

T.C.
GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GYTE ÇAYIROVA KAMPÜSÜ ZEMİNİNİN
EŞDEĞER LİNEER ANALİZ YÖNTEMİ
KULLANILARAK DAVRANIŞ
ANALİZLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

TÜRKER ÇOKAR
YÜKSEK LİSANS TEZİ
DEPREM VE YAPI MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

GEBZE

2012

T.C.
GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GYTE ÇAYIROVA KAMPÜSÜ ZEMİNİNİN
EŞDEĞER LİNEER ANALİZ YÖNTEMİ
KULLANILARAK DAVRANIŞ
ANALİZLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

DANIŞMAN
PROF.DR. BİLGE SİYAHİ

TÜRKER ÇOKAR
YÜKSEK LİSANS TEZİ
DEPREM VE YAPI MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

GEBZE

2012



YÜKSEK LİSANS TEZİ JÜRİ ONAY SAYFASI

G.Y.T.E. Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 15.06.2012 tarih ve 2012/22 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 19.06.2012 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Türker ÇOKAR'ın tez çalışması Deprem ve Yapı Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE (BAŞKAN)

(TEZ DANIŞMANI) :

Prof. Dr. Bilge SİYAHİ

ÜYE

:

Doç. Dr. Bülent AKBAŞ

ÜYE

:

Yrd. Doç Dr. Berna UNUTMAZ

ONAY

G.Y.T.E. Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
...../...../20... tarih ve/..... sayılı kararı.

İMZA/MÜHÜR

ÖZET

TEZİN BAŞLIĞI: GYTE ÇAYIROVA KAMPÜSÜ ZEMİNİNİN EŞDEĞER LİNEER ANALİZ YÖNTEMİ KULLANILARAK DAVRANIŞ ANALİZLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

YAZAR ADI: TÜRKER ÇOKAR

Depremler esnasında zemin davranışının analizi çok önemlidir. Zeminlerin yerleşimleri, kombinasyonları, tabakalanma durumları gibi birçok etken deprem yer hareketi özelliklerini değiştirebilir. Bu değişimin ne kadar olduğu ve hangi parametrelerden ne ölçüde etkilendiği bu çalışmanın temelini oluşturmuştur. Bu çalışma kapsamında Eşdeğer Lineer Analiz yöntemi detaylı olarak incelenmiş, bir boyutlu zemin tepki analizleri için bu yöntemi kullanan SHAKE2000 yazılımı kullanılmıştır. İdealize zemin profilini oluşturmak için GYTE Malzeme Bilimi ve Mühendisliği'nin yeni binasının inşaatı için yapılan sondaj sonuçları ve zemin etüt raporu kullanılmış; ilk 15 m. sondaj sonuçlarından alınmış olup; 55 m. derinliğe kadar zemin kesiti tahmini olarak belirlenmiştir.

Belirlenen zemin kesitine, SHAKE2000 programı kullanılarak çeşitli deprem hareketleri uygulanmış ve yüzeydeki zemin davranışları belirlenmiştir. Aynı deprem kaydının anakayadaki ve yüzeydeki ivmeleri karşılaştırılmış ve sonuçlar grafiklerle sunulmuştur. Bu işlemler sonucunda, Çayırova Kampüsü zeminin deprem hareketlerinden nasıl etkilendiği ayrıntılı olarak tartışılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre elimizdeki mevcut zemin profili deprem etkisini yüzeyde yaklaşık üç kat amplifiye etmiştir.

SUMMARY

THESIS TOPİC: THE ESTIMATION OF SITE RESPONSE ANALYSIS OF G.I.T. ÇAYIROVA CAMPUS SOIL BY USING EQUIVALENT LINEAR ANALYSIS METHOD

AUTHOR NAME: TÜRKER ÇOKAR

The analysis of site response during earthquakes is very important. The layouts, combinations, bedding states of the soil may change the earthquake ground motion characteristics. The amount of this change and how much each parameter affects it constitutes the basis of this study. In the scope of this study, Equivalent Linear Analysis method is elaborately examined; SHAKE2000 is utilized for one dimensional site response analyses which uses the equivalent linear method in its computations. The SPT and laboratory test results obtained for G.I.T Material Science and Engineering's new building's construction is used for the first 15 m. while the lower 55 m. part is determined approximately.

Various earthquake motions are applied to the designated soil profile in SHAKE2000 and the responses of this site after these cyclic loadings are determined. The acceleration of the same earthquake record on the bedrock and the surface are compared and explained with charts. As a result of these studies, it is tried to be predicted how the GIT Çayırova Campus soil profile affects the earthquake motion. The results indicate that the existing soil profile amplifies the earthquake record approximately three times.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma hazırlanırken, yardımlarını ve desteğini esirgemeyen, yol gösteren, tez danışmanım Deprem ve Yapı Mühendisliği Bölüm Başkanı Sn. Prof. Dr. Bilge SİYAHİ'ye,

Tezin başından sonuna ilgisini eksik etmeyen, bilgi birikimini benimle paylaşarak yönlendiren Kocaeli Üniversitesi öğretim üyesi, Yrd. Doç. Dr. Berna UNUTMAZ'a,

Katkılarından ve desteklerinden ötürü Pendik Belediyesi, İmar ve Şehircilik Müdürü Tarık KURU'ya; İmar ve Şehircilik Müdürlüğü Birim Sorumlusu Hayrettin YEŞİLYURT'a,

Her zaman yanımda olan, beni destekleyen, yönlendiren, ilgilenen ve yardımcı olan sevgili aileme,

İçten teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	iv
SUMMARY	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
TABLolar DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ	1
2. DALGA YAYILMASI	2
2.1 Sınırsız Ortamdaki Dalgalar	2
2.1.1 Bir Boyutlu Dalga Yayılması	2
2.1.2 Sonsuz Uzun Bir Çubuktaki Boyuna Dalgalar	2
2.2 Yarı Sonsuz Ortamdaki Dalgalar	4
2.2.1 Rayleigh Dalgaları	4
2.2.1.1 Rayleigh Dalga Hızı	6
2.2.2 Love Dalgaları	7
2.2.3 Yüksek Modlu Yüzey Dalgaları	9
2.3 Gerilme Dalgalarının Sönümlenmesi	9
2.3.1 Materyal Sönümlenmesi	9
3. ZEMİN DAVRANIŞ ANALİZİ	13
3.1 Bir Boyutlu Zemin Davranış Analizi	13
3.1.1 Doğrusal Yaklaşım	14
3.1.2 Doğrusal Olmayan Yaklaşım	14
3.1.3 Eşdeğer Doğrusal Yaklaşım	15
3.1.4 Bir Boyutlu Modeller İçin Zemin Büyütmesine	
Etki Eden Parametrelerin İncelenmesi	16
3.1.4.1 Teorik Zemin Transfer(Büyütme) Fonksiyonları	19
3.1.4.2 Zemin Tabakası S-Dalga Hızının Etkisi	20
3.1.4.3 Geliş Açısının Etkisi	21
3.2 SHAKE2000	22

4. GEBZE-ÇAYIROVA ALÜVYON ZEMİNİNİN EŞDEĞER LİNEER ANALİZ YÖNTEMİ KULLANILARAK DAVRANIŞ ANALİZLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ	25
4.1 GYTE Çayırova Kampüsünün Zemin Özellikleri	25
4.1.1 Silüriyen Dönemi	26
4.2 Sondaj Sonuçları ve Laboratuvar Deneylerinden Elde Edilen Zemin Özellikleri	30
4.3 SHAKE2000'in Kullanılışı ve Menüleri	34
5. SHAKE2000 PROGRAMI KULLANILARAK YAPILAN UYGULAMALAR	39
5.1 Örnekleme İçin Seçilen Depremler	39
5.2 Uygulamalar	39
6. SONUÇLAR	51
KAYNAKLAR	53
ÖZGEÇMİŞ	55

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

g	:	Yer çekimi ivmesi
ν	:	Poisson oranı
G	:	Dinamik kesme modülü
E	:	Elastisite modülü
ρ	:	Yoğunluk
f	:	Frekans
ω	:	Açısal frekans
e	:	Boşluk oranı
v_p	:	Dalga yayılma hızı, m/s
V_s	:	S dalga hızı, m/s
R	:	Rayleigh Dalgası
L	:	Love Dalgası
T	:	Periyod
ξ	:	Sönüm oranı
FFT	:	Fast Fourier Transform
z	:	Sismik empedans
α	:	Sismik empedans oranı
τ	:	Kayma gerilmesi
CL	:	Düşük plastisiteli kil
GYTE	:	Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü
c	:	Kohezyon
G_{max}	:	Maksimum kesme modülü
γ	:	Birim hacim ağırlık
ϕ	:	Kayma mukavemeti açısı

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1 : Bir boyutlu dalga yayılması için sıkıştırılmış, sonsuz çubuk	3
2.2 : Uzunluğu dx ve enine kesit alanı A olan elemanın uçlarındaki gerilmeler ve yer değiştirmeler	3
2.3 : Rayleigh dalgasının 3 boyutlu gösterimi	5
2.4 : Rayleigh dalgası ve cisim dalgası yayılma hızlarının Poisson oranı ile değişimi.	7
2.5 : Love dalgasının 3 boyutlu gösterimi	8
2.6 : Love dalgalarının oluşumu	8
3.1 : İki boyutlu zemin davranış analizlerinin kullanıldığı pratik durum	15
3.2 : Tek tabaka durumunda S-dalga yansımalarının gösterimi solda ve düşey yayılan SH dalgası için rezonans durumu sağda verilmektedir.	18
3.3 : Farklı kalınlıklara (H) sahip zemin tabakası için hesaplanan büyütme fonksiyonları	20
3.4 : Farklı S dalgası hızlarına (Vs) sahip zemin tabakası için hesaplanan büyütme fonksiyonları	21
3.5 : S-dalgası geliş açısına bağlı olarak büyütme fonksiyonlarının değişimi	22
4.1 : GYTE Uydu Görüntüsü	25
4.2 : GYTE Kampüsünün Konumu	26
4.3 : GYTE Çayırova Kampüsünün Jeolojisi	27
4.4 : GYTE Sondaj yapılan yerin krokisi	28
4.5 : Sondaj yerleri	29
4.6 : GYTE Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Bölümü	29
4.7 : GYTE Çayırova Kampüsü için oluşturulan idealize zemin profili(kesiti)	33
4.8 : 4.8 GYTE Çayırova Kampüsü için oluşturulan idealize zemin profili (Shake2000’de gösterimi)	34
4.9 : SHAKE2000 programının ana menüsü	35
4.10 : Programda analiz yaparken girilen seçeneklerin birlikte gösterildiği tablo	35
4.11 : Zemin tabakalarının özelliklerinin girildiği bölüm(Option 1)	36
4.12 : Zemin Profili oluşturulurken SHAKE2000’e girilen datalar(Option 2)	36
4.13 : Zemin Profili oluşturulurken SHAKE2000’e girilen datalar(Option 2)	37

4.14	: Deprem kaydının seçildiği menü(Option 3)	37
4.15	: İvmelerin hangi katmanlarda (layer) alınacağını belirlediği bölüm (Option 6)	38
4.16	: Kayma gerilmesinin belirleneceği alanlar(Option 7)	38
5.1	: Kobe Earthquake 01/16/95 2046 Kakogawa, 090(CUE)-(Peer Database) deprem kaydının kullanılmasıyla alınan sonuçlar. Maksimum ivmelerin derinlikle değişimi.	40
5.2	: Seçilen depremlerin en büyük ivmelerinin derinlikle değişimi	41
5.3	: Yerba Buena kaydının ivmesinin yüzey ve anakayada karşılaştırması	42
5.4	: Erzincan kaydının ivmesinin yüzey, anakaya ve 15 m. derinlikte karşılaştırması	43
5.5	: N.Palm Springs kaydının ivmesinin yüzey, anakaya ve 15 m. derinlikte karşılaştırması	44
5.6	: Northridge kaydının ivmesinin yüzey, anakaya ve 15 m. derinlikte karşılaştırması	44
5.7	: Loma Prieta deprem kaydının ivmesinin yüzey, anakaya ve 15 m. derinlikte karşılaştırması	45
5.8	: Kobe-2 kaydının ivmesinin yüzey, anakaya ve 15 m. derinlikte karşılaştırması	46
5.9	: Loma Prieta-2 kaydının ivmesinin yüzey, anakaya ve 15 m. derinlikte karşılaştırması	47
5.10	: Northridge-2 kaydının ivmesinin yüzey, anakaya ve 15 m. derinlikte karşılaştırması	48
5.11	: Kocaeli kaydının ivmesinin yüzey ve anakayada karşılaştırması	49
5.12	: Düzce Deprem kaydının ivmesinin yüzey ve anakayada karşılaştırması	49

TABLOLAR DİZİNİ

<u>Tablo</u>	<u>Sayfa</u>
4.1 : Sondaj Logu (2 Nolu Sondaja ait)	30
4.2 : Sondaj Logu (4 Nolu Sondaja ait)	31
4.3 : Geoteknik Rapor	32
4.4 : Zemin profili oluştururken kullanılan zeminlerin özellikleri(Shake2000)	33
5.1 : Kullanılan Deprem kayıtları	39
5.2 : Kobe Earthquake 01/16/95 2046 Kakogawa, 090(CUE)-(Peer Database) deprem kaydının kullanılmasıyla alınan sonuçlar.(Shake2000)	40
5.3 : Seçilen Depremlerin en büyük ivmelerinin derinlikle değişimi	41
5.4 : Deprem büyütmelemlerinin karşılaştırılması	50

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Depremler sırasında zemin davranış analizi çok önemlidir. Çünkü zeminlerin yerleşimleri, kombinasyonları ve tabakalanma durumları deprem yer hareketinin özelliklerini değiştirirler. Bu değişimin ne kadar olduğu ve hangi parametrelerden ne kadar etkilendiğinin açıklanması bu çalışmanın temel amacını oluşturdu. Bu çalışma için GYTE Gebze-Çayırova kampüsünün üzerine yerleştiği alüvyon dolgu zemin profili çeşitli sondaj sonuçlarından elde edilerek; değişik deprem yer hareketleri için zemin davranışının nasıl değişebildiği parametrik olarak araştırıldı.

Tez çalışması esnasında zemin davranış analizi yöntemleri (eşdeğer lineer, non-lineer yöntemler) incelendi. Bu yöntemlerden eşdeğer lineer analiz yöntemi detaylı olarak incelendi ve SHAKE2000 bilgisayar programı çalışıldı, genel olarak teorisi ve işlevleri anlatıldı. Çalışmanın yapıldığı bölgenin jeolojik ve yerel zemin koşulları araştırıldı ve detaylı zemin modelleri oluşturuldu. Elde edilen model ile bölgeye uygun deprem yer hareketleri seçilerek, zemin davranış analizi; eşdeğer lineer analiz yöntemi kullanılarak yapıldı.

Zemin davranış analizinin deprem yer hareketi ve zeminin genel performansına olan etkileri yanısıra sismik davranış yönü de önemlidir. Belli zemin koşullarının ve değişik deprem hareketlerinin etkisi altında Zemin Davranış Analizi sonuçlarının nasıl etkilendiğinin araştırılması çok çalışılan bir konu değildir. Tezin amacı literatürdeki eksiklikleri görülen bu konuya ışık tutmaktır.

BÖLÜM 2. DALGA YAYILMASI

2.1 Sınırsız Ortamdaki Dalgalar

Gerilme dalgalarının yayılmasını anlamanın en kolay yolu, ilk iş olarak sınırsız veya “sonsuz” bir ortamın göz önüne alınmasıdır. Sınırsız ortamın bir boyutlu ve kolay bir modellemesi, sonsuz uzanımlı bir çubuk veya bir bar ile yapılabilir. Kuvvetler dengesinin temel şartları ve yer değiştirme uyumluluğu ilkesi ile, birim deformasyon-yer değiştirme ve gerilme-birim deformasyon ilişkilerini kullanarak, bir boyutlu dalga denklemi türetmek ve çözmek mümkündür. Bu işlemi, aynı şartları ve bağıntıları kullanmak suretiyle, üç ortogonal yönde sonsuz uzanıma sahip bir ortamda daha genel anlamdaki dalga yayılma durumu için tekrarlamak mümkündür.

2.1.1 Bir Boyutlu Dalga Yayılması

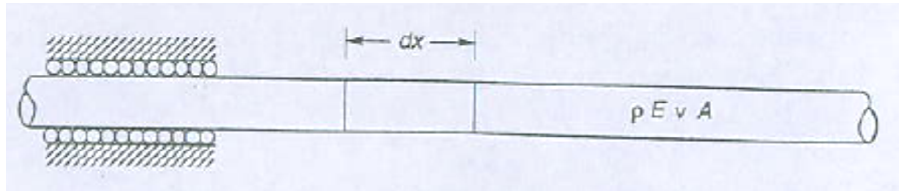
İnce bir çubukta üç çeşit titreşim oluşabilir: çubuk ekseninin yanal yer değiştirme olmadan uzayıp kısalması esnasındaki boyuna titreşim; çubuğun kendi eksenini etrafında yanal yer değiştirme olmadan döndüğü durumdaki burulma titreşimi ve son olarak da eksenin kendisinin yanal yönde hareket ettiği durumdaki bükülme titreşimi. Bükülme titreşiminin zemin dinamiğinde fazla bir uygulama alanı yoktur. Diğer iki durum için ise, kullanışlı dalga denklemlerini türetmek ve çözmek oldukça kolaydır.

2.1.2 Sonsuz Uzun Bir Çubuktaki Boyuna Dalgalar

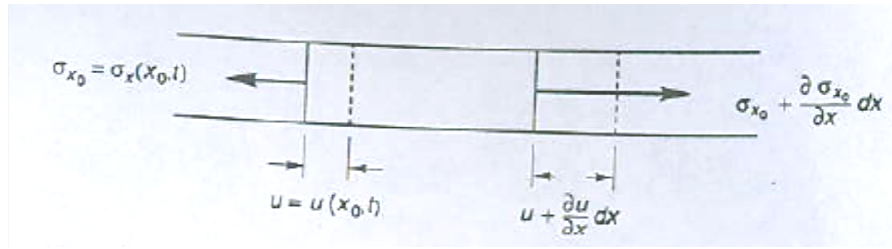
Şekil 2.1’de görülen sonsuz uzanımlı, doğrusal elastik ve taralı alan ile tutulmuş bir çubuğu göz önüne alalım. Çubuğun kesit alanı A , elastisite modülü E , Poisson oranı ν , ve yoğunluğu da ρ ’dur. Çubuğun ışınsal birim deformasyona karşı kısıtlanmış olması halinde, boyuna bir dalga için neden olacağı partikül yer değiştirmesinin yönü, çubuk eksenine paralel olacaktır. Enine kesit düzlemlerinin düzlemsel kalacağı ve gerilme dağılımının her bir enine kesitte üniform dağıldığı varsayılmaktadır. Bu gerilme dalgasının çubukta ilerlemesi ve Şekil 2.2’de gösterilen

küçük elemanlardan geçişi sırasında, elemanın sol ucundaki ($x=x_0$) eksenel gerilme σ_{x_0} dir. Sağ uçtaki ($x=x_0+dx$) eksenel gerilme de $\sigma_{x_0} + (\partial\sigma_x/\partial x)dx$ 'dir. O halde, elemanın dinamik dengesi için,

$$\left(\sigma_{x_0} + \frac{\partial\sigma_x}{\partial x} dx\right) A - \sigma_{x_0} A = \rho A dx \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} \quad (2.1)$$



Şekil 2.1 Bir boyutlu dalga yayılması için sıkıştırılmış, sonsuz çubuk. (Işınsal birim deformasyona karşı kısıtlamalar bilyelerle temsil edilmiştir.)



Şekil 2.2 Uzunluğu dx ve enine kesit alanı A olan elemanın uçlarındaki gerilmeler ve yer değiştirmeler.

olmalıdır. Bağıntıda, u : x yönündeki yer değiştirmedir. Bu eşitlik, elemanın üzerine etkiyen dengelenmemiş dış kuvvetlerin[(2.1) eşitliğinin sol tarafı], elemanın kütle ivmesinin(sağ taraf) neden olduğu atalet kuvvetine eşit olması gerektiğini ifade eder. Sadeleştirme yapıldıktan sonra bir boyutlu hareket denklemi elde edilir:

$$\frac{\partial\sigma_x}{\partial x} = \rho \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} \quad (2.2)$$

Bu şekilde verilen hareket denklemi, her türlü gerilme-birim deformasyon davranışı için geçerlidir fakat, gerilmeler[(2.2)eşitliğinin sol tarafı] ile yer değiştirmelerin (sağ taraf) karışımından ibaret olduğundan dolayı, doğrudan çözümü yoktur. Hareket denklemi, sol tarafı gerilme-birim deformasyon ilişkisi, $\sigma_x = M \varepsilon_x$ kullanılarak yerdeğiştirme cinsinden ifade edilmek suretiyle sadeleştirilebilir. Burada

sıkışma modülü $M = \{(1-\nu)/[(1+\nu)(1-2\nu)]\}E$ ve birim deformasyon-yer değiştirme bağıntısı $\varepsilon_x = \partial u / \partial x$ 'dir. Hareket denklemi bu ifadelerin de yardımıyla, sıkıştırılmış çubuğun bir boyutlu denklemi olan ve iyi bilinen **boyuna dalga denklemi** cinsinden ifade edilebilir:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = \frac{M}{\rho} \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \quad (2.3)$$

Bir boyutlu dalga denklemini başka şekilde yazmak da mümkündür:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = v_p^2 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \quad (2.4)$$

Burada v_p : dalga yayılma hızıdır; bu durumda dalga $v_p = \sqrt{m/\rho}$ hızıyla yayılmaktadır. Dalga yayılma hızının sadece çubuk malzemesinin özelliklerine (rijitliğine ve yoğunluğuna) bağlı olduğuna ve gerilme dalgasının genliğinden bağımsız olduğu buradan anlaşılmaktadır. Dalga yayılma hızı, rijitlik artışıyla beraber artmakta, fakat artan yoğunluk ile birlikte azalmaktadır. Dalga yayılma hızı, zemin dinamiği ve geoteknik deprem mühendisliğinde çok kullanılan, son derece önemli bir özelliktir.

