

T.C.

PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ZEMİN İYİLEŞTİRMESİNİN HÂKİM TİTREŞİM PERİYODU
VE ZEMİN BÜYÜTME KATSAYISI'NA ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tennure KORKMAZ

Anabilim Dalı: Jeoloji Mühendisliği

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Erdal AKYOL

AĞUSTOS-2012

YÜKSEK LİSANS TEZ ONAY FORMU

Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü 091149004 nolu öğrencisi Tennure Korkmaz tarafından hazırlanan “**ZEMİN İYİLEŞTİRMESİNİN HÂKİM TİTREŞİM PERİYODU VE ZEMİN BÜYÜTME KATSAYISINA ETKİSİ**” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

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

Jüri Üyesi : Doç. Dr. Mehmet İNEL

Jüri Üyesi : Yrd. Doç. Dr. Turgay BEYAZ

Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 05/09/2012.. tarih ve 22/13..... 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.

Tennure KORKMAZ



ÖNSÖZ

Bu çalışmada, zemin iyileştirmesinin hâkim titreşim periyodu ve zemin büyütme katsayısına olan etkisi üzerinde durulmuştur. Bu amaçla, Denizli ve Muğla illerinde iyileştirme yapılmış zeminde ve aynı zeminin iyileştirme yapılmamış kısımlarında mikrotremör ve MASW ölçümleri alınmıştır. Daha sonra elde edilen ölçüm sonuçlarından zemin büyütme katsayısı hesaplanmış, iyileştirmenin zemine olan etkisi ortaya konmuştur. Bu çalışmanın gerçekleşmesinde katkıda bulunan, yüksek lisans eğitimim boyunca ders aşamasında ve tez çalışmam boyunca bilgi ve tecrübeleriyle her zaman bana yol gösteren, hiçbir zaman desteğini esirgemeyen değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Erdal AKYOL'a, tez çalışmam için gerekli olan jeofizik ölçümlerin gerçekleştirilmesinde büyük bir özveriyle bana yardımcı olan Zemin Mühendislik çalışanlarına ve özellikle Jeofizik Mühendisi Nehar KILINÇARSLAN'a, , bütün hayatım boyunca maddi ve manevi açıdan her zaman yanımda olan ve tez çalışmam boyunca da her zamanki gibi desteğini esirgemeyen babam İsmail KORKMAZ'a, annem Nilgün KORKMAZ'a, kardeşim İsmail KORKMAZ'a sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum. Bu tez çalışması Pamukkale Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Koordinatörlüğü katkılarıyla gerçekleştirilmiştir.

AĞUSTOS 2012

Tennure KORKMAZ

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	ix
SUMMARY	x
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı	1
1.2 Literatür Özeti.....	2
1.2.1 Mikrotremör, MASW ve zemin büyütmesi konusunda yapılmış çalışmalar	2
1.2.2 Zemin iyileştirmesi ve güçlendirmesi ile ilgili yapılmış çalışmalar	6
1.3 Hipotez	9
2. YAPI HASARLARI VE HASAR AZALTMA YÖNTEMLERİ	10
2.1 Deprem Parametreleri	10
2.2 Bina Hasarları.....	11
2.3 Zemin Kaynaklı Hasarlar	13
2.4 Hasar Azaltma	15
2.4.1 Zemin iyileştirme	15
2.4.2 Zemin güçlendirme.....	17
3. KULLANILAN YÖNTEMLER	20
3.1 Mikrotremör	20
3.1.1 Mikrotremör verilerinin kullanım amaçları	22
3.1.2 Mikrotremörlerin periyot dağılımları	22
3.1.3 Hâkim titreşim periyodu-rezonans ilişkisi.....	24
3.2 Aktif Kaynaklı Çok-Kanallı Yüzey Dalgası Yöntemi (MASW).....	26
3.2.1 MASW aşamaları	27
3.2.2 Zemin Büyütmesi	29
3.2.3 Zemin büyütme fonksiyonu	29
3.2.4 Empedans oranı ve rezonans etkisi	31
3.2.5 Zemin büyütmesini etkileyen faktörler.....	33
3.2.6 Zemin büyütmesinin belirlenmesi.....	34
4. ARAZİ ÇALIŞMALARI	36
4.1 Mikrotremör	37
4.1.1 Mikrotremör ölçümlerinde kullanılan cihazlar ve genel özellikleri.....	37
4.1.2 Mikrotremör verilerinin değerlendirilmesinde kullanılan yöntemler.....	39
4.1.3 Hâkim titreşim periyodunun hesaplanması.....	42
4.1.4 Mikrotremör ölçümleri ve değerlendirilmesi	44
4.2 MASW	48
4.2.1 MASW ölçüm araçları ve özellikleri.....	48
4.2.2 Kullanılan cihazın teknik özellikleri	49
4.2.3 MASW verileri ve değerlendirilmesi	51
4.2.4 Zemin büyütme değerleri.....	56
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	58
6. KAYNAKLAR	60
7. EKLER	65

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 Akısı
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 Fourier Spekturumu
HS	: Yumuşak Zeminde Deprem Kayıtlarının Yatay Bileşeni
Hv	: Yatay Bileşenin Fourier Spekturumu
Hz	: Hertz
İ.Ö.O.	: İlk Öğretim Okulu
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
M.Y.O.	: Meslek Yüksek Okulu
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	: Zeminin Hâkim Titreşim Periyodu
u(t)	: Tanecik Hızı
UD(w)	: Aşağı-Yukarı Yönünde Alınan Kayıtta En Büyük Genlik
v	: Ortamın Sismik Dalga Hızı
V1	: 30 m Derinlik İçin Ortalama Kayma Dalgası Hızı
V2	: Bir Saniye Periyodlu Dalga İçin ¼ Dalga Boyu Derinliğe Kadar Ortalama Kayma Dalgası Hızı
Vb.	: Ve Benzeri
Vd.	: Ve Diğerleri
v_r	: Ana Kayanın Sismik Dalga Hızı
VR	: Ragleigh Dalgası hızı
v_s	: Zeminin Sismik Dalga Hızı
Vs	: Kayma Dalgası Hızı
V_{s30}	: Zeminin yüzeyinden itibaren ilk 30m derinlik için kayma dalgası hızı
ω	: Açısal Frekans
x	: Uzaklık
z	: Empedans
%	: Yüzde
α	: Empedans Oranı
ξ	: Sönüm Oranı

TABLO LİSTESİ

Tablolar

3.1: Deprem bölgelerinde yapılacak yapılar hakkında yönetmelik (2007)'e göre zemin sınıflandırması ve zemin hâkim periyodu	25
3.2: N katlı bir bina için bina hâkim periyodu.....	26
3.3: Zemin büyütme katsayısının hesaplanmasında yararlanılan bağıntılar.....	35
3.4: Çeşitli jeolojik birimlere göre farklı araştırmacılar tarafından önerilen bağıl büyütme katsayıları	35
4.1: Tez Çalışması Kapsamında Mikrotremör Ölçümleri Alınan Lokasyonlar.....	46
4.2: Zemin cinsine bağılı olarak iyileştirmeden kaynaklanan hâkim titreşim periyodunun farkı.....	47
4.3: MASW ölçümleri sonucu elde edilen ortalama değerler	52
4.4: Zemin cinsine bağılı olarak iyileştirmeden kaynaklanan Vs30 değerinin farkı	56
4.5: Kayma dalgası hızı yardımıyla hesaplanan büyütme oranları.....	57

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekiller

3.1: Farklı tipteki yerlerde alınmış tipik mikrotremör kayıtları	23
3.2: Çeşitli zeminler için örnek periyod dağılım eğrileri	23
3.3: Ula-Karabörtlen ilköğretim okulu doğal zemin MASW ölçümlerinden bir görüntü.....	28
3.4: Yatay tek tabaka durumunda dalga yansımalarının gösterimi ve bu parametreler kullanılarak düşey yayılan S dalgası için elde edilen büyütme fonksiyonu grafiği	32
3.5: Zemin büyütmesini etkileyen faktörler	34
4.1: Mikrotremör kayıtlarının alınmasında kullanılan temel birim	38
4.2: Üç bileşenli mikrotremör kaydının bilgisayar görüntüsü.....	38
4.3: Nakamura Yöntemi ile yapılan değerlendirmeye ait veri çözümlemesinin akış şeması	43
4.4: H/V analizinin şematik gösterimi	44
4.5: Ortaca Meslek Yüksekokulu yurt binası mikrotremör ölçümlerinden bir görüntü.....	45
4.6: Üç bileşenli sismometre	45
4.7: Arazi ölçümleri sonucu oluşturulan hâkim titreşim periyodu-zemin ilişkisi grafiği	46
4.8: MASW ölçümlerinden bir görünüm (Ortaca Meslek Yüksekokulu yurt binası doğal zemin)	50
4.9: MASW ölçümlerinin bilgisayar görüntüsü (Ortaca Meslek Yüksekokulu Yurt binası iyileştirilmiş zemin)	50
4.10: Denizli Merkez ilköğretim okulu iyileştirilmiş zemin MASW ölçümlerinden bir görüntü	52
4.11: Akdere İ.Ö.O. zemininde kesme dalgası hızının derinlikle değişimi	53
4.12: Anafartalar lisesi zemininde kesme dalgası hızının derinlikle değişimi	53
4.13: Arif Yalınkaya İ.Ö.O. zemininde kesme dalgası hızının derinlikle değişimi	53
4.14: Cumhuriyet lisesi zemininde kesme dalgası hızının derinlikle değişimi	54
4.15: Hürriyet İ.Ö.O. zemininde kesme dalgası hızının derinlikle değişimi.....	54
4.16: Merkez İ.Ö.O. zemininde kesme dalgası hızının derinlikle değişimi	54
4.17: Ula-Karabörtlen İ.Ö.O. zemininde kesme dalgası hızının derinlikle değişimi	55
4.18: Nuri Erikoğlu İ.Ö.O. zemininde kesme dalgası hızının derinlikle değişimi	55
4.19: Ortaca M.Y.O. Yurt Binası zemininde kesme dalgası hızının derinlikle değişimi	55
4.20: Zemin cinsine bağlı olarak büyütme oranı ve Vs30 arasındaki değişim.....	57

ÖZET

ZEMİN İYİLEŞTİRMESİNİN HÂKİM TİTREŞİM PERİYODU VE ZEMİN BÜYÜTME KATSAYISI'NA ETKİSİ

Ülkemizde meydana gelen deprem hasarları ülke bütçesinde önemli bir gider oluşturmakta ve sürdürülebilir kalkınmayı ciddi olarak tehdit etmektedir. Bu hasarların önemli bir kısmı da zemin problemlerinden kaynaklanmaktadır. Yerleşim alanlarının büyük bir kısmı deprem bölgelerinde yer alan ülkemizdeki zeminlerin önemli bir bölümü problemlidir. Karşılaşılan en büyük sorunlar arasında zeminlerdeki düşük taşıma gücü, yüksek zemin büyütme katsayıları ve yüksek hâkim titreşim periyodu sayılabilir.

Zeminlerin dinamik özelliklerinde yapılacak iyileştirmeler depremlerin yapılar üzerindeki hasarlarının azaltılmasında önemli katkılar sağlayacaktır. Özellikle Marmara depreminden sonra hem mevcut yapıların depreme karşı güçlendirme çalışmaları sırasında hem de yeni yapıların inşasından önce birçok sahada zemin iyileştirme çalışmalarının daha yoğun olarak yapıldığı gözlenmektedir.

Bu çalışma kapsamında dokuz adet mevcut kamu yapısı incelenmiştir. Bunlardan ikisi zemin drenajı yöntemiyle, diğerleri ise zemin enjeksiyonu yöntemiyle iyileştirilmiştir. Bu yapılarda doğal ve iyileştirilmiş zeminlerinde mikrotremör ve MASW ölçümleri yapılmıştır. Bu veriler kullanılarak hâkim titreşim periyotları ile zemin büyütme katsayıları hesaplanmış ve iyileştirmenin etkisi belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre zemin hâkim titreşim periyodunda % 57, zemin büyütme katsayısında ise %50'ye varan azalmalar görülmüştür. Sonuçlar enjeksiyonun drenajdan daha etkili olduğunu ortaya koymaktadır.

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

SUMMARY

THE EFFECTS OF SOIL REMEDIATION ON PREDOMINANT GROUND PERIOD AND SOIL AMPLIFICATION

Cost of earthquake damages in gross national expenditure of Turkey is very high and it is one of the major threats for sustainable development. Main portion of settlements in Turkey most of which include problematic soils are located on highly active seismic regions. Some soils in these areas have negative attributes like low bearing capacity, high amplification values and high soil predominant ground vibration period.

Improvement on dynamic soil parameters will help to reduce earthquake hazards. After Marmara earthquake soil remediation is being performed both on new and existing construction sites.

This study covers microtremor and MASW measurements and their analysis which will be performed both on remediated and original soils in nine sites. Soil drainage has been employed in two sites. The rest is strengthened by cement injection. The obtained results suggest that predominant ground vibration period, soil amplification have been reduced up to 57% and 50% respectively. Additionally injection provides better results than drainage.

Keywords:

Earthquake, Soil Remediation, Microtremor, Predominant Ground Period, Soil Amplification

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 titreşimler 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, zemin iyileştirmesinin hâkim titreşim periyodu, MASW ve zemin büyütmesi üzerindeki değişimini belirlemektir. 1999 Marmara depreminden sonra mevcut yapıların depreme karşı güçlendirilme çalışmaları sırasında birçok sahada zemin iyileştirme çalışmaları 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. Deprem hasarlarının önemli nedenleri arasında zemin-yapı rezonansı ve zemin büyütmesi bulunmaktadır (Ulusay vd., 2004; Siyahi ve Selçuk, 2005; Pitilakis, 2007; Nakamura, 1997).

Bu nedenle zemin iyileştirmesinin zeminin hâkim titreşim periyodu, yüzey dalgası yayılma hızı ve zemin büyütmesi üzerindeki etkisi büyük öneme sahiptir. Bu tez çalışması kapsamında zemin iyileştirmesi yapılan yapıların temellerinde ve iyileştirilmemiş kısmında mikrotremör ve MASW ölçümleri ile iyileştirme öncesi ve

sonrası zemin hâkim titreşim periyodu, kayma dalgası hızı ve buna bağlı zemin büyütmesindeki değişim belirlenmiştir. Elde edilen verilerle zemin iyileştirmesinin zemin-yapı rezonansını ve zemin büyütmesini nasıl etkilediği ortaya konulmuştur.

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. Zemin iyileştirmesi, hâkim titreşim periyodu ve zemin büyütme katsayısının belirlenmesi ile ilgili yapılmış bazı çalışmalar aşağıda verilmiştir.

1.2.1 Mikrotremör, MASW ve zemin büyütmesi konusunda yapılmış çalışmalar

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

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.

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

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 büyütme neden olan etkinin yüzeydeki kayma dalgası hızından kaynaklandığını belirtmiştir.

Stone vd. (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).

Midorikawa (1987), Borchardt 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.

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.

Biringer (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.

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

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 vd. (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 2.5–4.0 s arasında maksimum değerlerini gösterdiği gözlenmiştir.

Tezcan vd. (2001), İstanbul'un Avcılar ilçesi için dalga büyütmesi çalışması yapmışlardır. Zeminin başlıca üç hâkim titreşim periyodu 1.60 s, 1.0 s ve 0.70 s, SHAKE bilgisayar programı ile belirlenmiştir. Bu bölgedeki 5 ile 8 katlı binalarda meydana gelen hasarın nedenlerinin, deprem dalgalarının yüksek periyotlarına ve zemin büyütmesine bağlanabileceğini ortaya koymuşlardır.

Akyol vd. (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.

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 içerisinde. Bu uyumluluk çalışılan bölge ve bölgeye benzeyen diğer bölgeler için Nakamura yönteminin uygulanabilirliğini ve etkili sonuçlar elde edilebileceğini göstermektedir.

Mollamahmutoğlu vd. (2003), tarafından yapılan çalışmalarda 17 Ağustos 1999 Gölcük merkezli deprem sırasında Adapazarı'nda meydana gelen yapı hasarlarının zemin-yapı ilişkisi irdelenmiştir ve zeminin ile kat yüksekliği (dolayısıyla periyot) arasında bir ilişki olduğunu ortaya koymuşlardır.

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

Ergin vd. (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.

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 mikrobölgelendirme 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.

Yalçınkaya (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.

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 olduğu 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.

Ergin (2007), Antik Galata Bölgesi'nin (İstanbul) mikrotremör ölçümleri esaslı mikrobölgelendirme 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.

Sarıca (2008), "Isparta İl Merkezi Mikro bölgeleme Analizi" adlı çalışmada Isparta İl merkezinin hâkim titreşim periyodu ve büyütme faktörü hesaplanmıştır. Mikrotremör (Titreşimcik) Yöntemi ile veri işlem sırasında uygulanan Nakamura (H/V Spektral Oran) tekniği hakkında detaylı bilgi verilmiştir. Veriler haritalara işlenmiş ve Isparta il merkezindeki riskli bölgeler saptanmıştır.

1.2.2 Zemin iyileştirmesi ve güçlendirmesi ile ilgili yapılmış çalışmalar

Hugo Joosten (1925), Birleşmiş Milletlerde zemin iyileştirmesinde karşılaşılan problemlerde erken önlem alabilmek için bir sistem geliştirmiştir. Bu sistemde ilk olarak sodyum silikat kimyasalı zemine enjekte edilmiş, bunu takiben bu kimyasalla tepkimeye girecek madde enjekte edilmiştir. Bunun içinde yaygın olarak kalsiyum klorür kullanılmıştır. Çünkü kalsiyum klorür silikatın sertleşmesini sağlamıştır. Bununla beraber Joosten'in sistemi 1960'ların sonlarına kadar kullanılmıştır.

Jeziorski (1887), sodyum silikat karışımının zemine enjekte edilerek zemin iyileştirmesinde kullanışlı bir yöntem olduğunu ortaya koymuş, fakat bu kimyasalın

zemine enjekte edilmesi işleminin çok hızlı bir şekilde gerçekleştirilmesi gerektiğini ortaya koymuştur.

İncek vd. (2004), yapmış oldukları çalışmayla yol ve hava alanı gibi inşaatlarda karşılaşılan yumuşak kil tabakalarının üzerine yapılan dolguların oturma ve taşıma gücü problemlerini çözmede yetersiz kaldığını ortaya koymuşlardır. Çözüm olarak bu zeminlerde iyileştirme için yumuşak kilin yüzeyinden 1-1.5 m derinliğe kum şiltleri ve dolgu kademeleri arasına jeosentetikler yerleştirmek suretiyle iyileştirme yapmışlardır.

Kara ve Elcuman (2004), Kayseri serbest bölgesindeki yumuşak ve suya doymun organik killerin kademeli dolgu yöntemi ile iyileştirmesinin uygun bir yöntem olduğunu ortaya koymuşlardır.

Akyol ve Şen (2006), Muğla ili Ortaca ilçesi Meslek Yüksek Okulu yurt binasında iri taneli zeminde geçirimsizlik enjeksiyonu uygulamışlardır. Temel derinliği 3.0 metre olan binada kurak mevsimlerde herhangi bir sorun olmamasına karşın yağışlı geçen mevsimlerde su seviyesi 1.5 m kadar yükselmektedir. Bu durum ciddi sorunlara yol açtığı için binada bodrum katından enjeksiyonlama işlemi gerçekleştirilmiş ve ek olarak bina dışından yan duvarları örtecek şekilde enjeksiyon yapılmıştır. Enjeksiyonda sülfata dayanıklı çimento kullanılmıştır.

Bakım (2007), yapılan çalışmaya göre zemin iyileştirmesinin deprem zararlarının azaltılmasında çok büyük öneme sahip olduğu ortaya konmuştur. Üst yapı yüklerini zeminin sağlıklı bir şekilde taşıyabilmesi için zeminin mühendislik özelliklerinin iyileştirilmesi gerektiği belirtilmiştir.

Demir (2007), Taş kolon ve geopier uygulaması ile zemin iyileştirmesi konulu yüksek lisans tezi çalışmasına göre; hem literatürdeki hesap yöntemleri ile hem de plaxis sonlu elemanlar programı yardımıyla yaptığı analizler sonucunda taş kolon ile iyileştirilen zeminin taşıma kapasitesinin arttığını ortaya koymuştur. Ayrıca meydana gelmesi beklenen oturma değerlerinin iyileştirilmemiş zemine göre hayli azaldığı ispatlamıştır.

Öztürk (2007), Engineering properties of kaolinite clay reinforced with polypropylene fibers konulu çalışması sonucunda; killi zeminlerde liflerin eklenmesinin zemin kayma mukavemetine olan etkilerini ortaya koymuştur. Kayma mukavemeti deneylerinde standart ve modifiye sıkıştırma metotları uygulanmış, sıkıştırma deneylerinde darbeli sıkıştırma yöntemi kullanılmıştır. Zemine propilen liflerin eklenmesi kayma açısı, kohezyon ve basınç dayanımı değerlerini arttırmış, büzülme oranını ise düşürmüştür.

Küçükali (2008), Demiryolu altyapısının jet enjeksiyon yöntemi ile iyileştirilmesi adlı çalışmasında; Ulukışla-Gümüş demiryolu hattında 1000 metrelik mesafede yapılan çalışmada jet enjeksiyonu uygulanarak, sonuçları phase 6.018 sonlu elemanlar programı ile analiz edilmiştir. Uygulanan jet enjeksiyonu ile zeminde oluşan göçmelerin önüne geçilmiştir.

Ayan (2009), Derin zemin iyileştirme yöntemleri ve uygulamadan örnekler konulu yüksek lisans çalışmasıyla; İzmir atık su tesislerinde yaptığı çalışmayla derin iyileştirme yöntemiyle düşey drenlerle, konsolidasyon hızı tasarım parametrelerinin belirlenmesinde arazi uygulaması, laboratuvar ve arazi deneylerinin yorumlanması ve birlikte değerlendirilmesinin önem taşıdığı ortaya koyulmuştur. Kütahya şehir geçişi düşey bant dren uygulamasıyla, konsolidasyon oturması yapıp tamamlanarak, CPT ile zemin kayma dayanımının artışı belirlenmiş ve % 100 mertebesinde iyileşme belirlenmiştir. Mabeyini Arif Paşa Yalısı (İstanbul) jet-grout ile zemin iyileştirmesi yapılmış ve kayma dalgası hızının 2 kat arttığı gözlenmiştir. Kayma dalgası hızlarının iyileştirme sonrası değerleri ile sıvılaşma analizlerinde, sıvılaşmaya karşı katsayısının oldukça yüksek değere ulaştığı gözlenmiştir. Samsun-Çarşamba Havaalanı inşasında pist temel zeminin yükleme yöntemiyle iyileştirmesi yapılmış, test dolgusunda elde edilen veriler ön yükleme ile zeminin makul sürede konsolide edilebileceğini, konsolidasyonu hızlandırmak amacıyla başka önlemler alınmasına gerek olmadığını ortaya koymuştur.

1.3 Hipotez

Zeminin doğal salınımlarına bağlı altında hâkim periyodunu belirlemek amacıyla 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 yapıda olduğu görülür.

MASW (Aktif Kaynaklı Çok-Kanallı Yüzey Dalgası Yöntemi) ölçümlerinin amacı ilk 30 metre için ortalama yüzey dalgası hızı (V_{s30}) hesaplamaktır. 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.

Yapılan MASW ölçüm sonuçlarına göre ise V_{s30} değerinin derinlikle değişimi incelendiğinde; V_{s30} değerinin derinlikle arttığı gözlenmiştir. Elde edilen V_{s30} değerleri ile tabii zemin ve iyileştirilmiş zemin için ayrı ayrı zemin büyütmesi hesaplanmış ve iyileştirmeden kaynaklanan fark ortaya konulmuş ve doğal zeminde büyütme değerinin iyileştirilmiş zemine göre daha büyük olduğu gözlenmiştir.

2. YAPI HASARLARI VE HASAR AZALTMA YÖNTEMLERİ

Bu bölümde yapı hasarlarına neden olan deprem, yapı ve parametreleri açıklanmıştır. Bölümün ikinci kısmında yapı hasarlarının azaltılması ve/veya ortadan kaldırılmasında kullanılan ve çalışma konusunu da kapsayan yaygın yöntemler verilmiştir.

2.1 Deprem Parametreleri

Yerküre durağan ve sessiz değildir. Milisaniyeden günlere kadar değişen periyotlarda ve nanometrelerden metrelere 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.

Genlik

Hareketle ilgili parametre ivme, hız ve yer değiştirir. 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 kayda 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.

Frekans içeriği

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).

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, 1975b) toplam enerjinin %5'i ile %95'inin kaydedildiği noktalar arasındaki süre şeklinde yapılmıştır.

2.2 Bina Hasarları

Depremlerin neden olduğu hasarın en çarpıcı sonucu şüphesiz ki bina hasarlarıdır. Dünyanın gelişmemiş bölgelerinde; içinde çok sayıda nüfusun yer aldığı ve deprem sırasında büyük bir olasılıkla yıkılması beklenen donatısız yığma yapılar ile kerpiç yapılardan, deprem sırasında yıkılması sürpriz sayılabilecek çok daha modern yapılar da dâhil olmak üzere bir çok deprem sırasında meydana gelen can ve mal kayıplarına neden olan faktörler arasında birinci sırayı yapısal hasar almaktadır (Kramer, 1996).

Bir deprem sırasında, herhangi iki bina tam olarak aynı hareketlere maruz kalmayacağı için, büyük bir depremin neden olduğu hasar düzeyi yalnızca genel anlamda tahmin edilebilir.

Yaygın yapı hasarları aşağıdaki bölümlere ayrılabilir:

Burulma

Burulma problemleri, yapının kütle merkezinin, rijitlik merkezi olarak da bilinen yanal direnme merkezine yerleştirilmediği zaman gelişir.

Yumuşak kat

Zayıf kat olarak ta bilinen yumuşak kat, aşağısındaki ya da yukarısındaki katlardan çok daha az dirence veya rijitliğe sahip bir yapıdaki herhangi bir kat olarak tanımlanır. Esasen, yumuşak bir kat yetersiz kayma direncine sahiptir. Bunlar, gerekli iyileştirmeler yapılarak uygun duruma getirilmelidir. Genellikle böyle bir yapının uygun duruma getirilmesinin en ekonomik yolu da, yumuşak katlara uygun kayma duvarları ilave etmektir (Day, 2002).

Çarpma hasarı

Çarpma hasarı, iki bina birbirine yakın inşa edildiği zaman oluşabilir ve deprem sırasında ileri ve geri salınım gösterirken, birbiri ile çarpışırlar. Çarpma hasarının yaygın olduğu durumlar, uzun periyotlu ve titreşim genliği büyük, çok yüksek binaların yanına, periyodu kısa ve genliği daha küçük olan alçak binaların inşa edilmesi ile oluşan durumlardır. Bu şekilde, deprem sırasında binalar farklı frekanslarda ve genliklerde titreşmekte ve birbiri ile çarpışmaktadır (Day, 2002).

Yapı rezonansı

Rezonans, deprem kökenli yer sarsıntısının titreşim periyodunun bina titreşiminin doğal periyoduna eşit olduğu bir durum olarak tanımlanır. Rezonans oluştuğu zaman, binanın salınım tepkisi artar ve binanın titreşim genliği hızla büyür.

Yüksek titreşim periyotlu yer sarsıntısına en çok tepki veren yapılar; yüksek binalar, köprüler ve diğer büyük yapılar olup, küçük yapılar en çok düşük periyotlu sarsıntıya

tepki verirler. Bu konuda pratik bir yaklaşım, bir binanın titreşim periyodunun kat sayısının yaklaşık onda biri kadar olduğudur. Böylece, 10 katlı bir binanın doğal titreşim periyodu yaklaşık olarak 1s olacaktır. Deprem yer hareketinin titreşim periyodunun da yaklaşık 1s olması durumunda 10 katlı binada rezonans oluşması beklenir (Day, 2002).

2.3 Zemin Kaynaklı Hasarlar

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).

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).

Depremlerde yapıları etkileyecek deprem özellikleri 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).

Zemin tabakalarının yapısı, yapıların deprem davranışında büyük bir etkiye sahiptir. Deprem esnasında, sismik dalgalar ana kayadan temele zeminin büyütme etkisiyle iletilir. Bu etki küçültme ya da büyütme şeklinde olabilir. Bu durum, 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.

Sağlam kaya üzerindeki binaların, deprem kaynaklı farklı oturmadan en az düzeyde etkilenmesi beklenir. Bununla birlikte, zemin üzerindeki binalar, deprem kökenli oturmanın çok farklı tiplerine maruz kalabilir (Day, 2002). Bunlar;

1) Tektonik yüzey etkileri

- a) Tam fay hattı üzerine oturan bir yapının düşey ve yanal olarak yer değiştirmesine neden olan yüzey yırtılması
- b) Bölgesel yükselme veya tektonik hareket ile birlikte çökme

2) Sıvılaşma

- a) Sıvılaşmadan dolayı oturma
- b) Zemin yüzeyi kum kaynamalarının gelişmesi ile zemin kaybı gibi yapı altında sıvılaşmadan dolayı zemin kaybı
- c) Sıvılaşmadan dolayı taşıma kapasitesi yenilmesi
- d) Sıvılaşmadan dolayı akma kaynamaları
- e) Sıvılaşma ile ilgili yerel veya büyük ölçekli yanal yayılma

3) Sismik kökenli şev hareketi

- a) Sismik kökenli yamaç hareketi veya yenilme
- b) Sismik kökenli heyelan hareketi veya yenilme
- c) Dolguların ani çökmesi veya önemsiz kayma deformasyonları

4) Tsunami

- a) Bir tsunami ile doğrudan ilişkili oturma

2.4 Hasar Azaltma

Yirminci yüzyılda başlayan ve günümüzde de süren hızlı nüfus artışı, kentleşme ve sanayileşme, birçok ülkedekine benzer şekilde Türkiye'de de kontrolsüz yapılaşmaya neden olmuştur. Bunun sonucu olarak zemin koşullarının uygun olmadığı alanlarda da mühendislik desteği almamış yapılar ortaya çıkmış, düşük taşıma gücü, sivilaşma ve benzeri problemliler zeminler üzerinde çok sayıda yapı inşa edilmiştir. Zayıf zeminler de karşılaşılan bu sorunların üstesinden gelebilmek için temel zeminini iyileştirme konusunda çeşitli yöntem ve teknikler geliştirilmiştir.

2.4.1 Zemin iyileştirme

İnşa edilecek olan yapılardan oluşan ve zemine aktarılan gerilmeleri, zeminin kabul edilemez deformasyonlar oluşturmadan güvenle taşıması istenir. Ancak, yapı temel zeminleri her zaman istenilen bu özellikleri sağlamayabilir (Özdemir, 2006).

Bu gibi durumlarda aşağıdaki önlemler alınarak iyileştirme yapılması gerekebilir.

