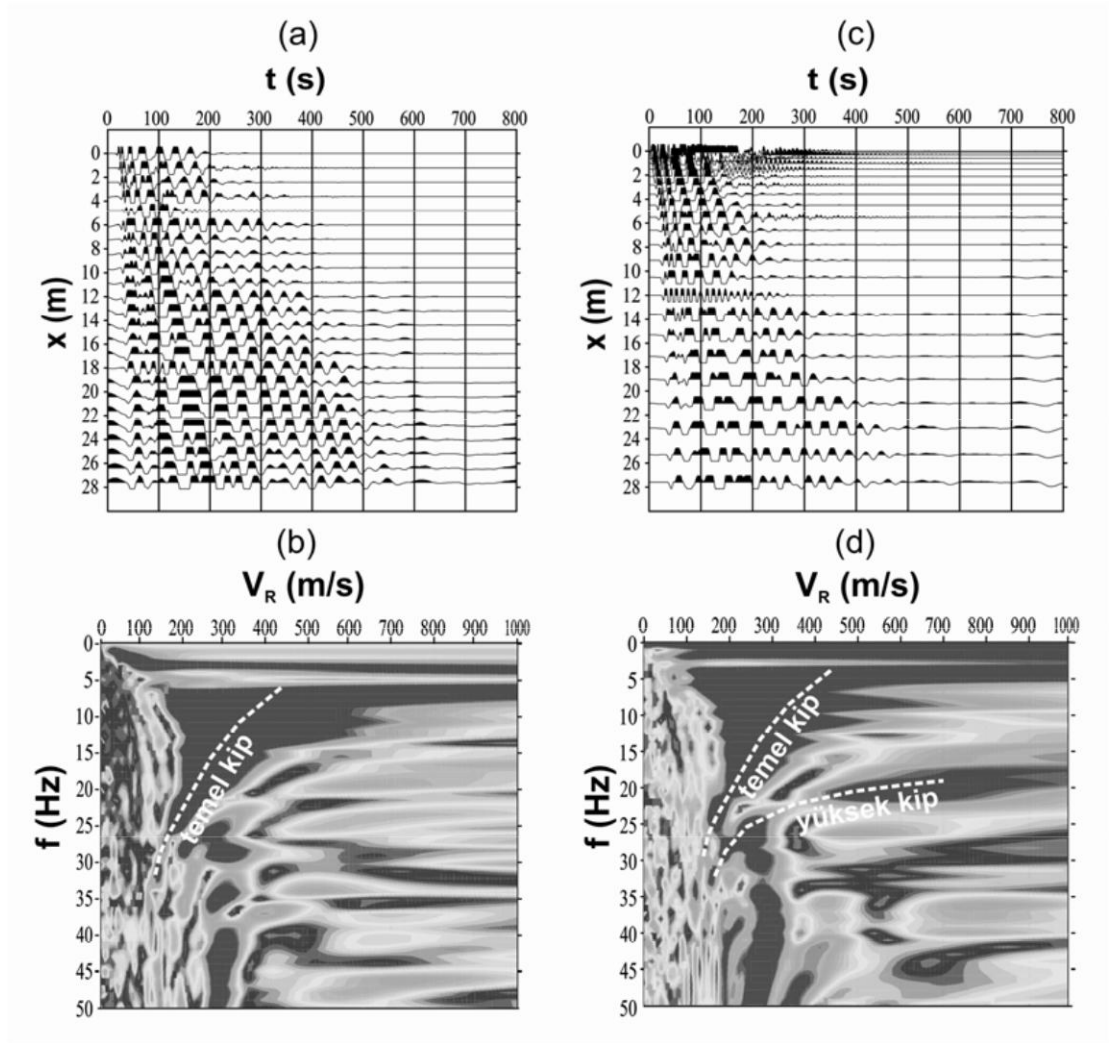
MASW yönteminde kullanılan temel işlem adımları Şekil 3.9'da gösterilmiş olup MASW çalışmaları 3 temel aşamada gerçekleştirilir. Bu aşamalar;

- 1) Veri toplama
- 2) Dispersiyon eğrisinin elde edilmesi
- 3) Ters çözüm işlemiyle V_s dağılımının belirlenmesidir.



Şekil 3.9: MASW yönteminde temel işlem adımları.

Veri toplamada kullanılan arazi düzeni ve ölçü alımı, sismik kırılma yöntemiyle benzerlik gösterir. Kullanılan serim uzunluğu, kayıt edilebilecek en büyük dalga boyu ile ilişkili olduğundan araştırma derinliğini belirler. Jeofon aralığı, kayıt edilebilecek en küçük dalga boyu ile ilişkilidir. Bu nedenle, jeofon aralığı doğrudan sığ araştırma derinliğinin çözünürlüğünü etkileyen bir değişkendir. Uygulamada yaygın olarak, doğrusal dizilim ve eşit jeofon aralığı kullanılır. Bununla birlikte, jeofonlar arası mesafenin eşit alınmaması ve jeofonların artan mesafeyle dizilmesi, dispersiyon görüntüsü çözünürlüğünü artırır. Şekil 3.10a’ da sabit jeofon aralıklı bir dizilimde elde edilen MASW kaydı, Şekil 3.9’ da ise Şekil 3.10a kaydından hesaplanan dispersiyon görüntüsü verilmiştir. Benzer şekilde, Şekil 3.10c’ de artan jeofon aralıklarıyla elde edilen MASW kaydı ile Şekil 3.10d’ de Şekil 3.10c’ deki kayıttan hesaplanan dispersiyon görüntüsü verilmiştir. Şekil 3.10b ve Şekil 3.10d’ de verilen dispersiyon görüntüleri karşılaştırıldığında, artan jeofon aralıklarıyla elde edilen MASW kaydına ilişkin dispersiyon görüntüsünde temel kip yanında yüksek kip seçilebilmektedir.



Şekil 3.10: Jeofon aralıkları farklı iki MASW kaydı ve dispersiyon görüntüsü:
 (a) sabit jeofon aralığı, (b) dispersiyon görüntüsü, (c) artan jeofon aralığı, (d) dispersiyon görüntüsü.

3.2.1 Aktif kaynaklı çok-kanallı yüzey dalgası yöntemi (MASW) ölçüm araçları ve özellikleri

MASW yönteminde kaynak olarak balyoz, çekiç, patlatma veya ağırlık düşürme gibi geçici enerji üreten kaynaklar kullanılır. Bu tür kaynaklar, hızlı veri toplama sağlarken, frekans içeriğinin çoğu durumda zayıf olmasından dolayı sınırlı çalışma olanağı sağlar. Belirli frekans aralığında harmonik dalga üretici kaynaklar geçici kaynaklara göre özellikle düşük frekanslarda daha iyi enerji oluşturur. Veri toplamada, genel olarak 1–2 ms örnekleme aralığı kullanılarak 1s süresince veri toplanması, V_s değişiminin belirlenmesi için yeterlidir.

1.Sismik kaynaklar

- 1) Balyoz
- 2) Yüzeye yakın malzeme
- 3) Daha ağır, daha derin
 - Güçlü kaynak, düşük frekans
 - Zayıf kaynak, yüksek frekans
- 4) İnceleme derinliği
 - $Z < 5m$ ($< 2kg$)
 - $Z < 10m$ ($< 5kg$)
 - $Z > 10m$ ($10kg$)

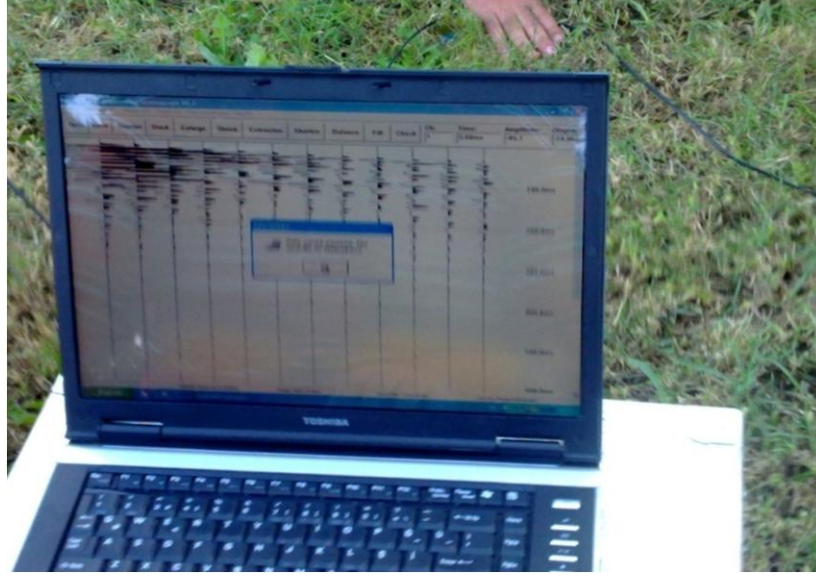
2. Sismik alıcılar

- 1) Düşük frekanslı jeofonlar
- 2) Yüzeye yakın malzeme
- 3) Düşük frekans, daha derin bilgi
- 4) İnceleme derinliği(Z)
 - $Z < 5m$ (4.5 hz, 10 hz, 20 hz,)
 - $Z < 10m$ (4.5 hz, 10hz)
 - $Z > 10m$ (4.5 hz)

3. Sismograf: 12 kanal

4. Ofsetler

- 1) Kaynak ofseti (inceleme derinliğinin yaklaşık $\frac{1}{2}$ 'si)
- 2) Alıcı ofseti
 - Zeminler (0.5 m)
 - Kaya ortamlar (1m)
- 3) Gürültü analizi



Şekil 3.11: MASW ölçümlerinin bilgisayar görüntüsü.

3.2.2 Kullanılan cihazların teknik özellikleri

Bu çalışma kapsamında mikrotremör ölçümlerinde üç bileşenli kısa periyot hız ölçer (GÜRALP SYSTEM CMG6TD-1) kullanılmıştır. Hız ölçer ile yapılan ölçümlerde hız kaydı alınmaktadır. Hız ölçerin frekans tepki aralığı $320\mu\text{ Hz} - 256\mu\text{ Hz}$ 'dir. (Güralp Systems'Manual). Uzun periyot tepkisi 1s, kısa periyot tepkisi 100Hz üzerindedir. Frekans aralığı $0.003\text{ Hz} - 50\text{ Hz}$ 'dir. Arazide kayıtlar doğrudan diz üstü bilgisayar bağlantısı ile sayısal olarak alınmıştır. Ölçümler SCREAM programıyla sayısal olarak, GCF (Güralp Compressed Format) formatında kaydedilmiştir. Alınan kayıtların örnekleme frekansı 100Hz'dir.

Mikrotremör ölçümünde; notebook bilgisayar, akü, bağlantı kabloları, GPS ve 3 bileşenli kısa periyot sismometre (Şekil 3.12) kullanılmıştır.

Sismometre üç bileşenlidir: doğu-batı, kuzey-güney, düşey

Doğu-batı mavi renkli, kuzey-güney kırmızı renkli ve düşey de yeşil renktir.



Şekil 3.12: Güralp System CMG-6TD-1 sismometre.

MASW ölçümlerinde WZG -12A cihazı kullanılmıştır. Cihaz Chogging Üniversitesi Yer Bilimleri Enstitüsü tarafından üretilmektedir. Sistem otomatik kendi programı ile veri toplayan 12 adet sinyal arttırıcı, bir balyoz, 12 adet düşey jeofon (4,5 Hz), kablolar, usb ara yüzü ile cihaza bağlanan pc ve özel bağlantı ünitelerinden oluşmaktadır (Şekil 3.13).