2.2 Yarı Sonsuz Ortamdaki Dalgalar

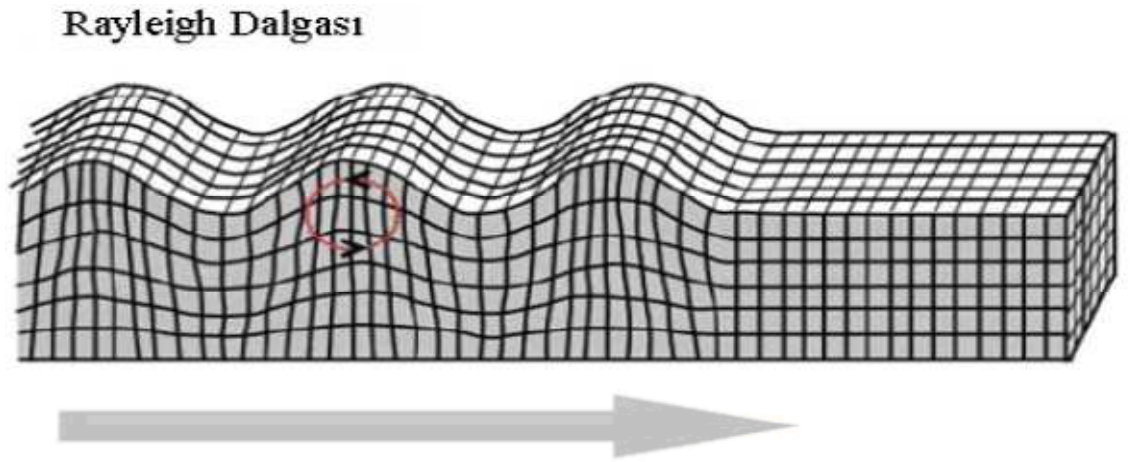
Yerkürenin sonsuz bir ortam olmadığı bilinen bir gerçektir. Dış yüzeyinde gerilmelerin oluşmadığı çok büyük bir küredir. Deprem mühendisliğinin yüzeye yakın problemlerinde yerküre çoğu zaman düzlemsel bir serbest yüzeyle birlikte yarı sonsuz bir ortam olarak modellenmektedir. Serbest yüzeyle ilgili sınır koşulları, hareket denklemlerine ilave çözümler elde etmeye imkân verir. Bu çözümler, hareketi serbest yüzeye yakın sığ bir alanda yoğunlaşmış dalgaları; yani yüzey dalgalarını tanımlamaktadır. Deprem mühendisliğinin ilgi alanı, depremlerin insan ve çevresi üzerindeki etkileri olduğundan ve cisim dalgalarına kıyasla da daha yavaş sönümlendiklerinden, yüzey dalgaları çok önemlidir.

2.2.1 Rayleigh Dalgaları

Homojen elastik yarı sonsuz yüzeyin yakınında bulunan dalgalar ilk olarak Rayleigh(1885) tarafından keşfedilmiş olup bugüne kadar *Rayleigh dalgaları* olarak adlandırılmıştır.

Rayleigh dalgaları tıpkı bir su birikintisinde (deniz) yayılan dalgalar gibi yerin yüzeyi boyunca yuvarlanarak ilerleyen dalgalardır. Bu dalgalar aynı zamanda yer yuvarlanması olarak da bilinir ve R harfi ile gösterilirler.

Rayleigh dalgaları yerkürenin yüzeyi boyunca yayılırken bir çeşit yuvarlanma hareketi yaptıklarından dolayı, geçtikleri ortam içerisinde bulunan tanecikler, yayılma doğrultusu boyunca ters bir elips hareketi çizerler. Taneciklerin yapmış olduğu bu elips hareketi derinlere doğru gittikçe küçülür ve etkisini yitirir. Rayleigh dalgalarının oluşabilmesi için serbest bir yüzey ile sınırlandırılmış yarı sonsuz esnek bir ortamın bulunması gereklidir. Ancak böyle bir ortam içerisinde, serbest yüzeye yakın bir yerde P ve SV dalgalarının girişimi sonucu Rayleigh dalgaları oluşur.



Şekil 2.3 Rayleigh dalgasının 3 boyutlu gösterimi (Bolt,1976).

Özet olarak, Rayleigh dalgaları okyanus üzerinde yuvarlanan dalga gibi yer yüzünde yuvarlanarak ilerlerler ve genliği çok büyüktür. Depremde hissedilen dalganın çoğu Rayleigh dalgasıdır.

Rayleigh dalgalarını tanımlamak için, y yönünde herhangi bir partikül yer değiştirmesi olmayan ($v=0$) ve x yönünde ilerleyen bir düzlem dalgasını göz önüne alalım. Z yönü aşağı doğru pozitif alınır ve partikül hareketlerinin tümü x-z düzleminde gelişir. X ve Z yönlerindeki yer değiştirmeleri ifade edebilmek için iki potansiyel fonksiyon Φ ve Ψ tanımlanır:

$$u = \frac{\partial \Phi}{\partial x} + \frac{\partial \Psi}{\partial z} \quad (2.5)$$

$$w = \frac{\partial \Phi}{\partial z} - \frac{\partial \Psi}{\partial x} \quad (2.6)$$

2.2.1.1 Rayleigh Dalga Hızı

Rayleigh dalgalarının ilerleme hızının geoteknik deprem mühendisliği açısından özel bir önemi vardır. Rayleigh dalgaları çoğu zaman mekanik olarak oluşturulur ve zeminlerin rijitliğini incelemeye bunların arazide ölçülen hızlarından yararlanılır.

$$4q\mu sk_R^2 = (s^2 + k_R^2[(\lambda + 2\mu)q^2 - \lambda k_R^2]) \quad (2.7)$$

q ve s 'nin karşılıklarını yerine koyup, $G^2 k_R^8$ terimini de çarpanlarına ayırmak suretiyle aşağıdaki ifade elde edilir:

$$16 \left(1 - \frac{\omega^2}{v_p^2 k_R^2}\right) \left(1 - \frac{\omega^2}{v_s^2 k_R^2}\right) = \left(2 - \frac{\lambda + 2\mu}{\mu} \frac{\omega^2}{v_p^2 k_R^2}\right)^2 \left(2 - \frac{\omega^2}{v_s^2 k_R^2}\right)^2 \quad (2.8)$$

K_{Rs} 'yi Rayleigh dalga hızının S dalgası hızına oranı olarak;

$$K_{Rs} = \frac{v_R}{v_s} = \frac{\omega}{v_s k_R} \quad (2.9)$$

tanımladıktan sonra,

$$\frac{v_R}{v_p} = \frac{\omega}{v_p k_R} = \frac{\omega}{v_s k_R \sqrt{(\lambda + 2\mu)/\mu}} = \alpha K_{Rs} \quad (2.10)$$

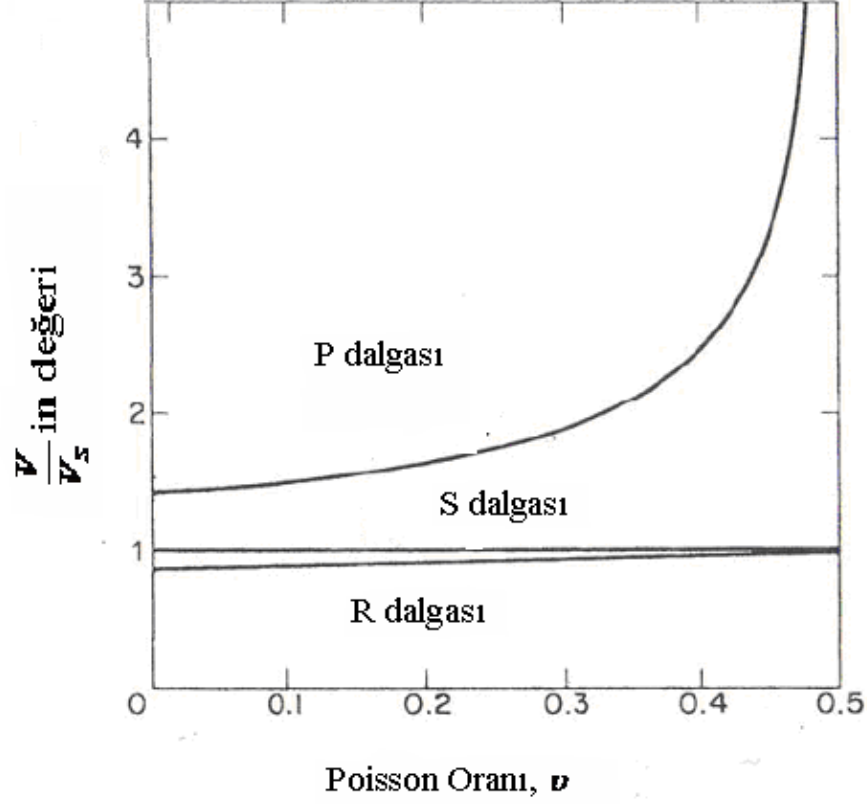
olur. Burada, $\alpha = \sqrt{\mu/(\lambda + 2\mu)} = \sqrt{(1 - 2\nu)/(2 - 2\nu)}$ 'dir. O halde, (2.8) eşitliği aşağıdaki gibi yeniden yazılabilir:

$$16(1 - \alpha^2 K_{Rs}^2)(1 - K_{Rs}^2) = \left(2 - \frac{1}{\alpha^2} \alpha^2 K_{Rs}^2\right)^2 (2 - K_{Rs}^2)^2 \quad (2.11)$$

Bu ifade açılıp, terimleri de düzenlenirse, aşağıdaki bağıntı elde edilir:

$$K_{Rs}^2 - 8K_{Rs}^2 + (24 - 16\alpha^2)K_{Rs}^2 + 16(\alpha^2 - 1) = 0 \quad (2.12)$$

Bu denklem K_{RS}^2 'nin kübik şeklidir ve K_{RS} 'nin gerçek çözümlerini Poisson oranının değişik değerleri ile bulmak mümkündür. Bu çözümler, ν 'nün fonksiyonları olarak Rayleigh dalga hızının P ve S dalga hızlarına oranlarını değerlendirmeye imkan verir.



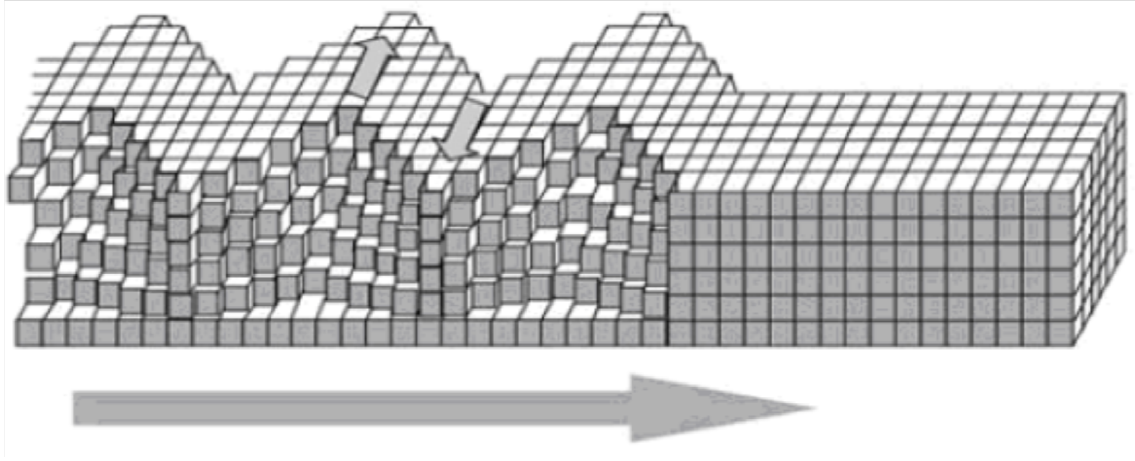
Şekil 2.4 Rayleigh dalgası ve cisim dalgası yayılma hızlarının Poisson oranı ile değişimi.

Şekil (2.4)'de gösterilen çözüm, Rayleigh dalgalarının (0,5 hariç) Poisson oranının tüm değerlerinde S dalgalarından biraz daha düşük hızda ilerlediğini göstermektedir.

2.2.2 Love Dalgaları

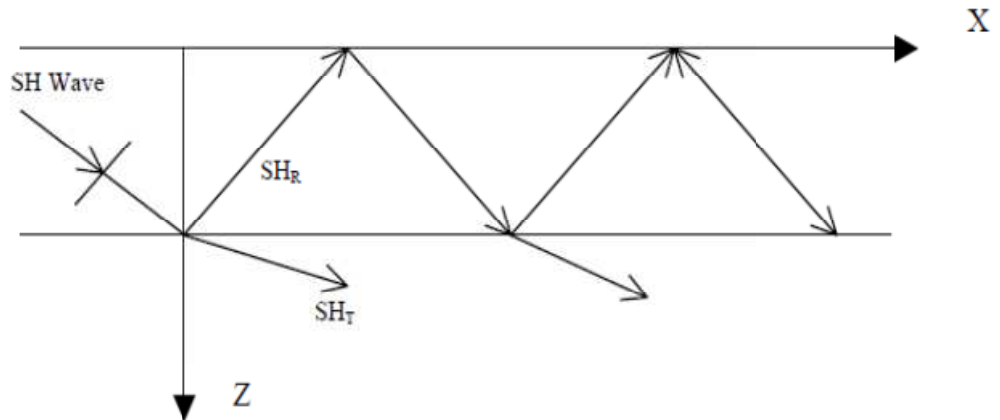
Love dalgaları, Rayleigh dalgalarından daha hızlıdır. Bu yüzden sismogramlarda Rayleigh dalgalarından daha önce görülür ve "L" harfi ile gösterilir. Bu iki dalga arasındaki hız farkı sismogramlar üzerinde gözlenemeyecek kadar küçüktür.

Love dalgalarının oluşabilmesi için elastik, tekdüze ve yarı sonsuz bir yüzey katmanının bulunması gereklidir. Yer kürenin kabuğu bu görevi üstlenmektedir. Love dalgaları, yerin serbest yüzeyi ile kabuğun alt sınırı arasında ardışık yansımalara uğrayan SH dalgalarının yapıcı girişimi sonucu oluşur. Bu nedenle Love dalgalarının geçtiği ortamda tanecikler tamamen yayılma doğrultusuna dik yatay düzlemde yani x-veya y-düzleminde titreşirler. Love dalgaları yer değiştirme alanının enine bileşeninde gözlenirler.



Şekil 2.5 Love dalgasının 3 boyutlu gösterimi (Bolt,1976).

Homojen elastik yarı sonsuz bir ortamda sadece S, P ve Rayleigh dalgaları bulunabilir. Ancak yarı sonsuz ortamın kendinden daha düşük cisim dalgası iletme hızına sahip bir katman ile örtülmesi halinde, Love dalgaları gelişebilir (Love, 1927).



Şekil 2.6 Love dalgalarının oluşumu.

2.2.3 Yüksek Modlu Yüzey Dalgaları

Herhangi bir yüzey dalgası: (1) hareket denklemini sağlamalı, (2) yer yüzeyinde sıfır gerilme üretmeli ve son olarak da sonsuz derinlikte sıfır yerdeğiştirme üretmelidir. Frekans ve dalga sayısının gelişi güzel kombinasyonları için önemli çözümler bulunmamaktadır; bunun yerine, belirli bir frekans için bir dizi özel ve tek dalga sayıları vardır. Her bir dalga sayısı, yüzey dalgasının farklı yerdeğiştirme paternini veya modunu tanımlar.

2.3 Gerilme Dalgalarının Sönümlenmesi

Yukarıda anlatılanlarda, dalgaların sadece doğrusal elastik malzemelerde yayılması göz önüne alınmıştı. Gerilme dalgaları, homojen doğrusal elastik bir malzemede genliklerinde herhangi bir değişim olmaksızın belirsiz şekilde ilerler. Ancak, bu tür bir davranış şekli gerçek malzemelerde oluşmaz. Yerkabuğunu oluşturan birimlerde olduğu gibi, gerçek malzemelerdeki gerilme dalgalarının genlikleri mesafe ile birlikte sönüme uğrar. Bu sönümlenme iki kaynağa atfedilebilir: birincisi, dalgaların içinde ilerlediği malzemelerle ilgili; diğeri de dalga yayılma probleminin geometrisidir.

2.3.1 Materyal Sönümlemesi

Gerçek malzemelerde, ilerleyen bir dalganın elastik enerjisinin bir kısmı daima ısıya dönüşür. Bu dönüşümde, dalganın genliğinde azalma olur. Elastik enerjinin sönümlenmesini temsil etmede genellikle viskoz sönümleme kullanılmaktadır. Viskoelastik dalga yayılması açısından ele alındığında, zeminler genellikle Kelvin-Voigt katıları (kayma deformasyonuna direnci, elastik kısım ile viskoz kısmın toplamı olan malzemeler) olarak modellenmektedir.

Kaymaya maruz kalan bir Kelvin-Voigt katısı için gerilme-birim deformasyon ilişkisi aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$\tau = G\gamma + \eta \frac{\partial \gamma}{\partial t} \quad (2.13)$$

Burada, τ :kayma gerilmesi, $\gamma(= \partial u / \partial z)$: kayma birim deformasyonu ve η : malzemenin viskozitesidir. Bu nedenle, kayma gerilmesi elastik kısım ile viskoz kısmın toplamıdır.

$$\gamma = \gamma_0 \sin \omega t \quad (2.14)$$

Şeklindeki harmonik bir kayma birim deformasyonu için kayma gerilmesi,

$$\tau = G\gamma_0 \sin \omega t + \eta \dot{\gamma}_0 \cos \omega t \quad (2.15)$$

şeklinde. Yukarıda gösterilen iki eşitlik(2.14 ve 2.15), Kelvin-Voigt katısının gerilme-birim deformasyon döngüsünün bir elips olduğunu gösterir. Sadece bir döngüde sönümlenen elastik enerji, elipsin alanı olarak ifade edilir, veya;

$$\Delta W = \int_{t_0}^{t_0+2\pi/\omega} \tau \frac{\partial y}{\partial x} dt = \pi \eta \omega \gamma_0^2$$

olur. Bu ilişki, sönümlenen enerjinin yükleme frekansı ile orantılı olduğunu ifade eder. Ancak gerçek zeminler elastik enerjiyi (tanelerin birbirine göre kayması vasıtasıyla) histerezli olarak sönümlendirirler. Sonuçta, bunların enerji sönümleme özellikleri frekansa karşı duyarlı değildir. Döngüde depolanan pik enerji;

$$W = \frac{1}{2} G \gamma_0^2$$

olduğundan, sönümleme oranı da aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$\xi = \frac{1}{4\pi} \frac{\pi \eta \omega \gamma_0^2}{\frac{1}{2} G \gamma_0^2} = \frac{\eta \omega}{2G} \quad (2.16)$$

Bir taraftan viskoelastik formülün uygunluğunu muhafaza edip, diğer taraftan da frekans bağımlılığını ortadan kaldırmak için, (2.16) eşitliği frekans ile ters orantılı bir eşdeğer viskozite üretecek şekilde çoğu zaman yeniden düzenlenir. Bu eşdeğer viskozitenin kullanılması, sönümleme oranının frekanstan bağımsız olmasını kesinleştirir:

$$\eta = \frac{2G}{\omega} \xi \quad (2.17)$$

Düşey olarak yayılan SH dalgaları için bir Kelvin-Voigt modeli, sonsuz derecede küçük elemanlardan oluşan bir istif ile temsil edilebilir. Düşey olarak yayılan SH dalgaları için bir boyutlu hareket denklemi,

$$\rho \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = \frac{\partial \sigma_{xz}}{\partial z} \quad (2.18)$$

şeklinde yazılabilir. $\tau = \sigma_{xz}$ ve $\gamma = \partial u / \partial z$ ile birlikte (2.13) eşitliğini (2.18)'deki yerine koyup, sağ tarafın da türevini alarak, aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$\rho \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = G \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} + \eta \frac{\partial^3 u}{\partial z^2 \partial t} \quad (2.19)$$

Harmonik dalgalar için yerdeğştirmeler şu şekilde yazılabilir:

$$u(z, t) = U(z) e^{i\omega t} \quad (2.20)$$

Bu bağıntı (2.19) No'lu dalga denkleminde yerine konulduğunda aşağıdaki adi diferansiyel denklem elde edilir:

$$(G + i\omega\eta) \frac{d^2 U}{dz^2} = -\rho\omega^2 U \quad (2.21)$$

Veya,

$$G * \frac{d^2 U}{dz^2} = -\rho\omega^2 U \quad (2.22)$$

Burada $G^* = (G + i\omega\eta)$: kompleks kayma modülüdür. Frekans bağımlılığından kurtulmak için (2.17) eşitliği kullanılarak, kompleks kayma modülü $G^* = G(1 + 2i\zeta)$ şeklinde de ifade edilebilir. Hareket denkleminin çözümü,

$$u(z, t) = A e^{i(\omega t - k^* z)} + B e^{i(\omega t + k^* z)} \quad (2.23)$$

şeklinde dir. Burada, A ve B sınır koşullarına bağlıdır ve $k^* = \omega \sqrt{\frac{\rho}{G^*}}$: kompleks dalga sayısıdır. k^* aşağıdaki gibi ifade edilebilir. (Kolsky, 1963):

$$k^* = k_1 + ik_2 \quad (2.24)$$

Burada,

$$k_1^2 = \frac{\rho\omega^2}{2G(1+4\zeta^2)} (\sqrt{1+4\zeta^2} + 1)$$

$$k_2^2 = \frac{\rho\omega^2}{2G(1+4\zeta^2)} (\sqrt{1+4\zeta^2} - 1) \quad (2.25)$$

Olup; sadece k_1 pozitif kökü ile k_2 negatif kökünün fiziksel bir önemi vardır. Viskoz olmayan durum ($\eta = \xi = 0$) için $k_2 = 0$ ve $k_1 = 0$ olduğuna dikkat edilmelidir. Pozitif z yönünde yayılan bir dalga için çözüm aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$u(z, t) = Ae^{k_2 z} e^{i(\omega t - k_1 z)} \quad (2.26)$$

Bu ifade (k_2 negatif olduğundan), *malzeme sönümlemesinin mesafeye bağlı olarak dalga genliğinde üssel bir azalışa neden olduğunu gösterir.*

Kelvin-Voigt modeli, zeminlerde bugüne kadar kullanılan en yaygın modeli oluştursa da; sonsuz sayıdaki reolojik modellerden sadece bir tanesini temsil etmektedir. Yeniden düzenleme ve daha çok sayıda yay ve sönümleyici eklemek suretiyle çok sayıda değişik davranış modellenebilir fakat, yay ve sönümleyicilerin sayısı artarken dalga denkleminin çözümü de çok daha karmaşık olur.