- 1) Mevcut zemine göre yapı temellerini projelendirmek,
- 2) Zayıf zemini kaldırarak yerine taşıma gücü yüksek olan zeminler yerleştirmek,
- 3) Taşıma gücü zayıf olan zemini uygun bir yöntemle geçerek temelleri sağlam tabakada inşa etmek,
- 4) Zemin özelliklerini arazide yapılacak işlemlerle iyileştirmek.

Temel zemini taşıma gücü ve oturmalar açısından zayıfsa ilk akla gelen çözüm; genelde bu tür zeminler üzerine radye temel oluşturularak yapı yüklerinin yumuşak zemin tabakaları üzerine eşit yayılması sağlamaktır. Bu temel sistemi ile de yüklerin oluşturduğu zarar azaltılamıyorsa kazıklı temel uygulamasına geçilebilir.

Zayıf tabaka kalınlığının az olması halinde bu tabakalar kazılır, yerine taşıma gücü yüksek zeminler kontrollü dolgu yapım tekniklerine uygun olarak yerleştirilir ve yeni temel zemini oluşturulur. Bu durumda uygulanabilecek diğer bir yöntem de, yine bu tabakanın kazılarak uzaklaştırılması ve sağlam tabakaya erişilmesidir. Temel bu tabaka üzerine inşa edilir veya beton ayaklarla yükler bu sağlam tabakaya aktarılır.

Zeminin iyileştirilmesi yararları,

- Kayma dayanımı artar,
- Gerilme-deformasyon modülü artar,

- Sıkışabilirliği azalır,
- Şişme ve büzülme potansiyeli kontrol altına alınır,
- Geçirimsizliği azalır,
- Çevre koşullarına bağlı olarak fiziksel ve kimyasal değişimleri önlenir,
- Sıvılaşma potansiyeli azalır.

Zemin davranışını ve jeoteknik tehlikeleri anlamada son 75 yılda sağlanan gelişmelerle, çok sayıda zemin iyileştirme yöntemi geliştirilmiş ve bu yöntemlerin kullanılabilirliği kontrol edilmiştir. Sismik tehlikeleri tespit etmede ve bunları kontrol eden faktörleri anlamada kaydedilen gelişmeler, bu yöntemlerin son 30 yılda sismik tehlikelerin azaltılmasında uygulanmasına zemin hazırlamıştır. Bu yöntemlerin maliyeti değişken olup, kullanma şartları yapıların karakterinden ve uzaklığından etkilenmektedir (Day, 2002).

Zemin iyileştirme teknikleri sıkılaştırma ve drenaj olmak üzere iki ana gruba ayrılabilir.

Sıkılaştırma

Sıkılaştırma işlemi zeminde kalıcı hacim değişimleri oluşturur ve bu da çoğu zaman yer yüzeyinde oturmayla sonuçlanır. Farklı sıkılaştırma teknikleri farklı miktarda oturmalar meydana getirir. Oturmayı azaltmak amacıyla sıkılaştırma işlemi sırasında bazı teknikler kullanılarak zemin üzerine veya altına ilave zemin konur.

Sıkılaştırma işleminde en yaygın olarak kullanılan yaklaşımlar;

- Vibro teknikleri
- Dinamik kompaksiyon
- Patlatma
- Kompaksiyon enjeksiyonudur.

Bunlar arasında ilk üçü, granüle zeminlerin titreşimlere maruz kaldığında sıkılaşma eğiliminden yararlanır. Bu sebepten dolayı, bunların en verimli sonuçlar verdiği zeminler, kumlar ve çakıllardır. Deprem sırasında sıvılaşmayı kısıtladığı bilinen ince taneli malzeme, titreşim sırasındaki sıkılaşmayı da engelleme eğilimindedir.

Drenaj

Yamaçlar, dolgular, istinat yapıları ve temelerde kabul edilmeyecek derecede büyük hareketlerin oluşması, genellikle deprem sarsıntısından önce su seviyesini düşürmek suretiyle çoğu zaman engellenebilmektedir. Çok sayıda drenaj tekniği geliştirilmiş ve mühendislik uygulamalarındaki kullanışlılığı ispat edilmiştir.

Sıvılaşma tehlikelerinin azaltılmasında sadece drenajın kullanıldığı durumlar az olsa da, deprem sarsıntısı sırasında aşırı boşluk suyu basıncının birikmesi, drenaj tekniklerinin kullanımıyla önlenmektedir. Depremden kaynaklanan aşırı boşluk suyu basınçları, gözenek suyunun taş kolonlar içinde akışı ile çabucak sönmülenebilmektedir. Boşluk suyu basıncının sönmülenme hızı, taş kolonun çapı ile kolonlar arasındaki mesafeye ve zeminin geçirgenliği ile sıkışabilirliğine bağlıdır. Drenaj teknikleriyle aşırı boşluk suyu basıncını gidermek suretiyle sıvılaşma tehlikeleri azaltılmasına rağmen, deprem sonrası oturmalar oluşabilmektedir.

2.4.2 Zemin güçlendirme

Bazı durumlarda zemini kuvvetlendiren özel bileşenler yerleştirmek suretiyle, bir zemin çökeline dayanımını ve rijitliğini güçlendirmek de mümkündür. Bunlar; çelik, beton veya ahşap gibi yapı bileşenlerinden veya sıkılaştırılmış çakıl gibi doğal malzemeden oluşabilir.

Birçok zeminin mühendislik özellikleri çimentolu malzemeleri zemine enjekte etmek veya karıştırmak suretiyle iyileştirilebilir. Bu malzemeler hem zemin taneleri arasındaki teması güçlendirir hem de taneler arasındaki boşlukları doldurur. Enjeksiyon teknikleri zeminin çoğunluğunun partikül yapısı bütün haline gelecek şekilde böyle malzemelerin zeminlerin gözeneklerine veya çatlaklarına şırınga edilmesini içerir. Karıştırma teknikleri zeminin partikül yapısını tamamen bozmak suretiyle çimentolu malzemenin zemine verilmesini ve zeminle fiziksel olarak karıştırılmasını içerir. Karıştırma işlemi mekanik veya hidrolik olarak gerçekleştirilebilir. Enjeksiyon ve karıştırma teknikleri, maliyeti biraz yüksek yöntemlerdir. Fakat minimum bir oturma veya titreşim ile yapılabilmektedir. Bu nedenle de, diğer zemin iyileştirme tekniklerinin kullanılmadığı durumlarda çoğu zaman enjeksiyon ve karıştırma teknikleri kullanılmaktadır (Day, 2002).

Enjeksiyon

Bu iyileştirme, zeminin gerilme-deformasyon ve dayanım gibi mekanik özellikleri ile geçirimsizlik gibi hidrolik özellikleri değiştirilerek elde edilir. Zemin enjeksiyonları özellikle son 10-15 yıllık bir süreç içerisinde tünel kazımı dolayısıyla yüzeydeki veya yakın çevredeki yapılarda meydana gelebilecek zararlı oturmaların engellenmesinde, deprem esnasında sıvılaşabilecek gevşek, suya doygun granüler zeminlerin sıvılaşma potansiyellerinin azaltılmasında ve zeminlerin taşıma kapasitesinin artırılmasında kullanılmıştır (Bell, 1993).

Enjeksiyon teknolojisinin kökeni diğer zemin iyileştirme teknikleri gibi eskiye dayanmakla beraber bu teknoloji hem yeni enjeksiyon malzemeleri hem de bu malzemelerin zemin içerisine nüfuz ettirilmesi bakımından sürekli bir gelişim içerisindedir. Burada dikkatle üzerinde durulması gereken nokta, bütün bu uygulamalar için aynı enjeksiyon malzemesinin ve enjeksiyon parametrelerinin kullanılmayacağıdır (Wallace, 1982).

Enjeksiyon terimi çimentolu malzemenin zemine verildiği değişik birtakım süreçleri tanımlamada kullanılmaktadır. Enjeksiyonlama teknikleri genellikle şerbetin zemine verilmiş şekline göre sınıflandırılmaktadır. Bu tanımlamadan yola çıkıldığında, iki ana enjeksiyon tekniği vardır.

Gözenek enjeksiyonu

Gözenek enjeksiyonu, zeminin yapısını bozmayacak şekilde düşük viskoziteli şerbetin zemine verilmesini kapsar. Çakıl ve kum gibi geniş gözenekli zeminlerde nispeten viskoz çimento şerbetleri de dahil olmak üzere hemen her çeşit enjeksiyon maddesi kullanılabilir. Kimyasal enjeksiyon maddelerinin viskozitesi taneli şerbetlere göre daha düşüktür ve bu nedenle de ince kumlarda kullanılabilir. Zeminde ince taneli malzemenin varlığı gözenek enjeksiyonunun etkinliğini önemli ölçüde azaltır.

Gözenek enjeksiyonu, iki ana mekanizma ile zemin iyileştirmesi sağlamaktadır. Birincisi, şerbetin münferit zemin taneleri arasındaki teması güçlendirme eğiliminde olması ve bu şekilde enjeksiyon uygulanmayan zemine göre iskelet yapısı daha kuvvetli ve daha rijit olan bir zemin oluşturulmasıdır. Diğeri de, enjeksiyon maddesinin zemin taneleri arasındaki boşlukları doldurması ve bu şekilde tekrarlı yüklenme sırasında sıkışma eğiliminin azaltılmasıdır (Day, 2002).

Jet Enjeksiyonu

Jet enjeksiyonunda zemin, önceden açılmış bir sondaj kuyusunda yüksek basınç altında yatay olarak enjekte edilen çimento şerbeti ile karıştırılır. Jet enjeksiyonu ile oluşturulan kolonun çapı, zemin şartlarına ve jet enjeksiyonun uygulanış şekline bağlıdır. Jet enjeksiyon operatörü hava, su ve şerbet basınçları ile enjeksiyon tüplerinin döndürme ve çekilme hızlarını değiştirmek suretiyle kolonun etkili boyutlarını kontrol edebilir. Jet enjeksiyonu her türlü inorganik zemine uygulanabilir. Enjeksiyon derinliği sistemin kapasitesi ile sınırlıdır.

Zemin karıştırma

Zemin karıştırma terimi, çimentolu malzemenin delikli bir burgu ve pedal düzenlemesinden oluşan özel bir teknikle mekanik olarak zemine karıştırılmasını ifade eder. Zemin karıştırma işlemi pratikte her türlü inorganik zeminde yapılabilmektedir. Zemin – çimento karışımının dayanımı, şerbetin türüne, zemin türüne ve karıştırma derecesine bağlıdır. Genellikle 1380 kPa veya daha yüksek dayanımlara ulaşabilmektedir.

Taş kolonlar

Zemin çökelleri taş kolonlar olarak bilinen sıkı çakıl kolonlarının yer değiştirmesiyle iyileştirilebilir. Taş kolonlar, hem ince hem de iri taneli zeminlerde kullanılabilir. İnce taneli zeminlerde taş kolonlar genellikle yapıları ve dolguların altında konsolidasyonu hızlandırmak ve daha sağlam malzemedan kolonlar oluşturmak suretiyle kayma dayanımı arttırmaktadır. Sismik tehlikelerin azaltılmasına yönelik olarak, sıvılaştırılabilir zeminlerin iyileştirilmesinde sıkça kullanılmaktadır (Day, 2002).

Taş kolonlar, sıvılaştırılabilir zeminlerin iyileştirilmesinde dört mekanizmayı birleştirmektedir.

- Kendi yoğunluğu, dayanımı ve rijitliği ile zemini iyileştirirler.
- Yüksek derecede aşırı boşluk suyu basıncı gelişmesini önleyen sık aralıklı drenaj sınırları oluştururlar.
- Titreşim ile yer değiştirmenin birleşik etkisi şeklindeki yer değiştirme süreçleri, çevreleyen zemini sıkıştırmaktadır.
- Yerleştirme süreci taş kolonu çevreleyen zemindeki yanal gerilmeleri artırır.

3. KULLANILAN YÖNTEMLER

Tez çalışması kapsamında mikrotremör ölçümleri ve MASW ölçümleri alınarak zemin iyileştirmesinden ve güçlendirmesinden kaynaklanan fark ortaya konmuştur. Bunun için de mikrotremör ölçümleriyle hâkim titreşim periyotları hesaplanmış ve MASW ölçümleriyle de kayma dalgası hızı hesaplanmıştır. MASW ölçüm sonuçlarından elde edilen kayma dalgası hızı ile de zemin büyütme değerleri hesaplanmıştır.

3.1 Mikrotremör

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 mikroseism (çok küçük yer sarsıntıları) denir (Sarıca, 2008).

1s'den küçük periyoda sahip salınımlar mikrotremör, 1s'den büyük periyoda sahip salınımlar ise mikroseism 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, rüzgar ve kültürel gürültüler (trafik, endüstriyel aktiviteler ve diğer bazı insan kaynaklı etkiler). Bütün bu etkenler yeryüzünde titreşim olarak algılanabilir (Kanai ve Tanaka 1954; 1961)

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.

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 Vs kayma dalga hızıdır. Bölgesel jeolojik 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.

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).

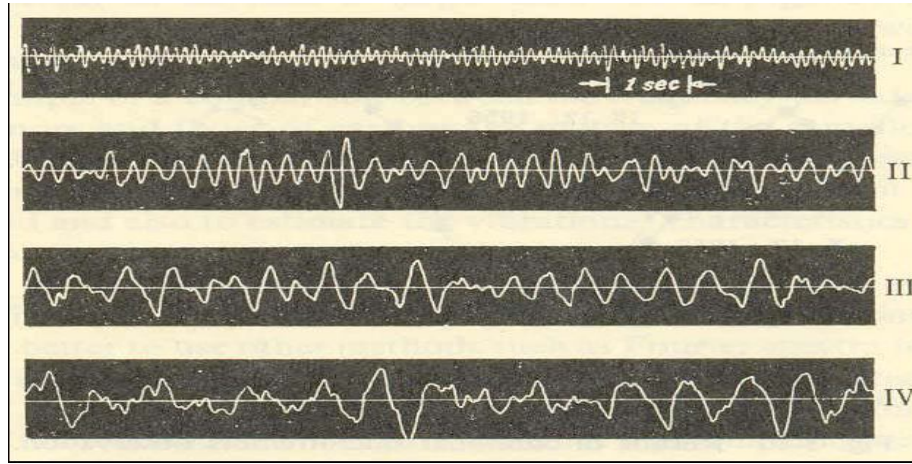
Mikrotremör verilerinden ve kuvvetli yer hareketi verilerinden elde edilen genlik spektrumlarına bakıldığında zaman spektrumların benzerlik gösterdiği görülür. Deprem kayıtlarına ve mikrotremör kayıtlarına bakıldığında görülen farklılık ise genellikle genlik değerlerinde gözlenirken, baskın frekansların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

3.1.2 Mikrotremörlerin periyot dağılımları

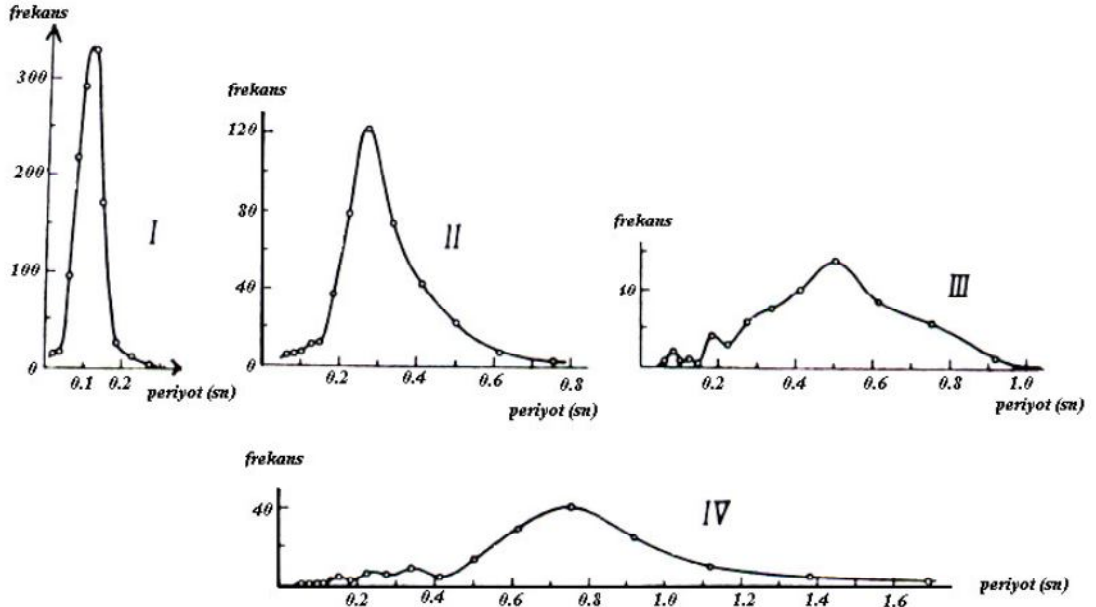
Kanai ve Tanaka (1961), yaptıkları çalışmalarda yer yapısının basit ve tek tabakalı olduğu durumlarda mikrotremör verilerinin spektrumunda, 0.1s ile 0.6s arasında keskin bir şekilde doruk (pik, tepe) oluşumu görüldüğünü açıklamışlardır. Diğer yandan yer yapısı karmaşık olduğunda birden fazla doruk görülebilmektedir. 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 ve 3.2). Tabakalı ortamlarda periyod 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 periyod dağılım eğrileri (Kanai ve Tanaka,1961)

3.1.3 Hâkim titreşim periyodu-rezonans ilişkisi

Deprem oluşumu sırasında, hasar olasılığını artıran olumsuz durumların rezonans durumu 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 sıvılaşma ve büyütme, kohezyonlu zeminlerde aşırı deformasyon ve göçmeler olur.

(Kanai, 1983) $T = \sum \frac{4H}{v_s}$ periyoduna sahip dalgaların, 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 periyod 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 periyod, 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 (Tablo3.1). Hâkim titreşim periyodu büyüdükçe zeminin daha yumuşak zemin sınıfına doğru gittiğini bu tablodan da görebiliriz.

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: Deprem bölgelerinde yapılacak yapılar hakkında yönetmelik (2007)'e göre zemin sınıflandırması ve zemin hâkim titreşim periyodu

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 sıklıkta kum, çakıl	0.60	
	Katı kil, siltli kil	0.65	
4	Yeraltı su seviyesinin yüksek olduğu yumuşak ve kalın alüvyon tabakaları, bataklık tipi veya çamur diptideniz 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 arttıkça bina hâkim periyodunun arttığını görüyoruz (Tablo 3.2). Arıoğlu ve diğeri (2000) Bina kat sayısı - hâkim periyod ilişkisini $N \leq 6$ için $T=0.3 \pm 0.05N$ ve $N > 6$ için $T=N / 10$ bağıntılarıyla 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.

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).

3.2 Aktif Kaynaklı Çok-Kanallı Yüzey Dalgası Yöntemi (MASW)

Aktif kaynaklı çok kanallı yüzey dalgası yöntemi ile zeminin ilk 30 metresi için hesaplanan kayma dalgası hızının derinlikle değişimi incelenerek iyileştirilmiş zemin ve doğal zemindeki fark ortaya koyulabilir.

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 eşdeğer kayma dalgası hızı hesaplanması ve bu değer kullanılarak zemin büyütmelerinin gene literatürde değişik araştırmacılar tarafından verilmiş bağıntılar kullanılarak bulunmasıdır.

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

3.2.1 MASW aşamaları

MASW çalışmaları üç temel aşamada gerçekleştirilir. Bu aşamalar;

- Veri toplama
- Dispersiyon eğrisinin elde edilmesi
- Ters çözüm işlemiyle Vs dağılımının belirlenmesidir.

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 (Şekil 3.3). Bununla birlikte, jeofonlar arası mesafenin eşit alınmaması ve jeofonların artan mesafeyle dizilmesi, dispersiyon görüntüsü çözünürlüğünü artırır.

Temel varsayımlar;

- Yatay olarak tabakalanmış ortam
- Yalnızca düzlem yüzey dalgaları (uzak alan; cisim dalgaları ihmal edilir)
- Temel mod dominanttır



Şekil 3.3: Ula-Karabörtlen ilköğretim okulu doğal zemin MASW ölçümlerinden bir görüntü

Aktif kaynaklı, yüzey dalgası yöntemlerinde dispersiyon eğrisinin belirlenmesi için farklı sayısal yöntemler geliştirilmiştir. Geliştirilen bu sayısal yöntemlerin tamamı, zaman-uzaklık (t,x) ortamında elde edilen verinin spektral özelliklerinin belirlenmesine dayanır. Kullanılan sayısal yöntemler arasında frekans-dalga sayısı ($f-k$), kesişme zamanı-yavaşlık ($t-p$), faz kaydırma veya uzaysal öz ilişki (SPAC) dönüşümleri yaygın kullanılan yöntemlerdir (Okada, 2003; Park vd., 2004). Her bir tabakanın kalınlığı, yoğunluğu, P ve S-dalgası hız değerlerinin tanımlandığı bir yer altı modeli için yer yüzeyindeki alıcı noktalarında kuramsal yüzey dalgası hesaplanarak, dispersiyon eğrisi belirlenir. Kuramsal dispersiyon eğrisinin sayısal hesaplanmasında Thomson-Haskel yöntemi (Thomson, 1950; Haskell, 1953) veya bu yöntemi esas alarak geliştirilen sıklık düzeyi yöntemi (Kausel ve Roësset, 1981), ya da sonlu farklar (Hossian ve Drnevich, 1989), Gren fonksiyonları (Hisada, 1995) gibi sayısal çözüm yöntemleri kullanılır. Ters-çözüm işlemi için en küçük kareler yöntemi tabanlı algoritmaların (Calderon-Macias vd., 2000) yarısına genetik algoritma ve yapay sinir ağları (Santamarina ve Fratta, 1998), Monte Carlo yöntemi (Scales ve Tenorio, 2001) kullanılan diğer algoritmalar vardır.

3.2.2 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 etkidikleri 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. 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. 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 alarak etkilenmektedir (Aki, 1993).

3.2.3 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, 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 görüldüğü periyot; t_0 , genellikle zemin hâkim periyodu (veya frekansı) olarak adlandırılır. Maksimum büyütmenin görüldüğü ilk hâkim frekans, yani f_0 , aynı zamanda rezonans frekansı olarak ta adlandırılır (Yalçınkaya, 2005).

Rezonans olayı, etkileşim halindeki iki farklı titreşim 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 hespla kat sayısı $n/10$ şeklinde bulunabilir. Yani 7 katlı bir bina için; bina hâkim periyodu; $7 / 10 = 0.7s$ 'dir (Yalçınkaya, 2005).

Sismik dalgaların yumuşak zemin tabakaları tarafından büyütülmesi

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

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

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. “Ne kadar büyür?” sorusunun cevabı ise;

$$B = \frac{1}{(1/\alpha) + (\pi/2)\xi}$$
 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 akısı 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 hızını 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.

3.2.4 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 $E(t)$;

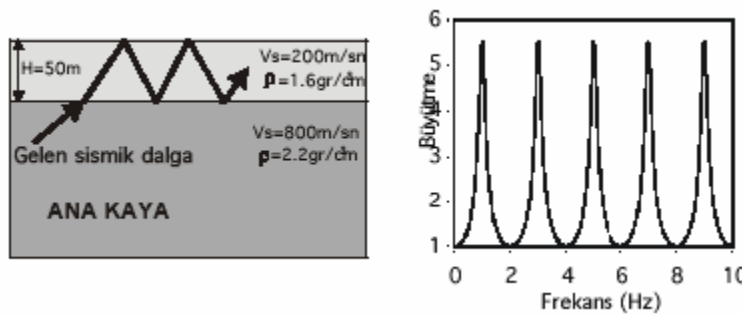
$$E(t) = \frac{1}{2} (\rho \cdot V_s) u(t)$$

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 kapanlanmasına neden olur. Yatay olarak tabakalanma bir boyutlu, yani fiziksel özelliklerin tek yönde değiştiği zemin modelinde (Şekil 3.4) bu kapanlanma sadece zemin tabakası içinde yukarı aşağı giden cisim dalgalarını etkiler. Zemin modeli 2 veya 3 boyutlu olup yanal süreksizlikleri içeriyorsa kapanlanma aynı zamanda bu süreksizliklerde oluşan yüzey dalgalarını da etkiler. Kapanlanan bu dalgalar arasındaki girişimler 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 3.4) temel rezonans frekansı ve harmonikleri sırasıyla izleyen bağıntılar da verilmiştir (Beliceli, 2006).

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

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



Şekil 3.4: Yatay tek tabaka durumunda dalga yansımalarının gösterimi (solda) ve bu parametreler kullanılarak düşey yayılan S dalgası için elde edilen büyüme 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 sönümlenme 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.

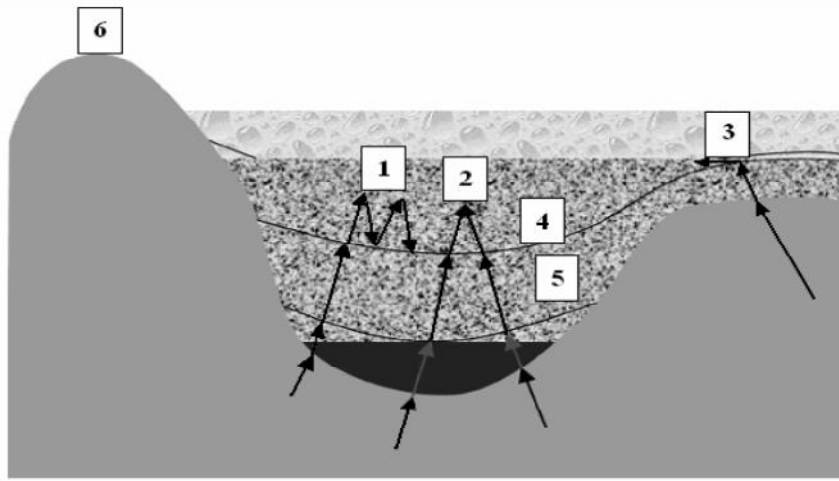
İki ortam arasındaki geçiş ne kadar sert olursa büyütme değeri o kadar yüksek olur. Ayrıca, zemin tabakası hızı azaldıkça zemin hâkim frekansı daha yüksek frekanslara doğru kayar. Zemin tabakası kalınlığı arttıkça veya zemin tabakası hızı azaldıkça zemin hâkim periyodu büyür.

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

3.2.5 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, ($Z = \rho \cdot V_s$) 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 3.5) birbirine yakın iki zeminin yer hareketinde farklılıklar oluşturabilecek diğer faktörlerdir (Beliceli, 2006).



Şekil 3.5: Zemin büyütmesini etkileyen faktörler: 1) Empedans değişimlerinden kaynaklanan rezonans, 2) Yüzey altı topografyasından kaynaklanan odaklanma, 3) Yüzey dalgalarına dönüşen cisim dalgaları, 4) Su içeriği, 5) Zemin ortamının düzensizliği, 6) Yüzey topografyası (Şafak, 2001)

3.2.6 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). Yüzeye 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 uygulanmadığı, 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 aşağıda gösterilmiştir (Tablo 3.3 ve 3.4).

Tablo 3.3: Zemin büyütme katsayısının hesaplanmasında yararlanılan bağıntılar

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

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 içerisindeki 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 farklı araştırmacılar tarafından önerilen bağıl büyütme katsayıları

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

4.ARAZİ ÇALIŞMALARI

Tez çalışması kapsamında 7 tanesi denizlide 2 tanesi Muğla da olmak üzere iyileştirme yapılmış zeminlerde mikrotremör ve MASW ölçümleri alınarak sonuçlar iyileştirmeden kaynaklanan fark ortaya koyularak değerlendirilmiştir. Çalışma kapsamında ölçüm alınan ve daha önceden Akyol vd. (2004, 2005, 2006), tarafından zeminlerinde iyileştirme ve güçlendirme çalışmaları yapılan ve depremsellik inceleme raporları hazırlanan kamu binaları aşağıda verilmiştir.

1. Akdere İlköğretim Okulu
2. Anafartalar Lisesi
3. Arif Yalınkaya İlköğretim Okulu
4. Cumhuriyet Lisesi
5. Hürriyet İlköğretim Okulu
6. Merkez İlköğretim Okulu
7. Nuri Erikoğlu İlköğretim Okulu
8. Ortaca Meslek Yüksekokulu Yurt Binası
9. Ula-Karabörtlen İlköğretim Okulu

4.1 Mikrotremör

Mikrotremörler çok küçük titreşimler olup zeminin dinamik parametrelerini belirmede çok kullanışlı bir yöntemdir. Mikrotremör ölçüm yöntemlerinden nakamura yöntemiyle hâkim titreşim periyotları hesaplanmıştır.

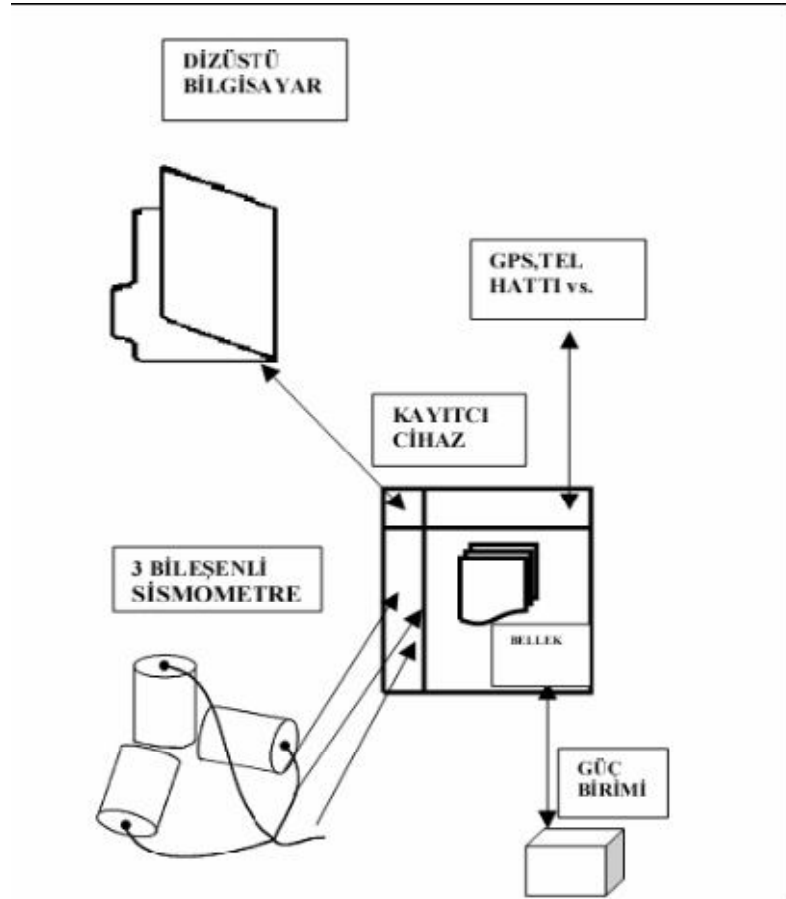
4.1.1 Mikrotremör ölçümlerinde kullanılan cihazlar ve genel özellikleri

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 4.1).