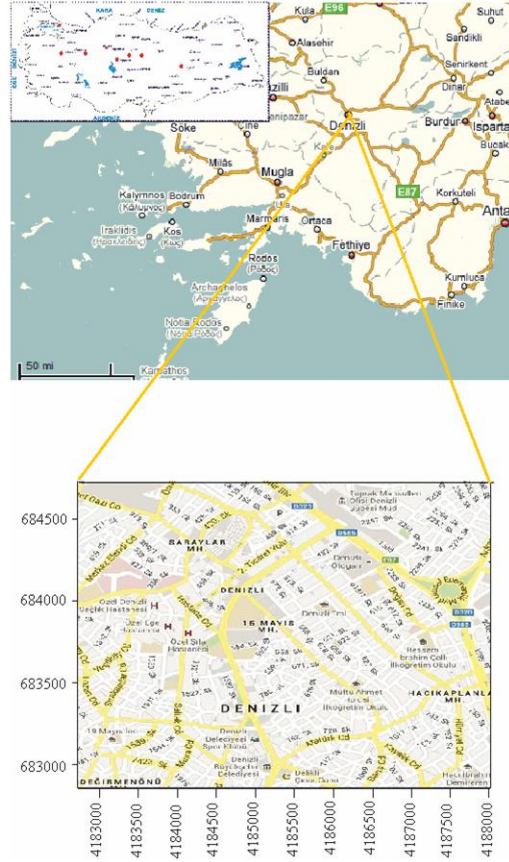
Şekil 3.13: MASW ölçümlerinden bir görünüm (Korkmaz, 2012).

4. ARAZİ ÇALIŞMALARI ve DEĞERLENDİRMELER

4.1 Arazi Çalışmaları

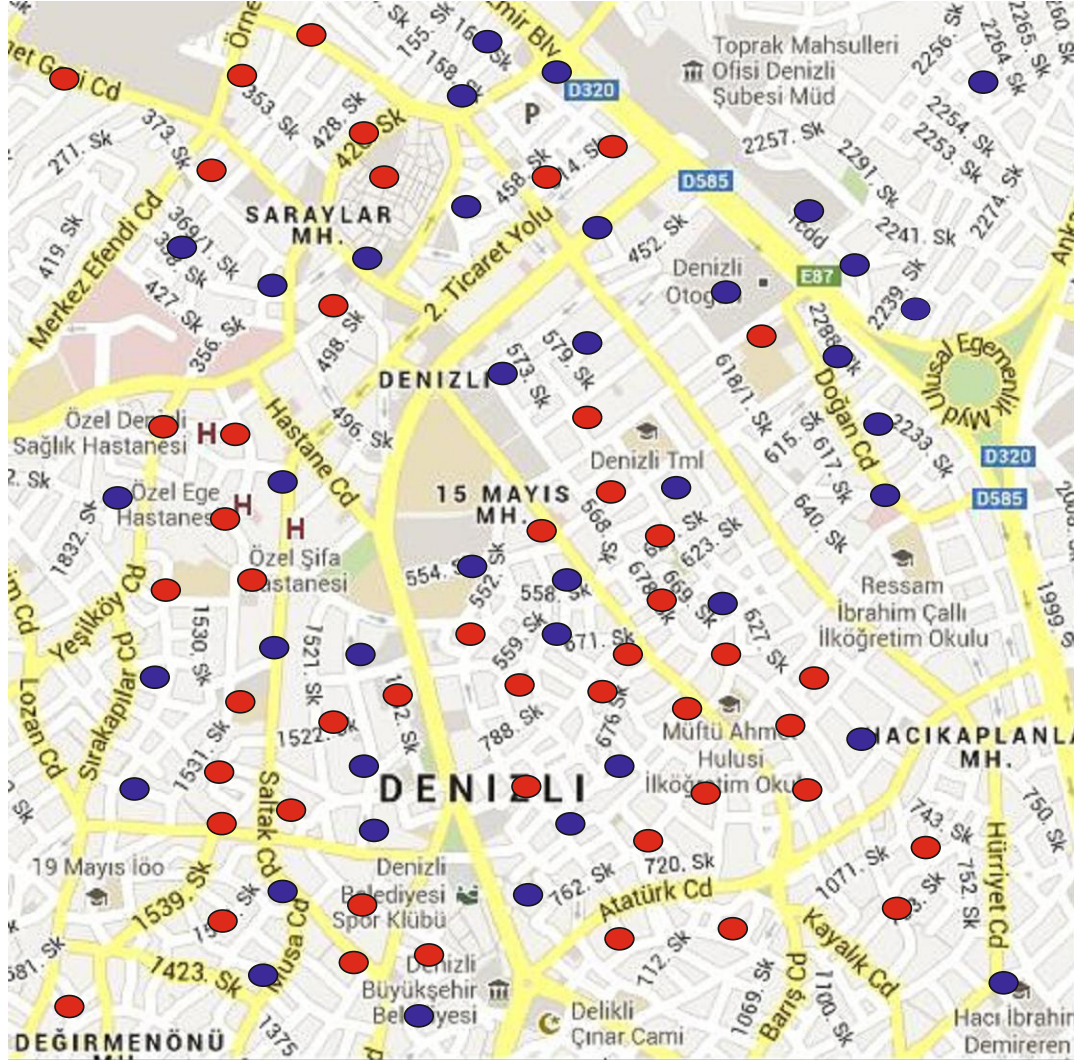
İnceleme alanı, Ege Bölgesinin güney sınırında, Harita Genel Müdürlüğüne hazırlanan 1/100 000 ölçekli topoğrafik haritaların Denizli M22 paftasında yer almaktadır (Şekil: 4.1).

Jeolojik olarak $29^{\circ}0'20''$ ve $29^{\circ}07'30''$ doğu boylamları ile $37^{\circ}45' 00''$ ve $37^{\circ} 48' 15''$ kuzey enlemleri arasında kalan bölgeyi kapsamaktadır.



Şekil 4.1: Çalışma alanının yer bulduru haritası.

Bölgede daha önce yapılan sondaj ve sismik kırılma çalışmalarına yakın ve gürültü içeriği bakımından daha sakin olan bölgeler seçilerek toplam 86 noktada 100 Hz örnekleme aralığı ile 30 dakika süreli mikrotremör ve MASW kayıtları alınmıştır. Bu kayıtların 47 tanesi mikrotremör (kırmızı), 39 tanesi de MASW (mavi) çalışmasıdır (Şekil: 4.2).



Şekil 4.2: Çalışma alanındaki ölçüm noktaları.

4.2 MASW Çalışmaları ve Değerlendirilmesi

Çalışma alanındaki toplam 86 noktada yapılan analizlerin 39'unu MASW ölçümleri oluşturmaktadır ve bu değerler Şekil:4.3'te gösterilen noktalardan alınmıştır. Bu ölçümlerin mümkün olduğunca uygulama alanına homojen olarak dağılımına dikkat

edilmiş ve gürültü içeriğini en az seviyeye düşürmek için sessiz lokasyonlar seçilmiştir. MASW ölçümleri Zemin Mühendislik tarafından yapılmıştır. Bunun yanında, inceleme alanında bulunan ve çeşitli kurum ve kuruluşlar tarafından yapılan MASW değerleri de incelemeye dâhil edilmiştir (Tablo: 4.1).



Şekil 4.3: Çalışma alanındaki MASW ölçüm noktaları.

Tablo: 4.1 MASW ölçüm sonuçları.

Koordinat		Derinlik	SPT	LL	PL	PI	Zemin Sınıfı	Vs	Büyütme Oranı	Periyot
x	y									
4182724.38	683786.12	4-7,5	17	26	NP		CL	326	2,11	0,64
		7,5-13,5	50	17	14	3	ML	340	2,00	
418805.82	684289.91	2-3	18	17	17	0	SM	282	2,30	0,49
		3-4,5	50		NP		SC	237	2,56	
		6-9	36	20	17	3	CL	338	1,97	
		11,5-13,5	42	15	NP		CL	320	1,70	
4182855.66	68455.83	3-6	50	16	NP		SM	311	2,17	0,57
		6-10,5	36	20	17	3	CL	336	2,07	
4183210.65	683105.78	7-8	50	16	NP		ML	330	1,30	0,31
		8-9	12	18	NP		SM	335	1,25	
		9-11,5	16	29	NP		SM	335	1,25	
418323.20	68324.16	2-3	18	17	17	0	SM	286	2,28	0,52
		3-4,5	50	16	NP		SC	276	2,33	
		6-9	36	20	17	3	CL	334	1,88	
		11,5-13,5	42	15	NP		CL	314	1,83	
4183138.37	683094.69	5-8	12	18	NP		SM	395	1,64	0,41
		8-11	16	29	NP		SM	238	1,56	
4183472.62	683045.95	2-4	41	20	NP		SM	340	2,03	0,47
		4-6	25	17	NP		ML	340	2,03	
		6-9	33	20	NP		SL	340	2,03	
4183565.39	684497.78	2-5	30	31	20	11	SC	299	2,22	0,58
		5-9	36	31	21	10	CL	289	2,27	
		10-11	46	22	14	8	CL	335	2,08	
4183447.07	684373.76	2-5	30	31	20	11	SC	299	2,22	0,58
		5-9	36	31	21	10	CL	289	2,27	
		10-11	46	22	14	8	CL	335	2,08	

Tablo 4.1'in devamı

Koordinat		Derinlik	SPT	LL	PL	PI	Zemin Sınıfı	Vs	Büyütme Oranı	Periyot
x	y									
4182889.59	683998.83	0-2	30	31	20	11	SC	338	2,01	0,50
		2-8	36	31	21	10	CL	336	1,97	
		8-11	49	22	14	8	CL	398	1,87	
4183285.24	684040.86	2,5-4	41	20	NP		SM	331	1,95	0,61
		4-6	25	17	NP		ML	330	2,02	
		6,5-9	32	20	NP		SM	329	1,99	
4183566.72	684083.84	1,2-2	30	31	20	11	SC	199	2,84	0,61
		4-8	36	31	21	10	CL	262	2,41	
4183502.67	682948.86	2-4	41	20	NP		SM	260	2,42	0,55
		4-6	25	17	NP		ML	340	2,02	
		8-9	33	20	NP		SM	333	1,73	
4183527.15	683265.56	0-2	50	15	14	1	GM	237	2,56	0,53
		2-7	50	16	NP		ML	266	2,39	
		7-9	12	19	NP		SM	337	1,97	
4183490.42	684349.12	2-3	8	25	NP		OL	241	2,53	0,53
		6-7	50	20	NP		GM	340	2,04	
		7-11	50	24	NP		ML	240	2,76	
4183302.21	683214.02	0-2	50	15	14	1	GM	237	2,56	0,53
		5-7	50	16	NP		ML	330	1,97	
4183672.49	683142.74	0-2	50	15	14	1	GM	208	2,76	0,53
		3-7	50	16	NP		ML	284	2,29	
		7-8	12	18	NP		SM	332	1,98	
		8-11	16	29	NP		SM	320	1,81	
4182966.14	683785.63	0-2,5	50	16	NP		SM	249	2,48	0,55
		2,5-4	50	16	NP		SM	278	2,32	
		4,5-10,5	33	25	17	9	SM-SC	364	1,98	
4182765.31	683625.35	2,5-4,5	8	25	NP		OL	300	2,22	0,57
		4,5-7	50	20	NP		GM	340	1,74	
4183511.09	684405.32	2-3	6	21	16	5	CL	325	2,12	0,52
		3-5	11	26	NP		GM	292	2,26	
		11-13	50	17	14	3	ML	331	1,16	
4183305.61	684086.75	2-5	4	31	27	4	OL	275	2,34	0,65
		5-8	10	33	26	7	SM	332	1,92	