BÖLÜM 3. ZEMİN DAVRANIŞ ANALİZİ

Geoteknik deprem mühendisliğinde en çok karşılaşılan problemlerden biri, yer tepkisinin değerlendirilmesidir. Tasarım tepki spektrumlarının geliştirilmesi için gerekli yer yüzeyi hareketlerinin kestirilmesinde, sıvılaşma tehlikelerinin değerlendirilmesinde gerekli dinamik gerilme ve birim deformasyonların değerlendirilmesinde ve toprak dolgular ile zemin istinad yapılarının duraysızlığına yol açacak deprem kaynaklı kuvvetlerin belirlenmesinde zemin davranış analizleri kullanılmaktadır.

İdeal şartlar altında eksiksiz bir zemin davranış analizinde deprem kaynağındaki yırtılma mekanizması, gerilme dalgalarının yer içinde yayılarak belirli bir sahanın altındaki anakayanın tepesine ulaşması modellenir ve yer yüzeyindeki hareketin anakaya üzerindeki zeminler tarafından nasıl etkilendiği belirlenir. Sismik dalgaların kaya ortamda yüzlerce km ilerledikten sonra zemin içinde de çoğu zaman yaklaşık 100m'den daha az yol aldığı göz önüne alınırsa, yer yüzeyi hareketi özelliklerinin belirlenmesinde zeminlerin çok önemli rol oynadığı anlaşılır.

Yerel zemin şartlarının deprem hasarı üzerindeki etkisi yıllardan beri bilinmektedir. Yerel zemin şartlarının kuvvetli yer hareketi üzerine etkisini kestirmede nicel yöntemler geliştirmek için sismologların 1920'lerden beri devam eden ve geoteknik deprem mühendislerinin de son zamanlarda yaptıkları çalışmalar vardır. Geçen zaman içinde zemin davranış analizi konusunda çok sayıda teknik geliştirilmiştir. Bu bölümde en çok kullanılan bir, iki ve üç boyutlu zemin davranış yöntemlerine değinilecektir.

3.1 Bir Boyutlu Zemin Davranış Analizi

Yerin yüzeyi altında bir fay yırtıldığı zaman, cisim dalgaları kaynaktan tüm yönlerle doğru yayılır. Farklı jeolojik birimlerin sınırlarına eriştiklerinde yansır ve kırılırlar. Sığ derinlikteki birimlerin dalga iletme hızları daha derinde bulunanlarıkinden genellikle daha düşük olduğundan, yatay katman sınırına çarpan eğimli ışınlar genellikle daha düşey bir konuma doğru kırılırlar. Bir boyutlu zemin davranış analizleri, tüm sınırların yatay olduğu ve zeminin tepkisine egemen olarak

anakayadan düşey yönde yayılan SH dalgalarının neden olduğu varsayımına dayanmaktadır. Bir boyutlu yer tepki analizlerinde zemin ve anakaya yüzeylerinin yatay yönde sonsuz uzanımlı olduğu kabul edilmektedir.

3.1.1 Doğrusal Yaklaşım

Zemin davranış analizi tekniklerinin önemli bir sınıfı da transfer fonksiyonlarına dayalıdır. *Transfer fonksiyonları*, zemin davranışı probleminde anakaya ivmesi gibi bir girdi hareketinin yer değiştirme, hız, ivme, kayma gerilmesi ve kayma birim deformasyonu gibi değişik tepki parametrelerini bulmada kullanılmaktadır. Bu yaklaşım izdüşüm ilkesine dayalı olduğundan, doğrusal sistemlerin analizi ile sınırlıdır.

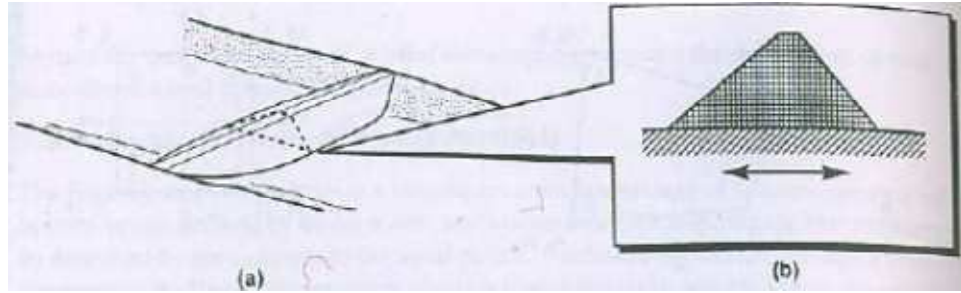
Bilinen bir anakaya (girdi) hareketinin zamana bağlı değişimi, genellikle FFT'yi kullanarak Fourier serisi şeklinde temsil edilebilir. Anakaya (girdi) hareketinin Fourier serisindeki her terim daha sonra transfer fonksiyonu ile çarpılarak zemin yüzeyi (çıkıtı) hareketinin Fourier serisi elde edilir. Zemin yüzeyi (çıkıtı) hareketi daha sonra ters FFT kullanılarak zaman tanım alanında ifade edilebilir. Transfer fonksiyonu bu şekilde, anakaya (girdi) hareketindeki her frekansın zemin tarafından nasıl büyütüldüğünü ve ya sönümlendiğini ifade eder.

3.1.2 Doğrusal Olmayan Yaklaşım

Eşdeğer doğrusal yaklaşım hesaplama açısından uygun olmasına ve pek çok pratik problem için makul sonuçlar vermesine rağmen; sismik zemin davranışının doğrusal olmayan gerçek davranışını yaklaşık olarak veren bir yöntemden ibarettir. Bir zeminin doğrusal olmayan gerçek davranışını analiz etmede alternatif bir yöntem, zaman tanım alanında doğrudan sayısal entegrasyonun kullanımıdır. Hareket denklemini küçük adımlarla entegre etmek suretiyle, herhangi bir doğrusal veya doğrusal olmayan gerilme-birim deformasyon modeli kullanılabilir. Her zaman adımının başlangıcında, o adımda kullanılacak uygun zemin özelliklerini elde etmede gerilme-birim deformasyon ilişkilerine başvurulur. Bu yöntemle, doğrusal olmayan ve de elastik olmayan gerilme-birim deformasyon ilişkisi, küçük artışı doğrusal adımlardan oluşan bir set ile takip edilebilir.

3.1.3 Eşdeğer Doğrusal Yaklaşım

İki boyutlu eşdeğer doğrusal yaklaşım bir boyutlu yaklaşıma çok benzer. Bir zemin-yapı sistemi iki boyutlu bir sonlu eleman modeli ile temsil edilebilir. Girdi hareketi Fourier serisi ile temsil edilir ve hareket denklemleri de serideki her frekans için çözülerek sonuçlar toplanır ve bu şekilde toplam tepki elde edilir.



Şekil 3.1 İki boyutlu zemin davranış analizlerinin kullanıldığı pratik durum: (a) uzun bir barajın ortasında düzlemsel birim deformasyon şartları varsayılabilir ve bu durum (b) barajın orta kısmının iki boyutlu olarak modellenmesine olanak sağlar.

Şekil 3.1’de gösterilen toprak barajı göz önüne alalım. Baraj ekseninin yüksekliğe kıyasla çok uzun olduğunu varsayarak, barajın orta kısmının tepkisinin iki boyutlu olduğu düşünülebilir. Bu dinamik model aşağıdaki şartların sağlanmasını gerektirir:

$$[M]\{\ddot{u}\} + [K^*]\{u\} = -[M][1]\ddot{u}_b(t) \quad (3.1)$$

Burada, $[M]$: kütle matrisi, $[K^*]$: kompleks rijitlik matrisi, $[K^*]=[K]+i\omega[C]$, $\{u\}$: bilinmeyen düğüm noktaları yerdeğiştirmesi vektörü ve $\ddot{u}_b(t)$: taban ivmesinin zamana bağlı değişimidir. Kütle ve rijitlik matrisleri bunlara karşılık gelen eleman rijitlik matrislerinin sonlu eleman prosedürlerini kullanarak bir araya getirilmesiyle oluşturulur ve sönümlenmenin analize dahil edilmesi de kompleks eleman rijitlik matrislerinin oluşturulması sırasında kompleks kayma modüllerinin kullanımıyla olur.

Taban hareketinin harmonik olduğu varsayılırsa, göreceli yer değiştirme vektörü aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$\{u\} = \{H(\omega)\}\ddot{u}_b(\omega)e^{i\omega t} \quad (3.2)$$

Burada, $\{H(\omega)\}$: transfer fonksiyonları vektörü ve $\ddot{u}(\omega)$: $\ddot{u}_b(t)$ 'nin Fourier dönüşümüdür. (1.28) eşitliğinin hareket denklemindeki yerine konulmasıyla;

$$-\omega^2[M]\{H(\omega)\}\ddot{u}_b(\omega)e^{i\omega t} + [K *]\{H(\omega)\}\ddot{u}_b(\omega)e^{i\omega t} = -[M][1]\ddot{u}_b(\omega)e^{i\omega t}$$

Elde edilir. Terimler yeniden düzenlendiğinde, transfer fonksiyonu vektörü aşağıdaki gibi olur:

$$\{H(\omega)\} = \frac{[M]}{\omega^2[M] - [K *]} \quad (3.3)$$

Transfer fonksiyonu vektörü elde edildikten sonra, tepkinin hesaplanması bir boyutlu kompleks davranış analizindeki adımların aynısı takip edilerek yapılır. Bu yaklaşımdaki hesaplama işlemlerinin çoğu transfer fonksiyonlarının değerlendirilmesi sırasında yapılmaktadır. Büyük problemlerde kütle ve rijitlik matrisleri de büyüktür ve transfer fonksiyonlarının değerlendirilmesi oldukça uzun zaman alabilir. Hesaplama kolaylığı bakımından, transfer fonksiyonları sadece sınırlı sayıdaki frekanslarda doğrudan değerlendirilebilir ve aradakiler de ekstrapolasyon yoluyla bulunabilir. (Ekstrapolasyon: bilinen veri noktalarının ayrık kümesi dışında yeni veri noktaları oluşturma işlemidir.) Birim deformasyon uyumlu malzeme özelliklerinin iterasyon ile bulunması işlemi birebir eleman bazında kullanılabilir.

3.1.4 Bir Boyutlu Modeller İçin Zemin Büyütmesine Etki Eden Parametrelerin İncelenmesi

Belirli bir yerdeki elastik dalga titreşiminin süresi ve şiddeti, deprem kaynağına olan uzaklığa, depremin büyüklüğüne ve o yerin zemin özellikleri gibi birçok faktöre bağlıdır (Bullen ve Bolt, 1985). Kaynaktan yayılan sismik dalgalar zemin tabakalarına erişinceye kadar, kabuğu oluşturan ana kaya içinde kilometrelerce yol almalarına karşın, zemin tabakaları içinde aldıkları yol genellikle 100 metreden daha azdır. Zemin tabakaları sismik dalgalar için bir süzgeç gibidir. Bazı frekanslardaki sismik dalgalar sönmülmektedirken; bazıları ise büyütülür.

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

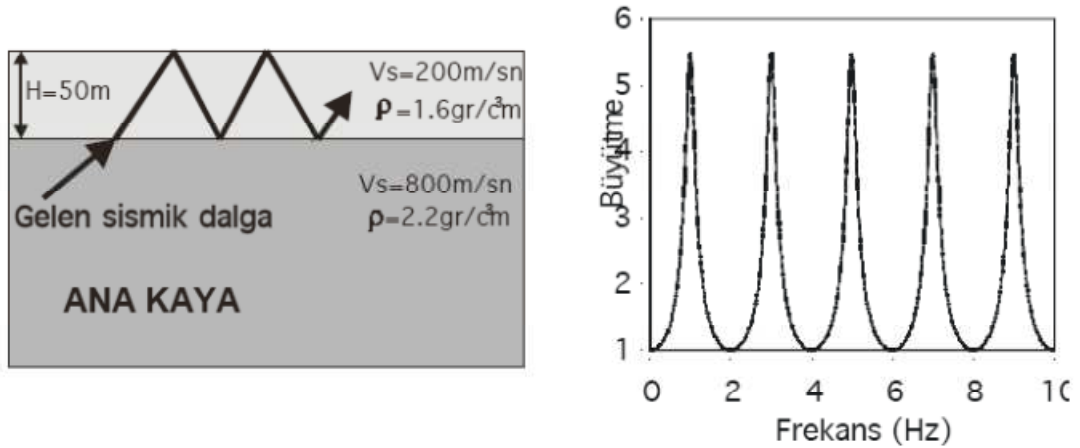
$$z = \rho V_s \quad (3.4)$$

Genellikle yeryüzüne yakın bölgelerde sismik dalga hızları ve yoğunlukları daha küçüktür. Eğer saçılmalar ve sönüm nedeni ile oluşan kayıplar ihmal edilirse, enerjinin korunması ilkesine göre elastik dalga enerjisinin yeryüzüne kadar sabit kalması gerekir.

$$E(t) = \frac{1}{2} (\rho V_s) v^2(t) \quad (3.5)$$

Sismik enerji, $E(t)$ yukarıdaki formül (3.5) ile gösterilirse; dalgalar yer yüzüne yaklaşırken ortam yoğunluğunun(ρ) ve S-dalga hızının(V_s) azalması, yani sismik empedansın küçülmesi nedeni ile enerjinin korunması için tanecik hızının($V(t)$) artması gerekir (Kramer, 1996, s.309).

Ana kaya ve zemin arasındaki sismik empedans farkı, sismik dalgaların zemin tabakaları içinde kapanlanmasına neden olur. Yatay olarak tabakalanmış 1 boyutlu, yani fiziksel özelliklerin tek yönde değiştiği zemin modelinde(Şekil 3.2) bu kapanlanma sadece zemin tabakası içinde yukarı aşağı giden cisim dalgalarını etkiler. Zemin modeli 2 veya 3 boyutlu olup yanal süreksizlikleri içeriyorsa kapanlanma aynı zamanda bu süreksizliklerde oluşan yüzey dalgalarını da etkiler. Kapanlanan bu dalgalar arasındaki girişimler rezonans doruklarının oluşmasına yol açar. Rezonans doruklarının frekansı, ana kaya üzerindeki zemin tabakasının kalınlığı ve S dalga hızıyla ilişkilidir. Bir boyutlu tek tabaka modeli için (Şekil 3.2) temel rezonans frekansı ve harmonikleri sırasıyla izleyen bağıntılar ile verilir(Kramer, 1996).



Şekil 3.2 Tek tabaka durumunda S-dalga yansımalarının gösterimi solda ve düşey yayılan SH dalgası için rezonans durumu sağda verilmektedir.

$$f_0 = \frac{V_s}{4H} \quad (\text{temel frekans}), \quad (3.6)$$

$$f_n = (2n + 1)f_0 \quad (n = 1, 2, 3, \dots) \quad (\text{harmonikler}) \quad (3.7)$$

Eşitlik (3.6)'da V_s , tabakanın S-dalga hızı, H ise ana kaya üzerindeki tabakanın kalınlığıdır. Zemin hakim periyodu T_0 , $1/f_0$ olarak tanımlanır. Temel frekansın değeri 0,2 Hz ile 10 Hz veya daha yüksek değerler arasında değişir (Durville ve diğ., 1985). Rezonans doruklarının genliği, asıl olarak zemin tabakası ve ana kaya arasındaki sismik empedans farkına ve zemin tabakasının sönümleme özelliğine, ikinci derecede ise gelen dalga alanının özelliklerine (dalga tipi, geliş açısı, yakın veya uzak oluşu) ve üç boyutlu yapılar için yapının geometrisine bağlıdır. Düşey düzlemdeki S dalgası tarafından uyarılan bir boyutlu tek tabaka için en fazla büyütme (A_0);

$$A_0 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha} + 0,5\pi\xi} \quad (\text{temel doruk için}), \quad (3.8)$$

bağıntısı ile hesaplanabilir (Roesset, 1977). Burada α , sismik empedans oranı; $\rho_2 V_{s2} / \rho_1 V_{s1}$ (ρ : yoğunluk, 1 ve 2 indisleri sırası ile zemin ve kaya ortamı temsil eden indisler) ve ξ zemin sönümüdür. Bu bağıntıdan görüldüğü üzere çok küçük sönümlerde ($\xi = 0$), A_0 değeri empedans oranına karşılık gelir. Teorik ve deneysel çalışmalar A_0 'ın çoğu zaman 6-10 değerlerine eriştiğini ve seyrek olarak da 20 değerini aştığını göstermiştir (Bard ve diğ., 1988).

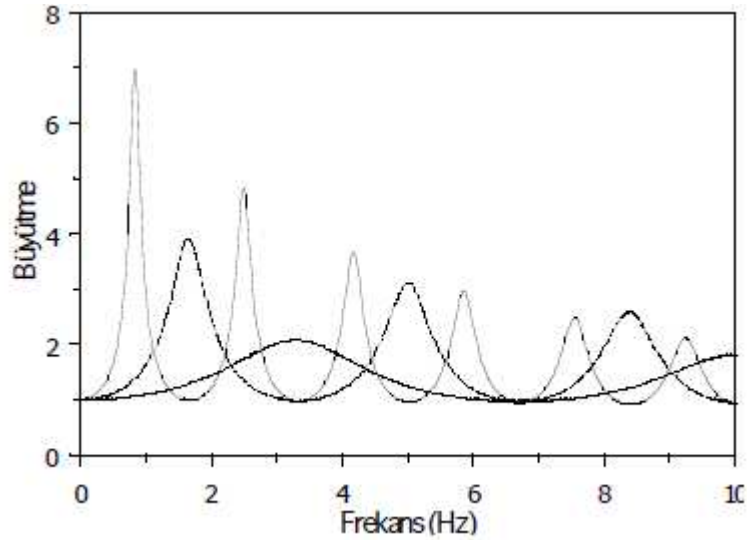
3.1.4.1 Teorik Zemin Transfer(Büyütme) Fonksiyonları

Şekil 3.3’de S-dalga hızı(V_s) 700 m/sn, yoğunluğu (ρ) 2.4 gr/cm³ ve S-dalgası kalite faktörü ($Q_s = 0.1 V_s$) 70 değerlerine sahip bir ana kaya tabakası üzerinde yer alan S dalga hızı 250 m/sn, yoğunluğu 1.9 gr/cm³ ve S dalgası kalite faktörü 25 olan değişik kalınlıklardaki (H) zemin tabakaları için hesaplanan büyütme fonksiyonları görülmektedir. Görüldüğü gibi zemin tabakası kalınlığı arttıkça zemin hakim frekansı daha küçük frekanslara doğru kaymaktadır. Bu da periyot cinsinden düşünersek, ana kaya üzerinde yer alan zemin tabakasının kalınlığı ne kadar büyük olursa, zemin hakim periyodunun o kadar büyük olacağını gösterir.

İki tabaka arasındaki empedans oranında herhangi bir değişiklik yapılmadığından tüm büyütme fonksiyonları için harmonik genlikleri, yani büyütme değerleri aynıdır. Mühendislik çalışmaları açısından büyütme fonksiyonlarındaki en önemli değer, temel frekans ve ona ait büyütmedir. Çünkü yapıları asıl etkileyen temel frekans değeri ve bu frekansta görülen en yüksek büyütmedir. Genellikle yüksek harmoniklerde büyütme, sönüm parametresine bağlı olarak çok küçük değerlere kadar düşmektedir. Harmonik numarası büyüdükçe genliğin azalmasını zemin sönüm parametresi, yani kalite faktörü Q kontrol eder. Şekil 3.2’de görülen örnekte büyütme fonksiyonu, kalite faktörü Q_s ’in çok büyük; yani sönümün olmadığı düşünülen bir ortam için hesaplanmıştır. Bu durumda görüldüğü gibi harmonik genliklerinde herhangi bir azalma mevcut değildir. Q parametresi pratik uygulamalar için 0.1 V_s alınabilir(Olsen, 2000).