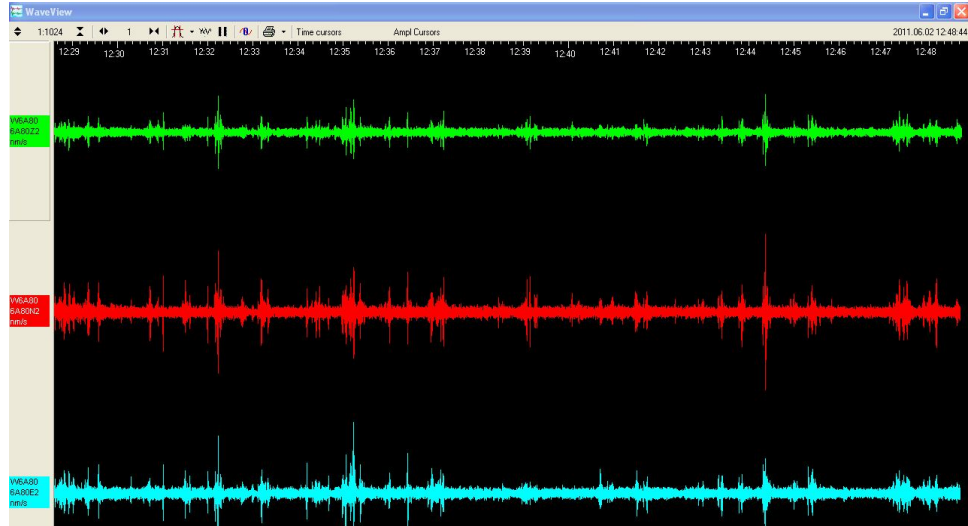
Titreşimciklerin genliklerinin küçük olması nedeniyle büyütmesi oldukça fazla olan sismometrelerle kaydetmek mümkündür. Sismometreler üç bileşenli (Şekil 4.2) kayıt alır;

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

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



Şekil 4.1: Mikrotremör kayıtlarının alınmasında kullanılan temel birim



Şekil 4.2: Üç bileşenli mikrotremör kaydının bilgisayar görüntüsü

4.1.2 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;

- Fourier genliklerinin ya da güç spektrumlarının yorumlanması
- Referans noktasına göre spektral oran hesaplanması
- 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). Lermo ve 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 açıklamaya çalışmıştır. 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 çözümleme yöntemi kullanılmıştır. Alınan kayıtların değerlendirilmesi geopsy programı ile yapılmıştır.

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 frekansıdır. Güç spektrumu genlik spektrumunun karesi olduğundan 1'den büyük genlikler büyütülürken, 1'den küçük genlikler küçültülmüş olur. Bu sayede büyük genlikler daha belirgin hale gelir, en büyük genlik baskın frekansını temsil eder (Filazi, 2008).

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 diğer 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 diğer istasyonlar arasında ortak zaman pencerelerini 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.

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.

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

Elde edilen mikrotremör kayıtlarının Nakamura yöntemi ile değerlendirilmesi aşamaları aşağıda gösterilmiştir (Şekil 4.3).

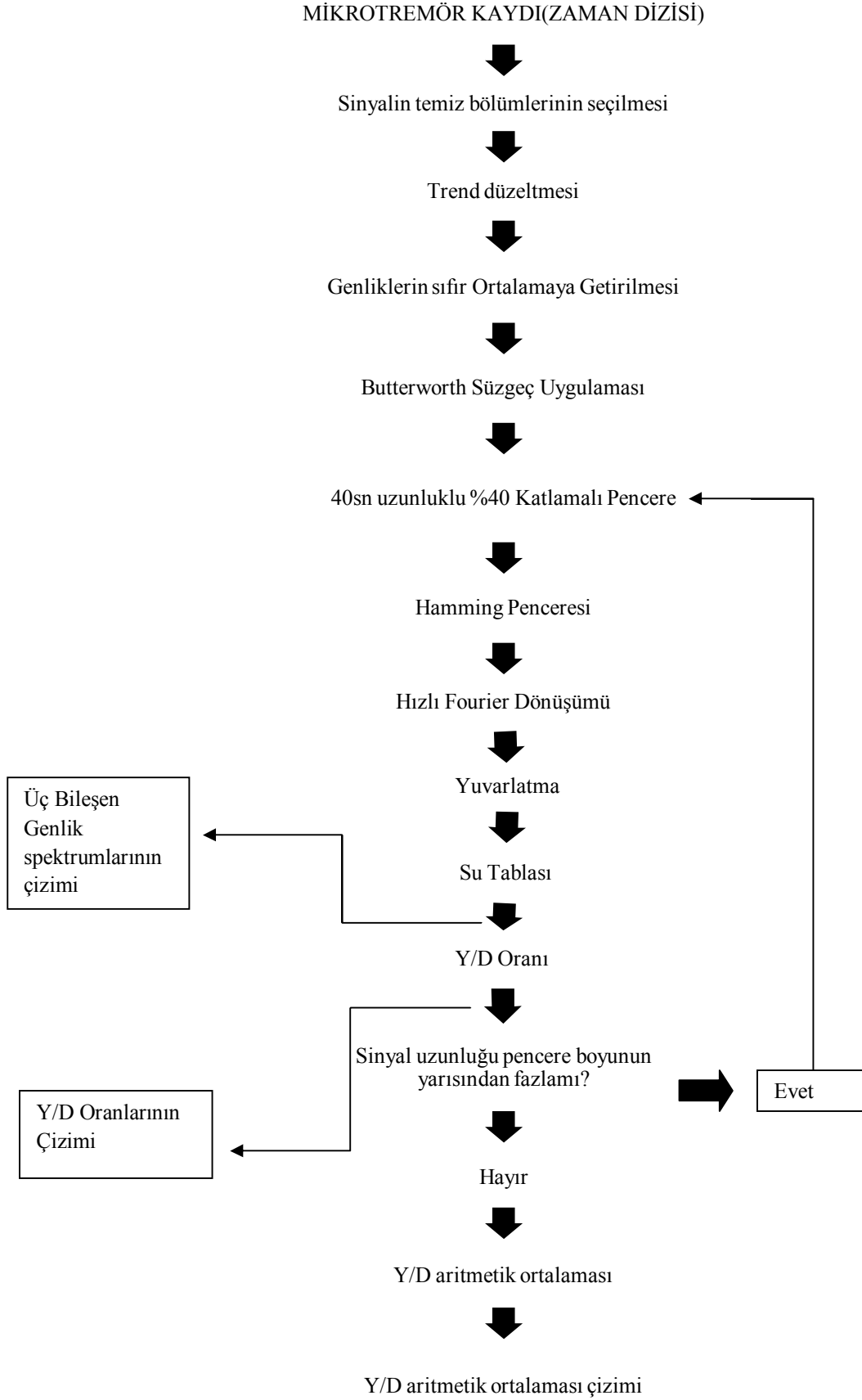
4.1.3 Hâkim titreşim periyodunun hesaplanması

- 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 (Şekil 4.4).

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

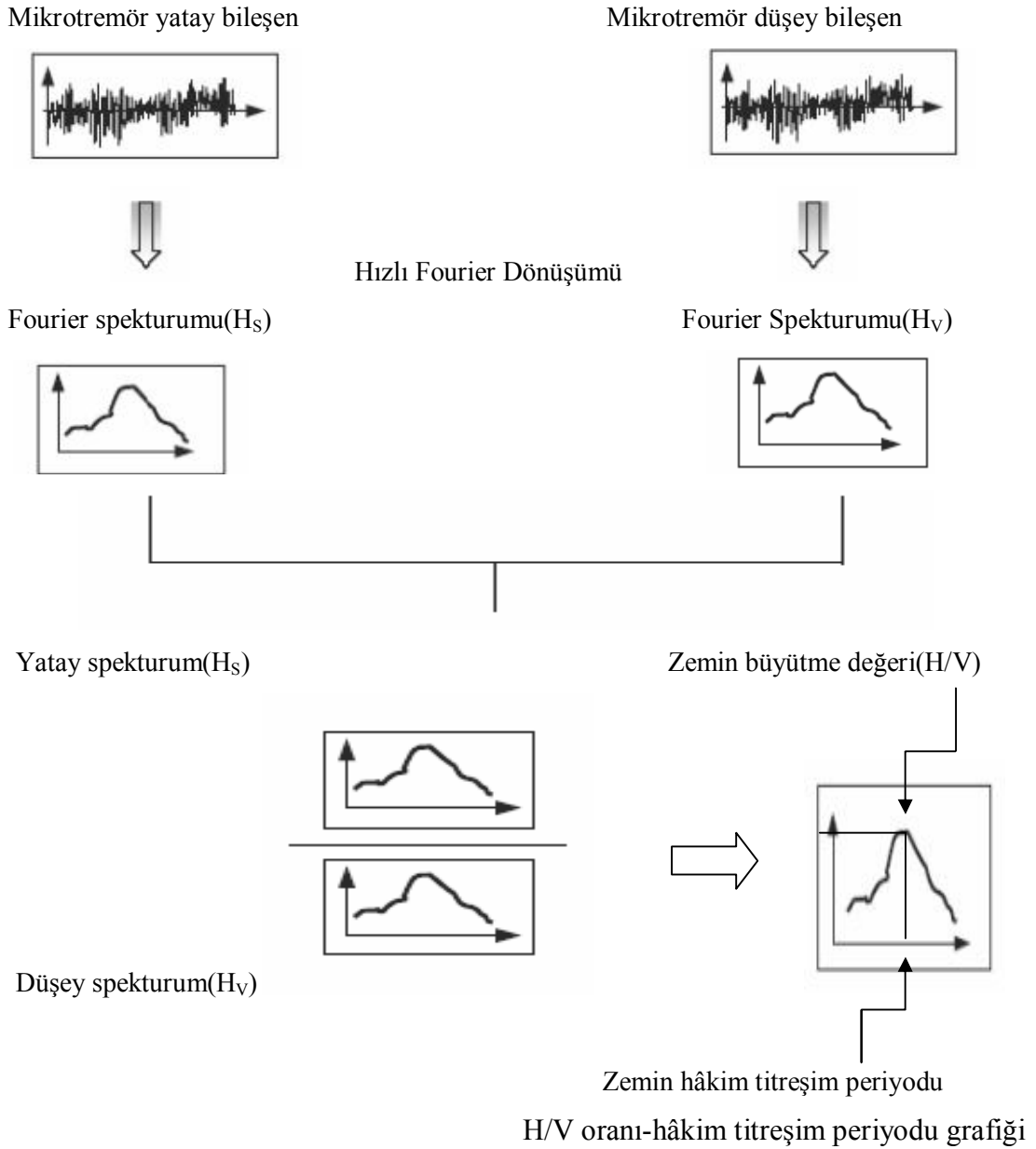
Uygulamalı sonuçlar Y/D oranına ait grafiğin gelen S dalgasına ait olan yer büyütmesi grafiğinden farklı olduğu görülmüş ve bu nedenle büyütmenin bulunması konusunda güvence vermediği düşünülmektedir (Bard, 1998).

Yatay ve düşey bileşen arasında spektral oran arka planda yumuşak zeminden kaynaklanarak Rayleigh dalgası etkisi gürültü olarak kaydedildiğinde bu etkiyi elemek gerekmektedir.



Şekil 4.3: Nakamura Yöntemi ile yapılan değerlendirmeye ait veri çözümlemesinin akış şeması (Karabulut, 2005)

Hâkim titreşim periyodunun hesaplanması

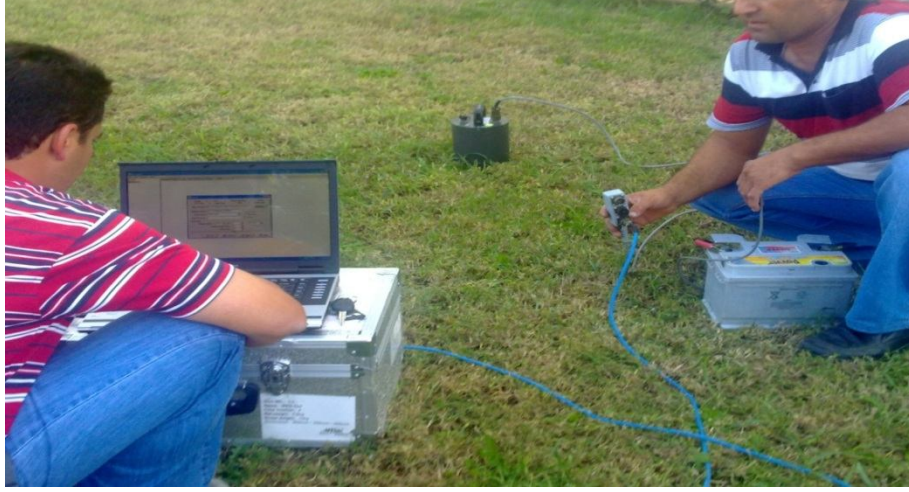


Şekil 4.4: H/V analizinin şematik gösterimi (Filazi, 2008)

4.1.4 Mikrotremör ölçümleri ve değerlendirilmesi

Bu çalışma kapsamında mikrotremör ölçümlerinde üç bileşenli kısa periyot hızölçer (GÜRALP SYSTEM CMG6TD-1) (Şekil 4.5) kullanılmıştır. Hızölçer ile yapılan ölçümlerde hız kaydı alınmaktadır. Hızölçerin 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 0.003Hz -50Hz'dir. Arazide kayıtlar doğrudan dizüstü bilgisayar bağlantısı ile sayısal olarak alınmıştır. Ölçümler SCREAM programıyla sayısal olarak, GCF (Güralp Compressed Format) formatında kaydedilmiştir. Alınan kayıtların örnekleme frekansı 100 Hz'dir.



Şekil 4.5: Ortaca Meslek Yüksekokulu yurt binası mikrotremör ölçümlerinden bir görüntü

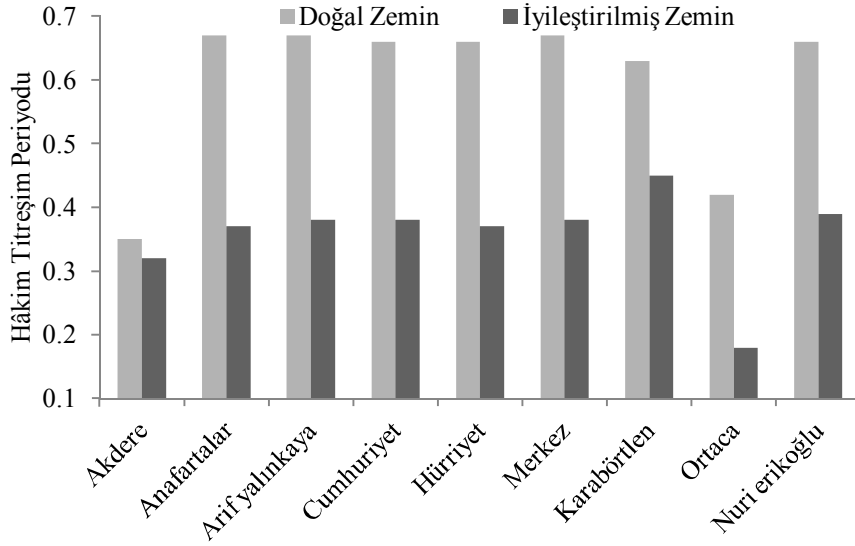
Bu tez çalışması kapsamında öncede belirttiğim gibi zemin iyileştirmesi yapılan zeminlerde ve aynı zeminin iyileştirilmemiş kısmında mikrotremör ölçümleri alınmış (Şekil 4.6) ve hâkim titreşim periyotları hesaplanmıştır. Hesaplanan bu veriler yardımı ile de hâkim titreşim periyodunun tabii (doğal) zeminde ve iyileştirme yapılmış zeminde nasıl farklılık gösterdiği incelenip grafiklerle gösterilmiştir. Zemin iyileştirmesi yapılan yapılar ve mikrotremör ölçüm sonuçlarının değerlendirilmesi aşağıda gösterilmiştir (Tablo 4.1 ve Şekil 4.7).



Şekil 4.6:Üç bileşenli sismometre

Tablo 4.1: Tez Çalışması Kapsamında Mikrotremör Ölçümleri Alınan Lokasyonlar

SAHA	Doğal Zemin				İyileştirilmiş Zemin			
	Frekans (f) (Hz)	Hâkim Periyod (T0) (sn)(1/f)	TA (s) (T0*0,67)	TB (s) (T0*1,5)	Frekans (f) (Hz)	Hâkim Periyod (T0) (s)(1/f)	TA (s) (T0*0,67)	TB (s) (T0*1,5)
Akdere İ.Ö.O.	2.80	0.35	0.23	0.52	3.10	0.32	0.21	0.48
Anafartalar Lisesi	1.48	0.67	0.44	1.00	2.70	0.37	0.24	0.55
Arif Yalınkaya İ.Ö.O.	1.49	0.67	0.44	1.00	2.62	0.38	0.25	0.57
Cumhuriyet Lisesi	1.50	0.66	0.44	0.99	2.58	0.38	0.25	0.57
Hürriyet İ.Ö.O.	1.50	0.66	0.44	0.99	2.64	0.37	0.24	0.55
Merkez İ.Ö.O.	1.49	0.67	0.44	1.00	2.60	0.38	0.25	0.57
Nuri Erikoğlu İ.Ö.O.	1.50	0.66	0.44	0.99	2.51	0.39	0.26	0.58
Ortaca M.Y.O. Yurt Binası	2.38	0.42	0.28	0.63	5.55	0.18	0.12	0.27
Ula- Karabörtlen İ.Ö.O.	1.57	0.63	0.42	0.94	2.18	0.45	0.30	0.67



Şekil 4.7: Arazi ölçümleri sonucu oluşturulan hâkim titreşim periyodu-zemin ilişkisi grafiği

Mikrotremör ölçüm sonuçlarından da görüldüğü gibi, yukarıda da belirttiğim iyileştirme yapılmış zeminlerin ve iyileştirme yapılmamış zeminlerin hâkim titreşim periyotları arasındaki farkı görebiliyoruz. İyileştirmesi yapılmış zeminlerde hâkim titreşim periyotları 0.32 - 0.38 arasında değerler alırken, iyileştirme yapılmamış (doğal) zeminde bu değerler 0.63 - 0.67 aralığında değişim göstermektedir. Buda bize yumuşak zeminlerde hâkim titreşim periyodunun daha büyük, sert (iyileştirme yapılmış) zeminde ise daha düşük olduğunu gösteriyor. Zemin cinsine göre iyileştirme öncesi ve sonrası hâkim titreşim periyodundaki farkın yüzde olarak değişimi aşağıdaki tabloda gösterilmiştir (Tablo 4.2).

Tablo 4.2: Zemin cinsine bağlı olarak iyileştirmeden kaynaklanan hâkim titreşim periyodunun farkı

Okul Adı	Doğal Zemin Hâkim Periyot	İyileştirilmiş Zemin Hâkim Periyot	Zemin Cinsi	İyileştirmeden Kaynaklanan Fark * %
Akdere İ.Ö.O.	0.35	0.32	SW	-8.5
Anafartalar Lisesi	0.67	0.37	CH	-44.7
A.Yalınkaya İ.Ö.O.	0.67	0.38	SW	-43
Cumhuriyet Lisesi	0.66	0.38	ML	-42
Hürriyet İ.Ö.O.	0.66	0.37	SP	-44
Merkez İ.Ö.O.	0.67	0.38	SW	-44.7
N.Erikoğlu İ.Ö.O.	0.66	0.39	SW	-41
Ortaca M.Y.O. Yurt Binası	0.42	0.18	SW	-57
Ula-Karabörtlen İ.Ö.O.	0.63	0.45	SP	-28.5

*: - işareti iyileştirmenin periyot azalmasına (yani zeminin iyileştirildiğine) işaret etmektedir.

Yukarıdaki tabloda da gördüğümüz gibi zemin drenajı yapılan ince taneli iki yapıda (Anafartalar ve Cumhuriyet Lisesi) zemindeki periyot azalmasının %42 ile %45 arasında, enjeksiyon yapılan kumlu zeminlerde (SW-SM-SP-SC) %57'ye kadar çıktığı gözlenmiştir.

4.2 MASW

Çok kanallı yüzey dalgası yöntemi (MASW) ile iyileştirilmiş zeminin ve doğal zeminin ilk 30 metresi için kayma dalgası hesaplanmış ve bu kayma dalgası hızından da zemin büyütme değerleri görgül eşitlikler yardımıyla hesaplanarak fark ortaya koyulmuştur.

4.2.1 MASW ölçüm araçları ve özellikleri

MASW yönteminde kaynak olarak balyoz, çekiç, patlatma veya ağırlık düşürme gibi geçici enerji üreten kaynaklar kullanılır (Şekil 4.8). 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, Vs değişimin 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)
 - $Z < 5\text{m}$ (4.5 hz, 10 hz, 20 hz,)
 - $Z < 10\text{m}$ (4.5 hz, 10hz)
 - $Z > 10\text{m}$ (4.5 hz)

3. *Sismograf*: 12 kanal

4. *Ofsetler*

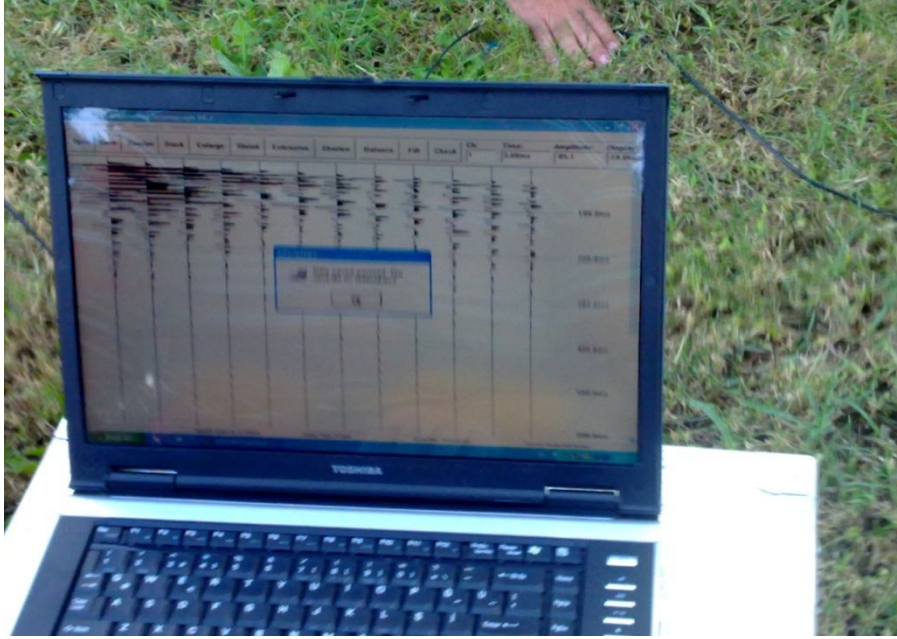
- 1) Kaynak ofseti (inceleme derinliğinin yaklaşık $\frac{1}{2}$ 'si)
- 2) Alıcı ofseti
 - Zeminler (0.5 m)
 - Kaya ortamlar (1m)
- 3) Gürültü analizi

4.2.2 Kullanılan cihazın teknik zellikleri

Bu ettte 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 (şekil 4.9) ve özel bağlantı ünitelerinden oluşmaktadır.



Şekil 4.8: MASW ölçümlerinden bir görünüm (Ortaca Meslek Yüksekokulu yurt binası doğal zemin)



Şekil 4.9: MASW ölçümlerinin bilgisayar görüntüsü (Ortaca Meslek Yüksekokulu Yurt binası iyileştirilmiş zemin)

4.2.3 MASW verileri ve değerlendirilmesi

Sismik MASW profil çalışmasında jeofon aralıkları 2m olarak alınmıştır. Çalışma alanı uygun olmadığından jeofon ve ofset aralıkları daha geniş alınamamıştır. Enerji kaynağı olarak 10kg ağırlığında ve alet ile bağlantılı özel eki kullanılmıştır. Bu eki üzerinde bir alıcı (triger), vuruş anını alete sıfır zamanı olarak kaydetmekte ve sismik kaydı başlatmaktadır. Sinyal biriktirmeli bu alet, bu özelliği nedeniyle tüm jeofonlara yeterli sinyal gidinceye kadar, çekiçle oluşturulan dalgaları biriktirebilmektedir. Böylece, tüm jeofonlar boyunca kayıt alınabilmesi sağlanabilmektedir. Titreşimlerin yeraltına daha iyi iletebilmesi amacıyla, yerde açılan çukur içerisinde iyice yerleştirilmiş metal plaka üzerine vurulmaktadır (şekil 4.10).

Düsey (P) jeofon olarak BTKS marka jeofonlar kullanılmıştır. Bu jeofonlar, özel bir kablo aracılığıyla aletle bağlantılandırılarak, aldıkları kayıtları alete iletirler. Ölçülen değerle ‘‘Seismager’’ yazılımı kullanılarak 2B olarak modellenmiştir.

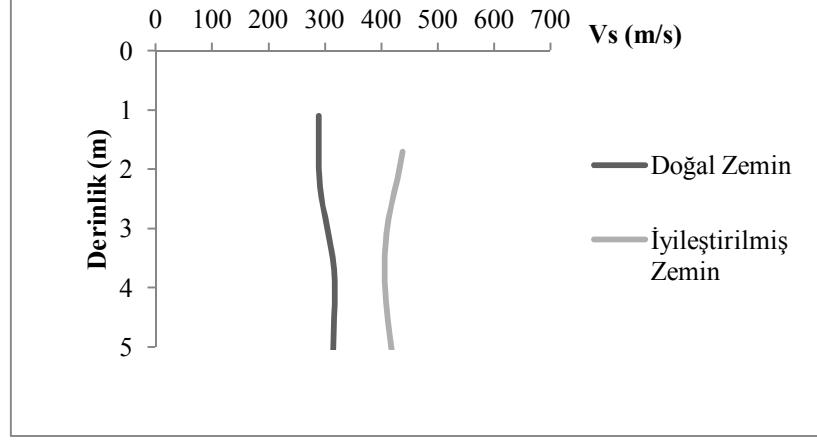
Arazi alışmaları sonucu MASW lmleri alınan sahalarda ve ölçümlerden elde edilen değerler Tablo 4.3'te gösterilmiştir. MASW lm sonuçlarına göre ise; doğal zeminin kesme dalgası hızı 242 m/s ile 484 m/s arasında değişirken, iyileştirilmiş zeminde bu değerlerin 277 m/s ile 575 m/s arasında değiştiği gözlenmiştir. Kesme dalgası hızının derinlikle değişimi şekil 4.11-4.19 arasında gösterilmiştir. Bu veriler göz önüne alındığında zemin drenajı yapılan ve ince taneli olan Cumhuriyet ve Anafartalar Lisesi zeminlerinde bu değişim Vs30 hızında %25 kadar bir artış gösterirken enjeksiyon yapılan iri taneli zeminlerde (kum-kumlu çakıl) ise bu artış %50'ye kadar çıkmaktadır.