Tablo 4.1'in devamı

Koordinat		Derinlik	SPT	LL	PL	PI	Zemin Sınıfı	Vs	Büyütme Oranı	Periyot
x	y									
4183348.96	683333.47	2-4	16	16	NP		SM	332	2,09	0,66
		4-7	50	26	NP		SM	312	2,17	
41833807.33	684014.88	2-3	4	31	27	4	OL	335	1,88	0,46
		3-5	3	31	27	4	OL	316	1,82	
		5-7	10	33	26	7	SM	380	1,67	
4182860.12	684729.48	0-2,5	4	31	27	4	OL	267	2,38	0,85
		2-3	3	31	27	4	OL	264	2,40	
		3-6	10	33	26	7	SM	264	2,40	
4182834.22	684544.74	0-2	4	31	27	4	OL	268	2,37	0,80
		3-5	3	31	27	4	OL	256	2,44	
4182714.82	683107.32	0-2,5	11	21	14	7	SM	322	1,81	0,37
		2,5-6	14	20	NP		SM	339	1,77	
		8-10	41	71	NP		SC	380	1,58	
4182992.41	683971.70	4,5-6	30	22	18	4	ML	300	2,22	0,55
		6-10,5	27	19	19	3	ML	335	1,97	
4184262.32	682853.99	3,5-15	30	22	18	4	ML	319	1,82	0,48
4183743.23	683928.19	1,5-5	50	15	14	1	GM	363	1,98	0,60
		5-9	12	18	NP		SM	374	1,94	
		9-11	16	29	NP		SM	360	1,99	
4182973.76	684329.18	2,5-7	30	22	18	4	ML	328	1,79	0,59
		7-8,5	27	19	16	3	ML	378	1,87	
		8,5-10	50	15	14	1	SM	333	1,97	
4183732.42	683134.58	0-2	9	30	20	10	OL	303	2,21	0,51
		2-4	50	23	15	8	CL	290	2,27	
		4-8	26	16	NP		SM	306	2,19	
		8-2	50	25	17	8	SC	300	1,87	

Tablo 4.1'in devamı

Koordinat		Derinlik	SPT	LL	PL	PI	Zemin Sınıfı	Vs	Büyütme Oranı	Periyot
x	y									
4184079.92	683119.60	0-2	9	30	20	10	OL	303	2,21	0,51
		2-4	50	23	15	8	CL	290	2,27	
		4-8	26	16	NP		SM	306	2,19	
		8-2	50	25	17	8	SC	380	1,87	
4183621.31	683484.49	5-8	12	18	NP		SM	395	1,64	0,41
		8-11	16	29	NP		SM	338	1,56	
4183412.10	684537.80	8-9	36	31	20	10	CL	270	2,36	0,67
		10-11	46	22	14	8	CL	330	2,10	
4183986.70	683504.28	2,5-4	18	17	NP		SM	337	1,94	0,60
		4,5-6	34	16	NP		SM	338	1,93	
		7-9	26	19	NP		ML	323	2,12	
		10-12	50	16	NP		SM	313	2,16	
		13-15	50	18	NP		SM	328	2,10	
4183115.99	683561.21	0-2	11	21	14	7	SM	168	3,14	0,98
		3-4,5	14	20	NP		SM	203	2,81	
		5-6	21	19	NP		OL	223	2,65	
4182956.47	683433.56	2-3	8	25	NP		OL	202	2,81	0,96
4182822.11	683851.41	2,5-4	41	20	NP		SM	325	2,12	0,52
		4-6	25	17	NP		ML	292	2,26	
		6-9	33	20	NP		SL	338	1,93	
4183004.63	683812.71	0-2	11	21	14	7	SM	168	3,14	0,98
		3-4,5	14	20	NP		SM	203	2,81	
		5-6	21	19	NP		OL	223	2,65	
		6-8	41	17	NP		SC	206	2,78	

Elde edilen verilerle inleme alanının kesme dalga hızı (Vs) dağılımları incelenmiştir. Buna göre kesme dalga hızlarının en az 202 m/sn, en fazla 380 m/sn arasında olduğu görülmektedir. Yüksek Vs hızlarının inceleme alanının batı kesimlerinde kısa mesafelerde çok sık değişim gösterdiği, doğuya doğru gidildikçe bu değişimin azaldığı ortaya çıkmaktadır (Şekil 4.4). Vs hız değerleri güney kesimlerde 380 m/sn'ye kadar yükselirken, kuzeye doğru bu değerler azalmakta ve 200 m/sn'ye kadar düşmektedir.

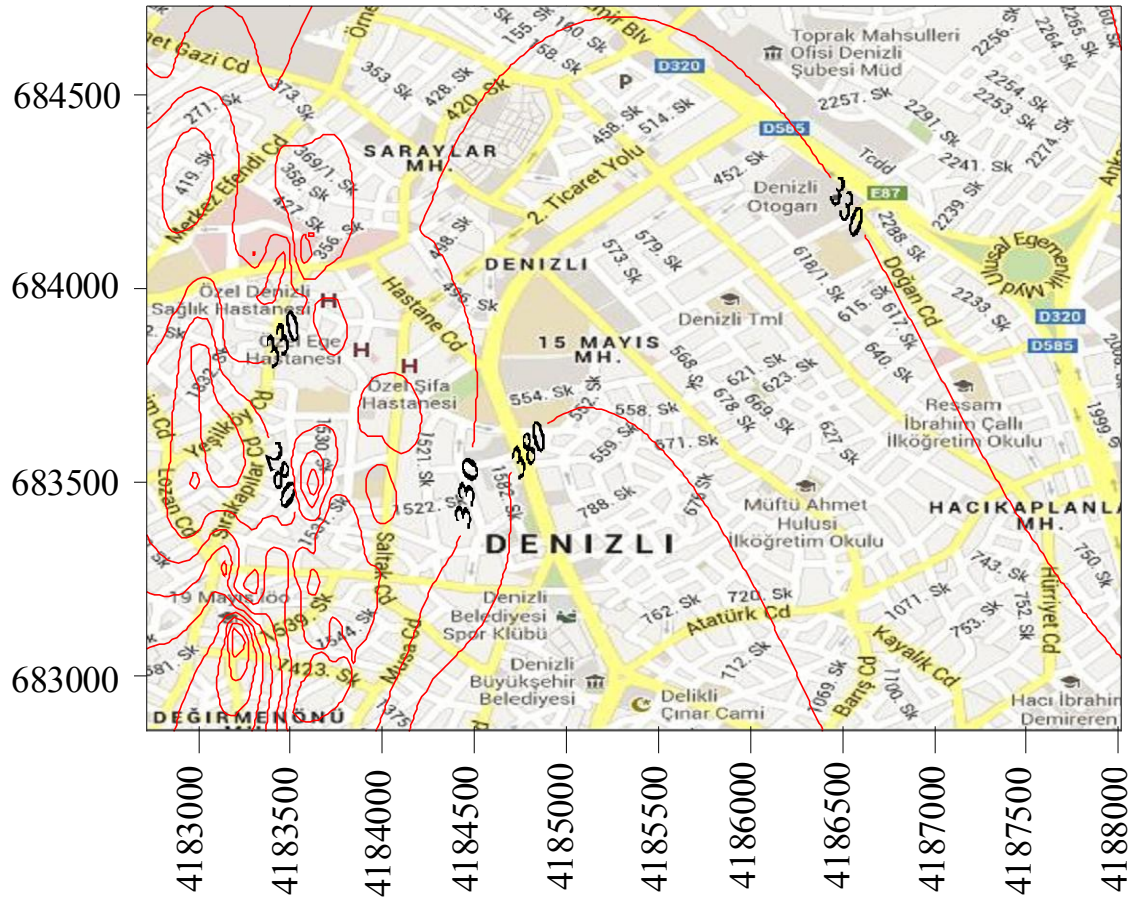
Vs değerleri esas alınarak Midorikawa (1987) tarafından önerilen aşağıdaki denklem ile zemin büyütme oranları hesaplanmıştır (şekil 4.5).

$$A = 68V_1^{-0.6} (V_1 < 1100 \text{ m/s})$$

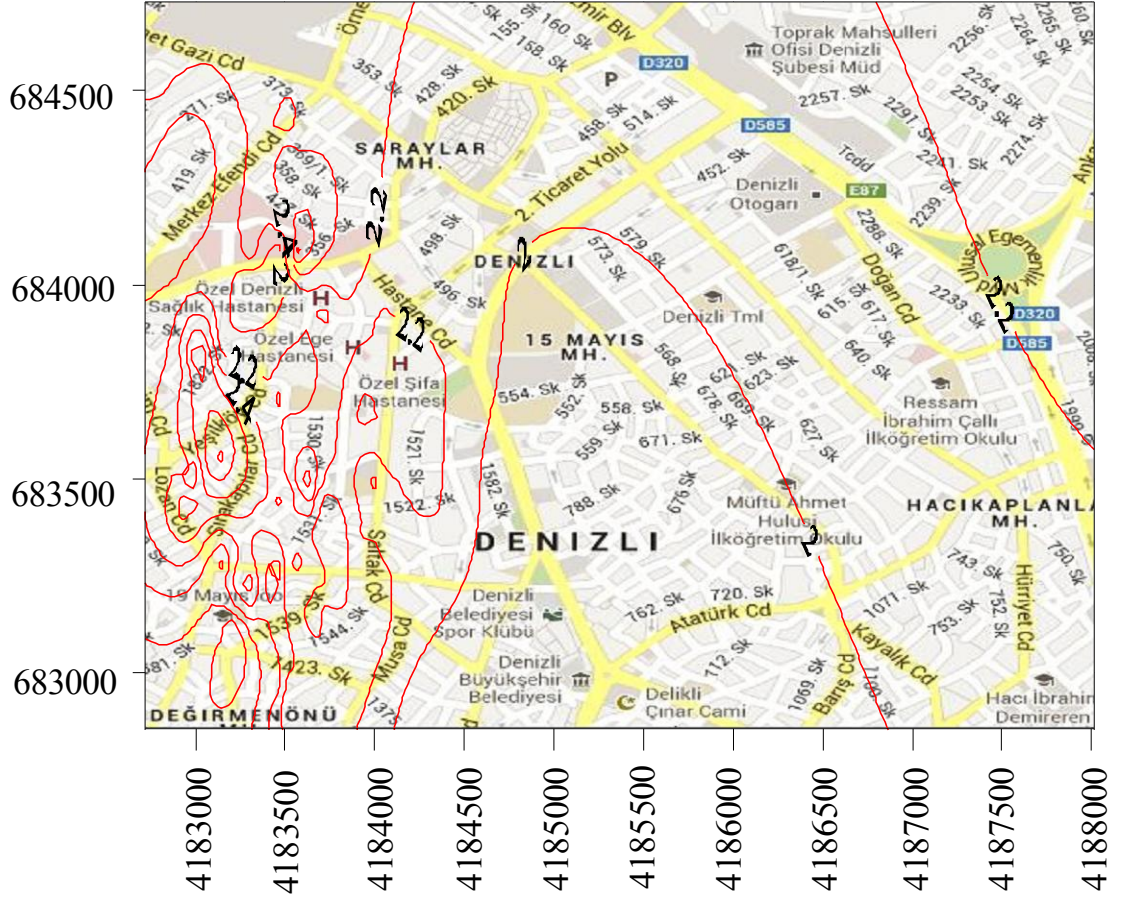
$$= 1.0 (V_1 > 1100 \text{ m/s})$$

A: Zemindeki en büyük hız için bağlı büyütme faktörü

V1: 30 m derinlik içersindeki ortalama kayma dalgası hızı (m/s)