Şekil 3.3’te görülebileceği gibi, 10 metre kalınlığa sahip bir zemin tabakası için temel frekans değeri yaklaşık 6.5 Hz civarında iken, kalınlık 100 m’ye çıktığında bu değer 0.6 Hz’e düşmektedir. Transfer fonksiyonlarındaki bu frekans değerleri, zemin tarafından en fazla büyütme uğrıtılacak deprem dalgası frekanslarını göstermektedir.

$V_s=100$ m/s	$\updownarrow$ $H=30$ m.	V_s	Zemin
$V_s=200$ m/s		$\rho=1.9$ gr/cm ³	Tabakası
$V_s=400$ m/s		$Q_s=25$	
		$V_s=700$ m/s	
		$\rho=2.4$ gr/cm ³	Anakaya
		$Q_s=70$	



Şekil 3.3 Farklı kalınlıklara (H) sahip zemin tabakası için hesaplanan büyütme fonksiyonları.

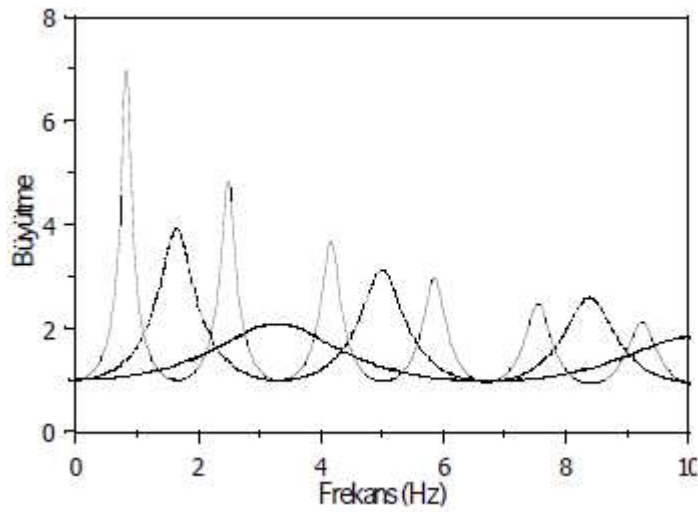
N katlı bir bina için bina hakim periyodunu $T=N/10$ bağıntısından hesaplırsak (Kramer 1996, s.315), bina yüksekliği veya kat adedi arttıkça bina hakim periyodunun arttığını görürüz. Mühendislik açısından önemli olan bina ve zemin hakim periyotlarının birbirinden uzak olmasıdır. Aksi takdirde rezonans dediğimiz olay meydana gelir ve deprem sırasında bu tür yapılara gelen yükler çok büyük değerlere ulaşarak yapının yıkılmasına neden olabilir.

3.1.4.2 Zemin Tabakası S-Dalga Hızının Etkisi

Şekil 3.4'te anakaya ile ilgili Şekil 3.3'te verilen parametreleri değiştirmeden, 30 m kalınlığa sahip bir zemin tabakası için V_s dalga hızları değiştirilerek, hesaplanan büyütme fonksiyonları gösterilmektedir. Zemin tabakasının hızının değişmesi, ana kaya ve zemin arasındaki sismik empedans oranının değişmesi anlamına gelir ki bu da doğrudan büyütme oranını etkiler. Aynı zamanda, hızdaki bir değişim (3.6) numaralı denklemden de görüldüğü gibi zemin hakim frekansının da değişmesi anlamına gelir. Şekilden görüldüğü üzere zemin ve ana kaya arasındaki empedans

farkının büyümesi, zemin büyütmesinin artmasına karşılık gelir. İki ortam arasındaki geçiş ne kadar sert olursa büyütme değeri o kadar yüksek olur.

$V_s=100$ m/s	↑ H= 30 m. ↓	V_s	Zemin
$V_s=200$ m/s		$\rho=1.9$ gr/cm ³	Tabakası
$V_s=400$ m/s		$Q_s=25$	
		$V_s=700$ m/s	
		$\rho=2.4$ gr/cm ³	Anakaya
		$Q_s=70$	



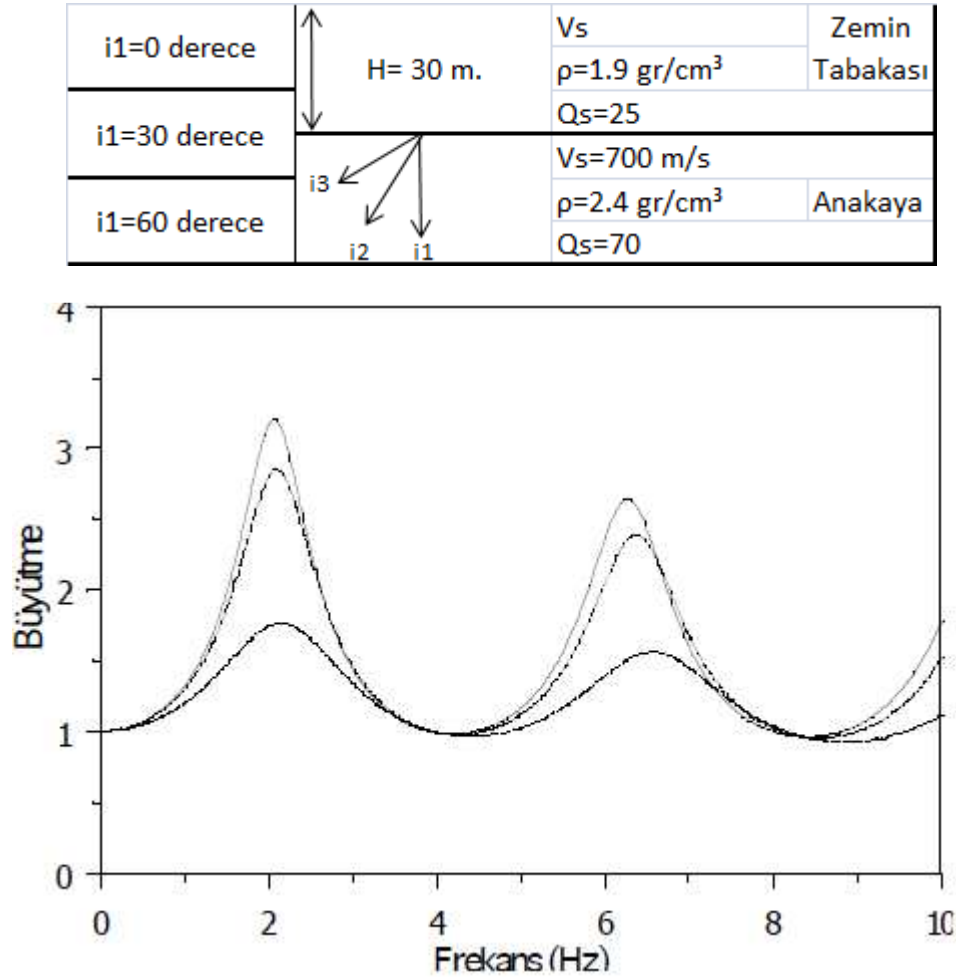
Şekil 3.4 Farklı S dalgası hızlarına (V_s) sahip zemin tabakası için hesaplanan büyütme fonksiyonları.

Şekil (3.3) ve (3.4)'te görüldüğü gibi zemin tabakası kalınlığı arttıkça ve/veya zemin tabakası hızı azaldıkça zemin hakim periyodu büyür. Bu da, kalın alüvyon çökellerin bulunduğu ovalarda özellikle yüksek katlı yapıların risk altında olduğunu işaret eder. Örneğin, zemin hakim periyodu 1 sn olan bir bölgede, en büyük risk altındaki yapılar %20'lik bir sapmayla 0.8-1.2 sn hakim periyoda, veya kaba bir hesaplama ($T=N/10$) 8-12 kata sahip yapılardır. Bunun tam tersini de sık zemin tabakaları üzerinde yer alan düşük katlı yapılar için de söylemek mümkündür.

3.1.4.3 Geliş Açısının Etkisi

Şekil (3.5)'te dalga geliş açısına bağlı olarak büyütme fonksiyonlarının özellikleri incelenmiştir. Görüldüğü gibi zemin hakim frekansı üzerinde geliş açısının önemli bir etkisi yoktur. Sadece geliş açısı arttıkça, büyütme değerlerinde

küçük bir azalma gözlenmektedir. Mühendislik açısından genellikle düşey S dalgalarını kabul etmek önemli bir hata doğurmaz. Geliş açısının önemi iki boyutlu, yani yanal süreksizliklerin bulunduğu ve bu nedenle oluşan basen içi yüzey dalgaları açısından önemlidir (Semblat ve diğ., 2000).



Şekil 3.5 S-dalgası geliş açısına bağlı olarak büyütme fonksiyonlarının değişimi.

3.2 SHAKE2000

Shake2000; Geoteknik Deprem Mühendisliğinde 1-Boyutlu Analizler yapmak için geliştirilmiş bir bilgisayar programıdır. Shake2000 Windows tabanlı bir program olup; araştırmacıların ve deprem mühendislerinin zemin davranış analizlerini ve deprem etkilerini analiz etmekte kullandıkları bir programdır. Shake, Geoteknik deprem mühendisliğinde iki yönlü bir role sahiptir. Birinci yönü geoteknik mühendisliği öğrencileri için öğrenme aracı olması, ikinci yönü uygulamada çalışan

mühendisler için dinamik zemin tepkilerinin yaklaşık olarak kestirilmesine ve karar aşamasında uygulayıcıya fikirler sunması ve daha sofistike modelleme yapmasını sağlamasıdır.

Shake programı ile; yatayda sonsuz visko-elastik tabakalarda düşey olarak hareket eden kayma dalgalarının homojen sistemlerdeki tepkileri hesaplanabilir. Shake2000 programının gelişim süreci devam etmektedir. Program sürekli güncellenen haliyle, mühendislik uygulamalarında ve jeoteknik esaslı problemlerin çözümünde kullanıcılara yardımcı olmaktadır. Ayrıca; Windows 95, 98, 2000, XP Home, XP Pro ve Vista işletim sistemleriyle tam uyumlu ve sorunsuz olarak çalışmaktadır. SHAKE programı Kaliforniya Üniversitesi(Berkeley) 'den H.Bolton Seed, John Lysmer ve B. Schnabel tarafından geliştirilmiştir. Bu programın temelini; dalga denkleminin kısa hareketlerinin FFT (Fast Fourier Transform) algoritmasına dayalı sürekli çözümü oluşturmaktadır. Doğrusal olmayan kayma modülü ve sönümün hesaplanması için birbirine denk zemin özelliklerinin tekrarlanan prosedürün modül ve sönümü; efektif gerilimlere uygun olarak her bir tabaka için hesaplanır.

Problemin çözümü için; gerçek zemin hareketi(yükleme), zemin dinamiği modellemesi(davranış) ve zeminin dinamik yüklemelere karşı davranışının yorum ve öngörüsüne ihtiyaç vardır. Bu problemin çözümünde SHAKE2000 mühendise yardımcı olurken; ona geotekniğin bir yönü olan deprem mühendisliği alanında da çalışma fırsatı sunar.

Program genel olarak şunları içerir:

- 200 tabakaya kadar zemin katmanı.
- Tahmini pik yatay ivmeler ve hız için çok sayıda azalım ilişkileri ve pseudo ivme ve pseudo davranış spektrumu.
- NEHRP, IBC, UBC 1997, EuroCode 8 ve AASHTO gibi dizayn spektrumları. Bu spektrumlar ve bunların azalım ilişkileri SHAKE sayesinde; aynı anda çizilerek, çözümlenebilir.
- Newmark metodu veya Makdisi-Seed metodu yardımıyla deprem sebebiyle oluşabilecek şev kaymaları hesaplanabilir.
- Maksimum kayma modülü (G_{max}) nün tahmini için çok sayıda denklem içerir.

- Yüzeydeki zeminlerin hareketlerinin davranış spektrumu analizlerinin, girdi olarak yüzeydeki kayaların hareketlerine oranı bulunabilir.
- Tokimatsu & Seed(1987) veya Ishihara ve Yosmine(1992) yöntemleri kullanılarak depremin yerleşim yerinin konumuna göre etkisinin hesaplanması.
- Dosyaları Shake ile uyumlu çalıştırmaya yarayan bir uygulama içerir.
- Davranış spektrumunu deprem hareketine göre hesaplama özelliği vardır.
- Deformasyon oluşan zeminde sıvılaşma değerlendirmesi yapar.
- Bulunan sonuçları detaylı tablolu raporlar ve diğer belgeler ile birlikte grafik olarak çıktı almaya olanak verir.
- Programda kullanılan her form için on-line yardım imkanı vardır.
- SHAKE91 tabanlı belgeler ile uyumluluk gösterir.
- Program hem SI hem de İngiliz birimleri ile çalıştırılabilir.

Yukarıda sayılanlar ile birlikte Shake2000 çıktılarının kolay anlaşılabilir olması da; mühendisin potansiyel sıvılaşma tahmini ve depreme bağlı deplasmanları tahmini konusunda çok yardımcıdır.

Ancak, SHAKE2000'in en önemli özelliği, yer hareketi ve diğer analiz sonuçlarının grafiksel olarak sunumuna olanak sağlamasıdır. Örnek olarak; pik ivmenin derinliğe bağlı olarak değişimi veya time history ivmenin zamana bağlı değerlerinin gösterilmesi sayılabilir.

BÖLÜM 4. GEBZE-ÇAYIROVA ALÜVYON ZEMİNİNİN EŞDEĞER LİNEER ANALİZ YÖNTEMİ KULLANILARAK DAVRANIŞ ANALİZLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

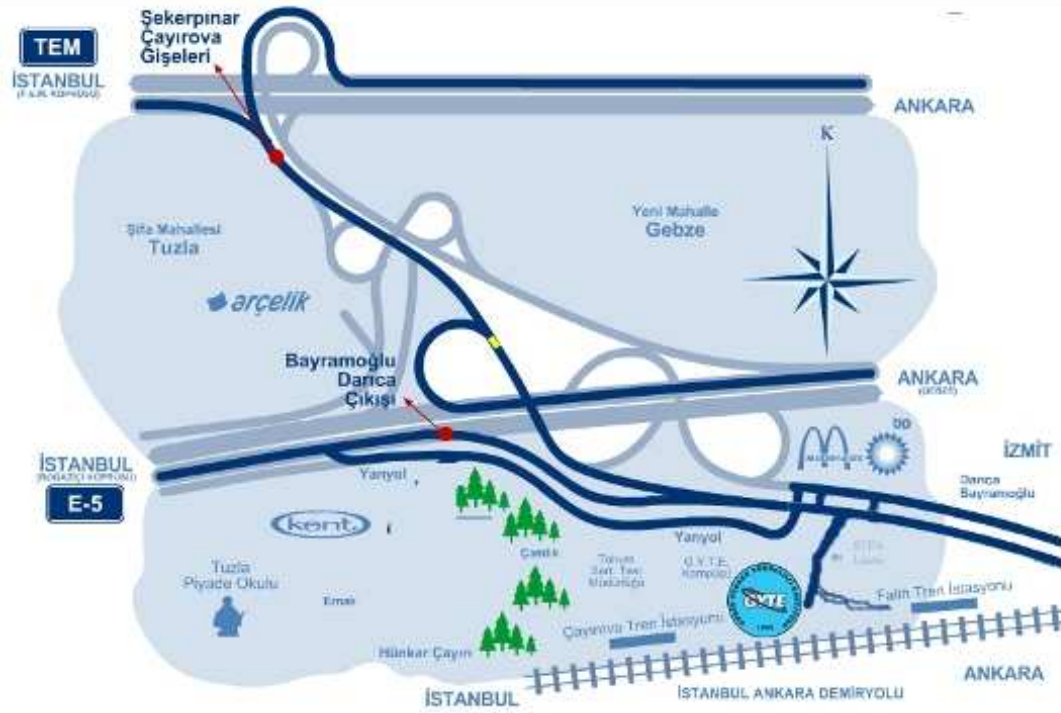
Depremler sırasında zemin davranışının analizi önem arz eden bir konudur. Çünkü zeminlerin yerleşimleri, kombinasyonları, tabakalanma durumları deprem yer hareketi özelliklerini değiştirebilirler. Bu değişimin ne kadar olduğu ve hangi parametrelerden ne kadar etkilendiğinin araştırılması tezin anatemasını oluşturmaktadır.



Şekil 4.1 GYTE Uydu Görüntüsü.

4.1 GYTE Çayırova Kampüsünün Zemin Özellikleri

GYTE Çayırova Kampüsü Marmara Bölgesinde, Kocaeli ili, Gebze ilçesi sınırları içerisinde bulunmaktadır.



Şekil 4.2 GYTE Kampüsünün Konumu.

4.1.1 Silüriyen Dönemi

Ordovisyen yok oluşlarına neden olan buzul çağının ardından, Silüriyende sıcaklıkların tekrar yükselmesiyle Gondvana'yı kaplayan buzullar eridi. Kıtalar yeniden sığ denizlerin altında kaldı. Yok oluşun ardından canlıların çeşitlenip yayılması için uygun şartların sağlanmasıyla canlılar yeni bir uyumsal açılım dönemine girdi. Boşalan yaşama alanları hızla çeşitlenip, yayılan canlılarca dolduruldu. Omurgasızlar daha da çeşitlenerek, yeniden Ordovisyendeki yaygınlıklarını kazandı. Ancak Silüriyen uyumsal açılımının başarılı grubu denizlerde hızla çeşitlenen, omurgalılarından çenesiz balıklardı. Bazı çenesiz balıklar tatlı sulara uyum sağlayarak bu ortamlarda yaygınlaştı. İlk çeneli balıklar tatlı sularda ortaya çıktı.

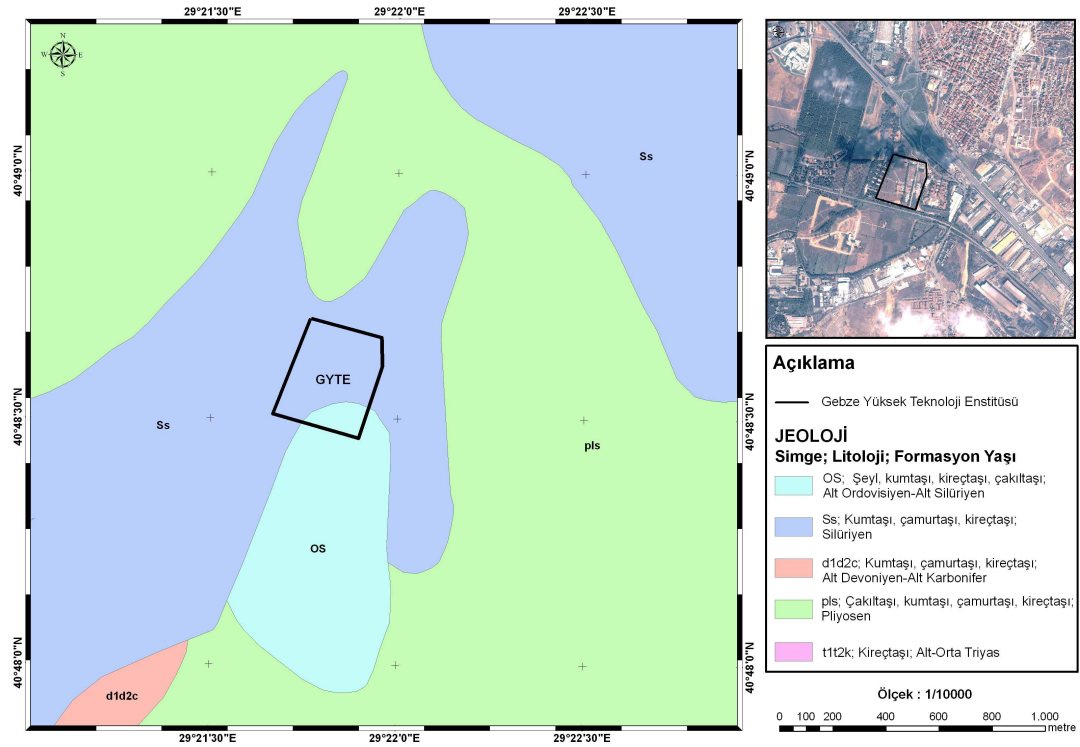
Silüriyenin en önemli olayı ökaryotik yaşamın sağlam temellerle ve daimi olarak karaya yerleşmesiydi. Ordovisyende karaya çıkmış olan kara yosunu benzeri bitkiler oldukça yaygınlaştı. İlk damarlı bitkiler de kesin olarak bu dönemde ortaya çıktı. Kara yosunu ve ilkin damarlı bitkilerle kaplı karalarda dolaşan ilk kara hayvanlarıysa, uyum yetenekleri tartışılmaz olan eklembacaklılardı. Örümcekler,

akrepler, böcekler, kırkayaklar, ve akrabaları bize oldukça yabancı bu ortamın bildiğimiz tek sakinleriydi.

Silüryen evrimsel açıdan pek çok ilkin gerçekleştiği bir dönemdi. Bu dönemden meydana gelen olaylar dünyayı ve yaşamın bundan sonra izleyeceği yolu büyük oranda etkiledi.

Jeolojik dönemi: Silüryen (440-417 milyon yıl önce arası)

Litoloji: Ss; Kumtaşı, Çamurtaşı, kireçtaşı.



Şekil 4.3 GYTE Çayırova Kampüsünün Jeolojisi.

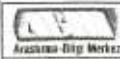
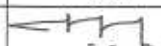


Şekil 4.4 GYTE Sondaj yapılan yerin krokisi.

4.2 Sondaj Sonuçları ve Laboratuvar Deneylerinden Elde Edilen Zemin Özellikleri

Çalışmada GYTE Malzeme Bölümü binası için yapılan sondaj sonuçları kullanılmıştır. Sondaj sonuçlarına göre yüzeyde 8.00 m. derinliğinde düşük plastisiteli kil (CL), sonrasında ise 7.00 m. derinliğinde kumlu kil bulunmaktadır. Sondaj sonuçlarından elde edilen idealize zemin profili Şekil 4.7’de sunulmuştur.