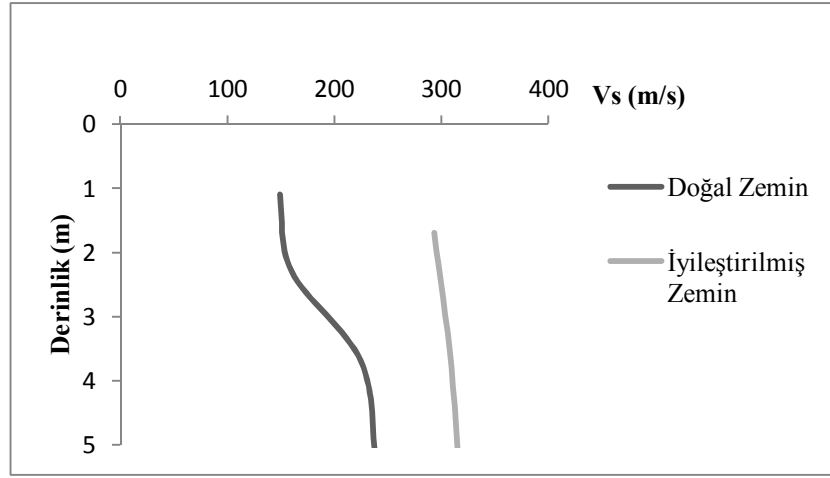
Şekil 4.10: Denizli Merkez ilköğretim okulu iyileştirilmiş zemin MASW ölçümlerinden bir görüntü

Tablo 4.3: MASW ölçümleri sonucu elde edilen ortalama değerler

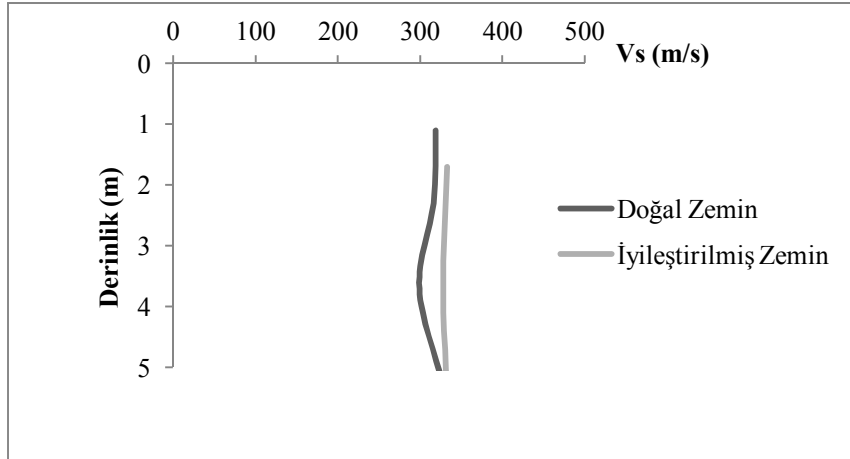
OKUL ADI	Doğal zemin	İyileştirilmiş zemin
	Vs30 (m/sn)	Vs30 (m/sn)
Akdere İ.Ö.O.	336	447
Anafartalar Lisesi	242	301
Arif Yalınkaya İ.Ö.O.	373	393
Cumhuriyet Lisesi	269	277
Hürriyet İ.Ö.O.	275	414
Merkez İ.Ö.O.	322	397
Nuri Erikoğlu İ.Ö.O.	350	401
Ortaca M.Y.O. Yurt Binası	484	575
Ula-Karabörtlen İ.Ö.O.	475	518



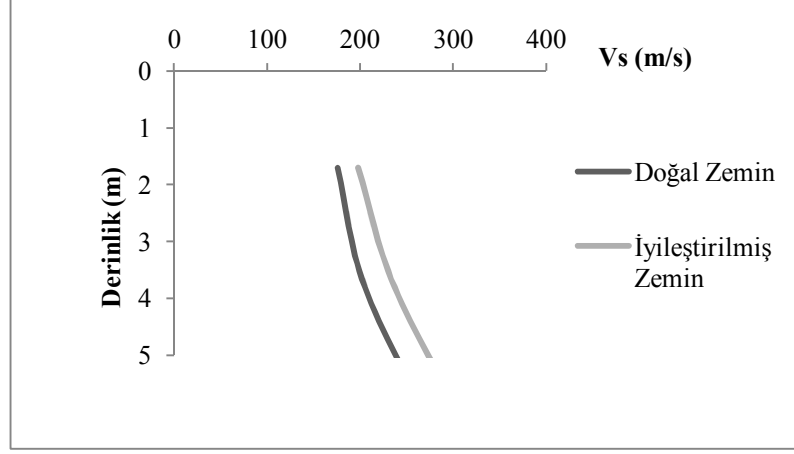
Şekil 4.11: Akdere İ.Ö.O. zemininde kesme dalgası hızının derinlikle değişimi



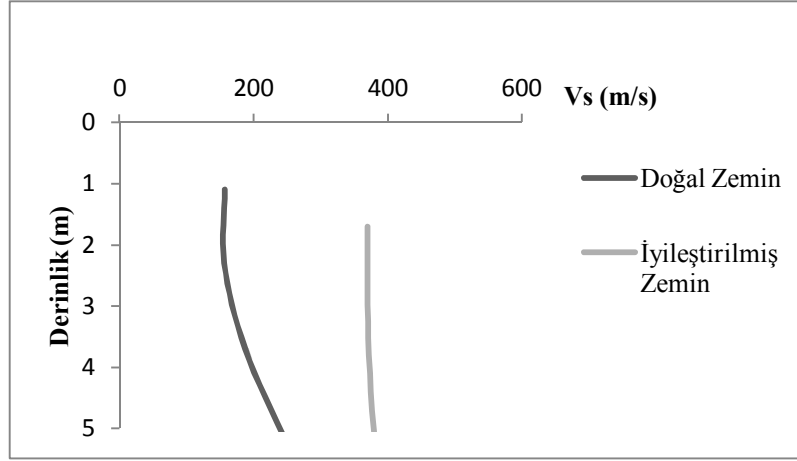
Şekil 4.12: Anafartalar lisesi zemininde kesme dalgası hızının derinlikle değişimi



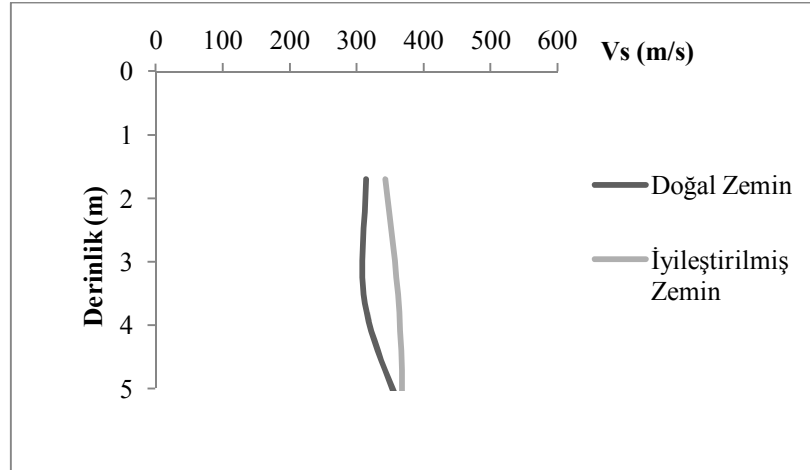
Şekil 4.13: Arif Yalınkaya İ.Ö.O zemininde kesme dalgası hızının derinlikle değişimi



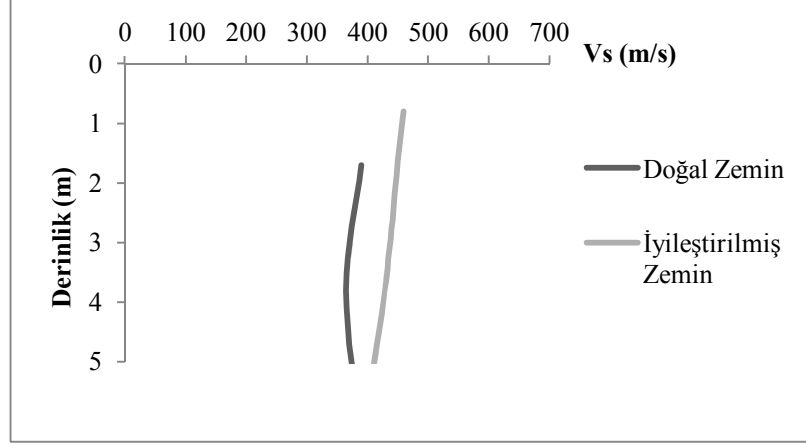
Şekil 4.14: Cumhuriyet lisesi zemininde kesme dalgası hızının derinlikle değişimi



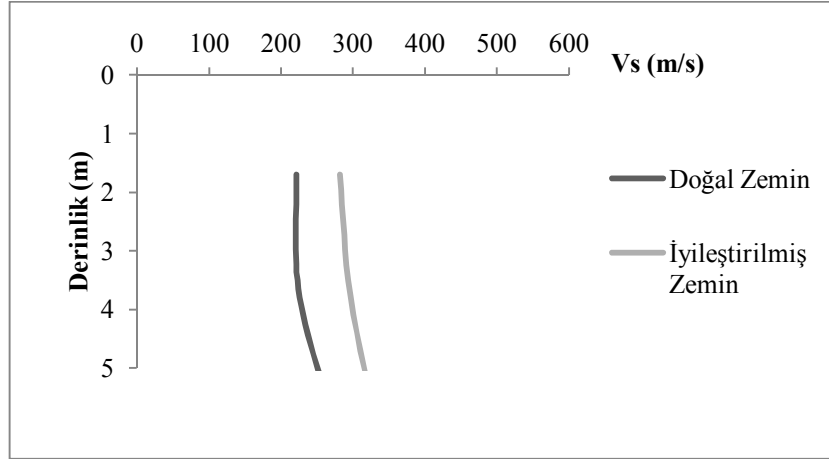
Şekil 4.15: Hürriyet İ.Ö.O. zemininde kesme dalgası hızının derinlikle değişimi



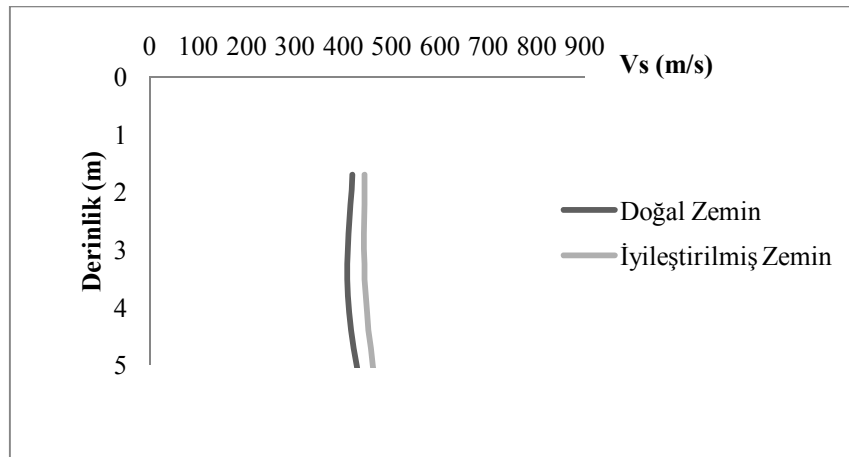
Şekil 4.16: Merkez İ.Ö.O. zemininde kesme dalgası hızının derinlikle değişimi



Şekil 4.17: Ula-Karabörtlen İ.Ö.O. zemininde kesme dalgası hızının derinlikle değişimi



Şekil 4.18: Nuri Erikoğlu İ.Ö.O. zemininde kesme dalgası hızının derinlikle değişimi



Şekil 4.19: Ortaca M.Y.O. Yurt Binası zemininde kesme dalgası hızının derinlikle değişimi

MASW ölçüm sonuçlarına göre elde edilen Vs30 değerlerinin iyileştirmeden kaynaklanan farkı tek tek incelenmiş ve zemin cinsine göre iyileştirmeden kaynaklanan fark ortaya konmuştur (Tablo 4.4).

Tablo 4.4: Zemin cinsine bağlı olarak iyileştirmeden kaynaklanan Vs30 değerinin farkı

Okul Adı	Doğal Zemin Vs30 (m/s)	İyileştirilmiş Zemin Vs30 (m/s)	Zemin Cinsi	İyileştirmeden Kaynaklanan Fark %
Akdere İ.Ö.O.	336	447	SW	33
Anafartalar Lisesi	242	301	CH	24
A.Yalınkaya İ.Ö.O.	373	393	SW	5
Cumhuriyet Lisesi	269	277	ML	3
Hürriyet İ.Ö.O.	275	414	SP	50
Merkez İ.Ö.O.	322	397	SW	23
N.Erikoğlu İ.Ö.O.	350	401	SW	14
Ortaca M.Y.O. Yurt Binası	484	575	SW	19
Ula-Karabörtlen İ.Ö.O.	475	518	SP	9

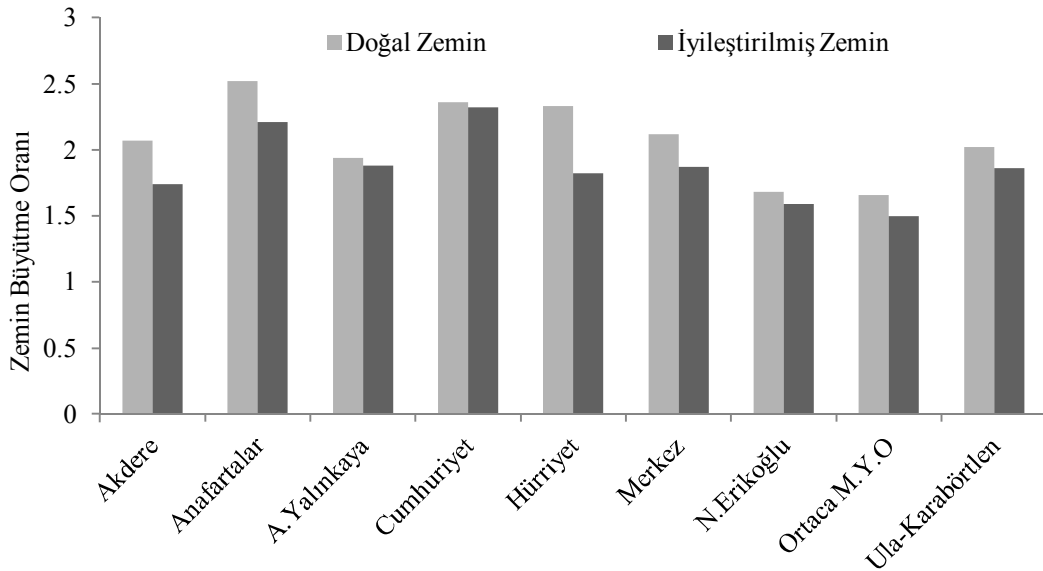
4.2.4 Zemin büyütme değerleri

Tez çalışması kapsamında daha önce de belirtildiği gibi MASW ölçüm sonuçları sonucu Vs kayma dalgası hızının derinlikle değişimi hesaplanmıştır. **Zemin büyütmesinin görgül eşitliklerden tahmini**'de de değinilen eşitliklerden en sık kullanılan zemin büyütmesinin hesaplandığı eşitlik olan Midorikawa (1987); $A=68*V_1^{-0.6}$ ($V_1 < 1100$ m/s) ve $A=1$ ($V_1 > 1100$ m/s) eşitliğinden büyütme katsayıları hesaplanmış elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir (Tablo 4.5). Elde edilen bu değerlere göre de zemin cinsine bağlı olarak büyütme oranı ve kesme dalgası hızı arasındaki değişim aşağıdaki şekilde gösterilmiştir (Şekil 4.20).

Tablo 4.5: Kayma dalgası hızı yardımıyla hesaplanan büyütme oranları

Okul Adı	Doğal zemin		İyileştirilmiş zemin	
	Vs30 (m/sn)	Büyütme oranı $A=68*Vs30^{-0.6}$	Vs30 (m/sn)	Büyütme oranı $A=68*Vs30^{-0.6}$
Akdere İ.Ö.O.	336	2.07	447	1.74
Anafartalar Lisesi	242	2.52	301	2.21
Arif Yalınkaya İ.Ö.O.	373	1.94	393	1.88
Cumhuriyet Lisesi	269	2.36	277	2.32
Hürriyet İ.Ö.O.	275	2.33	414	1.82
Merkez İ.Ö.O.	322	2.12	397	1.87
Nuri Erikoğlu İ.Ö.O.	350	2.02	401	1.86
Ortaca M.Y.O. Yurt Binası	484	1.66	575	1.50
Ula-Karabörtlen İ.Ö.O.	475	1.68	518	1.59

Zeminin hâkim periyodunu değiştirmek zor ve masraflı bir iş olması nedeniyle, genellikle yapının hâkim periyodunun zemin hâkim periyodundan farklı oluşturulması yoluna gidilir. Bunun için elbette öncelikle zeminin hâkim periyodunun doğru tespit edilmesi gereklidir. Bu şekilde yapı-zemin rezonansından kaçınılabilir.



Şekil 4.20: Zemin cinsine bağlı olarak büyütme oranı ve Vs30 arasındaki değişim

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma kapsamında yedi adet kamu yapısının zemininde çimento enjeksiyonu kullanılarak güçlendirme, ikisinde (Cumhuriyet ve Anafartalar Lisesi) ise drenaj yapılarak zemin iyileştirmesi yapılmış ve bu uygulamaların yapı zemininde bazı sismik parametreler üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu amaçla uygulama yapılan alanlarda iyileştirilmiş ve doğal zeminlerde mikrotremör ve MASW ölçümleri yapılmış ve uygulamadan kaynaklanan fark ortaya koyulmuştur.

Çalışma kapsamında alınan mikrotremör ölçüm sonuçlarına göre; doğal zeminin titreşim periyodu en az 0.35 ve en fazla 0.67 arasında değişirken, iyileştirme sonrası bu değerlerin 0.18 ile 0.45 arasında değiştiği gözlemlenmiştir. Zemin drenajı yapılan ince taneli iki yapıda zemindeki periyod azalmasının %42 ile %45 arasında, enjeksiyon yapılan kumlu zeminlerde (SW-SM-SP-SC) %57'ye kadar çıktığı gözlenmiştir. Bu değerler göz önüne alındığında drenaj nedeniyle killi ve siltli birimlerde önemli bir iyileşme sağlandığı ancak en yüksek farkın enjeksiyon yapılan kumlu zeminlerde olduğu görülmektedir.

Yapılan çalışma sonucuna göre; mikrotremör ölçümlerinden elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde, zemin güçlendirmesinin zeminin kayma dalgası hızını arttırdığı, zeminin hâkim titreşim periyodunu düşürdüğü tespit edilmiştir. Ancak, mevcut binaların 3-4 kat aralığında olması nedeniyle azalan zemin titreşim periyodu, zemin üzerine inşa edilmiş yapıların salınım periyoduna yakın değere geldiği gözlenmektedir. Bu durum, zeminin ve yapının titreşim periyodunun çakışmasına, dolayısıyla deprem anında yapının rezonansına neden olabilecektir. Yapı rezonansından kaçınmak için; zeminin güçlendirilmesiyle beraber üzerinde inşa edilmiş/edilecek yapının da buna uygun olarak projelendirilmesi uygun olacaktır.

Çalışma sonunda elde edilen MASW ölçüm sonuçlarına göre ise; doğal zemin kesme dalgası hızı en az 242 m/s ve en fazla 484 m/s arasında değişirken, iyileştirilmiş zeminde bu değerlerin en az 277 m/s ve en fazla 575 m/s arasında değiştiği gözlenmiştir. Vs30 yardımıyla hesaplanan büyütme oranları ise; doğal zemin de en az

1,66 ve en fazla 2,52 arasında değişim gösterirken, iyileştirilmiş zeminde en az 1,50 ve en fazla 2,32 arasında hesaplanmıştır. Zemin drenajı yapılan ince taneli (silt-kil) zemine sahip iki yapıda Vs30 hızında %25 kadar bir artış söz konusu iken enjeksiyon yapılan iri taneli zeminlerde (kum-kumlu çakıl) ise bu artış %50'ye kadar çıkmaktadır.

Bu çalışmada killi ve siltli zeminlerde yeterli sayıda örnek bulunmamaktadır. Sonraki çalışmalarda çeşitli zemin türleri üzerinde daha çok sayıda çalışma yapılması halinde, uygulamanın etkinliği daha ayrıntılı ortaya konulabilir. Ayrıca sonraki çalışmalarda çok sayıda jeoteknik parametrenin dikkate alınması yararlı olacaktır.

6. KAYNAKLAR

- Aki, K.**, 1957. Space and time spectra of stationary stochastic waves with special reference to microtremors, bulletin of the earthquake research institute, 35, 415-456.
- Akyol, E., Şen, G.M.**, 2006. “Zemin enjeksiyonu ve uygulamaları”, Yapısal onarım ve güçlendirme sempozyumu, Pamukkale Üniversitesi, Denizli, 2006.
- 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 mikrobölgelendirme. Jeofizik Dergisi (9, 10); 235-245.
- Ayan, E.**, 2009. “Derin zemin iyileştirme yöntemleri ve uygulamadan örnekler”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2009.
- Bakım, M.**, “Enjeksiyon yöntemleriyle zemin iyileştirmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, 2007.
- 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.
- Bell, F.G.**, 1993. Engineering Treatment of Soils. E&FN SPON, London.
- Biringen, E.**, “Soil amplification and case studies for clayey soils”, Master Thesis, Bogaziçi University, İstanbul, 2000.
- Demir, H.**, 2007. “Taş kolon ve geopier uygulaması ile zemin iyileştirmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2007.
- 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.

- Gençoğlu, S. ve Ayhan, E.**, 1974. İzmit ili mikrobölgeleme 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.
- İncek, M., Balakaya, M., İyisan, R., Afatoğlu, H.A.**, 2004. “ Yumuşak kil zemin üzerine uygulanan dolguların satbilitesi” ZM 10 Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Onuncu Ulusal Kongresi.179-188, İstanbul.
- Jennings,P.C.**(1985). “Ground motion parameters that influence structural damage,” in R.E. Scholl and J.L.King, eds. Strong Ground Motion Simulation and Engineering Applications, EERI Publication 85-02, Earthquake Engineering Research Institute, Berkeley, California.
- Joyner, W.J. and Boore, D.M.** (1988) “Measurement, characterization, and prediction of strong ground motion,” in Eartquake Engineering and soil Dynamics II- Recent Advances in Ground-Motion Evaluation, Geotechnical Special Publication20, ASCE, New York, pp.43-102.
- 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.
- Kaplan, H., Tama, Y.S., Akyol, E., Yılmaz, S.**, Muğla Özel İdare Sekreterliği Ortaca (Muğla) Yüksek Öğretim Yurdu Depremsellik İnceleme Raporu, 2004.
- Kaplan, H., Şenel, Ş.M., Tama, Y. S., İnel, M., Akyol, E., Ün, H., Kayhan, A.H., Yılmaz, S., Şen, G.**, Denizli Ahmet Nuri Erikoğlu İlköğretim Okulu Depremsellik İnceleme Raporu, 2005.
- Kaplan, H., Şenel, Ş.M., Tama, Y. S., İnel, M., Akyol, E., Ün, H., Kayhan, A.H., Yılmaz, S., Şen, G.**, Muğla Ula-Karabörtlen İlköğretim Okulu Depremsellik İnceleme Raporu, 2005.
- Kaplan, H., Şenel, Ş.M., Tama, Y. S., İnel, M., Akyol, E., Ün, H., Kayhan, A.H., Yılmaz, S., Şen, G.**, Denizli Merkez İlköğretim Okulu Depremsellik İnceleme Raporu, 2005.

- Kaplan, H., Şenel, Ş.M., Tama, Y. S., İnel, M., Akyol, E., Ün, H., Kayhan, A.H., Yılmaz, S., Şen, G.,** Denizli Akdere İlköğretim Okulu Depremsellik İnceleme Raporu, 2005.
- Kaplan, H., Tama, Y. S., Akyol, E., Yılmaz, S.,** Denizli Hürriyet İlköğretim Okulu Depremsellik İnceleme ve Güçlendirme Raporu, 2006.
- Kaplan, H., Şenel, Ş.M., Tama, Y. S., İnel, M., Akyol, E., Ün, H., Kayhan, A.H., Yılmaz, S., Şen, G.,** Denizli Cumhuriyet Lisesi Depremsellik İnceleme Raporu, 2006.
- Kaplan, H., Şenel, Ş.M., Tama, Y. S., İnel, M., Akyol, E., Ün, H., Kayhan, A.H., Yılmaz, S., Şen, G.,** Denizli Anafartalar Lisesi Depremsellik İnceleme Raporu, 2006.
- Kaplan, H., İnel, M., Akyol, E., Yılmaz, S., Özmen, H.B.,** Denizli Arif Yalınkaya İlköğretim Okulu Depremsellik İnceleme ve Güçlendirme Raporu, 2006.
- Kara, B.H. ve Elcuman, H., 2004,** “ Kayseri serbest bölgesi yumuşak killerin geoteknik özellikleri ve bir iyileştirme yöntemi analizi” ZM 10 Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Onuncu Ulusal Kongresi, 255-262, İstanbul.
- Karabulut, S., 2005.** “Büyükçekmece İlçesinde Mikrotremör Verileriyle Mikrobölgeleme Çalışmaları”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, İstanbul,2005.
- Katz, L.J., 1976.** Microtremor analysis of local geological conditions, Bulletin of the Sesimological Society of America, 66, 45-61.
- Kramer, S.L., 1996.** Geoteknik Deprem Mühendisliği, (Tercüme: Kayabalı, K.,2003, Gazi Kitapevi, ISBN: 975-8640-63-1), Prentice-Hall, Upper Saddle River.
- Küçükali, N., 2008.** “Demiryolu altyapısının jet enjeksiyon yöntemi ile iyileştirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, 2008.
- 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.
- Mayne, P.W., Jones, J.S., and Dumas, J.C. (1984).** Ground response to dynamic compaction, Journal of Geotechnical Engineering, Vol. 110, No.6, pp757-774.

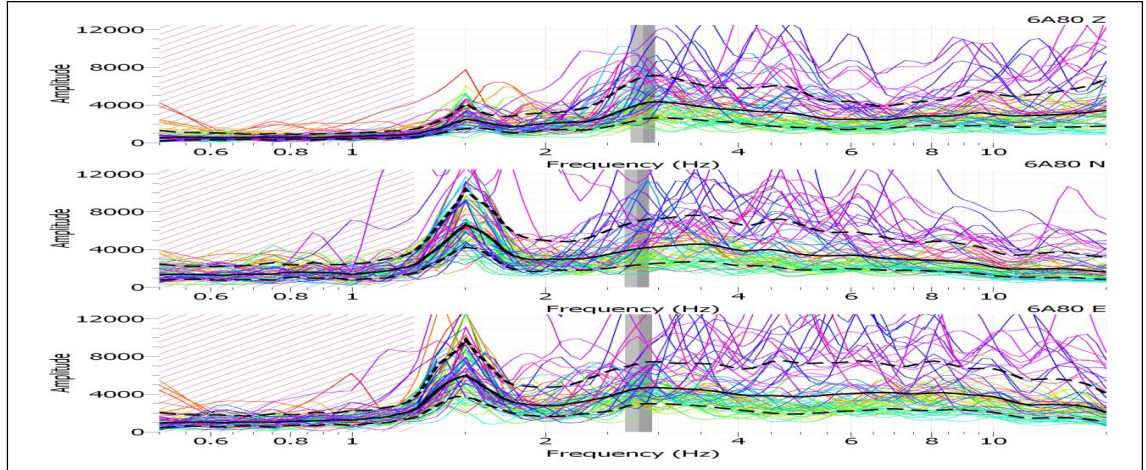
- Midorikawa, S.**, 1987. Prediction of isoseismal map in the Kanto plain due to hypothetical earthquake, *Journal of Structural Engineering*, 33B, 43-48.
- Mollamahmutoglu, M., Kayabali, K., Beyaz, T., ve Kolay, E.**, 2003, Liquefaction-related building damage in Adapazarı during the Turkey earthquake of August 17, 1999, *Engineering Geology*, Volume 67, Issues 3–4, Pages 297-307.
- 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
- Nakamura, Y.**, 2000, Clear identification of fundamental idea of Nakamura's technique and its applications, 12th WCEE.
- Omori, 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.
- Özdemir, A.**, 2006. Zayıf zeminlerin iyileştirilmesi ve son yıllarda yaygın olarak uygulanan bazı zemin iyileştirme yöntemleri, *Sondaj Dünyası Dergisi*, sayı 3, 34-38.
- Özgirgin, F.**, “Case studies on soil amplification”, Master Thesis, Bogaziçi University, İstanbul, 1997.
- Öztürk, S.**, “Engineering properties of kaolinite clay reinforced with polypropylene fiber”, Master Thesis, Boğaziçi University, İstanbul, 2007.
- Sarıca, S.S.**, 2008. Isparta il merkezi mikrobölgeleme 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,

NBS Building Science Series 165, National Bureau of Standards, Washington, D.C., 207 pp

- 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, Istanbul”, *Engineering Structures*, 24, 661-667, 2002.
- Trifunaa, M. D. and Brady, A. G.** (1975b) “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 actors? 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.
- Wallace, H.B.** , 1982. *Grouting in Geotechnical Engineering*, New York.
- Yalçinkaya, 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.

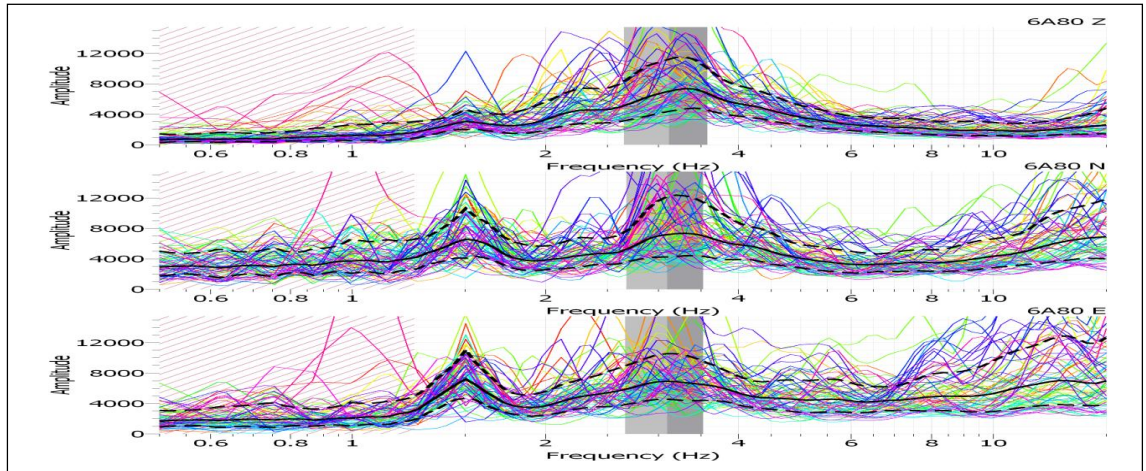
7. EKLER

EK A 3 Bileşenli Mikrotremör Grafikleri



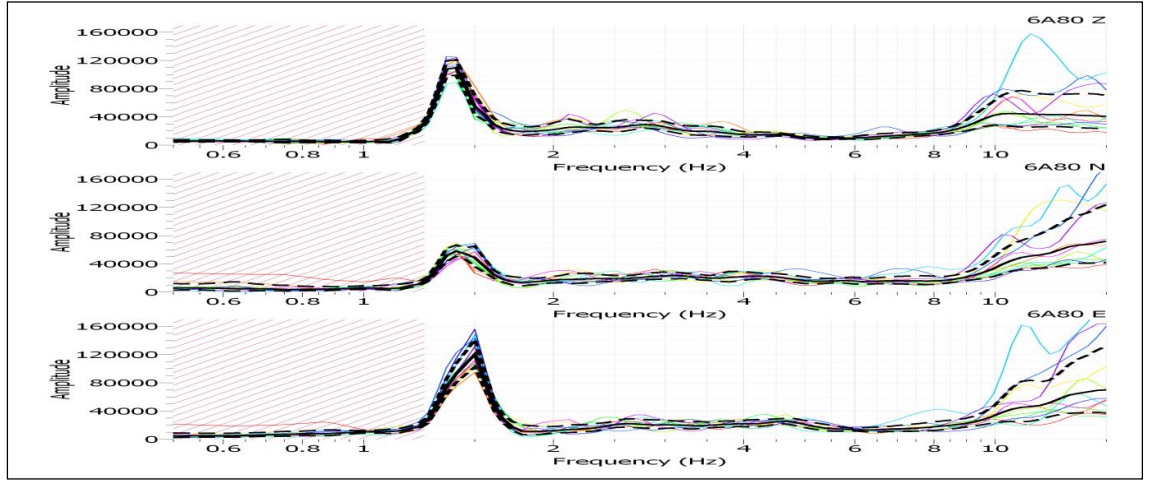
ID	Name	Component	Time reference	Start time	End time	Sampling frequency	dt	N samples	Duration	Rec x	Rec y	Rec z	Type
1	6A80	East	25/10/2011 00:00:00	15h3m57.000000s	15h12m47.000000s	100	0.01	53000	8m50.000000s	0	0	0	Waveform
2	6A80	North	25/10/2011 00:00:00	15h3m57.000000s	15h12m47.000000s	100	0.01	53000	8m50.000000s	0	0	0	Waveform
3	6A80	Vertical	25/10/2011 00:00:00	15h3m57.000000s	15h12m49.000000s	100	0.01	53200	8m52.000000s	0	0	0	Waveform