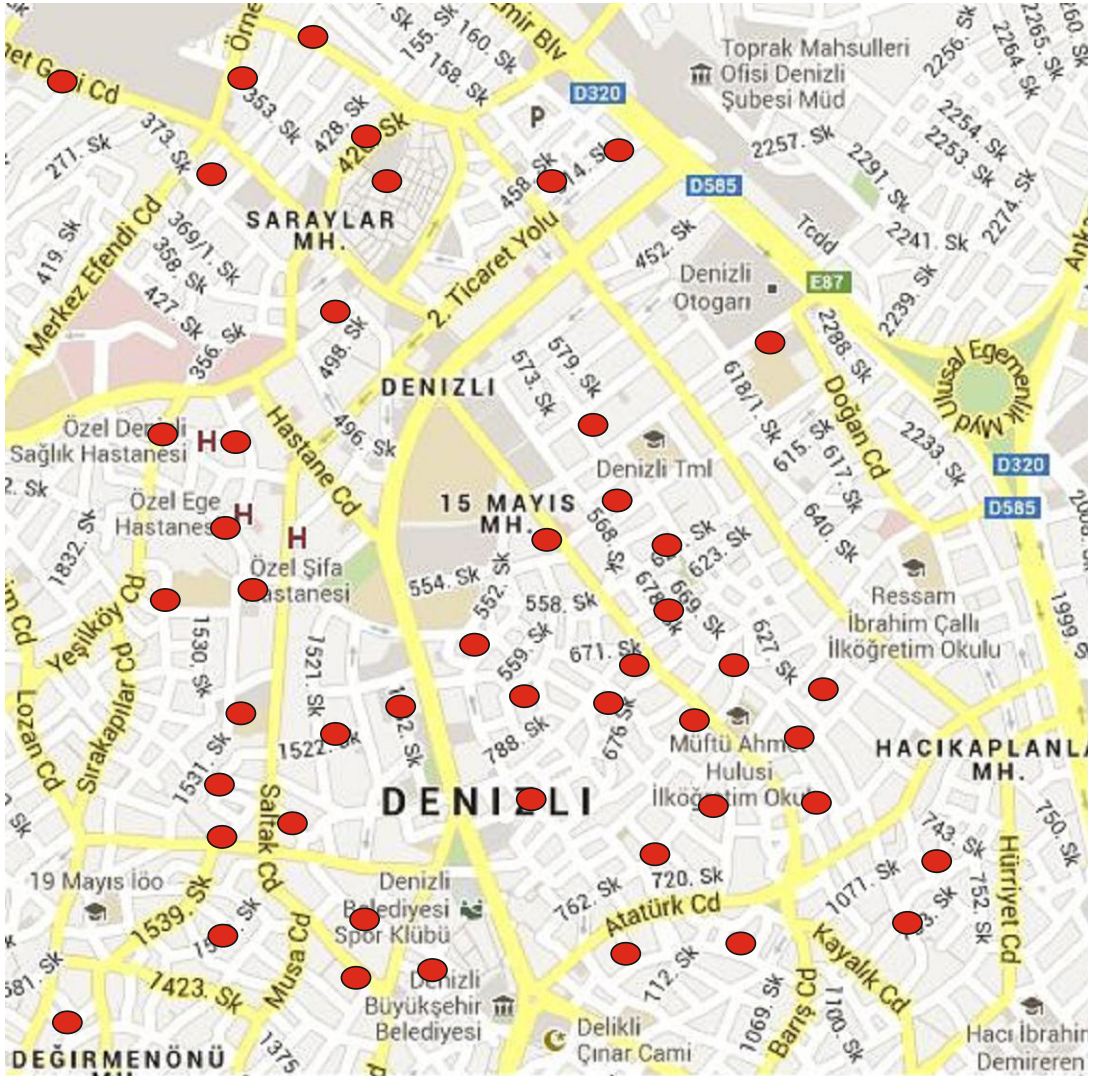
şekil 4.4: Çalışma alanının Vs haritası.



Şekil 4.5: Çalışma alanının büyütme oranı haritası.

4.3 Mikrotremör Çalışmaları ve Değerlendirilmesi

İnceleme alanında toplam 47 noktada mikrotremör verileri kaydedilmiştir (Şekil: 4.6). Gürültü içeriğini en aza indirmek için sessiz lokasyonlar seçilmiş ve bu ölçümler uygulama alanına homojen olarak dağılımına dikkat edilmiştir. Mikrotremör ölçümleri Jeoloji Mühendisi Neher Kılıçarslan eşliğinde yapılmıştır.



Şekil 4.6: Çalışma alanındaki mikrotremör ölçüm noktaları.

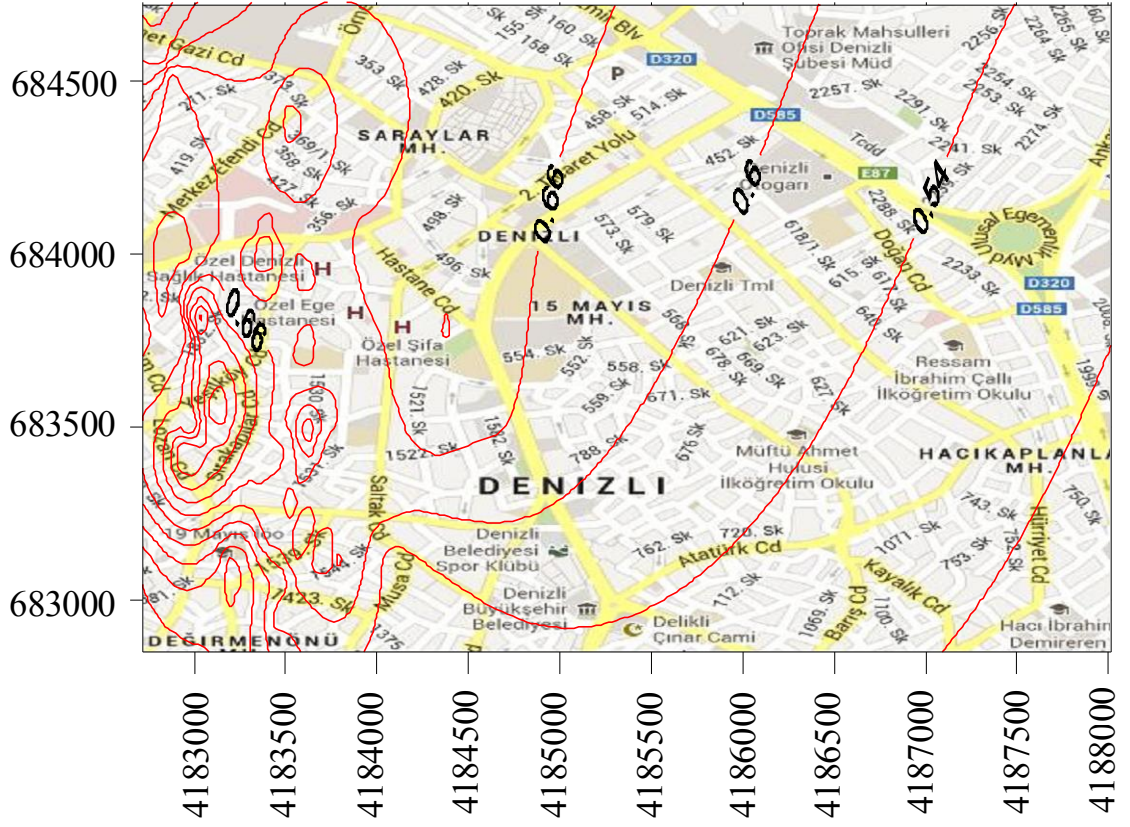
Tablo 4.2: Mikrotremör ölçüm sonuçları.

Koordinat		Vs	Büyütme Oranı	Periyot	T _A (Sn)	T _B (Sn)
x	y					
4183494.08	682959.18	360	1,99	0,65	0,43	0,97
4183554.45	683131.16	280	2,31	0,67	0,45	1,00
4183400.39	683206.65	400	1,87	0,64	0,43	0,97
4183149.02	683290.02	450	1,74	0,68	0,45	1,02
4182978.35	683498.27	300	2,22	0,65	0,43	0,97
4183775.29	682996.80	270	2,36	0,63	0,42	0,94
4183772.51	683144.60	260	2,42	0,65	0,43	0,97
4183466.36	684078.24	400	1,87	0,64	0,43	0,96
4183558.04	683986.46	340	2,06	0,67	0,45	1,01
4183671.32	683897.68	380	1,93	0,67	0,45	1,00
4183419.31	683185.65	350	2,02	0,64	0,43	0,96
4183551.12	683197.48	270	2,36	0,67	0,45	1,00
4183483.93	683267.17	380	1,93	0,63	0,42	0,94
4183599.76	683213.22	300	2,22	0,66	0,51	1,14
4183653.19	683102.91	280	2,31	0,63	0,42	0,94
4183649.01	683234.13	290	2,27	0,67	0,45	1,00
4183760.31	683117.34	300	2,22	0,67	0,45	1,00
4183997.21	683307.22	280	2,31	0,63	0,42	0,94
4183868.99	683379.02	270	2,36	0,65	0,43	0,97
4183708.21	683427.22	235	2,57	0,64	0,43	0,96
4183498.03	683433.45	249	2,48	0,69	0,46	1,04
4183301.79	683440.48	255	2,45	0,68	0,45	1,02
4183444.84	683480.05	270	2,36	0,64	0,43	0,96
4184065.71	683586.26	267	2,38	0,66	0,44	0,99
4183923.01	683668.60	249	2,48	0,64	0,43	0,96
4183604.16	683672.74	300	2,22	0,68	0,45	1,02
4183459.59	683702.34	310	2,18	0,65	0,43	0,97
4183669.76	683818.93	302	2,21	0,66	0,44	0,99