Tablo 4.1 Sondaj Logu (2 Nolu Sondaja ait).

		ABM MÜHENDİSLİK MÜHÜRLEME/İNŞAAT/SONDAJ TIC. PAZ. LTD. ŞTİ.		SONDAJ LOGU BORING LOG		SONDAJ NO / Boring No : SK-2													
						SAYFA NO / Sheet No : 1													
						SONDOR / Driller : E. TOKYUREK													
PROJE ADI / Project Name :				GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ MALZEME BÖLÜMÜ															
PROJE YERİ / Project Area :				GEBZE İLİDEYESİ															
PAFTA/AD/PAZEL / Subdivision :				85-09 / 4 / 24															
SONDAJ DERİNLİĞİ / Boring Depth (m.) :				15.00 m															
SONDAJ KOTU / Elevation (m.) :				-															
YERALTI SUYU / Groundwater (m.) :				-6.20 m															
				MAKİNA TİPİ / YÖNTEMİ :															
DERİNLİK / Depth (m.)		MÜHÜRLEME / Depth Type		STANDART PENETRASYON DENEYİ (Standard Penetration Test)		ZEMİN TANIMLAMASI Soil Description		ZEMİN PROFİLİ Soil Profile		YERLİ SUYU Strength		AYRISMA Weathering		RİZE / Riser		KAPALI % Compaction		HÜD %	
				DARBE SAYISI Numb. Of Blows		SPT GRAFİĞİ SPT Graph													
15		30		45		N ₆₀		10		20		30		40		50			
1		SPT		3		3		4		7		Örtü Tabakası							
2		SPT		3		3		4		8		Kil							
3		SPT		3		4		5		10		sarımsı kahverengili, denizel kabuklu genellikle gevşek kıvrımlı alt seviyelerde orta katı kıvrımlı Yer yer çakıllı kumlu bantlar içermektedir.							
4		SPT		4		4		5		12									
5		SPT		4		4		5		12									
6		SPT		5		6		8		17									
7		SPT		6		8		9		17									
8		SPT		6		8		9		17									
9		SPT		7		7		8		12		Kumlu Kil							
10		SPT		7		7		8		12		grimsi renkli, az çakıllı, çakıllar ince taneli orta katı kıvrımlı							
11		SPT		8		9		11		12									
12		SPT		8		9		11		12									
13		SPT		9		11		12		12									
14		SPT		9		11		12		12									
15		SPT		9		11		12		12									
KIVAM DURUMU / STIFFNESS				SİKLİK / DENSITY				DAYANIMLILIK / STRENGTH				AYRISMA / WEATHERING							
N=0-2 N=3-10 N=11-20 N=21-30 N=31-40 N=41-50				N=0-2 N=3-10 N=11-20 N=21-30 N=31-40 N=41-50				I. Düzeyli II. Orta Düzeyli III. Orta Zayıf IV. Zayıf V. Çok Zayıf				I. Zayıf II. Az Ayrışmış III. Orta D. Ayrışmış IV. Çok Ayrışmış V. Tam Ayrışmış							
GRANÜLER / Proportion				GRANÜLER / Proportion				KURU SONE-30 cm. / PRACTICES-30 cm.				KAYA KALİTESİ TANIMLARI							
N=0-2 N=3-10 N=11-20 N=21-30				N=0-2 N=3-10 N=11-20 N=21-30				I. Zayıf II. Orta III. Orta Zayıf IV. Zayıf V. Çok Zayıf				N=0-25 N=25-50 N=50-75 N=75-100 N=100-150							
SPT / Standard Pen. Deneyi				K. / Kuru Nemli				HAZIRLAYAN				İMZA							
D / Oculasyon Metodu				P. / Penetrasyon Deneyi				AYŞE ŞAHİN SÜER											
UD / Oculasyon Numarası				VST / Vize (Kumlu) Deneyi				Jeoloji Müh.											
UD / Oculasyon Numarası				VST / Vize (Kumlu) Deneyi				Oda No: 8587											

Tablo 4.2 Sondaj Logu (4 Nolu Sondaja ait).

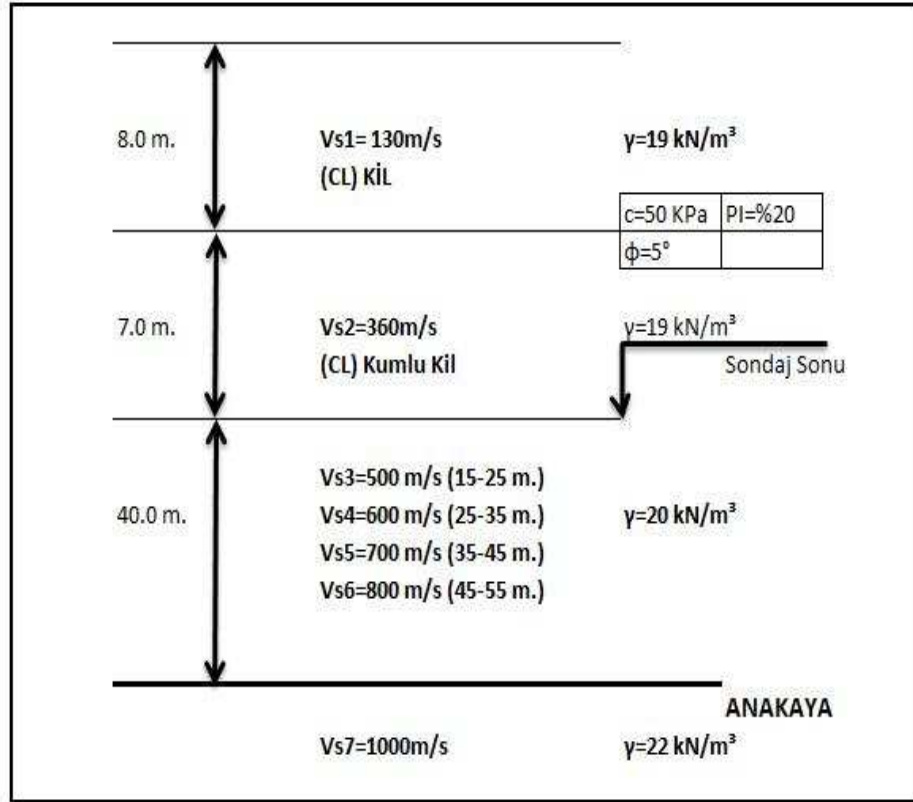
ARM MÜHENDİSLİK MİSAKULUNBAŞI SONDAJ İTİ. PAZ. LTD. İTİ.		SONDAJ LOGU BORING LOG		SONDAJ NO / Boring No: SK-4	
PROJE YERİ / Project Area: GEZİT BELEDİYESİ		BAŞLAMA TARİHİ / Start Date: 21.03.2009		SAYFA NO / Sheet No: 1	
PAFTA/ADPARSEL / Subdivision: 80-89 / 4 / 20		BİTİŞ TARİHİ / Finish Date: 21.03.2009		SONDORU / Driller: E. TOKYURGU	
SONDAJ DERİNLİĞİ / Boring Depth (m.): 15.00 m		KORDİNAT / Coordinate (N-A):		KORDİNAT / Coordinate (E-W):	
SONDAJ KOTU / Elevation (m.): 1.7		KORDİNAT / Coordinate (E-W):			
YERALTI SUYU / Groundwater (m.): 6.10 m		MAKİNA TİPİ / YÖNTEM:			
STANDART PENETRASYON DENEYİ Standard Penetration Test		ZEMİN TANIMLAMASI Soil Description		ZEMİN KURULUŞU Soil Profile	
DENEY SAATİ Time (H:MM)		SPT ÇAKIĞI SPT Blow		ZEMİN KURULUŞU Soil Profile	
10 20 30 40 50		10 20 30 40 50		ZEMİN KURULUŞU Soil Profile	
1		0.80		Örtü Tabakası	
2		1.00		Kil	
3		1.20		sarımsı kahverengili, denizel kabuklu, genellikle gevşek kıvrımlı, orta kumlu	
4		1.40		Yer yer çakilli kumlu	
5		1.60		bandlar içermektedir.	
6		1.80		Kumlu Kil	
7		2.00		grimsi renkli, az çakilli, çakallar ince taneli, orta kumlu	
8		2.20		Kumlu Kil	
9		2.40		Kumlu Kil	
10		2.60		Kumlu Kil	
11		2.80		Kumlu Kil	
12		3.00		Kumlu Kil	
13		3.20		Kumlu Kil	
14		3.40		Kumlu Kil	
15		3.60		Kumlu Kil	
16		3.80		Kumlu Kil	
17		4.00		Kumlu Kil	
18		4.20		Kumlu Kil	
19		4.40		Kumlu Kil	
20		4.60		Kumlu Kil	
21		4.80		Kumlu Kil	
22		5.00		Kumlu Kil	
23		5.20		Kumlu Kil	
24		5.40		Kumlu Kil	
25		5.60		Kumlu Kil	
26		5.80		Kumlu Kil	
27		6.00		Kumlu Kil	
28		6.20		Kumlu Kil	
29		6.40		Kumlu Kil	
30		6.60		Kumlu Kil	
31		6.80		Kumlu Kil	
32		7.00		Kumlu Kil	
33		7.20		Kumlu Kil	
34		7.40		Kumlu Kil	
35		7.60		Kumlu Kil	
36		7.80		Kumlu Kil	
37		8.00		Kumlu Kil	
38		8.20		Kumlu Kil	
39		8.40		Kumlu Kil	
40		8.60		Kumlu Kil	
41		8.80		Kumlu Kil	
42		9.00		Kumlu Kil	
43		9.20		Kumlu Kil	
44		9.40		Kumlu Kil	
45		9.60		Kumlu Kil	
46		9.80		Kumlu Kil	
47		10.00		Kumlu Kil	
48		10.20		Kumlu Kil	
49		10.40		Kumlu Kil	
50		10.60		Kumlu Kil	
51		10.80		Kumlu Kil	
52		11.00		Kumlu Kil	
53		11.20		Kumlu Kil	
54		11.40		Kumlu Kil	
55		11.60		Kumlu Kil	
56		11.80		Kumlu Kil	
57		12.00		Kumlu Kil	
58		12.20		Kumlu Kil	
59		12.40		Kumlu Kil	
60		12.60		Kumlu Kil	
61		12.80		Kumlu Kil	
62		13.00		Kumlu Kil	
63		13.20		Kumlu Kil	
64		13.40		Kumlu Kil	
65		13.60		Kumlu Kil	
66		13.80		Kumlu Kil	
67		14.00		Kumlu Kil	
68		14.20		Kumlu Kil	
69		14.40		Kumlu Kil	
70		14.60		Kumlu Kil	
71		14.80		Kumlu Kil	
72		15.00		Kumlu Kil	
73		15.20		Kumlu Kil	
74		15.40		Kumlu Kil	
75		15.60		Kumlu Kil	
76		15.80		Kumlu Kil	
77		16.00		Kumlu Kil	
78		16.20		Kumlu Kil	
79		16.40		Kumlu Kil	
80		16.60		Kumlu Kil	
81		16.80		Kumlu Kil	
82		17.00		Kumlu Kil	
83		17.20		Kumlu Kil	
84		17.40		Kumlu Kil	
85		17.60		Kumlu Kil	
86		17.80		Kumlu Kil	
87		18.00		Kumlu Kil	
88		18.20		Kumlu Kil	
89		18.40		Kumlu Kil	
90		18.60		Kumlu Kil	
91		18.80		Kumlu Kil	
92		19.00		Kumlu Kil	
93		19.20		Kumlu Kil	
94		19.40		Kumlu Kil	
95		19.60		Kumlu Kil	
96		19.80		Kumlu Kil	
97		20.00		Kumlu Kil	
98		20.20		Kumlu Kil	
99		20.40		Kumlu Kil	
100		20.60		Kumlu Kil	
101		20.80		Kumlu Kil	
102		21.00		Kumlu Kil	
103		21.20		Kumlu Kil	
104		21.40		Kumlu Kil	
105		21.60		Kumlu Kil	
106		21.80		Kumlu Kil	
107		22.00		Kumlu Kil	
108		22.20		Kumlu Kil	
109		22.40		Kumlu Kil	
110		22.60		Kumlu Kil	
111		22.80		Kumlu Kil	
112		23.00		Kumlu Kil	
113		23.20		Kumlu Kil	
114		23.40		Kumlu Kil	
115		23.60		Kumlu Kil	
116		23.80		Kumlu Kil	
117		24.00		Kumlu Kil	
118		24.20		Kumlu Kil	
119		24.40		Kumlu Kil	
120		24.60		Kumlu Kil	
121		24.80		Kumlu Kil	
122		25.00		Kumlu Kil	
123		25.20		Kumlu Kil	
124		25.40		Kumlu Kil	
125		25.60		Kumlu Kil	
126		25.80		Kumlu Kil	
127		26.00		Kumlu Kil	
128		26.20		Kumlu Kil	
129		26.40		Kumlu Kil	
130		26.60		Kumlu Kil	
131		26.80		Kumlu Kil	
132		27.00		Kumlu Kil	
133		27.20		Kumlu Kil	
134		27.40		Kumlu Kil	
135		27.60		Kumlu Kil	
136		27.80		Kumlu Kil	
137		28.00		Kumlu Kil	
138		28.20		Kumlu Kil	
139		28.40		Kumlu Kil	
140		28.60		Kumlu Kil	
141		28.80		Kumlu Kil	
142		29.00		Kumlu Kil	
143		29.20		Kumlu Kil	
144		29.40		Kumlu Kil	
145		29.60		Kumlu Kil	
146		29.80		Kumlu Kil	
147		30.00		Kumlu Kil	
148		30.20		Kumlu Kil	
149		30.40		Kumlu Kil	
150		30.60		Kumlu Kil	
151		30.80		Kumlu Kil	
152		31.00		Kumlu Kil	
153		31.20		Kumlu Kil	
154		31.40		Kumlu Kil	
155		31.60		Kumlu Kil	
156		31.80		Kumlu Kil	
157		32.00		Kumlu Kil	
158		32.20		Kumlu Kil	
159		32.40		Kumlu Kil	
160		32.60		Kumlu Kil	
161		32.80		Kumlu Kil	
162		33.00		Kumlu Kil	
163		33.20		Kumlu Kil	
164		33.40		Kumlu Kil	
165		33.60		Kumlu Kil	
166		33.80		Kumlu Kil	
167		34.00		Kumlu Kil	
168		34.20		Kumlu Kil	
169		34.40		Kumlu Kil	
170		34.60		Kumlu Kil	
171		34.80		Kumlu Kil	
172		35.00		Kumlu Kil	
173		35.20		Kumlu Kil	
174		35.40		Kumlu Kil	
175		35.60		Kumlu Kil	
176		35.80		Kumlu Kil	
177		36.00		Kumlu Kil	
178		36.20		Kumlu Kil	
179		36.40		Kumlu Kil	
180		36.60		Kumlu Kil	
181		36.80		Kumlu Kil	
182		37.00		Kumlu Kil	
183		37.20		Kumlu Kil	
184		37.40		Kumlu Kil	
185		37.60		Kumlu Kil	
186		37.80		Kumlu Kil	
187		38.00		Kumlu Kil	
188		38.20		Kumlu Kil	
189		38.40		Kumlu Kil	
190		38.60		Kumlu Kil	
191		38.80		Kumlu Kil	
192		39.00		Kumlu Kil	
193		39.20		Kumlu Kil	
194		39.40		Kumlu Kil	
195		39.60		Kumlu Kil	
196		39.80		Kumlu Kil	
197		40.00		Kumlu Kil	
198		40.20		Kumlu Kil	
199		40.40		Kumlu Kil	
200		40.60		Kumlu Kil	
201		40.80		Kumlu Kil	
202		41.00		Kumlu Kil	
203		41.20		Kumlu Kil	
204		41.40		Kumlu Kil	
205		41.60		Kumlu Kil	
206		41.80		Kumlu Kil	
207		42.00		Kumlu Kil	
208		42.20		Kumlu Kil	
209		42.40		Kumlu Kil	
210		42.60		Kumlu Kil	
211		42.80		Kumlu Kil	
212		43.00		Kumlu Kil	
213		43.20		Kumlu Kil	
214		43.40		Kumlu Kil	
215		43.60		Kumlu Kil	
216		43.80		Kumlu Kil	
217		44.00		Kumlu Kil	
218		44.20		Kumlu Kil	
219		44.40		Kumlu Kil	
220		44.60		Kumlu Kil	
221		44.80		Kumlu Kil	
222		45.00		Kumlu Kil	
223		45.20		Kumlu Kil	
224		45.40		Kumlu Kil	
225		45.60		Kumlu Kil	
226		45.80		Kumlu Kil	
227		46.00		Kumlu Kil	
228		46.20		Kumlu Kil	
229		46.40		Kumlu Kil	
230		46.60		Kumlu Kil	
231		46.80		Kumlu Kil	
232		47.00		Kumlu Kil	
233		47.20		Kumlu Kil	
234		47.40		Kumlu Kil	
235		47.60		Kumlu Kil	
236		47.80		Kumlu Kil	
237		48.00		Kumlu Kil	
238		48.20		Kumlu Kil	
239		48.40		Kumlu Kil	
240		48.60		Kumlu Kil	
241		48.80		Kumlu Kil	
242		49.00		Kumlu Kil	
243		49.20		Kumlu Kil	
244		49.40		Kumlu Kil	
245		49.60		Kumlu Kil	
246		49.80		Kumlu Kil	
247		50.00		Kumlu Kil	
248		50.20		Kumlu Kil	
249		50.40		Kumlu Kil	
250		50.60		Kumlu Kil	
251		50.80		Kumlu Kil	
252		51.00		Kumlu Kil	
253		51.20		Kumlu Kil	
254		51.40		Kumlu Kil	
255		51.60		Kumlu Kil	
256		51.80		Kumlu Kil	
257		52.00		Kumlu Kil	
258		52.20		Kumlu Kil	
259		52.40		Kumlu Kil	

Tablo 4.3 Geoteknik Rapor.

KOCAELİ İLİ – GEBZE İLÇESİ - GEBZE BELEDİYESİ, PAFTA:88,89 - ADA:4 - PARSEL:24
SONDAJA DAYALI ZEMİN VE TEMEL ETÜT RAPORU

GEOTEKNİK RAPOR	
PROJE ADI	ZEMİN VE TEMEL ETÜT RAPORU
İŞİN SAHİBİ	GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ MALZEME BÖLÜMÜ
İL-İLÇE-MAHALLE / PAFTA-ADA-PARSEL	Kocaeli İli, Gebze İlçesi, Gebze Belediyesi - 88,89 / 4 / 24
ALAN	2500 m ²
JEOLOJİK ÖZELLİKLER	KİL, KUMLU KİL
GEOTEKNİK ÖZELLİKLER	
DEPREM BÖLGESİ	1. DERECE DEPREM BÖLGESİ
BİNA ÖNEM KATSAYISI	1
YERALTI SU SEVİYESİ	6.00-6.30 m
ZEMİN GRUBU	C GRUBU
ZEMİN KARAKTERİSTİK PERİYODU	TA=0.45 - TB=0.60
ETKİN YER İVME KATSAYISI	A ₀ =0.40 g
KAYMA DALGA HIZLARI	V _{s1} =127-138 m/sn, V _{s2} =353-365 m/sn
ZEMİN HAKİM PERİYODU	T ₀ =0.58 sn
ZEMİN BÜYÜTMESİ	2.9
ZEMİN SINIFI	Z ₃
ZEMİN EMNİYET GERİLMESİ	1.18-1.27 kg/cm ²
YATAK KATSAYISI	1923-1996 ton/m ³
SÖKÜLEBİLİRLİK ÖZELLİKLERİ	KOLAY SÖKÜLEBİLİR ORTAM
TEMEL ZEMİNİN KOROZYON ÖZELLİKLERİ	KOROZİF
TEMEL DERİNLİĞİ	1.50-2.00 m
SONUÇ ÖNERİLER	DRENAJ HENDEĞİ TEMEL KAZI DERİNLİĞİNDEN DAHA DERİNDE OLMALIDIR.
RAPORU YAZAN GEOTEKNİK UZMANI (İNŞAAT MÜH.)	 Sorumlu İnşaat Mühendisi Adı - Soyadı : Tuncer Baktır Ofis No : 43215 T.C. Kimlik No : 43504194519 Tarih : 10.04.2024

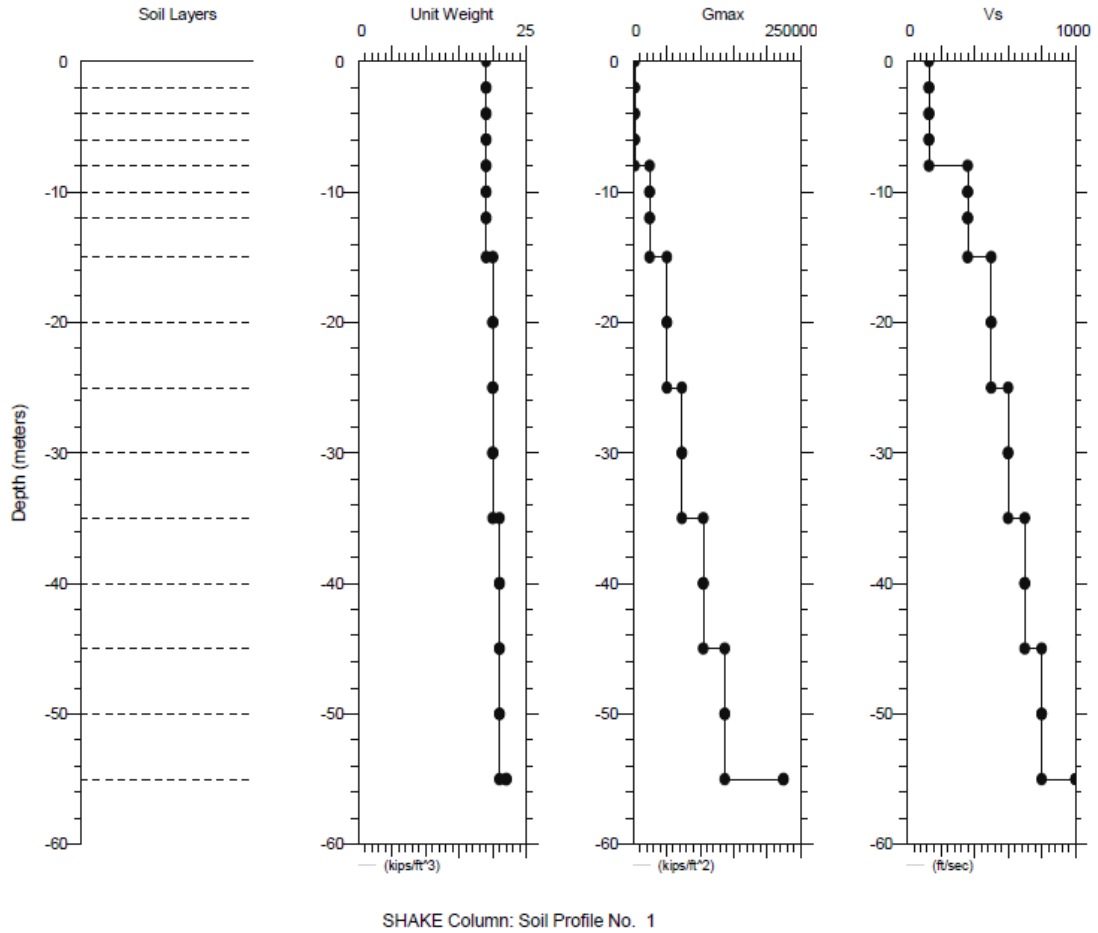
Tablo 4.3'de verilen rapordan esinlenilerek aşağıdaki zemin kesiti oluşturuldu:



Şekil 4.7 GYTE Çayırova Kampüsü için oluşturulan idealize zemin profili(kesiti).