Şekil A.1 : Akdere ilköğretim okulu doğal zemin



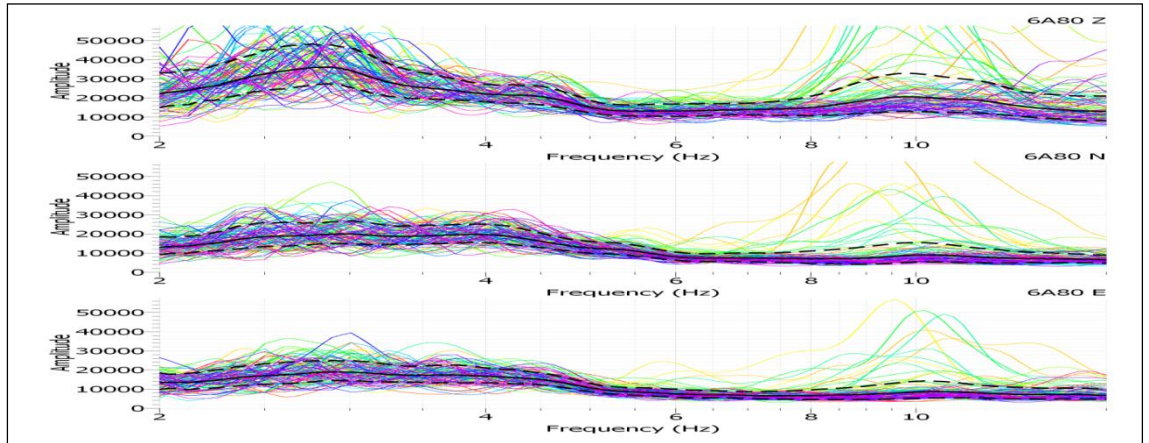
ID	Name	Component	Time reference	Start time	End time	Sampling frequency	dt	N samples	Duration	Rec x	Rec y	Rec z	Type
1	6A80	East	25/10/2011 00:00:00	14h47m36.000000s	14h59m10.000000s	100	0.01	69400	11m34.000000s	0	0	0	Waveform
2	6A80	North	25/10/2011 00:00:00	14h47m36.000000s	14h59m10.000000s	100	0.01	69400	11m34.000000s	0	0	0	Waveform
3	6A80	Vertical	25/10/2011 00:00:00	14h47m36.000000s	14h59m10.000000s	100	0.01	69400	11m34.000000s	0	0	0	Waveform

Şekil A.2 : Akdere ilköğretim okulu iyileştirilmiş zemin



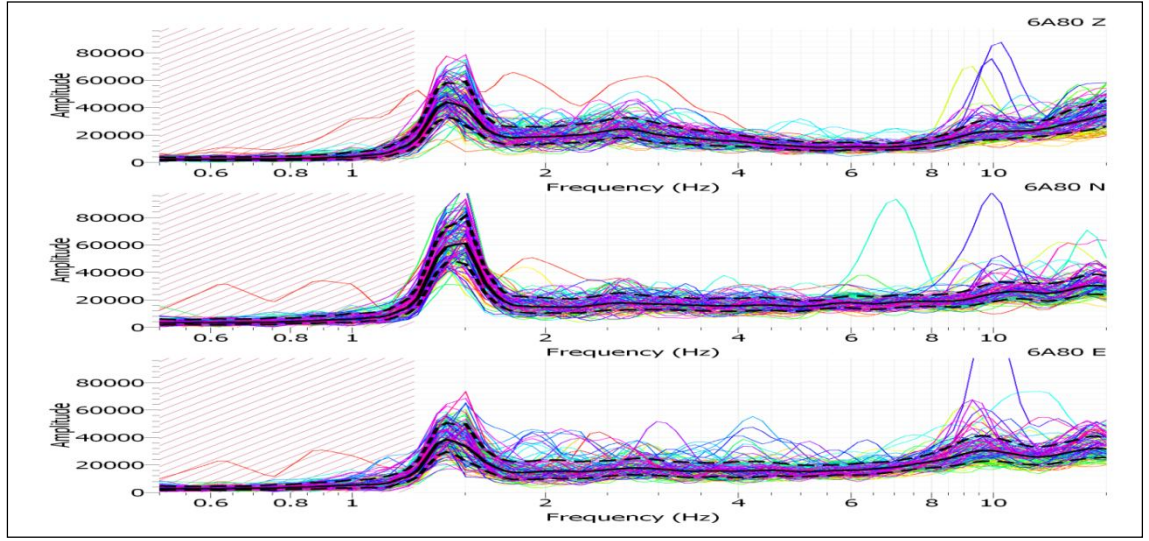
ID	Name	Component	Time reference	Start time	End time	Sampling frequency	dt	N samples	Duration	Rec x	Rec y	Rec z	Type
1	6A80	East	22/10/2011 00:00:00	8h58m6.000000s	9h	100	0.01	11400	1m54.000000s	0	0	0	Waveform
2	6A80	North	22/10/2011 00:00:00	8h58m6.000000s	9h	100	0.01	11400	1m54.000000s	0	0	0	Waveform
3	6A80	Vertical	22/10/2011 00:00:00	8h58m6.000000s	9h	100	0.01	11400	1m54.000000s	0	0	0	Waveform
4	6A80	East	22/10/2011 00:00:00	9h	9h10m40.000000s	100	0.01	64000	10m40.000000s	0	0	0	Waveform
5	6A80	North	22/10/2011 00:00:00	9h	9h10m39.000000s	100	0.01	63900	10m39.000000s	0	0	0	Waveform
6	6A80	Vertical	22/10/2011 00:00:00	9h	9h10m40.000000s	100	0.01	64000	10m40.000000s	0	0	0	Waveform

Şekil A.3 : Anafartalar lisesi doğal zemin



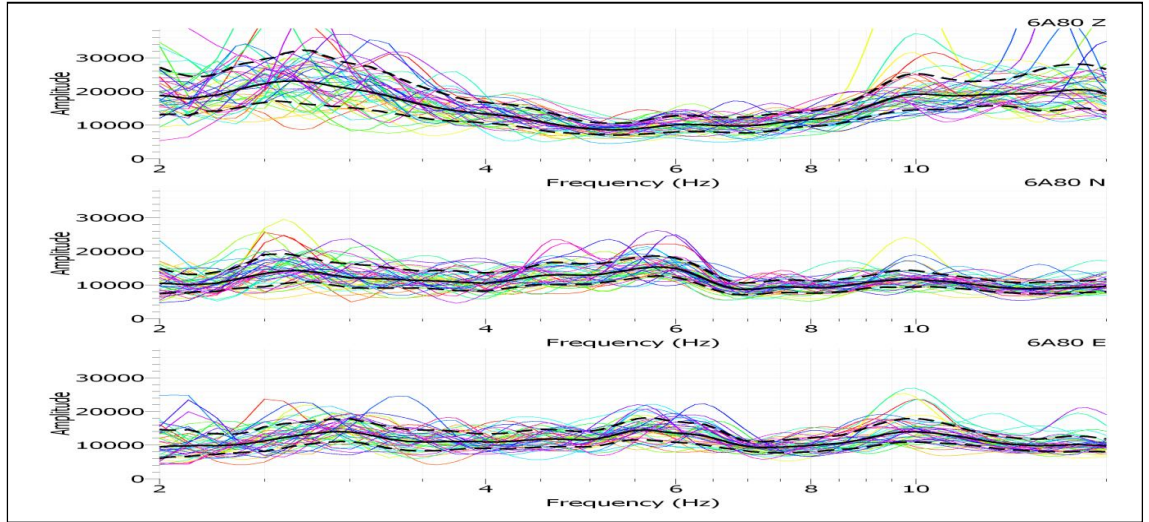
ID	Name	Component	Time reference	Start time	End time	Sampling frequency	dt	N samples	Duration	Rec x	Rec y	Rec z	Type
1	6A80	East	22/10/2011 00:00:00	9h38m29.000000s	9h53m4.000000s	100	0.01	87500	14m35.000000s	0	0	0	Waveform
2	6A80	North	22/10/2011 00:00:00	9h38m29.000000s	9h53m5.000000s	100	0.01	87600	14m36.000000s	0	0	0	Waveform
3	6A80	Vertical	22/10/2011 00:00:00	9h38m29.000000s	9h53m2.000000s	100	0.01	87300	14m33.000000s	0	0	0	Waveform

Şekil A.4 : Anafartalar lisesi iyileştirilmiş zemin



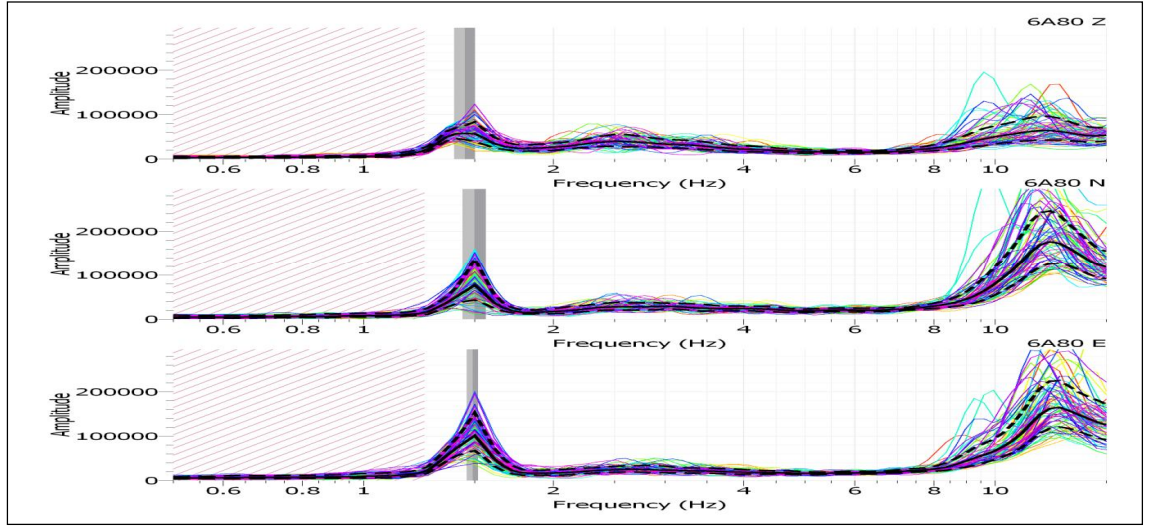
ID	Name	Component	Time reference	Start time	End time	Sampling frequency	dt	N samples	Duration	Rec x	Rec y	Rec z	Type
1	6A80	East	15/10/2011 00:00:00	9h19m50.000000s	9h36m20.000000s	100	0.01	99000	16m30.000000s	0	0	0	Waveform
2	6A80	North	15/10/2011 00:00:00	9h19m50.000000s	9h36m20.000000s	100	0.01	99000	16m30.000000s	0	0	0	Waveform
3	6A80	Vertical	15/10/2011 00:00:00	9h19m50.000000s	9h36m20.000000s	100	0.01	99000	16m30.000000s	0	0	0	Waveform

Şekil A.5 : Arif Yalınkaya ilköğretim okulu doğal zemin



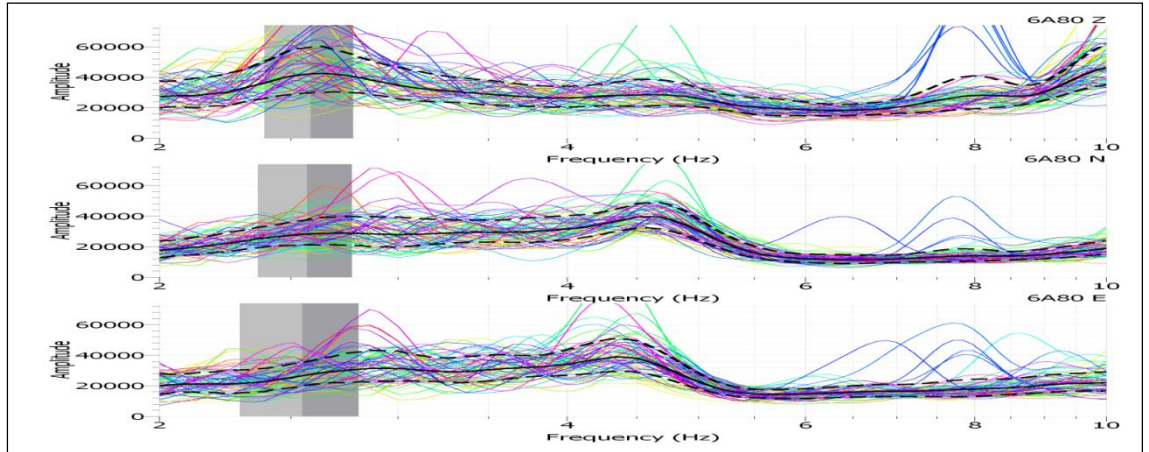
ID	Name	Component	Time reference	Start time	End time	Sampling frequency	dt	N samples	Duration	Rec x	Rec y	Rec z	Type
1	6A80	East	15/10/2011 00:00:00	10h6m45.000000s	10h13m	100	0.01	37500	6m15.000000s	0	0	0	Waveform
2	6A80	North	15/10/2011 00:00:00	10h6m45.000000s	10h13m	100	0.01	37500	6m15.000000s	0	0	0	Waveform
3	6A80	Vertical	15/10/2011 00:00:00	10h6m45.000000s	10h13m2.000000s	100	0.01	37700	6m17.000000s	0	0	0	Waveform

Şekil A.6 : Arif Yalınkaya ilköğretim okulu iyileştirilmiş zemin



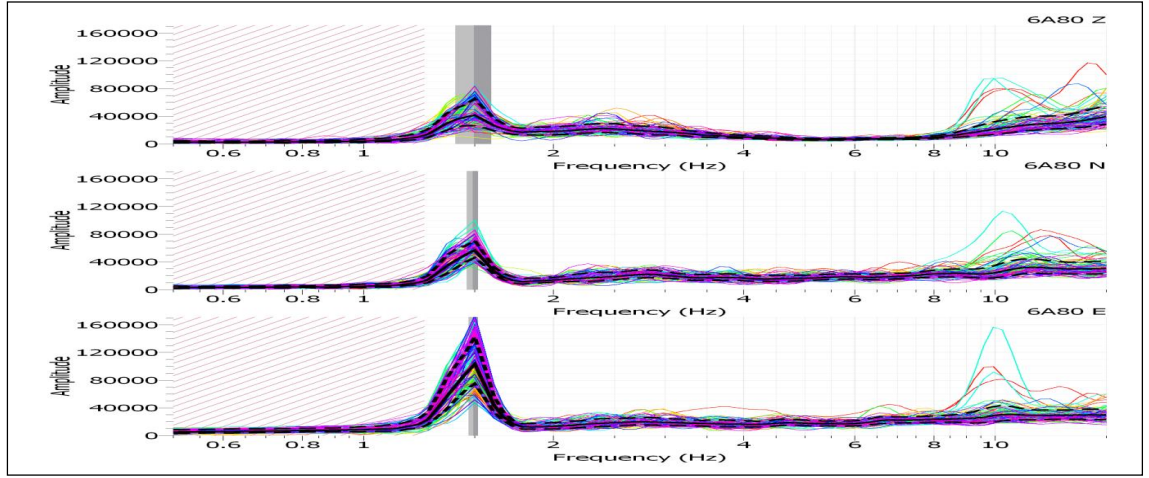
ID	Name	Component	Time reference	Start time	End time	Sampling frequency	dt	N samples	Duration	Rec x	Rec y	Rec z	Type
1	6A80	East	22/10/2011 00:00:00	8h14m50.000000s	8h25m6.000000s	100	0.01	61600	10m16.000000s	0	0	0	Waveform
2	6A80	North	22/10/2011 00:00:00	8h14m50.000000s	8h25m6.000000s	100	0.01	61600	10m16.000000s	0	0	0	Waveform
3	6A80	Vertical	22/10/2011 00:00:00	8h14m50.000000s	8h25m5.000000s	100	0.01	61500	10m15.000000s	0	0	0	Waveform

Şekil A.7 : Cumhuriyet lisesi doğal zemin



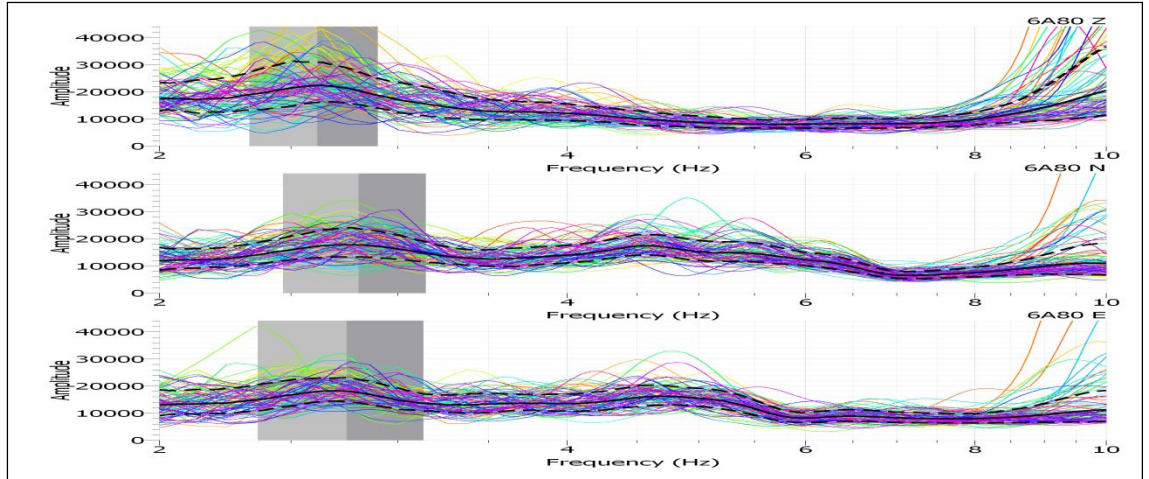
ID	Name	Component	Time reference	Start time	End time	Sampling frequency	dt	N samples	Duration	Rec x	Rec y	Rec z	Type
1	1	6A80	22/10/2011 00:00:00	7h45m31.000000s	7h55m11.000000s	100	0.01	58000	9m40.000000s	0	0	0	Waveform
2	2	6A80	22/10/2011 00:00:00	7h45m31.000000s	7h55m11.000000s	100	0.01	58000	9m40.000000s	0	0	0	Waveform
3	3	6A80	22/10/2011 00:00:00	7h45m31.000000s	7h55m14.000000s	100	0.01	58300	9m43.000000s	0	0	0	Waveform

Şekil A.8 : Cumhuriyet lisesi iyileştirilmiş zemin



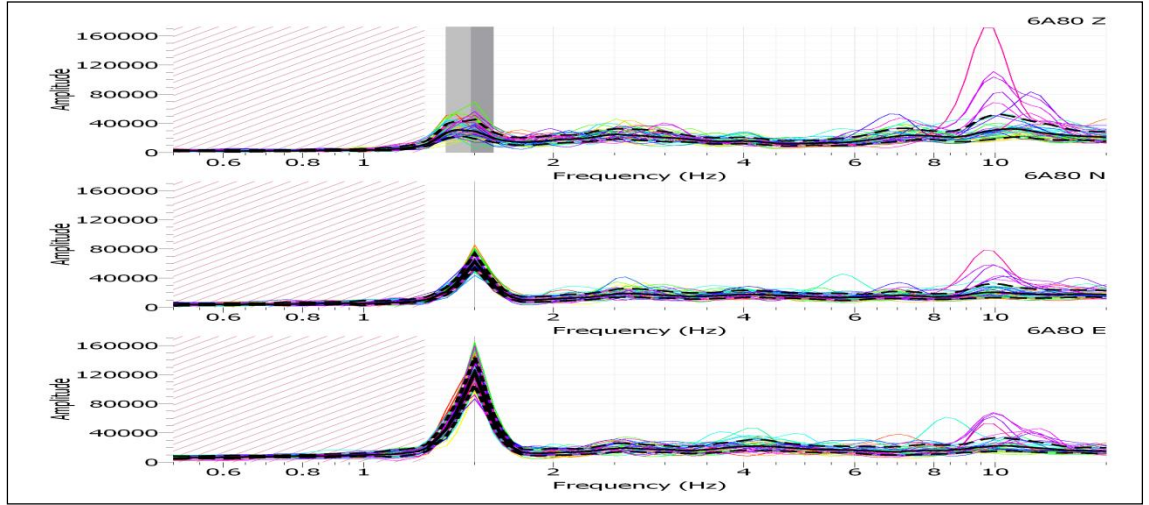
ID	Name	Component	Time reference	Start time	End time	Sampling frequency	dt	N samples	Duration	Rec x	Rec y	Rec z	Type
1	6A80	East	22/10/2011 00:00:00	12h19m30.000000s	12h32m35.000000s	100	0.01	78500	13m5.000000s	0	0	0	Waveform
2	6A80	North	22/10/2011 00:00:00	12h19m30.000000s	12h32m35.000000s	100	0.01	78500	13m5.000000s	0	0	0	Waveform
3	6A80	Vertical	22/10/2011 00:00:00	12h19m30.000000s	12h32m37.000000s	100	0.01	78700	13m7.000000s	0	0	0	Waveform

Şekil A.9 : Hürriyet ilköğretim okulu doğal zemin



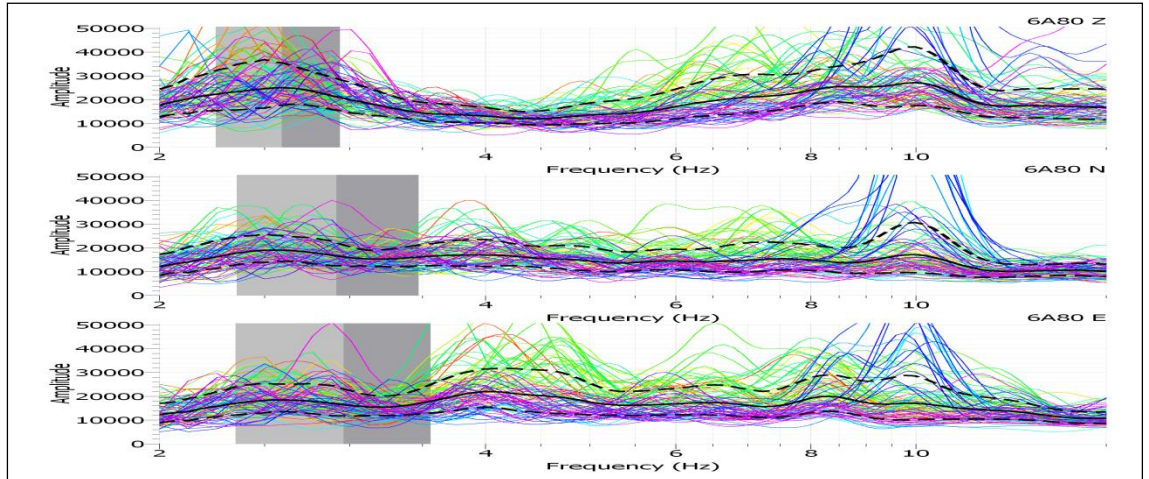
ID	Name	Component	Time reference	Start time	End time	Sampling frequency	dt	N samples	Duration	Rec x	Rec y	Rec z	Type
1	6A80	East	22/10/2011 00:00:00	12h0m30.000000s	12h14m55.000000s	100	0.01	86500	14m25.000000s	0	0	0	Waveform
2	6A80	North	22/10/2011 00:00:00	12h0m30.000000s	12h14m55.000000s	100	0.01	86500	14m25.000000s	0	0	0	Waveform
3	6A80	Vertical	22/10/2011 00:00:00	12h0m30.000000s	12h14m53.000000s	100	0.01	86300	14m23.000000s	0	0	0	Waveform

Şekil A.10 : Hürriyet ilköğretim okulu iyileştirilmiş zemin



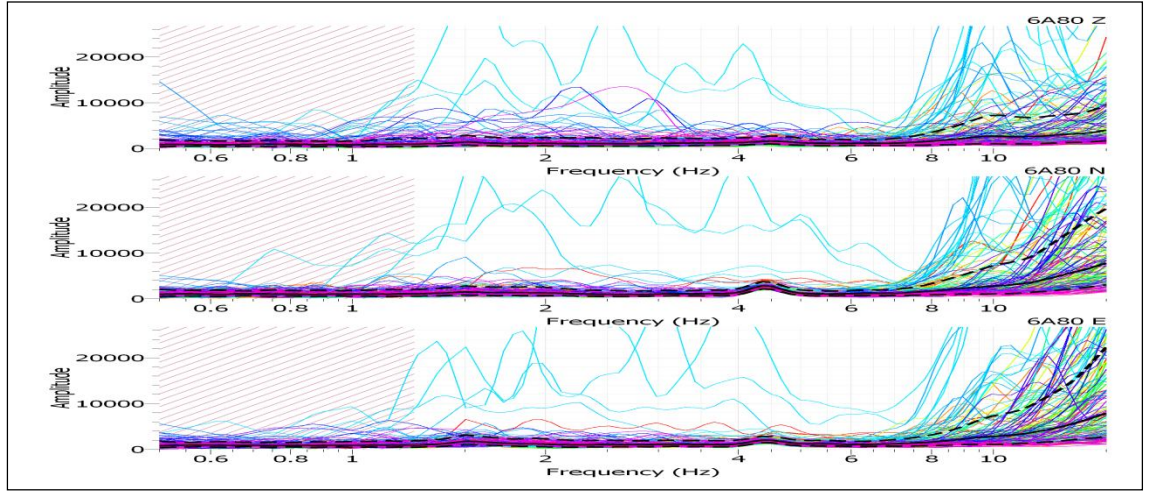
ID	Name	Component	Time reference	Start time	End time	Sampling frequency	dt	N samples	Duration	Rec x	Rec y	Rec z	Type
1	6A80	East	22/10/2011 00:00:00	10h54m2.000000s	11h	100	0.01	35800	5m58.000000s	0	0	0	Waveform
2	6A80	North	22/10/2011 00:00:00	10h54m2.000000s	11h	100	0.01	35800	5m58.000000s	0	0	0	Waveform
3	6A80	Vertical	22/10/2011 00:00:00	10h54m2.000000s	11h	100	0.01	35800	5m58.000000s	0	0	0	Waveform
4	6A80	East	22/10/2011 00:00:00	11h	11h6m45.000000s	100	0.01	40500	6m45.000000s	0	0	0	Waveform
5	6A80	North	22/10/2011 00:00:00	11h	11h6m46.000000s	100	0.01	40600	6m46.000000s	0	0	0	Waveform
6	6A80	Vertical	22/10/2011 00:00:00	11h	11h6m45.000000s	100	0.01	40500	6m45.000000s	0	0	0	Waveform

Şekil A.11 : Merkez ilköğretim okulu doğal zemin



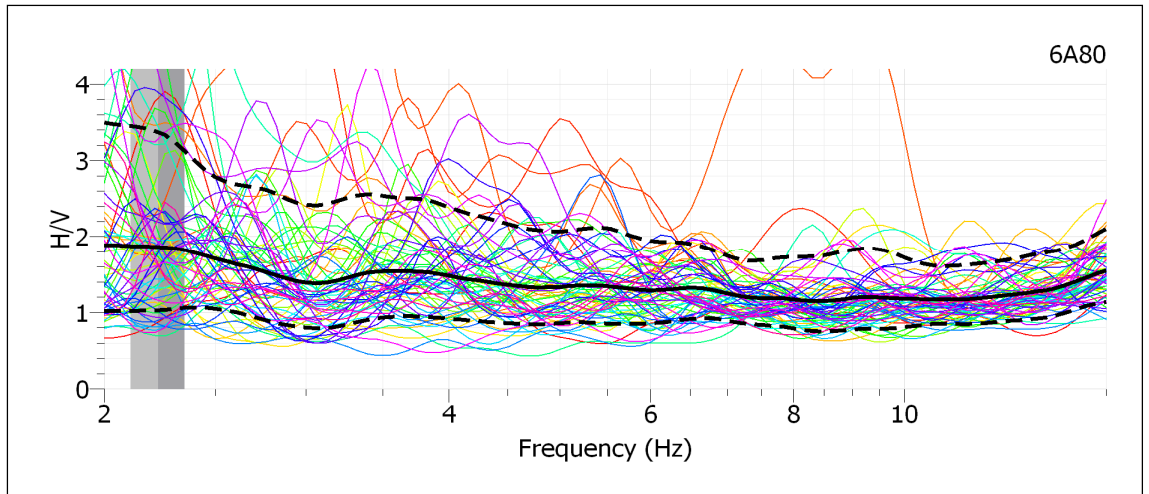
ID	Name	Component	Time reference	Start time	End time	Sampling frequency	dt	N samples	Duration	Rec x	Rec y	Rec z	Type
1	6A80	East	22/10/2011 00:00:00	11h23m22.000000s	11h37m7.000000s	100	0.01	82500	13m45.000000s	0	0	0	Waveform
2	6A80	North	22/10/2011 00:00:00	11h23m22.000000s	11h37m7.000000s	100	0.01	82500	13m45.000000s	0	0	0	Waveform
3	6A80	Vertical	22/10/2011 00:00:00	11h23m22.000000s	11h37m9.000000s	100	0.01	82700	13m47.000000s	0	0	0	Waveform

Şekil A.12 : Merkez ilköğretim okulu iyileştirilmiş zemin



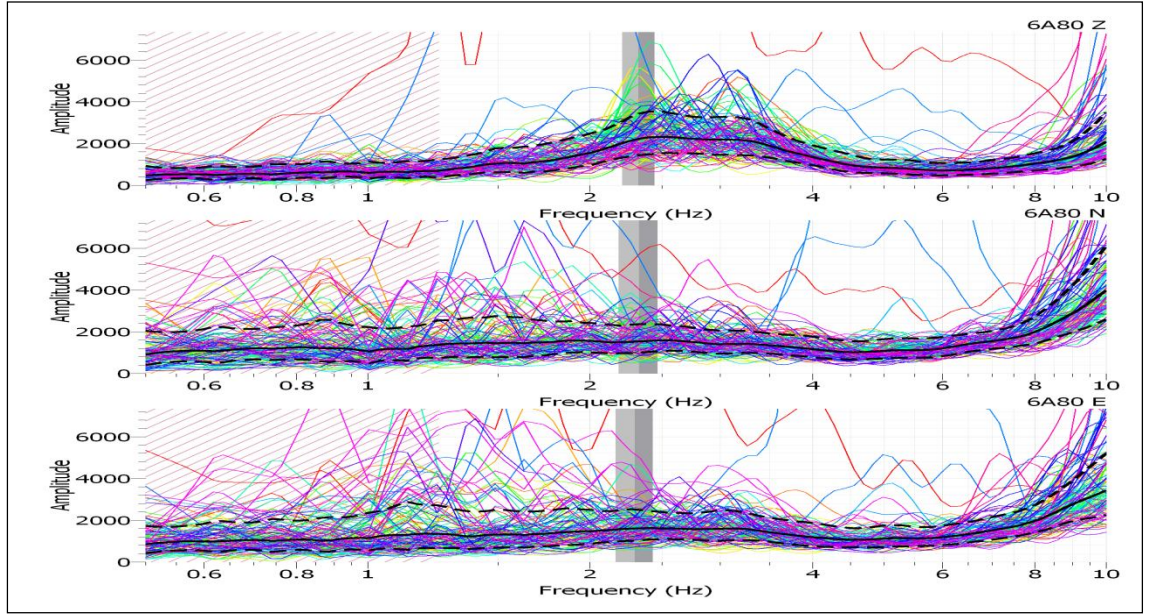
ID	Name	Component	Time reference	Start time	End time	Sampling frequency	dt	N samples	Duration	Rec x	Rec y	Rec z	Type
1	6A80	East	08/10/2011 00:00:00	9h8m36.000000s	9h31m27.000000s	100	0.01	137100	22m51.000000s	0	0	0	Waveform
2	6A80	North	08/10/2011 00:00:00	9h8m36.000000s	9h31m24.000000s	100	0.01	136800	22m48.000000s	0	0	0	Waveform
3	6A80	Vertical	08/10/2011 00:00:00	9h8m36.000000s	9h31m28.000000s	100	0.01	137200	22m52.000000s	0	0	0	Waveform