Tablo 4.2'nin devamı

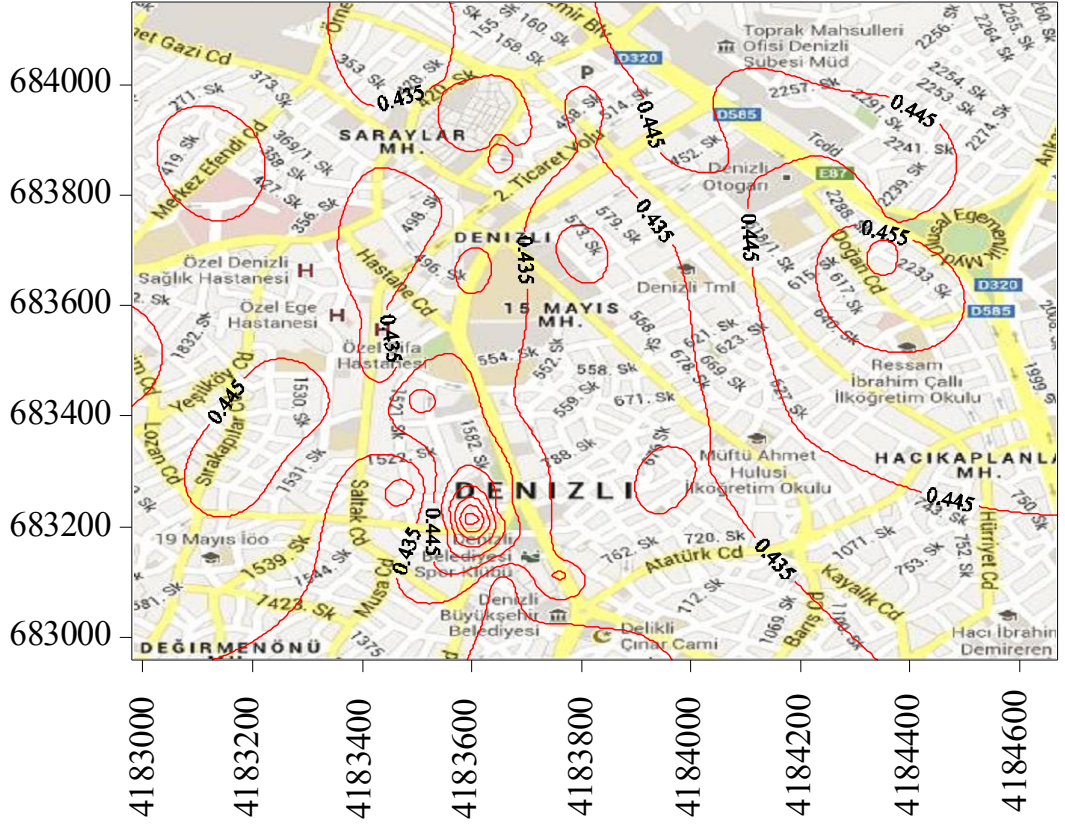
Koordinat		Vs	Büyütme Oranı	Periyot	T _A (Sn)	T _B (Sn)
x	y					
4183782.23	683708.36	320	2,14	0,63	0,42	0,95
4183507.03	683765.84	280	2,31	0,65	0,43	0,97
4183155.48	683845.44	350	2,02	0,68	0,45	1,01
4183649.98	683884.42	302	2,21	0,63	0,42	0,94
4183538.34	684009.42	304	2,2	0,65	0,43	0,97
4183629.04	683893.51	309	2,18	0,67	0,45	1,00
4184065.68	683948.85	310	2,18	0,66	0,44	0,99
4184355.34	683711.61	299	2,22	0,66	0,47	1,05
4184339.08	683442.81	298	2,23	0,67	0,45	1,01
4184374.76	683760.98	300	2,22	0,66	0,44	0,99
4184027.08	683930.45	298	2,23	0,68	0,45	1,02
4183906.36	684057.03	299	2,22	0,67	0,45	1,00
4183802.76	683964.66	300	2,22	0,65	0,43	0,97
4184669.64	683528.28	380	1,93	0,67	0,45	1,00
4184572.74	684043.97	350	2,02	0,67	0,45	1,00
4184172.98	684150.85	330	2,1	0,67	0,45	1,00
4183966.02	683906.82	320	2,14	0,67	0,45	1,00
4184044.59	683312.35	312	2,17	0,66	0,44	0,99

Arazide elde edilen değerler, SCREAM programıyla GCF (Güralp Compressed Format) formatında kaydedilmiştir. Bu kayıtlar Geopsy yazılımı ile periyot değerlerine dönüştürülmüştür (Şekil 4.7). Bu verilerden de T_A (Sn) – T_B (Sn) değerleri hesaplanmıştır.



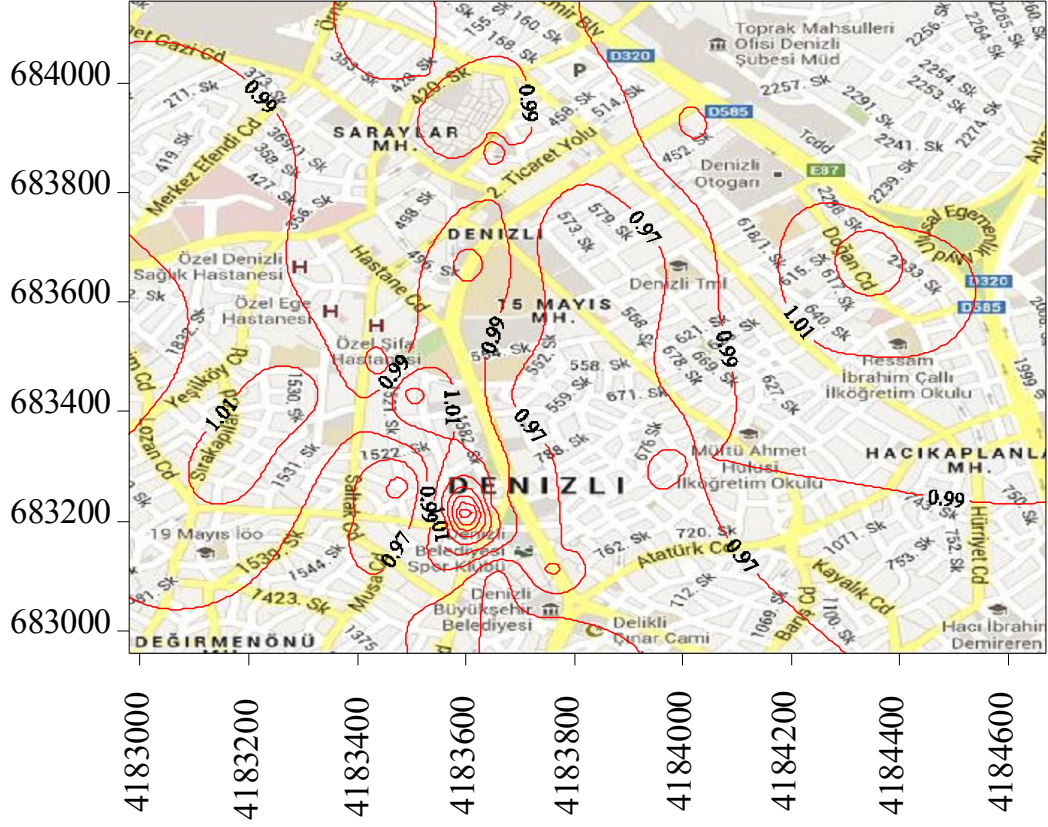
Şekil 4.7: Çalışma alanının periyot haritası

T_A spektrum haritası incelendiğinde değerlerin 0,40 sn ile 0,68 sn arasında değiştiği görülmektedir (Şekil 4.8). T_A değerleri çalışma alanının güneybatısında en yüksek değer olan 0,65sn'ye kadar çıkmaktadır.



Şekil 4.8 : Çalışma alanının spektrum karakteristik T_A haritası.

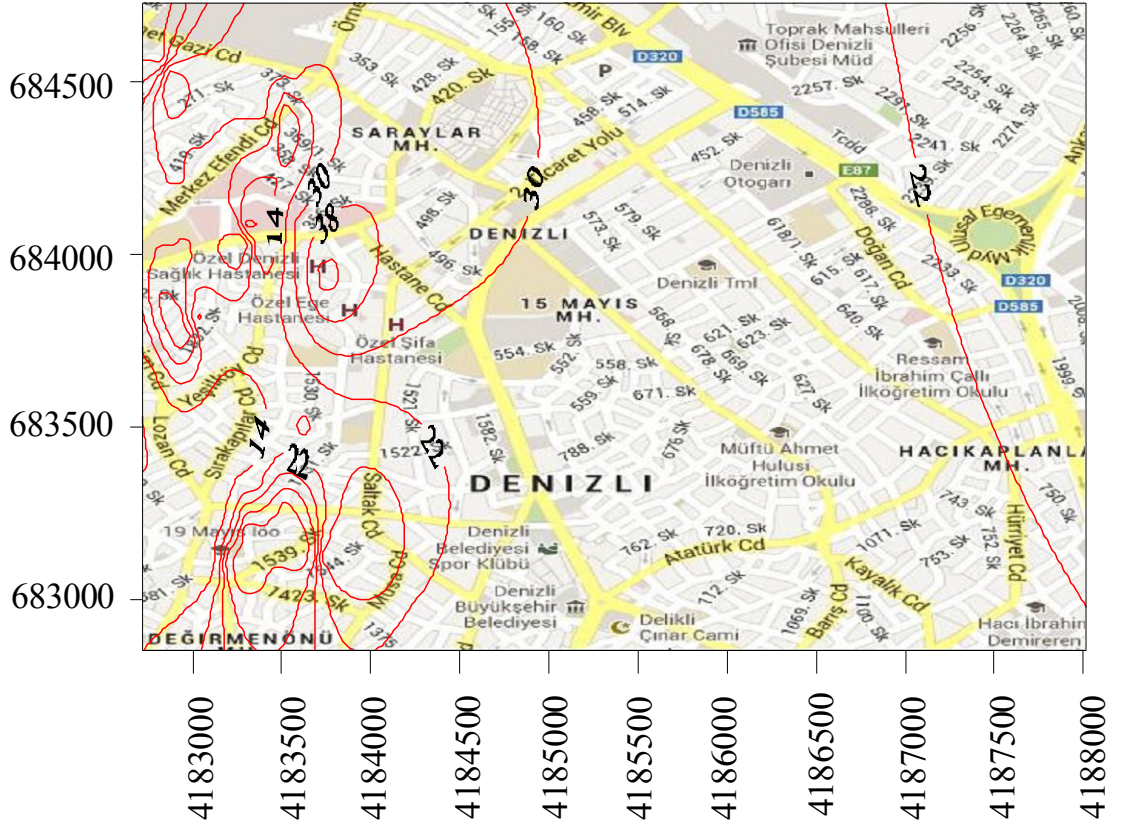
T_B spektrum karakteristik haritası incelendiğinde T_B spektrum karakteristik periyotlarının 0,94 sn ile 1,14 sn arasında değiştiği görülmektedir (Şekil 4.9). Çalışma alanının güneybatısındaki T_B değerleri 1,14sn' ye kadar çıkmaktadır.



Şekil 4.9: Çalışma alanının spektrum karakteristik T_B haritası.

4.4. SPT Ölçümleri

Çalışma kapsamında SPT N değerlerinin arazideki dağılımı ve V_s , zemin büyütme, periyot gibi parametrelerle arasındaki ilişkilerin ortaya konması amaçlanmıştır. Çalışmada kullanılan SPT N değerleri PAU (2002) 'den alınmıştır.



Şekil 4.10: Çalışma alanının SPT haritası.

Şekil 4.10’da görüldüğü üzere bölgenin doğuya doğru gidildikçe SPT değerinin arttığını ve en az 15, en fazla 50 civarında olduğunu söyleyebiliriz. Şekil 4.4’te ki Vs değerlerine bakıldığında SPT ile aynı formasyon gösterdiği görülmektedir. Bölgenin batıya gidildikçe yoğunluğun arttığı, doğuya doğru gidildikçe seyreilmelerin olduğu fark edilmektedir.