Tablo 4.4 Zemin profili oluştururken kullanılan zeminlerin özellikleri(Shake2000).

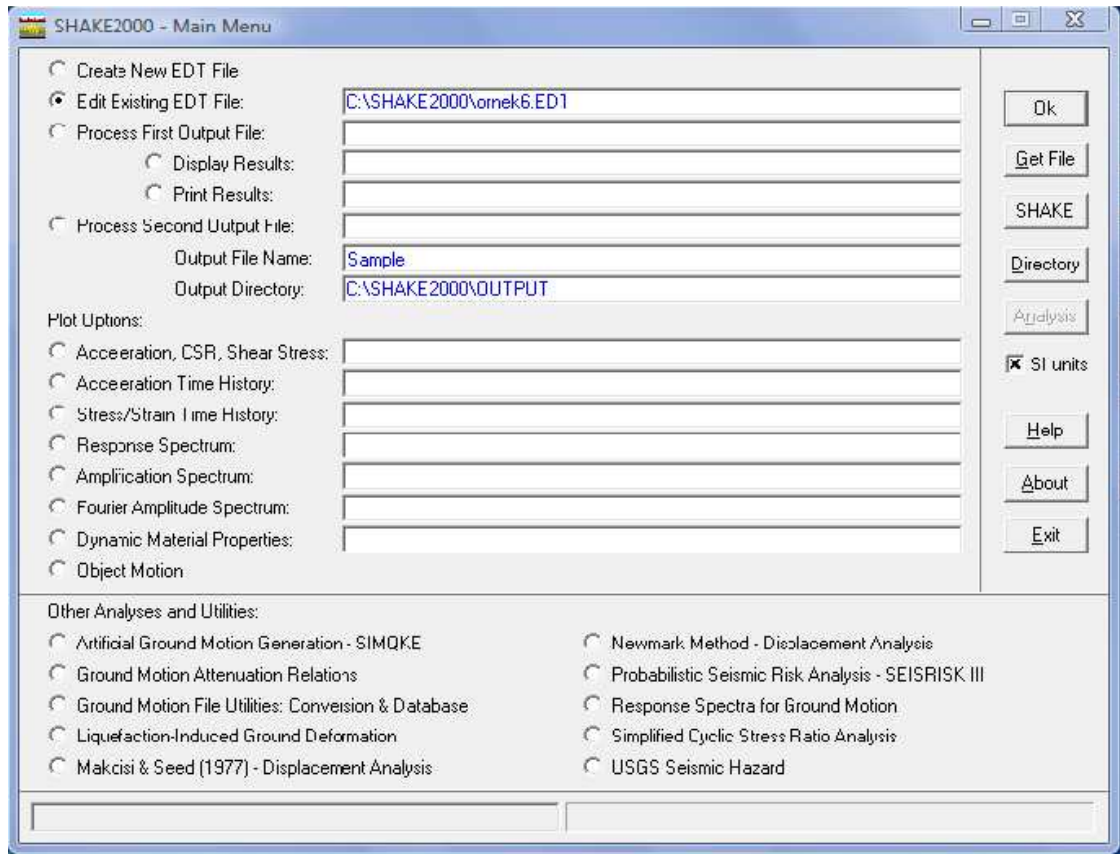
No	Zemin	Moduli	Damping
1	Sand S1	G/Gmax- S1 (Sand CP<1.0 KSC)	Damping for Sand Lower Bound (Seed & Idriss, 1970)
2	Rock	G/Gmax- Rock (Schnabel 1973)	Damping for Rock (Schnabel, 1973)
3	Clay PI=20	G/Gmax- C3 (Clay PI=20-40 Sun et al. 1988)	Damping for Soil with PI=30, OCR=1-8 (Vucetic&Dobry JGE 1/91)
4	Clay PI>80	G/Gmax- C5 (Clay PI>80 Sun et al. 1988)	Damping for Clay 24.May.1972
5	Sand S3	G/Gmax- S3 (Sand CP>3.0 KSC)	Damping for Sand Average (Seed&Idriss, 1970)
6	Clay PI=40	G/Gmax- C4 (PI=40-80, Sun et al. 1988)	Damping for Clay (Idriss, 1990)
7	Sand Avg.	G/Gmax- Sand Average (Seed&Idriss, 1970)	Damping for Sand Average (Seed&Idriss, 1970)
8	Clay PI=10	G/Gmax- C2(Clay PI=10-20 Sun et al. 1988)	Damping for Clay 24.May.1972



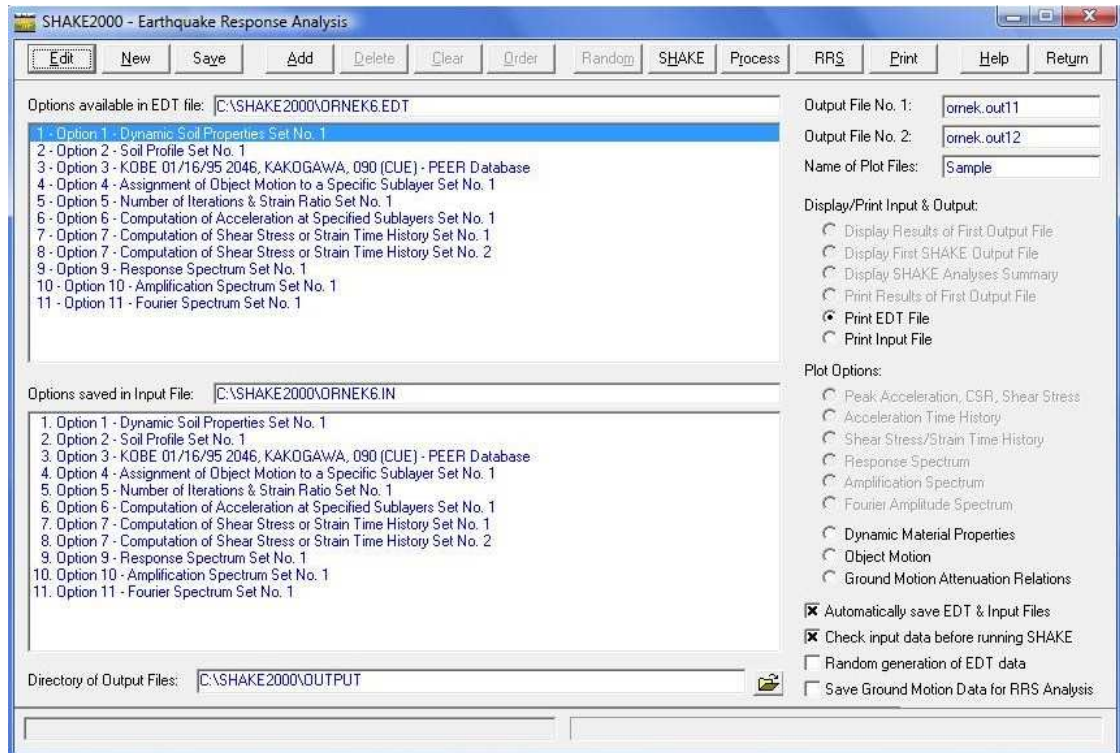
Şekil 4.8 GYTE Çayırova Kampüsü için oluşturulan idealize zemin profili (Shake2000’de gösterimi).

4.3 SHAKE2000’in Kullanılışı ve Menüleri

Shake2000, 1-D analizler yapan bir bilgisayar programıdır ve datalar da buna uygun olarak programa girilmelidir. Zemin kesitinin ve zemini oluşturan malzemelerin belirlenmesinden sonra datalar programın istediği ve kabul ettiği sıra ile girilmelidir. İlk olarak zemini oluşturan malzemelerin özellikleri seçilir, arkasından da zemin kesiti derinliklere ve tabakalara bağlı olarak programa işlenir. Üçüncü adımda, deprem kaydı, dördüncü adımda ise; deprem kaydının zeminin hangi kesitinden uygulanacağı belirtilir. Beşinci adımda; programın çözüm yaparken kaç defa iterasyon yapacağı, altıncı adımda ise; hangi tabakalarda, maksimum ivmeleri bulmak istediğimiz belirtilir. Yedinci ve sonraki adımlarda ise; kayma gerilmesi, büyütme spektrumu, ve davranış spektrumu ile ilgili bilgiler girilir.



Şekil 4.9 SHAKE2000 programının ana menüsü.



Şekil 4.10 Programda analiz yaparken girilen seçeneklerin birlikte gösterildiği tablo.

SHAKE2000 - Option 1 Editor: Dynamic Material Properties

Next Save Damping MAT New Dbase Delete Used Model Help Return

Set No.: 1 Dynamic Material Properties - Set Identification: Option 1 - Dynamic Soil Properties Set No. 1

No. Materials: 11 Material No.: 3 Material Name: Clay PI=20

No. Strain: 10 Identification for this set of Modulus Reduction Values: G/Gmax - C3 (CLAY PI =20-40, Sun et al. 199)

Strain values (in percent):

.0001	.001	.00316	.01	.0316	.1	.316
1	3.16	10				

Values of Modulus Reduction (G/Gmax):

1	.999	.98	.92	.78	.532	.293
.137	.075	.025				

Material Properties Model:

- ☒ Darendeli, M.B. (2001)
- ☐ Ishibashi & Zhang (1993)
- ☐ Zhang, Andrus & Juang (2005)

Şekil 4.11 Zemin tabakalarının özelliklerinin girildiği bölüm (Option 1).

SHAKE2000 - Option 2 Editor: Soil Profile

Print Plot Layer Remove GmaxEq Gmax Help Return

Set No.: 1 Soil Profile - Set Identification: Option 2 - Soil Profile Set No. 1

Soil Profile No.: 1 No. Sublayers: 16 Identification for Soil Profile: Soil Profile No. 1

Layer Number	Soil Type	Thickness (m)	Shear Moduli (kN/m ²)	Damping (decimal)	Unit Weight (kN/m ³)	Shear Wave (m/sec)
1	3	2		.05	19	130
2	3	2		.05	19	130
3	3	2		.05	19	130
4	3	2		.05	19	130
5	3	2		.05	19	360
6	3	2		.05	19	360
7	3	3		.05	19	360
8	11	5		.05	20	500
9	11	5		.05	20	500
10	11	5		.05	20	600

Şekil 4.12 Zemin Profili oluşturulurken SHAKE2000'e girilen datalar (Option 2).

SHAKE2000 - Option 2 Editor: Soil Profile

Print Plot Layer Remove GmaxEq Gmax Help Return

Set No.: 1 Soil Profile - Set Identification: Option 2 - Soil Profile Set No. 1

Soil Profile No. 1 No. Sublayers: 16 Identification for Soil Profile: Soil Profile No. 1

Layer Number	Soil Type	Thickness (m)	Shear Moduli (kN/m ²)	Damping (decimal)	Unit Weight (kN/m ³)	Shear Wave (m/sec)
9	11	5		.05	20	500
10	11	5		.05	20	600
11	11	5		.05	20	600
12	11	5		.05	21	700
13	11	5		.05	21	700
14	11	5		.05	21	800
15	11	5		.05	21	800
16	2			.05	22	1000
17						
18						

Şekil 4.13 Zemin Profili oluşturulurken SHAKE2000'e girilen datalar(Option 2).

SHAKE2000 - Option 3 Editor: Input (Object) Motion

Quakes Other Convert View Plot Help Return

Set No.: 1 Input (Object) Motion - Set Identification: Option 3 - K08E 01/16/95 2046, KAKOGAWA, 090 (CUE) - PEER Database

Acceleration Values: 4092 No. Fourier Values: 8192 Time Interval: .01 Format of Object Motion File: (6E15.7)

Name and Path of Object Motion File: C:\SHAKE2000\QUAKES\kak090.eq

Multiplication Factor: 1 Maximum Acceleration: Maximum Frequency: 15 No. Header Lines: 4 Acceleration Values/Line: 6

Şekil 4.14 Deprem kaydının seçildiği menü(Option 3).

SHAKE2000 - Option 6 Editor: Acceleration at Top of Sublayers

Help Return

Set No.: Acceleration at Top of Sublayers - Set Identification:

1 Option 6 - Computation of Acceleration at Specified Sublayers Set No. 1

Sublayers for which acceleration time histories are computed:

1 4 7 8 10 12 14 15 16

Type of each sublayer: 0 (zero) for outcrop or 1 (one) for within soil profile:

0 1 1 1 1 1 1 1 1

Output mode for computed accelerations: 0 if only maximum acceleration; or 1 for maximum acceleration and time history:

1 0 0 1 0 0 0 0 1

Şekil 4.15 İvmelerin hangi katmanlarda (layer) alınacağını belirlediği bölüm (Option 6).

SHAKE2000 - Option 7 Editor: Shear Strain and/or Stress Time History

Help Return

Set No.: Shear Strain or Stress History - Set Identification:

1 Option 7 - Computation of Shear Stress or Strain Time History Set No. 1

Sublayer No.:	Stress/Strain:	Save History:	No. Values:	Identification:
2	1	1	2048	Stress History Layer No. 1
2	0	1	2048	Strain History Layer No. 1

Şekil 4.16 Kayma gerilmesinin belirleneceği alanlar (Option 7).

BÖLÜM 5. SHAKE2000 PROGRAMI KULLANILARAK YAPILAN UYGULAMALAR

5.1 Örnekleme İçin Seçilen Depremler

GYTE Çayırova Kampüsü için idealize zemin kesiti belirlendikten sonra SHAKE2000 programında bulunan deprem kayıtlarından 9 tanesi ve PEER Database’den alınan 3 kayıt ile birlikte toplam 12 kayıt kullanıldı.

Tablo 5.1 Kullanılan Deprem kayıtları

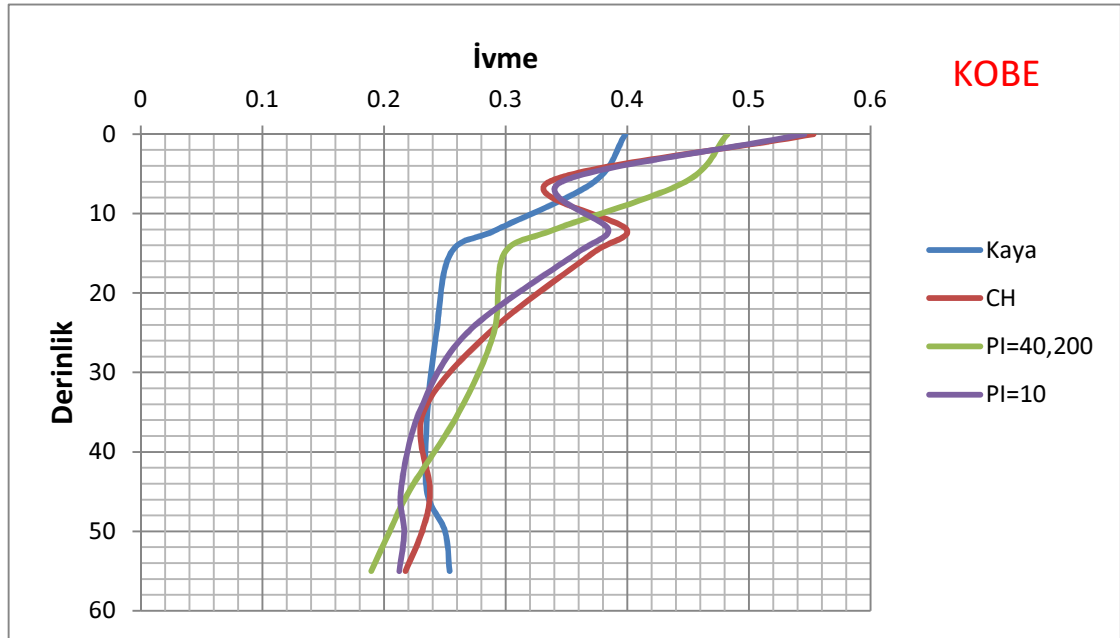
<u>DEPREMLER</u>	SHAKE2000 DB	PEER DB
1- KOBE 01/16/95 2046, KAKOGAWA, 090(CUE)	X	X
2- YERBA BUENA ISLAND 90 DEG.	X	
3- ERZİNCAN 03/13/92 1719 ERZİKAN UP COMP.	X	X
4- N. PALM SPRİNGS 07/08/86 - 090 DESERT HOT SPRİNGS	X	X
5- NORTHRİDGE EQ 1/17/94 12:31 BURBANK-HOWARD, 330(USC STATION)	X	X
6- LOMA PRIETA EARTHQUAKE, LOS GATOS PRESANTATION CENTER RECORD 10/18/89 - 090 COMPONENT- NEAR FAULT ROCK	X	X
7- KOBE 01/16/95 2046, CHIHAYA, 090 (CEOR)	X	X
8- LOMA PRIETA 10/18/89 00:05 CAPİTOLA 090 (CDMG STATION)	X	X
9- NORTHRİDGE EQ 1/17/94 12:31 BEVERLY HİLLS-14145 MULH, 090	X	X
10- KOCAELİ 08/17/99, İZMIT, 180 (ERD)		X
11- DUZCE 11/12/99, DUZCE, 180 (ERD)		X
12- CHI CHI 09/20/99, CHY002, E (CWB)		X

5.2 Uygulamalar

Örnek 1: Yukarıda verilen sondaj sonuçları ve profili oluşturulan zemin kesitinde, ilk 15 metredeki zemin özellikleri her denemede sabit alınmış olup; geri kalan 40 metre, çeşitli zeminler(kaya, kum, kil) ile denenmiştir.

Tablo 5.2 Kobe Earthquake 01/16/95 2046 Kakogawa, 090(CUE)-(Peer Database) deprem kaydının kullanılmasıyla alınan sonuçlar.(Shake2000).

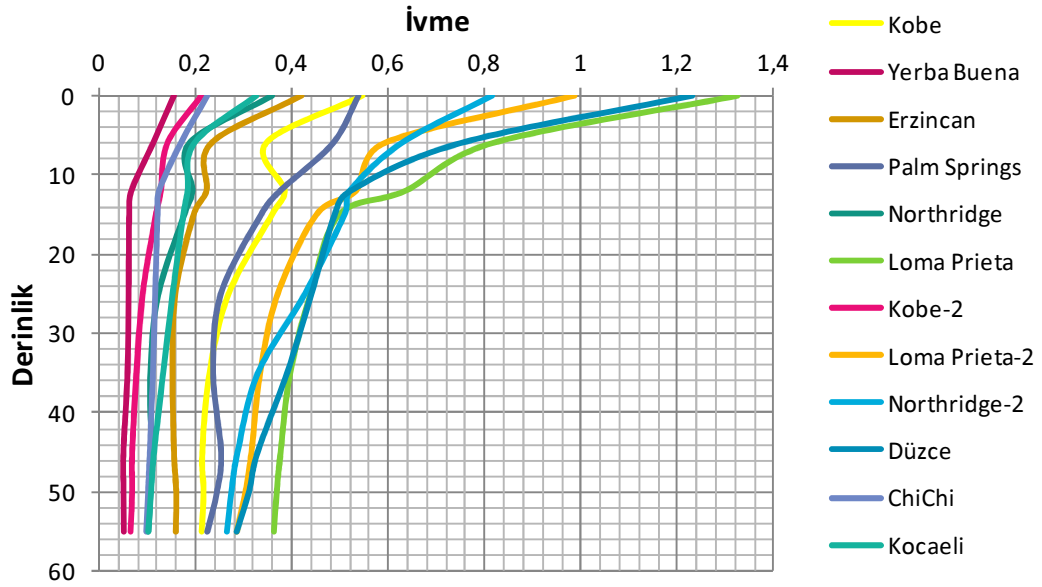
KOBE DEPREMİ:		MAKSİMUM İVMELER			
Derinlik(feet)	Derinlik(metre)	Kaya	CH	PI=40,200	Kil PI=10
0	0	0,39838	0,55315	0,48238	0,54554
20	6	0,37265	0,33579	0,44769	0,34595
39	12	0,29299	0,39942	0,34027	0,38445
49	15	0,25483	0,37121	0,29889	0,35821
82	25	0,24312	0,28637	0,29029	0,26837
115	35	0,23572	0,23217	0,26145	0,22891
147	45	0,23514	0,23775	0,22116	0,21393
164	50	0,25026	0,23128	0,20468	0,2165
180	55	0,25395	0,21762	0,18951	0,21253



Şekil 5.1 Kobe Earthquake 01/16/95 2046 Kakogawa, 090(CUE)-(Peer Database) deprem kaydının kullanılmasıyla alınan sonuçlar. Maksimum ivmelerin derinlikle değişimi.