Şekil A.13 : Muğla Karabörtlen ilköğretim okulu doğal zemin



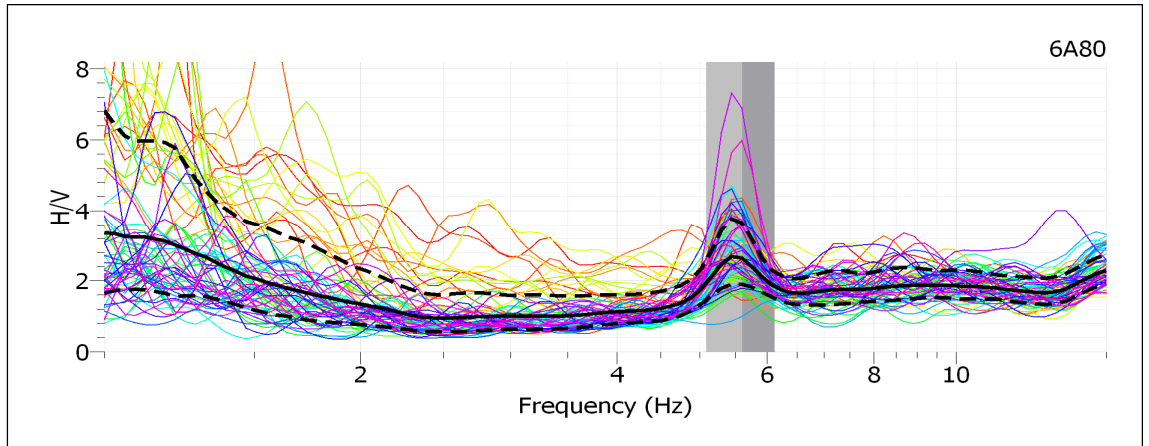
ID	Name	Component	Time reference	Start time	End time	Sampling frequency	dt	N samples	Duration	Rec x	Rec y	Rec z	Type
1	6A80	East	08/10/2011 00:00:00	9h59m42.000000s	10h	100	0.01	1800	18.000000s	0	0	0	Waveform
2	6A80	North	08/10/2011 00:00:00	9h59m42.000000s	10h	100	0.01	1800	18.000000s	0	0	0	Waveform
3	6A80	Vertical	08/10/2011 00:00:00	9h59m42.000000s	10h	100	0.01	1800	18.000000s	0	0	0	Waveform
4	6A80	East	08/10/2011 00:00:00	10h	10h17m22.000000s	100	0.01	104200	17m22.000000s	0	0	0	Waveform
5	6A80	North	08/10/2011 00:00:00	10h	10h17m22.000000s	100	0.01	104200	17m22.000000s	0	0	0	Waveform
6	6A80	Vertical	08/10/2011 00:00:00	10h	10h17m22.000000s	100	0.01	104200	17m22.000000s	0	0	0	Waveform

Şekil A.14 : Muğla Karabörtlen ilköğretim okulu iyileştirilmiş zemin



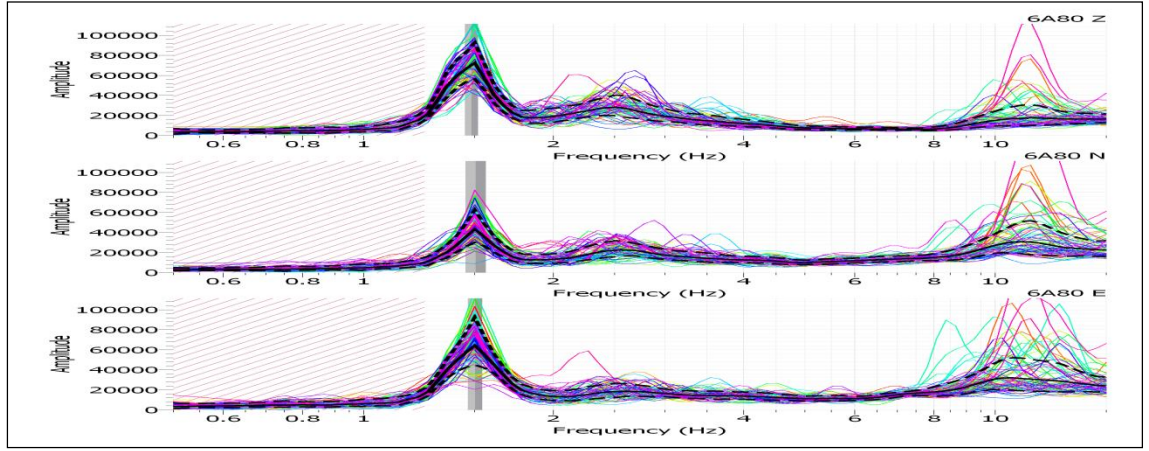
ID	Name	Component	Time reference	Start time	End time	Sampling frequency	dt	N samples	Duration	Rec x	Rec y	Rec z	Type
1	6A80	East	08/10/2011 00:00:00	13h26m33.000000s	13h43m55.000000s	100	0.01	104200	17m22.000000s	0	0	0	Waveform
2	6A80	North	08/10/2011 00:00:00	13h26m33.000000s	13h43m51.000000s	100	0.01	103800	17m18.000000s	0	0	0	Waveform
3	6A80	Vertical	08/10/2011 00:00:00	13h26m33.000000s	13h43m54.000000s	100	0.01	104100	17m21.000000s	0	0	0	Waveform

Şekil A.15 : Muğla Ortaca Meslek Yüksek Okulu yurt binası doğal zemin



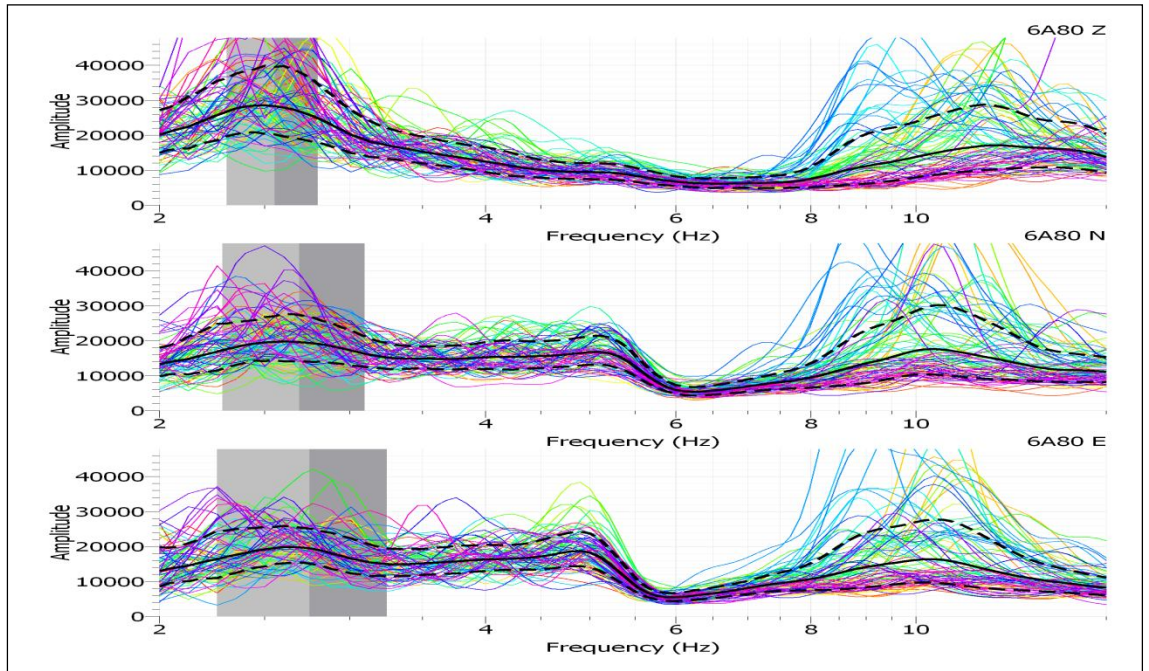
ID	Name	Component	Time reference	Start time	End time	Sampling frequency	dt	N samples	Duration	Rec x	Rec y	Rec z	Type
1	6A80	East	08/10/2011 00:00:00	13h	13h19m40.000000s	100	0.01	118000	19m40.000000s	0	0	0	Waveform
2	6A80	North	08/10/2011 00:00:00	13h	13h19m39.000000s	100	0.01	117900	19m39.000000s	0	0	0	Waveform
3	6A80	Vertical	08/10/2011 00:00:00	13h	13h19m40.000000s	100	0.01	118000	19m40.000000s	0	0	0	Waveform

Şekil A.16 : Muğla Ortaca Meslek Yüksek Okulu yurt binası iyileştirilmiş zemin



ID	Name	Component	Time reference	Start time	End time	Sampling frequency	dt	N samples	Duration	Rec x	Rec y	Rec z	Type
1	6A80	East	22/10/2011 00:00:00	10h5m46.000000s	10h16m59.000000s	100	0.01	67300	11m13.000000s	0	0	0	Waveform
2	6A80	North	22/10/2011 00:00:00	10h5m46.000000s	10h16m59.000000s	100	0.01	67300	11m13.000000s	0	0	0	Waveform
3	6A80	Vertical	22/10/2011 00:00:00	10h5m46.000000s	10h16m59.000000s	100	0.01	67300	11m13.000000s	0	0	0	Waveform

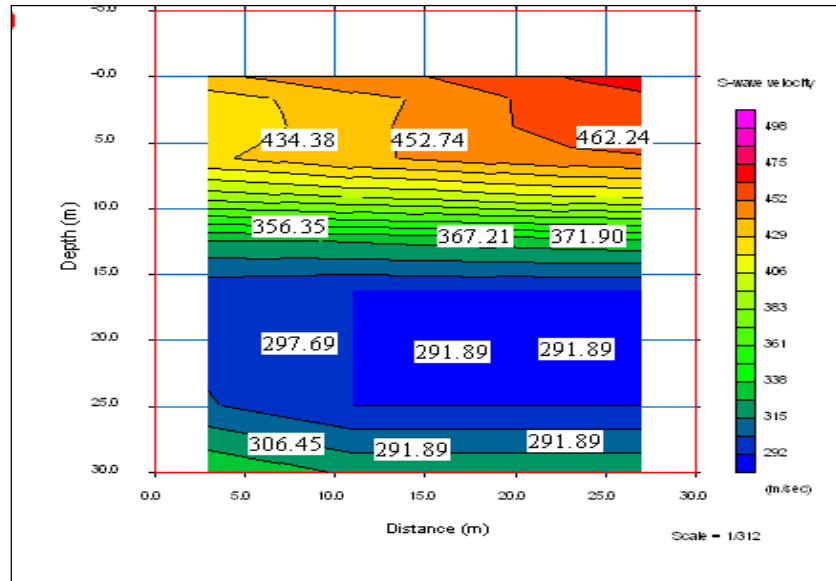
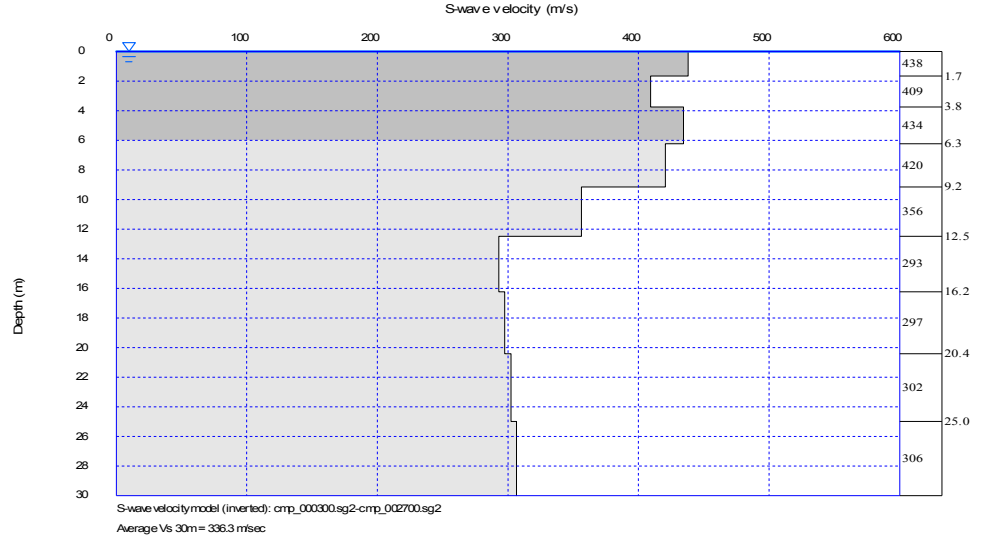
Şekil A.17 : Nuri Erikoğlu ilköğretim okulu doğal zemin



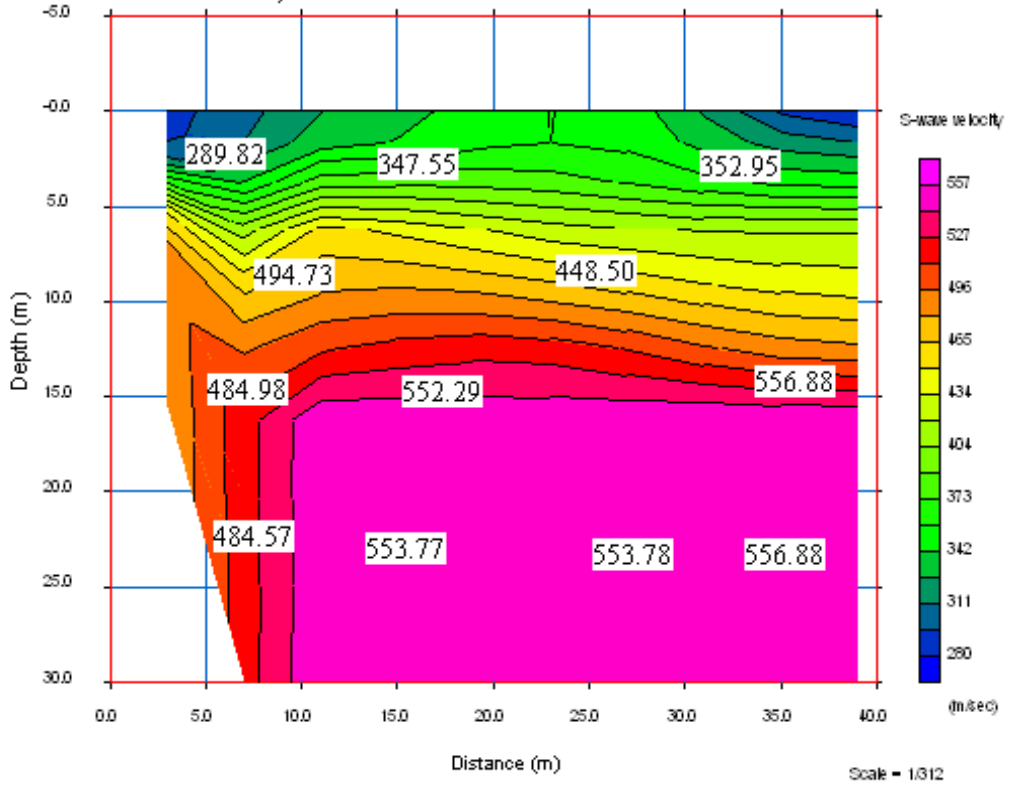
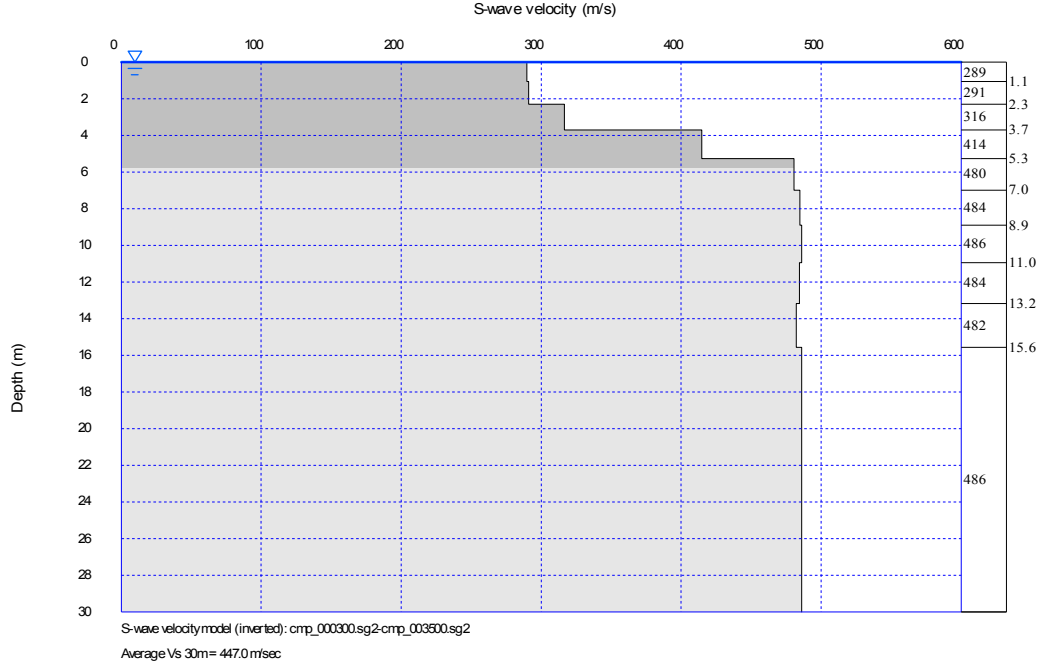
ID	Name	Component	Time reference	Start time	End time	Sampling frequency	dt	N samples	Duration	Rec x	Rec y	Rec z	Type
1	6A80	East	22/10/2011 00:00:00	10h24m35.000000s	10h37m20.000000s	100	0.01	76500	12m45.000000s	0	0	0	Waveform
2	6A80	North	22/10/2011 00:00:00	10h24m35.000000s	10h37m19.000000s	100	0.01	76400	12m44.000000s	0	0	0	Waveform
3	6A80	Vertical	22/10/2011 00:00:00	10h24m35.000000s	10h37m18.000000s	100	0.01	76300	12m43.000000s	0	0	0	Waveform

Şekil A.18 : Nuri Erikoğlu ilköğretim okulu iyileştirilmiş zemin

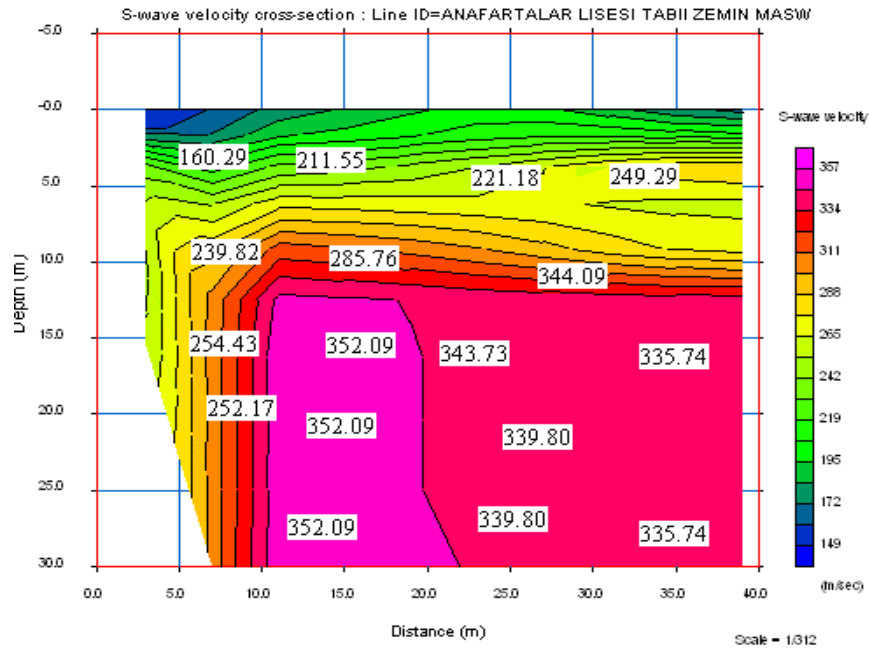
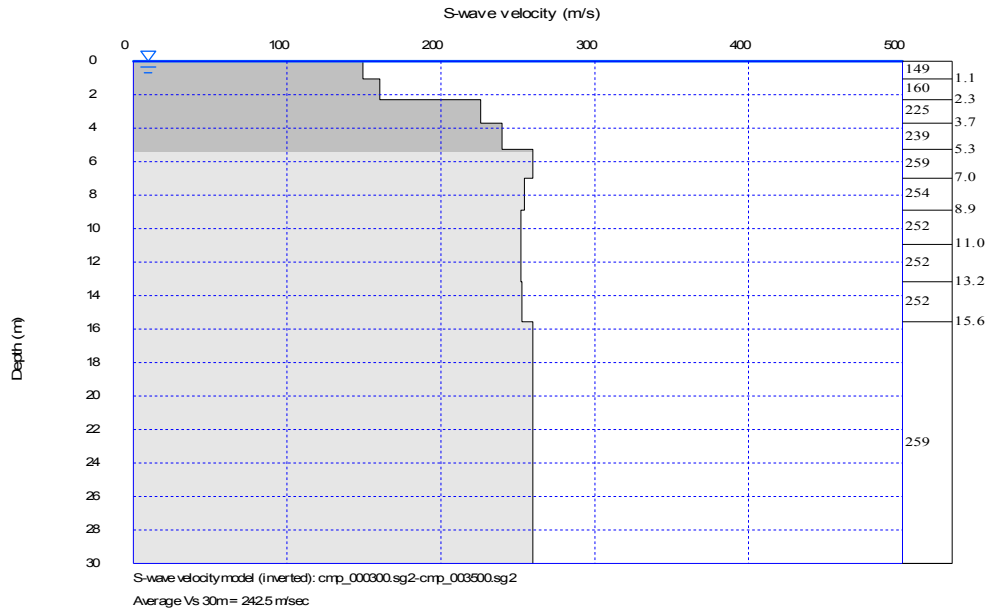
Ek B MASW Ölçüm Sonuçları



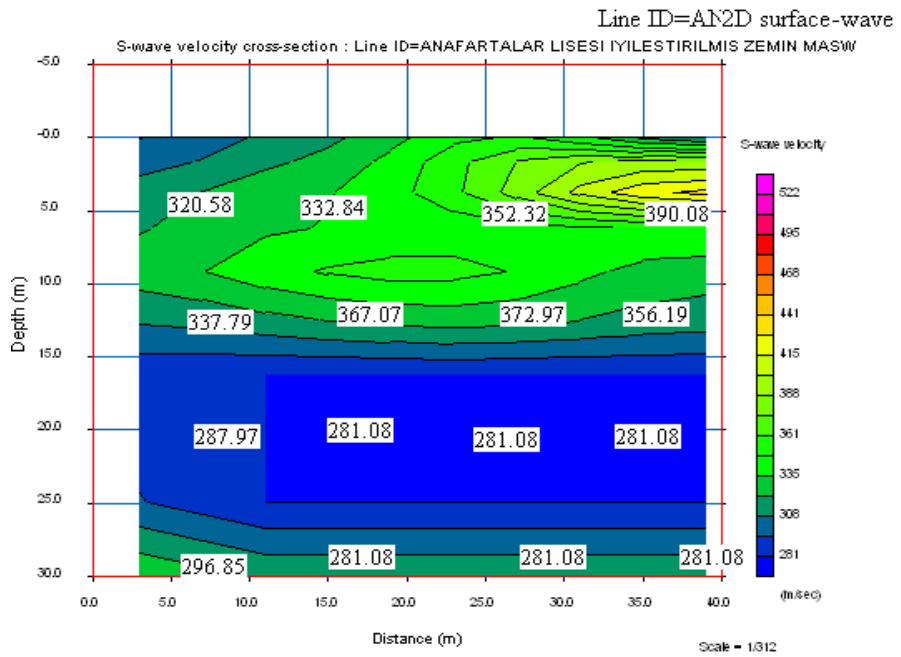
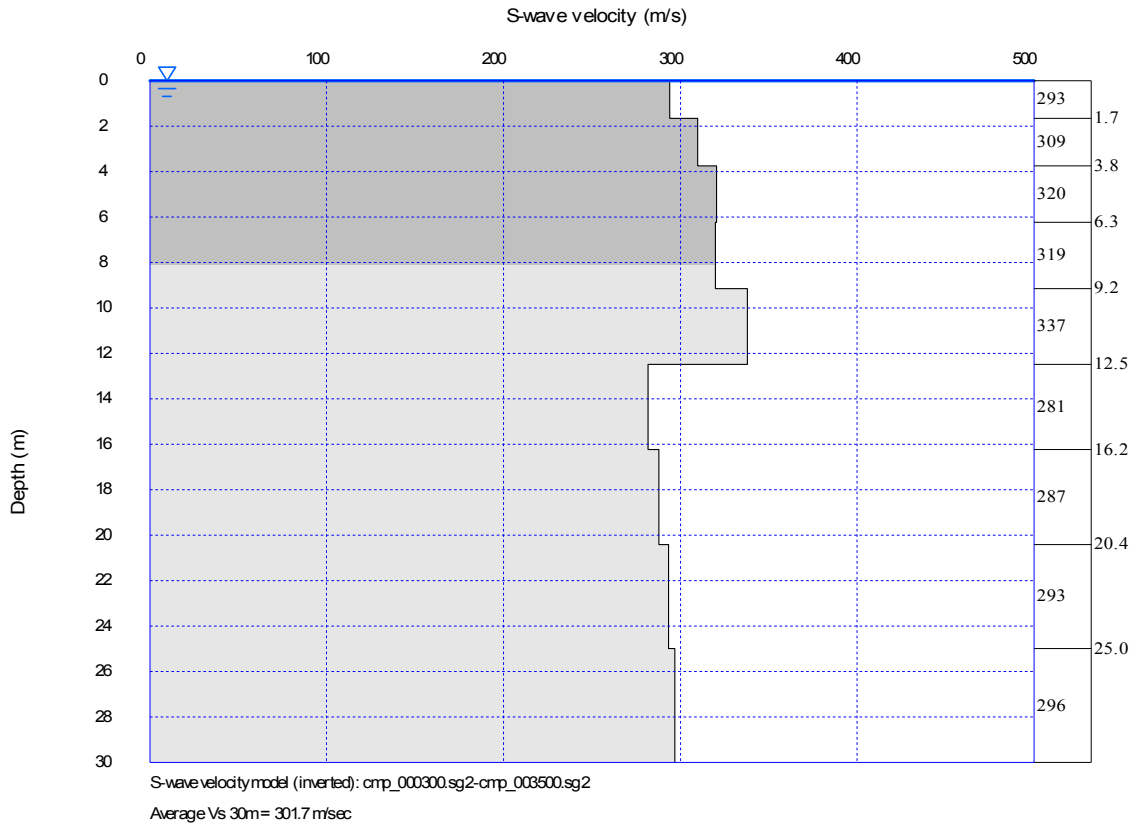
Şekil B.1 : Akdere ilköğretim okulu iyileştirilmiş zemin MASW profilleri



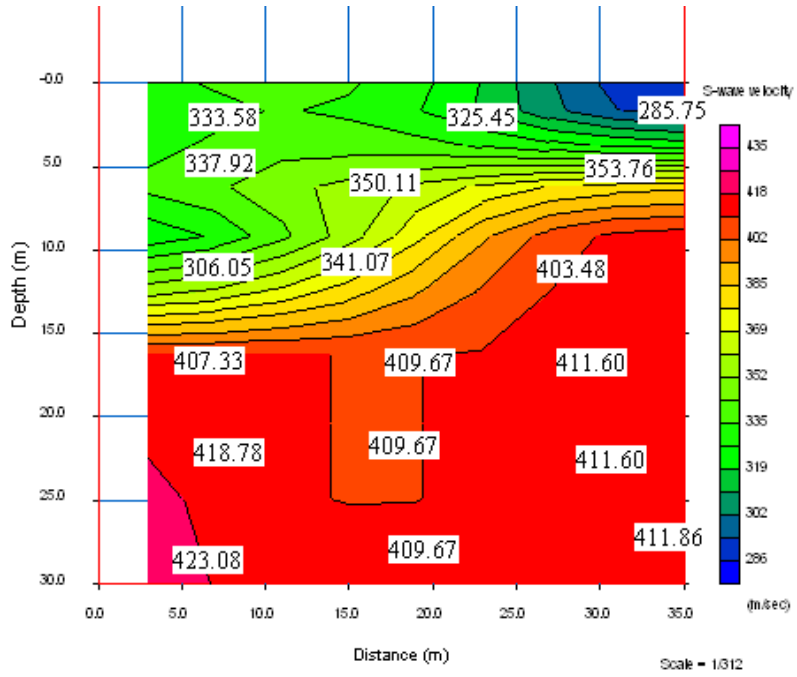
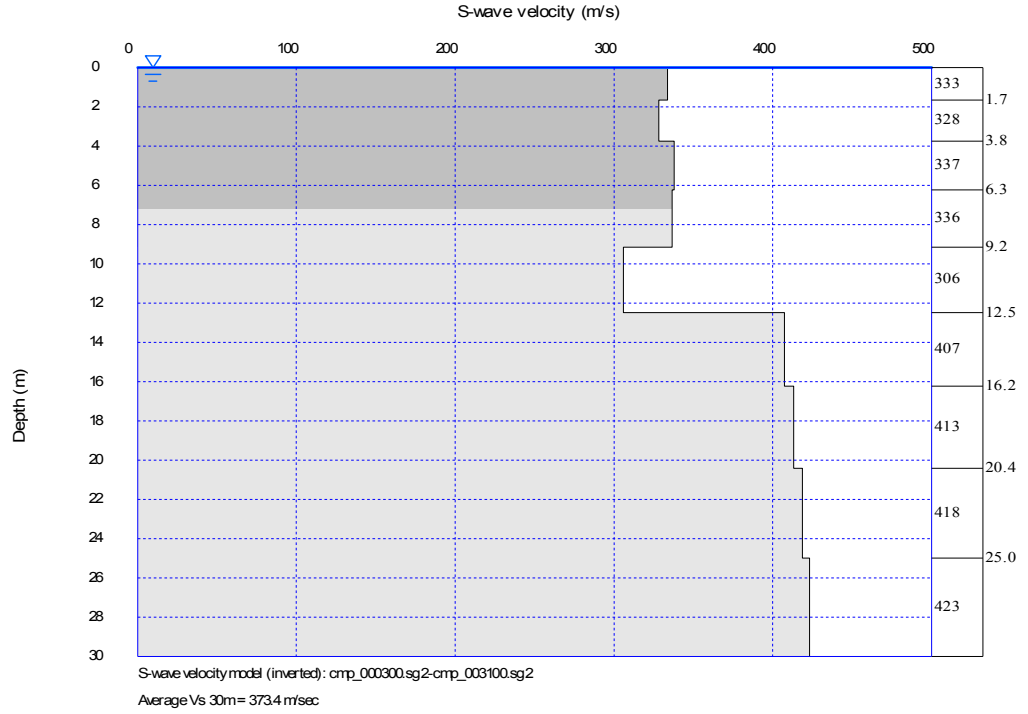
Şekil B.2 : Akdere ilköğretim okulu doğal zemin MASW profilleri