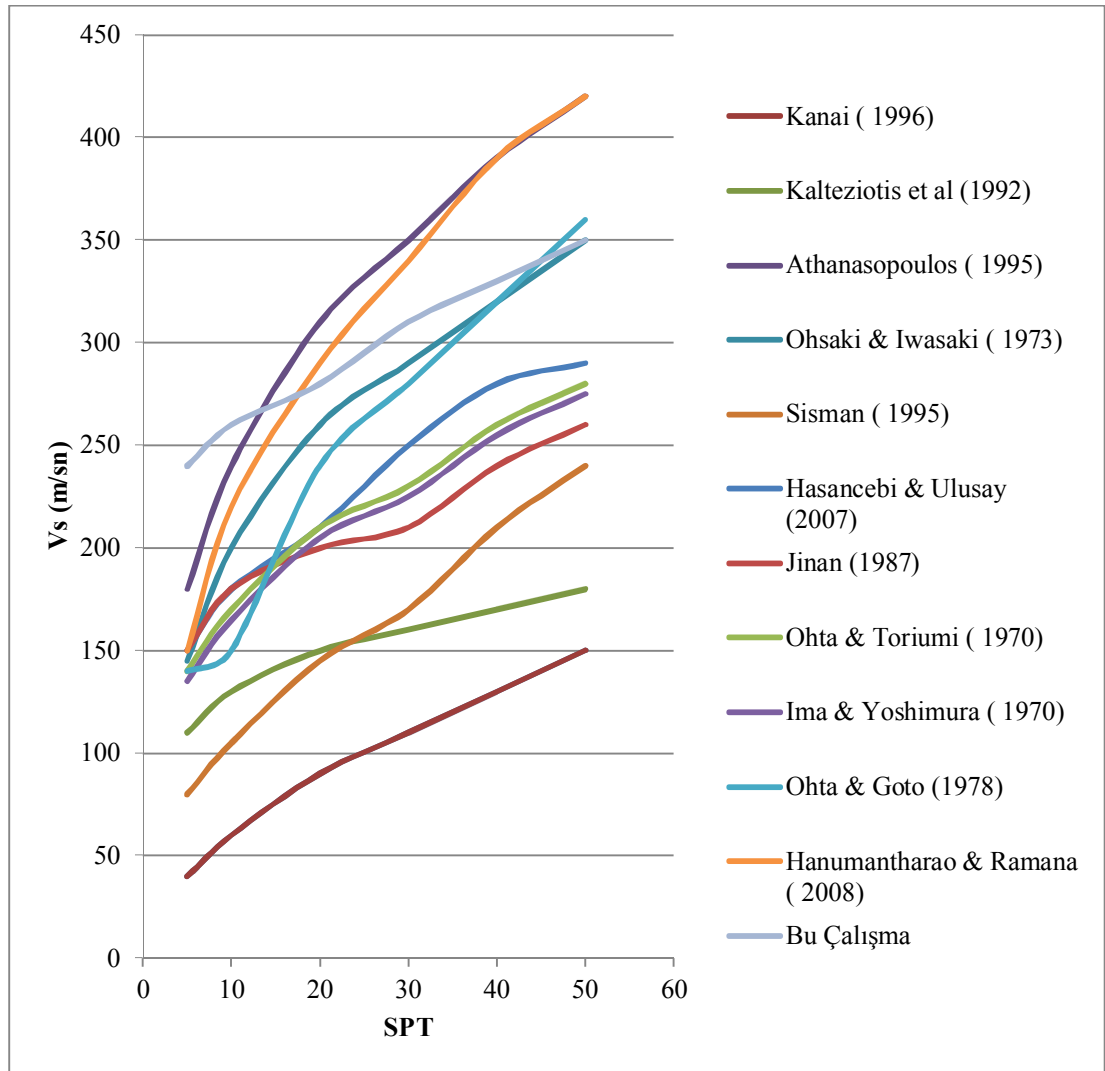
4.5 Karşılaştırmalar

Bu çalışma kapsamında SPT–Vs, Vs–büyütme oranı, SPT–büyütme oranı arasındaki ilişkiler ortaya konulmuştur. Bu parametreler önceki çalışmacıların sonuçları ile karşılaştırılmış ve elde edilen sonuçlar aşağıdaki bölümlerde değerlendirilmiştir.

4.5.1 SPT–Vs İlişkisi

İnceleme alanında SPT (N darbe sayısı) ile kesme dalga hızı arasındaki ilişki beklendiği şekilde doğrusal bir uyum gözlenmektedir. Daha öncede konu ile ilgili 11 adet çalışma ile birlikte değerlendirildiğinde bu çalışma ile elde edilen değerlerin diğer çalışmalara paralellik gösterdiği izlenmektedir. Bu çalışmanın önerdiği değerlerin ise Athanasopoulos (1995) ile Oshaki & Iwasaki (1973) arasında kaldığı görülmektedir (Şekil: 4.11).

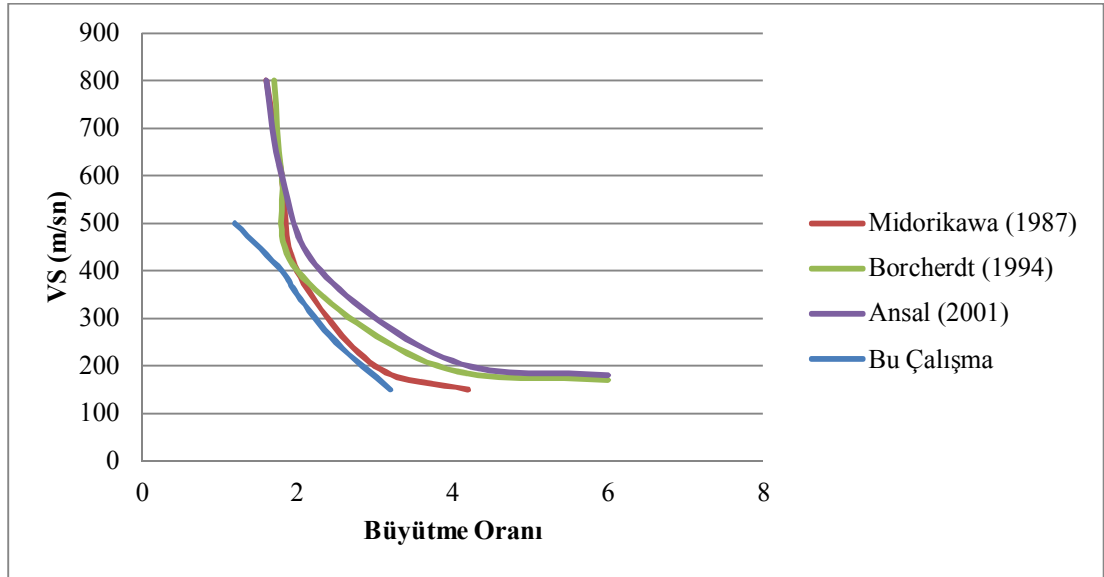
SPT–Vs arasındaki ilişki incelendiğinde birbirlerine benzer değerler göstermektedir. Bu çalışma SPT değerlerinin 8 ile 52 aralığında değiştiği, buna karşılık Vs hız değerlerinin 200m/sn ile 400 m/sn arasında değiştiği görülmektedir.



Şekil 4.11: SPT–Vs değerlerinin değişimi grafiği (grafik Akın, 2011'den alınmıştır).

4.5.2 Vs–Büyütme Oranı İlişkisi

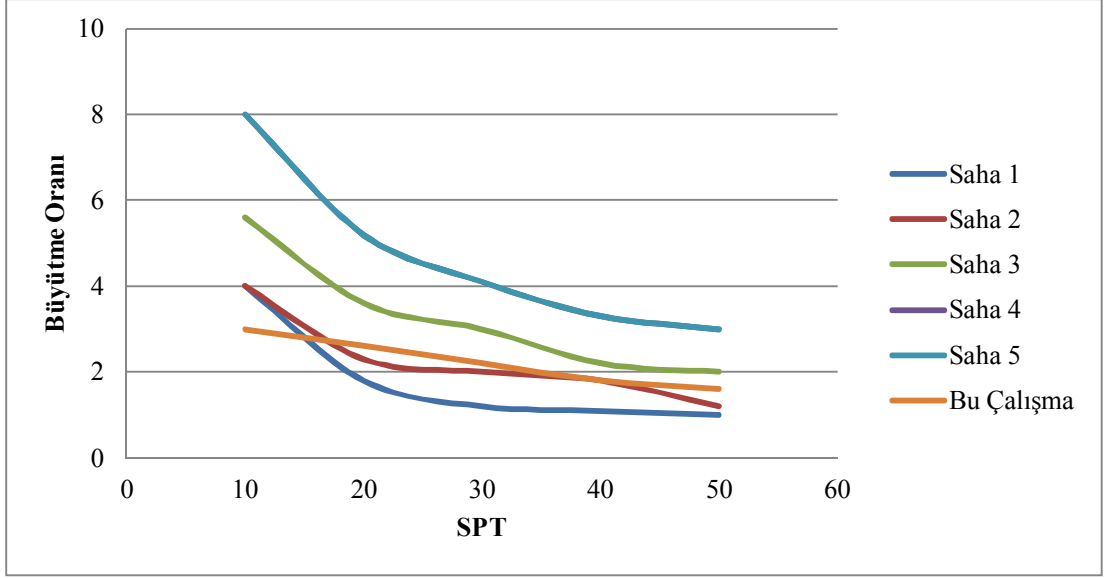
Elde edilen Vs–büyütme oranları, konu ile ilgili üç yaygın çalışma (Midorikawa, 1987; Borchardt, 1994; Ansal, 2001) ile karşılaştırılmış ve sonuçlar Şekil 4.12’de gösterilmiştir. Bu üç çalışmada da doğrusal olmayan ters ilişki olmasına karşın, bu çalışma ile elde edilen veriler arasında doğrusala yakın ters ilişki gözlenmiştir. Bu kapsamda bulunan bu değerlere şüphe ile yaklaşılması doğru olacaktır. Midorikawa’ya (1987) denklem kullanıldığı için bulunan değerler bu çalışmaya oldukça yakın çıkmaktadır. Bu uygunsuzluğun nedeni arazide ölçüm sırasında yapılan hatalı verilerden kaynaklanabilir.



Şekil 4.12: Vs (m/sn)–büyütme oranı ilişkisi (grafik Ansal, 2001’den alınmıştır).

4.5.3 SPT– Büyütme Oranı İlişkisi

Bu çalışma alanı dışında Adapazarı ili sınırlarında 5 farklı sahada yapılan incelemeler sonucu (Ansal, 2001) elde edilen veriler analiz edilerek Şekil 4.13’te gösterilen değerler elde edilmiştir. Bu beş çalışmada da doğrusal olmayan ters ilişki gözlenmiştir. 5 adet çalışma ile birlikte değerlendirildiğinde bu çalışma ile elde edilen değerlerin diğer çalışmalara paralellik gösterdiği izlenmektedir.



Şekil 4.13: SPT–büyütme oranı (grafik Ansal, 2001’den alınmıştır).

5. SONUÇ

Aktif deprem kuşağında yer alan ülkemizde günümüze kadar meydana gelen depremlerden kaynaklanan hasar ve kayıpların temelinde, zayıf zeminler üzerinde yeterli mühendislik hizmeti almayan çarpık kentleşmeler yer almaktadır. Bu sorunun üstesinden gelebilmek için özellikle deprem riski yüksek bölgelerde zeminin fiziksel, mekanik ve sismik parametrelerinin belirlenmesi oldukça önemlidir.

Bu çalışma ile MASW ve mikrotremör yöntemleri kullanılarak Denizli kent merkezinde yer alan belirli bir alandaki zeminlerin hâkim titreşim periyotları ve kesme dalgası hızları belirlenmiştir. Kesme dalgası hızı kullanılarak zemin büyütme değerleri hesaplanmıştır. Bölgede yapılan jeoteknik deneylerde elde edilen SPT N değerleri ile yukarıda elde edilen değerlerin inceleme alanında değişimleri ortaya konulduktan sonra aralarındaki ilişki ortaya konulmuştur.

Elde edilen verilere göre inleme alanında dalga hızlarının 202 m/sn ile 380 m/sn arasında olduğu görülmektedir. Yüksek Vs hızlarının inceleme alanının güney kesimlerinde yoğunlaştığı, kuzeye doğru gidildikçe bu değerlerin azalmaktadır.

Vs değerleri esas alınarak hesaplanan zemin büyütme oranlarının 1.5 ve 3.0 kat arasında değiştiği görülmektedir. Vs hızlarına paralel olarak inceleme alanının kuzeyinde yüksek büyütme oranları daha yüksek gözlenmektedir.

T_B spektrum değerleri incelendiğinde karakteristik periyotlarının 0,94 sn ile 1,14 sn arasında, T_A spektrum karakteristik periyotlarının ise 0,40 sn ile 0,45 sn arasında değiştiği görülmektedir.

İnceleme alanındaki SPT N değerlerinin 15 ile 50 arasında olduğu görülmektedir. Sismik parametrelere uygun olarak N değerlerini alanın batıya gidildikçe arttığı gözlenmektedir.

İnceleme alanında SPT (N darbe sayısı) ile Vs (kesme dalga hızı) arasındaki ilişki beklendiği şekilde doğrusal bir uyum gözlenmektedir. Elde edilen değerlerin diğer çalışmalara paralellik gösterdiği izlenmektedir. Bu çalışmanın önerdiği değerlerin ise

bazı araştırmacılar tarafından verilen değerlere çok yakın olduğu görülmektedir. SPT–Vs arasındaki ilişki incelendiğinde daha önce on bir araştırmacı tarafından bulunan değerlere paralel değerler elde edilmiştir. .

Kentleşmede yapıların yeterli mühendislik hizmeti alması, deprem hasarlarının azaltılmasında büyük önem taşımaktadır. Bu kapsamda zeminin jeoteknik ve sismik parametrelerinin belirlenmesi büyük önem taşımaktadır. Problemlili zeminlerin iyileştirilmesi ve/veya güçlendirilmesi gerekmektedir. Zemin ve yapı hâkim titreşim periyotlarının önceden bilinmesi halinde olası rezonanstan kaçınmak mümkün olabilecektir. Çakışma durumunda zemin ve/veya yapının periyodunun değiştirilmesi, oluşacak yapı hasarlarının azalmasına katkı sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

- Akamatsu K.**, 1956, On Microseism in Frequency Range from 1 c/s to 200 c/s., Bull.Earthq. Res. Inst., Tokyo University, Vol.39, pp. 23-75.
- Akın.**, 2011, ‘‘Empirical correlations of shear wave velocity (Vs) and penetration resistance (SPT-N) for different soils in an earthquake-prone area (Erbaa-Turkey)’’
- Aki, K.**, 1957. Space and time spectra of stationary stochastic waves with special reference to microtremors, bulletin of the earthquake research institute, 35, 415-456.
- Akyol, N., Akıncı, A., Eyidoğan, H.**, 2002. ‘‘Site amplification of S-Waves in Bursa and its Vicinity, Northwestern Turkey: comparison of different approaches’’, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 22, 579-587,
- Alçık, H., A., Gürbüz, C., Üçer, B.**, 1995. Kadıköy ve Üsküdar bölgelerinde yapılan mikrotremör ölçümleri ile mikro bölgeleme. Jeofizik Dergisi (9, 10); 235-245.
- Arioğlu, E., Arıoğlu, N., Yılmaz, A.O., ve Girgin, C.**, 2000, Deprem ve Kurtarma İlkeleri, Evrim Yayınevi, s.79.
- Bard, P.Y.**, 1998. Microtremor measurements: A tool for site effect estimation second international symposium on the effects of surface geology on seismic motion-ESG98- held in Yokohama, Japan, December 1-3.
- Beliceli, A.**, 2006. Eskişehir yerleşim yeri zeminin büyütme etkisinin makaslama dalga hızına (Vs) bağlı olarak belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir.
- Biringen, E.**, ‘‘Soil amplification and case studies for clayey soils’’, Master Thesis, Bogaziçi University, İstanbul, 2000.
- Ergin, M., Özalaybey, S., Aktar, M., Yalçın, M.N.**, ‘‘Site amplification at Avcılar, İstanbul’’, Tectonophysics, 391, 335-346, 2004.
- Filazi, A.**, ‘‘Antakya kent merkezi’nin mikrotremör yöntemi ile yer etkisinin incelenmesi’’, Yüksek Lisans Tezi, Mustafa Kemal Üniversitesi, Hatay, 2008. 61

- Gençoğlu, S. ve Ayhan, E.,** 1974. İzmit ili mikro bölgeleme etüdünde yapılan mikrotremor çalışması, Deprem Araştırma Enstitüsü Bülteni, 2, 5., 28-51.
- Guralp System's Manual,** 2000. Guralp Systems Limited 3 midas House Calleve Park Aldermaston, Reading Berks, RG7 8EA England.
- Idriss, I. M., and Seed, R. B.,** 1968, An analysis of ground motions during the 1957 San Francisco Earthquake. Bulletin of Seismological Society of America, 58(6), 2013-2032.
- Korkmaz 2012.,** ‘‘Zemin iyileştirmesinin hâkim titreşim periyodu ve zemin büyütme katsayısı’na etkisi.’’
- Kanai, K., Tanaka, T., Osada, K.,** 1954. Measurement of the microtremor 1. Bulletin of the Earthquake Research Institute, University of Tokyo, 32; 200-208.
- Kanai, K., Tanaka, T.,** 1961. On microtremors 8. Bulletin of the Earthquake Research Institute, University of Tokyo, 39; 97-114.
- Kanai, K., Tanaka, T., Yoshizawa, S.,** 1965. On microtremors 9. Bulletin of the Earthquake Research Institute, University of Tokyo, 43; 577-588.
- Katz, L.J.,** 1976. Microtremor analysis of local geological conditions, Bulletin of the Sesimological Society of America, 66, 45-61.
- Katz, L. J., and Bellon, R. S.,** 1978. Microtremor Site Analysis Study at Beatty,Nevada, Bull. Seism. Soc. Am., 68, 757-765
- Kramer, S.L.,** 1996. Geoteknik Deprem Mühendisliği, (Tercüme: Kayabalı, K.,2003, Gazi Kitapevi, ISBN: 975-8640-63-1), Prentice-Hall, Upper Saddle River.
- Lermo, J., Garcia, F.J.** (1994). Are microtremors useful in site response evaluation?, Bulletin Of The Sesimological Society Of America, Volume 84, No.5, 1350-1364
- Lermo, J. and Chavez-Garcia, F.J.** (1994). ‘‘Are microtremors useful in site response evaluation’’, Bulletin of the Seismological Society of America 84(5), 1350-1364.
- Midorikawa, S.,** 1987. Prediction of isoseismal map in the Kanto plain due to hypothetical earthquake, Journal of Structural Engineering, 33B, 43-48.

- Mukhopadhyay, S. ve Bormann, P.**, 2003. Low cost seismic microzonation using microtremor data: An Example from Delhi, India, *Journal of Asian Earth Sciences* 24, 271-280.
- Nakamura, Y.**, 1989, A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface, *Quarterly report of Railway Technics Research Institute*, 30 (1).
- Nakamura, Y.**, 1989. A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface, *QR of RTRI*, February, 30, 1, 25-33
- Omorı, F.**, 1908. On Microtremors, *Bull. Of Earth Inv. Com.* 2, I-II
- Özçimen, N.**, “Yerel zemin koşullarının yer hareketine etkisi üzerine bir çalışma”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2000.
- Özgirgin, F.**, “Case studies on soil amplification”, Master Thesis, Bogaziçi University, İstanbul, 1997.
- Sarıca, S.S.**, 2008. Isparta il merkezi mikro bölgeleme analizi, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Seed, R.B., Dickenson, S.E., Reimer, M.F., Bray, J.D., Sitar, N., Mitchell, J.K., Idriss, I.M., Kayen, R.E., Kropp, A., Harder, L.F., and Power, M.S.**(1990). “Preliminary report on the principal geotechnical aspect of the october 17, 1989 Loma prieta earthquake, “Report UCB/EERC 90/05, Earthquake Engineering research Center, University of California, Berkeley, 137 pp.
- Shima, E.**, 1978, Seismic microzonation map of Tokyo, *Proceeding 2nd International Earthquake Microzonation Conference*, San Francisco, CA, 1433-443.
- Stone, W. C., Yokel, F. Y., Celebi, M., Hanks, T., and Leyendecker, E. V.**, 1987, *Engineering aspects of the September 19, 1985 Mexico Earthquake*, 64
- Şafak, E.**, “Local site effects and dynamic soil behavior”, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 21, 453-458, 2001.
- Tezcan, S.S., Kaya, E., Bal, E., Özdemir, Z.**, “Seismic amplification at Avcılar, İstanbul”, *Engineering Structures*, 24, 661-667, 2002.
- Trifunaa, M. D. and Brady, A. G.**, (1975) “A study of the duration of strong earthquake ground motion, “*Bulletin of the seismological Society of America*, Vol. 65, pp. 581-626.

- Trifunac, M.D., Todorovska, M.I.,** 2000. "Can aftershock studies predict site amplification factors? Northridge, CA, Earthquake of 17 January 1994", *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 19, 233-25.
- Tokgöz, E.O.,** 2002. Bolu ve yakın çevresinde mikrotremör verileri ile yer etkisinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Ulusay, R., Aydan, Ö.,** "Characteristics and Geo-Engineering aspects of the 2003 Bingöl (Turkey) Earthquake", *Journal of Geodynamics*, 40, 334-346, 2005.
- Yalçınkaya, E.,** "BYTNET (Bursa-Yalova-Türkiye ivme ölçer ağı) istasyonlarında yerel zemin etkilerinin incelenmesi", *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, c.7, s.2, 75-86, 2005.
- Zaslavsky, Y., Shapira, A., Arzi, A.A.,** "Amplification effects from earthquake and ambient noise in the Dead Sea Rift (Israel)", *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 20, 187-207, 2000.

EKLER

EK A: Ölçüm Sonuçları

Tablo A.1: MASW ölçüm sonuçları.