Tablo 5.3 Seçilen depremlerin en büyük ivmelerinin derinlikle değişimi.

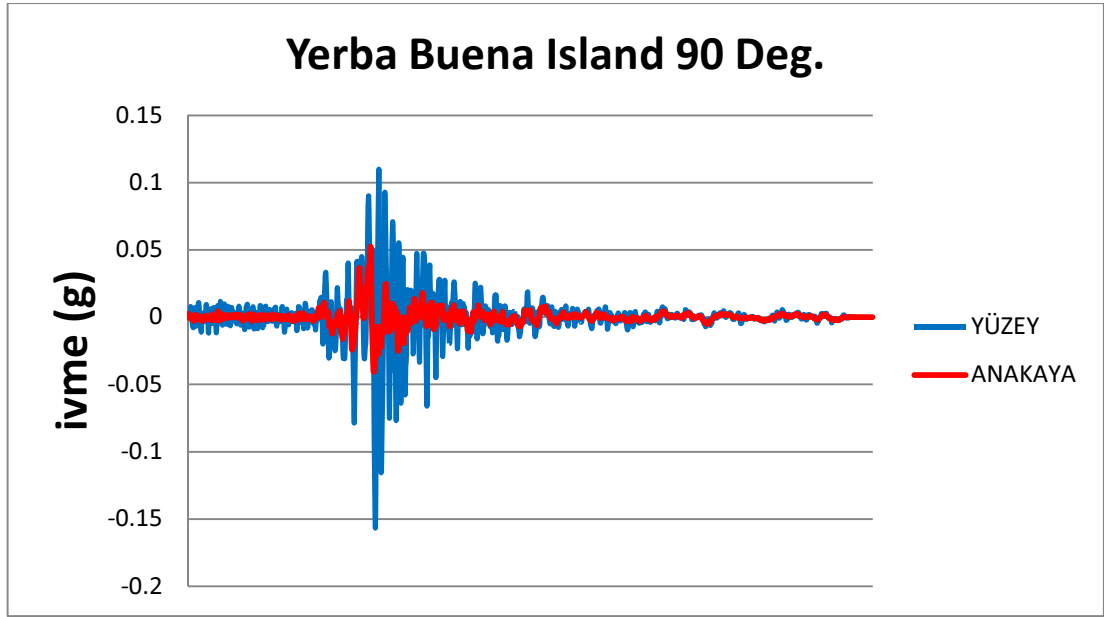
<u>Derinlik(m.)</u>	Kobe	Yerba Buena	Erzincan	Loma Prieta	Palm Springs	Kocaeli
0	0.54554	0.15672	0.42032	1.32473	0.53952	0.32617
6	0.34595	0.11347	0.2341	0.81552	0.48603	0.19764
12	0.38445	0.06832	0.22418	0.6364	0.37544	0.18415
15	0.35821	0.06381	0.1978	0.49894	0.33537	0.1752
25	0.26837	0.06269	0.16001	0.43966	0.2509	0.15305
35	0.22891	0.06016	0.15427	0.39715	0.2349	0.13352
45	0.21393	0.0518	0.15718	0.37733	0.25149	0.11452
50	0.2165	0.05216	0.16176	0.36932	0.24277	0.10843
55	0.21253	0.05245	0.16098	0.3637	0.22239	0.1027
<u>Derinlik(m.)</u>	Northridge	ChiChi	Kobe-2	Loma Prieta-2	North ridge-2	Düzce
0	0.35986	0.22416	0.21148	0.98673	0.8156	1.23187
6	0.18639	0.17006	0.14155	0.5924	0.62689	0.74953
12	0.19295	0.12588	0.12828	0.53429	0.51999	0.52237
15	0.17584	0.12283	0.11806	0.45248	0.50851	0.4893
25	0.12164	0.118	0.0909	0.37225	0.42614	0.44106
35	0.10457	0.11333	0.07807	0.33585	0.32832	0.39033
45	0.10751	0.10704	0.06925	0.31766	0.2861	0.3291
50	0.1052	0.10359	0.06917	0.30519	0.27323	0.31122
55	0.10035	0.09996	0.06608	0.28715	0.26379	0.28581



Şekil 5.2 Seçilen depremlerin en büyük ivmelerinin derinlikle değişimi.

Örnek 2: Şekil 4.7’de gösterilen Zemin kesiti ve Peer Database’den alınan Yerba Buena Island 90 deg. kaydının kullanılmasıyla; yüzeyde Max.acc=0.15672; anakayada(55 m. Derinde) ise Max.acc=0.05245 değerleri elde edilmiştir.

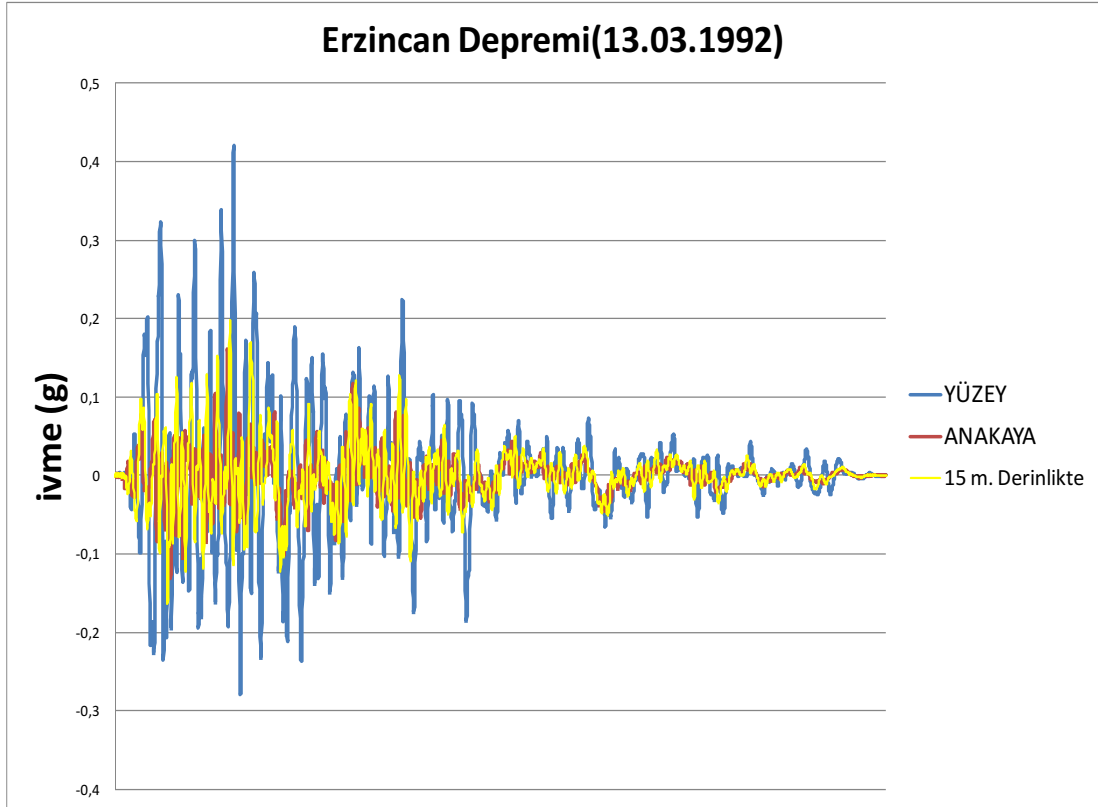
$$\frac{0.15672}{0.05245} = 2.988 \text{ yaklaşık 3 katı bir zemin büyütmesine karşılık gelmektedir.}$$



Şekil 5.3 Yerba Buena kaydının ivmesinin yüzey ve anakayada karşılaştırması.

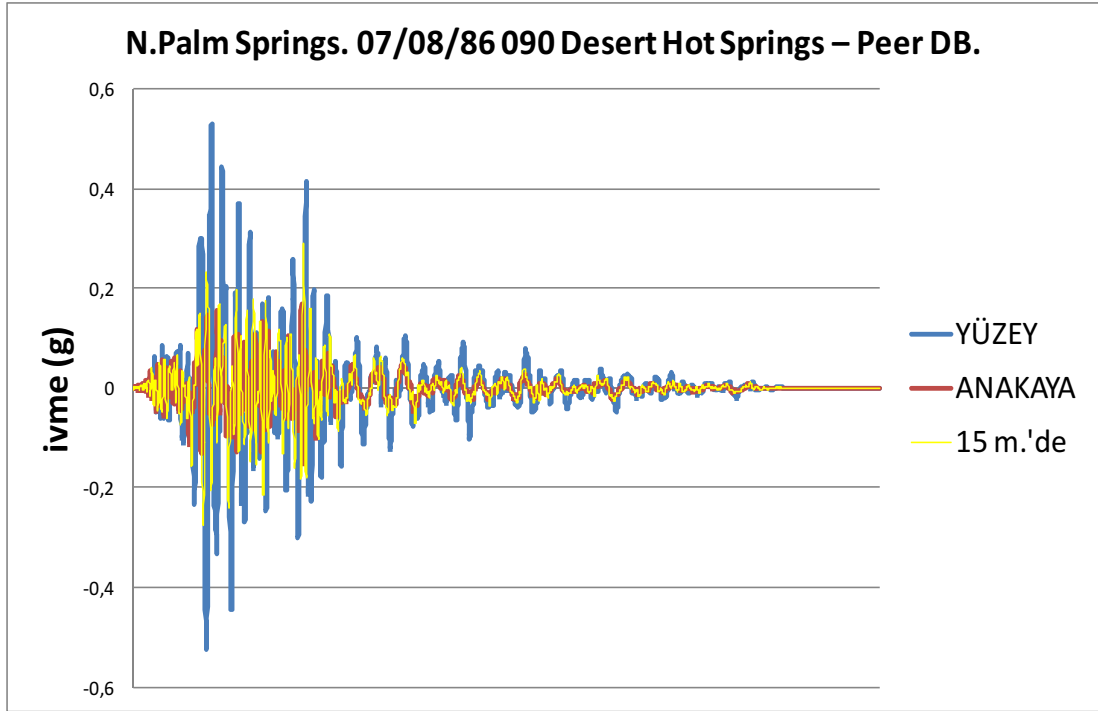
Örnek 3: Erzincan Depremi – 03/13/92 1719, ERZİKAN UP COMP. depreminin kullanılmasıyla, yüzeyde maksimum ivme=0.42032; anakayada(55 m. derinde) ise, maksimum ivme=0.16098 değerleri elde edilmiştir.

$$\frac{0.42032}{0.16098} = 2.611 \text{ kat büyütme tespit edilmiştir.}$$



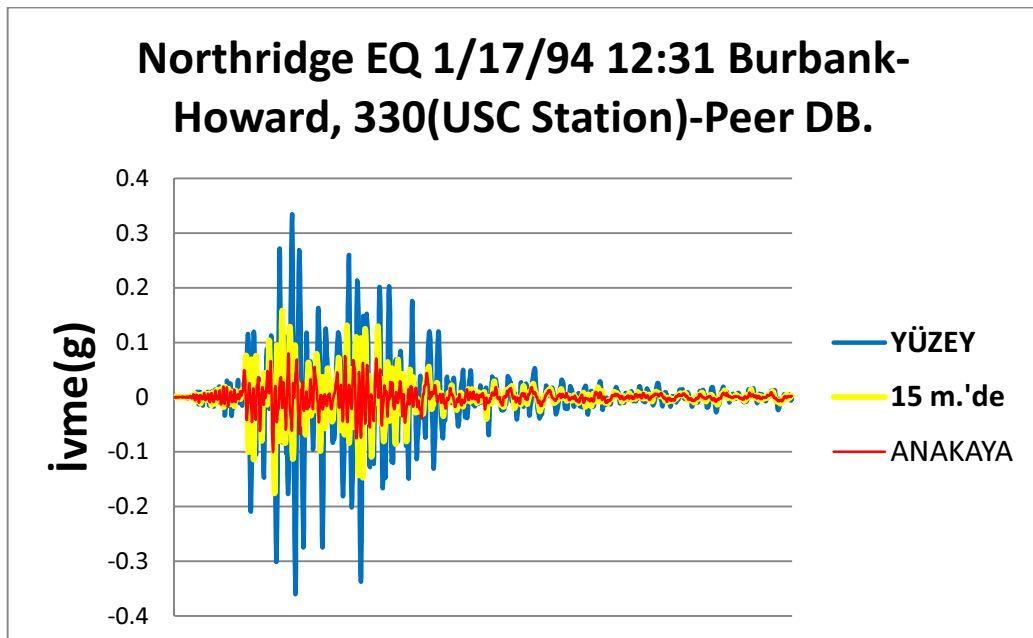
Şekil 5.4 Erzincan kaydının ivmesinin yüzey, anakaya ve 15 m. derinlikte karşılaştırması.

Örnek 4: N.Palm Springs. 07/08/86 090 Desert Hot Springs – Peer DB. depreminin kullanılmasıyla; yüzeyde maksimum ivme=0.53952; anakayada ise, 0.22239 değerleri elde edilmiştir.



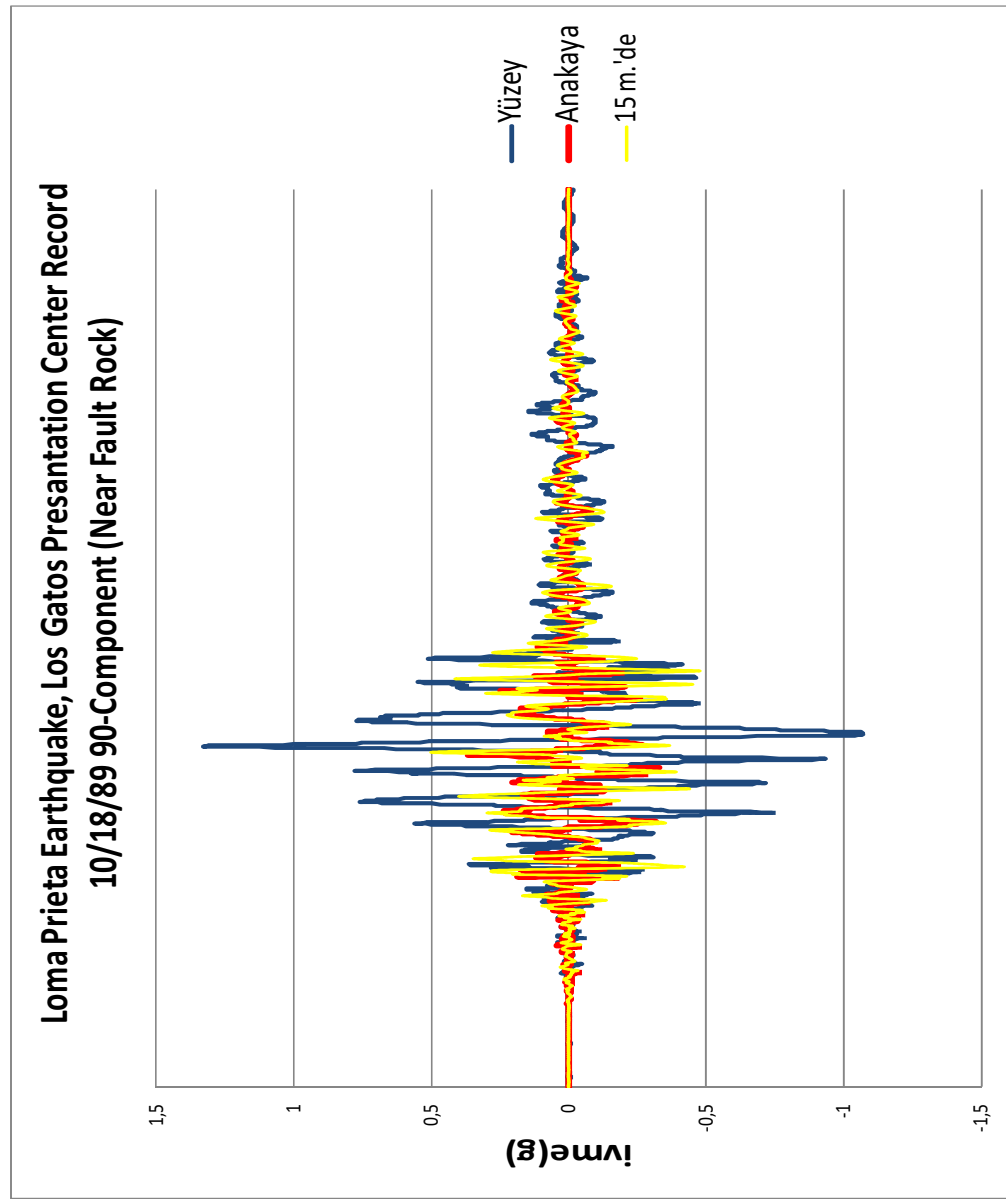
Şekil 5.5 N.Palm Springs kaydının ivmesinin yüzey-anakaya ve 15 m. derinlikte karşılaştırması.

Örnek 5: Northridge EQ 1/17/94 12:31 Burbank-Howard, 330(USC Station)-Peer



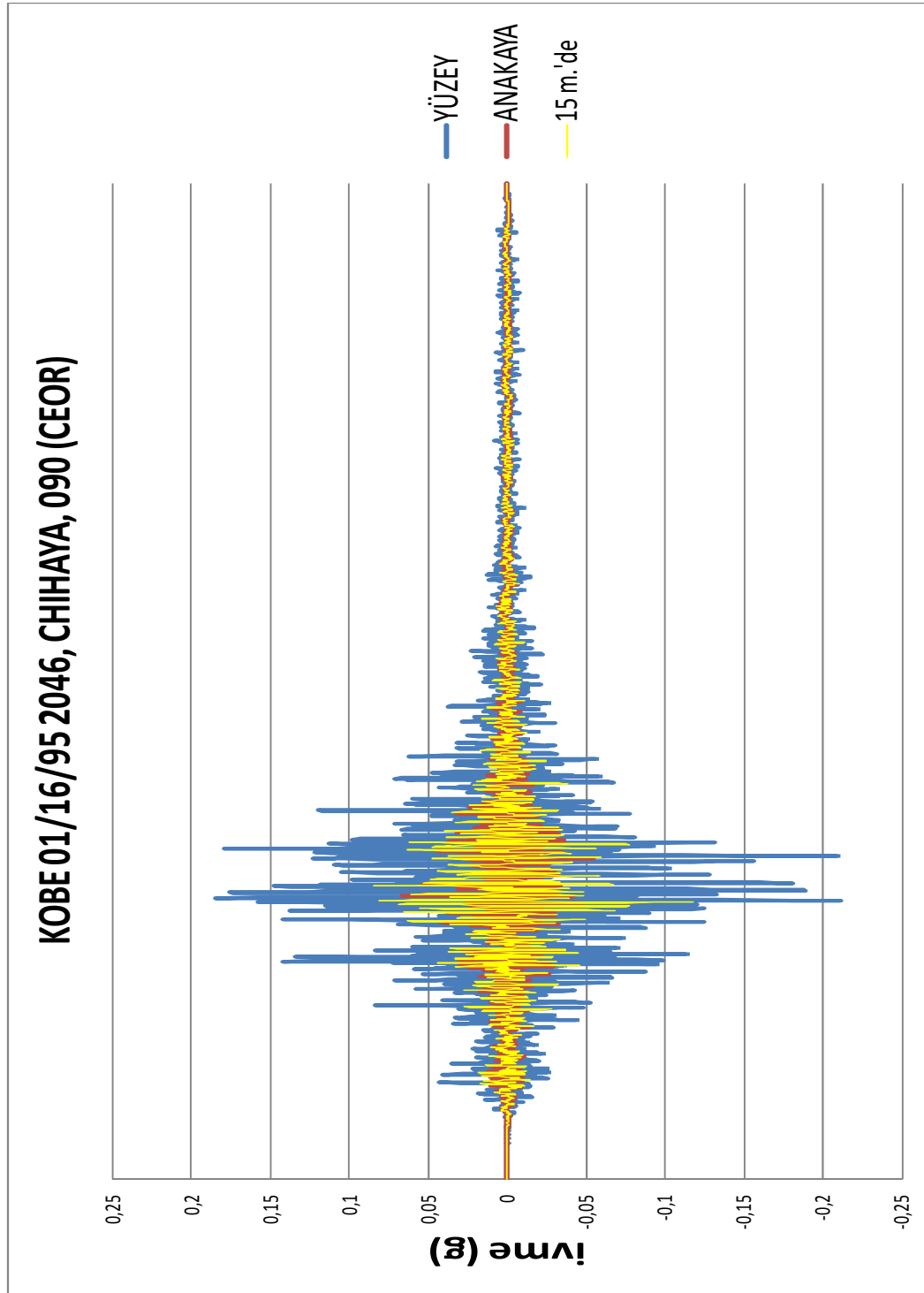
Şekil 5.6 Northridge kaydının ivmesinin yüzey-anakaya ve 15 m. derinlikte karşılaştırması.