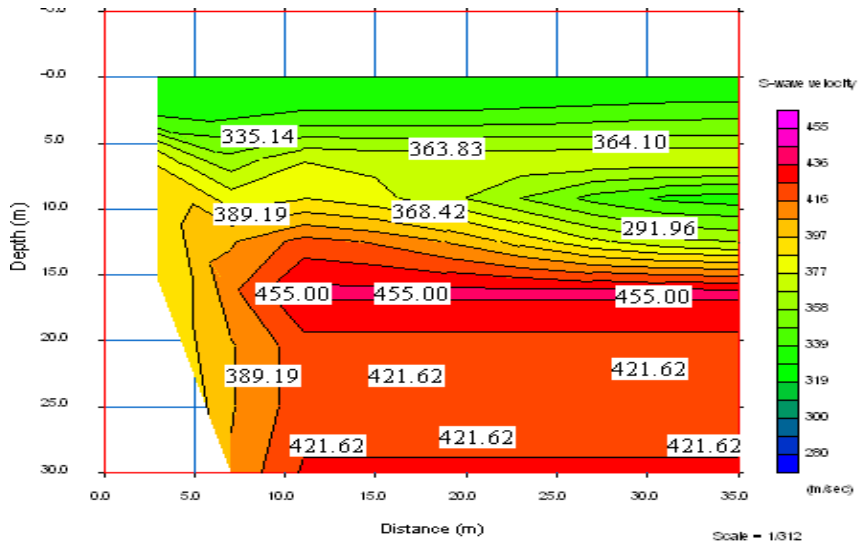
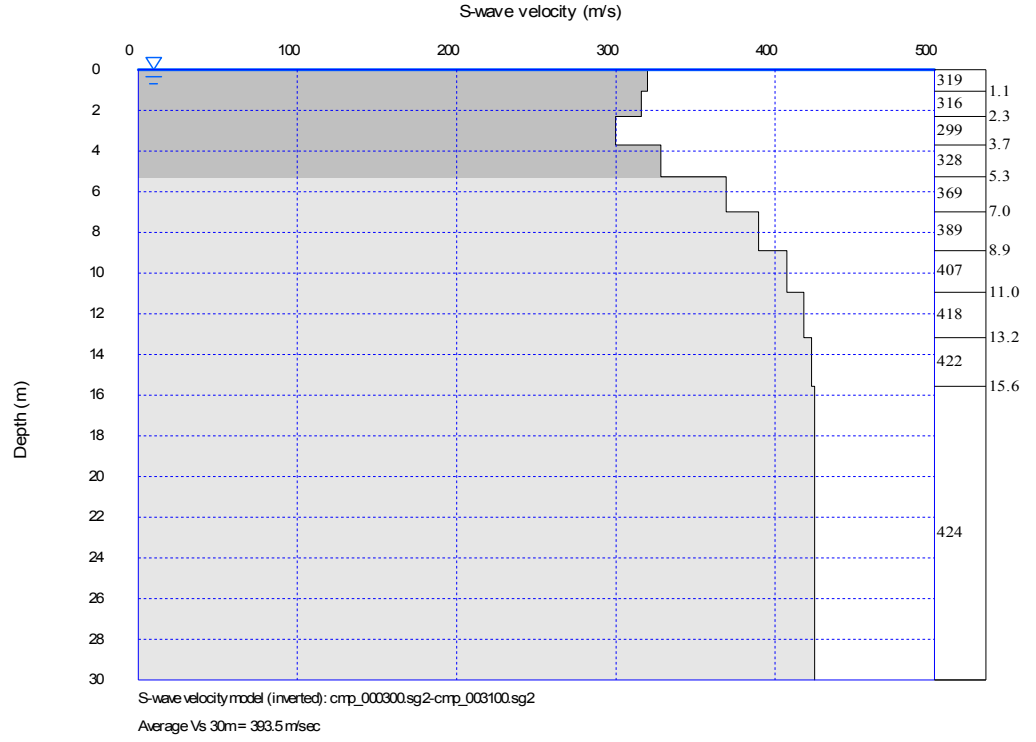
Şekil B.3 : Anafartalar Lisesi doğal zemin MASW profilleri



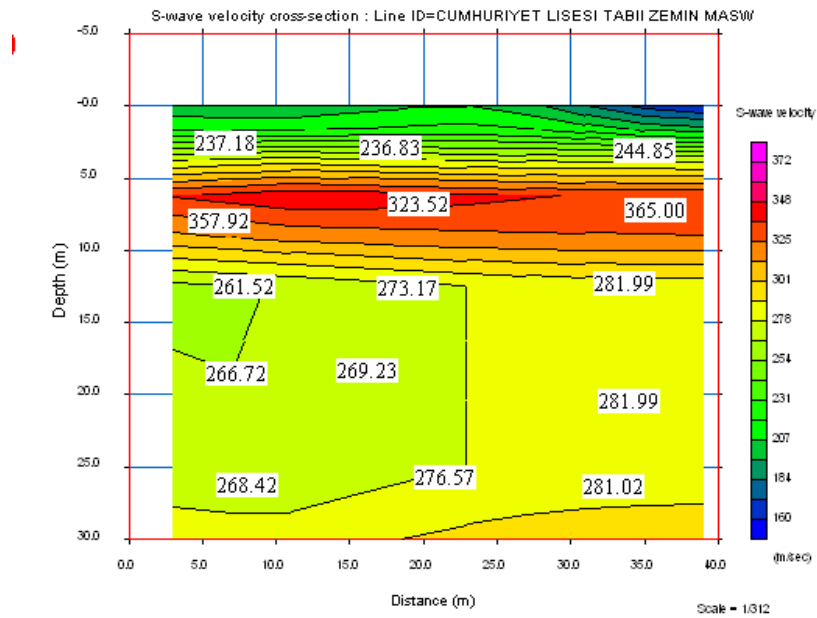
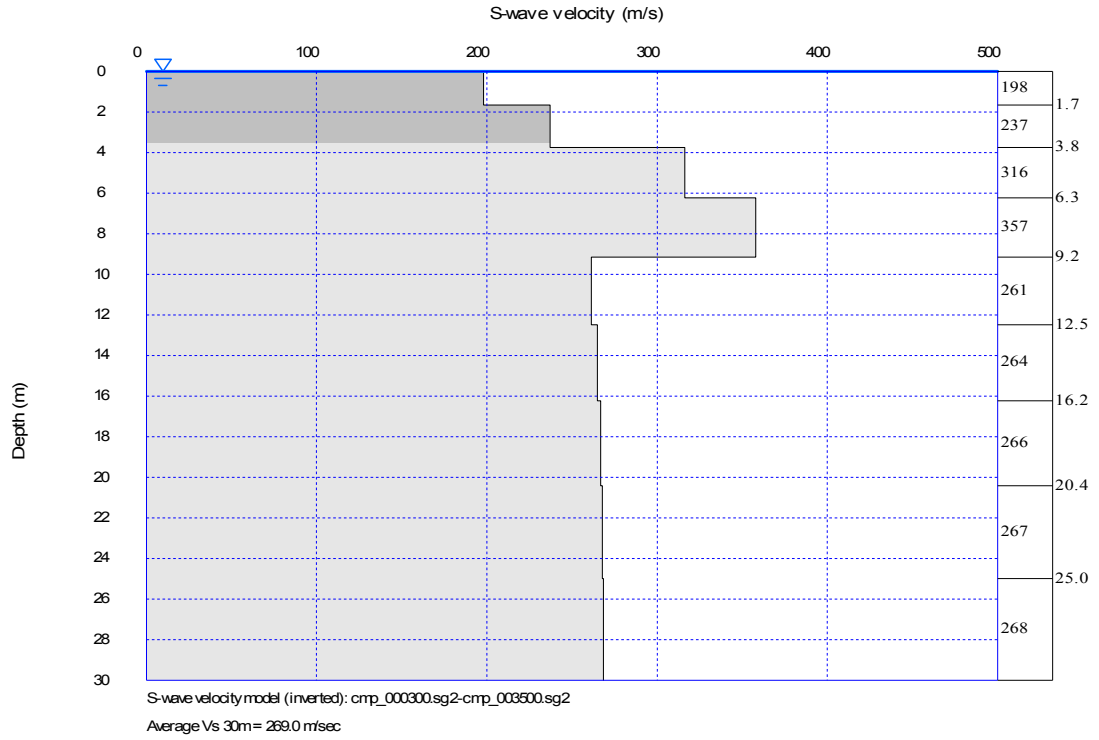
Şekil B.4 : Anafartalar Lisesi iyileştirilmiş zemin MASW profilleri



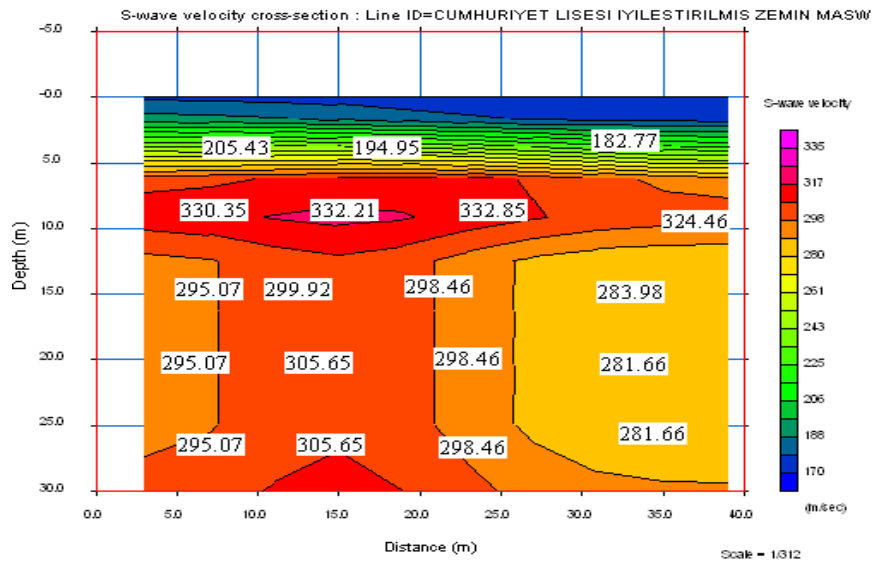
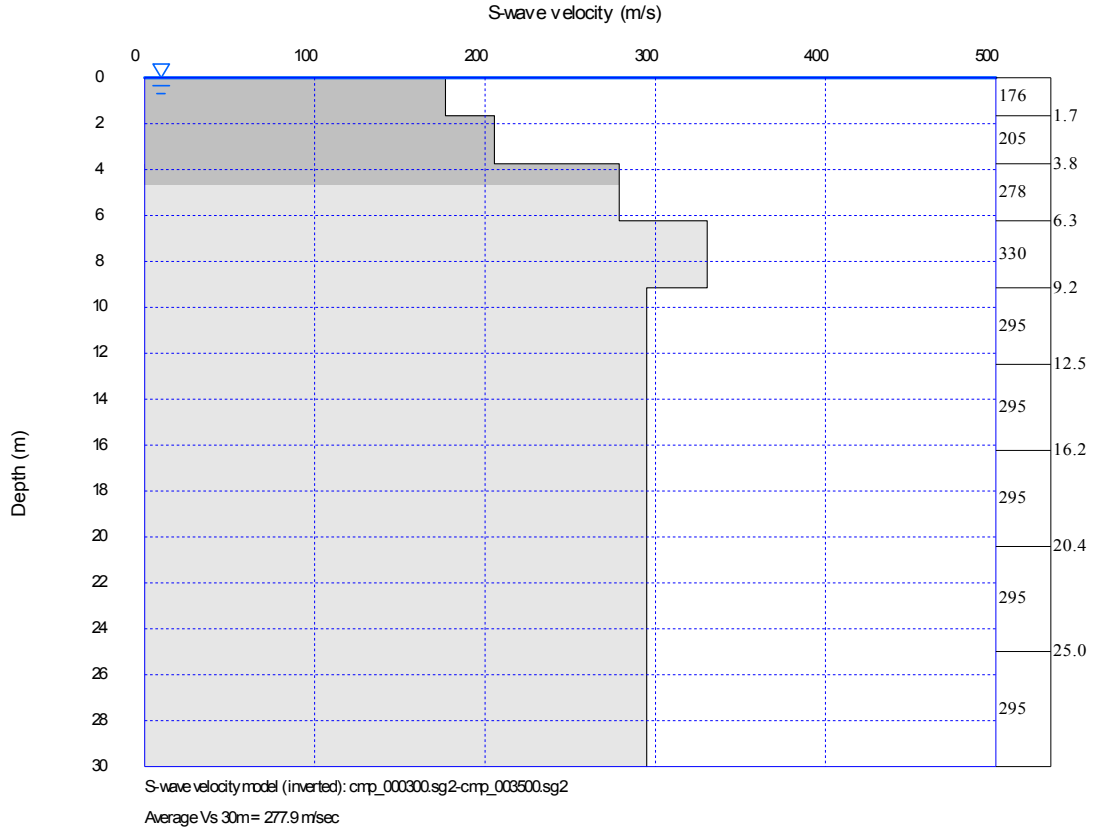
Şekil B.5 : Arif Yalınkaya ilköğretim okulu iyileştirilmiş zemin MASW profilleri



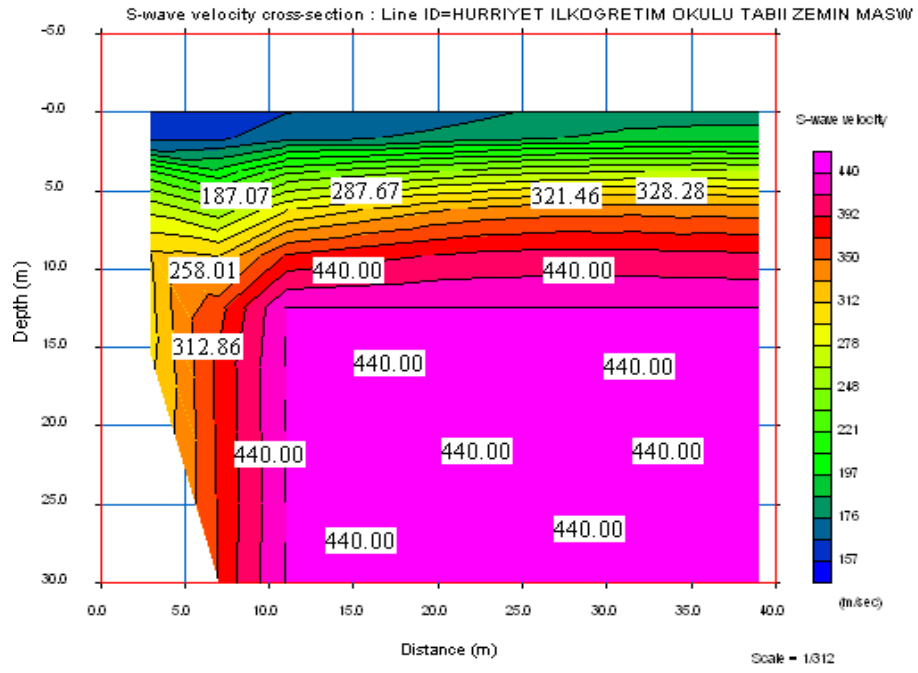
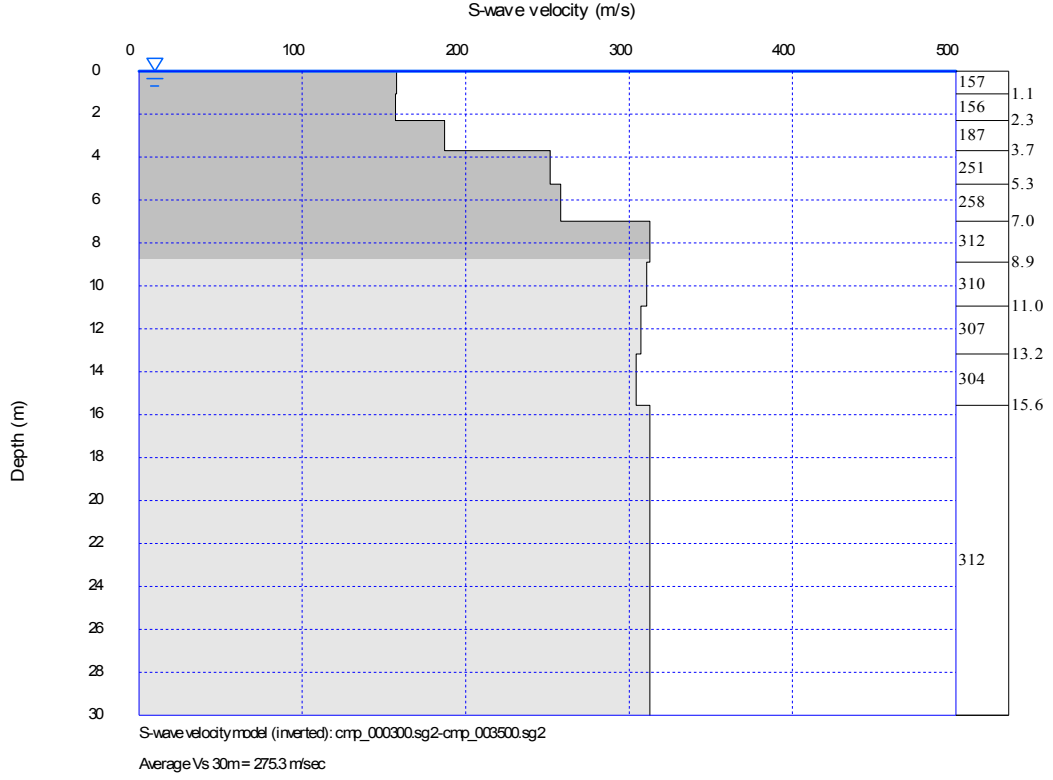
Şekil B.6 : Arif Yalınkaya ilköğretim okulu doğal zemin MASW profilleri



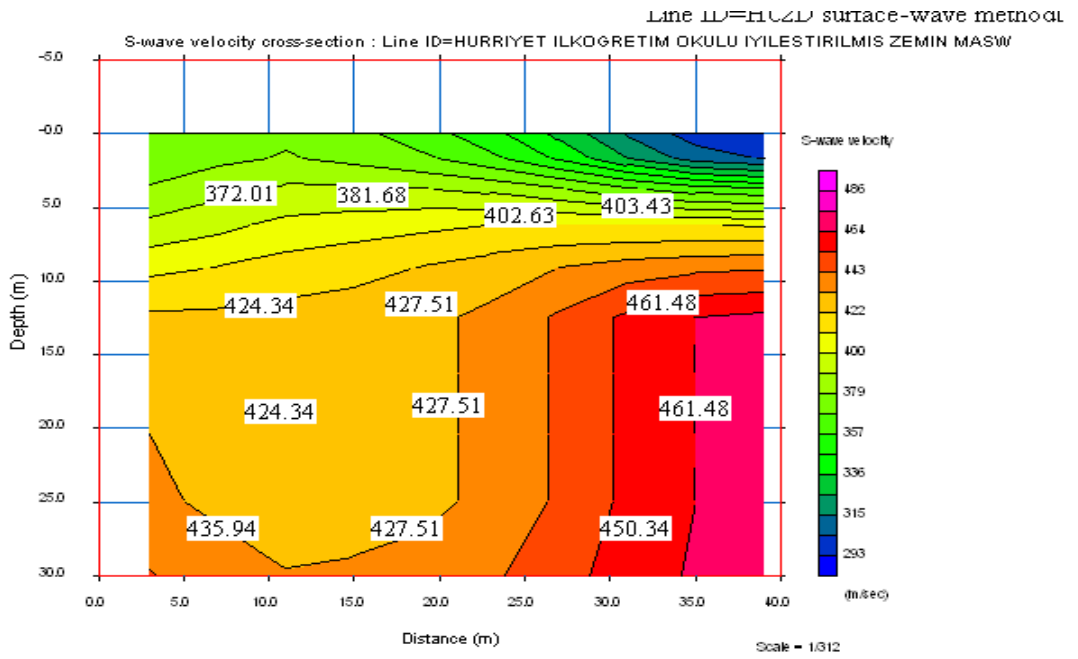
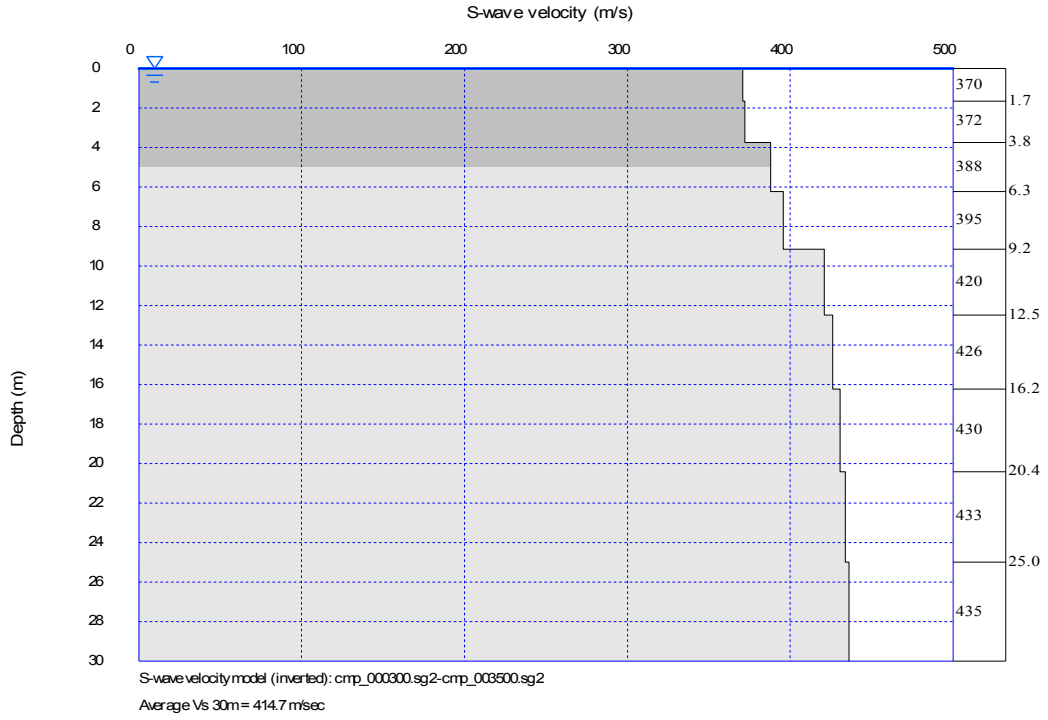
Şekil B.7 Cumhuriyet Lisesi iyileştirilmiş zemin MASW profilleri



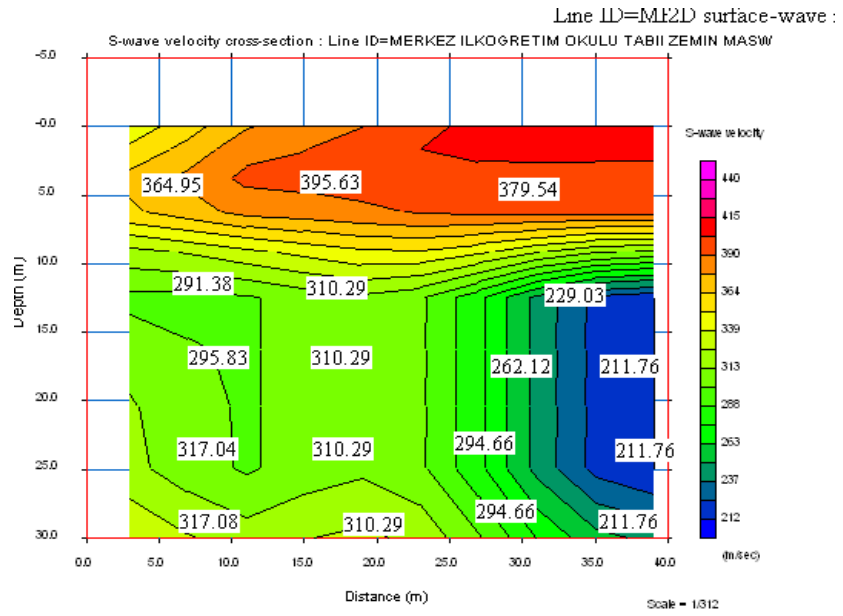
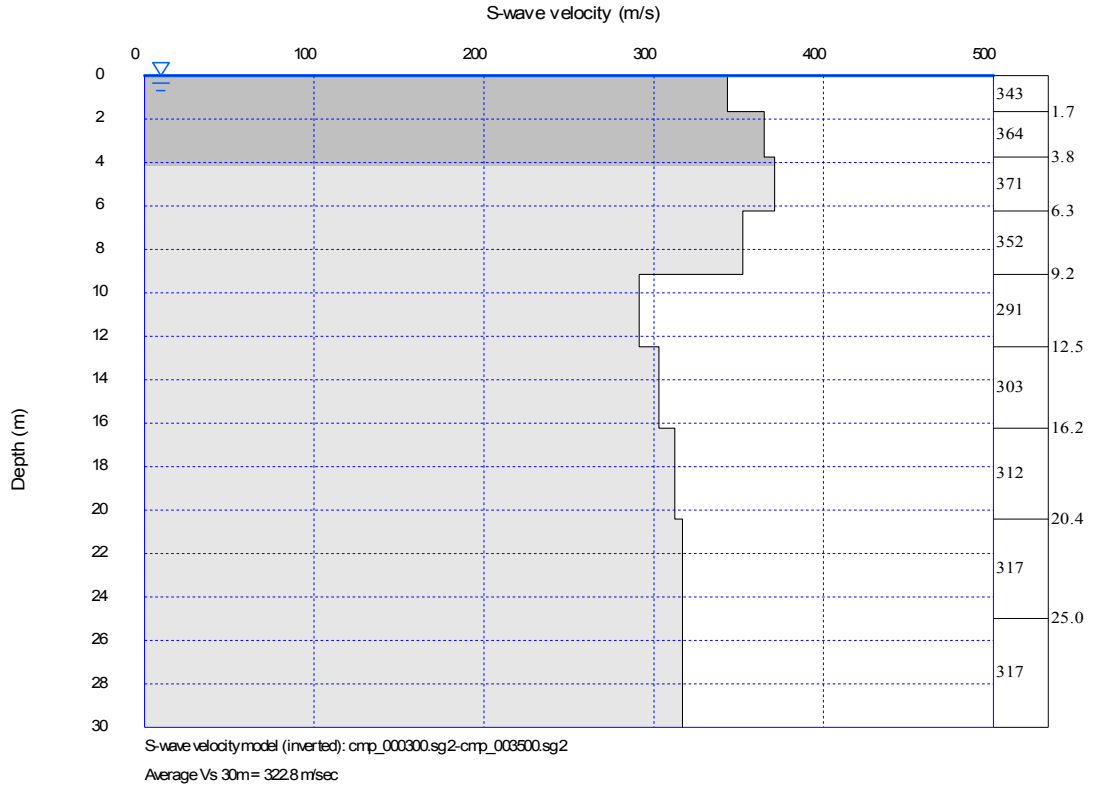
Şekil B.8 : Cumhuriyet Lisesi doğal zemin MASW profilleri



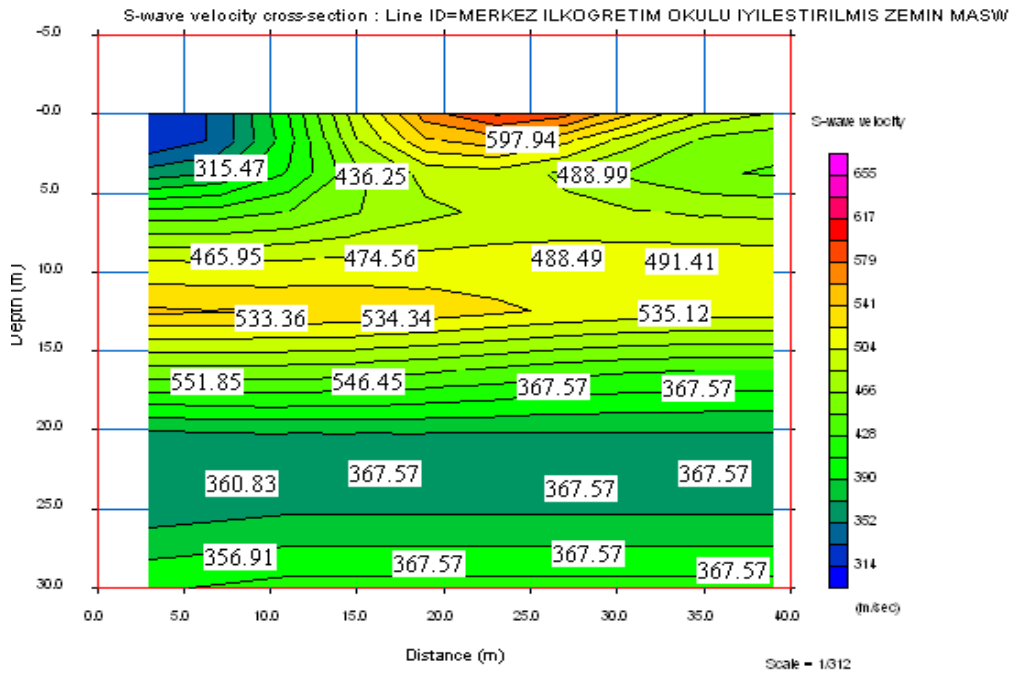
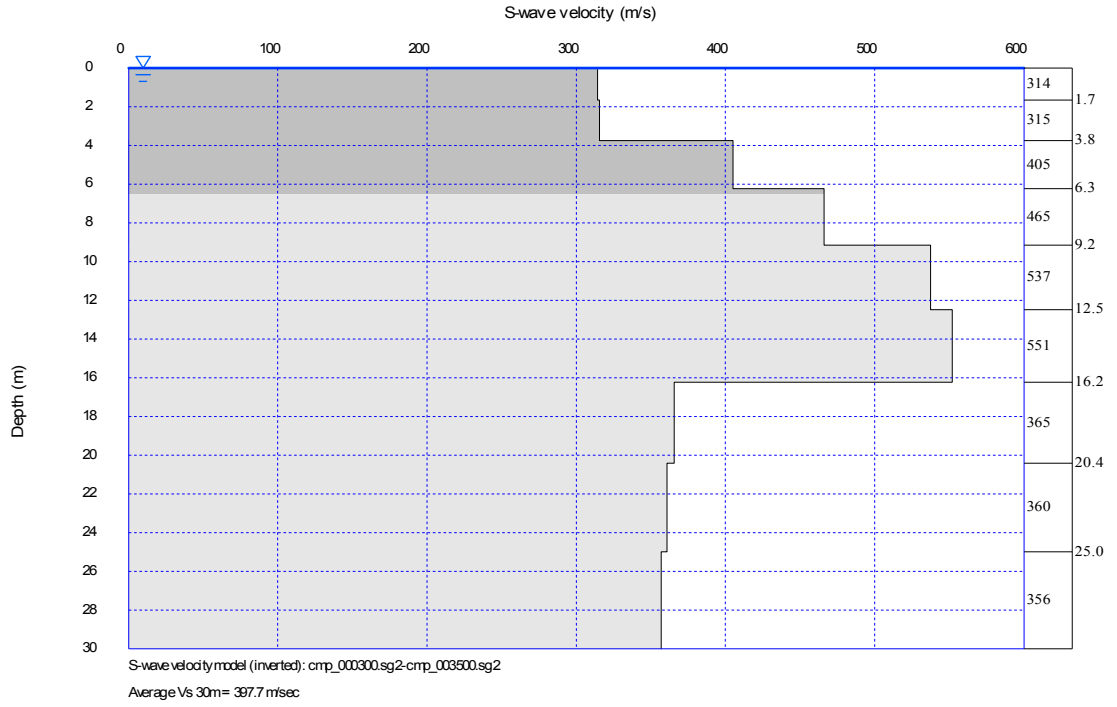
Şekil B.9 : Hürriyet İlköğretim okulu doğal zemin MASW profilleri