Koordinat		Derinlik	SPT	LL	PL	PI	Zemin Sınıfı	Vs	Büyütme Oranı	Periyot
x	y									
4182724.38	683786.12	4-7,5	17	26	NP		CL	326	2,11	0,64
		7,5-13,5	50	17	14	3	ML	340	2,00	
418805.82	684289.91	2-3	18	17	17	0	SM	282	2,30	0,49
		3-4,5	50		NP		SC	237	2,56	
		6-9	36	20	17	3	CL	338	1,97	
		11,5-13,5	42	15	NP		CL	320	1,70	
4182855.66	68455.83	3-6	50	16	NP		SM	311	2,17	0,57
		6-10,5	36	20	17	3	CL	336	2,07	
4183210.65	683105.78	7-8	50	16	NP		ML	330	1,30	0,31
		8-9	12	18	NP		SM	335	1,25	
		9-11,5	16	29	NP		SM	335	1,25	
418323.20	68324.16	2-3	18	17	17	0	SM	286	2,28	0,52
		3-4,5	50	16	NP		SC	276	2,33	
		6-9	36	20	17	3	CL	334	1,88	
		11,5-13,5	42	15	NP		CL	314	1,83	
4183138.37	683094.69	5-8	12	18	NP		SM	395	1,64	0,41
		8-11	16	29	NP		SM	238	1,56	
4183472.62	683045.95	2-4	41	20	NP		SM	340	2,03	0,47
		4-6	25	17	NP		ML	340	2,03	
		6-9	33	20	NP		SL	340	2,03	
4183565.39	684497.78	2-5	30	31	20	11	SC	299	2,22	0,58
		5-9	36	31	21	10	CL	289	2,27	
		10-11	46	22	14	8	CL	335	2,08	
4183447.07	684373.76	2-5	30	31	20	11	SC	299	2,22	0,58
		5-9	36	31	21	10	CL	289	2,27	
		10-11	46	22	14	8	CL	335	2,08	

Tablo A.1'in devamı

Koordinat		Derinlik	SPT	LL	PL	PI	Zemin Sınıfı	Vs	Büyütme Oranı	Periyot
x	y									
4182889.59	683998.83	0-2	30	31	20	11	SC	338	2,01	0,50
		2-8	36	31	21	10	CL	336	1,97	
		8-11	49	22	14	8	CL	398	1,87	
4183285.24	684040.86	2,5-4	41	20	NP		SM	331	1,95	0,61
		4-6	25	17	NP		ML	330	2,02	
		6,5-9	32	20	NP		SM	329	1,99	
4183566.72	684083.84	1,2-2	30	31	20	11	SC	199	2,84	0,61
		4-8	36	31	21	10	CL	262	2,41	
4183502.67	682948.86	2-4	41	20	NP		SM	260	2,42	0,55
		4-6	25	17	NP		ML	340	2,02	
		8-9	33	20	NP		SM	333	1,73	
4183527.15	683265.56	0-2	50	15	14	1	GM	237	2,56	0,53
		2-7	50	16	NP		ML	266	2,39	
		7-9	12	19	NP		SM	337	1,97	
4183490.42	684349.12	2-3	8	25	NP		OL	241	2,53	0,53
		6-7	50	20	NP		GM	340	2,04	
		7-11	50	24	NP		ML	240	2,76	
4183302.21	683214.02	0-2	50	15	14	1	GM	237	2,56	0,53
		5-7	50	16	NP		ML	330	1,97	
4183672.49	683142.74	0-2	50	15	14	1	GM	208	2,76	0,53
		3-7	50	16	NP		ML	284	2,29	
		7-8	12	18	NP		SM	332	1,98	
		8-11	16	29	NP		SM	320	1,81	
4182966.14	683785.63	0-2,5	50	16	NP		SM	249	2,48	0,55
		2,5-4	50	16	NP		SM	278	2,32	
		4,5-10,5	33	25	17	9	SM-SC	364	1,98	
4182765.31	683625.35	2,5-4,5	8	25	NP		OL	300	2,22	0,57
		4,5-7	50	20	NP		GM	340	1,74	
4183511.09	684405.32	2-3	6	21	16	5	CL	325	2,12	0,52
		3-5	11	26	NP		GM	292	2,26	
		11-13	50	17	14	3	ML	331	1,16	
4183305.61	684086.75	2-5	4	31	27	4	OL	275	2,34	0,65
		5-8	10	33	26	7	SM	332	1,92	

Tablo A.1'in devamı

Koordinat		Derinlik	SPT	LL	PL	PI	Zemin Sınıfı	Vs	Büyütme Oranı	Periyot
x	y									
4183348.96	683333.47	2-4	16	16	NP		SM	332	2,09	0,66
		4-7	50	26	NP		SM	312	2,17	
41833807.33	684014.88	2-3	4	31	27	4	OL	335	1,88	0,46
		3-5	3	31	27	4	OL	316	1,82	
		5-7	10	33	26	7	SM	380	1,67	
4182860.12	684729.48	0-2,5	4	31	27	4	OL	267	2,38	0,85
		2-3	3	31	27	4	OL	264	2,40	
		3-6	10	33	26	7	SM	264	2,40	
4182834.22	684544.74	0-2	4	31	27	4	OL	268	2,37	0,80
		3-5	3	31	27	4	OL	256	2,44	
4182714.82	683107.32	0-2,5	11	21	14	7	SM	322	1,81	0,37
		2,5-6	14	20	NP		SM	339	1,77	
		8-10	41	71	NP		SC	380	1,58	
4182992.41	683971.70	4,5-6	30	22	18	4	ML	300	2,22	0,55
		6-10,5	27	19	19	3	ML	335	1,97	
4184262.32	682853.99	3,5-15	30	22	18	4	ML	319	1,82	0,48
4183743.23	683928.19	1,5-5	50	15	14	1	GM	363	1,98	0,60
		5-9	12	18	NP		SM	374	1,94	
		9-11	16	29	NP		SM	360	1,99	
4182973.76	684329.18	2,5-7	30	22	18	4	ML	328	1,79	0,59
		7-8,5	27	19	16	3	ML	378	1,87	
		8,5-10	50	15	14	1	SM	333	1,97	
4183732.42	683134.58	0-2	9	30	20	10	OL	303	2,21	0,51
		2-4	50	23	15	8	CL	290	2,27	
		4-8	26	16	NP		SM	306	2,19	
		8-2	50	25	17	8	SC	300	1,87	

Tablo A.1'in devamı

Koordinat		Derinlik	SPT	LL	PL	PI	Zemin Sınıfı	Vs	Büyütme Oranı	Periyot
x	y									
4184079.92	683119.60	0-2	9	30	20	10	OL	303	2,21	0,51
		2-4	50	23	15	8	CL	290	2,27	
		4-8	26	16	NP		SM	306	2,19	
		8-2	50	25	17	8	SC	380	1,87	
4183621.31	683484.49	5-8	12	18	NP		SM	395	1,64	0,41
		8-11	16	29	NP		SM	338	1,56	
4183412.10	684537.80	8-9	36	31	20	10	CL	270	2,36	0,67
		10-11	46	22	14	8	CL	330	2,10	
4183986.70	683504.28	2,5-4	18	17	NP		SM	337	1,94	0,60
		4,5-6	34	16	NP		SM	338	1,93	
		7-9	26	19	NP		ML	323	2,12	
		10-12	50	16	NP		SM	313	2,16	
		13-15	50	18	NP		SM	328	2,10	
4183115.99	683561.21	0-2	11	21	14	7	SM	168	3,14	0,98
		3-4,5	14	20	NP		SM	203	2,81	
		5-6	21	19	NP		OL	223	2,65	
4182956.47	683433.56	2-3	8	25	NP		OL	202	2,81	0,96
4182822.11	683851.41	2,5-4	41	20	NP		SM	325	2,12	0,52
		4-6	25	17	NP		ML	292	2,26	
		6-9	33	20	NP		SL	338	1,93	
4183004.63	683812.71	0-2	11	21	14	7	SM	168	3,14	0,98
		3-4,5	14	20	NP		SM	203	2,81	
		5-6	21	19	NP		OL	223	2,65	
		6-8	41	17	NP		SC	206	2,78	

Tablo A.2: Mikrotremör ölçüm sonuçları.

Koordinat		Vs	Büyütme Oranı	Periyot	T _A (Sn)	T _B (Sn)
x	y					
4183494.08	682959.18	360	1,99	0,65	0,43	0,97
4183554.45	683131.16	280	2,31	0,67	0,45	1,00
4183400.39	683206.65	400	1,87	0,64	0,43	0,97
4183149.02	683290.02	450	1,74	0,68	0,45	1,02
4182978.35	683498.27	300	2,22	0,65	0,43	0,97
4183775.29	682996.80	270	2,36	0,63	0,42	0,94
4183772.51	683144.60	260	2,42	0,65	0,43	0,97
4183466.36	684078.24	400	1,87	0,64	0,43	0,96
4183558.04	683986.46	340	2,06	0,67	0,45	1,01
4183671.32	683897.68	380	1,93	0,67	0,45	1,00
4183419.31	683185.65	350	2,02	0,64	0,43	0,96
4183551.12	683197.48	270	2,36	0,67	0,45	1,00
4183483.93	683267.17	380	1,93	0,63	0,42	0,94
4183599.76	683213.22	300	2,22	0,66	0,51	1,14
4183653.19	683102.91	280	2,31	0,63	0,42	0,94
4183649.01	683234.13	290	2,27	0,67	0,45	1,00
4183760.31	683117.34	300	2,22	0,67	0,45	1,00
4183997.21	683307.22	280	2,31	0,63	0,42	0,94
4183868.99	683379.02	270	2,36	0,65	0,43	0,97
4183708.21	683427.22	235	2,57	0,64	0,43	0,96
4183498.03	683433.45	249	2,48	0,69	0,46	1,04
4183301.79	683440.48	255	2,45	0,68	0,45	1,02
4183444.84	683480.05	270	2,36	0,64	0,43	0,96
4184065.71	683586.26	267	2,38	0,66	0,44	0,99
4183923.01	683668.60	249	2,48	0,64	0,43	0,96
4183604.16	683672.74	300	2,22	0,68	0,45	1,02
4183459.59	683702.34	310	2,18	0,65	0,43	0,97
4183669.76	683818.93	302	2,21	0,66	0,44	0,99

Tablo A.2'nin devamı

Koordinat		Vs	Büyütme Oranı	Periyot	T _A (Sn)	T _B (Sn)
x	y					
4183782.23	683708.36	320	2,14	0,63	0,42	0,95
4183507.03	683765.84	280	2,31	0,65	0,43	0,97
4183155.48	683845.44	350	2,02	0,68	0,45	1,01
4183649.98	683884.42	302	2,21	0,63	0,42	0,94
4183538.34	684009.42	304	2,2	0,65	0,43	0,97
4183629.04	683893.51	309	2,18	0,67	0,45	1,00
4184065.68	683948.85	310	2,18	0,66	0,44	0,99
4184355.34	683711.61	299	2,22	0,66	0,47	1,05
4184339.08	683442.81	298	2,23	0,67	0,45	1,01
4184374.76	683760.98	300	2,22	0,66	0,44	0,99
4184027.08	683930.45	298	2,23	0,68	0,45	1,02
4183906.36	684057.03	299	2,22	0,67	0,45	1,00
4183802.76	683964.66	300	2,22	0,65	0,43	0,97
4184669.64	683528.28	380	1,93	0,67	0,45	1,00
4184572.74	684043.97	350	2,02	0,67	0,45	1,00
4184172.98	684150.85	330	2,1	0,67	0,45	1,00
4183966.02	683906.82	320	2,14	0,67	0,45	1,00
4184044.59	683312.35	312	2,17	0,66	0,44	0,99

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Gamze HAZER

Doğum Yeri ve Tarihi: Denizli– 12.01.1986

Lisans Üniversite: Selçuk Üniversitesi