Örnek 6: Loma Prieta Earthquake, Los Gatos Presentation Center Record 10/18/89
90-Component (Near Fault Rock)



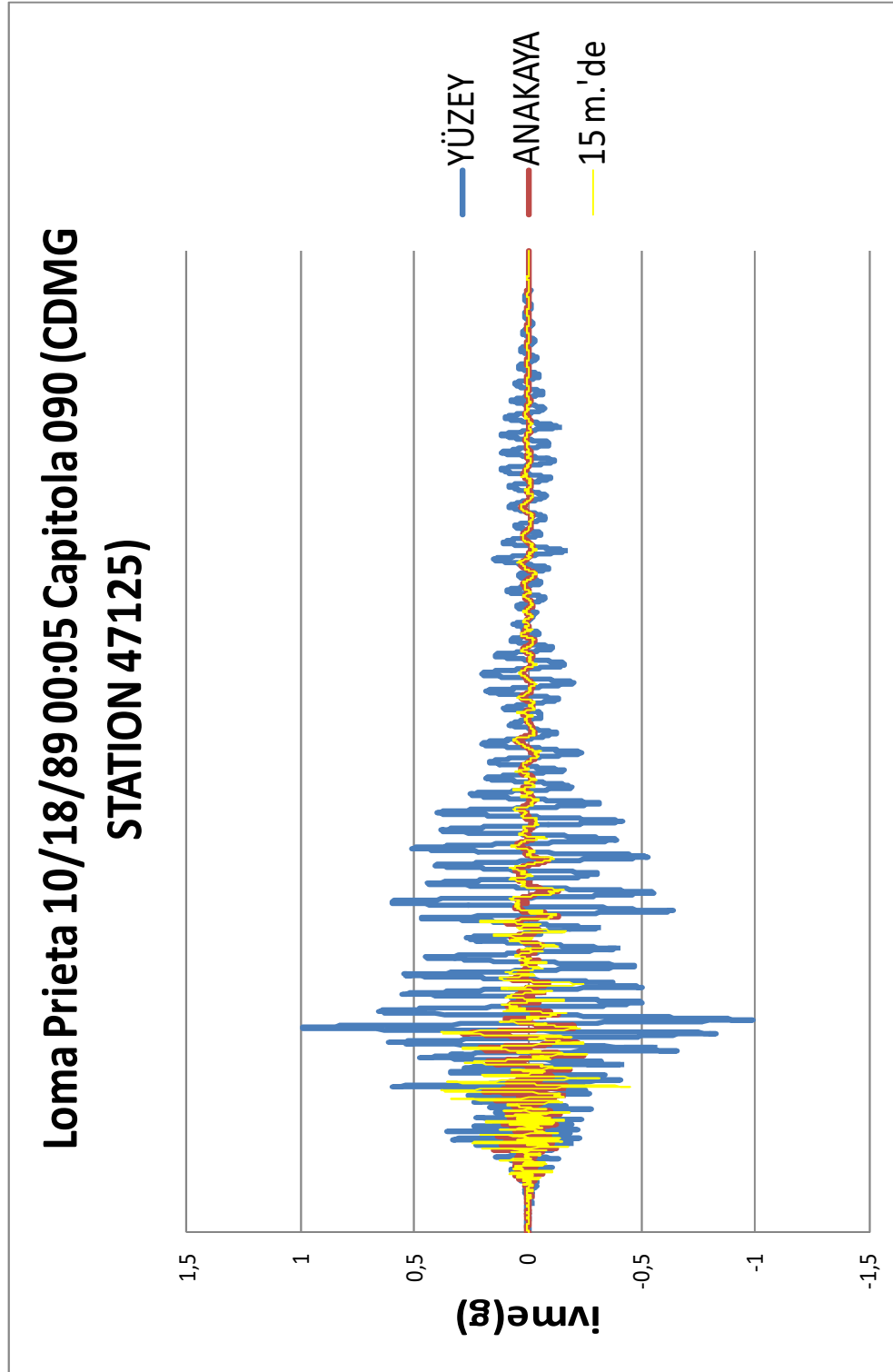
Şekil 5.7 Loma Prieta deprem kaydının ivmesinin yüzey, anakaya ve 15 m. derinlikte karşılaştırması.

Örnek 7: Kobe 01/16/95 2046, CHIHAYA, 090 (CEOR) – Peer DB. (Kobe-2)



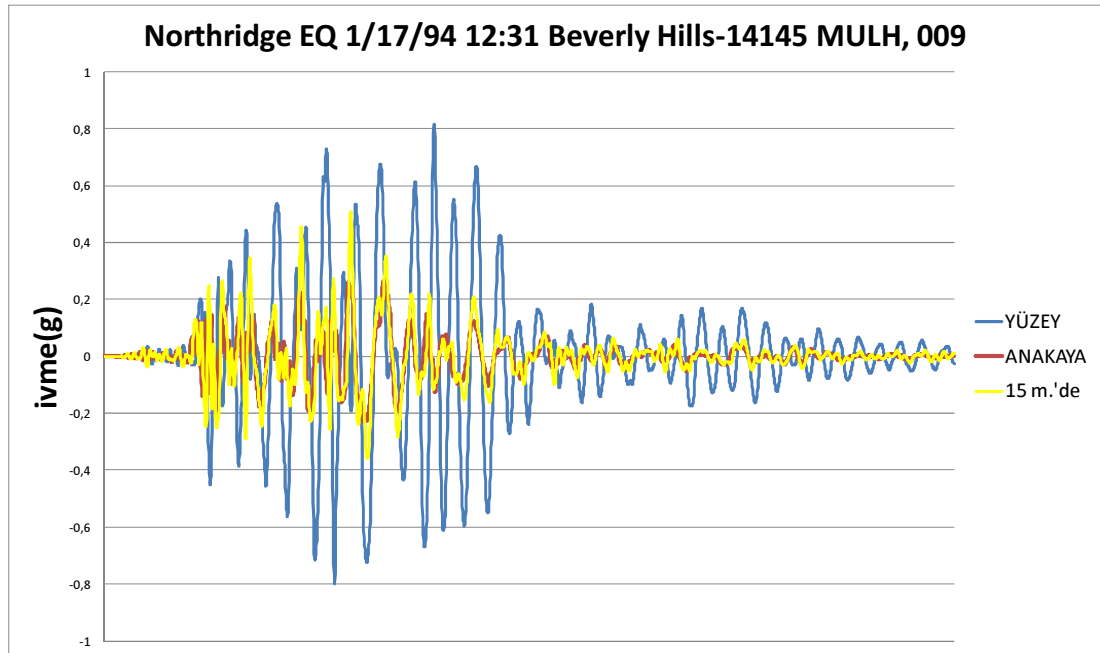
Şekil 5.8 Kobe-2 kaydının ivmesinin yüzey, anakaya ve 15 m. derinlikte karşılaştırması.

Örnek 8: Loma Prieta 10/18/89 00:05 Capitola, 090 (CDMG STATION 47125) Peer DB. (Loma Prieta-2)



Şekil 5.9 Loma Prieta-2 kaydının ivmesinin yüzey, anakaya ve 15 m. derinlikte karşılaştırması.

Örnek 9: Northridge EQ 1/17/94 12:31 Beverly Hills – 14145 MULH, 090 (USC STATION 90013) – Peer DB. (Northridge-2)



Şekil 5.10 Northridge-2 kaydının ivmesinin yüzey, anakaya ve 15 m. derinlikte karşılaştırması.

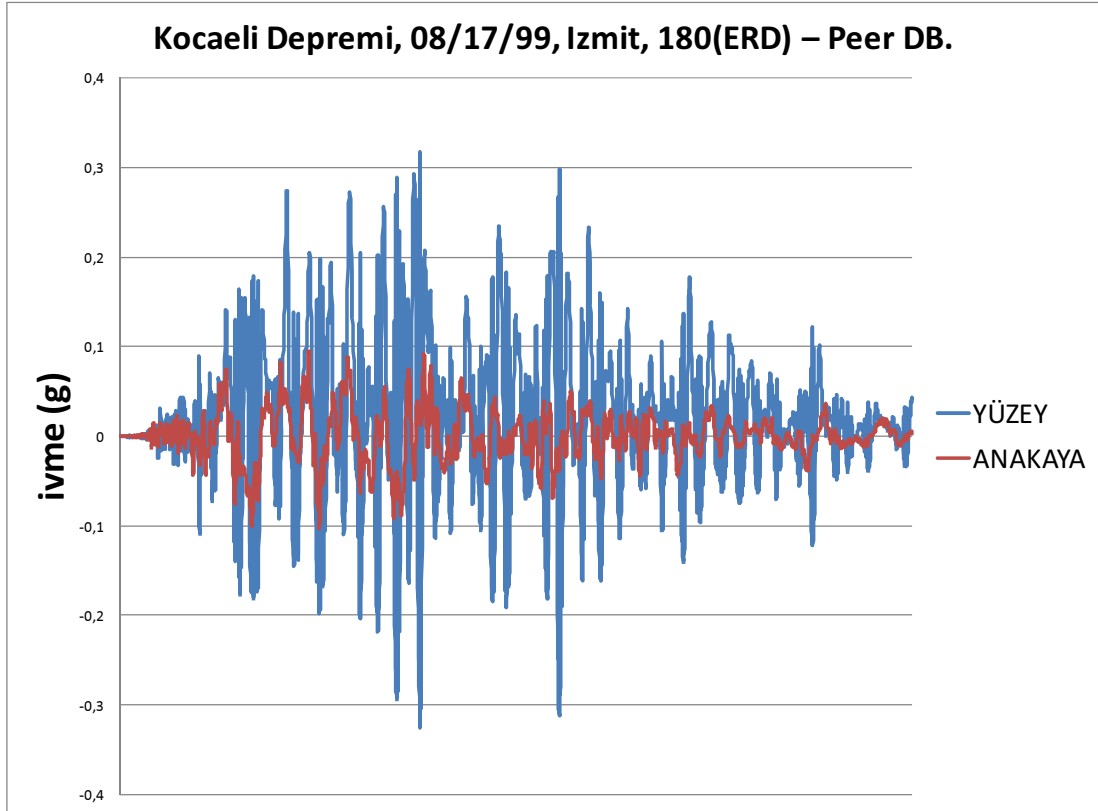
$$\frac{0.8156}{0.26379} = 3.092$$

Yaklaşık 3 kat büyötmeye karşılık gelmektedir.

Örnek 10: Kocaeli Depremi, 08/17/99, İzmit, 180(ERD) – Peer DB.

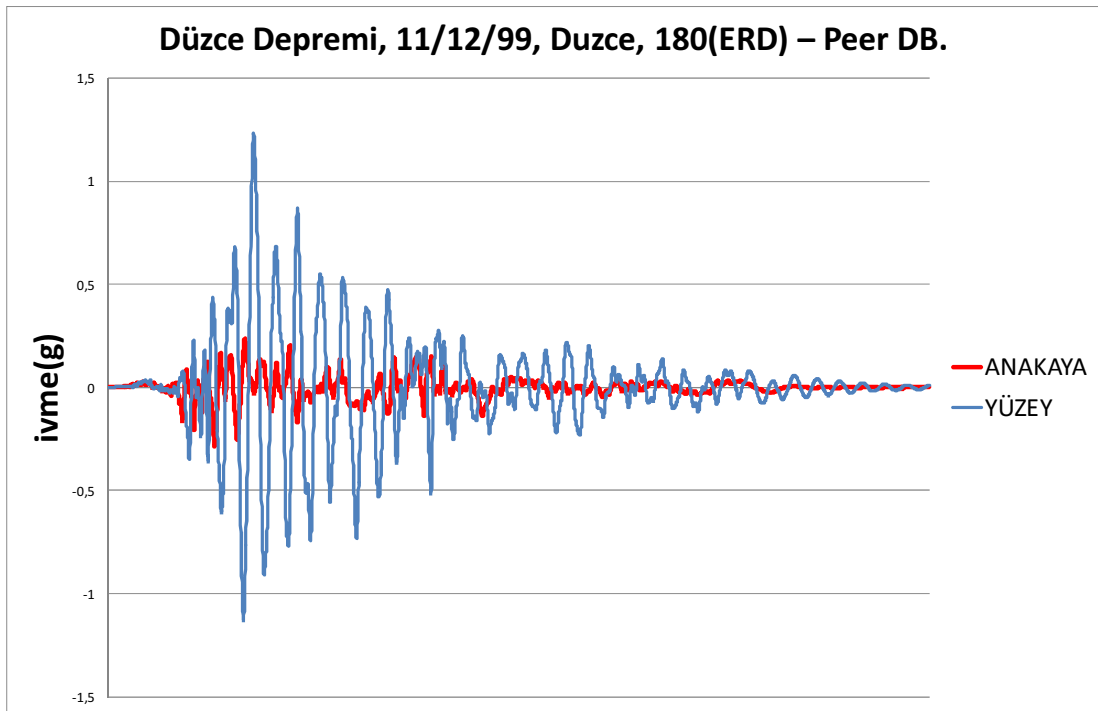
$$\frac{0.32617}{0.1027} = 3.176$$

Yaklaşık 3 kat büyötmeye tespit edilmiştir.



Şekil 5.11 Kocaeli kaydının ivmesinin yüzey ve anakayada karşılaştırılması.

Örnek 11: Düzce Depremi, 11/12/99, Düzce, 180(ERD) – Peer DB.



Şekil 5.12 Düzce Deprem kaydının ivmesinin yüzey ve anakayada karşılaştırması.

Tablo 5.4 Deprem büyütmelerinin karşılaştırılması.

Depremler	İvmeler			Büyütme(anakaya-yüzey)
	Anakaya	15 m. derinde	Yüzeyde	
Kobe	0,21253	0,35821	0,54554	2,567
Yerba Buena	0,05245	0,06381	0,15672	2,988
Erzincan	0,16098	0,1978	0,42032	2,611
Loma Prieta	0,3637	0,49894	1,32473	3,642
Palm Springs	0,22239	0,33537	0,53952	2,426
Kocaeli	0,1027	0,1752	0,32617	3,176
Northridge	0,10035	0,17584	0,35986	3,586
ChiChi	0,09996	0,12283	0,22416	2,242
Kobe-2	0,06608	0,11806	0,21148	3,200
Loma Prieta-2	0,28715	0,45248	0,98673	3,436
Northridge-2	0,26379	0,50851	0,8156	3,092
Düzce	0,28581	0,4893	1,23	4,310
			Ortalama:	3,106

BÖLÜM 6. SONUÇLAR

Bu çalışma kapsamında Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü (GYTE), Gebze – Çayırova kampüsünün üzerine yerleştiği alüvyon dolgu zeminin tekrarlı yüklemeler altındaki davranışının belirlenmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla bölgede daha önceden yapılmış arazi ve laboratuvar deneyleri kullanılmış ve bölge için idealize zemin profili oluşturulmuştur.

Yüzeydeki ilk 15m’lik derinlik, elde bulunan sondaj verilerine dayanılarak idealize edilmiş, daha derindeki 40m’lik zeminler için ise farklı zemin koşulları denenerek toplamda 55m’lik bir idealize zemin profili oluşturulmuştur. Elde edilen bu idealize zemin profilinin farklı depremler altındaki davranışını belirleyebilmek için bir boyutlu zemin tepki analizleri yapılmış ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Farklı deprem kayıtları ile yapılan analiz sonuçlarına göre deprem kaydından bağımsız olarak geliştirilen idealize zemin profilinin, deprem etkisini (yüzeydeki maksimum ivme değerini) yaklaşık üç kat amplifiye ettiği (büyüttüğü) görülmüştür.

Bir diğer parametrik çalışma olarak, zemin profilinin yüzeydeki ilk 15m’lik kısmı sabit tutulmuş, sonraki 40m’lik kısım değiştirilmiştir. Analizlerde i) kaya, ii) CH (PI=200), iii) orta plastisiteli kil (PI=40) ve iv) düşük plastisiteli kil (PI=10) olmak üzere dört farklı zemin çeşidi kullanılmıştır. Bu analizler sonucunda elde edilen sonuçlara göre, ivme değerlerinin en büyük değişimi yüzeydeki 15m’lik tabakada gösterdiğini, ancak daha derinlerde yer alan tabakalardaki değişikliklerin de az da olsa etkili olduğunu göstermiştir. Farklı zemin profilleri kullanılarak yapılan analizlerde en yüksek yüzey ivmesi değerinin, tabandaki (15 m’den derindeki) zemin profilinin yüksek plastisiteli kil, CH olarak modellendiği zemin grubunda, en düşük yer ivmesinin ise tabandaki zemin profilinin kaya olduğu zeminde yer aldığı tespit edilmiştir.

Yapılan çalışma göstermiştir ki, farklı zemin tipleri yüzeydeki ivme değerinin büyüklüğünü değiştirmektedir. Bu nedenle zemin etütlerinin mümkün olduğu kadar derin yapılmasının zemin özelliklerinin gerçeğe en yakın şekilde belirlenmesi açısından çok önemli olduğu sonucuna varılmıştır. Çünkü analizler sonucunda elde edilen değerler, farklı zemin koşullarının aynı deprem altında bile farklı tepkiler verdiğini göstermiştir.

KAYNAKLAR

1. Kramer, Steven L. (2003). "Geoteknik Deprem Mühendisliği", Gazi Kitabevi, ISBN 975-8640-63-1.
2. Yalçınkaya, E. (2004). "Bir Boyutlu Modeller için Zemin Büyütmesine Etki Eden Parametrelerin İncelenmesi", C.17, S.1, SS.47-56, İstanbul Üni. Müh. Fak. Yerbilimleri Dergisi.
3. Aki, K. And Richards, P.G., 1980, Quantitative Seismology, W.H. Freeman and Co., San Fransisco, California, Vol. 1, P.137, ISBN 0-7167-1058-7.
4. Akyol, N., Akıncı, A., Eyidoğan, H., 2001, Separation of source, propagation and site effects from S waves of local earthquakes in Bursa region, northwestern Turkey, Pure and Applied Geophysics 159, 1253-1269.
5. Schnabel, B., Lysmer, J., and Seed, H.B., 1972, Shake, a computer program for earthquake response analysis of horizontally layered sites, College of Engineering, University of California, Berkeley, Report EERC 72-12, pp. 88.
6. Yalçınkaya, E. ve Alptekin, Ö., 2000, Zemin Etkisinin Klasik Spektral Oran ve H/V yöntemleri ile belirlenmesi, Ulusal Jeofizik Toplantısı, 23-25 Kasım 2000, Genişletilmiş Özetler, MTA, Ankara, S.163-166.
7. Bolt, Bruce A., (2008) Depremler/Earthquakes, Tübitak Popüler Bilim Kitapları 273, ISBN 978-975-403-442-4
8. Seed, H. B., Idriss, I.M., (1970) "Soil Moduli and Damping Factors for Dynamic Response Analysis", Report No. UCB/EERC-70/10, Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, December 48p.
9. Safak, E. (2001). 'Local site effects and dynamic soil behavior.' Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Vol. 21(5), 453-458.
10. Seed H.B., Idriss I.M. (1969). Influence of soil conditions on ground motions during earthquakes. J Soil Mech. Found. Div., ASCE;94(SM1):99-137.
11. Hardin, B.O., and Drnevich, V.P.,(1972a). Shear modulus and damping in soils: measurement and parameter effects, J. Soil Mech. Foundations Div. ASCE 98, 603-624.

12. Joyner, W.B., and Fumal, T.,(1984). Use of measured shear wave-velocity for predicting site effects on strong motion, Proceedings of Eighth World Conference on Earthquake Engineering, San Francisco, 2, 777-783.
13. Yalçinkaya, E., 2002, Zemin Özelliklerinin Deprem Yer Hareketine Etkisi: 1 Ekim 1995 Dinar ve 27 Haziran 1998 Adana-Ceyhan depremi örnekleri, Doktora Tezi, İ.Ü. Fen Bil. Enst., İstanbul.
14. Wolf, J.P., 1985, Dynamic Soil-Structure Interaction, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 466 pp.
15. Joyner, W.B. and Chen, A.T.F., (1975), "Calculation of nonlinear ground response in earthquakes", Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 65, pp.1315-1336.
16. Ordonez, Gustavo A., (2006) "Shake2000 User's Manual" A Computer Program for the 1-D Analysis of Geotechnical Earthquake Engineering Problems.

ÖZGEÇMİŞ

ÇOKAR Türker, 14.02.1986 tarihinde doğdu. İlköğrenimini Yeşilköy Hamdullah Suphi Tanrıöver İlköğretim Okulunda, liseyi, Beşiktaş Atatürk Anadolu Lisesinde tamamladı. Lisans öğrenimini Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği (mezuniyet Ocak 2009) bölümünde gördü. Şubat 2009 tarihinde GYTE Deprem ve Yapı Mühendisliği Bölümünde Yüksek Lisans eğitimine başlamıştır. Orta derece İngilizce(KPDS seviyesi: C - Puan:79) bilgisine sahiptir. TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası üyesidir. 11.01.2010 tarihinde Pendik Belediyesi İmar ve Şehircilik Müdürlüğünde çalışma hayatına başlamıştır ve halen devam etmektedir. Hobileri futbol, basketbol, motor sporları, yüzme, istatistik bilimi, bilgisayar-teknoloji, araştırma ve inceleme olarak belirtilebilir.