Şekil B.10 : Hürriyet ilköğretim okulu iyileştirilmiş zemin MASW profilleri

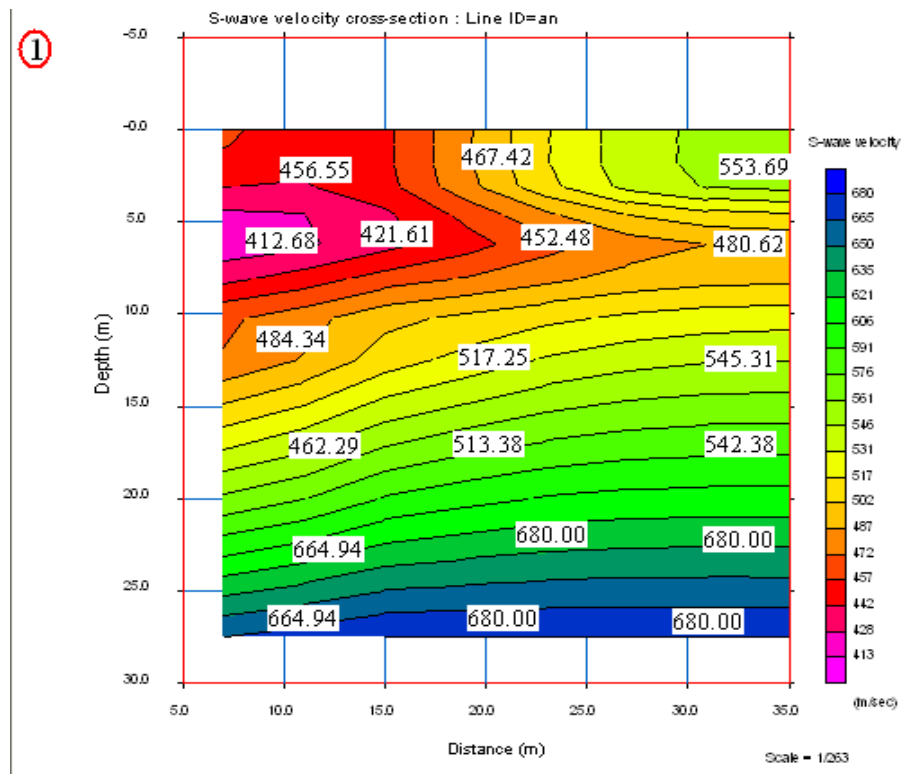
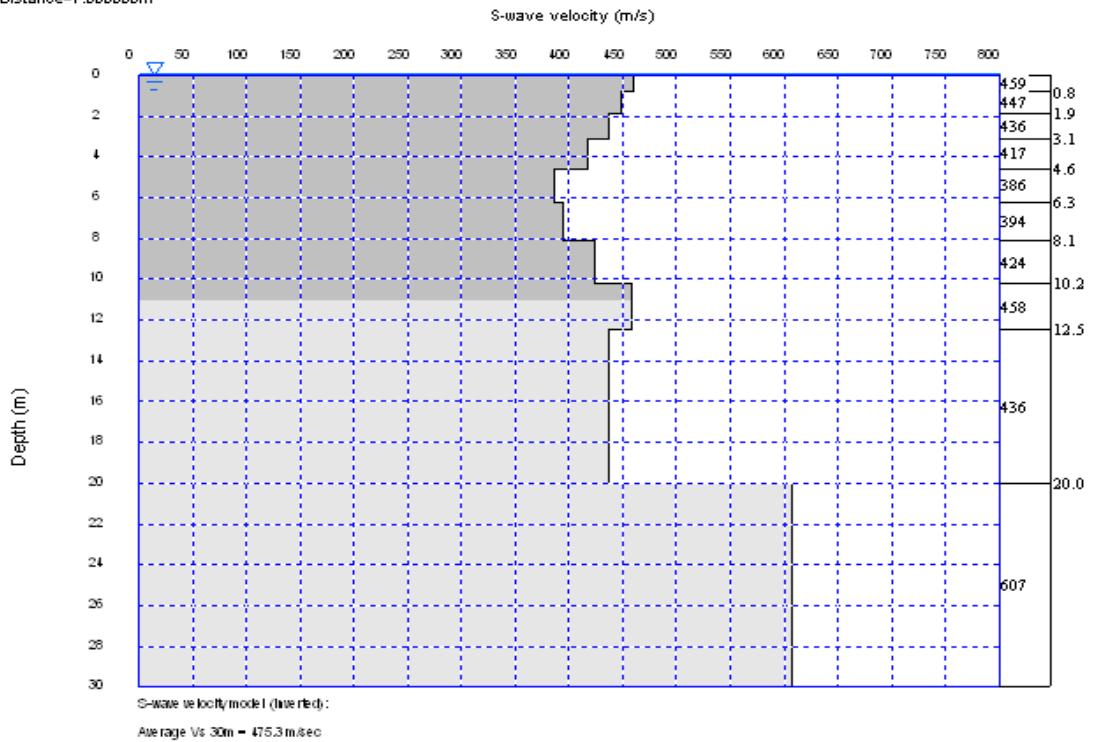


Şekil B.11 : Merkez İlköğretim okulu iyileştirilmiş zemin MASW profilleri



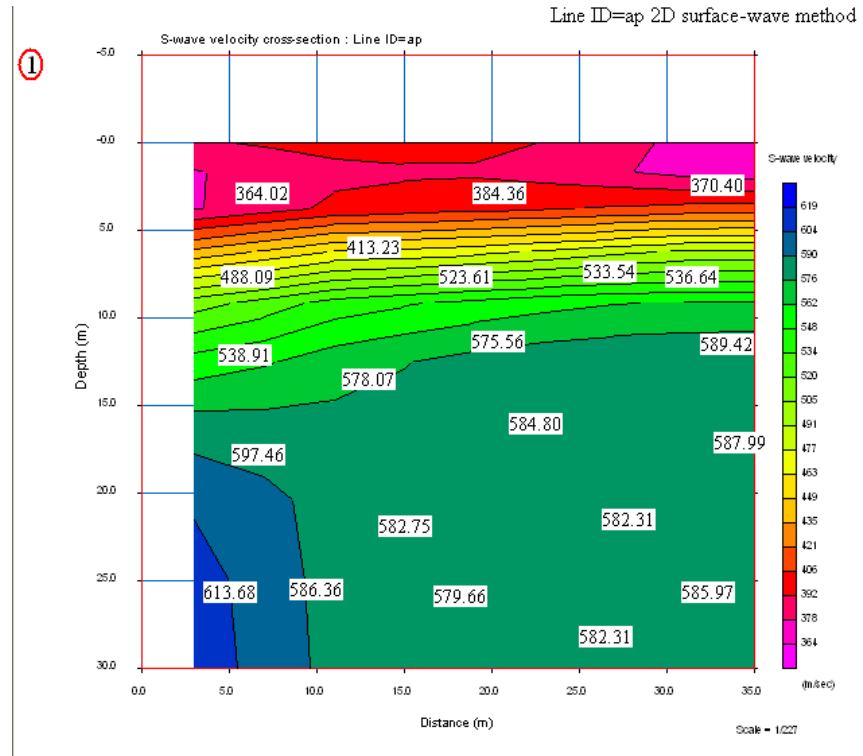
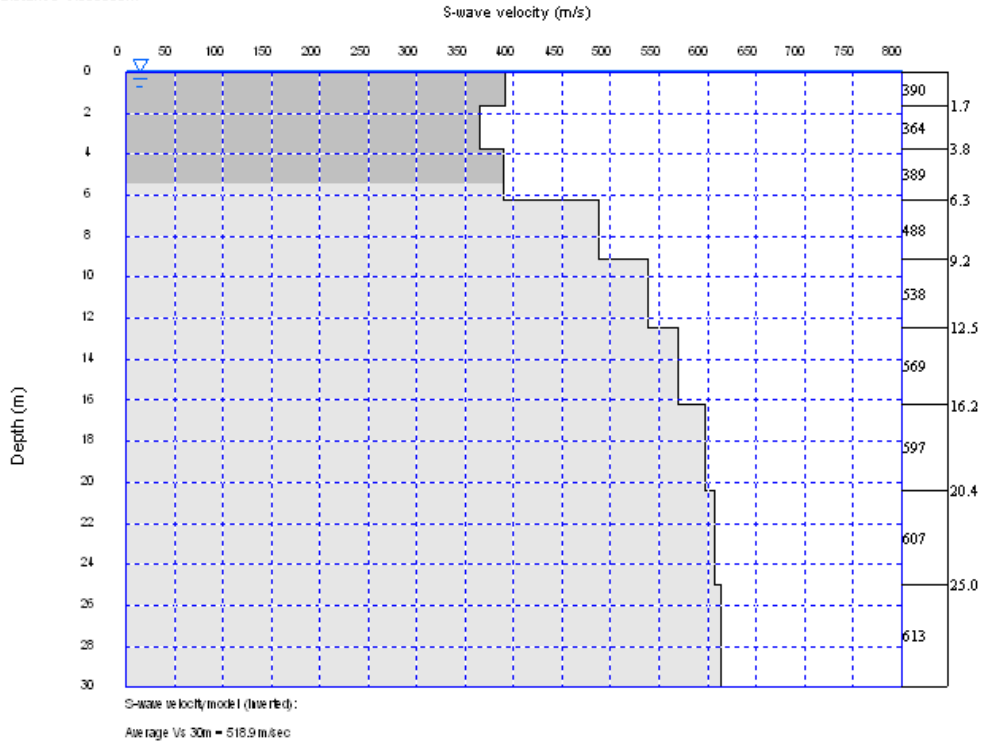
Şekil B.12 : Merkez ilköğretim okulu doğal zemin MASW profilleri

Distance=7.000000m



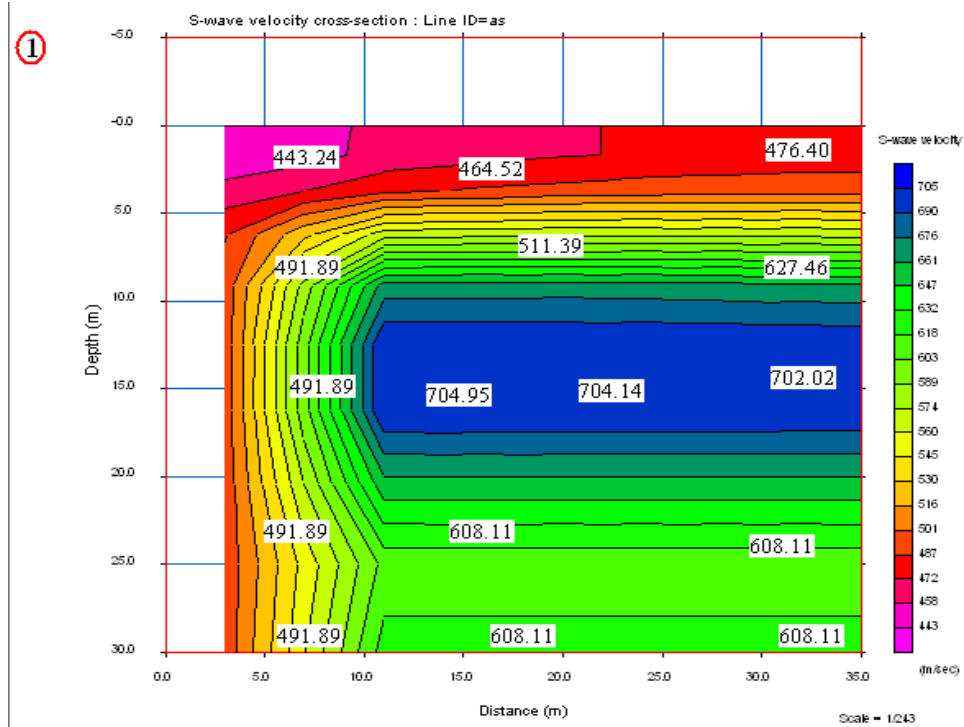
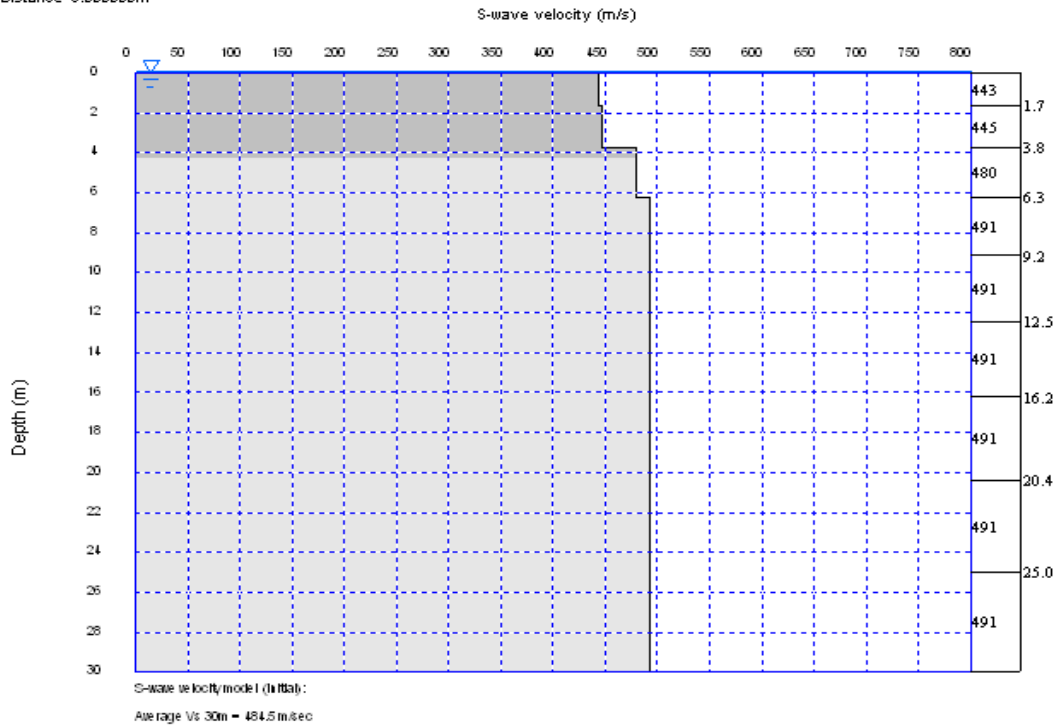
Şekil B.13 Muğla Karabörtlen ilköğretim okulu iyileştirilmiş zemin MASW profilleri

=0 Distance=3.000000m

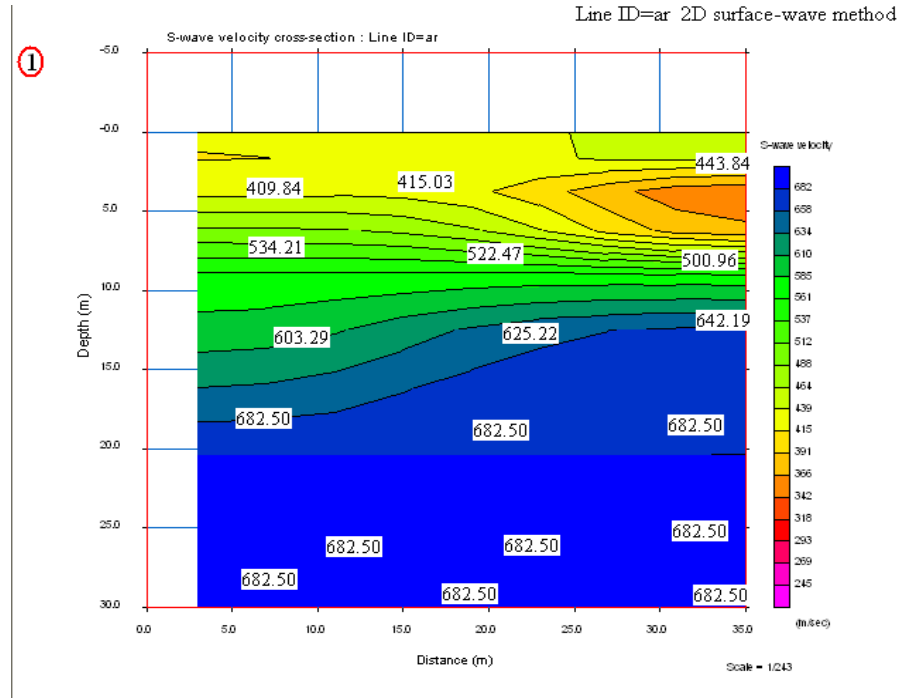
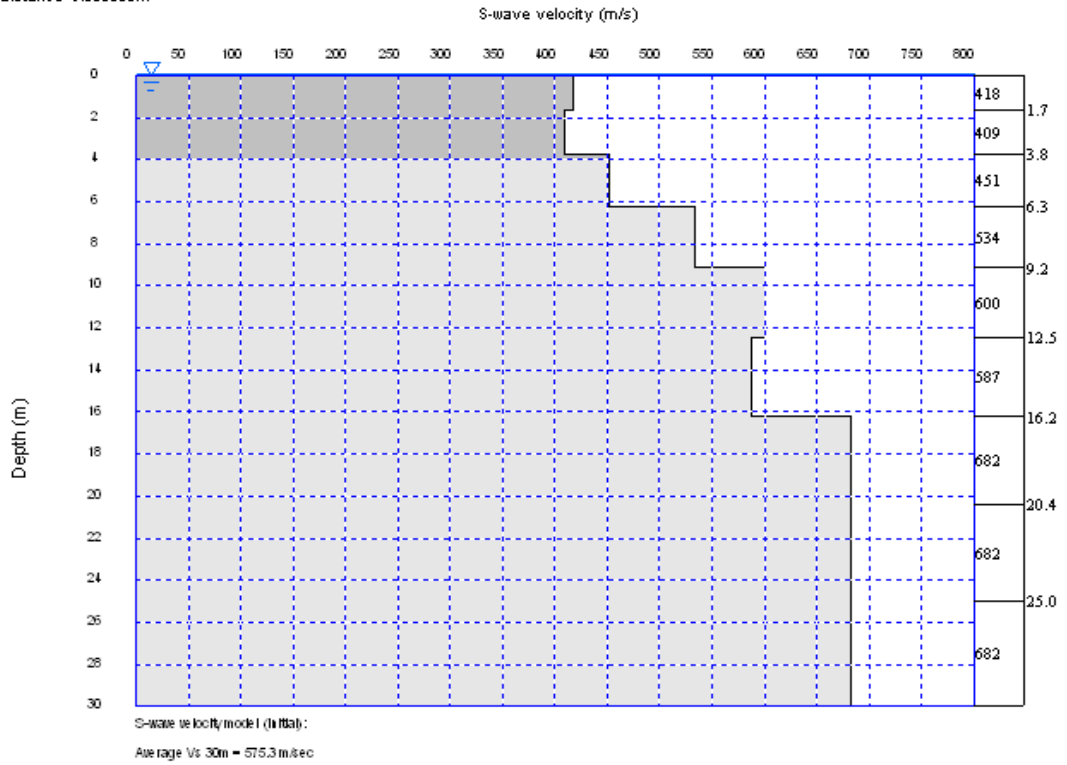


Şekil B.14 : Muğla Karabörtlen ilköğretim okulu doğal zemin MASW profilleri

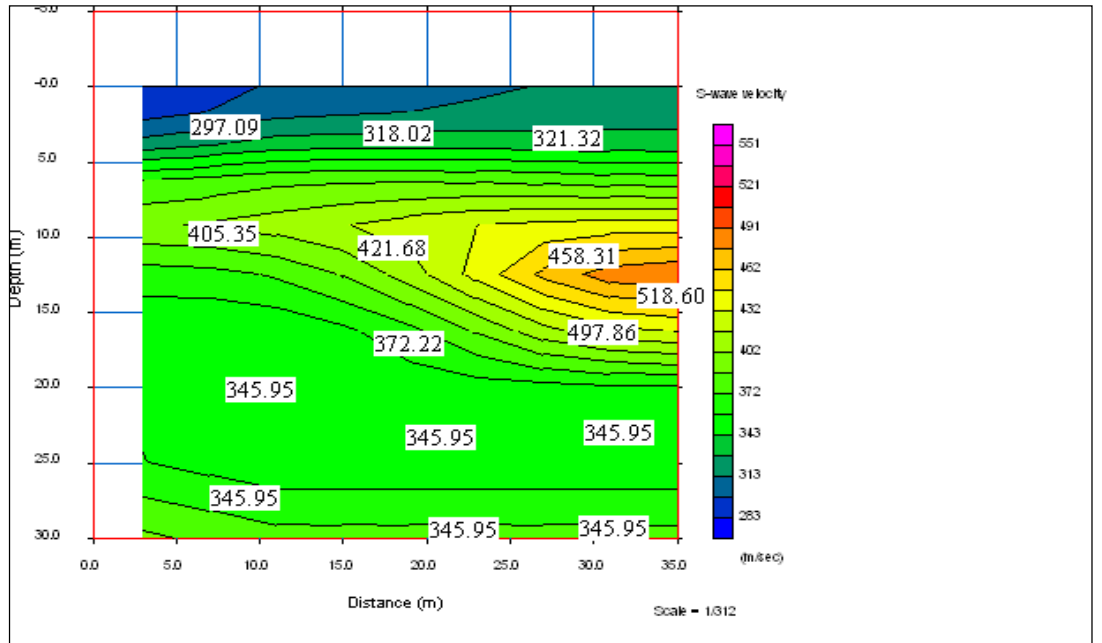
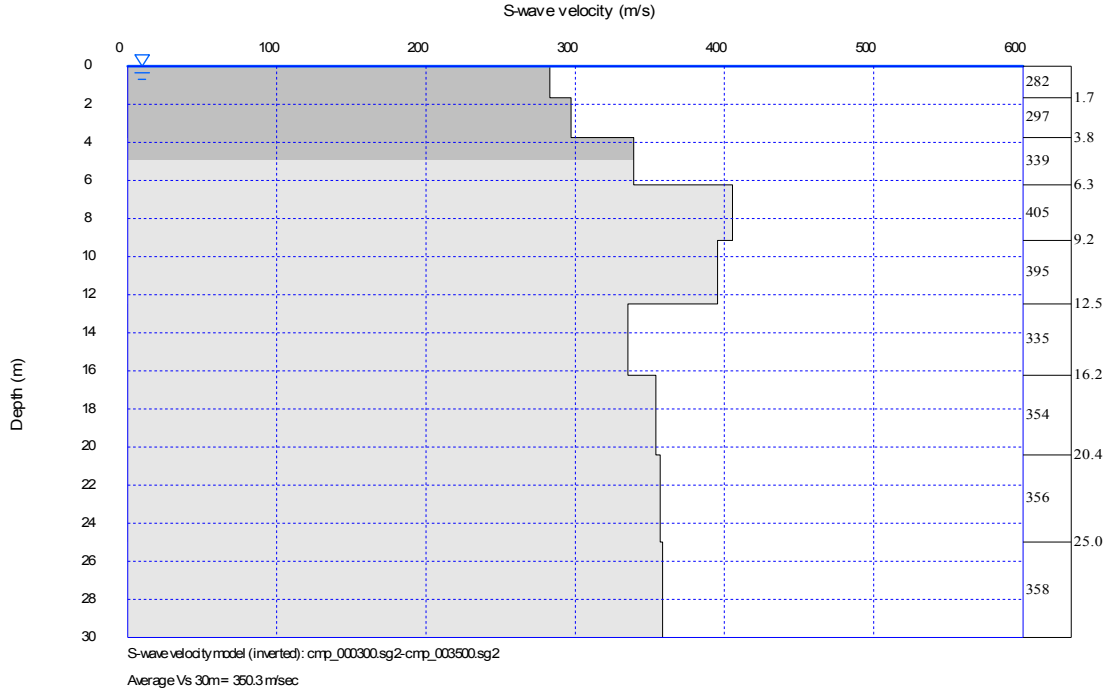
=U Distance=3.000000m



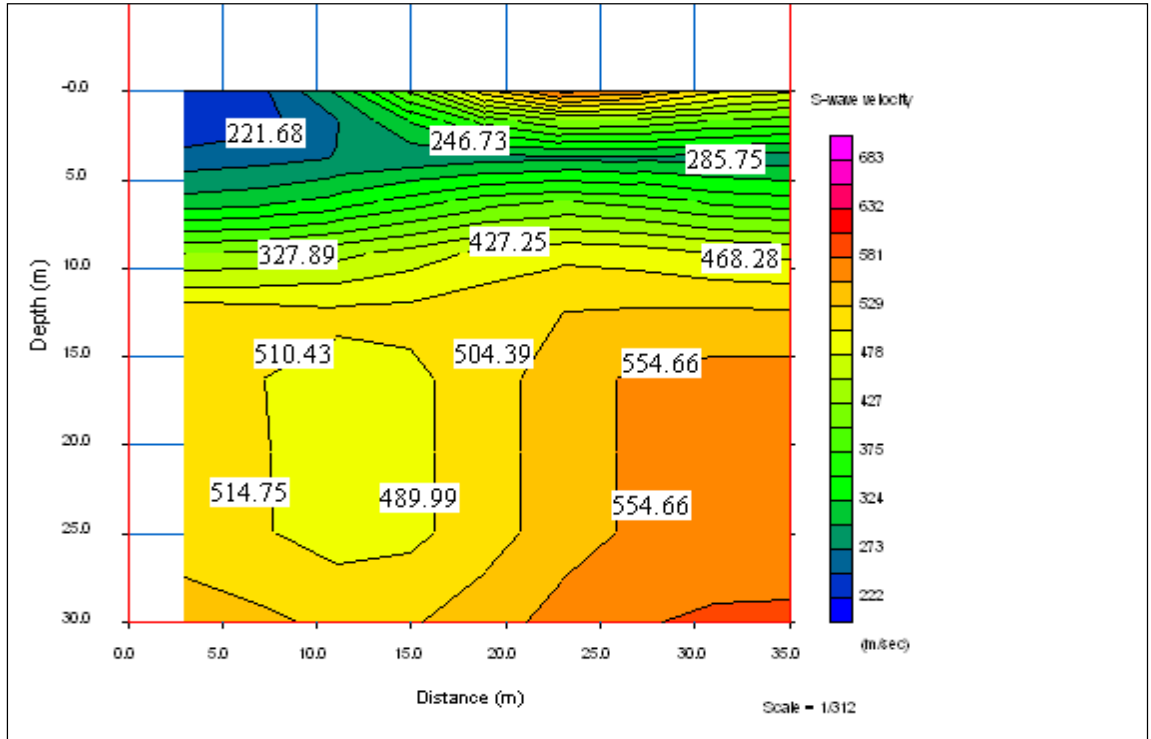
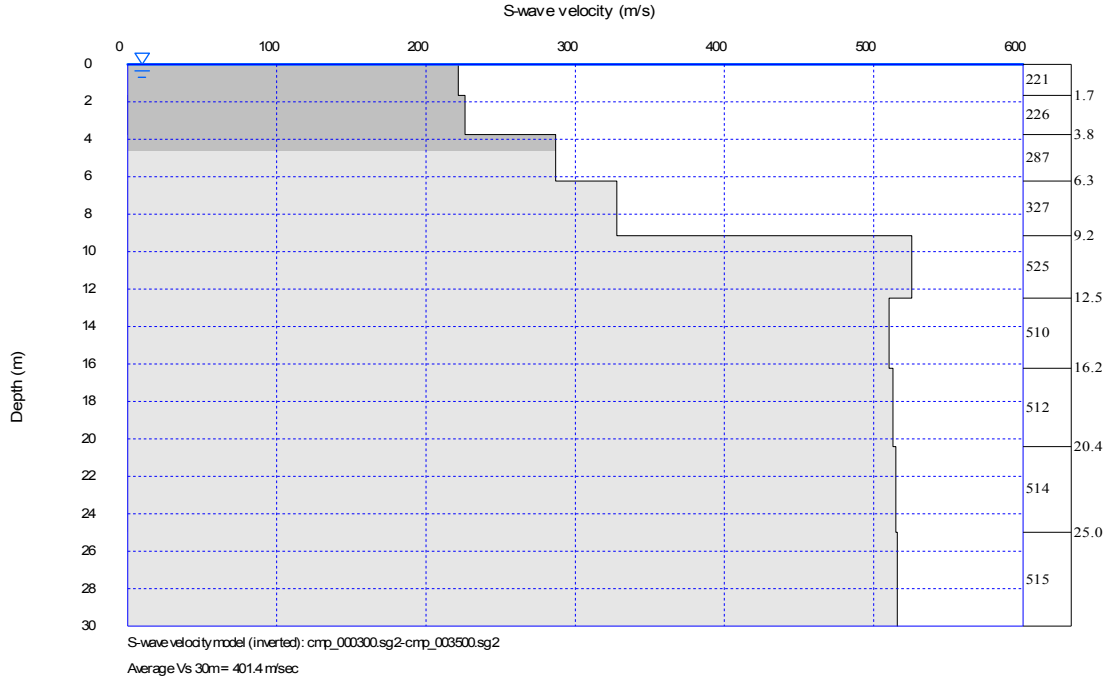
Şekil B.15 : Muğla Ortaca Meslek Yüksek Okulu yurt binası iyileştirilmiş zemin MASW profilleri



Şekil B.16 : Muğla Ortaca Meslek Yüksek okulu yurt binası doğal zemin MASW profilleri



Şekil B.17 : Nuri Erikoğlu ilköğretim okulu iyileştirilmiş zemin MASW profilleri



Şekil B.18 : Nuri Erikoğlu ilköğretim okulu doğal zemin MASW profilleri

VESTİKALK
FOTO

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Tennure KORKMAZ

Doğum Yeri ve Tarihi: Muğla/Milas – 12.01.1987

Adres: İsmet Paşa Mah. Sodra Küme Evleri E-52 No:9 Muğla/Milas

Lisans Üniversite: Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi