

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TOPOĞRAFİK DÜZENSİZLİKLERİN ZEMİN
BÜYÜTMESİNE ETKİSİ**

**DOKTORA TEZİ
M. Emre HAŞAL**

Anabilim Dalı : İnşaat Mühendisliği

Programı : Geoteknik Mühendisliği

MAYIS 2009

**TOPOĞRAFİK DÜZENSİZLİKLERİN ZEMİN
BÜYÜTMESİNE ETKİSİ**

**DOKTORA TEZİ
M. Emre HAŞAL
(501002250)**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 22 Eylül 2008

Tezin Savunulduğu Tarih : 07 Mayıs 2009

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Recep İYİSAN (İTÜ)

Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Mete İNCECİK (İTÜ)

Prof. Dr. Kutay ÖZAYDIN (YTÜ)

Prof. Dr. Ayfer ERKEN (İTÜ)

Prof. Dr. M. Atilla ANSAL (BÜ)

MAYIS 2009

ÖNSÖZ

Bilindiği gibi zemin büyütmesi, geoteknik deprem mühendisliğinde karşılaşılan önemli problemlerden biridir. Deprem dalgalarının genliğinde yüzeye yakın yumuşak zemin tabakalarından geçerken meydana gelen artış, yapısal hasar üzerinde önemli etkiler oluşturmaktadır. Yakın geçmişimizde ülkemizde de yaşanan yıkıcı depremlerde benzer durumlarla karşılaşmıştır. Gerçek ve hipotetik iki boyutlu modeller kullanılarak, çeşitli yerel zemin koşullarında ve farklı frekans içerikli deprem hareketleri altında zemin tabakalarının bir ve iki boyutlu dinamik davranışının incelendiği bu çalışma sonucunda, yüzey ve yüzey altı topoğrafyasında ani değişikliklerin bulunduğu tepe ve ova-vadi kenarı gibi bölgelerde bir boyutlu dinamik analizlerin her zaman yeterli olmadığı ve ikinci boyut etkisinin dikkate alınması gerektiği anlaşılmıştır. Vadi ve ova kenarı gibi bölgelerde ikinci boyut etkisinin bir boyutlu dinamik analizlerden elde edilen sonuçlara yansıtılabilmesi için bu çalışmada önerilen bağıntının faydalı olacağı düşünülmektedir. Bununla birlikte bu bağıntının geliştirilmesi için çok sayıda farklı model üzerinde çalışılmasına ve gerçek kayıtlarla desteklenmesine ihtiyaç olduğu açıktır.

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım danışmanım Sayın Doç. Dr. Recep İYİSAN'a, tez izleme jürisi üyeleri Sayın Prof. Dr. Mete İNCECİK ve Prof. Dr. Kutay ÖZAYDIN'a değerli katkılarından dolayı teşekkürlerimi sunarım. Çalışmam süresince yardım ve desteklerini esirgemeyen başta Bursa Büyükşehir Belediyesi İmar Uygulama Şube Müdürü olmak üzere tüm bölüm çalışanlarına teşekkür ederim.

Ayrıca eğitim hayatım boyunca maddi ve manevi destekleriyle her zaman yanımda olan anne ve babama şükranlarımı sunarım.

Mayıs 2009

M. Emre HAŞAL
(İnşaat Yük. Müh.)

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖNSÖZ.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	v
KISALTMALAR.....	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
ŞEKİL LİSTESİ.....	xiii
SEMBOL LİSTESİ.....	xxix
ÖZET.....	xxxi
SUMMARY.....	xxxv
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Amaç.....	5
1.2 Kapsam.....	7
2. YEREL ZEMİN KOŞULLARI VE TOPOĞRAFİK DÜZENSİZLİKLERİN ZEMİN BÜYÜTMESİNE ETKİSİ.....	11
2.1 Giriş.....	11
2.2 Yerel Zemin Koşullarının Zemin Büyütmesine Etkisi.....	13
2.2.1 Zemin tabakalarının dinamik analizi.....	15
2.2.1.1 Lineer yaklaşım ve transfer fonksiyonlarının elde edilmesi.....	16
2.2.1.2 Elastik anakaya üzerinde tabakalı sönümlü zemin.....	18
2.2.2 Eşdeğer lineer yöntem.....	21
2.3 Yüzey Topoğrafyasının ve Ova/Vadi Geometrisinin Zemin Büyütmesine Etkisi Üzerine Literatürde Yapılmış Çalışmalar.....	25
2.3.1 Yüzeydeki topoğrafik düzensizliklerin etkisi.....	25
2.3.2 Ova/vadi geometrisinin etkisi.....	28
3. ZEMİN TABAKALARININ DİNAMİK ANALİZİNDE SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİNİN KULLANILMASI.....	37
3.1 Giriş.....	37
3.2 Sonlu Eleman Yöntemi.....	37
3.3 Sonlu Eleman Yöntemiyle Zaman Ortamında Dinamik Analiz.....	40
3.4 Sonlu Eleman Yöntemiyle Frekans Ortamında Dinamik Analiz.....	45
4. YÜZEY TOPOĞRAFYASININ ZEMİN BÜYÜTMESİNE ETKİSİNİN İKİ BOYUTLU İNCELENMESİ.....	51
4.1 Yüzey Topoğrafyasının Zemin Tabakalarının Dinamik Davranışına Etkisi: 1995 Egion Depremi Örneği.....	53
4.1.1 Sismolojik veri.....	53
4.1.2 Bölgeyle ilgili jeolojik, tektonik ve geoteknik veriler.....	55
4.1.3 Bölgede oluşan deprem hasarı.....	56
4.1.4 Yüzey topoğrafyasının etkileri.....	56

4.2 1995 Ege Depremi Örneği Kullanılarak Farklı Sınır Şartlarına Sahip Modeller Üzerinde Yapılan Dinamik Analizler.....	60
4.2.1 Lineer analiz.....	60
4.2.2 Eşdeğer lineer analiz.....	69
4.2.2.1 Bir boyutlu dinamik analizler.....	70
4.2.2.2 Quake/W programı kullanılarak yapılan iki boyutlu dinamik analizler.....	71
4.2.2.3 Flushplus programı kullanılarak yapılan iki boyutlu dinamik analizler.....	77
4.2.2.4 Bir ve iki boyutlu dinamik analiz sonuçlarının karşılaştırılması.....	78
4.3 Farklı Deprem ve Zemin Koşullarının Etkisi.....	84
4.3.1 Bir ve iki boyutlu dinamik analiz sonuçlarının karşılaştırılması.....	87
4.3.2 Sonuçlar.....	90
5. FARKLI GEOMETRİDEKİ OVA/VADI MODELLERİNİN DİNAMİK DAVRANIŞI.....	93
5.1 Giriş.....	93
5.2 Seçilen Deprem Hareketlerinin Özellikleri.....	94
5.3 İki Boyutlu Dinamik Analizler.....	102
5.4 Bir Boyutlu Dinamik Analizler.....	118
5.5 Dinamik Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	127
5.6 Sonuçlar.....	139
6. DİNAR OVASI'NDA KENARDAKİ ANAKAYANIN DİNAMİK DAVRANIŞA ETKİSİ.....	145
6.1 Dinar Ovası Modeli ve 1 Ekim 1995 Dinar Depremi.....	145
6.1.1 Dinar yöresinin tektoniği.....	147
6.1.2 Dinar yöresinin sismolojik özellikleri.....	150
6.1.3 Dinar'ın topoğrafik ve jeolojik yapısı.....	151
6.1.4 Ekim 1995 Dinar Depremi'nin özellikleri.....	153
6.1.5 Dinar'daki yerel zemin koşullarının belirlenmesi.....	156
6.2 Sismik Anakaya Derinliğinin Bulunması: Eş Zamanlı Mikrotremor Ağ Deneyleri.....	162
6.2.1 Alıcı yerleşimi.....	164
6.2.2 Kayıtların analizi.....	166
6.2.3 Kayma dalgası hızı profili.....	167
6.3 Dinar Ovası'nın İki Boyutlu Modeli ve Zemin Tabakalarının Dinamik Özellikleri.....	170
6.4 Dinar'daki Hasar Dağılımı.....	174
6.5 Yapılan Bir Boyutlu Dinamik Analizlerde Kullanılan Yaklaşım ve Yöntem.....	178
6.5.1 1 Ekim 1995 Dinar Depremi yüzey kaydının anakayaya taşınması.....	184
6.6 Dinar Ovası Modeli Kullanılarak Yapılan İki Boyutlu Dinamik Analizler.....	185
6.6.1 Artçı şok (11 Ekim 1995).....	185
6.6.2 Ana şok (1 Ekim 1995).....	188
6.6.3 Bir ve iki boyutlu dinamik analiz sonuçlarının karşılaştırılması.....	193
6.6.4 Sonuçlar.....	196

7. DÜZCE OVASI'NDA KENARDAKİ ANAKAYANIN DİNAMİK DAVRANIŞA ETKİSİ.....	203
7.1 Kuzey Anadolu Fay Zonu.....	204
7.2 Kuzey Anadolu Fayı'nın Sismik Etkinliği.....	205
7.3 Düzce Bölgesi ve Yakın Çevresinin Sismotektoniği.....	206
7.4 Düzce Ovası ve Yakın Çevresinin Jeolojik Yapısı.....	210
7.5 12 Kasım 1999 Düzce-Kaynaşlı Depremi.....	212
7.6 Düzce'nin Yerel Zemin Koşulları.....	213
7.7 Düzce Ovası'nda İki Boyutlu Kayma Dalgası Hızı Profilinin Mikrotremor Ölçümleriyle Belirlenmesi.....	214
7.8 Düzce Ovası'nın İki Boyutlu Modeli ve Zemin Tabakalarının Dinamik Özellikleri.....	216
7.9 Düzce Ovası Modeli Kullanılarak Yapılan Bir ve İki Boyutlu Dinamik Analizler.....	219
7.9.1 Bir ve iki boyutlu dinamik analiz sonuçlarının Karşılaştırılması.....	226
7.9.2 Sonuçlar.....	228
8. YEREL ZEMİN KOŞULLARI VE ANAKAYA EĞİMİNİN DİNAMİK DAVRANIŞA ETKİSİ.....	233
8.1 Giriş.....	233
8.2 Seçilen Deprem Hareketlerinin Özellikleri.....	234
8.3 Analizlerde Kullanılan Farklı Anakaya Eğimine Sahip Ova/Vadi Modelleri.....	240
8.4 Dinar Ovası Modeli Kullanılarak Yapılan Analizler.....	242
8.4.1 İki boyutlu dinamik analizler.....	242
8.4.2 Bir ve iki boyutlu dinamik analiz sonuçlarının karşılaştırılması.....	247
8.4.3 İstatistiksel analiz.....	259
8.5 Düzce Ovası Modeli Kullanılarak Yapılan Analizler.....	268
8.5.1 İki boyutlu dinamik analizler.....	268
8.5.2 Bir ve iki boyutlu dinamik analiz sonuçlarının karşılaştırılması.....	273
8.5.3 İstatistiksel analiz.....	284
8.6 Sonuçlar.....	294
9. SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	305
KAYNAKLAR.....	313
EKLER.....	329
ÖZGEÇMİŞ.....	357

KISALTMALAR

1D	: One Dimensional
2D	: Two Dimensional
3D	: Three Dimensional
ABYYHY	: Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik
ASI	: Acceleration Spectrum Intensity
ASTM	: The American Society for Testing and Materials
CAV	: Cumulative Absolute Velocity
CPT	: Cone Penetration Test
DAD	: Deprem Araştırma Dairesi
EW	: East-West
FFT	: Fast Fourier Transform
IFFT	: Inverse Fast Fourier Transform
GIS	: Geographical Information System
DBYBHY	: Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik
KAFZ	: Kuzey Anadolu Fay Zonu
KOERI	: Kandilli Observatory and Earthquake Research Institute
MSK	: Medvedev-Sponheuer-Karnik
NS	: North-South
P	: Basınç Dalgası
S	: Kayma Dalgası
SASW	: Spectral Analysis of Surface Waves
SH	: Düzlem Dışı Kayma Dalgası
SK	: Sondaj Kuyusu
SMA	: Sustained Maximum Acceleration
SPT	: Standart Penetrasyon Testi
SV	: Düzlem İçi Kayma Dalgası
TITECH	: Tokyo Institute of Technology
USGS	: United States Geological Survey
VSI	: Velocity Spectrum Intensity

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 4.1 : Sonlu eleman modelinde kullanılan zemin tabakalarının dinamik özellikleri.....	59
Çizelge 4.2 : Modellerin doğal periyotları ve Rayleigh sönüm katsayıları....	62
Çizelge 4.3 : Düşey sınırlarda kullanılan sönümleyicilerin sönüm katsayıları.....	72
Çizelge 4.4 : Dinamik analizlerde kullanılan zemin tabakalarının özellikleri	84
Çizelge 4.5 : Üst tabakanın farklı durumları için 2D/1D spektral ivme oranları.....	88
Çizelge 5.1 : Dinamik analizlerde kullanılan depremlerin genel bilgileri, şiddet parametreleri, frekans ve süre özellikleri.....	99
Çizelge 5.2 : Bir ve iki boyutlu dinamik analizlerde kullanılan zemin grupları ve tabaka kalınlıkları.....	100
Çizelge 6.1 : M.Ö. 65-M.S. 1900 arasında Dinar'ı etkilemiş olan tarihi depremler.....	149
Çizelge 6.2 : 1900 tarihinden itibaren Dinar'ı etkilemiş olan aletsel depremler.....	149
Çizelge 6.3 : 1 Ekim 1995 Dinar depreminin değişik merkezlerde farklı ölçeklere göre ölçülen büyüklükleri.....	152
Çizelge 6.4 : Dinar'da kaydedilen $M_L \geq 4.4$ olan depremler.....	153
Çizelge 6.5 : Dinar'daki zeminlerin endeks ve mühendislik özellikleri.....	155
Çizelge 6.6 : Birinci ölçüm noktası (Array 1) için model parametreleri.....	168
Çizelge 6.7 : İkinci ölçüm noktası (Array 2) için model parametreleri.....	168
Çizelge 6.8 : Üçüncü ölçüm noktası (Array 3) için model parametreleri.....	168
Çizelge 6.9 : Afet İşleri Genel Müdürlüğü'nün hasar derecesi kriterleri.....	173
Çizelge 6.10 : Afet İşleri Genel Müdürlüğü'nün hasar derecesinin dönüştürülmüş hali.....	174
Çizelge 7.1 : Düzce'de farklı noktalardaki tabakalara ait kayma dalgası hızı değerleri.....	214
Çizelge 8.1 : Dinamik analizlerde kullanılan deprem hareketlerinin özellikleri.....	235
Çizelge 8.2 : Dinamik analizlerde kullanılan ova/vadi kenarı modellerinin geometrik özellikleri.....	237
Çizelge 8.3 : 2D/1D spektral ivme oranı bağıntısında kullanılan parametrelerin farklı anakaya eğimleri için aldıkları değerler (Dinar ovası modeli).....	262
Çizelge 8.4 : 2D/1D spektral ivme oranı bağıntısında kullanılan parametrelerin farklı anakaya eğimleri için aldıkları değerler (Düzce ovası modeli).....	288
Çizelge A.1 : Mahallelerdeki hasar seviyesine göre bina yüzdeleri ve genel hasar oranları (Güllü, 2001).....	323

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1 : Zemin büyütmesini etkileyen faktörler (Şafak, 2001).....	13
Şekil 2.2 : Sönümsüz elastik iki tabakalı zemin profilinde büyütme- lilerin özgül direnç oranına bağlı değişimi (Kramer, 1996).....	14
Şekil 2.3a : Anakaya üzerinde yeralan iki ayrı zemin tabakası (A profili).....	15
Şekil 2.3b : Anakaya üzerinde yeralan iki ayrı zemin tabakası (B profili).....	15
Şekil 2.4 : A ve B profilleri için zemin büyütmesi fonksiyonları.....	15
Şekil 2.5 : Dalgaların yüzeye yakın yumuşak zemin tabakalarından geçerken kırılması sonucunda dalga ilerleme yönünün düşeye yaklaşması (Kramer, 1996).....	16
Şekil 2.6 : Transfer fonksiyonu yardımıyla anakayadaki deprem hareketinden yüzey hareketinin elde edilmesi işlemi.....	16
Şekil 2.7 : Anakayadaki deprem hareketinden yüzeydeki hareketin elde edilmesi (Kramer, 1996).....	17
Şekil 2.8 : Deprem hareketine karşı bir boyutlu dinamik davranış analizinde kullanılan elastik anakaya üzerindeki sönümlü tabakalı zemin modeli (Kramer, 1996).....	18
Şekil 2.9 : Yatay kayma gerilmeleri etkisindeki Kelvin-Voigt katı elemanı...	18
Şekil 2.10a : Eşdeğer lineer zemin modeli parametreleri.....	22
Şekil 2.10b : Rijitlik azalım ve sönüm oranı eğrilerinin tekrarlı kayma şekil değiştirmesiyle bağlantısı.....	22
Şekil 2.11 : Aynı maksimum kayma şekil değiştirmesi genliğine sahip geçici deprem hareketi ve laboratuvarında dinamik deneylerde uygulanan tekrarlı (sinüsoidal) hareket (Kramer, 1996).....	22
Şekil 2.12 : Eşdeğer lineer analizde kayma şekil değiştirmesi uyumlu kayma modülü ve sönüm oranı değerlerinin iterasyonla elde edilmesi.....	23
Şekil 2.13a : Basit topoğrafik düzensizliklerin modellenmesi (a) Üçgen şeklindeki kama model (Faccioli, 1991).....	25
Şekil 2.13b : Basit topoğrafik düzensizliklerin modellenmesi (b) Tepe-vadi topoğrafyasını temsil eden model (Faccioli, 1991).....	25
Şekil 2.14 : Kama geometrisi ve çizgisel kaynağın konumu (Sanchez-Sesma, 1985).....	26
Şekil 2.15 : $2\pi/3$ içsel tepe açısına sahip kama şeklindeki modele farklı geliş açılarıyla ($\phi_0=0^\circ, 30^\circ$ ve 55°) etkiyen düzlemsel SH dalgalarının tepenin simetri merkezinden her iki tarafa doğru kx/π 'ye bağlı değişen yüzeyde oluşturduğu spektral büyütme- liler.....	26
Şekil 2.16 : 1980 Irpinia (İtalya) depreminde yüzey topoğrafyasının hasar dağılımına etkisi (Athanasopoulos, 1999).....	27
Şekil 2.17 : Matsuzaki'de (Japonya) bir dağ yamacındaki normalleştirilmiş maksimum ivme değerlerinin (ortalama ve standart sapma) dağılımı.....	27

Şekil 2.18	: Kassem ivme ölçer dizisinde alınan ivme kayıtları.....	28
Şekil 2.19a	: Alüvyonel bir vadiye farklı düzlemsel deprem dalgası türlerinin etkimesi durumunda oluşacak titreşim modu şekilleri. (a) Hacim dalgası (P) için.....	29
Şekil 2.19b	: Alüvyonel bir vadiye farklı düzlemsel deprem dalgası türlerinin etkimesi durumunda oluşacak titreşim modu şekilleri. (b) Düzlem içi partikül yerdeğiştirmesine sahip kayma dalgası (SV) için.....	29
Şekil 2.19c	: Alüvyonel bir vadiye farklı düzlemsel deprem dalgası türlerinin etkimesi durumunda oluşacak titreşim modu şekilleri. (c) Düzlem dışı partikül yerdeğiştirmesine sahip kayma dalgası (SH) için.....	29
Şekil 2.20	: Yarı sinüs dalgası şeklindeki alüvyonel vadiye düzlemsel SH dalgalarının etkimesi durumunda iki boyutlu rezonans oluşması için gerekli koşullar (Bard ve Bouchon, 1985).....	30
Şekil 2.21	: Alüvyonel vadide SH, SV ve P dalgası 1. mod şekillerine karşı gelen normalleştirilmiş hakim frekansların vadi şekil oranıyla ilişkisi (Bard ve Bouchon, 1985).....	31
Şekil 2.22a	: Alüvyonel bir vadinin merkezinden ($x/l=0$) kenarına ($x/l=0.64$) kadar yüzeyde 5 ayrı noktada (a) Hakim frekansın vadi şekil oranına bağlı değişimi.....	32
Şekil 2.22b	: Alüvyonel bir vadinin merkezinden ($x/l=0$) kenarına ($x/l=0.64$) kadar yüzeyde 5 ayrı noktada (b) Spektral büyütmenin vadi şekil oranına bağlı değişimi.....	32
Şekil 2.23a	: (a) Sığ ve geniş vadilerde zemin tabakalarının bir ve iki boyutlu dinamik analizlerinde kullanılan transfer fonksiyonları.....	33
Şekil 2.23b	: (b) Derin ve dar vadilerde zemin tabakalarının bir ve iki boyutlu dinamik analizlerinde kullanılan transfer fonksiyonları.....	33
Şekil 2.24a	: Vadi derinliğindeki değişimin yerel zemin büyütmesine etkisi. Zemin profili: Sıkı kum, (a) vadi boyutları.....	34
Şekil 2.24b	: Vadi derinliğindeki değişimin yerel zemin büyütmesine etkisi. Zemin profili: Sıkı kum, (b) a noktası için.....	34
Şekil 2.24c	: Vadi derinliğindeki değişimin yerel zemin büyütmesine etkisi. Zemin profili: Sıkı kum, (c) b noktası için.....	34
Şekil 2.24d	: Vadi derinliğindeki değişimin yerel zemin büyütmesine etkisi. Zemin profili: Sıkı kum, (d) c noktası için (Rassem vd., 1997).....	34
Şekil 2.25a	: Vadinin değişik yerlerindeki zemin büyütmeleri. Zemin profili: Sıkı kum, D=100 m, (a) vadi boyutları.....	35
Şekil 2.25b	: Vadinin değişik yerlerindeki zemin büyütmeleri. Zemin profili: Sıkı kum, D=100 m, (a) B=300 m için.....	35
Şekil 2.25c	: Vadinin değişik yerlerindeki zemin büyütmeleri. Zemin profili: Sıkı kum, D=100 m, (b) B=500 m için.....	35
Şekil 2.25d	: Vadinin değişik yerlerindeki zemin büyütmeleri. Zemin profili: Sıkı kum, D=100 m, (b) B=1000 m için.....	35
Şekil 3.1a	: (a) Kütle orantılı sönüm.....	42
Şekil 3.1b	: (b) Rijitlik orantılı sönüm (Chopra, 1995).....	42
Şekil 3.2a	: Modal sönüm oranlarının açısıl frekansa bağlı değişimi (a) Kütle orantılı sönüm ve rijitlik orantılı sönüm.....	43

Şekil 3.2b	: Modal sönüm oranlarının açısıl frekansa bağlı değişimi (b) Rayleigh sönümü.....	43
Şekil 3.3	: Basitleştirilmiş üç boyutlu model.....	46
Şekil 3.4	: Yarı uzay üzerinde dinamik etkilere maruz bir temelin sonlu eleman modeli.....	46
Şekil 3.5	: Düşey yüklenmiş yarı uzayda kullanılan sönüm modelleri.....	47
Şekil 3.6	: Yatay yüklenmiş yarı uzayda kullanılan sönüm modelleri.....	47
Şekil 3.7	: Enerji geçirimli sınırlara sahip basitleştirilmiş üç boyutlu model.....	49
Şekil 4.1	: OTE bölgesindeki yatay yer hareketinin düzlem içi yörüngesi (Athanasopoulos ve diğ., 1999).....	54
Şekil 4.2	: Egion depreminde OTE bölgesinde elde edilen ivme, hız, yerdeğiştirme zaman geçmişleri ve hesaplanan % 5 sönümlü mutlak ivme spektrumları (Athanasopoulos ve diğ., 1999).....	54
Şekil 4.3	: Egion bölgesinin jeolojik profili (Athanasopoulos ve diğ., 1999).	55
Şekil 4.4	: Egion bölgesinin jeolojik profili ve önemli fayların geometrisini gösteren N-S doğrultusunda basitleştirilmiş bir enkesit (Athanasopoulos ve diğ., 1999).....	55
Şekil 4.5a	: (a) OTE bölgesindeki zemin profili ve SPT-N30 değerleri.....	56
Şekil 4.5b	: (b) PORT'un 700 m batısında yer alan BH10 bölgesindeki zemin profili ve SPT-N30 değerleri (Athanasopoulos ve diğ., 1999).....	56
Şekil 4.6	: Egion bölgesinin iki boyutlu zemin kesiti ve kayma dalgası hızı profili.....	57
Şekil 4.7a	: (a) OTE bölgesindeki kayma dalgası hızı-derinlik profili.....	57
Şekil 4.7b	: (b) PORT bölgesindeki kayma dalgası hızı-derinlik profili.....	57
Şekil 4.8	: Ote bölgesinde zemin yüzeyinde kaydedilen 0.54 g maksimum ivmeye sahip deprem kaydının ölçeklendirilerek anakayada etkidiği düşünülen ivme zaman geçmişinin bulunması.....	59
Şekil 4.9a	: (a) Ote bölgesinde anakayadaki ivme zaman geçmişinin Fourier genlik spektrumu.....	59
Şekil 4.9b	: (b) Ote bölgesinde anakayadaki ivme zaman geçmişinin mutlak ivme spektrumu.....	59
Şekil 4.10a	: Sınır şartları farklı üç modelin hakim mod şekilleri (a) Serbest düşey sınırlar ($T_1=0.53$ s).....	61
Şekil 4.10b	: Sınır şartları farklı üç modelin hakim mod şekilleri (b) Düşey yönde mesnetli düşey sınırlar ($T_1=0.48$ s).....	61
Şekil 4.10c	: Sınır şartları farklı üç modelin hakim mod şekilleri (c) Düşey ve yatay doğrultuda mesnetli düşey sınırlar ($T_1=0.40$ s).....	61
Şekil 4.11a	: İki boyutlu lineer analizde kullanılan sınır şartları (a) Serbest düşey sınırlar.....	62
Şekil 4.11b	: İki boyutlu lineer analizde kullanılan sınır şartları (b) Düşey yönde mesnetli düşey sınırlar.....	62
Şekil 4.11c	: İki boyutlu lineer analizde kullanılan sınır şartları (c) İki yönde mesnetli düşey sınırlar	62
Şekil 4.12a	: Düşey sınırların serbest olduğu model üzerinde üç ayrı programla lineer analiz yapılarak bulunan ivme zaman grafikleri (a) 1 no'lu noktada	63
Şekil 4.12b	: Düşey sınırların serbest olduğu model üzerinde üç ayrı programla lineer analiz yapılarak bulunan ivme zaman grafikleri (b) 7 no'lu noktada	63

Şekil 4.13a	: Düşey sınırların yatay yönde (x) serbest ve düşey yönde (y) mesnetli olduğu model üzerinde üç ayrı programla lineer analiz yapılarak bulunan ivme zaman grafikleri (a) 1 no'lu noktada.....	64
Şekil 4.13b	: Düşey sınırların yatay yönde (x) serbest ve düşey yönde (y) mesnetli olduğu model üzerinde üç ayrı programla lineer analiz yapılarak bulunan ivme zaman grafikleri (b) 7 no'lu noktada.....	64
Şekil 4.14a	: Düşey sınırların yatay (x) ve düşey yönde (y) mesnetli olduğu model üzerinde üç ayrı programla lineer analiz yapılarak bulunan ivme zaman grafikleri (a) 1 no'lu noktada.....	65
Şekil 4.14b	: Düşey sınırların yatay (x) ve düşey yönde (y) mesnetli olduğu model üzerinde üç ayrı programla lineer analiz yapılarak bulunan ivme zaman grafikleri (b) 7 no'lu noktada.....	65
Şekil 4.15	: Düşey sınırları serbest olan modelin üzerindeki 7 ayrı nokta için elde edilen ivme-zaman geçmişi grafikleri.....	66
Şekil 4.16	: Düşey sınırları serbest olan modelin üzerindeki 9 ayrı nokta için hesaplanan % 5 sönümlü görel ivme spektrumu grafikleri.....	66
Şekil 4.17	: Düşey sınırları yatay doğrultuda serbest ve düşey yönde mesnetli olan modelin üzerindeki 7 ayrı nokta için elde edilen ivme-zaman geçmişi grafikleri.....	67
Şekil 4.18	: Düşey sınırları sadece yatay doğrultuda serbest olan modelin üzerindeki 9 ayrı nokta için elde edilen % 5 sönümlü görel ivme spektrumu grafikleri.....	67
Şekil 4.19	: Düşey sınırları yatay ve düşey yönde mesnetli olan modelin üzerindeki 7 ayrı nokta için elde edilen ivme-zaman geçmişi grafikleri.....	68
Şekil 4.20	: Düşey sınırları yatay ve düşey yönde mesnetli olan modelin üzerindeki 9 ayrı nokta için elde edilen % 5 sönümlü görel ivme spektrumu grafikleri.....	68
Şekil 4.21	: Eşdeğer lineer analizde kullanılan yüzey topoğrafyası ve zemin kesiti.....	69
Şekil 4.22	: Eşdeğer lineer analizde kullanılan rijitlik azalım ve sönüm eğrileri.....	70
Şekil 4.23a	: PORT ve OTE/DESP bölgelerinde yapılan tek boyutlu dinamik analiz sonuçları (a) İvme-zaman geçmişi grafiği.....	71
Şekil 4.23b	: PORT ve OTE/DESP bölgelerinde yapılan tek boyutlu dinamik analiz sonuçları (a) % 5 sönümlü mutlak ivme spektrumu.....	71
Şekil 4.24	: Düşey sınırları yatay doğrultuda serbest iki boyutlu sonlu eleman modeli.....	72
Şekil 4.25	: Üstteki iki boyutlu model kullanılarak PORT, DESP ve OTE bölgelerinde elde edilen ivme-zaman geçmişleri.....	72
Şekil 4.26	: Düşey sınırları yatay doğrultuda serbest sonlu eleman modeli kullanılarak bulunan % 5 sönümlü görel ivme spektrumları.....	72
Şekil 4.27	: Düşey sınırlarında sönümleyiciler bulunan sonlu eleman modeli..	73
Şekil 4.28	: Yukarıdaki modelin analiziyle elde edilen ivme-zaman geçmişleri.....	74
Şekil 4.29	: Düşey sınırlarında sönümleyiciler bulunan modelin analiziyle elde edilen % 5 sönümlü görel ivme spektrumları.....	74
Şekil 4.30	: Üçüncü modelde kullanılan sınır şartları.....	75
Şekil 4.31	: Yukarıda verilen model kullanılarak yapılan iki boyutlu analiz sonucunda elde edilen ivme-zaman geçmişleri.....	75

Şekil 4.32	: Üçüncü modelin dinamik analiziyle bulunan göreceli ivme spektrumları.....	75
Şekil 4.33	: OTE bölgesinde deprem sırasında ölçülen maksimum ivme değerini verecek biçimde düzenlenmiş anakaya ivmesi.....	76
Şekil 4.34	: Maksimum ivmesi 0.1 g olan ivme-zaman geçmişinin üçüncü modelde anakayada uygulanması sonucunda yüzeyde bulunan ivme-zaman grafikleri.....	76
Şekil 4.35	: Maksimum ivmesi 0.1 g olan ivme-zaman geçmişinin üçüncü modelde anakayada uygulanması sonucunda yüzeyde elde edilen göreceli ivme spektrumları.....	77
Şekil 4.36	: 0.14 g maksimum ivmeye sahip anakaya ivme zaman geçmişi kullanılarak yapılan analiz sonucunda bulunan % 5 sönümlü ivme spektrumları.....	78
Şekil 4.37	: 0.1 g maksimum ivmeye sahip anakaya ivme zaman geçmişi kullanılarak yapılan analiz sonucunda bulunan % 5 sönümlü mutlak ivme spektrumları.....	78
Şekil 4.38	: OTE bölgesinde Egion depremi sırasında kaydedilen ve sonra Athanasopoulos ve diğ. (1999) tarafından tekrar hesaplanan ivme-zaman geçmişi.....	79
Şekil 4.39	: OTE bölgesinde Quake/W ve EERA programları kullanılarak bu çalışmada bulunan ivme-zaman geçmişi ($a_{maks_anakaya}=0.1\text{ g}$).....	79
Şekil 4.40	: Athanasopoulos ve diğ. (1999) tarafından OTE bölgesi için verilen %5 sönümlü mutlak ivme spektrumu ($a_{maks_anakaya}=0.14\text{ g}$)	79
Şekil 4.41	: OTE bölgesi için Quake/W, Flushplus ve EERA programları kullanılarak bu çalışmada bulunan % 5 sönümlü mutlak ivme spektrumları ($a_{maks_anakaya}=0.1\text{ g}$).....	80
Şekil 4.42	: PORT bölgesi için Athanasopoulos ve diğ. (1999) tarafından yapılan çalışmada elde edilen ivme-zaman geçmişi ($a_{maks_anakaya}=0.14\text{ g}$).....	80
Şekil 4.43	: PORT bölgesi için Quake/W ve EERA programları kullanılarak bulunan ivme-zaman geçmişi ($a_{maks_anakaya}=0.1\text{ g}$).....	80
Şekil 4.44	: Athanasopoulos ve diğ. (1999) tarafından yapılan çalışmada PORT bölgesi için verilen % 5 sönümlü mutlak ivme spektrumu ($a_{maks_anakaya}=0.14\text{ g}$).....	81
Şekil 4.45	: PORT bölgesinde Quake/W, Flushplus ve EERA programları kullanılarak bulunan % 5 sönümlü mutlak ivme spektrumları ($a_{maks_anakaya}=0.1\text{ g}$).....	81
Şekil 4.46	: Athanasopoulos ve diğ. (1999) tarafından yapılan çalışmada DESP bölgesi için elde edilen ivme-zaman geçmişi ($a_{maks_anakaya}=0.14\text{ g}$).....	81
Şekil 4.47	: DESP bölgesi için Quake/W ve EERA programları kullanılarak bulunan ivme-zaman geçmişi ($a_{maks_anakaya}=0.1\text{ g}$).....	82
Şekil 4.48	: Athanasopoulos ve diğ. (1999) tarafından DESP bölgesi için verilen %5 sönümlü mutlak ivme spektrumu ($a_{maks_anakaya}=0.14\text{ g}$)	82
Şekil 4.49	: DESP bölgesinde Quake/W, Flushplus ve EERA programları kullanılarak bulunan % 5 sönümlü mutlak ivme spektrumları ($a_{maks_anakaya}=0.1\text{ g}$).....	82
Şekil 4.50a	: Yüzey topoğrafyasının maksimum yatay ivme değerleri üzerindeki etkisi (Athanasopoulos ve diğ., 1999) (a) Taban hareketine göre zemin büyütmelemleri.....	83

Şekil 4.50b	: Yüzey topoğrafyasının maksimum yatay ivme değerleri üzerindeki etkisi (Athanasopoulos ve diğ., 1999) (b) OTE'deki deprem hareketine göre zemin büyütmeleri.....	83
Şekil 4.51a	: Quake/W programıyla yapılan analiz sonuçları (a) Taban hareketine göre zemin büyütmeleri.....	83
Şekil 4.51b	: Quake/W programıyla yapılan analiz sonuçları (a) OTE'deki harekete göre zemin büyütmeleri.....	83
Şekil 4.52a	: Flushplus programıyla yapılan analiz sonuçları (a) Taban hareketine göre zemin büyütmeleri.....	84
Şekil 4.52b	: Flushplus programıyla yapılan analiz sonuçları (a) OTE bölgesindeki deprem hareketine göre zemin büyütmeleri.....	84
Şekil 4.53	: Çalışmada kullanılan iki boyutlu geometri.....	85
Şekil 4.54	: Analizlerde kullanılan tabakalara ait kayma modülleri ve sönüm oranları.....	86
Şekil 4.55	: Analizlerde kullanılan depremlere ait mutlak ivme spektrumları..	86
Şekil 4.56	: Zemin büyütmesinin mesafe ile değişimi.....	88
Şekil 4.57	: Bir ve iki boyutlu dinamik analiz sonuçlarının karşılaştırılması....	89
Şekil 4.58	: Tepe bölgesi için 1D ve 2D dinamik analiz sonuçlarının karşılaştırılması.....	90
Şekil 5.1	: Anakayadaki deprem hareketinin hakim periyodunun depremin büyüklüğüne ve merkez üstü uzaklığına bağlı değişimi (Kramer, 1996).....	95
Şekil 5.2	: Dinamik analizlerde kullanılan ölçeklendirilmiş anakaya ivme-zaman geçmişleri.....	98
Şekil 5.3	: Dinamik analizlerde kullanılan ivme-zaman geçmişlerinin Fourier spektrumları.....	99
Şekil 5.4	: Analizlerde kullanılan ivme-zaman geçmişlerinin mutlak ivme spektrumları.....	100
Şekil 5.5	: Analizlerde kullanılan ivme-zaman geçmişlerinin Arias şiddeti grafikleri.....	100
Şekil 5.6	: B=500 m, D=30 m, üst tabakası kil, zemin sınıfı Z2 olan model (C-B).....	103
Şekil 5.7	: B=500 m, D=60 m, en üst tabakası kil ve zemin sınıfı Z3 olan vadi modeli (D-C-B).....	103
Şekil 5.8	: B=500 m, D=100 m, en üst tabakası kil ve zemin sınıfı Z4 olan vadi modeli (C-B).....	104
Şekil 5.9	: B=500 m, D=100 m, en üst tabakası kum ve zemin sınıfı Z4 olan vadi modeli (C-B).....	104
Şekil 5.10	: B=1000 m, D=100 m, en üst tabakası kil ve zemin sınıfı Z4 olan vadi modeli (D-C-B).....	105
Şekil 5.11	: İki boyutlu modellerde kullanılan sınır şartları.....	105
Şekil 5.12	: İvme zaman geçmişlerinin hesaplandığı noktaların vadi üzerindeki konumlarının gösterilmesi.....	106
Şekil 5.13	: Üst tabakası kil ve D=30 m olan modelde (Z2) büyütmenin X/D'ye bağlı değişimi.....	106
Şekil 5.14	: Üst tabakası kum ve D=30 m olan modelde büyütmenin değişimi	107
Şekil 5.15	: Üst tabakası kil ve D=30 m olan modelde (Z3) büyütmenin değişimi.....	107
Şekil 5.16	: Üst tabakası kum ve D=30 m olan modelde (Z3) büyütmenin değişimi.....	108

Şekil 5.17	: Üst tabakası kil ve D=60 m olan modelde (D-C-B, Z3) büyütmenin değişimi.....	108
Şekil 5.18	: Üst tabakası kum ve D=60 m olan modelde (D-C-B, Z3) büyütmenin değişimi.....	109
Şekil 5.19	: Üst tabakası kil ve D=60 m olan modelde (D-B, Z3) büyütmenin değişimi.....	109
Şekil 5.20	: Üst tabakası kum ve D=60 m olan modelde büyütmenin değişimi	110
Şekil 5.21	: Üst tabakası kil ve D=60 m olan modelde (C-B, Z3) büyütmenin değişimi.....	110
Şekil 5.22	: Üst tabakası kum ve D=60 m olan modelde (Z3) büyütmenin değişimi.....	110
Şekil 5.23	: Üst tabakası kil ve D=60 m olan modelde (Z4) büyütmenin değişimi.....	111
Şekil 5.24	: Üst tabakası kum ve D=60 m olan modelde (Z4) büyütmenin değişimi.....	111
Şekil 5.25	: Üst tabakası kil ve D=60 m olan modelde (Z2) büyütmenin değişimi.....	112
Şekil 5.26	: Üst tabakası kum ve D=60 m olan modelde (Z2) büyütmenin değişimi.....	112
Şekil 5.27	: Üst tabakası kil ve D=100 m olan modelde (D-C-B, Z3) büyütmenin değişimi.....	113
Şekil 5.28	: Üst tabakası kum ve D=100 m olan modelde (D-C-B, Z3) büyütmenin değişimi.....	113
Şekil 5.29	: Üst tabakası kil ve D=100 m olan modelde (C-B, Z3) büyütmenin değişimi.....	114
Şekil 5.30	: Üst tabakası kum ve D=100 m olan modelde (C-B, Z3) büyütmenin değişimi.....	114
Şekil 5.31	: Üst tabakası kil ve D=100 m olan modelde (Z4) büyütmenin değişimi.....	115
Şekil 5.32	: Üst tabakası kum ve D=100 m olan modelde (Z4) büyütmenin değişimi.....	115
Şekil 5.33	: Üst tabakası kil, D=100 m ve B=1000 m olan modelde (D-C-B, Z3) büyütmenin değişimi.....	116
Şekil 5.34	: Üst tabakası kum, D=100 m ve B=1000 m olan modelde (D-C-B, Z3) büyütmenin değişimi.....	116
Şekil 5.35	: Üst tabakası kil, D=100 m ve B=1000 m olan modelde (C-B, Z3) büyütmenin değişimi.....	117
Şekil 5.36	: Üst tabakası kum, D=100 m ve B=1000 m olan modelde (C-B, Z3) büyütmenin değişimi.....	117
Şekil 5.37	: Üst tabakası kil, D=100 m ve B=1000 m olan modelde (Z4) büyütmenin değişimi.....	118
Şekil 5.38	: Üst tabakası kum, D=100 m ve B=1000 m olan modelde (Z4) büyütmenin değişimi.....	118
Şekil 5.39	: 30 m derinliğindeki vadi modelinde 2D dinamik analizle hesaplanan spektrum katsayılarının ait olduğu yüzeydeki noktaların konumları.....	119
Şekil 5.40	: Üst tabakası kil ve D=30 olan modelde (Z2) bir ve iki boyutlu analizle hesaplanan efektif spektrum katsayıları.....	120
Şekil 5.41	: Üst tabakası kum ve D=30 olan modelde (Z2) bir ve iki boyutlu analizle hesaplanan efektif spektrum katsayıları.....	120

Şekil 5.42	: 60 m derinliğindeki modelde (D-B) 2D dinamik analizle hesaplanan efektif spektrum katsayılarının ait olduğu noktaların konumları.....	121
Şekil 5.43	: Üst tabakası kil olan ve 60 m derinliğindeki (D-B, 10-50) vadi modelinde 1D ve 2D analizle hesaplanan efektif spektrum katsayıları.....	121
Şekil 5.44	: Üst tabakası kum ve 60 m derinliğindeki (D-B, 10-50) vadi modelinde (Z3) bir ve iki boyutlu analizle hesaplanan efektif spektrum katsayıları.....	122
Şekil 5.45	: 60 m derinliğindeki modelde (C-B) 2D dinamik analizle hesaplanan efektif spektrum katsayılarının ait olduğu noktaların konumları.....	123
Şekil 5.46	: Üst tabakası kil ve 60 m derinliğindeki (C-B, 30-30) vadi modelinde (Z3) bir ve iki boyutlu analizle hesaplanan efektif spektrum katsayıları.....	123
Şekil 5.47	: Üst tabakası kum ve 60 m derinliğindeki (C-B, 30-30) vadi modelinde (Z3) bir ve iki boyutlu analizle hesaplanan efektif spektrum katsayıları.....	124
Şekil 5.48	: 100 m derinliğindeki modelde (D-C-B) 2D dinamik analizle hesaplanan efektif spektrum katsayılarının ait olduğu noktaların konumları.....	124
Şekil 5.49	: Üst tabakası kil ve 100 m derinliğindeki (D-C-B, 30-30-40) vadi modelinde 1D ve 2D analizle hesaplanan efektif spektrum katsayıları.....	125
Şekil 5.50	: Üst tabakası kum ve 100 m derinliğindeki (D-C-B, 30-30-40) vadi modelinde 1D ve 2D analizle hesaplanan efektif spektrum katsayıları.....	126
Şekil 5.51	: D=100 m ve B=1000 m olan modelde (D-C-B) 2D dinamik analizle hesaplanan efektif spektrum katsayılarının ait olduğu noktaların konumları.....	126
Şekil 5.52	: Üst tabakası kil, 100 m derinliğinde ve 1000 m genişliğindeki vadi modelinde 1D ve 2D analizle hesaplanan efektif spektrum katsayıları.....	127
Şekil 5.53	: Üst tabakası kum, 100 m derinliğinde ve 1000 m genişliğindeki vadi modelinde 1D ve 2D analizle hesaplanan efektif spektrum katsayıları.....	127
Şekil 5.54	: Maksimum değeri 0.1 g olan deprem kaydı kullanılarak üst tabakası kil olan modellerde hesaplanan 2D ve 1D spektral ivmelerin oranları.....	128
Şekil 5.55	: Maksimum değeri 0.1 g olan deprem kaydı kullanılarak üst tabakası kum olan modellerde hesaplanan 2D ve 1D spektral ivmelerin oranları.....	129
Şekil 5.56	: Maksimum değeri 0.2 g olan deprem kaydı kullanılarak üst tabakası kil olan modellerde hesaplanan 2D ve 1D spektral ivmelerin oranları.....	130
Şekil 5.57	: Maksimum değeri 0.2 g olan deprem kaydı kullanılarak üst tabakası kum olan modellerde hesaplanan 2D ve 1D spektral ivmelerin oranları.....	131

Şekil 5.58	: Maksimum değeri 0.3 g olan deprem kaydı kullanılarak üst tabakası kil olan modellerde hesaplanan 2D ve 1D spektral ivmelerin oranları.....	132
Şekil 5.59	: Maksimum değeri 0.3 g olan deprem kaydı kullanılarak üst tabakası kum olan modellerde hesaplanan 2D ve 1D spektral ivmelerin oranları.....	132
Şekil 5.60	: Maksimum değeri 0.4 g olan deprem kaydı kullanılarak üst tabakası kil olan modellerde hesaplanan 2D ve 1D spektral ivmelerin oranları.....	133
Şekil 5.61	: Maksimum değeri 0.4 g olan deprem kaydı kullanılarak üst tabakası kum olan modellerde hesaplanan 2D ve 1D spektral ivmelerin oranları.....	134
Şekil 5.62	: 17 Ağustos deprem kaydı kullanılarak üst tabakası kil olan vadi modellerinde hesaplanan 2D ve 1D spektral ivmelerin oranları....	134
Şekil 5.63	: 17 Ağustos deprem kaydı kullanılarak üst tabakası kum olan modellerde hesaplanan 2D ve 1D spektral ivmelerin oranları.....	135
Şekil 5.64	: Üst tabakası kil olan farklı derinlik, genişlik ve yerel zemin sınıfına sahip vadi modellerinde elde edilen ortalama 2D/1D spektral ivme oranı grafikleri.....	137
Şekil 5.65	: Üst tabakası kum olan farklı derinlik, genişlik ve yerel zemin sınıfına sahip vadi modellerinde elde edilen ortalama 2D/1D spektral ivme oranı grafikleri.....	138
Şekil 6.1	: Dinar çevresindeki ana faylar (Bakır ve diğ., 2002).....	147
Şekil 6.2	: Dinar ve çevresinin D-B doğrultusundaki jeolojik enkesiti (Bakır ve diğ., 2002).....	148
Şekil 6.3	: Türkiye ve çevresinin tektonik haritası (Ketin, 1993).....	148
Şekil 6.4	: Dinar ile çevresinin fay haritası ve 1900-1994 yılları arasındaki depremselliği (Afet İşleri, 1995).....	149
Şekil 6.5	: Dinar'ın topoğrafik yapısı.....	152
Şekil 6.6	: Dinar bölgesinin jeolojisi (Durukal ve diğ., 1998).....	152
Şekil 6.7	: 1 Ekim 1995 Dinar depremi öncü ve artçı şoklarının merkez üstü dağılımı (Afet İşleri, 1995).....	155
Şekil 6.8	: 1 Ekim 1995 Dinar depremi ana şok kaydı ve ivme spektrumları.	156
Şekil 6.9	: Dinar'daki sondaj noktaları (Güllü, 2001).....	157
Şekil 6.10	: Dinar planı ve deprem sonrası tanımlanan üç ayrı hasar bölgesi (Bakır ve diğ., 2002).....	159
Şekil 6.11	: Dinar'da yapılan rezistivite deneylerinden elde edilen D-B doğrultusundaki kesit (Bakır ve diğ., 2002).....	159
Şekil 6.12	: Dinar'da yapılan PS Logging deneyi sonuçları (Güllü, 2001).....	160
Şekil 6.13	: Dinar'da farklı araştırmacılar tarafından yapılan mikrotremor deneylerinin ölçüm noktaları (Güllü, 2001).....	161
Şekil 6.14a	: Dinar'da Nakamura yöntemi kullanılarak hesaplanan (a) zemin büyütme oranları (Güllü, 2001).....	161
Şekil 6.14b	: Dinar'da Nakamura yöntemi kullanılarak hesaplanan (b) zemin hakim periyotları (Güllü, 2001).....	161
Şekil 6.15	: Dinar'da eş zamanlı mikrotremor ağ ölçümlerinin (array) yapıldığı noktalar.....	164
Şekil 6.16	: Mikrotremor ölçümlerinde kullanılan alıcı düzeni.....	165
Şekil 6.17	: Alıcılarda kaydedilen dalga formu örneği	166

Şekil 6.18	: Birinci ölçüm noktası (Array 1) için dispersiyon eğrisi, model parametreleri ve kayma dalgası hızı profili	168
Şekil 6.19	: İkinci ölçüm noktası için dispersiyon eğrisi ve kayma dalgası hızı profili.....	169
Şekil 6.20	: Üçüncü ölçüm noktası (Array 3) için dispersiyon eğrisi ve kayma dalgası hızı profili.....	169
Şekil 6.21	: Dinar Meteoroloji İstasyonunun konumu.....	172
Şekil 6.22	: Dinar ovasının A-A hattı boyunca alınmış idealleştirilmiş kesiti.	172
Şekil 6.23a	: Eş zamanlı mikrotremor ağ ölçümlerinin yapıldığı noktalardaki idealleştirilmiş kayma dalgası hızı profili (a) Array1.....	173
Şekil 6.23b	: Eş zamanlı mikrotremor ağ ölçümlerinin yapıldığı noktalardaki idealleştirilmiş kayma dalgası hızı profili (b) Array3.....	173
Şekil 6.24	: Dinar’da 1 Ekim 1995 depremi ardından tanımlanan hasar bölgeleri.....	174
Şekil 6.25	: Dinar’daki üç ayrı bölge için hasar dağılımı istatistikleri (Güllü, 2001).....	176
Şekil 6.26	: Dinar’daki binaların yerleşim dağılımları ve mahalle sınırları.....	177
Şekil 6.27	: Dinar’daki tüm binaların hasar oranları ve dağılımı (Güllü, 2001).....	177
Şekil 6.28	: Dinar’daki tüm binaların üç ayrı bölgeye göre hasar oranları.....	178
Şekil 6.29	: Farklı zemin cinsleri için dalga saçılımından kaynaklanan sönümün frekansa bağlı değişimi (Fukushima ve Midorikawa, 1994).....	179
Şekil 6.30	: Eşdeğer lineer metotta kayma gerilmesi-kayma şekil değiştirmesi ilişkisi.....	180
Şekil 6.31	: Shake yazılımıyla hesaplanarak ve eş zamanlı ivme ölçerler kullanılarak ayrı ayrı elde edilen zemin büyütmelemleri (Yoshida ve diğ., 2002).....	181
Şekil 6.32	: Shake ve Fdel yazılımıyla yapılan geri dönüşümlerin anakayadaki gerçek kayıtlarla karşılaştırılması (Ueshima ve Nakazono, 1996).....	181
Şekil 6.33	: Kayma şekil değiştirmesi-frekans ilişkisi (Yoshida ve diğ., 2002)	182
Şekil 6.34	: 1 Ekim 1995 Dinar depreminin hipotetik anakaya ivme-zaman geçmişleri ve bunlara ait mutlak ivme spektrumları.....	184
Şekil 6.35	: DSİ istasyonu, Cezaevi ve Devlet Hastanesi’nin Dinar’da plandaki konumları.....	186
Şekil 6.36	: Artçı şok sırasında DSİ Suçikan İstasyonu’nda D-B doğrultusunda ölçülen ivme kaydı ve buna ait mutlak ivme spektrumu.....	186
Şekil 6.37	: Artçı şok analizlerinde kullanılan iki boyutlu geometri.....	187
Şekil 6.38	: 11 Ekim 1995 artçı şok kaydına ait hesaplanmış ivme spektrumlarıyla iki boyutlu analiz sonucunda elde edilenlerin karşılaştırılması.....	187
Şekil 6.39	: 2D dinamik analizlerde kullanılan sonlu eleman ağı ile sınır şartları.....	189
Şekil 6.40	: Dinamik analizde ivme zaman geçmişlerinin elde edildiği düğüm noktaları.....	189
Şekil 6.41	: Ana şok sırasında Meteoroloji İstasyonu’nda ölçülen kayıtlara ait ivme zaman geçmişi ve mutlak ivme spektrumunun 2D analiz sonucu bulunanlarla karşılaştırılması.....	190

Şekil 6.42	: Modelde hesaplanan yatay ivme zaman geçmişlerinin (D-B) maksimum değerlerinin anakaya mostrasından ova ortasına doğru değişimi.....	191
Şekil 6.43	: Modelde hesaplanan düşey ivme zaman geçmişlerinin (V) maksimum değerlerinin anakaya mostrasından ova ortasına doğru değişimi.....	191
Şekil 6.44	: Dinar Ovası'nın iki boyutlu modelinin ivme spektrumu karakteristiklerine göre bölgelere ayrılması.....	191
Şekil 6.45	: Üç farklı bölge için hesaplanan mutlak ivme spektrumları.....	192
Şekil 6.46	: ASI değerinin iki boyutlu model yüzeyinde kenardan uzaklığa bağlı değişimi.....	193
Şekil 6.47	: Dinamik analiz sonucunda model için hesaplanan 2D/1D spektral büyütme.....	194
Şekil 6.48	: İki boyutlu dinamik analiz sonucunda model için hesaplanan spektrum katsayıları.....	195
Şekil 6.49	: İki boyutlu dinamik analiz sonucunda model için hesaplanan normleştirilmiş spektrum katsayılarının farklı yönetmeliklerde verilen tasarım spektrumu katsayılarıyla karşılaştırılması.....	196
Şekil 7.1	: Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun Türkiye'deki diğer faylar ile birlikte genel görünümü (Nurlu, 1999).....	204
Şekil 7.2	: KAF üzerinde tarihsel ve aletsel dönem içerisinde meydana gelen depremlerin oluşturdukları kırık zonlarının gelişimi (USGS).....	205
Şekil 7.3	: 12 Kasım 1999 depremi yüzey faylanması (Demirtaş ve diğ., 2000).....	207
Şekil 7.4	: Akyazı-Bolu ili arasındaki bölgeye ait sismotektonik harita (Nurlu, 1999).....	208
Şekil 7.5	: Düzce-Kaynaşlı depremi sırasında meydana gelen faylar (Nurlu, 1999).....	209
Şekil 7.6	: Düzce Ovası'nın jeoloji haritası (Şimşek ve Dalgıç, 1997).....	211
Şekil 7.7	: Düzce Ovası'nın batısını temsil eden jeolojik kesit (Şimşek ve Dalgıç, 1997).....	211
Şekil 7.8	: 12 Kasım 1999 Düzce Depremi Düzce Meteoroloji istasyonu ana şok kaydı ve mutlak ivme spektrumları.....	212
Şekil 7.9	: Düzce Meteoroloji İstasyonu'nun yanında yapılan sondaja ait veriler.....	214
Şekil 7.10	: Düzce'de yapılmış tekil mikrotremor ölçümlerinin yerleri.....	215
Şekil 7.11	: Geniş açıklıklı mikrotremor array ve tekil mikrotremor ölçümlerinin birlikte değerlendirilmesiyle Düzce Ovası için belirlenmiş S-dalgası hızı profili.....	215
Şekil 7.12a	: Kayma dalgası hızının derinlikle değişimi (a) 13-16 nolu noktalar (Düzce Meteoroloji İstasyonu).....	218
Şekil 7.12b	: Kayma dalgası hızının derinlikle değişimi (b) 2-6 nolu noktalar (Düzce Ovası kenarı).....	218
Şekil 7.13	: 12 Kasım 1999 Düzce Depremi için farklı rijitlikte anakaya seviyelerinde bir boyutlu geri dönüşümle hesaplanmış hipotetik anakaya ivme zaman geçmişleri.....	220
Şekil 7.14	: 12 Kasım 1999 Düzce depreminin hipotetik anakaya ivme zaman geçmişlerine ait mutlak ivme spektrumları.....	220

Şekil 7.15	: Düzce Ovası'nın kenarında alınmış K-G doğrultusundaki idealleştirilmiş kesit.....	221
Şekil 7.16	: 6 nolu noktadaki zemin tabakalarında kayma modülü ve sönüm oranının tekrarlı kayma şekil değiştirmesine bağlı değişimi.....	222
Şekil 7.17	: Dinamik analizde ivme zaman geçmişlerinin elde edildiği düğüm noktaları.....	222
Şekil 7.18	: Düzce depremi K-G kaydının 2D analiz sonucu bulunanla karşılaştırılması.....	223
Şekil 7.19	: 12 Kasım 1999 Düzce depremi ivme kaydı K-G bileşenine ait mutlak ivme spektrumunun 2D analiz sonucu bulunanla karşılaştırılması.....	223
Şekil 7.20	: 2D modelde ova kenarındaki maksimum yatay ivme değerlerinin (K-G) anakaya mostrasından ova ortasına doğru değişimi.....	224
Şekil 7.21	: 2D modelde ova kenarındaki maksimum düşey ivme değerlerinin (K-G) anakaya mostrasından ova ortasına doğru değişimi.....	224
Şekil 7.22	: Ova kenarında üç farklı bölge için hesaplanan mutlak ivme spektrumları.....	225
Şekil 7.23	: Düzce Ovası'nın iki boyutlu modelinin ivme spektrumu karakteristiklerine göre bölgelere ayrılması.....	226
Şekil 7.24	: ASI değerinin iki boyutlu model yüzeyinde ova kenarından olan uzaklığa bağlı değişimi.....	226
Şekil 7.25	: Dinamik analiz sonucunda ova modeli için hesaplanan 2D/1D spektral büyütme oranlarının ova kenarındaki değişimi.....	227
Şekil 7.26	: 2D dinamik analiz sonucunda modelde hesaplanan efektif spektrum katsayılarının tasarım spektrumu katsayılarıyla karşılaştırılması.....	228
Şekil 8.1	: Analizlerde kullanılan ölçeklendirilmiş anakaya ivme-zaman geçmişleri.....	236
Şekil 8.2	: Analizlerde kullanılan ivme-zaman geçmişlerinin Fourier spektrumları.....	237
Şekil 8.3	: İvme-zaman geçmişlerine ait mutlak ivme spektrumları.....	238
Şekil 8.4	: İki boyutlu dinamik analizlerde kullanılan farklı anakaya eğimine sahip ova/vadi kenarı modelleri.....	241
Şekil 8.5	: İki boyutlu modellerde ova/vadi ortasında kullanılan idealleştirilmiş kayma dalgası hızı profili.....	242
Şekil 8.6	: Farklı anakaya eğimine sahip ova/vadi modellerinde farklı anakaya hareketleri için elde edilen zemin büyütme oranlarının yüzeydeki değişimi.....	244
Şekil 8.7	: Farklı anakaya eğimine sahip ova modellerinde farklı anakaya hareketleri için hesaplanan ASI değerlerinin yüzeydeki değişimi.....	245
Şekil 8.8	: Farklı anakaya eğimine sahip ova/vadi modellerinde farklı anakaya hareketleri için elde edilen maksimum düşey ivme değerlerinin yüzeydeki değişimi.....	246
Şekil 8.9	: Farklı anakaya eğimine sahip modellerde farklı anakaya hareketleri için hesaplanan 2D/1D spektral ivme oranlarının (T=0) yüzeydeki değişimi.....	247
Şekil 8.10	: Farklı anakaya eğimine sahip modellerde farklı anakaya hareketleri için 2D/1D spektral ivme oranlarının (T=0.3 s) yüzeydeki değişimi.....	248

Şekil 8.11	: Farklı anakaya eğimine sahip modellerde farklı anakaya hareketleri için 2D/1D spektral ivme oranlarının ($T=0.4$ s) yüzeydeki değişimi.....	249
Şekil 8.12	: Farklı anakaya eğimine sahip modellerde farklı anakaya hareketleri için 2D/1D spektral ivme oranlarının ($T=0.6$ s) yüzeydeki değişimi.....	250
Şekil 8.13	: Farklı anakaya eğimine sahip ova modellerinde farklı anakaya hareketleri için hesaplanan 2D/1D spektral ivme oranlarının ($T=0.9$ s) yüzeydeki değişimi.....	251
Şekil 8.14	: Dinar ovası modelinde hesaplanan efektif spektrum katsayıları ($T=0.3$ s).....	252
Şekil 8.15	: Dinar ovası modelinde hesaplanan efektif spektrum katsayıları ($T=0.4$ s).....	252
Şekil 8.16	: Dinar ovası modelinde hesaplanan efektif spektrum katsayıları ($T=0.6$ s).....	253
Şekil 8.17	: Dinar ovası modelinde hesaplanan efektif spektrum katsayıları ($T=0.9$ s).....	253
Şekil 8.18	: Farklı anakaya eğimi ve deprem için Dinar modelindeki efektif spektrum katsayılarının ($T=0.3$ s) tasarım spektrumlarıyla karşılaştırılması.....	254
Şekil 8.19	: Farklı anakaya eğimi ve deprem için Dinar modelindeki efektif spektrum katsayılarının ($T=0.4$ s) tasarım spektrumlarıyla karşılaştırılması.....	256
Şekil 8.20	: Farklı anakaya eğimi ve deprem için Dinar modelindeki efektif spektrum katsayılarının ($T=0.6$ s) tasarım spektrumlarıyla karşılaştırılması.....	257
Şekil 8.21	: Farklı anakaya eğimi ve deprem için Dinar modelindeki efektif spektrum katsayılarının ($T=0.9$ s) tasarım spektrumlarıyla karşılaştırılması.....	258
Şekil 8.22	: $H/D=1$ olan ova modelinde 2D/1D spektral ivme oranlarının X/D ve periyoda bağlı değişimi.....	263
Şekil 8.23	: $H/D=2$ olan ova modelinde 2D/1D spektral ivme oranlarının X/D ve periyoda bağlı değişimi.....	263
Şekil 8.24	: $H/D=5$ olan ova modelinde 2D/1D spektral ivme oranlarının X/D ve periyoda bağlı değişimi.....	264
Şekil 8.25	: $H/D=10$ olan ova modelinde 2D/1D spektral ivme oranlarının X/D ve periyoda bağlı değişimi.....	264
Şekil 8.26	: Farklı periyotlar için hesaplanmış a, b, c parametrelerinin H/D 'ye bağlı değişimi.....	267
Şekil 8.27	: İki boyutlu modellerde tabandaki düz anakayanın ($V_s=1000$ m/s) üstünde kullanılan kayma dalgası hızı profili.....	268
Şekil 8.28	: Farklı deprem ve anakaya eğimi için Düzce ovası modelinde hesaplanan zemin büyütme oranlarının yüzeydeki değişimi.....	270
Şekil 8.29	: Farklı deprem ve anakaya eğimi için Düzce ovası modelinde hesaplanan ivme spektrumu şiddeti değerlerinin (ASI) yüzeydeki değişimi.....	271
Şekil 8.30	: Farklı deprem ve anakaya eğimi için Düzce ovası modelinde hesaplanan maksimum düşey ivme değerlerinin yüzeydeki değişimi.....	272

Şekil 8.31	: Düzce ovası modelinde hesaplanan 2D/1D oranının (T=0) değişimi.....	274
Şekil 8.32	: Düzce ovası modelinde hesaplanan 2D/1D oranının (T=0.3 s) değişimi.....	274
Şekil 8.33	: Düzce ovası modelinde hesaplanan 2D/1D oranının (T=0.4 s) değişimi.....	275
Şekil 8.34	: Düzce ovası modelinde hesaplanan 2D/1D oranının (T=0.6 s) değişimi.....	275
Şekil 8.35	: Düzce ovası modelinde hesaplanan 2D/1D oranının (T=0.9 s) değişimi.....	276
Şekil 8.36	: Düzce modeli için hesaplanan efektif spektrum katsayıları (T=0.3 s).....	277
Şekil 8.37	: Düzce modeli için hesaplanan efektif spektrum katsayıları (T=0.4 s).....	278
Şekil 8.38	: Düzce modeli için hesaplanan efektif spektrum katsayıları (T=0.6 s).....	279
Şekil 8.39	: Düzce modeli için hesaplanan efektif spektrum katsayıları (T=0.9 s).....	279
Şekil 8.40	: Farklı anakaya eğimi ve deprem hareketleri için Düzce ovası modelinde hesaplanan efektif spektrum katsayılarının (T=0.3 s) tasarım spektrumlarıyla karşılaştırılması.....	280
Şekil 8.41	: Farklı anakaya eğimi ve deprem hareketleri için Düzce ovası modelinde hesaplanan efektif spektrum katsayılarının (T=0.4 s) tasarım spektrumlarıyla karşılaştırılması.....	281
Şekil 8.42	: Spektrum katsayılarının (T=0.6 s) tasarım spektrumlarıyla karşılaştırılması.....	283
Şekil 8.43	: Spektrum katsayılarının (T=0.9 s) tasarım spektrumlarıyla karşılaştırılması.....	284
Şekil 8.44	: H/D=1 olan ova modelinde 2D/1D spektral ivme oranlarının X/D ve periyoda bağlı değişimi.....	288
Şekil 8.45	: H/D=2 olan ova modelinde 2D/1D spektral ivme oranlarının X/D ve periyoda bağlı değişimi.....	289
Şekil 8.46	: H/D=5 olan ova modelinde 2D/1D spektral ivme oranlarının X/D ve periyoda bağlı değişimi.....	289
Şekil 8.47	: H/D=10 olan ova modelinde 2D/1D spektral ivme oranlarının X/D ve periyoda bağlı değişimi.....	290
Şekil 8.48	: Farklı anakaya eğimi için hesaplanmış a, b, c parametrelerinin periyoda bağlı değişimi.....	293
Şekil 8.49	: Farklı periyotlar için hesaplanmış a, b, c parametrelerinin H/D'ye bağlı değişimi.....	294
Şekil 8.50	: Dinar ve Düzce ovası modellerinde 1D ve 2D dinamik davranışla temsil edilen bölgelerin ova kenarındaki geometriye bağlı değişimi.....	301
Şekil B.1	: Farklı anakaya eğimine sahip Dinar ovası modellerinde maksimum yatay büyütme değerlerinin X/D'ye bağlı değişimi....	331
Şekil B.2	: Farklı anakaya eğimine sahip Dinar ovası modellerinde T=0 için 2D/1D spektral ivme oranlarının X/D'ye bağlı değişimi.....	332
Şekil B.3	: Farklı anakaya eğimine sahip Dinar ovası modellerinde T=0.3 s için 2D/1D spektral ivme oranlarının X/D'ye bağlı değişimi.....	333

Şekil B.4	: Farklı anakaya eğimine sahip Dinar ovası modellerinde $T=0.4$ s için 2D/1D spektral ivme oranlarının X/D 'ye bağlı değişimi.....	334
Şekil B.5	: Farklı anakaya eğimine sahip Dinar ovası modellerinde $T=0.6$ s için 2D/1D spektral ivme oranlarının X/D 'ye bağlı değişimi.....	335
Şekil B.6	: Farklı anakaya eğimine sahip Dinar ovası modellerinde $T=0.9$ s için 2D/1D spektral ivme oranlarının X/D 'ye bağlı değişimi.....	336
Şekil B.7	: $H/D=1$ olan Dinar ovası modelinde 2D/1D spektral ivme oranlarının X/D ve periyoda bağlı değişimi.....	337
Şekil B.8	: $H/D=2$ olan Dinar ovası modelinde 2D/1D spektral ivme oranlarının X/D ve periyoda bağlı değişimi.....	337
Şekil B.9	: $H/D=5$ olan Dinar ovası modelinde 2D/1D spektral ivme oranlarının X/D ve periyoda bağlı değişimi.....	338
Şekil B.10	: $H/D=10$ olan Dinar ovası modelinde 2D/1D spektral ivme oranlarının X/D ve periyoda bağlı değişimi.....	338
Şekil B.11	: Farklı anakaya eğimine sahip ova modellerinde $T=0$ için 2D/1D spektral ivme oranlarının X/D 'ye bağlı değişiminin istatistiksel olarak değerlendirilmesi.....	339
Şekil B.12	: Farklı anakaya eğimine sahip ova modellerinde $T=0.3$ s için 2D/1D spektral ivme oranlarının X/D 'ye bağlı değişiminin istatistiksel olarak değerlendirilmesi.....	340
Şekil B.13	: Farklı anakaya eğimine sahip ova modellerinde $T=0.4$ s için 2D/1D spektral ivme oranlarının X/D 'ye bağlı değişiminin istatistiksel olarak değerlendirilmesi.....	341
Şekil B.14	: Farklı anakaya eğimine sahip ova modellerinde $T=0.6$ s için 2D/1D spektral ivme oranlarının X/D 'ye bağlı değişiminin istatistiksel olarak değerlendirilmesi.....	342
Şekil B.15	: Farklı anakaya eğimine sahip ova modellerinde $T=0.9$ s için 2D/1D spektral ivme oranlarının X/D 'ye bağlı değişiminin istatistiksel olarak değerlendirilmesi.....	343
Şekil C.1	: Farklı anakaya eğimine sahip Düzce ovası modellerinde maksimum yatay büyütme değerlerinin X/D 'ye bağlı değişimi....	344
Şekil C.2	: Farklı anakaya eğimine sahip Düzce ovası modellerinde $T=0$ için 2D/1D spektral ivme oranlarının X/D 'ye bağlı değişimi.....	345
Şekil C.3	: Farklı anakaya eğimine sahip Düzce ovası modellerinde $T=0.3$ s için 2D/1D spektral ivme oranlarının X/D 'ye bağlı değişimi.....	346
Şekil C.4	: Farklı anakaya eğimine sahip Düzce ovası modellerinde $T=0.4$ s için 2D/1D spektral ivme oranlarının X/D 'ye bağlı değişimi.....	347
Şekil C.5	: Farklı anakaya eğimine sahip Düzce ovası modellerinde $T=0.6$ s için 2D/1D spektral ivme oranlarının X/D 'ye bağlı değişimi.....	348
Şekil C.6	: Farklı anakaya eğimine sahip Düzce ovası modellerinde $T=0.9$ s için 2D/1D spektral ivme oranlarının X/D 'ye bağlı değişimi.....	349
Şekil C.7	: $H/D=1$ olan Düzce ovası modelinde 2D/1D spektral ivme oranlarının X/D ve periyoda bağlı değişimi.....	350
Şekil C.8	: $H/D=2$ olan Düzce ovası modelinde 2D/1D spektral ivme oranlarının X/D ve periyoda bağlı değişimi.....	350
Şekil C.9	: $H/D=5$ olan Düzce ovası modelinde 2D/1D spektral ivme oranlarının X/D ve periyoda bağlı değişimi.....	351
Şekil C.10	: $H/D=10$ olan Düzce ovası modelinde 2D/1D spektral ivme oranlarının X/D ve periyoda bağlı değişimi.....	351

Şekil C.11	: Farklı anakaya eğimine sahip Düzce ovası modellerinde $T=0$ için 2D/1D spektral ivme oranlarının X/D 'ye bağlı değişiminin istatistiksel olarak değerlendirilmesi.....	352
Şekil C.12	: Farklı anakaya eğimine sahip ova modellerinde $T=0.3$ s için 2D/1D spektral ivme oranlarının X/D 'ye bağlı değişiminin istatistiksel olarak değerlendirilmesi.....	353
Şekil C.13	: Farklı anakaya eğimine sahip ova modellerinde $T=0.4$ s için 2D/1D spektral ivme oranlarının X/D 'ye bağlı değişiminin istatistiksel olarak değerlendirilmesi.....	354
Şekil C.14	: Farklı anakaya eğimine sahip ova modellerinde $T=0.6$ s için 2D/1D spektral ivme oranlarının X/D 'ye bağlı değişiminin istatistiksel olarak değerlendirilmesi.....	355
Şekil C.15	: Farklı anakaya eğimine sahip ova modellerinde $T=0.9$ s için 2D/1D spektral ivme oranlarının X/D 'ye bağlı değişiminin istatistiksel olarak değerlendirilmesi.....	356

SEMBOL LİSTESİ

α^*	: Kompleks direnç oranı
a_{maks_k}	: Anakaya mostrasındaki ivme-zaman geçmişinin en büyük değeri
a_{maks_y}	: Zemin yüzeyindeki ivme-zaman geçmişinin en büyük değeri
B	: Ova/vadi genişliği
c_s, c_p	: Sönüm katsayıları
D	: Ova/vadi modelinde anakaya derinliği
E_c	: Tekrarlı elastisite modülü
E_0	: Başlangıç elastisite modülü
f	: Frekans
G	: Kayma modülü
G^*	: Kompleks kayma modülü
G_c	: Tekrarlı kayma modülü
G_0	: Başlangıç kayma modülü
H	: Ova/vadi kenarı genişliği
I_p	: Plastisite indisi
γ_{eff}	: Efektif kayma şekil değiştirmesi
γ_n	: Birim hacim ağırlık
k^*	: Kompleks dalga sayısı
ξ	: Sönüm oranı
ξ_c	: Tekrarlı sönüm oranı
λ	: Dalga boyu
L	: Ova/vadi modeli yarı genişliği
M	: Deprem büyüklüğü
M_b	: Deprem cisim dalgası büyüklüğü
M_L	: Deprem Richter (yerel) büyüklüğü
M_0	: Sismik moment
M_s	: Deprem yüzey dalgası büyüklüğü
M_w	: Deprem moment büyüklüğü
η	: Viskoz sönüm katsayısı
ν	: Poisson oranı
ω	: Açısal frekans
ρ	: Yoğunluk
S_a	: Görelî ivme spektrumu
S_{at}	: Mutlak ivme spektrumu
$S(T)$	: Spektrum katsayısı
$S(T) [2D/1D]$	: İki ve bir boyutlu ivme spektrumları oranı (Şiddet faktörü)
u	: Yatay yerdeğiştirme
X	: Ova/vadi kenarındaki anakaya mostrasından itibaren uzaklık
V_s	: Kayma dalgası hızı
V_{s0}	: Başlangıç kayma dalgası hızı
V_{s30}	: Üst 30 m için eşdeğer kayma dalgası hızı
w_L	: Likit limit

TOPOĞRAFİK DÜZENSİZLİKLERİN ZEMİN BÜYÜTMESİNE ETKİSİ

ÖZET

Geoteknik deprem mühendisliğinde karşılaşılan en önemli problemlerden biri, zemin tabakalarının deprem sırasında gösterdiği davranışın belirlenmesidir. Bir sahada oluşan deprem hareketinin özellikleri tektonik yapı, kırılma mekanizması, doğrultu etkisi, merkez üstü uzaklığı, jeolojik yapının ve yerel zemin koşullarının etkisi gibi birçok faktöre bağlıdır. Deprem dalgalarının yüzeye yakın yumuşak zemin tabakalarından geçerken genliklerinin artmasına, frekans içeriğinde ve süresinde meydana gelen değişimlere zemin büyütmesi denir. İncelenen bölgeye bağlı olarak zemin büyütmesinde meydana gelen değişimlere “yerel etkiler” adı verilmektedir. Yerel etkiler; başlıca, yüzeydeki zemin tabakalarıyla daha altta yer alan anakaya arasındaki özgül direnç farklılığından kaynaklanmakla birlikte, anakaya derinliğini, anakaya üzerindeki zemin tabakalarının kalınlığını, cinslerini ve dinamik özelliklerini, bu özelliklerin derinlik ve şekil değiştirme seviyesine bağlı değişimini, zemin tabakalarının yanal süreksizliğini ve topoğrafik özellikler nedeniyle oluşan etkileri de kapsar. Yerel etkiler kuvvetli yer hareketinin genlik, süre ve frekans içeriği gibi özelliklerini önemli derecede değiştirebilmektedir. Bu nedenle, depremler sırasında oluşabilecek yapısal hasarın dağılımını etkilemekte ve depreme dayanıklı yapıların tasarımında önemli rol oynamaktadır.

Topoğrafik özellikler hem yüzey geometrisini hem de yüzey altı zemin tabakalarının ve anakayanın geometrisini kapsamaktadır. Gerçekte dar vadiler, geniş vadilerin kenarları, dik yamaç ve tepeler gibi topoğrafik düzensizliklere sahip bölgelerde deprem hareketi sırasında ikinci ve hatta üçüncü boyutun dinamik etkileri ortaya çıkabilmektedir. Zemin tabakalarının yatay yönde sınırlı genişliğe sahip olması, ova ve vadi kenarlarında dalga hareketi dönüşümlerine ve yüzey dalgalarının oluşmasına sebep olmakta, iki boyutlu rezonans modelleri ortaya çıkmakta, yer hareketinin frekans içeriği ve genliği ova ve vadilerin ortasından kenarlarına doğru uzaklığa bağlı olarak değişmekte, dik yamaç ve tepelerde ani şiddet artışları oluşabilmektedir.

Ova ve vadi gibi derin oluşumlarda ve bunların kenarlarında kuvvetli yanal jeolojik düzensizlikler tarafından meydana gelen ikincil dinamik etkiler sonucunda dalga dönüşümleri oluşmaktadır. Bu tip durumlarda, yüzeydeki hareketin genliği ova/vadi üzerinde elde edildiği bölgeye göre değişim gösterir ve frekans muhtevası aynı bölgede bir boyutlu analizden hesaplanana göre değişebilmektedir. Cisim dalgalarına ek olarak yüzey dalgalarının mevcudiyetiyle baskın hale gelen bu etkiler üzerinde iki ve hatta üç boyutlu sayısal modeller yardımıyla çalışılabilir.

Bu çalışmada, topoğrafik düzensizliklerin zemin tabakalarının dinamik davranışına etkisi, gerçek ve idealleştirilmiş tepe-ova modelleri üzerinde yapılan bir ve iki boyutlu dinamik analizler yardımıyla incelenmiş, bulunan sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Tez kapsamında yapılan bir boyutlu dinamik analizlerde frekans ortamında çalışan ve eşdeğer lineer yöntemle dayanan EERA, Shake91 ve Dyne-q yazılımları kullanılmıştır. İki boyutlu dinamik analizlerde; lineer yöntemle göre hesap yapılan

bölümlerde Sap2000 ve Plaxis yazılımları, eşdeğer lineer yöntemle göre hesap yapılan bölümlerde frekans ortamında çalışan Flushplus ve zaman ortamında çalışan Quake/W yazılımları kullanılmıştır.

Üzerinde bir ve iki boyutlu analizler yapılan iki boyutlu modellerde, anakayadaki deprem hareketinin şiddeti ve frekans içeriğinin zemin tabakalarının dinamik davranışına etkisini yansıtabilmek amacıyla, birbirinden farklı mühendislik şiddet parametrelerine ($a_{maks_k}=0.1\text{ g}-0.4\text{ g}$) ve frekans içeriğine sahip yurt içi/yurt dışı depremlerine ait altı ayrı kuvvetli yer hareketi kullanılmıştır. Yapılacak bir ve iki boyutlu analizlerden elde edilecek sonuçların özellikle Türkiye'deki farklı sismotektonik yapıların özelliklerini yansıtmaları istendiğinden analizlerde son yıllarda Kuzeydoğu Anadolu Fay Hattı'nda meydana gelen depremlere ait anakaya mostrası üzerindeki kayıtlar, Türkiye'de farklı depremlerde alüvyon üzerinde alınan kayıtların geri dönüşümle anakayaya taşınmasıyla elde edilen ivme-zaman geçmişleri, ayrıca San Andreas fay hattı üzerinde kaydedilmiş olan toplam altı adet ivme zaman geçmişi kullanılmıştır.

İki boyutlu dinamik analizlerde kullanılacak sonlu eleman modellerinin sınır şartlarının ve analiz yönteminin uygunluğunun belirlenebilmesi amacıyla, daha önce literatürde yapılmış olan bir çalışma ele alınmış ve bu çalışmada kullanılan model üzerinde farklı yöntemler ve sınır şartları kullanılarak analizler yapılmıştır. Ayrıca, bu modeldeki zemin tabakalarının dinamik özellikleri değiştirilip, farklı anakaya deprem hareketleri kullanılarak üzerinde bir ve iki boyutlu dinamik analizler düzenlenmiş, böylece ova/tepe geometrisi gibi basamak şeklindeki yüzey topoğrafyasında zemin büyütmesine farklı zemin sınıflarının ve depremlerin etkisi incelenmiştir.

Trapez biçiminde idealleştirilmiş geometriye sahip ova/vadi modellerinin kullanıldığı dinamik analizlerde, tabakalara ait zemin grupları ve kayma dalgası hızları, DBYBHY'te verilen farklı yerel zemin sınıflarını oluşturacak biçimde seçilmiş, ayrıca farklı zemin gruplarının dinamik davranışa etkisini yansıtabilmek amacıyla en üst tabakanın kil ve siltli kum olma durumu ayrı ayrı ele alınmıştır. Sığ ve rijit vadi modelleri dışında üst tabakası kum olan modeller için elde edilen maksimum büyütme değerleri, üst tabakanın kil olması hali için hesaplananlardan oldukça az ve bazen 1'den küçük bulunmuştur. Genelde vadi kenarındaki 2D/1D spektral ivme oranları, vadi ortasına doğru yer alan kısımlardan daha yüksek değerler almakta, bununla birlikte anakayadaki ivme şiddetinin artmasıyla bu farklılaşma azalmaktadır.

Ova ve vadi kenarı gibi topoğrafik düzensizliklerin zemin büyütmesine ve deprem hareketinin şiddetine olan etkisi; Dinar ovası ve Düzce ovası modelleri üzerinde bir ve iki boyutlu analizler yapılarak incelenmiştir. Bu amaçla, Dinar ve Düzce ovalarındaki iki boyutlu kayma dalgası hızı profilleri ve sismik anakaya derinlikleri, eş zamanlı mikrotremor ağ ölçümü yöntemiyle belirlenmiş, bu veriler yardımıyla kurulan modeller üzerinde sırasıyla 1995 Dinar ve 1999 Düzce depremleri sırasında alınmış yüzey kayıtları bir boyutlu geri dönüşümle sismik anakayaya taşınmış ve yapılan iki boyutlu analizlerle 1995 Dinar depreminde oluşan hasarın ova kenarındaki anakaya geometrisiyle ilişkisi araştırılmıştır. Dinar'daki baskın yapı periyodunun 0.1 s-0.3 s aralığında bulunduğu göz önüne alındığında, kuvvetli yer hareketinin rijit yapılara etkisini göstermek açısından etkili olan ivme spektrumu şiddetinin (ASI), Dinar'daki yapı stoğunun hasar derecesini açıklamak için kullanılabileceği gösterilmiştir.

Anakaya eğiminin ova kenarındaki deprem hareketine olan etkisinin araştırılması için birbirinden farklı anakaya eğimine sahip dört ayrı iki boyutlu model oluşturulmuş ve frekans muhtevaları farklı altı ayrı deprem hareketi karşısındaki davranışları belirlenmeye çalışılmıştır. Modellerde, Dinar ve Düzce ovası kayma dalgası hızı profilleri ve zemin grupları kullanılmıştır. Yapılan bir ve iki boyutlu dinamik analizlerin sonuçlarının birlikte değerlendirilmesiyle, modellerin kenarındaki zemin büyütmesi, ivme spektrumu şiddeti, efektif spektrum katsayısı ve 2D/1D spektral ivme oranlarının (şiddet faktörü) geometriye bağlı değişimi incelenmiştir.

Farklı periyotlar için hesaplanan 2D/1D spektral ivme oranlarının istatistiksel açıdan değerlendirilmesiyle, farklı anakaya eğimine sahip modeller için ova geometrisine ve sismik anakaya derinliğine bağlı 2D/1D spektral ivme oranı ilişkisi tanımlanmış, bir boyutlu dinamik analizin yaklaşık geçerlilik sınırları belirlenmiştir. Elde edilen 2D/1D spektral ivme oranı bağıntısı sayesinde, ova kenarında yer alan bölgeler için yapılan bir boyutlu dinamik analizlerden hesaplanan spektral ivme değerlerine; anakaya eğimine, anakaya mostrasından olan uzaklığa ve sismik anakaya derinliğine bağlı olarak ova kenarlarındaki sınırlayıcı ikinci boyut etkisinin yansıtılabileceği gösterilmiştir.

THE EFFECT OF TOPOGRAPHICAL IRREGULARITIES ON SOIL AMPLIFICATION

SUMMARY

One of the most commonly encountered problems in geotechnical earthquake engineering is the evaluation of ground response. The characteristics of ground motion at a particular site depend on many factors such as tectonics of the region, epicentral distance, geological formations, bedrock depth, geotechnical site conditions, local surface and subsurface topography. The changes in amplitude, frequency content and duration of earthquake waves which occur while passing through near surface soil layers is defined as soil amplification. The variations in soil amplification with respect to the site being considered are named as “site effects”. Site effects are mainly governed by the specific impedance contrast between near surface and deep soil layers, also they include the effects which are caused by bedrock depth, geometry and dynamic properties of soil layers and topographical characteristics. Site effects may have strong influence on the characteristics of bedrock ground motion such as amplitude, duration and frequency content. As a result they affect the variation of damage distribution during earthquakes and play an important role in the design of earthquake resistant buildings.

The topographical characteristics include surface geometry, two and three dimensional geometry of the bedrock and subsurface soil layers, also the lateral discontinuities of surface and subsurface layers. In fact, two and even three dimensional effects may occur at sites having topographical irregularities such as narrow valleys, basin edges, steep ridges and crests. Strong lateral discontinuities in soil layers cause wave transformations and surface waves at basin and valley edges. They produce two dimensional resonance models and consequently the amplitude, frequency content and duration of the strong ground motions may change with distance from basin edges to the center. Also the ground motion intensity levels may have high rise at steep ridges and crests.

At deep sedimentary deposits, wave transformations occur as a result of the secondary effects caused by strong lateral discontinuities. During those situations, the amplitude of the ground motion will show variation with respect to the site location and also its frequency content and amplitude may differ from the results evaluated by one dimensional dynamic analyses. For this reason, only two and three dimensional numerical models can be used to study on this effects which become more dominant with the existence of surface waves in addition to body waves.

In this study, the effects of topographical irregularities on the dynamic behaviour of soil layers were investigated by performing one (1D) and two dimensional (2D) dynamic analyses on real and hypothetical models.

Within the scope of this study, EERA, Shake91 and Dyne-q softwares were used to perform one dimensional dynamic analyses. Those softwares are mainly based on equivalent linear method. Sap2000, Plaxis and Quake/W softwares were used while

performing two dimensional linear dynamic analyses. Flushplus and Quake/W softwares were used for the two dimensional nonlinear dynamic analyses of the models. Flushplus is a finite element software which is based on equivalent linear method and it works in the frequency domain. Quake/W is a finite element software which is based on equivalent linear method and it works in the time domain.

For the two dimensional basin models which were subjected to 1D and 2D dynamic analyses, six different strong ground motion acceleration time histories with different intensity levels ($a_{maks}=0.1\text{ g}-0.4\text{ g}$) and frequency content were used to reflect the effects of the variation in intensity level and frequency content of bedrock motion on the dynamic response of soil layers. The results which would be obtained from the 1D and 2D analyses were aimed to reflect the characteristics of different seismotectonical structures in Turkey. Therefore four of the totally six different acceleration time history records were selected among major Turkey earthquakes. Those four acceleration time histories of the Turkey earthquakes consist of rock outcropping motions recorded during the major earthquakes of North Anatolian Fault in the last years and the seismic bedrock motions evaluated by the one dimensional deconvolution of the surface motions recorded in Dinar and Duzce basins. Also two rock outcropping motions were selected among the records of major earthquakes occurred at San Andreas fault.

A two dimensional basin/ridge model from a literature study was taken into consideration and dynamic analyses were performed on the same model by using different methods and boundary conditions, to determine the appropriateness of the boundary conditions which would be used for the dynamic analyses of the two dimensional finite element models in the following studies. Also after changing the dynamic properties of the soil layers used in this model, one and two dimensional dynamic analyses were performed with different ground motions to investigate the effects of different soil classes and earthquakes on soil amplification for step like surface topography such as basin/ridge geometry.

For the dynamic analyses in which idealized trapezoidal symmetrical valley models were used, the parameters such as the thickness and initial shear wave velocities of the soil layers above bedrock, which play the main role in the determination of dynamic response, were selected in accordance with the soil groups and soil classes defined in Turkish Earthquake Design Code (2007). Also in order to reflect the effect of different soil classes to the dynamic behaviour, the near surface soil layer was selected as clay and silty sand separately, thus they were considered in two different cases. Except for the shallow and rigid valley models, the maximum soil amplification values evaluated for the models with silty sand upper layer, were lower than the results calculated for models having clay upper layer and sometimes they took amplification values lower than 1. Generally the 2D/1D spectral acceleration ratios evaluated near the edge of valley models, took higher values than the values calculated for mid parts, however this difference between 2D and 1D behaviour began to decrease with the increase in intensity level of bedrock motion.

The effect of topographical irregularities such as basin and valley edge on the soil amplification and ground motion intensity, was investigated by performing one and two dimensional dynamic analyses on Dinar and Duzce basin models. With this aim, the two dimensional shear wave velocity profiles and seismic bedrock depths were evaluated by using the data obtained from single point microtremor and microtremor array measurements to constitute two dimensional models of the basins. By using the

geometry and dynamic properties of soil layers, one dimensional deconvolution analyses were performed for both of Dinar and Duzce earthquake surface records so that the hypothetical acceleration time histories of the seismic bedrock motion were evaluated to be used for one and two dimensional dynamic analyses on the finite element models. Then, the relation between the damage distribution in Dinar earthquake and basin edge geometry was investigated by performing two dimensional dynamic analyses. By taking into consideration the fact that the predominant periods of structures settled in Dinar were generally between 0.1 sec - 0.3 sec, it was revealed that acceleration spectrum intensity parameter (ASI) can be used as a good indicator for the damage distribution in Dinar.

The variation of surface motion at basin edges during strong ground motion was investigated for models with different edge geometries and different soil classes. Basin edge geometries with four different slope values ($H/D=10, 5, 2, 1$) were used to investigate the effects of basin edge on the variation of surface motion under earthquake excitations with different frequency content. Dinar ve Duzce basin shear wave velocity profiles and soil groups were used to constitute the two dimensional geometry of those finite element models. The soil amplifications, acceleration spectrum intensity values, effective spectrum coefficients, 2D/1D spectral acceleration ratios (aggravation factors) were calculated for basin edges and their variation with the distance from edges were investigated. Also by comparing one and two dimensional results, the validity ranges for one dimensional dynamic method were investigated.

After evaluating the aggravation factors for different periods statistically, an aggravation factor relation was defined for the basin edge models with different edge slope values. It was revealed that by using the 2D/1D aggravation factor relation, the limiting effect of the second dimension at basin edges can be reflected to the spectral accelerations evaluated from the results of one dimensional dynamic analyses, as a function of basin edge geometry and seismic bedrock depth.

1. GİRİŞ

Zemin tabakalarının deprem sırasında gösterdiği davranışın belirlenmesi geoteknik deprem mühendisliğinde karşılaşılan önemli problemlerden biridir. Deprem dalgalarının yüzeye yakın zemin tabakalarından geçerken genliklerinde meydana gelen artış zemin büyütmesi olarak ifade edilmektedir. Anakaya derinliği, anakaya üzerindeki zemin tabakalarının kalınlığı, cinsleri, kayma modülü ve sönüm oranı gibi dinamik özellikler, bu özelliklerin derinlikle ve deformasyonla değişimi, zemin tabakalarının yanal düzensizliği ve topoğrafik özellikler gibi yerel etkiler zemin büyütmesini etkileyen önemli faktörlerdir.

Depremler sırasında bir kaynaktan açığa çıkan enerjinin neden olduğu sismik hareketler; dalga yayılma yolu, jeolojik ve yerel zemin koşulları tarafından değişikliğe uğrarlar. Kaynak mekanizmasının analizi ve deprem dalgasının yayılma yolu üzerindeki jeolojik formasyon etkisi, sismolojinin önemli bir bölümünü oluşturur. Yerel zemin koşullarının, kuvvetli yer hareketi üzerindeki etkisi geoteknik mühendislerinin araştırmalarının odak noktasını oluşturmuştur. Bu konuda yapılan çalışmaların amacı üst yapıya etkiyecek spektral ivmeyi ve tasarım deprem hareketinin genliği, frekans içeriği ve süresi gibi özelliklerini belirlemektir.

Bir sahada oluşan deprem hareketinin özellikleri tektonik yapı, kırılma mekanizması, doğrultu etkisi, merkez üstü uzaklığı, deprem dalgasının ilerleme yolu üzerindeki jeolojik yapının etkisi, deprem dalgalarının girişimi, yerel yüzey topoğrafyasının ve zemin koşullarının etkisi gibi birçok faktöre bağlıdır. Yerel zemin koşulları, depremler sırasında yapılarda meydana gelecek hasarın dağılımını etkilemekte ve depreme dayanıklı yapıların tasarımında önemli rol oynamaktadır. Bu nedenle; mühendislik yapılarının depreme dayanıklı tasarlanabilmesi için, ekonomik ömürleri boyunca etki edebilecek ek dinamik kuvvetlerin doğru biçimde elde edilmesi gerekmektedir. Yerel zemin koşulları kuvvetli yer hareketinin genlik, frekans içeriği ve süresi gibi özelliklerini önemli derecede etkileyebildiği gibi deprem dalgaları da ürettikleri tekrarlı şekil değiştirme seviyelerine bağlı olarak geçtikleri tabakaların özelliklerini değiştirebilmektedir.

Yüzey jeolojisi ve zemin tabakalarının geoteknik özelliklerinin, deprem sırasında oluşan yer hareketine çok önemli etkisi vardır. Deprem sırasında oluşan yer hareketinin genliğinde, frekans içeriğinde ve süresinde; incelenen bölgenin konumuna bağlı meydana gelen değişimlere “yerel etkiler” denir. Yerel etkiler; başlıca, yüzeydeki zemin tabakalarıyla daha altta yer alan anakayanın mühendislik özelliklerinden (V_s , ρ) kaynaklanan özgül direnç farklılığına bağlı etkilerden oluşur ve bir boyutlu (1D) sayısal metotlar (lineer elastik, eşdeğer lineer veya lineer olmayan) yardımıyla modellenebilir. Yerel etkiler, ayrıca vadi/ova gibi derin oluşumlarda ve bunların kenarlarında kuvvetli yanal jeolojik düzensizlikler tarafından meydana gelen etkileri de kapsar. Cisim dalgalarına ek olarak yüzey dalgaları ile baskın hale gelen bu etkiler üzerinde, sadece iki ve üç boyutlu sayısal modeller yardımıyla çalışılabilir. Böyle durumlarda bir boyutlu analizler yeterli olmamaktadır. Yerel etkiler, denildiğinde yer hareketi özelliklerinde yüzey topoğrafyasına bağlı olarak meydana gelen bölgesel değişimlerin de kapsanması gerektiği anlaşılmaktadır.

Yerel etkiler, genellikle zemin tabakalarının mühendislik ve geometrik özellikleri ile yüzey topoğrafyası nedeniyle, gelen deprem dalgasının genlik, frekans içeriği ve süresi gibi karakteristiklerinin değişimi olarak tanımlanabilir. Bu değişim, frekans ortamında yer hareketinin genliğinin büyümesi veya küçülmesi biçiminde ortaya çıkar ve meydana gelişi birçok parametreye bağlıdır. Bu parametrelerin bazıları rijitlik azalımı, sönüm artışı ve lineer olmayan zemin davranışı dinamik özellikler, diğerleri ise gelen deprem dalgasının şiddeti ve özellikleri, yüzey/anakaya topoğrafyası gibi geometrik özellikler ve yanal jeolojik süreksizlikler olarak sayılabilir.

Birbirinden farklı her özel durum için yer hareketinin fiziki ve yerel değişimini anlayabilmek ve bu olguyu nicelleştirebilmek için yukarıda bahsedilen özelliklerin ilgilenilen sahaya özel biçimde tanımlanması gerekir. Sonuç olarak, ilgili sahayı oluşturan zemin tabakalarının özelliklerinin arazi ve laboratuvar deneyleriyle elde edilmesi, etkili sayısal analizler için kaçınılmaz ve önemli bir parametredir. Yüzeydeki deprem hareketinin belirlenmesi, tasarım spektrumunun geliştirilmesi, sıvılaşma analizinde kullanılacak tekrarlı kayma gerilmesi ve şekil değiştirmelerinin bulunması, zemin yapılarına ve üst yapılara faydalı ömürleri boyunca etkiyebilecek

deprem hareketinin yolaçtığı eylemsizlik kuvvetlerinin elde edilebilmesi için dinamik analizler yapılmaktadır.

Yerel etkilerin temel kavramını anlayabilmek için, karmaşık doğal fiziksel yapının basitleştirilmesi gereklidir. Bu nedenle, düzenlenen bir boyutlu dinamik analizlerde zemin ortamı yatay tabakalanmış olarak kabul edilir. Bu kısıtlama nedeniyle bir boyutlu dinamik analizler sadece yukarı ve aşağı yönde ilerleyen cisim dalgaları esasına dayanır. Bununla birlikte, gerçekte çökeller; farklı kalınlıkta tabakalara sahip ve sadece iki veya üç boyutlu modeller yardımıyla tanımlanabilecek ortamlar meydana getirirler. Yanal süreksizliklere sahip bu tür bir ortam, deprem dalgaları için kapan özelliği gösterir ve bu kapan; zemin ile anakaya ara yüzeyinde deprem sırasında oluşan ileri geri yankılanan yüzey dalgalarını da etkiler. Yankılanan dalgalar birbiriyle aynı fazda olduğunda, etki en büyük değerine ulaşır ve bu dalgalar arasındaki girişim rezonans olayını meydana getirebilir. Zemin tabakalarındaki rezonans, ayrıca tabakaların geometrisi ile yoğunluk, P ve S dalgası hızı gibi mekanik özellikleriyle ilgilidir. Bu rezonans biçimleri bir boyutlu analiz durumunda daha basit görünmekle birlikte, iki ve üç boyutlu oluşumlarda daha karışık hale gelmektedir. Zemin tabakalarında hakim frekans değeri genellikle 0.2 Hz-10 Hz arasında değişmektedir (Pitilakis, 2004).

Zemin tabakalarının yarı genişliğinin, maksimum derinliğinden çok daha büyük olması durumunda yani sık ve geniş ova ile vadilerde, bir boyutlu dinamik analizde yapılan kabuller ve sınır koşulları geçerli olmaktadır. Bu durumda, zemin tabakalarının dinamik analizinde bir boyutlu yöntemin uygulanabilirliği artar. Zemin tabakalarının yarı genişliğinin kalınlığıyla karşılaştırılabilir mertebede olduğu derin ve dar vadiler ile ovalarda ileri geri yankılanan dalgalar aynı fazda olduğu zaman, sismik dalgalar birbiriyle girişime girerek iki boyutlu rezonans şekilleri oluştururlar (Rassem, 1997).

Aynı durum, üç boyutlu modellenmesi gereken formasyonlar için de geçerlidir. Dalga yayılımı olgusunda ikinci ve üçüncü boyut etkisinin dikkate alınması gerektiği bu tip durumlarda, zemin tabakalarının yatay doğrultuda sınırlı genişliğe sahip olması nedeniyle ova/vadi kenarlarında dalga hareketi dönüşümleri meydana gelecek ve dolayısıyla yüzey dalgaları oluşacak, yüzeydeki hareketin genliği ova/vadi üzerinde elde edildiği bölgeye göre değişim gösterecek, frekans muhtevası aynı

bölgede bir boyutlu analizden hesaplanana göre değişebilecek ve kuvvetli yer hareketinin süresi uzayabilecektir.

Ova ve vadi gibi yatay yönde sınırlı genişliğe sahip bölgelerin dinamik davranışı iki boyutlu olarak modellenenilmekte ancak sayısal analizlerin geçerliliğini belirleyebilmek ve deprem sırasında oluşan gerçek davranışla karşılaştırabilmek için bu tür yanal süreksizliklere sahip oluşumlarda yüzey üzerindeki farklı noktalarda gerçek deprem kayıtlarına ihtiyaç duyulmaktadır.

Yüzey ve yüzey altı topoğrafyasının deprem hareketine etkisi üzerine birçok araştırma mevcuttur. Yapılan çalışmalarda idealleştirilmiş malzeme ve ortam özelliklerine sahip farklı geometrideki alüvyonel vadi ve kanyon modellerinin çeşitli deprem dalgaları (P, SV, SH) karşısında gösterdikleri davranış elde edilmiştir. Konuyla ilgili problemlerin çözümünde sonlu fark ve sonlu eleman gibi yöntemleri kapsayan ortam metodu, sınır eleman ve sınır integralleri kapsayan sınır metodu ve verilen iki yöntemin karışımı olan metotlar kullanılmaktadır.

Son yıllarda arazi ve laboratuvar deneylerinin gelişmesiyle anakayadan yüzeye kadar zemin tabakalaşması ve bu tabakaların dinamik özelliklerinin elde edilmesi kolaylaşmış olup, eşdeğer lineer vb. malzeme modellerinin kullanıldığı sayısal yöntemler (sonlu eleman, sınır eleman vb.) sayesinde daha gerçekçi yaklaşımlar bulunmaya çalışılmaktadır.

Bir boyutlu dinamik analiz programları genellikle sonlu fark metoduna dayanmakta ve eşdeğer lineer zemin parametrelerini veri olarak kullanarak çalışmaktadır. Bu tür programlar kullanım kolaylığı açısından ve dayandıkları matematik modelin basitliği nedeniyle daha çok tercih edilmektedirler. Bununla birlikte iki boyutlu dinamik analiz yapan programlar, modelin kurulması ve sınır şartlarının belirlenmesi sırasında daha detaylı veriler gerektirmekte ve gerek kullanım sırasında gerekse sonuçların yorumlanması sırasında daha fazla kullanıcı bilgisine ihtiyaç duymaktadır. İki boyutlu analiz programları genellikle sonlu eleman metoduna dayanmakla birlikte bazı programlarda sonlu fark metodu da kullanılmaktadır. Bu çalışmada, idealleştirilmiş geometriye sahip modeller ve geometrisi arazi deneyleriyle belirlenmiş gerçek modeller üzerinde bir ve iki boyutlu dinamik analizler yapılmış ve çeşitli parametrelerin geometriye bağlı değişimi incelenmiştir.

1.1 Amaç

Bu çalışmada, yüzey topoğrafyasının ve ova\vadi gibi yatay yönde sınırlı zemin tabakalarına sahip derin oluşumlardaki anakaya geometrisinin deprem sırasında yüzeyde oluşan kuvvetli yer hareketi özelliklerine etkisi incelenmiştir. Bu amaçla önce, idealleştirilmiş yüzey ve yüzey altı geometrisine sahip tepe/ova modellerinin dinamik davranışı yapılan iki ve bir boyutlu dinamik analizler yardımıyla incelenmiştir. İki boyutlu modellerin dinamik analizinde kullanılan sonlu eleman metodundaki sınır şartlarının uygunluğu ve geçerlilik şartları araştırılmış, farklı yerel zemin grubu ve sınıfına sahip ova/vadi gibi yapılarda farklı depremler karşısında oluşan yüzeydeki harekete ikinci boyutun etkisi ve bir boyutlu davranıştan farklılığı anlaşılmasına çalışılmıştır. Ayrıca daha önce meydana gelmiş bir depremde oluşan hasarın ova kenarındaki anakaya geometrisiyle ilişkisi araştırılmış, ova/vadi gibi yapılarda şiddet parametrelerinin anakaya geometrisine bağlı değişimi zemin tabakalaşması arazi deneyleriyle elde edilmiş gerçek modeller kullanılarak hesaplanmaya çalışılmıştır. Farklı zemin tabakalaşmasına sahip ova/vadi kenarı modellerinde anakaya eğiminin değişmesiyle, yüzey hareketinin şiddetinin farklı deprem hareketleri için nasıl değişeceği ve farklı yönetmeliklerde verilen tasarım spektrumlarının yeterliliği incelenmiş, kullanım kolaylığı açısından çok tercih edilen bir boyutlu dinamik analizin geçerli olduğu geometrik kısımlar belirlenmiş, farklı periyot değerleri için 2D/1D spektral ivme oranlarının (şiddet faktörleri) geometriye bağlı değişiminin belirlenmesi için bir bağıntı oluşturulmuş, bu bağıntı yardımıyla, ova kenarındaki bir bölge için yapılan bir boyutlu dinamik analiz sonucunda hesaplanan spektral ivmelere ikinci boyut etkisinin yansıtılabilmesi amaçlanmıştır.

Bu amaçla yapılan çalışmada başlangıçta, farklı araştırmacıların da kullandığı basamak şeklindeki ova/tepe topoğrafyasında anakaya deprem hareketinin yüzeyde nasıl bir değişime uğradığı, ova/vadi gibi oluşumların dinamik analizinde kullanılan sonlu eleman analizi yöntemlerindeki sınır şartlarının uygunluğu ve geçerlilik şartları araştırılmış, farklı sınır koşulları ve yöntemler uygulanarak elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Daha sonra, trapez şeklinde idealleştirilmiş 45° anakaya eğimine sahip modellerde farklı depremler sırasında oluşan yüzey hareketine ova/vadi geometrisi ile yerel zemin sınıfının etkileri araştırılmış, bu tür oluşumlarda iki ve bir boyutlu dinamik

analizler arasındaki farklar ve bir boyutlu analizlerin geçerlilik koşulları incelenmiştir. Bu modellerde anakaya üstünde yeralan tabaka kalınlıkları ve başlangıç kayma modülü gibi dinamik özellikler “Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik”te farklı yerel zemin sınıflarını oluşturacak şekilde seçilmiştir. Ayrıca modellerde zemin kesitinde üstte yer alan zemin tabakasının kil veya siltli kum olması durumu ayrı ayrı irdelenmiştir.

Daha önce düzenlenmiş olan eş zamanlı mikrotremor ağ ölçümlerinin analizi sonucunda kayma dalgası hızı profili ve geometrisi elde edilen Dinar Ovası modelinde 1 Ekim 1995 depreminin, ova kenarında meydana getirdiği etkiler ve bunların oluşan hasarla olan ilişkisi belirlenmeye çalışılmıştır. Aynı şekilde, Düzce Ovası’nın kenarında 12 Kasım 1999 depreminde meydana gelen etkiler, kurulan iki boyutlu ova modeli üzerinde düzenlenen dinamik analizlerle anlaşılmaya çalışılmıştır. Yapılan analizlerde kullanılan anakaya ivme-zaman geçmişleri sırasıyla, 1 Ekim 1995 Dinar Depremi Meteoroloji İstasyonu D-B kaydı ve 12 Kasım 1999 Düzce Depremi K-G kaydının anakayaya bir boyutlu geri dönüşümle taşınmasıyla elde edilmiş, modeller üzerinde yapılan bir ve iki boyutlu dinamik analizlerde bu kayıtlar kullanılmıştır. Ova yüzeyindeki ivme zaman geçmişleri, mutlak ivme spektrumları ve şiddet parametreleri elde edilmiş, ayrıca yüzeyde elde edilen bu değerlerin ova kenarındaki anakaya mostrası sınırından olan uzaklığa bağlı değişimleri incelenmiştir.

Daha sonra ova/vadi gibi oluşumlarda kenardaki anakaya eğiminin farklı frekans içeriğine sahip depremler sırasında ova/vadi yüzeyinde meydana gelen harekete olan etkisi incelenmiş, bu amaçla Dinar ve Düzce Ovası modellerinin kayma dalgası hızı profili ve zemin grupları kullanılmıştır. Yapılan analizlerde bir ve iki boyutlu davranış arasındaki farklılığı anlayabilmek amacıyla farklı periyotlardaki 2D/1D spektral ivme oranlarının ova kenarındaki değişimi belirlenmiş, ova/vadi kenarı gibi kısımlar için farklı yönetmeliklerde (DBYBHY, Eurocode8) verilen tasarım spektrumlarının yeterliliği incelenmiş, kullanılan modeller için elde edilen 2D/1D spektral ivme oranlarının geometriye bağlı değişimi bir bağıntıyla verilmiştir. Bu bağıntı yardımıyla, ova kenarındaki bir bölge için yapılan bir boyutlu dinamik analiz sonucunda hesaplanan spektral ivmelere ikinci boyut etkisi yansıtılabilmektedir.

1.2 Kapsam

Yüzey topoğrafyasında ani farklılaşmanın olduğu ova/tepe ve zemin tabakalarının jeolojik süreksizliklerle yatay yönde sınırlı olduğu ova/vadi modelleri üzerinde yapılan iki ve bir boyutlu dinamik analizlerin sonuçlarının karşılaştırıldığı bu çalışmada, hem idealleştirilmiş hem de gerçek modeller kullanılmıştır.

Yapılan bir boyutlu dinamik analizlerde frekans ortamında çalışan ve eşdeğer lineer yöntemeye dayanan EERA, Shake91 ve Dyne-q yazılımları kullanılmıştır. İki boyutlu dinamik analizlerde; lineer yöntemeye göre hesap yapılan bölümlerde Sap2000 ve Plaxis yazılımları, eşdeğer lineer yöntemeye göre hesap yapılan bölümlerde frekans ortamında çalışan Flushplus ve zaman ortamında çalışan Quake/W yazılımları kullanılmıştır.

Zemin büyütmesine etkiyen faktörler ve zemin tabakalarının bir boyutlu dinamik analizinde kullanılan yaklaşım ikinci bölümde verilmiş ayrıca yüzey ve yüzey altı topoğrafyasına bağlı düzensizliklerin zemin büyütmesine etkisi üzerine literatürde yapılmış olan çalışmalardan da bu bölümde bahsedilmiştir.

Yapılan çalışmada, iki boyutlu modellerin dinamik analizinde kullanılan sonlu eleman yazılımlarına ait teori üçüncü bölümde verilmiş, başlangıçta sonlu elemanlar yönteminin kabulleri ve kullanım alanları üzerinde durulmuştur. Daha sonra, zemin tabakalarının iki boyutlu dinamik analizi için geliştirilmiş olup zaman ortamında çalışan Quake/W ve frekans ortamında çalışan Flushplus yazılımları hakkında teknik bilgi verilmiştir.

Dördüncü bölümde; iki boyutlu dinamik analizlerde kullanılacak sonlu eleman modellerinin sınır şartlarının ve analiz yönteminin uygunluğunun belirlenebilmesi amacıyla, daha önce literatürde yapılmış bir çalışma ele alınmış ve bu çalışmada kullanılan model üzerinde farklı yöntemler ve sınır şartları kullanılarak analizler yapılmıştır. Ayrıca verilen bu model kullanılarak, bu tür geometriye sahip bir bölgede ova kısmında farklı zemin grupları olması halinde frekans içerikleri birbirinden farklı anakaya hareketleri altında zemin büyütmesinin geometriye bağlı değişimi incelenmiş ve iki boyutlu ile bir boyutlu analiz sonuçları arasındaki farklar belirlenmiştir. Modellerin analizinde dördü San Andreas fay hattında oluşmuş, ikisi son zamanda Kuzey Anadolu fay hattında meydana gelmiş depremlere ait olmak üzere 6 farklı kuvvetli ivme zaman geçmişi kullanılmıştır. Bu depremlerin

seçiminde, kayıtların anakaya mostrası niteliğindeki bölgelerde alınmış olmasına dikkat edilmiştir.

İdealleştirilmiş ova/vadi modelleri üzerinde dinamik analizlerin yapıldığı beşinci bölümde, tabakalara ait zemin grupları ve kayma dalgası hızları, DBYBHY’te verilen farklı yerel zemin sınıflarını oluşturacak biçimde seçilmiş, ayrıca farklı zemin gruplarının dinamik davranışa etkisini yansıtabilmek amacıyla en üst tabakanın kil ve siltli kum olma durumu ayrı ayrı ele alınmıştır. Modellerin analizinde üçü San Andreas fay hattında oluşmuş, ikisi son zamanda Kuzey Anadolu fay hattında meydana gelmiş depremlere ait olmak üzere 5 farklı kuvvetli ivme zaman geçmiş i kullanılmıştır. Yapılan dinamik analizlerde kullanılan farklı ivme zaman geçmişlerinin en büyük mutlak ivme değerleri, depremlerin frekans içeriğinin değişmemesi için, orijinal deprem kayıtlarındaki en büyük mutlak ivmelerin 0.1 g, 0.2 g, 0.3 g ve 0.4 g değerlerinden en yakın olanına ölçeklendirilmesiyle elde edilmiştir.

Altıncı ve yedinci bölümde, ova gibi yatayda sınırlı genişliğe sahip oluşumlarda kenardaki anakayanın geometrisinin deprem hareketi karşısındaki davranışa etkisini görebilmek için geçmişte meydana gelmiş ve büyük hasara yol açmış iki ayrı deprem sırasıyla incelenmiştir. Altıncı bölümde, 1 Ekim 1995 Dinar depreminin yatay yönde sınırlı ve eğimli anakaya sınırına sahip Dinar Ovası’nın farklı bölgelerinde oluşturduğu dinamik tepkinin geometriye bağlı değişimi elde edilmiş, iki boyutlu analizle bir boyutlu analizin farklılığı araştırılmış ve iki boyutlu geometrinin hasar dağılımı üzerindeki etkisi anlaşılmaya çalışılmıştır. Yedinci bölümde ise 12 Kasım 1999 Düzce depreminin Düzce Ovası’nın kenarındaki eğimli anakaya üzerinde oluşturduğu dinamik etkiler elde edilmeye çalışılmış, bu kısımdaki bir ve iki boyutlu dinamik davranış arasındaki fark araştırılmıştır.

Vadi ve ova gibi oluşumlarda kenardaki anakaya eğiminin, deprem sırasında yüzeyde oluşan harekete etkisinin incelendiği sekizinci bölümde, modellerde dört farklı anakaya eğimi kullanılmıştır. Analizler sırasında anakayadaki deprem hareketi şiddetinin ve frekans içeriğinin iki boyutlu modellere olan etkisini de inceleyebilmek amacıyla altı farklı anakaya deprem hareketi kullanılmıştır. Modellerin analizinde, ikisi San Andreas fay hattında oluşmuş, ikisi son zamanda Kuzey Anadolu fay hattında meydana gelmiş depremlere ait olup anakaya mostrasında kaydedilmiş, diğer ikisi de kuvvetli yer hareketleri sırasında yurt içinde alüvyon üzerinde ölçülmüş

kayıtların bir boyutlu geri dönüşümle sismik anakayaya taşınmasıyla elde edilmiş olan 6 farklı kuvvetli ivme zaman geçmişi kullanılmıştır. Yapılan analizlerde, zemin grupları ve kayma dalgası hızı profilleri farklı olan iki ayrı ova modeli kullanılmıştır. Böylece farklı zemin grubuna sahip ovaların kenarında hem farklı depremler karşısında oluşan davranış incelenmiş hem de vadi/ovanın kenarındaki anakaya eğiminin değişmesi halinde yüzeydeki harekette nasıl bir farklılaşma oluşacağı belirlenmiştir. Daha sonra, farklı anakaya eğimine iki boyutlu ova/vadi modelleri üzerinde yapılan dinamik analizler sonucunda yüzeydeki farklı noktalar için elde edilen ivme zaman geçmişleri ile mutlak ivme spektrumları istatistiksel olarak değerlendirilmeye ve farklı anakaya eğimine sahip ova/vadi modellerinin kenarında yüzey kısmında bir boyutlu dinamik analizle hesaplanmış spektral ivme değerleriyle, iki boyutlu analizle hesaplanmış değerler arasındaki bağıntı belirlenmeye çalışılmıştır. Bu amaçla; farklı anakaya eğimine sahip ova/vadi modelleri için elde edilmiş olan maksimum yatay büyütme ve farklı periyot değerleri için hesaplanmış olan 2D/1D spektral ivme oranları, istatistiksel açıdan ele alınmış ve bunların ortalama değerlerinin ova kenarındaki değişimleri, her bir anakaya eğimi ve periyot değeri için X/D boyutsuz büyüklüğüne bağlı olarak bir fonksiyon yardımıyla tanımlanmıştır.

Yüzey ve yüzey altı topoğrafyasının dinamik davranışa etkisinin araştırıldığı ve ova/vadi ve tepe gibi oluşumlarda zemin büyütmesi ile şiddet parametrelerinin geometriye bağlı değişimi üzerinde durulan bu çalışmada literatürde çok kullanılan bir boyutlu dinamik analizin zemin tabakalarının yanal süreksizliğe sahip olduğu bölgelerdeki geçerliliği incelenmiş, iki boyutlu analizle arasındaki farklar araştırılmış, bir boyutlu dinamik analiz sonuçlarına ikinci boyut etkisinin nasıl yansıtılabileceği üzerinde durulmuştur. Elde edilen genel bulgular, sonuçlar ve tartışma bölümünde verilmiştir.

2. YEREL ZEMİN KOŞULLARI VE TOPOĞRAFİK DÜZENSİZLİKLERİN ZEMİN BÜYÜTMESİNE ETKİSİ

2.1 Giriş

Geoteknik deprem mühendisliğinde karşılaşılan en önemli problemlerden biri zemin tabakalarının deprem sırasında gösterdiği davranışın belirlenmesidir. Bir sahada oluşan deprem hareketinin özellikleri; tektonik yapı, kırılma mekanizması, doğrultu etkisi, merkez üstü uzaklığı, deprem dalgasının ilerleme yolu üzerindeki jeolojik yapının etkisi, deprem dalgalarının girişi, yerel yüzey topoğrafyasının ve zemin koşullarının etkisi gibi birçok faktöre bağlıdır.

Anakaya derinliği, anakaya üzerindeki zemin tabakalarının kalınlığı, zemin cinsinin ve dinamik özelliklerinin derinlikle değişimi, zemin tabakalarının yanıl düzensizliği ve topoğrafik özellikler gibi yerel zemin koşulları spektral büyütmeye etkiyen önemli faktörlerdir. Topoğrafik özellikler, hem yüzeydeki kanyon, ova ve vadi gibi oluşumları hem de yüzey altındaki zemin tabakalarının iki veya üç boyutlu geometrisiyle, bu tabakaları sınırlayan anakayanın şeklinin yerel zemin hareketlerine etkisini kapsamaktadır.

Zemin tabakalarının dinamik analizi için geliştirilen hesap yöntemleri genellikle karşılaşılan problemin gereksinimine göre bir boyutlu (1D), iki boyutlu (2D) ve üç boyutlu (3D) olarak tanımlanır. İki ve üç boyutlu yaklaşımlarda zemin tabakalarının ve anakayanın iki veya üç boyutlu geometrisi gerektiği için, bir boyutlu yaklaşım diğerlerine göre çok daha fazla tercih edilmektedir. Bununla birlikte zemin tabakalarının bir boyutlu dinamik analizinde yüzey topoğrafyası ve ova/vadilerin sınırlı enine genişliğe sahip olmasının etkisi ihmal edilmektedir. Fakat gerçekte dar vadilerde, geniş vadilerin kenarlarında ve tepelerin yamaçlarında ikinci ve hatta üçüncü boyutun etkileri ortaya çıkmaktadır (Haşal ve İyisan, 2004).

Zemin tabakalarının yatay yönde sınırlı genişliğe sahip olması, vadi kenarlarında dalga hareketi dönüşümlerine, yüzey dalgalarının oluşmasına sebep olmakta, iki boyutlu rezonans modelleri ortaya çıkmakta, yer hareketinin frekans içeriği vadilerin

ortasından kenarlarına doğru uzaklığa bağılı olarak değişmekte, kuvvetli yer hareketi süresi uzayabildiği gibi özellikle kanyonların yamaçlarında ve tepelerinde kuvvetli yer hareketinin genliği de artmaktadır. Dolayısıyla vadilerde zemin büyütmesi, zemin cinsi ve dinamik özellikleri ile deprem dalgasının hakim periyodu ve genliğine bağılı olmakla birlikte deprem hareketine karşı davranışı bulunacak yerin vadi içindeki konumu bu konuda önemli rol oynamaktadır (Iyisan ve Hasal, 2007).

Topoğrafik düzensizliklerin deprem hareketine etkisi üzerine birçok araştırma mevcuttur. Yapılan çalışmalarda idealleştirilmiş malzeme ve ortam özelliklerine sahip farklı geometrideki alüvyonel vadi ve kanyon modellerinin çeşitli deprem dalgaları (P, SV, SH) karşısında gösterdikleri davranış elde edilmiştir. Konuyla ilgili problemlerin çözümünde sonlu fark ve sonlu eleman gibi yöntemleri kapsayan ortam metodu, sınır eleman ve sınır integralleri kapsayan sınır metodu ve verilen iki yöntemin karışımı olan metotlar kullanılmaktadır (Jiang ve diğ., 1993).

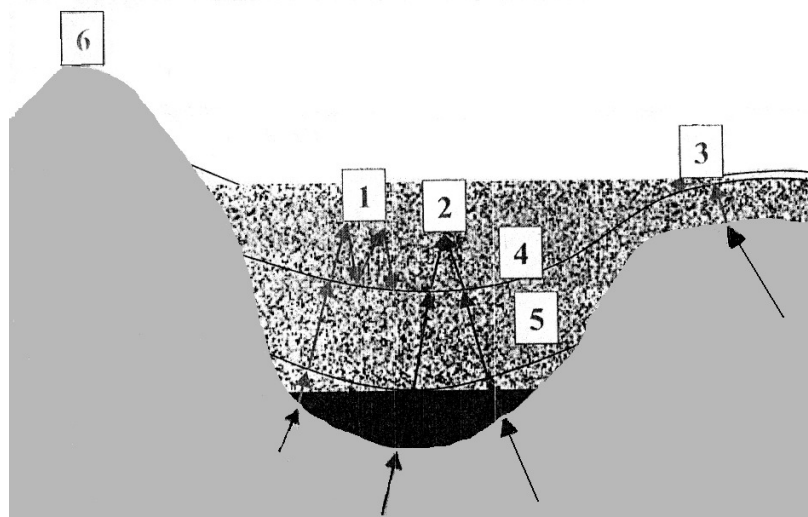
Son yıllarda arazi ve laboratuvar deneylerinin gelişmesiyle anakayadan yüzeye kadar zemin tabakalaşması ve bu tabakalar dinamik özelliklerinin elde edilmesi kolaylaşmış, eşdeğer lineer vb. malzeme modellerinin kullanıldığı sonlu eleman, sınır eleman vb. sayısal yöntemler sayesinde daha gerçekçi yaklaşımlar bulunulmaya çalışılmaktadır.

Topoğrafik düzensizliklerin deprem hareketine etkisinin yapıların tasarımında dikkate alınması Fransızlar tarafından hazırlanan sismik mikrobölgeleme kılavuzuyla başlamıştır (AFPS, 1995). Bununla birlikte iki ve üç boyutlu topoğrafik düzensizliklerin yer aldığı bölgelerde elde edilen kuvvetli hareket kayıtlarının sayısının artması konuyla ilgili daha güvenilir bağıntıların oluşmasına imkan verecektir.

Çalışmanın bu kısmında sırasıyla, yerel zemin koşullarının yüzey hareketine etkisine değinilmiş, literatürde üzerinde birçok çalışma yapılmış olan zemin tabakalarının bir boyutlu dinamik analizi anlatılmış, tekrarlı yükler altında zemin davranışını modellemek için kullanılan eşdeğer lineer yaklaşımdan bahsedilmiştir. Daha sonra, bu çalışmanın esas konusunu teşkil eden “Topoğrafik Düzensizliklerin Yüzeydeki Zemin Hareketine Etkisi”nden bahsedilmiş, konuyla ilgili literatür çalışmalarına yer verilmiş ve daha önce yapılmış bazı çalışmalar konunun daha iyi anlaşılması açısından detaylı olarak verilmiştir.

2.2 Yerel Zemin Koşullarının Zemin Büyütmesine Etkisi

Yerel zemin koşulları, depremde yapılarda meydana gelen hasarın dağılımını etkilemekte ve depreme dayanıklı yapıların tasarımında önemli rol oynamaktadır. Yerel zemin koşulları, kuvvetli yer hareketinin genlik, frekans içeriği ve süre gibi önemli karakteristiklerini esaslı şekilde etkileyebilir. Bu etkinin sınırları, yüzey altı tabakalarının geometrisine, zemin tabakalarının dinamik malzeme özelliklerine (E_c , G_c , ξ_c), topoğrafik düzensizliklere ve anakaya hareketinin karakteristiklerine bağlıdır. Tabakalar arasındaki özgül direnç oranı, yüzey altı topoğrafyasına bağlı odaklanma, yüzey dalgalarına dönüşen cisim dalgaları, zeminlerin endeks özellikleri, rasgele ortam özellikleri ve yüzey topoğrafyası zemin büyütmesini etkileyen başlıca faktörlerdir (Şekil 2.1).



Şekil 2.1 : Zemin büyütmesini etkileyen faktörler (Şafak, 2001).

Zemin büyütmesi tanımı, deprem dalgalarının yüzeye yakın yumuşak zemin tabakalarından geçerken genliklerinin artmasını ifade eder. Yüzeydeki hareketlerin yerel zemin koşullarından etkilenmesi gerektiğini ispatlayacak önemli teorik sebepler vardır. Deprem dalgalarının meydana getirdiği tekrarlı kayma şekil değiştirmeleri nedeniyle zeminde oluşan sönüm ve deprem dalgalarının yayılmasından kaynaklanan sönüm (radyasyon sönümü) ihmal edilirse, elastik dalga enerjisinin korunumu ilkesi bir boyutlu enerji akışının ($E(t)$) daha derinden zemin yüzeyine kadar sabit kalmasını gerektirir. $E(t)$, aşağıdaki bağıntı ile ifade edilmektedir.

$$E(t) = \frac{1}{2} (\rho V_s) \dot{u}^2(t) \quad (2.1)$$

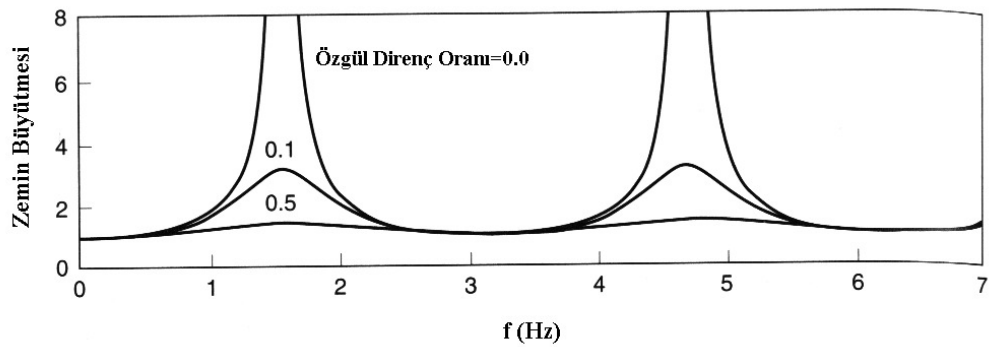
Bağıntıda, ρ , zemin tabakasının yoğunluğu, V_s , zemin tabakasında kayma dalgası ilerleme hızı, ρV_s , zemin tabakasının özgül direnci, $\dot{u}(t)$, deprem dalgası partikül hızıdır. Birçok zemin profilinde yüzeye yakın zemin tabakalarının yoğunluğu ve kayma dalgası hızı yani özgül dirençleri daha derindeki tabakalardan küçüktür. Bağntı 2.1’de belirtildiği gibi, özgül dirençteki azalma partikül hızının artmasına sebep olacaktır. Eğer özgül direnç zemin yüzeyine doğru $(\rho V_s)_1$ ’den $(\rho V_s)_2$ ’ye sürekli şekilde değişiyorsa, bir boyutlu enerji akışı denklemi aşağıdaki zemin büyütmesini (A) verir:

$$A = \left[\frac{\dot{u}_1(t)_{\text{maks}}}{\dot{u}_2(t)_{\text{maks}}} \right] = \sqrt{\frac{(\rho V_s)_2}{(\rho V_s)_1}} \quad (2.2)$$

Eğer özgül direnç aniden değişiyorsa (iki farklı zemin tabakası) zemin büyütmesi aşağıdaki bağıntıyla hesaplanır:

$$A = \left[\frac{\dot{u}_1(t)_{\text{maks}}}{\dot{u}_2(t)_{\text{maks}}} \right] = \frac{(\rho V_s)_2}{(\rho V_s)_1} = \frac{1}{\alpha} \quad (2.3)$$

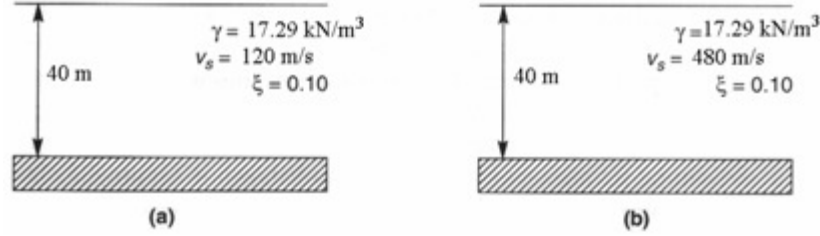
Bağıntıda, α , özgül direnç oranıdır. Tabakalı zeminlerde özgül direnç oranı azaldıkça büyütme artacaktır (Şekil 2.2).



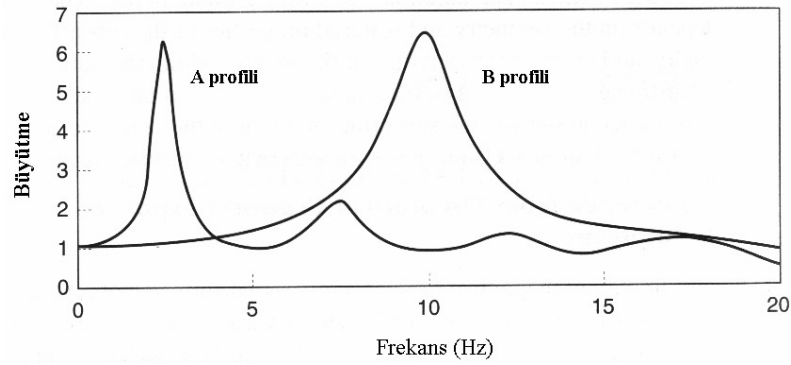
Şekil 2.2 : Sönümsüz elastik iki tabakalı zemin profilinde büyütme oranının özgül direnç oranına bağlı değişimi (Kramer, 1996).

Zemin tabakaları deprem dalgalarının frekans içeriğini değiştiren yani bazı frekans bileşenlerini büyütüp bazılarını küçülten bir filtre fonksiyonu işlevi görmektedir. Bu olayı daha iyi anlayabilmek için, Şekil 2.3’teki iki ayrı zemin tabakası gözönüne alınsın. Geometrilere aynı fakat kayma dalgası hızları dolayısıyla rijitlikleri birbirinden farklı olan bu iki tabakanın elastik davrandığı ve anakayanın da rijit olduğu varsayılırsa, her birinin büyütme fonksiyonu Şekil 2.4’teki gibi elde edilir.

Açıkça görüldüğü gibi yumuşak olan zemin (A profili) anakaya hareketinin düşük frekanslı (uzun periyotlu) bileşenlerini katı olan zemine göre çok daha fazla büyütecek, yüksek frekanslı bileşenler içinse bunun tam tersi gözlenecektir.



Şekil 2.3 : Anakaya üzerinde yeralan iki ayrı zemin tabakası; (a) A profili (b) B profili. (B profilindeki zemin tabakasının kayma dalgası hızı A'dakinin dört katıdır).



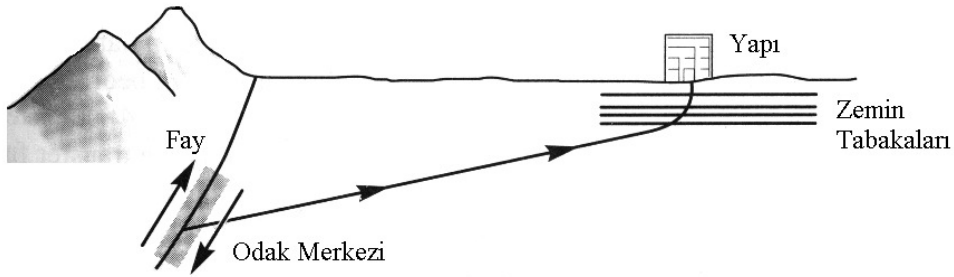
Şekil 2.4 : A ve B profilleri için zemin büyütmesi fonksiyonları (Kramer, 1996).

Zemin büyütmesinin karakteristikleri analitik modellerle belirlenebileceği gibi arazi deneyleriyle de elde edilebilirler. Analitik modeller veri olarak anakayadan yüzeye kadar bütün zemin tabakalarının geometrik, fiziksel, dinamik özellikleri ile kaynaktan gelen deprem dalgası özelliklerine ihtiyaç duyarlar. Bununla birlikte arazi deneyleri, yapay oluşturulan dalgaların, doğal titreşimlerin ve deprem sonucunda oluşan kuvvetli yer hareketinin hem kaydını hem de analizini gerektirir. Zemin büyütmesinin en güvenilir şekilde elde edilmesinin kuvvetli yer hareketleri sırasında kaydedilen verilerin analizi sonucunda olacağı açıktır (Şafak, 2001).

2.2.1 Zemin tabakalarının dinamik analizi

Dünyanın kabuğunda veya daha alt katmanda, herhangi bir kaynaktan kırılma oluştuğunda cisim dalgaları her yönde hareket ederler. Farklı jeolojik formasyonlar arasındaki sınırlara erişince kırılırlar ve yansır. Genellikle yüzeydeki tabakalarda dalga ilerleme hızları alt tabakalardan daha düşük olduğu için, zemin tabakalarına belli bir açıyla gelen deprem dalgalarının bir kısmı yansır, bir kısmı da

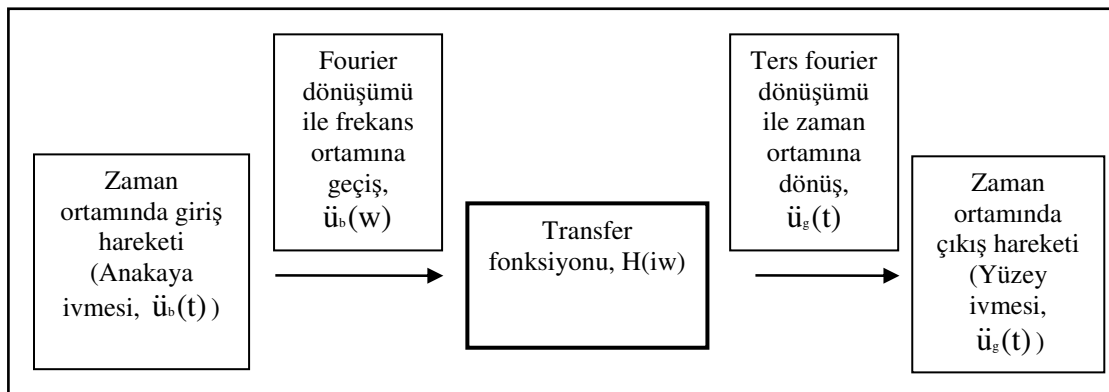
Snell kanununa uyarak gelme açısından daha küçük bir açıyla kırılarak üst tabakalara doğru ilerler. Zemin yüzeyine ulaştıklarında çok fazla kırılmadan dolayı neredeyse yüzeye dik konuma gelirler (Şekil 2.5). Bir boyutlu zemin davranışı analizi; anakayanın ve üzerindeki bütün zemin tabakalarının yatay yönde sınırsız olduğu ve zemin tabakalarının deprem hareketine karşı tepkisinin büyük oranda düşey yönde ilerleyen kayma dalgalarına karşı olduğu teorisine dayanmaktadır. Deprem dalgasının farklı tabakalar arasındaki hareketi sırasında frekans içeriğinde meydana gelen değişimin elde edilebilmesi için transfer fonksiyonları kullanılır.



Şekil 2.5 : Dalgaların yüzeye yakın yumuşak zemin tabakalarından geçerken kırılması sonucunda dalga ilerleme yönünün düşeye yaklaşması (Kramer, 1996).

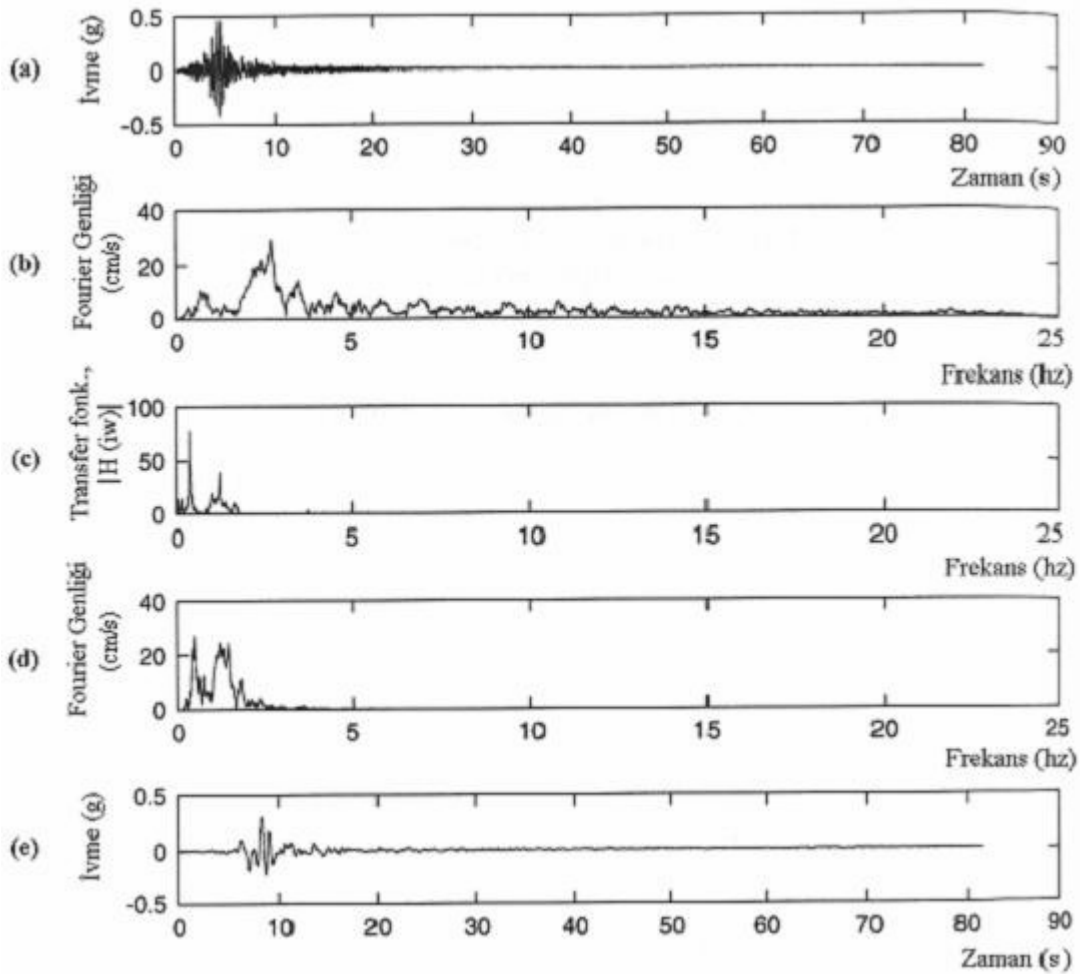
2.2.1.1 Lineer yaklaşım ve transfer fonksiyonlarının elde edilmesi

Transfer fonksiyonları; anakayadaki ivme zaman geçmişine yani giriş hareketine zemin tabakalarının mukabelesi sonucunda oluşan yer değiştirme, hız, ivme, kayma gerilmesi, kayma şekil değiştirmesi zaman geçmişleri gibi çıktıların hesaplanmasında kullanılır (Şekil 2.6).



Şekil 2.6 : Transfer fonksiyonu yardımıyla anakayadaki deprem hareketinden yüzey hareketinin elde edilmesi işlemi.

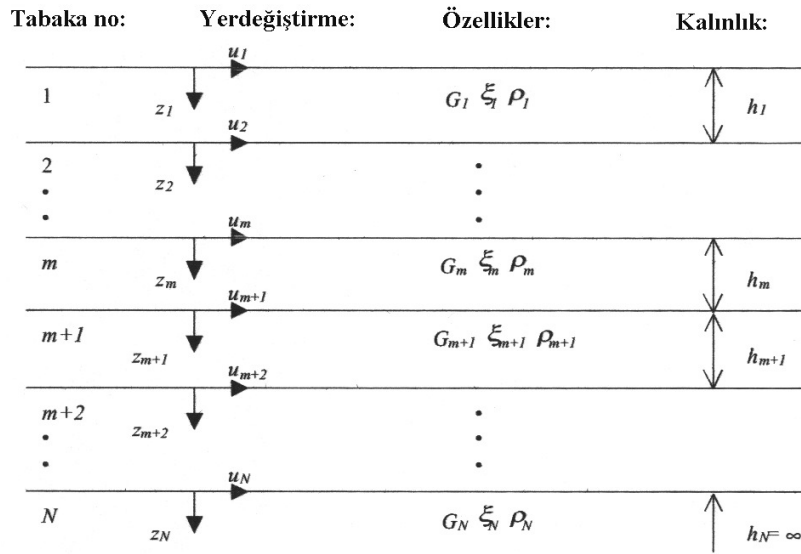
Transfer fonksiyonları, süperpozisyon ilkesine dayandığı için lineer sistemlerin analizi ile sınırlandırılmıştır. Bununla birlikte tekrarlı yükler altındaki lineer olmayan zemin davranışına iterasyon yöntemi ve eşdeğer lineer zemin özellikleri birlikte kullanılarak yaklaşılabılır. Transfer fonksiyonlarıyla yüzey hareketlerinin elde edilmesi Şekil 2.7’de gösterildiği gibi olur: Anakayada kaydedilmiş ivme-zaman geçmişinin (a) Fourier dönüşümü (FFT) yardımıyla genlik spektrumu hesaplanır yani frekans ortamına geçilir. (b) Fourier genlik spektrumundaki her frekans bileşeni zemin tabakalarının eşdeğer transfer fonksiyonuyla (c) çarpılır, böylece yüzeydeki ivme-zaman geçmişinin Fourier genlik spektrumu (d) hesaplanır. Daha sonra ters Fourier dönüşümü (IFFT) kullanılarak tekrar zaman ortamına dönülür ve yüzeydeki ivme değerleri (e) elde edilir. Transfer fonksiyonu; anakayadaki farklı frekanslara sahip deprem dalgalarının genliklerinin zemin tabakaları tarafından hangi şekilde değiştirileceğini belirler.



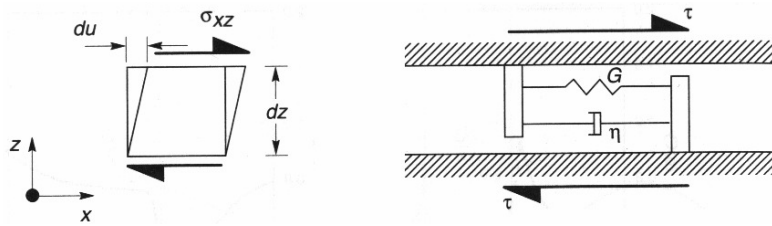
Şekil 2.7 : Anakayadaki deprem hareketinden yüzeydeki hareketin elde edilmesi (Kramer, 1996).

2.2.1.2 Elastik anakaya üzerinde tabakalı sönümlü zemin

Gerçek zemin davranış analizi problemleri genellikle, elastik dalga enerjisinin yansıyacağı yada içinden geçeceği sınırlara sahip farklı kayma rijitliğine ve sönüm oranına sahip zemin tabakalarını kapsar. Bu koşullar tabakalı zeminler için transfer fonksiyonlarının geliştirilmesini gerektirir. Şekil 2.8'deki gibi, N'inci tabakanın anakaya olduğu N tane tabakadan oluşan bir zemin kütlesi ele alınsın. Her zemin tabakasının Şekil 2.9'da gösterilen Kelvin-Voigt katısı gibi davranacağı düşünülürse, Bağıntı 2.4'de verilen dalga denklemi elde edilir.



Şekil 2.8 : Deprem hareketine karşı bir boyutlu dinamik davranış analizinde kullanılan elastik anakaya üzerindeki sönümlü tabakalı zemin modeli (Kramer, 1996).



Şekil 2.9 : Yatay kayma gerilmeleri etkisindeki Kelvin-Voigt katı elemanı (Kramer, 1996).

$$\rho \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = G \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} + \eta \frac{\partial^3 u}{\partial z^2 \partial t} \quad (2.4)$$

Bağıntı 2.4'te, ρ , zemin tabakasının yoğunluğunu, u , yatay yöndeki (x doğrultusu) yerdeğiştirmeyi, G , zemin tabakasının kayma modülünü, η , viskoz sönüm katsayısını göstermektedir. Tekrarlı dalgalar için yerdeğiştirmeler aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$u(z, t) = U(z)e^{i\omega t} \quad (2.5)$$

Bağıntıda, ω , doğal açısal frekansı göstermektedir. Eşitlik 2.5'i, 2.4 bağıntısında kullanırsak aşağıdaki adi diferansiyel denklem oluşacaktır.

$$(G + i\omega\eta)\frac{\partial^2 U}{\partial z^2} = -\rho\omega^2 U \quad (2.6)$$

veya

$$(G^*)\frac{\partial^2 U}{\partial z^2} = -\rho\omega^2 U \quad (2.7)$$

Yukarıda G^* , kompleks kayma modülünü temsil etmektedir. G^* 'nin ω 'ya yani frekansa bağlı olmasını engellemek için aşağıdaki eşitlik kullanılabilir:

$$\eta = \frac{2G}{\omega} \xi \quad (2.8)$$

Bunun sonucunda kompleks kayma modülü $G^* = G(1 + 2i\xi)$ olarak tanımlanabilir. ξ , sönüm oranıdır. 2.7 denklemi çözülüp 2.5 bağıntısıyla birleştirilirse dalga denkleminin çözümü aşağıdaki gibi olur:

$$u(z, t) = Ae^{i(\omega t - k^*z)} + Be^{i(\omega t + k^*z)} \quad (2.9)$$

Bağıntıda A ve B sırasıyla, $+z$ (aşağı) ve $-z$ (yukarı) yönünde ilerleyen dalgaların sınır koşullarına bağlı genliklerini, $k^* = \omega\sqrt{\rho/G^*}$, kompleks dalga sayısını göstermektedir. Daha sonra kayma gerilmesi ($\tau(z, t)$), kompleks kayma modülü (G^*) ve kayma şekil değiştirmesinin çarpımı olarak verilebilir.

$$\tau(z, t) = (G^*)\frac{\partial u}{\partial z} = (G + i\omega\eta)\frac{\partial u}{\partial z} = G(1 + 2i\xi)\frac{\partial u}{\partial z} \quad (2.10)$$

Her tabaka için lokal koordinat sistemi (z) tanımlanırsa, m tabakasının en üstündeki ve en altındaki yerdeğiştirmeler aşağıdaki gibi bulunur.

$$u_m(z_m = 0, t) = (A_m + B_m)e^{i\omega t} \quad (2.11a)$$

$$u_m(z_m = h_m, t) = (A_m e^{ik_m^* h_m} + B_m e^{-ik_m^* h_m}) e^{i\omega t} \quad (2.11b)$$

Tabaka sınırlarındaki yerdeğiştirmeler birbirleriyle uyumlu olmalıdır. Yani bir tabakanın tepesindeki yerdeğiştirme, üstünde yer alan tabakanın tabanındaki yerdeğiştirmeye eşit olmalıdır. m ve m+1 tabakaları arasındaki sınıra uyumluluk şartı uygulanırsa aşağıdaki eşitlikler elde edilir.

$$u_m(z_m = h_m, t) = u_{m+1}(z_{m+1} = 0, t) \quad (2.12a)$$

$$A_m e^{ik_m^* h_m} + B_m e^{-ik_m^* h_m} = A_{m+1} + B_{m+1} \quad (2.12b)$$

m tabakasının tepesinde ve tabanındaki kayma gerilmeleri yazılırsa,

$$\tau_m(z_m = 0, t) = ik_m^* G_m^* (A_m - B_m) e^{i\omega t} \quad (2.13a)$$

$$\tau_m(z_m = h_m, t) = ik_m^* G_m^* (A_m e^{ik_m^* h_m} - B_m e^{-ik_m^* h_m}) e^{i\omega t} \quad (2.13b)$$

elde edilir. Tabaka sınırlarında kayma gerilmelerinin sürekli olması gerektiği için,

$$\tau_m(z_m = h_m, t) = \tau_{m+1}(z_{m+1} = 0, t) \quad (2.14a)$$

$$A_{m+1} - B_{m+1} = \frac{k_m^* G_m^*}{k_{m+1}^* G_{m+1}^*} (A_m e^{ik_m^* h_m} - B_m e^{-ik_m^* h_m}) \quad (2.14b)$$

olur. Bağntı 2.12b ve 2.14b toplanırsa, ayrıca 2.14b bağıntısı 2.12b'den çıkarılırsa aşağıdaki özyineleme formülleri elde edilir.

$$A_{m+1} = \frac{1}{2} A_m (1 + \alpha_m^*) e^{ik_m^* h_m} + \frac{1}{2} B_m (1 - \alpha_m^*) e^{-ik_m^* h_m} \quad (2.15a)$$

$$B_{m+1} = \frac{1}{2} A_m (1 - \alpha_m^*) e^{ik_m^* h_m} + \frac{1}{2} B_m (1 + \alpha_m^*) e^{-ik_m^* h_m} \quad (2.15b)$$

α_m^* , m ve m+1 tabakaları arasındaki sınırdaki kompleks direnç oranıdır:

$$\alpha_m^* = \frac{k_m^* G_m^*}{k_{m+1}^* G_{m+1}^*} = \frac{\rho_m(v_s^*)_m}{\rho_{m+1}(v_s^*)_{m+1}} \quad (2.16)$$

Zemin yüzeyinde kayma gerilmesi sıfıra eşit olacağı için, bağıntı 2.13a kullanılarak $A_1=B_1$ olarak bulunur. Bağıntı 2.15'teki özyineleme formülleri 1. tabakadan m. tabakaya kadar bütün tabakalara uygulanırsa, m tabakasındaki dalga genlikleriyle 1. tabakadaki genlikler arasında aşağıdaki bağıntılar bulunur.

$$A_m = a_m(\omega) A_1 \quad (2.17a)$$

$$B_m = b_m(\omega) B_1 \quad (2.17b)$$

i tabakasındaki yerdeğiştirme genliğinin j tabakasındaki yerdeğiştirme genliğiyle bağlantısı aşağıdaki transfer fonksiyonuyla verilebilir.

$$H_{ij}(\omega) = \frac{|u_i|}{|u_j|} = \frac{a_i(\omega) + b_i(\omega)}{a_j(\omega) + b_j(\omega)} \quad (2.18)$$

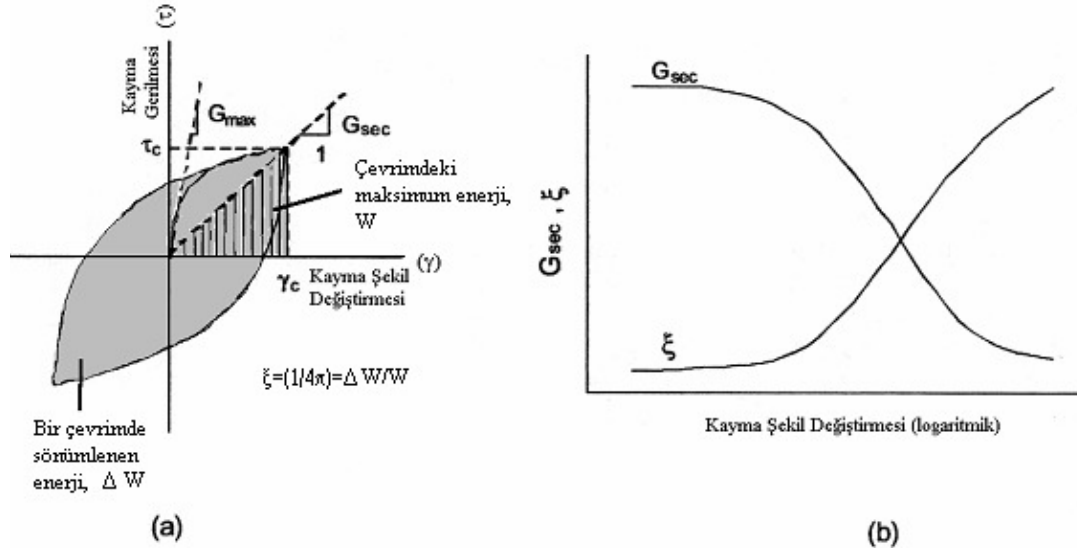
$|\ddot{u}| = \omega | \dot{u} | = \omega^2 | u |$ bağıntısı tekrarlı hareket için geçerli olduğundan, $H_{ij}(\omega)$ fonksiyonu ayrıca i tabakasından j tabakasına kadar ivme ve hız büyötmelerini de tanımlamaktadır. 2.18 bağıntısı, bir zemin profilinde herhangi bir tabakadaki deprem hareketinin bilinmesi durumunda, farklı bir tabakadaki hareketin transfer fonksiyonları kullanılarak elde edilebileceğini göstermektedir.

2.2.2 Eşdeğer lineer yöntem

Zeminlerin tekrarlı yükler altında lineer olmayan davranışa sahip olması, lineer metodun geliştirilmesiyle bu durumu yansıtacak geçerli ve basit bir yaklaşım ortaya konulmasını gerekli kılmaktadır. Tekrarlı yükleme altındaki zeminlerin lineer olmayan gerilme-şekil değiştirme davranışı, eşdeğer lineer zemin özellikleriyle temsil edilebilir (Şekil 2.10a). Eşdeğer lineer kayma modülü (G_c) genellikle sekant kayma modülüne, eşdeğer lineer sönüm oranı da (ξ_c) zeminlerin tekrarlı yükler altında bir çevrimde kaybettiği enerjiye eşit alınır. Eşdeğer kayma modülü ve sönüm oranlarının şekil değiştirmeye olan ilişkisi; yükleme koşullarına, zemin cinsine ve endeks özelliklerine, efektif çevre gerilmesine vb. gibi bağlıdır (Kramer, 1996).

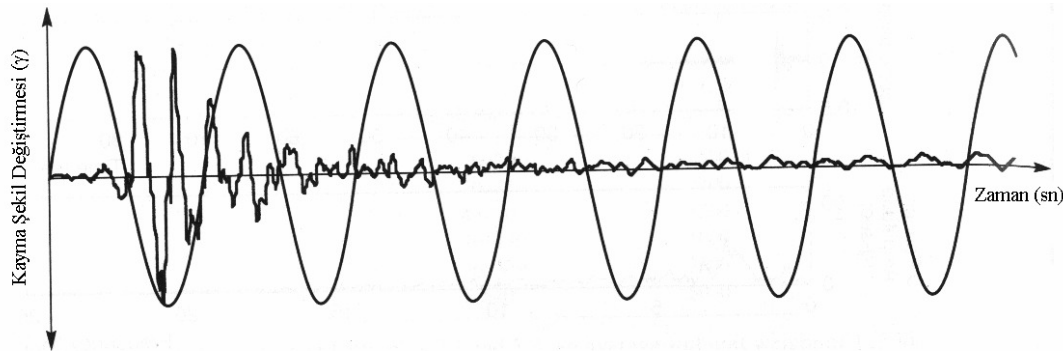
Lineer yaklaşım, her tabaka için G ve ξ 'nin sabit olmasını gerektirir. Bu yüzden, deprem hareketi sırasında her tabakada oluşan şekil değiştirme oranıyla uyumlu G ve ξ değerleri belirlenmelidir. Bu problemi çözmek için objektif bir şekil değiştirme

tanımı gerekmektedir. Şekil 2.10b’de gösterilen rijitlik azalım ve sönüm oranı eğrilerinin elde edildiği laboratuvar deneylerinde tekrarlı yükleme (sinüsoidal) kullanılmaktadır ve şekil değiştirme seviyesi en büyük kayma şekil değiştirme genliğiyle temsil edilmektedir. Bununla birlikte tipik bir deprem hareketinde kayma şekil değiştirmesinin zaman geçmişi oldukça düzensizdir ve kayıt sırasında maksimum kayma şekil değiştirme genliğine sadece birkaç defa erişilebilir (Kramer, 1996).



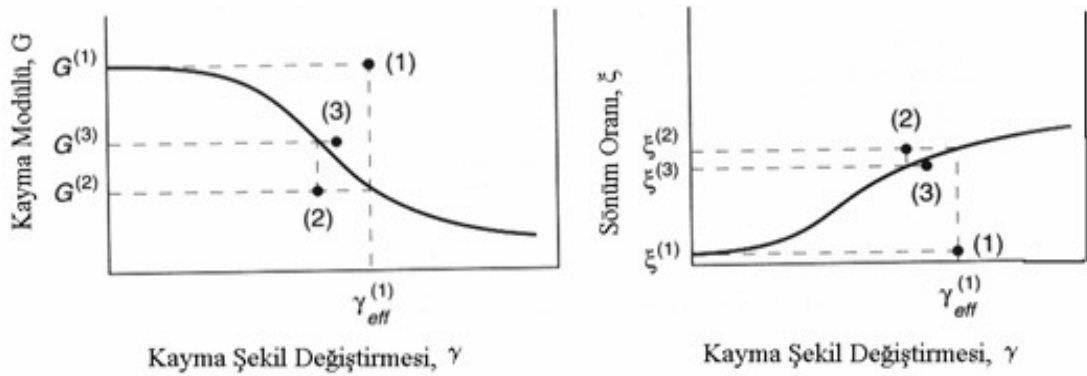
Şekil 2.10 : (a) Eşdeğer lineer zemin modeli parametreleri (b) Rijitlik azalım ve sönüm oranı eğrilerinin tekrarlı kayma şekil değiştirmeyle bağlantısı (Kramer, 1996).

Şekil 2.11, aynı maksimum kayma şekil değiştirme genliğine sahip iki ayrı kayma şekil değiştirme zaman geçişini göstermektedir. Bunlardan biri tipik bir laboratuvar deneyinde olduğu gibi tekrarlı (sinüsoidal), diğeri de depremdeki rasgele ve geçici hareketi temsil etmektedir.



Şekil 2.11 : Aynı maksimum kayma şekil değiştirme genliğine sahip geçici deprem hareketi ve laboratuvarda dinamik deneylerde uygulanan tekrarlı (sinüsoidal) hareket (Kramer, 1996).

Açıkçası tekrarlı (sinüsoidal) hareket, geçici hareketten çok daha ciddi bir yükleme durumunu temsil etmektedir. Çünkü zemin numunesi onlarca kere genliği deprem hareketinin meydana getirdiği en büyük kayma şekil değiştirmesine eşit olan tekrarlı şekil değiştirmeye maruz kalmaktadır. Sonuçta geçici kaydın kayma şekil değiştirmesi seviyesi, maksimum şekil değiştirme değerinin ampirik olarak yüzde 50'si ile 70'i arasında değiştiği saptanan efektif kayma şekil değiştirmesi tanımı kullanılarak karakterize edilir. Hesaplanan zemin tepkisi bu orana çok hassas olmamakla birlikte, efektif kayma şekil değiştirmesi genellikle deprem hareketi sırasında oluşan maksimum kayma şekil değiştirmesinin % 65'i olarak alınır.



Şekil 2.12 : Eşdeğer lineer analizde kayma şekil değiştirmesi uyumlu kayma modülü ve sönüm oranı değerlerinin iterasyonla elde edilmesi (Kramer, 1996).

Mukabele analizi sırasında elde edilen kayma şekil değiştirmesi seviyesi ile eşdeğer lineer malzeme özellikleri birbirine bağlıdır. Bu nedenle, bütün zemin tabakalarında hesaplanan şekil değiştirme seviyelerinin analizde kullanılan zemin dinamik özellikleriyle (G_c , ξ_c) uyumluluğunu sağlamak için iterasyon yöntemi kullanılır. Şekil 2.12'den de görülebileceği gibi iterasyon işlemi aşağıdaki gibi ilerler:

1. Her zemin tabakası için kayma modülü (G) ve sönüm oranının (ξ) başlangıç değerleri atanır. Başlangıç değerleri olarak arazi veya laboratuvar deneylerinden elde edilmiş düşük kayma şekil değiştirmesine karşılık gelen G ve ξ değerleri kullanılır.
2. Her tabakadaki kayma modülü ve sönüm oranının başlangıç değerleri, kayma şekil değiştirmesi zaman geçmişinin hesabını da kapsayan zemin tabakalarının dinamik davranışı analizinde kullanılır.

3. Her tabakadaki efektif kayma şekil değiştirmesi, hesaplanan kayma şekil değiştirmesi zaman geçmişindeki maksimum kayma şekil değiştirmesinden elde edilir. j tabakasındaki efektif kayma şekil değiştirmesini bulmak için,

$$\gamma_{\text{eff } j}^{(i)} = R_{\gamma} \gamma_{\text{max } j}^{(i)} \quad (2.19)$$

bağıntısı kullanılır. i, iterasyon sayısını, R_{γ} , efektif kayma şekil değiştirmesinin maksimum kayma şekil değiştirmesine oranını göstermektedir. R_{γ} , depremin büyüklüğüne (M) bağlıdır ve aşağıdaki gibi bulunur:

$$R_{\gamma} = \frac{M-1}{10} \quad (2.20)$$

4. Elde edilen efektif kayma şekil değiştirmesinden, bir sonraki iterasyonda kullanılacak yeni eşdeğer lineer malzeme değerleri ($G^{(i+1)}$ ve $\xi^{(i+1)}$) bulunur.
5. Yukarıda verilen 2. ve 4. basamak arasındaki işlemlere, her tabaka için birbirini takip eden iki iterasyondan hesap edilen kayma modülü ve sönüm oranı değerleri arasındaki fark daha önceden belirlenmiş bir oranın altına düşünceye kadar devam edilir. Eşdeğer lineer metot yardımıyla her ne kadar zeminin tekrarlı yükler altındaki lineer olmayan davranışına yaklaşılmaya çalışılsa da, deprem sırasında zeminin rijitliğinde zamana bağlı meydana gelen değişimler temsil edilememektedir. Tekrarlı şekil değiştirmeye bağlı zeminin dinamik malzeme özellikleri deprem süresince sabit alınır yani depremin herhangi bir anında şekil değiştirmenin küçük yada büyük olması dikkate alınmaz. Bununla birlikte eşdeğer lineer zemin modeli parametre olarak; literatürde üzerinde birçok çalışma yapılmış tekrarlı yükleme deneylerinden elde edilen dinamik zemin özelliklerini kullandığı için bir (1D) ve iki (2D) boyutlu zemin mukabelesi analizlerinde en çok tercih edilen metottur. Ayrıca, boşluk suyu basıncı oranıyla tekrarlı çevrim oranı arasındaki ilişki laboratuvar deneyleriyle elde edilebildiği için efektif gerilmeler cinsinden analizi de imkanı kılmaktadır (Kramer, 1996).

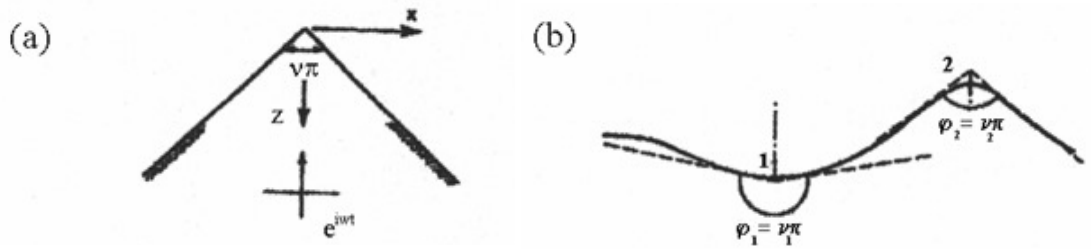
2.3 Yüzey Topoğrafyasının ve Ova/Vadi Geometrisinin Zemin Büyütmesine Etkisi Üzerine Literatürde Yapılmış Çalışmalar

Yüzey topoğrafyasının yer hareketine etkisi son 30 yılda birçok sayıda çalışmaya konu olmuştur. Konuyla ilgili önde gelen çalışmalar Aki ve Larner (1970) tarafından, düzlem dalgaların ayırık süperpozisyonu üzerine sayısal bir metodun ortaya konulmasıyla başlamıştır. Bu metod daha sonra diğer araştırmacılar tarafından farklı koşullar için geliştirilmiştir (Bard ve Bouchon, 1980a,1980b; Bard ve Bouchon, 1985; Geli ve diğ., 1988; Sesma, 1985; Wong ve Jennings; 1975).

2.3.1 Yüzeydeki topoğrafik düzensizliklerin etkisi

1971 San Fernando depremi ($M_L=6.4$) sırasında, Pacoima barajındaki ivme ölçerde yataydaki her iki yönde 1.25 g'ye yakın maksimum ivme değerleri kaydedilmiştir. Yapılan araştırmalar sonucunda; bu büyüklükteki bir deprem için beklenmeyen derecede yüksek olan bu değerlerin, topoğrafik bir etki olan dağ yamacının deprem hareketine karşı tepkisi nedeniyle oluştuğu anlaşılmıştır (Kramer, 1996).

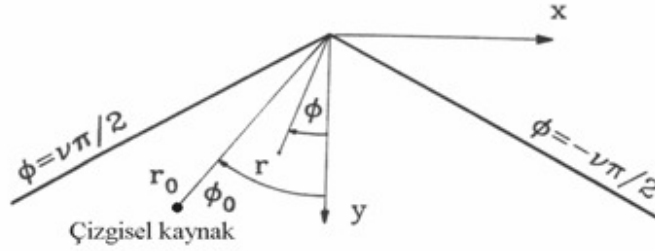
Aki (1988), yüzey topoğrafyasının deprem hareketine etkisini göstermek için kenarları sonsuza uzanan kama şeklindeki basit bir modeli kullanmıştır (Şekil 2.13a). Bu modele elastik ortamda düşey yönde ilerleyen düzlemsel SH dalgaları uygulanınca, tepe noktasında düzleme dik doğrultudaki spektral büyütmenin $2/v$ olacağı Aki (1988) tarafından belirtilmiştir. Kama modelinde tepe açısı $v\pi$ 'ye eşit verilmiştir ($0 < v < 2$). Buna göre yatay yönde sonsuza uzanan yüzey için $v=1$ olmaktadır.



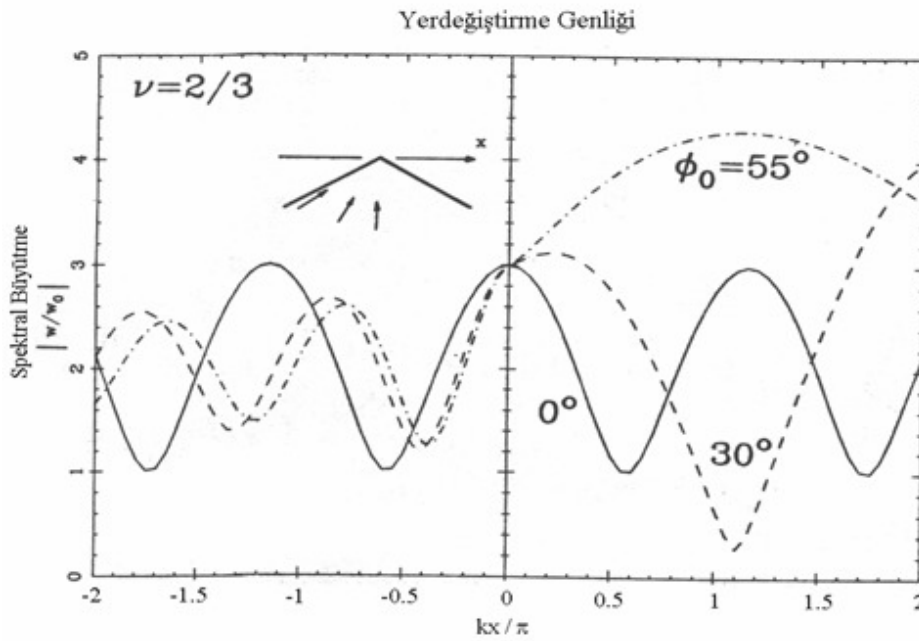
Şekil 2.13 : Basit topoğrafik düzensizliklerin modellenmesi (a) Üçgen şeklindeki kama model (b) Tepe-vadi topoğrafyasını temsil eden model (Faccioli, 1991).

Faccioli (1991), kama geometrisini Şekil 2.13b'de gösterilen tepe-vadi topoğrafyasını yaklaşık olarak modellemek için kullanmıştır. Bu basit modelden, tepe noktasındaki spektral büyütmenin vadi tabanındaki büyütme oranı v_1/v_2

olarak elde edilmiştir. Sanchez-Sesma (1985) tarafından Şekil 2.14'te gösterilen kama şeklindeki model kullanılarak yapılan çalışmada, tepe noktasına doğru farklı geliş açılarıyla etkiyen düzlemsel SH dalgaları için kamanın kenarlarında $2/\nu$ 'den daha fazla spektral büyütme değerleri bulunmuştur. Şekil 2.15'ten de görülebileceği gibi $\phi_0=55^\circ$ için kama yüzeyindeki spektral büyütme değeri 4'e kadar çıkmıştır.



Şekil 2.14 : Kama geometrisi ve çizgisel kaynağın konumu (Sanchez-Sesma, 1985).

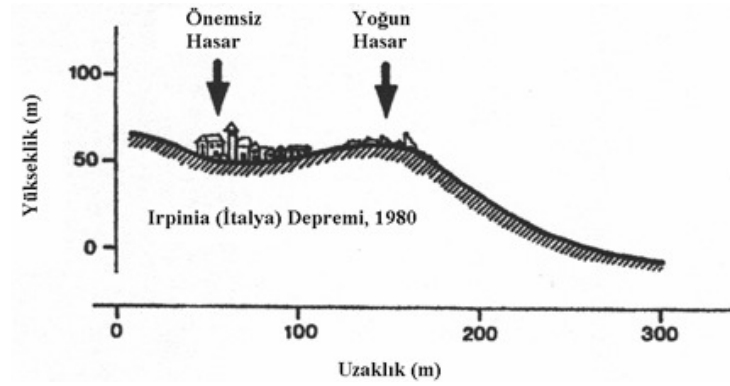


Şekil 2.15 : $2\pi/3$ içsel tepe açısına sahip kama şeklindeki modele farklı geliş açılarıyla ($\phi_0=0^\circ$, 30° ve 55°) etkiyen düzlemsel SH dalgalarının tepenin simetri merkezinden her iki tarafa doğru kx/π 'ye bağlı değişen yüzeyde oluşturduğu spektral büyütme.

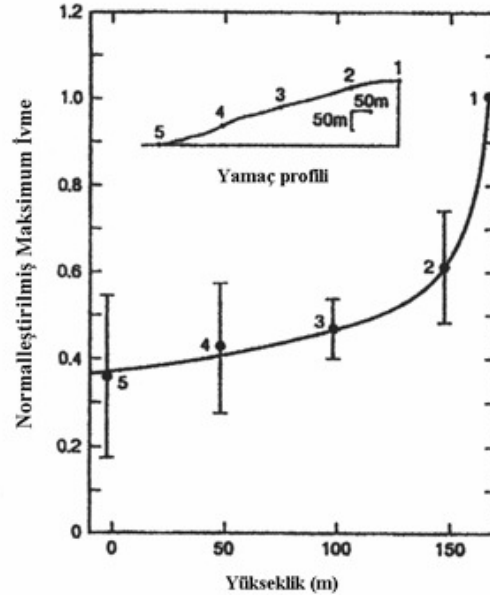
Geli ve diğ. (1988) tarafından yapılan çalışmada, yarı sinüs dalgası şeklindeki tabakalı tepe modellerine doğru düşey ilerleyen düzlemsel SH dalgalarının etkisi incelenmiştir. Tepenin en üst noktasında; değeri taban genişliğine eşit dalga boyuna karşılık gelen frekans civarında, tabana göre dikkate değer spektral büyütme elde edilmiştir. Tepeye sadece düzlemsel SV dalgalarının etkimesi durumunda, SH dalgalarına bağlı olarak bulunan spektral büyütme daha da artacağı belirtilmiştir.

Ayrıca yamaçlarda ölçülen gerçek deprem kayıtlarının analiziyle elde edilen spektral büyütmelerin, teorik çalışmalarla bulunanlara göre daha yüksek çıkmasının nedeni olarak, doğada birçok tepenin yanyana bulunması (topoğrafik karmaşıklık) gösterilmiştir.

Şekil 2.16’da gösterilen basamak şeklinde topoğrafik yapıya sahip olan bir bölgede konumlandırılmış bir kasabada 1980 Irpinia depremi sonucunda oluşan hasar miktarı, dik olan yamacın tepesinde yoğunlaşmıştır (Castellani ve diğ., 1982).



Şekil 2.16 : 1980 Irpinia (İtalya) depreminde yüzey topoğrafyasının hasar dağılımına etkisi (Castellani ve diğ., 1982).



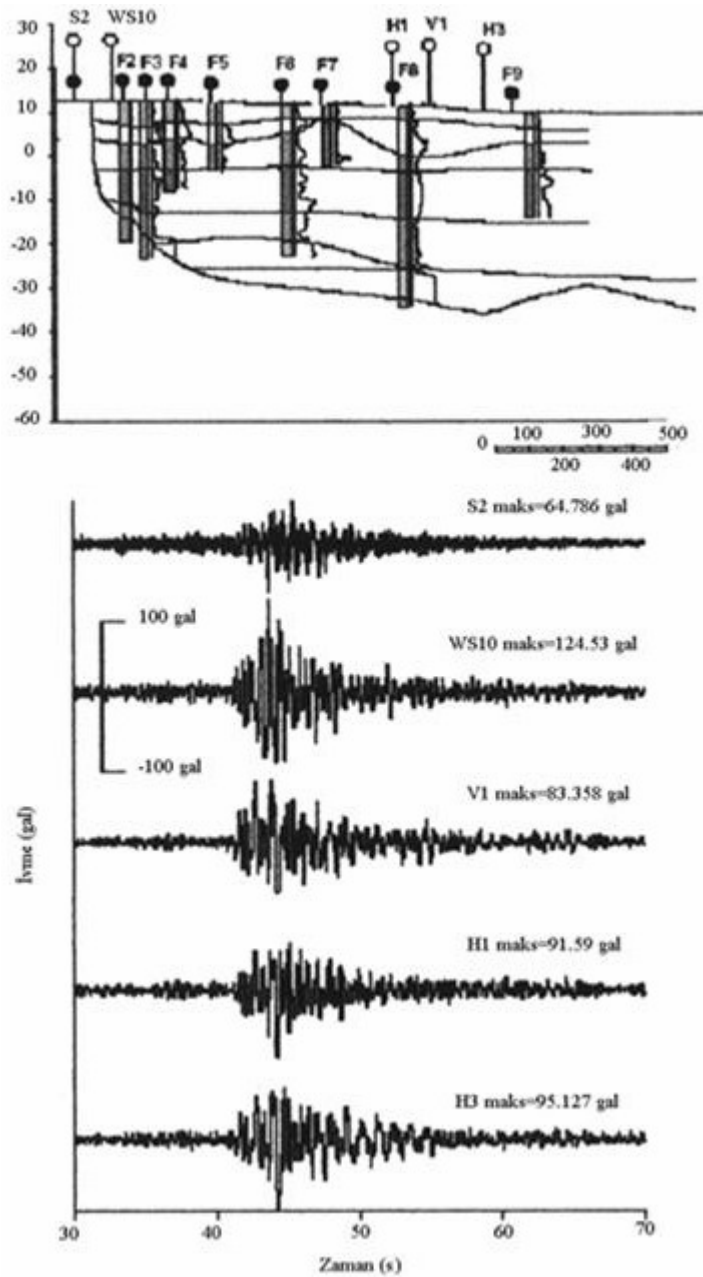
Şekil 2.17 : Matsuzaki’de (Japonya) bir dağ yamacındaki normalleştirilmiş maksimum ivme değerlerinin (ortalama ve standart sapma) dağılımı (Jibson, 1987).

Bölgede oluşan beş deprem sonucunda Matsuzaki’de (Japonya) elde edilen zemin büyütmesi oranları Şekil 2.17’de gösterilmiştir. Yamacın tepesindeki maksimum ivme değerine göre normalleştirilmiş maksimum ivmeler yamaçta elde edildikleri

konumlara göre birbirinden farklı değerler almışlardır. Tepe noktasında ölçülen ortalama maksimum ivme ortalama taban ivmesi değerinin 2.5 katıdır (Jibson, 1987). Buradan, yamaçlarda ve tepelerdeki büyütme değerlerinin sadece geometriye bağlı olarak çok değişebildiği görülmektedir.

2.3.2 Ova/vadi geometrisinin etkisi

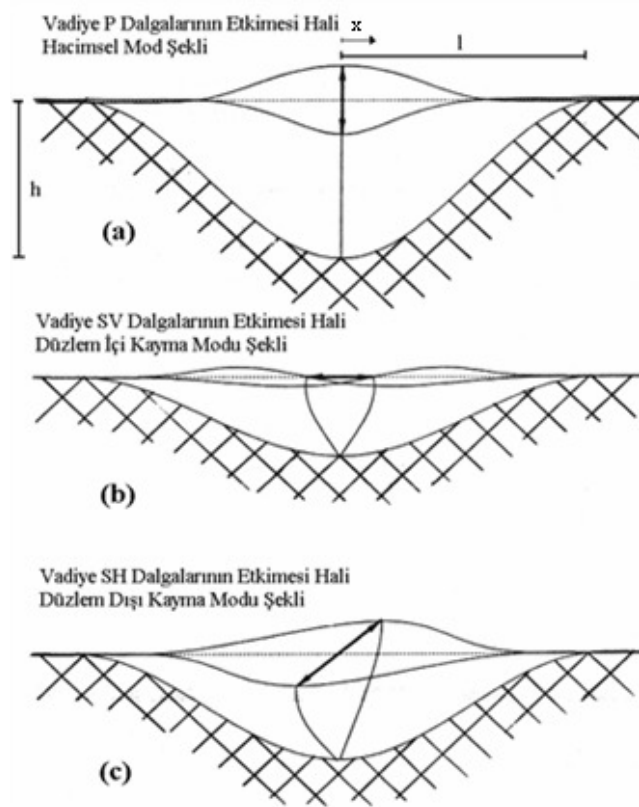
Bir deprem sırasında Kassem ivme ölçer dizisi tarafından elde edilen kuvvetli yer hareketi kayıtları, Şekil 2.18’de gösterildiği gibi alüvyonel vadi geometrisinin deprem hareketine etkisini açık olarak ortaya koymaktadır (Ansal ve diğ., 2002).



Şekil 2.18 : Kassem ivme ölçer dizisinde alınan ivme kayıtları (Ansal ve diğ., 2002).

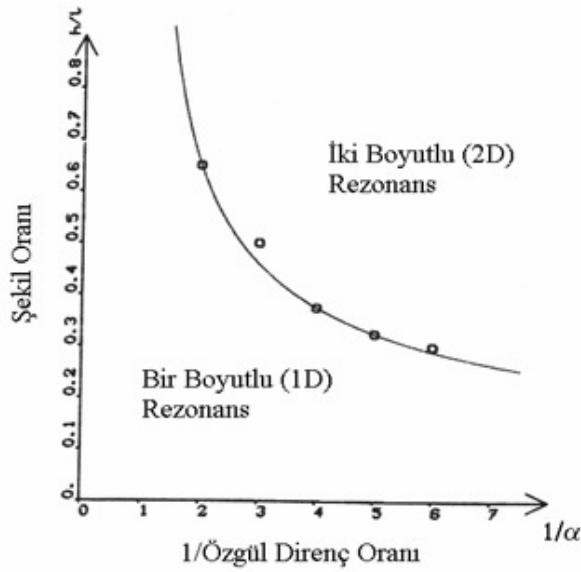
Alüvyonel vadilerde anakaya şeklinin iç bükey olması nedeniyle cisim dalgaları, vadinin geometrisi ve eğriliğine bağlı olarak vadinin merkezine doğru odaklanırlar ve ayrıca vadi kenarından merkezine doğru yüzey dalgalarına dönüşerek ilerlerler. Bu dalgalar, sadece düşey ilerleyen kayma (S) dalgalarına karşı mukabeleye dayanan bir boyutlu analizlerle tahmin edilemeyecek kadar kuvvetli ve uzun süreli yer hareketleri üretirler (Bard ve Bouchon, 1980a, 1980b).

Bard ve Bouchon (1985), Aki-Larner tekniğini kullanarak yaptıkları çalışmada; alüvyonel vadilere farklı dalga türlerinin (düzlemsel P, SV ve SH) etkimesi durumunda, vadinin değişik noktalarında oluşan transfer fonksiyonlarını ve hakim periyotları elde etmişlerdir. Model olarak kullandıkları yarı sinüs dalgası şeklindeki alüvyonel bir vadinin sadece düzlemsel P dalgası etkisindeki düzlem içi hacimsel modu Şekil 2.19a'da, sadece düzlemsel SV dalgası etkisindeki düzlem içi kayma modu Şekil 2.19b'de, sadece düzlemsel SH dalgası etkisindeki düzlem dışı kayma modu Şekil 2.19c'de gösterilmiştir.



Şekil 2.19 : Alüvyonel bir vadiye farklı düzlemsel deprem dalgası türlerinin etkimesi durumunda oluşacak titreşim modu şekilleri (a) Hacim dalgası (P) için (b) Düzlem içi partikül yerdeğiştirmesine sahip kayma dalgası (SV) için (c) Düzlem dışı partikül yerdeğiştirmesine sahip kayma dalgası (SH) için (Bard ve Bouchon, 1985).

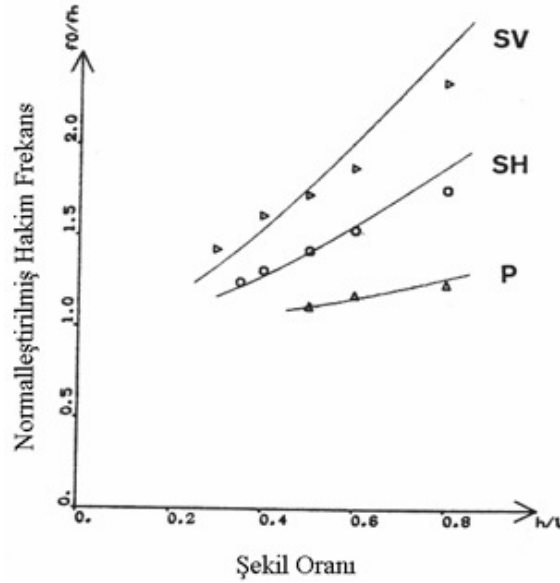
Bard ve Bouchon (1985) kullandıkları yarı sinüs dalgası şeklindeki alüvyonel vadi modelinde dikkate değer sönüm oranlarında bile, bir boyutlu (1D) analizle hesaplananın dört katına yakın spektral büyütmenin elde edilebileceğini göstermişlerdir. Kullandıkları vadi modeline düzlemsel SH dalgası etkimesi durumunda; şekil oranı (vadi derinliğinin vadi genişliğinin yarısına oranı, h/l) ve zemin ile anakaya arasındaki özgül direnç oranına bağlı olarak vadide ikinci boyutun (düzlem dışı yerdeğiştirmelerin bir boyutlu analizden farklı olarak aynı zamanda yatay doğrultuya (x) yani vadi genişliğine bağlı olması) bir boyutlu analizle bulunan hakim frekansa etkisini incelemişlerdir. İkinci boyutun yani vadi genişliğinin rezonansa etkisinin oluşması için gerekli koşullar Şekil 2.20’de grafik halinde gösterilmiştir. Bir boyutlu analizle hesaplanmış hakim frekansın, vadinin ikinci boyutunun (genişliğinin) sınırlı olması nedeniyle yükselmesi durumu iki boyutlu rezonansa karşı gelmektedir (Bard ve Bouchon, 1985).



Şekil 2.20 : Yarı sinüs dalgası şeklindeki alüvyonel vadiye düzlemsel SH dalgalarının etkimesi durumunda iki boyutlu rezonans oluşması için gerekli koşullar (Bard ve Bouchon, 1985).

Bard ve Bouchon (1985) tarafından yapılan çalışmada yarı sinüs dalgası şeklindeki tek tabakalı alüvyonel vadiye düzlemsel SH, SV ve P dalgalarının ayrı ayrı etkimesi durumunda, herbir dalga için 1.mod şekline karşılık gelen normalleştirilmiş hakim frekanslar, vadi şekil oranına bağlı olarak Şekil 2.21’de verilmiştir. Düşey eksen; vadiye P, SV veya SH dalgası etkimesi hali için hesaplanan hakim frekansların (f_0) bir boyutlu analizle elde edilen hakim frekansa ($f_h=V_s/4h$) oranı, yatay eksen ise vadi

şekil oranını (h/l) göstermektedir. Bard ve Bouchon (1985); P, SV veya SH dalgalarının herbiri için vadinin temel mod şekillerine karşılık gelen hakim frekansların bulunması için bir boyutlu hakim frekans ($f_h = V_s/4h$) ve şekil oranının (h/l) yani iki parametrenin bilinmesinin yeterli olacağını ve deprem dalgasının geliş açısı vb. gibi faktörlerin etkisinin ihmal edilebileceğini göstermişlerdir. Bu durumun sismik mikrobölgeleme açısından da önemli olduğunu belirtmişlerdir.

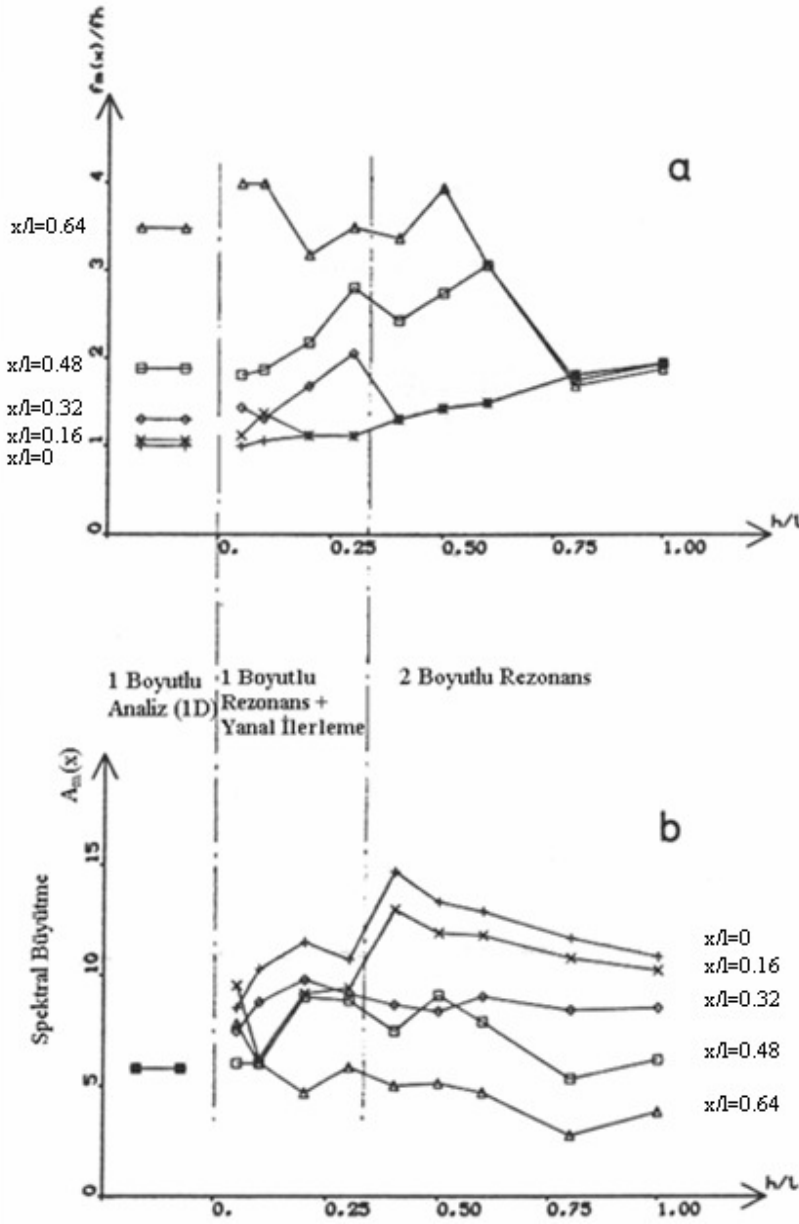


Şekil 2.21 : Alüvyonel vadide SH, SV ve P dalgası 1. mod şekillerine karşı gelen normalleştirilmiş hakim frekansların vadi şekil oranıyla ilişkisi (Bard ve Bouchon, 1985).

Bard ve Bouchon (1985), özellikle özgül direnç oranları düşük yumuşak zeminlerden oluşmuş alüvyonel vadilerde; zemin tabakalarının deprem hareketine karşı mukabele analizlerinde iki boyutlu geometri, bir başka deyişle vadinin sınırlı genişliğe sahip olmasının etkisinin ihmal edilmesinin bütünüyle yanlış spektral büyütme ve hakim frekans değerleri vereceğini, bir boyutlu yaklaşımın sadece yatay yönde sınırı olmadığı kabul edilebilecek zemin tabakaları için uygulanması gerektiğini belirtmişlerdir. Bu durumu açıklayabilmek için Bard ve Bouchon (1985), özgül direnç oranı yaklaşık 0.125 olan alüvyonel zemin ve anakayadan oluşan yarı sinüs dalgası şeklindeki bir vadi modeline düzlemsel SH dalgası etkimesi halini incelemişlerdir. Bu durum için farklı vadi şekil oranlarına karşılık gelen hakim frekans ve spektral büyütme oranlarının vadi simetri merkezinden kenarlara doğru uzaklıkla değişimini vermişlerdir (Şekil 2.22). Verilen şekilde x , vadi simetri merkezinden kenara olan uzaklığı, l , vadinin tepesindeki genişliğin yarısını, $f_m(x)$,

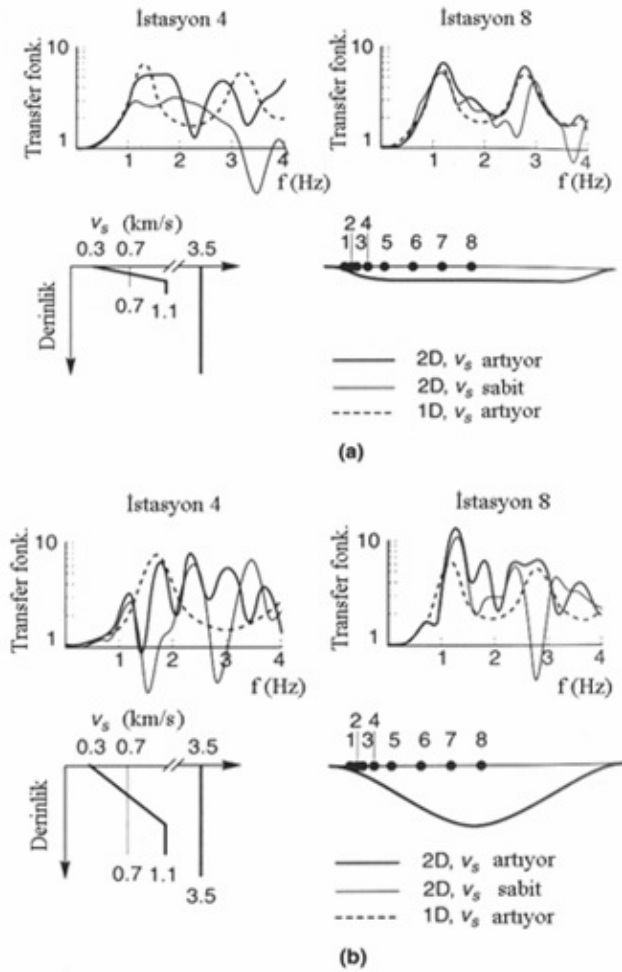
x/l 'ye bağılı değişen hakim frekans, f_h , bir boyutlu analizle elde edilen hakim frekans, $A_m(x)$, x/l 'ye bağılı değişen spektral büyütme değerini göstermektedir.

King ve Tucker (1984), bölgede oluşan büyüklükleri 4'den az olan depremler sırasında Afganistan sınırı yanındaki Chusal vadisinde ölçülen enine ve boyuna doğrultudaki ivme kayıtlarını değerlendirmişler ve yapılan analizler sonucunda, bir boyutlu zemin mukabele analizinin vadilerin merkezine yakın bölgelerde etkili sonuç vereceğini, bununla birlikte kenarlara yaklaşıldıkça bir boyutlu analizin geçerli olamayacağını belirtmişlerdir.



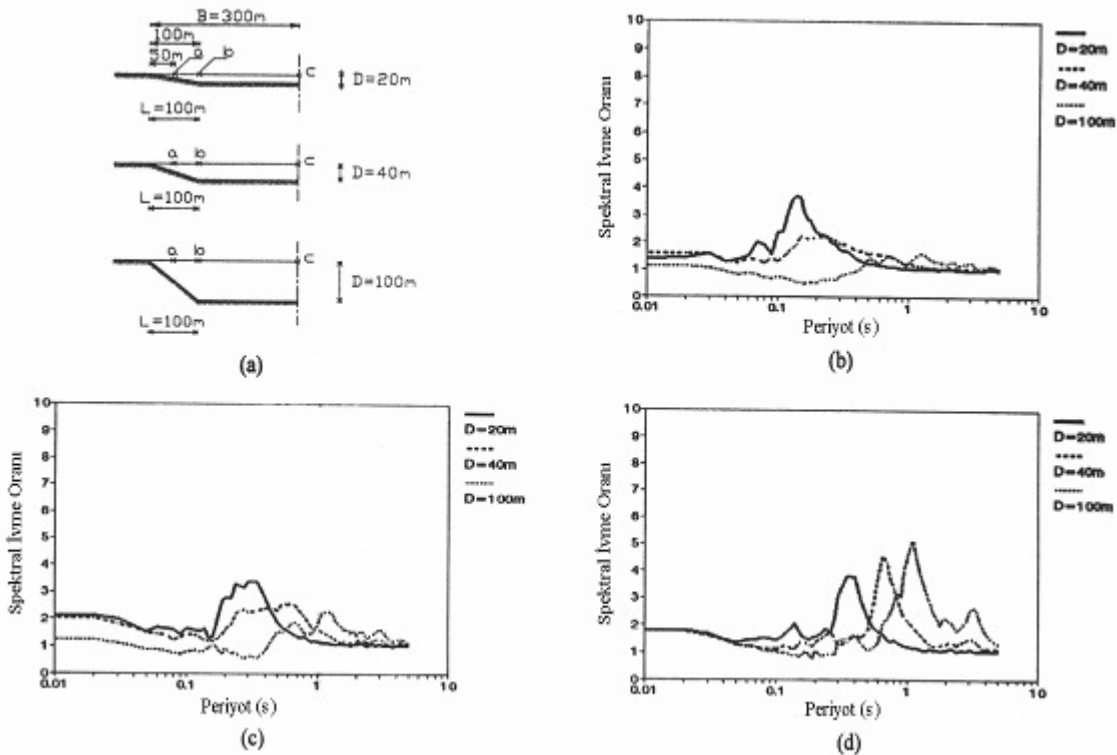
Şekil 2.22 : Alüvyonel bir vadinin merkezinden ($x/l=0$) kenarına ($x/l=0.64$) kadar yüzeyde 5 ayrı noktada (a) Hakim frekansın ve (b) Spektral büyütmenin vadi şekil oranına bağılı değişimi (Bard ve Bouchon, 1985).

Bard ve Gariel (1986), sığ ve derin vadilerin düzlemsel SH dalgasına karşı mukabelesine vadinin ikinci boyutunun yani enine yönde sınırlı genişliğe sahip olmasının etkisini bulmak için analitik bir yaklaşım kullanmışlardır. Elde edilen sonuçlar, düşey yönde ilerleyen SH dalgasının düzleme dik doğrultudaki partikül hareketine sadece vadi derinliğinin etkidiği bir boyutlu analizle bulunanlarla karşılaştırılmıştır (Şekil 2.23). Şekil 2.23a'dan da görülebileceği gibi, sığ ve geniş vadinin simetri merkezindeki (istasyon 8) 1 boyutlu ve 2 boyutlu transfer fonksiyonları birbirine benzemektedir. Yani vadinin ortasında 1 boyutlu analizler yeterli olmaktadır. Bununla birlikte vadi kenarına yaklaştıkça (İstasyon 4) transfer fonksiyonları farklılaşmaktadır. Şekil 2.23b'de gösterilen derin vadinin ortasında (İstasyon 8) elde edilen 1 ve 2 boyutlu transfer fonksiyonları, sığ vadi için bulunanlar kadar uyumlu değildir. Vadi kenarında (İstasyon 4) elde edilen transfer fonksiyonları ise bütünüyle birbirinden farklıdır.



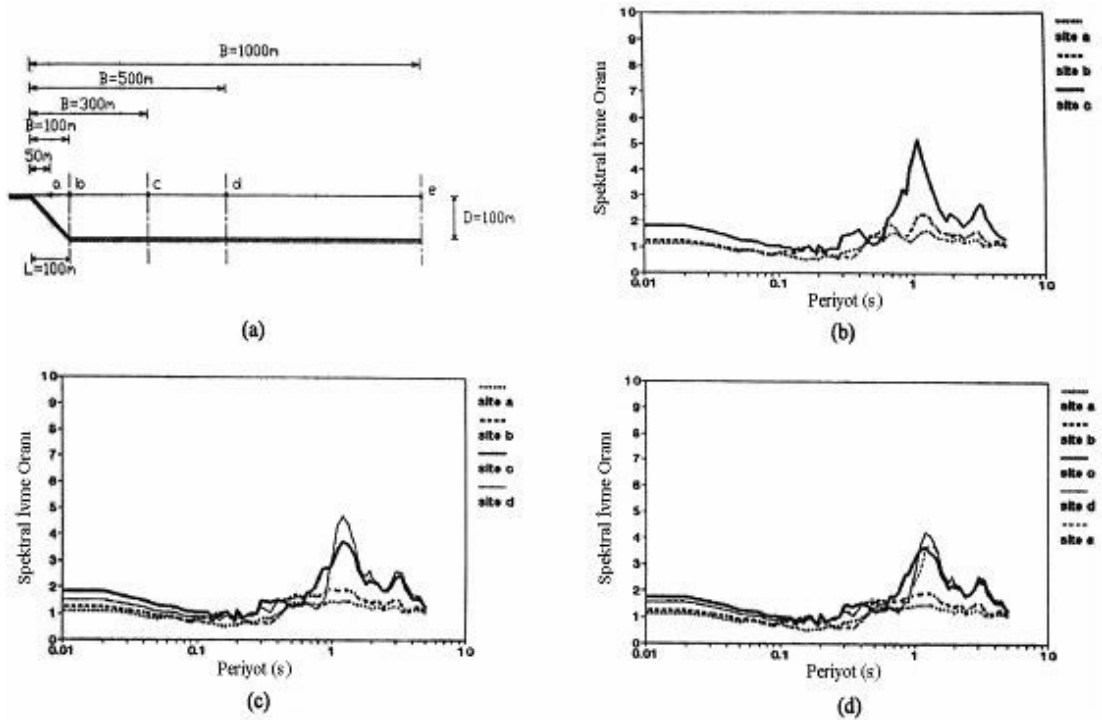
Şekil 2.23 : (a) Sığ, geniş (b) Derin ve dar vadilerde zemin tabakalarının 1D ve 2D dinamik analizlerinde kullanılan transfer fonksiyonları (Bard ve Gariel, 1986).

Rassem ve diğ. (1995, 1997) tarafından yapılan çalışmada, farklı zemin profillerinden oluşan simetrik alüvyonel vadilerin farklı deprem hareketlerine mukabelesi incelenmiştir. Vadilerin hakim periyodu; vadiyi oluşturan zemin tabakalarının kayma modülü, poisson oranı (ν) gibi malzeme özelliklerine bağlı olmakla birlikte anakaya geometrisi yani sınır koşullarının geometrisine de bağlıdır. Vadinin derinliğinde (D) meydana gelen değişimin hakim periyoda etkisi, vadinin genişliğinin ($2B$) veya eğimli kenarlarının genişliğinin (L) değişmesinin etkisinden çok daha fazladır. Bu durum, vadiyi oluşturan her türlü zemin cinsi için geçerlidir yani zemin cinsinden bağımsızdır. Vadinin derinliğini (D) arttırmak, vadinin toplam rijitliğinde azalma meydana getireceği için hakim periyodunu arttıracak dolayısıyla yüzeydeki herhangi bir nokta için yerel zemin periyodu da büyüyecektir. Vadi genişliği değiştirilmeden derinliğinin artırılması, vadi kenarlarındaki eğimin artması anlamına gelecektir. Buna bağlı olarak, Şekil 2.24'ten de anlaşılabileceği gibi düşey yönde ilerleyen deprem dalgalarının vadi merkezine doğru odaklanması artınca, vadinin ortasında daha yüksek spektral büyütme meydana gelmektedir (Rassem ve diğ., 1997).



Şekil 2.24 : Vadi derinliğindeki değişimin yerel zemin büyütmesine etkisi. Zemin profili: Sıkı kum, (a) vadi boyutları; (b) a noktası; (c) b noktası; (d) c noktası (Rassem ve diğ., 1997).

Rassem ve diğ. (1997) tarafından yapılan çalışmada kullanılan vadi modelinin farklı yerlerinde hesaplanan spektral büyütme Şekil 2.25'te gösterilmiştir. Eğimli anakaya yüzeyinin üstünde oluşan tekrarlı deprem dalgası yansımaları sonucunda vadi merkezine doğru ilerleyen yüzey dalgaları oluşmaktadır. Bu durum sonucunda, vadi merkezindeki spektral büyütme vadi kenarına göre daha fazla olmaktadır. Bu dalgalar, sadece düşey ilerleyen kayma (S) dalgalarına karşı dinamik davranışa dayanan bir boyutlu analizlerle tahmin edilemeyecek kadar kuvvetli ve uzun süreli yer hareketleri üretirler. Vadinin kenarından ortasına doğru d noktasına erişilinceye kadar spektral büyütme değerleri artmakta ve d noktasında iki boyutlu büyütmenin maksimum etkisi ortaya çıkmaktadır. Bu noktadan itibaren vadinin simetri merkezine doğru yaklaşıldığında yanal büyütme etkisi son bulmakta dolayısıyla spektral büyütme değerlerindeki artış azalmakta ve vadi kenarına uzaklık daha da arttıkça spektral büyütme değerleri sabit hale gelmektedir. Yüzeyde e noktasına yakın bölgelerde bir boyutlu yaklaşımın uygulanabileceği belirtilmiştir. Vadinin ortasındaki e noktasında yerel zemin hakim periyodu, vadideki diğer bölgelere göre daha yüksektir ve vadinin temel periyoduyla aynı değere sahiptir. Eğimli anakayanın rijitleştirici etkisi yüzünden, yerel zemin hakim periyodu vadinin kenarlarına yaklaşıldıkça azalmaktadır.



Şekil 2.25 : Vadinin yüzeyindeki zemin büyütme. Zemin profili: Sıkı kum, D=100 m, (a) Boyutlar; (b) B=300 m; (c) B=500 m; (d) B=1000 m (Rassem ve diğ., 1997).

Vadideki yüzey hareketlerinin yerel değişimine etkiyen parametreler; vadi boyutları, mukabele analizi yapılan yerin vadideki konumu, zemin cinsi ve anakayadaki deprem hareketinin karakteristikleri olarak sıralanabilir. Vadideki farklı yüzey noktalarındaki yerel büyütme periyotları; zemin profilinin derinliğinin değişmesine, vadinin diğer boyutlarında yapılan değişikliklere göre daha duyarlıdır. Vadi kenarındaki zemin büyütmesi vadinin genişliğinden bağımsızdır çünkü bu bölgeler çoğunlukla eğimli anakaya sınırından gelen deprem dalgalarından etkilenirler. Başka bir deyişle $B \geq 300$ m olan geniş vadilerde, kenardaki spektral büyütme derinliğinin (D) ve anakaya eğiminin (D/L) fonksiyonudur ve vadi genişliğinden bağımsızdır. Vadi kenarındaki rijit zemin profiline sahip bölgeler; yüksek frekanslı (a/v yüksek) anakaya hareketine, vadi merkezindeki bölgelerden daha kuvvetli mukabele gösterirler, dolayısıyla spektral ivme değerleri yüksek frekanslar için büyüktür. Bunun nedeni, vadi kenarındaki eğimli anakayanın rijitleştirici etkisi sebebiyle yerel büyütme periyotlarının düşük olması ve yüksek frekanslı anakaya hareketinin hakim periyoduna yaklaşmasıdır.

Bir boyutlu model sadece sığ ve geniş vadilerde ($B/D \geq 10$ ve $B/L \geq 2$), vadi kenarından en az vadi derinliğinin (D) 10 katı uzaklıktaki noktalardaki yüzey hareketini hesaplamak için kullanılabilir. Bu bölgeler, vadi kenarındaki eğimli anakaya sınırının neden olduğu iki boyutlu büyütmenin etkisi dışında kalırlar. (Rassem ve diğ., 1997).

Zhao ve Valliappan (1993) tarafından yapılan çalışmada; anakayada etkiyen düzlemsel basınç (P) ve düzlem içi partikül hareketine sahip düzlemsel kayma dalgaları (SV) sonucunda oluşan yüzey hareketine kanyon topoğrafyası ve jeolojik koşulların etkisi, frekans ortamında çalışan sayısal bir model yardımıyla incelenmiştir. Bu araştırmadan elde edilen sayısal sonuçlar göstermiştir ki: (1) kanyon topoğrafyası ve jeolojik koşullar, deprem sırasında oluşan kanyon yüzeyindeki hareketin maksimum değerini ve frekans içeriğini önemli derecede etkileyebilmektedir; (2) anakayadaki deprem hareketinin hakim periyoduyla kanyonun hakim periyodu çakıştığı zaman meydana gelen deprem hareketinin şiddeti artmaktadır; (3) kanyonun yamacı dikleştiğinde veya kanyon yüzeyinde ayrılmış yumuşak bir tabaka bulunduğunda, kanyon yüzeyinde kuvvetli dalga biçimi değişimi meydana gelmektedir; (4) rasgele deprem hareketi etkisinde kanyonda meydana gelen spektral büyütme tekrarlı sinüsoidal hareket etkisine göre biraz daha azdır.

3. ZEMİN TABAKALARININ DİNAMİK ANALİZİNDE SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİNİN KULLANILMASI

3.1 Giriş

Zemin tabakalarının dinamik analizi için geliştirilen hesap yöntemleri genellikle karşılaşılan problemin gereksinimine göre bir boyutlu (1D), iki boyutlu (2D) ve üç boyutlu (3D) olarak tanımlanır. Diğer yaklaşımlarda zemin tabakalarının ve anakayanın iki veya üç boyutlu geometrisi gerektiği için, bir boyutlu yaklaşım diğerlerine göre çok daha fazla tercih edilmektedir. Bununla birlikte zemin tabakalarının bir boyutlu dinamik analizinde yüzey topoğrafyası ve vadilerin sınırlı enine genişliğe sahip olmasının etkisi ihmal edilmektedir. Fakat gerçekte dar vadilerde, geniş vadilerin kenarlarında ve tepelerin yamaçlarında ikinci ve hatta üçüncü boyutun etkileri ortaya çıkmaktadır.

Topoğrafik düzensizliklerin deprem hareketine etkisi üzerine birçok araştırma mevcuttur. Yapılan çalışmalarda idealleştirilmiş malzeme ve ortam özelliklerine sahip farklı geometrideki alüvyonel vadi ve kanyon modellerinin çeşitli deprem dalgaları (P, SV, SH) karşısında gösterdikleri davranış elde edilmiştir. Konuyla ilgili problemlerin çözümünde sonlu fark ve sonlu eleman gibi yöntemleri kapsayan ortam metodu, sınır eleman ve sınır integralleri kapsayan sınır metodu ve verilen iki yöntemin karışımı olan metotlar kullanılmaktadır (Jiang ve diğ., 1993).

Tez çerçevesinde yapılan iki boyutlu dinamik analizlerde sonlu eleman yöntemi kullanılmıştır. Lineer yöntemle göre hesap yapılan bölümlerde Sap2000 ve Plaxis yazılımları, eşdeğer lineer yöntemle göre hesap yapılan bölümlerde frekans ortamında çalışan Flushplus ve zaman ortamında çalışan Quake/W yazılımları kullanılmıştır.

3.2 Sonlu Eleman Yöntemi

Tez kapsamında iki boyutlu modellerin dinamik analizinde kullanılan sonlu eleman yöntemi, çok güçlü ve modern bir hesap aracıdır. Yaklaşık son 40 yıl içerisinde bilgisayar teknolojisinde kaydedilen gelişmeye paralel olarak kullanımı giderek

artmıştır. Sonlu eleman yöntemi, içerdği çok sayıda hesap (matris çözümü, sayısal integrasyon vb. gibi) nedeniyle hızlı işlemcili bilgisayarların kullanılmasını gerekli kılmaktadır.

Bilindiği gibi, matematik modellerin analitik ve/veya yaklaşık çözümleri vardır. Analitik bir çözüm, fiziksel problemdeki bilinmeyenin ortamdaki herhangi bir nokta için hesaplanmasını mümkün kılar ve bu nedenle bu ortamdaki sonsuz nokta için geçerlidir. Bununla birlikte, çoğu zaman analitik çözümler bazı basit sınır şartları ve geometrik koşullar için üretilir ve pratikteki birçok problem için kapalı formda çözümler oluşturulması mümkün değildir. Tecrübeli bir mühendis problemlere kapalı formda çözümler uygulayabilmek için basitleştirici kabuller yapabilir. Mühendislik problemlerindeki karışıklıklar, geometrideki değişkenlik ve düzensizlik, karışık sınır koşulları, lineer olmayan malzeme davranışı ve uniform olmayan yükleme koşullarından kaynaklanır. Sonlu eleman yöntemi, bu tür problemleri ele almak için uygun bir yöntemdir.

Sayısal yöntemlerin çoğunda, çözümler ortamdaki sınırlı sayıda noktadaki bilinmeyenlerin yaklaşık olarak elde edilmesini sağlar. Bir ortamdaki sınırlı sayıda noktadaki bilinmeyene ulaşmak için ortamın ayrıklaştırılması gereklidir. Bir ortamın ayrıklaştırılmasının metodu ortamı çok sayıda küçük elemana bölmektir. Bu ayrık elemanların daha sonra tekrar birleştirilmesi, modelin orijinal haline dönülmesini sağlayacaktır. Böylece, çözümü bütün ortam için elde etmek yerine, küçük parçalara ayırıp çözümleri her bir eleman için ayrı ayrı denklemlerle oluşturup, daha sonra bu çözümlerin birleştirilmesi yoluna gidilebilir. Bu yaklaşım, parçadan genele ulaşma olarak bilinir. Bu yöntemde, üzerinde çalışılacak veri miktarı ortamın ayrıklaştırılma derecesine bağlıdır. Bilgisayar çağından önce geliştirilmiş birçok yöntem, geliştirilen algoritmalar sayesinde kişisel bilgisayarlarla kullanılmaya uygun hale getirilmiştir. Bu yöntemlerden bazıları; ağırlıklı artık yöntemi, en küçük kareler yöntemi, varyasyonel metotlar (Ritz metodu vb. gibi) ve sonlu fark yöntemidir.

Sonlu eleman yönteminin ana fikri, çözümün geçerli olduğu ortamı çok sayıda küçük elemana bölmektir. Bu ayrıklaştırılmış elemanlar birbirlerine düğüm noktalarıyla bağlıdır. Seçilen elemanlar, ortamın geometrisi, yükleme tipi, malzeme anizotropisi ve çözümün gerektirdiği hassasiyete bağlı olarak bir, iki veya üç boyutlu olabilir. Çözümün geçerli olduğu ortam basit geometrili elemanlara bölünüp, bu elemanlar düğüm noktalarında birbirlerine bağlantılı olarak tanımlandıktan sonra, çözümü

aranılan alan değişkenlerinin (yerdeğiştirme (yapısal analiz), sıcaklık (ısı analizi), basınç (akışkanlar mekaniği)) seçilen sonlu eleman üzerindeki değişimini elde etmek için bir yaklaşım yapılır. Bu amaçla şekil fonksiyonları kullanılır. Polinomlar ve trigonometrik fonksiyonlar bu amaçla en çok kullanılan fonksiyon çeşitleridir. Problemlerle uğraşan mühendis, kullandığı yazılımda her düğüm noktasının koordinatını, eleman özelliklerini, malzemeyi, sınır ve yükleme koşullarını problemin doğasına uygun biçimde tanımlamalıdır. Ortamdaki eleman sayısının artmasıyla çözümün hassasiyeti artacak, bununla birlikte gerekli zaman ve dolayısıyla maliyet de artacaktır (Chandrupatla ve Belegundu, 2002).

Özetlemek gerekirse, sonlu eleman yönteminin gerisinde yatan iki önemli fikir; çözümün geçerli olduğu ortamı sonlu elemanlara bölerek ayrıklaştırmak ve alan değişkeninin eleman üzerindeki değişimini tanımlamak için yaklaşım fonksiyonları (şekil fonksiyonlarından) faydalanmaktır. Böylece çözüme ulaşıldığı takdirde çözümü aranan bilinmeyenlerin eleman üzerindeki değişimi düğüm noktalarındaki bilinmeyenler cinsinden ifade edilebilecektir.

Düğüm noktalarındaki bilinmeyenlerin ve düğüm noktalarına etkiyen değişkenlerin (kuvvet, ısı vb. gibi) birbirleriyle bağlantısının kurulabilmesi ve sonlu elemanların bir araya getirilebilmesi için toplama işlemi uygulanır. Toplama işleminde, enerjinin skaler ve toplanabilir bir büyüklük olması prensibinden faydalanılır. Daha sonra, minimum potansiyel enerji gibi bir varyasyonel yöntem veya virtüel iş prensibi gibi bir yaklaşım yardımıyla denge denklemleri oluşturulur. Yapısal problemlerde denge denklemi oluşturulurken; şekil değiştirme-yerdeğiştirme, gerilme-yerdeğiştirme ve kuvvet dengesi denklemlerinden faydalanılır. Örnek vermek gerekirse statik problemlerin çözümünde, ortamdaki her bir eleman için elde edilen rijitlik matrisleri ve düğüm noktalarına etkiyen kuvvetler bir araya getirilir. Toplu rijitlik matrisi ve kuvvet vektörü bulunur. Daha sonra sınır şartları dikkate alınarak bilinmeyenler yani yapısal problemlerde düğüm noktalarının yerdeğiştirmeleri hesaplanır. Daha sonra küçük yerdeğiştirmeler kabulüne dayanıp elastisite teorisinden faydalanarak şekil değiştirme, gerilme ve kesit tesirlerine ulaşılabilir (Stasa, 1995).

Sonlu eleman yönteminin diğer yaklaşık metotlara göre bazı avantajları vardır. Ortamın geometrisine uyacak biçimde seçilen ayrık elemanlar sayesinde çok karışık geometriler için çözümler üretilip, homojen olmayan ve anizotrop malzemelerin içinde olduğu problemler çözülebilir. Farklı sınır şartları için çözümler

oluşturulabilir. Daha yüksek dereceden polinomların kullanılmasıyla, bilinmeyenlerin sonlu eleman içindeki değişimi daha gerçekçi ele alınabilir.

Tez kapsamında yapılan iki boyutlu dinamik analizlerin büyük kısmında, zemin tabakalarının zaman ortamında dinamik analizi için geliştirilen Quake/W yazılımı kullanılmıştır. Bu programın işleyişi; iki boyutlu dinamik analizlerde düzlem şekil değiştirme koşullarının geçerli olduğu prensibine dayanmakta ve rijitlik matrislerinin oluşturulmasında bu durum dikkate alınmaktadır. Zaman ve frekans ortamında çalışan programlar ile ilgili teknik bilgi aşağıda özetlenmiştir.

3.3 Sonlu Eleman Yöntemiyle Zaman Ortamında Dinamik Analiz

Bu çalışmada yapılan zaman ortamındaki dinamik analizlerde eşdeğer lineer malzeme yöntemiyle çalışan ve sayısal metot olarak sonlu eleman formülasyonuna dayanan Quake/W yazılımı kullanılmıştır. Bu yazılımda, sınırlardaki düğüm noktalarında ve kenarlarda zamana bağlı değişen kuvvet/gerilme fonksiyonları ve sönümleyiciler tanımlanabilmektedir. Sonlu eleman yönteminde kullanılan sistemin dinamik tepkisiyle ilgili genel hareket denklemi aşağıdaki gibi açıklanabilir:

$$[M]\{\ddot{u}\} + [C]\{\dot{u}\} + [K]\{u\} = \{F\} \quad (3.1)$$

Denklem 3.1’de $[M]$, kütle matrisi, $[C]$, sönüm matrisi, $[K]$, rijitlik matrisi, $\{F\}$, yük vektörü, $\{\ddot{u}\}$, düğüm noktaları ivme vektörü, $\{\dot{u}\}$, düğüm noktaları hız vektörü, $\{u\}$, düğüm noktaları yerdeğiştirme vektörü olarak tanımlanmıştır. Yük vektörü farklı kuvvetlerin toplamından oluşmaktadır.

$$\{F\} = \{F_b\} + \{F_s\} + \{F_n\} \quad (3.2)$$

Bağıntı 3.2’de $\{F_b\}$, sonlu elemanların ağırlığından kaynaklanan cisim kuvveti, $\{F_s\}$, sınırlardaki yüzey gerilmelerinden oluşan kuvvet, $\{F_n\}$, düğüm noktalarına etki eden tekil kuvvetleri göstermektedir (Chandrupatla ve Belegundu, 2002).

Kütle matrisi; sadece bulunduğu düğüm noktasındaki ivme değerleriyle çarpılarak eylemsizlik kuvveti oluşturan köşegen matris (toplu kütle matrisi) biçiminde olabileceği gibi, sonlu elemanların diğer düğüm noktalarına etkiyen ivmelerden

oluşan eylemsizlik kuvvetlerine de katkısı olan ve köşegen olmayan (bağlı) kütle matrisi şeklinde de olabilir. Bağlı kütle matrisi bağıntı 3.3'teki gibi açıklanabilir.

$$[M] = \int_V \rho [N]^T [N] dv \quad (3.3)$$

Toplu kütle matrisi de aşağıdaki gibi verilebilir.

$$[M] = \int_V \rho [\psi] dv \quad (3.4)$$

Bağıntı 3.3 ve 3.4'te ρ , özgül kütle, $[N]$, şekil fonksiyonları matrisi, $[\psi]$, kütle dağılım faktörlerinden oluşan köşegen matristir.

Yapılarda mod süperpozisyonuna göre hesap yönteminde hareket denkleminde kullanılan sönüm matrisinin ortogonallik özelliğine sahip olması çözüme kolaylık getirmektedir. Sönüm matrisinin bağıntı 3.5'te verilen ortogonallik özelliğine sahip olması için kütle matrisiyle veya rijitlik matrisiyle orantılı olması gerekir. Yapıların mod süperpozisyonuna göre hesabında kullanılan kütle ve rijitlik matrislerinin ortogonallik özelliğine sahip olduğu bilinmektedir (Denklem 3.6 ve 3.7).

$$\{\phi_i\}^T [C] \{\phi_j\} = 0 \quad (3.5)$$

$$\{\phi_i\}^T [M] \{\phi_j\} = 0 \quad (3.6)$$

$$\{\phi_i\}^T [K] \{\phi_j\} = 0 \quad (3.7)$$

Yukarıdaki bağıntılarda $\{\phi_i\}^T$, sistemin i. mod vektörünün devriğini, $\{\phi_j\}$, j. mod vektörünü göstermektedir. Sönüm matrisi, denklem 3.8 ve 3.9'da verildiği gibi kütle veya rijitlikle orantılı olarak tanımlandığı zaman ortogonallik özelliğine sahip olmaktadır.

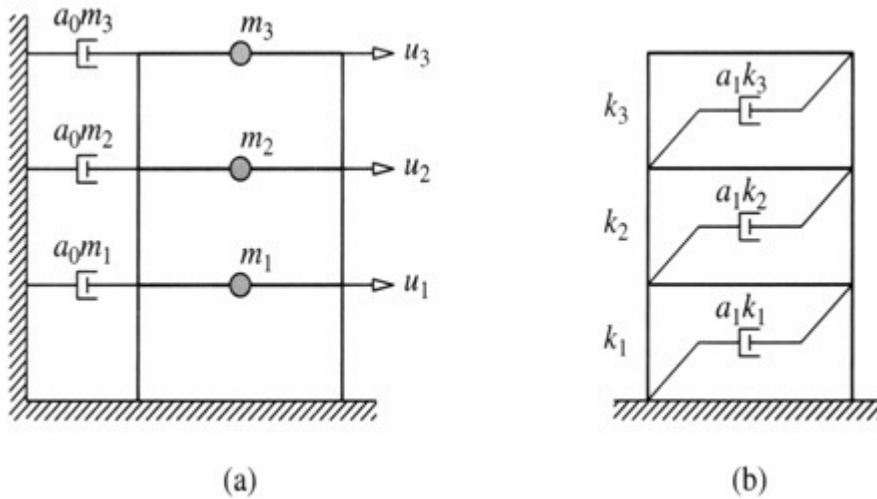
$$[C] = a_0 [M] \quad (3.8)$$

$$[C] = a_1 [K] \quad (3.9)$$

Rijitlikle orantılı sönüm matrisi; üst yapılarda kat deformasyonlarından kaynaklanan, zemin yapılarında ise zemin tabakalarının farklı deformasyonlarından kaynaklanan enerji sönümünü ifade etmektedir (Şekil 3.1b). Bununla birlikte kütle matrisiyle orantılı sönüm matrisi, hava sürtünmesinden kaynaklanan enerji sönümünü tanımlamaktadır ve fiziksel olarak ifade edilmesi zordur (Şekil 3.1a). Ayrıca sönüm terimi genellikle kütle ve rijitliğin lineer kombinasyonu biçiminde de tanımlanmaktadır (Bağıntı 3.10).

$$c = a_0 m + a_1 k \quad (3.10)$$

Yukarıdaki bağıntıda a_0 ve a_1 skaler büyüklüklerdir ve Rayleigh sönüm katsayıları olarak ifade edilir. Bağıntı 3.10'daki sönüm terimine sahip bir sistemin n. modu için sönüm oranı aşağıdaki gibi yazılabilir (Chopra, 1995).



Şekil 3.1 : (a) Kütle orantılı sönüm (b) Rijitlik orantılı sönüm (Chopra, 1995).

$$\xi_n = \frac{a_0}{2} \frac{1}{\omega_n} + \frac{a_1}{2} \omega_n \quad (3.11)$$

a_0 ve a_1 katsayıları, i. ve j. modlar için belirlenen sönüm oranları ξ_i ve ξ_j kullanılarak hesaplanır ve bağıntı 3.12'de verilen matris formundaki denklem çözülerek bulunabilir.

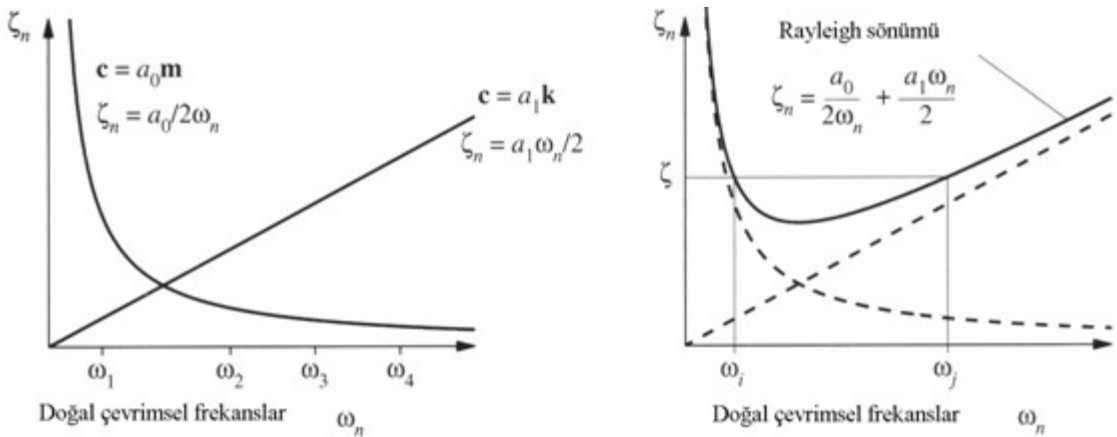
$$\frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1/\omega_i & \omega_i \\ 1/\omega_j & \omega_j \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} a_0 \\ a_1 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \xi_i \\ \xi_j \end{Bmatrix} \quad (3.12)$$

Eğer her iki modun da aynı sönüm oranına sahip olduğu düşünülürse a_0 ve a_1 aşağıdaki gibi elde edilebilir.

$$a_0 = \xi \frac{2 \omega_i \omega_j}{\omega_i + \omega_j} \quad a_1 = \xi \frac{2}{\omega_i + \omega_j} \quad (3.13)$$

Herhangi bir sistemin dinamik analizinde, daha önceden belirlenen ve sistemin dinamik tepkisine belirgin şekilde katkısı olması istenen modlar için aynı sönüm oranı seçilmektedir. Böylece daha yüksek doğal frekansa sahip modların sönüm oranı artmakta ve bu modların dinamik analize katkıları çok azalmaktadır (Şekil 3.2b).

Quake/W programı; Rayleigh sönüm katsayılarını, ardışık en küçük iki sistem frekansını ve bu iki frekans değerine karşılık gelen mod için sabit olan fakat her iterasyonda kayma şekil değiştirmesine bağlı değişen sönüm oranını kullanarak hesaplamaktadır.



Şekil 3.2 : Modal sönüm oranlarının açısal frekansa bağlı değişimi (a) Kütle orantılı sönüm ve rijitlik orantılı sönüm (b) Rayleigh sönümü (Chopra, 1995).

İki boyutlu düzlem şekil değiştirme analizinde kullanılan rijitlik matrisi aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$[K] = \int_V [B]^T [E] [B] dv \quad (3.14)$$

$$[K] = t \int_A [B]^T [E] [B] dA \quad (3.15)$$

Yukarıdaki bağıntılarda $[B]$, şekil değiştirme matrisini, $[E]$, elastik matrisi, t ise düzleme dik doğrultudaki birim genişliği göstermektedir. Quake/W programı, eleman rijitlik matrisini oluşturmak için Gauss-Legendre sayısal integrasyon yöntemini kullanmaktadır ve bunu, bağıntı 3.15'te verilen kapalı formdaki integralin çözümünü aşağıda verilen sayısal integral biçimine çevirerek yapmaktadır.

$$[K] = \sum_{k=1}^n \sum_{j=1}^n R_j R_k f(\xi_j, \eta_k) |J(\xi_j, \eta_k)| \quad (3.16)$$

Denklem 3.16'da R_j ve R_k , ağırlık fonksiyonlarını, ξ ve η , elemanların lokal koordinatlarını, $|J(\xi_j, \eta_k)|$, Jacobian determinantını göstermektedir. Quake/W programında dörtgen elemanlar dört veya sekiz düğüm noktalı izoparametrik elemanlar olarak tanımlanabilmekte, rijitlik matrisinin sayısal integrasyonunda dört veya dokuz integrasyon noktası kullanılmaktadır. Üçgen elemanlar, üç veya altı düğüm noktalı izoparametrik elemanlar olarak kullanılabilmekte ve rijitlik matrisinin sayısal integrasyonunda bir veya üç integrasyon noktası tanımlanabilmektedir.

Kayma modülünün ve sönüm oranının dinamik yükleme koşullarındaki lineer olmayan gerçek davranışı eşdeğer lineer metot yardımıyla yaklaşık olarak modellenabilmektedir. Eşdeğer lineer metot kullanılarak yapılan analizlerde, analiz süresince sabit kayma modülü ve sabit sönüm oranı kullanılır. Yeni kayma modülü ve sönüm oranı dinamik analiz sırasında hesaplanan tekrarlı kayma şekil değiştirmesi kullanılarak elde edilir. Daha sonra yeni sönüm oranı ve kayma modülü kullanılarak yeni bir yükleme başlar ve birbirini takip eden iki iterasyon arasındaki yerdeğiştirme farkı daha önceden belirlenen bir değerin altına inene kadar iterasyon devam eder. Quake/W programı, dinamik analiz sırasında düğüm noktalarında oluşan yerdeğiştirmelerin normalize edilmiş halinin maksimum değerini hesaplar ve bir sonraki iterasyondan elde edilen değerle karşılaştırır. Yerdeğiştirmelerin normalize edilmiş halinin maksimum değeri aşağıdaki gibi tanımlanabilir.

$$U_{\max}^i = \max \left\{ \sqrt{\sum_{n=1}^p (u_n^i)^2 / p} \right\} \quad (3.17)$$

Bağıntı 3.17'de $U_{\max}^i$, normalize edilmiş maksimum yerdeğiştirme, u_n^i , i. iterasyonda n. düğüm noktasında oluşan yerdeğiştirme, p ise düğüm noktası sayısını

göstermektedir. Quake/W programı, kullanıcı tarafından belirtilen iterasyon sayısına erişinceye kadar veya normalize edilmiş yerdeğiştirmeler arasındaki fark, daha önceden belirlenmiş bir yakınsama değerinin altına düşüncüye kadar çözüme devam eder. Yakınsama değeri (δ_T) aşağıdaki gibi tanımlanabilir.

$$\delta U_{\max} = \frac{ABS(U_{\max}^{i+1} - U_{\max}^i)}{U_{\max}^i} < \delta_T \quad (3.18)$$

Bu çalışmada yapılan iki boyutlu dinamik analizlerde yakınsama değeri (δ_T) 0.005 olarak seçilmiştir.

3.4 Sonlu Eleman Yöntemiyle Frekans Ortamında Dinamik Analiz

Frekans ortamında dinamik analiz yapan Flushplus programında sistemin genel hareket denklemi aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır.

$$[M]\{\ddot{u}\} + [K]\{u\} = -\{m\}\ddot{y}(t) - \{V\} + \{F\} - \{T\} \quad (3.19)$$

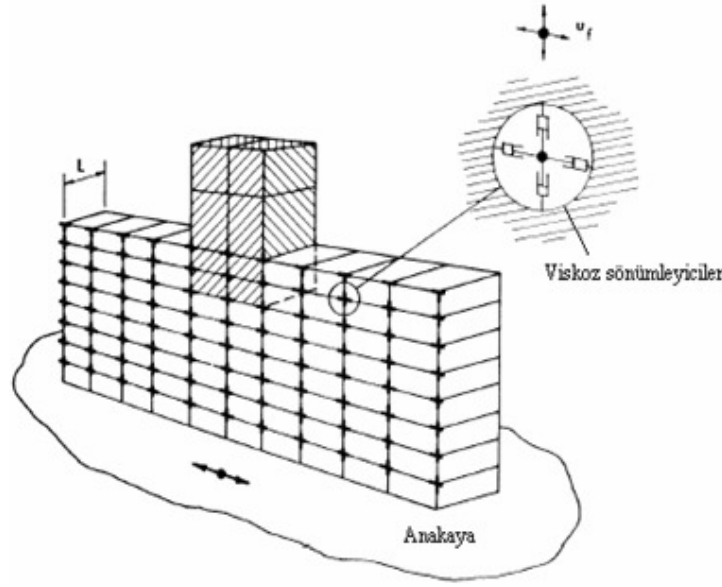
Bağıntı 3.19'da $\{u\}$, sonlu elemanların düğüm noktalarının rijit tabana göre yerdeğiştirme vektörünü, $[M]$ ve $[K]$ sırasıyla birim kalınlıktaki düzlem şekil değiştirme diliminin kütle ve rijitlik matrislerini, $\{m\}$, kütle vektörünü ($\{m\} = [M]\{1\}$), $\ddot{y}(t)$, rijit taban ivmesini göstermektedir. Malzeme sönümü, rijitlik matrisinin kompleks kayma modülünü kullanarak oluşturulması suretiyle hareket denkleminde katılmaktadır. Kompleks kayma modülü denklemi aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$G^* = G \left(1 - 2\xi^2 + 2i\xi\sqrt{1 - \xi^2} \right) \approx G \cdot \exp(2i\xi) \quad (3.20)$$

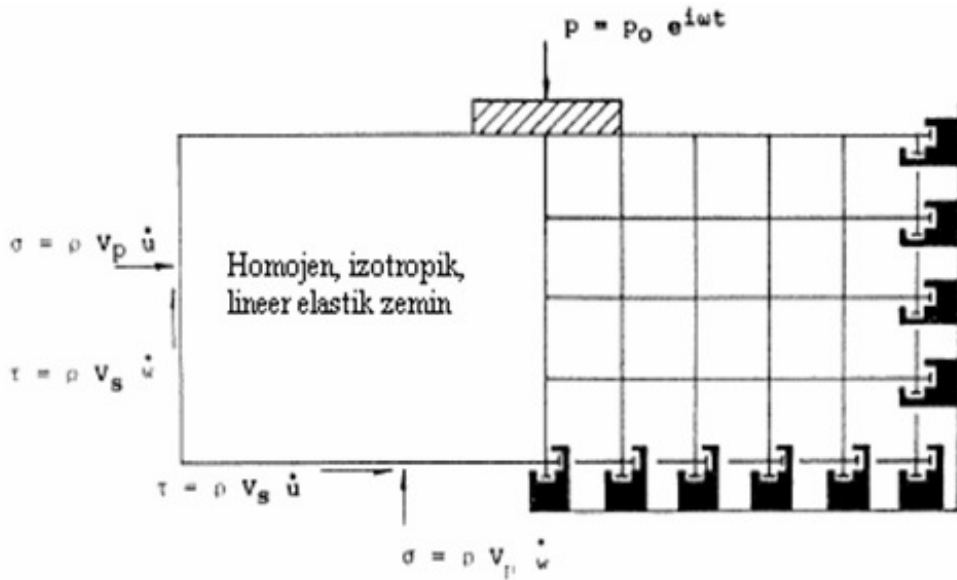
Denklem 3.20'de ξ , sönüm oranını göstermektedir. $\{V\}$ kuvvet vektörü; Şekil 3.3'te gösterilen L genişliğindeki dilimin her iki yüzeyindeki zemin kütlelerinden kaynaklanan kayma gerilmelerinin etkisini modele, sönüm matrisini kullanarak katabilmekte dolayısıyla üçüncü boyutun etkisini yansıtabilmektedir. Ayrıca sonlu eleman modelinin her iki sınırında da sönümleyiciler tanımlanabilmekte dolayısıyla her iki uçta yeralan ve sonsuza uzanan zemin tabakalarının hareketi sönümleyici etkisi hesaplara dahil edilebilmektedir (Şekil 3.4).

$$\{V\} = \frac{1}{L} [C] (\{\dot{u}\} - \{\dot{u}\}_f) \quad (3.21)$$

Yukarıdaki bağıntıda L , düzleme dik doğrultudaki üçüncü boyutun etkisini hesaplara yansıtacak dilimin kalınlığı, $[C]$, sonsuza uzanan zemin tabakalarının dinamik özelliklerine bağlı oluşan köşegen sönüm matrisi, $\{\dot{u}\}$, sonlu elemanların düğüm noktalarındaki parçacık hızı vektörü, $\{\dot{u}\}_f$, sonsuza uzanan zemin tabakalarının bir boyutlu analizle hesaplanmış parçacık hızı vektörüdür.



Şekil 3.3 : Basitleştirilmiş üç boyutlu model.

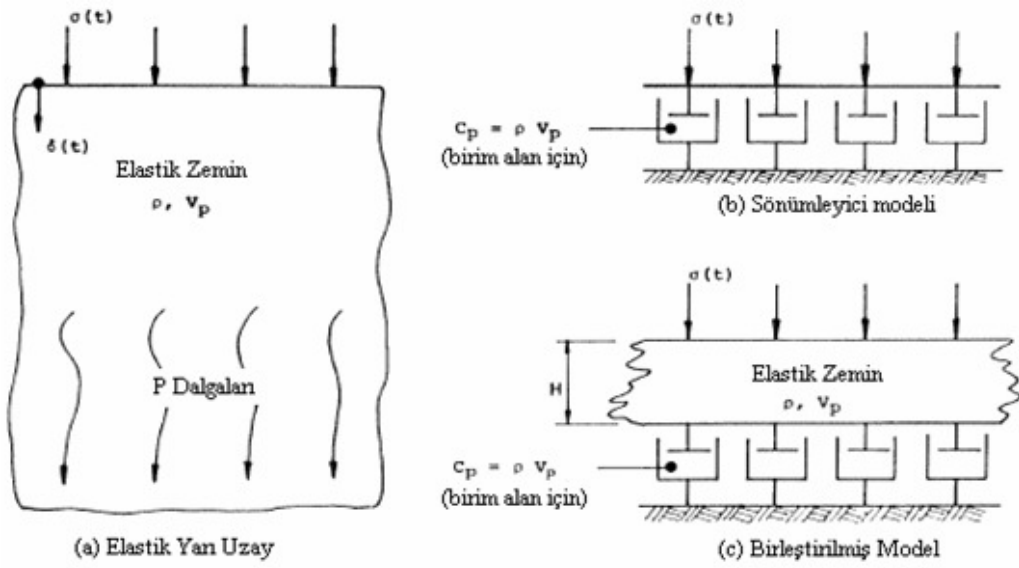


Şekil 3.4 : Yarı uzay üzerinde dinamik etkilere maruz bir temelin sonlu eleman modeli.

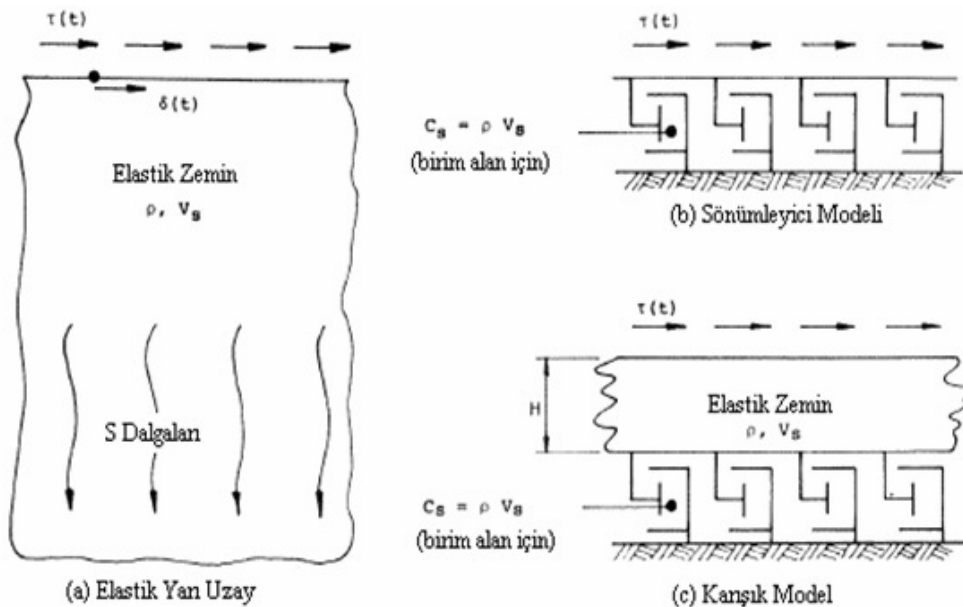
Lysmer ve Richart (1966), Lysmer ve Kuhlemeyer (1969) Şekil 3.5 ve 3.6’da verilen sönümleyici sınırlar kullanıldığı takdirde P ve S dalgalarının farklı birçok geliş açısında sönümlenebileceğini göstermişlerdir. Basınç ve kayma dalgalarını sönümlemek için kullanılan sönüm katsayıları bağıntı 3.22’deki gibi tanımlanmıştır.

$$c_p = \rho V_p \quad c_s = \rho V_s \quad (3.22)$$

Denklem 3.22’de c_p ve c_s , sırasıyla basınç ve kayma dalgalarını sönümlemek için kullanılan sönüm katsayıları, ρ , zemin tabakasının yoğunluğunu, V_p ve V_s , basınç ve kayma dalgası hızlarını göstermektedir.



Şekil 3.5 : Düşey yüklenmiş yarı uzayda kullanılan sönüm modelleri.



Şekil 3.6 : Yatay yüklenmiş yarı uzayda kullanılan sönüm modelleri.

Bağıntı 3.19’da verilen $\{F\}$ kuvvet vektörü, Şekil 3.3’teki dilimin her iki ucunda da etki etmektedir. $\{F\}$ kuvvet vektörü, sonlu eleman modelinin sınırlarında bulunan ve yatayda sonsuza uzanan zemin tabakalarının rijitliğiyle orantılıdır ve düşey sınırlarda yatay yönde enerji akışını engellemektedir (Bağıntı 3.23).

$$\{F\} = [G]\{u\}_f \quad (3.23)$$

Yukarıdaki bağıntıda $[G]$, sonlu eleman modelinin her iki sınırında bulunan ve yatayda sonsuza uzandığı varsayılan zemin tabakalarının kompleks kayma modülünden elde edilen frekanstan bağımsız rijitlik matrisidir. Sonlu eleman modelinin her iki sınırındaki enerji akışını kontrol eden kuvvet vektörü aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\{T\} = ([R] + [L]) (\{u\} - \{u\}_f) \quad (3.24)$$

Bağıntı 3.24’teki $[R]$ ve $[L]$; Lysmer ve Drake (1972), Waas (1972) tarafından önerilen frekansa bağlı sınır rijitlik matrisleridir. Bu matrisler, sonlu eleman modelinin her iki sınırındaki sonsuza uzanan viskoelastik zemin tabakalarının dinamik etkisini tam olarak yansıtmaktadırlar (Şekil 3.7).

Bağıntı 3.19’da verilen genel hareket denklemi; Fourier spektrumu kullanılıp deprem ivme-zaman geçmişinin, genlikleri ve periyotları belirli harmonik seriler şekline dönüştürülmesi yardımıyla yani kompleks karşılık metoduyla çözülebilmektedir.

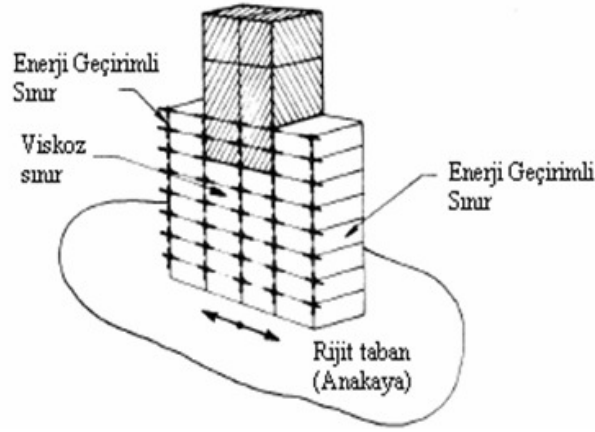
$$\ddot{y}(t) = \text{Re} \sum_{s=0}^{N/2} \ddot{Y}_s \exp(i\omega_s t) \quad (3.25)$$

Yukarıdaki denklemde $\ddot{Y}_s$, anakaya ivmesinin frekans ortamına dönüştürülmüş hali, N, anakaya ivmesindeki ayrık veri sayısıdır. Sonlu eleman modelindeki düğüm noktalarının yerdeğiştirmeleri ve sonsuza uzanan zemin tabakalarının yerdeğiştirmeleri de Fourier serisi şeklinde yazılabilir.

$$\{u\} = \text{Re} \sum_{s=0}^{N/2} \{U\}_s \exp(i\omega_s t) \quad (3.26)$$

$$\{u\}_f = \text{Re} \sum_{s=0}^{N/2} \{U_f\}_s \exp(i\omega_s t) \quad (3.27)$$

Denklem 3.26’da $\{u\}$, sonlu elemanların yerdeğiştirme vektörü, bağıntı 3.27’de $\{u\}_f$, sonlu eleman modelinin her iki tarafındaki sonsuza uzanan zemin tabakalarının yerdeğiştirmesi, $\{U\}_s$, $\{u\}$ ’nun frekans ortamındaki karşılığı, $\{U_f\}_s$, $\{u\}_f$ ’nin frekans ortamına dönüştürülmüş halidir.



Şekil 3.7 : Enerji geçirimli sınırlara sahip basitleştirilmiş üç boyutlu model.

Daha önce bağıntı 3.19’da verilmiş olan genel hareket denklemindeki değişkenlerin frekans ortamındaki karşılıkları denklemdaki yerlerine konulursa 3.28 bağıntısı elde edilir.

$$([K] + [R]_s + [L]_s + i\omega_s [C] - \omega_s^2 [M]) \{U\}_s = \{m\} \ddot{Y}_s + ([G] + [R]_s + [L]_s + i\omega_s [C]) \{U_f\}_s \quad (3.28)$$

Yukarıdaki bağıntı, her frekanstaki (ω_s , $s=0,1,2,\dots,N/2$) yerdeğiştirme genliklerini ($\{U\}_s$) belirleyen lineer denklemler takımıdır ve Gauss eliminasyon metodu veya daha farklı bir yöntemle çözülebilir. Daha sonra zaman ortamındaki yerdeğiştirmeler, 3.26 denklemi kullanılarak ters Fourier dönüşümüyle elde edilebilir. Sonlu eleman modelinin her iki yanındaki sonsuza uzanan zemin tabakalarının yerdeğiştirmeleri ($\{u_f\}$); sonlu eleman modelinden ayrı olarak, zemin tabakalarının sadece yatay yönde uzandığı ve deprem hareketinin düşey yönde ilerleyen kayma ve basınç dalgalarından oluştuğu kabulüne dayanarak hesaplanır ve frekans ortamında aşağıdaki biçimde yazılabilir.

$$\{U_f\}_s = \{A_f\}_s \ddot{Y}_s, \quad s=0,1,2,\dots,N/2 \quad (3.29)$$

$\{A_f\}_s$, zemin tabakaları ile rijit taban arasındaki büyütme fonksiyonlarından oluşan vektördür. 3.29 eşitliği 3.28 bağıntısındaki yerine konulursa yeni bir denklem ortaya çıkar.

$$[K]_s \{U\}_s = \{P\}_s \ddot{Y}_s \quad (3.30)$$

$[K]_s$, frekansa bağlı rijitlik matrisi ve $\{P\}_s$, rijit taban (anakaya) hareketinin birim genliğine karşılık gelen yük vektörüdür.

$$[K]_s = [K] + [R]_s + [L]_s + i\omega_s [C] - \omega_s^2 [M] \quad (3.31)$$

$$\{P\}_s = ([G] + [R]_s + [L]_s + i\omega_s [C]) \{A_f\}_s - \{m\} \quad (3.32)$$

Yukarıda verilen 3.30 denklemini, Gauss eliminasyon yöntemiyle çözüldüğünde sonlu elemanların düğüm noktalarındaki yerdeğiştirmelerin frekans ortamındaki hali elde edilir ve ters Fourier dönüşümü yardımıyla zaman ortamına geçilerek düğüm noktalarındaki yerdeğiştirmeler elde edilebilir.

4. YÜZEY TOPOĞRAFYASININ ZEMİN BÜYÜTMESİNE ETKİSİNİN İKİ BOYUTLU İNCELENMESİ

Yüzey topoğrafyasının deprem hareketine etkisi üzerine yapılan çalışmalarda genelde idealleştirilmiş malzeme ve ortam özelliklerine sahip düzgün geometrideki ova-tepe modellerinin deprem dalgaları karşısında gösterdikleri davranış farklı yöntemler kullanılarak incelenmiştir. Zemin tabakalarının deprem hareketine karşı dinamik davranışını belirlemek için bir ve iki boyutlu sayısal metotlar ve farklı malzeme modelleri kullanılmaktadır. Bununla birlikte bu tez kapsamında yapılacak çalışmalarda kullanılmak üzere, laboratuvardaki tekrarlı yükleme deneylerinden elde edilen dinamik zemin parametreleriyle daha uyumlu olması ve kullanım kolaylığı açısından eşdeğer lineer malzeme modeliyle çalışan tek boyutlu ve iki boyutlu dinamik analiz programları tercih edilmiştir.

EERA, SHAKE91 gibi tek boyutlu dinamik analiz programları sonlu fark metoduna dayanmakta ve eşdeğer lineer zemin parametrelerini veri olarak kullanarak çalışmaktadır. Bu tür programlar kullanım kolaylığı açısından ve dayandıkları matematik modelin basitliği nedeniyle daha çok tercih edilmektedirler. İki boyutlu dinamik analiz yapan yazılımlar, modelin kurulması ve sınır şartlarının belirlenmesi sırasında daha detaylı veriler gerektirmekte ve gerek kullanım sırasında gerekse sonuçların yorumlanması sırasında daha fazla kullanıcı bilgisine ihtiyaç duymaktadır. İki boyutlu analiz programları genellikle sonlu eleman metoduna dayanmakla birlikte bazı programlarda sonlu fark metodu da kullanılmaktadır.

Tez çerçevesinde kullanım lisansları alınan Quake/W ve Flushplus programları da hesap yöntemlerinde farklılıklar içermekte ancak, ikisi de sonlu eleman metoduna dayanmakta ve eşdeğer lineer malzeme parametreleriyle uyumlu çalışabilmektedir. Quake/W ve Flushplus programının yeterliliğini araştırmak için literatürde yeralan Athanasopoulos ve diğ. (1999) tarafından yapılmış çalışmada ele alınan model bu programlar kullanılarak tekrar analiz edilmiş ve elde edilen sonuçlar adı geçen araştırmacılar tarafından bulunanlarla karşılaştırılmıştır. Athanasopoulos ve diğ. (1999) tarafından yapılan çalışmada, 1995 Yunanistan-Egion depreminde ölçülen

kuvvetli yer hareketi kayıtlarının ve gözlenen hasarın dar bir bölgede çok farklılaşmasının nedenleri üzerinde durulmuş ve bu durumun yüzey topoğrafyasıyla bağlantısı iki boyutlu sonlu eleman analizi kullanılarak açıklanmaya çalışılmıştır.

Bu çalışma kapsamında kullanılan Quake/W programının verimliliğinin ve sonuçlarının güvenilirliğinin irdelenmesi için Athanasopoulos ve diğ. (1999) tarafından yapılan çalışmada kullanılan geometrik model üzerinde bu programın denenmesine karar verilmiştir. Ayrıca eşdeğer lineer malzeme değişkenleri bu programla birlikte kullanılarak analizler yapılmadan önce, aynı model üzerinde Sap2000 ve Plaxis programları ile lineer analizler yapıp, Quake/W programıyla elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmış ve farklı sınır şartlarının programın stabilitesini etkileyip etkilemediği araştırılmıştır. Quake/W programının, Sap2000 ve Plaxis programlarıyla karşılaştırılması için yapılan analizlerde sonuçların daha basit yorumlanabilmesi ve malzemenin lineer olmayan davranışının sonuçlara getirebileceği karışıklığı önlemek için lineer elastik malzeme parametreleri ve sabit sönüm oranı kullanılmıştır.

Ayrıca yazarlar tarafından verilen geometrik model ve malzeme özellikleri aynen kullanılarak iki boyutlu sonlu eleman analizi programlarıyla (Quake/W ve Flushplus) ve bir boyutlu analiz programıyla (EERA) eşdeğer lineer dinamik analizler yapılmış, yazarların verdiği sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Farklı programlar kullanılarak yapılan analizlere geçmeden önce Egeion depremiyle ve bölgeyle ilgili kısa sismolojik, jeolojik ve geoteknik bilgiler verilecektir. Farklı sınır şartlarına sahip modeller üzerinde yapılan dinamik analizlerde kullanılan Egeion 1995 depremi OTE bölgesi enlemesine ivme bileşeni kaydı Atina Geodinamik Enstitüsü öğretim üyesi Doç. Dr. Ioannis Kalogeras tarafından dijital ortamda temin edilmiştir.

Daha sonra; farklı frekans içeriğine sahip anakaya deprem hareketlerinin ve zemin grubunun Egeion bölgesi için verilen iki boyutlu geometri yüzeyinde meydana gelen etkileri bir ve iki boyutlu dinamik analizler yardımı ile incelenmiştir. Bu amaçla; model üzerindeki farklı noktalar için hesaplanan ortalama en büyük yüzey ivmeleri anakaya ivmelerine oranlanarak zemin büyütme oranları elde edilmiş ve farklı periyot değerleri için 2D/1D spektral ivme oranları hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar, modelin yüzeyinde farklı zemin grubu bulunması hali için birlikte gösterilmiştir.

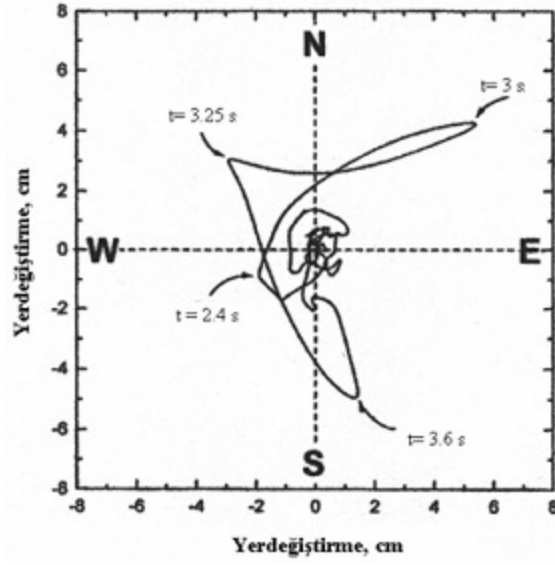
4.1 Yüzey Topoğrafyasının Zemin Tabakalarının Dinamik Davranışına Etkisi : 1995 Egion Depremi Örneği

Bir Yunanistan kıyı kasabası olan Egion, Haziran 1995'te merkez üstü uzaklığı yaklaşık 15 km olan kuvvetli ve sığ bir depremle sarsılmıştır. Hasar kasabanın tepede kalan merkez kısmında yoğunlaşmış iken, düz sahil kesimi depremi neredeyse hasarsız atlattır. Hasarın belirli ve beklenmeyen bir bölgede yoğunlaşmasının sebebinin anlaşılması için eşdeğer lineer zemin modelini kullanan iki boyutlu dinamik sonlu eleman programıyla yapılan analizlerden, kasabanın merkezinde depremden önce kurulmuş kuvvetli ivme ölçerde kaydedilen değerlerin depremden sonra yapılan iki boyutlu analizlerle bulunan verilerle uyumlu olduğu sonucuna varılmış, basamak şeklindeki kademeli topoğrafyanın frekans içeriğini fazla etkilemeden hareketin şiddetini arttırdığı anlaşılmıştır. Araştırmacılar tarafından yapılan hesaplar sonucunda dik yamacın tepesine yakın bölgede kuvvetli bir spektral büyütme elde edilmiştir. Buna zıt olarak, deprem hasarlarının önemsiz olduğu düz sahil şeridinde maksimum ivme değerleri düşük bulunmuştur.

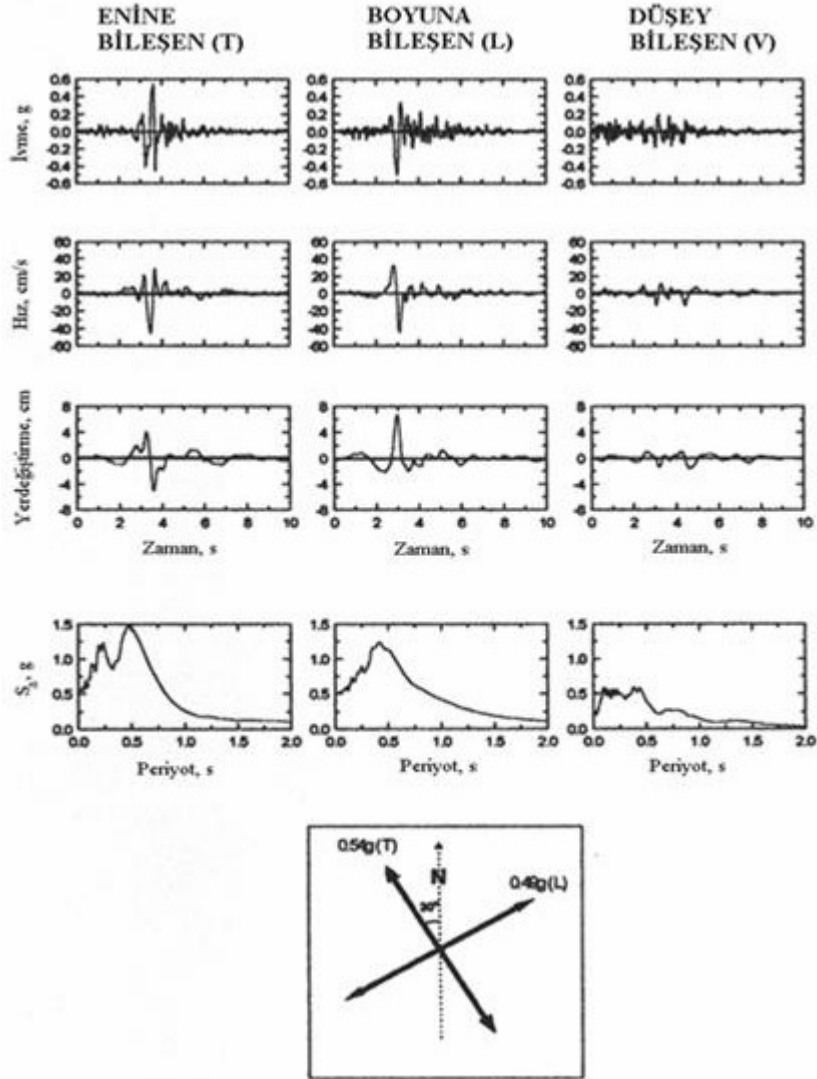
4.1.1 Sismolojik veri

Meydana gelen depremin büyüklüğü (M_s) 6.1-6.2, merkez üstü uzaklığı 8~26 km, odak derinliği 14~26 km, sismik moment (M_0) 3.6×10^{25} dyn.cm, kırılan fay uzunluğu 13.4 km, gerilme düşüşü ($\Delta\sigma$) 53 bar ve ortalama yerdeğiştirme (u) 0.85 m olarak verilmiştir. Ana şoktan sonraki en güçlü artçı şok $M_L=5.4$ büyüklüğündedir ve daha sığ odak derinliğine sahiptir. Şekil 4.6'da gösterilen OTE bölgesinde kaydedilen yatay ivme zaman geçmişinin enlemesine ve boylamasına bileşenleri kullanılarak bulunan doğrultu ve zamana bağlı yerdeğiştirme grafiği; biri yaklaşık E-W doğrultusunda, diğeri de N-S doğrultusunda olan iki ani değişime sahiptir (Şekil 4.1).

OTE bölgesinde ölçülen ivme kaydının yatay bileşenin yüksek oluşu dikkat çekicidir. Şekil 4.2'den de görülebileceği gibi yatay yer hareketinin enine bileşeninin maksimum ivme değeri 0.54 g ve boylamasına bileşeninin maksimum ivme değeri 0.49 g'dir. Bununla birlikte düşey ivme değeri 0.2 g'nin altındadır. Gerçekte, yer hareketi sadece bir veya iki kuvvetli çevrimden oluşmuştur. Yatay hız zaman geçmişinde 70 cm/s değerinde ani hız değişimi görülmektedir (Şekil 4.2). Hız zaman geçmişlerinde ani değişimler genellikle sığ odaklı ve merkez üstü yakın olan depremlerde meydana gelmektedir (Athanasopoulos ve diğ., 1999).



Şekil 4.1 : OTE bölgesindeki yatay yer hareketinin düzlem içi yörüngesi.

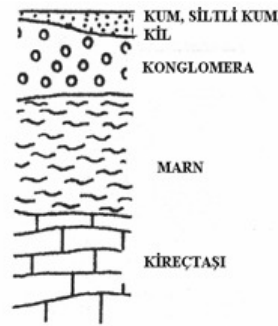


Şekil 4.2 : Egon depreminde OTE bölgesinde elde edilen ivme, hız, yerdeğiştirme zaman geçmişleri ve hesaplanan % 5 sönümlü mutlak ivme spektrumları.

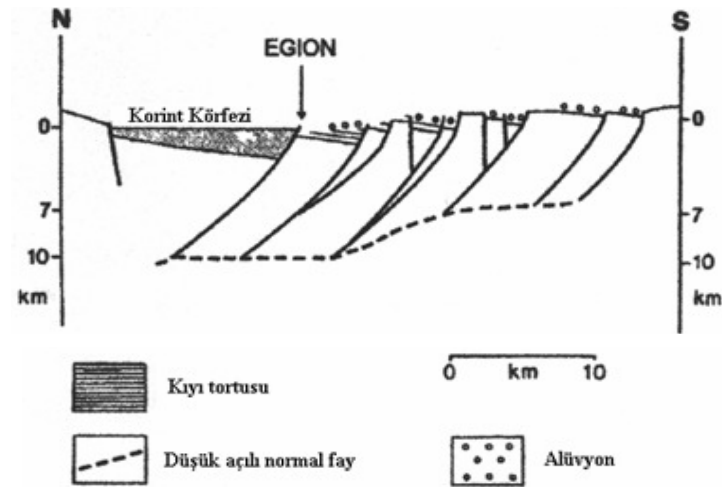
Yatay yer hareketinin enlemesine bileşeni kullanılarak hesaplanan mutlak ivme spektrumunda en büyük spektral ivme değeri 1.5 g'dir ve 0.5 s hakim periyot değerine sahiptir. Bu periyot değerinin kaynak mekanizmasının karakteristiklerini yansıttığı düşünülmektedir. İkinci en büyük spektral ivme değeri, yerel hakim periyot olan 0.25 s'ye karşı gelmektedir (Şekil 4.2). Yerel hakim periyot değeri ayrıca kayma dalgası hızı profilinden $T=4H/V_s=(4 \times 25)/400=0.25$ s olarak elde edilebilir.

4.1.2 Bölgeyle ilgili jeolojik, tektonik ve geoteknik veriler

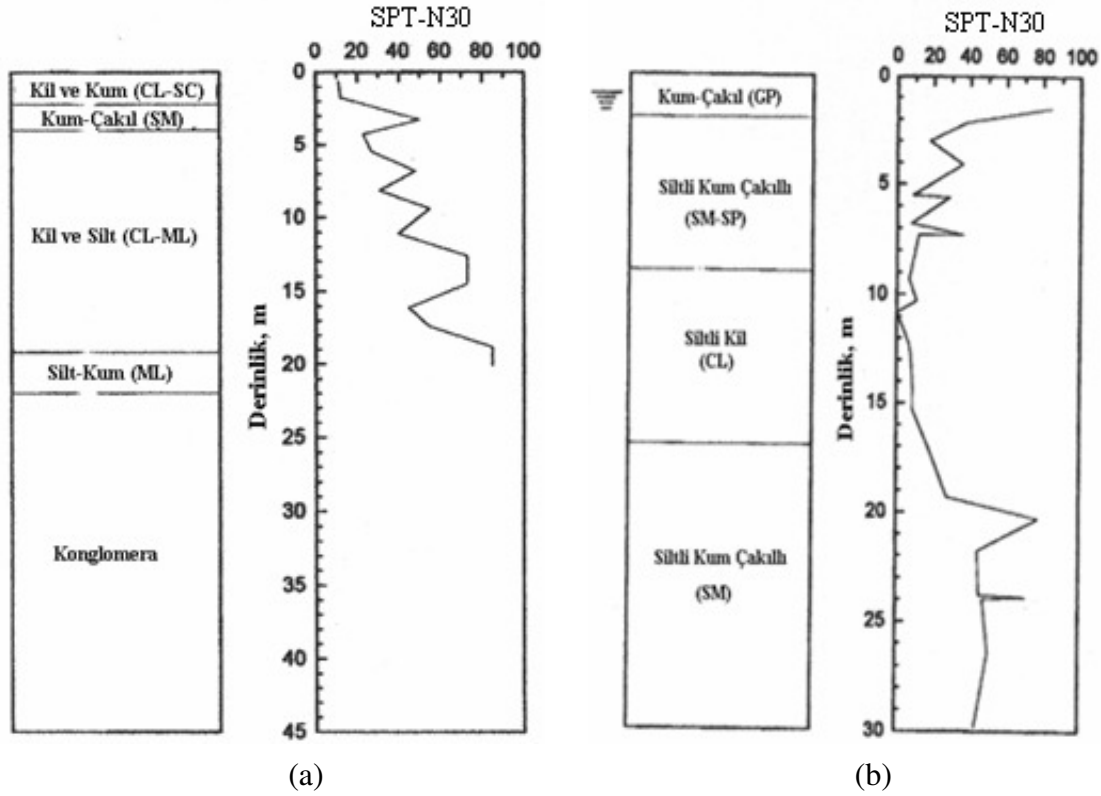
Egion bölgesinin jeolojik profili Şekil 4.3'te, Egion kasabasının içinden geçen ve bölgedeki fayların geometrisini gösteren N-S doğrultusundaki basitleştirilmiş bir enkesit Şekil 4.4'te gösterilmiştir. Şekil 4.6'da konumları verilmiş olan OTE bölgesinden elde edilen SPT-N30 verileri Şekil 4.5a'da, PORT bölgesinin 700 m batısında yeralan BH10 bölgesinden elde edilen SPT-N30 değerleri Şekil 4.5b'de gösterilmiştir (Athanasopoulos ve diğ., 1999).



Şekil 4.3 : Egion bölgesinin jeolojik profili (Athanasopoulos ve diğ., 1999).



Şekil 4.4 : Egion bölgesinin jeolojik profili ve önemli fayların geometrisini gösteren N-S doğrultusunda basitleştirilmiş bir enkesit (Athanasopoulos ve diğ., 1999).



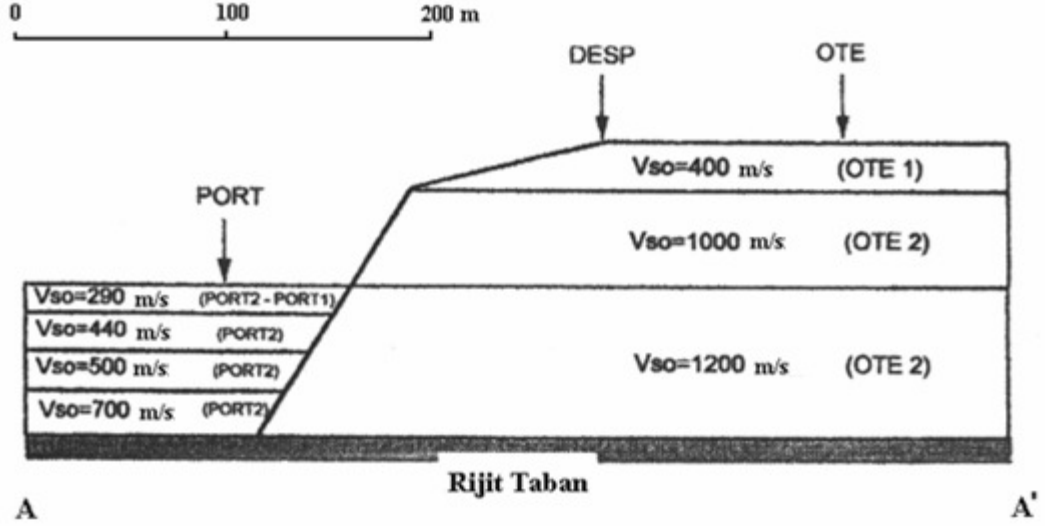
Şekil 4.5 : (a) OTE bölgesindeki zemin profili ve SPT-N30 değerleri (b) PORT'un 700 m batısında yer alan BH10 bölgesindeki zemin profili ve SPT-N30 değerleri (Athanasopoulos ve diğ., 1999).

4.1.3 Bölgede oluşan deprem hasarı

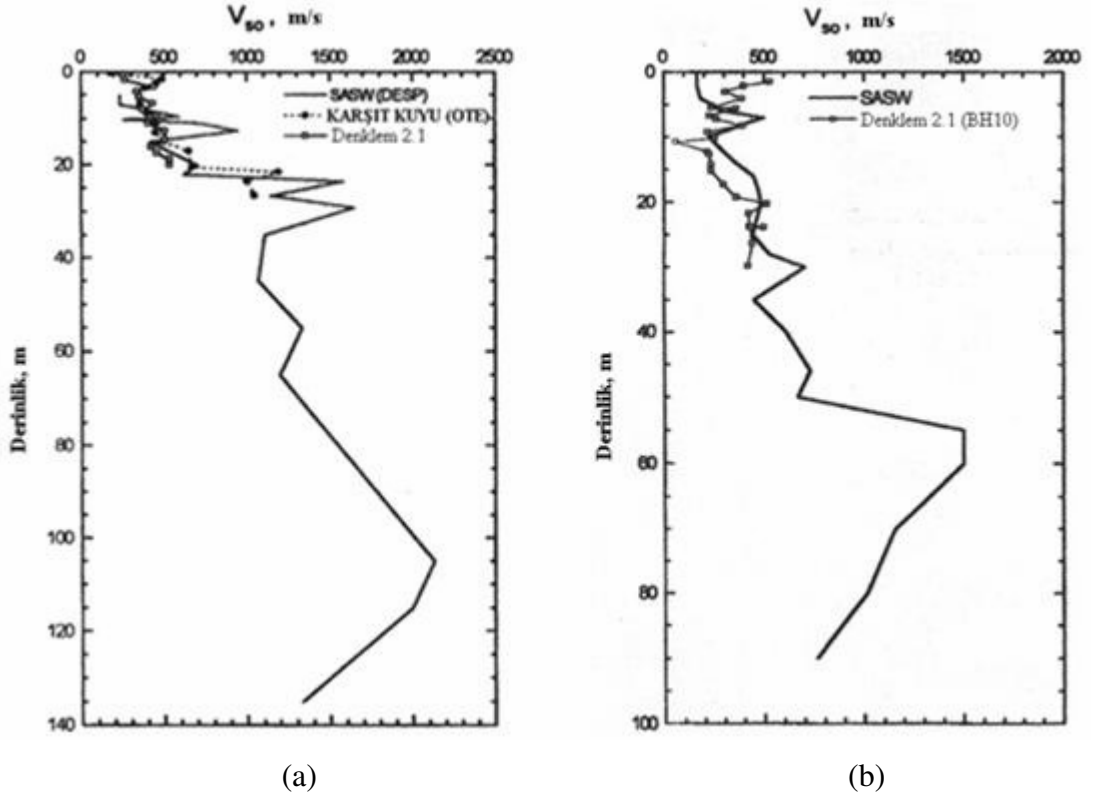
Egion bölgesinde hasar oranı ile yerel zemin koşulları arasında korelasyon belirtilmemekle birlikte, kıyı kısmıyla (PORT) kasabanın merkezinde yeralan DESP bölgesi arasındaki hasar oranlarında kuvvetli bir zıtlık gözlenmiştir. Kasabanın kıyı kesiminde (PORT) bulunan bazı yapıların çok eski olmalarına rağmen, deprem sırasında herhangi bir hasara uğramaması çok etkileyicidir (Athanasopoulos ve diğ., 1999).

4.1.4 Yüzey topoğrafyasının etkileri

Athanasopoulos ve diğ. (1999), Egion kasabasında değişik bölgelerde yer hareketinin farklılaşmasının tek sebebinin yüzey topoğrafyası olamayacağını belirtmiştir. Deprem yakın odaklı (sığ) olduğu için, deprem dalgalarının yayılma şekli ve hareketin doğrultusu da yer hareketinin karakteristiklerini etkilemiştir. Egion kasabasındaki yüzey topoğrafyası ve kayma dalgası hızı profili Şekil 4.6'da gösterilmiştir.



Şekil 4.6 : Egeion bölgesinin iki boyutlu zemin kesiti ve kayma dalgası hızı profili.



Şekil 4.7 : (a) OTE bölgesindeki kayma dalgası hızı-derinlik profili (b) PORT bölgesindeki kayma dalgası hızı-derinlik profili (Athanasopoulos ve diğ., 1999).

DESP bölgesinde; kayma dalgası hızının derinlikle değişimi yüzey dalgalarının spektral analizi (SASW) metoduyla elde edilmiş, daha sonra hem OTE bölgesinde yapılan karşıt kuyu ölçümlerinden bulunan hem de OTE bölgesindeki SPT-N30 değerlerinden 4.1 regresyon bağıntısı kullanılarak hesaplanan kayma dalgası hızı

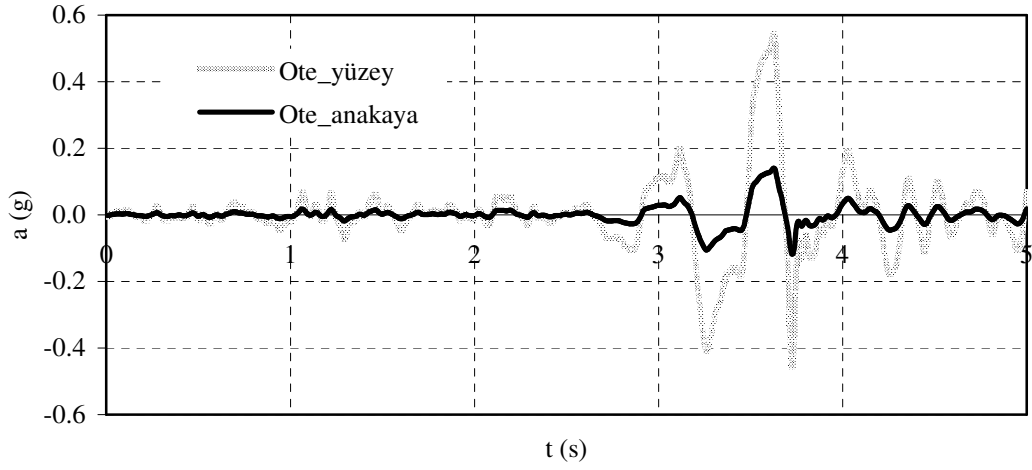
değerleriyle karşılaştırılmıştır (Şekil 4.7a). Elde edilen sonuçlardan OTE ve DESP bölgelerindeki kayma dalgası hızı profillerinin aynı olduğu, yani yüzey tabakalaşmasında bir fark bulunmadığı anlaşılmıştır.

$$V_{s0} \text{ (m/sn)} = 107.6(N_{SPT})^{0.36} \quad (4.1)$$

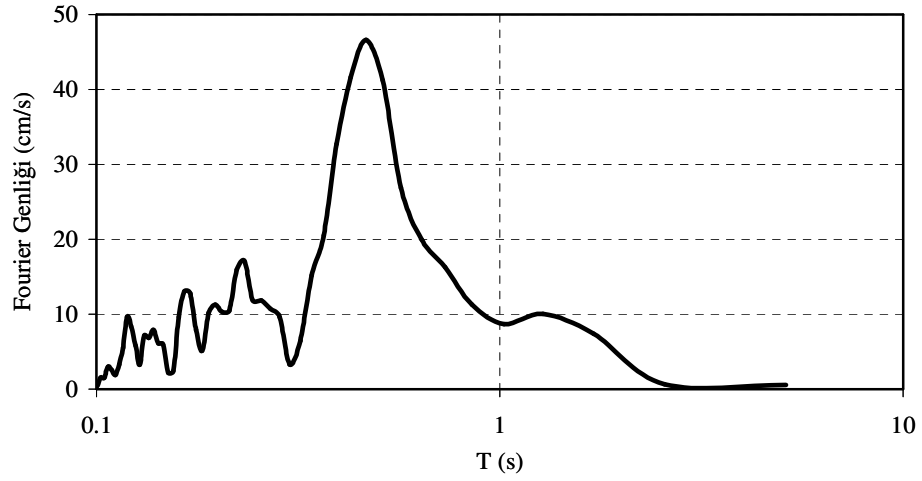
Egion kasabasının düz sahil kısmındaki PORT bölgesinde kayma dalgası hızının derinlikle değişimini elde etmek için de SASW deneyleri düzenlenmiştir. Bu bölgede kayma dalgası hızının derinlikle değişimi 90 m'ye kadar belirlenebilmiştir (Şekil 4.7b). 50 m derinlikte V_{s0} 'da ani bir artış gözlenmiştir. V_{s0} , 700 m/s'den 1200 m/s'ye aniden yükselmiş, bu nedenle konglomera tabakasının bölgedeki derinliği 50 m olarak saptanmıştır.

Deprem sırasında Egion kasabasında sadece OTE bölgesinde kuvvetli yer hareketi kaydı alınabilmiştir. Bu nedenle, iki boyutlu sonlu eleman modeline uygulandığı zaman, OTE bölgesinde kaydedilen maksimum ivme değerini ve yer hareketi karakteristiklerini verebilecek, anakaya (rijit taban) ivme zaman geçmişi elde edilmeye çalışılmıştır. Ayrıca eğer bu ivme zaman geçmişi elde edilebilirse, DESP ve PORT bölgesindeki ivme zaman geçmişleri ve ivme spektrumlarını hesaplamak için de kullanılabilecektir. Athanasopoulos ve diğ. (1999), rijit taban hareketi olarak kullanılabilecek en uygun ivme zaman geçmişinin, OTE bölgesinde kaydedilen ivme zaman geçmişindeki maksimum ivme 0.14 g olacak biçimde, bütün ivme değerlerinin ölçeklendirilmesiyle elde edilebileceğini deneme yanılma yoluyla bulmuşlardır (Şekil 4.8). Yazarlar tarafından modelin analizinde kullanılmak üzere, OTE bölgesinde yüzeyde ivme ölçer tarafından enine doğrultuda kaydedilen 0.54 g maksimum ivmeye sahip 30.09 saniye süren deprem ivme kaydının maksimum ivme değerinin de içinde bulunduğu ilk 5 saniyelik kısmı ele alınmıştır. Bu ölçeklendirme işlemi sırasında hareketin frekans içeriğinin değişmemesi, deprem kaynağının ve dalgaların izlediği yolun karakteristiklerinin kuvvetlice yansıtılması açısından gerekli olduğu belirtilmiştir.

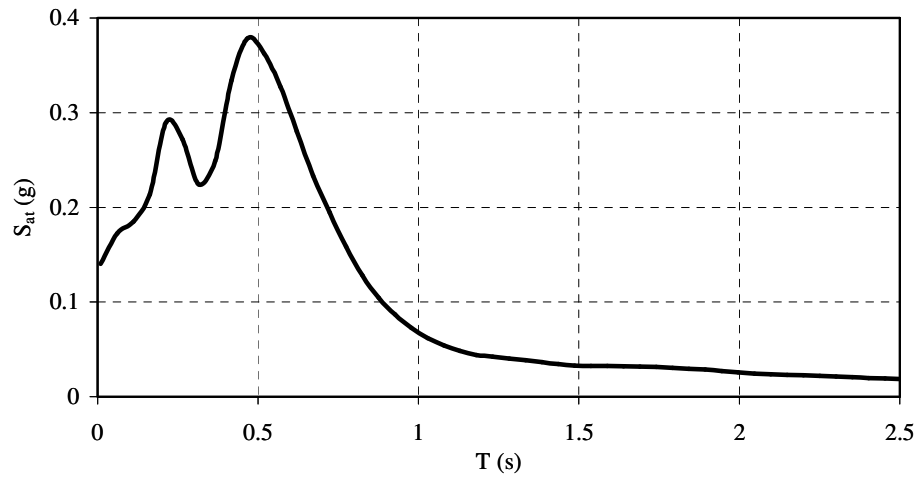
Athanasopoulos ve diğ. (1999) tarafından Egion depremi sırasında Ote bölgesinde zemin yüzeyinde ölçülen ivme zaman geçmişinin maksimum ivmesinin 0.14 g olacak şekilde ölçeklendirilmesiyle elde edilen ve modele anakayada etkidiği düşünülen ivme zaman geçmişinin Fourier genlik spektrumu ve mutlak ivme spektrumu Şekil 4.9'da verilmiştir.



Şekil 4.8 : Ote bölgesinde zemin yüzeyinde kaydedilen 0.54 g maksimum ivmeye sahip deprem kaydının ölçeklendirilerek anakayada etkiği düşünülen ivme zaman geçmişinin bulunması.



(a)



(b)

Şekil 4.9 : (a) Ote bölgesinde anakayadaki ivme zaman geçmişinin Fourier genlik spektrumu (b) Anakayadaki ivme zaman geçmişinin mutlak ivme spektrumu.

4.2 1995 Egion Depremi Örneği Kullanılarak Farklı Sınır Şartlarına Sahip Modeller Üzerinde Yapılan Dinamik Analizler

Athanasopoulos ve diğ. (1999) tarafından yapılan çalışmada bulunan sonuçlar, eşdeğer lineer malzeme modeli parametreleri kullanan Quake/W ve Flushplus programlarıyla yapılan analiz sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Başlangıçta, Quake/W programının farklı sınır koşullarında verdiği sonuçlar irdelenmiş ve bu programın kullanılabilirliği araştırılmıştır. Bunun için; yazarlar tarafından verilen model üzerinde, zaman ortamında çalışan Plaxis, Sap2000N ve Quake/W gibi programlarla analizler yapılmış, bu üç farklı programı kullanarak yapılan analizlerde sonuçların kolay yorumlanabilirliği açısından lineer malzeme modeli parametreleri kullanılmıştır. Daha sonra aynı model üzerinde eşdeğer lineer malzeme modeli kullanılarak frekans ortamında çalışan Flushplus ve zaman ortamında çalışan Quake/W programlarıyla dinamik analizler yapılmış, bu analizler yardımıyla Quake/W ve Flushplus yazılımlarıyla elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

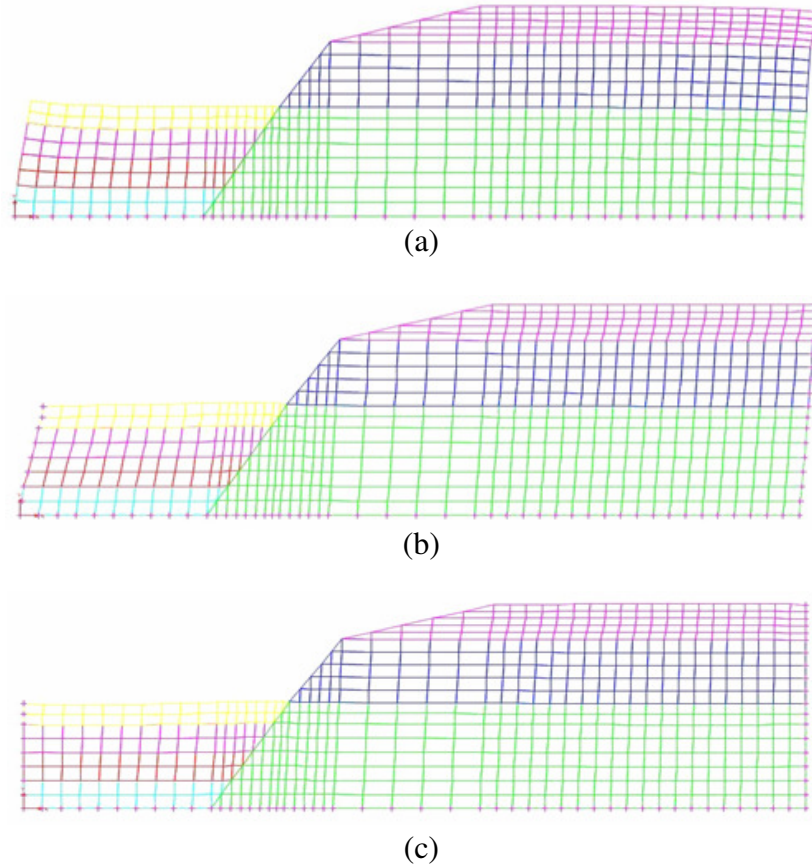
4.2.1 Lineer analiz

Lineer analizde, Şekil 4.6’da verilen yüzey topoğrafyası modeli ve başlangıç kayma dalgası hızı profilinden elde edilen kayma modülü (G_0) değerleri kullanılmıştır. Yazarlar tarafından zemin tabakalarının yoğunlukları (ρ) ve Poisson oranları (ν) belirtilmediği için, yapılan analizde uygun değerler kullanılmıştır. Tabakalara sabit sönüm oranı değeri atanmıştır. Dinamik analizlerde bütün tabakalar için seçilen sönüm oranı (D) değeri 0.05’dir. Lineer analizlerde kullanılan zemin tabakalarının dinamik özellikleri Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1 : Sonlu eleman modelinde kullanılan zemin tabakalarının dinamik özellikleri.

	PORT Bölgesi				OTE Bölgesi		
Tabaka No:	1	2	3	4	1	2	3
V_s (m/s)	290	440	500	700	400	1000	1200
ρ (t/m ³)	1.65	1.80	1.90	2.00	1.80	2.20	2.40
G_0 (MPa)	139	349	475	980	288	2200	3456
ν	0.40	0.35	0.33	0.30	0.35	0.30	0.25
E_0 (MPa)	389	941	1264	2548	778	5720	8640

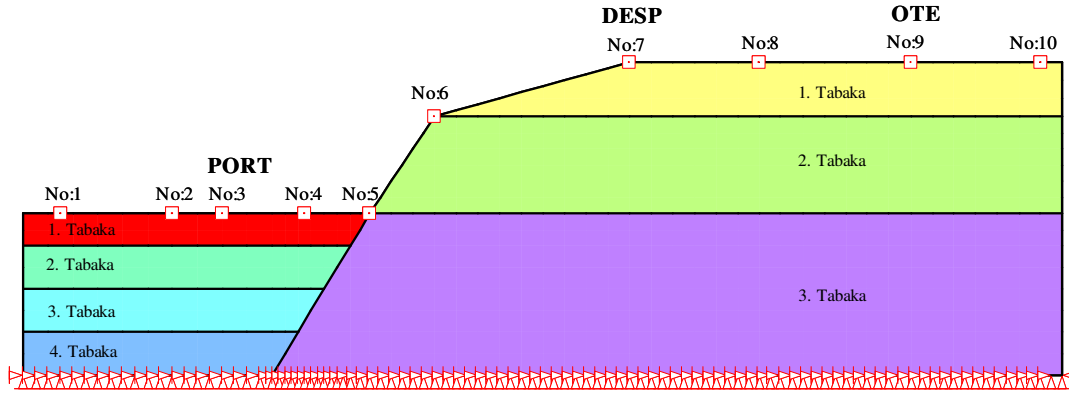
Yapılan çalışmada farklı sınır şartları üç ayrı model üzerinde uygulanmıştır ve modellerin analizinde Quake/W, Sap2000N ve Plaxis programları kullanılmıştır. Kullanılan üç ayrı modelde de rijit taban, Athanasopoulos ve diğ. (1999) tarafından belirtildiği şekliyle alınmış ve rijit anakaya seviyesindeki düğüm noktaları düzlem içinde yatay ve düşey olmak üzere her iki doğrultuda mesnetli kabul edilmiştir. Analizlerde kullanılan birinci modelde her iki düşey sınırdaki düğüm noktaları serbest bırakılmış, ikinci modelde düşey sınırlardaki düğüm noktalarının yatay yönde hareketine izin verilmiş, üçüncü modelde her iki düşey sınırdaki düğüm noktalarının hepsi düşey ve yatay mesnetler yardımıyla tutulmuştur. Her üç programla da sonuçlar Şekil 4.11’de gösterilen 7 ayrı noktada elde edilmiştir.



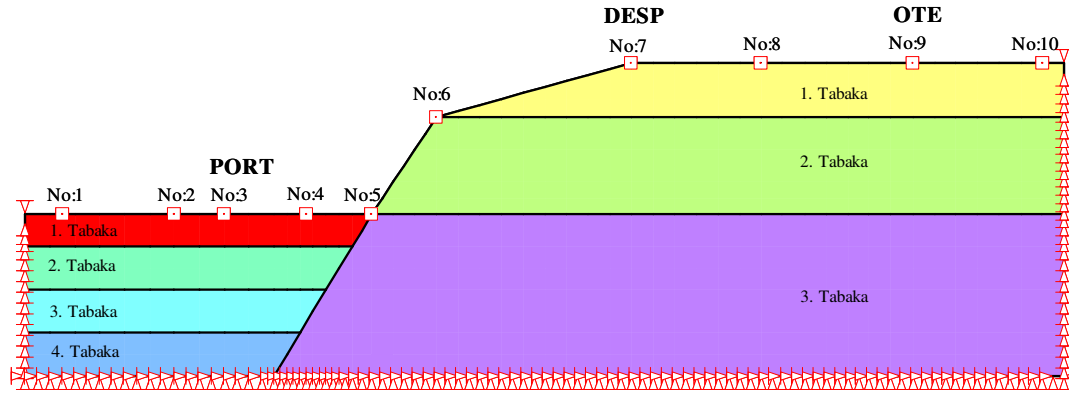
Şekil 4.10 : Sınır şartları farklı üç modelin hakim mod şekilleri (a) Serbest düşey sınırlar ($T_1=0.53$ s) (b) Düşey yönde mesnetli düşey sınırlar ($T_1=0.48$ s) (c) Düşey ve yatay doğrultuda mesnetli düşey sınırlar ($T_1=0.40$ s).

Başlangıçta, modellerin Şekil 4.10’da gösterilen mod şekilleri ve doğal periyotları her üç sınır durumu için de Sap2000N programı kullanılarak elde edilmiştir. Quake/W programının sistemin ilk iki moduna aynı sönüm oranını uygulaması hesaba katılarak modellerin Rayleigh sönüm katsayıları bulunmuş ve Sap2000N ile

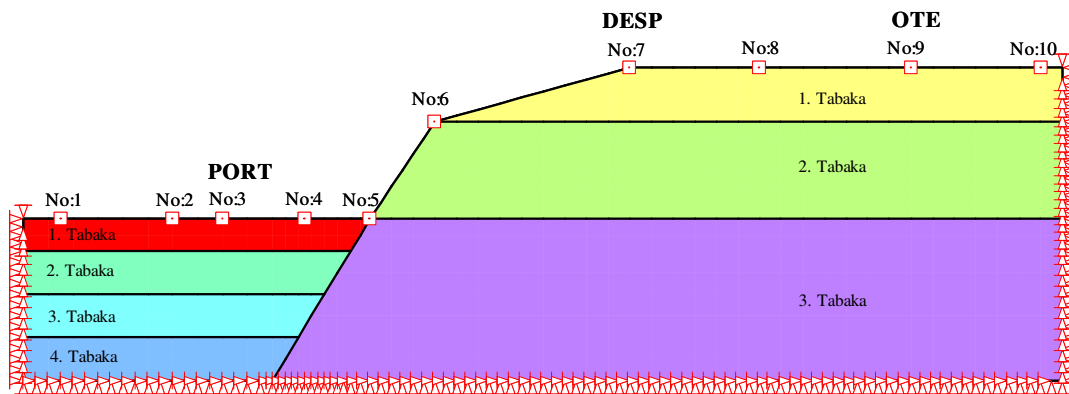
Plaxis programlarında da aynı katsayılar kullanılmıştır. Sap2000N ve Plaxis programlarında sayısal integrasyon katsayıları, Newmark ortalama ivme yöntemindeki değerleriyle ($\gamma=0.5$, $\beta=0.25$) kullanılmıştır. Sap2000N programıyla Şekil 4.11’de verilen farklı sınır şartları için elde edilen serbest titreşim periyotları ve modelin ilk iki moduna aynı sönüm oranı uygulanacak biçimde hesaplanan Rayleigh sönüm katsayıları Çizelge 4.2’de verilmiştir.



(a)



(b)

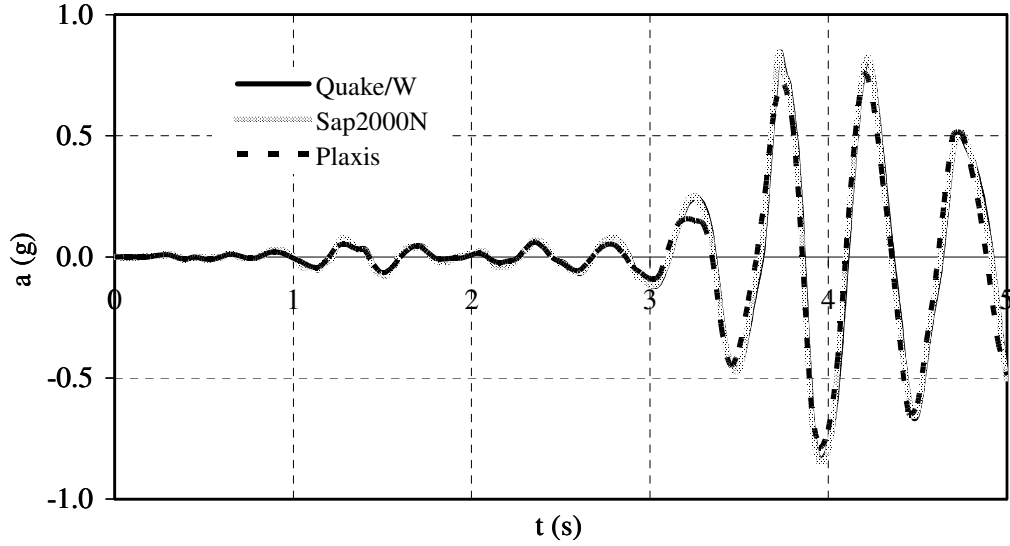


(c)

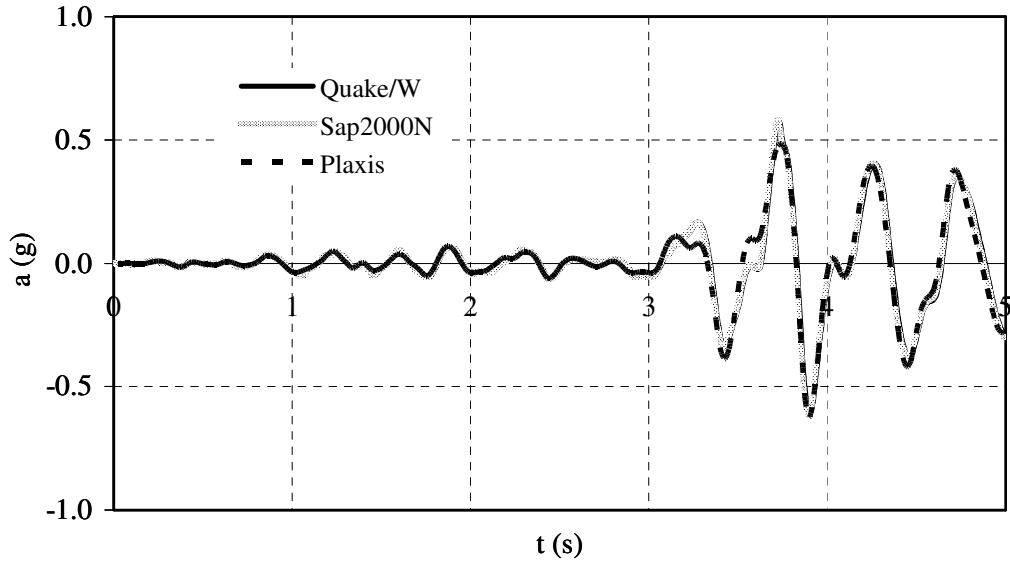
Şekil 4.11 : İki boyutlu lineer analizde kullanılan sınır şartları (a) Serbest düşey sınırlar (b) Düşey yönde mesnetli düşey sınırlar (c) İki yönde mesnetli düşey sınırlar.

Çizelge 4.2 : Modellerin doğal periyotları ve Rayleigh sönüm katsayıları.

Düşey sınırların mesnet koşulları	Doğal Titreşim Periyotları			Yatay (x) Yönde Modal Kütle Katılım Oranları (%)			Rayleigh Sönüm Katsayıları	
	T_1 (s)	T_2 (s)	T_3 (s)	Mod 1	Mod 2	Mod 3	a_0	a_1
Serbest	0.53	0.51	0.35	59	60	74	0.598	4.168×10^{-3}
Düşey (y) yönde mesnetli	0.48	0.45	0.32	72	72	74	0.661	3.769×10^{-3}
Düşey (y) ve yatay (x) yönde mesnetli	0.40	0.34	0.27	60	61	61	0.849	2.925×10^{-3}



(a)



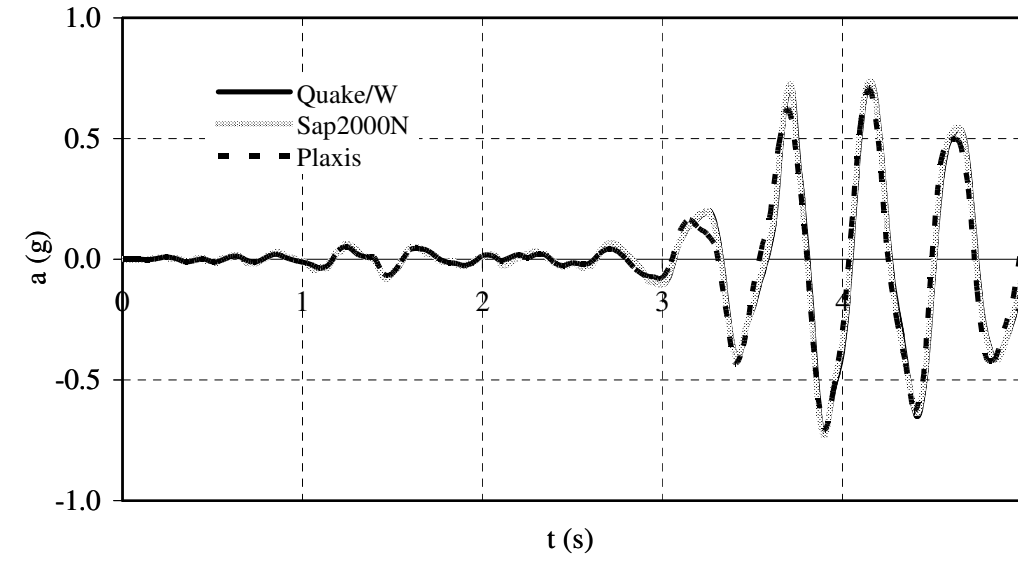
(b)

Şekil 4.12 : Düşey sınırların serbest olduğu model üzerinde üç ayrı programla lineer analiz yapılarak bulunan ivme grafikleri (a) 1 no'lu noktada (b) 7 no'lu noktada.

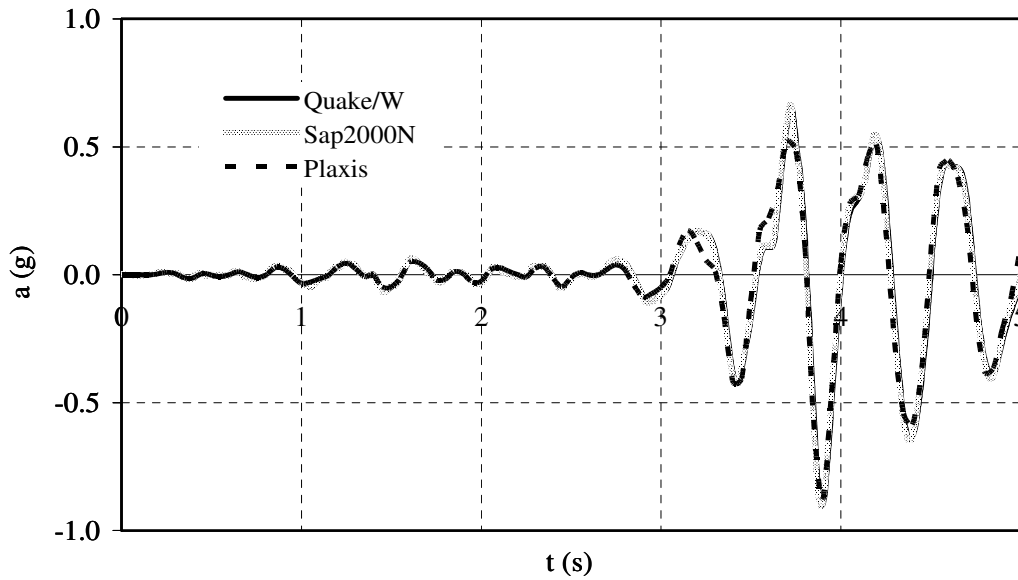
Şekil 4.11'de verilen üç ayrı model üzerindeki 1 ve 7 no'lu noktalarda Quake/W, Sap2000N ve Plaxis programlarını kullanarak yatay ivme değerleri bulunmuştur.

Şekil 4.11a'da gösterilen düşey sınırların serbest olduğu model kullanılarak elde edilen ivme zaman grafikleri Şekil 4.12'de verilmiştir. 1 ve 7 no'lu noktaların her ikisi için de üç ayrı programla yapılan analizler sonucunda elde edilen değerlerin birbiriyle çok uyumlu olduğu ortaya çıkmıştır.

Şekil 4.11b'de gösterilen düşey sınırların yatay yönde (x) serbest ve düşey yönde (y) mesnetli olduğu model kullanılarak elde edilen ivme zaman grafikleri Şekil 4.13'te verilmiştir. 1 ve 7 no'lu noktaların her ikisi için de üç ayrı programla yapılan analizler sonucunda elde edilen değerlerin birbiriyle uyumlu olduğu ortaya çıkmıştır.



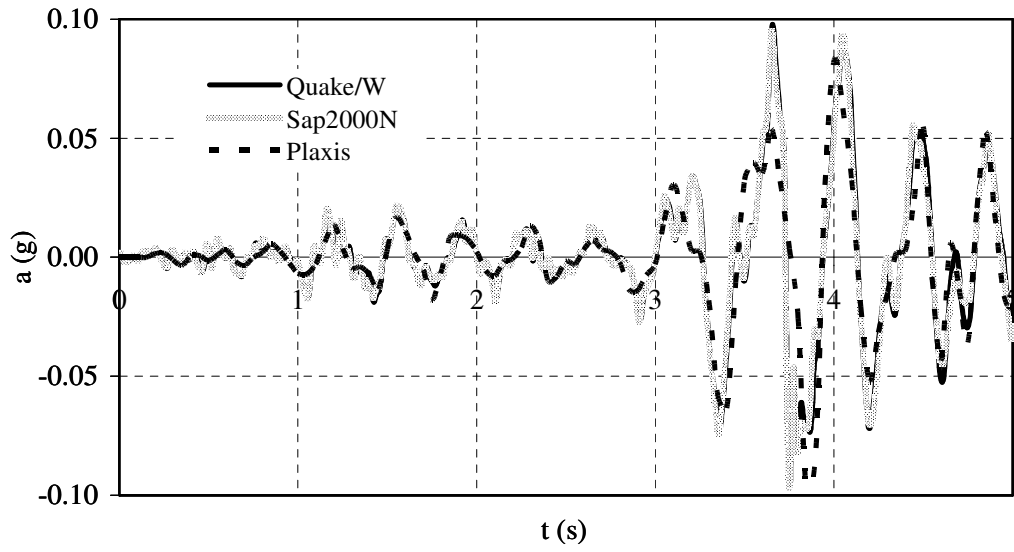
(a)



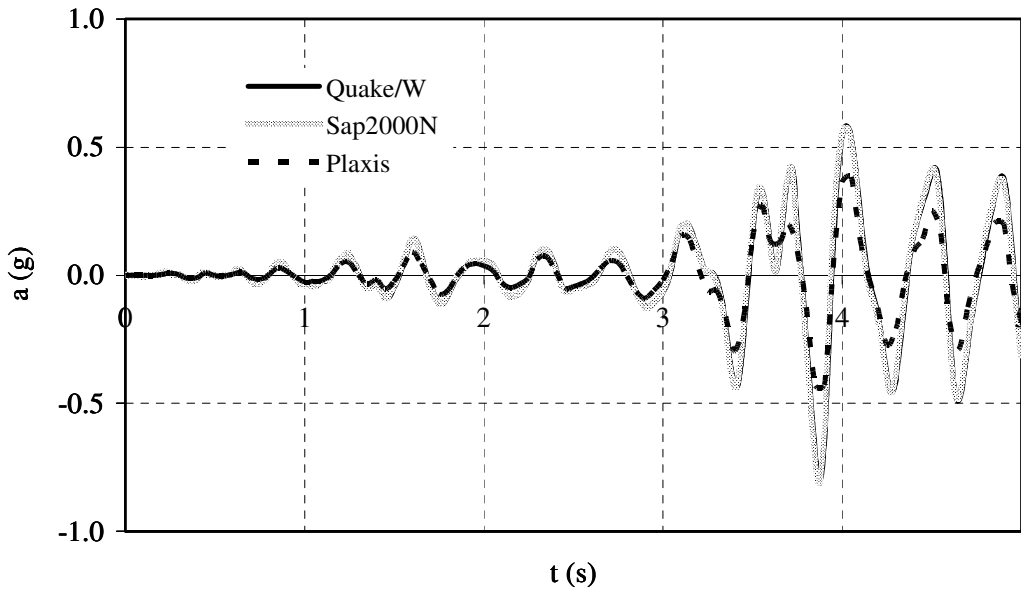
(b)

Şekil 4.13 : Düşey sınırların yatay yönde (x) serbest ve düşey yönde (y) mesnetli olduğu model üzerinde üç ayrı programla lineer analiz yapılarak bulunan ivme zaman grafikleri (a) 1 no'lu noktada (b) 7 no'lu noktada.

Düşey sınırların yatay ve düşey yönde mesnetli olduğu Şekil 4.11c’de gösterilen model kullanılarak elde edilen ivme-zaman grafikleri Şekil 4.14’te verilmiştir. 1 ve 7 no’lu noktaların her ikisi için de Quake/W ve Sap2000N programlarıyla elde edilen değerler daha önceki sınır şartları için elde edilen sonuçlardaki gibi birbiriyle uyumlu çıkmıştır. Bununla birlikte Plaxis programıyla bu sınır şartları için elde edilen ivme-zaman değerleri diğer programlarla bulunanlardan daha farklı çıkmıştır. Özellikle 7 no’lu nokta için Plaxis programıyla bulunan maksimum ivme değeri diğer programlarla elde edilenlere göre çok daha düşük ve emniyetsiz çıkmıştır.



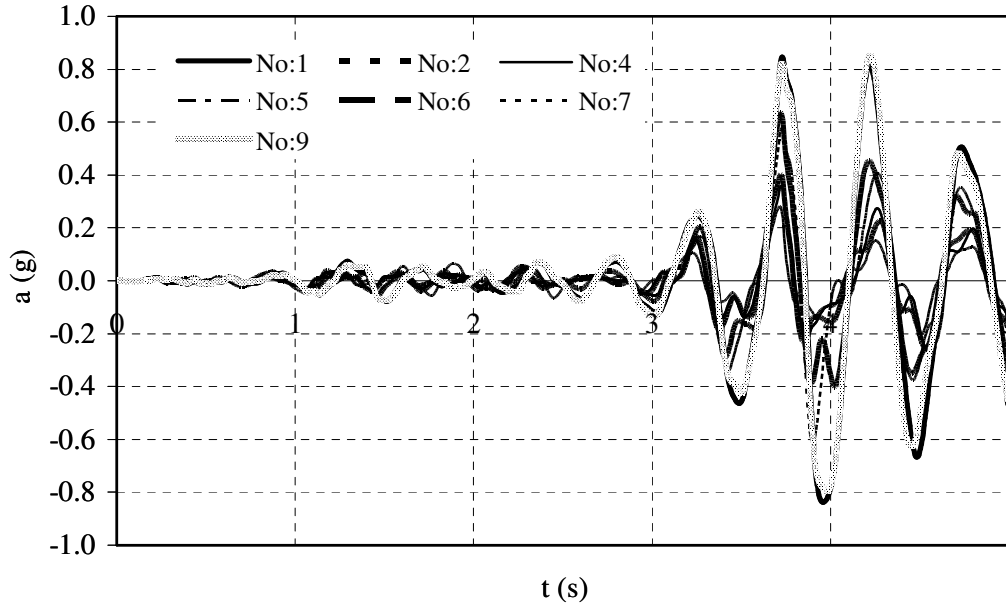
(a)



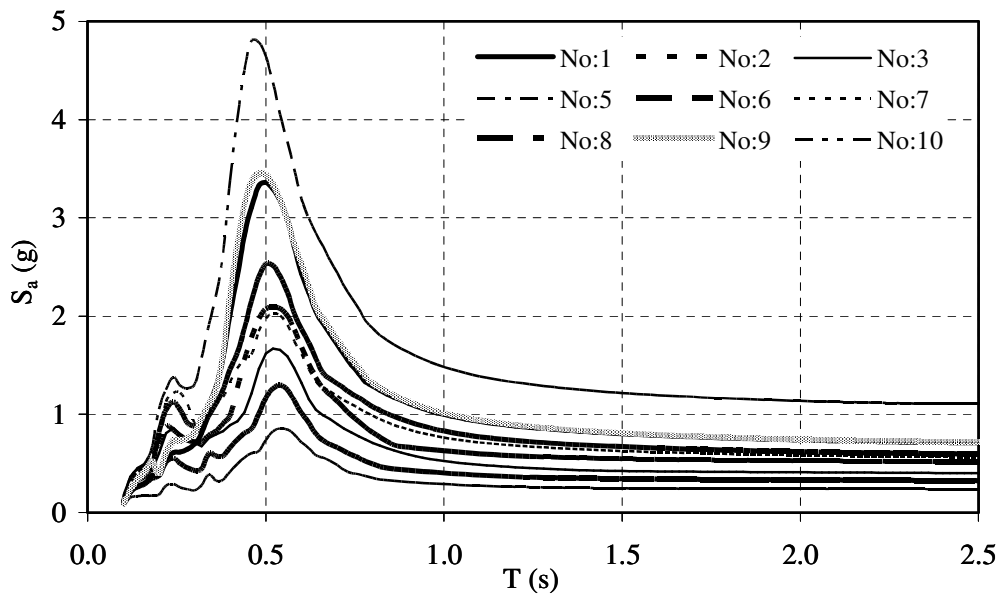
(b)

Şekil 4.14 : Düşey sınırların yatay (x) ve düşey yönde (y) mesnetli olduğu model üzerinde üç ayrı programla lineer analiz yapılarak bulunan ivme zaman grafikleri (a) 1 no’lu noktada (b) 7 no’lu noktada.

Şekil 4.11a'da gösterilen model üzerindeki 7 ayrı nokta için Quake/W programını kullanarak elde edilen ivme-zaman geçmişleri Şekil 4.15'te, ayrıca yine Şekil 4.11a'daki 9 nokta için bulunan göreceli ivme spektrumları Şekil 4.16'da verilmiştir. Düşey sınırların serbest olduğu modelde her iki kenara yakın noktadaki ivme değerleri diğerlerine göre çok daha yüksek bulunmuştur. Göreceli ivme spektrumundaki hakim periyot değeri 0.5 s civarındadır ve daha önce Çizelge 4.2'de düşey sınırları serbest model için verilen hakim periyot değeriyle uyumludur.

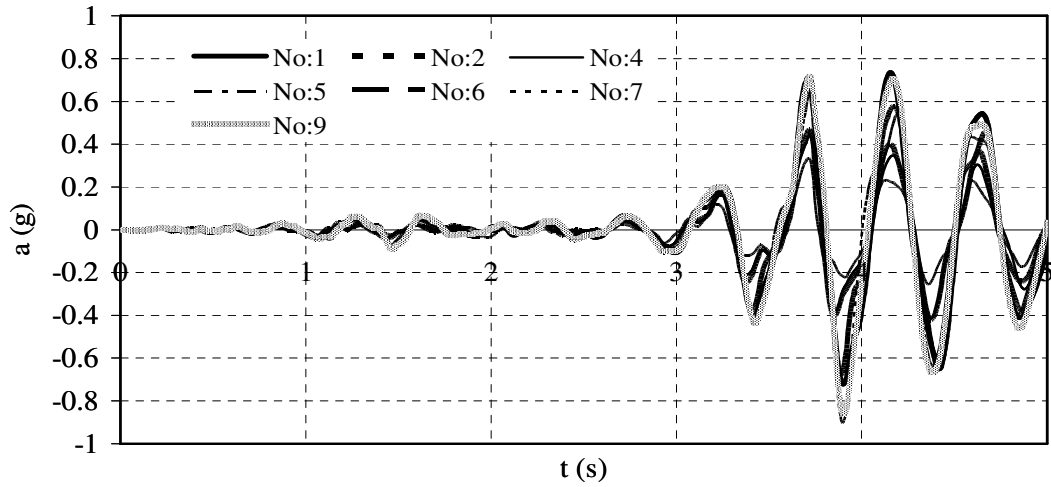


Şekil 4.15 : Düşey sınırları serbest olan modelin üzerindeki 7 ayrı nokta için elde edilen ivme-zaman geçmişi grafikleri.

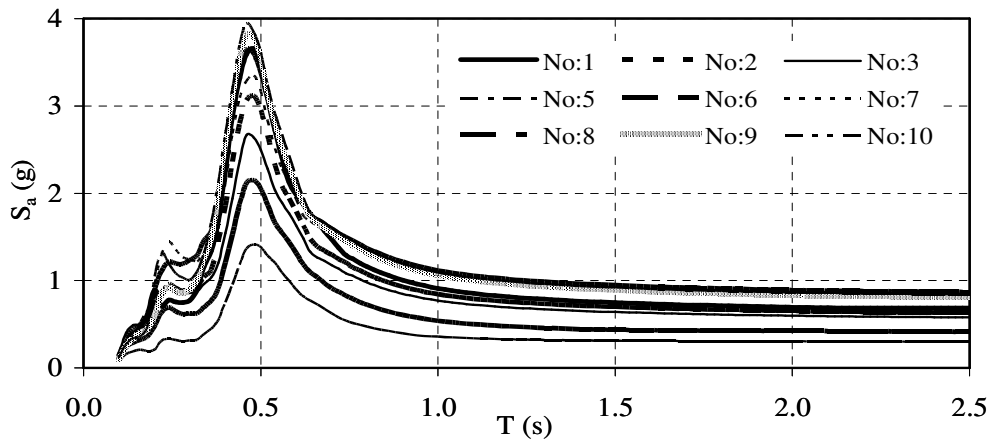


Şekil 4.16 : Düşey sınırları serbest olan modelin üzerindeki 9 ayrı nokta için hesaplanan % 5 sönümlü göreceli ivme spektrumu grafikleri.

Şekil 4.11b’de gösterilen model üzerindeki 7 ayrı nokta için Quake/W programını kullanarak elde edilen ivme-zaman geçmişleri Şekil 4.17’de, ayrıca yine Şekil 4.11b’deki 9 nokta için bulunan görel ivme spektrumları Şekil 4.18’de verilmiştir. Düşey sınırların yatay yönde serbest ve düşey doğrultuda tutulu olduğu bu model türü, zemin tabakalarının dinamik analizinin yapıldığı modellerde sıkça kullanılmaktadır. Görel ivme spektrumundaki hakim periyot 0.5 s civarındadır ve düşey sınırları yatay doğrultuda serbest ve düşey yönde mesnetli model için Çizelge 4.2’de verilen hakim periyot değeriyle uyumludur.



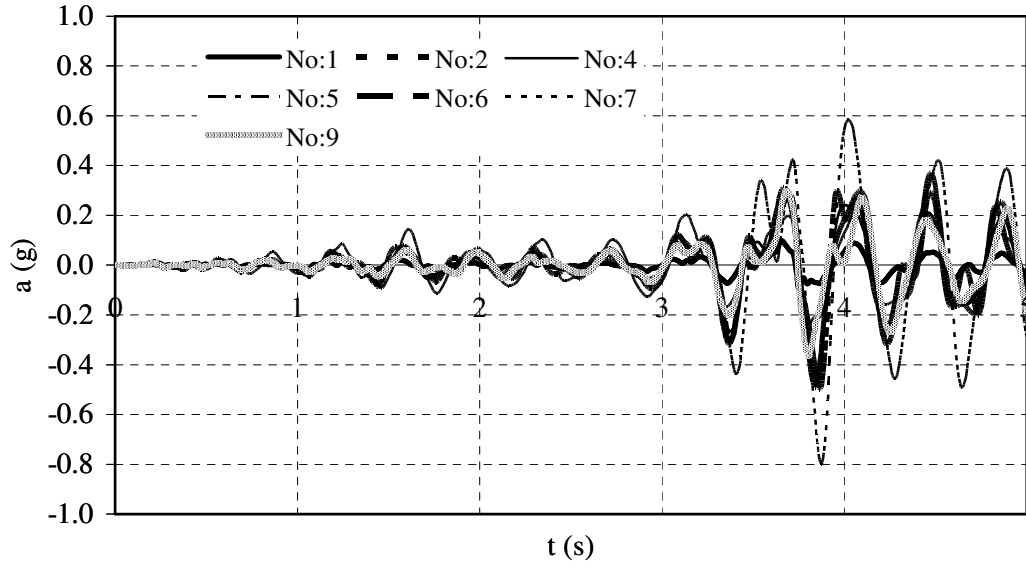
Şekil 4.17 : Düşey sınırları yatay doğrultuda serbest ve düşey yönde mesnetli olan modelin üzerindeki 7 ayrı nokta için elde edilen ivme-zaman geçmişleri grafikleri.



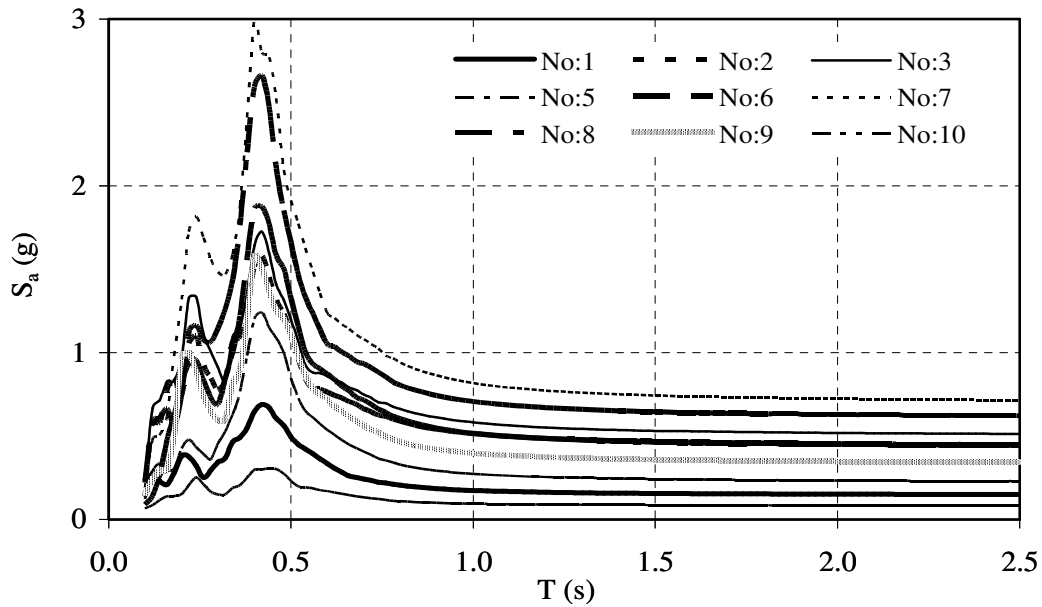
Şekil 4.18 : Düşey sınırları sadece yatay doğrultuda serbest olan modelin üzerindeki 9 ayrı nokta için elde edilen % 5 sönümlü görel ivme spektrumları grafikleri.

Şekil 4.11c’de gösterilen model üzerindeki 7 ayrı nokta için Quake/W programını kullanarak elde edilen ivme-zaman geçmişleri Şekil 4.19’da, yine aynı şekildeki 9 ayrı nokta için bulunan görel ivme spektrumları Şekil 4.20’de verilmiştir. Düşey

sınırların yatay ve düşey doğrultuda tutulu olduğu bu model üzerindeki sınıra yakın noktalarda maksimum ivme değerleri doğal olarak çok azalmış bununla birlikte 7 no'lu noktadaki (DESP) ivme değerleri artmıştır. Görel ivme spektrumundaki hakim periyot 0.4 s civarındadır ve düşey sınırları yatay ve düşey yönde mesnetli model için Çizelge 4.2'de verilen hakim periyot değeriyle uyumludur.



Şekil 4.19 : Düşey sınırları yatay ve düşey yönde mesnetli olan modelin üzerindeki 7 ayrı nokta için elde edilen ivme-zaman geçmişi grafikleri.



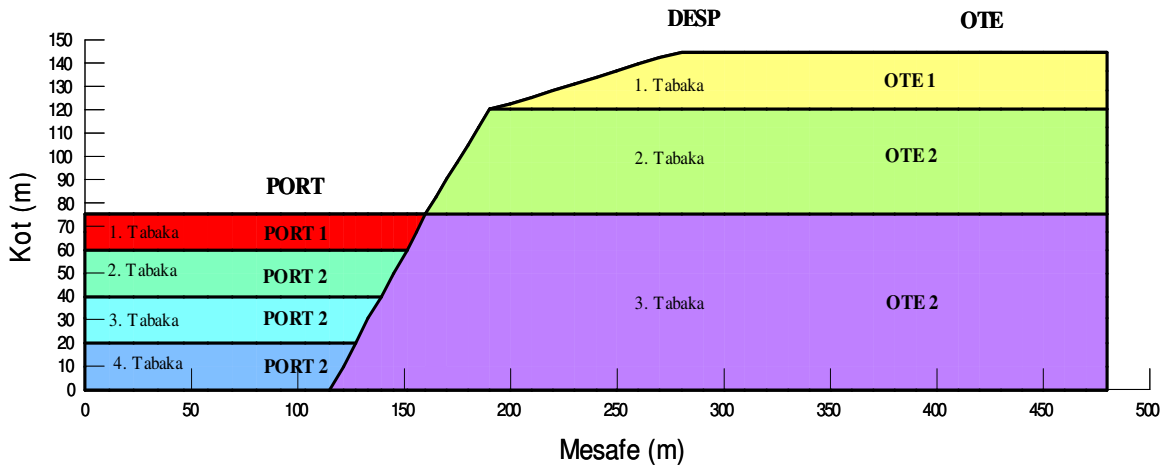
Şekil 4.20 : Düşey sınırları yatay ve düşey yönde mesnetli olan modelin üzerindeki 9 ayrı nokta için elde edilen %5 sönümlü görel ivme spektrumu grafikleri.

Farklı sınır şartlarına sahip üç model kullanılarak yapılan lineer analizler sonucunda düşey sınır şartlarının dinamik analiz sonuçları üzerindeki etkisi açıkça ortaya

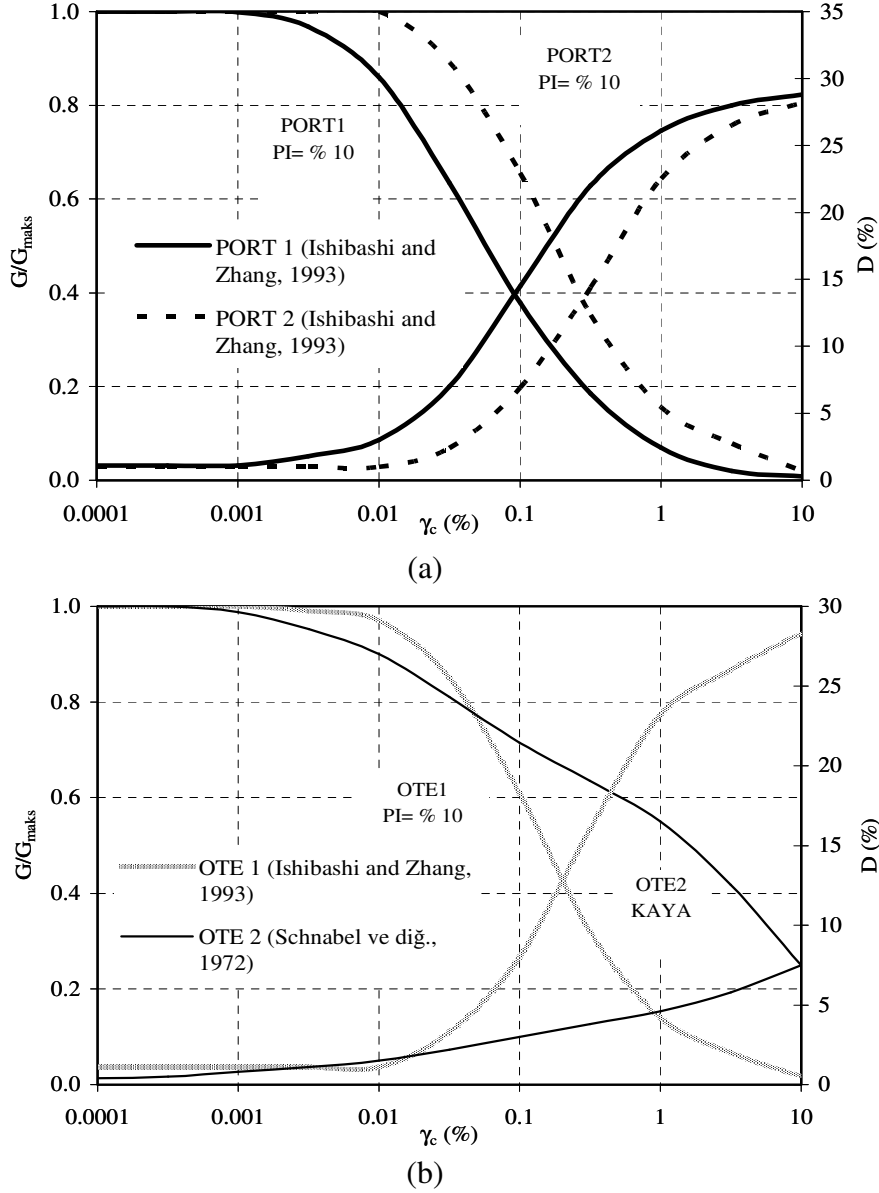
çıkarmakta ve düşey sınır şartlarının seçiminin iyi yapılması gerektiği anlaşılmaktadır. Düşey sınırların serbest olduğu modelde her iki taraftaki sınıra yakın bölgelerde özellikle hakim periyot civarında hesaplanan ivme spektrumu değerleri, düşey sınırların her iki yönde tutulu olduğu modele göre çok yüksek değerler almış olmakla birlikte, modelin ortasında yer alan 6 no'lu nokta (DESP) içinse buna zıt bir davranış gözlenmektedir.

4.2.2 Eşdeğer lineer analiz

Athanasopoulos ve diğ. (1999) tarafından yapılan çalışma, verilen iki boyutlu arazi modeli ve dinamik malzeme özellikleri kullanılarak tekrar analiz edilmiştir. Modele etkiyen anakaya ivmesi Atina Geodinamik Enstitüsünden temin edilmiş ve yazarların önerdiği şekilde maksimum ivmesi 0.14 g olacak biçimde normalleştirilerek kullanılmıştır (Şekil 4.8). Yüzey topoğrafyası modeli üzerinde EERA programını kullanarak bir boyutlu, Quake/W ve Flushplus programlarını kullanarak iki boyutlu dinamik analizler yapılmıştır. Yapılan analizler yardımıyla hem yazarlar tarafından yapılan çalışma detaylı bir şekilde tekrar irdelenmiş hem de Quake/W ve Flushplus programlarının kullanılabilirliği araştırılmıştır. Yapılan bir ve iki boyutlu dinamik analizlerde, daha önce yapılan çalışmada verilen başlangıç kayma dalgası hızından elde edilen kayma modülü değerleri kullanılmış ve ilgili dinamik özellikler daha önce Çizelge 4.1'de verilmiştir. Eşdeğer lineer analizde kullanılan rijitlik azalım ve sönüm eğrilerinin ait olduğu tabakalar Şekil 4.21'de gösterilmiştir. Kullanılan rijitlik azalım ve sönüm eğrileri Ishibashi ve Zhang'ın (1993) bağıntısından elde edilmiştir ve birlikte Şekil 4.22'de gösterilmiştir.



Şekil 4.21 : Eşdeğer lineer analizde kullanılan yüzey topoğrafyası ve zemin kesiti.

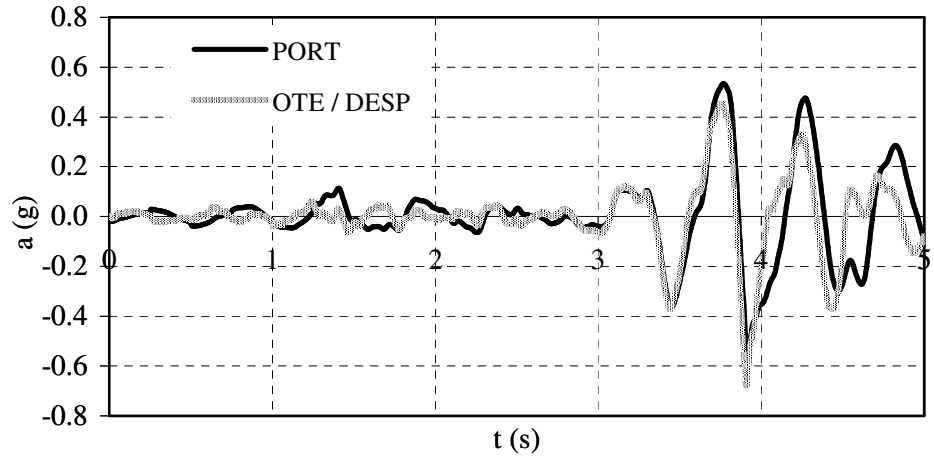


Şekil 4.22 : Eşdeğer lineer analizde kullanılan rijitlik azalım ve sönüm eğrileri.

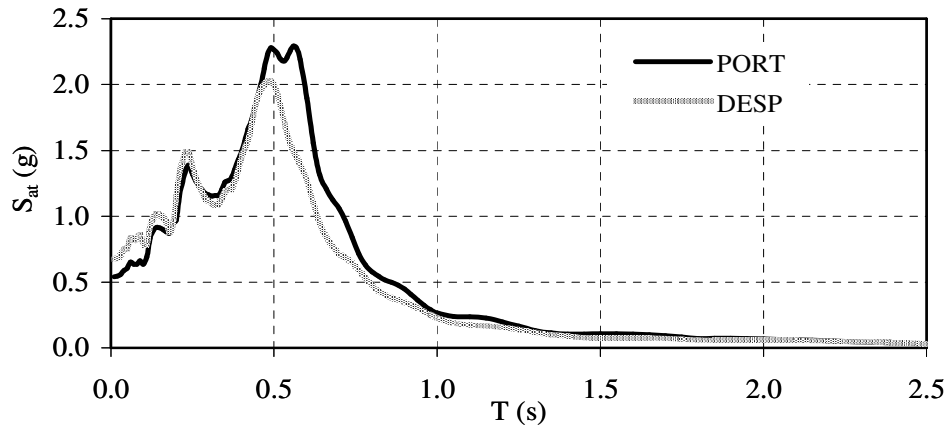
4.2.2.1 Bir boyutlu dinamik analizler

Şekil 4.21’de gösterilen PORT ve DESP/OTE bölgelerinde EERA programı kullanılarak tek boyutlu dinamik analizler yapılmıştır. İki boyutlu modelde verilmiş olan rijit tabanın (anakayanın) hesaplar üzerindeki etkisini bir boyutlu modele de yansıtabilmek için, zemin tabakalarının toplam kalınlığı 75 m olan PORT bölgesinde en alttaki 4.tabakadan ve zemin tabakalarının toplam kalınlığı 145 m olan OTE ve DESP bölgesinde en alttaki 3.tabakadan daha derine doğru anakayanın uzandığı ve kayma dalgası hızının (V_s) 5000 m/s, sönüm oranının (D) 0.02 olduğu kabul edilmiştir. PORT bölgesinde maksimum ivme değeri 0.54 g ve DESP/OTE bölgesinde 0.68 g olarak bulunmuştur. Elde edilen sonuçlar önceki çalışmada verilen

değerlerle ($PORT_{a_{maks}}=0.53g$, $DESP_{a_{maks}}=0.69g$) uyumludur. PORT ve OTE/DESP bölgelerinde elde edilen ivme-zaman grafikleri Şekil 4.23a'da, % 5 sönümlü mutlak ivme spektrumları Şekil 4.23b'de gösterilmiştir.



(a)



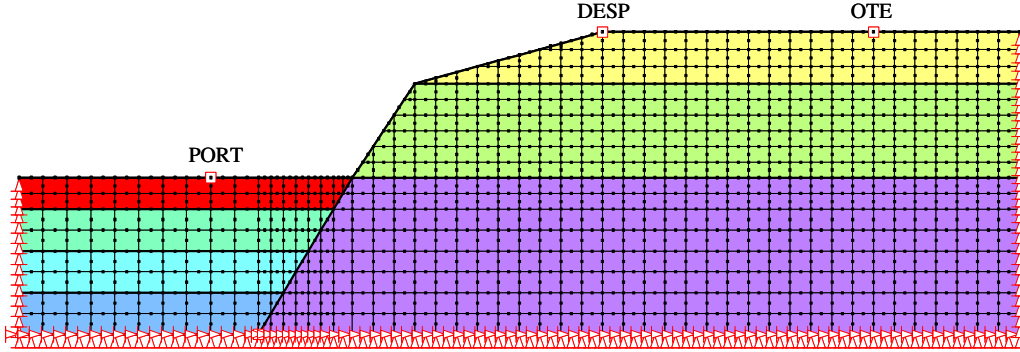
(b)

Şekil 4.23 : PORT ve OTE/DESP bölgelerinde yapılan tek boyutlu dinamik analiz sonuçları (a) İvme-zaman geçmişi grafiği (b) % 5 sönümlü mutlak ivme spektrumu.

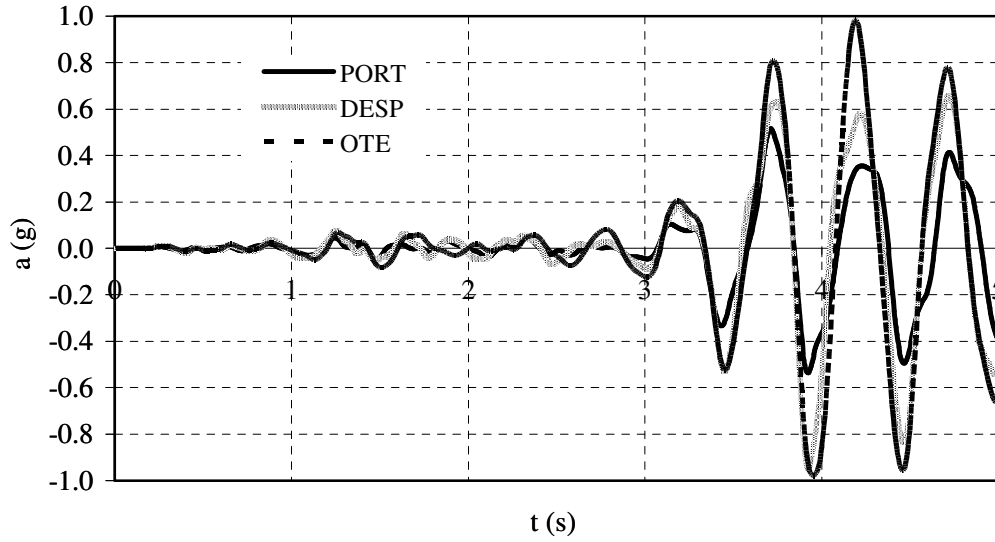
4.2.2.2 Quake/W programı kullanılarak yapılan iki boyutlu dinamik analizler

Şekil 4.21'de verilen yüzey topoğrafyasının farklı düşey sınır şartlarıyla birleştirilmesiyle elde edilen modeller kullanılarak Quake/W programıyla analizler yapılmıştır. Yapılan analizlerdeki modellerde üç ayrı düşey sınır şartı, daha önce Şekil 4.8'de verilen maksimum ivmesi $0.14 g$ olacak şekilde normalleştirilmiş anakaya ivme-zaman geçmişiyle birlikte kullanılmıştır. Analizlerde kullanılan birinci model için düşey sınırlardaki düğüm noktaları yatay yönde serbest, düşey yönde mesnetli olarak seçilmiştir. Bu model türü, tek boyutlu analizdeki kayma kırışi koşullarını iki boyutlu sonlu elemanlarla oluşturmak için kullanılmaktadır. Kurulan

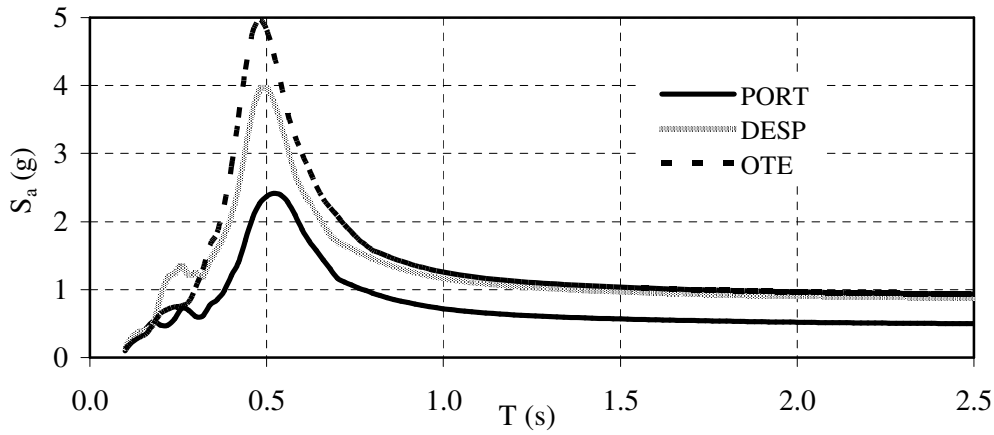
iki boyutlu model 665 adet sonlu elemandan oluşmaktadır. Şekil 4.24'teki model kullanılarak PORT, DESP ve OTE bölgelerinde elde edilen ivme-zaman geçmişleri Şekil 4.25'te, % 5 sönümlü görel ivme spektrumları Şekil 4.26'da gösterilmiştir.



Şekil 4.24 : Düşey sınırları yatay doğrultuda serbest iki boyutlu sonlu eleman modeli.



Şekil 4.25 : Üstteki iki boyutlu model kullanılarak PORT, DESP ve OTE bölgelerinde elde edilen ivme-zaman geçmişleri.



Şekil 4.26 : Düşey sınırları yatay doğrultuda serbest sonlu eleman modeli kullanılarak bulunan % 5 sönümlü görel ivme spektrumları.

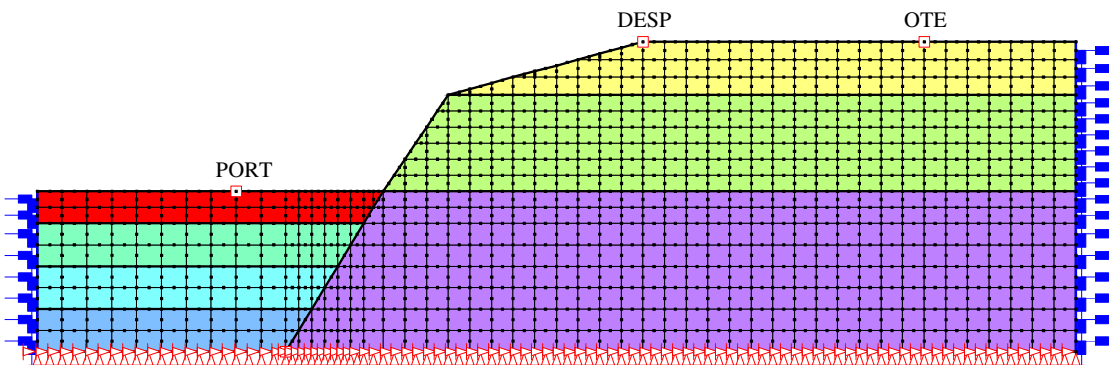
Yapılan analiz sonucunda PORT bölgesinde 0.54 g, DESP bölgesinde 0.95 g ve OTE bölgesinde 0.98 g maksimum ivme değerleri elde edilmiştir. Önceki çalışmada maksimum ivmelerin PORT bölgesi için 0.2 g, DESP için 0.79 g ve OTE için 0.55 g olarak elde edildiği gözönüne alınırsa, hesaplanan değerlerin yazarlar tarafından bulunanlara oranla oldukça yüksek olduğu ortaya çıkmaktadır.

Düşey sınırların her iki yönde veya bir doğrultuda serbest olduğu modeller, düşey sınırlara çarpan deprem dalgalarının enerjisinin modelin içine geri dönmesini sağlar yani deprem dalgalarını sınırlarda yansıtır. Bu nedenle modelde oluşan bu etkiye “kutu etkisi” adı verilir. Bu etki, daha fazla elemanı modele katarak her iki sınırın analizde ilgilenilen bölgeden uzaklaştırılmasıyla azaltılabilir. Bununla birlikte bu durumda, modelin analiz süresi ve sonuç dosyasının veri büyüklüğü çok fazla artacaktır. İkinci bir seçenek olarak düşey sınırlara, daha önce Şekil 3.4’te gösterildiği gibi hem basınç hem de kayma dalgalarının enerjisini emecek sönümleyicilerin konulmasının gerçeği daha iyi yansıtacağı ve gerçekçi sonuçlar vereceği düşünülmektedir.

Şekil 4.27’de verilen düşey sınırları her iki doğrultuda sönümleyicilere sahip ikinci model kullanılarak dinamik analiz yapılmıştır. Düşey sınırlardaki her iki yöndeki sönümleyicilerin sönüm katsayıları Lysmer ve Richart (1966) tarafından verilen 3.22 bağıntısı kullanılarak elde edilmiş ve Çizelge 4.3’te gösterilmiştir.

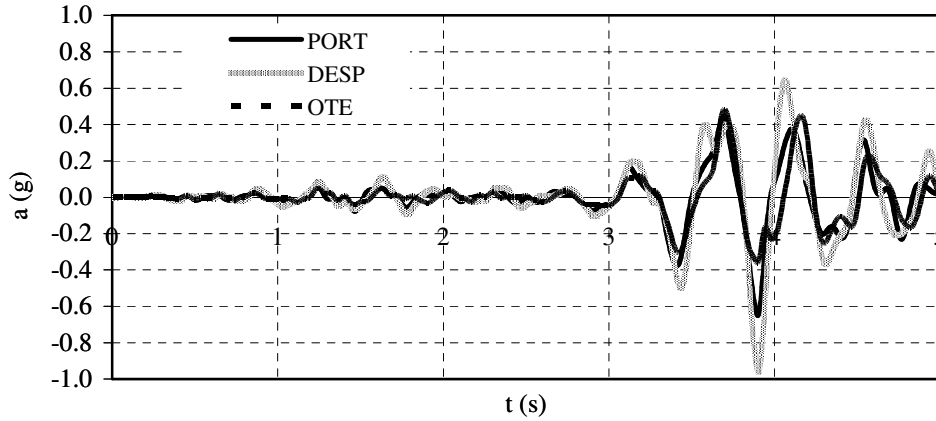
Çizelge 4.3 : Düşey sınırlarda kullanılan sönümleyicilerin sönüm katsayıları.

	PORT				OTE		
Tabaka No:	1	2	3	4	1	2	3
c_p (kN.s/m ²)	801	1301	1549	2257	1183	3547	4554
c_s (kN.s/m ²)	479	792	950	1400	720	2200	2880

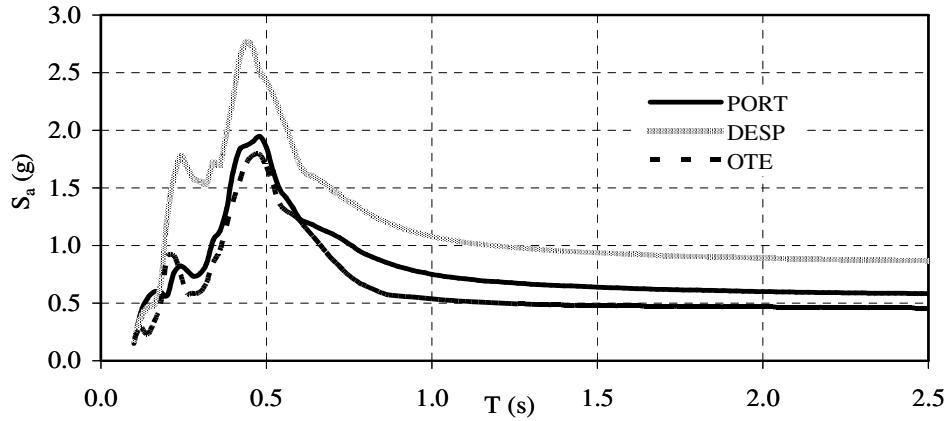


Şekil 4.27 : Düşey sınırlarında sönümleyiciler bulunan sonlu eleman modeli.

Düşey sınırlarında sönümleyiciler bulunan modelin analiziyle elde edilen ivme-zaman geçmişleri Şekil 4.28’de, % 5 sönümlü görel ivme spektrumları Şekil 4.29’da verilmiştir. Bütün bölgelerdeki maksimum ivme değerlerinde, düşey sınırları yatay yönde serbest olan birinci modelde bulunana göre azalma gözlenmiştir. Bununla birlikte özellikle OTE bölgesindeki maksimum ivme değerindeki azalma dikkat çekicidir.



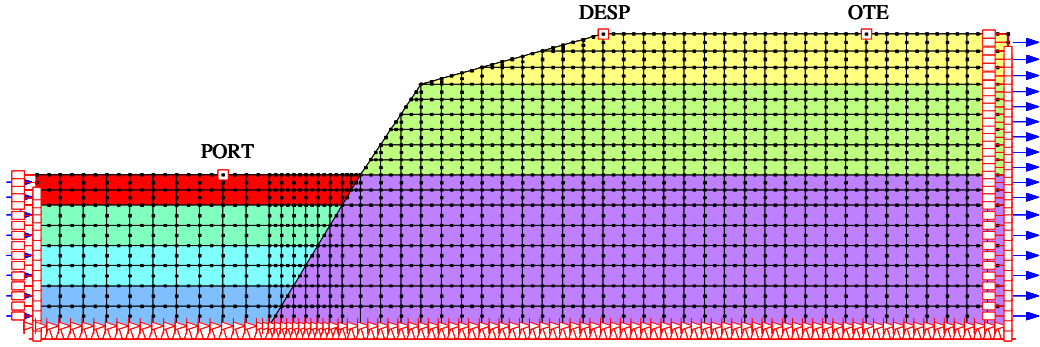
Şekil 4.28 : Yukarıdaki modelin analiziyle elde edilen ivme-zaman geçmişleri.



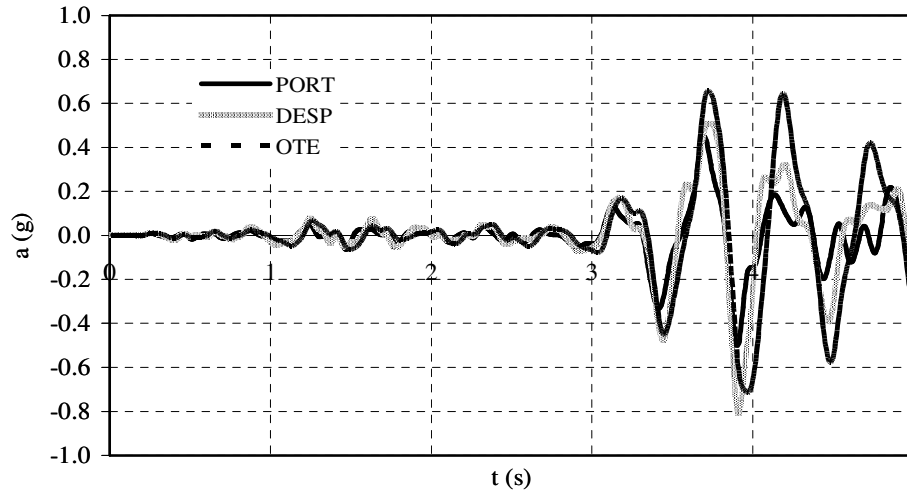
Şekil 4.29 : Düşey sınırlarında sönümleyiciler bulunan modelin analiziyle elde edilen % 5 sönümlü görel ivme spektrumları.

Üçüncü modele; Şekil 4.27’de gösterilen düşey sınırlardaki sönümleyicilere ek olarak, modelin her iki tarafında yer alan sonsuza uzanan zemin tabakalarında deprem sırasında oluşan sönüm kuvvetleri (Denklem 3.21) de katılmıştır. Bu kuvvetler, sonsuza uzanan zemin tabakalarının tek boyutlu dinamik analiziyle elde edilen tabaka parçacık hızlarının ($\{\dot{u}_f\}$) yatay doğrultudaki sönüm katsayısıyla çarpılmasıyla hesaplanmış ve deprem süresince etkiyen zamana bağlı sınır gerilmesi olarak modele Şekil 4.30’dan da görülebileceği gibi her iki sınırda uygulanmıştır. Elde edilen ivme-zaman geçmişleri Şekil 4.31’de, % 5 sönümlü görel ivme

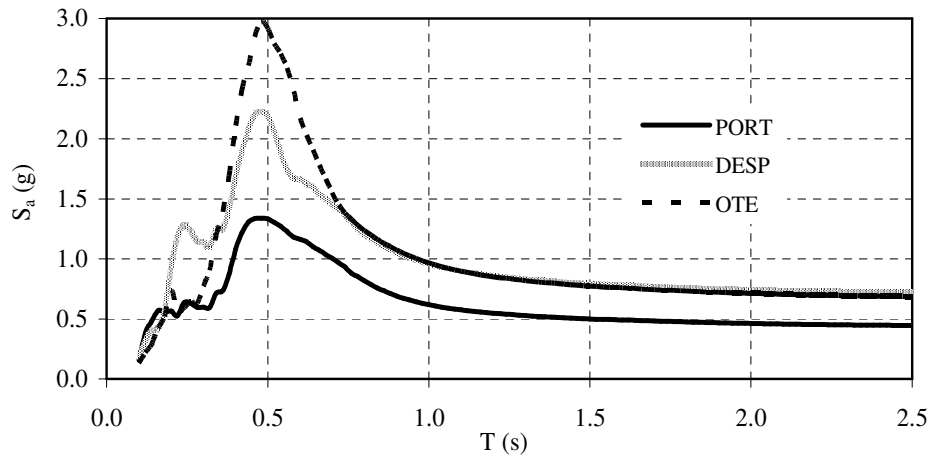
spektrumları Şekil 4.32’de verilmiştir. Yapılan analiz sonucunda DESP bölgesindeki maksimum ivme değeri 0.81 g, OTE bölgesindeki maksimum ivme değeri 0.72 g olarak bulunmuştur. DESP bölgesinde elde edilen maksimum ivme değeri, Athanasopoulos ve diğ. (1999) tarafından yapılan çalışmada hesaplanana (0.79 g) çok yakın olmakla birlikte OTE bölgesinde hesaplanan değer (0.72 g), deprem sırasında kaydedilen değerden (0.54 g) oldukça fazladır.



Şekil 4.30 : Üçüncü modelde kullanılan sınır şartları.

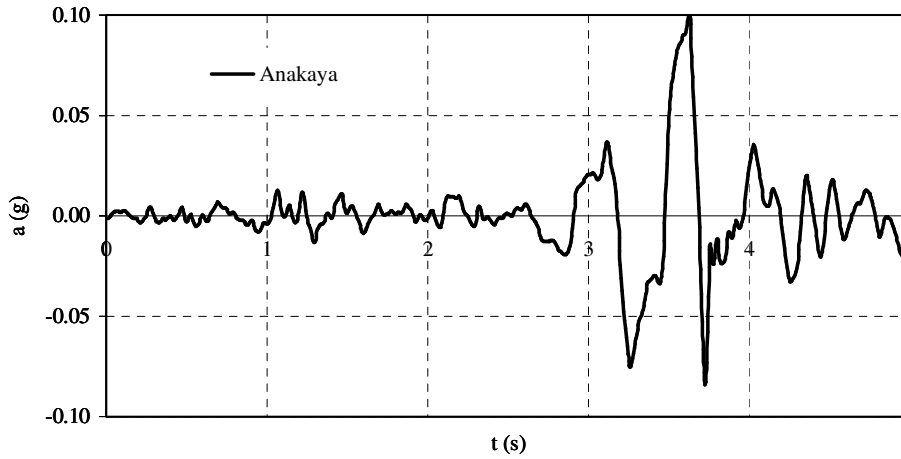


Şekil 4.31 : Yukarıda verilen model kullanılarak yapılan iki boyutlu analiz sonucunda elde edilen ivme-zaman geçmişleri.

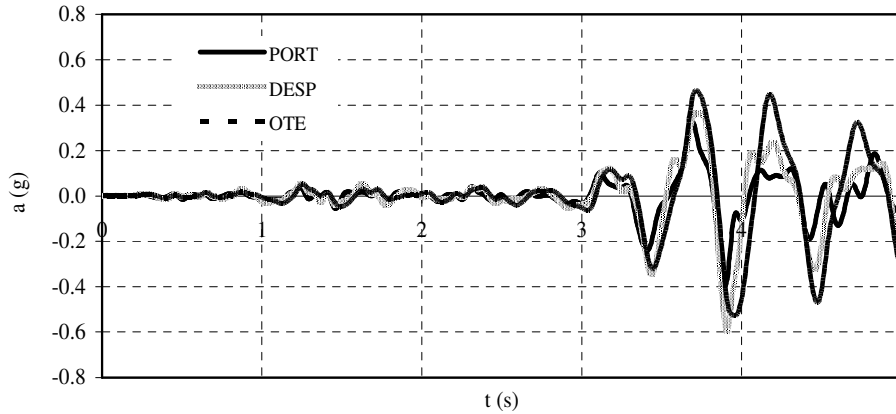


Şekil 4.32 : Üçüncü modelin dinamik analiziyle bulunan göreceli ivme spektrumları.

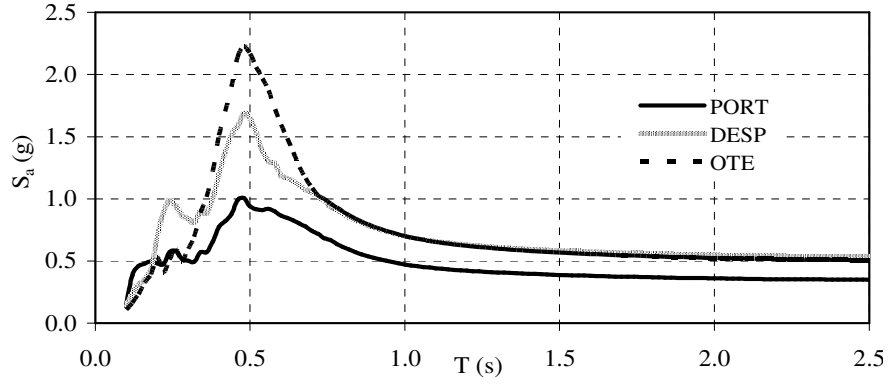
Üçüncü modelin iki boyutlu dinamik analiziyle OTE bölgesinde elde edilen maksimum ivme değeri (0.72 g), Egion depremi sırasında bölgede kaydedilmiş olan 0.54 g değerinden oldukça yüksektir. Bu nedenle anakaya hareketi olarak kullanılan Şekil 4.8'deki ivme-zaman geçmişi, maksimum ivmesi 0.1 g olacak biçimde oranlanarak tekrar düzenlenmiş ve Şekil 4.30'da verilen model üzerinde yeniden analiz yapılmıştır. Yapılan analiz sonucunda OTE bölgesinde deprem sırasında elde edilen maksimum ivme değerine çok yakın bir değer (0.53 g) bulunmuştur. Bununla birlikte DESP ve PORT bölgelerinde hesaplanan değerler (0.6 g ve 0.4 g), Athanasopoulos ve diğ. (1999) tarafından bulunanlardan farklıdır. Anakaya hareketi olarak Şekil 4.33'te gösterilen ivme-zaman geçmişi kullanılarak yapılan iki boyutlu dinamik analizler sonucunda PORT, DESP ve OTE bölgeleri için elde edilen ivme-zaman geçmişi grafikleri Şekil 4.34'te, % 5 sönümlü görel ivme spektrumları Şekil 4.35'te verilmiştir.



Şekil 4.33 : OTE bölgesinde deprem sırasında ölçülen maksimum ivme değerini verecek biçimde düzenlenmiş anakaya ivmesi.



Şekil 4.34 : Maksimum ivmesi 0.1 g olan ivme-zaman geçmişinin üçüncü modelde anakayada uygulanması sonucunda yüzeyde bulunan ivme-zaman grafikleri.



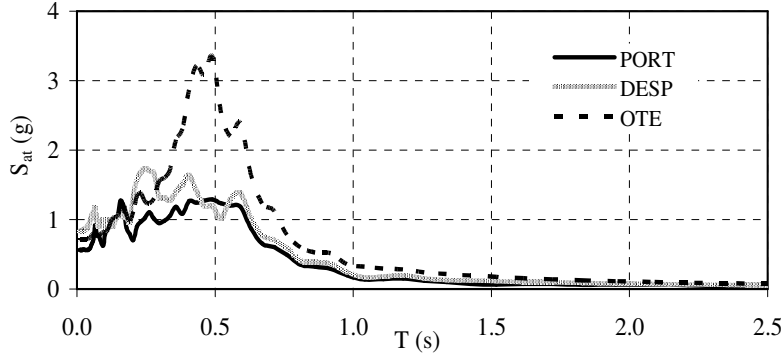
Şekil 4.35 : Maksimum ivmesi 0.1 g olan ivme-zaman geçmişinin üçüncü modelde anakayada uygulanması sonucunda yüzeyde elde edilen görel ivme spektrumları.

4.2.2.3 Flushplus programı kullanılarak yapılan iki boyutlu dinamik analizler

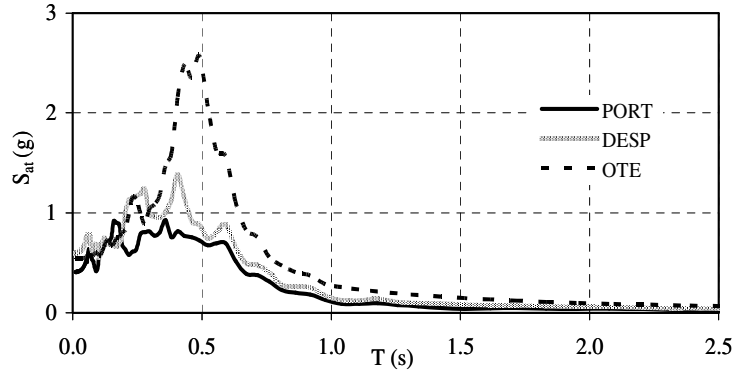
Yüzey topoğrafyası Şekil 4.21’de verilen modelin iki boyutlu dinamik analizi, önceki araştırmacılar tarafından kullanılmış olan Flushplus programıyla da yapılmıştır. Bu yazılımda; modelde düşey sınırlarda her iki doğrultuda sönümleyiciler kullanılmakta, rijit anakayadan oluştuğu kabul edilen model tabanı ise her iki doğrultuda mesnetli kabul edilmektedir. Başlangıçta 665 adet sonlu eleman kullanılarak yapılan analiz sonucunda PORT, DESP ve OTE bölgelerindeki ivme-zaman geçmişleri elde edilmiştir. Maksimum ivme değerleri PORT bölgesi için 0.65 g, DESP bölgesinde 0.89 g ve OTE bölgesi için 0.60 g elde edilmiştir. Athanasopoulos ve diğ. (1999) tarafından da üzerinde durulan tepedeki DESP bölgesindeki büyütme dikkat çekicidir. Bununla birlikte programda sonlu elemanlar için belirtilen maksimum düşey yükseklik kriteri uygulanınca, modeli oluşturmak için gerekli eleman sayısı 1671’e çıkmaktadır. Bu kriter gereğince sonlu elemanların düşey boyutunun, analizi yapılacak deprem dalgasındaki en yüksek frekans dolayısıyla oluşan minimum dalga boyundan daha küçük olması gerekmektedir. Böylece yüksek frekanslı dalgalar, modelden filtrelenmeden geçebilecek ve sonuçların doğruluğu artacaktır. 1671 adet sonlu eleman kullanılarak yapılan analiz sonucunda maksimum ivme değerleri PORT bölgesi için 0.56 g, DESP bölgesinde 0.83 g ve OTE bölgesinde 0.71 g olarak elde edilmiştir. Bu değerler Quake/W programını kullanarak bulunanlarla uyumludur. Yapılan analizlerden elde edilen % 5 sönümlü mutlak ivme spektrumları Şekil 4.36’da verilmiştir.

Şekil 4.33’te gösterilen 0.1 g maksimum ivmeye sahip anakaya ivme zaman geçmişi kullanılarak, iki boyutlu model üzerinde tekrar analiz yapılmıştır. PORT bölgesinde 0.41 g, DESP’te 0.60 g ve OTE bölgesinde 0.54 g maksimum ivme değerleri elde

edilmiştir. Bulunan maksimum ivme değerleri hem Quake/W programıyla bulunanlarla hem de OTE bölgesinde deprem sırasında ölçülen maksimum ivme değeriyle uyumludur. Yapılan analiz sonucunda hesaplanan % 5 sönümlü mutlak ivme spektrumları Şekil 4.37’de gösterilmiştir.



Şekil 4.36 : 0.14 g maksimum ivmeye sahip anakaya ivme zaman geçmişi kullanılarak yapılan analiz sonucunda bulunan % 5 sönümlü ivme spektrumları.

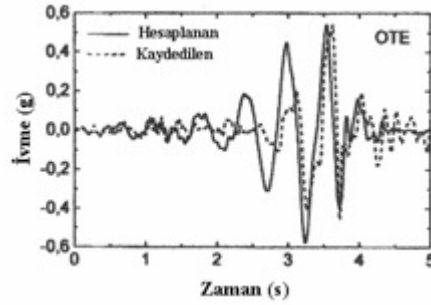


Şekil 4.37 : 0.1 g maksimum ivmeye sahip anakaya ivme zaman geçmişi kullanılarak yapılan analiz sonucunda bulunan % 5 sönümlü mutlak ivme spektrumları.

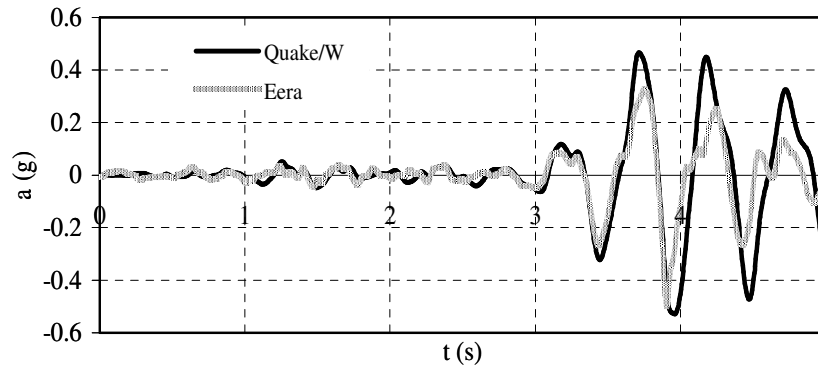
4.2.2.4 Bir ve iki boyutlu dinamik analiz sonuçlarının karşılaştırılması

1995 Egion depreminde OTE bölgesinde zemin yüzeyinde kaydedilen ivme-zaman geçmişi, Athanasopoulos ve diğ. (1999) tarafından maksimum ivmesi 0.14 g olacak şekilde normalleştirilmiş ve kurdukları iki boyutlu modelde kullanılmıştır. Bununla birlikte önceki çalışmada kullanılan iki boyutlu model, Quake/W ve Flushplus programları ile tekrar oluşturulup yeni analizler yapıldığında OTE bölgesinde, deprem sırasında ölçülen 0.54 g değerinden daha büyük maksimum ivme elde edilmiştir. Bu nedenle depremin frekans içeriğini değiştirmemek için önceki çalışmada önerildiği gibi anakayadaki ivme zaman geçmişi, OTE bölgesinde deprem sırasında kaydedilen maksimum ivmeyi verecek şekilde tekrar normalleştirilmiştir.

Anakayada uygulanan ivme-zaman geçmişinin maksimum ivmesi 0.1 g olduğu zaman, OTE bölgesinde Quake/W programıyla 0.53 g ve Flushplus programıyla 0.54 g maksimum ivme değerleri bulunmuştur. Athanasopoulos ve diğ. (1999) tarafından yapılan çalışmada OTE bölgesi için verilen ivme-zaman geçmişi Şekil 4.38’de, EERA programıyla ve Şekil 4.30’daki modelin Quake/W programı kullanılarak analizi sonucunda elde edilen ivme grafikleri birlikte Şekil 4.39’da gösterilmiştir.

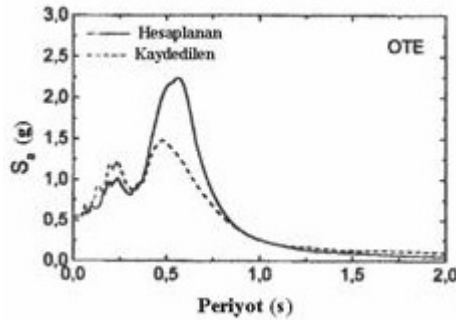


Şekil 4.38 : OTE bölgesinde kaydedilen ve tekrar hesaplanan ivme-zaman geçmişi.

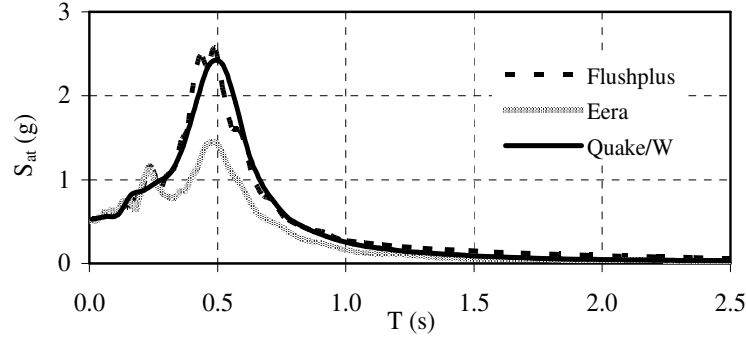


Şekil 4.39 : OTE bölgesi için Quake/W ve EERA programları kullanılarak bu çalışmada bulunan ivme-zaman geçmişi ($a_{maks_anakaya}=0.1$ g).

Athanasopoulos ve diğ. (1999) tarafından yapılan çalışmada OTE bölgesi için verilen % 5 sönümlü mutlak ivme spektrumu Şekil 4.40’ta, EERA, Flushplus ve Şekil 4.30’daki modelin Quake/W programıyla analizi sonucunda elde edilen % 5 sönümlü mutlak ivme spektrumları birlikte Şekil 4.41’de gösterilmiştir.

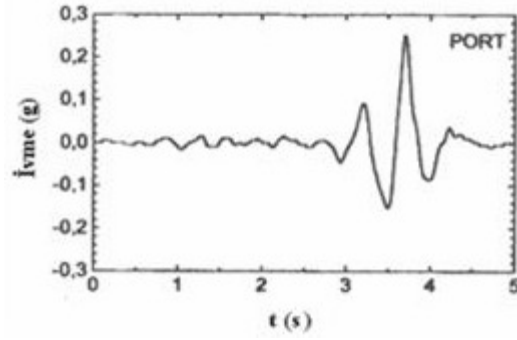


Şekil 4.40 : Athanasopoulos ve diğ. (1999) tarafından OTE bölgesi için verilen % 5 sönümlü mutlak ivme spektrumu ($a_{maks_anakaya}=0.14$ g).

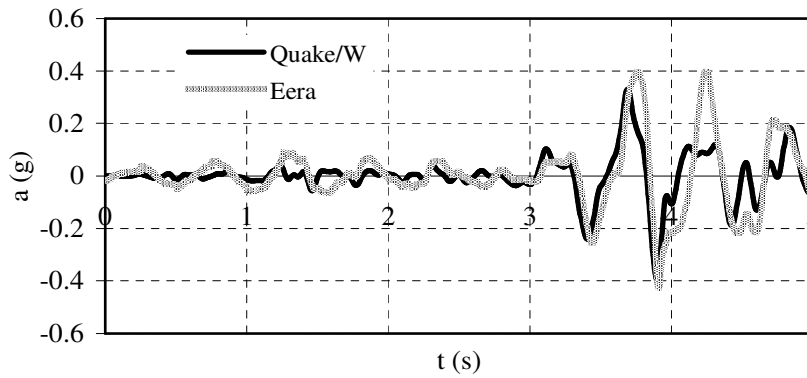


Şekil 4.41 : OTE bölgesi için Quake/W, Flushplus ve EERA programları kullanılarak bu çalışmada bulunan % 5 sönümlü mutlak ivme spektrumları ($a_{maks_anakaya}=0.1$ g).

Aynı araştırmacılar tarafından yapılan çalışmada PORT bölgesi için verilen ivme-zaman geçmişi Şekil 4.42’de, EERA programıyla ve Şekil 4.30’daki modelin Quake/W programı kullanılarak yapılan analizi sonucunda elde edilen ivme-zaman grafikleri birlikte Şekil 4.43’te gösterilmiştir.



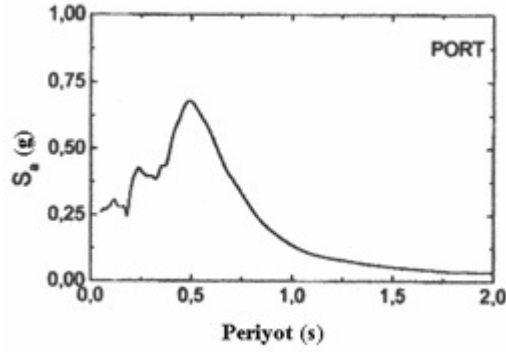
Şekil 4.42 : PORT bölgesi için Athanasopoulos ve diğ. (1999) tarafından yapılan çalışmada elde edilen ivme-zaman geçmişi ($a_{maks_anakaya}=0.14$ g).



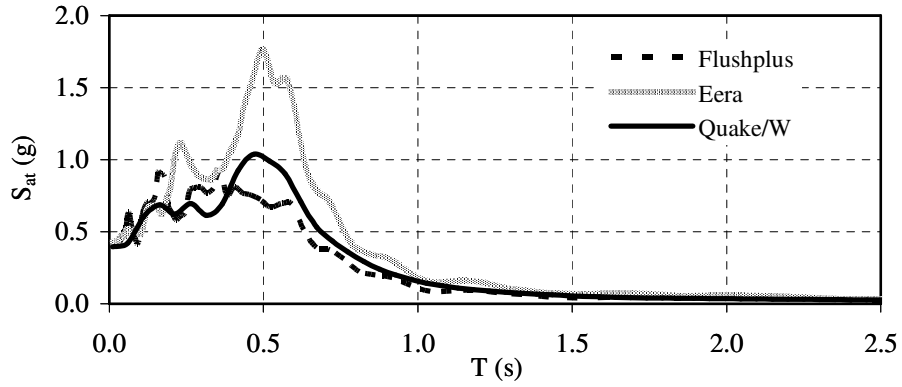
Şekil 4.43 : PORT bölgesi için Quake/W ve EERA programları kullanılarak bulunan ivme-zaman geçmişi ($a_{maks_anakaya}=0.1$ g).

Athanasopoulos ve diğ. (1999) tarafından yapılan çalışmada PORT bölgesi için verilen % 5 sönümlü mutlak ivme spektrumu Şekil 4.44’te, EERA, Flushplus ve

Şekil 4.30'daki modelin Quake/W programıyla analizi sonucunda elde edilen % 5 sönümlü mutlak ivme spektrumları Şekil 4.45'te gösterilmiştir.

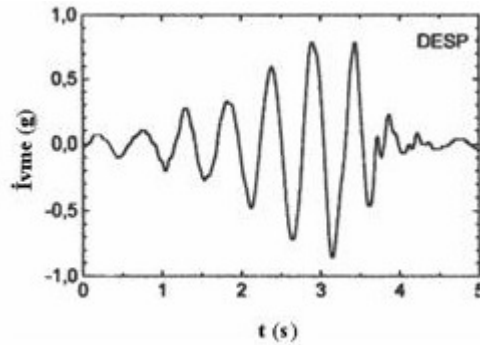


Şekil 4.44 : Athanasopoulos ve diğ. (1999) tarafından yapılan çalışmada PORT bölgesi için verilen % 5 sönümlü mutlak ivme spektrumu ($a_{maks_anakaya} = 0.14$ g).

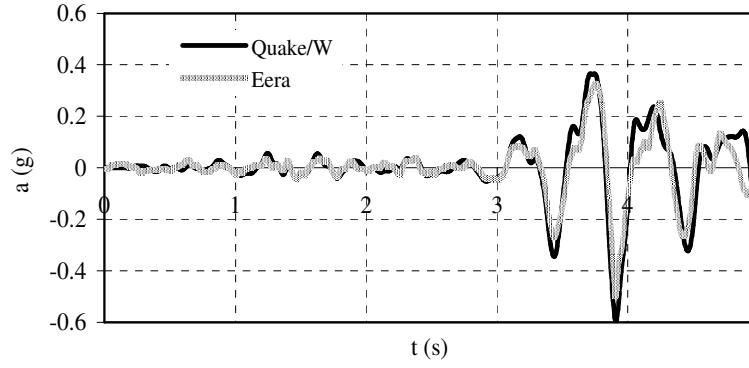


Şekil 4.45 : PORT bölgesinde Quake/W, Flushplus ve EERA programları kullanılarak bulunan % 5 sönümlü mutlak ivme spektrumları ($a_{maks_anakaya} = 0.1$ g).

Athanasopoulos ve diğ. (1999) tarafından yapılan çalışmada DESP bölgesi için verilen ivme-zaman geçmişi Şekil 4.46'da, EERA ve Quake/W programları kullanılarak yapılan analiz sonucunda elde edilen ivme-zaman geçmişi grafikleri birlikte Şekil 4.47'de gösterilmiştir.

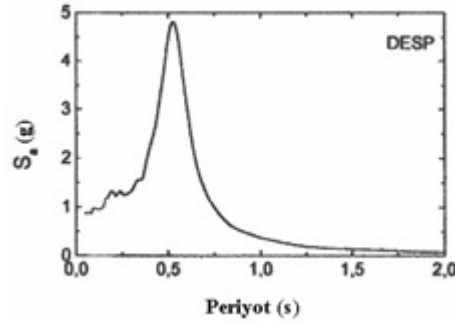


Şekil 4.46 : Athanasopoulos ve diğ. (1999) tarafından yapılan çalışmada DESP bölgesi için elde edilen ivme-zaman geçmişi ($a_{maks_anakaya} = 0.14$ g).

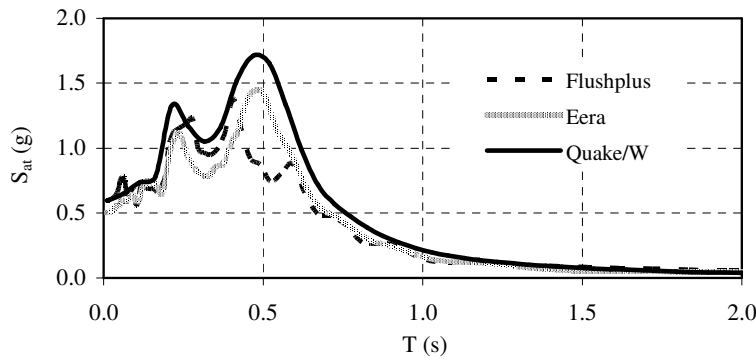


Şekil 4.47 : DESP bölgesi için Quake/W ve EERA programları kullanılarak bulunan ivme-zaman geçmişi ($a_{maks_anakaya}=0.1$ g).

Athanasopoulos ve diğ. (1999) tarafından DESP bölgesi için verilen % 5 sönümlü mutlak ivme spektrumu Şekil 4.48’de, EERA, Flushplus ve Quake/W programıyla yapılan analizler sonucunda bulunan mutlak ivme spektrumları birlikte Şekil 4.49’da gösterilmiştir.

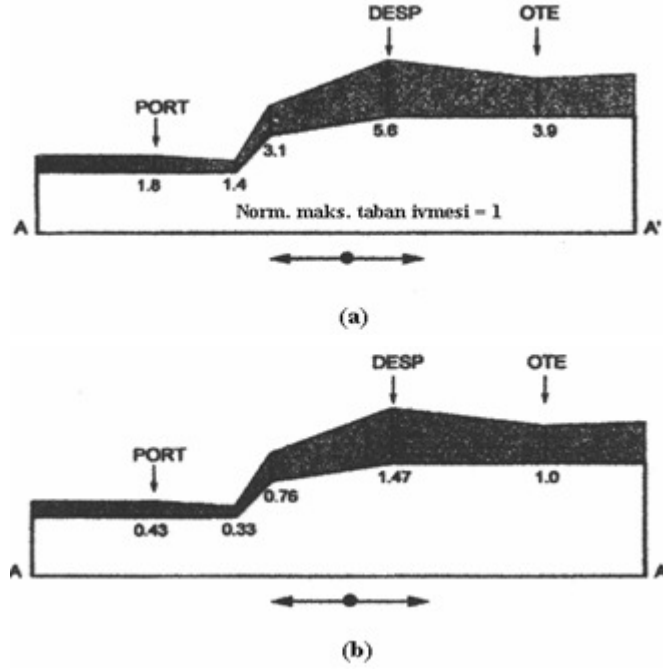


Şekil 4.48 : Athanasopoulos ve diğ. (1999) tarafından DESP bölgesi için verilen % 5 sönümlü mutlak ivme spektrumu ($a_{maks_anakaya}=0.14$ g).

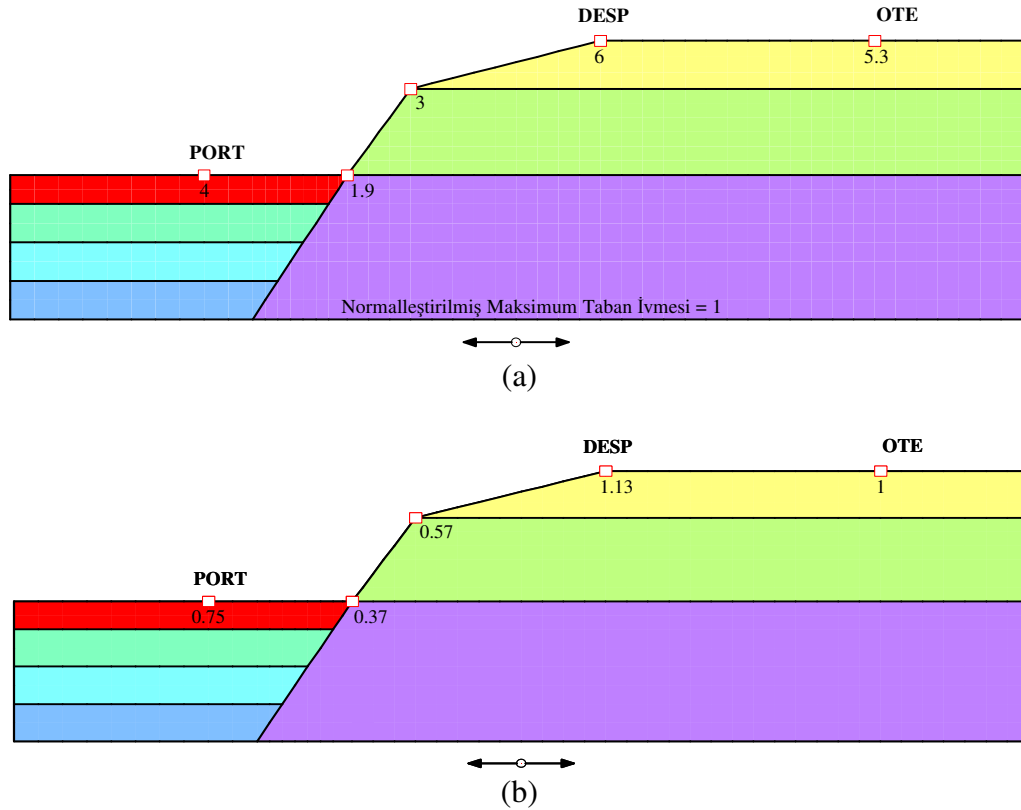


Şekil 4.49 : DESP bölgesinde Quake/W, Flushplus ve EERA programları kullanılarak bulunan % 5 sönümlü mutlak ivme spektrumları ($a_{maks_anakaya}=0.1$ g).

Athanasopoulos ve diğ. (1999); yaptıkları analizde kullandıkları yüzey topoğrafyasının, farklı bölgelerde hesaplanan maksimum ivmeler üzerindeki etkisini Şekil 4.50’deki model üzerinde göstermişlerdir.



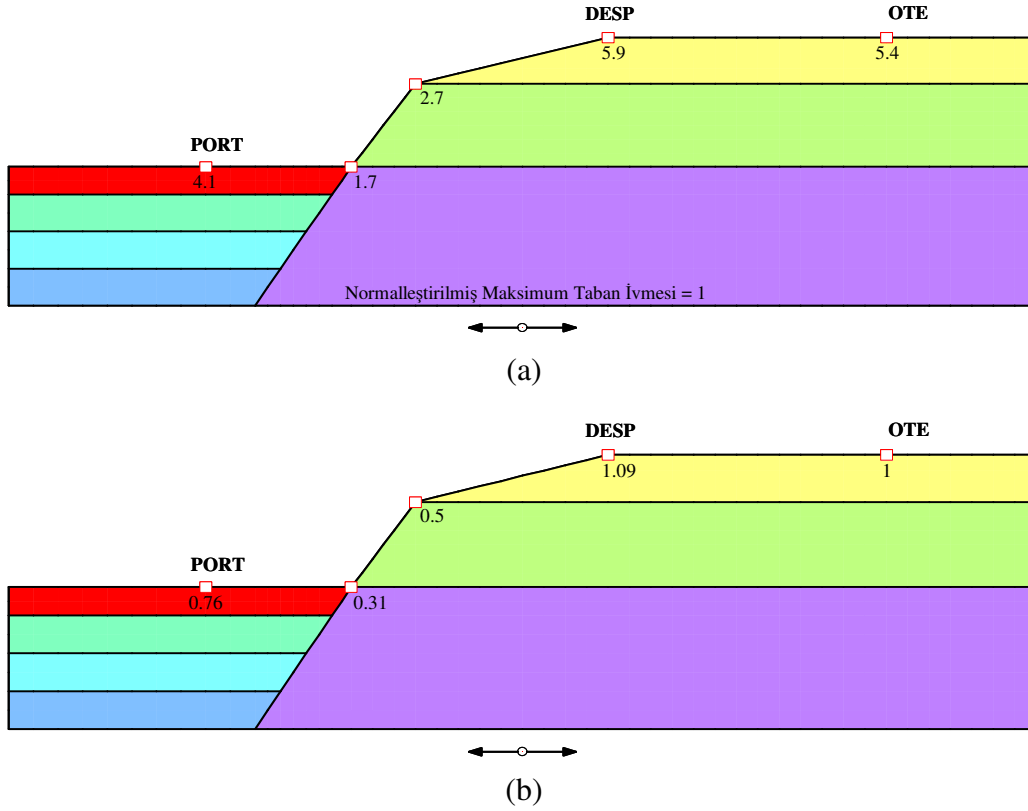
Şekil 4.50 : Yüzey topoğrafyasının maksimum yatay ivme değerleri üzerindeki etkisi (Athanasopoulos ve diğ., 1999) (a) Taban hareketine göre zemin büyütme (b) OTE'deki deprem hareketine göre zemin büyütme.



Şekil 4.51 : Quake/W programıyla yapılan analiz sonuçları (a) Taban hareketine göre zemin büyütme (b) OTE'deki harekete göre zemin büyütme.

İki boyutlu modelin Quake/W programı kullanılarak yapılan iki boyutlu dinamik analizi sonucunda bulunan maksimum ivme değerlerinin yüzey topoğrafyasına bağlı

değişimi Şekil 4.51’de, Flushplus programıyla elde edilen maksimum ivme değerlerinin yüzey topoğrafyasına bağlı değişimi Şekil 4.52’de verilmiştir.

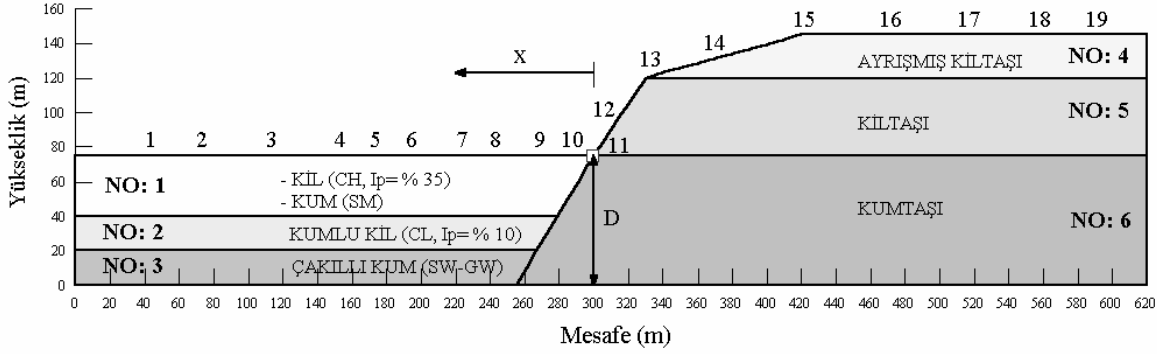


Şekil 4.52 : Flushplus programıyla yapılan analiz sonuçları (a) Taban hareketine göre zemin büyütme faktörleri (b) OTE bölgesindeki deprem hareketine göre zemin büyütme faktörleri.

4.3 Farklı Deprem ve Zemin Koşullarının Etkisi

Anakayadaki farklı deprem hareketlerinin, yerel zemin koşullarının ve yüzey topoğrafyasının zemin tabakalarının dinamik davranışına etkisini incelemek amacıyla, değişik araştırmacıların (Athanasopoulos ve diğ., 1999; Pitilakis, 2004) da kullandığı düzgün geometriye sahip ova ve tepeden oluşan Şekil 4.53’te verilen model seçilmiştir. Ova kesiminde yer alan tabakaların toplam derinliği 75 m alınmış ve üç farklı zemin tabakasından oluştuğu kabul edilmiştir. Yeraltı su seviyesinin ovada zemin yüzeyine yakın olduğu kabul edilmiştir. Zemin kesitinde anakaya üzerinde en altta kalınlığı 20 m olan sıkı çakıllı kum, üstünde aynı kalınlıkta kumlu düşük plastisiteli kil ($I_p = \% 10$) yer almaktadır. Bu tabaka üstünde yer alan 35 m kalınlığındaki zemin tabakası, zemin cinsinin büyütme etkisini incelemek için önce yüksek plastisiteli kil ($I_p = \% 35$) daha sonra siltli kum olarak alınmıştır. Bu bölge DBYBHY’e göre Z3 yerel zemin sınıfında yer almaktadır. Yapılan bir ve iki

boyutlu analizlerde bu tabaka altında ve tepe kesiminde bulunan zemin cinsleri sabit bırakılmıştır. Daha rijit tabakalardan oluştuğu varsayılan tepe kesiminin toplam yüksekliği 145 m alınmış ve üstte 25 m kalınlığında ayrıışmış bir tabakanın olduğu düşünülmüştür. Sistemin iki boyutlu davranışı, Şekil 4.53'te ova ve tepe kesiminde yüzey üzerinde gösterilmiş olan toplam 19 noktada yapılan analizlerle incelenmiştir.



Şekil 4.53 Çalışmada kullanılan iki boyutlu geometri.

Yapılan bir ve iki boyutlu dinamik analizlerde, zemin tabakalarının kuvvetli yer hareketine bağlı lineer olmayan davranışı eşdeğer lineer yaklaşımla modellenmiştir. Bu yaklaşımda kayma şekil değiştirmesiyle uyumlu kayma modülü ve sönüm oranı değerleri iterasyonla elde edilmekte, ancak bu iterasyon için başlangıç değerlerine gereksinim duyulmaktadır. Şekil 4.53'te gösterilen tabakalara ait başlangıç dinamik özellikleri ova ve tepe bölgesi için Çizelge 4.4'te verilmiştir. Çizelgede parantez içi değerler üst tabakanın kum olması durumunu göstermektedir. Çizelgede verilen kayma dalgası hızı ve kayma modülü değerleri, ait olduğu tabaka içinde ağırlıklı ortalamaları göstermektedir.

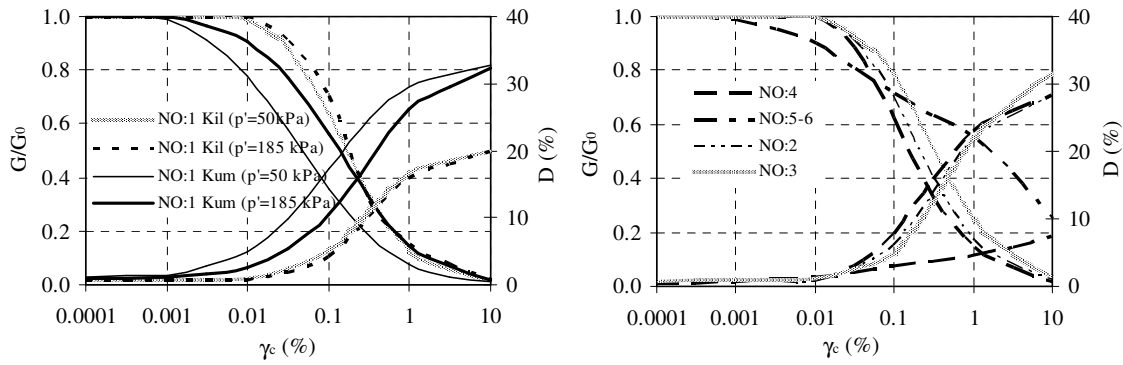
Çizelge 4.4 : Dinamik analizlerde kullanılan zemin tabakalarının özellikleri.

Tabaka No:	Ova Bölgesi			Tepe Bölgesi		
	NO:1	NO:2	NO:3	NO:4	NO:5	NO:6
V_s (m/s)	235	475	700	400	700	1200
ρ (t/m ³)	1.85	2.00	2.10	1.90	2.00	2.20
G_0 (MPa)	102	451	1029	304	980	3168
ν	0.45 (0.30)	0.35	0.30	0.33	0.30	0.25
E_0 (MPa)	296 (266)	1218	2675	809	2548	7920

V_s : Kayma Dalgası Hızı, G_0 : Kayma Modülü, ν : Poisson Oranı, E_0 : Young Modülü

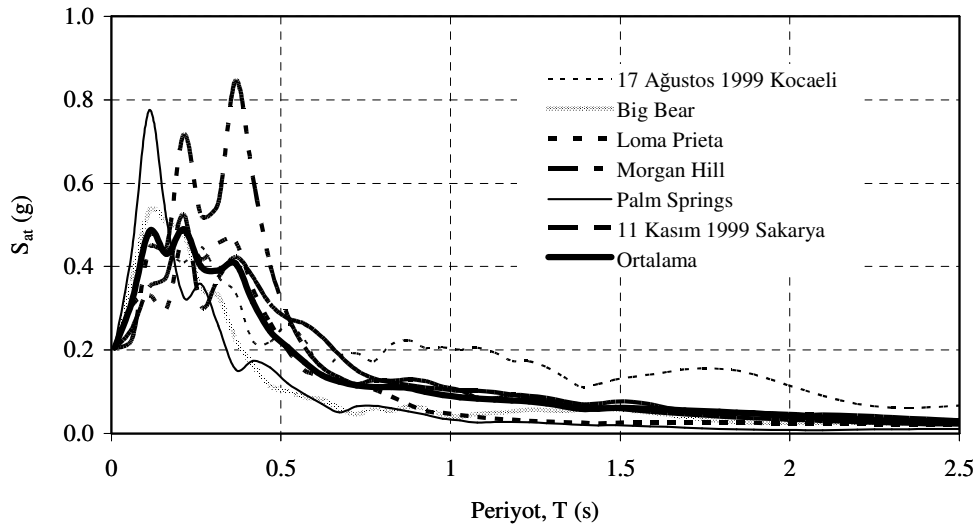
Eşdeğer lineer analizde kullanılan tabakalara ait normalize kayma modülü (G/G_0) ve sönüm oranlarının (D) tekrarlı kayma deformasyonu (γ_c) ile değişimi, tabakaların

etkisinde kaldığı efektif çevre gerilmeleri de dikkate alınarak Ishibashi ve Zhang (1993) tarafından önerilen bağıntılardan elde edilmiş ve Şekil 4.54'te gösterilmiştir.



Şekil 4.54 : Analizlerde kullanılan tabakalara ait kayma modülleri ve sönüm oranları.

Anakayadaki deprem hareketinin frekans özellikleri depremin büyüklüğüne, tektonik yapı ve kırılma mekanizmasına, merkezüstü uzaklığına ve dalga yayılma yolu özelliklerine bağlıdır. Anakayadaki deprem hareketinin frekans içeriğinin zemin tabakalarının dinamik davranışına etkisini yansıtmak amacıyla analizlerde yurtiçi ve yurtdışında anakaya mostrasında kaydedilmiş farklı frekans içeriğine sahip ($v_{maks_k}/a_{maks_k}=0.03\sim0.09$) altı adet ivme kaydı kullanılmıştır. İvme kayıtları uygun frekans sınırları içerisinde filtrelenmiş ve taban düzeltmeleri yapılmıştır.



Şekil 4.55 : Analizlerde kullanılan depremlere ait mutlak ivme spektrumları.

Dinamik analizin yapılacağı bölgede anakayadaki en büyük ivme değeri, deprem büyüklüğü, odak derinliği ve merkezüstü uzaklığına bağlı olarak azalım ilişkilerinden elde edilebilmektedir. Seçilen modelde kullanılan en büyük anakaya ivmesi değeri, deprem büyüklüğü 7.4, odak derinliği yaklaşık 15 km ve merkez üstü uzaklığı 20 km olduğu kabul edilerek Özbey ve diğ. (2004) tarafından ülkemiz için

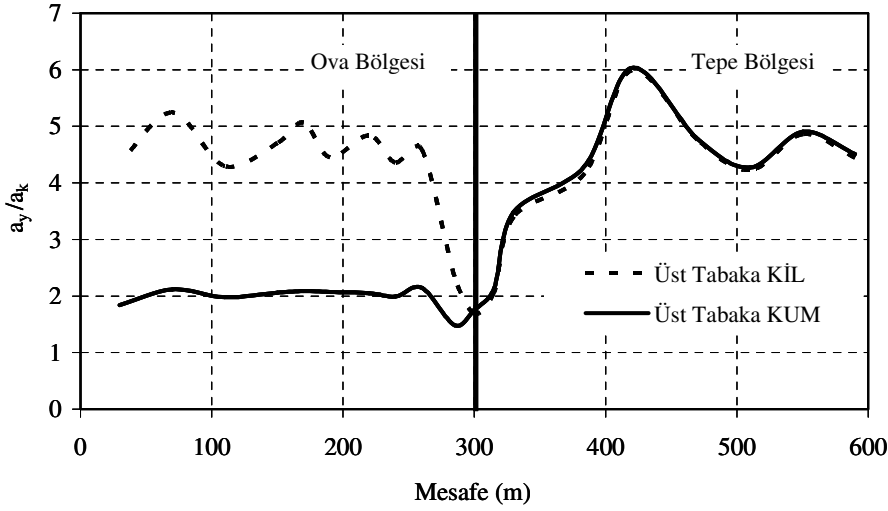
geliştirilmiş azalım ilişkisi yardımıyla hesaplanmıştır. Bu hesaplama sonucunda modele etkiyecek anakaya ivmesi 0.2 g olarak elde edilmiş ve seçilen tüm deprem kayıtları en büyük ivmeleri bu değer olacak şekilde ölçeklendirilmiştir. Seçilen depremlere ait mutlak ivme spektrumları Şekil 4.55'te verilmiştir.

Yapılan çalışmada zeminlerin dinamik davranış özelliklerini belirlemek için bir boyutlu dinamik analizlerde eşdeğer lineer malzeme modelini kullanan EERA yazılımı, iki boyutlu dinamik analiz için ise frekans ortamında çalışan Flushplus sonlu elemanlar programı kullanılmıştır. Şekil 4.53'te verilen model, iki boyutlu dinamik analizde anakaya seviyesinde düzlem içinde her iki doğrultuda mesnetli olarak tutulmuştur. Yatayda sonsuza uzandığı varsayılan zemin tabakalarının sisteme olan etkisi düşey sınırlarda viskoz sönümleyiciler kullanılarak modellenmiştir.

4.3.1 Bir ve iki boyutlu dinamik analiz sonuçlarının karşılaştırılması

Ova kesimindeki en üst zemin tabakasının yüksek plastisiteli kil veya siltli kum olması durumunda seçilen altı anakaya ivme kaydının herbiri kullanılarak zemin yüzeyinde önceden belirlenmiş 19 ayrı nokta için, frekans ortamında çalışan Flushplus sonlu elemanlar programı ile iki boyutlu dinamik analizler yapılmıştır. Bu analizler sonucunda zemin yüzeyindeki ivme zaman geçmişleri elde edilmiş ve en büyük yatay ivme değerleri belirlenmiştir. Anakaya seviyesinden en büyük değeri 0.2 g olarak etkitilen ivmeler, üst tabakanın kum olması durumunda zemin yüzeyinde ortalama 0.4 g olarak elde edilmişken; üst tabakanın kil olması halinde yaklaşık 0.85 ile 1 g arasında değişmektedir. Basamak şeklindeki topoğrafyaya sahip tepe kesiminde ise en büyük yatay ivme 1.2 g değerine kadar yükselmiştir.

Yüzeyde seçilen noktalarda 6 ayrı deprem hareketi için hesaplanan en büyük ivme değerlerinin ortalaması alınarak o nokta için bir değer elde edilmiş ve bu ortalama ivme değeri (a_y) anakaya ivmesine (a_k) oranlanarak zemin büyütme oranı tanımlanmıştır. Seçilen koordinat sistemine bağlı olarak zemin büyütme oranının mesafe ile değişimi üst tabakanın kum ve kil olması durumu için Şekil 4.56'da verilmiştir. Şekilden de görülebileceği gibi, basamak şeklindeki topoğrafya, hareketin şiddetini arttırmakta ve tepe kesiminde oldukça yüksek büyütme değeri ile karşılaşmaktadır. Özellikle en üst tabakanın kum olması durumunda, ova ve tepe kesimindeki büyütme oranları arasındaki fark daha belirgin olmaktadır. Üst tabakanın kil olması durumunda ise bu fark azalmaktadır.



Şekil 4.56 : Zemin büyütmesinin mesafe ile değişimi.

Küçük ve orta büyüklükteki depremlerde suya doymuş yüksek plastisiteli kil zeminlerde elastik ve elasto-plastik davranış hakim olmaktadır. Bu durumda kayma modülündeki azalmanın belirgin hale gelmesi için daha büyük kayma şekil değiştirmelerinin oluşması gerekmektedir. Bu nedenle özellikle yüksek plastisiteli killerde kayma şekil değiştirmelerinin küçük değerleri için kumlara oranla daha yüksek spektral büyütmeyle karşılaşmaktadır. Kum zeminlerde ise rijitlik azalımı killere göre daha küçük kayma şekil değiştirmelerinde başlamakta, sönüm oranının da daha yüksek olması nedeniyle yüzeyde daha küçük büyütme elde edilmektedir.

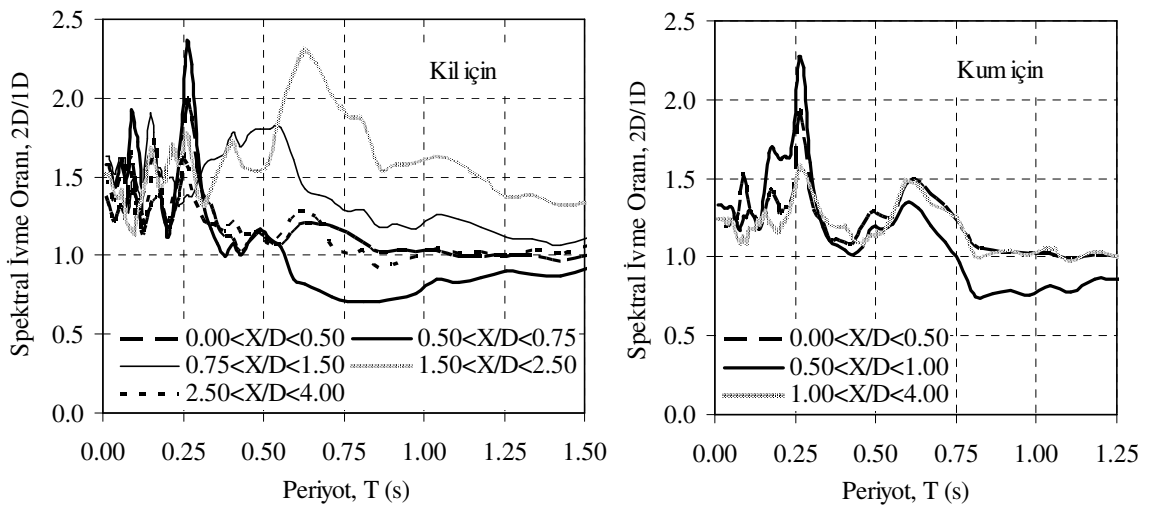
Bir ve iki boyutlu dinamik analiz sonuçlarını karşılaştırabilmek için, ova ve tepe kesiminde iki boyutlu analizde kullanılan malzeme parametreleri ve ivme kayıtları ile ayrı ayrı bir boyutlu analizler yapılmış, mutlak ivme spektrumları (1D) hesaplanmıştır. Yüzeydeki değişik noktalarda iki boyutlu analizlerden hesaplanan ivme spektrumlarının ortalamaları (2D), bir boyutlu analizden elde edilenlere oranlanarak frekans ortamında bir karşılaştırma yapılmıştır. Spektral ivme oranları (2D/1D), ovanın en üst tabakasının kil ve kum olduğu durum için Çizelge 4.5 ve Şekil 4.57'de verilmiştir. Çizelgedeki T; spektral oranın en büyük olduğu periyodu, X; ovanın başlangıcından itibaren mesafeyi, D; ise derinliği göstermektedir.

Üst tabakanın kil olması durumunda, özellikle kenardaki anakaya dalımının ova tabanına ulaştığı bölgenin yüzeydeki izdüşümünde ($0.5 < X/D < 0.75$) yer alan kısımda, iki boyutlu analizle hesaplanan spektral oran yüksek frekanslarda en büyük değerini almaktadır. X/D oranının 0.75 değerinden itibaren hakim periyotlarda sağa doğru bir ötelenme görülmekte ve X/D oranının 1.5-2.5 aralığında hakim periyotlar en büyük değerine ulaşmaktadır. Bu davranış bu bölgelerde dalga dönüşümlerinin etkisinin

ortaya çıktığına işaret etmektedir. Ova ortasına doğru artan mesafe ile daha yüksek periyotlarda bir ve iki boyutlu analiz sonuçları arasındaki fark azalmaktadır. Pitalakis (2004) tarafından yapılan bir çalışmada da benzer sonuçlara ulaşılmış ve vadi kenarlarında oluşan yerel dalga dönüşümleri nedeni ile özellikle bir boyutlu hakim periyot civarında büyütmelelerde ek artışların olacağına işaret edilmiştir. Üst tabakanın kum olması durumunda ise yüksek periyotlarda ovanın farklı kesimlerinde benzer davranışlar gözlenmekte ancak anakayanın yüzeydeki izdüşüm bölgesinde düşük periyotlarda 2D/1D spektral ivme oranındaki artış, kil durumu ile aynı olmaktadır. Ovanın farklı kesimleri için iki boyutlu analizle elde edilen yüzey ivmesi değerleri, üst tabakalarda lineer olmayan plastik davranışın hakim olması durumunda, ova geometrisine bağlı olmaksızın birbirine çok yaklaşılmaktadır (Psarropoulos vd., 1999).

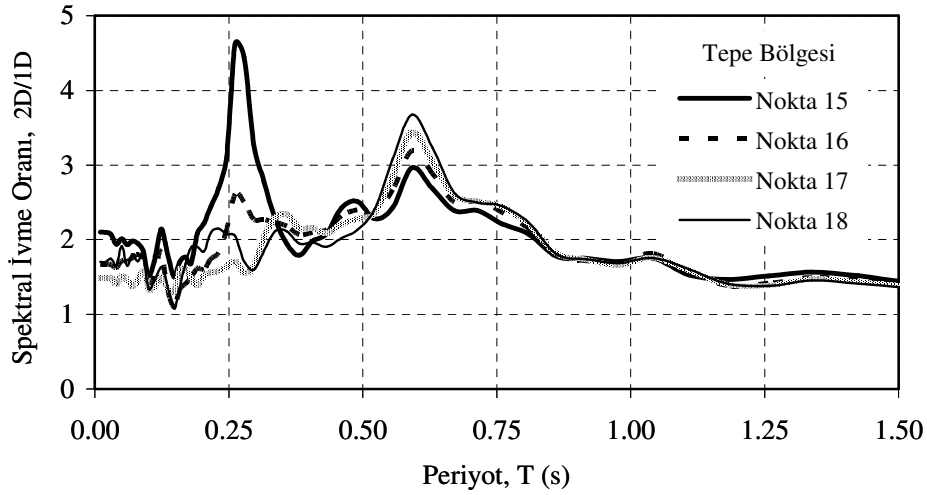
Çizelge 4.5 : Üst tabakanın farklı durumları için 2D/1D spektral ivme oranları.

Üst Tabaka Kil			Üst Tabaka Kum		
X/D	T (s)	Spektral Oran (2D/1D)	X/D	T (s)	Spektral Oran (2D/1D)
0.00-0.50	0.25	2.0	0.00-0.50	0.25	1.9
0.50-0.75	0.25	2.3	0.50-1.00	0.25	2.3
0.75-1.50	0.55	1.9	1.00-1.50	0.25	1.6
1.50-2.50	0.63	2.3	1.50-2.50	0.25	1.5
2.50-4.00	0.25	1.7	2.50-4.00	0.25	1.5



Şekil 4.57 : Bir ve iki boyutlu dinamik analiz sonuçlarının karşılaştırılması.

Tepe bölgesinde bir ve iki boyutlu analiz sonuçlarını karşılaştırmak amacıyla ova kesiminde yapılan işlemler tepe bölgesi için de tekrarlanmıştır. Şekil 4.53'te verilen model üzerinde yer alan 15, 16, 17 ve 18 noktalarında bir ve iki boyutlu analizler sonucunda elde edilen ivme spektrumlarının oranı Şekil 4.58'de verilmiştir.



Şekil 4.58 : Tepe bölgesi için 1D ve 2D dinamik analiz sonuçlarının karşılaştırılması.

Basamak şeklindeki topoğrafyaya sahip bölgenin tepesindeki 15 noktasında 2D/1D spektral ivme oranı, özellikle yerel bir boyutlu hakim periyot ($4H/V_s$) civarında diğer noktalara oranla çok daha büyük değerler almaktadır. Athanasopoulos ve diğ. (1999) tarafından yapılan bir çalışmada da benzer sonuçlara ulaşılmış ve yazarlar dik yamacın tepesindeki yapılarda oluşan yüksek hasarın nedenini bu tür topoğrafyaya sahip bölgelerde hareketin şiddetinde meydana gelen artışa bağlamışlardır.

4.3.2 Sonuçlar

Anakayadaki farklı deprem hareketlerinin, yerel zemin koşullarının ve yüzey topoğrafyasının zemin tabakalarının dinamik davranışına etkisini incelemek amacıyla, ova ve tepe bölgelerinden oluşan bir geometri üzerinde eşdeğer lineer malzeme modeli kullanılarak bir ve iki boyutlu dinamik analizler yapılmıştır. Zemin grubunun dinamik davranışa etkini araştırmak için ova bölgesinde en üstte yer alan zemin tabakası yüksek plastisiteli kil ve siltli kum olarak ayrı ayrı düşünülmüştür. Analizlerde farklı frekans içeriğine sahip altı anakaya depremi kullanılmış ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Anakaya seviyesinden etkiyen ivme değerleri, üst tabakanın kum olması durumunda zemin yüzeyinde ortalama iki katına çıkarken, üst tabakanın kil olması halinde ortalama 4.5 kat artmıştır. Basamak şeklindeki topoğrafyaya sahip tepe kesiminde ise

zemin büyümesi 6 değerine kadar yükselmiştir. Üst tabakanın kil olması durumunda, anakaya dalımının ova tabanına ulaştığı bölgenin yüzeydeki izdüşümünde yer alan kesimlerde, iki boyutlu analizle hesaplanan spektral oran yüksek frekanslarda en büyük değerini almaktadır. Ova ortasına doğru ilerledikçe 2D/1D spektral ivme oranlarının en büyük değerleri, bu bölgelerde meydana gelen dalga dönüşümlerinin etkisiyle daha yüksek periyotlarda oluşmaktadır. Ova ortasına doğru artan mesafe ile özellikle yüksek periyotlarda bir ve iki boyutlu dinamik analiz sonuçları arasındaki fark azalmaktadır. Üst tabakanın kum olması durumunda ise yüksek periyotlarda yüzeyin farklı kesimlerinde birbiri ile benzer davranışlar gözlenmekte, ancak anakayanın yüzeydeki izdüşüm bölgesindeki 2D/1D spektral ivme oranlarında düşük periyotlarda meydana gelen artış, üst tabakanın kil olması durumu ile aynı olmaktadır. İki boyutlu analizle elde edilen spektral ivme değerlerinin bir boyutlu analizle bulunanlardan özellikle düşük periyotlarda farklı olmasının nedeni ova kenarındaki rijit formasyonun ovadaki yatay hareketi sınırlaması sonucu hakim periyotların bir boyutluya göre azalmasıdır.

Anakayadaki deprem hareketinin frekans içeriği analizlerde anahtar parametre durumundadır. Daha önce yapılan çalışmalarda; uzun dalga boyları yani yüksek periyotlar için topoğrafik etkilerin ihmal edilebilir olduğu, bu arada ele alınan geometri ile kıyaslanabilir dalga boyları için topoğrafik etkilerin dikkat çekici hale geldiği gözlenmiştir. İki boyutlu analizle bulunan yüzey ivmeleri üst tabakalarda lineer olmayan plastik davranışın hakim olması durumunda ova geometrisine bağlı olmaksızın birbirine çok yaklaşmaktadır. Lineer olmayan davranışın oluşumunda anakaya ivmesinin şiddeti ve zemin cinsine bağlı dinamik özelliklerin değişimi önemli rol oynamaktadır. Lineer olmayan davranışın başlangıcı, rijitlik azalımının daha küçük kayma şekil değiştirmelerinde başladığı kum zeminlerde daha küçük anakaya ivmesi şiddeti değerleri için görülebilmekte ve ova üzerindeki spektral büyütmeler daha az olup, yüzeydeki değişik noktalarda birbirine yaklaşmaktadır. Rijitlik azalımının daha büyük şekil değiştirmelerde başladığı yüksek plastisiteli killerde doğal olarak daha yüksek tepkiler oluşmakta dolayısıyla 2D/1D spektral ivme oranlarının ova kenarından uzaklıkla değişimi periyoda bağlı olarak açıkça görülebilmektedir.

5. FARKLI GEOMETRİDEKİ OVA/VADİ MODELLERİNİN DİNAMİK DAVRANIŞI

5.1 Giriş

Tez çalışmasının bu bölümünde; zemin tabakalaşmasının ve cinsinin, vadi derinliği ve genişliğinin, deprem hareketinin frekans özellikleri ve şiddetinin zemin büyütmesine ve yüzeydeki deprem hareketinin frekans içeriğine etkisini incelemek amacıyla; kenardaki anakaya eğimi 45° olan, yatay yönde zemin tabakalaşmasına sahip, derinlik ve genişliği farklı olan modeller kullanılarak 1 ve 2 boyutlu dinamik analizler yapılmıştır. Bu modellerde, anakaya üstünde yeralan tabaka kalınlıkları ve başlangıç kayma modülü gibi dinamik özellikler “DBYBHY”te farklı yerel zemin sınıflarını oluşturacak şekilde seçilmiştir. Ayrıca modellerde zemin kesitinde üstte yer alan zemin tabakasının kil veya siltli kum olması durumu ayrı ayrı irdelenmiştir.

Anakayadaki deprem hareketi özelliklerinin ova/vadi modellerindeki harekete etkisini incelemek amacıyla, farklı anakaya depremleri için vadi yüzeyindeki ivme zaman geçmişleri ve mutlak ivme spektrumları elde edilmiş, ayrıca bu değerlerin vadi kenarından olan uzaklığa bağlı olarak değişimleri hesaplanmıştır. Yapılan 2 boyutlu dinamik analizler sonucunda farklı derinliğe ve yerel zemin sınıfına sahip vadilerin yüzeyinde hesaplanan maksimum ivmeler, maksimum anakaya mostrası ivmesine oranlanarak zaman ortamındaki zemin büyütmesi (a_{maks_y}/a_{maks_k}) elde edilmiştir. Yapılan 1 ve 2 boyutlu analiz sonuçlarının birlikte değerlendirilebilmesi ve iki analiz yöntemi arasındaki farkın belirlenebilmesi amacıyla iki boyutlu analizde vadinin farklı noktaları için hesaplanan ivme spektrumları, bir boyutlu analizde elde edilen ivme spektrumlarına oranlanmıştır. Böylece vadinin farklı bölgeleri için 2D/1D spektral ivme oranları elde edilmiştir. Ayrıca basitlik ve anlaşılabilirlik açısından her vadi modelinin belirli bir anakaya ivme büyüklüğü için tek bir 2D/1D spektral ivme oranı eğrisiyle temsil edilebileceği kabul edilerek, her vadi modeli için yüzeyin farklı noktalarında hesaplanan 2D/1D spektral ivme oranlarının ortalaması alınarak, farklı deprem şiddetleri ve vadi modelleri için birbiriyle karşılaştırılmıştır.

5.2 Seçilen Deprem Hareketlerinin Özellikleri

Anakayadaki deprem hareketinin frekans özellikleri depremin büyüklüğüne, sismotektonik yapı ve kırılma mekanizmasına, merkez üstü uzaklığına ve dalga yayılma yolu özelliklerine bağlıdır. Üzerinde 1D ve 2D analizler yapılan modellerde anakayadaki deprem hareketinin ivme değerlerinin ve frekans içeriğinin zemin tabakalarının dinamik davranışına etkisini yansıtmak amacıyla analizlerde, yurt içi ve yurt dışında anakaya mostrasında kaydedilmiş farklı en büyük mutlak ivme (0.1g-0.4g) değerlerine, farklı mühendislik şiddet parametrelerine (Arias şiddeti, a_{rms} , CAV, ASI, VSI vb. gibi) ve farklı periyotlara sahip ($v_{maks_k}/a_{maks_k}=0.03\sim0.12$) beş adet ivme kaydı kullanılmıştır. İvme kayıtları uygun frekans sınırları içerisinde filtrelenmiş ve taban düzeltmeleri yapılmıştır.

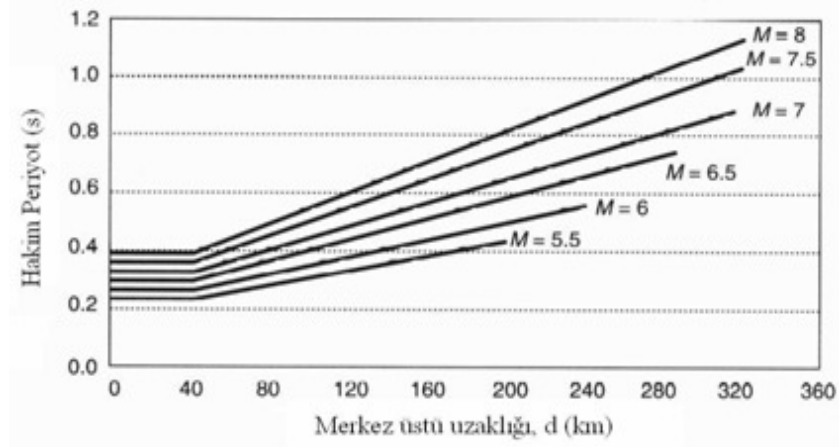
Depremlerin yıkıcılığı, enerji içeriği ve frekans özellikleri farklı deprem şiddet parametrelerinin elde edilmesiyle anlaşılabilir. Yapılan 1D ve 2D analizlerde kullanılan depremlere ait şiddet parametreleri ve frekans özelliklerinin elde edilmesinde kullanılan yöntemler aşağıda kısaca tanımlanacaktır.

v_{maks}/a_{maks} oranı deprem hareketinin frekans içeriğiyle bağlantılıdır. T periyoduna sahip basit harmonik hareket için, v_{maks}/a_{maks} oranı $T/2\pi$ değerine eşittir. Farklı frekansa sahip dalgalardan oluşan deprem hareketi için, $2\pi(v_{maks}/a_{maks})$ değeri, deprem hareketini yansıtan eşdeğer harmonik dalganın periyodu olarak kabul edilebilir. Bu kabul, deprem hareketinin hangi periyot değerlerinin daha dikkat çekici olduğunu göstermek açısından faydalıdır.

Büyük depremler, küçük depremlere göre daha büyük genlikli ve uzun periyotlu dalgalar üretirler. Sonuç olarak yer hareketinin frekans içeriği depremin büyüklüğüne bağlıdır. Ayrıca deprem hareketinin frekans içeriği uzaklıkla da değişir (Şekil 5.1). Frekans içeriğinin uzaklıkla değişiminin bir belirtisi de Fourier genlik spektrumundaki en büyük genlik değerinin yüksek periyotlara doğru ilerlemesidir. Böylece hakim periyot değeri artan uzaklıkla büyümektedir.

Suni anakaya deprem hareketlerinin üretilmesi için en basit ve gerçekçi yaklaşım anakayada kaydedilmiş deprem hareketlerinin belirli sınırlar içinde değiştirilmesi ve geliştirilmesidir. En büyük ivme ve hız değeri gibi maksimum yer hareketi seviyeleri, kaydedilmiş deprem hareketlerinin daha yüksek veya daha düşük değerlere ölçeklendirilmesinde kullanılmaktadır. Krinitszky ve Chang (1979), deprem

hareketinin hedeflenen genliğinin ölçülen deprem hareketinin genliğine oranı olan ölçeklendirme faktörünün 1 değerine olabildiğince yakın olmasını önermişler, bu durum sağlanmazsa ölçeklendirme faktörünün her zaman 0.25 ile 4 arasında olması gerektiğini belirtmişler ve analizlerin farklı ölçeklendirilmiş kayıtlarla yapılabileceğini söylemişlerdir.



Şekil 5.1 : Anakayadaki deprem hareketinin hakim periyodunun depremin büyüklüğüne ve merkez üstü uzaklığına bağlı değişimi (Kramer, 1996).

Vanmarcke (1979), deprem genliğinin ölçeklendirilmesinin, depremin frekans içeriği ve süresi gibi önemli karakteristiklerinde hatalı değişimlere sebep olabileceğine, bu nedenle bu tür bir ölçeklendirmenin üretilecek deprem dalgasının kullanılacağı analizin çeşidine bağlı olması gerektiğini belirtmiştir. Bu ölçeklendirme faktörünün lineer elastik yapısal problemlerin analizinde Krinitzsky ve Chang (1979) tarafından önerilen 0.25 ile 4 değerleri arasında olabileceğini, bununla birlikte sınırlama analizleri için 0.5 ile 2 değerleri arasında kalmasını önermiştir. Yapılacak analizlerde kullanılması planlanan ölçeklendirilmiş deprem kaydıyla gerçek deprem kaydının maksimum ivme veya hız değerlerinin birbirine yakın olması daha önce belirtildiği gibi çok önemlidir fakat tek başına yeterli değildir. Analizlerde kullanılacak ölçeklendirilmiş deprem kaydıyla gerçek deprem kaydının büyüklük, merkez üstü uzaklığı ve sismotektonik yapısı gibi özellikleri de birbiriyle uyumlu olmalıdır. İvme zaman geçişinin ölçeklendirilmesi, gerçek bir deprem kaydının frekans içeriğini ve etkin süresini değiştirecektir. Bu nedenle analizlerde dikkatle kullanılmalıdır.

Kuvvetli yer hareketinin genlik ve frekans içeriğinin etkilerini kapsayan ivmelerin karelerinin ortalamasının karekökü parametresi;

$$a_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T_d} \int_0^{T_d} [a(t)]^2 dt} \quad (5.1)$$

biçiminde tanımlanabilir. Burada T_d kuvvetli yer hareketinin süresini, $a(t)$ ivme genliklerini göstermektedir. Bağntıdaki integral, çok kısa zaman aralıklarında meydana gelen büyük genlikli yüksek frekanslı ivme değerlerinden fazla etkilenmediği ve deprem süresinin etkisini de kapsadığı için, a_{rms} parametresi mühendislik amaçlar için çok uygundur. Bununla birlikte kuvvetli yer hareketinin süresini tanımlamak için kullanılan metoda karşı hassastır. a_{rms} ivmesiyle yakın ilişkili diğer parametre de aşağıda verilen Arias şiddetidir (Arias, 1970);

$$I_a = \frac{\pi}{2g} \int_0^{\infty} [a(t)]^2 dt \quad (5.2)$$

birimi hız cinsindendir ve genellikle m/s ile tanımlanır. Arias şiddeti ivme genliklerinin karelerinin depremin toplam süresi için integre edilmesiyle hesaplanır. Bu nedenle kuvvetli yer hareketinin süresinin tanımlanmasında kullanılan yöntemden etkilenmez. Eklenik mutlak hız (CAV, Cumulative Absolute Velocity), kuvvetli yer hareketinin mutlak ivme zaman geçmişinin altında kalan alana eşittir:

$$CAV = \int_0^{T_d} |a(t)| dt \quad (5.3)$$

Eklenik mutlak hız değerinin büyümesi yapısal hasar potansiyelinin artacağı anlamına gelmektedir. Von Thun vd. (1988), % 5 sönümlü görelî hız spektrumunun 0.1-2.5 saniye periyot değerleri arasında integre edilmesiyle elde edilen değeri

$$VSI = \int_{0.1}^{2.5} S_v (\xi = 0.05, T) dT \quad (5.4)$$

hız spektrumu şiddeti (VSI, Velocity Spectrum Intensity) olarak tanımlamıştır. Hız spektrumu şiddeti genellikle 0.6 ile 2 saniye arasında hakim periyoda sahip zemin yapıları ve toprak dolgu barajların deprem hareketi karşısındaki davranışının elde edilmesinde önemli hale gelmektedir (Makdisi ve Seed, 1978). 0.5 saniyeden daha küçük hakim periyoda sahip beton barajların kuvvetli yer hareketi altındaki

davranışının karakterize edilmesi için yine Von Thun vd. (1988) tarafından önerilen ivme spektrumu şiddeti,

$$ASI = \int_{0.1}^{0.5} S_a (\xi = 0.05, T) dT \quad (5.5)$$

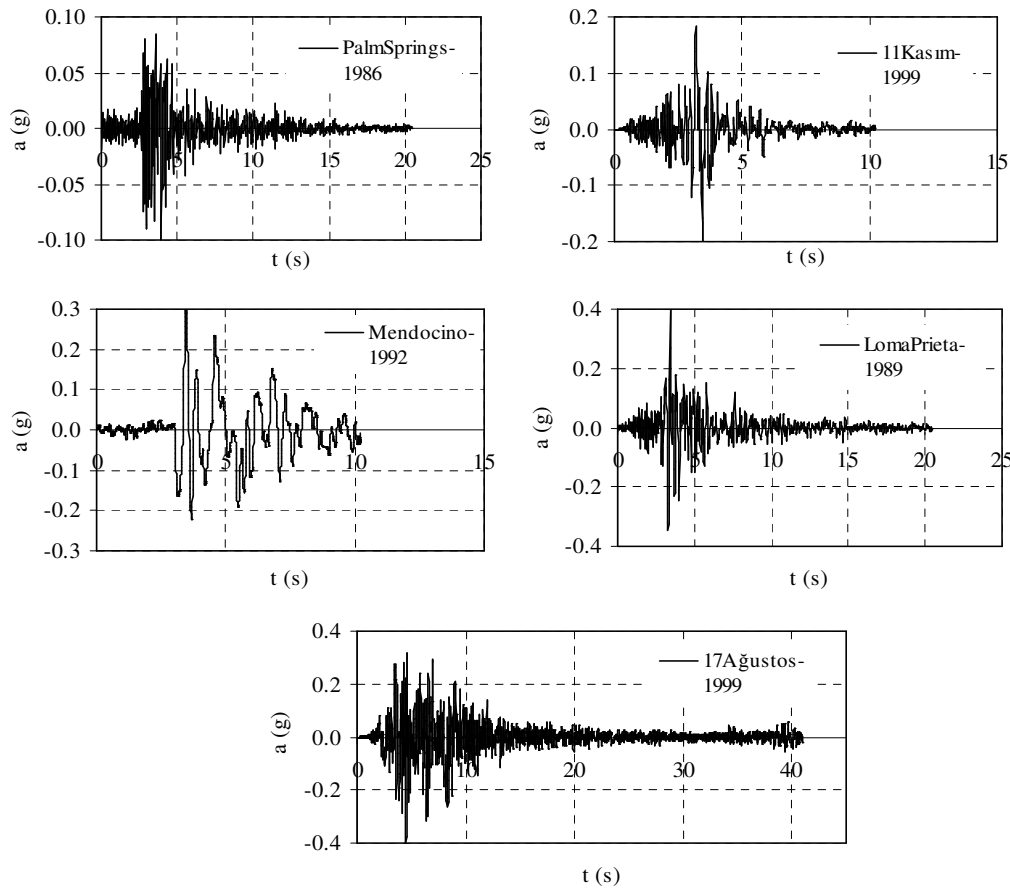
kullanılabilir. İvme spektrumu şiddeti (ASI, Acceleration Spectrum Intensity), ivme spektrumunun 0.1 ile 0.5 saniye periyotlar arasında integre edilmesiyle elde edilmektedir. En büyük sürekli ivme (SMA, Sustained Maximum Acceleration), ivme zaman geçmişindeki üç çevrim sırasında sürekliliğini koruyan en büyük ivme değeridir ve ivme zaman geçmişinde üçüncü en yüksek mutlak ivme olarak tanımlanır. Bu parametre, yapılarda hasarın oluşması için aynı genliğe sahip en az birkaç çevrime ihtiyaç duyulduğu için maksimum ivme değerinden daha anlamlıdır.

Toplam Arias şiddetinin % 95'ini içeren ivme seviyesi A95 parametresidir. Yani, ivme zaman geçmişinin bütün değerleri kullanılarak hesaplanan Arias şiddeti % 100 olarak tanımlanıyorsa, A95 parametresi; ivme zaman geçmişinin en büyük ve en küçük değerleri üstten ve alttan kesildiğinde toplam Arias şiddetinin % 95'ini veren eşik ivme değeridir.

Kuvvetli yer hareketinin süresinin deprem hasarı üzerinde kuvvetli etkisi olabilir. Zemin ve yapılarda rijitlik azalımı ve suya doymun gevşek kumlarda boşluk suyu basıncının artması gibi fiziksel işlemler deprem sırasında oluşan gerilme çevrimi sayısına karşı hassastır. Deprem dalgalarının genliği yüksek olsa bile, deprem süresinin kısa olması halinde yapısal hasarlar meydana gelmesi için gerekli gerilme çevrimi sayısı oluşmayacaktır. Diğer taraftan genliği çok yüksek olmayan fakat süresi uzun olan depremler, hasarın oluşması için yeterli gerilme çevrim sayısının oluşmasına imkan verecektir. Kuvvetli yer hareketinin süresi, fay boyunca birikmiş olan şekil değiştirme enerjisinin serbest kalması için gerekli süre ile ilişkilidir. Fay kırılma yüzeyi genişledikçe, kırılmanın oluşması için gerekli süre artacaktır. Sonuç olarak kuvvetli yer hareketinin süresi depremin büyüklüğü arttıkça uzayacaktır. Mühendislik amaçları açısından, ivme-zaman geçmişinin sadece kuvvetli hareket kısmı önemlidir. İvme zaman geçmişindeki kuvvetli yer hareketinin süresini elde edebilmek için farklı yaklaşımlar ortaya atılmıştır. Bolt (1969) tarafından önerilen süre (bracketed duration), belli bir ivme eşliğinin (0.05 g) ilk ve son aşılma zamanları arasındaki süre olarak tanımlanır. Diğer bir terim olan anlamlı süre (significiant

duration), toplam Arias şiddetinin % 5'i ile % 95'inin olduğu zaman dilimleri arasındaki süredir.

2 boyutlu vadi modellerinin dinamik analizinde kullanılacak ivme zaman geçmişleri vadi modellerine anakaya seviyesinde etkiyeceği için, anakayada kaydedilmiş depremlerin frekans özelliklerine sahip olmalıdır. Anakayada kaydedilmiş ivme zaman geçmişlerinin frekans özellikleri depremin büyüklüğüne, sismotektonik yapı, kırılma mekanizması, merkezüstü uzaklığı ve dalga yayılma yolu özelliklerine bağlıdır.

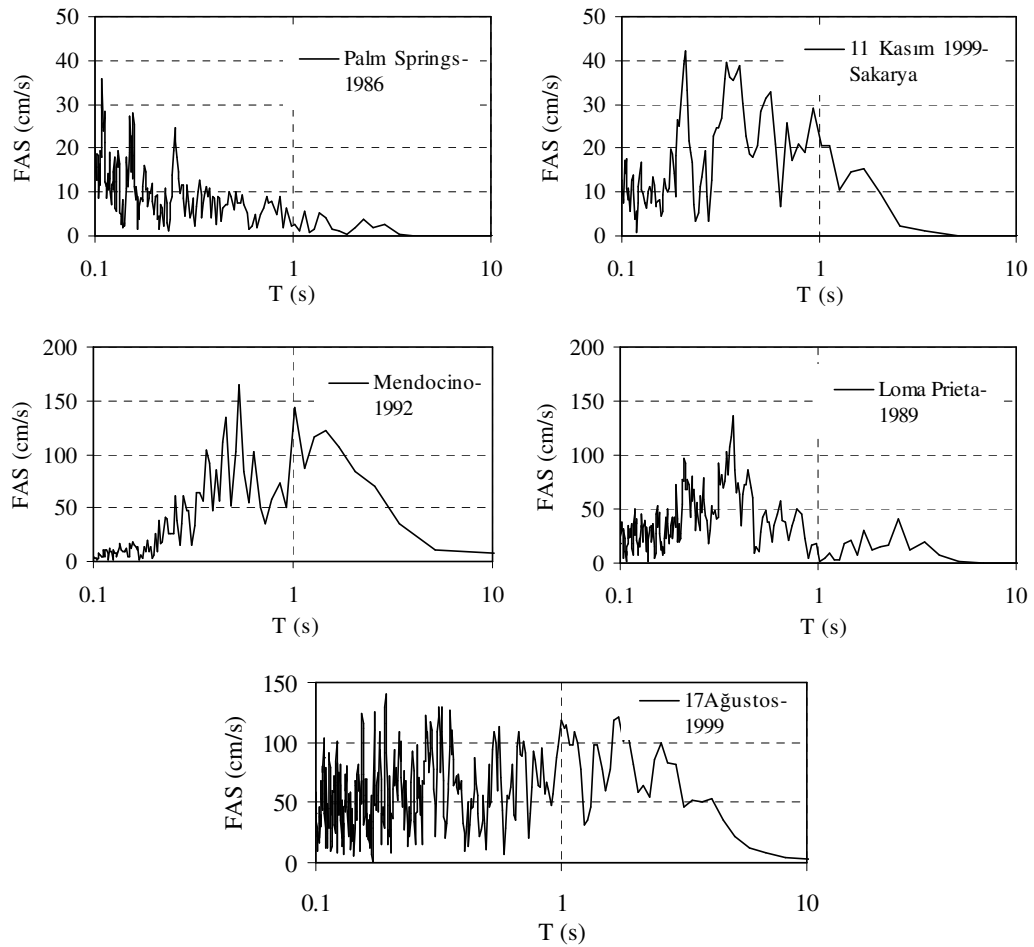


Şekil 5.2 : Dinamik analizlerde kullanılan ölçeklendirilmiş anakaya ivme-zaman geçmişleri.

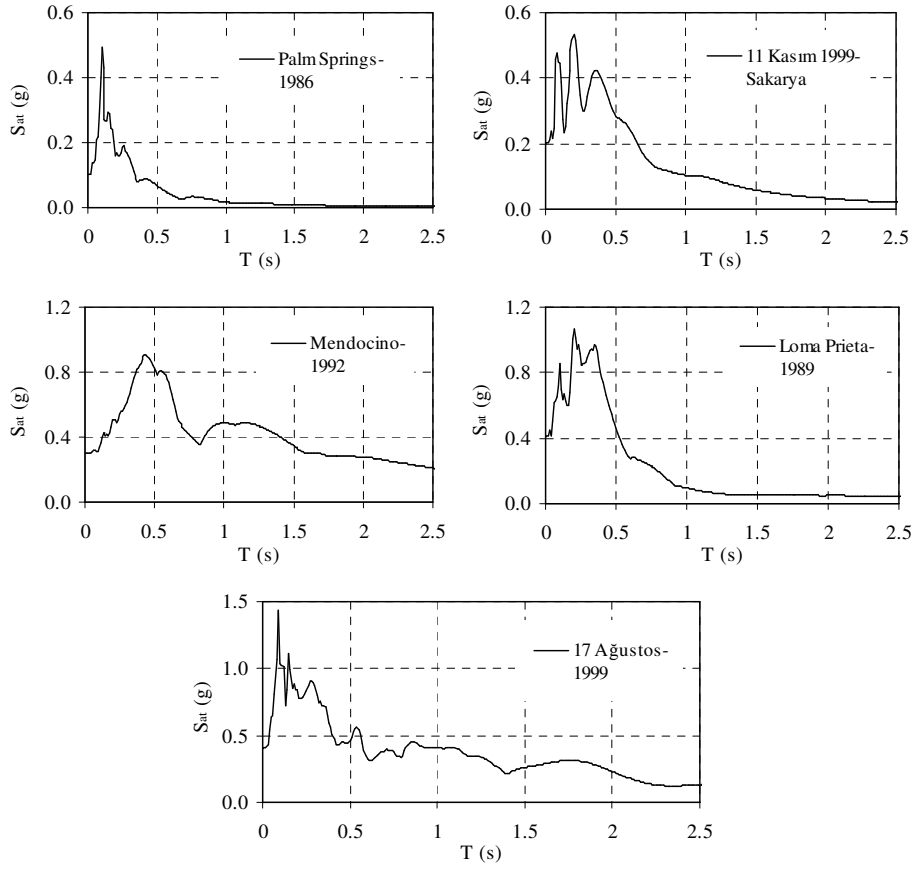
Yapılacak bir ve iki boyutlu analizlerden elde edilecek sonuçların özellikle Türkiye Kuzey Anadolu fay hattının sismotektonik yapısının özelliklerini yansıtması istendiğinden analizlerde ikisi Sakarya Bayındırlık ve İskan Müdürlüğü binasında 17 Ağustos Kocaeli ve 11 Kasım Sakarya depremlerinde, diğer üç tanesi Amerika San Andreas fay hattı üzerinde kaydedilmiş toplam beş adet kuvvetli ivme zaman geçmişi kullanılmıştır. Sakarya Bayındırlık ve İskan Müdürlüğü binasının bulunduğu yerde

kumtaşı formasyonu bulunmaktadır ve SPT-N30 değerleri 50'den büyük olması dolayısıyla bu bölgenin mühendislik anakaya olarak kabul edilebileceği düşünülmüştür. Yurt dışı depremleri, sismotektonik yapısı Kuzey Anadolu fay hattıyla uyumlu ve sağ yanal atımlı faylanma mekanizmasına sahip olan San Andreas fay hattı üzerinde oluşan 1989 Loma Prieta, 1992 Mendocino ve 1986 Palm Springs depremlerinde USGS tarafından kaya ve ayrılmış granit gibi formasyonlar üzerinde konumlandıkları belirtilen istasyonlarda alınmış kayıtlardan oluşmaktadır.

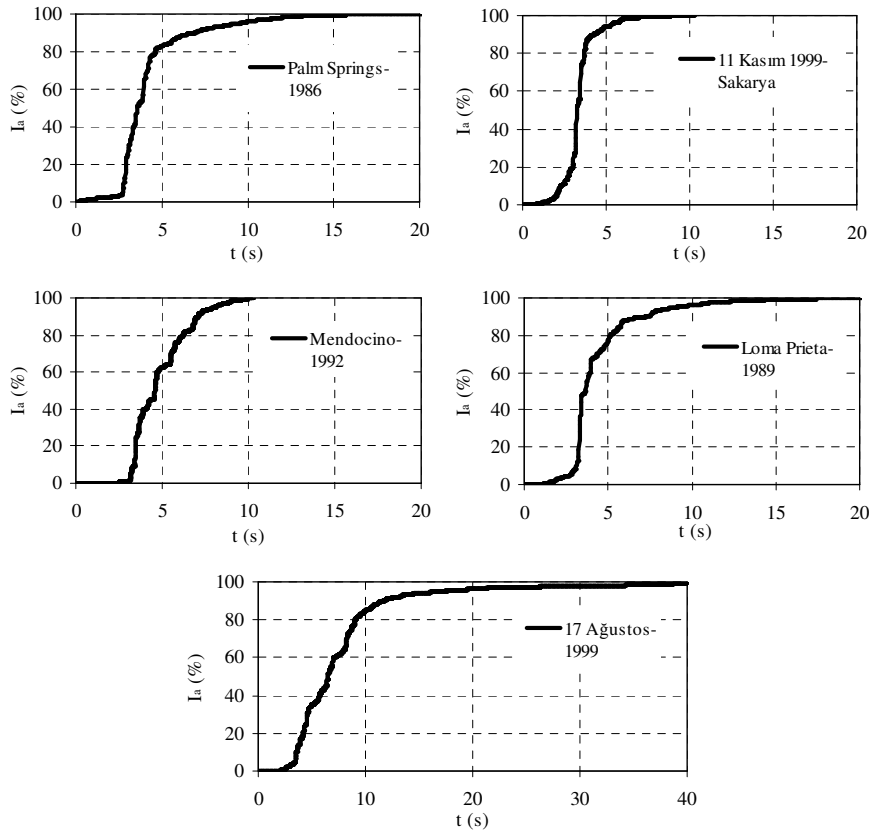
Yapılacak dinamik analizlerde kullanılan farklı ivme zaman geçmişlerinin en büyük mutlak ivme değerleri, depremlerin frekans içeriğinin değişmemesi için, orijinal deprem kayıtlarındaki en büyük mutlak ivmelerin 0.1 g, 0.2 g, 0.3 g ve 0.4 g değerlerinden en yakın olanına ölçeklendirilmesiyle elde edilmiştir. Bir ve iki boyutlu dinamik analizlerde kullanılan ivme zaman geçmişleri Şekil 5.2'de, Fourier spektrumları Şekil 5.3'te, mutlak ivme spektrumları Şekil 5.4'te ve Arias şiddetlerinin zamana bağlı değişimleri Şekil 5.5'te gösterilmiştir.



Şekil 5.3 : Dinamik analizlerde kullanılan ivme-zaman geçmişlerinin Fourier spektrumları.



Şekil 5.4 : Analizlerde kullanılan ivme-zaman geçmişlerinin mutlak ivme spektrumları.



Şekil 5.5 : Analizlerde kullanılan ivme-zaman geçmişlerinin Arias şiddeti grafikleri.

Çizelge 5.1 : Dinamik analizlerde kullanılan depremlerin genel bilgileri, şiddet parametreleri, frekans ve süre özellikleri.

Orijinal Kayıt	Palm Springs-1986	Sakarya-11/11/1999	Mendocino-1992	Loma Prieta-1989	Kocaeli-17/8/1999
İstasyon	Silent Valley	Sakarya Bay. ve İsk. Müd.	Cape Petrolia_EEL River Valley	Santa Cruz Mountains	Sakarya Bay. ve İsk. Müd.
Formasyon	Ayrılmış Granit	Kumtaşı	Kaya	Kaya	Kumtaşı
Büyüklik	$M_L=5.9$	$M_d=5.7$	$M_L=6.5$	$M_s=7.1$	$M_d=7.4$
Derinlik (km)	11.1	8.9	14.6	18.0	18.0
Merkez üstü uzaklığı (km)	19.5	17.5	15.0	2.8	35.0
a_{maks_k} (g)	0.10	0.21	0.21	0.43	0.41
Ölçeklendirilmiş Kayıt					
Büyüklik, M	6.0	6.7	7.2	7.6	7.6
a_{maks_k} (g)	0.1	0.2	0.3	0.4	0.4
v_{maks_k} (cm/s)	2.7	13.8	36.7	21.6	36.5
d_{maks_k} (cm)	3.0	1.6	14.2	3.8	16.3
$2\pi v_{maks_k}/a_{maks_k}$ (s)	0.17	0.44	0.78	0.34	0.58
a_{rms} (cm/s ²)	14.9	29.6	70.5	47.3	51.2
I_a (m/s)	0.07	0.14	0.82	0.73	1.72
CAV (cm/s)	164.2	166.9	474.6	518.4	1161.0
VSI (cm)	10.3	40.4	166.3	70.1	134.1
ASI (cm/s)	58.0	147.1	254.4	302.6	286.5
SMA (cm/s ²)	41.4	103.0	217.5	146.6	286.3
A95 (cm/s ²)	96.9	193.7	292.4	393.5	384.8
Parantezlenmiş süre (Bracketed Duration) (s)	17.3	8.9	9.1	16.6	39.6
Anlamli süre (s)	6.7	3.2	4.9	6.2	13.5

Yapılacak 1 ve 2 boyutlu dinamik analizlerde kullanılan eşdeğer lineer malzeme modelindeki efektif kayma şekil değiştirmesi katsayısının deprem büyüklüğüyle bağlantılı olduğu gözönüne alınarak maksimum ivmeleri 0.1 g ile 0.4 g arasında değişecek biçimde ölçeklendirilmiş depremlerin büyüklükleri, Özbey ve diğ. (2004) tarafından ülkemizde Kuzey Anadolu Fay hattı için verilen azalım ilişkisi,

$$\log_{10} A_{Anakaya} = 3.287 + 0.503 (M - 6) - 0.079 (M - 6)^2 - 1.1177 \log_{10} \sqrt{R^2 + h^2} \quad (5.6)$$

bağıntısı yardımıyla hesaplanmıştır. Bağıntıda odak derinliğinin (h) yaklaşık 15 km olduğu ve vadi modelinin depremin merkez üstünde olduğu varsayılmıştır. Bu

şekilde, yeniden ölçeklendirilmiş olan depremler için Kuzey Anadolu Fay hattı mekanizmasıyla uyumlu yeni büyüklükler elde edilmiştir. 1 ve 2 boyutlu dinamik analizlerde kullanılan ivme zaman geçmişlerinin ait olduğu depremlere ait orijinal bilgiler, ölçeklendirilmiş ivme zaman geçmişlerini meydana getirdiği kabul edilen depremlerin genel bilgileri ve bunlara ait deprem şiddet parametreleri, frekans ve süre özellikleri Çizelge 5.1’de verilmiştir.

5.3 İki Boyutlu Dinamik Analizler

Zemin büyütmesi olarak tanımlanan deprem dalgasının genliğinde meydana gelen artış; anakaya derinliği, anakaya üzerindeki zemin tabakalarının kalınlığı ve dinamik özellikleri, zemin tabakalarının yanal düzensizliği ve topoğrafik özellikler gibi yerel zemin koşullarından etkilenmektedir. Topoğrafik özellikler, hem yüzey hem de yüzey altındaki zemin tabakalarının iki veya üç boyutlu geometrisiyle, bu tabakaları sınırlayan anakayanın geometrisini kapsamaktadır (Haşal ve İyisan, 2004). Zemin tabakalarının yatay doğrultuda sınırlı genişliğe sahip olması, vadi kenarlarında dalga dönüşümlerine sebep olmakta, hareketin frekans içeriği ve yüzeydeki etkisi ova veya vadilerin kenarlarından ortasına doğru değişebilmektedir. Deprem hareketinde meydana gelen bu değişime vadi derinliği, genişliği, anakayanın eğimi, zemin tabakalaşması ve anakayadaki deprem hareketinin özellikleri etki etmektedir.

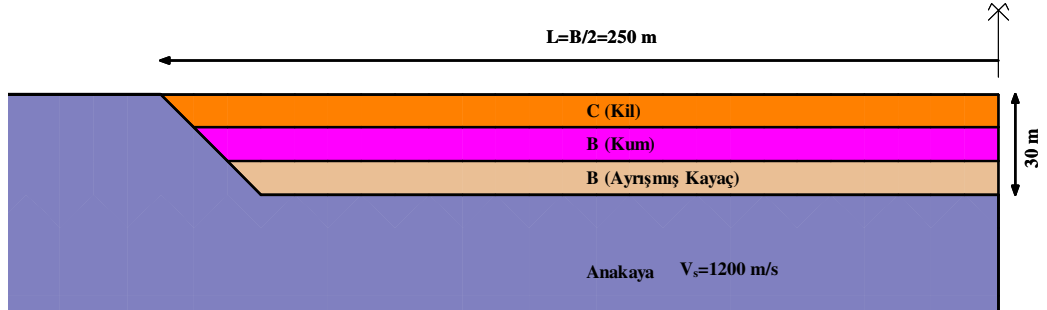
Çizelge 5.2 : Bir ve iki boyutlu dinamik analizlerde kullanılan zemin grupları ve tabaka kalınlıkları.

Tabaka Sayısı		2		3
Zemin Grupları		D-B	C-B	D-C-B
Genişlik, B (m)	Derinlik, D (m)			
500	30	10+20 (Z3)	10+20 (Z2)	-
	60	10+50 (Z3) 30+30 (Z4)	10+50 (Z2) 30+30 (Z3)	10+40+10 (Z3) -
	100	-	50+50 (Z3)	10+40+50 (Z3) 30+30+40 (Z4)
1000	100	-	50+50 (Z3)	10+40+50 (Z3) 30+30+40 (Z4)

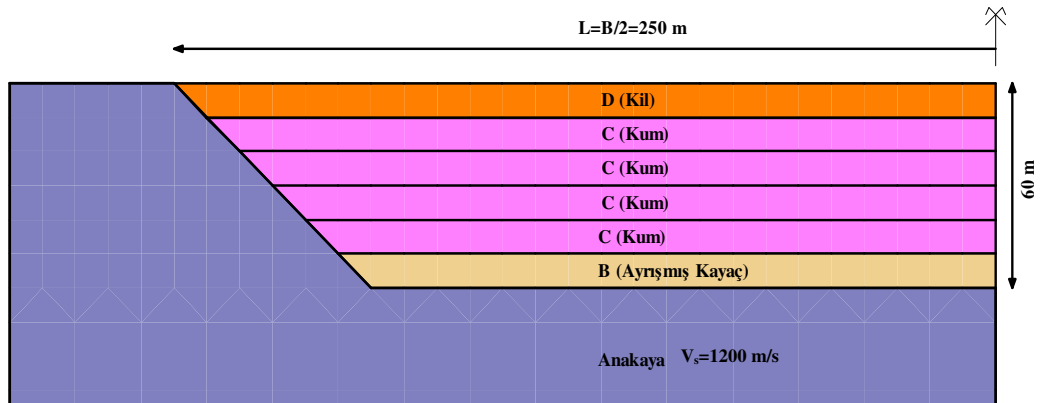
Zemin tabakalaşmasının, vadi derinliği ve genişliğinin, deprem hareketinin frekans özellikleri ve şiddetinin zemin büyütmesine ve yüzeydeki deprem hareketinin frekans

içeriğine etkisini incelemek amacıyla; anakaya eğimi 45° olan, yatay yönde zemin tabakalaşmasına sahip, derinlik ve genişliği farklı olan modeller kullanılarak 1 ve 2 boyutlu dinamik analizler yapılmıştır. Bu modellerde anakaya üstünde yeralan tabaka kalınlıkları ve başlangıç kayma modülü gibi dinamik özellikler “DBYBHY”te farklı yerel zemin sınıflarını oluşturacak şekilde seçilmiştir (Çizelge 5.2).

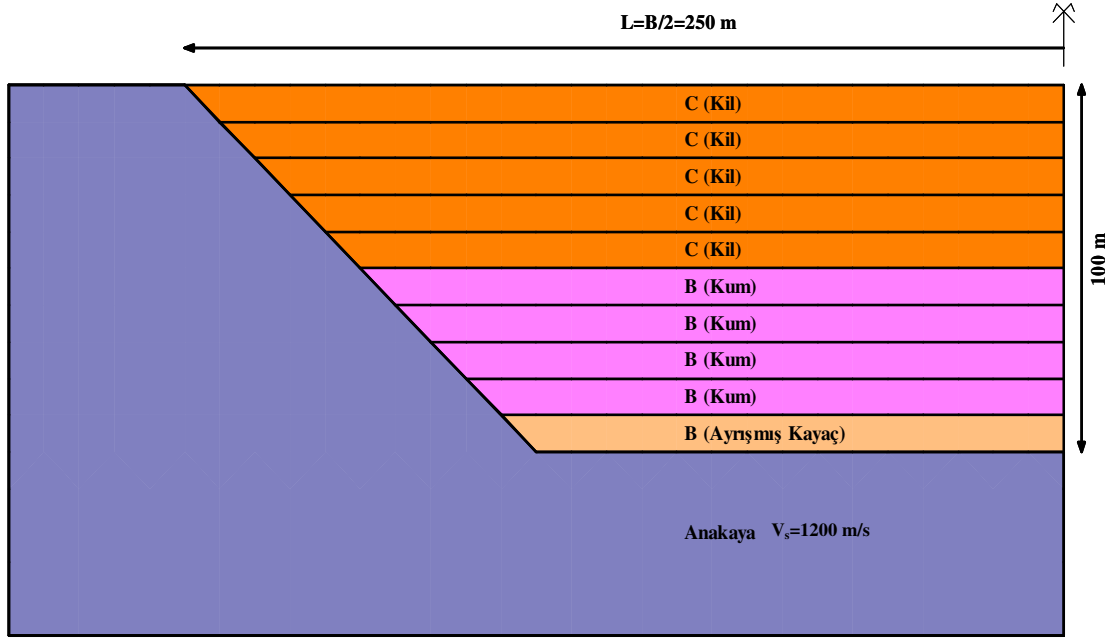
Vadi genişliğinin $B=500$ m olduğu modelde derinlikler $D=30$ m, 60 m ve 100 m olarak seçilmiş, $B=1000$ m olan modelde ise derinlik $D=100$ m olarak kullanılmıştır. Bütün modellerde vadi derinliğinin en altında yeralan ve zemin tabakalarıyla anakaya arasındaki geçişi sağlayan 10 m kalınlığında ayrılmış kayaç tabakası bulunduğu varsayılmıştır. Bu tabakanın kayma dalgası hızı $V_s=700$ m/s alınmış ve zemin tabakalarından çok daha rijit olan anakaya geçişi sağlayarak rijitlik farklılığını azaltacak bir tabaka olarak kullanılmıştır. Bütün vadi modellerinde en üst tabakanın kil ($I_p=\% 30$) ve siltli kum olması durumu ayrı ayrı ele alınmıştır. Modellerde üst tabaka kil ($I_p=\% 30$) olduğu zaman altındaki tabakanın siltli kum, en üst tabaka siltli kum olduğu zaman altındaki tabakanın kil ($I_p=\% 30$) olduğu kabul edilmiştir. Farklı derinlik, genişlik ve zemin grubu kombinasyonlarına sahip modeller Şekil 5.6, 5.7, 5.8 ve 5.9’da gösterilmiştir.



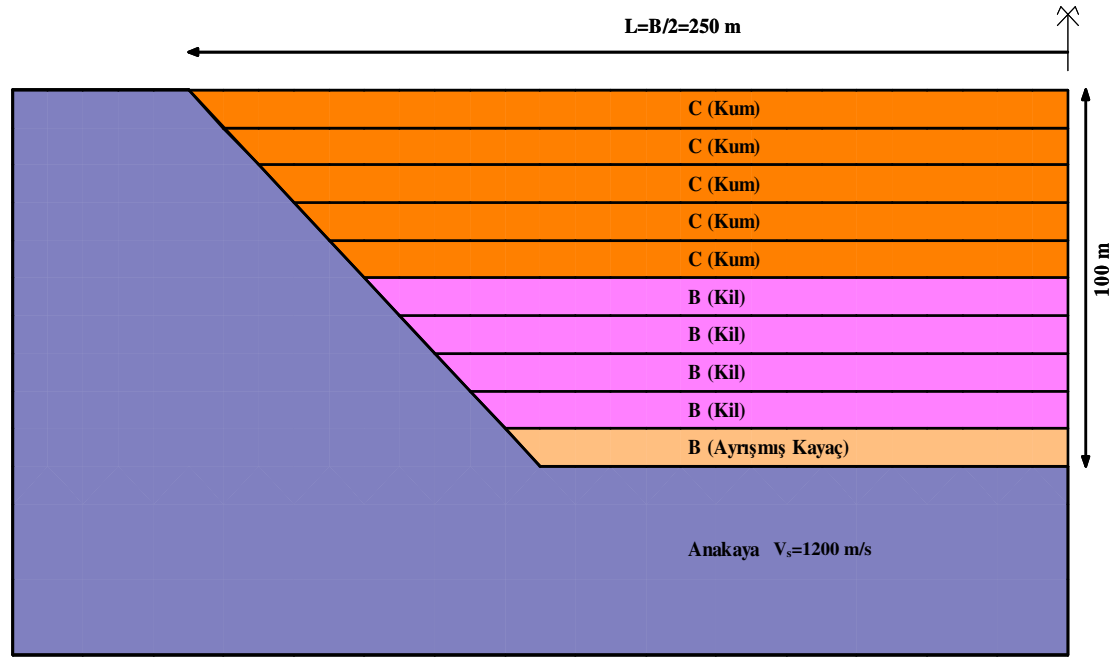
Şekil 5.6 : $B=500$ m, $D=30$ m, üst tabakası kil, zemin sınıfı Z2 olan model (C-B).



Şekil 5.7 : $B=500$ m, $D=60$ m, en üst tabakası kil ve zemin sınıfı Z3 olan vadi modeli (D-C-B).

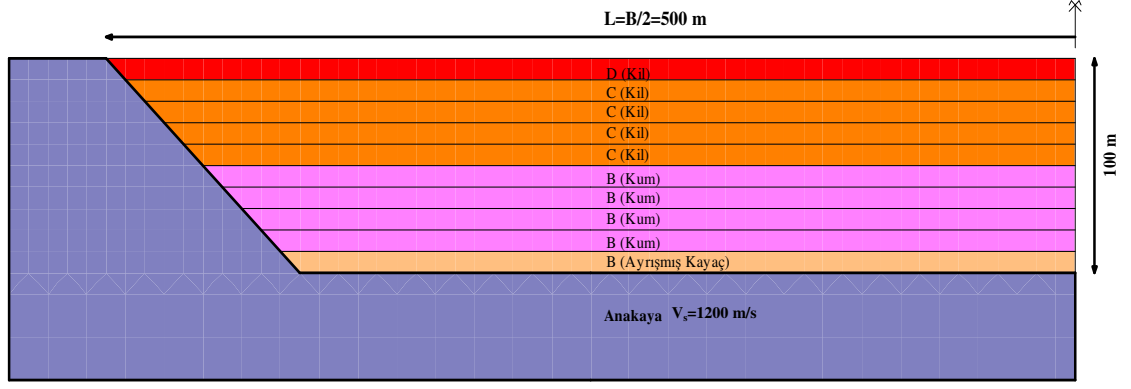


Şekil 5.8 : B=500 m, D=100 m, en üst tabakası kil ve zemin sınıfı Z3 olan vadi modeli (C-B).



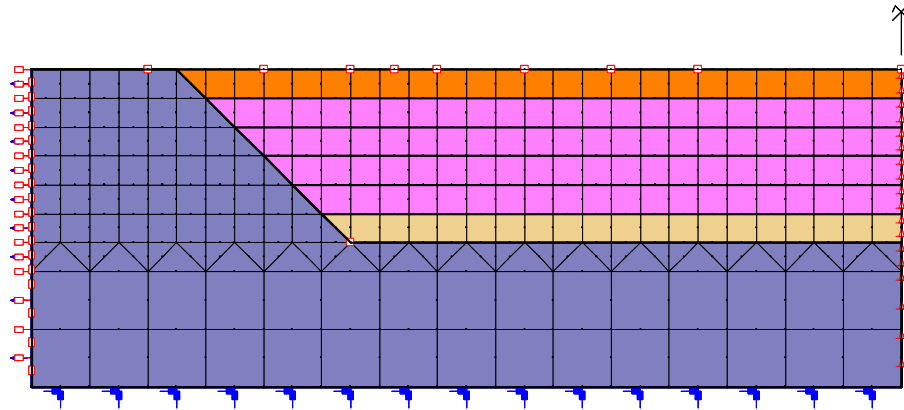
Şekil 5.9 : B=500 m, D=100 m, en üst tabakası kum ve zemin sınıfı Z3 olan vadi modeli (C-B).

Derinliği 100 m olan üç tabakalı vadi modellerinde en üstteki iki tabakanın aynı zemin cinsine sahip olduğu varsayılmıştır (Şekil 5.10). Vadi modellerinin hepsinde yeraltı suyu yüzeye yakındır. Dinamik analizler toplam gerilmeler cinsinden yapılmış ve siltli kum tabakalarında oluşabilecek sıvılaşmanın zeminlerin dinamik davranışına etkisi ihmal edilmiştir. Ayrıca zemin tabakalarının rijitliğinin derinlikle arttığı kabul edilmiştir.



Şekil 5.10 : B=1000 m, D=100 m, en üst tabakası kil ve zemin sınıfı Z3 olan vadi modeli (D-C-B).

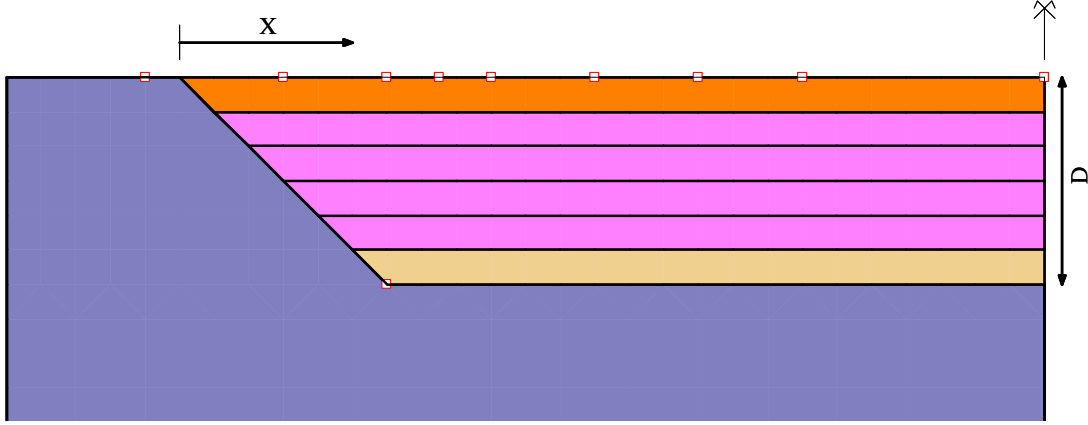
İki boyutlu dinamik analizlerde kullanılan düşey ve yatay sınır şartları ile sonlu eleman ağı Şekil 5.11’de gösterilmiştir. Modelin tabanındaki yatay sınırdaki düşey ve yatay sönümleyiciler kullanılmıştır. Ayrıca idealleştirilmiş vadi modellerinin simetrik olma özelliğinden faydalanılmış ve vadilerin yarısı sonlu eleman ağı ile modellenmiştir. Bu nedenle vadi ortasında bulunan düşey sınırdaki düğüm noktalarında düşey doğrultudaki mesnetler kullanılmıştır. Modelin anakaya kısmındaki düşey sınırdaki sönümleyicilere ek olarak, sonsuza uzandığı varsayılan anakayada deprem sırasında oluşan sönüm kuvvetlerinin etkisi de katılmıştır. Bu kuvvetler, sonsuza uzanan zemin tabakalarının tek boyutlu dinamik analiziyle elde edilen tabaka parçacık hızlarının ($\{\dot{u}_f\}$) yatay doğrultudaki sönüm katsayısıyla çarpılmasıyla hesaplanmış ve zamana bağlı sınır gerilmesi olarak etkilmiştir.



Şekil 5.11 : İki boyutlu modellerde kullanılan sınır şartları.

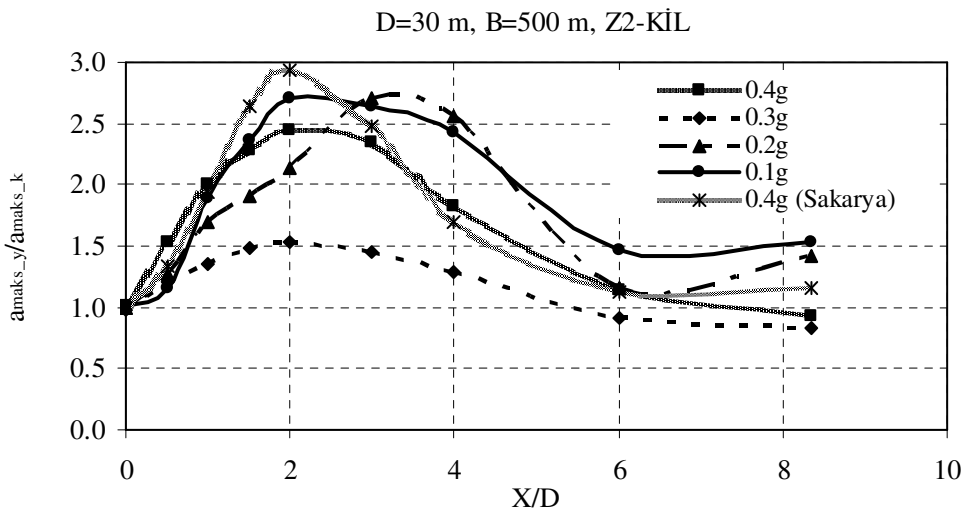
Deprem dalgaları karşısında iki boyutlu vadi modellerinin ayrı bölgelerinde oluşan hareketin belirlenebilmesi için farklı düğüm noktalarında ivme zaman geçmişleri elde edilmiştir (Şekil 5.11). İki boyutlu dinamik analizler tez kapsamında alınan eşdeğer lineer yöntemle çalışan Quake/W (2004) yazılımı kullanılarak yapılmıştır.

Yerel zemin sınıfları, derinlikleri ve genişlikleri Çizelge 5.2’de verilen modeller kullanılarak 1 ve 2 boyutlu dinamik analizler yapılmış, farklı anakaya depremleri için vadi yüzeyindeki ivme zaman geçmişleri ve mutlak ivme spektrumları elde edilmiş, ayrıca vadi yüzeyinde elde edilen bu değerlerin Şekil 5.12’de gösterildiği gibi vadi kenarından olan uzaklığa (X) bağlı olarak değişimleri incelenmiştir.

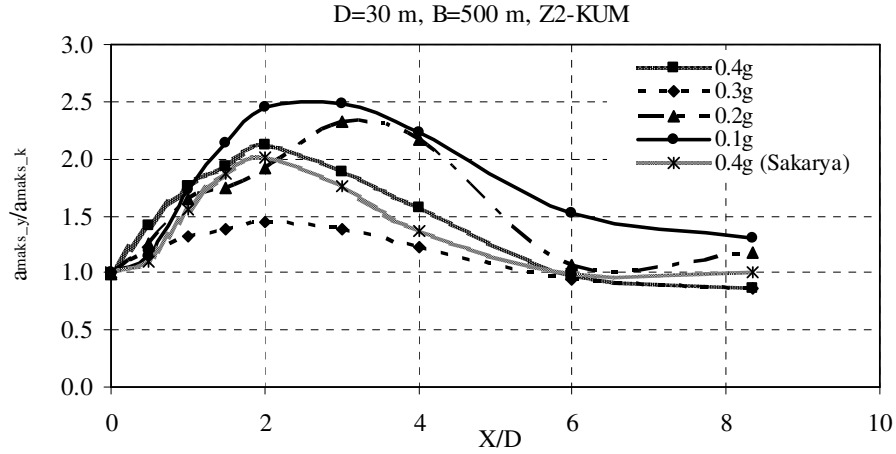


Şekil 5.12 : İvme zaman geçmişlerinin hesaplandığı noktaların vadi üzerindeki konumlarının gösterilmesi.

Yapılan 2 boyutlu dinamik analizler sonucunda farklı derinliğe ve yerel zemin sınıfına sahip vadilerin yüzeyinde hesaplanan maksimum ivmeler, maksimum anakaya mostrası ivmesine oranlanarak zaman ortamındaki zemin büyütmesi (a_{maks_y}/a_{maks_k}) elde edilmiştir. 30 m derinliğinde ve 500 m genişliğindeki vadi için hesaplanan zemin büyütmelerinin X/D oranına bağlı değişimleri Şekil 5.13, 5.14, 5.15 ve 5.16’da gösterilmiştir.

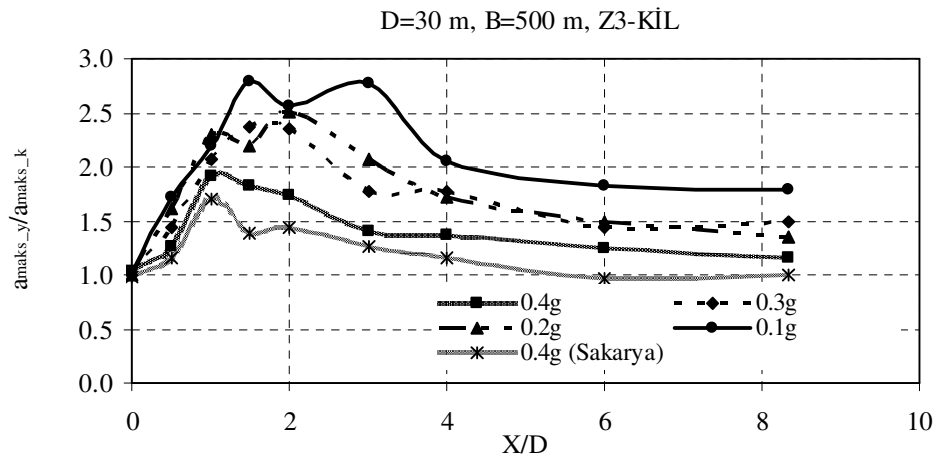


Şekil 5.13 : Üst tabakası kil ve D=30 m olan modelde (Z2) büyütmenin X/D’ye bağlı değişimi.

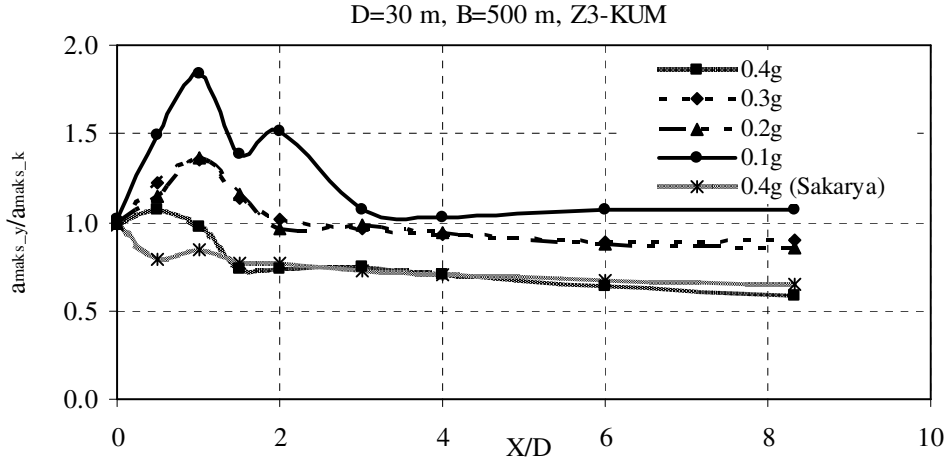


Şekil 5.14 : Üst tabakası kum ve D=30 m olan modelde büyütmenin değişimi.

Şekil 5.13 ve 5.14'den de görülebileceği gibi yerel zemin sınıfı Z2 olan 30 m derinliğindeki modelde üst tabakadaki zemin cinsinden bağımsız olarak özellikle X/D oranının 1 ile 5 arasında olduğu vadi kısmında yüksek büyütme değerleri hesaplanmıştır. Bu modellerde zemin tabakalarında genellikle lineer elastik davranışın hakim olduğu ve anakayadaki ivme şiddetinin vadi üzerindeki noktalarda oluşan büyütme değerlerini azaltıcı bir etkisinin olmadığı görülmektedir. Ayrıca rijitlik azalımının daha büyük şekil değiştirmelerde başladığı yüksek plastisiteli kil üst tabakaya sahip modelde kum zemine oranla daha yüksek tepkiler meydana gelmiştir (Şekil 5.13). Üst tabakası kum olan modeldeki büyütme değerleri daha az olmakla birlikte diğer modellerle benzer özelliğe sahiptir (Şekil 5.14). Bununla birlikte modellerdeki dikkat çekici özellik, her ikisi için de yüksek periyotlu Mendocino depreminin en küçük büyütme değerlerini vermesi yani rijit zemin tabakalarından oluşan vadi modelinin depremin şiddetine oranla frekans içeriğinden daha fazla etkilenmesidir.

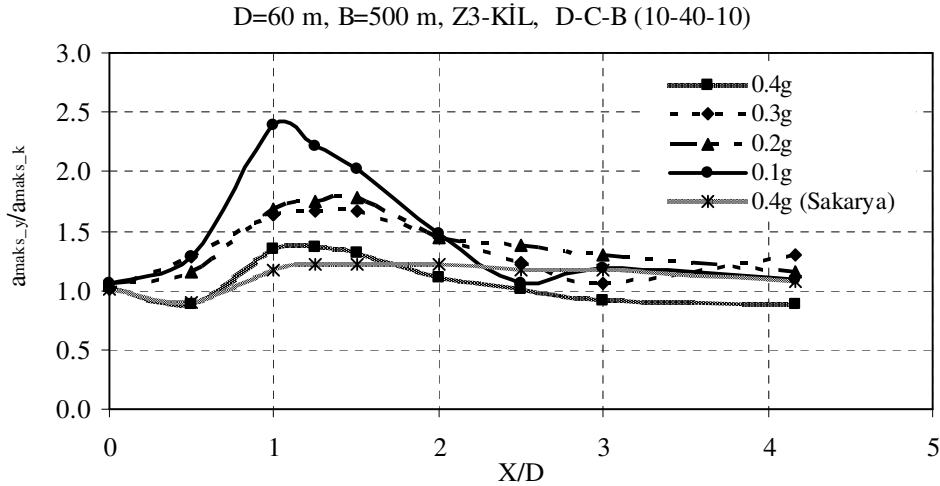


Şekil 5.15 : Üst tabakası kil ve D=30 m olan modelde (Z3) büyütmenin değişimi.



Şekil 5.16 : Üst tabakası kum ve D=30 m olan modelde (Z3) büyütmenin değişimi.

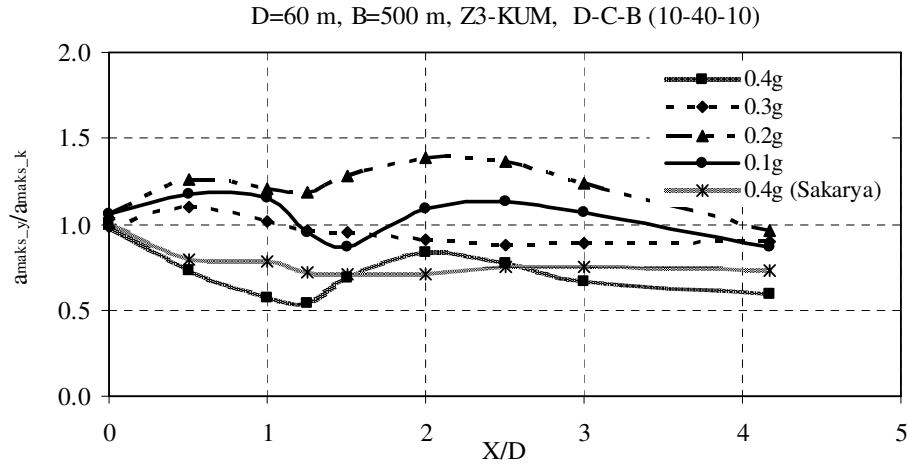
Şekil 5.15'ten görülebileceği gibi yerel zemin sınıfı Z3 ve üst tabakası kil olan 30 m derinliğindeki modelde özellikle X/D oranının 1 ile 4 arasında olduğu vadi kısmında en yüksek büyütme değerleri elde edilmiştir. Anakayadaki en büyük ivme değerleri büyüdüğü zaman zemin büyütme oranları azalmaktadır. Üst tabakası kum olan vadi modelinde bu durum daha belirgin hale gelmektedir (Şekil 5.16). Özellikle anakaya ivmesinin maksimum değerinin 0.3 g'den daha büyük değerleri için zemin yüzeyindeki maksimum ivmeler anakayadakine oranla küçülmektedir.



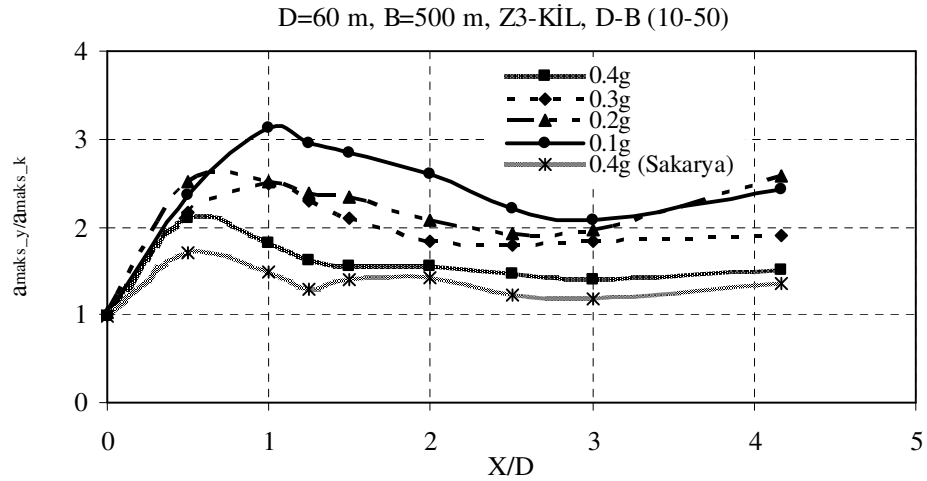
Şekil 5.17 : Üst tabakası kil ve D=60 m olan modelde (D-C-B, Z3) büyütmenin değişimi.

Üst tabakasında 10 m kalınlığında D grubu kil zemin bulunan, yerel zemin sınıfı Z3 olan 60 m derinliğindeki modelde zemin rijitliğinin yüzeye doğru kademeli şekilde azalması, 0.1 g maksimum ivmeye sahip deprem dışında büyütme oranlarının etkili olmamasını ve bütün depremler için vadi kenarındaki sınırlı bir bölgede kalmasını sağlamıştır. En büyük etkiler vadi kenarında anakayanın yüzeydeki izdüşüm

bölgesinde ortaya çıkmıştır. Anakayadaki en büyük ivme değerleri büyüdüğü zaman, zemin büyütmeleri azalmaktadır (Şekil 5.17). Bununla birlikte aynı geometrik özelliklere ve yerel zemin sınıfına sahip (Z3) üst tabakası kum olan modelde maksimum anakaya ivmesinin 0.3 g'den büyük değerleri için elde edilen en büyük yüzey ivmeleri, vadinin her bölgesinde anakayadakine oranla Şekil 5.18'de görüldüğü gibi daha küçük elde edilmiştir.



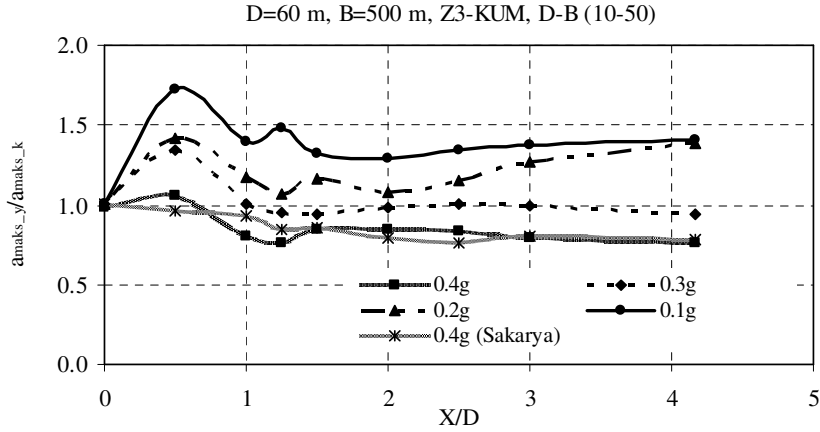
Şekil 5.18 : Üst tabakası kum ve D=60 m olan modelde (D-C-B, Z3) büyütmenin değişimi.



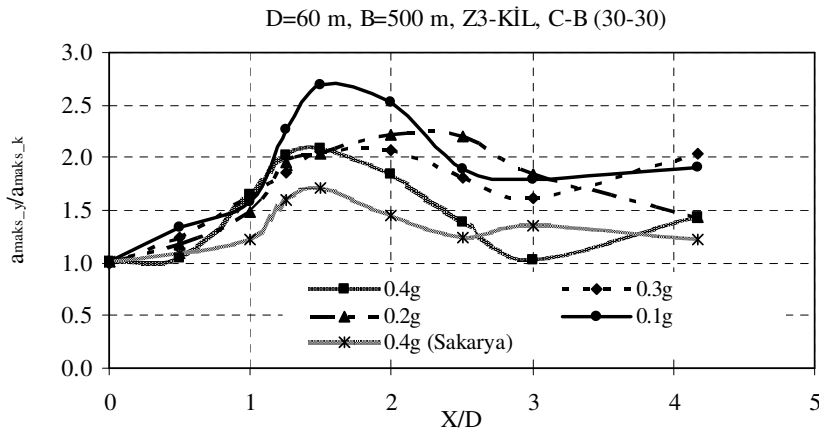
Şekil 5.19 : Üst tabakası kil ve D=60 m olan modelde (D-B, Z3) büyütmenin değişimi.

Şekil 5.19'da verilen üst tabakasında 10 m kalınlığında D grubu kil zemin bulunan ve yerel zemin sınıfı Z3 olan 60 m derinliğindeki modelde üst tabaka ile altındaki zemin tabakası arasındaki ani rijitlik değişimi, büyütmelemlerin bir önceki modele göre çok daha büyük olmasını sağlamıştır. Büyütmelemler en yüksek değerlerine X/D oranının 0.5 ile 1.5 arasında olduğu vadi kesimlerinde ulaşmakta ve bu değerler vadi

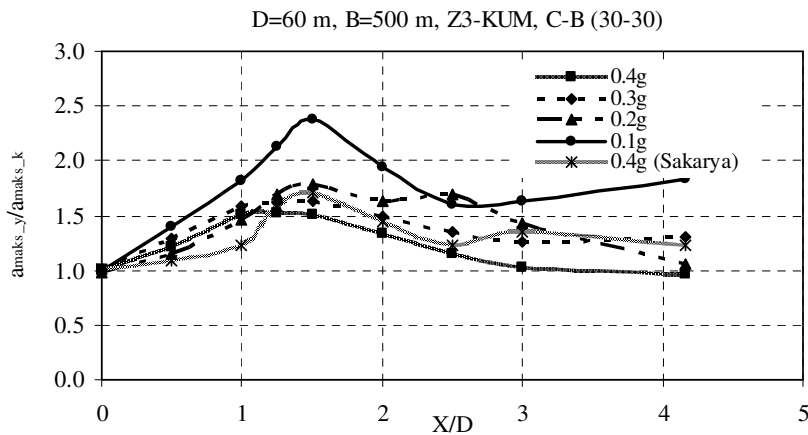
ortasına kadar fazla değişmemektedir. Bununla birlikte aynı geometrik özelliklere ve yerel zemin sınıfına sahip (Z3) üst tabakası kum olan modelde maksimum anakaya ivmesinin 0.3 g'den büyük değerleri için elde edilen yüzey ivmelerinde, vadinin yaklaşık her bölgesi için azalma söz konusudur. Maksimum büyütme değerleri X/D'nin 0 ile 1 arasında olduğu bölgede elde edilmiştir (Şekil 5.20).



Şekil 5.20 : Üst tabakası kum ve D=60 m olan modelde büyütmenin değişimi.

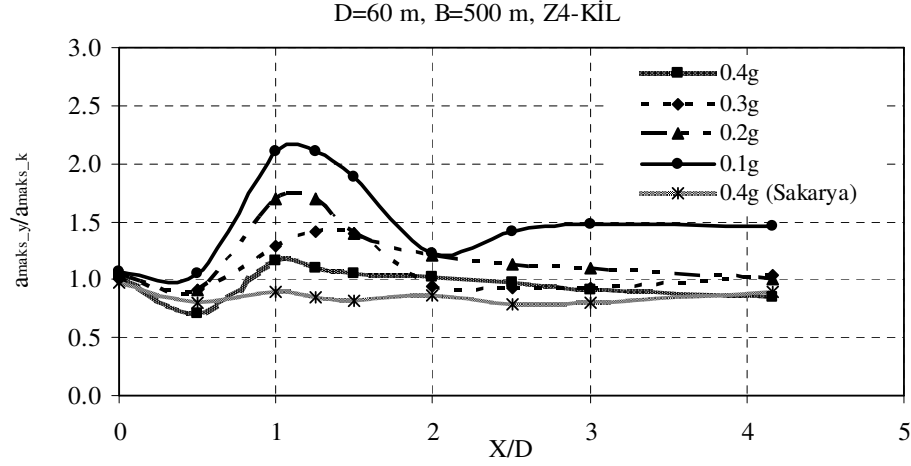


Şekil 5.21 : Üst tabakası kil ve D=60 m olan modelde (C-B, Z3) büyütmenin değişimi.

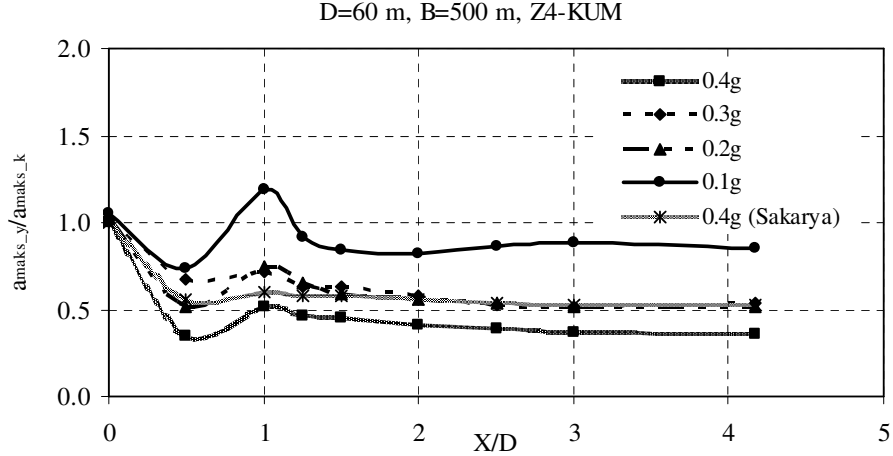


Şekil 5.22 : Üst tabakası kum ve D=60 m olan modelde (Z3) büyütmenin değişimi.

Üst tabakasında 30 m kalınlığında C grubu kil zemin bulunan 60 m derinliğinde ve yerel zemin sınıfı Z3 olan vadi modelinde maksimum büyütme X/D 'nin 1 ile 3 değerleri arasında bulunduğu kısımda ortaya çıkmaktadır (Şekil 5.21). Maksimum anakaya ivmesinin 0.1g'den daha büyük değerleri için büyütme birbirine yaklaşılmaktadır. Şekil 5.22'den de görülebileceği gibi bu durum özellikle üst tabakası kum olan model için daha belirgin hale gelmektedir.



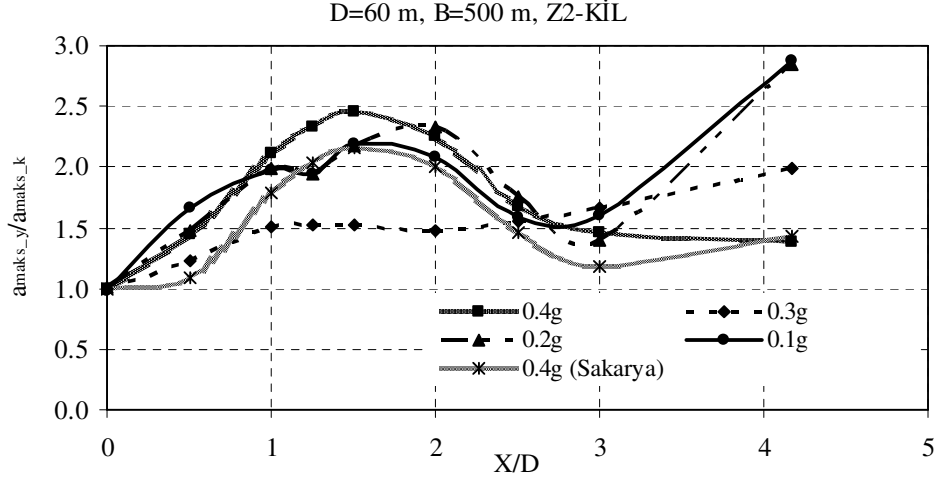
Şekil 5.23 : Üst tabakası kil ve D=60 m olan modelde (Z4) büyütmenin değişimi.



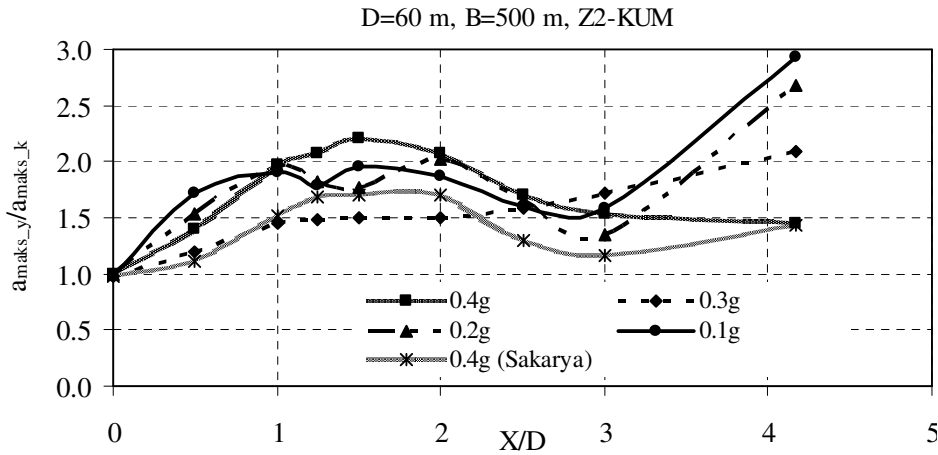
Şekil 5.24 : Üst tabakası kum ve D=60 m olan modelde (Z4) büyütmenin değişimi.

Üst tabakasında 30 m kalınlığında D grubu kil zemin bulunan 60 m derinliğinde ve yerel zemin sınıfı Z4 olan vadi modelinde maksimum büyütme, vadi kenarındaki anakayanın vadi tabanı ile kesiştiği kısmın yüzeydeki izdüşümü kısmında en büyük değerine ulaşmaktadır (Şekil 5.23). Büyütme önceki modellerdeki kadar yüksek değerlere çıkmamaktadır. Zemin rijitliğinin yüzeye doğru kademeli şekilde azalması, 0.1 g maksimum ivmeye sahip deprem dışında büyütme fazla etkili olmamasını ve bütün depremler için vadi kenarındaki sınırlı bir bölgede kalmasını sağlamıştır.

Üst tabakası kum olan modelde yaklaşık bütün deprem şiddet seviyeleri için yüzeydeki en büyük ivme değerleri anakayadaki maksimum ivme değerinden azdır (Şekil 5.24).



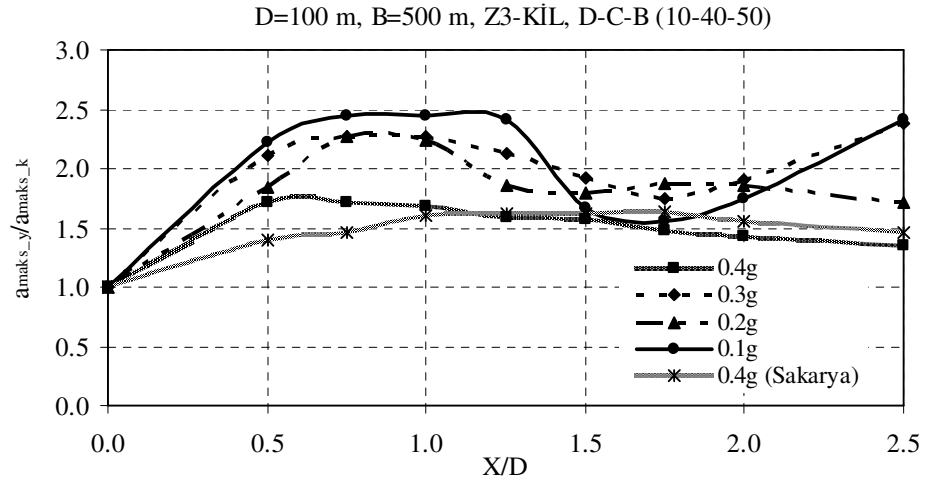
Şekil 5.25 : Üst tabakası kil ve D=60 m olan modelde (Z2) büyütmenin değişimi.



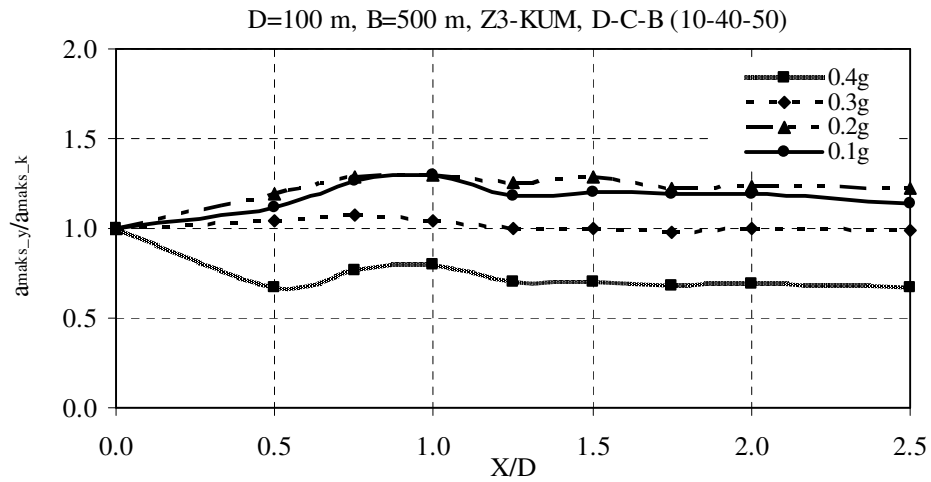
Şekil 5.26 : Üst tabakası kum ve D=60 m olan modelde (Z2) büyütmenin değişimi.

Üst tabakasında 10 m kalınlığında C grubu kil zemin bulunan 60 m derinliğinde ve yerel zemin sınıfı Z2 olan vadi modelinde özellikle 0.3 g'den küçük anakaya ivme değerleri için büyütme vadi ortasında en büyük değerlerine ulaşmaktadır. Ayrıca vadi kenarında oluşan büyütme maksimum anakaya ivmesinin şiddetinin fazla etkisi olmamakta, bu kısımdaki büyütme anakayadaki deprem dalgasının frekans içeriği etkilemektedir (Şekil 5.25). Şekil 5.26'da gösterildiği gibi üst tabakası kum olan modelde de aynı etkiler ortaya çıkmaktadır. Kil ve kum modellerdeki dikkat çekici özellik, her ikisi için de yüksek periyotlu Mendocino depreminin en küçük

büyütme değerlerini vermesi yani rijit zemin tabakalarından oluşan vadi modelinin depremin şiddetine oranla frekans içeriğinden daha fazla etkilenmesidir.

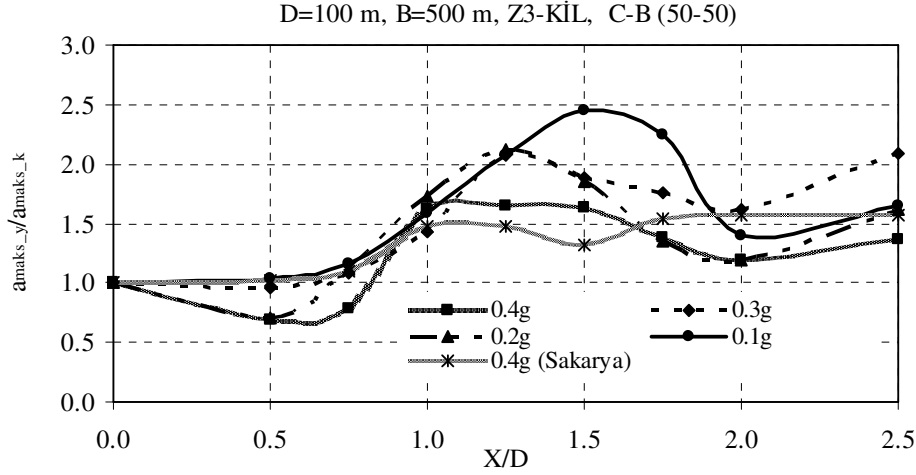


Şekil 5.27 : Üst tabakası kil ve D=100 m olan modelde (Z3) büyütmenin değişimi.

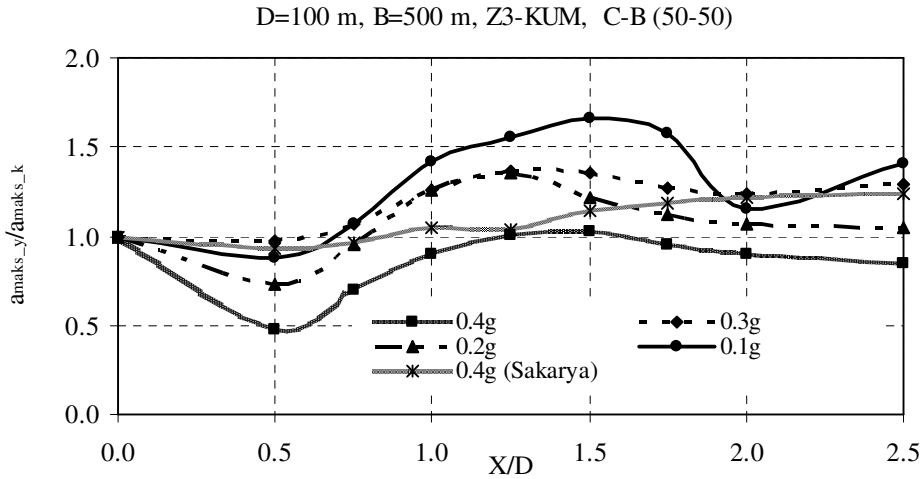


Şekil 5.28 : Üst tabakası kum ve D=100 m olan modelde (Z3) büyütmenin değişimi.

Üst tabakasında 10 m kalınlığında D grubu kil zemin bulunan 100 m derinliğindeki vadi modelinde özellikle 0.3 g'den küçük anakaya ivme değerleri ve yüksek periyoda sahip Mendocino depremi için yüksek büyütme değerleri elde edilmiştir. Ayrıca vadi yüzeyinde oluşan büyütmeler X/D'nin 0.5 değerinden sonra vadi ortasına kadar yaklaşık olarak sabit kalmıştır (Şekil 5.27). Üst tabakası kum olan modelde anakayadaki deprem dalgasının maksimum ivme değerinin artmasıyla vadi yüzeyinde elde edilen büyütme değerlerinde azalma olmaktadır (Şekil 5.28). Maksimum anakaya ivmesi 0.3 g'den büyük depremler için vadi yüzeyinde anakayadakinden daha küçük değerler hesaplanmıştır. Vadi yüzeyinde oluşan büyütmeler X/D'nin 0.5 değerinden sonra vadi ortasına kadar sabit kalmıştır.



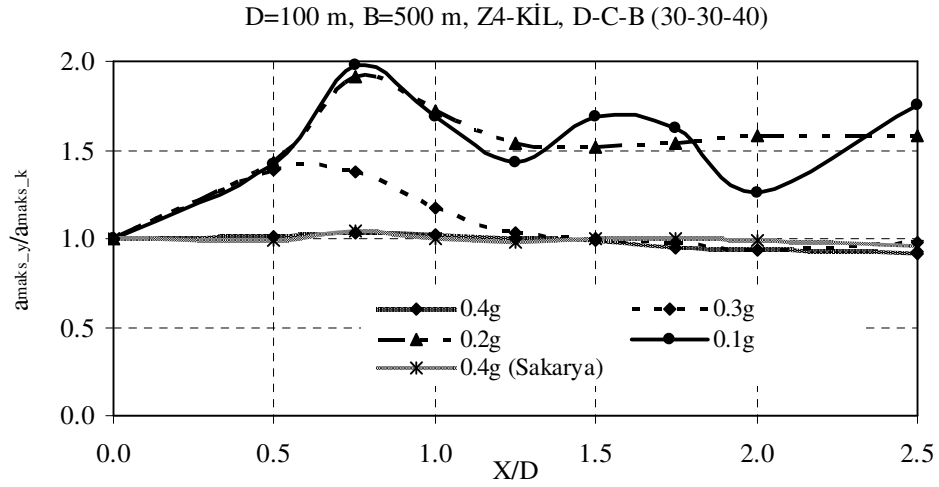
Şekil 5.29 : Üst tabakası kil ve D=100 m olan modelde (Z3) büyütmenin değişimi.



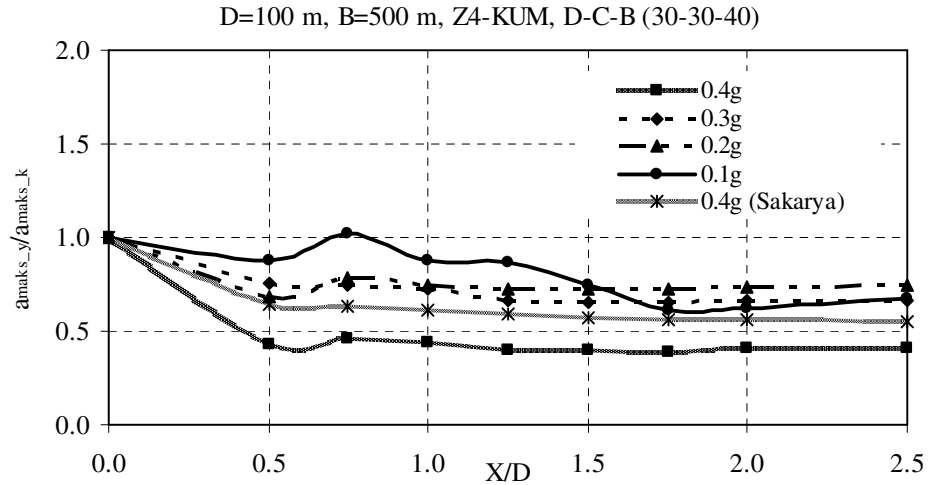
Şekil 5.30 : Üst tabakası kum ve D=100 m olan modelde (Z3) büyütmenin değişimi.

Üst tabakasında 50 m kalınlığında C grubu kil zemin bulunan 100 m derinliğindeki vadi modelinde X/D 'nin 0.75 değerinden vadi ortasına kadar büyütme etkili olmakta, zemin tabakalarının rijitleşmesi büyütme değerlerinin vadi ortasına doğru etkili olmasını sağlamaktadır. Anakayadaki ivme değerinin şiddetinin artması büyütme değerlerini fazla etkilememekte, bununla birlikte yüksek periyotlu Mendocino ivme kaydı için büyütme değerleri özellikle vadi ortasına doğru artmaktadır. Vadi yüzeyinde oluşan büyütme değerleri, en büyük anakaya ivmesinin 0.1 g'den büyük değerleri için X/D 'nin 1.25'e eşit olduğu kısımdan vadi ortasına kadar yaklaşık olarak sabit kalmıştır (Şekil 5.29). En büyük anakaya ivmesinin 0.1 g'ye eşit olduğu Palm Springs depremi için maksimum büyütme X/D 'nin 1.5 değerine eşit olduğu bölgede meydana gelmektedir. Üst tabakası kum olan modelde de yaklaşık aynı davranış görülmektedir (Şekil 5.30). Özellikle kum modelde etkili olmak üzere her iki modelde de X/D 'nin

0.75'e eşit olduğu noktaya kadarki kısımda anakaya ivmesinin büyüklüğü arttıkça yüzeydeki en büyük ivme değerleri anakayadakine oranla küçülmektedir.



Şekil 5.31 : Üst tabakası kil ve D=100 m olan modelde (Z4) büyütmenin değişimi.

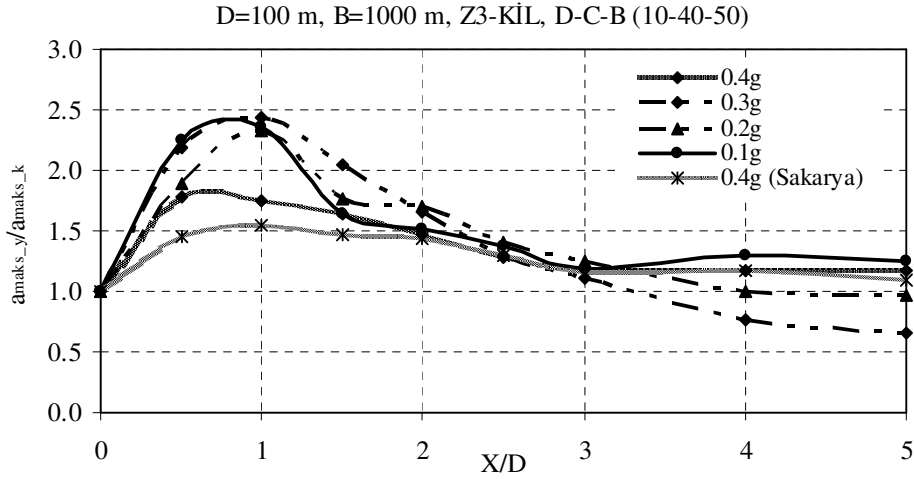


Şekil 5.32 : Üst tabakası kum ve D=100 m olan modelde (Z4) büyütmenin değişimi.

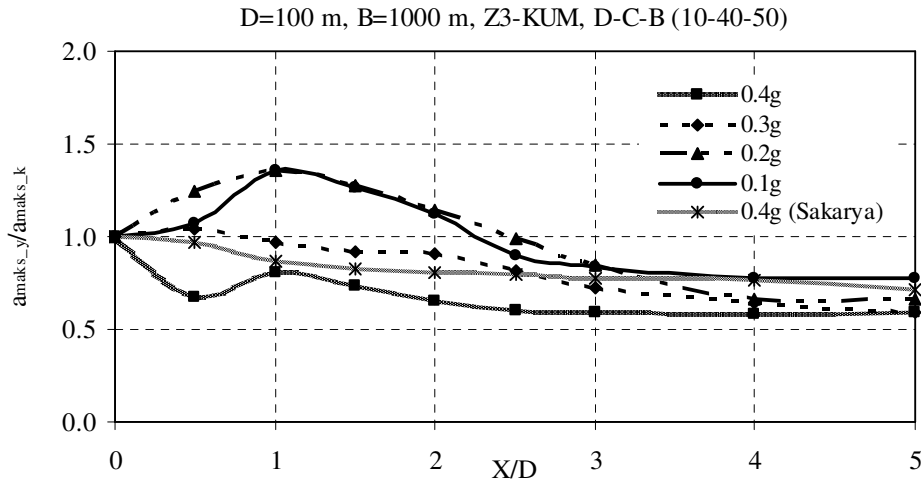
Üst tabakasında 30 m kalınlığında D grubu kil zemin bulunan yerel zemin sınıfı Z4 olan ve 100 m derinliğindeki vadi modelinde zemin tabakalarının rijitliğinin kademeli şekilde azalması vadi yüzeyindeki büyütme fark edilir biçimde azalmasını sağlamaktadır. Özellikle anakaya ivme zaman geçmişlerinin maksimum değerlerinin büyümesi bu durumu daha belirgin hale getirmektedir (Şekil 5.31). Üst tabakası kum olan modelde vadi yüzeyinde hesaplanan ivme zaman geçmişlerinin maksimum değerleri anakaya ivme değerlerine oranla oldukça küçüktür (Şekil 5.32).

Üst tabakasında 10 m kalınlığında D grubu kil zemin bulunan 100 m derinliğinde ve 1000 m genişliğindeki vadi modelinde özellikle 0.3 g'den küçük anakaya ivme değerleri ve yüksek periyotlu Mendocino depremi için yüksek büyütme değerleri

elde edilmiştir. Vadi genişliğinin artması zemin büyütmelerinin maksimum değerlerini değiştirmemekle birlikte daha önce analizi yapılan 500 m genişliğindeki (B/D=5) vadilerle karşılaştırıldığında vadi ortasına doğru ilerledikçe büyütme çok azaldığı görülmektedir (Şekil 5.33). Üst tabakası kum olan modelde 0.2 g'den büyük maksimum anakaya ivme değerleri için hesaplanan yüzey ivmeleri anakayadakinden daha küçüktür (Şekil 5.34).



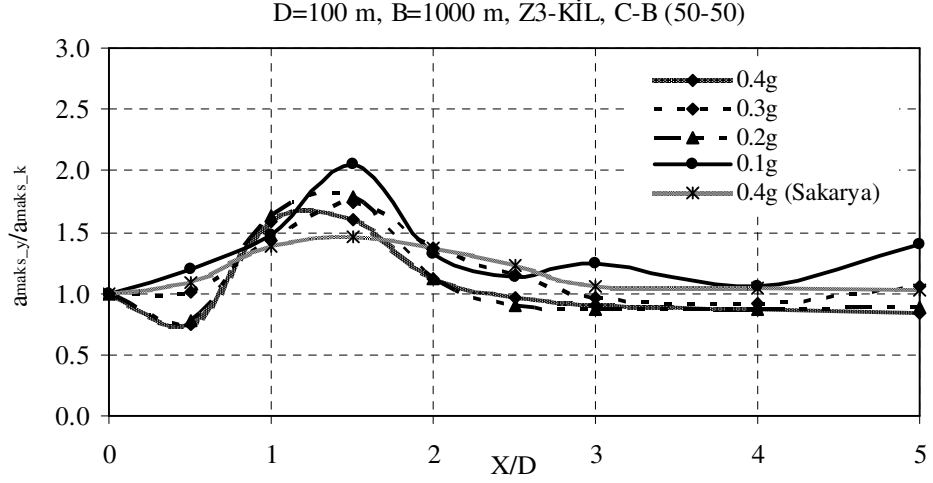
Şekil 5.33 : Üst tabakası kil, D=100 m ve B=1000 m olan modelde (Z3) büyütmenin değişimi.



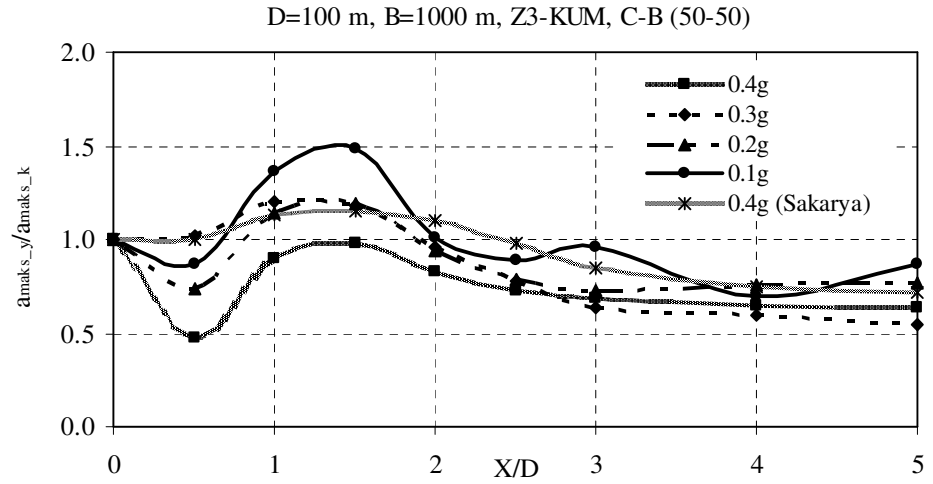
Şekil 5.34 : Üst tabakası kum, D=100 m ve B=1000 m olan modelde (Z3) büyütmenin değişimi.

Üst tabakasında 50 m kalınlığında C grubu kil zemin bulunan 100 m derinliğinde ve 1000 m genişliğindeki vadi modelinde X/D'nin 1 ile 2 değerleri arasındaki vadi kısmında büyütme etkili olmakta, derinliği ve zemin sınıfı aynı olan 500 m genişliğindeki modelle karşılaştırıldığında, vadi ortasında büyütme etkili olmadığı görülmektedir. Ayrıca anakayadaki ivme değerinin şiddetinin artması Şekil

5.35'te görüldüğü üzere büyütme oranları fazla etkilememektedir. Üst tabakasında kum olan modelde maksimum büyütme oranları anakaya ivme zaman geçmişi için elde edilmiştir. Özellikle X/D 'nin 2'ye eşit olduğu kısımdan vadi ortasına doğru olan bölgede hesaplanan yüzey ivmeleri anakaya ivmesinden daha küçüktür (Şekil 5.36).



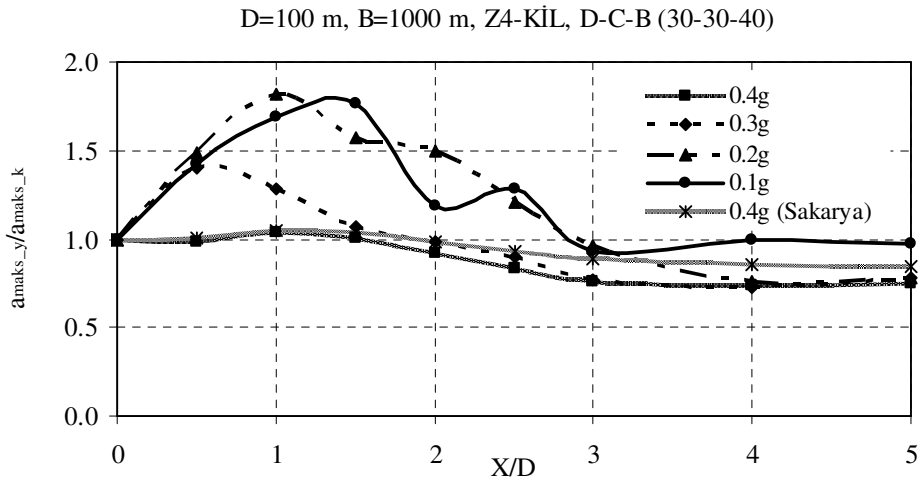
Şekil 5.35 : Üst tabakası kil, D=100 m ve B=1000 m olan modelde (Z3) büyütmenin değişimi.



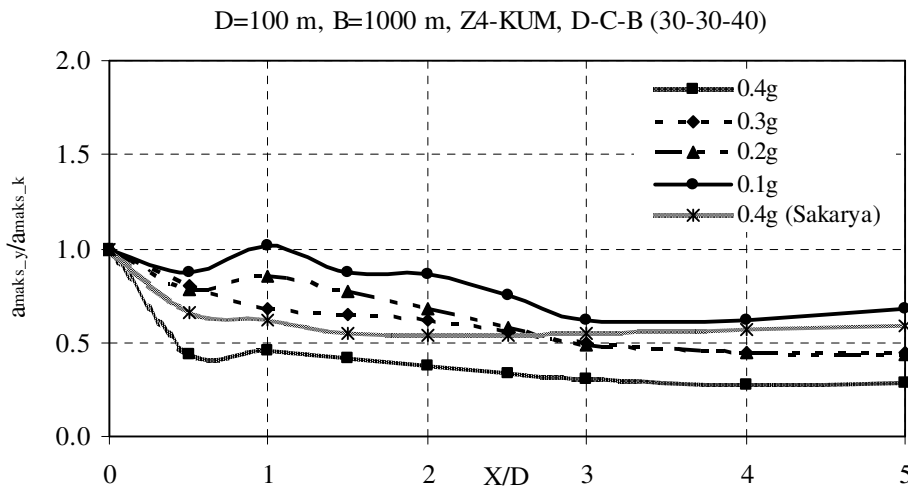
Şekil 5.36 : Üst tabakası kum, D=100 m ve B=1000 m olan modelde (Z3) büyütmenin değişimi.

Üst tabakasında 30 m kalınlığında D grubu kil zemin bulunan 100 m derinliğinde ve 1000 m genişliğindeki vadi modelinde zemin tabakalarının rijitliğinin kademeli şekilde azalması vadi yüzeyindeki büyütme oranlarının farklı biçimde azalmasını sağlamaktadır. Özellikle anakaya ivme zaman geçmişi için maksimum ivmesinin 0.2 g'den büyük değerleri için bu durum daha belirgin hale gelmektedir (Şekil 5.37). Üst

tabakası kum olan modelde vadi yüzeyinde hesaplanan ivme zaman geçmişlerinin maksimum değerleri anakaya ivme değerlerine oranla oldukça küçüktür (Şekil 5.38).



Şekil 5.37 : Üst tabakası kil, D=100 m ve B=1000 m olan modelde (Z4) büyütmenin değişimi.



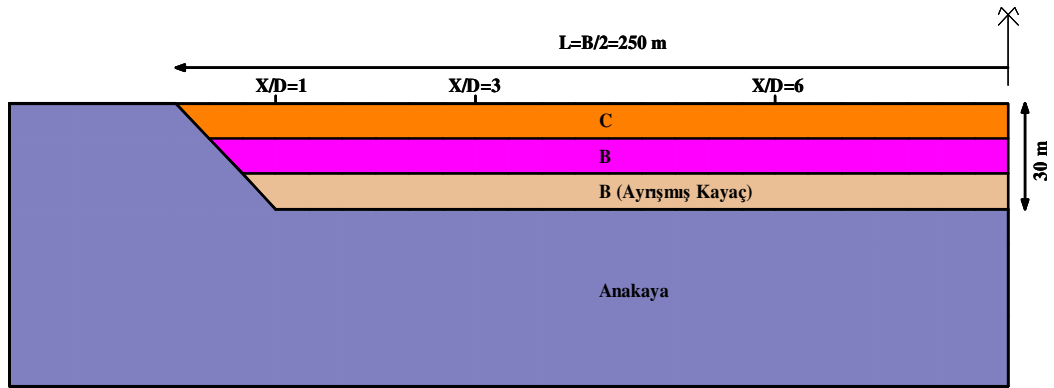
Şekil 5.38 : Üst tabakası kum, D=100 m ve B=1000 m olan modelde (Z4) büyütmenin değişimi.

Yapılan 2 boyutlu analizler çerçevesinde vadinin üzerindeki 9 ayrı noktada ivme spektrumları da hesaplanmıştır. Elde edilen ivme spektrumu grafikleri, bir boyutlu dinamik analiz sonuçlarıyla karşılaştırma kolaylığı açısından sonraki bölümde verilmiştir.

5.4 Bir Boyutlu Dinamik Analizler

Verilen ova/vadi modelleri üzerinde 1 boyutlu dinamik analizler de düzenlenmiştir. Bir boyutlu analizlerde zemin tabakalarının altındaki yarı uzay tabakasının sınırı olarak, iki boyutlu modellerde verilen anakaya sınırı kullanılmıştır. 1D analizler, vadi

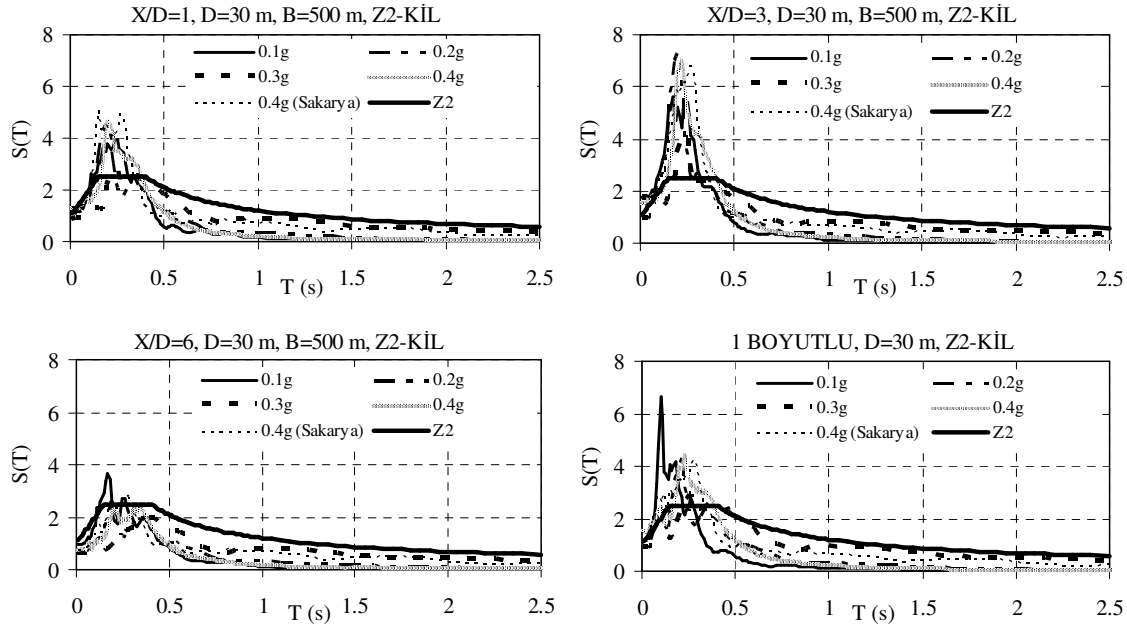
kenarındaki anakayanın yüzeydeki izdüşümünden ($X/D=1$) vadi ortasına kadar olan bölüm için yapılmıştır. Eğimli anakaya üzerinde yer alan zemin tabakalarının davranışı bir ve iki boyutlu karşılaştırma açısından dikkate alınmamıştır. Bir boyutlu analizlerde, eşdeğer lineer yöntemle çalışan ve toplam gerilmeler cinsinden analiz yapan Shake91 (1992) yazılımı kullanılmıştır. Bir ve iki boyutlu analizler yapılarak farklı en büyük anakaya ivmeleri için hesaplanan vadi yüzeyindeki spektral ivmeler, elde edildikleri maksimum yüzey anakayası ivme değerlerine oranlanarak spektrum katsayıları elde edilmiştir. Daha sonra bu spektrum katsayısı değerleri kullanılarak efektif spektrum katsayıları hesaplanmış ve deprem yönetmeliğimizde yerel zemin sınıfları için önerilen tasarım spektrumu ile karşılaştırılmıştır. Bilindiği gibi, efektif spektrum katsayısı; % 5 sönümlü normalleştirilmiş elastik mutlak ivme spektrumu değerlerinin % 65'i alınarak elde edilmektedir (Pitilakis, 2004). İki boyutlu analizde vadi modelinin farklı noktalarında elde edilen ve bir boyutlu analizle hesaplanan efektif spektrum katsayıları karşılaştırılarak aralarındaki farklılaşma farklı yerel zemin sınıfları ve vadi derinliklerine sahip birkaç model kullanılarak gösterilmeye çalışılmıştır.



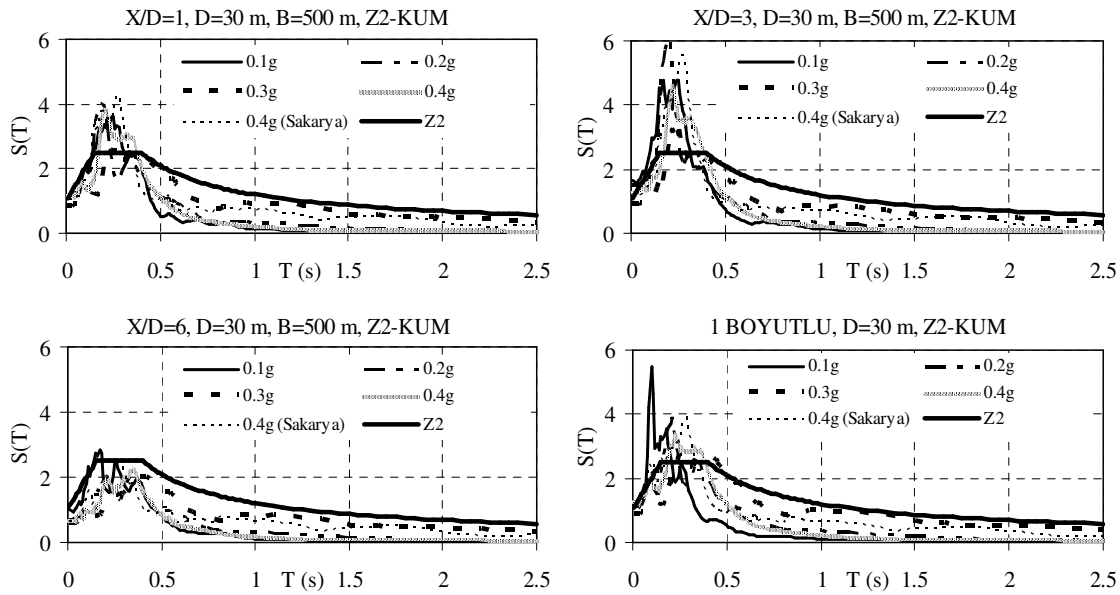
Şekil 5.39 : 30 m derinliğindeki vadi modelinde 2D dinamik analizle hesaplanan spektrum katsayılarının ait olduğu yüzeydeki noktaların konumları.

Yerel zemin sınıfı Z2 olan 30 m derinliğindeki modelde iki boyutlu analiz sonuçları Şekil 5.39'da verilen düğüm noktaları için elde edilmiştir. Üst tabakası kil olan model için bir ve iki boyutlu analizle elde edilen efektif spektrum katsayıları Şekil 5.40'da verilmiştir. Rijit zemin tabakalarından oluşan bu modelde yapılan iki boyutlu analizlerden elde edilen efektif spektrum katsayılarından görülebileceği gibi maksimum anakaya ivmesinin büyüklüğünün yüzeyde hesaplanan katsayı değerlerini azaltıcı bir etkisi görülmemektedir. Bununla birlikte bütün depremler içinde en düşük efektif spektrum katsayıları yüksek periyoda sahip Mendocino depremi için elde

edilmektedir. Bu modelde efektif spektrum katsayıları büyük ölçüde deprem dalgasının frekans özelliklerinden etkilenmektedir. En yüksek efektif spektrum katsayıları $X/D=3$ bölgesinde elde edilmektedir ve bu katsayılar anakaya ivmesinin şiddetinden bağımsız yaklaşık aynı değerlere ve hakim periyotlara sahiptir. Vadi ortasına doğru ilerledikçe ($X/D=6$) efektif spektrum katsayıları 1 boyutlu analizle hesaplanandan daha düşük değerler almaktadır (Şekil 5.40).



Şekil 5.40 : Üst tabakası kil ve $D=30$ olan modelde (Z2) bir ve iki boyutlu analizle hesaplanan efektif spektrum katsayıları.



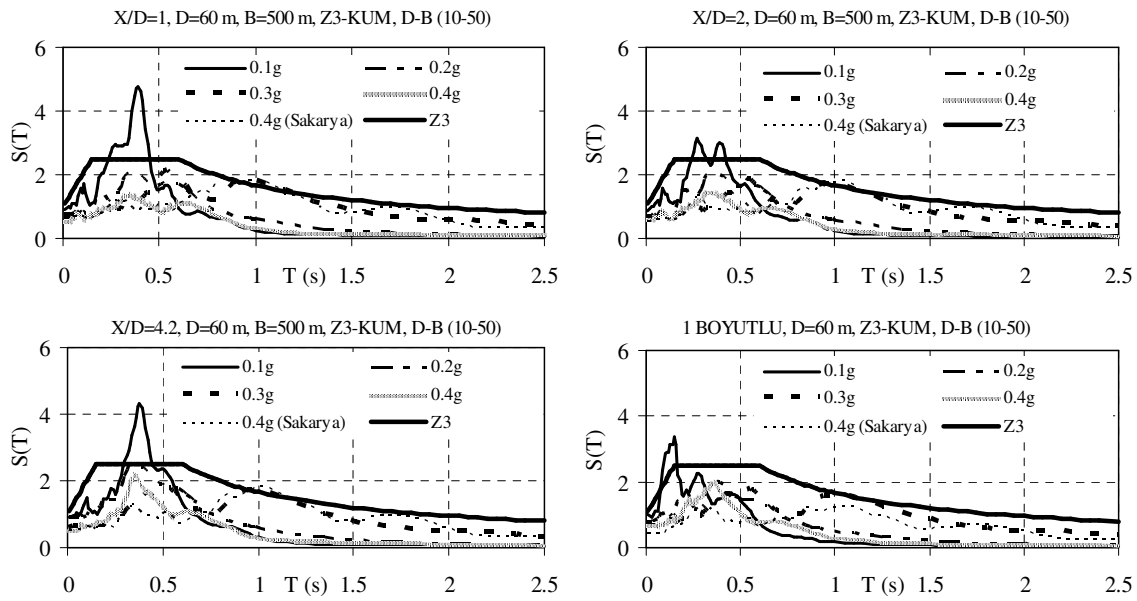
Şekil 5.41 : Üst tabakası kum ve $D=30$ olan modelde (Z2) bir ve iki boyutlu analizle hesaplanan efektif spektrum katsayıları.

Figure 10 consists of four subplots arranged in a 2x2 grid, showing the variation of the normalized spectral density $S(T)$ with respect to the normalized time T (s). The subplots are for different values of the normalized distance X/D and the normalized diameter D .

- Top Left:** $X/D=1$, $D=60$ m, $B=500$ m, Z3-KİL, D-B (10-50). The y-axis $S(T)$ ranges from 0 to 10, and the x-axis T (s) ranges from 0 to 2.5. The legend includes $0.1g$ (solid black), $0.2g$ (dashed black), $0.3g$ (dotted black), $0.4g$ (dash-dot black), $0.4g$ (Sakarya) (dotted black), and Z3 (solid black). The Z3 curve shows a sharp peak at $T \approx 0.4$ s with $S(T) \approx 10$.
- Top Right:** $X/D=2$, $D=60$ m, $B=500$ m, Z3-KİL, D-B (10-50). The y-axis $S(T)$ ranges from 0 to 10, and the x-axis T (s) ranges from 0 to 2.5. The legend is the same as the top-left plot. The Z3 curve shows a sharp peak at $T \approx 0.4$ s with $S(T) \approx 8$.
- Bottom Left:** $X/D=4.2$, $D=60$ m, $B=500$ m, Z3-KİL, D-B (10-50). The y-axis $S(T)$ ranges from 0 to 10, and the x-axis T (s) ranges from 0 to 2.5. The legend is the same as the top-left plot. The Z3 curve shows a sharp peak at $T \approx 0.4$ s with $S(T) \approx 8$.
- Bottom Right:** 1 BOYUTLU, $D=60$ m, Z3-KİL, D-B (10-50). The y-axis $S(T)$ ranges from 0 to 10, and the x-axis T (s) ranges from 0 to 2.5. The legend is the same as the top-left plot. The Z3 curve shows a sharp peak at $T \approx 0.2$ s with $S(T) \approx 6$.

121

artış, $X/D=1$ olan bölgede hesaplanan efektif spektrum katsayısı değerlerinde azalmaya sebep olmaktadır. $X/D=2$ ve $X/D=4.17$ bölgelerinde elde edilen efektif spektrum katsayıları ve hakim periyotlar arasında büyük bir fark bulunmamaktadır. Bununla birlikte $X/D=1$ olan bölgeyle vadinin diğer kısımlarının davranışı oldukça farklıdır. Ayrıca vadi modelinin her bölgesi için bir boyutlu analizle hesaplanan efektif spektrum katsayıları iki boyutlu analizle elde edilenlerden oldukça küçük değerlere sahiptir.

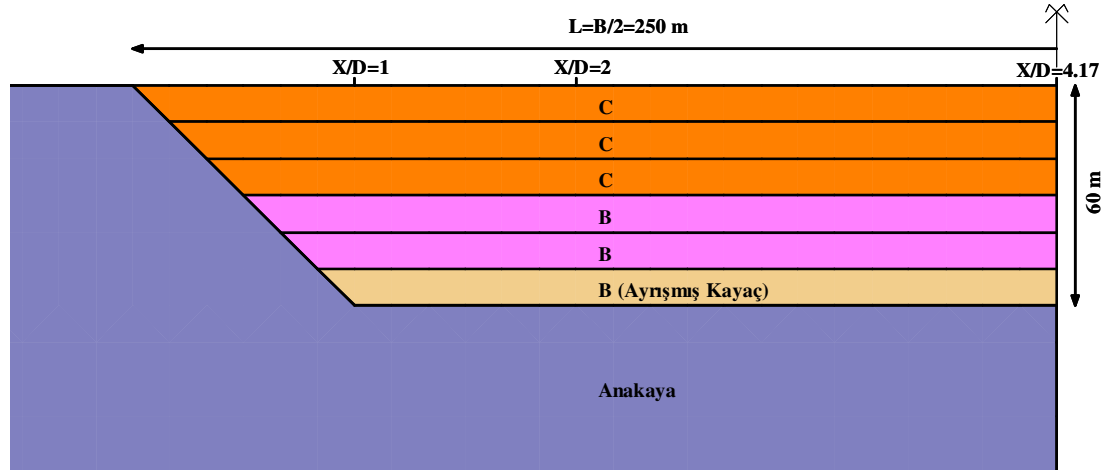


Şekil 5.44 : Üst tabakası kum ve 60 m derinliğindeki (D-B,10-50) vadi modelinde (Z3) bir ve iki boyutlu analizle hesaplanan efektif spektrum katsayıları.

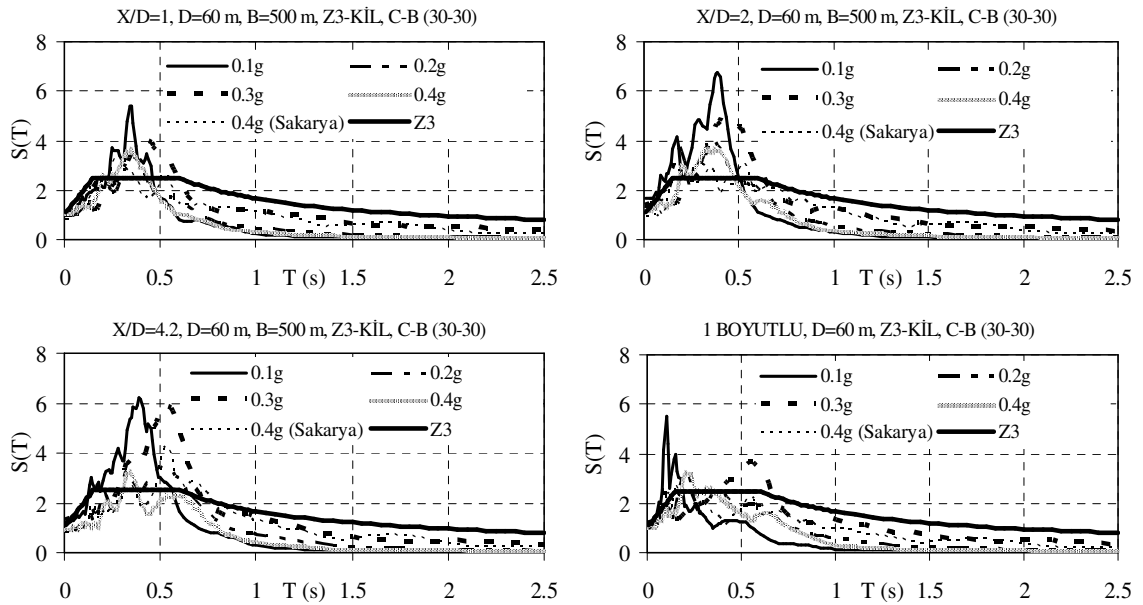
Üst tabakası kum olan ve yüzeyden itibaren sırasıyla D-B grubu zemin tabakalarından oluşmuş 60 m derinliğindeki vadi modelinde, üst tabakası kil olan modele oranla spektrum katsayıları çok azalmakta ve maksimum anakaya ivmesinin 0.1 g olduğu deprem dışındaki depremler için elde edilen spektral büyütme vadinin her bölgesi için birbirine yakın değerler almaktadır (Şekil 5.44). Yüksek periyotlu anakaya deprem dalgaları için hakim periyotlar 1 s civarına kaymıştır.

Sırasıyla 30 m kalınlığında C grubu ve 30 m kalınlığında B grubu zemin tabakalarından oluşan ve yerel zemin sınıfı Z3 olan 60 m derinliğindeki vadi modeli kullanılarak yapılan iki boyutlu analizlerin sonuçları Şekil 5.45'te verilen düğüm noktaları için elde edilmiştir. Şekil 5.46'daki efektif spektrum katsayılarından görülebileceği gibi yüzeydeki maksimum anakaya ivmesinin 0.1 g'den daha büyük değerleri için vadi kenarındaki düğüm noktalarında elde edilen efektif spektrum

katsayıları birbirine yakındır. Ayrıca yüksek periyotlu deprem dalgalarından oluşan anakaya ivme zaman geçmişleri kullanılarak hesaplanan efektif spektrum katsayıları ve hakim periyotlar vadi ortasına doğru artmaktadır.



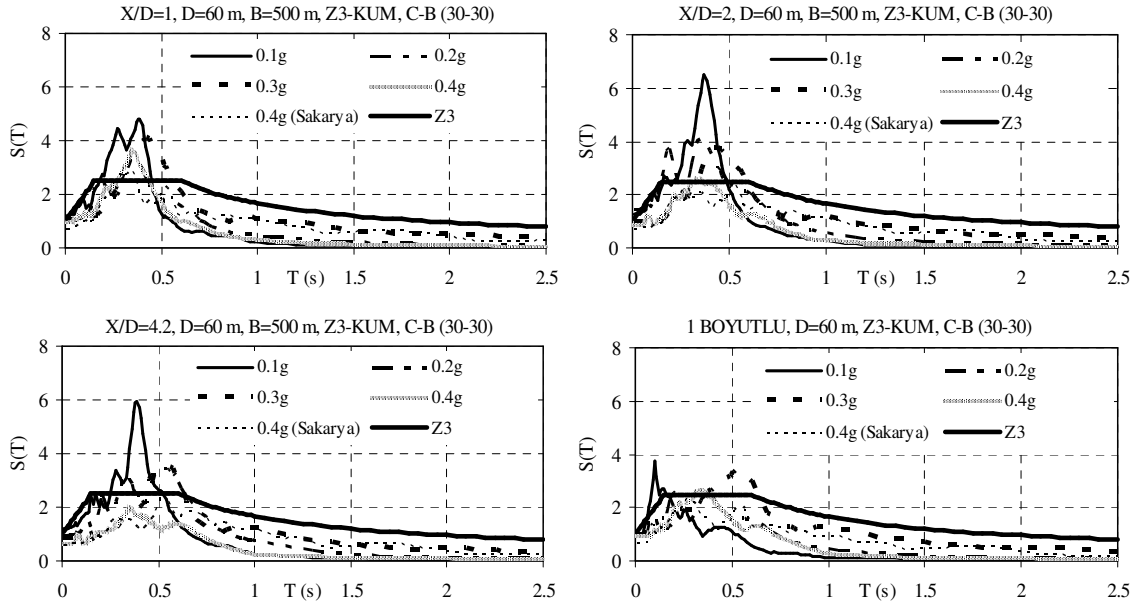
Şekil 5.45 : 60 m derinliğindeki modelde (C-B) 2D dinamik analizle hesaplanan efektif spektrum katsayılarının ait olduğu noktaların konumları.



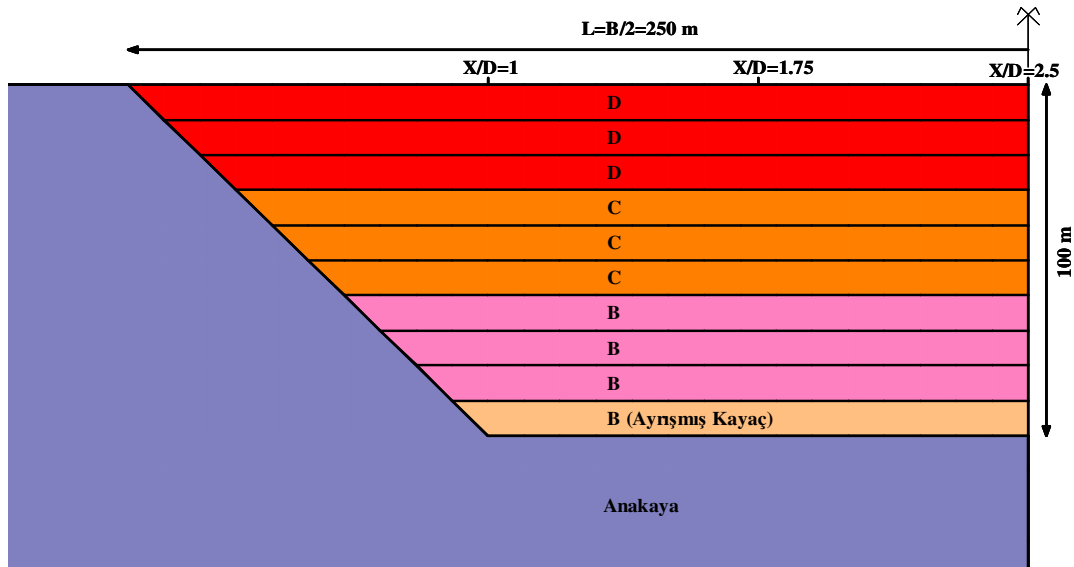
Şekil 5.46 : Üst tabakası kil ve 60 m derinliğindeki (C-B, 30-30) vadi modelinde (Z3) bir ve iki boyutlu analizle hesaplanan efektif spektrum katsayıları.

Üst tabakası kum olan ve yüzeyden itibaren sırasıyla C-B grubu zemin tabakalarından oluşmuş 60 m derinliğindeki modelde, maksimum anakaya ivmesinde meydana gelen artış vadi yüzeyindeki bütün bölgelerde spektrum katsayısı değerlerini azaltmıştır (Şekil 5.47). Maksimum anakaya ivmesi 0.1 g olan deprem için vadi yüzeyinin farklı bölgelerinde elde edilen spektrum katsayısı değerleri üst

tabakası kil olan modeldekine benzer davranış göstermektedir. Yüksek periyotlu deprem dalgalarından oluşan Mendocino depremi için hakim periyot vadi ortasına doğru artmakla birlikte efektif spektrum katsayısı değeri fazla değişmemektedir.



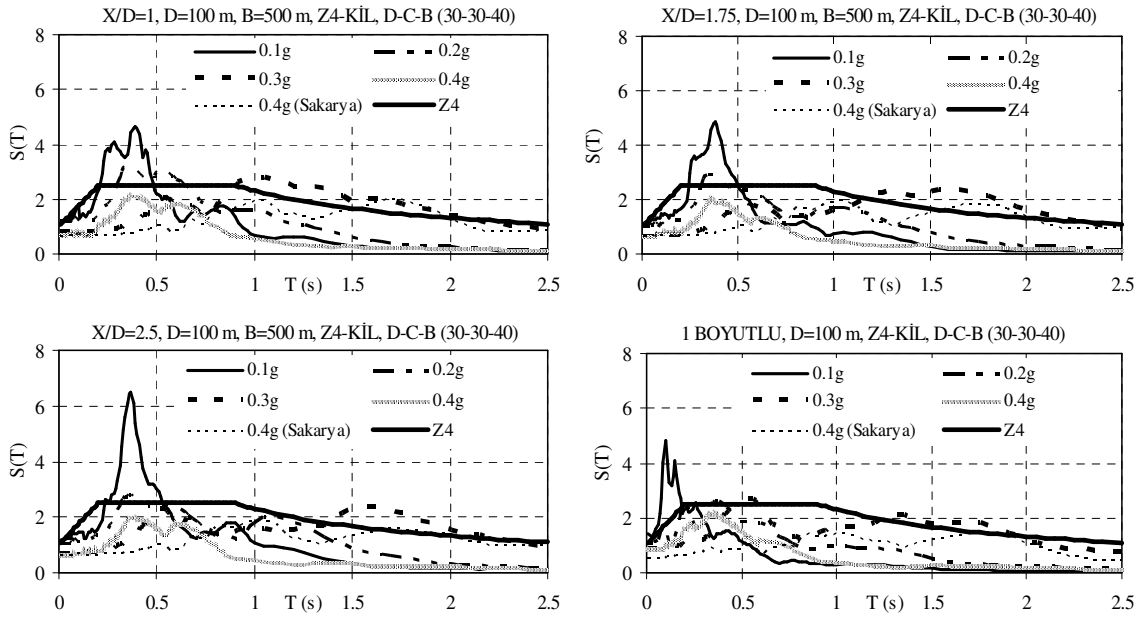
Şekil 5.47 : Üst tabakası kum ve 60 m derinliğindeki (C-B, 30-30) vadi modelinde (Z3) bir ve iki boyutlu analizle hesaplanan efektif spektrum katsayıları.



Şekil 5.48 : 100 m derinliğindeki modelde (D-C-B) 2D dinamik analizle hesaplanan efektif spektrum katsayılarının ait olduğu noktaların konumları.

Sırasıyla 30 m kalınlığında D grubu, 30 m kalınlığında C grubu ve 40 m kalınlığında B grubu zemin tabakalarından oluşan ve yerel zemin sınıfı Z4 olan 100 m derinliğindeki vadi modeli kullanılarak yapılan iki boyutlu analizlerin sonuçları Şekil 5.48’de verilen düğüm noktaları için elde edilmiştir. Şekil 5.49’daki efektif spektrum

katsayılarından da görülebileceği gibi, yüzeydeki maksimum anakaya ivmesinin 0.1 g'den daha büyük değerleri için vadi yüzeyindeki düğüm noktalarında elde edilen spektrum katsayıları birbirleriyle uyumludur. Ayrıca yine 0.1 g'den büyük maksimum anakaya ivmesine sahip depremler için vadinin farklı noktalarında elde edilen spektrum katsayıları bir boyutlu analizle iki boyutlu analizin birbirine yakın sonuçlar verdiğini göstermektedir. Maksimum anakaya ivmesi 0.1 g olan Palm Springs depremi için yüzeyde elde edilen spektral büyütme vadi kenarından ortasına doğru artmakta ve vadi ortasında maksimum değerine ulaşmaktadır.



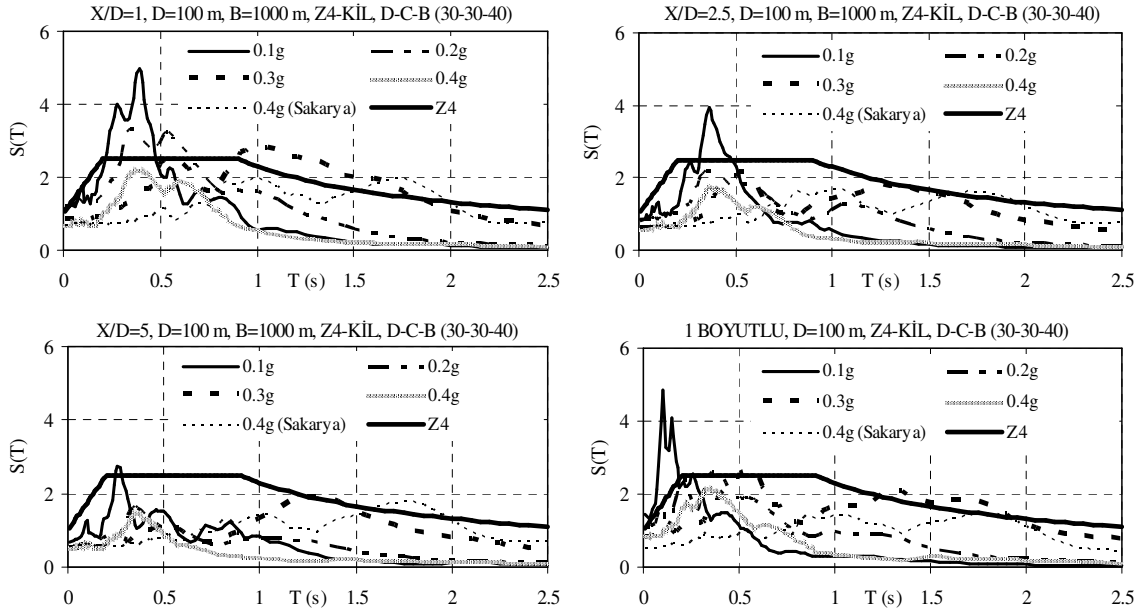
Şekil 5.49 : Üst tabakası kil ve 100 m derinliğindeki (D-C-B, 30-30-40) vadi modelinde 1D ve 2D analizle hesaplanan efektif spektrum katsayıları.

Üst tabakası kum olan ve yüzeyden itibaren sırasıyla D-C-B grubu zemin tabakalarından oluşmuş 100 m derinliğindeki vadi modelinde üst tabakası kil olan modelle benzer davranış görülmekle birlikte, maksimum anakaya ivmesi 0.1 g olan Palm Springs depremi için efektif spektrum katsayıları vadi kenarından ortasına doğru yaklaşık olarak değişmeden kalmaktadır (Şekil 5.50).

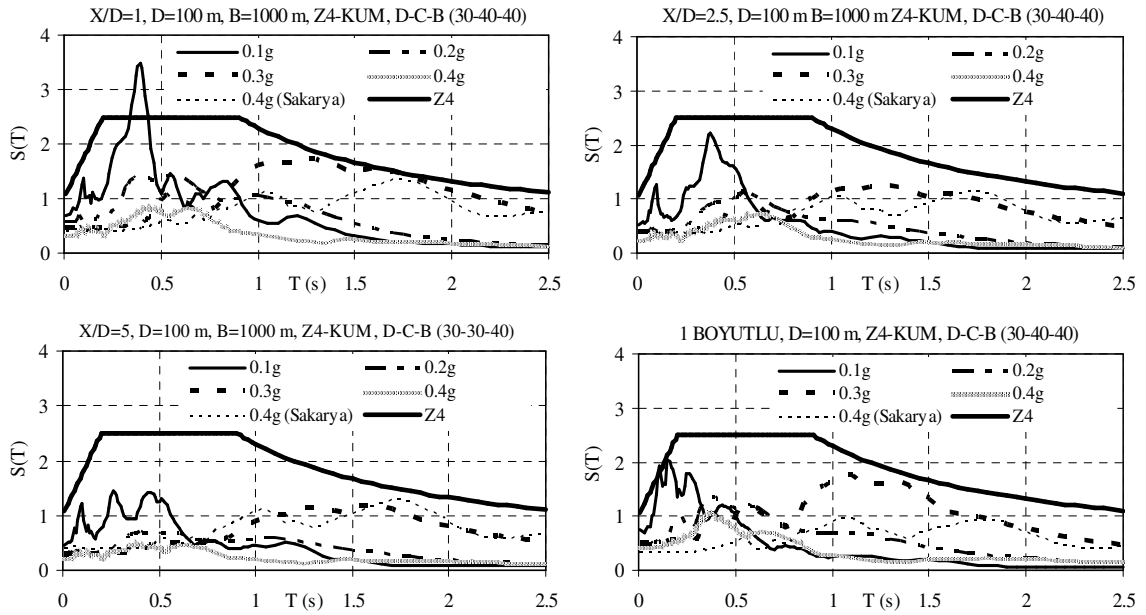
Vadi derinliği değiştirilmeden vadi genişliğinin iki katına çıkarıldığı, 100 m derinliğindeki ve 1000 m genişliğindeki model kullanılarak yapılan iki boyutlu analizlerin sonuçları Şekil 5.51'de verilen düğüm noktaları için elde edilmiştir. Şekil 5.52'den görülebileceği gibi vadi kenarında ($X/D=1$) elde edilen spektrum katsayıları, vadi genişliğinin $B=500$ m olduğu bir önceki modelde hesaplananla yaklaşık aynıdır. Bununla birlikte bu modelde elde edilen efektif spektrum katsayısı

Üst tabakası kum olan ve yüzeyden itibaren sırasıyla D-C-B grubu zemin tabakalarından oluşmuş 100 m derinliğindeki ve 1000 m genişliğindeki vadi modelinde kenarda ($X/D=1$) hesaplanan efektif spektrum katsayıları, vadi genişliğinin $B=500$ m olduğu bir önceki modelde bulunanla yaklaşık aynıdır (Şekil 5.53). Yine bu modelde elde edilen efektif spektrum katsayıları, özellikle anakaya maksimum ivmesinin 0.1 g değeri için vadi ortasına doğru azalmaktadır. Bir ve iki

boyutlu analizden hesaplanan efektif spektrum katsayıları, 0.1 g'den daha büyük maksimum anakaya ivme değerleri için vadinin her bölgesinde birbirine yakındır.



Şekil 5.52 : Üst tabakası kil, 100 m derinliğinde ve 1000 m genişliğindeki vadi modelinde 1D ve 2D analizle hesaplanan efektif spektrum katsayıları.

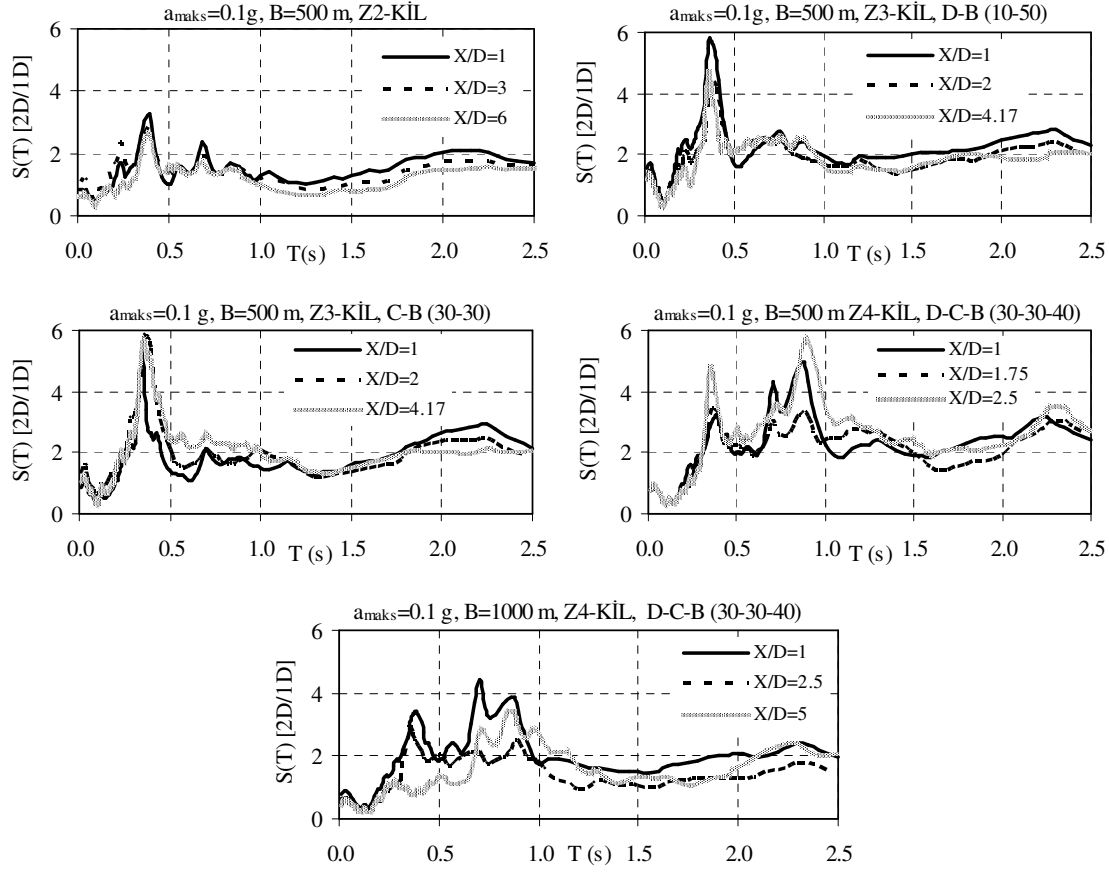


Şekil 5.53 : Üst tabakası kum, 100 m derinliğinde ve 1000 m genişliğindeki vadi modelinde 1D ve 2D analizle hesaplanan efektif spektrum katsayıları.

5.5 Dinamik Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması

Farklı genişliğe, derinliğe ve zemin grubuna sahip simetrik ova/vadi modelleri üzerinde yapılan 1D ve 2D analiz sonuçlarının karşılaştırılabilmesi ve ikisi

arasındaki farkın belirlenebilmesi amacıyla 2D/1D spektral ivme oranları vadi üzerindeki üç ayrı nokta için hesaplanmıştır. Bu karşılaştırmalar üst tabakası kil ve kum olan modellerde 5 farklı anakaya ivme zaman geçmişi için ayrı ayrı yapılmıştır.

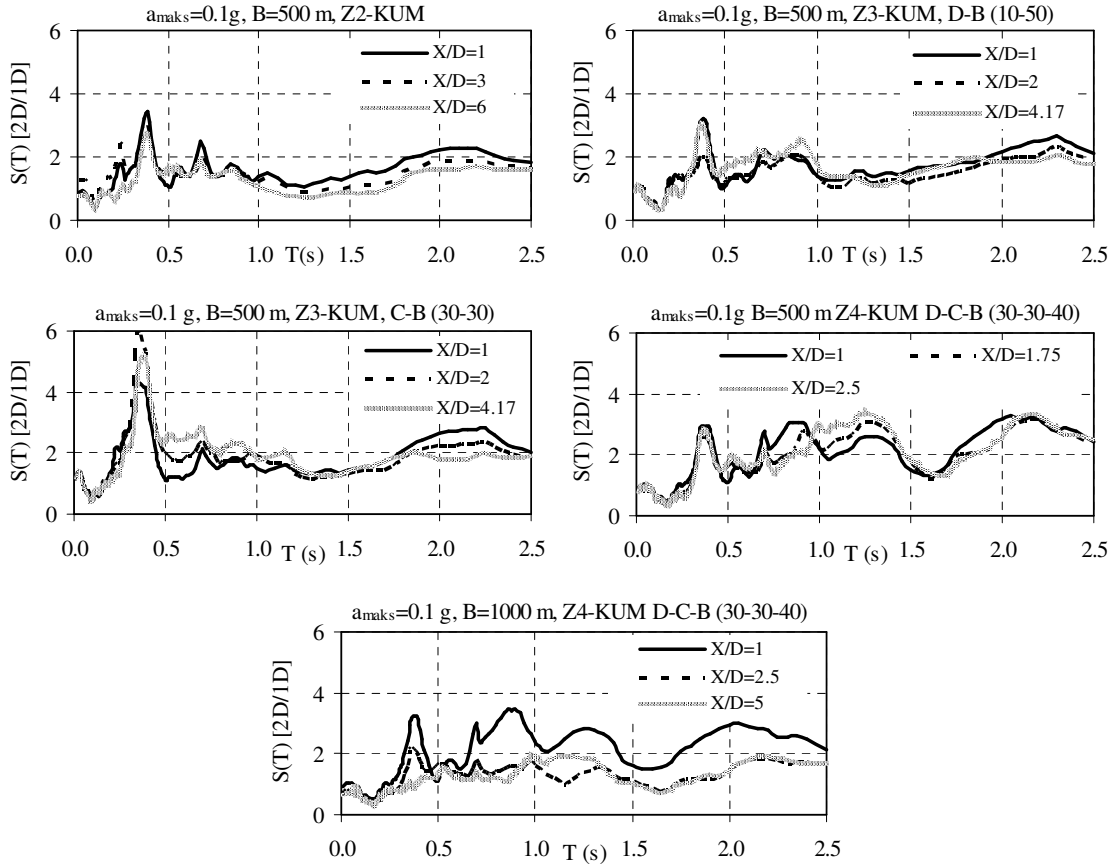


Şekil 5.54 : Maksimum değeri 0.1 g olan deprem kaydı kullanılarak üst tabakası kil olan modellerde hesaplanan 2D ve 1D spektral ivmelerin oranları.

Şekil 5.54'te en büyük anakaya ivmesi 0.1 g olacak biçimde ölçeklendirilmiş ve yüksek frekanslı dalga bileşenlerinden oluşan ($2\pi v_{maks_k}/a_{maks_k}=0.17$ s) Palm Springs depremi ivme zaman geçmişinin zemin tabakalarının dinamik analizi için kullanılmasıyla elde edilen 2D/1D spektral ivme oranları gösterilmiştir. Bu değerler, vadi yüzeyinin farklı noktaları için 2 ve 1 boyutlu analizle elde edilen ivme spektrumlarının oranlanmasıyla elde edilmiştir.

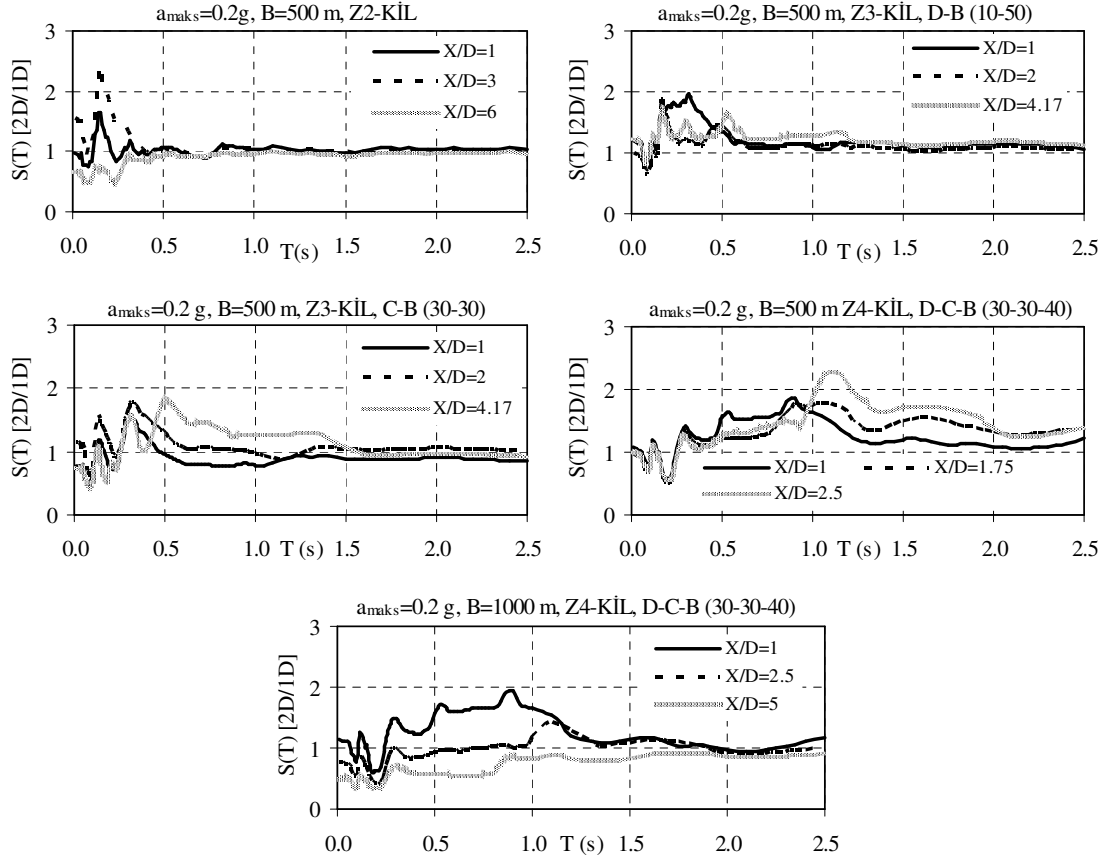
Şekilden de görülebileceği gibi 2D/1D spektral ivme oranları 1 s'den küçük periyotlarda 6 değerine kadar ulaşabilmekte, 1 s'den sonra yaklaşık 2 değerine düşmektedir. 2D/1D spektral ivme oranları, 1000 m genişliğindeki 100 m derinliğindeki yerel zemin sınıfı Z4 olan vadi modeli dışında genellikle vadinin her noktası için birbirine yakın değerler almaktadır. Zemin sınıfı Z2 olan 30 m derinliğindeki vadi modelinde 2D/1D spektral ivme oranlarının etkisi diğer

modellerdekine oranla daha azdır. 60 m derinliğindeki vadi modellerinde 0.4 s civarında değeri 6'ya varan spektral ivme oranları elde edilmiştir. Vadi derinliği 100 m'ye ulaşınca spektral ivme oranlarının maksimum değerleri yüksek periyotlara kaymaktadır. Ayrıca bu modellerde spektral ivme oranlarının yüksek olduğu periyot aralığı daha geniştir. Derinliği 100 m olan modelde, derinlik değişmeden genişliğin 500 m'den 1000 m'ye çıkması vadi kenarındaki 2D/1D spektral ivme oranlarını etkilememekte, bununla birlikte bu değerler vadi ortasına doğru azalmaktadır.



Şekil 5.55 : Maksimum değeri 0.1 g olan deprem kaydı kullanılarak üst tabakası kum olan modellerde hesaplanan 2D ve 1D spektral ivmelerin oranları.

Maksimum ivmesi 0.1 g olan Palm Springs depremi ivme zaman geçmişiyle üst tabakası kum olan modellerde yapılan analizler sonucunda elde edilen 2D/1D spektral ivme oranları Şekil 5.55'te gösterilmiştir. Bu modellerde hesaplanan 2D/1D spektral ivme oranları, üst tabakası kil olan modellere göre çok azalmakla birlikte sadece en üst tabakası 30 m kalınlığında C grubu kum olan 60 m derinliğinde ve yerel zemin sınıfı Z3 olan modelde büyütme oranları değişmeden kalmıştır. 1000 m genişliğindeki vadi modelinde en üst tabakanın kum olması, vadi ortasına doğru 2D/1D spektral ivme oranlarını birbirine yaklaştırmıştır.

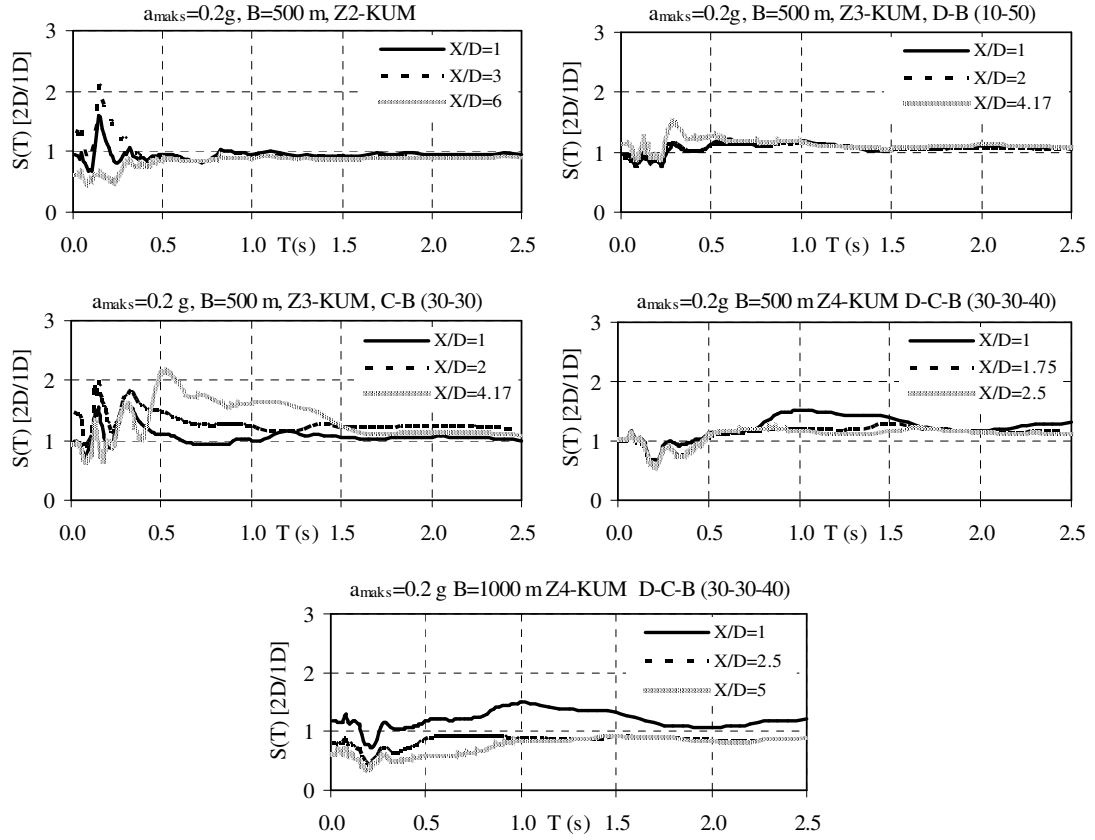


Şekil 5.56 : Maksimum değeri 0.2 g olan deprem kaydı kullanılarak üst tabakası kil olan modellerde hesaplanan 2D ve 1D spektral ivmelerin oranları.

Şekil 5.56’da, en büyük anakaya ivmesi 0.2 g olacak biçimde ölçeklendirilmiş 11 Kasım 1999 Sakarya depreminin dinamik analiz için kullanılmasıyla elde edilen 2D/1D spektral ivme oranları gösterilmiştir. Spektral ivme oranlarının en yüksek değerleri, vadi modellerinin hepsinde 2 ve 2’den daha küçük değerlere inmektedir. Rijit olan 30 m derinliğindeki modelde 2D/1D spektral ivme oranları, vadi ortasına yakın noktalarda 0.5 s’den küçük periyotlar için 1’den daha az değerler almaktadır. Üst tabakası 30 m kalınlığında C grubu kil zeminden oluşan Z3 sınıfı modelde spektral ivme oranlarının hakim periyodu vadi ortasına doğru artmaktadır. Vadi derinlikleri arttıkça, modellerin ortasına doğru hakim periyotlar büyümektedir. 1000 m genişliğe sahip modeldeki 2D/1D spektral ivme oranları, vadinin farklı noktalarında birbirinden çok farklıdır ve vadi ortasına doğru 1’in altına düşmektedir.

Sakarya depremi kullanılarak üst tabakası kum olan modellerde yapılan analizler sonucunda elde edilen büyütme Şekil 5.57’de verilmiştir. Üst tabakasında 10 m kalınlığında D grubu zemin bulunan ve ani rijitlik değişimi gösteren 60 m derinliğindeki model ile 100 m derinliğindeki model için hesaplanan 2D/1D spektral ivme oranı değerleri, üst tabakası kil olan modellerden farklı ve 1 civarındadır. Diğer

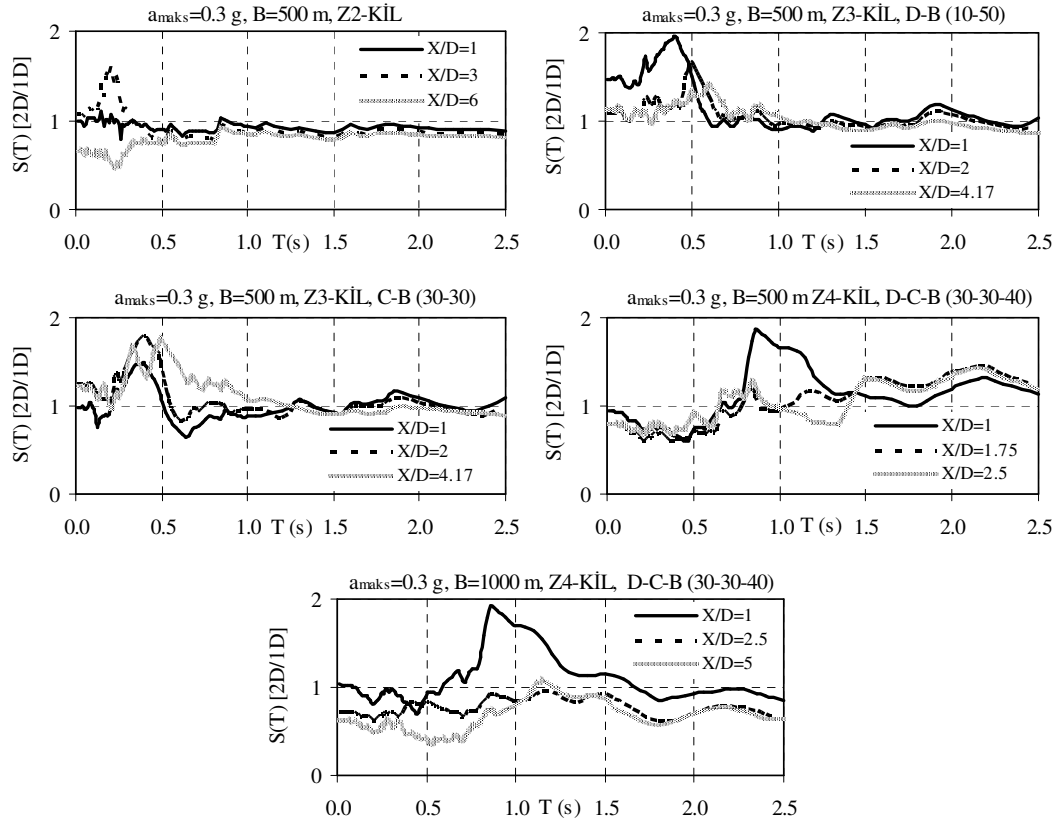
modellerdeki 2D/1D spektral ivme oranı değerlerinde üst tabakası kil modellere göre çok farklılık görülmemektedir.



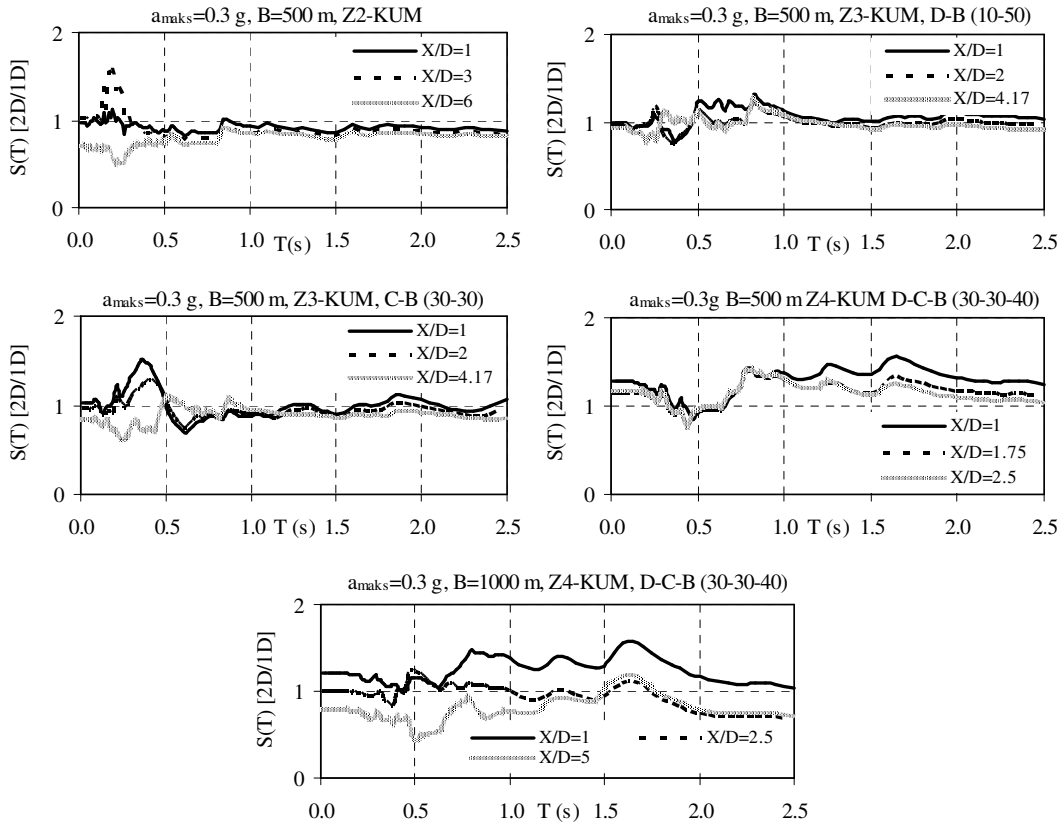
Şekil 5.57 : Maksimum değeri 0.2 g olan deprem kaydı kullanılarak üst tabakası kum olan modellerde hesaplanan 2D ve 1D spektral ivmelerin oranları.

Şekil 5.58’de, en büyük anakaya ivmesi 0.3 g olan ve yüksek periyotlu dalga bileşenlerinden oluşan ($2\pi v_{maks_k}/a_{maks_k}=0.78$ s) Mendocino ivme kaydının dinamik analizde kullanılmasıyla elde edilen 2D/1D spektral ivme oranları gösterilmiştir. Maksimum anakaya ivmesi 0.2 g olan 11 Kasım 1999 Sakarya depremi etkisinde üst tabakası kil olan modeller için elde edilen ve Şekil 5.56’da verilen 2D/1D spektral ivme oranı eğrilerine benzer davranış görülmektedir. Ayrıca en büyük spektral ivme oranları, vadi modellerinin hepsinde 2’den daha küçük değerlere inmiştir.

Mendocino depremi kullanılarak üst tabakası kum olan modellerde yapılan analizler sonucunda elde edilen 2D/1D spektral ivme oranı eğrileri Şekil 5.59’da verilmiştir. Bu modellerde spektral ivme oranlarının değerleri üst tabakası kil olan modelden daha küçüktür. Bununla birlikte daha önceki depremler de göz önüne alındığında, üst tabakası kil olan modellerde hesaplanan spektral ivme oranlarıyla kum olan modellerde elde edilenler arasındaki farklılaşma, anakayadaki ivme şiddetinin yükselmesiyle azalmaktadır.

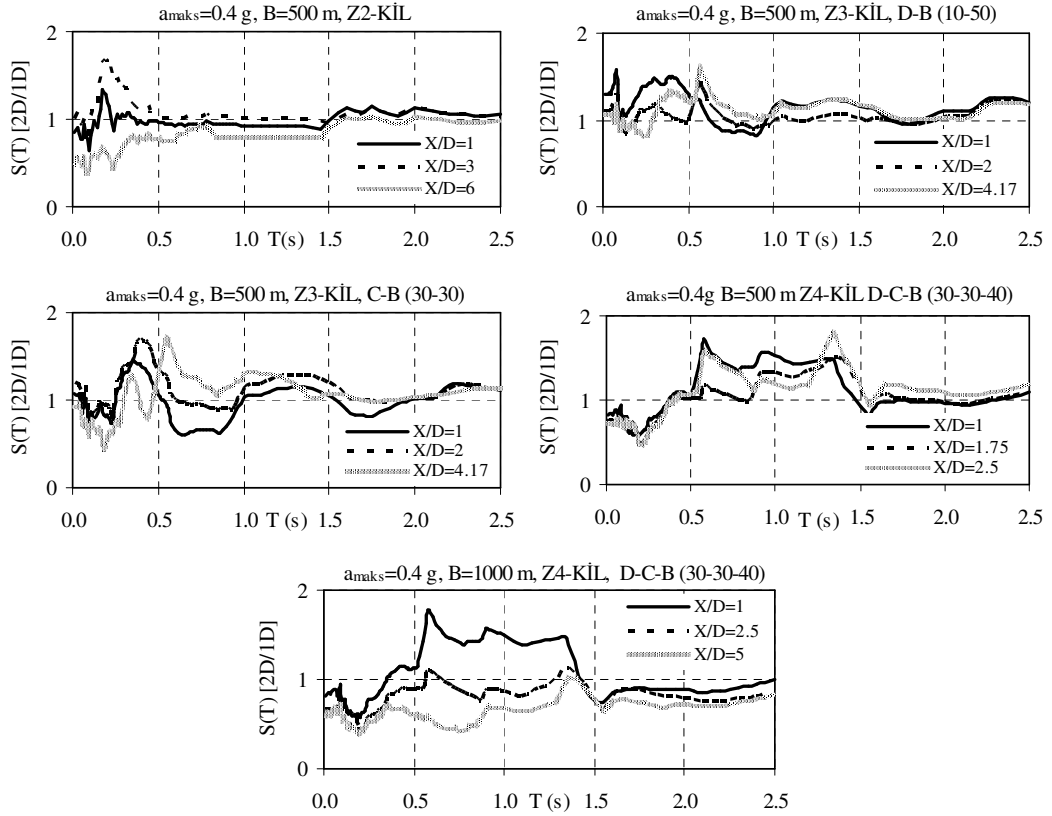


Şekil 5.58 : Maksimum değeri 0.3 g olan deprem kaydı kullanılarak üst tabakası kil olan modellerde hesaplanan 2D ve 1D spektral ivmelerin oranları.



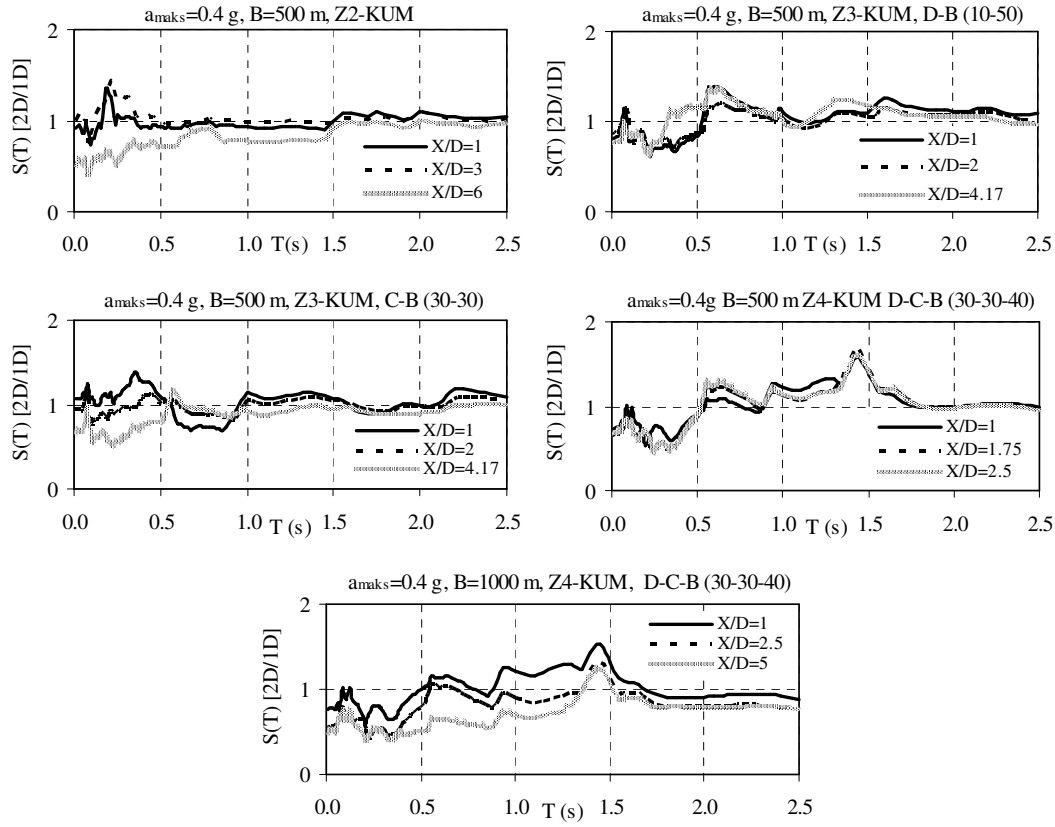
Şekil 5.59 : Maksimum değeri 0.3 g olan deprem kaydı kullanılarak üst tabakası kum olan modellerde hesaplanan 2D ve 1D spektral ivmelerin oranları.

Şekil 5.60'ta en büyük anakaya ivmesi 0.4 g olacak biçimde ölçeklendirilmiş Loma Prieta depremi ivme zaman geçmişi zemin tabakalarının dinamik analizi için kullanılmasıyla elde edilen 2D/1D spektral ivme oranları gösterilmiştir. Şekilden de görülebileceği gibi vadi modellerinin hepsinde 2D/1D spektral ivme oranlarının maksimum değerleri 1.75 civarına düşmüştür. Elde edilen 2D/1D spektral ivme oranı eğrilerinin davranışı, en büyük anakaya ivmesi 0.2 g olan Sakarya ve 0.3 g olan Mendocino depremlerinde elde edilenlere benzemektedir.

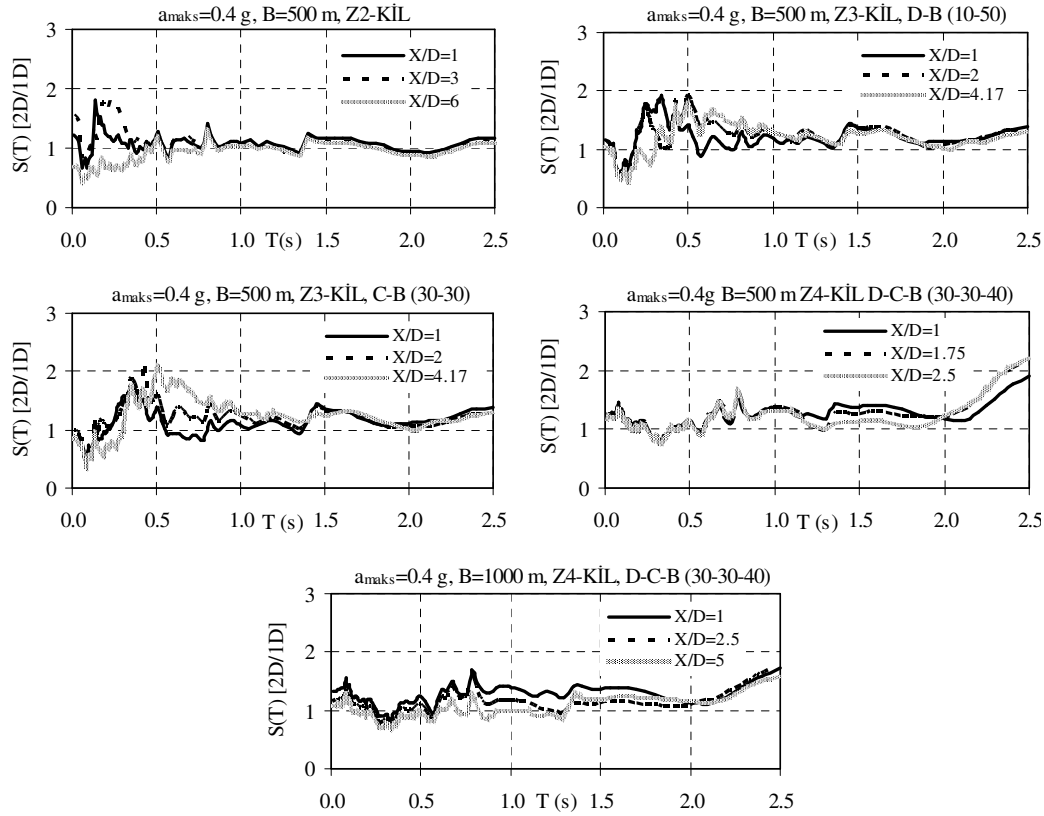


Şekil 5.60 : Maksimum değeri 0.4 g olan deprem kaydı kullanılarak üst tabakası kil olan modellerde hesaplanan 2D ve 1D spektral ivmelerin oranları.

Loma Prieta depremi kullanılarak üst tabakası kum olan modellerde yapılan analizler sonucunda elde edilen 2D/1D spektral ivme oranları Şekil 5.61'de verilmiştir. Bu modellerde 2D/1D spektral ivme oranlarının değerleri üst tabakası kil olan modelden daha azdır ve en fazla 1.5 değerine kadar yükselmektedir. Üst tabakası kum olan modellerde yapılan dinamik analizler sonucunda en büyük anakaya ivmesi 0.2 g olan Sakarya depreminden başlamak üzere artan anakaya deprem ivmesi şiddetleriyle vadinin farklı noktalarında hesaplanan spektral ivme oranlarının ortalamasının 1 değerine çok yaklaştığı görülmektedir. Ayrıca yine artan anakaya ivme şiddetiyle 2D/1D spektral ivme oranlarının en büyük değerleri de 1.5'in altına düşmüştür.

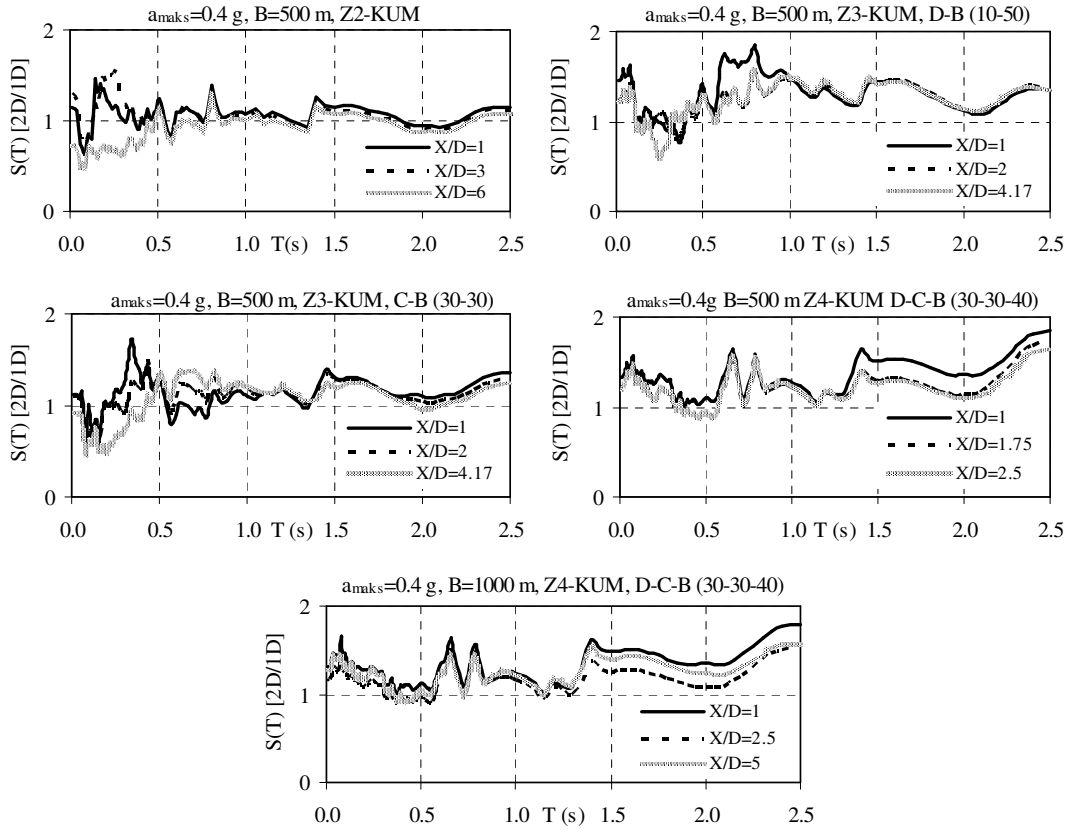


Şekil 5.61 : Maksimum değeri 0.4 g olan deprem kaydı kullanılarak üst tabakası kum olan modellerde hesaplanan 2D ve 1D spektral ivmelerin oranları.



Şekil 5.62 : 17 Ağustos deprem kaydı kullanılarak üst tabakası kil olan vadi modellerinde hesaplanan 2D ve 1D spektral ivmelerin oranları.

Şekil 5.62’de en büyük anakaya ivmesi 0.4 g olacak biçimde ölçeklendirilmiş 17 Ağustos Kocaeli depremi ivme zaman geçmişinin zemin tabakalarının dinamik analizi için kullanılmasıyla elde edilen 2D/1D spektral ivme oranları gösterilmiştir. Şekilden de görülebileceği gibi vadi modellerinin hepsinde 2D/1D spektral ivme oranlarının en büyük değerleri 2 civarına düşmüştür. Hesaplanan 2D/1D spektral ivme oranları, en büyük anakaya ivmesi 0.2 g’den büyük olan depremlerdekine benzer olmakla birlikte deprem dalgasının özelliği nedeniyle özellikle 100 m derinliğindeki modelde 2D/1D spektral ivme oranları 2.5 s’den yüksek periyotlar için 2 değeri civarına çıkmaktadır. Üst tabakası kum olan modellerde yapılan analizler sonucunda elde edilen 2D/1D spektral ivme oranı eğrileri Şekil 5.63’te verilmiştir. Bu modellerde spektral ivme oranlarının değerleri üst tabakası kil olan modelden daha azdır ve en fazla 1.75 değerine kadar yükselmektedir.



Şekil 5.63 : 17 Ağustos deprem kaydı kullanılarak üst tabakası kum olan modellerde hesaplanan 2D ve 1D spektral ivmelerin oranları.

1 ve 2 boyutlu analiz sonuçlarının birlikte değerlendirilip ve iki yöntem arasındaki farkın belirlenebilmesi amacıyla iki boyutlu analizde vadinin farklı noktaları için hesaplanan ivme spektrumları, bir boyutlu analizde elde edilenlere oranlanmıştır. Böylece vadinin farklı bölgeleri için 2D/1D spektral ivme oranları elde edilmiştir.

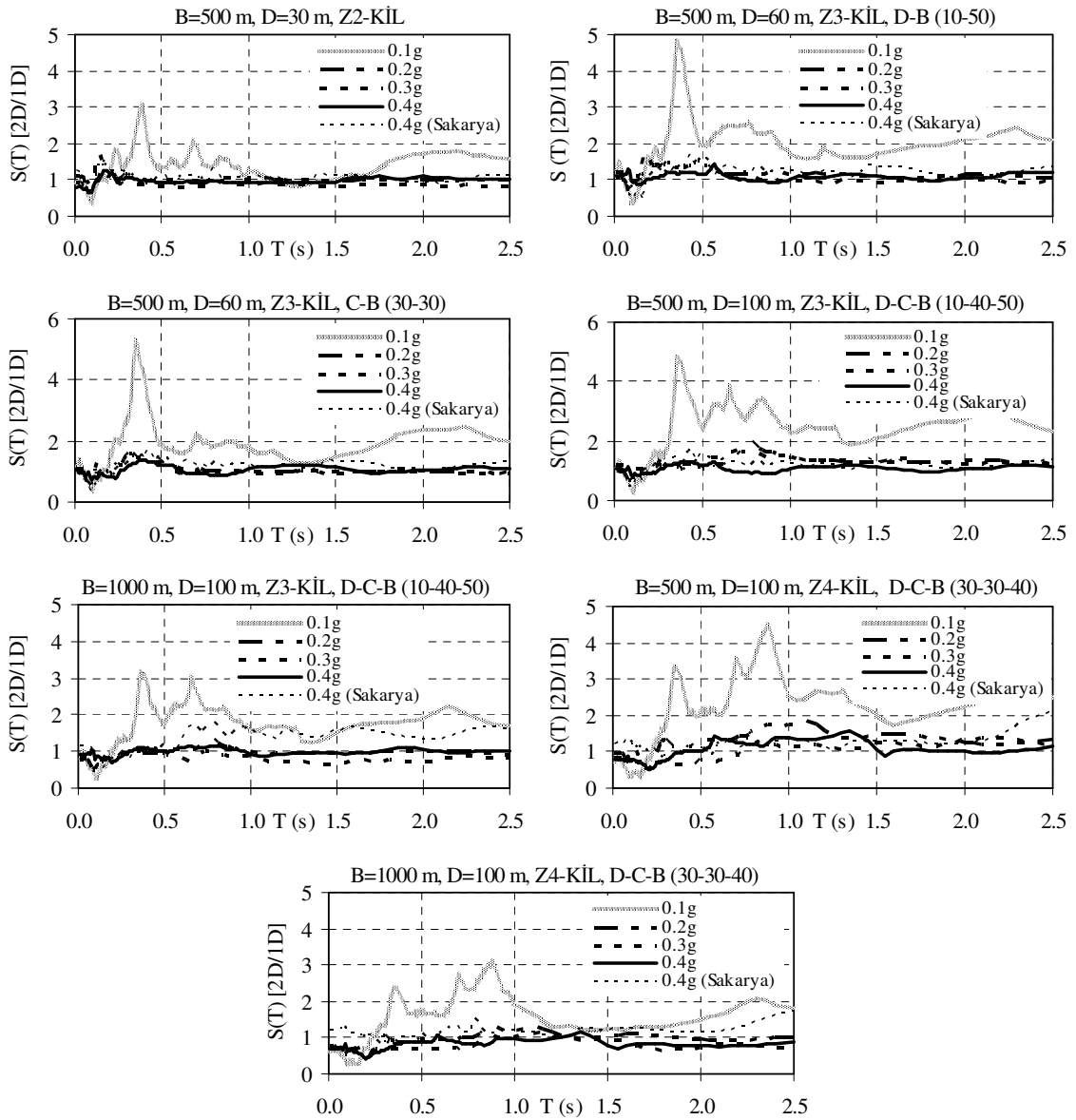
Analizlerde kullanılan anakaya maksimum ivmesinin 0.1 g olması durumunda yüksek 2D/1D spektral ivme oranı değerleri elde edilmekte ve hesaplanan değerler vadinin farklı noktaları için birbirine çok yaklaşımaktadır. Anakaya ivmesinin en büyük değerinin 0.2 g ve daha yüksek olması durumunda vadi modellerinin farklı noktaları için hesaplanan 2D/1D spektral ivme oranlarının değerleri 2'nin altına düşmekte, değişik vadi bölgeleri için elde edilen spektral ivme oranı değerleri birbirinden farklılaşabilmekte, bununla birlikte farklılaşma aralığı sınırlı kalmaktadır.

Bu durum gözönüne alınarak, ayrıca basitlik ve anlaşılabilirlik açısından her vadi modelinin belirli bir anakaya ivme büyüklüğü için tek bir 2D/1D spektral ivme oranı eğrisiyle temsil edilebileceği kabul edilmiştir. Bu nedenle ele alınan herhangi bir vadi modeli için yüzeyin farklı noktalarında hesaplanan 2D/1D spektral ivme oranı değerlerinin ortalaması alınmıştır. Bununla birlikte bu bölümde daha önce bazı farklı modeller ve deprem hareketleri için verilen grafiklerden, 0.1 g'den daha büyük maksimum anakaya ivmesine sahip deprem kayıtlarının kullanılmasıyla yapılan dinamik analizlerde vadi derinliğinden bağımsız olmak üzere, vadinin farklı noktaları için hesaplanan 2D/1D spektral ivme oranı değerlerinin birbirinden çok farklılaşabildiği görülmektedir. Bu durum, derinliği 30 m olan vadi modelinde 0.5 s'den küçük periyotlar için öne çıkmakta, derinliği 100 m olan vadi modelinde zemin cinsine ve anakayadaki maksimum ivme büyüklüğüne bağlı olarak yüksek periyotlara doğru kaymaktadır.

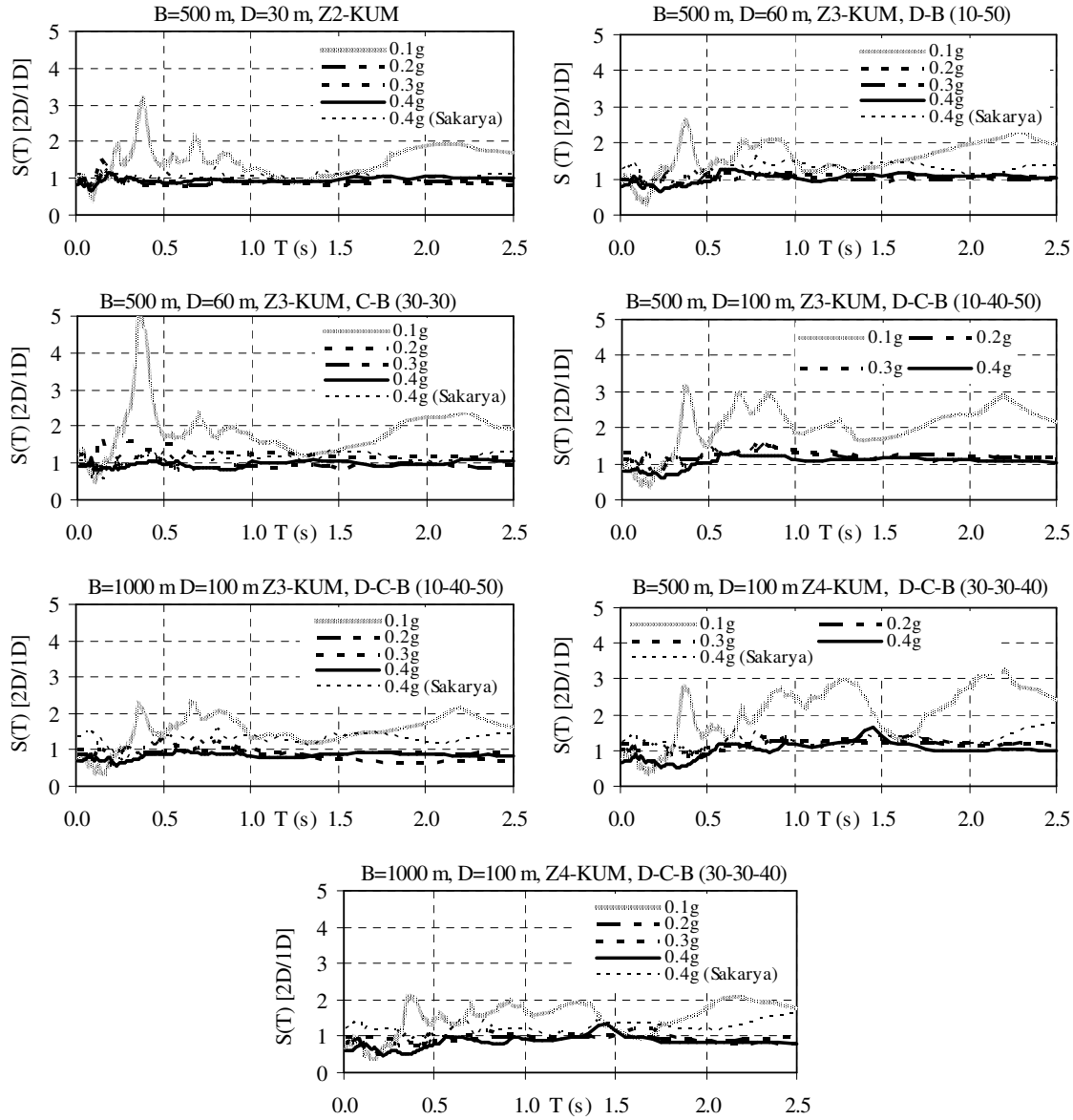
Üst tabakası kil olan farklı birkaç model için ortalama 2D/1D spektral ivme oranları Şekil 5.64'te verilmiştir. Şekilden de görülebileceği, anakaya deprem kaydının en büyük ivme değerinin 0.1 g olması durumunda bütün vadi modellerinde hesaplanan ortalama 2D/1D spektral ivme oranlarının en büyük değerleri 2-5 arasında bulunmaktadır. Ancak anakaya ivme zaman geçişinin maksimum değerinin 0.2 g ve daha büyük olması durumunda bütün vadi modelleri için ortalama spektral ivme oranı değerleri 0.5-2 aralığında değişmektedir ve 1 değerine çok yaklaşımaktadır.

Maksimum anakaya ivmesi 0.1 g olduğunda meydana gelen şekil değiştirmelerin küçük olması nedeniyle zemin tabakalarındaki rijitlik azalımı sınırlı kalmakta, tekrarlı yükler altında sönüm oranındaki artış fazla olmamakta dolayısıyla zemin tabakaları lineer elastik davranış göstermektedir. Sonuçlardan, bu durumda ikinci boyut etkisinin ve düşey sınır koşullarının, 1 boyutludakinden farklı sonuçların çıkmasına neden olduğu görülmektedir. Bununla birlikte maksimum anakaya

ivmesinin 0.2 g değerinden itibaren 2 ve 1 boyutlu analizle elde edilen sonuçlardaki farklılaşma görece olarak çok azalmaktadır. Şekil 5.64'ten de görülebileceği gibi 30 m'den daha derin vadi modellerinde 0.1 g maksimum anakaya ivmesi için yüksek 2D/1D spektral ivme oranları elde edilmiş, vadi derinliğinin artmasıyla 2D/1D spektral büyütme oranları etkili olduğu aralık 2.5 s periyoda kadar genişlemiştir. Üst tabakasında D grubu zemin bulunan 60 ve 100 m derinliğindeki modellerde 0.5 saniyeden daha yüksek periyotlar için 2D/1D spektral ivme oranları artmaktadır. Özellikle üstte 30 m kalınlığında D grubu zemin bulunan 100 m derinliğindeki vadi modelinde, spektral ivme oranlarının hakim periyodu 0.8 s civarına kaymıştır.



Şekil 5.64 : Üst tabakası kil olan farklı derinlik, genişlik ve yerel zemin sınıfına sahip vadi modellerinde elde edilen ortalama 2D/1D spektral ivme oranı grafikleri.



Şekil 5.65 : Üst tabakası kum olan farklı derinlik, genişlik ve yerel zemin sınıfına sahip vadi modellerinde elde edilen ortalama 2D/1D spektral ivme oranı grafikleri.

Üst tabakası kum olan farklı birkaç vadi modeli için ortalama 2D/1D spektral ivme oranı eğrileri Şekil 5.65'te verilmiştir. Üst tabakası kum olan vadi modellerinde, maksimum anakaya ivmesinin 0.2 g ve daha yüksek olması durumu için bütün vadi modellerinde 2D/1D spektral ivme oranı değerleri 1'e çok yaklaşmaktadır. Maksimum anakaya ivmesinin 0.1 g olması halinde üst tabakası D grubu kum zemin olan modellerde elde edilen 2D/1D spektral ivme oranları, üst tabakası kil olan vadi modellerine oranla azalmaktadır. Bununla birlikte üst tabakası daha rijit olan (C grubu zemin) modellerde, 2D/1D spektral ivme oranları değişmeden kalmaktadır. D=30 m ve B=500 m ile D=100 m ve B=1000 m olan vadi modellerinde ortalama

2D/1D spektral ivme oranları; üst tabakanın kil olması durumu için Şekil 5.64, üst tabakanın kum olması durumu için Şekil 5.65'te verilmekle birlikte, $B/D \geq 10$ olan vadilerde; vadi üzerindeki bütün noktaların tek bir 2D/1D spektral ivme oranı eğrisiyle temsil edilmesi, vadi kenarındaki 2D/1D spektral ivme oranı değerlerinin güvensiz tarafta kalmasını sağlayacağı için uygun olmayacaktır.

5.6 Sonuçlar

Tez çalışmasının bu bölümünde; zemin tabakalaşmasının, vadi derinliği ve genişliğinin, deprem hareketinin frekans özellikleri ve şiddetinin zemin büyütmesine ve yüzeydeki deprem hareketinin frekans içeriğine etkisi incelenmiştir. Bu amaçla, anakaya eğimi 45° olan, zemin tabakalaşmasının yatay yönde olduğu, derinlik ve genişliği farklı modeller kullanılarak 1 ve 2 boyutlu dinamik analizler yapılmıştır. Bu modellerde anakaya üstünde yeralan tabaka kalınlıkları ve başlangıç kayma modülü gibi dinamik özellikler “DBYBHY”teki farklı yerel zemin sınıflarını oluşturacak şekilde seçilmiştir. Zemin cinsinin dinamik davranışa etkisini araştırmak için vadi bölgesinde en üstte yer alan zemin tabakası kil ($I_p = \% 30$) ve siltli kum olarak ayrı ayrı modellenmiştir. Analizlerde, farklı frekans içeriği ve maksimum ivme değerine sahip 5 ayrı kuvvetli ivme zaman geçmişi kullanılmıştır.

Yapılan analizler sonucunda, vadi yüzeyindeki ivme zaman geçmişleri ve mutlak ivme spektrumları elde edilmiştir. Vadilerin yüzeyinde hesaplanan maksimum ivmeler (a_{maks_y}), yüzeydeki maksimum anakaya ivmelerine (a_{maks_k}) oranlanarak zaman ortamındaki zemin büyütmesi (a_{maks_y}/a_{maks_k}) elde edilmiştir. Ayrıca vadi yüzeyinde hesaplanan bu değerlerin, vadi kenarındaki anakaya yüzeyinden vadi ortasına doğru uzaklığa bağlı değişimleri de incelenmiştir. Modeller üzerinde yapılan iki boyutlu dinamik analizlerden elde edilen sonuçlar aşağıda kısaca özetlenmiştir:

- Yerel zemin sınıfı Z3 olan 30 m derinliğindeki vadi modelinde anakayadaki en büyük ivme değerleri büyüdüğü zaman zemin büyütmeleri azalmakta, bu durum üst tabakanın kum olduğu modelde daha belirgin hale gelmektedir.
- Yerel zemin sınıfı Z2 olan 500 m genişliğinde, 30 ve 60 m derinliklerindeki rijit vadi modellerinde üst tabakadaki zemin cinsinden bağımsız olmak üzere yüksek büyütme değerleri hesaplanmıştır. Bu modellerde zemin tabakalarında genellikle lineer elastik davranışın hakim olduğu ve anakayadaki ivme

şiddetinin vadi üzerindeki noktalarda oluşan büyütme değerlerini azaltıcı bir etkisinin olmadığı görülmektedir. Ayrıca rijitlik azalımının daha büyük şekil değiştirmelerde başladığı üst tabakası kil ($I_p = \% 30$) olan modelde, kum zemine oranla daha yüksek tepkiler meydana gelmiştir.

- Rijit olan bu vadi modellerinde yüksek periyotlu deprem dalgaları altında büyütme minimum olmakta, yani rijit zemin tabakalarından oluşan vadi modelleri depremin ivme büyüklüğüne oranla frekans içeriğinden daha fazla etkilenmektedir. Ayrıca 60 m derinliğindeki modelde, 0.3 g'den daha küçük maksimum anakaya ivmesi değerleri için büyütme vadi ortasında en büyük değerlerine ulaşmaktadır.
- En üstte farklı kalınlıkta D grubu kil zemin bulunan ve yerel zemin sınıfı Z3 ile Z4 olan 60 m derinliğindeki modellerde zemin rijitliği yüzeye doğru kademeli şekilde azalmakta, 0.1 g'den daha büyük anakaya ivme değerleri için büyütme etkili olmamakta ve maksimum büyütme $X/D=1$ bölgesiyle sınırlı kalmaktadır. Anakayadaki en büyük ivme değeri büyüdüğü zaman, zemin büyütmelerinin maksimum değerleri azalmakta ve bu durum üst tabakanın kum olması halinde daha belirgin olmaktadır.
- En üst tabakasında ani rijitlik değişimi olan Z3 sınıfı 60 m derinliğindeki modelde, D grubu üst tabaka ile B grubu alt tabaka arasındaki rijitlik farkı nedeniyle oluşan özgül direnç oranındaki azalma, vadi kenarındaki büyütme arttırmakta ve vadi ortasına doğru değişmeden kalmasını sağlamaktadır.
- 500 m genişliğinde, 100 m derinliğinde ve yerel zemin sınıfı Z3 olan vadi modellerinde üst tabakada 10 m kalınlığında D grubu zemin bulunması halinde büyütme vadi kenarında ($X/D=1$) etkili olmakta, üst bölümün C grubu zeminden oluşması durumunda büyütme vadi ortasına doğru artmaktadır.
- En üst tabakasında D grubu zemin bulunup yerel zemin sınıfı Z4 olan ve üst tabakalara doğru kademeli rijitlik azalımına sahip (D-C-B) 100 m derinliğindeki modelde, büyütme önceki modellerle karşılaştırıldığında fark edilir biçimde azalmakta ve anakaya ivme zaman geçmişlerinin

maksimum değerlerinin büyümesi bu durumu daha belirgin hale getirmektedir.

- Vadi genişliğinin 500 m'den 1000 m'ye çıkarıldığı 100 m derinliğindeki ($B/D=10$) modellerde büyütme vadi kenarında etkili olmakta ve $X/D=2.5$ 'ten vadi ortasına kadar yaklaşık 1 değerini almaktadır.
- Yerel zemin sınıfı Z2 olan, üst tabakasında C grubu zemin bulunup yerel zemin sınıfı Z3 olan vadiler hariç olmak üzere üst tabakası kum olan modellerde elde edilen maksimum büyütme değerleri, üst tabakanın kil olması hali için hesaplananlardan oldukça az ve bazen 1'den küçük bulunmuştur. Bu durum maksimum anakaya ivmesinin 0.1 g'den büyük olması halinde daha belirgindir.

Bir ve iki boyutlu analizler yapılarak farklı en büyük anakaya ivmeleri için hesaplanan vadi yüzeyindeki spektral ivmeler, elde edildikleri maksimum yüzey anakaya ivme değerlerine göre normalleştirildikten sonra efektif spektrum katsayıları $S(T)$ elde edilmiştir. Modelin farklı noktaları için bir ve iki boyutlu analizle hesaplanan efektif spektrum katsayıları karşılaştırılarak aralarındaki fark ayrı yerel zemin sınıfları ve vadi derinliklerine sahip birkaç model kullanılarak gösterilmeye çalışılmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda kısaca özetlenmiştir:

- Yerel zemin sınıfı Z2 olan 30 m derinliğindeki rijit vadi modelinde, üst tabakadaki zemin cinsinden bağımsız olarak maksimum anakaya ivmesinin büyüklüğünün yüzeyde hesaplanan efektif spektrum katsayılarını azaltıcı bir etkisi olmadığı bulunmuştur. En düşük spektrum katsayıları yüksek periyoda sahip deprem dalgası etkisinde elde edilmektedir. En yüksek spektrum katsayıları $X/D=3$ bölgesinde hesaplanmaktadır ve vadi ortasına doğru ($X/D=6$), 1 boyutlu analizden elde edilenden daha düşük değerler almaktadır.
- Üst tabakası 10 m kalınlığında D grubu zemin, yerel zemin sınıfı Z3 olan 60 m derinliğindeki modelde en yüksek efektif spektrum katsayıları $X/D=1$ olan bölgede elde edilmektedir. Vadinin her bölgesi için hesaplanan spektrum katsayıları, 1 boyutlu analizle bulunandan çok daha yüksektir. Anakaya ivmesinin maksimum değerinin 0.1 g'den daha büyük olması halinde zemin cinsinden bağımsız olarak spektrum katsayıları vadinin her bölgesi için birbirine yaklaşmaktadır.

- En üst tabakasında 30 m kalınlığında C grubu zemin bulunup Z3 yerel zemin sınıfına sahip 60 m derinliğindeki modelde maksimum anakaya ivmesinin 0.1 g'den daha büyük değerleri için vadi yüzeyindeki efektif spektrum katsayıları birbirine yaklaşmaktadır. Yüksek periyotlu deprem dalgalarından oluşan anakaya ivme zaman geçmişleri kullanılarak hesaplanan spektrum katsayıları ve hakim periyotlar ise vadi ortasına doğru artmaktadır.
- Rijitliğin yüzeye doğru kademeli biçimde azaldığı yerel zemin sınıfı Z4 olan 100 m derinliğindeki ve 500 m derinliğindeki modelde ($B/D=5$) efektif spektrum katsayıları, 0.1g için vadi kenarından ortasına doğru artmakta ve vadi ortasında maksimum değerine ulaşmaktadır. Bununla birlikte 0.1 g'den daha büyük maksimum anakaya ivme değerleri için hesaplanan spektrum katsayıları vadinin farklı noktaları ve bir boyutlu analiz için birbirine çok yakındır.
- Vadi genişliği 1000 m ve derinliği 100 m olan vadi modelinde ($B/D=10$); vadi kenarında ($X/D=1$) hesaplanan spektrum katsayıları, $B/D=5$ ve $D=100$ m olan modellerle uyumludur. Bununla birlikte özellikle 0.1 g maksimum anakaya ivme değeri için efektif spektrum katsayıları dar olan modelin aksine vadi ortasına doğru azalmaktadır.

Yapılan 1 ve 2 boyutlu analiz sonuçlarının birlikte değerlendirilebilmesi, karşılaştırılabilmesi ve iki analiz yöntemi arasındaki farkın belirlenebilmesi amacıyla iki boyutlu analizde vadinin farklı noktaları için hesaplanan ivme spektrumları (2D), bir boyutlu analizde elde edilen ivme spektrumlarına (1D) oranlanmıştır. Böylece vadinin farklı bölgeleri için 2D/1D spektral ivme oranları elde edilmiştir.

Analizlerde kullanılan anakaya maksimum ivmesinin 0.1 g olması durumunda yüksek 2D/1D spektral ivme oranı değerleri elde edilmekte ve hesaplanan eğriler vadinin farklı noktaları için birbirine çok yaklaşmaktadır. Anakaya ivmesinin en büyük değerinin 0.2 g ve daha yüksek olması durumunda vadi modellerinin farklı noktaları için 2D/1D spektral ivme oranlarının değeri 2'nin altına düşmekte, değişik vadi bölgeleri için hesaplanan spektral ivme oranı eğrileri birbirinden farklılaşabilmekte bununla birlikte farklılaşma aralığı sınırlı kalmaktadır.

Bu durum gözönüne alınarak, ayrıca basitlik ve anlaşılabilirlik açısından her vadi modelinin belirli bir anakaya ivme büyüklüğü için tek bir 2D/1D spektral ivme oranı

eğrisiyle temsil edilebileceği kabul edilmiştir. Bu nedenle ele alınan herhangi bir vadi modeli için yüzeyin farklı noktalarında hesaplanan 2D/1D spektral ivme oranı değerlerinin ortalaması alınmıştır. Farklı anakaya ivme büyüklükleri ve modeller için elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

- Anakaya deprem kaydının en büyük mutlak ivme değerinin 0.1 g olması durumunda bütün vadi modellerinin yüzeyi için hesaplanan ortalama 2D/1D spektral ivme oranlarının en büyük değerleri 2-5 arasında bulunmaktadır.
- Anakaya ivme zaman geçmişinin maksimum değerinin 0.2 g ve daha büyük olması durumunda hesaplanan ortalama 2D/1D spektral ivme oranları, bütün modeller için 0.5-2 aralığında değişmekte ve 1 değerine çok yaklaşmaktadır.
- Maksimum anakaya ivmesi 0.1 g olduğu zaman oluşan şekil değiştirmelerin küçük olması nedeniyle zemin tabakalarında rijitlik azalımı sınırlı olmakta, tekrarlı yükler altında sönüm oranındaki artış fazla olmamakta dolayısıyla zemin tabakaları lineer elastik davranış göstermektedir. Elde edilen sonuçlardan, bu durumda ikinci boyut etkisinin ve düşey sınır koşullarının, 1 boyutlu analizdekinden çok daha farklı sonuçların çıkmasını sağladığı görülmektedir. Ayrıca rijitlik azalımının daha büyük şekil değiştirmelerde başladığı kil ($I_p = \% 30$) üst tabakaya sahip modelde bu durum daha belirgin olmaktadır. Bununla birlikte anakaya maksimum ivmesinin 0.2 g değerinden itibaren iki ve bir boyutlu analizle elde edilen sonuçlardaki farklılaşma görece olarak çok azalmaktadır.
- 30 m'den daha derin modellerde 0.1 g maksimum anakaya ivmesi için yüksek ortalama 2D/1D spektral ivme oranı değerleri elde edilmiş, ayrıca derinliğin artmasıyla ortalama 2D/1D spektral büyütme etkisi olduğu aralık 2.5 s periyoda kadar genişlemiştir. Üst tabakasında D grubu zemin bulunan 60 ve 100 m derinliğindeki vadi modellerinde 0.5 s'den daha yüksek periyotlar için ortalama 2D/1D spektral ivme oranlarının değerleri artmaktadır.
- Üst tabakası kum olan modellerde, maksimum anakaya ivmesinin 0.2 g ve daha yüksek olması durumunda hesaplanan ortalama 2D/1D spektral ivme oranı değerleri bütün modeller için 1'e çok yaklaşmaktadır. En büyük anakaya ivmesi değerinin 0.1 g olması halinde üst tabakası D grubu kum zemin olan modellerde elde edilen ortalama 2D/1D spektral ivme oranları, üst

tabakası kil olan vadi modellerine oranla azalmaktadır. Bununla birlikte üst tabakası daha rijit olan (C grubu zemin) modellerde, ortalama 2D/1D spektral ivme oranı değerleri değişmeden kalmaktadır.

- $B/D \geq 10$ olan vadilerde; vadi üzerindeki bütün noktaların tek bir 2D/1D spektral ivme oranı eğrisiyle temsil edilmesi, vadi kenarındaki 2D/1D spektral büyütme oranlarının güvensiz tarafta kalmasını sağlayacağı için uygun olmayacaktır.

Ova ve vadi gibi yatay yönde sınırlı genişliğe sahip, tepe ve dağ gibi oluşumlarla sınırlanmış bölgelerin deprem hareketi altındaki davranışına geometrinin ikinci ve hatta üçüncü boyutunun etkisi olabilmektedir. Bu tür bölgelerin dinamik davranışı iki boyutlu analizlerle modellenenlikle birlikte deprem sırasında oluşan gerçek davranışı sayısal modellere yansıtabilmek ve iki boyutlu analizlerin doğruluğunu ispatlayabilmek için ova ve vadi gibi oluşumlarda, geometrinin etkisini ortaya çıkarabilecek biçimde farklı noktalarda kayıtların alınması gerekmektedir.

6. DİNAR OVASI'NDA KENARDAKİ ANAKAYANIN DİNAMİK DAVRANIŞA ETKİSİ

Bir tasarım depreminin yüzeydeki etkilerini belirlemek için yapılan zemin tabakalarının dinamik analizinde, topoğrafik özellikleri de kapsayan tüm yerel zemin koşullarının gözönüne alınması gerekli olmaktadır. Zemin tabakalarının dinamik analizi bir, iki ve üç boyutlu hesap yöntemleri ile yapılabilmektedir. İki ve üç boyutlu analizlerde, zemin kesitindeki tabakaların iki veya üç boyutlu geometrisi gerektiği için kullanım kolaylığı açısından, bir boyutlu yaklaşım daha fazla tercih edilmektedir. Ancak zemin tabakalarının bir boyutlu dinamik analizinde, yüzey topoğrafyası, tabakaların eğimi ve tabakaların sınırlı enine genişliğinin etkisi ihmal edilmektedir. Zemin tabakalarının yatay yönde sınırlı genişliğe sahip olması, vadi kenarlarında dalga hareketi dönüşümlerine sebep olmakta, dolayısıyla yer hareketinin frekans içeriği ve yüzeydeki etkisi vadilerin ortasından kenarlarına doğru değişebilmekte ve kuvvetli yer hareketinin süresi uzayabilmektedir.

Tez çalışmasının bu kısmında, ova gibi yatayda sınırlı genişliğe sahip oluşumlarda kenardaki anakayanın geometrisinin deprem hareketi karşısındaki davranışa etkisini görebilmek için geçmişte meydana gelmiş ve büyük hasara yol açmış 1 Ekim 1995 Dinar depremi incelenmiştir. 1995 Dinar depreminin, yatay yönde sınırlı ve eğimli anakaya sınırına sahip Dinar Ovası'nın farklı bölgelerinde oluşturduğu dinamik tepkinin geometriye bağlı değişimi elde edilmiş, iki boyutlu analizle bir boyutlu analizin farklılığı araştırılmış ve iki boyutlu geometrinin hasar dağılımı üzerindeki etkisi anlaşılmaya çalışılmıştır.

6.1 Dinar Ovası Modeli ve 1 Ekim 1995 Dinar Depremi

Ova ve vadileri sınırlayan anakaya geometrisinin, bu tür oluşumlarda yer alan zemin tabakalarının deprem hareketi karşısındaki davranışına etkisini anlayabilmek için; 1 Ekim 1995 Dinar depreminin Dinar Ovası'nın kenarında yüzeyde meydana getirdiği hareketler elde edilmeye ve eğimli anakaya geometrisinin hasar dağılımı üzerindeki etkisini belirlenmeye çalışılmıştır.

Bu amaçla tez çalışmasının bu bölümünde, ilk önce Dinar'ın tektonik rejimini etkileyen Ege graben sisteminden ve bu sistem içerisinde bulunan Dinar'a hakim tektonik yapıdan bahsedilmiştir. Milattan bu yana Dinar'ın maruz kaldığı depremler ile bölgenin sismotektonik özellikleri ortaya konmuştur. Daha sonra topografik ve jeolojik yapısı araştırılarak bölgedeki başlıca jeolojik formasyonlar irdelenmiştir. 1 Ekim 1995 Dinar depremi anlatılarak kaynak ve genlik özellikleri gözden geçirilmiştir.

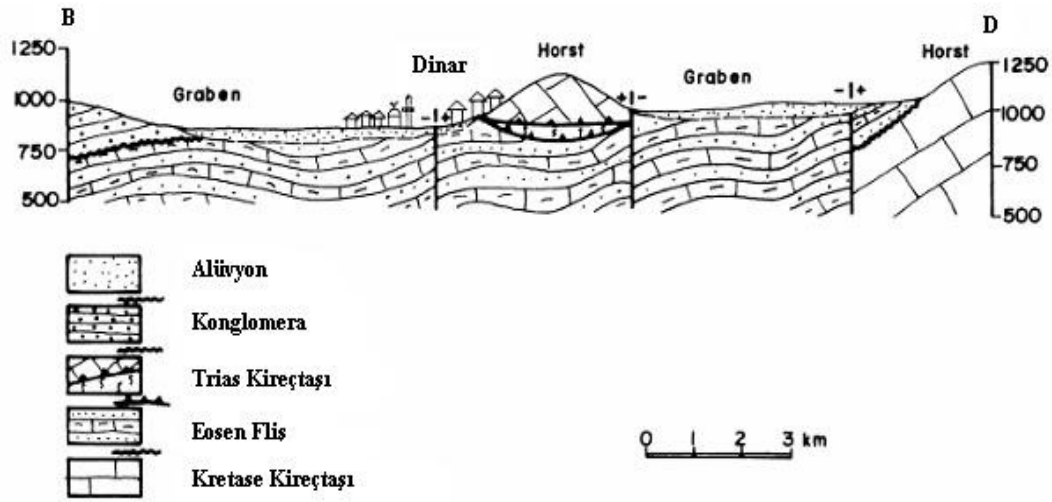
İki boyutlu analizlerde anakaya derinliği ve zemin tabakalaşması önem kazanmaktadır. Dinar ovasındaki anakayanın ovanın ortasına doğru dalım açısı dikkate alındığında, Dinar'daki hasar dağılımını etkileyebilecek en önemli potansiyel faktörlerden birinin de ova kenarındaki anakaya eğimi olduğu hipotezi ortaya atılabilmekte, dolayısıyla Dinar ovasındaki zemin tabakalarının iki boyutlu dinamik davranışını modelleme ihtiyacı ortaya çıkmaktadır.

Bu nedenle, deprem sonrası geoteknik inceleme kapsamında Dinar'ın farklı bölgelerindeki anakaya derinliğinin ve tabakalaşmanın bulunması için düzenlenen geniş açıklıklı “Mikrotremor Array” deneyleri, bölgede daha önce yapılan SPT, CPT, PS-Logging ve rezistivite deneyleriyle birlikte değerlendirilerek Dinar ovasının dinamik analizinde kullanılabilecek yaklaşık D-B doğrultusundaki iki boyutlu modeli oluşturulmuştur.

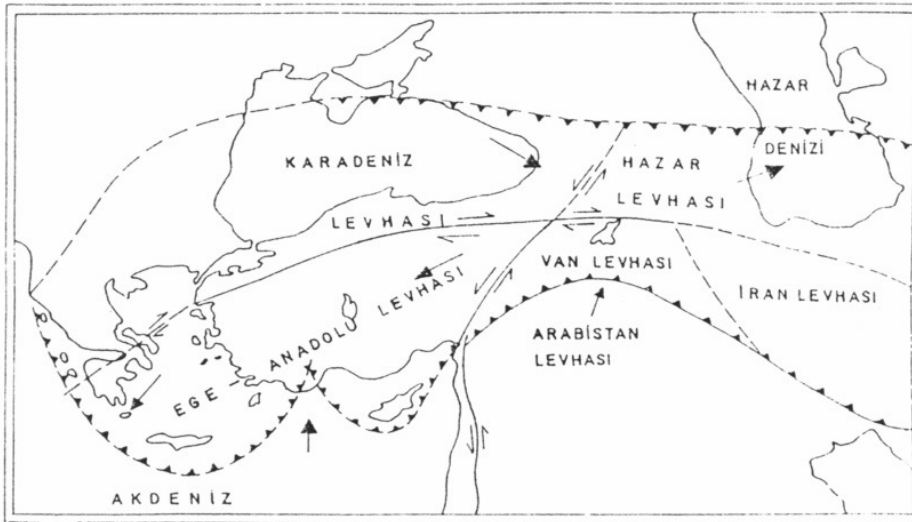
Daha sonra 1 Ekim 1995 Dinar Depremi Meteoroloji İstasyonu D-B yüzey kaydı anakayaya bir boyutlu geri dönüşümle taşınmış, Dinar Ovası modeli üzerinde yapılan bir ve iki boyutlu dinamik analizlerde bu kayıt kullanılmıştır. Ova yüzeyindeki ivme zaman geçmişleri, mutlak ivme spektrumları ve şiddet parametreleri elde edilmiş, ayrıca yüzeyde elde edilen bu değerlerin ova kenarındaki anakaya mostrası sınırından olan uzaklığa bağlı değişimleri incelenmiştir.

Yapılan 1 ve 2 boyutlu analiz sonuçlarının birlikte değerlendirilebilmesi, karşılaştırılabilmesi ve iki analiz yöntemi arasındaki farkın belirlenebilmesi amacıyla iki boyutlu analizde ovanın farklı noktaları için hesaplanan ivme spektrumları, bir boyutlu analizde elde edilen ivme spektrumlarına oranlanarak 2D/1D spektral ivme oranları bulunmaya çalışılmıştır. 2D/1D spektral ivme oranlarının değişimi ovanın kenarından olan uzaklığa bağlı olarak sırasıyla $T=0.3$ s, $T=0.4$ s ve $T=0.6$ s için incelenmiştir. Ayrıca yapılan 2 boyutlu dinamik analizler sonucunda modelin yüzeyindeki farklı noktalar için spektrum katsayıları elde edilmiştir. 1 Ekim 1995

Dinar grabeninde daha önceleri 100 ve 163 m derinliklere sahip iki adet derin su kuyusu kasabanın yaklaşık 2 km güneybatısındaki ova kısmında açılmıştır. Açılan her iki kuyuda da alüvyonun altında yaklaşık 100 m derinlikten itibaren kille çimentolanmış konglomera tabakasının bulunduğu gözlenmiş ve bu tabakanın daha derinlere kadar uzandığı tespit edilmiştir. Yeraltı su seviyesi, ovada yüzeyden itibaren birkaç metre derinlikte bulunmaktadır. Doğuya doğru uzanan horst oluşumu genellikle kireçtaşı ve konglomeradan meydana gelmiştir. D-B doğrultusundaki karakteristik bir jeolojik kesit Şekil 6.2’de gösterilmiştir (Bakır ve diğ., 2002).



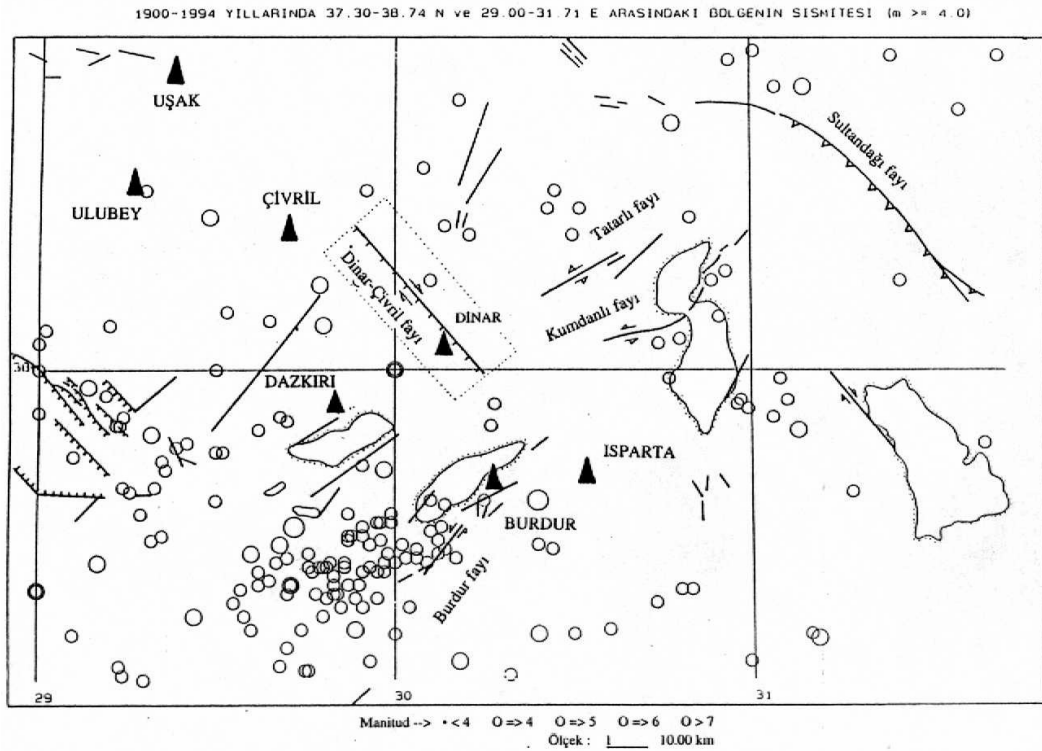
Şekil 6.2 : Dinar ve çevresinin D-B doğrultusundaki jeolojik enkesiti (Bakır ve diğ., 2002).



Şekil 6.3 : Türkiye ve çevresinin tektonik haritası (Ketin, 1993).

Ege Graben sisteminde bulunan Dinar, Şekil 6.3’te gösterilen Batı Anadolu Bölgesini etkileyen genel tektonik rejimler sebebi ile yüksek depremsellik potansiyeline sahiptir. Arap plakasının Anadolu bloğu ile çarpışması sonucu devam

eden KG yönlü sıkışma hareketi yaklaşık 1200 km uzunlukta sağ yönlü doğrultu atımlı Kuzey Anadolu Fayı ile 400 km uzunlukta sol yönlü doğrultu atımlı Doğu Anadolu Fayını oluşturup hareketin Doğu Anadolu'da sebep olduğu sıkışma (Bitlis-Zagros Sütürü) Anadolu bloğunu bu faylar boyunca batıya hareket ettirmiştir. Anadolu bloğunun batıya hareketi diğer yandan Yunan makaslama zonunun engellemesi sonucu batıda yer değiştirmiş ve blok, Akdeniz kabuğu üzerinde güneybatı yönünde hareket etmeye başlamıştır. Bu sıkışma sonucu Anadolu bloğu içsel deformasyona uğramış, bileşik fay sistemleri ve küçük iç bloklar ortaya çıkmıştır. Aynı zamanda Afrika plakası Hellenik ark boyunca Ege plakasının altına dalmaktadır. Hellenik Ark, Rodos adasının yanından kuzeydoğu yönünde Anadolu bloğuna girerek yırtma etkisi yapmaktadır. Dinar yöresi bu karmaşık etkiler altında kuzeydoğu-güneybatı doğrultusunda açılmaya maruzdur. Bu nedenle bölgede yaklaşık doğu-batı doğrultulu bir dizi eğim atımlı normal fayların oluşturduğu horst ve graben yapıları meydana gelmiştir (Demirtaş ve Yılmaz, 1995).



Şekil 6.4 : Dinar ile çevresinin fay haritası ve 1900-1994 yılları arasındaki depremselliği (Afet İşleri, 1995).

Şekil 6.4'te, Dinar ve yöresinde 1900-1994 yılları arasında izlenen sismik aktivitenin doğuda sol yönlü doğrultu atımlı Tatarlı ve Kumdanlı fayları ile güneybatıda normal fay özellikli Burdur, Baklam ve Acıgöl fayları civarında yoğunlaştığı görülür. Ancak

1 Ekim 1995 Dinar depremi bu fayların üzerinde oluşmamıştır. Depreme, Keçiöorlu-Dinar-Çivril arasında uzanan yaklaşık 75 km uzunluğunda ve geçmişte aktivite göstermemiş olan Dinar-Çivril fayı neden olmuştur. Dinar-Çivril fayının deprem riski taşıdığı bazı araştırmacılar tarafından önceden belirtilmiştir. Dinar fayı küçük miktarda sağ yönlü doğrultu atım bileşenine sahip normal atımlı bir faydır. Fay güneydoğuda Keçiöorlu ilçesinin yaklaşık 2-2.5 km batısından başlar ve kuzeybatıya doğru, Dinar ilçesinin doğu kenarından ve kısmen de içinden geçerek kuzeybatıdaki Çivril ilçesinin yaklaşık 3-4 km kuzeydoğusuna kadar uzanarak yaklaşık 75 km'lik bir uzunluk teşkil eder. Dinar fayı güneybatıya eğimli olup; batı kısmı düşen, doğu kısmı ise yükselen bir bloktur. Bu nedenle batı bloğu bir grabene (Dinar Grabeni), doğu bloğu ise bir horsta (Akdağ horstu) karşılık gelmektedir.

Dinar grabeni çok genç (Pliyo-Kuvaterner) yaşa sahip, henüz pekişmemiş, 30-80 m arasında değişen kalınlığa sahip çakıl, kum, silt ve kilden oluşan sedimentler ile dolmuştur. Akdağ horstu ise tümüyle yaşlı ve görelî olarak daha sağlam kayalardan (kireçtaşı, çakıltaşı) oluşmuştur. Graben içinde yeraltı su seviyesi oldukça yüzeye yakın, hatta bazı kısımlarda yüzeydedir. Fay hattı topoğrafik olarak çizgisel bir görünüm sunmakta olup güneydoğu ucunda Keçiöorlu civarında bataklık bir alan oluşmuş, Dinar-Çivril arasında kalan kesimi boyunca da çeşitli su kaynakları çıkmaktadır.

6.1.2 Dinar yöresinin sismolojik özellikleri

Ege graben sisteminde Göller Bölgesi içinde yeralan Dinar, birinci derece deprem kuşağında bulunup tarih boyunca birçok büyük depreme maruz kalmıştır. Tarihi adeta büyük depremler tarafından yazılmış olan kent, geçmişte 5 kez yıkılıp yeniden kurulmuştur. Ulaşılabilen kayıtlardan M.Ö. 65-M.S. 1900 yılları arasında Dinar'da olan tarihi depremler şiddet birimi cinsinden Çizelge 6.1'de verilmiştir. 1900'den sonrakiler ise aletsel ölçüme dayalı olup Çizelge 6.2'de verilmiştir (Çevik, 1998).

Daha önce Şekil 6.4'te Dinar ve çevresinin yaklaşık fay haritası ve 1900-1994 yılları arasındaki depremselliği verilmiş olup, bu harita incelendiğinde Dinar fayının depremselliğinin, yakın faylar ile karşılaştırıldığında fazla yoğun olmadığı görülmektedir. 1900-1994 yılları arasında Dinar'ın 40-50 km'lik çevresinde pek az sismik aktivite gözlenmiştir. Bu durum aktif olduğu öne sürülen fayda enerji birikimi olduğuna işaret etmiştir.

Çizelge 6.1 : M.Ö. 65-M.S. 1900 arasında Dinar'ı etkilemiş olan tarihi depremler.

Yıl	Dinar'a uzaklık (km)	M.S.K. Şiddeti
M.Ö. 65	90	8
53	5	8
60	90	9
94	80	8
9/ 06/ 1651	80	8
1703	100	8
1766	50	7
12/07/1842	60	7
1849	50	6
16/10/1862	90	8
01/11/1873	80	6
03/05/1875	10	9
11/05/1875	100	7
13/05/1876	90	9
Haziran, 1876	40	6
Ekim, 1887	100	7

Çizelge 6.2 : 1900 tarihinden itibaren Dinar'ı etkilemiş olan aletsel depremler.

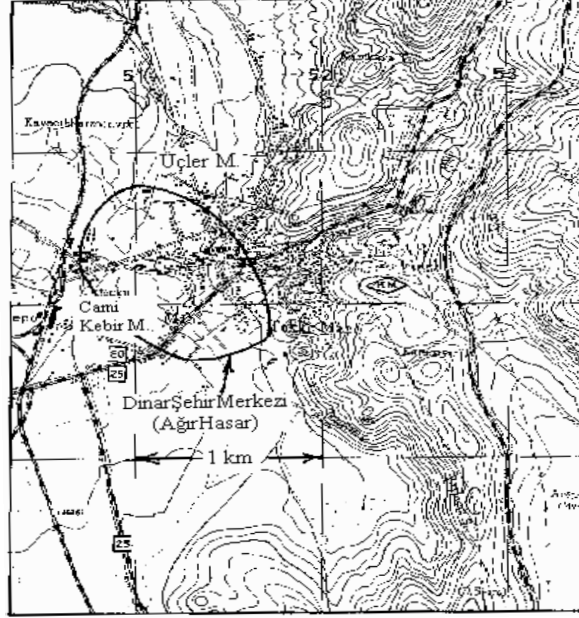
Yıl	K, G	M
1914*		7.0
04/07/1918	38.07, 30.10	5.4
07/08/1925	38.10, 29.80	5.9
07/02/1927	38.18, 30.27	5.0
19/07/1993	38.19, 29.79	5.8
02/01/1950	38.00, 30.00	4.1
28/03/1970	38.20, 30.10	4.4
19/04/1970	38.20, 29.90	4.4

6.1.3 Dinar'ın topoğrafik ve jeolojik yapısı

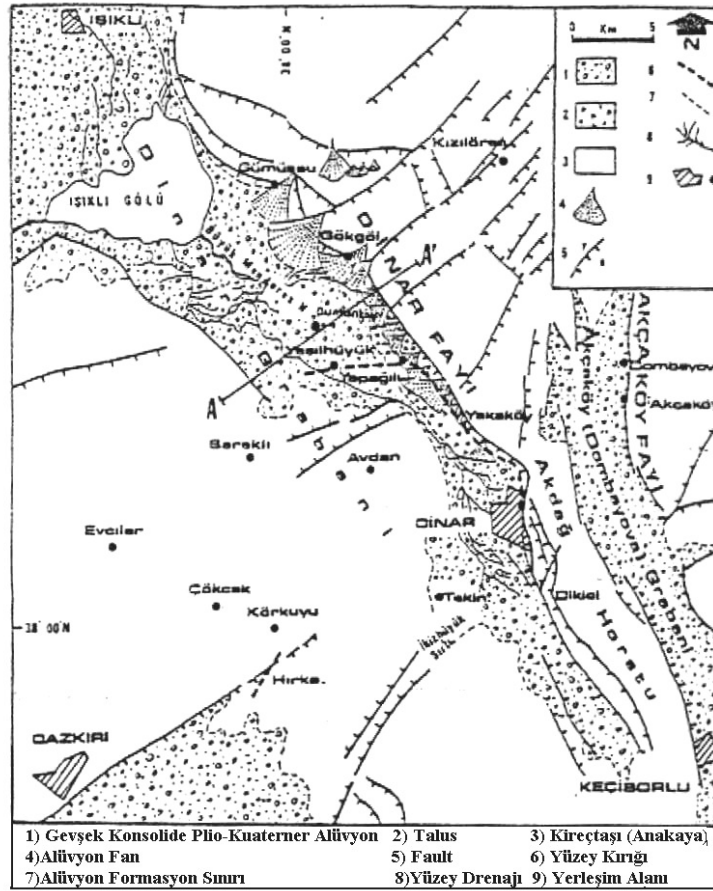
Dinar ilçe merkezi 30°09 doğu boylamı ve 38°04 kuzey enleminde yer almakta olup, kuzeyinde Samsun dağları, doğu ve güneyinde Akdağ, batısında ise Dinar ovasının yer aldığı topoğrafik olarak dalgalı bir alanda kurulmuştur. İlçe merkezinin deniz seviyesinden yüksekliği ovalık alanda 860 m yüksek dağlık alanda ise 950 m dir. Dinar ovası 1944'e kadar bataklık olduğundan yerleşim ilk başta sadece dağlık alanda gelişmiştir. 1944-1948 yılları arasında ovanın kanal açılarak kurutulması ile yerleşim ovaya doğru kaymıştır. Bölgenin genel olarak topoğrafik yapısı Şekil 6.5'te gösterilmiştir.

Dinar'ın ve civarının genel jeolojik yapısı incelendiğinde batısında kuvaterner alüvyon, kuzeyinde eosen kireçtaşı ve kumtaşı doğu ve güneyinde ise jura-kretase kireçtaşı ve şistten oluştuğu görülür. Bölgenin genel jeolojisini gösteren harita Şekil 6.6'da verilmektedir. Şehir merkezinde yerleşim alanında kuvaterner yaşlı alüvyon

formasyonlar ağırlıkta olup bu bölgeler oldukça ağır hasara uğramıştır. Jeolojik, jeomorfolojik ve geoteknik açıdan bakıldığında Dinar ve çevresini üç genel yapıda tanımlamak mümkündür (Durukal ve diğ., 1998).



Şekil 6.5 : Dinar'ın topoğrafik yapısı.



Şekil 6.6 : Dinar bölgesinin jeolojisi (Durukal ve diğ., 1998).

Birinci bölge, eosen dönemine ait orta-sert kireçtaşı kayalarından oluşan doğudaki dağlık bölgedir. Dinar'ın doğusuna doğru dağlık bölgedeki yamaçların yüzeysel jeolojik formasyonu eosen ve kretase ait kireçtaşı, marn ve şistten oluşur. Dağlık kesimin bazı yamaçlarında büyük boyutlu kayalardan oluşan karbonat kaplı travertenler vardır. Bu bölge şehrin en sağlam formasyonuna sahip olup Dinar nüfusunun bir kısmı burada ikamet etmektedir. Bu bölgede hafif hasar olmuş veya hiç hasar olmamıştır.

İkinci bölge dağlık alanın eteğindeki geçiş bölgesi olup kayalık tabaka üzerine sedimentasyonlar sonucu biriken ve yaklaşık 0.5 m ile 1.5 m arasında değişen yüzeysel bir tabakadan oluşmuştur.

Üçüncü bölge ise dağlık alandan erozyon ve çeşitli etkenler ile taşınan zeminlerin oluşturduğu düz alüvyon ovalık bölgedir. Şehrin büyük bir çoğunluğu bu bölgeye kurulmuştur. DSİ Gn. Md. Yeraltı Suları İdaresi Başkanlığı tarafından Dinar-Çivril grabeni içerisinde ikisi bu bölgede Küçük Sanayi Sitesinde ve birisi de Çakıcı köyünün hemen yakınında açılan su sondajlarından, 100 m ile 200 m arasında değişen derinliklerde Oligosen yaşlı konglomeratik birime rastlanmıştır (DSİ Genel Müdürlüğü Yeraltı-suları Dairesi Başkanlığı Su Kuyusu Kütüğü). Dolayısıyla graben içerisinde bu düz ovalık alanda kil, kum, çakıl ve bunların karışımından oluşan kuvaterner yaşlı birimin kalınlığı 100 m ile 200 m arasında değişmekte olup anakayanın da muhtemelen bu derinlikler altında uzanan konglomeratik birim olduğu söylenebilir. Ovadaki kuvaterner yaşlı birim üzerindeki yapılar ağır hasar görmüşlerdir (Demirtaş ve diğ., 1996).

Dinar'da yeraltı su seviyesi, yüksek bölgelerde genellikle 20 m den daha derinde olup yer yer 7 m ye kadar yükselmektedir. Şehir merkezinde ise 4-7 m derinliklerde seyretmekte, ancak şehrin içerisinden geçen kanal sistemi civarında yüzeye çok yaklaşmaktadır. Bu bölgede tamamen çöken ve enkazları kaldırılan binaların temellerinde yeraltı suyunun yüzeye 2 m'den daha yakın olduğu gözlenmiştir.

6.1.4 Ekim 1995 Dinar Depremi'nin özellikleri

Dinar'da 1 Ekim 1995 saat 17:57'de Richter ölçeğine göre $M_L=5.9$ manyitüdünde orta büyüklükte bir deprem meydana gelmiştir. Deprem büyüklüğünün farklı kaynaklar tarafından hesaplanan değerleri Çizelge 6.3'te verilmiştir. Depremde 90

kişi ölmüş ve yaklaşık 200 kişi yaralanmıştır. 4340 bina ağır, 3712 bina orta ve 6104 bina hafif derecede hasar görmüştür.

Çizelge 6.3 : 1 Ekim 1995 Dinar depreminin değişik merkezlerde farklı ölçeklere göre ölçülen büyüklükleri.

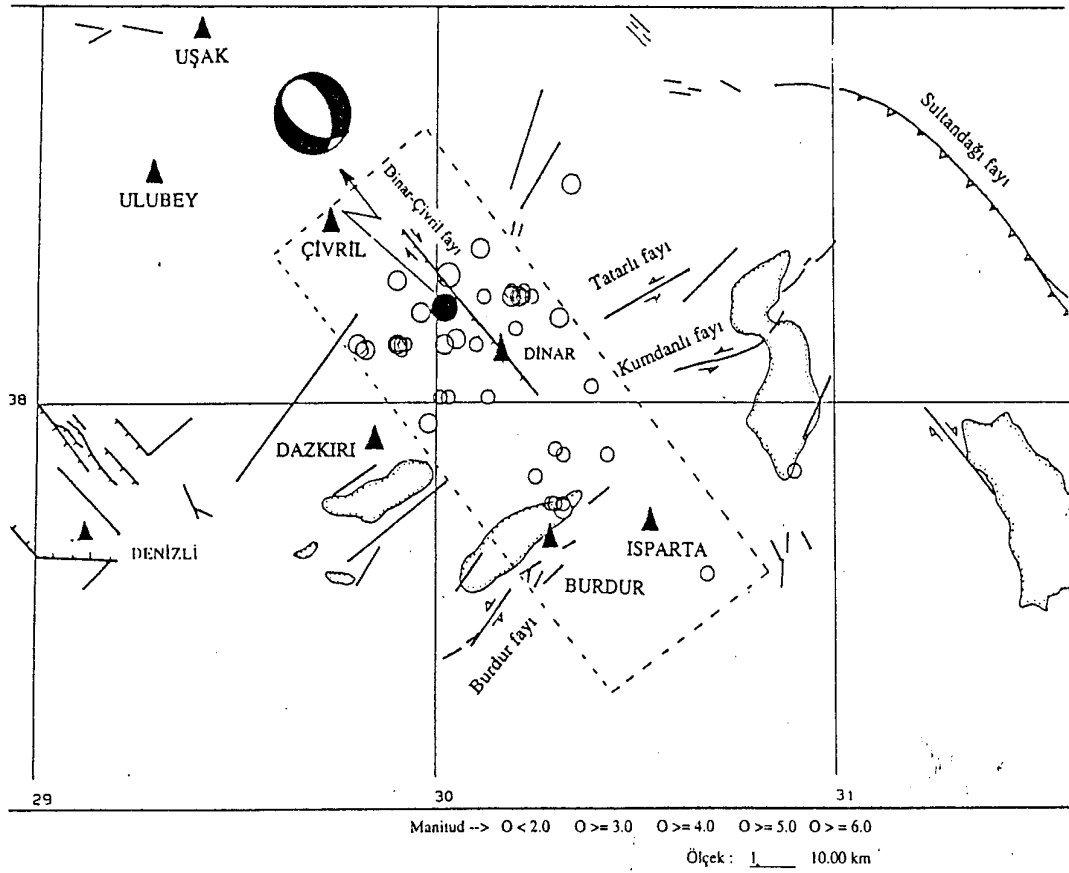
Moment Büyüklüğü, M_w	Cisim Dalgası Büyüklüğü, M_b	Richter (Yerel) Büyüklüğü, M_L	Yüzey Dalgası Büyüklüğü, M_s	Sismik Moment, M_0 (dyn.cm)
6.0 (USGS)	5.7 (KOERI)	5.9 (DAD)	6.1 (USGS-PDE)	$1.68 \cdot 10^{25}$ (DAD)
6.1 (DAD)	5.7 (USGS)	6.1 (KOERI)	6.1 (KOERI)	$2.0 \cdot 10^{18}$ (Eyidoğan ve Barka, 1996)
6.3 (KOERI)				$(2-3) \cdot 10^{25}$ (KOERI)
				$1.3 \cdot 10^{25}$ (USGS)

Deprem sırasında yaklaşık 75 km uzunluğundaki KB-GD doğrultulu Dinar-Çivril fay hattının Dinar ve Yapağılı köyü arasında kalan 10-15 km'lik kısmının kırıldığı düşünülmektedir. Deprem, fayın batı bloğunda 20-50 cm arasında düşey ve 5-10 cm arasında sağ yanal atım bileşeni ile verrev faylanma özelliği göstermiştir. Dinar depreminin en büyük özelliği, tipik olarak öncü, ana ve artçı şoklara sahip bir deprem olmasıdır. Ana şoktan önce birkaç tane öncü depremin meydana gelmesi halkın dışarda yaşamasına ve can kaybının az olmasına neden olmuştur. Ana şoka kadar Richter ölçeğine göre 2.0 ile 4.7 arasında yaklaşık 17 tane öncü şok kaydedilmiştir. 20-30 Eylül 1995 tarihleri arasında meydana gelen depremlerin dış merkezleri Dinar fayının güneybatısında ve bu faya dik doğrultuda meydana gelmiştir.

26 Eylül günü fayda hareket başlayıp, önce küçük kırılmalarla hafif depremlere neden olmuş ($M_L < 4.7$), 1 Ekim'de saat 17.57'de en büyük kırılma meydana gelmiş ($M_L = 5.9$), bunu iki saat sonra ikinci büyük kırılma ($M_L = 5.0$) izlemiştir. 5.9 büyüklüğündeki ana deprem yaklaşık 50 km uzunluğundaki Dinar-Çivril fayında 12 km derinlikte başlayan 13 km uzunluğundaki bir kırılma sonucu oluşmuştur. Sonraki günlerde artçı depremler ($M_L < 4.5$) 9 Ekim gününe kadar sürmüştür. Ondört gün boyunca kaydedilen depremlerin merkezleri Şekil 6.7'de gösterilmektedir. Büyüklüğü 4.4 ve üzerinde olan 7 deprem ile ilgili bilgiler Çizelge 6.4'te verilmiştir. Artçı depremler, yüzey kırıkları ve hasar dağılımları depremin merkez üstünün, Dinarın 2-3 km kuzeyinde olduğunu göstermiştir. Aletsel ölçümlere göre ise Dinar fayı ile Acıgöl fayının kesiştiği Dinarın hemen 2 km kuzeydoğusu olan 38.13K-30.08D noktası olarak belirlenmiştir (Demirtaş ve diğ., 1996).

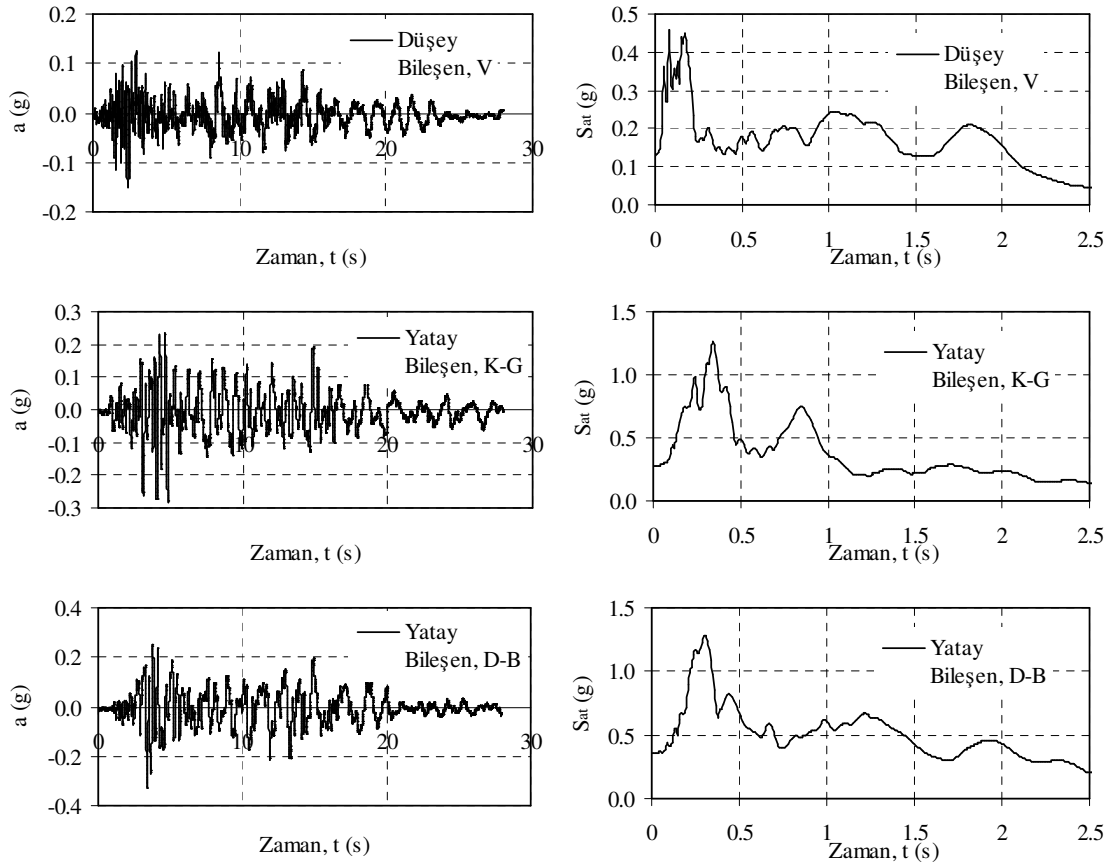
Çizelge 6.4 : Dinar’da kaydedilen $M_L \geq 4.4$ olan depremler.

Tarih	Zaman	Büyüklik (M_L)
26/9/1995	16.58	4.6
27/9/1995	16.16	4.8
1/10/1995	17.57	5.9
1/10/1995	20.03	5.0
3/10/1999	9.38	4.4
5/10/1995	18.15	4.6
6/10/1995	18.16	4.5



Şekil 6.7 : 1 Ekim 1995 Dinar depremi öncü ve artçı şoklarının merkez üstü dağılımı (Afet İşleri, 1995).

Dinar’da ondört gün boyunca meydana gelen depremlerin yarattığı yer hareketleri, Dinar Meteoroloji İstasyonu’nda kurulu bulunan Kinematics SMA-1 tipi kuvvetli yer hareketi ölçüm aleti (ivme ölçer) tarafından kaydedilmiştir. 1 Ekim 1995 depreminin maksimum ivme değerleri K-G yönünde 281.6 gal, D-B doğrultusunda 329.7 gal ve düşey yönde 150.7 gal olup bu kayıtlar Şekil 6.8’de verilmiştir. Bu ivmelerin düzeltilmiş değerleri sırasıyla 0.28 g (K-G), 0.36 g (D-B) ve 0.13 g (V) dir. Kuvvetli yer hareketinin kayıt süresi yaklaşık olarak 25 s ölçülmüştür.



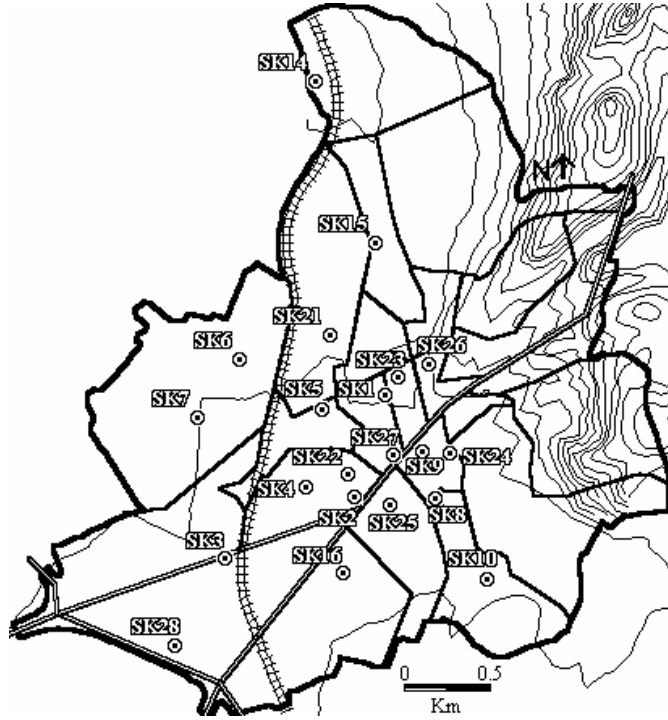
Şekil 6.8 : 1 Ekim 1995 Dinar depremi ana şok kaydı ve ivme spektrumları.

6.1.5 Dinar'daki yerel zemin koşullarının belirlenmesi

1 Ekim 1995 Dinar depreminden sonra Dinar'da zemin koşullarının belirlenmesi amacıyla arazi çalışmaları kapsamında SPT, CPT, PS-Logging, Tekil ve Eş Zamanlı Mikrotremor ölçümleri yapılmıştır (Ansal ve diğ., 1997a; Ansal ve diğ., 1997b; Ansal ve diğ., 2001; Erken ve diğ., 1999; İyisan ve diğ., 1997; Türker ve diğ., 1996).

Dinar'da yapılmış olan sondajların yerleşim yerleri Şekil 6.9'da gösterilmiştir. Yapılan sondajlardan, yüzeydeki zemin tabakalarının yaklaşık % 80'inin değişik derinliklerde kalınlıkları 4 ile 10 m arasında değişen çoğunlukla katı, kısmen sert ve yumuşak çakıllı kil, kumlu kil, çakıllı-kumlu kil veya kil tabakalarından oluştuğu görülmektedir. % 15'inin ise yine değişen derinliklerde kalınlıkları 1 ile 4 m arasında değişen çoğunlukla orta sıkı, kısmen sıkı ve gevşek çakıllı kum, killi kum, çakıllı-killi kum veya kum tabakalarından, % 2'sinin de çakıl tabakalarından meydana geldiği anlaşılmaktadır. Ayrıca şehrin kuzeyinde oldukça yumuşak zemin ihtiva eden bir kısım bölgede kumlu-killi yumuşak silt tabakaları da mevcuttur. Şehir genel itibarı ile kalınlıkları 0.5-1 m arasında değişen yüzeysel dolgu veya organik zemin ile kaplıdır. Ayrıca bölgedeki yeraltı su seviyesi ise 1 ile 5 m arasında değişmekte olup

ortalama 2.5 m dir. Dinar’da yapılan sondajlarda alınan numunelerden elde edilen endeks ve mühendislik özellikleri Çizelge 6.5’te verilmiştir (Bakır ve diğ., 2002).



Şekil 6.9 : Dinar’daki sondaj noktaları (Güllü, 2001).

Çizelge 6.5 : Dinar’daki zeminlerin endeks ve mühendislik özellikleri (Bakır ve diğ., 2002).

Zemin Cinsi: Çakıl, kum, siltli kum ve siltli çakıl	
Doğal birim hacim ağırlık, γ_n (kN/m ³)	14.0-17.0
Özgül ağırlık, G_s	2.62-2.63
İnce dane yüzdesi (%)	6-40
SPT-N30	4-50 ⁺
Zemin Cinsi: Kil	
Doğal birim hacim ağırlık, γ_n (kN/m ³)	18.0-19.0
Özgül ağırlık, G_s	2.72-2.76
Doğal su muhtevası, w_n (%)	22-34
Likit limit, w_L (%)	37-56
Plastisite indisi, PI (%)	17-35
Drenajsız kayma mukavemeti, c_u (kPa)	22-75
Sıkışma indisi, C_c	0.2-0.35
SPT-N30	2-21

Yapılan sondajlar ile zeminlerin yerinde ve laboratuvarındaki geoteknik gözlem ve incelenmeleri sonucu elde edilen bilgilere göre 1997 tarihli “Afet Bölgelerinde

Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik” kriterleri esas alınarak Dinar yerel zemin sınıflarına ayrılmış ve bölgede daha çok Z3 sınıfı zeminlerin hakim olduğu belirlenmiştir (Güllü, 2001).

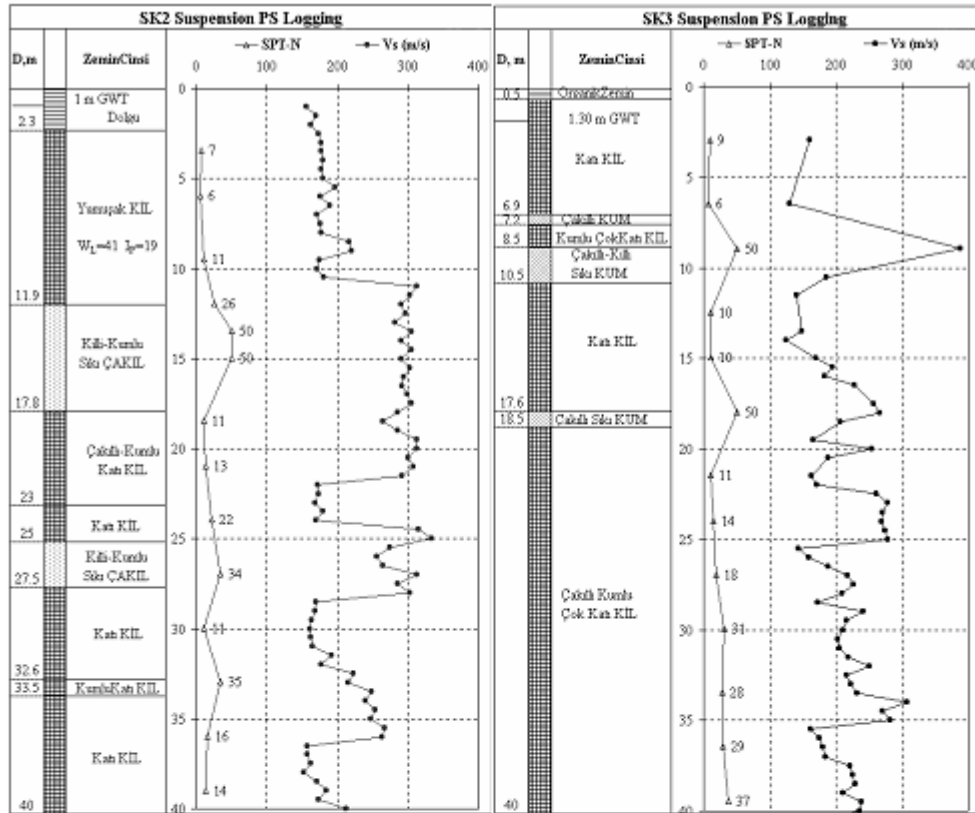
Dinar’da yapılan SPT deney verileri incelendiğinde yüzeye yakın kumlu kil, çakıllı-kil, kil tabakalarında SPT-N30 sayılarının genelde 10-20 arasında değiştiği görülmektedir. Bazı zemin kesitlerinde ise yaklaşık 12-18 m derinliklerde karşılaşılan çok sıkı kum veya çakıl tabakaları veya sert kil tabakaları içinde SPT-N sayısı 30’dan büyük bulunmuştur. Ayrıca şehrin kuzeyinde oldukça yumuşak zemin ihtiva eden bölgede yapılan sondajlarda SPT-N30 sayılarının yüzeye yakın silt tabakalarında 5 ile 10, yaklaşık 15 m den sonra mevcut olan kil, kum veya çakıl tabakalarında 10 ile 30 arasında değiştiği görülmüştür (Güllü, 2001).

CPT deneylerinden elde edilen sonuçlara göre Dinar’ın yerel zemin koşulları incelendiğinde, yaklaşık olarak uç mukavemetinin çakıllı kumlu yumuşak kil tabakalarında 800 kPa, çakıllı kumlu katı kil tabakalarında 1000 kPa, kumlu çok katı kil tabakalarında yaklaşık 5000 kPa, kumlu sert kil tabakalarında yaklaşık 8000 kPa, yumuşak kil tabakalarında 800 kPa ve katı kil tabakalarında da 1500 kPa değerlerinde olduğu görülmektedir. Ayrıca uç mukavemeti değerleri çakıllı orta sıkı kum tabakalarında yaklaşık 3500 kPa, çakıllı sıkı kum tabakalarında 14000 kPa, killi kumlu sıkı çakıl tabakalarında ise yaklaşık 7000 kPa değerlerine sahiptir. Şehir dışında oldukça yumuşak ve gevşek zemin tabakaları ihtiva eden bölgedeki deneylerde; uç mukavemeti değerleri, çakıllı kumlu killi silt tabakalarında 300 kPa, çakıllı kumlu yumuşak kil tabakalarında ise 500 kPa olarak elde edilmiştir.

Güllü (2001) tarafından yapılan çalışmada, Dinar’da yapılmış penetrasyon deneylerinden elde edilen SPT-N30 ve koni uç mukavemeti değerleri kullanılarak eşdeğer kayma dalgası hızı hesaplanmıştır. Eşdeğer kayma dalgası hızının hesaplanmasında Türkiye şartlarında kullanılmak üzere İyisan (1996) tarafından verilmiş olan $V_s=51.5 N^{0.516}$ ile $V_s=51.5 q_c^{0.377}$ bağıntılarından faydalanılmıştır. Dinar’da yapılan penetrasyon deneyleri sonucunda hesaplanan eşdeğer kayma dalgası hızı dağılımları göz önüne alındığında, bölgedeki üst tabakalara ait kayma dalgası hızlarının genellikle 150 m/s-250 m/s arasında değiştiği belirlenmiştir.

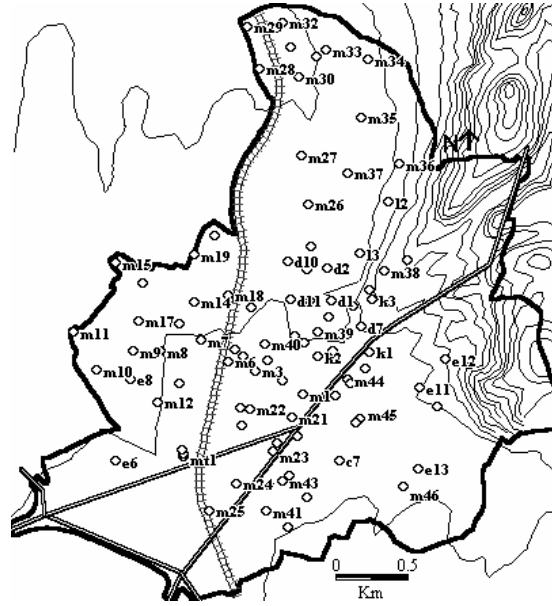
Dinar’daki zemin koşulları hakkında bilgi sahibi olmak için Şekil 6.10’da verilen Doğu-Batı hattı boyunca rezistivite deneyleri düzenlenmiş ve elde edilen veriler doğrultusunda Şekil 6.11’de gösterilen kesit çizilmiştir (Bakır ve diğ., 2002).

1995 Dinar depremi sonrası yapılan çalışmalarda düzenlenen PS Logging deneyi sonuçlarından; üstteki 40 m'lik zemin tabakasının kayma dalgası hız profilinin elde edilmesi ve 1995 Dinar depremi ana şok kaydının geri dönüşüm ile anakayaya taşınmasında faydalanılmıştır. Dinar'da zeminlerin kayma dalgası hızlarını yerinde belirlemek için; seçilen SK2 ve SK3 sondaj kuyularında PS logging deneyleri yapılmıştır (Güllü, 2001). SK2 ve SK3 kuyularında yapılan ölçümler sonucu bulunan S ve P dalgası hızlarının derinlikle değişimi SPT-N30 sayıları ile beraber Şekil 6.12'de verilmiştir. PS Logging deneyleri sonucuna göre Dinar'ın yerel zemin koşulları incelendiğinde, kayma dalgası hızının orta katı kil tabakalarında yaklaşık olarak 150-200 m/s, katı kil tabakalarında 200 m/s, kumlu katı kil tabakalarında 225 m/s, çakıllı kumlu katı kil tabakalarında ise 250 m/s değerlerinde olduğu görülmektedir. P dalgası hızı ise yaklaşık olarak 1500-2000 m/s değerleri arasında değişmektedir. Bu değerler yeraltı su seviyesinin yüzeye çok yakın gözlemlendiği bölgedeki sondajları doğrular niteliktedir. Kuvvetli yer hareketi kaydının alındığı Dinar Meteoroloji İstasyonu'nun yanında yer alan SK3 sondaj kuyusunda yapılan PS-Logging deneyi yüzeydeki deprem hareketinin anakayaya taşınmasında önemli rol oynayacaktır.

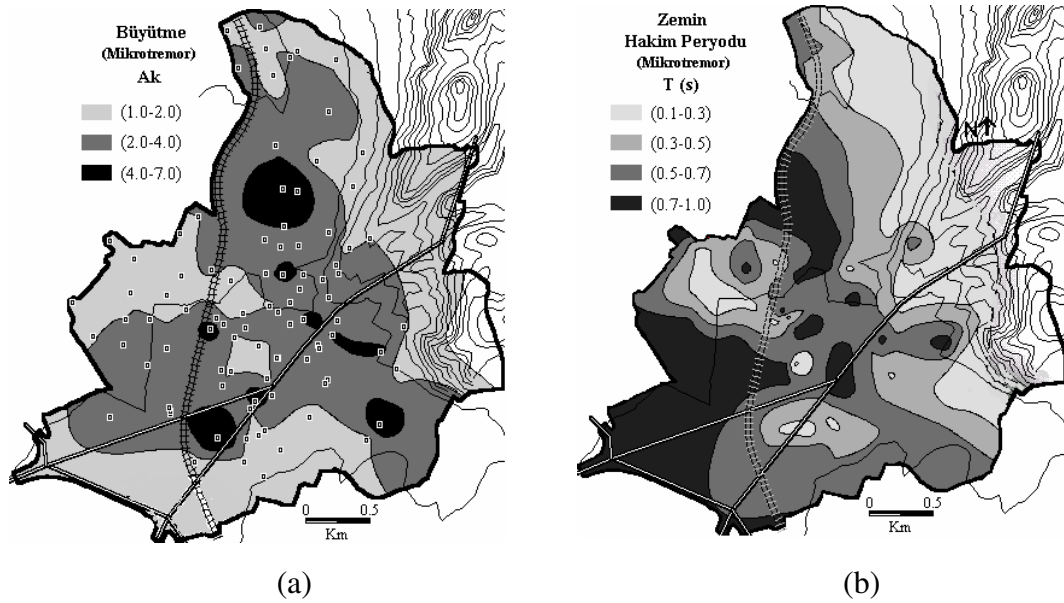


Şekil 6.12 : Dinar'da yapılan PS Logging deneyi sonuçları (Güllü, 2001).

Dinar'ın yerel zemin koşullarının araştırılması, büyütme ile periyot özelliklerinin belirlenmesi ve sonuçların mikrobölgeleme çalışmalarında kullanılması amacı ile Şekil 6.13'te gösterilen noktalarda tekil mikrotremor ölçümleri yapılmıştır. Zeminlerin hakim periyot ve büyütmelerinin belirlenmesi amacıyla Nakamura metodu (1989) kullanılarak mikrotremor verileri analiz edilmiştir. Hesaplanan zemin büyütmesi değerlerinin ve hakim periyotların değişimi, coğrafi bilgi sistemi ortamında (GIS) birlikte Şekil 6.14a ve Şekil 6.14b'de gösterilmiştir (Güllü, 2001).



Şekil 6.13 : Dinar'da farklı araştırmacılar tarafından yapılan mikrotremor deneylerinin ölçüm noktaları (Güllü, 2001).



Şekil 6.14 : Dinar'da Nakamura yöntemi kullanılarak hesaplanan (a) zemin büyütmeleri (b) zemin hakim periyotları (Güllü, 2001).

6.2 Sismik Anakaya Derinliğinin Bulunması: Eş Zamanlı Mikrotremor Ağ Deneyleri

Zemin tabakalarının kayma dalgası hızı (V_s), yerel zemin koşullarının dinamik davranışa etkisini araştırmada önemli parametrelerden biridir. Zemin tabakalarının dinamik davranış özelliklerinin belirlenmesi, anakayadaki depremin zemin yüzeyine taşınması, zemin hakim periyodu, zemin büyütmesinin bulunması, sıvılaşma potansiyelinin incelenmesi, mikrobölgeleme çalışmaları gibi uygulamalarda kayma dalgası hızı kullanılmaktadır. Sismik anakaya kavramında da kayma dalgası hızı (V_s) dikkate alınmaktadır. Genel olarak kayma dalgası hızının yaklaşık 700 m/s olduğu tabaka, sismik anakayanın başlangıcı olarak kabul edilmektedir. Ülkemizde yürürlükte olan 2007 deprem yönetmeliğinde $V_s > 1000$ m/s olması durumunda zemin, ayrışmamış sağlam kayaç olarak tanımlanmaktadır.

Kayma dalgası hızı genelde karşıt kuyu, aşağı kuyu ve kuyu içi gibi sondaj kuyusu içinde uygulanan yöntemler ile belirlenmekte, bu tür yöntemleri uygulama imkanı olmadığında SPT, CPT gibi arazi penetrasyon sonuçlarına dayanan korelasyonlardan tahmin edilmektedir (Mayne ve Rix, 1995; İyisan, 1996; İyisan ve diğ., 2000). Böyle durumlarda elde edilecek kayma dalgası hız profili, sondaj kuyusunun veya penetrasyon deneyinin derinliğine bağlı kalmaktadır. Ülkemizde tipik sondaj derinlikleri ortalama 20-30 metre aralığında değişmektedir. Daha derin ölçümlerin maliyeti de yüksek olmakta ayrıca derinlik arttıkça kayma dalgasının üretilmesinde güçlükler yaşanmaktadır. Bu güçlüğü üstesinden, kaynak ve alıcıların aynı birimde yer aldığı PS Logging deneyi ile gelinebilmekte fakat bu deney tekniğinin uygulanabilmesi için çok özel donanım gerekmektedir (İyisan ve Ansal, 1995). Yüzey kırılma ve yansıma gibi yöntemler ile derin tabakaların özellikleri belirlemede ise arazi çalışmalarında çok geniş açıklıklara ihtiyaç duyulmakta, özellikle yerleşim bölgelerinde uygulama zorlukları bulunmaktadır.

Geoteknik mühendisliğinde mikrotremor ölçümleri zemin hakim periyodu ve zemin büyütmesinin belirlenmesinde (İyisan ve Ansal, 1998; Teves-Costa ve Bard, 1996) ve mikrobölgeleme çalışmalarında sıkça kullanılmakla birlikte, mikrotremor ölçümleri ile kayma dalgası hız profilini belirleme konusunda da önemli aşamalar kaydedilmiştir. Bunun için tekil nokta ölçümlerinin yerine, bir düzen içinde yer alan yeterli sayıda düşey alıcı kullanılarak mikrotremorlar sürekli ve eşzamanlı olarak kaydedilmektedir. Yöntem, kaydedilen yüzey dalgalarının dispersiyon (yayılm)

özelliklerinin belirlenmesi esasına dayanmaktadır (Tokimatsu ve diğ., 1992; Horike, 1996).

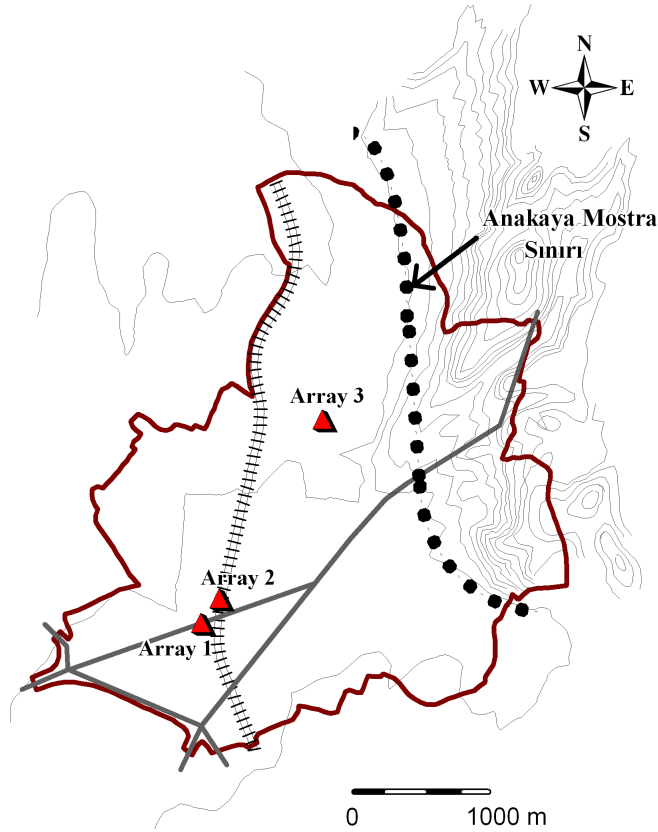
Dinar Ovası'nda yapılan sondajların derinliği 20 m ile 40 m arasında değişmektedir ve yapılan sondajlarda anakayaya ulaşamamıştır. İki boyutlu dinamik analizlerde, anakaya geometrisinin belirlenmesi büyük önem taşımaktadır. Sondajların anakayaya kadar ulaşmadığı durumlarda, sismik anakaya derinliğinin belirlenmesinde eş zamanlı mikrotremor ağ ölçümleri faydalı olmaktadır. Dinar'da üç ayrı noktada yapılan eş zamanlı mikrotremor ağ ölçümleri yardımıyla, derin alüvyondaki farklı üç bölgedeki kayma dalgası hız profili belirlenmeye çalışılmıştır. Bu veriler; Dinar'ın topoğrafyası, Dinar ovasının jeolojik kesiti ve bölgede yapılmış rezistivite gibi diğer deney sonuçları ile birlikte yorumlanarak, zemin tabakalarının iki boyutlu analizinde kullanılacak ova geometrisi ve mühendislik özellikleri elde edilmiştir.

Mikrotremor ölçümleri yardımıyla kayma dalgası hızı profilinin derinlikle değişimini belirleyebilmek için, mikrotremorların birçok noktada sürekli ve eş zamanlı olarak kaydedilmesi gerekmektedir. Ölçümlerde kullanılan alıcıların birbirine göre konumları bilinmeli ve mümkün olduğunca simetrik bir düzende yerleştirilmelidirler. Bu şekilde geometrik düzene sahip alıcılara ulaşan dalgaların aynı kaynaktan yayıldığı kabul edilmektedir (Yamanaka, 1998). Bilinen mesafelerde birkaç alıcıda aynı anda kaydedilen bu çok küçük genlikli titreşimlerin ve spektrumlarının birbirleri ile karşılaştırılması, dalgaların içinden geçerek geldiği ve yayıldığı ortam hakkında önemli bilgiler içermektedir.

Bilindiği gibi rüzgar, okyanus dalgaları, küçük yer sarsıntıları gibi doğal etkilerin neden olduğu titreşimler mikroseism; trafik, endüstri, insan kaynaklı kültürel gürültülerin neden olduğu titreşimler mikrotremor olarak tanımlanmaktadır. Bu küçük genlikli titreşimlerin ölçülmesi sırasında çevrede genellikle varolan ve rasgele titreşimler içinde baskın hale gelebilecek genliğe sahip titreşimlerde kaydedilmektedir. Bu istenmeyen titreşimler kayıtlarda sınırlı süre içerisinde etkili olmaktadır. Kısa süreli olarak kaydedilmiş ve yüksek seviyede gürültü içeren bu tür dalga formları, diğer alıcılarda kaydedilmiş dalgalarla karşılaştırıldığında ortamda yayılan dalgalar hakkında yeterli bilgi vermemektedir. Dolayısıyla eş zamanlı mikrotremor ağ ölçümlerinden zemin tabakalaşması hakkında bilgi edinilebilmesi için yeterli sayıda alıcıdan oluşan bir ağ ölçüm düzeni kullanılması ve kayıtların yeteri kadar uzun süreli alınması gerekmektedir.

6.2.1 Alıcı yerleşimi

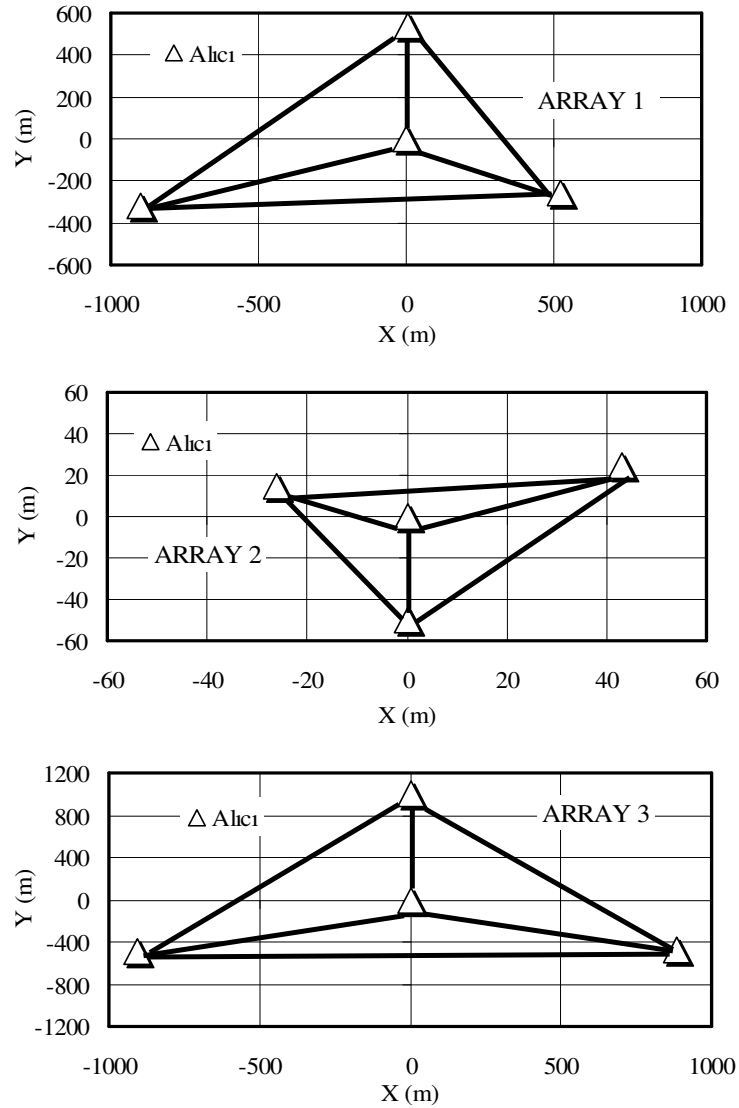
Alıcı yerleşimi ve mesafeleri ilgilenilen derinliğe bağlı olarak değişmektedir. Bu tür ölçümlerde en az 4 alıcı kullanılması tavsiye edilmektedir. Bir eşkenar üçgenin köşe noktalarında ve merkezinde bulunan alıcılarla oluşturulan bir ağ örnek olarak verilebilir. Üçgen ağ için yeterli açıklıkların bulunamaması durumunda alıcı yerleşimi artı şeklinde doğrusal olarak da seçilebilmektedir. Ağ içinde yer alan alıcıların birbirine göre konumları bilinmelidir. Birçok araştırmacı tarafından yapılan arazi çalışmalarından uygun verilerin elde edilebilmesi açısından ağ çapının, ilgilenilen en uzun dalga boyunun (λ_{maks}) 1/3-1/2 si olması ve en yakın alıcılar arasındaki mesafenin ise en kısa dalga boyunun (λ_{min}) yarısından küçük olması sonucuna ulaşılmıştır (Asten, 1984; İyisan ve diğ., 2002).



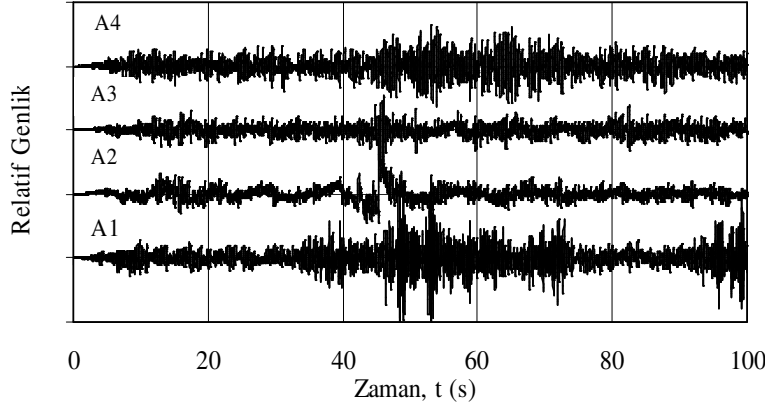
Şekil 6.15 : Dinar’da eş zamanlı mikrotremor ağ ölçümlerinin (array) yapıldığı noktalar.

Bu çalışma kapsamında, Dinar ovasında kayma dalgası hızı profilinin ova kısmından ortasına doğru uzaklığa bağlı değişimini ve sismik anakayanın ovadaki alüvyon tabakalarının altına doğru olan dalımının eğimini kabaca tespit edebilmek için Şekil 6.15’te gösterilen üç farklı noktada eş zamanlı mikrotremor ağ ölçümleri yapılmıştır.

Bu amaçla; üç ayrı noktada 4 adet düşey alıcıdan oluşan bir düzen içinde 0.01 saniye örnekleme aralığında kayıtlar alınmıştır. Faz hızı-periyot ilişkisinin hassas şekilde belirlenebilmesinin sağlanması için kayıt alınan üç noktada da ağ çapı, merkezdeki alıcı sabit kalmak üzere diğer alıcıların uzaklaştırılmasıyla arttırılmıştır. Mikrotremor ölçümlerinde kullanılan alıcı düzeninin geometrik değişimi merkezden en uzak konumlarında Dinar’da kayıt alınan üç ayrı nokta için Şekil 6.16’da gösterilmiştir. 1. noktada alıcı uzaklıklarının merkeze göre değiştiği her biri 15’er dakika süren dört ayrı kayıt alınmıştır. 2. noktada da aynı işlem tekrarlanmıştır. 3. noktada ise beş farklı kayıt alınmıştır. Kayıtlardaki zamanlama dijital kaydedici içinde bulunan saat ile yapılmakta, böylece analiz aşamasında aynı zaman aralığı içindeki dalga formlarının karşılaştırılması mümkün olmaktadır. İlk noktada bir nolu açılım için alınan 100 saniyelik kayıt örneği Şekil 6.17’de gösterilmiştir.



Şekil 6.16 : Mikrotremor ölçümlerinde kullanılan alıcı düzeni.



Şekil 6.17 : Alıcılarda kaydedilen dalga formu örneği.

6.2.2 Kayıtların analizi

Kısa periyotlu mikrotremorların trafik ve endüstriyel gürültülerden, uzun periyotluların ise doğal kaynaklardan oluştuğu kabul edilmektedir. Kısa ve uzun periyotlu mikrotremor dalgalarının analizi sonucunda, bu dalgaların çeşitli yönlerde yayılan yüzey dalgalarını içerdiği gösterilmiştir. Yüzey dalgalarının düşey bileşeni Rayleigh dalgalarından oluşmaktadır. Rayleigh dalgası dispersiv özelliğe sahiptir, yani Rayleigh dalgasının hızı, frekansa ve dalga boyuna bağlı olarak değişmektedir. Sismik hareketin bir frekanstaki yayılma hızı ise faz hızı olarak tanımlanmaktadır. Faz hızının frekans veya periyotla değişimini gösteren grafiğe dispersiyon (yayılım) eğrisi adı verilmektedir. Bir zemin kesiti için elde edilen bu eğri, kayma dalgası hızı (V_s), basınç dalgası hızı (V_p), birim hacim ağırlık (γ_n) ve tabaka kalınlığının bir fonksiyonudur. Bu nedenle, mikrotremor ölçümlerinden elde edilen faz hızları ve bunların frekansla değişimi, ölçümlerin yapıldığı bölgedeki zemin tabakalarının özelliklerini belirlemede kullanılabilmektedir (Yamanaka, 1998).

Ağ içinde yer alan alıcılarda kaydedilmiş mikrotremorlar, spektral analiz tekniği ile zaman ortamından frekans ortamına dönüştürülmektedir. Bu işlemler hızlı Fourier dönüşümü (FFT) ile kolayca yapılabilir. Daha sonra bilinen mesafelerde bulunan iki komşu alıcıda kaydedilen $l(t)$ ve $m(t)$ gibi iki dalga arasında karşıt güç spektrum (cross-power spectra, CPS) fonksiyonu, Fourier dönüşümleri kullanılarak aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır.

$$CPS_{l,m}(f) = LS_l(f).LS_m^*(f) \quad (6.1)$$

Bağıntıda, $LS_l(f)$; $l(t)$ dalga kaydının lineer spektrumu yani Fourier dönüşümü, $LS_m^*(f)$; $m(t)$ 'nin lineer spektrumunun kompleks eşleniği, f ise frekanstır. Hesaplanan bu fonksiyon, her frekans için iki dalga arasındaki faz farkını ($\theta_{l,m}$) vermekte, böylece frekansa bağlı olarak aynı dalganın dikkate alınan iki alıcı arasındaki hareket zamanı; $t_l(f)$,

$$t_l(f) = \frac{\theta_{l,m}(f)}{360.f} = \frac{\theta_{l,m}(f)T}{360} \quad (6.2)$$

bağıntısı ile hesaplanmaktadır. Bilindiği üzere 360° lik bir faz farkı, bir periyoda (T) eşit yolculuk zamanına karşı gelmektedir. Kaydedilmiş mikrotremorların farklı frekans bileşenlerinde yayılma hızlarını elde etmek için uygulanan kavramsal olarak en basit analiz, f-k (frekans-dalga sayısı) spektral analiz yöntemidir (Capon, 1969; Horike, 1996). f-k spektrumu dalganın yayıldığı düzlemi ve yönü gösteren bir Fourier dönüşümüdür. Ağ içindeki l .ve m . alıcılarda kaydedilen dalga formlarının f-k spektrumu aşağıdaki ifade ile verilmektedir.

$$P(f, k) = \sum_{l,m=i}^n CPS_{l,m} e^{ik(X_l - X_m)} \quad (6.3)$$

Burada $CPS_{l,m}$; yukarıda anlatıldığı üzere l .ve m . alıcılarda kaydedilen dalgaların güç spektrumu, $i = \sqrt{-1}$; X_l ve X_m ; alıcı koordinatları, n ; ağdaki alıcı sayısı, k ; 1/km boyutunda dalga sayısı vektörü, f ise frekanstır. Belirlenen f-k spektrumunun en büyük değerinde frekansa bağlı olarak faz hızı; c ,

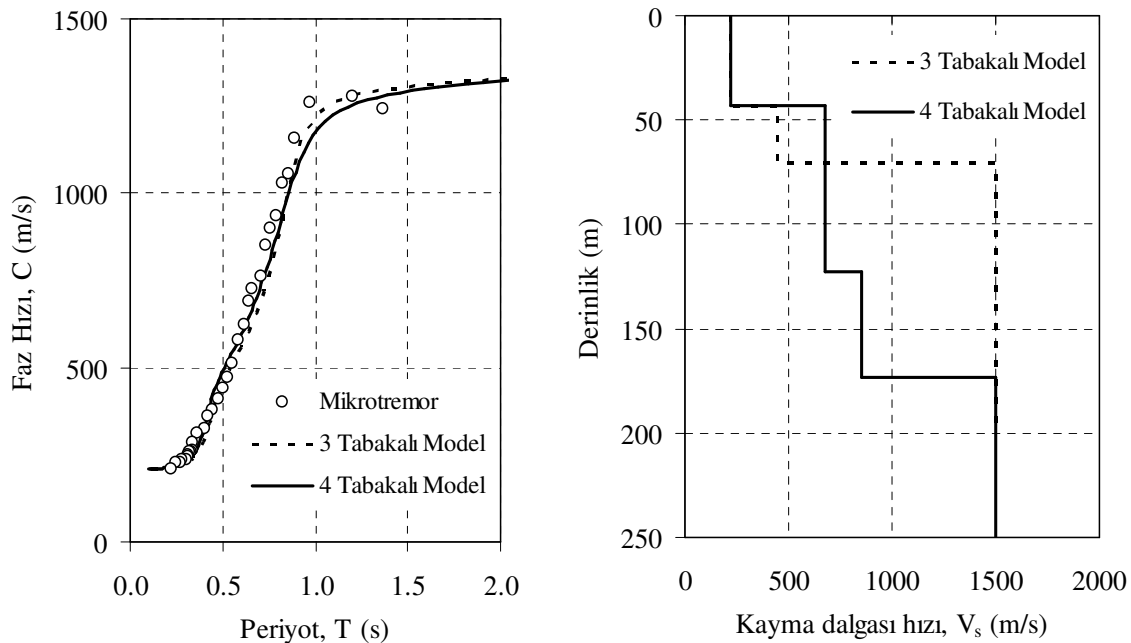
$$c = \frac{2\pi f}{k} = \frac{\omega}{k} \quad (6.4)$$

bağıntısı ile hesaplanmaktadır. ω ; açısal frekansı göstermektedir. Bu işlem her frekans için tekrarlanarak dispersiyon eğrisi elde edilmektedir (İyisan ve diğ., 2002).

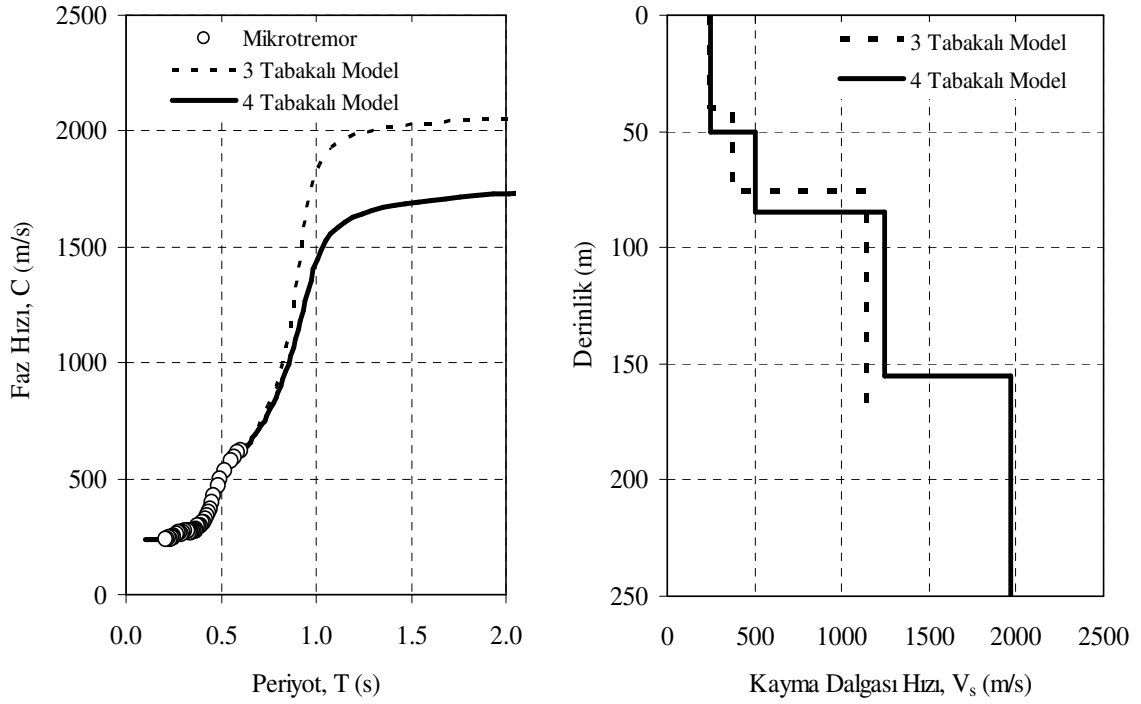
6.2.3 Kayma dalgası hızı profili

Arazi kayıtları kullanılarak elde edilen dispersiyon eğrisinden zemin tabakalarının özellikleri geri hesaplama yöntemi ile belirlenebilmektedir. Bunun için seçilen bir zemin modelinden hesaplanan teorik değerlerle gözlenen değerlerin benzer olması

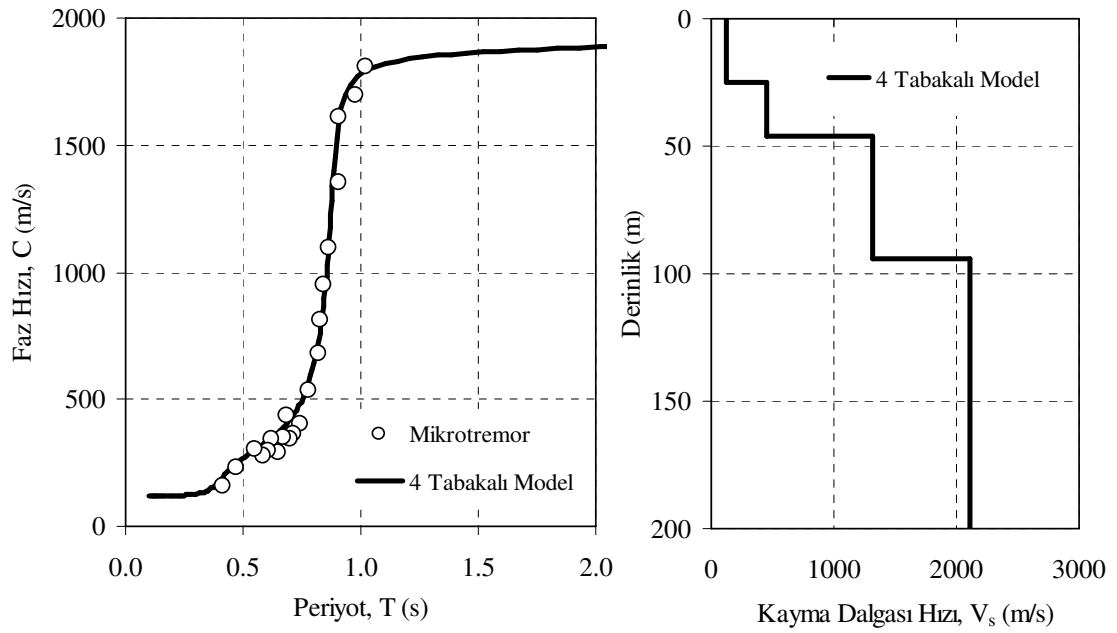
koşulu aranmaktadır. Tabakalı bir ortamın dispersiyon eğrisi esas olarak kayma dalgası hızı (V_s) ve tabaka kalınlığı (H) tarafından kontrol edilmekte, diğer faktörlerin etkisi daha az olmaktadır. Bu nedenle her tabaka için V_s ve H belirlenecek parametreler olarak seçilmekte, basınç dalgası hızı (V_p) ve birim hacim ağırlık (γ_n) gibi özellikler yaklaşık sabit alınmaktadır. Arazide ölçülen değerlere ulaşmak için başlangıç parametreleri belli olan bir zemin modeli tanımlanır. Model parametreleri ile hesaplanan değerler gözlenen değerlerle benzer oluncaya kadar iterasyon yapılır. Dinar’da mühendislik anakayasının ova ortasına doğru dalımının 2 boyutlu geometrisini ve zemin tabakalarının kayma dalgası hız profilini belirlemek amacıyla üç ayrı noktada yapılan ölçümler sonucunda, düşey doğrultuda alınmış mikrotremor kayıtları 81.92 saniyelik ($2^{13}=8192$ data) kayıtlara ayrılmış ve yukarıda açıklanan analiz yöntemi kullanılarak dispersiyon eğrisi elde edilmiştir. Kayma dalgası hızını bulabilmek için birinci ölçüm noktasında (Meteoroloji istasyonu yakını) üç ve dört tabakalı iki ayrı model seçilmiş, ikinci ve üçüncü ölçüm noktalarında ise üçer tabakalı modeller kullanılmış, model parametrelerinden V_p ile γ_n uygun değerlerde sabit tutulmuş, V_s ve H ’nin değişik değerlerinde teorik dispersiyon eğrisi hesaplanmış ve arazi kayıtlarından elde edilenle karşılaştırılmıştır. Model parametreleri ile hesaplanan değerler, gözlenen değerlerle yaklaşık aynı oluncaya kadar bu işleme devam edilmiştir.



Şekil 6.18 : Birinci ölçüm noktası (Array 1) için dispersiyon eğrisi ve kayma dalgası hızı profili.



Şekil 6.19 : İkinci ölçüm noktası için dispersiyon eğrisi ve kayma dalgası hızı profili.



Şekil 6.20 : Üçüncü ölçüm noktası (Array 3) için dispersiyon eğrisi ve kayma dalgası hızı profili.

Sonuçta elde edilen V_s profili, mikrotremor kayıtlarından ve teorik modelden bulunan dispersiyon eğrileri ile beraber sırasıyla birinci ölçüm noktası için Şekil 6.18’de, ikinci ölçüm noktası için Şekil 6.19’da ve üçüncü ölçüm noktası içinse Şekil 6.20’de gösterilmiştir.

Çizelge 6.6 : Birinci ölçüm noktası (Array 1) için model parametreleri.

3 Tabakalı Model					4 Tabakalı Model				
Tabaka No:	V_p (m/s)	V_s (m/s)	Yoğunluk (t/m^3)	Tabaka Kalınlığı, H (m)	Tabaka No:	V_p (m/s)	V_s (m/s)	Yoğunluk (t/m^3)	Tabaka Kalınlığı, H (m)
1	1553	221	1.9	43	1	1500	220	1.9	43
2	1818	450	2.0	28	2	2040	676	2.0	80
3	2500	1500	2.2	∞	3	2236	851	2.1	50
					4	2958	1503	2.2	∞

Çizelge 6.7 : İkinci ölçüm noktası (Array 2) için model parametreleri.

3 Tabakalı Model					4 Tabakalı Model				
Tabaka No:	V_p (m/s)	V_s (m/s)	Yoğunluk (t/m^3)	Tabaka Kalınlığı, H (m)	Tabaka No:	V_p (m/s)	V_s (m/s)	Yoğunluk (t/m^3)	Tabaka Kalınlığı, H (m)
1	1500	250	1.9	46	1	1500	249	1.9	50
2	1800	393	2.0	30	2	1850	506	2.0	35
3	3800	2317	2.2	∞	3	2675	1248	2.1	70
					4	3472	1966	2.2	∞

Ayrıca zemin tabakalarının üç ve/veya dört tabakalı olması kabulüne dayanarak hesaplanan kayma dalgası hızı değerleri tabaka kalınlıklarıyla beraber üç farklı ölçüm noktası için sırasıyla Çizelge 6.6, 6.7 ve 6.8’de verilmiştir. Üç ayrı noktada elde edilen kayma dalgası hızı profillerinden, Dinar’daki zemin tabakalarının dinamik analizinde kullanılan iki boyutlu analizin oluşturulmasında faydalanılmıştır.

Çizelge 6.8 : Üçüncü ölçüm noktası (Array 3) için model parametreleri.

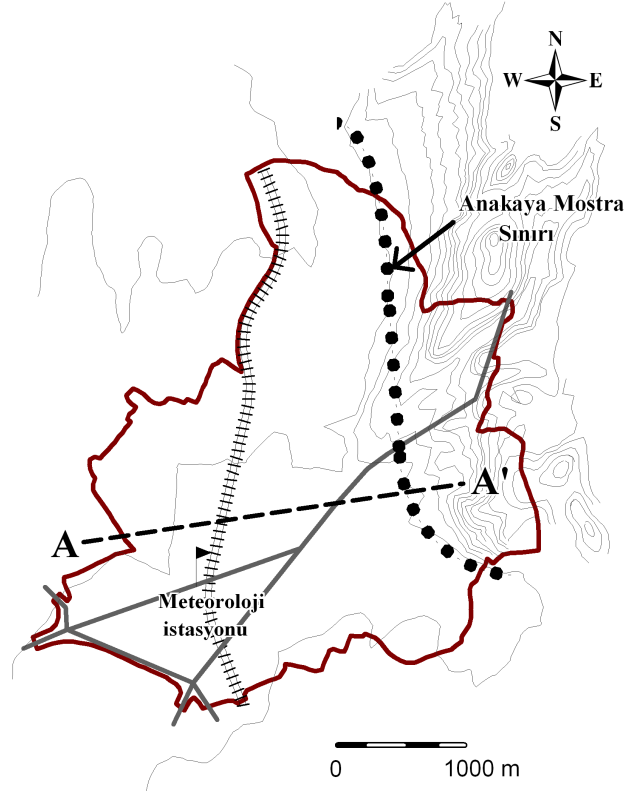
4 Tabakalı Model				
Tabaka No:	V_p (m/s)	V_s (m/s)	Yoğunluk (t/m^3)	Tabaka Kalınlığı, H (m)
1	1500	152	1.9	34
2	2000	636	2.0	34
3	2750	1332	2.1	56
4	4460	2862	2.2	∞

6.3 Dinar Ovası’nın İki Boyutlu Modeli ve Zemin Tabakalarının Dinamik Özellikleri

1 Ekim 1995 Dinar depremi sonrasında hasar, Dinar ovasında anakayanın yüzey mostrasına yakın alüvyon kısmında yani ova kenarında yoğunlaşmış ve depremdeki yıkılmaların % 90’ı bu kısımda oluşmuştur. Farklı araştırmacılar tarafından daha önce Dinar kasabasında bazı noktalar için yapılan 1D analizler, hasar dağılımında gözlenen zıtlığı açıklayamamıştır. Aynı zamanda (Güllü, 2001) tarafından Shake yazılımı kullanılarak yapılan 1D analizlerin değerlendirilmesine dayalı mikrobölgeleme çalışmasında da tuğla ve betonarme binalardaki ağır hasar ve

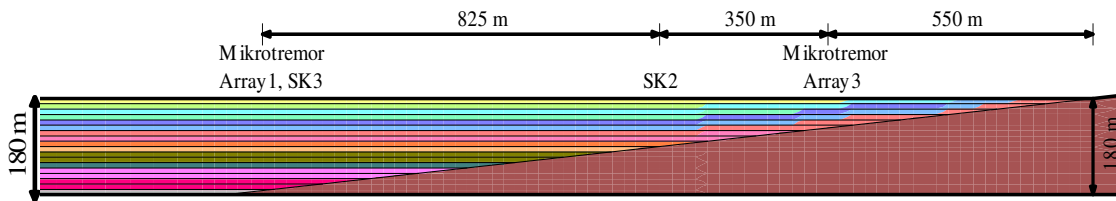
yıkılmaların zemin şartlarına bağılı değişimi tam olarak modellenememiştir. Vadi ve ova gibi oluşumlarda zemin tabakalarının yatay doğrultuda sınırlı genişliğe sahip olması kenarlarda dalga dđnüşümlerine sebep olmakta, hareketin frekans iğeriği ve yüzeydeki etkisi ova veya vadilerin kenarlarından ortasına doğru değişebilmektedir. Bu etkiler göz önüne alındığında; 1 boyutlu analizlerde, sismik dalgaların geliş açısında gömülü anakaya topoğrafyası nedeniyle oluşan kırılma ve yansımaların hesaba alınmadığı ortaya çıkmaktadır. Dinar ovasındaki anakayanın ovanın ortasına doğru dalım açısı dikkate alındığında, Dinar'daki hasar dağılımını etkileyebilecek en önemli potansiyel faktörlerden birinin de ova kenarındaki anakaya eğimi olduğu hipotezi ortaya atılabilir. Yukarıda verilen sebepler dolayısıyla Dinar ovasındaki zemin tabakalarının iki boyutlu dinamik davranışını modelleme ihtiyaçı ortaya çıkmış ve bu nedenle Dinar ovasındaki zemin tabakalarının ve anakaya dalımının iki boyutlu geometrisi belirlenmeye çalışılmıştır.

Daha önce de belirtildiği gibi Array1 ve Array2 eş zamanlı mikrotremor ağ ölçümleri şekil 6.21'de gösterilen Meteoroloji İstasyonu'na çok yakın düzenlenmiştir ve deney mesafeleri arasındaki mesafe azdır. Dolayısıyla bu iki deneyden elde edilen sonuçlar, Meteoroloji İstasyonu'nun altındaki zemin tabakalarının kayma dalgası hızı profillerinin belirlenmesinde kullanılacaktır. Array2 ölçümünde ağ açılımı mesafesi az olduğu için, yüksek periyot değerlerine sahip dolayısıyla daha derindeki zemin tabakalarının kayma dalgası hızının belirlenmesinde kullanılabilecek mikrotremor ölçümleri yapılamamıştır. Dolayısıyla Array2 eş zamanlı mikrotremor ağ ölçümünün, Meteoroloji İstasyonu altındaki zemin tabakasının kayma dalgası hızı profilinin üstteki yaklaşık 70 m'lik kısmının belirlenmesinde kullanılmasının uygun olacağı söylenebilir. Array1 modelinde ise ağ açılımı mesafesi, daha derindeki zemin tabakalarının kayma dalgası hızı profili hakkında bilgi sahibi olmayı sağlamaya yeterlidir (şekil 6.18). Buradan da görülebileceği gibi Meteoroloji İstasyonu altında yaklaşık 170 m derinlikte anakayanın ovadaki dalımına ulaşılmaktadır. Bu derinlikte kayma dalgası hızı yaklaşık 1200 m/s olarak hesaplanmıştır. Array3 eş zamanlı mikrotremor ağ ölçümü şekil 6.15'ten de görülebileceği gibi kasabanın doğusundaki tepelik bölgeye yakın ve Meteoroloji istasyonunun kuzeydoğusunda düzenlenmiştir. Array3'ün düzenlendiği bölgede yapılan ölçümler sonucunda kurulan dört tabakalı modelde; mühendislik anakayasına (sismik anakaya) yaklaşık 50 m derinlikte ulaşıldığı görülmektedir (şekil 6.20).

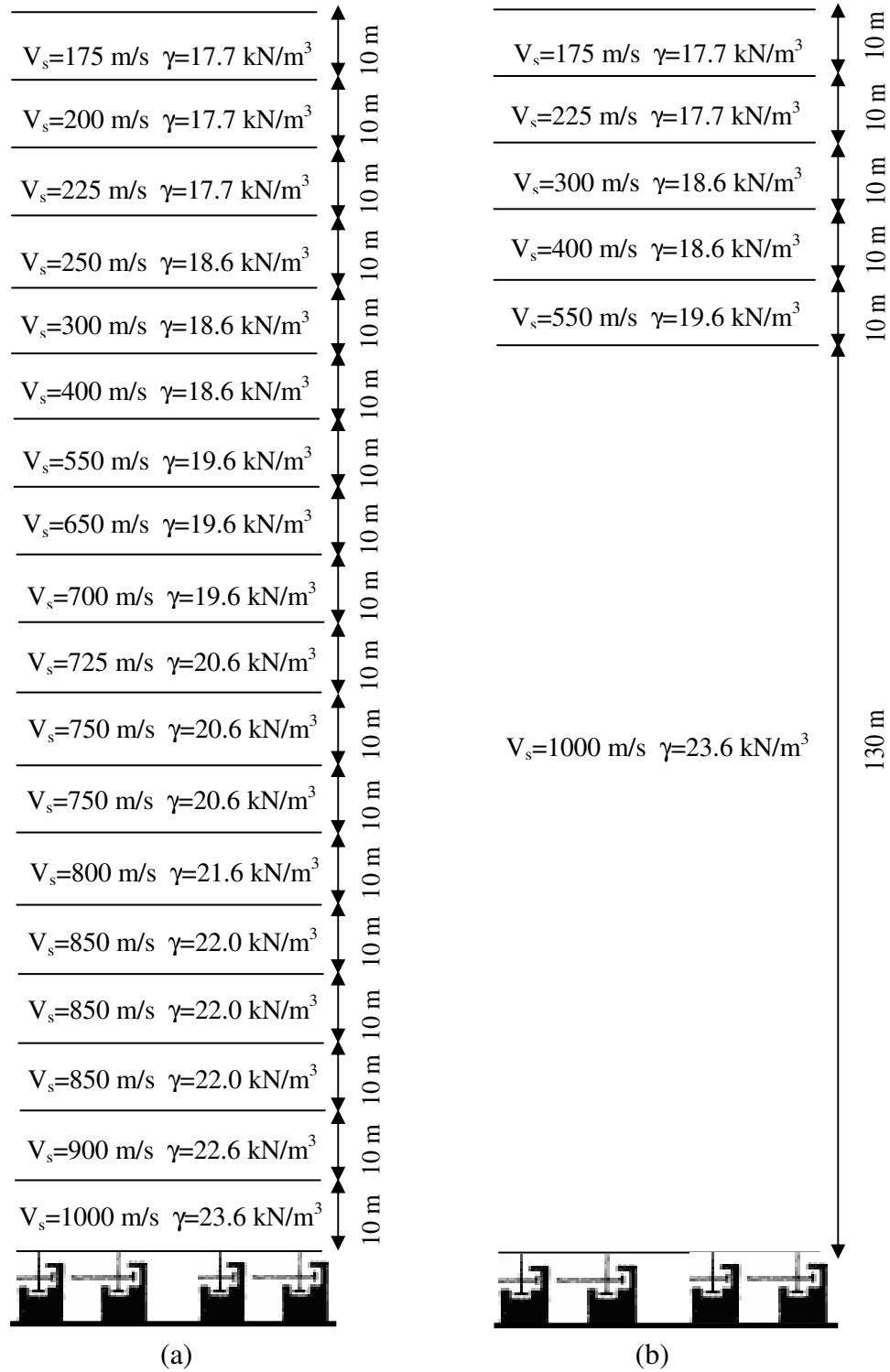


Şekil 6.21 : Dinar Meteoroloji İstasyonunun konumu.

Farklı noktalarda yapılan eş zamanlı mikrotremor ağ ölçümleri, Şekil 6.11’de verilen rezistivite deney sonuçları, Dinar’ın jeolojik kesiti ve anakaya mostra sınırı birlikte değerlendirildiğinde Dinar ovasının 2D dinamik analizinde kullanılabilecek kesiti Şekil 6.22’deki gibi gösterilebilir. Bu kesit, Şekil 6.21’de verilen A-A hattı boyunca alınmıştır ve yaklaşık D-B doğrultusundadır. Bu kesitten de anlaşılabileceği gibi mühendislik anakayasası % 10 eğimle Dinar ovasına doğru dalım yapmaktadır ve bu eğim yüzeyde gözlenen anakaya mostranın ortalama eğimine yakındır. Ovadaki zemin tabakalarının yüzeydeki 30 m’lik kısmının detaylı kayma dalgası hızı profilinin elde edilmesinde bölgede yapılan SPT, CPT ve PS Logging deneylerinden faydalanılmıştır. Dinar ovasında SPT- V_s ve CPT- V_s korelasyonları yardımıyla üstteki yaklaşık 20-30 m’lik kısım için eşdeğer kayma dalgası hızı hesaplanmış ve genelde ortalama 200 m/s olarak elde edilmiştir.



Şekil 6.22 : Dinar ovasının A-A hattı boyunca alınmış idealleştirilmiş kesiti.



Şekil 6.23 : Eş zamanlı mikrotremor ağ ölçümlerinin yapıldığı noktalardaki idealleştirilmiş kayma dalgası hızı profili (a) Array1 (b) Array3.

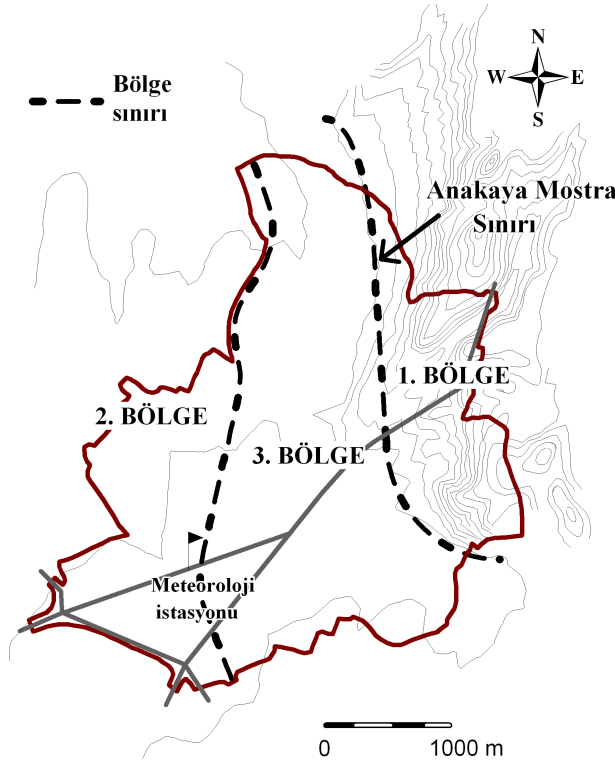
Şekil 6.12’den de görülebileceği gibi PS Logging deneylerinde şehir merkezinde yer alan SK2 sondaj kuyusunda üstteki 40 m’lik tabaka için eşdeğer kayma dalgası hızı yaklaşık 250 m/s ve Meteoroloji İstasyonu yanındaki SK3 sondaj kuyusunda eşdeğer kayma dalgası hızı yaklaşık 200 m/s olarak ölçülmüştür. Yapılan PS Logging deneylerinden elde edilen değerler, gerek eş zamanlı mikrotremor ağ ölçümleri

gerekse SPT- V_s ve CPT- V_s korelasyonlarından bulunanlarla uyumludur. Şekil 6.22’de gösterilen iki boyutlu ova modelindeki kayma dalgası hız profilleri ova üzerindeki eş zamanlı mikrotremor ağ ölçümlerinin düzenlendiği Array1 (SK3) ve Array3 bölgeleri için Şekil 6.23’te verilmiştir.

6.4 Dinar’daki Hasar Dağılımı

Güllü (2001) tarafından yapılan çalışmada Dinar’da hasarlı veya hasarsız 4588 adet binaya ait hasar verileri coğrafik düzlem ile ilişkilendirilerek GIS’e girilmiştir. GIS’e girilen hasar verileri yapı tipi ve kat sayısına göre sorgulanarak hasarın bölgedeki dağılımı detaylı olarak elde edilmiştir.

Dinar genelindeki binaların % 56’sı tuğla yığma, % 19’u kerpiç yığma, % 12’si betonarme ve % 13’ü ise hımış, bağdadi, melez ve bilinemeyen diğer tip yapılardan meydana gelmiş olup, yığma yapılar bölgede çoğunluğu oluşturmaktadır. Dinar’da yapılar 1 ile 6 kat arasında değişmekte olup; % 51’i bir kat, % 36’sı iki kat, % 9’u üç kat, % 3’ü dört kat ve % 1’i beş katlıdır. Üç kata kadar olan yapıların genelde tuğla yığma, üç katın üstündekilerin ise betonarme oldukları görülmektedir (Güllü, 2001). Bu bilgilere göre, Dinar’daki yapıların hakim periyodunun 0.1 s ile 0.6 s arasında değiştiği söylenebilir.



Şekil 6.24 : Dinar’da 1 Ekim 1995 depremi ardından tanımlanan hasar bölgeleri.

Mühendislik bakış açısı yönünden Dinar Depremi'nin en olağan dışı tarafının Dinar'daki hasarın kısmi dağılımı olduğu söylenebilir. Yapıların gördüğü hasar göz önüne alınırsa, Dinar üç ayrı hasar bölgesine ayrılabilir. Ağır hasar görmüş veya yıkılmış binaların büyük bir kısmı kasaba merkezindeki alüvyonun üzerinde yani Şekil 6.24'te gösterilen 3. bölgede yer almaktadır. Şehrin doğusundaki yamacın başlangıcıyla, batısındaki demiryolu arasında kalan bu bölgede yaklaşık 200 yıkılma olayının % 90'ı meydana gelmiştir. Alüvyon üstünde olmalarına rağmen ikinci bölgedeki yapıların hasar oranlarında dikkat çekici azalma meydana gelmiştir. Diğer yönden, Dinar'ın doğusunda yer alan yamaçtaki anakaya mostranın üstündeki yapılardan sadece birkaç tanesi hasar görmüştür (Bakır ve diğ, 2002).

Dinar Depremi'nin ardından Afet İşleri Genel Müdürlüğü Dinar'daki yapı hasarının belirlenebilmesi için çalışma başlatmış ve yapılan çalışmada hasar seviyesine bağlı olarak, yapılar "hasarsız" ve "yıkık" arasında değişen 5 ayrı sınıfa ayrılmıştır. Bu çalışma sırasında kullanılan yapı hasarı seviyesi sınıflandırması Çizelge 6.9'da verilmiştir.

Çizelge 6.9 : Afet İşleri Genel Müdürlüğü'nün hasar derecesi kriterleri.

Hasar Derecesi	Puan	Açıklamalar
Hasarsız	0	Doğal afet nedeni ile herhangi bir hasar görmeyen yapı
Az Hasarlı	1-2-3	İnce sıva çatlakları, sıva dökülmeleri, duvarlarda 1-4 mm genişlikte ince çatlaklar ve kısmi dökülmeler
Orta Hasarlı	4-5-6	Taşıyıcı duvarlarda 5-10 mm genişlikte önemli çatlaklar, bölme, dolgu ve kalkan duvarlarda kısmi yıkılma ve ayrılmalar
Ağır Hasarlı	7-8-9	Taşıyıcı duvarlarda 10 mm den geniş ve yaygın kesme kırılmaları, bina köşelerinde ayrılma ve ezilmeler, konik biçimde dökülmeler, binanın düşeyden ayrılması, bölme, dolgu ve kalkan duvarlarda kısmen veya tamamen yıkılmalar
Yıkık	10-11	Bina taşıyıcı sisteminde kısmen veya tamamen yıkılmalar, çatının kısmen veya tamamen göçmesi

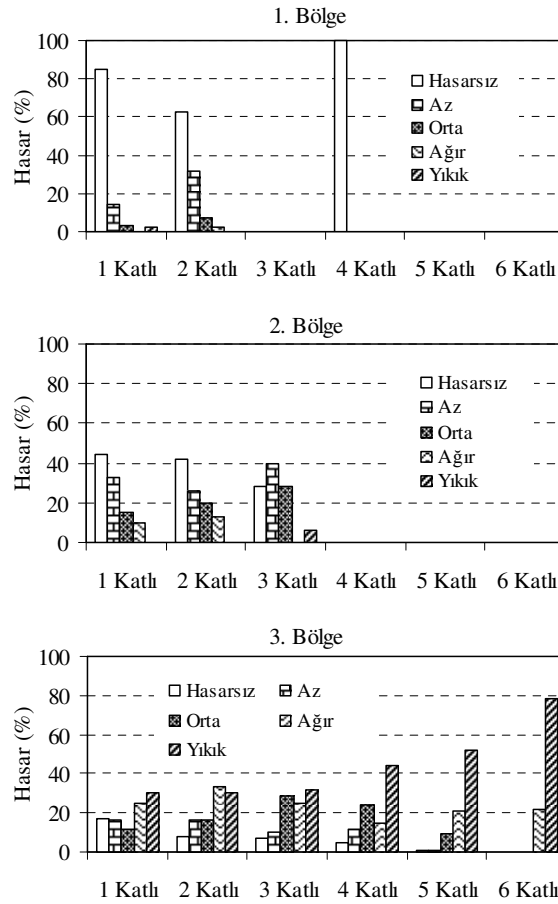
Dinar'daki üç ayrı hasar bölgesi için yapı kat sayılarına göre sınıflandırılmış temsili hasar dağılımı istatistikleri Şekil 6.25'te verilmiştir. Bu istatistikler, bahsedilen üç ayrı hasar bölgesindeki farklı mahallelerde kayda alınan toplam 1581 yapı hasar verisi kullanılarak elde edilmiştir. 3 nolu hasar kuşağında 4-6 katlı binalar üzerinde oluşan hasar oldukça fazladır ve kat sayısı arttıkça da yükselmektedir. Bu bölgede yer alan binaların büyük çoğunluğu ya yıkılmış ya da ağır hasar görmüştür. Her ikisi

de alüvyon üzerinde yer alan 2 ve 3 no'lu kuşaklardaki 1-3 katlı binalar için elde edilen hasar istatistikleri arasındaki farklılık dikkat çekicidir.

Güllü (2001) tarafından yapılan çalışmada Dinar'da binalarda oluşan hasar, Afet İşleri'nin Çizelge 6.9'da verilen 11'li derecelendirme ölçeğinin Çizelge 6.10'da verilen 5'li ölçeğe dönüştürülmesiyle değerlendirilmiştir.

Çizelge 6.10 : Afet İşleri Genel Müdürlüğü'nün hasar derecesinin dönüştürülmüş hali.

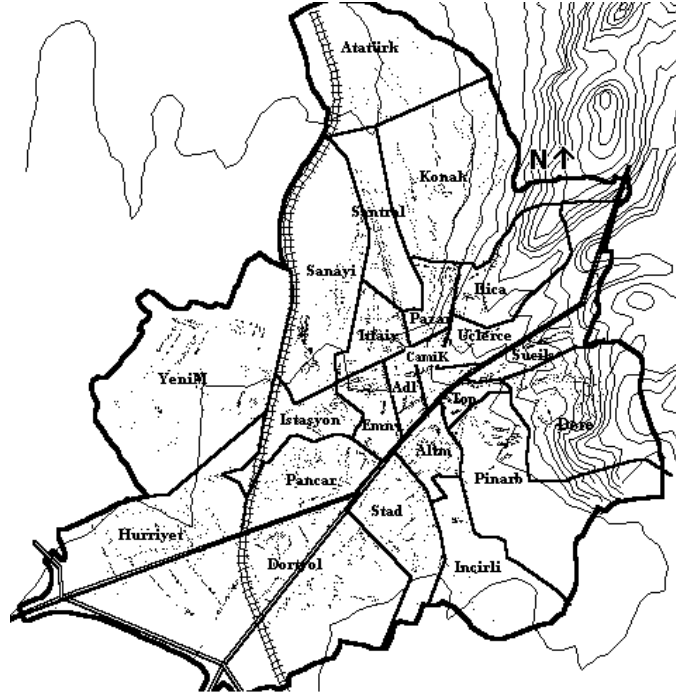
Hasar Seviyesi	HASARSIZ	AZ	ORTA	AĞIR	YIKIK
Afet İşleri (11'li Ölçek)	0	1-2-3	4-5-6	7-8-9	10-11
Bu Çalışma (5'li Ölçek)	0	0.25	0.5	0.75	1



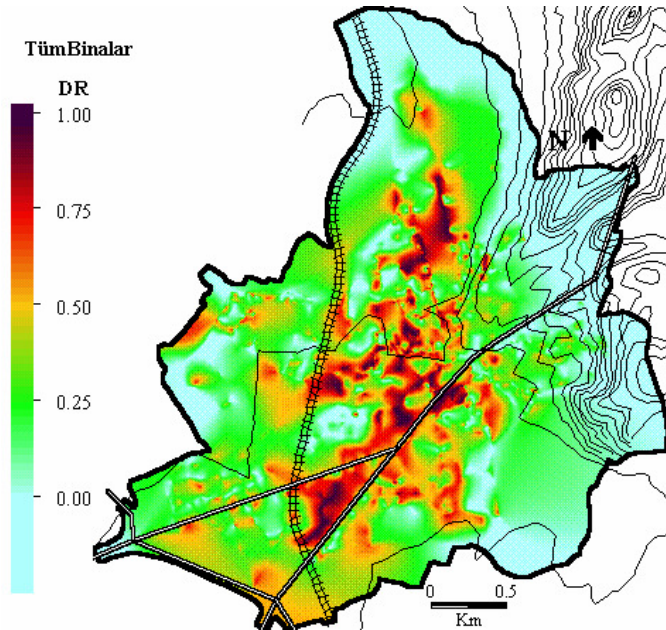
Şekil 6.25 : Dinar'daki üç ayrı bölge için hasar dağılımı istatistikleri (Güllü, 2001).

Dinar'daki binaların yerleşim dağılımları, mahalle sınırlarıyla beraber Şekil 6.26'da coğrafi bilgi sistem haritasında verilmiştir. 1995 Depremi'nden sonra Dinar'da meydana gelmiş mahalle bazındaki hasarın oranları; hasar seviyesine göre bina dağılımlarının bulunup, karşı gelen hasar seviyeleriyle çarpılması sonucu ağırlıklı ortalamalar alınarak hesaplanmıştır. Dinar için her bir mahallenin ilgili hasar

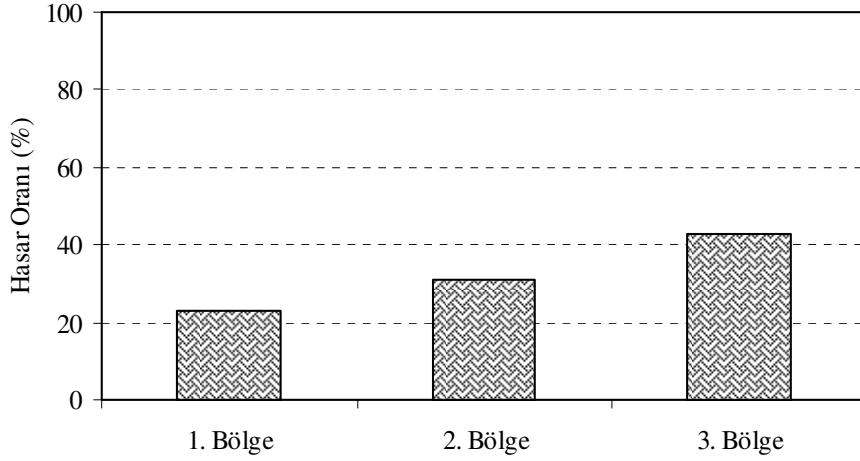
seviyesindeki bina sayısı toplam bina sayısına bölünerek, bina yüzdeleri bulunmuştur. Elde edilen değerlerin hasar seviyeleri ile çarpılıp toplanmasıyla mahalle bazında hasar oranları hesaplanmıştır. Hasar seviyesine göre bina dağılımları (yüzdeleri) ve belirtilen yöntem ile hesaplanan hasar oranları mahalle bazında Ek A Çizelge A.1’de verilmiştir. Dinar’daki tüm binaların hasar oranları GIS ortamında Şekil 6.27’de ve bunların üç ayrı bölgeye göre dağılımı Şekil 6.28’de gösterilmiştir.



Şekil 6.26 : Dinar'daki binaların yerleşim dağılımları ve mahalle sınırları.



Şekil 6.27 : Dinar'daki tüm binaların hasar oranları ve dağılımı (Güllü, 2001).



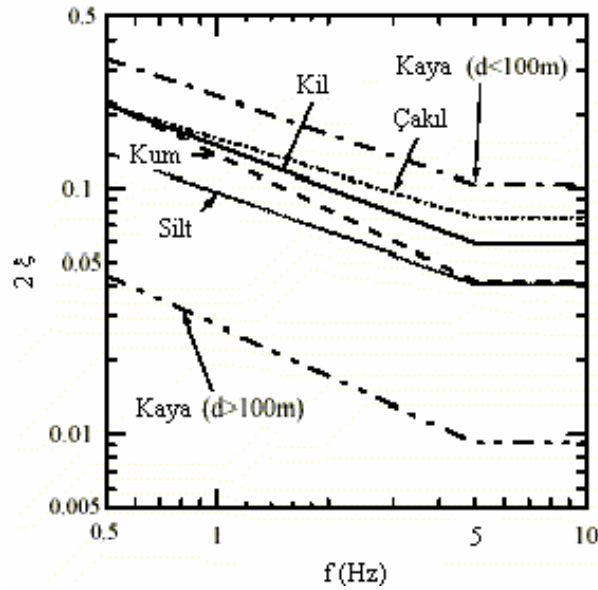
Şekil 6.28 : Dinar'daki tüm binaların üç ayrı bölgeye göre hasar oranları.

6.5 Yapılan Bir Boyutlu Dinamik Analizlerde Kullanılan Yaklaşım ve Yöntem

Zemin tabakalarının dinamik analizinde kullanılan bir boyutlu (1D) yaklaşım, modelin iki boyutlu geometrisine ve sınır şartlarının belirlenmesine gerek duymadığı için en çok tercih edilen metot olma özelliğini günümüzde de korumaktadır. 1D analizlerde genellikle, eşdeğer lineer malzeme modeli tercih edilmektedir. Eşdeğer lineer malzeme modeline göre toplam gerilmeler cinsinden 1D dinamik analiz yapılmasını sağlayan Shake91 yazılımı güncelliğini korumaktadır. Bununla birlikte farklı araştırmacılar Shake91 yazılımında kullanılan eşdeğer lineer yaklaşımın geliştirilmesi gerektiğini belirtmişlerdir. Aşağıda, Shake91 yazılımında kullanılan yaklaşımın farklı araştırmacılar tarafından geliştirilmesinin önerildiği kısımları detaylı şekilde anlatılmış ve bu çalışma kapsamında kullanılan metota değinilmiştir.

Zemin tabakaları gerçekte heterojen malzemeden oluşmaktadır. Deprem dalgaları homojen olmayan malzemede düz ilerleyemez ve saçılırlar. Bu saçılmadan dolayı dalgaların genliklerinde azalma olur ve bu durum dalga saçılımından kaynaklanan sönüm olarak tanımlanmaktadır. Sato (1991), dalga saçılımından kaynaklanan sönümün frekansa bağımlılığını bir boyutlu saçılma teorisini kullanarak ispatlamaya çalışmıştır. Malzeme sönümünün frekansa bağımlılığı laboratuvar deneylerinde belirlenememekle birlikte, bu durum PS Logging deneylerinde ve düşey ölçüm ağlarında gözlenmekte ve sönümün düşük frekanslarda yüksek frekanslara göre daha fazla olduğu bilinmektedir. Sugiyama ve diğ. (1990) tarafından yüksek frekans değerlerinde dalga saçılmasından kaynaklanan sönümün azaldığı gösterilmiştir.

Doğadaki dalga yayılma yolu, homojen olmayan ortamda ve tabakalar arasındaki sınırlarda uzamakta ve sönüm artmaktadır. Shake91 gibi eşdeğer lineer malzeme modeline dayanan bir boyutlu dinamik analiz programlarında dalga saçılımından kaynaklanan sönüm ihmal edilmektedir. Kobayashi ve diğ. (1992), dalga saçılımından kaynaklanan sönümün etkisinin frekansa bağlı olarak analize katılması gerektiğini belirtmişlerdir. Dalga saçılımından kaynaklanan sönümün frekans bağımlılığı, farklı zemin cinsleri için Fukushima ve Midorikawa (1994) tarafından toplanan verilerin derlenmesi sonucunda Şekil 6.29'daki gibi gösterilmiştir.



Şekil 6.29 : Farklı zemin cinsleri için dalga saçılımından kaynaklanan sönümün frekansa bağlı değişimi (Fukushima ve Midorikawa, 1994).

Konvansiyonel eşdeğer lineer metotta anahtar kavram efektif şekil değiştirmedir (γ_{eff}). Bilindiği üzere efektif şekil değiştirme, maksimum kayma şekil değiştirmesi kullanılarak aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$$\gamma_{eff} = \alpha \gamma_{maks} \quad (6.5)$$

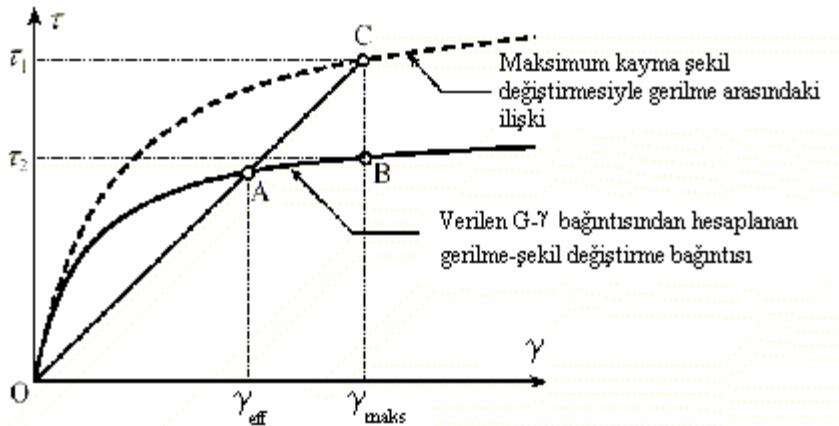
Burada γ_{maks} maksimum kayma şekil değiştirmesi, α ise katsayıdır. α için genellikle 0.65 değeri kullanılmakla birlikte Shake91'de, α için aşağıdaki formül önerilmiştir:

$$\alpha = \frac{M - 1}{10} \quad (6.6)$$

Yukarıda M deprem büyüklüğüdür. Buradan da anlaşılabileceği gibi α gözlenen deprem kaydıyla doğrudan bağlantılıdır. Yoshida (1984) bu değer 0.2 ile 1 arasında

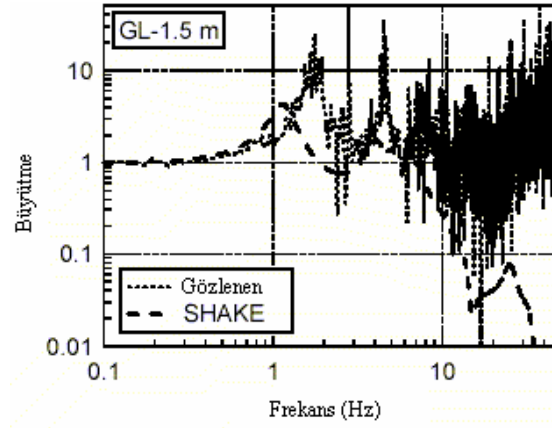
değiştiğini ve saptanmasında çok iyi bir metodun daha henüz bulunamadığını belirtmiştir. Dolayısıyla α katsayısı anakayadaki deprem dalgasının özelliklerine bağlıdır ve alacağı değerin lineer olmayan davranışın derecesine bağlı olarak ayarlanması gerekmektedir.

Yoshida (1984), eşdeğer lineer metotla yapılan analizler sonucunda kayma gerilmelerinin olduğundan daha yüksek değerlerde elde edilmesiyle ilgili daha farklı bir mekanizmaya işaret etmiştir. Şekil 6.30, bu mekanizmayı şematik olarak göstermektedir. O-A-B çizgisi, yapılan analizde girilen veri sonucunda elde edilen gerilme-şekil değiştirme eğrisini göstermektedir. Maksimum kayma şekil değiştirmesi olarak γ_{maks} değerinin hesaplandığı varsayılırsa; eşdeğer lineer analizde kullanılan gerilme-şekil değiştirme eğrisi, efektif şekil değiştirme değeri yardımıyla elde edilen OA çizgisinin C'ye kadar uzatılmasıyla çizilebilecektir. Bu durumda hesaplanan maksimum kayma şekil değiştirmesi (τ_1), gerçek gerilme şekil değiştirme eğrisindeki maksimum gerilme değerinden (τ_2) oldukça büyüktür. Böylece gerçek gerilme-şekil değiştirme eğrisinden oldukça farklı bir malzeme davranışı elde edilir. Tam plastik davranış oluştuğunda, kayma gerilmesindeki tahmin değeri gerçeğin $1/\alpha$ katına çıkmaktadır. Bu küçük bir hata değildir ve $\alpha=0.65$ olduğunda, tahmin edilen kayma gerilmesi değerindeki artış % 50'den fazla olmaktadır. Kayma şekil değiştirmeleri küçük olduğunda bu durumun dinamik davranışa çok önemli etkisi olmamakla birlikte, özellikle yüksek kayma şekil değiştirme değerlerinin oluştuğu kuvvetli yer hareketlerinde maksimum ivme değerleri gereğinden fazla hesaplanabilmektedir. Bu durumu aşabilmek için α değerinin 1'e eşit olması gerekmektedir, fakat bu kabul de aşağıda belirtildiği gibi hatalara sebep olmaktadır.

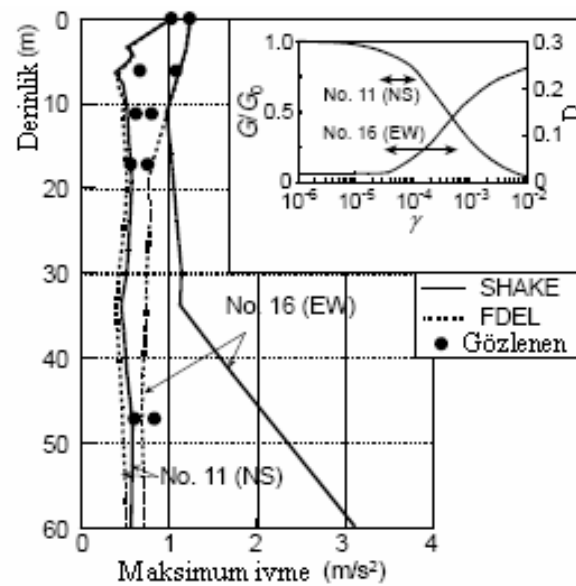


Şekil 6.30 : Eşdeğer lineer metotta kayma gerilmesi-kayma şekil değiştirmesi ilişkisi.

Örneğin yüzeyde alınan deprem kayıtları frekans ortamında anakaya kayıtlarına oranlandığında, eşdeğer lineer analizdeki farklı bir kısıtlama daha belirlenebilmektedir (Yoshida ve diğ., 2002). Şekil 6.31'den de görülebileceği gibi özellikle 7 Hz'den yüksek frekanslar için Shake91 programı kullanılarak hesaplanan büyütme, gözlenenden çok daha düşük değerlere sahiptir. Geleneksel bir boyutlu eşdeğer lineer analiz programlarında yüksek frekanslı dalga bileşenlerinin hesaplanmasında da yüksek sönüm oranı ve düşük kayma modülü değerlerinin kullanılması, yüksek frekanslarda büyütmeyi olması gerekenden azaltmaktadır. Dolayısıyla zemin davranışının lineere yakın olduğu küçük ve orta büyüklükteki depremlerde, zemin yüzeyinde hesaplanan maksimum ivme değeri olması gerekenden daha küçük bulunabilmektedir.



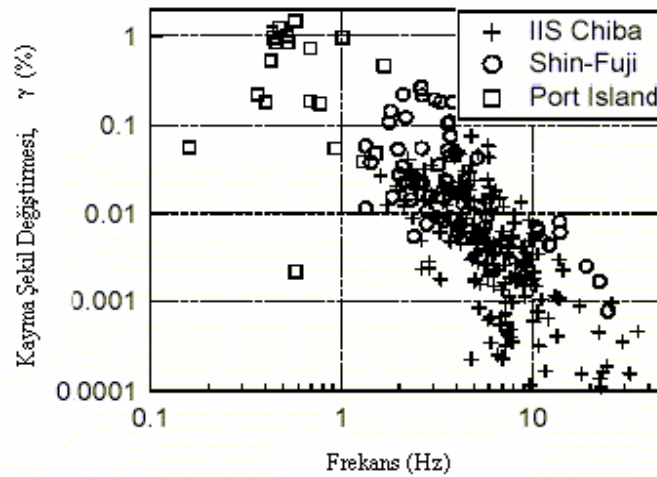
Şekil 6.31 : Shake yazılımıyla hesaplanarak ve eş zamanlı ivme ölçerler kullanılarak ayrı ayrı elde edilen zemin büyütme grafikleri (Yoshida ve diğ., 2002).



Şekil 6.32 : Shake ve Fdel yazılımıyla yapılan geri dönüşümlerin anakayadaki gerçek kayıtlarla karşılaştırılması (Ueshima ve Nakazono, 1996).

Önemli problemlerden biri de kuvvetli yer hareketinde anakayadaki yer hareketini elde etmek için yapılan geri dönüşümde ortaya çıkmaktadır. Zemin büyütmesinin 1’den küçük değerler alması söz konusu olabilmektedir. Diğer bir deyişle anakayaya doğru inildikçe ivme değerleri büyümektedir. Maksimum kayma şekil değiştirmesinin % 0.1’e ulaştığı depremlerde yüksek frekanslı bileşenlerde geri dönüşüm uygulanırken meydana gelen büyütme nedeniyle anakaya depreminin maksimum ivmesi çok yüksek değerler alabilmektedir (Şekil 6.32). Bu eksikliğin giderilmesi için yüksek frekanslarda daha küçük sönüm değerlerinin kullanılması gerektiği söylenebilir. Bununla birlikte Suetomi ve diğerlerinin (1996) işaret ettiği gibi daha doğru sonuçlar alınabilmesi için yüksek frekans bölgesinde daha büyük kayma modülü değerlerinin kullanılması gerekmektedir.

Yukarıda bahsedilen birbirine zıt iki eksiklik dinamik analizde etkili olmaktadır ve bu eksikliklerin nedeni efektif kayma şekil değiştirme katsayısının belirlenmesindeki yöntemden kaynaklanmaktadır. Kuvvetli yer hareketlerinde en büyük ivme değerinin gözlenenden daha fazla hesaplanmasındaki hata α katsayısının büyümesiyle azalacaktır fakat diğer yandan büyütmenin yüksek frekans bölgesinde olması gerekenden daha düşük bulunmasını engellemek içinse α katsayısı küçültülmelidir. Bununla birlikte geleneksel metotla her ikisi de aynı anda sağlanamaz.



Şekil 6.33 : Kayma şekil değiştirmesi-frekans ilişkisi (Yoshida ve diğ., 2002).

Şekil 6.33’te verilen kayma şekil değiştirmesi genliği-frekans ilişkisi Yoshida ve diğ. (2002) tarafından elde edilmiştir. Farklı deprem hareketleri için elde edilen kayma şekil değiştirmelerinin genliklerinin periyotla ilişkisini gösteren bu şekil, Yoshida ve diğ. (2002) tarafından önerilen ve aşağıda değinilen yöntemle altlık teşkil etmektedir.

Bu yöntem; Shake91 gibi, geleneksel bir boyutlu eşdeğer lineer analiz metoda dayanan yazılımlarda α katsayısının seçilmesine dayanan ve dinamik analizlerde hataya yol açabilen iki ayrı tespiti dikkate almak için ortaya atılmıştır. Bu tespitlerden birincisi; kuvvetli yer hareketi karşısındaki dinamik davranışta uygun tahminler yapılabilmesi için α katsayısının 1'e eşit olması gerekliliğidir. Bu durum maksimum efektif kayma şekil değiştirmesi genliğinin maksimum şekil değiştirme genliğine eşit olması gerekliliğini ortaya koymaktadır. İkinci tespit ise, kayma şekil değiştirmesinin 10^{-4} 'ten küçük olması halinde, zemin tabakalarının lineer olmayan davranışının dikkate alınmasının gerekli olmadığıdır. Şekil 6.33'ten de görülebileceği gibi bu şekil değiştirmeye karşı gelen frekans değerleri 2 Hz ile 10 Hz aralığında değişmektedir. Yoshida ve diğ. (2002), efektif kayma şekil değiştirmesinin yukarıdaki şartları sağlayan fonksiyonların kullanılmasıyla hesaplanan kayma modülü ve sönüm oranı değerleriyle elde edilmesini önermiştir. Bu denklemler aşağıdaki gibi verilebilir:

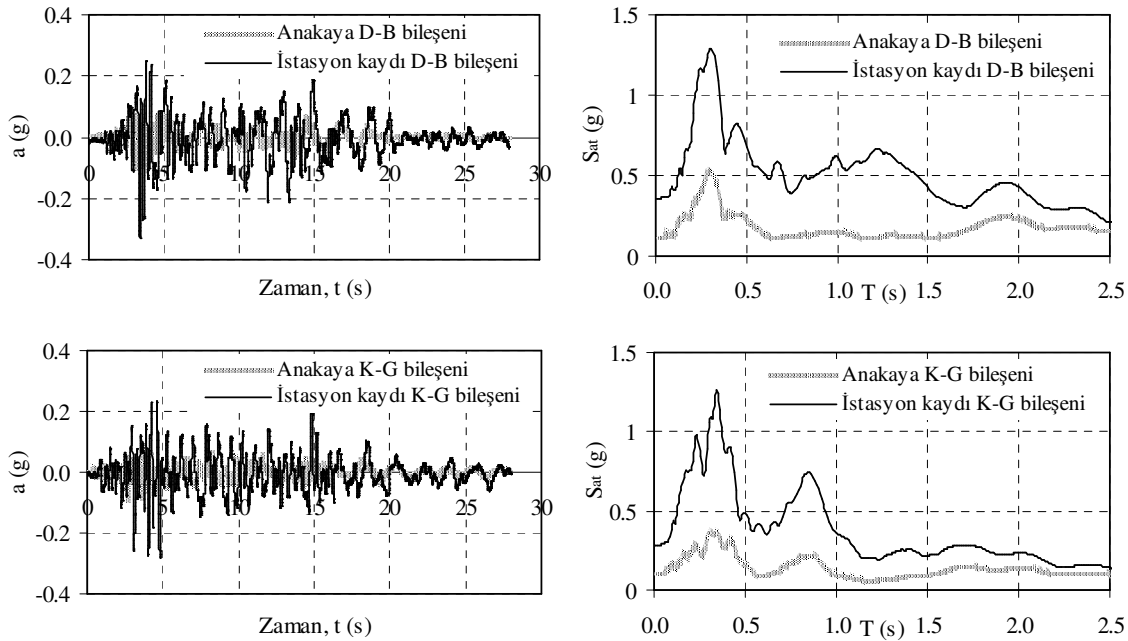
$$\begin{aligned} \gamma_{\text{eff}} &= \gamma_{\text{maks}} & f_p &> f \\ \gamma_{\text{eff}} &= \gamma_{\text{maks}} \left\{ 1 - \left(\frac{\log f - \log f_p}{\log f_e - \log f_p} \right)^m \right\} & f_p &\leq f \leq f_e \\ \gamma_{\text{eff}} &= 0 & f &> f_e \end{aligned} \quad (6.7)$$

Yukarıda f_p sıfırdan geçirme yönteminde kayma şekil değiştirmesinin maksimum olduğu frekans değeridir. f_e daha yüksek değerlerde lineer olmayan davranışın dikkate alınmasının gerekmediği frekans değeridir ve m bir parametredir. f_e ve m , zemin tabakalarının dinamik analizinde gerçeğe yakın tahmin yapılabilmesi için anahtar role sahip parametrelerdir. Yoshida, $m=2$ ve $f_e=6$ Hz kullanıldığını önermektedir. Gerçekte, eşdeğer lineer analiz frekans ortamında düzenlenmektedir fakat Şekil 6.33 zaman ortamındaki davranışı özetlemektedir. Dolayısıyla gerçek malzeme özelliklerinin frekansa bağımlı olduğu anlamına gelmemektedir.

Dinar Ovası modelinin farklı noktalarının kuvvetli yer hareketi karşısındaki davranışını incelemek için yapılan tek boyutlu dinamik analizlerde ve 1995 Dinar depreminde yüzeyde alınmış kayıtların anakayaya geri dönüşümle taşınmasında, Shake91 yazılımındaki efektif kayma şekil değiştirmesi katsayısının seçiminden kaynaklanabilecek problemleri en aza indirmek için Dyne-q yazılımının kullanılmasına karar verilmiştir.

6.5.1 1 Ekim 1995 Dinar Depremi yüzey kaydının anakayaya taşınması

Dinar Ovası'nın daha önce elde edilen modelinin iki boyutlu ve bu model üzerinde bulunan farklı bölgelerdeki noktaların bir boyutlu dinamik analizlerinde kullanılacak anakaya deprem kaydının elde edilebilmesi için; 1995 Dinar depreminde, 40 m derinliğe sahip SK3 sondajının yanındaki istasyonda (Meteoroloji Binası) zemin yüzeyinde alınan ana şok kayıtları kullanılmıştır (Şekil 6.34). Dinar ovasının modeli yaklaşık D-B doğrultusunda alınmış bir kesitle oluşturulmaya çalışıldığı için, 1D ve 2D dinamik analizlerde de D-B doğrultusundaki anakaya deprem kaydının kullanılması uygun görülmüştür. Yüzeydeki deprem kaydının anakayaya taşınması için, Meteoroloji binasının olduğu bölgedeki zemin tabakalarının dinamik özelliklerinin derinlik boyunca anakayaya kadar olan değişimi gerekmektedir. Bölgedeki kayma dalgası hızı profili, daha önce belirtildiği gibi üst tabakalar için SK3 kuyusunda yapılmış olan PS-Logging, SPT ve CPT deneyleri ile elde edilmiş olup, alt tabakalar içinse eş zamanlı mikrotremor ağ ölçümü deneylerinden hesaplanmıştır. Daha önce belirlenen kayma dalgası hızı profili kullanılarak zemin yüzeyindeki kayıt 175 m derinliğe taşınmıştır. Sismik anakayanın ($V_s=700$ m/s) üstünde yeralan malzemenin bölgedeki zemin tabakasının büyük bölümünü temsil eden orta plastisiteli kil (CI, PI=% 20-25) olduğu varsayılmış ve sönüm oranı ile kayma modülünün tekrarlı kayma şekil değiştirmesine bağlı değişimi Ishibashi-Zhang (1993) bağıntısı kullanılarak modellenmiştir.



Şekil 6.34 : 1 Ekim 1995 Dinar depreminin hipotetik anakaya ivme-zaman geçmişleri ve bunlara ait mutlak ivme spektrumları.

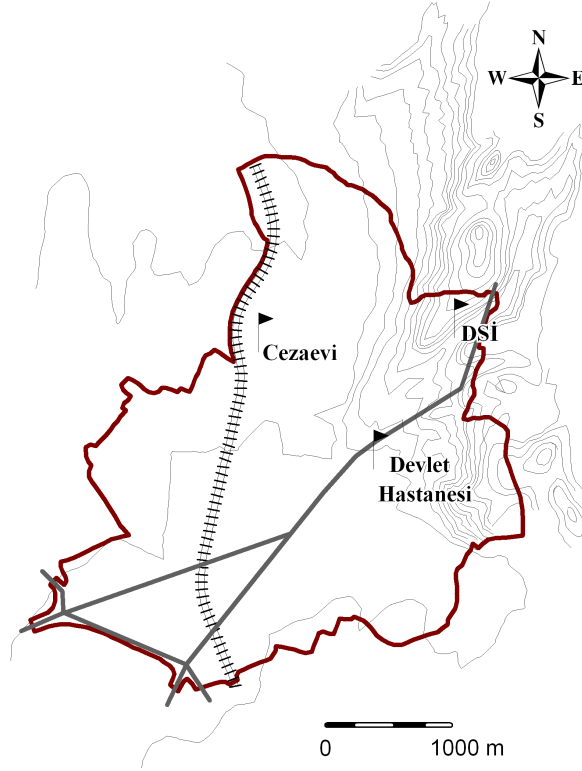
Geleneksel eşdeğer lineer analiz programlarının (Shake91 vb. gibi) daha önce belirtilen eksiklikleri göz önüne alındığında Dyne-q yazılımının kullanılmasına karar verilmiş ve bir boyutlu bütün analizlerde bu program kullanılmıştır. Yapılan 1D geri dönüşümlerde anakaya için hesaplanan D-B ve K-G ivme zaman geçmişleri ve bunlara ait mutlak ivme spektrumları Şekil 6.34'te gösterilmiştir. Daha sonraki aşamalarda ana şoka ait yapılan bütün bir ve iki boyutlu analizlerde, D-B doğrultusu için Dyne-q programıyla hesaplanmış olan anakaya ivme zaman geçmişi kullanılmıştır. Mühendislik açısından anakaya olarak tanımlanan tabakada elde edilen bu hipotetik kaydın en büyük mutlak ivme değeri 0.11 g'dir.

6.6 Dinar Ovası Modeli Kullanılarak Yapılan İki Boyutlu Dinamik Analizler

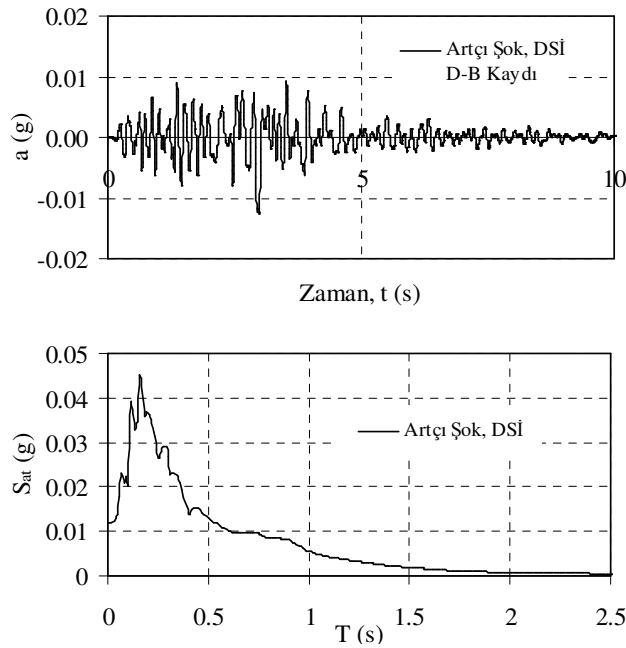
Dinar Ovası'nın iki boyutlu dinamik analizi hem 1 Ekim 1995 kuvvetli yer hareketi hem de 11 Ekim 1995 artçı şoku ($M_L=4.1$) için ayrı ayrı yapılmıştır. Bunun nedeni; seçilen iki boyutlu geometrinin sınır şartlarının ve zemin tabakalarının dinamik özelliklerinin uygunluğunun araştırılmasıdır.

6.6.1 Artçı şok (11 Ekim 1995)

Artçı şok kullanılarak yapılan analizlerde; DSİ Suçikan istasyonunda D-B doğrultusunda alınan ivme kaydı, anakaya ivme-zaman geçmişi olarak seçilmiştir. Artçı şok sırasında Dinar'da Cezaevi ve Devlet Hastanesi'nde de eş zamanlı kayıtlar alınmıştır. DSİ istasyonu, Cezaevi ve Devlet Hastanesi'nin Dinar Ovası'ndaki yerleşimleri Şekil 6.35'te gösterilmiştir. DSİ'de alınan D-B doğrultusundaki ivme kaydı ve buna ait mutlak ivme spektrumu Şekil 6.36'da gösterilmiştir. DSİ istasyonu; kireçtaşı, şist ve marndan oluşan tepelik alanda kaldığı için bu noktadaki kayıtların anakaya mostrası ivme-zaman geçmişi olarak kullanılabilirliğinin uygun olacağı düşünülmüştür. İki boyutlu dinamik analizler, artçı şokta kaydedilen anakaya ivme-zaman geçmişinin daha önce Şekil 6.22'de geometrisi ve Şekil 6.23'te kayma dalgası hızı profili verilen model üzerinde uygulanmasıyla yapılmıştır. 2D analizlerde eşdeğer lineer malzeme modelini kullanan Quake/W yazılımı kullanılmıştır. Sismik anakayanın üstünde yer alan malzemenin bölgedeki zemin tabakasının büyük bölümünü temsil eden orta plastisiteli kil ($CI, PI=\% 20-25$) olduğu varsayılmış ve sönüm oranı ile kayma modülünün tekrarlı kayma şekil değiştirmesine bağlı değişimi Ishibashi-Zhang (1993) bağıntısı kullanılarak modellenmiştir.



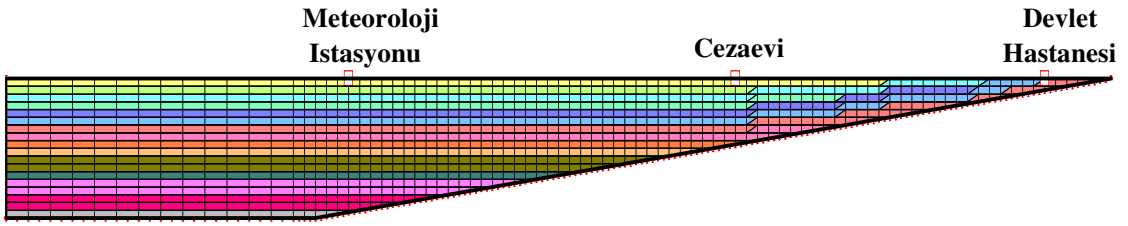
Şekil 6.35 : DSİ istasyonu, Cezaevi ve Devlet Hastanesi'nin Dinar'da plandaki konumları.



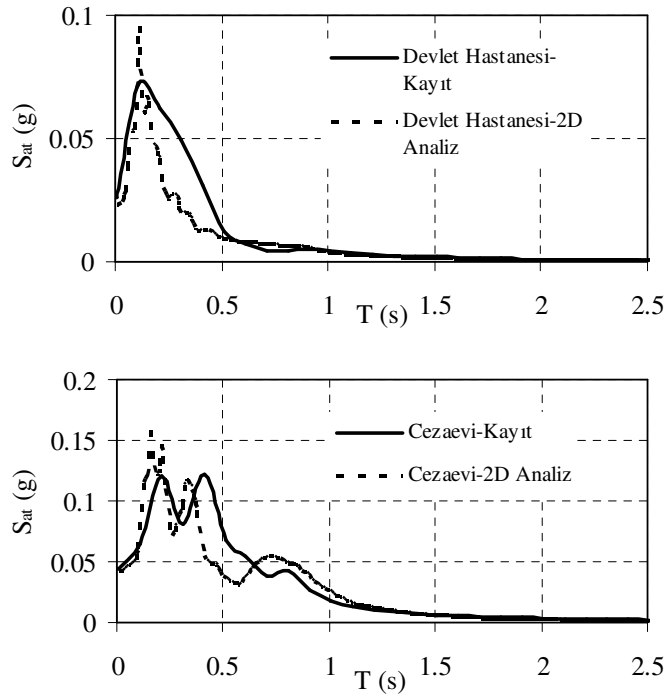
Şekil 6.36 : Artçı şok sırasında DSİ Suçikan İstasyonu'nda D-B doğrultusunda ölçülen ivme kaydı ve buna ait mutlak ivme spektrumu.

İki boyutlu dinamik analizlerde, modelin tabanında bulunan yatay sınırın; düşey ve yatay doğrultuda mesnetli olması halinde özgül direnç oranlarındaki ani değişim sebebiyle zemin yüzeyi için hesaplanan büyütme değerlerinden çok

farklılaşabilmektedir. Bu nedenle iki boyutlu dinamik analizlerde genellikle düşey ve yatay sönümleyiciler kullanılmaktadır. Bununla birlikte artçı şokta anakaya ivmesinin en büyük değerinin yaklaşık 0.01 g olduğu göz önüne alınırsa, zemin tabakalarının lineer davranacağı dolayısıyla modeldeki kutu etkisini azaltacak düşey ve yatay sönümleyicilere gerek olmayacağı düşünülebilir. Bu nedenle iki boyutlu modelde 1000 m/s kayma dalgası hızına sahip anakaya sınırı yatay ve düşey mesnetlerle tutturulmuş ve bu noktalarda yerdeğiştirmenin meydana gelmediği kabul edilmiştir (şekil 6.37).



şekil 6.37 : Artçı şok analizlerinde kullanılan iki boyutlu geometri.



şekil 6.38 : 11 Ekim 1995 artçı şok kaydına ait hesaplanmış ivme spektrumlarıyla iki boyutlu analiz sonucunda elde edilenlerin karşılaştırılması.

Üstte gösterildiği gibi Dinar'daki ova kesiti üzerinde Dinar Devlet Hastanesi'nin ve Dinar Cezaevi'nin konumları izdüşüm alınarak yerleştirilmiştir. şekil 6.38'de, Cezaevi ve Devlet Hastanesi'nde artçı şok sırasında kaydedilen ivme zaman geçmişlerine ait mutlak ivme spektrumları ve iki boyutlu model kullanılarak yapılan

dinamik analiz sonucunda bu konumlara karşı gelen düğüm noktaları için hesaplanan mutlak ivme spektrumları karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırma sonucunda, anakaya sınırlarının her iki doğrultuda mesnetlerle tutulmasının artçı şoktaki yer hareketinin şiddet seviyesi için uygun ve yeterli olduğu görülmüştür.

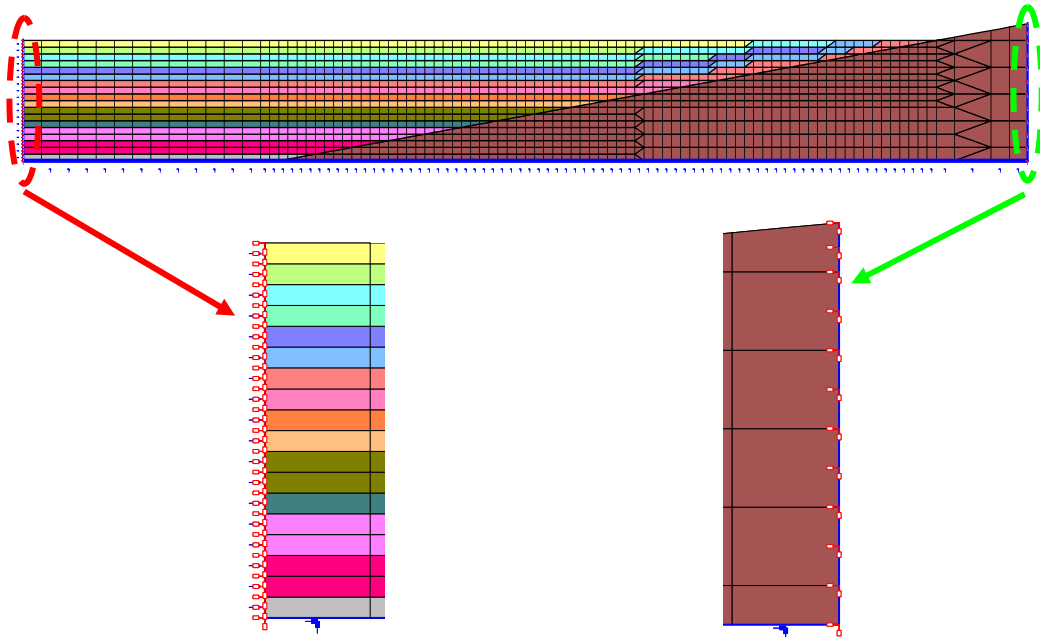
6.6.2 Ana şok (1 Ekim 1995)

1 Ekim 1995 Dinar depreminde Meteoroloji İstasyonu'nda alınan kuvvetli yer hareketi kaydı bir boyutlu dinamik analiz yöntemi kullanılarak daha önce açıklandığı gibi geri dönüşümle anakayaya ($V_s=1000$ m/s) taşınmış ve D-B ile N-S doğrultularındaki anakaya ivme kayıtları elde edilmiştir. Dinar ovasını temsilen alınan iki boyutlu düzlem şekil değiştirme kesiti yaklaşık D-B doğrultusunda olduğu için, mühendislik anakaya ivme bileşenlerinin de D-B yönünde olanı dinamik analizlerde kullanılmıştır. Yapılan dinamik analizler yardımıyla; ivme-zaman geçmişlerinin, mutlak ivme spektrumlarının ve hesaplanan şiddet parametrelerinin ova yüzeyindeki değişimi ve hasarla olan ilişkisi belirlenmeye çalışılmıştır. İki boyutlu analiz; ana şok hipotetik D-B anakaya ivme bileşeninin, daha önce Şekil 6.22'de geometrisi ve Şekil 6.23'te kayma dalgası hızı profili verilen model üzerinde uygulanmasıyla yapılmıştır. Sismik anakayanın üstündeki malzemenin bölgedeki zemin tabakasının büyük bölümünü temsil eden orta plastisiteli kil (CI, PI=% 20-25) olduğu varsayılmış ve sönüm oranı ile kayma modülünün tekrarlı kayma şekil değiştirmesine bağlı değişimi Ishibashi-Zhang (1993) bağıntısı kullanılarak modellenmiştir.

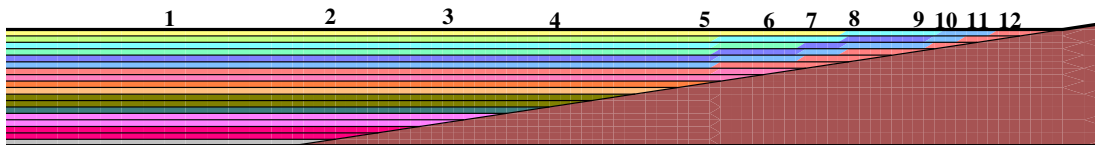
İki boyutlu modellerin dinamik analizinde özellikle düşey ve yatay sınır şartları önem kazanmaktadır. Deprem dalgasının sınırlarda yansıtılması anlamına gelen “kutu etkisi”, daha fazla elemanı modele katarak her iki düşey sınırın analizde ilgilenilen bölgeden uzaklaştırılmasıyla azaltılabilir, bununla birlikte modelin analiz süresi ve sonuç dosyasının veri büyüklüğü çok artacaktır. İkinci bir seçenek olarak düşey sınırlara hem basınç hem de kayma dalgalarının enerjisini emecek sönümleyiciler konulmasıdır (Lysmer ve Kuhlemeyer, 1969; OpenSees). İki boyutlu dinamik analizlerde, düşey sınır şartlarının yanında modelin tabanında yer alan yatay sınırın mesnet koşulları da önem kazanmaktadır. Modelin tabanında bulunan yatay sınırın düşey ve yatay doğrultuda mesnetli olması halinde, özellikle zemin tabakalarının lineer olmayan davranışının hakim olduğu kuvvetli yer hareketinin kullanıldığı analizlerde zemin büyütmeleri olması gerekenden çok daha yüksek

değerlere çıkabilmekte ve yüzeyde hesaplanan ivme zaman geçmişlerinin etkin süreleri artabilmektedir. Bu nedenle modelin tabanındaki yatay sınırın da her iki doğrultuda (düşey ve yatay) yerleştirilen sönümleyiciler yardımıyla modellenmesi gerekmektedir. Bu sönümleyiciler, sırasıyla ilgili tabakanın basınç ve kayma dalgası hızlarıyla orantılıdır. Tabandaki sönüm katsayılarının hesaplanmasında rijit anakaya kabulüyle $V_s=1500$ m/s alınmıştır (Cyclic1D). İki boyutlu dinamik analizlerde kullanılan düşey ve yatay sınır şartları ile sonlu eleman ağı Şekil 6.39'da gösterilmiştir.

Modelin hem anakaya hem de ova kısımlarındaki düğüm noktalarında düşey ve yatay sönümleyiciler kullanılmış ve bunlara ek olarak yatayda sonsuza uzanan tabakaların sönüm kuvvetlerinin etkisi de katılmıştır. Bu kuvvetler, sonsuza uzanan zemin tabakalarının tek boyutlu dinamik analiziyle elde edilen tabaka parçacık hızlarının $\{\dot{u}_f\}$ yatay doğrultudaki sönüm katsayısıyla çarpılmasıyla hesaplanmış ve deprem süresince etkiyen zamana bağlı sınır gerilmesi olarak modele Şekil 6.39'dan da görülebileceği gibi her iki düşey sınırdaki da uygulanmıştır.

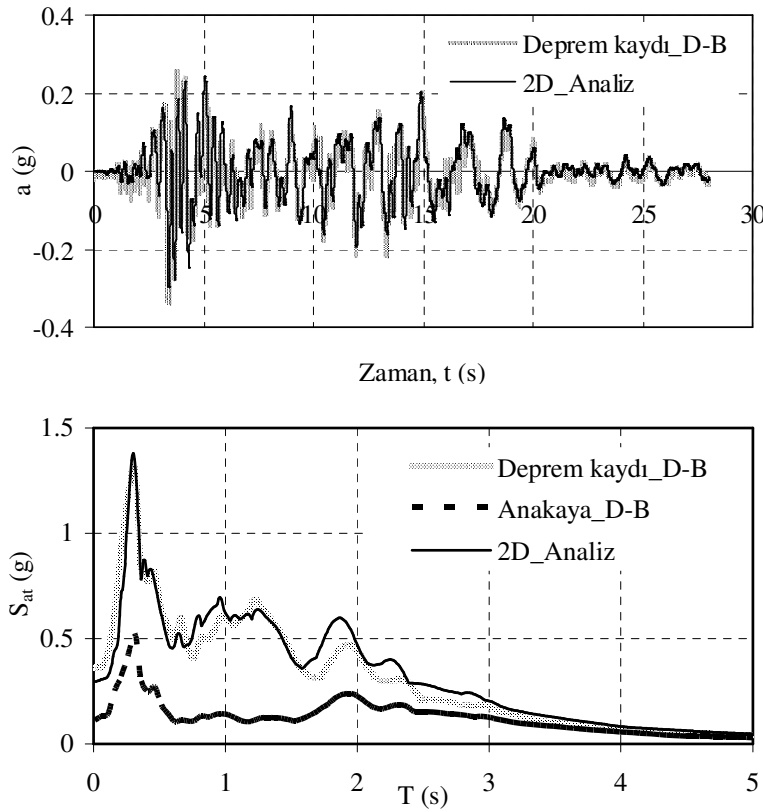


Şekil 6.39 : 2D dinamik analizlerde kullanılan sonlu eleman ağı ile sınır şartları.



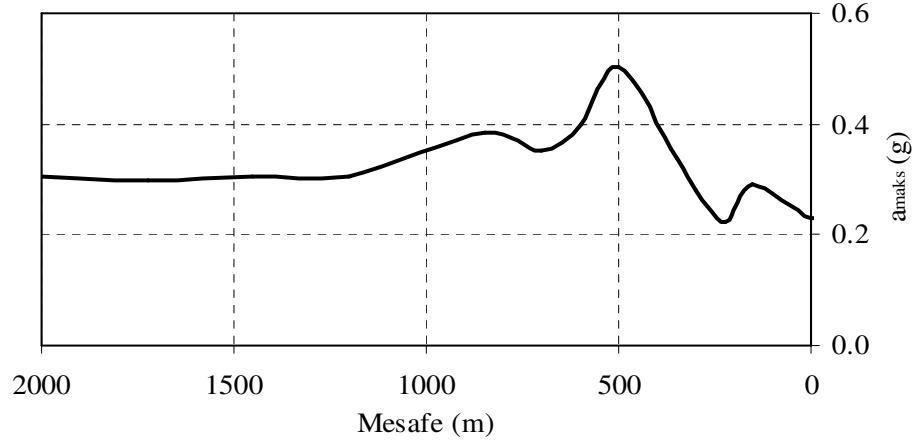
Şekil 6.40 : Dinamik analizde ivme zaman geçmişlerinin elde edildiği düğüm noktaları.

Dinar Ovası'nın yüzeyindeki farklı bölgelerde 1 Ekim 1995 Dinar Depremi sırasında oluşan hareketin belirlenebilmesi için, oluşturulan iki boyutlu modelin Şekil 6.40'ta gösterilen 12 farklı düğüm noktasında ivme zaman geçmişleri elde edilmiştir. Dinar Depremi sırasında kuvvetli yer hareketi kaydının alındığı Meteoroloji İstasyonu'nun bulunduğu kısımdaki ivme zaman geçmişi, iki boyutlu modele daha önce aynı nokta için 1D geri dönüşümle hesaplanan hipotetik anakaya deprem kaydının etkilmesiyle elde edilmiştir. İki boyutlu analizle hesaplanmış ivme zaman geçmişinin yine D-B doğrultusunda deprem sırasında Meteoroloji İstasyonu'nda ölçülen ivme kaydıyla karşılaştırılması ve bunlara ait mutlak ivme spektrumları Şekil 6.41'de gösterilmiştir. Meteoroloji İstasyonu'nda ölçülen kayıt 1D analizle geri dönüşüm yapılarak anakayaya taşınmış, daha sonra iki boyutlu analizle ova yüzeyine çıkarılmıştır. Buna rağmen hesaplanan ivme zaman geçmişi ve mutlak ivme spektrumu, gerçek kayıt ve buna ait ivme spektrumuyla büyük benzerlik göstermektedir. Buradan; iki boyutlu modelin gerçekçi olduğu ve Meteoroloji İstasyonu'nun konumunun modelde belirtildiği gibi kenardaki anakayanın etkisine fazla maruz kalmayan bir bölgede olduğu ortaya çıkmaktadır.

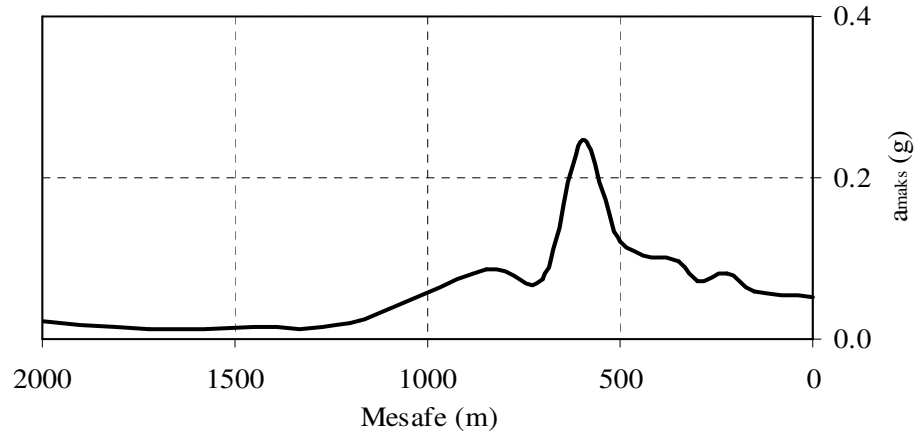


Şekil 6.41 : Ana şok sırasında Meteoroloji İstasyonu'nda ölçülen kayıtlara ait ivme zaman geçmişi ve mutlak ivme spektrumunun 2D analiz sonucu bulunanlarla karşılaştırılması.

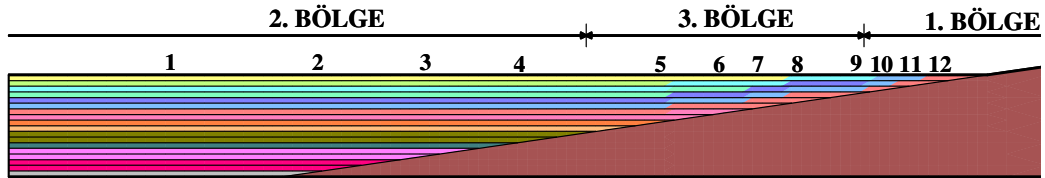
Dinar Ovası'nı temsil eden iki boyutlu modelde yüzeyde hesaplanan yatay doğrultudaki (D-B) ivme zaman geçmişlerinin maksimum değerlerinin anakaya mostrasından ova ortasına doğru değişimi mesafeye bağlı olarak Şekil 6.42'de verilmiştir. Buradan da görülebileceği gibi maksimum yatay ivme değerlerinde Dinar Ovası'nın kenarındaki belli bir bölgede artış görülmektedir.



Şekil 6.42 : Modelde hesaplanan yatay ivme zaman geçmişlerinin (D-B) maksimum değerlerinin anakaya mostrasından ova ortasına doğru değişimi.



Şekil 6.43 : Modelde hesaplanan düşey ivme zaman geçmişlerinin (V) maksimum değerlerinin anakaya mostrasından ova ortasına doğru değişimi.

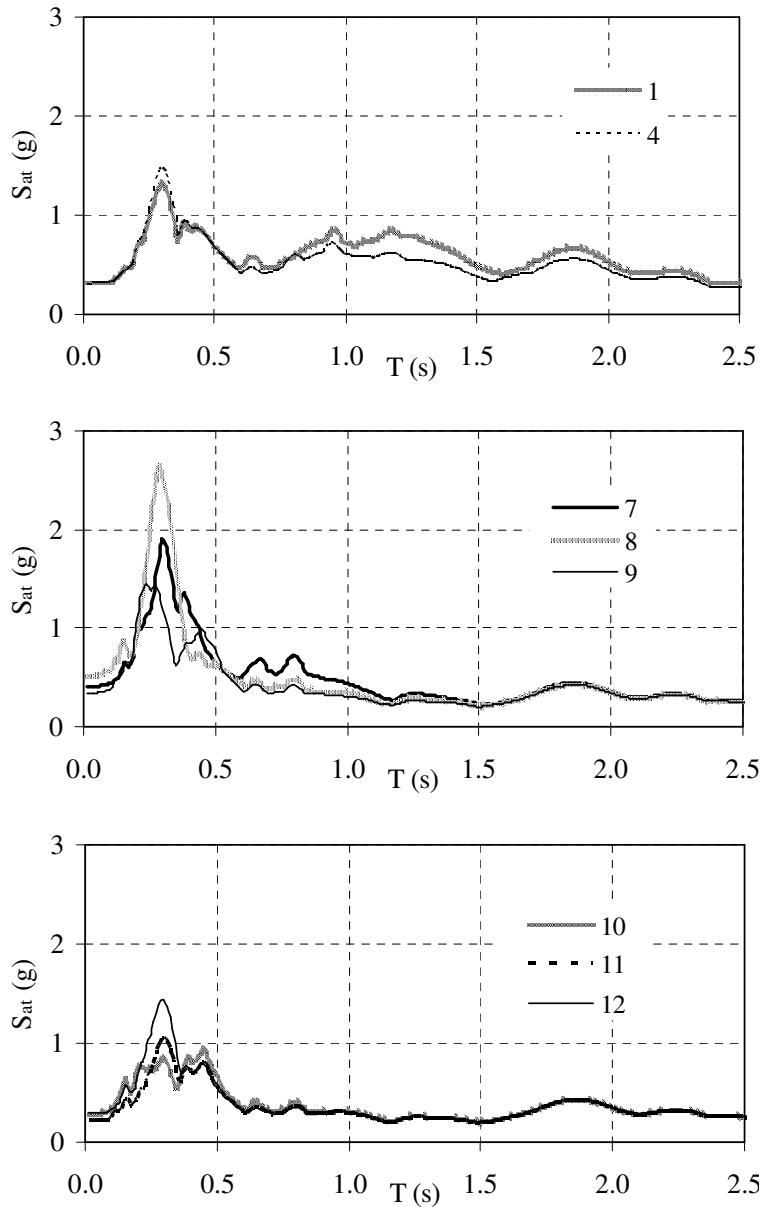


Şekil 6.44 : Dinar Ovası'nın iki boyutlu modelinin ivme spektrumu karakteristiklerine göre bölgelere ayrılması.

Ayrıca ovanın kenardaki kısmında dalga dönüşümleri oluşacak, cisim dalgaları yüzey dalgalarına dönüştüğü gibi, yatay doğrultudaki dalgaların anakaya yüzeyine

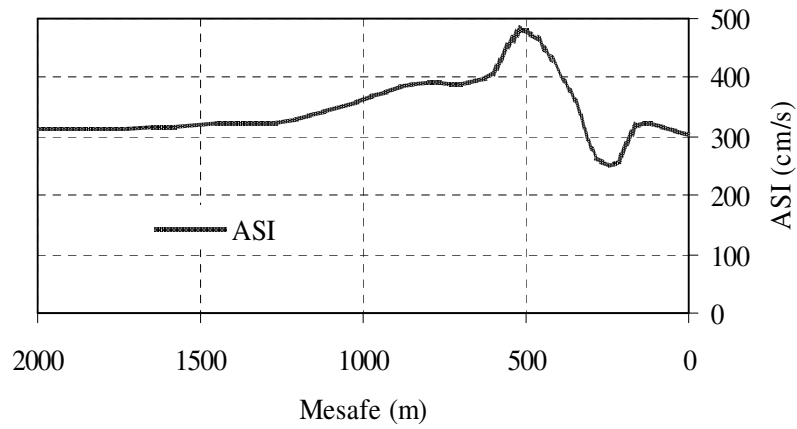
çarpması nedeniyle kenardaki bölgelerde ek düşey hareket meydana gelecektir. Yüzeydeki düşey ivme değerlerine sadece yatay hareketin etkisini belirleyebilmek için, düşey ivme zaman geçmişlerinin maksimum değerlerinin ova kenarından itibaren mesafeye bağlı değişimi Şekil 6.43'te gösterilmiştir. Buradan anlaşılabileceği gibi ova kenarlarında, yatay ivmelerin dışında düşey ivme değerleri de etkili olmaktadır.

D-B doğrultusunda hesaplanan yatay mutlak ivme spektrumları incelendiğinde ova yüzeyinin, ivme spektrumu karakteristikleri birbirinden farklı üç ayrı bölgeye ayrılabilir (Şekil 6.44). Üç farklı bölge için hesaplanan mutlak ivme spektrumları Şekil 6.45'te verilmiştir.



Şekil 6.45 : Üç farklı bölge için hesaplanan mutlak ivme spektrumları.

Dinar'daki yapı stoğunun 1-6 kat arasında değiştiği ve binaların büyük bir kısmının 5 kattan az olduğu göz önüne alınırsa, Dinar'daki yapı stoğunun hasar derecesiyle bağlantı kurulabilecek en uygun parametrelerden birinin, ivme spektrumu şiddeti (ASI) olduğu söylenebilir. İvme spektrumu şiddeti, ivme spektrumunun 0.1 ile 0.5 saniye periyotlar arasında integre edilmesiyle hesaplanmaktadır. ASI parametresinin ova yüzeyinde anakaya mostra sınırından ova ortasına doğru olan değişimi uzaklığa bağlı olarak Şekil 6.46'da gösterilmiştir. Buradan da görülebileceği gibi, ova kenarındaki eğimli anakayanın yüzeydeki izdüşümünde belli bir bölgede (3. bölge) ASI değerleri yükselmektedir.

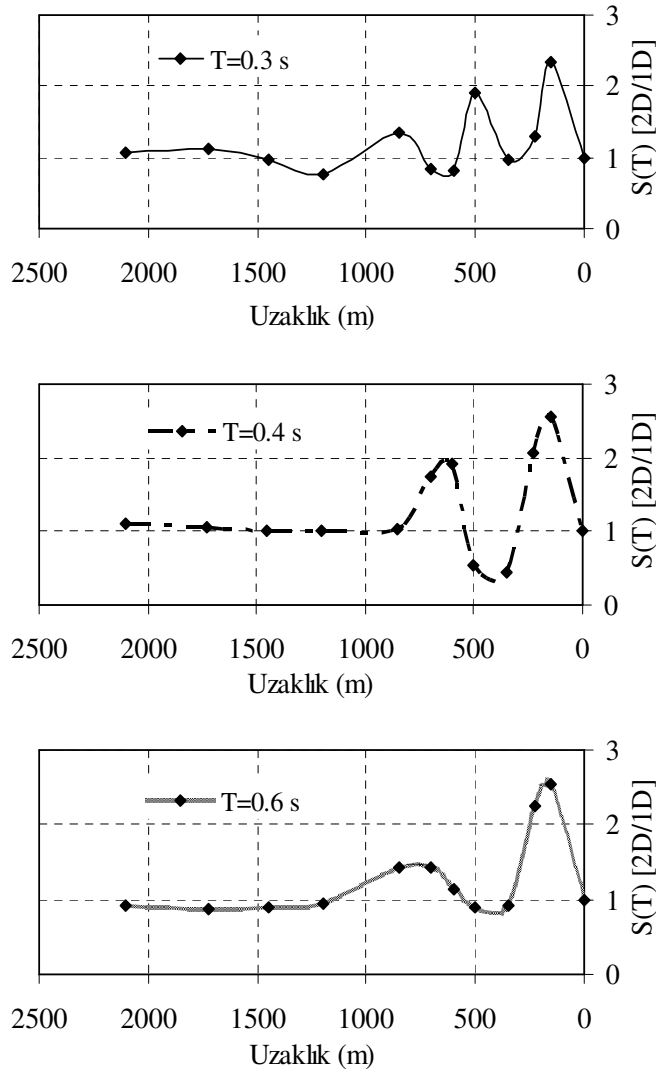


Şekil 6.46 : ASI değerinin iki boyutlu model yüzeyinde kenardan uzaklığa bağlı değişimi.

6.6.3 Bir ve iki boyutlu dinamik analiz sonuçlarının karşılaştırılması

1 Ekim 1995 Dinar Depremi sırasında ovada farklı kısımlarda meydana gelen hareketin elde edilmeye çalışılmasında iki boyutlu analiz yöntemi kullanılmış ve daha sonra uygulanabilirliği açısından tercih sebebi olan 1D analizler aynı bölgeler için yapılarak hesaplanan sonuçlar karşılaştırılmıştır. Bir boyutlu analizlerde zemin tabakalarının altındaki yarı uzay tabakasının başladığı kısım olarak iki boyutlu modellerde verilen anakaya sınırı kullanılmıştır. Analizlerin yapılmasında Dyne-q programı kullanılmıştır. Ova yüzeyinin farklı noktaları için iki boyutlu analizle elde edilen ivme zaman geçmişlerinden mutlak ivme ve normalleştirilmiş ivme spektrumları hesaplanmıştır. Bu noktalar için mutlak ivme spektrumları, 1D analizle elde edilen yüzey ivme zaman geçmişleri kullanılmak suretiyle de hesaplanmıştır. Farklı kat sayısına, rijitliğe ve taşıyıcı sisteme sahip yapıların deprem hareketi karşısındaki davranışına olan etkisi açısından 1D ve 2D analizle hesaplanan mutlak ivme spektrumlarının ova yüzeyindeki değişimi üç farklı periyot değeri için

anlaşılmaya çalışılmıştır. Bu değerler; Dinar'daki farklı rijitlikteki yapıların hakim periyotlarını temsil etmek için, $T=0.3$ s, 0.4 s ve 0.6 s olarak seçilmiştir.

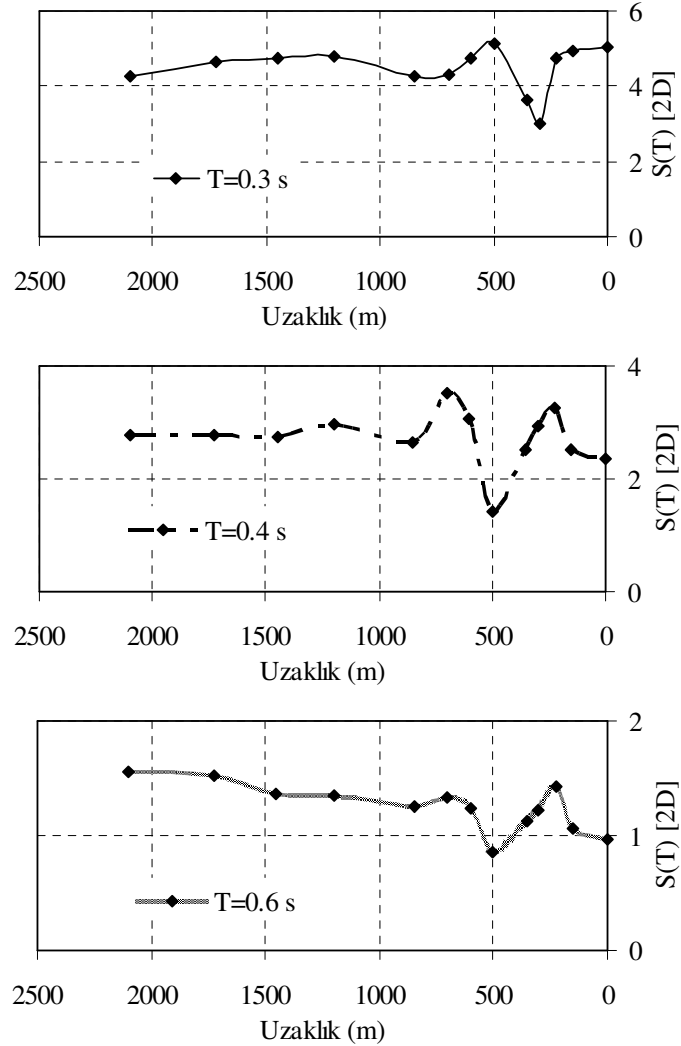


Şekil 6.47 : Dinamik analiz sonucunda model için hesaplanan 2D/1D spektral ivme oranları.

Vadi yüzeyinde 2D ve 1D analizlerle hesaplanan ivme spektrumları birbirlerine oranlanarak 2D/1D spektral ivme oranları bulunmaya çalışılmıştır. Bu oranlar sırasıyla $T=0.3$ s, $T=0.4$ s ve $T=0.6$ s için Şekil 6.47'de gösterilmiştir. Ayrıca hesaplanan mutlak ivme spektrumları kullanılarak spektrum katsayıları $S(T)$ bulunmuş ve vadi yüzeyindeki değişimleri ova kenarından uzaklığa bağlı olarak gösterilmiştir. Spektrum katsayısının yüzeydeki değişimi sırasıyla $T=0.3$ s, $T=0.4$ s ve $T=0.6$ s için Şekil 6.48'de verilmiştir.

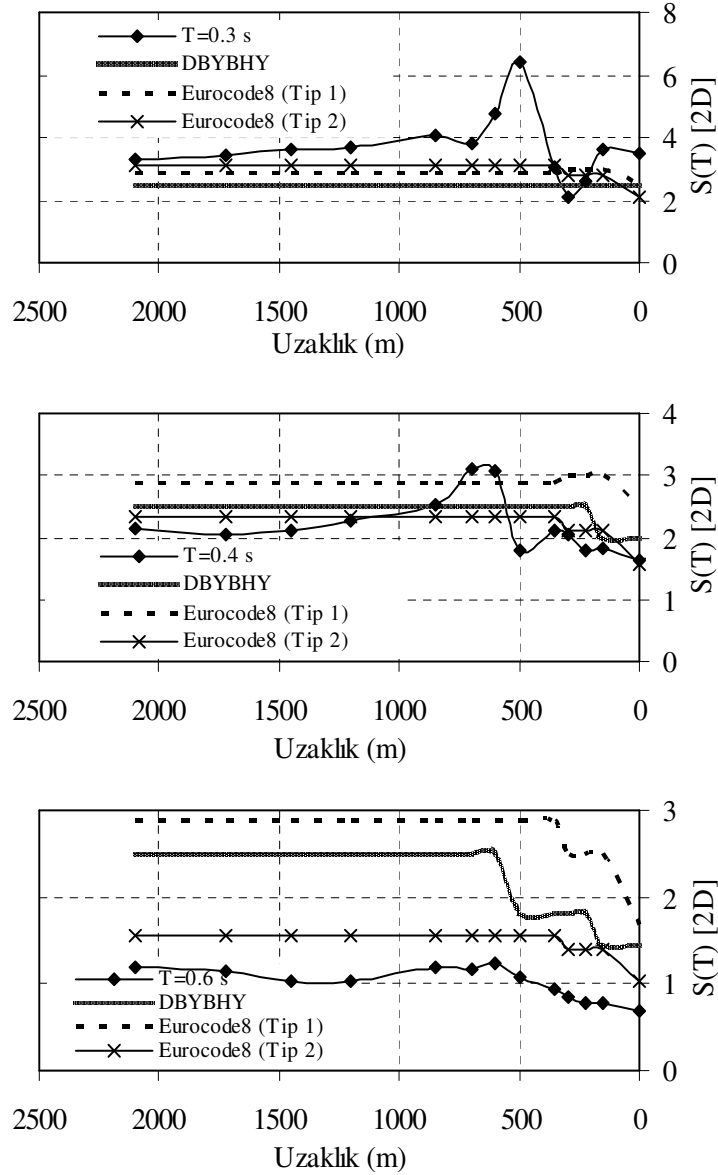
Ayrıca yüzeyde farklı noktalarda hesaplanan mutlak ivme spektrumları kullanılarak efektif spektrum katsayıları ($S(T)$) elde edilmiş ve bunların yüzeydeki değişimleri,

ova kenarındaki anakaya mostrasından itibaren ova ortasına doğru uzaklığa bağlı olarak hem “DBYBHY”teki tasarım spektrumuyla hem de Eurocode 8’de büyük ve orta büyüklükteki depremler için verilen 1 ve 2 No’lu tasarım spektrumlarıyla karşılaştırılmıştır.



Şekil 6.48 : İki boyutlu dinamik analiz sonucunda model için hesaplanan spektrum katsayıları.

Analizler sonucunda hesaplanan efektif spektrum katsayıları ile farklı yönetmeliklere göre elde edilen tasarım spektrumu katsayılarının ova kenarındaki anakaya mostrasından itibaren ova ortasına doğru uzaklığa bağlı değişimleri sırasıyla $T=0.3$ s, $T=0.4$ s ve $T=0.6$ s için Şekil 6.49’da verilmiştir. Farklı periyotlar için ova yüzeyindeki spektrum katsayıları hesaplanırken, deprem giriş hareketinin anakaya mostrasındaki en büyük değerine göre normalleştirme yapılmıştır. Efektif spektrum katsayısı; % 5 sönümlü normalleştirilmiş elastik mutlak ivme spektrumu değerlerinin % 65’i alınarak elde edilmektedir (Pitilakis, 2004).



Şekil 6.49 : İki boyutlu dinamik analiz sonucunda model için hesaplanan normleştirilmiş spektrum katsayılarının farklı yönetmeliklerde verilen tasarım spektrumu katsayılarıyla karşılaştırılması.

6.6.4 Sonuçlar

Tez çalışmasının bu bölümünde; iki boyutlu analizle bir boyutlu analizin farklılığını görebilmek ve iki boyutlu geometrinin hasar dağılımı üzerindeki etkisini araştırabilmek için, büyük hasara yol açmış olan 1 Ekim 1995 depreminin yatay yönde sınırlı ve eğimli anakaya sınırına sahip Dinar'ın farklı bölgelerinde oluşturduğu dinamik tepkinin geometriye bağlı değişimi elde edilmeye çalışılmıştır.

İki boyutlu analizlerde anakaya geometrisi, zemin tabakalaşması ve sınır şartları önem kazanmaktadır. Dinar ovasındaki anakayanın ovanın ortasına doğru dalım açısı dikkate alındığında, Dinar'daki hasar dağılımını etkileyebilecek en önemli potansiyel

faktörlerden birinin de ova kenarındaki anakaya eğimi olduğu hipotezi ortaya atılabilmekte, dolayısıyla Dinar ovasındaki zemin tabakalarının iki boyutlu dinamik davranışını modelleme ihtiyacı ortaya çıkmaktadır.

1 Ekim 1995 Dinar Depremi Meteoroloji İstasyonu D-B yüzey kaydı anakayaya bir boyutlu geri dönüşümle taşınmış, bölgede düzenlenen farklı arazi deneylerinin birlikte değerlendirilmesi neticesinde oluşturulan iki boyutlu Dinar Ovası modeli üzerinde yapılan bir ve iki boyutlu dinamik analizlerde bu kayıt kullanılmıştır. Ova yüzeyindeki ivme zaman geçmişleri, mutlak ivme spektrumları ve şiddet parametreleri elde edilmiş, ayrıca yüzeyde elde edilen bu değerlerin ova kenarındaki anakaya mostrası sınırından olan uzaklığa bağlı değişimleri incelenmiştir.

Yapılan 1 ve 2 boyutlu analiz sonuçlarının birlikte değerlendirilebilmesi, karşılaştırılabilmesi ve iki analiz yöntemi arasındaki farkın belirlenebilmesi amacıyla iki boyutlu analizde ovanın farklı noktaları için hesaplanan ivme spektrumları, bir boyutlu analizde elde edilen ivme spektrumlarına oranlanarak 2D/1D spektral ivme oranları bulunmaya çalışılmıştır. Bunların değişimi ovanın kenarından olan uzaklığa bağlı olarak sırasıyla $T=0.3$ s, $T=0.4$ s ve $T=0.6$ s için incelenmiştir. Ayrıca yapılan 2 boyutlu dinamik analizler sonucunda modelin yüzeyindeki farklı noktalar için spektrum katsayıları elde edilmiştir. Anakaya mostrasındaki en büyük mutlak ivme değerine göre normalleştirilen ivme spektrumlarında $T=0.3$ s, 0.4 s ve 0.6 s için hesaplanan efektif spektrum katsayılarının ova kenarından uzaklığa bağlı değişimleri “DBYBHY” ile Eurocode 8’de verilen tasarım spektrumu değerleriyle karşılaştırılmış ve böylece yöntemler arasındaki uyumluluğun değerlendirilmesi de yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda kısaca özetlenmiştir:

- 1 Ekim 1995 Dinar depremi sonrasında hasar, Dinar ovasında anakayanın yüzey mostrasına yakın alüvyon kısmında yani ova kenarında yoğunlaşmıştır. Vadi ve ova gibi oluşumlarda zemin tabakalarının yatay doğrultuda sınırlı genişliğe sahip olması kenarlarda dalga dönüşümlerine sebep olmakta, hareketin frekans içeriği ve yüzeydeki etkisi ova veya vadilerin kenarlarından ortasına doğru değişebilmektedir. Bu etkiler göz önüne alındığında; bir boyutlu analizlerde, sismik dalgaların geliş açısında gömülü anakaya topoğrafyası nedeniyle oluşan kırılma ve yansımaların hesaba alınmadığı ortaya çıkmaktadır. Dinar ovasındaki anakayanın ovanın ortasına doğru dalım açısı dikkate alındığında, Dinar’daki hasar dağılımını etkileyebilecek en

önemli potansiyel faktörlerden birinin de ova kenarındaki anakaya eğimi olduğu hipotezi ortaya atılabilir.

- Dinar ovasındaki zemin tabakalarının ve anakaya dalımının iki boyutlu geometrisinin belirlenmesinde kullanılan eş zamanlı mikrotremor ölçüm (mikrotremor array) deneyleri bölgede yapılan diğer arazi deneyleriyle uyumlu sonuçlar vermiştir ve özellikle derin alüvyonlardaki anakaya derinliği ve kayma dalgası hızı profilinin saptanmasında kullanılabileceği anlaşılmaktadır.
- Dinar Meteoroloji İstasyonu'ndaki yüzey kaydının bir boyutlu geri dönüşümle anakayaya taşınmasında ve ovanın farklı noktalarındaki tek boyutlu dinamik davranışın bulunmasında geliştirilmiş eşdeğer lineer yöntem kullanılmış ve bunun için Dyne-q yazılımından faydalanılmıştır. Bu yöntem kullanılarak, dalga saçılımından kaynaklanan sönümün etkisi frekansa bağlı olarak analize katılabilmekte, efektif şekil değiştirme katsayısı frekansa bağlı olarak tanımlanabilmektedir. Böylece Shake yazılımının kullanılması halinde özellikle geri dönüşümde efektif kayma şekil değiştirmesi katsayısının seçimiyle ilgili problem ve belirsizliklerin giderilmesine çalışılmıştır. Meteoroloji İstasyonu'nda ölçülen kayıt 1D analizle geri dönüşüm yapılarak anakayaya taşınmış, daha sonra iki boyutlu analizle ova yüzeyine çıkarılmıştır. Buna rağmen hesaplanan ivme zaman geçmişi ve mutlak ivme spektrumu, gerçek kayıt ve buna ait ivme spektrumuyla büyük benzerlik göstermektedir. Buradan; seçilen geri dönüşüm yönteminin, kullanılan iki boyutlu modelin gerçekçi olduğu ve Meteoroloji İstasyonu'nun konumunun modelde belirtildiği gibi kenardaki anakayanın etkisine fazla maruz kalmayan bir bölgede olduğu ortaya çıkmaktadır.
- Seçilen iki boyutlu geometrinin sınır şartlarının ve zemin tabakalarının dinamik özelliklerinin uygunluğunun araştırılması için Dinar Ovası'nın iki boyutlu dinamik analizi hem 1 Ekim 1995 kuvvetli yer hareketi hem de 11 Ekim 1995 artçı şoku ($M_L=4.1$) için ayrı ayrı yapılmıştır. Artçı şokta meydana gelen anakaya ivmesinin en büyük değerinin yaklaşık 0.01 g olduğu göz önüne alınıp, zemin tabakalarının lineer davranacağı dolayısıyla modeldeki kutu etkisini azaltacak düşey ve yatay sönümleyicilere gerek olmadığı düşünülmüştür. Bu nedenle iki boyutlu modelde 1000 m/s kayma

dalgası hızına sahip anakaya sınırı yatay ve düşey mesnetlerle tutturulmuş ve bu noktalarda yerdeğiştirmenin meydana gelmediği kabul edilmiştir. Dinar Devlet Hastanesi ve Cezaevi bölgeleri için elde edilen mutlak ivme spektrumlarının, artçı şok sırasında kaydedilmiş ivme zaman geğmişlerinden hesaplananlarla uyumlu olduğu görölmektedir. Elde edilen ivme spektrumlarıyla ile hesaplananlar arasındaki farkların, küçük depremlerde zeminin elastik davranışı nedeniyle büyütme değerleri arasında oluşan sapmalar göz önüne alındığında makul olduğu düşünölmektedir.

- Ana şokta ovanın üzerindeki farklı bölgelerde meydana gelen hareketin karakteristiklerini belirlemek için yapılan iki boyutlu dinamik analizde ise, modelin hem anakaya hem de ova kısımlarındaki düğüm noktalarında düşey ve yatay sönümleyiciler kullanılmış ve bunlara ek olarak yatayda sonsuza uzanan tabakaların sönüm kuvvetlerinin etkisi de katılmıştır. Dinar Meteoroloji İstasyonu için elde edilen mutlak ivme spektrumunun, ana şok sırasında kaydedilmiş ivme zaman geğmişinden hesaplananla oldukça uyumlu olduğu görölmektedir.
- Dinar Ovası'nı temsil eden iki boyutlu modelde yüzeyde hesaplanan yatay doğrultudaki (D-B) ve düşey ivme zaman geğmişlerinin maksimum değerlerinin anakaya mostrasından ova ortasına doğru olan değişimi mesafeye bağlı olarak incelenmiştir. Buradan da görölebileceği gibi maksimum yatay ivme değerlerinde Dinar Ovası'nın kenarındaki belli bir bölgede artış görölmektedir. Ayrıca ovanın kenardaki kısmında dalga dönüşümlerinin oluşması ve yatay doğrultudaki dalgaların anakaya sınırına çarpmasının kenardaki bölgelerde ek düşey hareket meydana getirmesi nedeniyle, ova kenarında sadece yatay hareketin etkisine bağlı düşey ivme değerlerinin de etkili olduğu görölmektedir.
- Dinar'da yapılar 1 ile 7 kat arasında değişmekte olup; % 51'i bir kat, % 36'sı iki kat, % 9'u üç kat, % 3'ü dört kat ve % 1'i beş katlıdır. Bu bilgilere göre, Dinar'daki yapıların doğal periyodunun 0.1 s ile 0.6 s arasında değiştiği söylenebilir. Bununla birlikte baskın yapı periyodu 0.1-0.3 s aralığındadır. Dolayısıyla Dinar'daki yapı stoğunun hasar derecesiyle bağlantı kurulabilecek en uygun parametrelerden birisinin ivme spektrumu şiddeti (ASI) olduğu söylenebilir. İvme spektrumu şiddeti, kuvvetli yer hareketinin

rijit yapılara etkisini göstermek açısından etkilidir. Yapılan iki boyutlu analizlerin değerlendirilmesi neticesinde ova kenarındaki eğimli anakayanın yüzeydeki izdüşümünde belli bir bölgede (3. bölge) ASI değerlerinin yükseldiği ve % 30-50 oranında arttığı gözlenmiştir.

- Mühendislik bakış açısı yönünden Dinar Depremi'nin en olağandışı tarafının Dinar'daki hasarın kısmi dağılımı olduğu söylenebilir. Yapıların gördüğü hasar göz önüne alınırsa, Dinar üç ayrı hasar bölgesine ayrılabilir. Ağır hasar görmüş veya yıkılmış binaların büyük bir kısmı kasaba merkezindeki alüvyonun üzerinde (3. bölge) yer almaktadır. Şehrin doğusundaki yamacın başlangıcıyla, batısındaki demiryolu arasında kalan bu bölgede yaklaşık 200 yıkılma olayının % 90'ı meydana gelmiştir. İkinci bölgedeki yapılarda, alüvyon üstünde olmalarına rağmen hasar oranlarında dikkat çekici azalma meydana gelmiştir. Diğer yönden, Dinar'ın doğusunda yer alan yamaçtaki anakaya mostranın üstündeki yapılardaki hasarın sınırlı olduğu görülmektedir. Bina sayısının etkisinden bağımsız olarak hesaplanan hasar oranlarına bakıldığında da 3. bölgedeki yani anakaya mostra sınırı ile demiryolu hattı arasında kalan kısımdaki hasar oranının, diğer bölgelere göre yüksek olduğu görülmektedir. D-B doğrultusundaki ivme zaman geçmişlerinin en büyük değerlerinin ovanın kenarından uzaklığa bağlı değişimi incelendiğinde, hasar oranının en yüksek olduğu 3. bölgede maksimum ivmelerin ovanın diğer bölgelerine oranla yaklaşık % 30-40 oranında arttığı ve değerlerin 0.5 g'ye ulaştığı görülmektedir. Ayrıca 3. bölgede sadece yatay harekete bağlı dalga dönüşümleri sebebiyle oluşan düşey ivme değerleri ortalama 0.1 g olmakla birlikte 0.25 g'ye ulaşmaktadır.
- 2D/1D spektral ivme oranlarının ovanın kenarından olan uzaklığa bağlı değişimi farklı kat sayısına, rijitliğe ve taşıyıcı sisteme sahip yapıların deprem karşısındaki davranışına olan etkisi açısından sırasıyla $T=0.3$ s, $T=0.4$ s ve $T=0.6$ s için incelenmiştir. 2D/1D spektral ivme oranları, eğimli anakayanın ovanın ortasına doğru dalımının son bulduğu noktanın yüzeydeki izdüşümü (Meteoroloji istasyonu civarı) ile anakaya mostra sınırı arasındaki mesafenin anakaya mostrası tarafındaki 2/3'lük kısmında (3. ve 1. bölge) etkili olmakta, ova tarafındaki 1/3'lük kısım ve ova ortasında yaklaşık 1 değerini almaktadır. Ayrıca 1. ve 3. bölgelerdeki 2D/1D spektral ivme oranları özellikle frekans

değerleri yükseldikçe daha kısa mesafelerde birbirinden farklılaşmaktadır. Ova kenarındaki 2D/1D spektral ivme oranları her üç periyot değeri için genellikle 1'den büyük olup 2.5 değerine ulaşmakla birlikte, dar bir bölgede $T=0.4$ s periyot için 0.5 değerine de düşmüştür.

- İki boyutlu analiz sonucunda hesaplanan normalleştirilmiş spektrum katsayılarının $T=0.3$ s, 0.4 s ve 0.6 s için ova kenarından uzaklığa bağlı değişimleri “DBYBHY” ile Eurocode 8’de verilen tasarım spektrumu değerleriyle karşılaştırılmıştır. Frekans değeri yükseldikçe spektrum katsayısı değeri de artmış, $T=0.3$ s için spektrum katsayısı Dinar Ovası’nın genelinde ortalama 3.5 değerini almış ve özellikle 3. bölgede 6.5 değerine ulaşmıştır. Tasarım spektrumlarıyla iki boyutlu analiz sonucunda elde edilen değerler karşılaştırıldığında; $T=0.3$ s için “DBYBHY” ile Eurocode 8’de verilen tasarım spektrumu değerlerinin ovanın genelinde çok yetersiz kaldığı görülmektedir. $T=0.4$ s için Eurocode 8 Tip 1 tasarım spektrumu değerlerinin uygun olduğu, “DBYBHY” tasarım spektrumu değerlerinin ise 3. bölgenin bir kısmı dışında yeterli olduğu görülmektedir. $T=0.6$ s içinse her iki yönetmelikteki tasarım spektrumu değerleri de ovanın her bölgesi için yeterli bulunmuştur.

7. DÜZCE OVASI'NDA KENARDAKİ ANAKAYANIN DİNAMİK DAVRANIŞA ETKİSİ

Tez çalışmasının bu kısmında; 12 Kasım 1999 Düzce depreminin, yatay yönde sınırlı ve eğimli anakaya sınırına sahip Düzce Ovası'nın farklı bölgelerinde oluşturduğu dinamik tepkinin geometriye bağlı değişimi elde edilmeye ve ova kenarındaki eğimli anakaya üzerinde yer alan zemin tabakalarının deprem hareketi karşısındaki bir ve iki boyutlu davranışı arasındaki fark belirlenmeye çalışılmıştır.

Bu amaçla; başlangıçta Düzce'nin tektonik rejimini etkileyen Kuzey Anadolu Fay zone ve sismik etkinliğinden bahsedilmiş, Düzce civarındaki aktif faylar hakkında bilgi verilmiş, Düzce Ovası ve yakın civarının jeolojik yapısı ve sismotektonik özellikleri anlatılmıştır. Daha sonra 12 Kasım 1999 Düzce depremi anlatılarak kaynak ve genlik özellikleri gözden geçirilmiştir.

12 Kasım 1999 Düzce depremi sırasında Düzce Ovası'nın kenarındaki eğimli anakaya üzerinde meydana gelmiş olan deprem hareketinin ve karakteristiklerinin sayısal olarak elde edilebilmesi için Düzce Ovası modeli üzerinde iki boyutlu analizler düzenlenmiştir. Bilindiği gibi, iki boyutlu analizlerde; anakaya derinliğinin, geometrisinin ve zemin tabakalaşmasının belirlenmesi önem kazanmaktadır. Bu nedenle Düzce Ovası'nın farklı bölgelerindeki anakaya derinliğinin ve tabakalaşmanın bulunabilmesi için İyisan ve Yamanaka yönetiminde İTÜ ve TITECH'in (Tokyo Teknoloji Enstitüsü) ortaklaşa yürüttüğü geniş açıklıklı Mikrotremor Array ve tekil mikrotremor deneylerinin sonuçları, bölgede Düzce Belediyesi tarafından yaptırılmış olan sondajlar ve bunlardan elde edilen SPT verileriyle birlikte değerlendirilmiş, Düzce ovasının kenarının dinamik analizinde kullanılabilecek yaklaşık K-G doğrultusundaki iki boyutlu model oluşturulmuştur.

Daha sonra 12 Kasım 1999 Düzce Depremi Meteoroloji İstasyonu K-G yüzey kaydı anakaya bir boyutlu geri dönüşümle taşınmış, Düzce Ovası modeli üzerinde yapılan bir ve iki boyutlu dinamik analizlerde bu kayıt kullanılmıştır. Ova yüzeyindeki ivme zaman geçmişleri, mutlak ivme spektrumları ve şiddet

parametreleri elde edilmiş, ayrıca yüzeyde elde edilen bu değerlerin ova kenarındaki anakaya mostrası sınırından olan uzaklığa bağlı değişimleri incelenmiştir.

Yapılan bir ve iki boyutlu analiz sonuçlarının birlikte değerlendirilebilmesi, karşılaştırılabilmesi ve iki analiz yöntemi arasındaki farkın belirlenebilmesi amacıyla iki boyutlu analizde ovanın farklı noktaları için hesaplanan ivme spektrumları, bir boyutlu analizde elde edilen ivme spektrumlarına oranlanarak 2D/1D spektral ivme oranları bulunmaya çalışılmıştır. Bu nedenle, 2D/1D spektral ivme oranlarının değişimi ovanın kenarından olan uzaklığa bağlı olarak sırasıyla $T=0.3$ s, $T=0.4$ s, $T=0.6$ s ve $T=0.9$ s için incelenmiştir. Ayrıca yapılan iki boyutlu dinamik analizler sonucunda modelin yüzeyindeki farklı noktalar için spektrum katsayıları elde edilmiştir. 12 Kasım 1999 Düzce depremi hareketinin anakaya mostrasındaki en büyük ivme değerine göre normalleştirilen mutlak ivme spektrumlarında $T=0.3$ s, 0.4 s, 0.6 s ve 0.9 s için hesaplanan efektif spektrum katsayılarının ova kenarından uzaklığa bağlı değişimleri “DBYBHY” ile Eurocode 8’de verilen tasarım spektrumu değerleriyle karşılaştırılmış ve böylece yöntemler arasındaki uyumluluğun değerlendirilmesi de yapılmıştır.

7.1 Kuzey Anadolu Fay Zonu

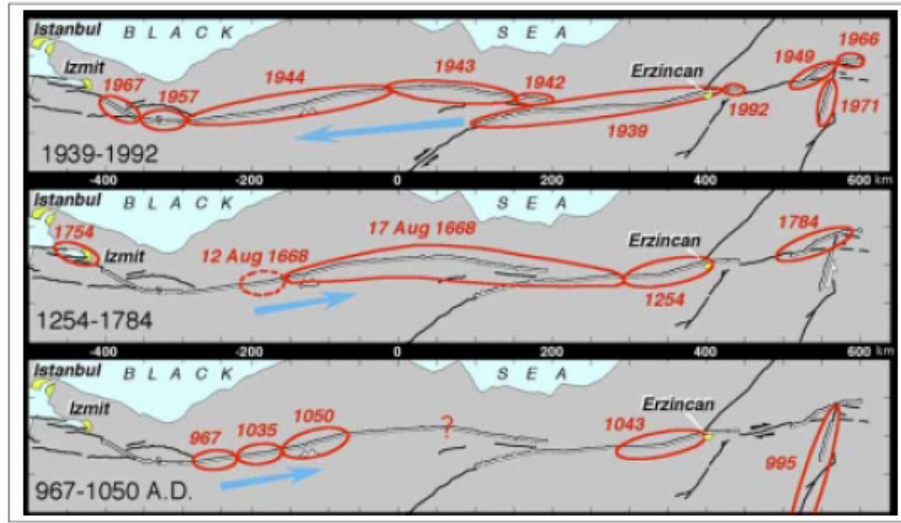
Kuzey Anadolu Fay Zonu, Anadolu ve Karadeniz levhaları arasındaki göreceli hareketi sağlayan ve Karlıova-Saros Körfezi arasında yaklaşık 1200 km uzunluğu olan sismik olarak son derece diri sağ yanal doğrultu atımlı bir faydır (Şekil 7.1). KAFZ ilk kez Ketin (1948) tarafından 1939 Erzincan depremi sonrası adlandırılmış ve bu depremden sonra jeolojik ve neotektonik amaçlı çalışmalara konu olmuştur ve diri fay olarak tanımlanmıştır.



Şekil 7.1 : Kuzey Anadolu Fay Zonu’nun Türkiye’deki diğer faylar ile birlikte genel görünümü (Nurlu, 1999).

7.2 Kuzey Anadolu Fayı'nın Sismik Etkinliği

Kuzey Anadolu Fay Zonu asırlardır meydana gelen büyük depremler sonucu bugünkü halini almıştır. 1999 Körfez Depremi ve Düzce-Kaynaşlı depremi öncesinde, 1900-1998 yılları arasında Kuzey Anadolu Fay Zonu'nda aletsel büyüklüğü $M_s \geq 5.5$ olan 34 hasar yapıcı deprem meydana gelmiştir. Bu depremlerden 9'u ($M_s \geq 6.5$) yüzey faylanması oluşturmuş ve fayın 800 km'lik bölümünü kırmıştır. Kırıklar üzerinde 1.5 m-4.5 m ve 40 cm-100 cm arasında değişen yatay ve düşey ötelenmeler olmuştur. 1939 yılından itibaren fayın iki bloğu arasında, yaklaşık ortalama 90 cm sağ yanal atım gelişmiştir (Ketin, 1969; Ambraseys, 1970). Aletsel ve tarihsel dönem içerisinde meydana gelen depremlerin kırık zonları Şekil 7.2'de verilmiştir. Şekildeki ok yönleri depremlerin göç yönlerini ifade etmektedir. Bölge oldukça aktif bir deprem kuşağında yer almaktadır. Bölgede son yüzyılda meydana gelen hasar yapıcı depremlerin odak mekanizması çözümleri, eğim bileşeni olan doğrultu atımlı bir fay sisteminin bölgede aktif olduğunu göstermektedir.



Şekil 7.2 : KAF üzerinde tarihsel ve aletsel dönem içerisinde meydana gelen depremlerin oluşturdukları kırık zonlarının gelişimi (USGS).

1939 Erzincan depremi ($M_s=7.9$) Erzincan-Erbaa-Amasya arasında, 360 km yüzey faylanması ve 4.5 metrenin üzerinde sağ yönlü yatay atım meydana getirmiştir (Ketin, 1976). Deprem, 1939-1967 deprem serisinde tetikleyici rol oynamış ve 5 depremin (1942, 1943, 1944, 1957, 1967) batıya doğru göç etmesine neden olmuştur (Ambraseys, 1970; Toksöz ve diğ., 1979). 1939 depremi ile başlayan 38 yıllık süre içinde, ortalama odak göçü hızı, batıya 50-100 km/yıl, doğuya ise 10 km/yıl olarak gerçekleşmiştir (Ambraseys ve Zatopek, 1969; Toksöz ve diğ., 1979; Allen, 1980).

1939-1967 deprem serisi sonunda, Mudurnu Vadisi batısı, Erzincan Havzası doğusu ve İzmit Körfezi batısında olmak üzere üç fay bölümü kırılmadan kalmıştır (Toksöz ve diğ., 1979; Demirtaş ve Yılmaz, 1996). İlk sismik boşluk; Geyve, Iznik, Gemlik ve Gençali fay segmentlerini, ikincisi; Yedisu segmentini ve üçüncüsü; Marmara fay segmentini kapsamaktadır. 1970-1995 yılları arasında, bu boşluklar ve yakın çevresinde sırasıyla 47, 20 ve 65 adet deprem ($4.0 \leq M_s \leq 6.8$) meydana gelmiştir.

Geyve sismik boşluğunda, son olarak M.S. 29 yılında IX şiddetinde büyük bir deprem olmuştur (Ergin ve diğ., 1967). Ancak bu depremden sonra 120, 350, 368, 985 ve 1895 yıllarında şiddetleri V ile VIII arasında değişen orta büyüklükte birkaç deprem meydana gelmiştir.

Yedisu sismik boşluğu, en son 23 Temmuz 1784 depremi tarafından kırılmıştır. Deprem, yüzeyde 90 km uzunluğunda kırık meydana getirmiştir. IX (MSK) şiddetindeki deprem, 5000 kişinin ölmesine neden olmuştur (Ambraseys, 1975). 13 Mart 1992 Erzincan depremi, Yedisu sismik boşluğunda, yakın gelecekte olma olasılığı yüksek büyük bir depremin habercisi olarak yorumlanabilir (Demirtaş, 1994).

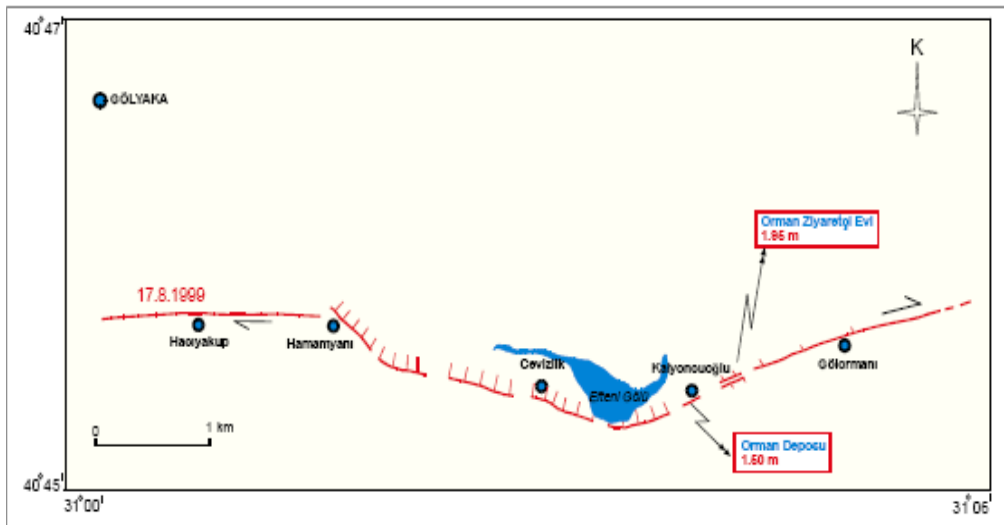
Marmara sismik boşluğu, en son 10 Eylül 1509 İstanbul depremi tarafından kırılmıştır. Deprem, İstanbul ve çevresinde, yaklaşık 1000 evin yıkılmasına ve 4000-5000 kişinin ölmesine neden olmuştur. Deprem, "Küçük Kıyamet" olarak tarihe geçmiştir (Ambraseys ve Finkel, 1988). 10.07.1894 İzmit-Adapazarı depremi bu boşluğun doğusundaki fay segmentinde meydana gelmiştir. IX (MSK) şiddetindeki deprem, Adapazarı ile İstanbul arasında geniş bir bölgede oldukça büyük hasar yapmıştır. Deprem, Armutlu yarımadasının kuzeyinden geçen KAF'ın yaklaşık 100 km'lik bölümünü kırdığı düşünülmektedir. Bu bölüm en son 17 Ağustos 1999 depremi ($M_b=7.4$) ile yeniden kırılmıştır. Deprem yüzey kırığı, doğrultu atımlı faylanma şeklinde gelişmiştir (Barka ve diğ., 1999; Gökten ve diğ., 1999; Demirtaş, 2000).

7.3 Düzce Bölgesi ve Yakın Çevresinin Sismotektoniği

Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ), Bolu'nun yaklaşık 5 km güneyinden geçerek Bolu Havzasını güneyden sınırlar. Ana fay, havzanın güneybatısında Gökçöy yakın güneyini izleyerek Çepniköy travertenlerini oluşturur ve Abant Gölü'nün

kuzeybatısını keser (Demirtaş, 2000). Ana fay, daha sonra Abant Gölü batısında Seymen Deresi vadisini izler, Mudurnu Vadisi boyunca uzanır, Dokurcun Vadisi boyunca devam eder ve Beldibi yakınında iki ana kola ayrılır. Kuzey kol, Kuzuluk-Akyazı arasından geçerek Karapürçek güneyinden Sapanca Gölüne doğru devam eder (Ketin, 1969; Barka ve Kadinsky-Cade, 1988) (Şekil 7.3).

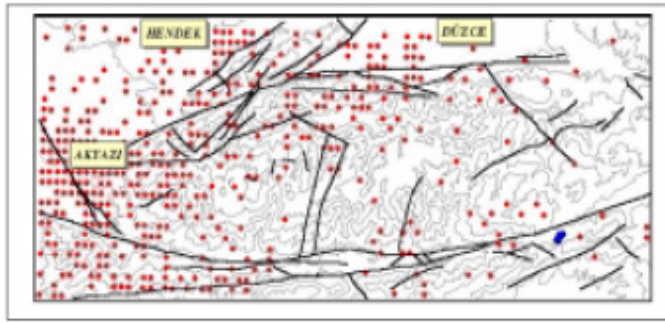
Abant Gölü – Mudurnu Vadisi – Dokurcun Vadisi – Akyazı – Sapanca Gölü arasında uzanan ana fay boyunca, 1900-2000 yılları arası dönemde, 1999'da yaşanan depremlerden önce 26 Mayıs 1957 Abant ($M_s=7.1$) ve 22 Temmuz 1967 Mudurnu Vadisi ($M_s=7.0$) depremleri olmuştur. İlk deprem, Abant Gölü ile Dokurcun arasında 40 km; ikinci deprem ise İğneciler (Abant Gölü'nün 10 km batısı) ile Sapanca gölü arasında 80 km uzunluğunda yüzey faylanması meydana getirmiştir (Ambraseys ve Zatopek, 1969; Ketin, 1969; Ambraseys, 1970; Demirtaş, 1995). Bir başka deyişle ana fay, Almacık Bloğu'nu güneyden sınırlar. Diğer yandan Bolu'nun kuzeybatısında, ana faya paralel ikincil bir kol, Elmalık Fayı boyunca Asar Deresi vadisini izleyerek Kaynaşlı içerisinden geçer. Fay, daha sonra Düzce'nin güneyinden geçerek Efteni Gölü'nü güneyden sınırlar. Fay, Efteni Gölü güneybatısında Aksu Vadisini izleyerek Akyazı'nın kuzeyinden geçerek, ana faya bağlanır (Şekil 7.3). 12 Kasım deprem kırığı ve 17 Ağustos 1999 deprem kırığının doğu ucunun bir kısmını oluşturan bu kuzeyden geçen kol ise Almacık Bloğu'nu güneyden sınırlar (Demirtaş, 2000). Almacık Bloğu'nu kuzeyden sınırlayan ikincil kolda, en son, 12 Kasım 1999 depremi ($M_w=7.2$) olmuştur.



Şekil 7.3 : 12 Kasım 1999 depremi yüzey faylanması. Kırmızı çizgiler, kırıkları; rakamlar, en büyük yatay atım miktarlarını göstermektedir. (Demirtaş ve diğ., 2000).

Düzce havzası ve dolgusu, Türkiye neotektonik döneminde gelişmiş olmasına karşın, havzanın temel kayaları, paleotektonik dönemin farklı kökenli birliklerinden oluşmuştur. Düzce Havzası temelindeki en yaşlı metamorfikler (Bolu Masifi) muhtemelen Sakarya Zonu'na ait oluşuklardır. Sakarya Zonu, metamorfik bir temel ve üzerindeki sedimanter örtü kayaçlarından oluşmaktadır. Örtü büyük ölçüde Jura-Kretase kırıntılı ve karbonatlıdır. Düzce Havzası'nın kuzeyindeki Ordovisyan-Tersiyer yaşlı tortul birimlerin tümü İstanbul Zonuna aittir (Varol vd., 1999).

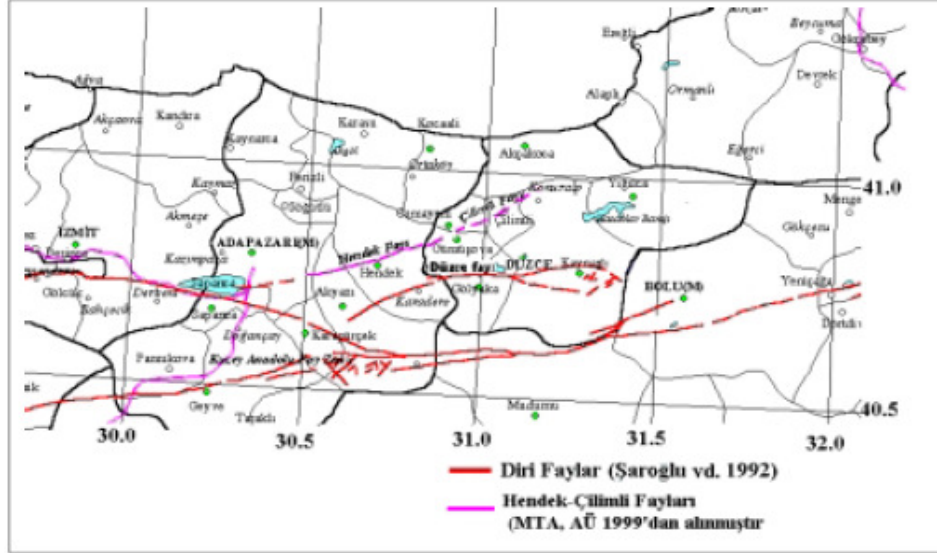
Bölgede kabuk kalınlığı yaklaşık 30-40 km'dir (Canitez ve Toksöz, 1982; Gürbüz vd., 1992; Klingele ve Medici, 1997). Çeşitli yöntemlerle, çok kısıtlı veriyle yaklaşık olarak hesaplanan deprem üretebilen kabuğun üst kesiminde yer alan kuşağın 12-15 km (Eyidoğan ve Jackson, 1985; Crampin ve Üçer, 1975) dolaylarında eni (derinliği) olduğu kabul edilirse, Düzce fay parçasının boyunun 35-40 km olduğu, gerek deprem öncesi çalışmalardan gerekse depremde oluşan yüzey kırığından bilinmekte olduğuna göre; 1999 Düzce depremi olurken yaklaşık bir hesaplama en az 40 km x 14 km= 560 km²'lik bir yüzeyde sürtünme direnci yenilmiştir (Komut, 2000). Bölgede aletsel dönem içerisinde meydana gelmiş depremler dışmerkez noktalarıyla ve mevcut faylar ile birlikte Şekil 7.4'te verilmiştir.



Şekil 7.4 : Akyazı-Bolu ili arasındaki bölgeye ait sismotektonik harita (Nurlu, 1999).

Düzce havzası ülkemizin en önemli aktif faylarından olan KAF üzerinde yer almaktadır. Bu havzaya en yakın olan ve deprem potansiyeli taşıyan aktif faylar ise bu havzanın oluşumuna yol açmış olan Düzce, Hendek ve Çilimli faylarıdır (Şekil 7.5). Düzce havzasını morfolojik olarak güneyden sınırlandıran Düzce fayı, Akyazı-Kaynaşlı arasında 70 km uzunluğundadır. Birbirini bütünleyen üç alt parçadan oluşan fay sağ yönlü doğrultu atımlı bir faydır (Şaroğlu ve diğ., 1992). Akyazı bölümünde Kuvaterner yaşlı alüvyonlarla temel kayalar arasında yer alan fay buradan doğuya doğru Kuvaterner öncesi temel kayalar içerisinde izlenmektedir. 17 Ağustos 1999

Kocaeli-Gölcük depreminde gelişmiş olan 130 km uzunluğundaki yüzey kırığının 30 km'lik doğu bölümü Düzce fayı üzerinde yer almaktadır (Emre ve diğ., 1999; Gökten ve diğ., 1999).



Şekil 7.5 : Düzce-Kaynaşlı depremi sırasında meydana gelen faylar (Nurlu, 1999).

12 Kasım 1999'da meydana gelen depremde başlıca etkili olan faylar arasında ilk olarak Düzce fayı yer almaktadır. Bu fay, Aksu fayı ile komşudur. Fakat bu iki fayın doğrultuları birbirinden farklıdır (Şekil 7.5). Düzce Ovası ile Adapazarı ovası arasındaki eşik, KD-GB doğrultulu bir vadi ile kesilmiştir. Bu vadinin tabanı boyunca Aksu Fayı yer alır. Bu fay doğu-batı doğrultusunda uzanan Tilki, Meşelik ve Mezarlık tepeleri ile güneydeki yamaç arasındaki dar bölgeden geçmektedir. Daha doğuda, yine bir vadiye sıkışmış durumdadır. Kocaeli depreminde, Aksu fayı boyunca yüzey kırığı çok net olmuş, fakat Düzce Ovası'nın batısındaki ucuna girdiğinde, kuzey ve güney yamaç arasında sağ yanal atım düzenine uygun çatlaklar gelişmiş ve en doğuda Gölyaka merkezinden geçip Melen Çayı'na varmıştır. Ayrıca, Efteni kaplıcasına kadar, 1999 Düzce depreminde kırılacak hat ile çakışacak şekilde, ovanın güney kenarını izleyen bir çatlak belirmiştir. 12 Kasım 1999'da gelişen yüzey kırığı, bu çatlakları ilk oluşana göre önemli derecede büyütmüş ve ek olarak sağ yanal atım ortaya çıkmıştır. Dolayısıyla, fayın geometrisi ile de uyumlu olarak bu kırık, Düzce Fayı, Düzce Ovası ile Bolu Ovası arasındaki yüksek eşiğin batısında kaybolmuştur. 1999 Düzce depremi yüzey kırığı, bu eşiğin batısındaki Düzce Ovası'na açılan yaklaşık D-B uzanımlı üç vadinin en az ikisinde gelişmiştir. Bunlardan otoyolun da geçtiği Asar Vadisi yüzey kırıkları, doğuya doğru oldukça

uzun bir mesafede izlenebilmiştir. Bu ve kuzeydeki vadi içinde, sağ yanal atım düzenine uygun sekmeli kırıklar gelişmiştir. Bu iki vadinin başlangıç kısmında görülen sekmeli kırıkların birbirinin devamı olduğu anlaşılmıştır (Komut, 2000). Doğuda, Asar Vadisi'nin ucunda (Bolu tünelinin başladığı yerde), dağlık kesimde incelenmiş yol yarmalarında, ender de olsa sağ yanal hareket sistemine uygun kırıklar görülmüştür.

Düzce havzası batısında Sapanca gölü Hendek-Cumayeri arasında uzanan KD-GB uzanımlı fay Hendek Fayı olarak bilinmektedir. Sağ yönlü dorultu atımlı olan bu fay yaklaşık 50 km uzunluğundadır (Şekil 7.5). Morfolojide sağ yönde ötelenmeler ve büyük basınç sırtlarının gelişmiş olduğu zonda Pliyo-Kuvaterner yaşlı Karapürçek Formasyonu fay tarafından kesilmekte, fay bu formasyonla temel kayalar arasında dokanak oluşturmakta, doğu bölümünde ise temel kayalar içerisinde yer almaktadır.

Çilimli Fayı; Düzce havzasının kuzeyinde Cumayeri-Konuralp arasında uzanır. Yaklaşık 13 km uzunluğunda olan bu fay güneybatıdaki Hendek Fayı'nın devamında yer alır (Şekil 7.5). KB-GD genel doğrultulu olan fay, kuzeydeki Odunluk Dağı ile Düzce Havzası tabanı arasındaki morfolojik diskordansa karşılık gelmektedir (Varol ve diğ., 1999).

7.4 Düzce Ovası ve Yakın Çevresinin Jeolojik Yapısı

Düzce ve yakın civarını içine alan jeoloji haritasından görülebileceği gibi bölgenin önemli bir bölümünü Düzce ovası ve bu ovayı kaplayan nehir alüvyonları ile ova göl çökelleri oluşturmaktadır (Şekil 7.6). Ova, KAFZ'nin denetiminde gelişmiştir. Düzce bölgesinin orta kesiminde genç çökeller yer alırken, kenarlarındaki yükseltilerde daha yaşlı kayaç birimler mostra vermektedir. Güneyde Paleozoyik yaşlı Dingini Granotoidleri ile kuzeybatıda şeyl, kumtaşı ve silttaşıyla temsil edilen Ereğli Formasyonu ovanın temelini oluşturmaktadır. Bunların üzerinde, içerdiği birimler Şekil 7.7'de verilen Akveren Formasyonu (Kretase) gelir. Güneybatıda Dikmen Volkanitlerinin gözlendiği sahada Tersiyer, Kusuri Formasyonu ile temsil edilmektedir. Bu birimleri, ovanın kenarlarında gevşek çimentolu, yarı yuvarlak çakıl-kum ve siltten oluşan Örencik Formasyonu örtmektedir.

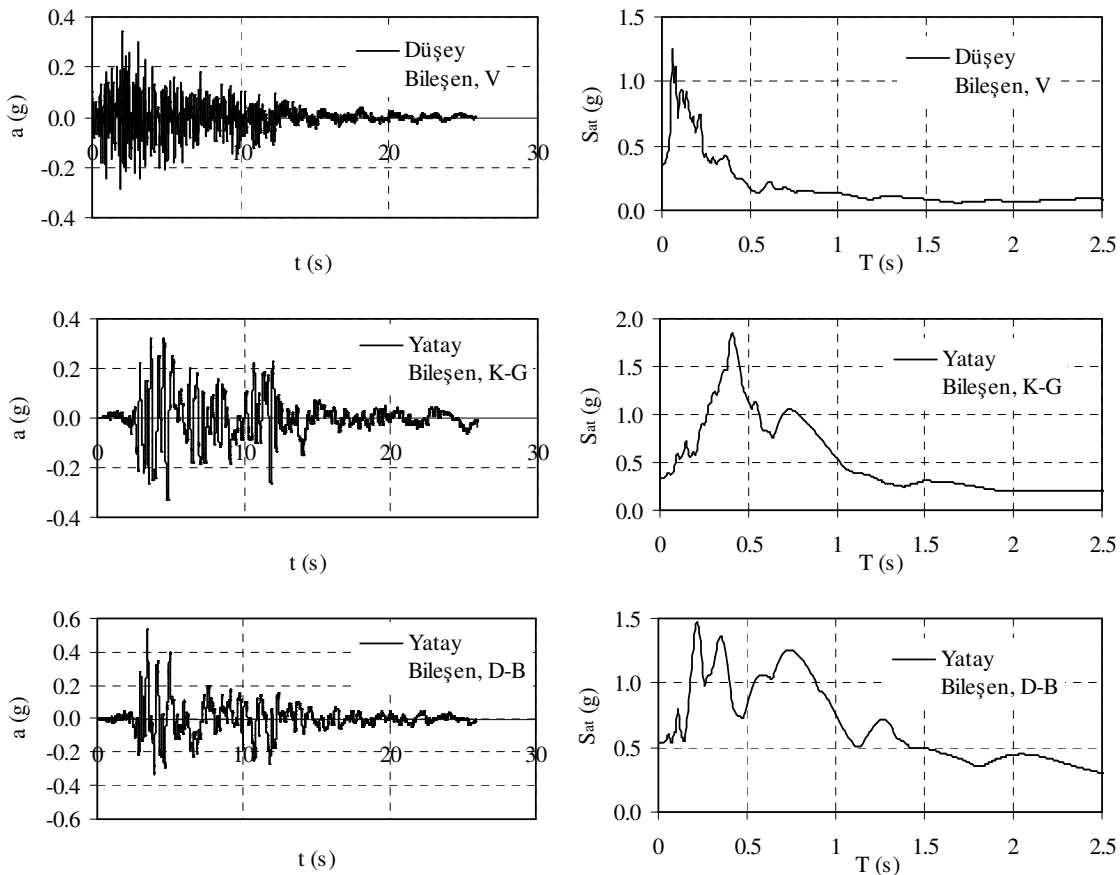
Kuvaterner çökelleri ise; Büyükmelen, Küçükmelen ve Uğursuyu gibi ovanın önemli akarsularının yatakları boyunca gözlenen alüvyonlar ve geniş yayılıma sahip ova-göl

211

7.5 12 Kasım 1999 Düzce-Kaynaşlı Depremi

12 Kasım 1999 Düzce-Kaynaşlı depremi Türkiye saatiyle 18:57'de meydana gelmiştir. Büyüklüğü 7.2 (M_w) olan deprem, Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun batı kesiminde, Düzce ili ve Kaynaşlı ilçesi arasında, etkili olmuştur. Deprem esnasında 35 km'lik bir yüzey kırığı meydana gelmiştir. Deprem, Ankara-İstanbul otoyolunun Bakacak mevkiinde büyük boyutta bir heyelana neden olmuştur. 800'ü aşkın vatandaşımız hayatını kaybetmiş, yaklaşık 3000 kişi yaralanmıştır.

12 Kasım 1999 depremi, batıda Efteni Gölü ile doğuda Bolu viyadükleri arasında uzanan KAFZ'nun yaklaşık 35 km'lik bir kısmında yüzey faylanması meydana getirmiştir. Deprem dışmerkezi, Dağdibi köyü ile Fındıklı köyü arasında yer almaktadır (Barka ve diğ., 1999; Gökten ve diğ., 1999; Koçyiğit ve diğ., 1999). Deprem merkezinin Düzce-Kaynaşlı arasında olması, yırtılmanın iki yönlü ilerlediğini göstermektedir. Yüzey faylanması boyunca en büyük sağ-yanal atım 4 m ve en büyük düşey atım 1.0 m – 1.5 m civarında ölçülmüştür (Demirtaş ve diğ., 2000).



Şekil 7.8 : 12 Kasım 1999 Düzce Depremi Düzce Meteoroloji istasyonu ana şok kaydı ve mutlak ivme spektrumları.

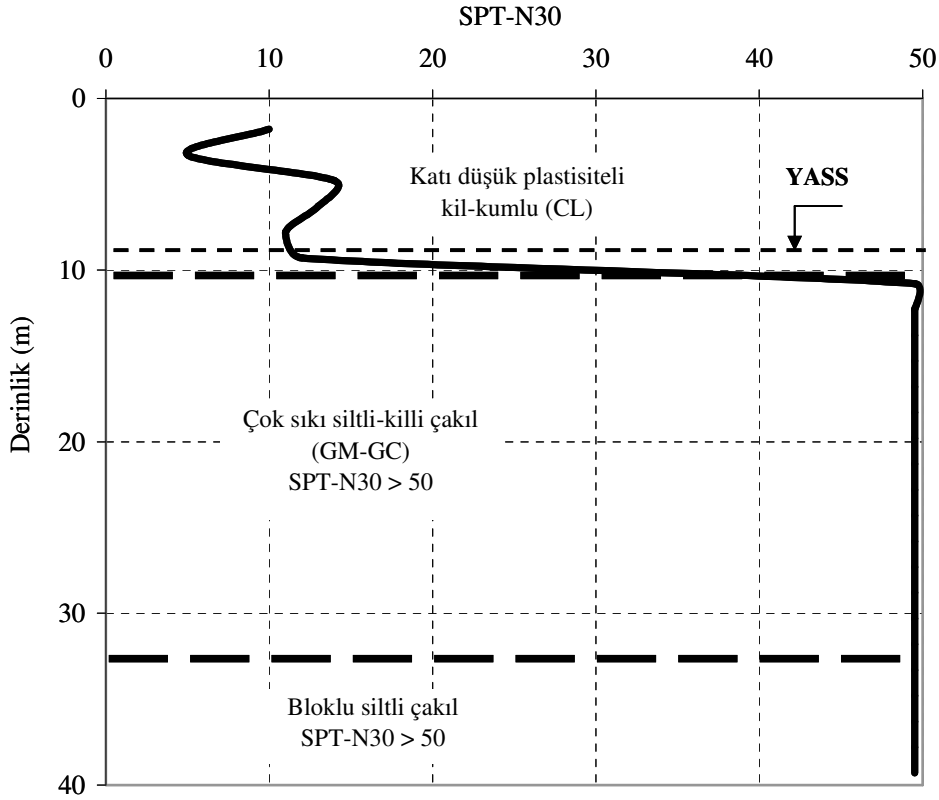
12 Kasım 1999 Düzce depremi kuvvetli yer hareketi, Düzce Meteoroloji İstasyonu’nda kurulu bulunan ivme ölçer tarafından kaydedilmiştir. 12 Kasım 1999 depreminin maksimum ivme değerleri K-G yönünde 407.7 gal, D-B doğrultusunda 513.8 gal ve düşey yönde 339.6 gal olup, kayıtlar ve bunlara ait mutlak ivme spektrumları Şekil 7.8’de birlikte gösterilmiştir. Bu en büyük mutlak ivmelerin düzeltilmiş değerleri sırasıyla 0.33 g (K-G), 0.53 g (D-B) ve 0.35 g (V) dir. Kuvvetli yer hareketinin kayıt süresi yaklaşık olarak 25.9 s ölçülmüştür.

7.6 Düzce’nin Yerel Zemin Koşulları

12 Kasım 1999 Düzce depreminden sonra Düzce’de zemin koşullarının araştırılması ve Milli Eğitim Bakanlığı’na bağlı mevcut ilk ve orta öğretim kurumlarına ait binaların deprem hareketi karşısındaki performansının belirlenmesi amacıyla değişik zamanlarda yapılmış arazi ve laboratuvar deneylerini de kapsayan kısıtlı sayıda çalışmaya Düzce Belediyesi aracılığıyla ulaşılmıştır. Düzce’de yapılmış ve derinlikleri 15-20 m olan sondaj verileri incelendiğinde Kuvaterner çökellerin olduğu bölgelerde yüzeydeki (0-10 m) zemin tabakalarının genelde orta katı-katı, kumlu siltli kilden oluştuğu görülmektedir. Bu tabaka içinde SPT-N30 değerleri genellikle 5-15 arasında değişmektedir. Kil tabakası içinde siltli kum-killi kum yatay geçişleri mevcuttur. 10-20 m derinlikler arasında genellikle kaba daneli zeminler hakim olmakta, orta sıkı-sıkı siltli killi kum ve çakıl yer almaktadır. Bu seviyelerde SPT-N30 değerleri 20-50 arasında değişmektedir. İnce daneli zeminler genellikle düşük plastisiteli siltli kil ve orta plastisiteli kilden oluşmakta, kil zeminlerde likit limit (w_L) genellikle 30-55 arasında, plastisite indisi (I_p) 10-30 arasında değişmektedir. Kumtaşı, kiltası vb. gibi tortul kayalardan oluşan kuzeydeki yamaçlar ile andezit gibi volkanik kayadan oluşan güneydeki yamaçlarda üstte kalınlığı 0-5 m arasında değişen yamaç molozu bulunmaktadır. “DBYBHY”e göre ovada daha çok Z3 sınıfı zemin tabakalarının hakim olduğu anlaşılmaktadır. Bölgedeki yeraltı su seviyesi 4-10 m arasında değişmektedir.

12 Kasım 1999 Düzce depreminde kuvvetli yer hareketi kaydının alındığı Düzce Meteoroloji İstasyonu’nun yanında yapılmış olan yaklaşık 40 m derinliğindeki sondajda, SPT deneyleri düzenlenmiş ve örselenmiş numuneler elde edilmiştir. Bu verilere göre; yüzeyden yaklaşık 10 m derinliğe kadar katı kıvamda düşük plastisiteli kil-kumlu (CL) tabakası mevcuttur. Tabaka içindeki SPT-N30 değerleri 10-14 arasında değişmektedir. 10 ile 33 m derinlikler arasında sıkı-çok sıkı siltli çakıl, killi

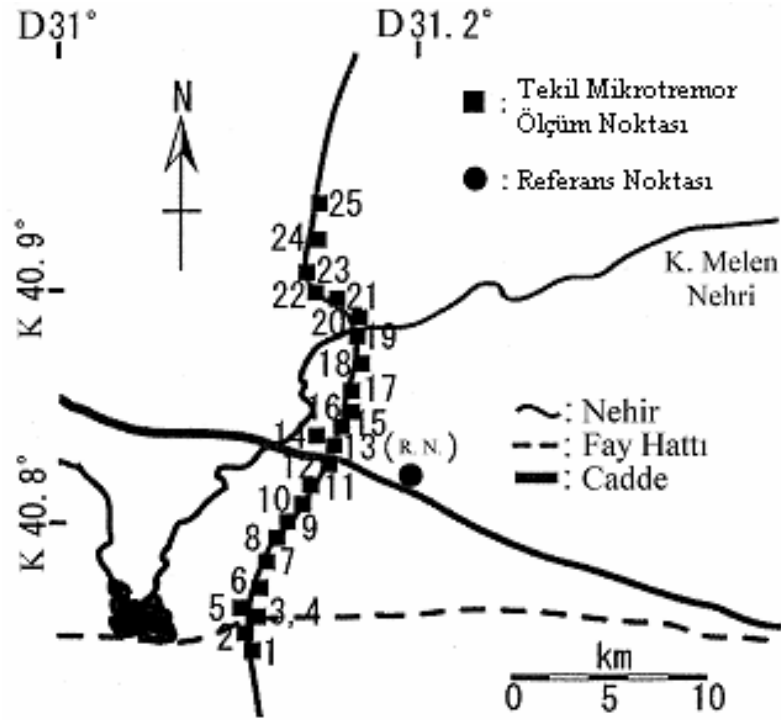
çakıl tabakası mevcuttur. Bu tabaka içindeki SPT-N30 değerleri 50'in üstündedir ve genellikle refü değerine ulaşmaktadır. 33-40 m derinlikler arasında yer yer bloklar içeren iri daneli çok sıkı siltli çakıl tabakası mevcuttur. Bu tabaka içinde de SPT-N30 darbe sayıları refü değerine ulaşmaktadır. İlgili sondaj kuyusunda yeraltı su seviyesi yaklaşık 9 m derinliktedir. SPT-N30 değerlerinin derinlikle değişimi Şekil 7.9'da gösterilmektedir.



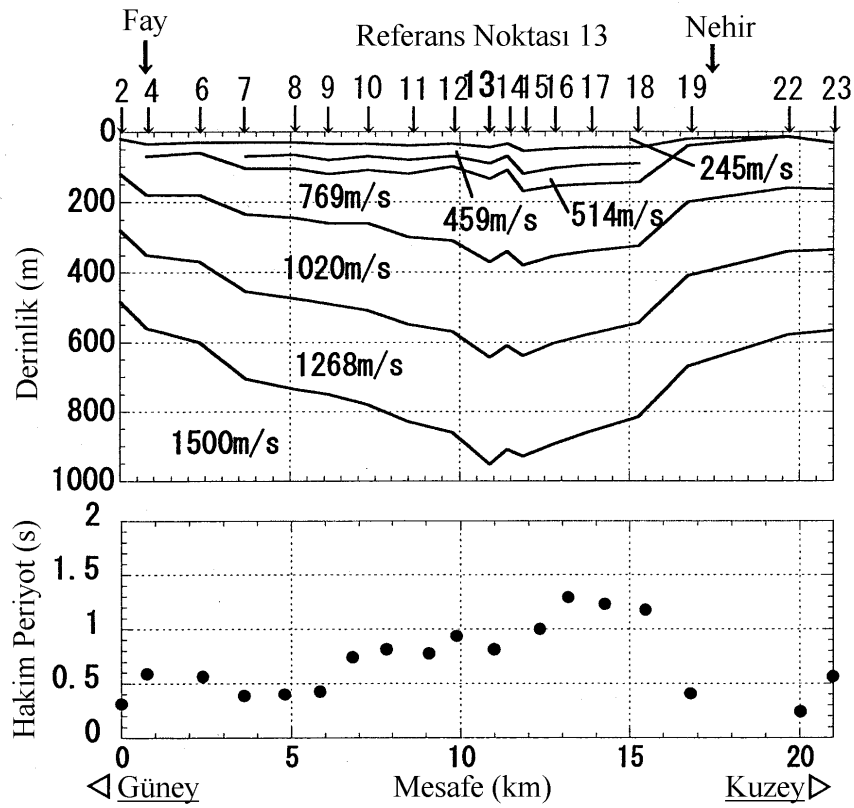
Şekil 7.9 : Düzce Meteoroloji İstasyonu'nun yanında yapılan sondaja ait veriler.

7.7 Düzce Ovası'nda İki Boyutlu Kayma Dalgası Hızı Profiline Mikrotremor Ölçümleriyle Belirlenmesi

İyisan ve Yamanaka yönetiminde İTÜ ve TITECH'in (Tokyo Teknoloji Enstitüsü) Düzce'de ortaklaşa yürüttüğü çalışmada, Düzce Ovası'nda mikrotremor array (eş zamanlı ağ ölçümü) ve tekil mikrotremor deneyleri düzenlenmiştir. Konumu Şekil 7.10'da verilen Düzce Ovası'nın ortasına yakın bir bölgede (Referans noktası) eş zamanlı mikrotremor ağ ölçümleri yapılmış ve bu bölgedeki kayma dalgası hızı profili belirlenmiştir. Daha sonra, Düzce Ovası'nın güneyinden kuzeyine doğru bir hat boyunca 25 ayrı noktada üç bileşenli tekil mikrotremor ölçümleri yapılmıştır. Ölçüm yapılan noktalar Şekil 7.10'da gösterilmiştir.



Şekil 7.10 : Düzce’de yapılmış tekil mikrotremor ölçümlerinin yerleri.



Şekil 7.11 : Geniş açıklıklı mikrotremor array ve tekil mikrotremor ölçümlerinin birlikte değerlendirilmesiyle Düzce Ovası için belirlenmiş S-dalgası hızı profili.

Eş zamanlı mikrotremor ağ ölçümü deney verilerinin analizi sırasında yapılan hesaplarda Düzce Ovası'nın farklı kayma dalgası hızına sahip 7 ayrı tabakadan oluştuğu kabul edilmiş ve kayma dalgası hızının derinlikle değişimi elde edilmiştir. Yüzeye yakın tabakaların dinamik özellikleri ve kalınlığı; tekil mikrotremor ölçümlerinden elde edilen H/V spektral oranının, teorik Rayleigh dalgası elipsliğiyle uyumlu olması esasına dayanılarak belirlenmiş ve teorik Rayleigh dalgasının en büyük spektral orana sahip olduğu periyot değerinin, H/V spektral oranının hakim periyoduyla örtüşmesine özellikle dikkat edilmiştir. H/V spektral oranlarında belirgin bir maksimum değer olmaması nedeniyle, bazı noktalarda yüzey altı kayma dalgası hızı profili belirlenememiştir. Mikrotremor ölçümlerine dayalı elde edilen kayma dalgası hızı profili ve hakim periyotların Düzce Ovası'nda bir hat boyunca değişimi Şekil 7.11'de gösterilmiştir. Düzce çanağının orta kısmında, sert anakayaya ($V_s=1500$ m/s) olan derinlik yaklaşık 1000 m'yi bulmaktadır.

7.8 Düzce Ovası'nın İki Boyutlu Modeli ve Zemin Tabakalarının Dinamik Özellikleri

12 Kasım 1999 depreminde, yüzeydeki deprem hareketinin şiddetinin ovanın kenarında hangi büyüklükte olduğu ve ova kenarında meydana gelmiş olan deprem hareketi karakteristiklerinin anlaşılabilmesi, ayrıca vadi ve ova gibi oluşumlarda kenardaki anakaya eğiminin yüzeydeki deprem hareketine olan etkisini belirleyebilmek için, daha önce iki boyutlu kayma dalgası hızı profili elde edilmiş olan Düzce ovası modeli kullanılarak, ovanın kenarındaki farklı bölgeler için bir ve iki boyutlu dinamik analizler düzenlenmiş ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Ova kenarında yer alan yaklaşık 2.5 km genişliğindeki bölümün modellendiği dinamik analizde, Şekil 7.11'de verilen iki boyutlu kayma dalgası hızı profilinin ova kenarındaki değişimi dikkate alınarak, mühendislik anakayasının (orta sert kaya) Düzce Ovası'na doğru yaklaşık % 10 eğimle dalım yaptığı kabul edilmiştir.

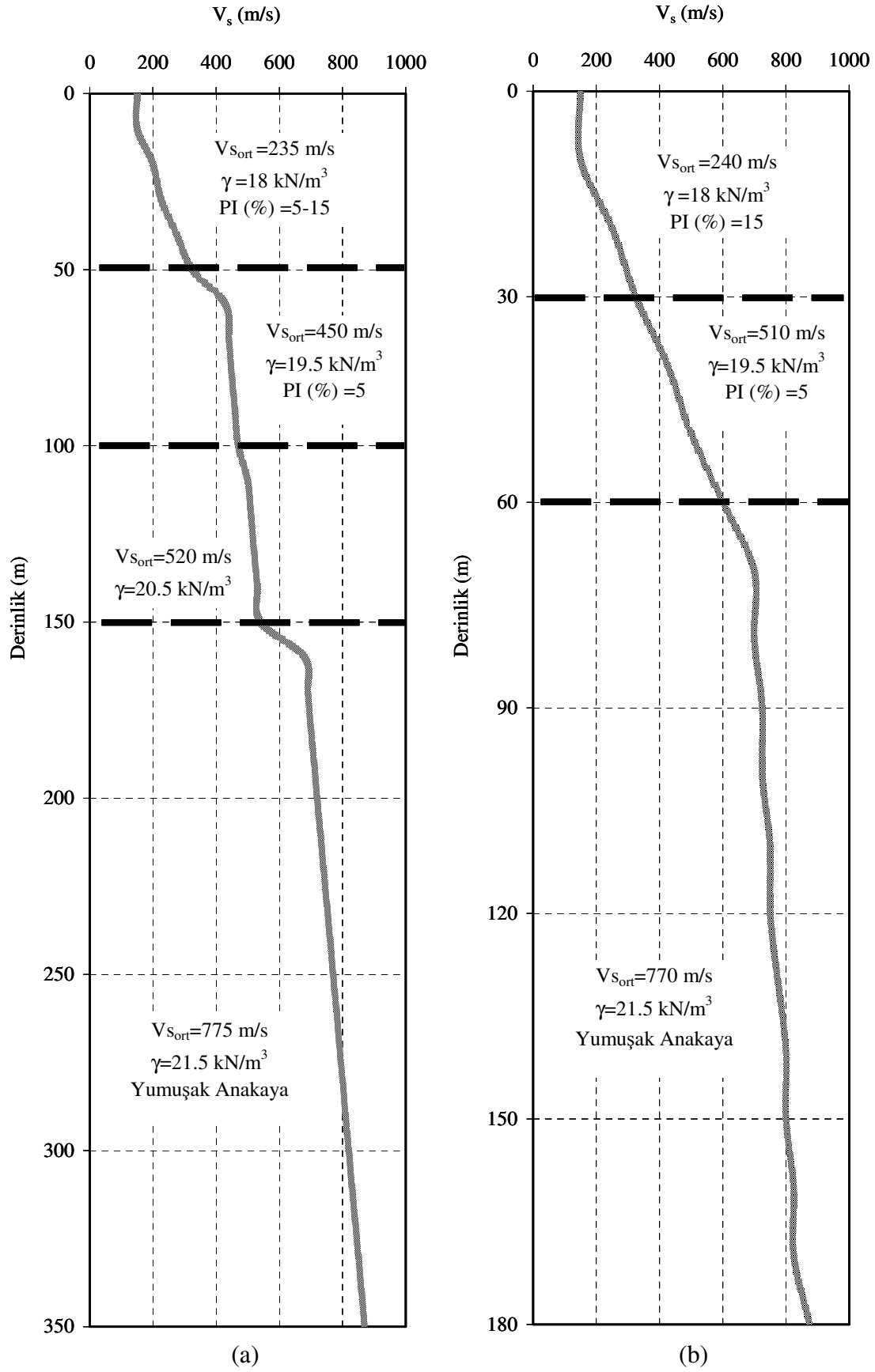
Düzce Ovası'nın Şekil 7.10'da gösterilen farklı noktalarındaki zemin tabakalarına ait kayma dalgası hızı değerleri daha önce belirtildiği gibi, eş zamanlı mikrotremor ağ ölçümünden elde edilen kayma dalgası hızı profilini referans alan tekil mikrotremor ölçümleri yardımıyla elde edilmiştir. Şekil 7.10'da gösterilen farklı noktalardaki zemin tabakaları için hesaplanmış kayma dalgası hızı değerleri Çizelge 7.1'de verilmektedir.

12 Kasım 1999 Düzce Depremi sırasında ovanın kenarında meydana gelmiş olan deprem hareketindeki farklılaşmayı anlayabilmek için oluşturulan iki boyutlu modelin dinamik analizinde kullanılacak anakaya ivme-zaman geçmişinin elde edilmesi amacıyla Düzce Meteoroloji İstasyonu'nun bulunduğu bölgede tek boyutlu geri dönüşüm yapılmıştır. Düzce Meteoroloji İstasyonu'nun bulunduğu kısım, Şekil 7.11'deki 16 nolu nokta yakınında yer almaktadır.

Çizelge 7.1 : Düzce'de farklı noktalardaki tabakalara ait kayma dalgası hızı değerleri.

Nokta No:	Tabaka1 (m) $V_s=245$ m/s	Tabaka2 (m) $V_s=459$ m/s	Tabaka3 (m) $V_s=514$ m/s	Tabaka4 (m) $V_s=769$ m/s	Tabaka5 (m) $V_s=1020$ m/s	Tabaka6 (m) $V_s=1268$ m/s
2	20	-	-	100	160	205
4	35	-	35	110	170	210
6	30	-	30	120	190	230
7	30	40	35	130	220	250
8	30	35	40	140	230	260
9	35	45	40	140	230	260
10	35	35	40	150	250	270
11	40	40	40	180	250	280
12	35	35	30	210	260	290
13 (R. N.)	45	45	45	236	273	309
14	35	35	40	230	270	300
15	55	65	50	210	260	290
16	50	55	50	200	250	290
17	45	50	55	190	240	280
18	45	45	55	180	220	270
19	20	-	20	160	210	260
22	15	-	15	130	180	240
23	35	-	-	130	170	230

12 Kasım 1999 Düzce Depremi kuvvetli yer hareketi kaydı K-G bileşeninin anakayaya tek boyutlu geri dönüşümünde kullanılacak olan kayma dalgası hızı profili, Çizelge 7.1'de verilen 15-16-17 nolu noktalardaki kayma dalgası hızı değerlerinin birlikte dikkate alınmasıyla belirlenmiş ve Şekil 7.12a'da gösterilmiştir. Ovanın kenarının iki boyutlu modellenmesinde Şekil 7.11'deki iki boyutlu kayma dalgası hızı profili ve 2-4-6 nolu noktalara ait Çizelge 7.1'de verilmiş olan kayma dalgası hızı değerlerinden faydalanılmıştır. Düzce Ovası'nın kenarının modellenmesinde kullanılan kayma dalgası hızı profili Şekil 7.12b'de gösterilmiştir.



Şekil 7.12 : Kayma dalgası hızının derinlikle değişimi (a) 15-17 nolu noktalar (Düzce Meteoroloji İstasyonu) (b) 2-6 nolu noktalar (Düzce Ovası kenarı).

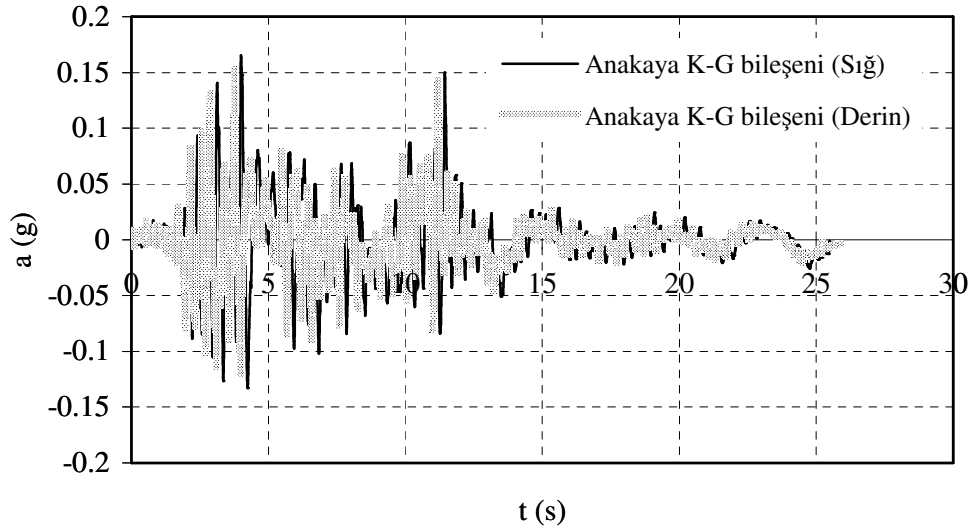
7.9 Düzce Ovası Modeli Kullanılarak Yapılan Bir ve İki Boyutlu Dinamik Analizler

Düzce Ovası'nın kenarı için Şekil 7.7'deki jeolojik kesit ve Şekil 7.11'de verilen kayma dalgası hızı profilinin birlikte değerlendirilmesi sonucu kurulan iki boyutlu modelin dinamik analizinde ve yine bu model üzerinde bulunan farklı bölgelerdeki noktaların bir boyutlu dinamik analizlerinde kullanılacak anakaya deprem kaydının elde edilebilmesi için, 12 Kasım 1999 Düzce Depremi'nde Meteoroloji İstasyonu'nda zemin yüzeyinde alınan ana şok kayıtlarından faydalanılmıştır. Düzce Ovası'nın iki boyutlu modeli yaklaşık K-G doğrultusunda alınmış bir kesitle oluşturulmaya çalışıldığı için, bir ve iki boyutlu dinamik analizlerde de K-G doğrultusundaki anakaya ivme-zaman geçmişi kullanılması uygun görülmüştür. Yüzeydeki deprem kaydının 350 m derinlikteki orta sert anakayaya ($V_s=1000$ m/s) taşınması, Düzce Meteoroloji İstasyonu'nun olduğu bölgedeki zemin tabakalarının dinamik özelliklerinin derinlik boyunca anakayaya kadar olan değişimi kullanılarak yapılmıştır.

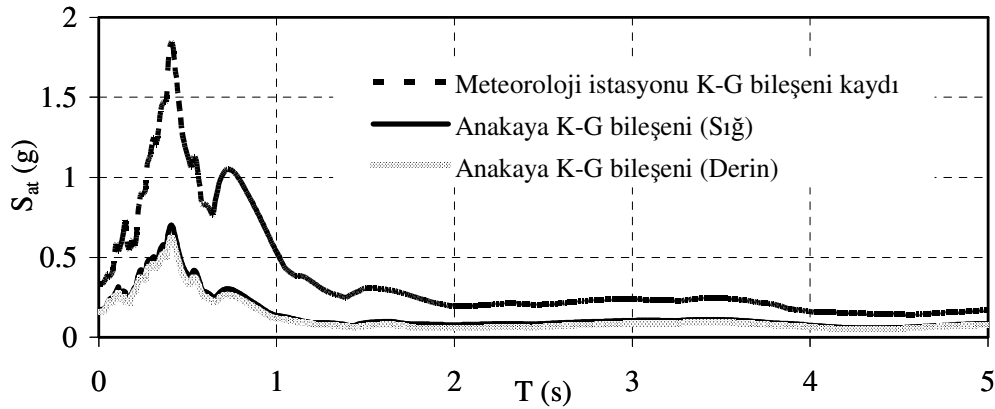
Bir boyutlu geri dönüşümde kullanılan kayma dalgası hızı profili daha önce Şekil 7.12'de verilmiştir. Meteoroloji İstasyonu'nda üst tabakalardaki zemin cinsi, Düzce Belediyesi tarafından ilgili bölgede yaptırılmış sondajlardan elde edilen veriler yardımıyla belirlenmiştir. Meteoroloji İstasyonu'nun olduğu bölgedeki zemin tabakalarında, üstte yaklaşık 10 m kalınlığında düşük plastisiteli kil-kumlu (CL, $I_p=\% 15$), 10-30 m derinlikler arasında düşük plastisiteli silt, siltli kum-siltli çakıl ($I_p=\% 5$) ve daha sonra, sondaj logunun bitimi olan 40 m derinliğe kadar, daha kaba daneli siltli çakıl ve bloklar yer almaktadır (Şekil 7.9). Yumuşak mühendislik anakayasının ($V_s=700$ m/s) üzerindeki zemin tabakalarında, kuvvetli yer hareketi altında sönüm oranı ile kayma modülünün tekrarlı kayma şekil değiştirmesine bağlı değişimi Ishibash-Zhang (1993) bağıntısı kullanılarak modellenmiştir.

Yüzeydeki deprem kaydı, 350 m derinlikte yer alan orta sertlikteki anakayaya ($V_s=1000$ m/s) geri dönüşümle taşındıktan sonra, aynı yüzey kaydı karşılaştırma açısından daha sığda yer alan (150 m) yumuşak mühendislik anakayasına ($V_s=700$ m/s) özelliğindeki tabakaya da taşınmıştır. Böylece farklı rijitliğe sahip (orta sert ve yumuşak) iki ayrı anakaya sınırına taşınmış deprem hareketinin karakteristiklerinde ne gibi farklılıklar oluşacağı anlaşılmaya çalışılmıştır. 350 m derinlikte yer alan orta sert anakaya ($V_s=1000$ m/s) ve 150 m derinlikte yer alan yumuşak anakayaya (sismik

anakaya, $V_s=700$ m/s) yapılan bir boyutlu geri dönüşümlerde hesaplanan ivme zaman geçmişleri Şekil 7.13'te, bunlara ait mutlak ivme spektrumları Şekil 7.14'te birlikte gösterilmiştir.



Şekil 7.13 : 12 Kasım 1999 Düzce Depremi için farklı rijitlikte anakaya seviyelerinde bir boyutlu geri dönüşümle hesaplanmış hipotetik anakaya ivme zaman geçmişleri.

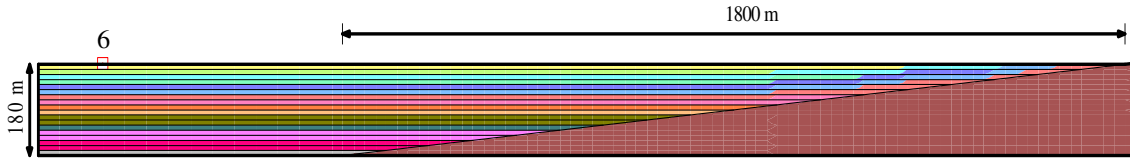


Şekil 7.14 : 12 Kasım 1999 Düzce depreminin hipotetik anakaya ivme zaman geçmişlerine ait mutlak ivme spektrumları.

Farklı rijitliğe sahip iki ayrı anakaya sınırına taşınmış ivme zaman geçmişlerinin mutlak değerleri arasında yaklaşık % 7'lik fark elde edilmiştir. 150 m derinlik için geri dönüşümle elde edilen anakaya ivme zaman geçmişinin en büyük mutlak değeri yaklaşık 0.16 g iken, 350 m derinliğe taşınan anakaya ivme zaman geçmişi için bu değer yaklaşık 0.15 g olarak hesaplanmıştır.

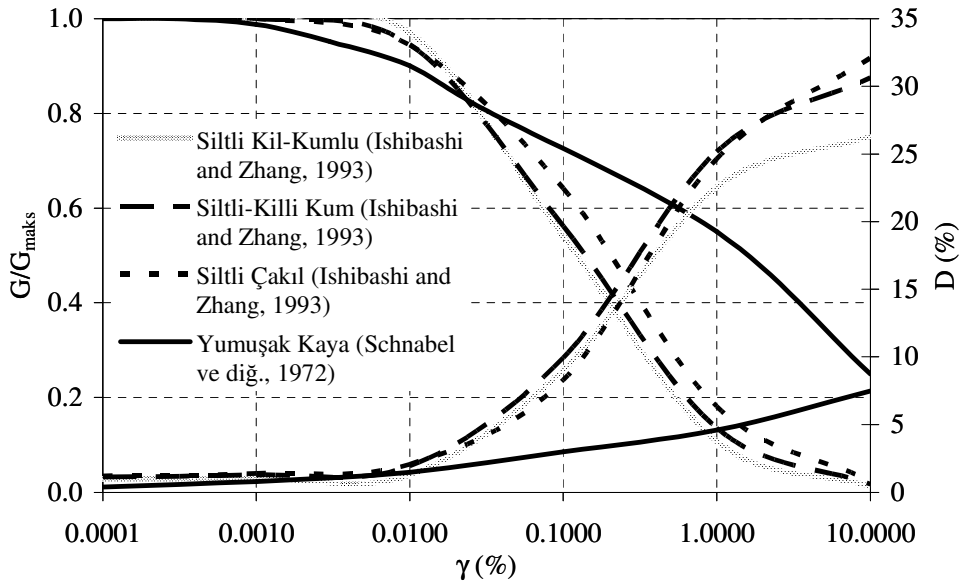
Düzce Ovası'nın kenarını temsilen alınan iki boyutlu düzlem şekil değiştirme kesiti yaklaşık K-G doğrultusunda olduğu için, orta sert anakaya için elde edilen ($V_s=1000$ m/s) ivme bileşenlerinin de K-G yönünde olanı dinamik analizlerde kullanılmıştır.

Yapılan dinamik analizler yardımıyla; ivme-zaman geçmişlerinin, mutlak ivme spektrumlarının ve hesaplanan şiddet parametrelerinin ova yüzeyindeki değişimi belirlenmeye çalışılmıştır. Yapılan dinamik analizlerde; Düzce Ovası'nın kenarının iki boyutlu modellenmesi için kullanılan kayma dalgası hızı profili, Çizelge 7.1'de 2-4-6 nolu noktalar için verilen değerler yardımıyla belirlenmiştir. Kenardaki anakaya eğiminin 6° olduğu modelde ($H/D=10$); Şekil 7.11 ile uyumlu olarak, ova kenarındaki anakaya mostrasından yaklaşık 1800 m uzaklaşıldığında, orta sertlikteki anakaya ($V_s=1000$ m/s) yaklaşık 180 m derinlikte ulaşılmaktadır (Şekil 7.15).



Şekil 7.15 : Düzce Ovası'nın kenarında alınmış K-G doğrultusundaki idealleştirilmiş kesit.

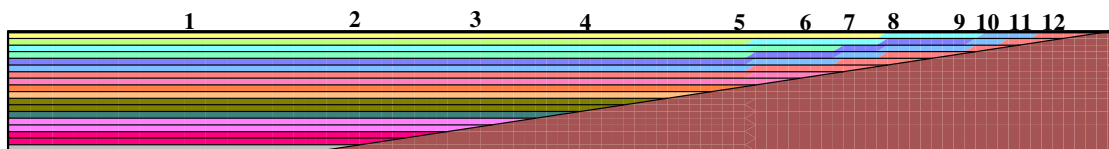
Farklı kaynaklarda (Eurocode 8 vb. gibi), zemin tabakalarının deprem hareketi karşısındaki davranışında belirleyici rol oynadığı belirtilen yüzeydeki 30 m kalınlığındaki tabakaya ait eşdeğer kayma dalgası hızı (V_{s30}), Düzce Ovası'nın kenarında bulunan ve Şekil 7.10, Şekil 7.11 ile Şekil 7.15'te ovadaki konumu gösterilen 6 nolu nokta için 245 m/s'dir. Şekil 7.15'te gösterilen iki boyutlu modelde 6 nolu nokta için; yüzeyde yer alan 20 m kalınlığındaki tabakanın, bölgedeki alüvyon tabakasının büyük bölümünü temsil eden düşük plastisiteli kil-kumlu ($I_p = \% 15$) olduğu, 20-40 m derinlikler arasında ise düşük plastisiteli silt ($I_p = \% 5$), siltli-killi kum ve çakıl bulunduğu varsayılmıştır. Düzce Ovası'nın jeolojisi ve daha önce yapılmış sınırlı sayıda sondaja bağlı olarak, 40 m derinlik ile yumuşak anakaya başlangıcı olan 60 m derinlik arası kaba daneli zemin ile temsil edilmiştir. Kuvvetli yer hareketi sırasında zemin tabakalarının sönüm oranı (D) ile kayma modülü oranının (G/G_{maks}) tekrarlı kayma şekil değiştirmesine bağlı değişimi, plastisite indisi (I_p) ile efektif çevre basıncı değişkenlerini hesaplarda dikkate alan Ishibashi-Zhang (1993) bağıntısı kullanılarak modellenmiştir (Şekil 7.16). Şekil 7.15'teki 6 nolu noktada 180 m derinliğinde yer alan orta sert anakayanın ($V_s=1000$ m/s) üstündeki yaklaşık 120 m kalınlığındaki yumuşak kaya ($V_s=700$ m/s) bölümünde, sönüm oranı ile kayma modülünün tekrarlı kayma şekil değiştirmesine bağlı değişimi Şekil 7.16'dan da görülebileceği gibi Schnabel ve diğ. (1970) bağıntısıyla modellenmiştir.



Şekil 7.16 : 6 nolu noktadaki zemin tabakalarında kayma modülü ve sönüm oranının tekrarlı kayma şekil değiştirmesine bağlı değişimi.

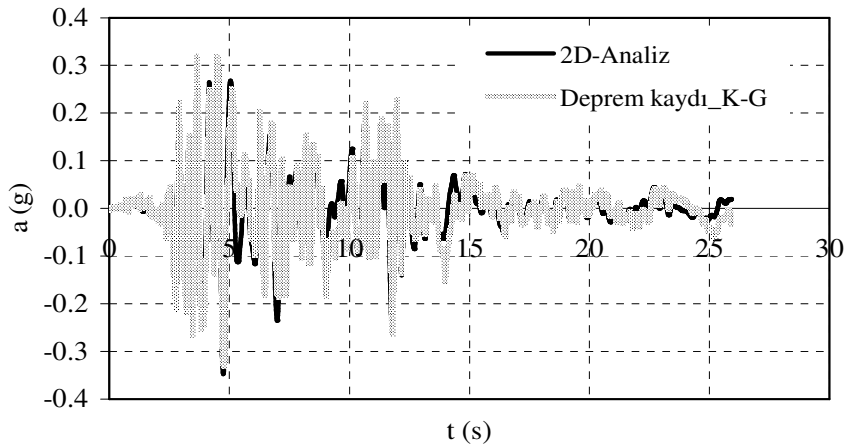
Daha önceki bölümlerde üzerinde durulan “kutu etkisi”ni en aza indirmek için iki boyutlu ova modelinin hem düşey hem de yatay sınırlarında sönümleyiciler kullanılmıştır. Bu sönümleyiciler, sırasıyla ilgili tabakanın basınç ve kayma dalgası hızlarıyla orantılıdır. Tabandaki sönüm katsayıları hesaplanırken $V_s=1200$ m/s alınmıştır. Modelin hem anakaya hem de ova kısımlarındaki düğüm noktalarında düşey ve yatay sönümleyiciler kullanılmış ve bunlara ek olarak yatayda sonsuza uzanan tabakaların sönüm kuvvetlerinin etkisi de katılmıştır.

Düzce Ovası’nın kenarında yer alan farklı bölgelerde 12 Kasım 1999 Düzce Depremi sırasında oluşan hareketin belirlenebilmesi için, oluşturulan iki boyutlu modelin Şekil 7.17’de gösterilen 12 farklı düğüm noktasında ivme zaman geçmişleri elde edilmiştir. Şekil 7.17’de gösterilen 1 nolu nokta, daha önce Şekil 7.11’de verilen Düzce Ovası’na ait iki boyutlu kayma dalgası hızı profilinde 4 ile 6 nolu noktalar arasında yer almaktadır. Düzce Meteoroloji İstasyonu’nda ana şok için 1D geri dönüşümle hesaplanan ve grafiği Şekil 7.13’te gösterilen hipotetik anakaya ivme zaman geçmişinin iki boyutlu modele etkilmesiyle Şekil 7.17’de verilen 1 noktası için ivme zaman geçmişi ve elastik mutlak ivme spektrumu hesaplanmıştır.

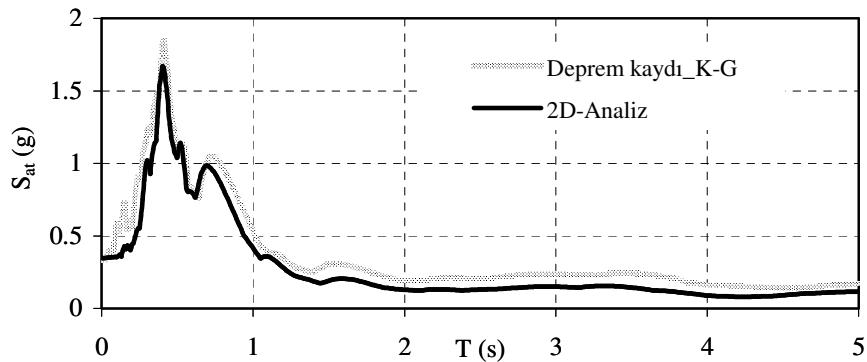


Şekil 7.17 : Dinamik analizde ivme zaman geçmişlerinin elde edildiği düğüm noktaları.

1 noktası için elde edilen ivme zaman geçmişi ve elastik mutlak ivme spektrumu, 12 Kasım 1999 Düzce Depremi'nde Meteoroloji İstasyonu'nda kaydedilen ivme zaman geçmişinin K-G bileşeniyle karşılaştırılmıştır. İvme zaman geçmişinin hesaplandığı nokta (Şekil 7.11; 4-6 noktaları arası) ile Düzce Meteoroloji İstasyonu (Şekil 7.11, 15-17 arası) arasında yaklaşık 10 km mesafe bulunmaktadır. Bununla birlikte Şekil 7.17'de gösterilen 1 noktası, iki boyutlu modeldeki eğimli anakayanın ($V_s=1000$ m/s) üstünde yer almamaktadır. Bu nedenle, 1 noktasındaki deprem hareketinin kenardaki dalga dönüşümlerinden daha az etkileneceği düşünülebilir. Ayrıca 1 noktası ile Düzce Meteoroloji İstasyonu'nun aralarındaki uzaklığa rağmen, üstte kalan zemin tabakalarının eşdeğer kayma dalgası hızlarının (V_{S30}) birbirine yakın değerler alması nedeniyle, ivme spektrumlarının da benzerlik göstermesi beklenmektedir. 12 Kasım 1999 Düzce Depremi Meteoroloji İstasyonu düzeltilmiş ivme kaydı K-G bileşeni ile iki boyutlu dinamik analizle Şekil 7.17'de gösterilen 6 noktası için hesaplanmış ivme zaman geçmişleri birlikte Şekil 7.18'de verilmiştir. Bunlara ait ivme spektrumlarının karşılaştırması Şekil 7.19'da gösterilmiştir.

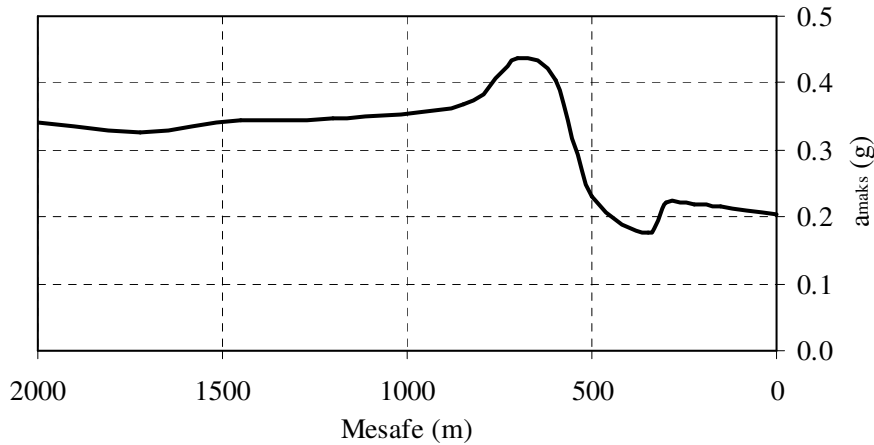


Şekil 7.18 : Düzce depremi K-G kaydının 2D analiz sonucu bulunanla karşılaştırılması.

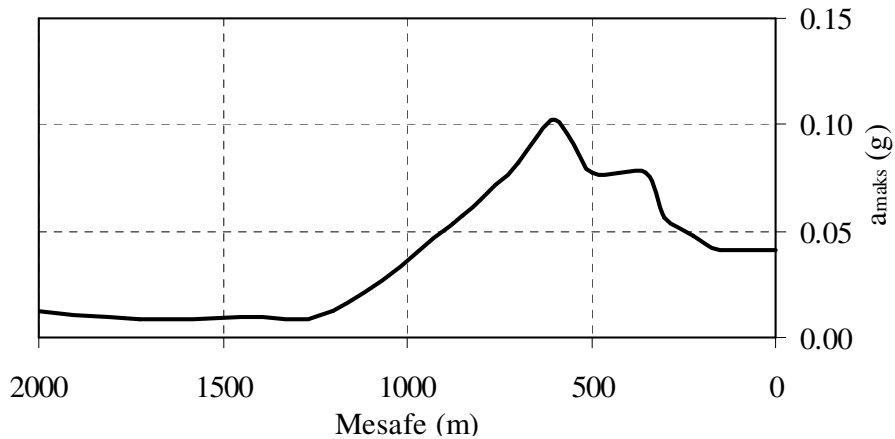


Şekil 7.19 : 12 Kasım 1999 Düzce depremi ivme kaydı K-G bileşenine ait mutlak ivme spektrumunun 2D analiz sonucu bulunanla karşılaştırılması.

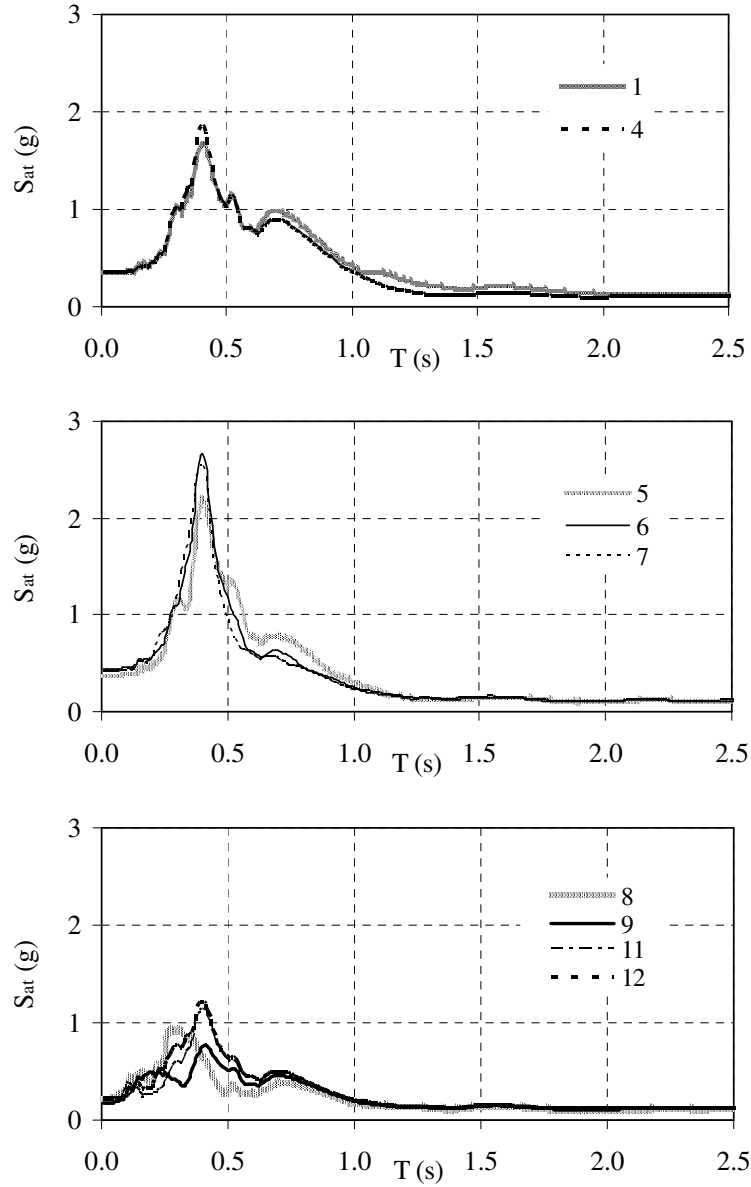
Düzce Ovası'nın kenarını temsil eden iki boyutlu modelde yüzeyde hesaplanan yatay doğrultudaki (K-G) ivme zaman geçmişlerinin maksimum değerlerinin kenardaki anakaya mostrasından ova ortasına doğru olan değişimi mesafeye bağlı olarak Şekil 7.20'de verilmiştir. Buradan da görülebileceği gibi maksimum yatay ivme değerlerinde Düzce Ovası'nın kenarındaki belli bir bölgede ani artış görülmektedir. Ayrıca ovanın kenardaki kısmında dalga dönüşümleri oluşacak, cisim dalgaları yüzey dalgalarına dönüştüğü gibi, yatay doğrultudaki dalgaların anakaya yüzeyine çarpması nedeniyle kenardaki bölgelerde ek düşey hareket meydana gelecektir. Yüzeydeki düşey ivme değerlerine sadece yatay hareketin etkisini belirleyebilmek için, düşey ivme zaman geçmişlerinin maksimum değerlerinin ova kenarından itibaren mesafeye bağlı değişimi Şekil 7.21'de gösterilmiştir. Buradan anlaşılabileceği gibi ova kenarlarında, yatay ivmelerin dışında düşey ivme değerleri de etkili olmaktadır.



Şekil 7.20 : 2D modelde ova kenarındaki maksimum yatay ivme değerlerinin (K-G) anakaya mostrasından ova ortasına doğru değişimi.



Şekil 7.21 : 2D modelde ova kenarındaki maksimum düşey ivme değerlerinin (K-G) anakaya mostrasından ova ortasına doğru değişimi.

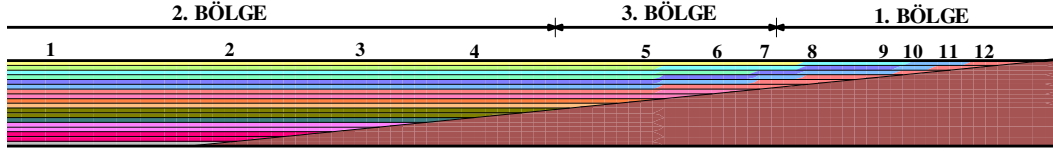


Şekil 7.22 : Ova kenarında üç farklı bölge için hesaplanan mutlak ivme spektrumları.

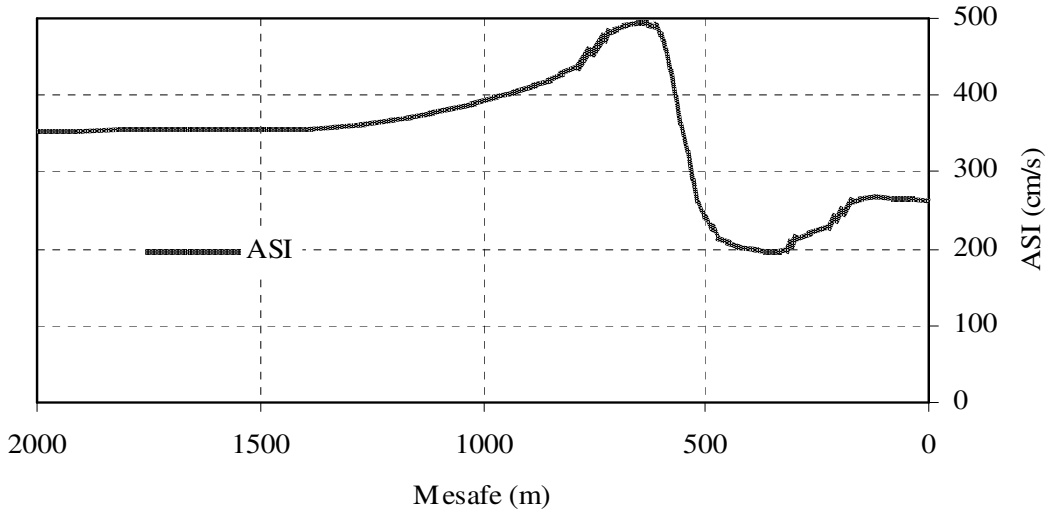
Ovanın kenarındaki farklı noktalar için hesaplanarak Şekil 7.22’de gösterilen, K-G doğrultusundaki mutlak ivme spektrumları incelendiğinde; ova yüzeyinin, ivme spektrumu karakteristikleri birbirinden farklı üç ayrı bölgeye ayrılabilceği görülmektedir (Şekil 7.23). 0.3-0.5 s aralığındaki spektral ivmelerin en yüksek ve diğerlerinden belirgin biçimde farklı değerlerde elde edildiği kısım 3.bölgedir. Ova ortasına doğru anakayaya kadar uzanan zemin tabakalarının kalınlığında oluşan artma dolayısıyla, 2.bölgedeki spektral ivme değerleri 0.5-1 s aralığında diğer bölgelere göre daha yüksek hesaplanmıştır.

İvme spektrumunun 0.1 ile 0.5 saniye periyotlar arasında integre edilmesiyle hesaplanan ve hakim periyotları belirtilen aralıkta değişen yapılarda deprem sırasında

oluşabilecek hasarla ilişkilendirilebilecek olan ivme spektrumu şiddetinin (ASI), Düzce Ovası modelinde kenardaki anakaya mostra sınırından ova ortasına doğru olan değişimi mesafeye bağlı olarak Şekil 7.24'te gösterilmiştir. Buradan da görülebileceği gibi, ova kenarındaki eğimli anakayanın yüzeydeki izdüşümünde belli bir bölgede (3. bölge) ASI değerleri aniden yükselmektedir.



Şekil 7.23 : Düzce Ovası'nın iki boyutlu modelinin ivme spektrumu karakteristiklerine göre bölgelere ayrılması.



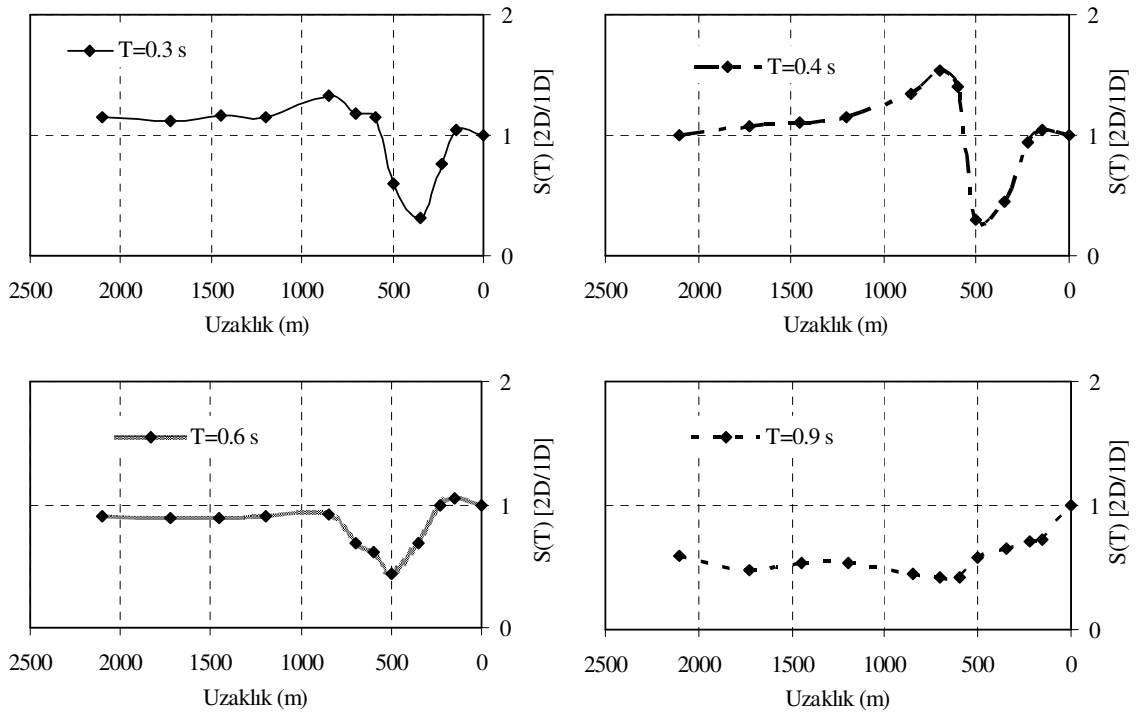
Şekil 7.24 : ASI değerinin iki boyutlu model yüzeyinde ova kenarından olan uzaklığa bağlı değişimi.

7.9.1 Bir ve iki boyutlu dinamik analiz sonuçlarının karşılaştırılması

12 Kasım 1999 Düzce Depremi sırasında ovada farklı kısımlarda meydana gelen hareketin elde edilmeye çalışılmasında iki boyutlu analiz yöntemi kullanılmış ve daha sonra uygulanabilirliği açısından tercih sebebi olan 1D analizler aynı bölgeler için yapılarak hesaplanan sonuçlar karşılaştırılmıştır. Bir boyutlu analizlerde zemin tabakalarının altındaki yarı uzay tabakasının başladığı kısım olarak iki boyutlu modellerde verilen anakaya sınırı kullanılmıştır.

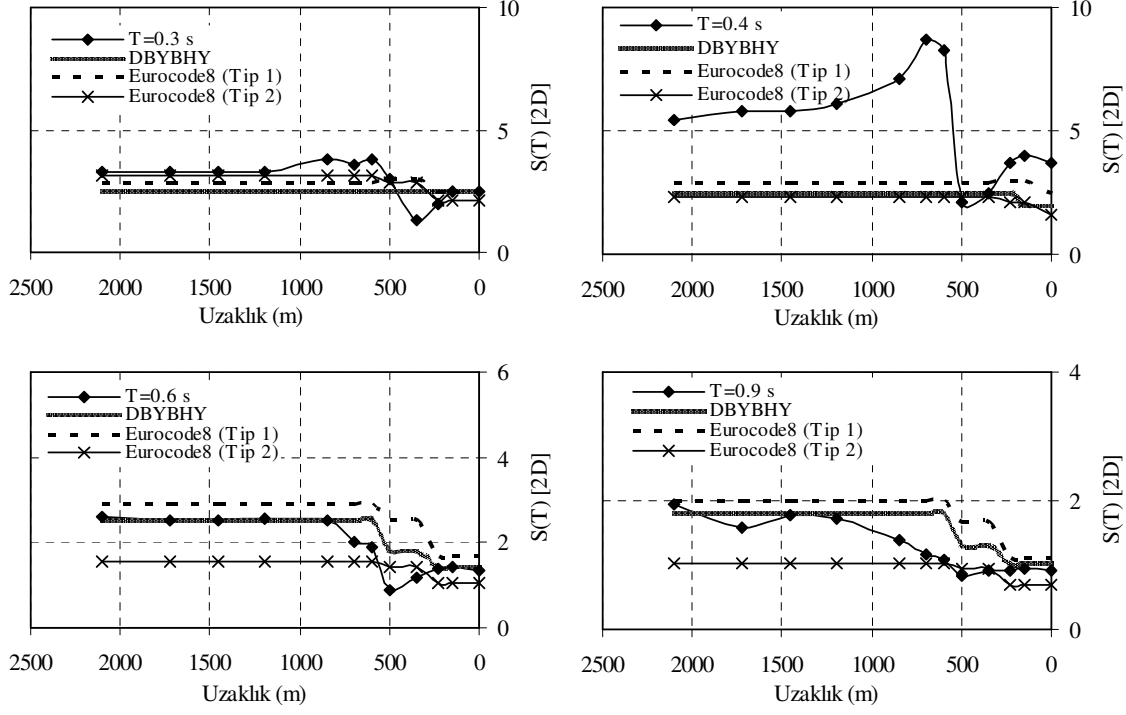
Ova yüzeyinin farklı noktaları için iki boyutlu analizle elde edilen ivme zaman geçmişlerinden mutlak ivme ve normalleştirilmiş ivme spektrumları hesaplanmıştır. Bu noktalar için mutlak ivme spektrumları, 1D analizle elde edilen yüzey ivme zaman geçmişleri kullanılmak suretiyle de hesaplanmıştır. Farklı kat sayısına,

rijitliğe ve taşıyıcı sisteme sahip yapıların deprem karşısındaki davranışına olan etkisi açısından 2D ve 1D analizle hesaplanan mutlak ivme spektrumlarının ova yüzeyindeki değişimi dört farklı periyot değeri için anlaşılmaya çalışılmıştır. Bu periyotlar $T=0.3$ s, 0.4 s, 0.6 s ve 0.9 s olarak seçilmiştir. Ova yüzeyi için 2D ve 1D analizlerle hesaplanan ivme spektrumları birbirlerine oranlanarak 2D/1D spektral ivme oranları bulunmaya çalışılmıştır. Bunlar, sırasıyla $T=0.3$ s, $T=0.4$ s, $T=0.6$ s ve $T=0.9$ s için Şekil 7.25’te gösterilmiştir.



Şekil 7.25 : Dinamik analiz sonucunda ova modeli için hesaplanan 2D/1D spektral ivme oranlarının ova kenarındaki değişimi.

Ayrıca yüzeyde farklı noktalarda hesaplanan mutlak ivme spektrumları kullanılarak efektif spektrum katsayıları $S(T)$ elde edilmiş ve yüzeydeki değişimleri, kenardaki anakaya mostrasından itibaren ova ortasına doğru uzaklığa bağlı olarak hem “DBYBHY”teki tasarım spektrumuyla hem de Eurocode 8’de büyük ve orta büyüklükteki depremler için verilen 1 ve 2 No’lu tasarım spektrumlarıyla karşılaştırılmıştır. Analizler sonucunda hesaplanan efektif spektrum katsayıları ile farklı yönetmeliklere göre elde edilen tasarım spektrumu katsayılarının ova kenarından itibaren uzaklığa bağlı değişimleri sırasıyla $T=0.3$ s, $T=0.4$ s, $T=0.6$ s ve $T=0.9$ s için Şekil 7.26’da verilmiştir. Farklı periyotlar için ova yüzeyindeki spektrum katsayıları hesaplanırken, deprem giriş hareketinin anakaya mostrasındaki en büyük değerine göre normalleştirme yapılmıştır.



Şekil 7.26 : 2D dinamik analiz sonucunda modelde hesaplanan efektif spektrum katsayılarının farklı tasarım spektrumu katsayılarıyla karşılaştırılması.

7.9.2 Sonuçlar

Tez çalışmasının bu bölümünde; iki boyutlu analizle bir boyutlu analizin farklılığını görebilmek ve iki boyutlu geometrinin, zemin yüzeyindeki deprem hareketinin şiddetinin dağılımı üzerindeki etkisini araştırabilmek için, çok sayıda can kaybı ve büyük hasara yol açmış olan 12 Kasım 1999 depreminin Düzce Ovası'nın kenarında oluşturduğu dinamik tepkinin geometriye bağlı değişimi elde edilmeye çalışılmıştır.

12 Kasım 1999 Düzce Depremi Meteoroloji İstasyonu K-G yüzey kaydı bir boyutlu geri dönüşümle anakayaya taşınmış, bölgede düzenlenen farklı arazi deneylerinin birlikte değerlendirilmesi neticesinde oluşturulan iki boyutlu Dinar Ovası modeli üzerinde yapılan bir ve iki boyutlu dinamik analizlerde bu kayıt kullanılmıştır. Ova yüzeyindeki ivme zaman geçmişleri, mutlak ivme spektrumları ve şiddet parametreleri elde edilmiş, ayrıca yüzeyde elde edilen bu değerlerin ova kenarındaki anakaya mostrası sınırından olan uzaklığa bağlı değişimleri incelenmiştir.

İki boyutlu dinamik analizlerle ovanın farklı noktaları için hesaplanan ivme spektrumları, bir boyutlu analizde elde edilen ivme spektrumlarına oranlanarak 2D/1D spektral ivme oranları bulunmuştur. Bunların değişimi, ovanın kenarından uzaklığa bağlı olarak sırasıyla $T=0.3$ s, $T=0.4$ s, $T=0.6$ s ve $T=0.9$ s için

incelenmiştir. Ayrıca yapılan 2 boyutlu dinamik analizler sonucunda modelin yüzeyindeki farklı noktalar için spektrum katsayıları elde edilmiştir. Anakaya mostrasındaki en büyük mutlak ivme değerine göre normalleştirilen ivme spektrumlarında $T=0.3$ s, 0.4 s, 0.6 s ve 0.9 s için hesaplanan efektif spektrum katsayılarının ova kenarından uzaklığa bağlı değişimleri “DBYBHY” ile Eurocode 8’de verilen tasarım spektrumu değerleriyle karşılaştırılmış ve böylece yöntemler arasındaki uyumluluğun değerlendirilmesi de yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda kısaca özetlenmiştir:

- Bir boyutlu dinamik analizlerde, ova kenarındaki gömülü anakaya sınırı nedeniyle oluşan etkiler hesaba alınamamaktadır. Düzce ovasındaki gibi anakayanın ova ortasına doğru eğimli olması hali hasar dağılımını etkileyebilmekte, bu durum ise iki boyutlu analizlerle açıklanabilmektedir.
- Düzce Meteoroloji İstasyonu’ndaki yüzey kaydının bir boyutlu geri dönüşümle anakayaya taşınmasında ve ovanın farklı noktalarındaki tek boyutlu dinamik davranışın bulunmasında geliştirilmiş eşdeğer lineer yöntem kullanılmış ve bunun için Dyne-q yazılımından faydalanılmıştır. Bu yöntem kullanılarak; dalga saçılımından kaynaklanan sönümün etkisi frekansa bağlı olarak analize katılabilmekte, efektif şekil değiştirme katsayısı frekansa bağlı olarak tanımlanabilmektedir. Böylece Shake91 yazılımının kullanılması halinde özellikle geri dönüşümde efektif kayma şekil değiştirmesi katsayısının seçimiyle ilgili problem ve belirsizliklerin giderilmesine çalışılmıştır.
- Meteoroloji İstasyonu’nda ölçülen kayıt 1D analizle geri dönüşüm yapılarak anakayaya taşınmış, daha sonra iki boyutlu analizle ova yüzeyine çıkarılmıştır. Buna rağmen hesaplanan ivme zaman geçmişi ve mutlak ivme spektrumu, gerçek kayıt ve buna ait ivme spektrumuyla büyük benzerlik göstermektedir. Buradan; seçilen geri dönüşüm yönteminin, kullanılan iki boyutlu modelin gerçekçi olduğu ve Meteoroloji İstasyonu’nun konumunun modelde belirtildiği gibi kenardaki anakayanın etkisine fazla maruz kalmayan bir bölgede olduğu ortaya çıkmaktadır.
- Ana şok kuvvetli yer hareketi kullanılarak yapılan iki boyutlu dinamik analizde, modelin hem anakaya hem de ova kısımlarındaki düğüm

noktalarında düşey ve yatay sönümleyiciler kullanılmış ve bunlara ek olarak yatayda sonsuza uzanan tabakaların sönüm kuvvetlerinin etkisi de katılmıştır.

- Düzce Ovası'nı temsil eden iki boyutlu modelde yüzeyde hesaplanan yatay ve düşey ivme zaman geçmişlerinin maksimum değerlerinin anakaya mostrasından ova ortasına doğru olan değişiminden de görülebileceği gibi Düzce Ovası'nın kenarındaki belli bir bölgede maksimum yatay ivme değerlerinde artış görülmektedir. Ayrıca ovanın kenardaki kısmında dalga dönüşümlerinin oluşması ve yatay doğrultudaki dalgaların anakaya sınırına çarpmasının kenardaki bölgelerde ek düşey hareket meydana getirmesi nedeniyle, ova kenarında sadece yatay hareketin etkisine bağlı düşey ivme değerlerinin de etkili olduğu görülmektedir.
- Bir bölgedeki binaların hakim periyodu 0.1-0.5 s aralığında ise (kat sayısı 1-6), bir deprem sırasında o bölgedeki yapı stoğunda oluşabilecek hasar derecesiyle bağlantı kurulabilecek en uygun parametrelerden birinin, ivme spektrumu şiddeti (ASI) olduğunu söylemek uygun olacaktır. İvme spektrumu şiddeti, kuvvetli yer hareketinin rijit yapılara etkisini göstermek açısından etkilidir. Yapılan iki boyutlu analizlerin değerlendirilmesi neticesinde ova kenarındaki eğimli anakayanın yüzeydeki izdüşümünde belli bir bölgede (3. bölge) ASI değerlerinin aniden çok yükseldiği ve 1. bölgeye göre % 100 civarı, ova ortasına doğru yer alan bölgelere göre ise yaklaşık % 30 oranında arttığı gözlenmiştir.
- 2D/1D spektral ivme oranlarının ovanın kenarından olan uzaklığa bağlı değişimi farklı kat sayısına, rijitliğe ve taşıyıcı sisteme sahip yapıların deprem karşısındaki davranışına olan etkisi açısından sırasıyla $T=0.3$ s, $T=0.4$ s, $T=0.6$ s ve $T=0.9$ s için incelenmiştir. 2D/1D spektral ivme oranları düşük periyot değerleri ($T=0.3$ s, 0.4 s) için, ova kenarının belirli bir bölgesinde aniden yükselmekte bununla birlikte daha yüksek periyot değerleri için genellikle 1'den küçük değerler almaktadır. Ayrıca yine ova kenarının anakaya mostrasına yakın bölümünde bütün periyot değerleri için 2D/1D spektral ivme oranları 1'den küçük değerler almıştır. Buradan; 2D/1D spektral ivme oranlarının, ova kenarında birbirine çok yakın mesafelerde çok farklılaşabileceği anlaşılmaktadır. Özellikle 3. bölgedeki 2D/1D spektral

ivme oranları, frekans değerleri yükseldikçe daha kısa mesafelerde birbirinden farklılaşmaktadır.

- İki boyutlu analiz sonucunda hesaplanan normalleştirilmiş efektif spektrum katsayılarının $T=0.3$ s, 0.4 s, 0.6 s ve 0.9 s için ova kenarından uzaklığa bağlı değişimleri “DBYBHY” ile Eurocode 8’de verilen tasarım spektrumu değerleriyle karşılaştırılmıştır. $T=0.4$ s için spektrum katsayısı, Düzce ovasının kenarındaki 3. bölgenin bir bölümünde 8 değerine kadar ulaşmıştır. Tasarım spektrumlarıyla iki boyutlu analiz sonucunda elde edilen değerler karşılaştırıldığında; $T=0.4$ s için “DBYBHY” ile Eurocode 8’de verilen tasarım spektrumu değerlerinin modelin genelinde çok yetersiz kaldığı görülmektedir. $T=0.3$ s için bu yetersizlik ihmal edilebilecek mertebede azalmış olup, $T=0.6$ s ve 0.9 s içinse her iki yönetmelikteki tasarım spektrumu değerleri de ovanın her bölgesi için yeterli bulunmuştur.

8. YEREL ZEMİN KOŞULLARININ VE ANAKAYA EĞİMİNİN DİNAMİK DAVRANIŞA ETKİSİ

8.1 Giriş

Zemin tabakalarının yatay yönde sınırlı genişliğe sahip olması, vadi kenarlarında dalga hareketi dönüşümlerine, yüzey dalgalarının oluşmasına sebep olmakta, iki boyutlu rezonans modelleri ortaya çıkmakta, yer hareketinin frekans içeriği vadilerin ortasından kenarlarına doğru uzaklığa bağlı olarak değişmekte, kuvvetli yer hareketi süresi uzayabilmektedir. Dolayısıyla ova ve vadilerde zemin büyütmesi, zemin cinsi ve dinamik özellikleri ile deprem dalgasının hakim periyodu ve genliğine bağlı olmakla birlikte davranışı bulunacak yerin vadi veya ova içindeki konumu bu konuda önemli rol oynamaktadır.

Bu bölümde, anakaya eğiminin, anakayadaki farklı deprem hareketlerinin ve yerel zemin koşullarının zemin büyütmesine etkisini incelemek amacıyla, iki boyutlu kayma dalgası hızı profilleri önceki bölümlerde verilmiş olan Dinar ve Düzce Ovası modelleri kullanılarak, kenardaki anakaya eğiminin değişmesi durumunda bu modellerdeki yüzey hareketlerinde meydana gelebilecek farklılaşma belirlenmeye çalışılmıştır. Yüzey hareketlerinin özelliklerinin değişimi dört farklı anakaya eğimi (yatay/düşey $[H/D]= 10, 5, 2$ ve 1) için elde edilmiştir. Bu analizler sırasında anakayadaki deprem hareketi şiddetinin ve frekans içeriğinin iki boyutlu modellere olan etkisini de inceleyebilmek amacıyla 6 farklı anakaya deprem hareketi kullanılmıştır. Yapılan analizlerde zemin grubunun da etkisini hesaplara katabilmek amacıyla; $V_{s30}=200$ m/s eşdeğer kayma dalgası hızına sahip orta plastisiteli kil tabakalarından ($I_p=\% 20-25$) oluştuğu kabul edilen Dinar ovası modeli ve $V_{s30}=245$ m/s eşdeğer kayma dalgası hızına sahip, üst tabakalarında siltli kil olduğu kabul edilen ($I_p=\% 10-15$) Düzce ovası kenarı modeli kullanılmıştır. Böylece farklı zemin grubuna sahip ovaların kenarında hem farklı depremler karşısında oluşan davranış anlaşılmaya hem de vadi/ovanın kenarındaki anakaya eğiminin değişmesi halinde yüzeydeki harekette nasıl bir farklılaşma oluşacağı belirlenmeye çalışılmıştır.

Bu amaçla; ova yüzeyindeki farklı noktalar için ivme zaman geçmişleri, mutlak ivme spektrumları ve şiddet parametreleri elde edilmiş, bu değerlerin ova kenarındaki anakaya mostrası sınırından olan uzaklığa bağlı değişimleri incelenmiştir. Bir ve iki boyutlu dinamik analiz sonuçlarının farklılığını belirleyebilmek amacıyla, iki boyutlu analizde ovanın farklı noktaları için hesaplanan ivme spektrumları, bir boyutlu analizle elde edilenlere oranlanmıştır. 2D/1D spektral ivme oranının (şiddet faktörü), modellerin kenarından ortasına olan uzaklığa bağlı değişimi sırasıyla $T=0, 0.3, 0.4, 0.6$ ve 0.9 s değerleri için incelenmiştir. Ayrıca yapılan iki boyutlu dinamik analizler sonucunda, farklı anakaya eğimine sahip her bir modelde yüzeydeki farklı noktalar için efektif spektrum katsayıları hesaplanmıştır. Elde edildikleri deprem hareketinin anakaya mostrasındaki en büyük ivme değerine göre normalleştirilen mutlak ivme spektrumlarında, $T=0.3, 0.4, 0.6$ ve 0.9 s değerleri için hesaplanan efektif spektrum katsayılarının ova kenarından uzaklığa bağlı değişimleri “DBYBHY” ile “Eurocode 8”de verilen tasarım spektrumu değerleriyle karşılaştırılmış ve böylece analiz sonuçlarıyla farklı tasarım spektrumları arasındaki uyumluluk belirlenmeye çalışılmıştır.

Daha sonra, farklı anakaya eğimine ($6^\circ, 11^\circ, 27^\circ$ ve 45°) sahip iki boyutlu ova/vadi modelleri üzerinde 6 ayrı deprem hareketi kullanılarak yapılan dinamik analizler sonucunda yüzeydeki farklı noktalar için elde edilen ivme zaman geçmişleri ile mutlak ivme spektrumları istatistiksel olarak değerlendirilmiş ve farklı anakaya eğimine sahip ova/vadi modellerinin kenarında yüzey kısmında bir boyutlu dinamik analizle hesaplanmış spektral ivme değerleriyle, iki boyutlu analizle hesaplanmış değerler arasındaki bağıntı belirlenmeye çalışılmıştır. Bu amaçla; farklı anakaya eğimine sahip ova/vadi modelleri için elde edilmiş olan maksimum yatay büyütmeler ve farklı periyot değerleri için hesaplanmış olan 2D/1D spektral ivme oranları istatistiksel açıdan ele alınmıştır.

8.2 Seçilen Deprem Hareketlerinin Özellikleri

Zemin yüzeyindeki deprem kayıtları, deprem olgusunun gelişiminde rol oynayan üç ayrı kademe hakkında bilgi içermektedir: a) Kaynak (fay yırtılması), b) Sismik enerjinin yayılma yolu, c) Kayıt sahasındaki yerel jeolojinin etkisi.

Deprem hareketi için fiziksel genlik, $r(t)$; potansiyel olarak bir sahada kaydedilmiş ivme, hız veya yerdeğiştirmeyi temsil etmektedir ve zaman ortamında üç ayrı faktörün konvolüsyonu olarak yazılabilir:

$$r(t) = e(t) \times p(t) \times s(t) \quad (8.1)$$

Bağıntıda $e(t)$; kaynaktaki sinyali, $p(t)$; kaynaktan deprem kaydının alındığı sahaya ilerleyen dalgada meydana gelen değişimleri karakterize eden fonksiyonu ve $s(t)$; yerel zemin koşullarının deprem hareketi üzerindeki etkisini göstermektedir. Yukarıdaki denklem, frekans ortamında aşağıdaki gibi yazılabilir:

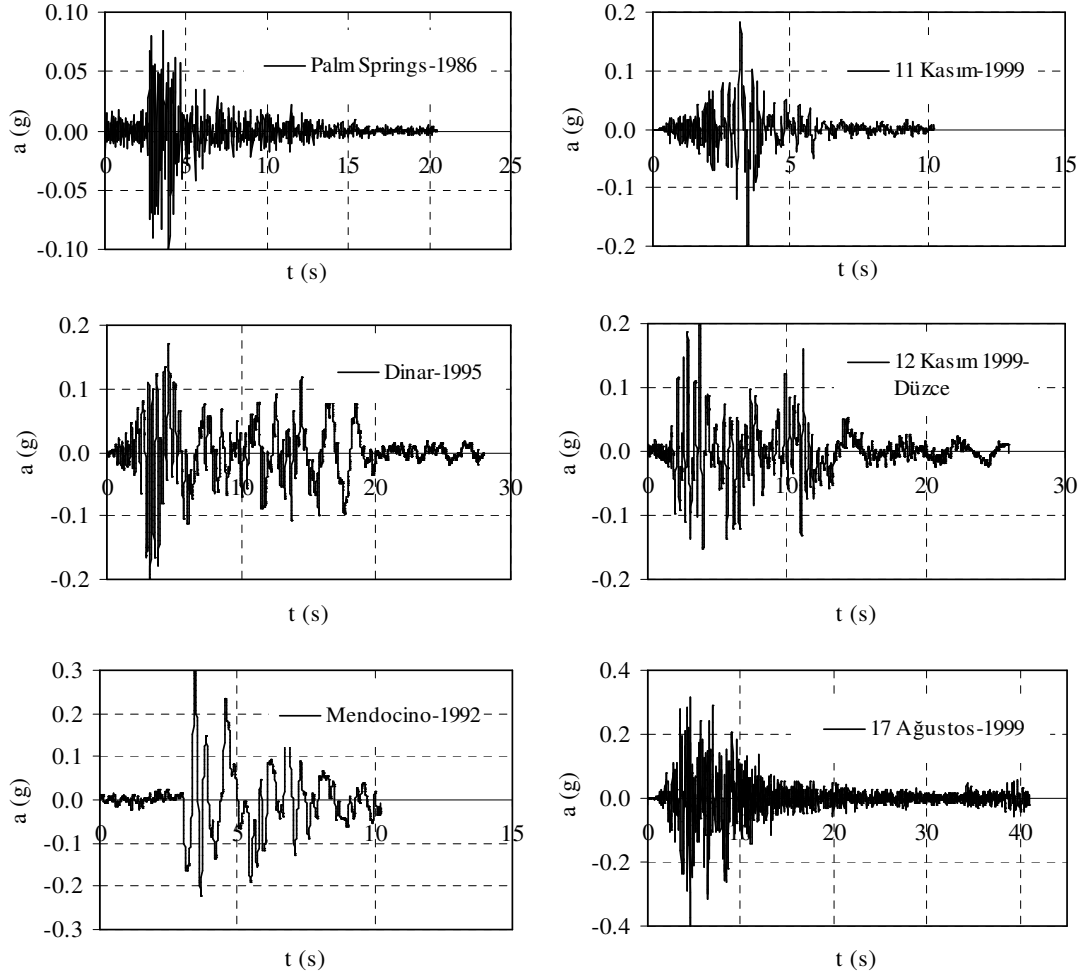
$$R(f) = E(f) \times P(f) \times S(f) \quad (8.2)$$

Burada $R(f)$, $E(f)$, $P(f)$ ve $S(f)$ sırasıyla zamana bağlı $r(t)$, $e(t)$, $p(t)$ ve $s(t)$ fonksiyonlarının Fourier dönüşümlerini göstermektedir. Yukarıda tanımlanan faktörler birbirine bağımlı veya bağımsız olarak zemin tabakalarının deprem hareketi karşısındaki tepkisine katkıda bulunmaktadır (Pitilakis, 2004).

Dolayısıyla anakayadaki deprem hareketinin frekans özellikleri yukarıda belirtilen $E(f)$ ve $P(f)$ fonksiyonlarının kombinasyonuna yani depremin büyüklüğü, sismotektonik yapı, kırılma mekanizması, merkez üstü uzaklığı ve dalga yayılım yolu özelliklerinin hepsine birden bağlıdır. Bu nedenle, üzerinde bir ve iki boyutlu analizler yapılan iki boyutlu ova/vadi modellerinde, anakayadaki deprem hareketinin şiddeti ve frekans içeriğinin zemin tabakalarının dinamik davranışına etkisini yansıtabilmek amacıyla, birbirinden farklı mühendislik şiddet parametrelerine ($a_{maks_k}=0.1g-0.4g$) ve frekans içeriğine ($v_{maks_k}/a_{maks_k}=0.03-0.21$) sahip yurt içi ve dışında kaydedilmiş altı ayrı kuvvetli yer hareketi kullanılmıştır. Analizlerde kullanılan ivme zaman geçmişleri uygun frekans sınırları içerisinde filtrelenmiş ve taban düzeltmeleri yapılmıştır.

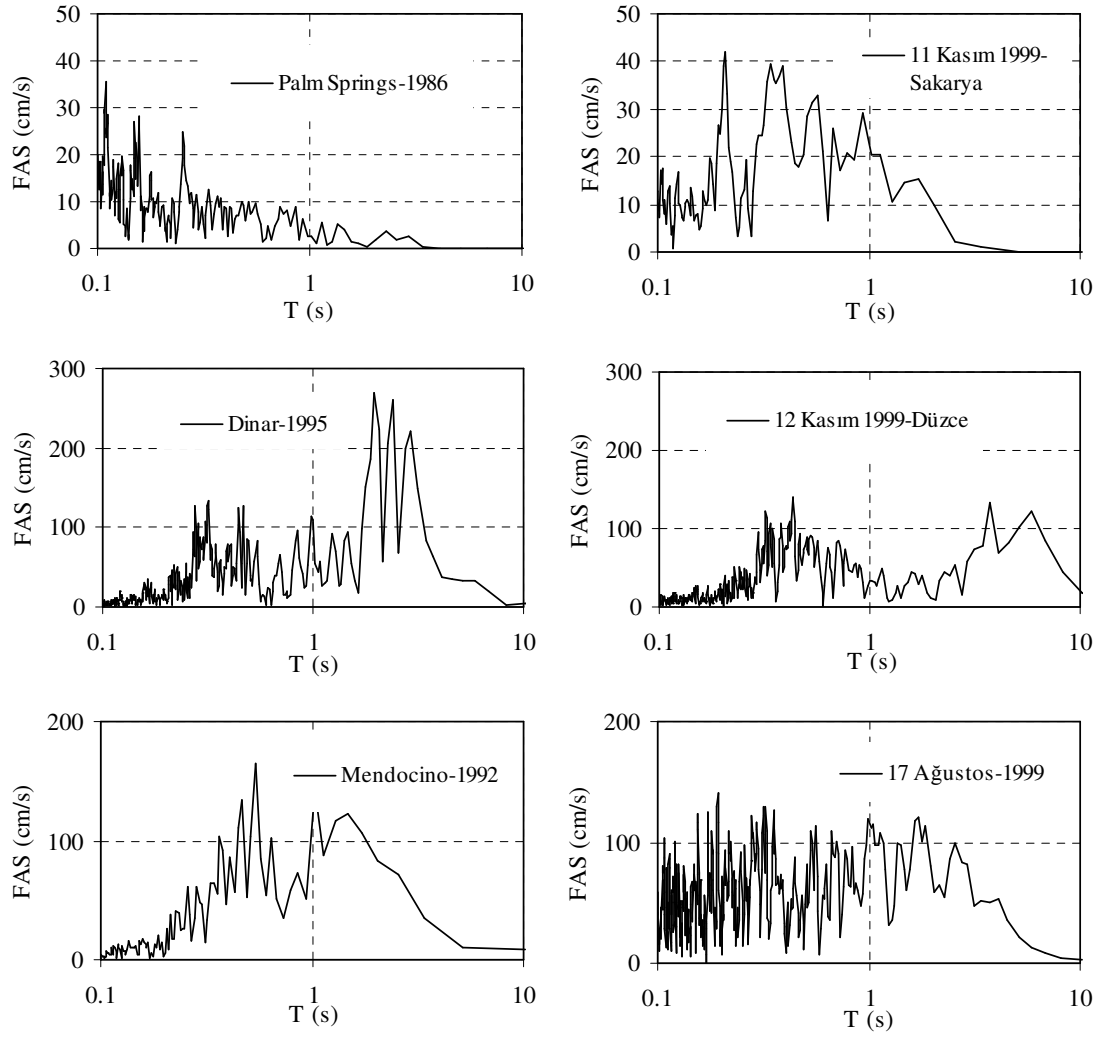
İki boyutlu ova/vadi modellerinin dinamik analizinde kullanılacak ivme zaman geçmişleri, anakaya mostrasında kaydedilmiş depremlerin frekans özelliklerine sahip olacak biçimde seçilmiştir. Yapılacak bir ve iki boyutlu analizlerden elde edilecek sonuçların özellikle Türkiye'deki farklı sismotektonik yapıların özelliklerini yansıtmaları istendiğinden, analizlerde ikisi; Sakarya Bayındırlık ve İskan Müdürlüğü binasında 17 Ağustos Kocaeli ve 11 Kasım Sakarya depremlerinde kaydedilen, bir tanesi; 1 Ekim 1995 Dinar depreminde Meteoroloji istasyonunda alınan kuvvetli yer

hareketi kaydının D-B bileşeninin anakayaya geri dönüşümle taşınmasıyla elde edilen, diğer biri; 12 Kasım 1999 Düzce depreminde Meteoroloji istasyonunda elde edilen kuvvetli yer hareketi kaydının K-G bileşeninin anakayaya geri dönüşümle taşınmasıyla elde edilen ve diğer iki tanesi Amerika San Andreas fay hattı üzerinde kaydedilmiş olan toplam 6 adet ivme zaman geçmişi kullanılmıştır (Şekil 8.1).



Şekil 8.1 : Analizlerde kullanılan ölçeklendirilmiş anakaya ivme-zaman geçmişi.

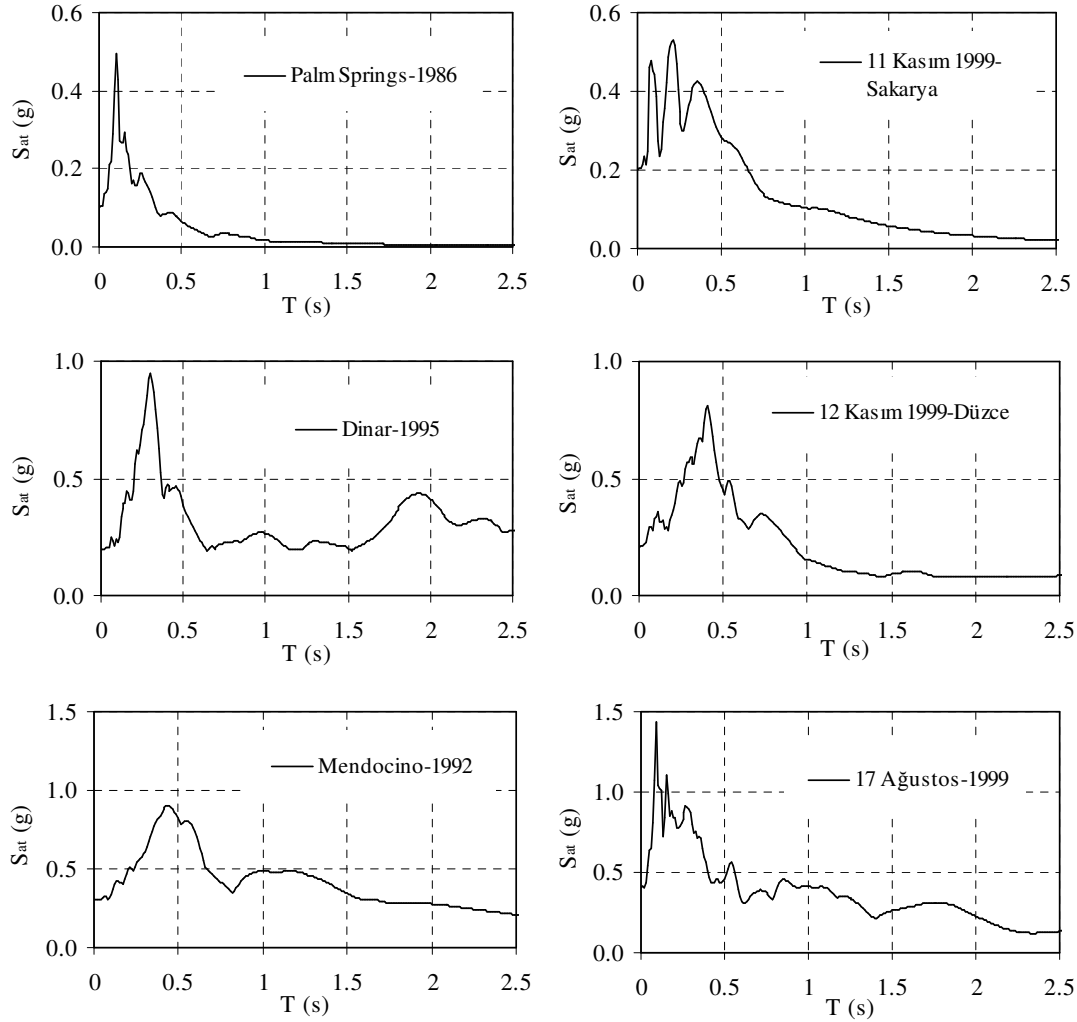
Sakarya Bayındırlık ve İskan Müdürlüğü binasının bulunduğu yerde kumtaşı formasyonu bulunmaktadır ve SPT-N30 değerlerinin 50'den büyük olması dolayısıyla bu bölgenin mühendislik anakayası olarak kabul edilebileceği düşünülmüştür. Yurt dışı depremleri, sismotektonik yapısı Kuzey Anadolu fay hattıyla uyumlu ve sağ yanal atımlı faylanma mekanizmasına sahip olan San Andreas fay hattı üzerinde oluşan 1992 Mendocino ve 1986 Palm Springs depremlerinde USGS tarafından kaya ve ayrılmış granit gibi formasyonlar üzerinde konumlandıkları belirtilen istasyonlarda alınmış kayıtlardan oluşmaktadır.



Şekil 8.2 : Analizlerde kullanılan ivme-zaman geçmişlerinin Fourier spektrumları.

Daha önce, 1995 Dinar depreminde Dinar Meteoroloji istasyonunda alınmış olan kuvvetli yer hareketi kaydı ve 12 Kasım 1999 Düzce depreminde Düzce Meteoroloji istasyonunda alınmış olan kuvvetli yer hareketi kaydı bir boyutlu geliştirilmiş eşdeğer lineer analiz yöntemi kullanılarak geri dönüşümle anakaya ($V_s=1000$ m/s) taşınmış ve hipotetik anakaya ivme kayıtları elde edilmiştir. Farklı anakaya eğimine sahip Dinar ovası ve Düzce ovası modelleri üzerinde analizlerin yapıldığı bu çalışmada; daha önce anakaya taşınmış olan Dinar depremi meteoroloji istasyonu kaydı D-B bileşeni ve Düzce depremi meteoroloji istasyonu kaydı K-G bileşeni, anakaya mostrasındaki en büyük ivme değerleri yaklaşık 0.2 g olacak biçimde ölçeklendirilerek kullanılmışlardır. Yapılan dinamik analizlerde kullanılan diğer dört ivme zaman geçmişi; depremlerin frekans içeriğinin değişmemesi için, orijinal deprem kayıtlarındaki en büyük mutlak ivme değerleri 0.1 g, 0.2 g, 0.3 g ve 0.4 g'den en yakın olanına ölçeklendirilerek elde edilmiştir. Bir ve iki boyutlu dinamik

analizlerde kullanılan yeniden ölçeklendirilerek elde edilmiş ivme zaman geçmişleri Şekil 8.1’de, bunlara ait Fourier spektrumları Şekil 8.2’de ve mutlak ivme spektrumları Şekil 8.3’te gösterilmiştir.



Şekil 8.3 : İvme-zaman geçmişlerine ait mutlak ivme spektrumları.

Bir ve iki boyutlu dinamik analizlerde kullanılan eşdeğer lineer malzeme modelindeki efektif kayma şekil değiştirmesi katsayısının deprem büyüklüğüyle bağlantılı olduğu gözönüne alınarak, 1 Ekim 1995 Dinar depremi ve 12 Kasım 1999 Düzce depremi dışında maksimum ivmeleri 0.1 g ile 0.4 g arasında değişecek biçimde ölçeklendirilmiş depremlerin büyüklükleri, Özbey ve diğ. (2004) tarafından ülkemizde Kuzey Anadolu Fay hattı için verilen azalım ilişkisi,

$$\text{Log}_{10} A_{\text{Anakaya}} = 3.287 + 0.503 (M - 6) - 0.079 (M - 6)^2 - 1.1177 \text{Log}_{10} \sqrt{R^2 + h^2} \quad (8.3)$$

bağıntısı yardımıyla hesaplanmıştır. Bağıntıda odak derinliğinin (h) yaklaşık 15 km olduğu ve vadi modelinin depremin merkez üstünde olduğu varsayılmıştır. Bu

şekilde, yeniden ölçeklendirilmiş olan depremler için Kuzey Anadolu Fay hattı mekanizmasıyla uyumlu yeni büyüklükler elde edilmiştir. Bir ve iki boyutlu dinamik analizlerde kullanılan ivme zaman geçmişlerinin ait olduğu depremlere ait orijinal bilgiler, ölçeklendirilmiş ivme zaman geçmişlerini meydana getirdiği kabul edilen depremlerin genel bilgileri ve bunlara ait deprem şiddet parametreleri, frekans ve süre özellikleri Çizelge 8.1’de verilmiştir.

Çizelge 8.1 : Dinamik analizlerde kullanılan deprem hareketlerinin özellikleri.

Orijinal Kayıt	Palm Springs-1986	Sakarya-11\11\1999	Dinar-1995	Mendocino-1992	Kocaeli-17\8\1999	Düzce-12\11\1999
İstasyon	Silent Valley	Sakarya Bay. ve İsk. Müd.	Meteoroloji İstasyonu	Cape Petrolia_EEL River Valley	Sakarya Bay. ve İsk. Müd.	Meteoroloji İstasyonu
Formasyon	Ayrışmış Granit	Kumtaşı	Kaya (Geri dönüşüm)	Kaya	Kumtaşı	Kaya (Geri dönüşüm)
Büyüklik	$M_L=5.9$	$M_d=5.7$	$M_L=5.9$	$M_L=6.5$	$M_d=7.4$	$M_w=7.2$
Derinlik (km)	11.1	8.9	12.0	14.6	18.0	14.0
Merkez üstü uzaklığı (km)	19.5	17.5	2.0	15.0	35.0	13.0
a_{maks} (g)	0.10	0.21	0.11	0.21	0.41	0.15
Ölçeklendirilmiş Kayıt						
Büyüklik, M	6.0	6.7	5.9	7.2	7.6	7.2
$a_{maks,k}$ (g)	0.1	0.2	0.2	0.3	0.4	0.2
$v_{maks,k}$ (cm/s)	2.7	13.8	34.8	36.7	36.5	30.7
$d_{maks,k}$ (cm)	3.0	1.6	17.1	14.2	16.3	22.1
$2\pi v_{maks,k}/a_{maks,k}$ (s)	0.17	0.44	1.12	0.78	0.58	0.98
a_{rms} (cm/s ²)	14.9	29.6	42.8	70.5	51.2	36.3
I_a (m/s)	0.07	0.14	0.82	0.82	1.72	0.55
CAV (cm/s)	164.2	166.9	818.3	474.6	1161.0	606.4
VSI (cm)	10.3	40.4	142.3	166.3	134.1	64.1
ASI (cm/s)	58.0	147.1	214.8	254.4	286.5	225.0
SMA (cm/s ²)	41.4	103.0	167.4	217.5	286.3	157.0
A95 (cm/s ²)	96.9	193.7	192.8	292.4	384.8	201.0
Parantezlenmiş süre (s)	17.3	8.9	27.1	9.1	39.6	25.3
Anlamli süre (s)	6.7	3.2	15.3	4.9	13.5	12.0

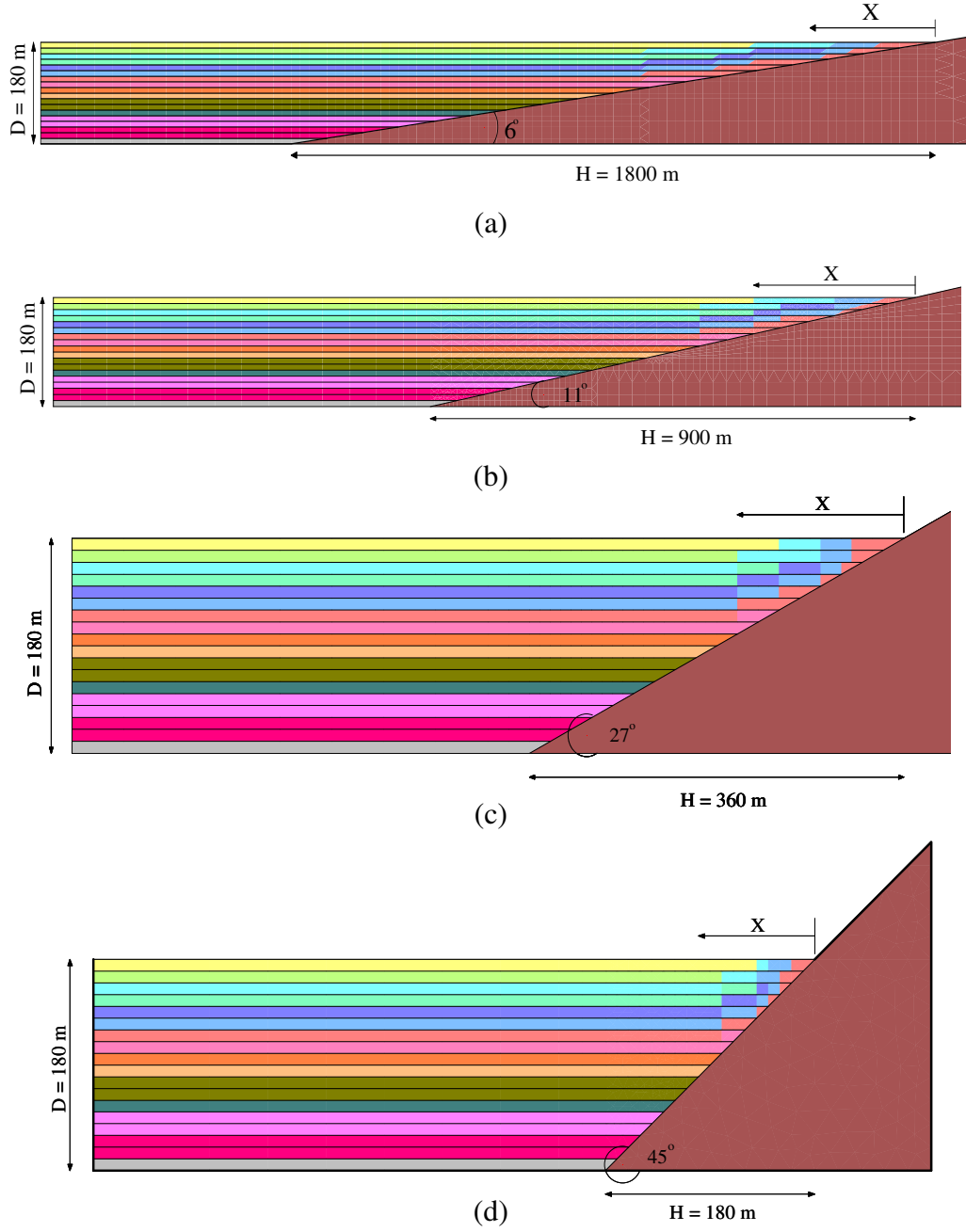
CAV: Eklenik mutlak hız VSI:Hız spektrumu şiddeti SMA:En büyük sürekli ivme I_a :Arias şiddeti

8.3 Analizlerde Kullanılan Farklı Anakaya Eğimine Sahip Ova/Vadi Modelleri

Deprem sırasında oluşan yer hareketinin genliğinde, frekans içeriğinde ve süresinde; incelenen sahanın bulunduğu konuma bağlı olarak meydana gelen değişimlere “yerel etkiler” denir. Yerel etkiler; zemin tabakalarının dinamik ve geometrik özellikleri, yüzey/anakaya topoğrafyası gibi geometrik özellikler ve yanal jeolojik süreksizlikler nedeniyle gelen deprem dalgasının genlik, frekans içeriği ve süresi gibi özelliklerindeki değişimi kapsar.

Zemin tabakalarının yatay doğrultuda sınırlı genişliğe sahip olması, ova/vadi kenarlarında dalga dönüşümlerine sebep olmakta, hareketin frekans içeriği ve yüzeydeki etkisi ova veya vadilerin kenarlarından ortasına doğru değişebilmektedir. Deprem hareketinde meydana gelen bu değişime; vadi derinliği, genişliği, vadi kenarındaki anakayanın eğimi, zemin tabakalaşması ve anakayadaki deprem hareketinin özellikleri etki etmektedir. Bütün bunlar dikkate alındığında; bir deprem sırasında vadi/ova gibi oluşumların kenarında kurulmuş yerleşim bölgelerinde oluşabilecek hasar dağılımını etkileyebilecek en önemli potansiyel faktörlerden birinin de ova/vadi kenarındaki anakaya eğimi olduğu söylenebilir.

Vadi ve ovalarda, kenardaki anakaya eğiminin deprem sırasında yüzeyde oluşan harekete etkisini incelemek amacıyla dört farklı anakaya eğimi ($H/D=10$ [6°], $H/D=5$ [11°], $H/D=2$ [27°], $H/D=1$ [45°]) için geometrileri Şekil 8.4’te gösterilen iki boyutlu modeller üzerinde bir ve iki boyutlu dinamik analizler yapılmıştır. Analizlerde kullanılan modellere ait geometrik özellikler Çizelge 8.2’de verilmiştir. Anakayadaki deprem hareketi şiddetinin ve frekans içeriğinin iki boyutlu modellere olan etkisini görebilmek amacıyla analizlerde altı farklı anakaya deprem hareketi kullanılmıştır. Ayrıca yapılan dinamik analizlerde sırasıyla, ova kenarındaki eğimli anakaya sınırının ($V_s=1000$ m/s) ova ortasına doğru dalımının sona erdiği kısımdan sonra üzerinde yerel zemin sınıfı Z4 olan tabakaların ($V_{s30}=200$ m/s, CL , $I_p=\%$ 20-25) bulunduğu Dinar ovası modeli ile eğimli anakaya sınırının ova ortasına doğru dalımının sona erdiği kısımdan sonra üzerinde yerel zemin sınıfı Z3 olan tabakaların ($V_{s30}=245$ m/s, CL , $I_p=\%$ 10-15) yer aldığı Düzce ovası kenarı modeli kullanılmıştır (Çizelge 8.2). Böylece hem farklı zemin grubuna sahip Dinar ve Düzce ovası modellerinin farklı depremler karşısında gösterdiği davranış anlaşılmasına çalışılmış hem de ovanın kenarındaki anakaya eğiminin değişmesi halinde, yüzeydeki harekette nasıl bir değişim olacağı belirlenmeye çalışılmıştır.



Şekil 8.4 : İki boyutlu dinamik analizlerde kullanılan farklı anakaya eğimine sahip ova/vadi kenarı modelleri.

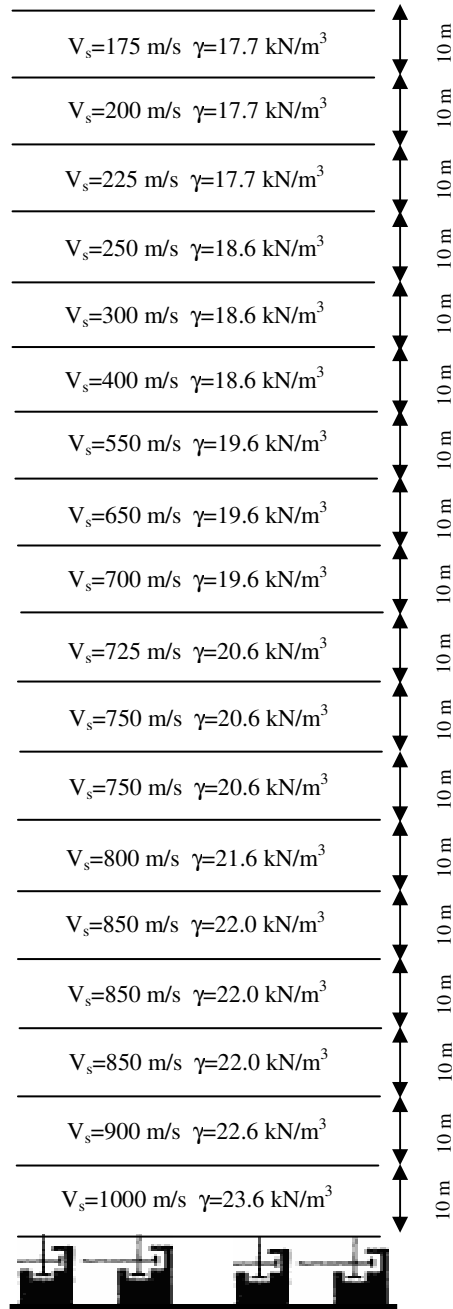
Çizelge 8.2 : Dinamik analizlerde kullanılan ova/vadi kenarı modellerinin geometrik ve mühendislik özellikleri.

Model No:	D (m)	H (m)	H/D	α	V_{s30} (m/s)	I_p (%)
1	180	1800	10	6°	200 (245)	20-25 (10-15)
2	180	900	5	11°	200 (245)	20-25 (10-15)
3	180	360	2	27°	200 (245)	20-25 (10-15)
4	180	180	1	45°	200 (245)	20-25 (10-15)
Not: Parantez içindeki değerler Düzce Ovası modeline aittir.						

8.4 Dinar Ovası Modeli Kullanılarak Yapılan Analizler

8.4.1 İki boyutlu dinamik analizler

Kenardaki anakayanın ova ortasına doğru dalımının, farklı eğimlere sahip olacak biçimde seçildiği dört ayrı modelde; ova ortası tarafındaki zemin tabakaları için, daha önce Dinar ovasında eş zamanlı mikrotremor ağ ölçümleri yardımıyla belirlenmiş olan kayma dalgası hızı profili kullanılmıştır (Şekil 8.5).

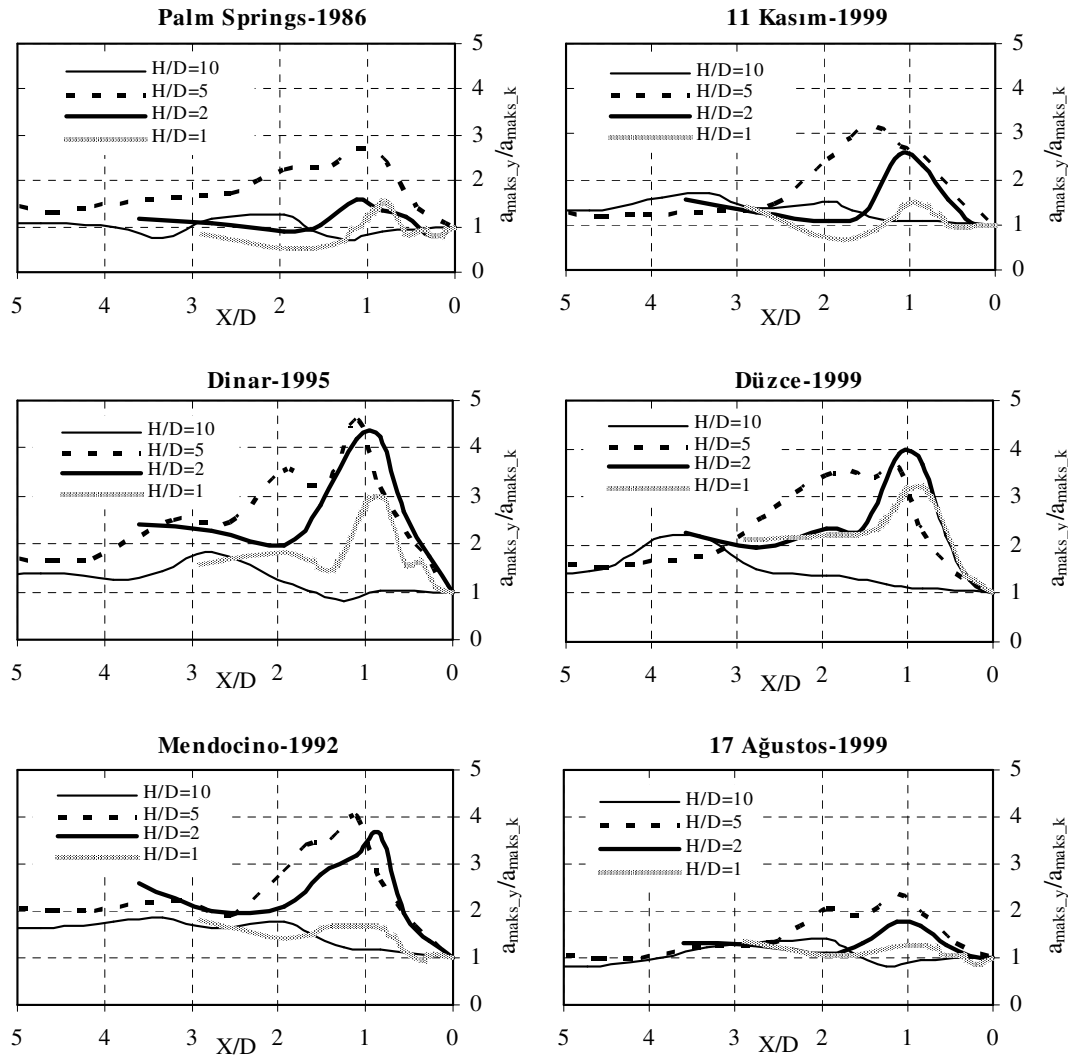


Şekil 8.5 : İki boyutlu modellerde ova/vadi ortasında kullanılan idealleştirilmiş kayma dalgası hızı profili.

Zemin profilinde sismik mühendislik anakayası ($V_s=700$ m/s) olarak kabul edilebilecek tabakaların üstündeki malzemenin orta plastisiteli kil (CI, PI= % 20-25) olduğu varsayılmış ve sönüm oranı ile kayma modülünün tekrarlı değişimi Ishibashi-Zhang (1993) bağıntısı kullanılarak modellenmiştir. Zemin tabakalarından rijit olan anakaya geçiş bölgesinde, yumuşak ve orta sertlikte ayrılmış kayaçların yer aldığı varsayılmış ve bu bölge için sönüm oranı ile kayma modülünün tekrarlı kayma şekil değiştirmesine bağlı değişimi Schnabel ve diğ. (1972) bağıntısı yardımıyla modellenmiştir. Dinamik analizlerde eşdeğer lineer yöntem uygulanmış, bir boyutlu analizlerde Dyne-q ve iki boyutlu analizlerde Quake/W yazılımları kullanılmıştır.

Önceki bölümlerde üzerinde durulan “kutu etkisi”ni en aza indirmek için iki boyutlu modelin hem düşey hem de yatay sınırlarında ilgili tabakaların basınç ve kayma dalgası hızlarıyla orantılı sönümleyiciler kullanılmıştır. Tabandaki yatay sınır, her iki doğrultuda (düşey ve yatay) yerleştirilen sönümleyiciler yardımıyla modellenmiştir. Tabandaki yatay sönüm katsayıları hesaplanırken rijit anakaya kabulüyle $V_s=1500$ m/s alınmıştır (Cyclic1D). Modelin hem anakaya hem de ova kısımlarındaki düğüm noktalarında düşey ve yatay sönümleyiciler kullanılmış ve bunlara ek olarak yatayda sonsuza uzanan tabakaların sönüm kuvvetlerinin etkisi de iki boyutlu modele katılmıştır. Bu kuvvetler, sonsuza uzanan zemin tabakalarının tek boyutlu dinamik analiziyle elde edilen tabaka parçacık hızlarının $\{\dot{u}_f\}$ yatay doğrultudaki sönüm katsayısıyla çarpılmasıyla hesaplanmış ve deprem süresince etkiyen zamana bağlı sınır gerilmesi olarak modele her iki düşey sınırdaki da uygulanmıştır.

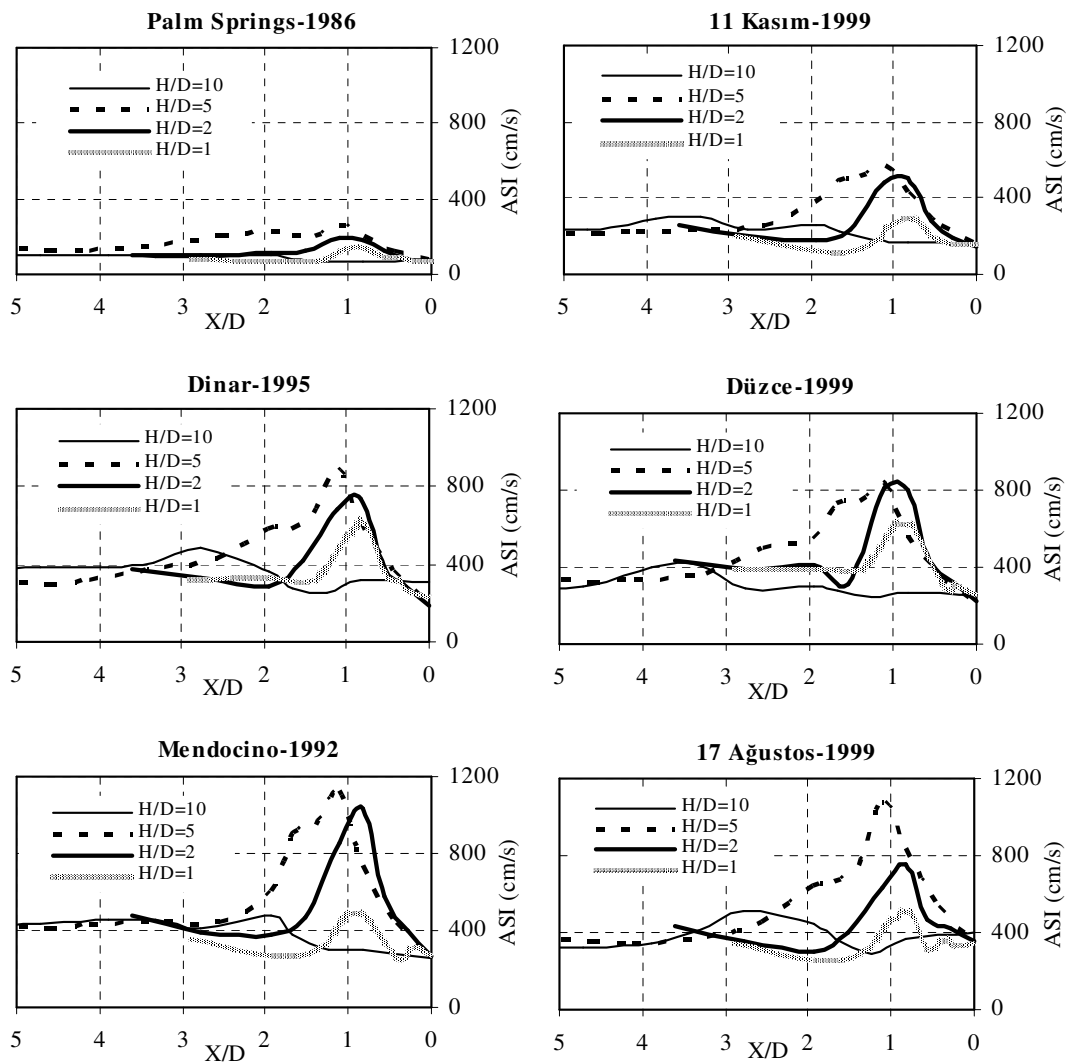
Frekans içeriği ve şiddet değerleri farklı olan altı ayrı kuvvetli ivme zaman geçmişi, anakaya eğimleri birbirinden farklı 4 ayrı ova modeline uygulanmıştır. Yapılan analizler sonucunda, ova yüzeyindeki farklı noktalar için elde edilen yatay ivme zaman geçmişlerinin maksimum mutlak değerleri (a_{maks_y}), anakaya mostrasındaki ivme zaman geçmişlerinin en büyük mutlak değerine (a_{maks_k}) bölünerek normalleştirilmiştir. Farklı depremler için ova yüzeyinde hesaplanan bu değerler, yani zaman ortamındaki zemin büyütmesi değerleri, farklı anakaya eğimine sahip modeller için Şekil 8.6’da gösterilmiştir. Şekilde yatay eksen (X/D), ova kenarındaki anakaya mostrasından olan uzaklığın ova derinliğine olan oranını belirtmektedir. Yani farklı anakaya eğimine sahip vadilerde farklı depremler karşısında yüzeyde hesaplanan zemin büyütmesi değerlerinin kenardaki anakaya mostrasından ova ortasına doğru normalleştirilmiş uzaklığa (X/D) bağlı değişimi verilmektedir.



Şekil 8.6 : Farklı anakaya eğimine sahip ova/vadi modellerinde farklı anakaya hareketleri için elde edilen zemin büyütmelerinin yüzeydeki değişimi.

İvme spektrumu şiddeti (ASI) değerleri, ivme spektrumunun 0.1 ile 0.5 saniye periyotlar arasında integre edilmesiyle hesaplanır ve hakim periyotları belirtilen aralıkta değişen yapılarda deprem sırasında oluşabilecek hasarla ilişkilendirilebilir. Farklı anakaya eğimine sahip vadilerde farklı deprem hareketleri için yüzeyde elde edilen ASI değerlerinin vadi kenarındaki anakaya mostrası sınırından ova ortasına doğru X/D büyüklüğüne bağlı değişimi Şekil 8.7’de gösterilmiştir. Şekil 8.6 ve Şekil 8.7’in her ikisinden de görülebileceği gibi model yüzeyindeki zemin büyütmeleri ve ASI değerleri, kenardaki anakaya mostrasından ova ortasına doğru ilerledikçe belirli bir bölgede en büyük değerlerine ulaşmakta ve daha sonra ova ortasına doğru yaklaştıkça yine neredeyse anakaya mostrasında sahip oldukları değerlere doğru azalmaktadırlar. Depremin şiddeti ve kenardaki anakaya eğiminden bağımsız olarak aynı davranış bütün modellerde hakimdir. Ayrıca grafiklerden rahatça

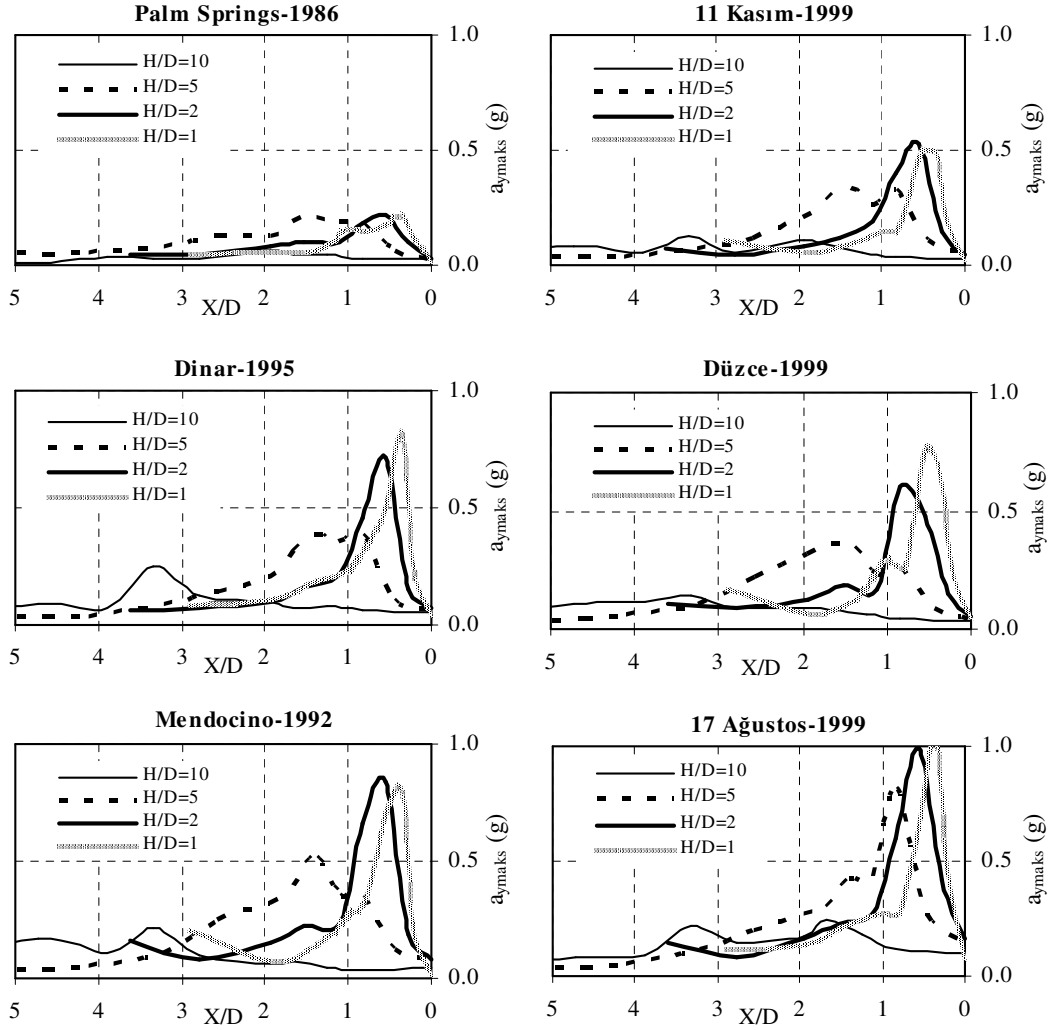
görülebilmektedir ki; farklı depremler için hesaplanan zemin büyütmesi (a_{maks_y}/a_{maks_k}) ve ivme spektrumu şiddeti değerleri (ASI), anakaya eğimine bağlı olmaksızın X/D boyutsuz büyüklüğünün belirli bir değerinden sonra birbirine yakınsamaktadırlar. Dört ayrı anakaya eğiminin ($H/D=10, 5, 2, 1$) kullanıldığı modellerde ova kenarlarındaki zemin büyütmesi ve ASI değerlerindeki en büyük artışlar, anakaya eğiminin 11° ve 27° ($H/D=5, 2$) olduğu durumlarda ortaya çıkmıştır. Daha düşük ($H/D=10, \alpha=6^\circ$) ve daha yüksek eğime ($H/D=1, \alpha=45^\circ$) sahip ova modellerinde zemin büyütmesi ve ASI değerlerinde ova kenarında meydana gelen artışlar diğer modellerle kıyaslandığında küçülmektedirler.



Şekil 8.7 : Farklı anakaya eğimine sahip ova modellerinde farklı anakaya hareketleri için hesaplanan ASI değerlerinin yüzeydeki değişimi.

Bilindiği üzere, vadi/ova gibi oluşumların kenarlarında deprem sırasında dalga dönüşümleri oluşur; cisim dalgaları yüzey dalgalarına dönüştüğü gibi, yatay doğrultudaki dalgaların anakaya sınırına çarpması nedeniyle kenardaki bölgelerde ek

düşey hareket meydana gelir. Yüzeydeki düşey ivme değerlerine sadece enine doğrultudaki hareketin etkisini belirleyebilmek amacıyla, düşey ivme zaman geçmişlerinin maksimum değerlerinin X/D 'ye bağlı değişimi elde edilmiştir (Şekil 8.8). Bu grafiklerden de görülebileceği gibi, ova kenarındaki anakaya eğimi arttıkça, depremin frekans muhtevasından bağımsız olarak kenardaki düşey ivme değerleri de yükselmekte, ayrıca bu durum anakayadaki deprem şiddeti arttıkça daha da belirgin hale gelmektedir.



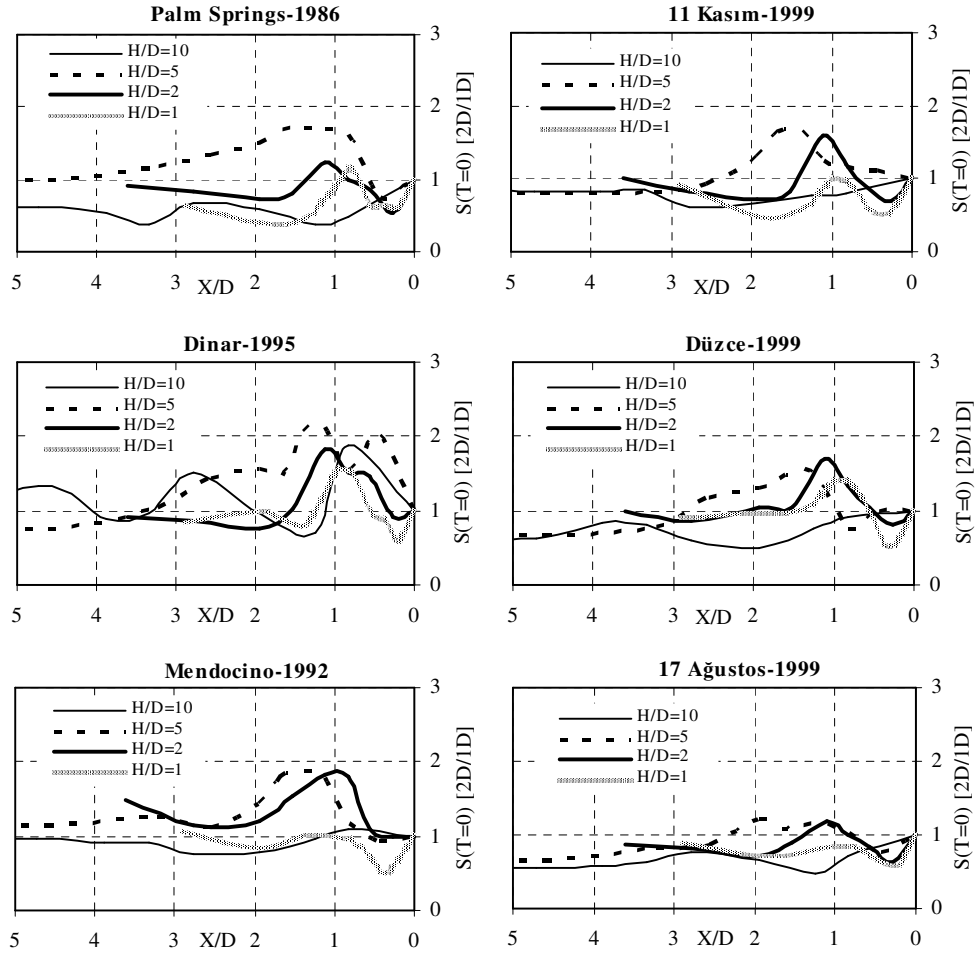
Şekil 8.8 : Farklı anakaya eğimine sahip ova/vadi modellerinde farklı anakaya hareketleri için elde edilen maksimum düşey ivme değerlerinin yüzeydeki değişimi.

Bu artış; $X/D=0-3$ aralığında görülmekle birlikte, $X/D=0-1$ aralığında en büyük değerlerine ulaşmaktadır. Ova kenarındaki anakaya eğimi arttıkça; düşey hareketin etkili olduğu bölge daralmakta, anakaya mostrasına doğru yaklaşmakta ve düşey hareketin şiddeti artmaktadır. Ayrıca Şekil 8.6 ve Şekil 8.8 karşılaştırıldığında, düşey hareketin etkili olduğu bölgenin yatay hareketin etkili olduğu bölgeye göre daha dar

ve anakaya mostrasına daha yakın olduğu görülebilmektedir. Özellikle X/D 'in 1'den küçük olduğu kısımda maksimum düşey ivme değerleri anakayadaki en büyük yatay ivme değerlerinin 2-3 katına çıkabilmektedir.

8.4.2 Bir ve iki boyutlu dinamik analiz sonuçlarının karşılaştırılması

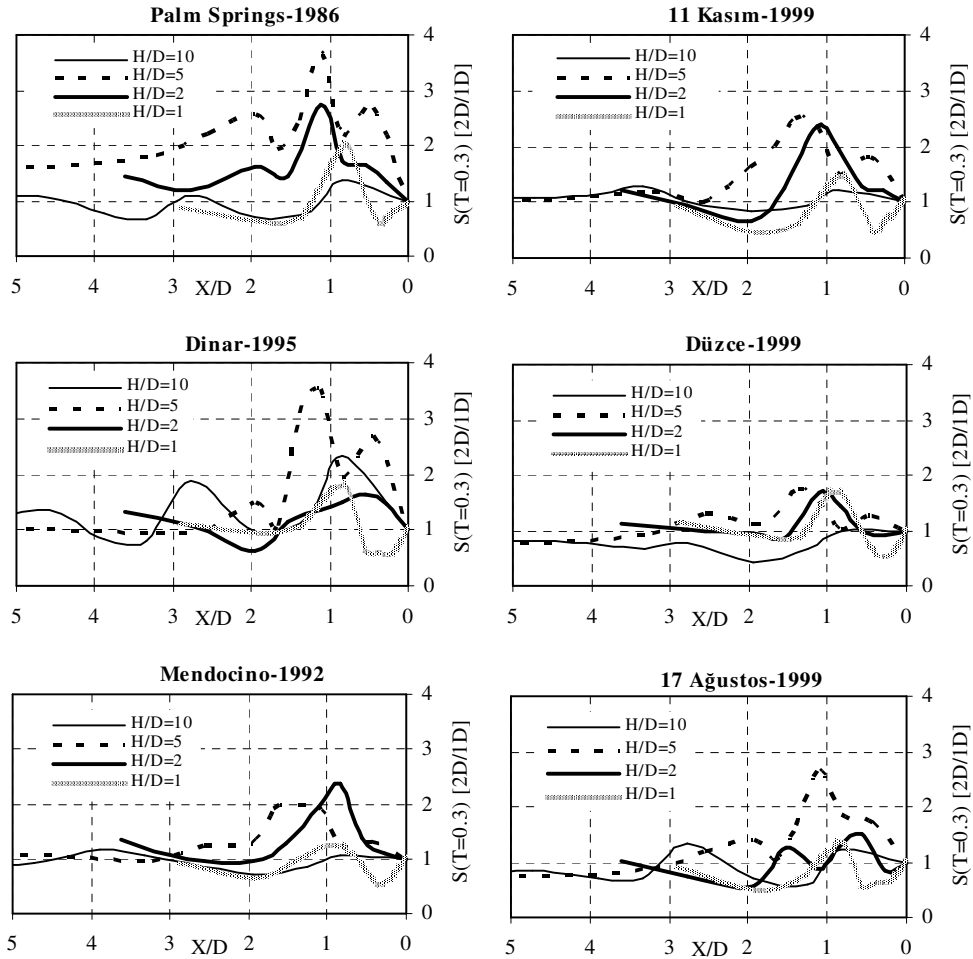
Farklı anakaya eğimine sahip Dinar ovası modellerinde ($V_{s30}=200$ m/s, CI , $I_p=\%$ 20-25) yüzeyde farklı depremler için meydana gelen hareketin belirlenmesinde iki boyutlu eşdeğer lineer analiz yöntemi kullanılmış ve daha sonra uygulanabilirliği açısından tercih sebebi olan bir boyutlu analizlerin aynı bölgeler için yapılmasıyla elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Bu amaçla; bütün modellerde farklı noktalar için iki boyutlu ve bir boyutlu analizle elde edilen ivme zaman geçmişleri kullanılarak mutlak ivme spektrumları hesaplanmıştır.



Şekil 8.9 : Farklı anakaya eğimine sahip modellerde farklı anakaya hareketleri için hesaplanan 2D/1D spektral ivme oranlarının ($T=0$) yüzeydeki değişimi.

Bir bölge için elde edilen mutlak ivme spektrumlarının farklı periyotlarda aldığı değerler; kat sayısı, rijitlik ve taşıyıcı sistemleri birbirinden farklı olan yapıların

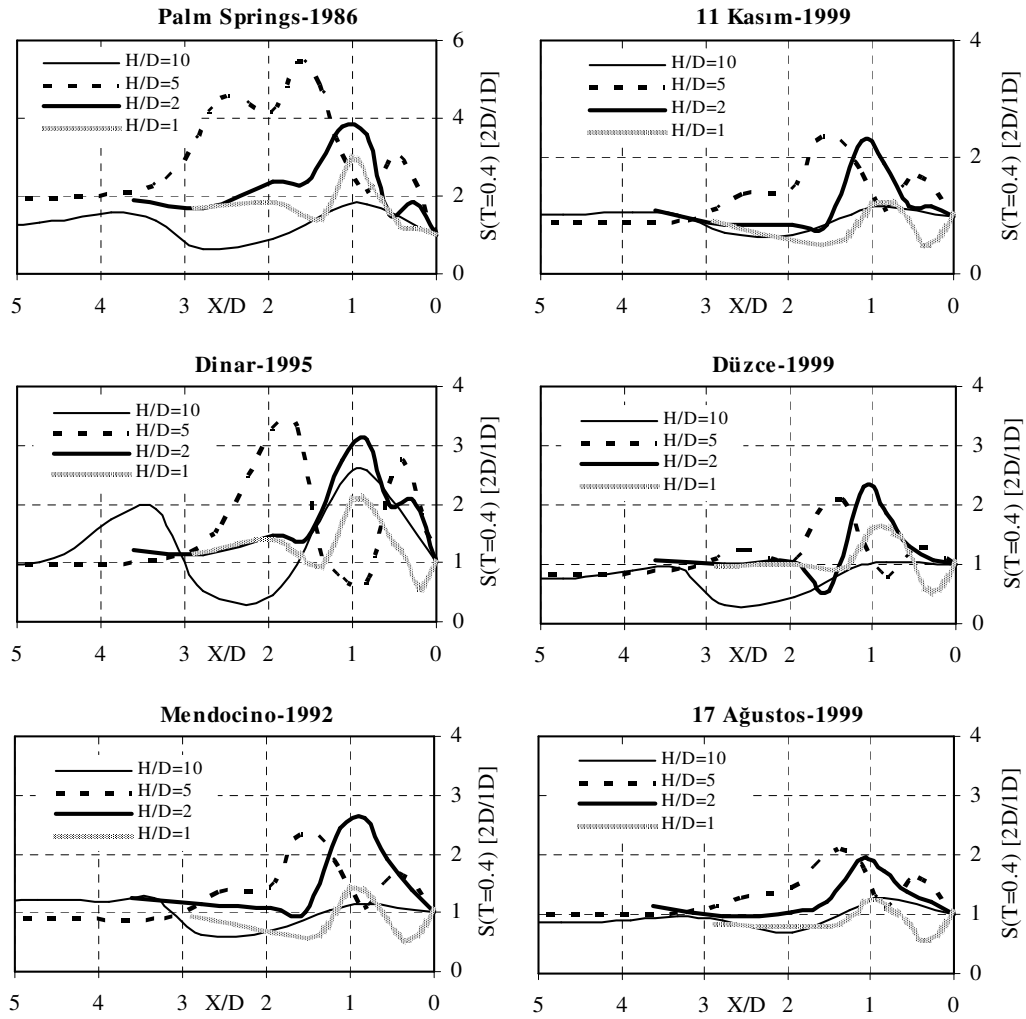
deprem hareketi karşısındaki davranışının belirlenmesinde önemli rol oynamaktadır. Bu yüzden mutlak ivme spektrumları; iki boyutlu modellerin yüzeyindeki farklı noktalar için 2D ve 1D analizlerle hesaplanmış, iki ve bir boyutlu davranışlar arasındaki fark; ova yüzeyi için 2D ve 1D analizlerle elde edilen ivme spektrumlarının birbirine oranlanmasıyla anlaşılmasına çalışılmıştır. İki ve bir boyutlu dinamik analiz sonucunda elde edilen ivme spektrumlarının oranı “şiddet faktörü” olarak tanımlanmaktadır (Makra, 2000; Makra ve diğ., 2001).



Şekil 8.10 : Farklı anakaya eğimine sahip modellerde farklı anakaya hareketleri için 2D/1D spektral ivme oranlarının ($T=0.3$ s) yüzeydeki değişimi.

Yüzey hareketinin farklı karakteristiklere (rijitliğe) sahip yapılara olan etkilerini inceleyebilmek amacıyla; farklı anakaya eğimine sahip ova modellerinde, farklı anakaya deprem hareketleri için 2D/1D spektral ivme oranları beş ayrı periyot değeri ($T=0, 0.3, 0.4, 0.6, 0.9$ s) için hesaplanmıştır. Farklı anakaya eğimine sahip ova/vadi modelleri yüzeyinde, 6 ayrı deprem için elde edilen 2D/1D spektral ivme oranları, $T=0, 0.3, 0.4, 0.6$ ve 0.9 s değerleri için sırasıyla Şekil 8.9, 8.10, 8.11, 8.12 ve 8.13'te gösterilmiştir.

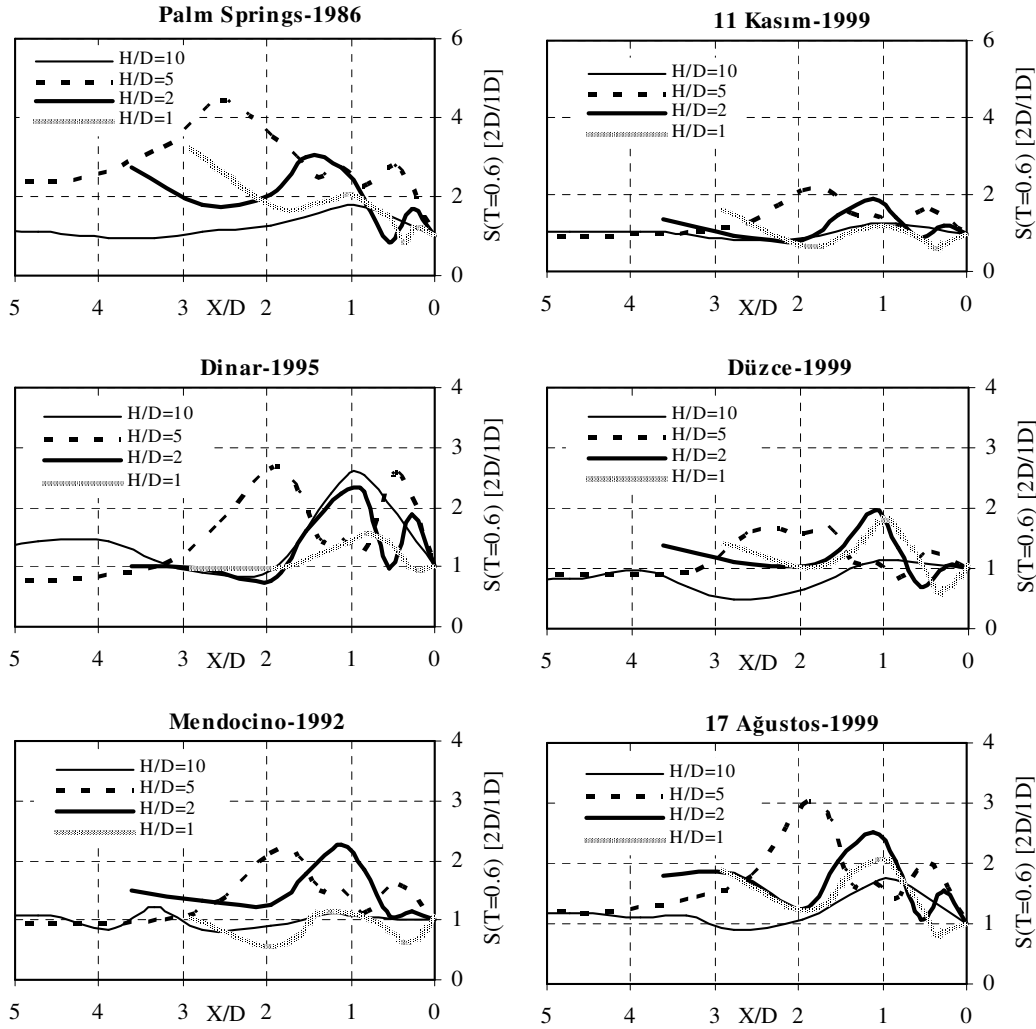
Farklı periyot değerleri için verilen grafiklerden de görülebileceği gibi, 2D/1D spektral ivme oranları; ova kenarındaki belirli bir bölgede en büyük değerine ulaşmakta, ova ortasına doğru ilerledikçe farklı periyotlar için hesaplanan 2D/1D spektral ivme oranları 1 değerine yaklaşmaktadır. Yani, iki ve bir boyutlu analizler yapılarak farklı periyotlar için hesaplanan mutlak ivme spektrumu değerleri vadi ortasına doğru ilerledikçe birbirinden farklı deprem hareketi karşısında her anakaya eğimi için birbirine çok yakın değerler almakta, iki ve bir boyutlu analizlerin farklılığı azalmaktadır.



Şekil 8.11 : Farklı anakaya eğimine sahip modellerde farklı anakaya hareketleri için 2D/1D spektral ivme oranlarının ($T=0.4$ s) yüzeydeki değişimi.

Ayrıca hesaplanan 2D/1D spektral ivme oranı değerlerinin anakaya eğimine bağlı olmaksızın, X/D büyüklüğünün belli bir değerinden ($X/D=3$) sonra birbirine çok yaklaştığı rahatça fark edilebilmektedir. Dört ayrı anakaya eğimi değerinin (6° , 11° , 27° , 45°) kullanıldığı modellerde en yüksek 2D/1D spektral ivme oranı değerleri

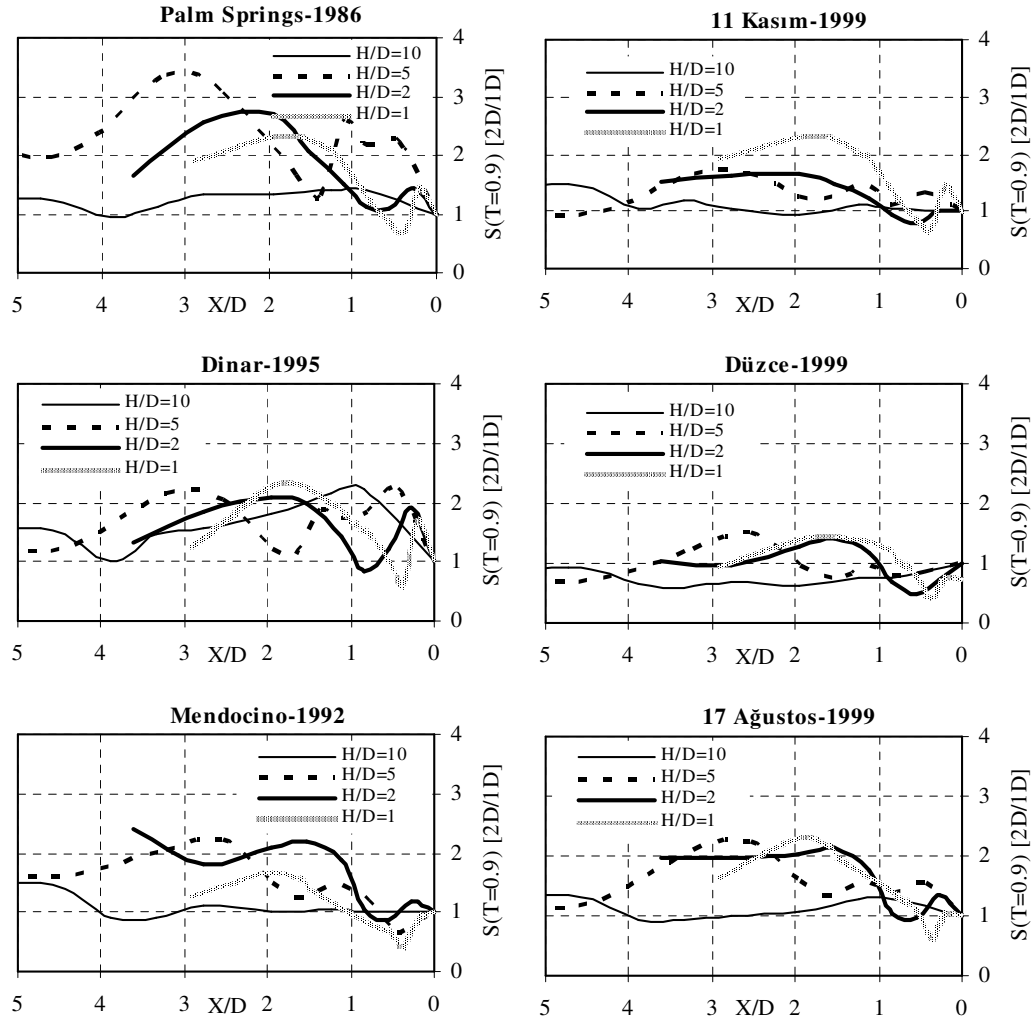
anakaya eğiminin 11° ve 27° ($H/D=5, 2$) olduğu durumlarda ortaya çıkmıştır. Daha düşük ($H/D=10$, $\alpha=6^\circ$) ve daha yüksek ($H/D=1$, $\alpha=45^\circ$) eğime sahip ova modellerinde, ova kenarındaki 2D/1D spektral ivme oranları diğer modellere göre daha düşük değerler almaktadır.



Şekil 8.12 : Farklı anakaya eğimine sahip modellerde farklı anakaya hareketleri için 2D/1D spektral ivme oranlarının ($T=0.6$ s) yüzeydeki değişimi.

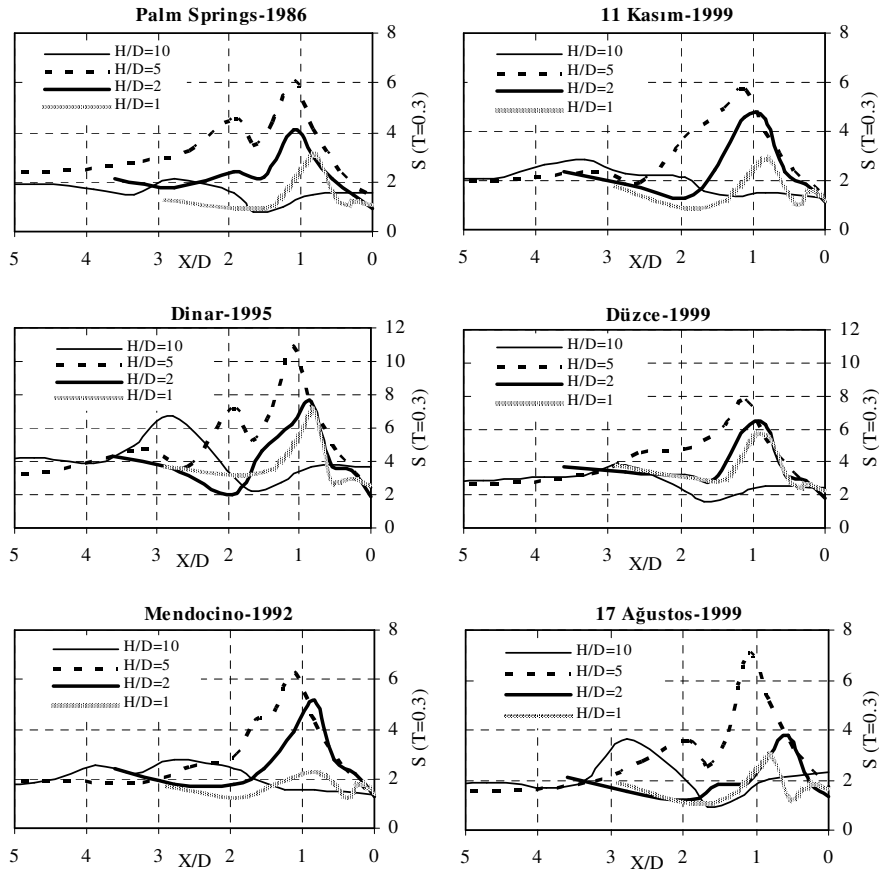
Anakaya eğimleri birbirinden farklı olan iki boyutlu vadi/ova modellerinin farklı deprem hareketleri karşısındaki dinamik davranışını belirleyebilmek için yüzeydeki farklı noktalarda hesaplanan mutlak ivme spektrumları kullanılarak efektif spektrum katsayıları $S(T)$ elde edilmiş ve bu katsayıların yüzeydeki değişimleri, kenardaki anakaya mostrasından itibaren X/D boyutsuz büyüklüğüne bağlı olarak verilmiştir. Farklı periyotlar için ova yüzeyindeki spektrum katsayıları hesaplanırken, deprem giriş hareketinin anakaya mostrasındaki en büyük değerine göre normalleştirme yapılmıştır. Bilindiği gibi, efektif spektrum katsayısı; % 5 sönümlü normalleştirilmiş

elastik mutlak ivme spektrumu değerlerinin % 65'i alınarak elde edilmektedir (Pitilakis, 2004).

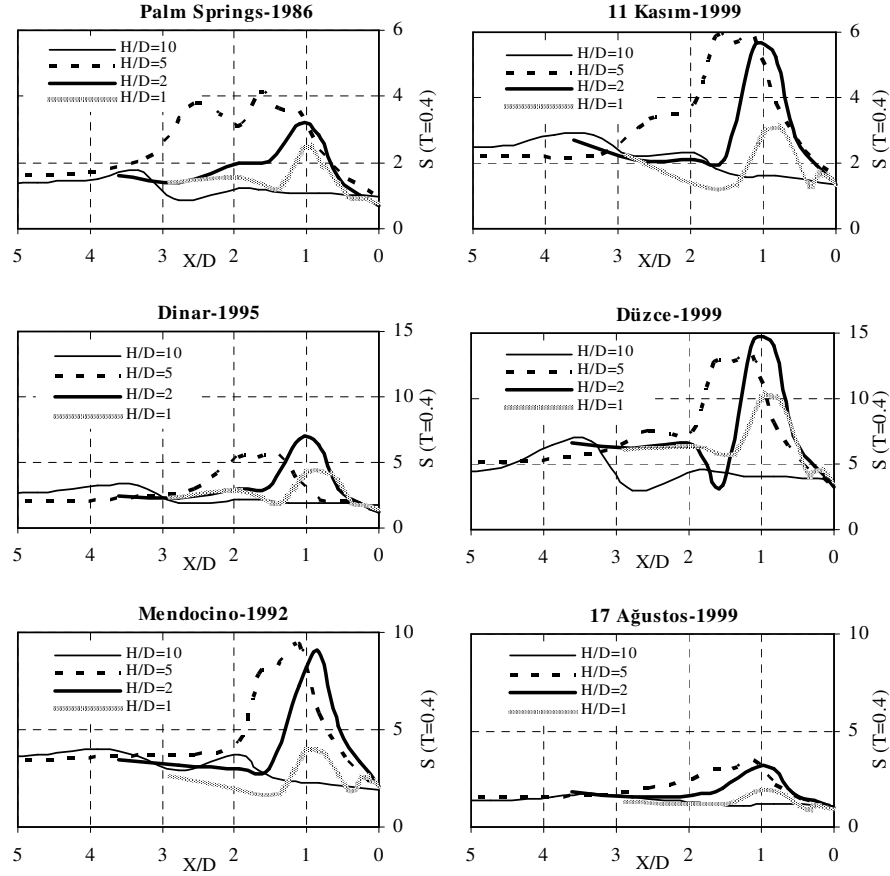


Şekil 8.13 : Farklı anakaya eğimine sahip modellerde farklı anakaya hareketleri için 2D/1D spektral ivme oranlarının ($T=0.9$ s) yüzeydeki değişimi.

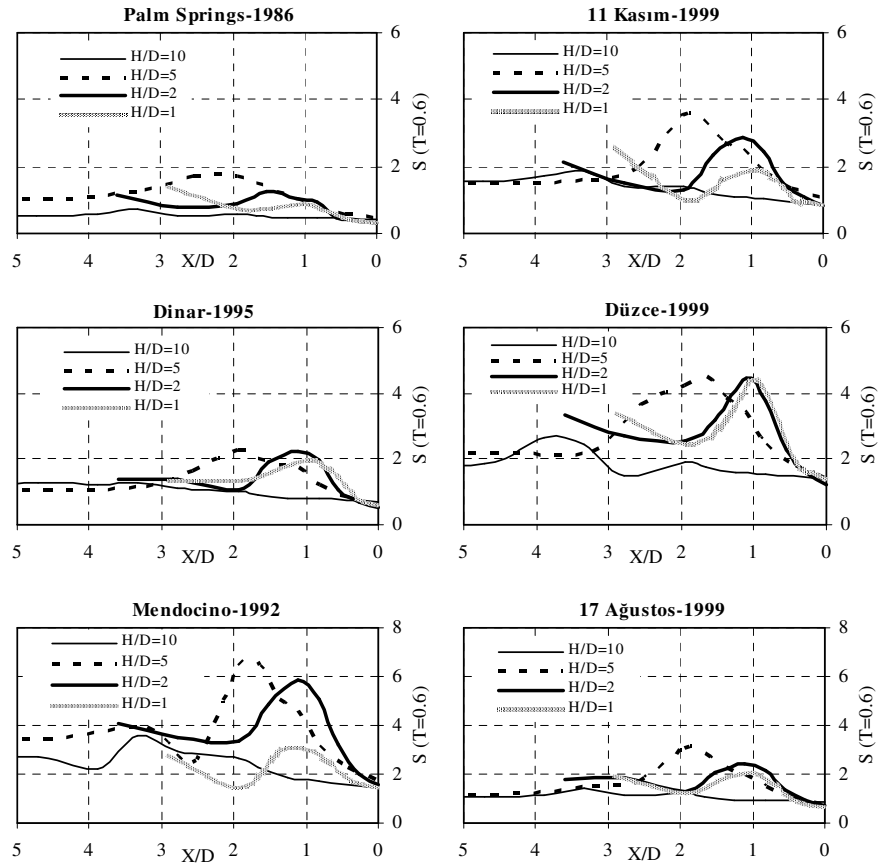
Farklı deprem ve anakaya eğimleri için spektrum katsayılarının yüzeydeki değişimi sırasıyla $T=0.3$ s için Şekil 8.14, $T=0.4$ s için Şekil 8.15, $T=0.6$ s için Şekil 8.16 ve $T=0.9$ s için Şekil 8.17’de verilmiştir. Elde edilen spektrum katsayısı değerlerinin; daha önceki grafiklerde gözüken davranışa benzer olarak, anakaya eğimine bağlı olmaksızın ayrı ayrı her bir deprem için X/D boyutsuz büyüklüğünün yaklaşık 3 değerinden sonra birbirine çok yaklaştığı görülebilmektedir. Bütün vadi modelleri içinde en yüksek spektrum katsayısı değerleri ve bu spektral büyütmenin (2 boyutlu) vadi kenarında hakim olduğu en geniş mesafe, anakaya eğiminin 11° ve 27° ($H/D=5, 2$) olduğu durumlarda ortaya çıkmıştır. Daha düşük ($H/D=10, \alpha=6^\circ$) ve daha yüksek ($H/D=1, \alpha=45^\circ$) eğime sahip vadi modellerinde bu etkiler gitgide azalmaktadır.



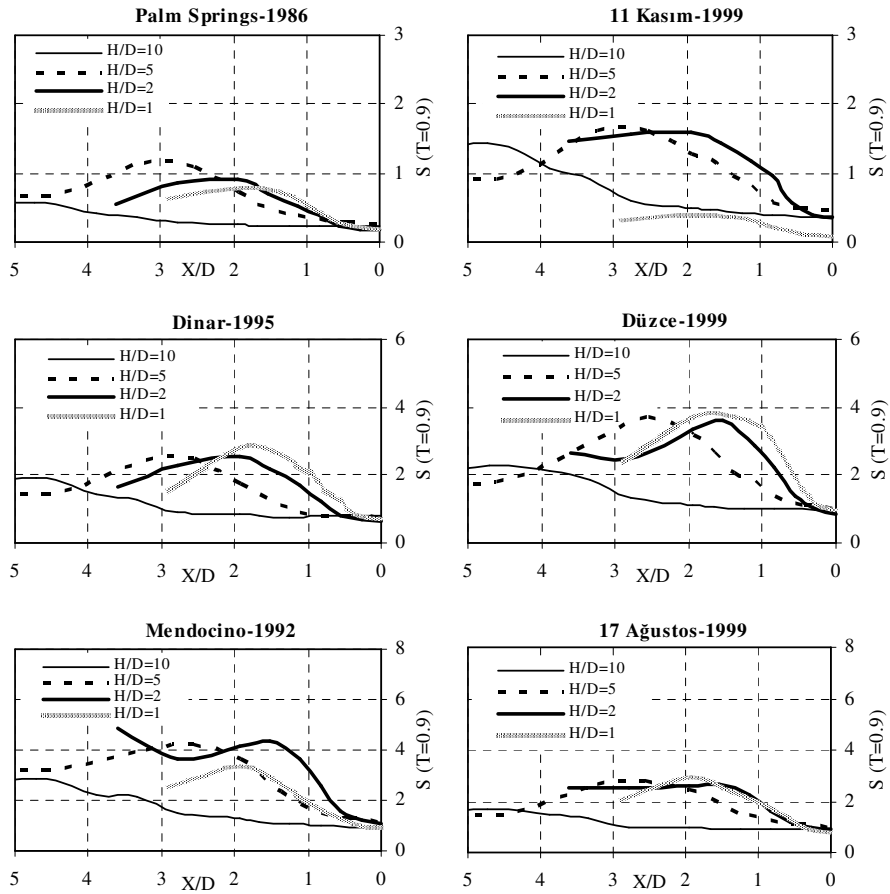
Şekil 8.14 : Dinar ovası modelinde hesaplanan efektif spektrum katsayıları ($T=0.3$ s).



Şekil 8.15 : Dinar ovası modelinde hesaplanan efektif spektrum katsayıları ($T=0.4$ s).



Şekil 8.16 : Dinar ovası modelinde hesaplanan efektif spektrum katsayıları ($T=0.6$ s).

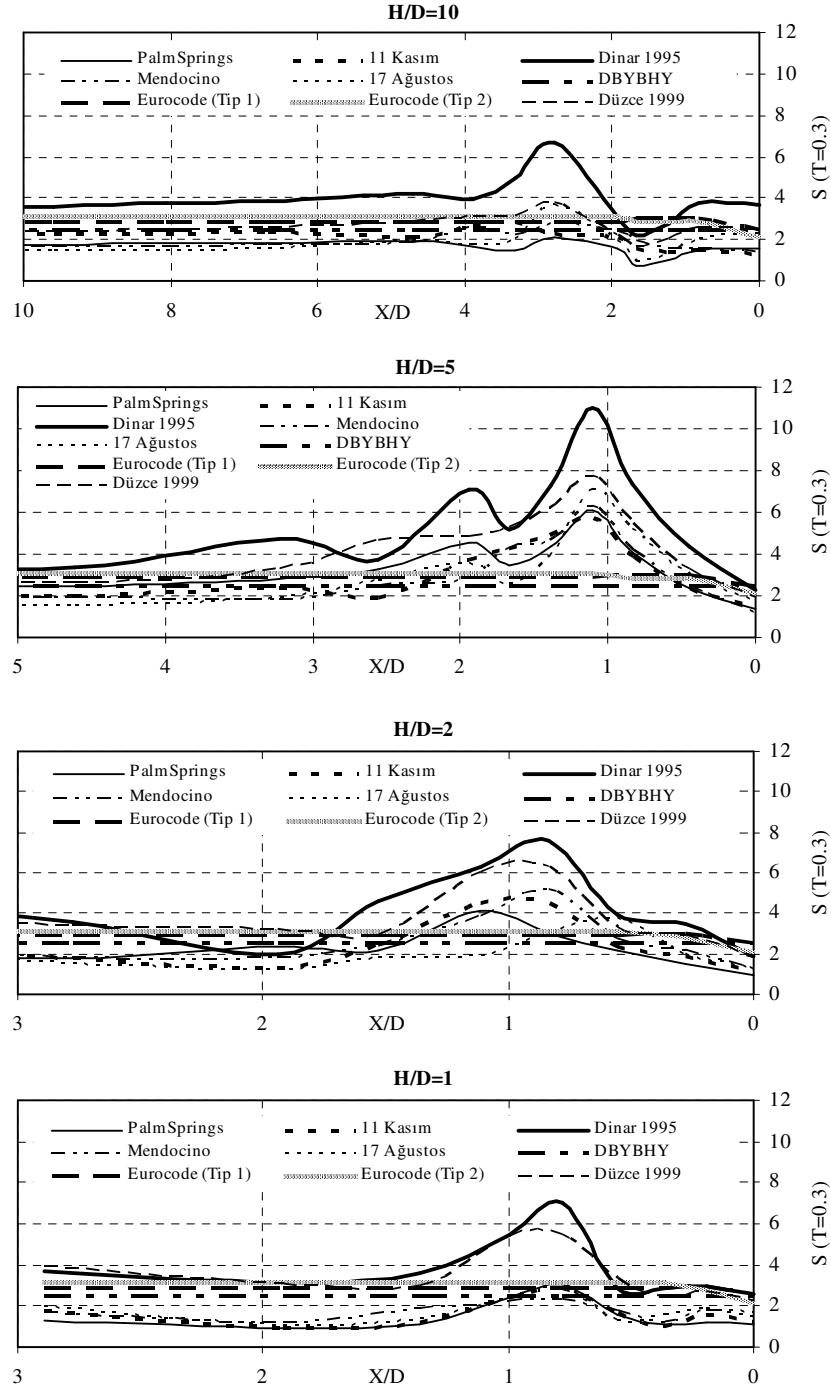


Şekil 8.17 : Dinar ovası modelinde hesaplanan efektif spektrum katsayıları ($T=0.9$ s).

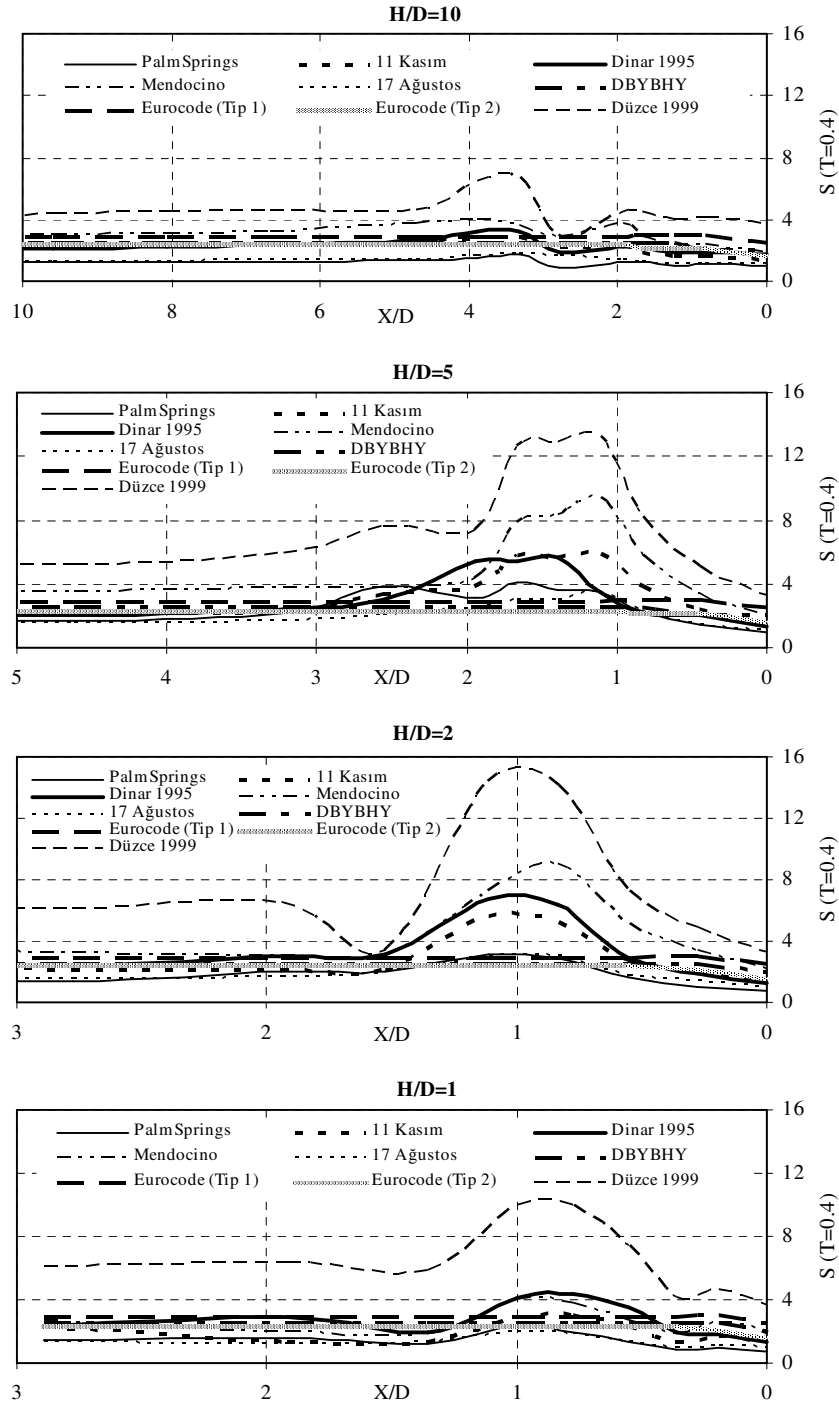
Bilindiği gibi tasarım spektrumu, yapılarda deprem sırasında ortaya çıkan eylemsizlik kuvvetlerinin belirlenmesinde kilit rol oynamaktadır. Bina ve benzeri yapılarda deprem hesabında kullanılan eşdeğer deprem yükü ile mod süperpozisyonu yöntemlerinde farklı yerel zemin sınıfları için tasarım kuvvetlerinin elde edilmesini sağlayan tasarım spektrumu, yapıların taşıyıcı sistemlerinin deprem kuvvetlerine karşı yeterli dayanıma sahip olacak biçimde boyutlandırılmasında büyük öneme sahiptir. Ayrıca vadi/ova gibi oluşumlarda ikinci ve üçüncü boyut etkisiyle, deprem sırasındaki hareketin şiddeti ve frekans muhtevası değişmektedir. Bütün bunlar birlikte dikkate alındığında; farklı deprem hareketleri için anakaya eğiminin spektrum katsayısı üzerindeki etkisi belirlendikten sonra, farklı anakaya eğimine sahip ova modelleri için elde edilen efektif tasarım spektrumlarının ($S[T]$) yüzeydeki değişimleri kenardaki anakaya mostrasından itibaren X/D boyutsuz büyüklüğüne bağlı olarak hem “DBYBHY”teki tasarım spektrumuyla hem de Eurocode 8’de büyük ve orta büyüklükteki depremler için verilen sırasıyla 1 ve 2 No’lu tasarım spektrumlarıyla karşılaştırılmıştır. Analizler sonucunda hesaplanan efektif spektrum katsayıları ile farklı yönetmeliklere göre elde edilen tasarım spektrumu katsayılarının ova kenarından itibaren X/D boyutsuz büyüklüğüne bağlı değişimleri sırasıyla $T=0.3$ s için Şekil 8.18, $T=0.4$ s için Şekil 8.19, $T=0.6$ s için Şekil 8.20 ve $T=0.9$ s için Şekil 8.21’de verilmiştir.

Şekil 8.18’de, 0.3 s periyot değerine karşı gelen efektif spektrum katsayılarının; anakaya eğimi farklı olan vadilerde anakaya mostrasından vadi ortasına doğru X/D boyutsuz büyüklüğüne bağlı değişimi ve tasarım spektrumlarıyla karşılaştırılması gösterilmektedir. Özellikle, anakaya eğiminin 11° ve 27° olması halinde; $X/D=1$ noktası civarında spektrum katsayısı değerlerinin tasarım spektrumu değerlerinin 2-3 katına çıktığı görülebilmektedir. Bununla birlikte anakaya eğiminin 6° ve 45° olduğu durumlarda, Dinar 1995 ve Düzce 1999 depremleri dışında tasarım spektrumu değerlerinin çok aşıldığı bir deprem görülmemektedir. Dinar depremi anakaya hareketinin kullanıldığı $H/D=10$ ($\alpha=6^\circ$) olan modelde, yani Dinar Ovası’nın gerçek modelinde $X/D=3$ noktasında efektif spektrum katsayısı yaklaşık 7 değerine ulaşmakta, yine aynı deprem hareketi altındaki $H/D=1$ modeli içinse, efektif spektrum katsayısı 7 değerine $X/D=0.75$ noktasında ulaşmaktadır. Buradan anlaşılabileceği gibi, anakaya eğiminin 11° ’den daha küçük olması halinde spektrum katsayısının maksimum olduğu nokta $X/D=1$ ’den daha uzak bölgeye doğru

kaymaktadır. Ayrıca bütün modellerde Dinar 1995 ve Düzce 1999 depremleri dışındakilerin meydana getirdiği etkilerin; anakaya eğiminin 11° ve 27° olması durumları haricinde, yönetmeliklerdeki farklı tasarım spektrumu katsayılarını aşmadığı görülmüştür. Buradan 1 Ekim 1995 Dinar Depremi'nin, anakaya eğiminin çok yüksek ve çok düşük değerleri için bile 0.3 s periyot değerinde ova kenarındaki şiddet etkisini çok arttırabilecek bir frekans içeriğine sahip olduğu rahatça anlaşılabilmektedir.



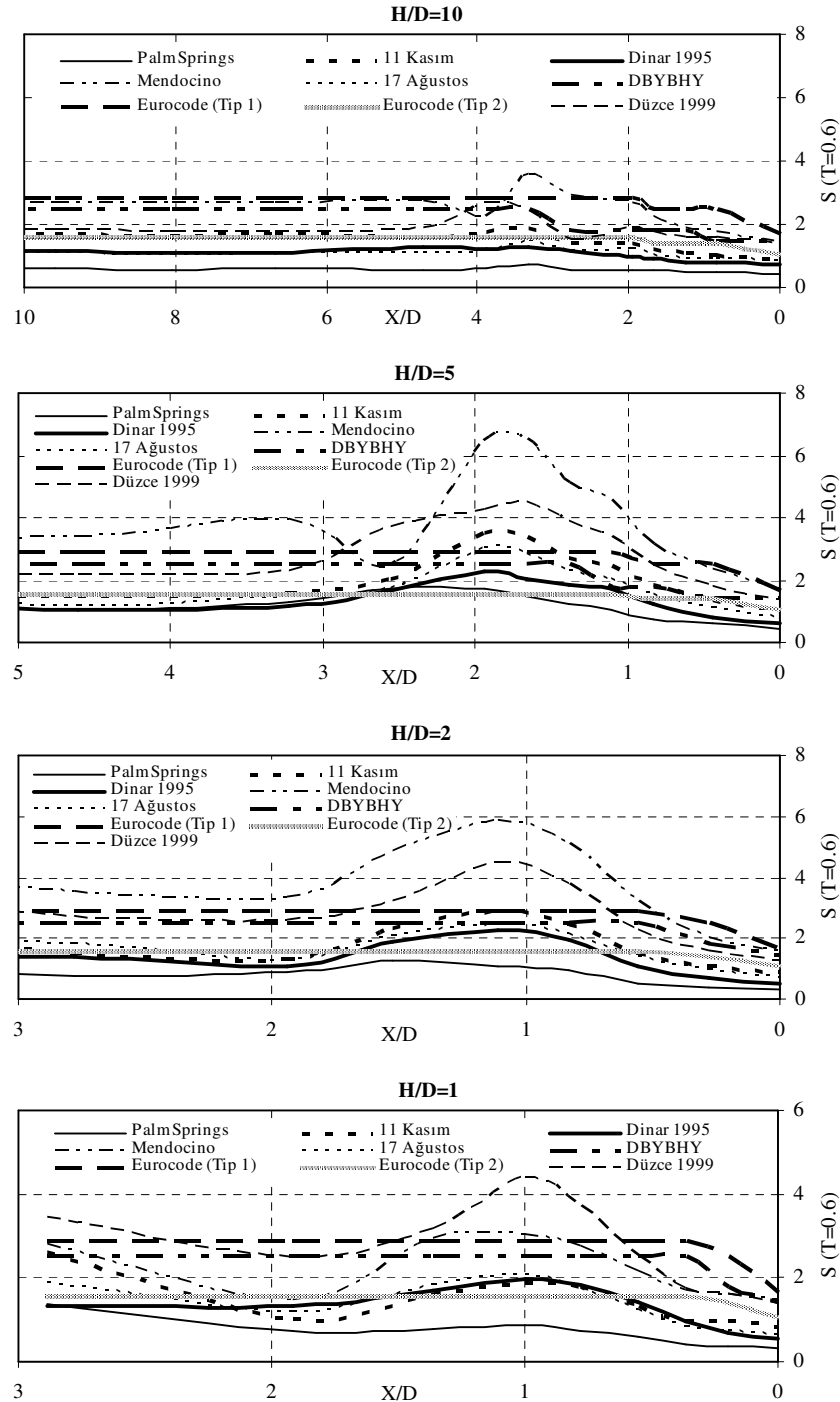
Şekil 8.18 : Farklı anakaya eğimi ve deprem için Dinar modelindeki efektif spektrum katsayılarının ($T=0.3$ s) tasarım spektrumlarıyla karşılaştırılması.



Şekil 8.19 : Farklı anakaya eğimi ve deprem için Dinar modelindeki efektif spektrum katsayılarının ($T=0.4$ s) tasarım spektrumlarıyla karşılaştırılması.

Şekil 8.19’da; kenarda farklı anakaya eğimine sahip vadi modellerinde 0.4 s periyot değerine karşı gelen spektrum katsayılarının anakaya mostrasından vadi ortasına doğru X/D boyutsuz büyüklüğüne bağlı değişimi gösterilmiştir. Yine özellikle anakaya eğiminin 11° ve 27° olması halinde hesaplanan spektrum katsayısı değerleri; depremin frekans muhtevasına bağlı olarak X/D değerinin 1-2 olduğu bölge yakınında, tasarım spektrumu değerlerinin yaklaşık 4-5 katına çıkabilmektedir.

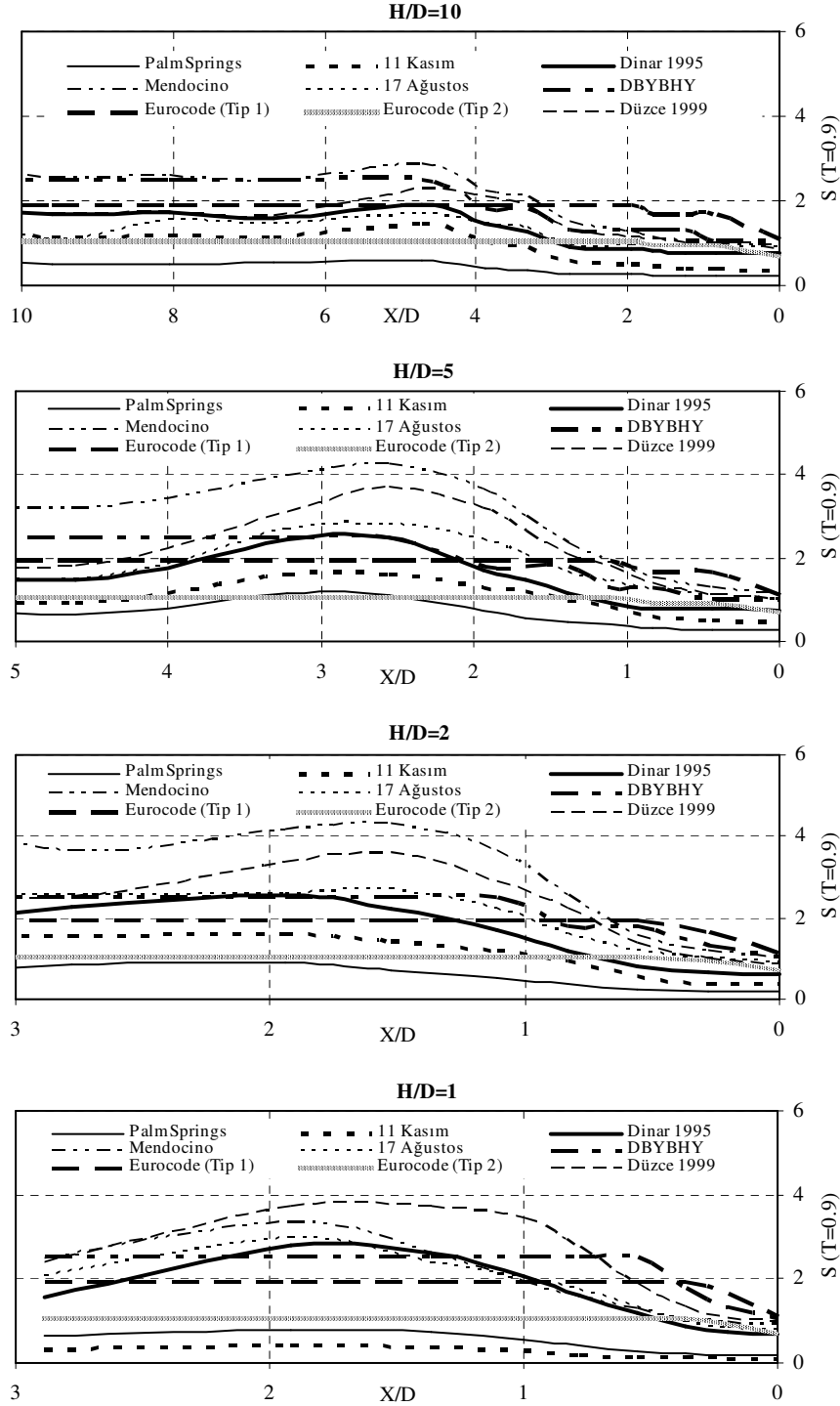
Tasarım spektrumu değerlerinden daha yüksek spektrum katsayıları özellikle anakayadaki hakim periyot değerleri 0.4 s'in üstünde olan depremler için elde edilmektedir. Özellikle 1999 Düzce depremi için kenardaki anakaya eğiminden bağımsız olarak bütün modellerde çok yüksek spektrum katsayıları hesaplanmıştır.



Şekil 8.20 : Farklı anakaya eğimi ve deprem için Dinar modelindeki efektif spektrum katsayılarının ($T=0.6$ s) tasarım spektrumlarıyla karşılaştırılması.

Şekil 8.20’de, 0.6 s periyot değerine karşı gelen efektif spektrum katsayılarının anakaya mostrasından vadi ortasına doğru X/D ’ye bağlı değişimi gösterilmiştir.

Anakayadaki hakim periyot değeri yaklaşık 0.44 s olan Mendocino depremi için anakaya eğiminin 11° ve 27° olması halinde hesaplanan spektrum katsayısı değerleri $X/D=1-2$ olduğu bölge yakınında tasarım spektrumu değerlerinin yaklaşık 3 katına çıkmaktadır. Anakaya eğiminin 6° ve 45° olması durumunda elde edilen spektrum katsayısı değerleri, tasarım spektrumu değerleriyle uyumlu hale gelmektedir.



Şekil 8.21 : Farklı anakaya eğimi ve deprem için Dinar modelindeki efektif spektrum katsayılarının ($T=0.9$ s) tasarım spektrumlarıyla karşılaştırılması.

Şekil 8.21’de, 0.9 s periyot değerine karşı gelen efektif spektrum katsayılarının anakaya mostrasından vadi ortasına doğru X/D ’ye bağlı değişimi gösterilmiştir. Özellikle $H/D=2$ ve 5 olan ova modellerinde efektif spektrum katsayıları diğerlerine oranla yüksektir. Bütün ova modelleri içinde en yüksek spektrum katsayıları genellikle anakayadaki hakim periyot değeri yaklaşık 0.44 s olan Mendocino depremi için elde edilmiştir. Ayrıca, yüksek efektif spektrum katsayılarının hesaplandığı bölgeler daha düşük periyot değerlerinde elde edildikleri bölgelere oranla ova ortasına doğru kaymaktadır. Yani zemin tabakalarının kalınlığının artması ile bu değerler de yükselmekte ve ova kenarından belirli bir mesafe uzaklaştıktan sonra yine azalmaya başlamaktadırlar.

8.4.3 İstatistiksel analiz

Farklı anakaya eğimine (6° , 11° , 27° ve 45°) sahip iki boyutlu ova modelleri üzerinde 6 ayrı deprem hareketi kullanılarak yapılan dinamik analizler sonucunda yüzeydeki farklı noktalar için elde edilen ivme zaman geçmişleri ile mutlak ivme spektrumları istatistiksel olarak değerlendirilmeye ve farklı anakaya eğimine sahip modellerin kenarında yüzey kısmında bir boyutlu dinamik analizle hesaplanmış spektral ivme değerleriyle, iki boyutlu analizle hesaplanmış değerler arasındaki bağıntı belirlenmeye çalışılmıştır. Bu amaçla; farklı anakaya eğimine sahip modeller için elde edilmiş olan maksimum yatay büyütme ve farklı periyot değerleri için hesaplanmış olan 2D/1D spektral ivme oranları istatistiksel açıdan ele alınmıştır.

Anakaya mostrasındaki en büyük mutlak ivme değerine bölünerek yapılan normalleştirmeye bağlı olarak elde edilmiş olan maksimum yatay büyütme (a_{maks_y}/a_{maks_k}); daha önce bulunan sonuçlardan da anlaşılabileceği gibi, anakaya mostrasından ova ortasına doğru ilerledikçe özellikle kenardaki belirli bir bölgede en büyük değerlerine ulaşmakta ve daha sonra azalarak sabit bir değere yaklaşmaktadır. İki boyutlu dinamik analiz sonuçlarından da görülebileceği gibi, aynı anakaya eğimine sahip her bir ova/vadi modelinde 6 farklı deprem hareketi için de yaklaşık olarak birbirine benzer eğriler elde edilmektedir. Bununla birlikte, depremin frekans muhtevası ve şiddetine bağlı olarak maksimum yatay büyütme değerleri oldukça değişebilmektedir. Buna rağmen; farklı geometriye sahip her iki boyutlu model için, farklı deprem hareketi karşısında bile birbirine benzeyen karakteristik eğriler ortaya çıkmaktadır.

Farklı anakaya eğimine sahip ova modellerinde her anakaya eğimi için, maksimum yatay büyütme ova kenarından ortasına doğru değişimi tek bir eğri ile temsil edilmeye çalışılmış, bu amaçla, farklı deprem hareketleri kullanılarak yapılan iki boyutlu dinamik analiz sonuçlarının ortalaması alınmıştır. Dolayısıyla, ova kenarındaki her bir noktada farklı deprem hareketleri karşısında elde edilen maksimum yatay büyütme değerlerinin normal dağılmış olduğu kabul edilmiş olup, ortalama, ortalama+std. sapma (aşılma olasılığı % 16) ve ortalama-std. sapma (düşük kalma olasılığı % 16) eğrileri hesaplanmıştır. Kullanılan kuvvetli ivme-zaman geçmişi sayısının örnekleme yapabilecek kadar yüksek olmaması nedeniyle, değerlerin hangi dağılıma uyduğunun tespitinin yapılamaması sonucu eğrilerin normal dağılıma uyduğu kabulü yapılmıştır. Farklı anakaya eğimine sahip iki boyutlu modellerde farklı deprem hareketleri karşısında yüzeyde hesaplanan maksimum yatay büyütme eğrilerinin ortalamasının, ort.+std. sapma ve ort.-std. sapma değerlerinin, X/D boyutsuz büyüklüğüne bağlı değişimleri Ek B Şekil 1’de gösterilmiştir.

Şekilden de görülebileceği gibi; kenardaki anakaya eğiminin düşük olduğu ($H/D=10$, $\alpha=6^\circ$) ova modellerinde, eğimli anakaya yüzeyinde hesaplanan maksimum yatay büyütme değerleri birbirine çok yakın değerler almakta ve özellikle $X/D=5$ noktasından sonra sabit bir değere yakınsamaktadırlar. Kenardaki anakaya eğiminin 11° ve 27° olduğu modellerde en yüksek maksimum yatay büyütme değerlerine ulaşılmakta, kenardaki anakaya eğiminin 45° ’ye yükselmesiyle büyütme değerleri yine azalmaktadır. $H/D=5$ ($\alpha=11^\circ$) olan modelde $X/D=4$, $H/D=2$ ($\alpha=27^\circ$) olan modelde $X/D=2$, $H/D=1$ ($\alpha=45^\circ$) olan modelde $X/D=1.5$ noktalarından sonra ortalama maksimum yatay büyütme değerleri sabit değerlere yakınsamaktadır. Bütün ova modellerinde, belirtilen bu noktalardan sonra ova ortasına doğru maksimum yatay büyütme değerleri ortalama olarak yaklaşık 1.5 değerine yakınsamaktadır. Bununla birlikte, ova kenarındaki belirli bir kısımda maksimum yatay büyütme değerleri anakaya geometrisine bağlı olarak ortalama 3 değerine kadar yükselmiştir.

Maksimum yatay büyütme değerlerinin her bir anakaya geometrisi için X/D boyutsuz büyüklüğüne bağlı değişimi sadece grafiklerle gösterilmiş ve farklı deprem hareketleri için hesaplanan yatay büyütme değerlerinin birlikte değerlendirilmesi sonucu elde edilen ortalama, ortalama+std. sapma ve ortalama-std. sapma eğrileri, herhangi bir fonksiyon yardımıyla tanımlanmaya çalışılmamıştır. Bunun nedeni, anakayadaki

deprem hareketinin şiddetinin artması sonucu zemin tabakalarında meydana gelecek rijitlik azalımı ve sönüm artışı nedeniyle oluşacak lineer olmayan davranışın, farklı şiddetteki depremler için bu tanımlamayı hatalı kılacak olmasıdır.

Ova/vadi kenarındaki bölgeler için yapılan tek boyutlu dinamik analiz sonucunda hesaplanan spektral ivme değerlerine, iki boyutlu anakaya geometrisinin etkisinin yansıtılabilmesi için 2D/1D spektral ivme oranları kullanılabilir. Bu etkinin Dinar ovası modeli için belirlenebilmesi amacıyla farklı anakaya eğimleri ve deprem hareketleri kullanılarak 2D/1D spektral ivme oranları 5 ayrı periyot değeri için hesaplanmış ve bunların X/D boyutsuz büyüklüğüne bağlı değişimleri Ek B'deki grafiklerde gösterilmiştir. Farklı anakaya eğimine sahip her bir ova modeli için 6 ayrı kuvvetli ivme zaman geçmişi kullanılmasıyla 5 ayrı periyotta hesaplanan spektral ivme oranlarının modeller üzerindeki her bir nokta için normal dağılıma uyduğu varsayılmış ve ortalama, ort.+std. sapma, ort.-std. sapma eğrileri elde edilmiştir.

Ek B Şekil 2'de $T=0$ s için 2D/1D spektral ivme oranı grafikleri verilmiştir. Şekilden de görülebileceği gibi, $H/D=10$ ve 1 değerleri için ova kenarındaki 2D/1D spektral ivme oranları ihmal edilebilir mertebededir. Her iki modelde de bir boyutlu analiz sonucunda ova kenarının yüzeyinde elde edilen maksimum ivme değerleri, iki boyutlu analizle hesaplananlara göre genellikle daha yüksektir. $H/D=5$ ($\alpha=11^\circ$) olan modelde $X/D=1.5$ noktasında ve $H/D=2$ ($\alpha=27^\circ$) olan modelde $X/D=1$ noktasında hesaplanan ortalama 2D/1D spektral ivme oranları, 1.5 değerine kadar yükselmektedir. $T=0$ s için 2D/1D spektral ivme oranlarının ova kenarında en geniş etki mesafesine sahip olduğu model $H/D=2$ olanıdır. Şekilden de görülebileceği gibi, $H/D=5$ olan ova modelinde $X/D=3$ ve $H/D=2$ olan modelde $X/D=1.5$ değerinden sonra ortalama 2D/1D spektral ivme oranı değerleri 1'e yakınsamaktadır.

Farklı anakaya geometrileri kullanılarak $T=0.3$ s için hesaplanan 2D/1D spektral ivme oranı eğrileri Ek B Şekil 3'te gösterilmektedir. $H/D=10$ olan modelde $T=0.3$ s için bu oranlar 1'e çok yakındır. $H/D=5$ olan modelde spektral ivme oranları $X/D=4$ noktasına kadar 1-3 arasında farklı değerler almış ve bu noktadan sonra 1'e yakınsamıştır. Spektral ivme oranları en yüksek değerlerine $X/D=1-1.5$ iken ulaşmıştır. $H/D=2$ olan modelde yaklaşık $X/D=1$ noktasında ortalama 2D/1D spektral ivme oranı 2'ye kadar yükselmiş, $H/D=1$ olan modelde ise bu belirgin artışta yine bir düşme gözlenmektedir. Bütün modeller içinde $T=0.3$ s için belirgin olarak en yüksek spektral ivme oranları $H/D=5$ ($\alpha=11^\circ$) olan modelde elde edilmiştir.

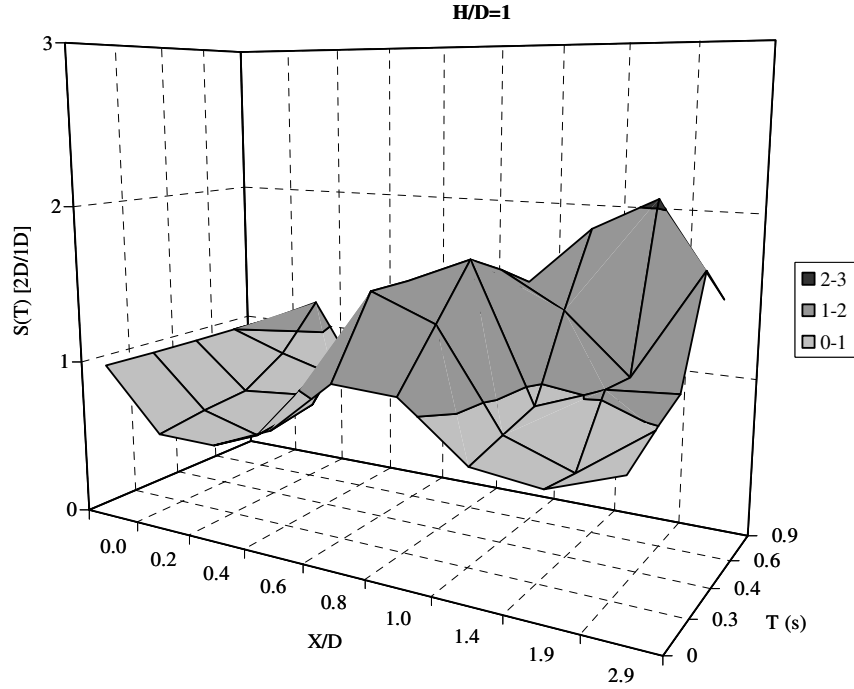
Ek B Şekil 4'te, farklı anakaya eğimine sahip modellerde $T=0.4$ s için 2D/1D spektral ivme oranı grafikleri gösterilmiştir. $H/D=10$ olan modelde $X/D=5$ mesafesine kadar 2D/1D spektral ivme oranları ortalama 1 civarında kalmıştır. $X/D=5$ noktasından ova ortasına doğru ise 2D/1D oranı ortalama 1 değerine yakınsamıştır. $H/D=5$ olan modelde, ortalama spektral ivme oranı yaklaşık $X/D=3$ noktasına kadar en yükseği 3 olan ve ortalaması 2 civarında değişen değerler almıştır. $X/D=4$ noktasından sonra ise 1 değerine yakınsamıştır. $T=0.4$ s için 2D/1D spektral ivme oranlarının ova kenarında en geniş etki mesafesine sahip olduğu model $H/D=5$ olanıdır. $H/D=2$ olan modelde de $X/D=1$ noktası civarında 2D/1D oranı 3'e yükselmektedir. $X/D=2$ noktasından sonra değerler yine 1'e yakınsamaktadır. $H/D=1$ olan modelde; ortalama 2D/1D spektral ivme oranının en yüksek değeri azalarak 1.5'a yaklaşmış, $X/D=1.5$ noktasından sonra ise 1 değerine yakınsamaktadır.

$T=0.6$ s için 2D/1D spektral ivme oranı eğrileri farklı anakaya geometrileri için Ek B Şekil 5'te gösterilmiştir. $H/D=10$ olan modelde $X/D=2$ noktasından sonra ortalama 2D/1D oranı 1'e yakınsamaktadır. $H/D=5$ olan ova modelinde ortalama 2D/1D spektral ivme oranı $X/D=4$ noktasına kadar 1-3 arasında değişen, $X/D=4$ noktasından ova ortasına doğru ise 1'e yakınsayan değerler almışlardır. $H/D=2$ olan modelde ortalama 2D/1D oranı $X/D=1$ noktasında 2 değerine ulaşmış, $X/D=2$ noktasına kadar 1-2 arasında değişen değerler almıştır. $H/D=1$ olan modelde ise; daha önceki periyot değerlerine göre düşük 2D/1D oranı hesaplanmış olup, ortalama değerler 1-1.5 arasında değişim göstermektedir.

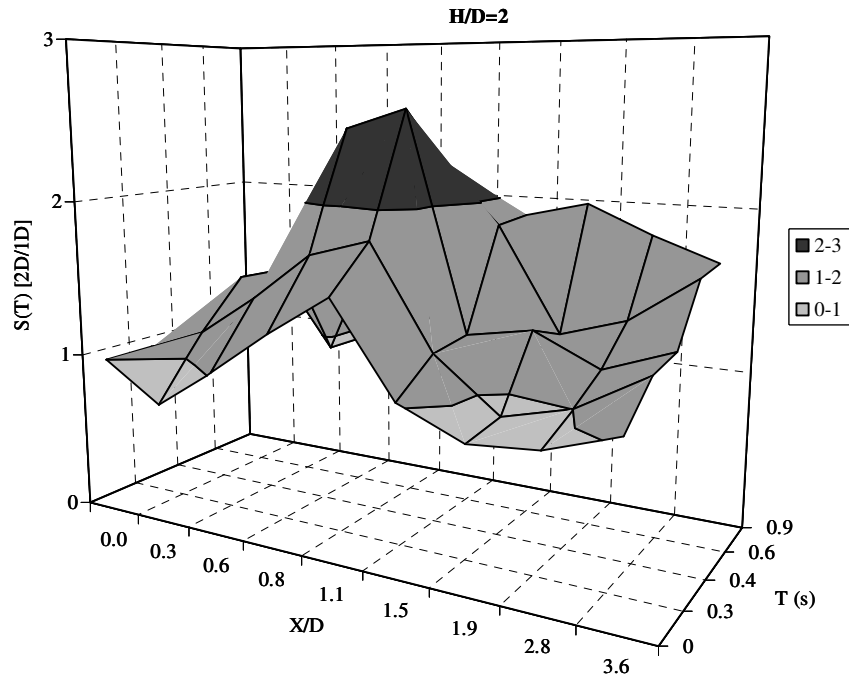
$T=0.9$ s için 2D/1D spektral ivme oranı eğrileri Ek B Şekil 6'da verilmiştir. $H/D=10$ olan modelde ortalama 2D/1D oranları kenar boyunca 1'e çok yakın değerler almıştır. Diğer ova modellerinde ($H/D=5$, 2 ve 1) 2D/1D oranlarının en yüksek değerlere ulaştığı bölgeler, daha önce ilgilenilen düşük periyotlardakine oranla ova ortasına doğru zemin tabakalarının kalınlığının arttığı kısımlara kaymıştır. Bu davranış, daha düşük periyot değerleri için gözlenmemiştir. Ortalama 2D/1D spektral ivme oranı genellikle 1-2 arasında değişen değerler almıştır.

$H/D=10$ olan modellerdeki dikkat çekici husus; ortalama değerlerin genellikle 1'e çok yakın olması, bununla birlikte frekans muhtevasına bağlı olarak bazı deprem hareketleri için (1995 Dinar depremi) diğerlerine göre yüksek değerlerin özellikle $X/D=5$ noktasına kadar elde edilmiş olmasıdır. Farklı ova modelleri için hesaplanan bütün 2D/1D oranı değerlerinin hem X/D mesafesine hem periyot değerlerine bağlı

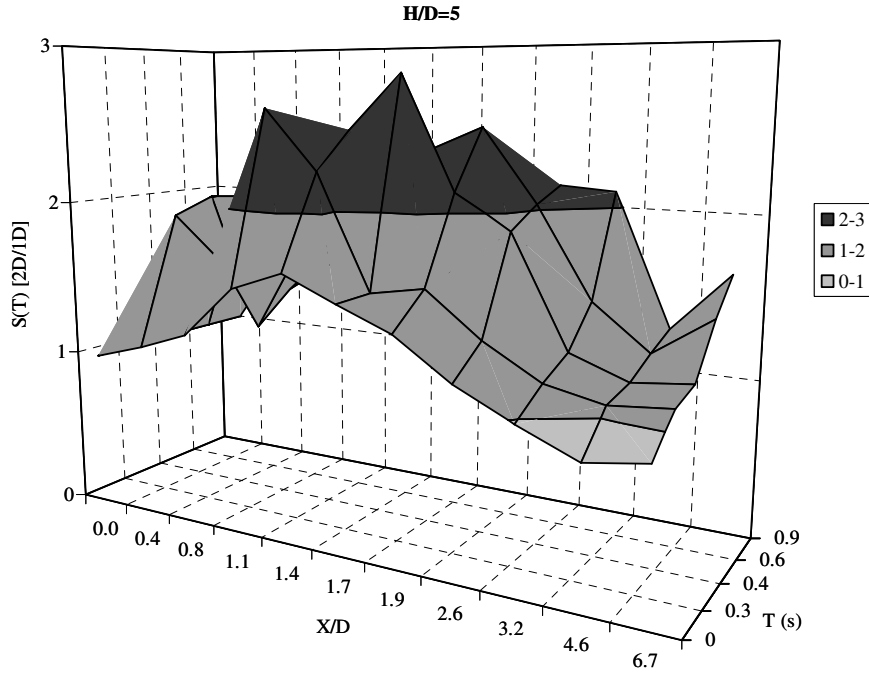
değişimi $H/D=1$, $H/D=2$, $H/D=5$ ve $H/D=10$ modelleri için sırasıyla Ek B Şekil 7, 8, 9 ve 10'da verilmiştir. Ayrıca, $2D/1D$ spektral ivme oranlarının hem X/D hem de periyoda bağlı değişimi, $H/D=1$, $H/D=2$, $H/D=5$ ve $H/D=10$ modelleri için üç boyutlu yüzeyler biçiminde sırasıyla Şekil 8.22, 8.23, 8.24 ve 8.25'te gösterilmiştir.



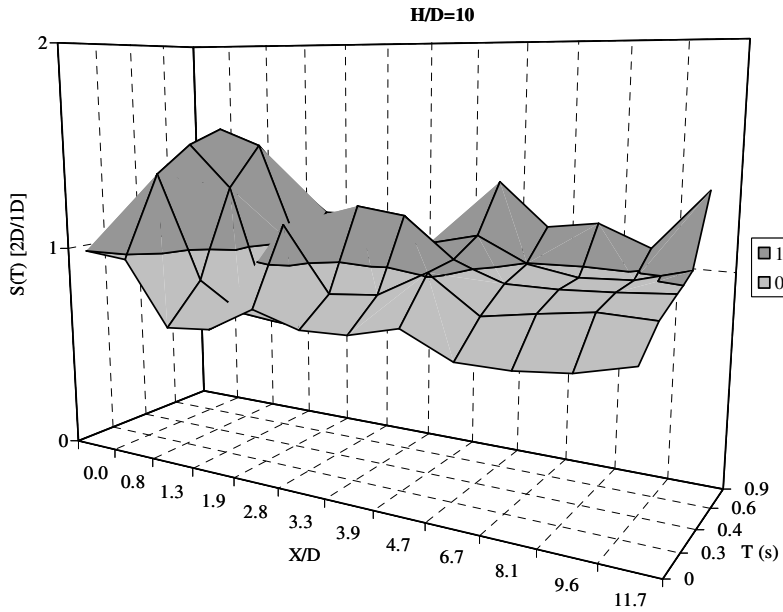
Şekil 8.22 : $H/D=1$ olan ova modelinde $2D/1D$ spektral ivme oranlarının X/D ve periyoda bağlı değişimi.



Şekil 8.23 : $H/D=2$ olan ova modelinde $2D/1D$ spektral ivme oranlarının X/D ve periyoda bağlı değişimi.



Şekil 8.24 : $H/D=5$ olan ova modelinde 2D/1D spektral ivme oranlarının X/D ve periyoda bağlı değişimi.



Şekil 8.25 : $H/D=10$ olan ova modelinde 2D/1D spektral ivme oranlarının X/D ve periyoda bağlı değişimi.

Her biri, farklı anakaya geometrisini yansıtan şekillerden de görülebileceği gibi 2D/1D spektral ivme oranı en yüksek değerlerine $H/D=5$ olan modelde ulaşmaktadır. Daha yüksek ve daha düşük anakaya eğimi değerlerine sahip modellerde bu oranda azalma gözlenmektedir. Bütün modeller için en yüksek 2D/1D spektral ivme oranları 0.2 s-0.5 s aralığında elde edilmiştir. 2D/1D spektral ivme oranlarının en yüksek olduğu bölgelerdeki üç boyutlu yüzeyler genellikle koni ve piramiti andıran şekile

sahiptirler. Ova kenarındaki anakaya eğiminin azalmasıyla birlikte ($H/D=10$, $\alpha=6^\circ$) iki ve bir boyutlu spektral ivmeler arasındaki farklar en aza inmektedir.

Dinar ovasının kenarının dinamik analizinde kullanılan kayma dalgası hızı ($V_{s30}=200$ m/s) ve zemin profilinden (CI) oluşan farklı anakaya eğimine sahip modellerin; 6 ayrı deprem hareketi karşısındaki bir ve iki boyutlu dinamik davranışının elde edilmeye çalışıldığı analizlerde, ova modellerinin kenarı için hesaplanan 2D/1D oranlarının X/D boyutsuz büyüklüğüne bağlı değişimi incelenmiş ve nicel bir bağıntı bulunmaya çalışılmıştır. Bu amaçla; $V_{s30}=200$ m/s eşdeğer kayma dalgası hızına sahip, üst tabakalarında orta plastisiteli kil olduğu kabul edilen ($I_p=\% 20-25$) ve orta rijit anakaya ($V_s \approx 1000$ m/s) $D=180$ m derinlikte ulaşıldığı varsayılan farklı anakaya eğimine sahip ova modellerinde 6 ayrı deprem hareketi için elde edilen 2D/1D spektral ivme oranlarının 5 farklı karakteristik periyottaki ($T=0, 0.3, 0.4, 0.6, 0.9$ s) ortalamaları hesaplanmıştır. Farklı deprem hareketleri için normal dağılıma uydukları varsayılan 2D/1D oranlarının ortalama değerlerinin ova kenarındaki değişimleri, her bir anakaya eğimi ve periyot değeri için X/D boyutsuz büyüklüğüne bağlı olarak tek bir fonksiyon ve/veya sabit değer yardımıyla tanımlanmaya çalışılmıştır. Farklı geometriler için elde edilmiş olan 2D/1D oranı eğrilerinin lineer olmaması ve bazı modeller için birden fazla çok yüksek ve çok düşük noktaya sahip olması, eğrilerde bazı idealleştirmeler yapılmasına ve bazı eğriler için ova kenarında bir bölgeyi temsil eden sabit değerler kullanılmasını gerekli kılmıştır.

Ova kenarındaki ortalama 2D/1D spektral ivme oranlarının anakaya mostrası sınırından olan uzaklığa bağlı değişimleri ova modellerinin çoğunda, denklemi aşağıda verilen tek bir fonksiyon kullanılarak tanımlanmıştır.

$$m=S(T) [2D/1D] = e^{\left(a + \frac{b}{(X/D)} + c \cdot \ln\left(\frac{X}{D}\right) \right)} + 1 \quad [X/D > 0] \quad (8.4)$$

Denklemde, m; 2D/1D spektral ivme oranını, X; ova kenarındaki anakaya mostrası sınırından olan uzaklığı, D; ova kenarındaki orta sert anakayanın dalımının sona erdiği noktadaki derinliği ($V_s=1000$ m/s kayma dalgası hızına sahip orta sert anakaya üzerindeki zemin tabakalarının ova ortasına doğru en derin oldukları yerdeki toplam kalınlık), a, b, c; anakaya eğimi ve ilgilenilen periyoda bağlı değişen değerleri göstermektedir. Bu üssel fonksiyon; eğrilerin maksimum 2D/1D spektral ivme

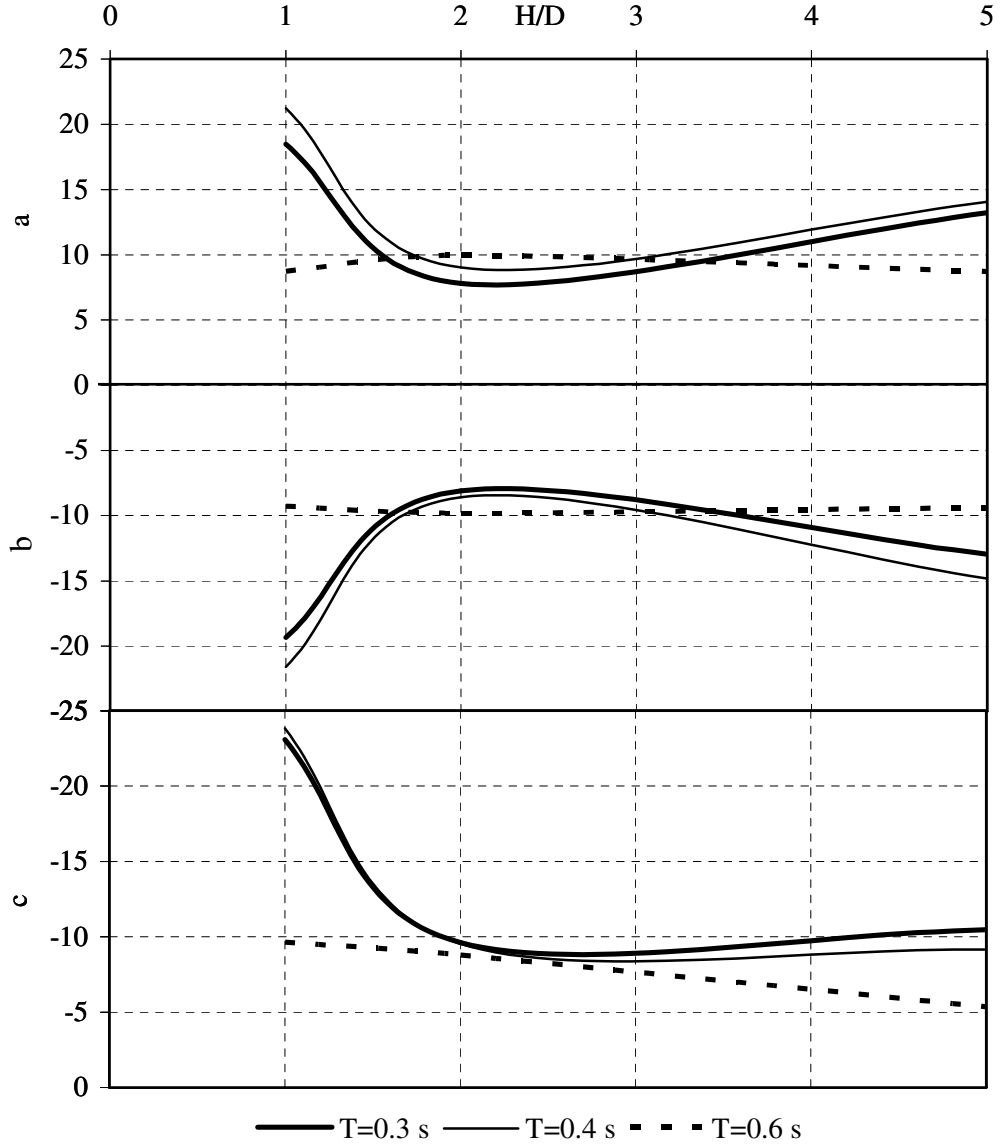
oranlarına sahip olduğu bölgeleri yansıtmakta çok başarılı olmakla birlikte, 2D/1D oranlarının bazılarında görülen birden fazla düşük ve yüksek noktaya sahip olma biçimini modelleyememektedir. Bununla birlikte, bazı modellerde anakaya mostrası sınırına yakın bölgelerde görülen ani şiddet artışı ve azalışı davranışının doğada tam olarak meydana gelemeyeceği düşünülmektedir. Bunun nedeni ise; ova ve vadi gibi oluşumlarda anakaya mostrası sınırıyla alüvyon tabakalarının birleştiği bölgelerde genellikle, yamaç molozu ve/veya anakayanın yerinde kimyasal veya fiziksel ayrışmasıyla oluşmuş ve alüvyona oranla daha sıkı ve sert zemin tabakalarının var olmasıdır. Bu nedenle, alüvyonun anakaya mostrasına çok yakın bölgelerinde 2D/1D oranı değerlerinde oluşan küçük ölçekli ikincil artış ve düşüşler ihmal edilmiştir. Ayrıca bazı periyot değerleri ve modeller için ova kenarındaki 2D/1D spektral ivme oranlarında belirgin bir artıştan çok sabit değerlerin oluştuğu belirlenmiştir.

Yukarıdaki denklemde kullanılan değişkenlerin değişik anakaya eğimine sahip ova modellerinde farklı periyotlar için aldıkları değerler ve bu değerlerin geçerli olduğu X/D aralıkları Çizelge 8.3'te sunulmuştur. 2D/1D oranı bağıntılarının X/D'ye bağlı değişimi farklı periyot değerleri için Ek B Şekil B.11-B.15'te gösterilmiştir.

Çizelge 8.3 : 2D/1D spektral ivme oranı bağıntısında kullanılan parametrelerin farklı anakaya eğimleri için aldıkları değerler (Dinar ovası modeli).

H/D	T (s)	Ortalama				Ort.+Std. Sapma			
		a	b	c	m	a	b	c	m
1	0	-	-	-	1	-	-	-	1
	0.3	18.5	-19.3	-23.1	-	20.1	-20.6	-24.6	-
	0.4	21.2	-21.6	-23.8	-	12.6	-12.4	-14.2	-
	0.6	8.7	-9.3	-9.7	-	4.9	-4.9	-5.0	-
	0.9	-	-	-	0.9 (X/D<0.5) 1.6 (0.5<X/D<2)				1.1 (X/D<0.5) 1.2 (0.5<X/D<2)
2	0	43.9	-44.3	-44.1	-	8.7	-8.9	-9.3	-
	0.3	7.8	-8.1	-9.6	-	5.7	-5.4	-5.7	-
	0.4	9.0	-8.6	-9.5	-	5.4	-4.6	-5.0	-
	0.6	10.0	-9.8	-8.8	-	6.4	-6.0	-5.0	-
	0.9	-	-	-	1 (X/D<1) 1.8 (1<X/D<3)				1.2 (X/D<1) 2.2 (X/D<1)
5	0	11.3	-12.2	-9.1	-				
	0.3	13.2	-13	-10.5	-	9.1	-8.4	-6.7	-
	0.4	14.1	-14.8	-9.2	-	10.5	-10.4	-6.1	-
	0.6	8.7	-9.4	-5.4	-				
	0.9	-	-	-	1.5 (X/D<5)	-	-	-	2 (X/D<10)
10	0	-	-	-	0.8 (X/D<10)	-	-	-	1
	0.3	-	-	-	1	-	-	-	1.2 (X/D<10)
	0.4	-	-	-	1.1 (X/D<10)	-	-	-	1.4 (X/D<5) 1 (5<X/D<10)
	0.6	50	-49.6	-49.3	-	-1.0	0.8	-0.7	-
	0.9	-	-	-	1.2 (X/D<10)	-	-	-	1.4 (X/D<10)

Üssel fonksiyon içinde geçen ve aldıkları değerler anakaya eğimi ile ilgilenilen periyoda bağlı değişen a, b ve c parametreleri; 2D/1D spektral ivme oranı eğrilerinin aldıkları en büyük değerleri ve eğrilerin çarpıklıklarını belirlemek için kullanılan değerlerdir. a, b ve c parametrelerinin aldıkları değerler anakaya eğimi ve periyoda bağlı değişmektedir. Dinar ovası kayma dalgası hızı ve zemin profiline ($V_{s30}=200$ m/s, CI , $I_p= \% 20-25$) sahip farklı geometrideki modeller için elde edilen ve farklı periyot değerleri için hesaplanan a, b ve c parametrelerinin anakaya eğimine bağlı değişimi Şekil 8.26'da gösterilmiştir. Şekilden de görülebileceği gibi; a, b ve c parametrelerinin aldıkları değerlerin anakaya eğimine bağlı değişimleri, benzer karakterde eğilime sahip lineer olmayan eğriler biçiminde ortaya çıkmaktadır.

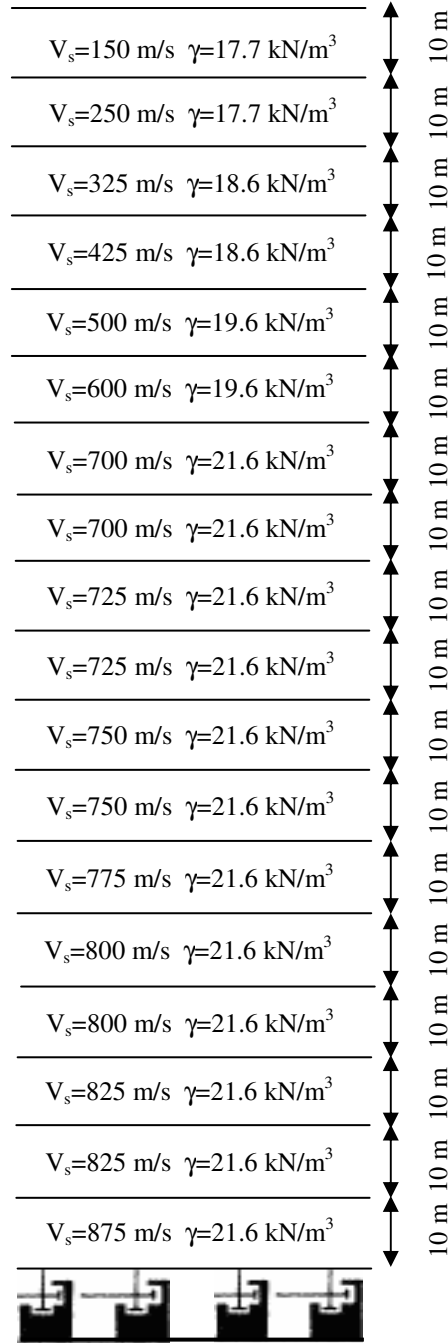


Şekil 8.26 : Farklı periyotlar için hesaplanmış a, b, c parametrelerinin H/D 'ye bağlı değişimi.

8.5 Düzce Ovası Modeli Kullanılarak Yapılan Analizler

8.5.1 İki boyutlu dinamik analizler

Anakayanın ova ortasına doğru dalımının farklı eğimlere sahip olacak biçimde seçildiği dört ayrı modelde; ova ortası tarafındaki zemin tabakaları için, Düzce Ovası'nda yapılmış olan geniş açıklıklı mikrotremor array ve tekil mikrotremor deneylerinden elde edilmiş kayma dalgası hızı profili kullanılmıştır (Şekil 8.27).



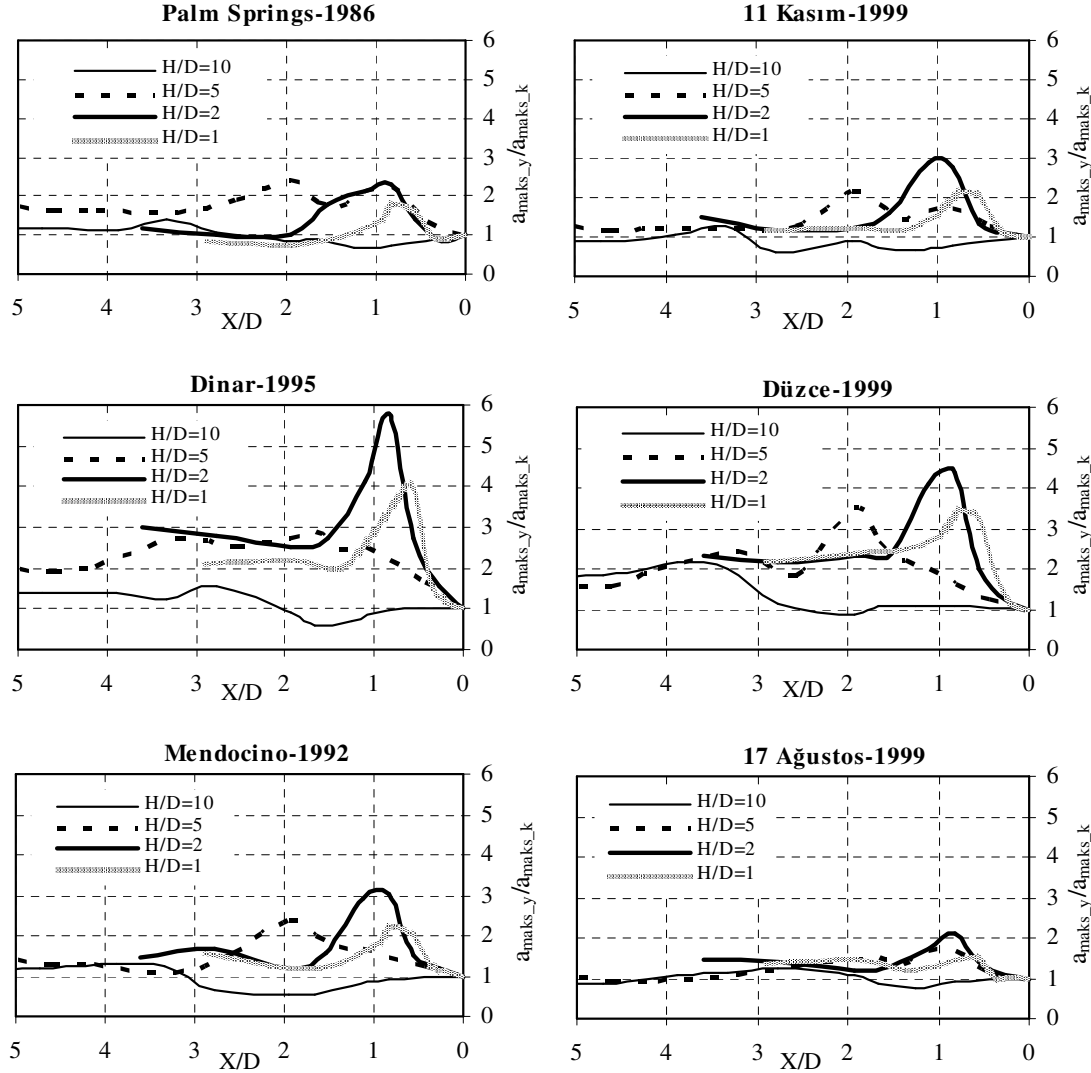
Şekil 8.27 : İki boyutlu modellerde tabandaki düz anakayanın ($V_s=1000$ m/s) üstünde kullanılan kayma dalgası hızı profili.

Zemin profilinde yüzeyde yer alan 20 m kalınlığındaki tabakanın, düşük plastisiteli kil-kumlu ($PI = \%15$) olduğu, 20-40 m derinlikler arasında ise düşük plastisiteli silt ($PI = \%5$), siltli-killi kum ve çakıl bulunduğu varsayılmıştır. 40 m derinlik ile yumuşak anakaya başlangıcı olan 60 m derinlik arası kaba daneli zemin ile temsil edilmiştir. Zemin tabakalarındaki sönüm oranı ile kayma modülünün tekrarlı kayma şekil değiştirmesine bağlı değişimi Ishibashi-Zhang (1993) bağıntısı kullanılarak oluşturulmuştur. Zemin tabakalarından orta sert anakayaya geçiş bölgesinde, yumuşak kayaçların yer aldığı varsayılmış ve bu bölge için dinamik parametrelerin kayma şekil değiştirmesine bağlı değişimi Schnabel ve diğ. (1972) bağıntısı yardımıyla modellenmiştir. Dinamik analizlerde eşdeğer lineer yöntem uygulanmış, bir boyutlu analizlerde Dyne-q ve iki boyutlu analizlerde Quake/W yazılımları kullanılmıştır.

İki boyutlu modelin hem düşey hem de yatay sınırlarında ilgili tabakaların basınç ve kayma dalgası hızlarıyla orantılı sönümleyiciler kullanılmıştır. Tabandaki yatay sınır, her iki doğrultuda (düşey ve yatay) yerleştirilen sönümleyiciler yardımıyla modellenmiştir. Tabandaki yatay sönüm katsayıları hesaplanırken orta sert anakaya kabulüyle $V_s = 1200$ m/s alınmıştır. Modelin hem anakaya hem de ova kısımlarındaki düğüm noktalarında düşey ve yatay sönümleyiciler kullanılmış ve bunlara ek olarak yatayda sonsuza uzanan tabakaların sönüm kuvvetlerinin etkisi de iki boyutlu modele katılmıştır. Bu kuvvetler, sonsuza uzanan zemin tabakalarının tek boyutlu dinamik analiziyle elde edilen tabaka parçacık hızlarının $\{\dot{u}_f\}$ yatay doğrultudaki sönüm katsayısıyla çarpılmasıyla hesaplanmış ve deprem süresince etkiyen zamana bağlı sınır gerilmesi olarak modele her iki düşey sınırda da uygulanmıştır.

Farklı frekans içeriği ve şiddet değerine sahip altı ayrı kuvvetli ivme zaman geçmiş, anakaya eğimleri birbirinden farklı 4 ayrı vadi/ova modeline uygulanmıştır. Yapılan analizler sonucunda, ova yüzeyindeki farklı noktalar için elde edilen yatay doğrultudaki ivme zaman geçmişlerinin maksimum mutlak değerleri (a_{maks_y}), vadi kenarındaki anakaya mostrasındaki ivme zaman geçmişlerinin en büyük mutlak değerine (a_{maks_k}) bölünerek normalleştirilmiştir. Farklı depremler için ova/vadi yüzeyinde hesaplanan bu değerler, yani zaman ortamındaki zemin büyütmesi değerleri, farklı anakaya eğimine sahip modeller için Şekil 8.28'de gösterilmiştir. Şekilde yatay eksen (X/D), ova kenarındaki anakaya mostrasından olan uzaklığın ova derinliğine olan oranını belirtmektedir. Yani farklı anakaya eğimine sahip ovalarda

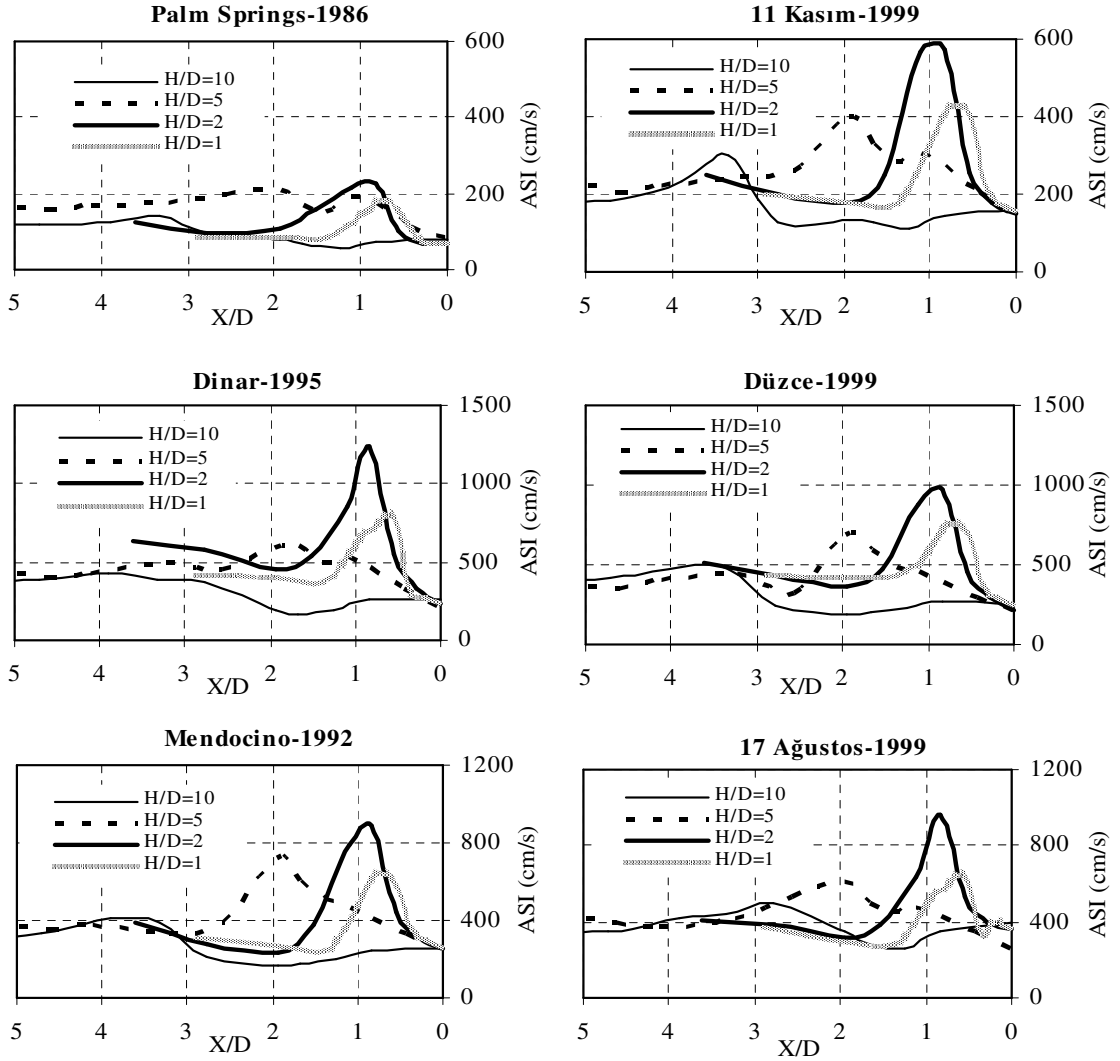
farklı depremler karşısında yüzeyde hesaplanan zemin büyütmesi değerlerinin ova kenarındaki anakaya mostrasından ova ortasına doğru normalleştirilmiş uzaklığa (X/D) bağlı değişimi verilmektedir.



Şekil 8.28 : Farklı deprem ve anakaya eğimi için Düzce ovası modelinde hesaplanan zemin büyütmelerinin yüzeydeki değişimi.

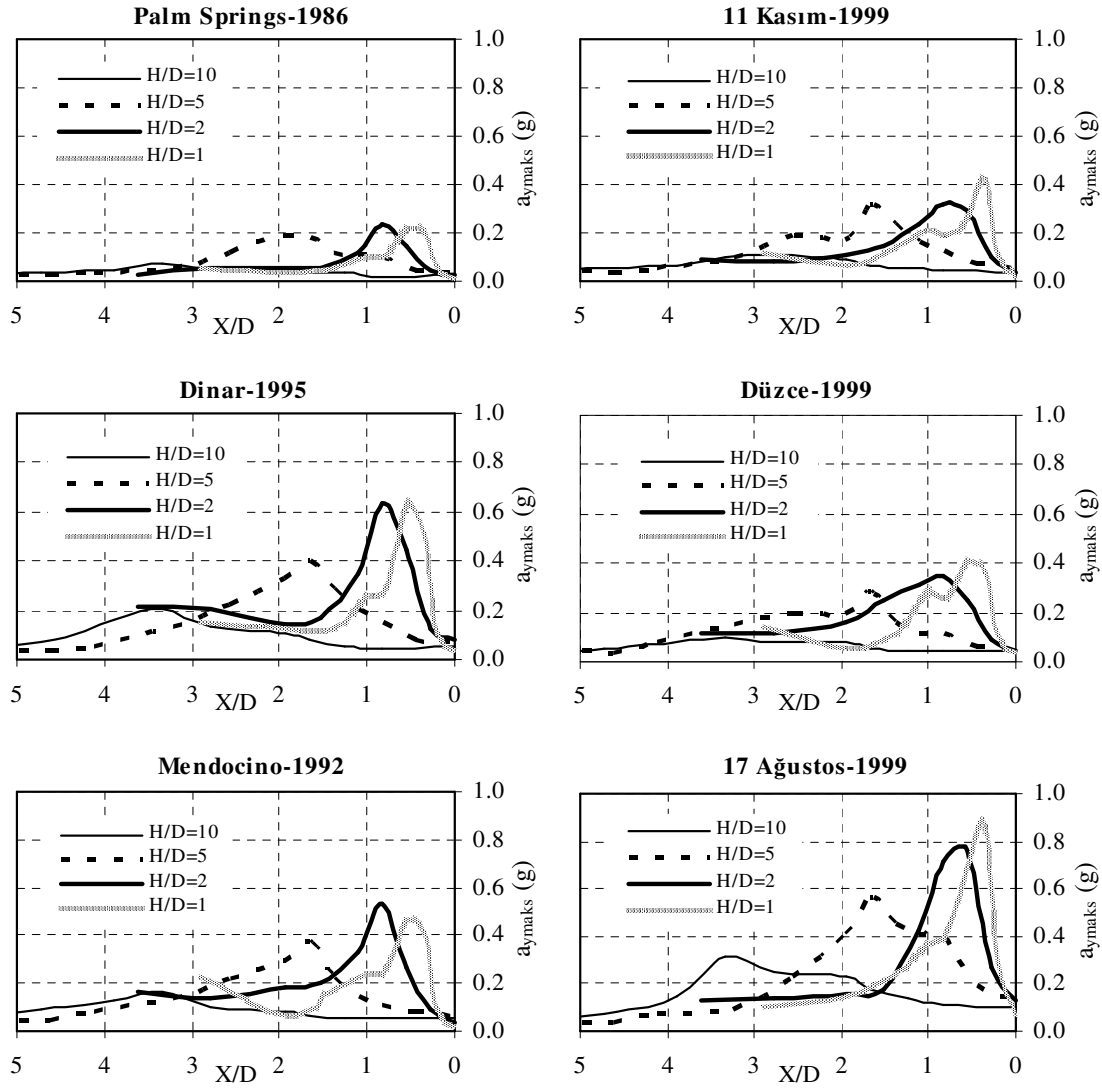
Farklı anakaya eğimine sahip ovalarda farklı deprem hareketleri için elde edilen ASI (İvme spektrumu şiddeti) değerlerinin ova kenarındaki anakaya mostrası sınırından ova ortasına doğru X/D büyüklüğüne bağlı değişimi Şekil 8.29’da gösterilmiştir. Şekil 8.28 ve Şekil 8.29’un her ikisinden de görülebileceği gibi farklı deprem hareketlerinin büyük bölümü için ova yüzeyindeki zemin büyütmeleri ve ASI değerleri, anakaya mostrasından ova ortasına doğru ilerledikçe belirli bir bölgede en büyük değerlerine ulaşmakta daha sonra ova ortasına doğru yaklaştıkça yine neredeyse anakaya mostrasında sahip oldukları değerlere doğru azalmaktadırlar.

Depremi şiddeti ve kenardaki anakaya eğiminden bağımsız olarak aynı davranış bütün modellerde hakimdir. Ayrıca grafiklerden rahatça görülebilmektedir ki; farklı depremler için hesaplanan zemin büyütmesi (a_{maks_y}/a_{maks_k}) ve ivme spektrumu şiddeti değerleri (ASI), anakaya eğimine bağlı olmaksızın X/D boyutsuz büyüklüğünün belirli bir değerinden sonra birbirine yakınsamaktadırlar.



Şekil 8.29 : Farklı deprem ve anakaya eğimi için Düzce ovası modelinde hesaplanan ivme spektrumu şiddeti değerlerinin (ASI) yüzeydeki değişimi.

Dört ayrı anakaya eğiminin ($H/D=10, 5, 2, 1$) kullanıldığı modellerde ova kenarlarındaki zemin büyütmesi ve ASI değerlerindeki dikkate değer artışlar, anakaya eğiminin $11^\circ, 27^\circ$ ve 45° ($H/D=5, 2, 1$) olduğu durumlarda ortaya çıkmıştır. Bu değerler, anakaya eğiminin 27° ($H/D=2$) seçildiği ova modelinde belirgin olarak farklılaşmakta ve diğerlerine göre artmaktadır. Daha düşük eğime ($H/D=10, \alpha=6^\circ$) sahip ova modelinde zemin büyütmesi ve ASI değerlerinde ova kenarında azalma meydana gelmektedir.



Şekil 8.30 : Farklı deprem ve anakaya eğimi için Düzce ovası modelinde hesaplanan maksimum düşey ivme değerlerinin yüzeydeki değişimi.

Bilindiği üzere, vadi/ova gibi oluşumların kenarlarında deprem sırasında dalga dönüşümleri oluşur; cisim dalgaları yüzey dalgalarına dönüştüğü gibi, yatay doğrultudaki dalgaların anakaya sınırına çarpması nedeniyle kenardaki bölgelerde ek düşey hareket meydana gelir. Yüzeydeki düşey ivme değerlerine sadece enine doğrultudaki hareketin etkisini belirleyebilmek amacıyla, düşey ivme zaman geçmişlerinin maksimum değerlerinin X/D 'ye bağlı değişimi elde edilmiştir (Şekil 8.30). Bu grafiklerden de görülebileceği gibi; anakaya eğimi arttıkça depremin frekans muhtevassından bağımsız olarak ova kenarındaki düşey ivme değerleri yükselmekte, ayrıca bu yükseliş anakayadaki deprem hareketinin şiddetinin artmasıyla daha da fazlalaşmaktadır.

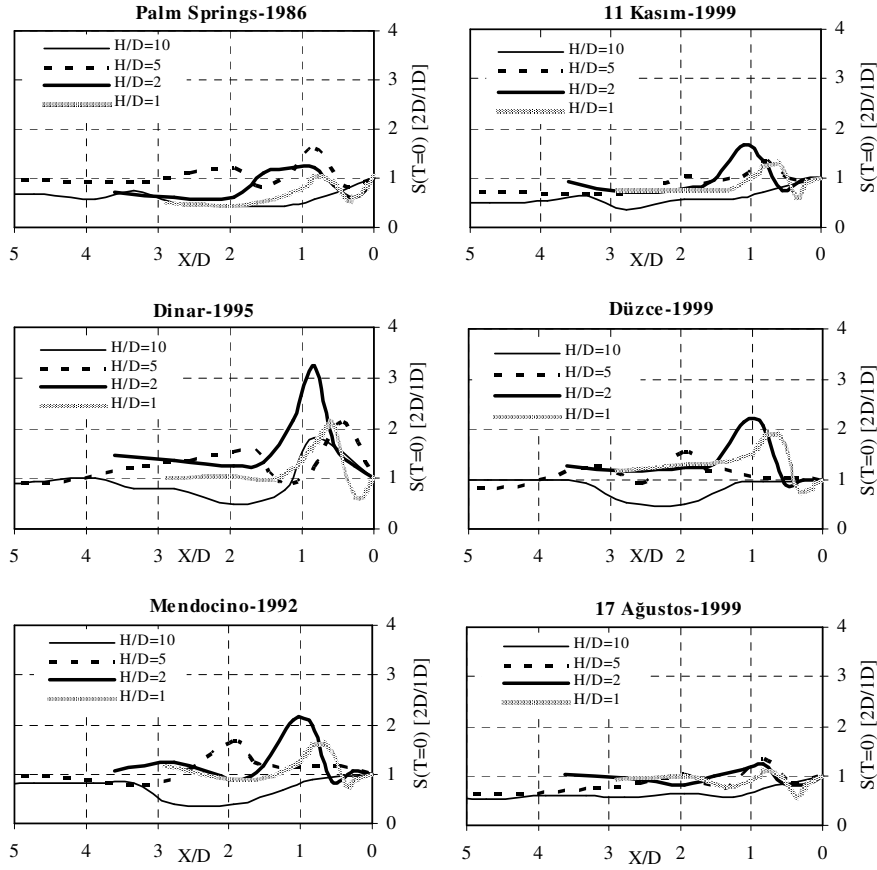
Bu artış; $X/D=0-3$ aralığında görülmekle birlikte, $X/D=0-1$ aralığında en büyük değerlerine ulaşmaktadır. Ova kenarındaki anakaya eğimi arttıkça; düşey hareketin etkili olduğu bölge daralmakta, anakaya mostrasına doğru yaklaşmakta ve düşey hareketin şiddeti artmaktadır. Ayrıca Şekil 8.28 ve 8.30 karşılaştırıldığında, düşey hareketin etkili olduğu bölgenin yatay hareketin etkili olduğu bölgeye göre daha dar ve anakaya mostrasına daha yakın olduğu görülebilmektedir. Özellikle X/D 'in 1'den küçük olduğu ova bölümünde düşey ivme zaman geçmişi maksimum değerleri anakayadaki en büyük yatay ivme değerlerinin 2-3 katına çıkabilmektedir.

8.5.2 Bir ve iki boyutlu dinamik analiz sonuçlarının karşılaştırılması

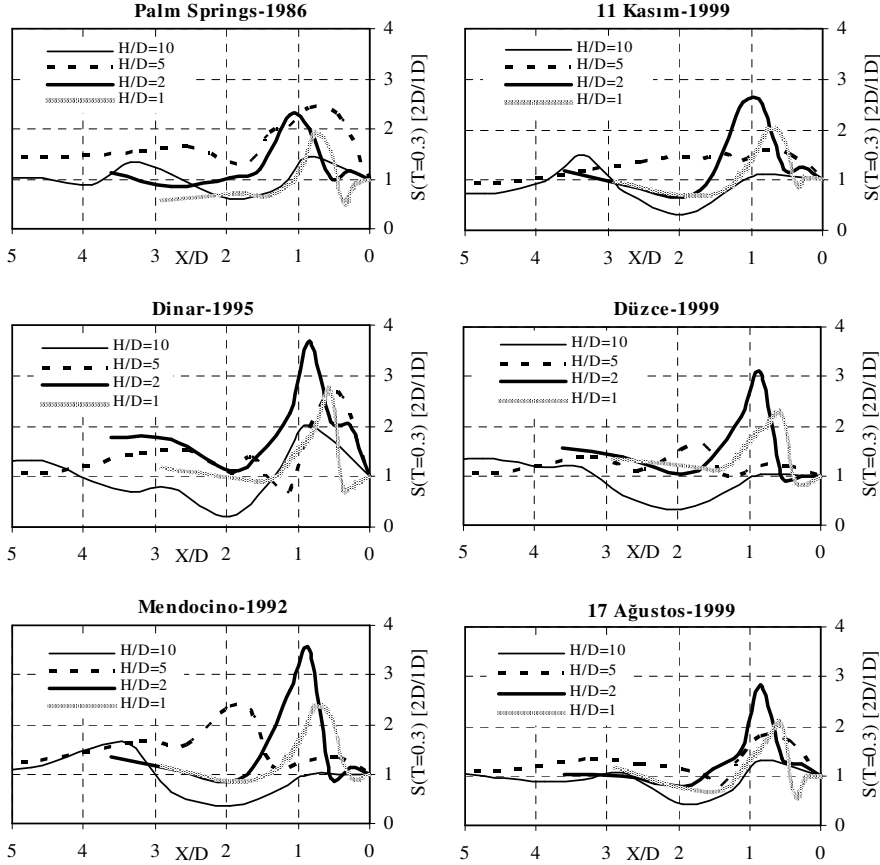
Farklı anakaya eğimine sahip Düzce ovası modellerinde ($V_{s30}=245$ m/s, CL, $I_p=\%$ 10-15) farklı depremler için yüzeyde meydana gelen hareketin belirlenmesinde iki boyutlu eşdeğer lineer analiz yöntemi kullanılmış ve daha sonra uygulanabilirliği açısından tercih sebebi olan bir boyutlu analizlerin aynı bölgeler için yapılmasıyla elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Bu amaçla; bütün modellerde farklı noktalar için iki boyutlu ve bir boyutlu analizle elde edilen ivme zaman geçmişi kullanılarak mutlak ivme spektrumları hesaplanmıştır.

Bir bölge için elde edilen mutlak ivme spektrumlarının farklı periyotlarda aldığı değerler; kat sayısı, rijitlik ve taşıyıcı sistemleri birbirinden farklı olan yapıların deprem hareketi karşısındaki davranışının belirlenmesinde önemli rol oynamaktadır. Bu yüzden mutlak ivme spektrumları; iki boyutlu modellerin yüzeyindeki farklı noktalar için 2D ve 1D analizlerle hesaplanmış, iki ve bir boyutlu davranışlar arasındaki fark; vadi yüzeyi için 2D ve 1D analizlerle elde edilen ivme spektrumlarının birbirine oranlanmasıyla anlaşılmaya çalışılmıştır. İki ve bir boyutlu dinamik analiz sonucunda elde edilen ivme spektrumlarının oranı “şiddet faktörü” olarak tanımlanmaktadır (Makra, 2000; Makra ve diğ., 2001).

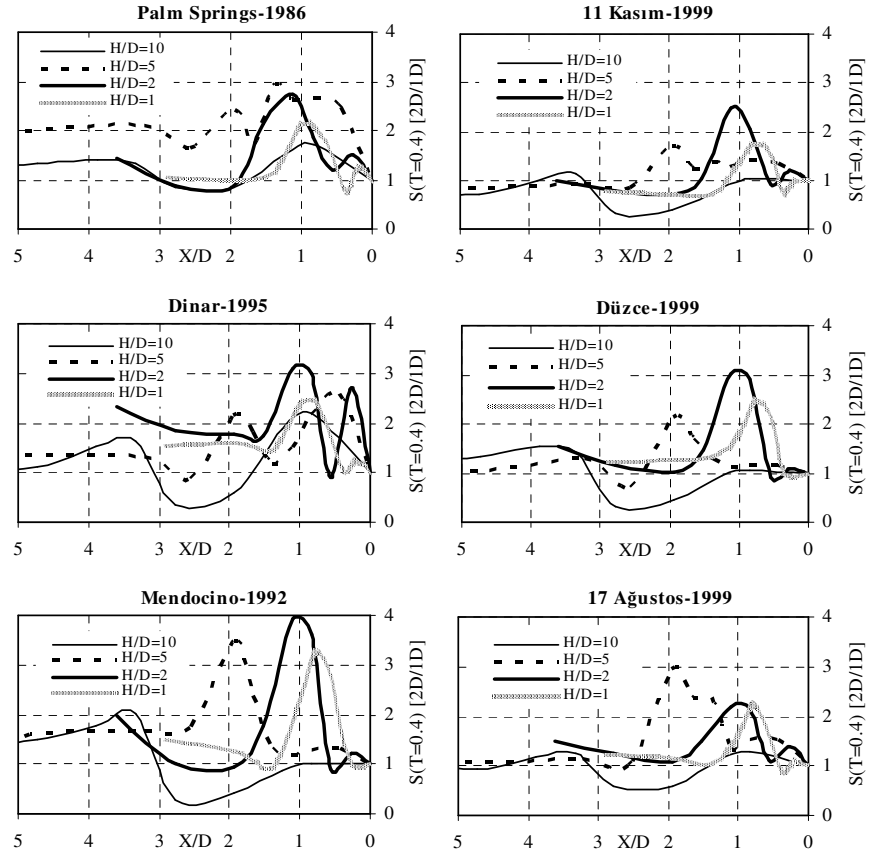
Yüzey hareketinin farklı karakteristiklere (rijitliğe) sahip yapılara olan etkilerini inceleyebilmek amacıyla; farklı anakaya eğimine sahip vadi modellerinde, farklı anakaya deprem hareketleri için 2D/1D spektral ivme oranları beş ayrı periyot değeri ($T=0, 0.3, 0.4, 0.6, 0.9$ s) için hesaplanmıştır. Farklı anakaya eğimine sahip ova/vadi modelleri yüzeyinde 6 ayrı kuvvetli yer hareketi için elde edilen 2D/1D spektral ivme oranı, $T=0, 0.3, 0.4, 0.6$ ve 0.9 s değerleri için sırasıyla Şekil 8.31, 8.32, 8.33, 8.34 ve 8.35'te gösterilmiştir.



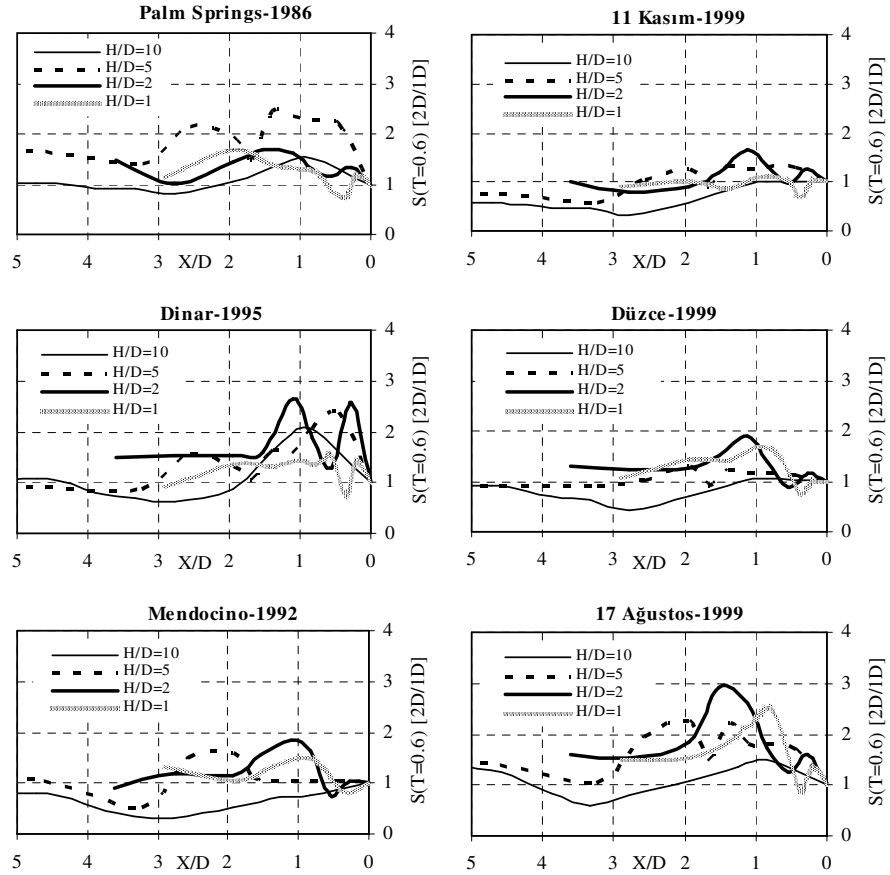
Şekil 8.31 : Düzce ovası modelinde hesaplanan 2D/1D oranının ($T=0$) değişimi.



Şekil 8.32 : Düzce ovası modelinde hesaplanan 2D/1D oranının ($T=0.3$ s) değişimi.

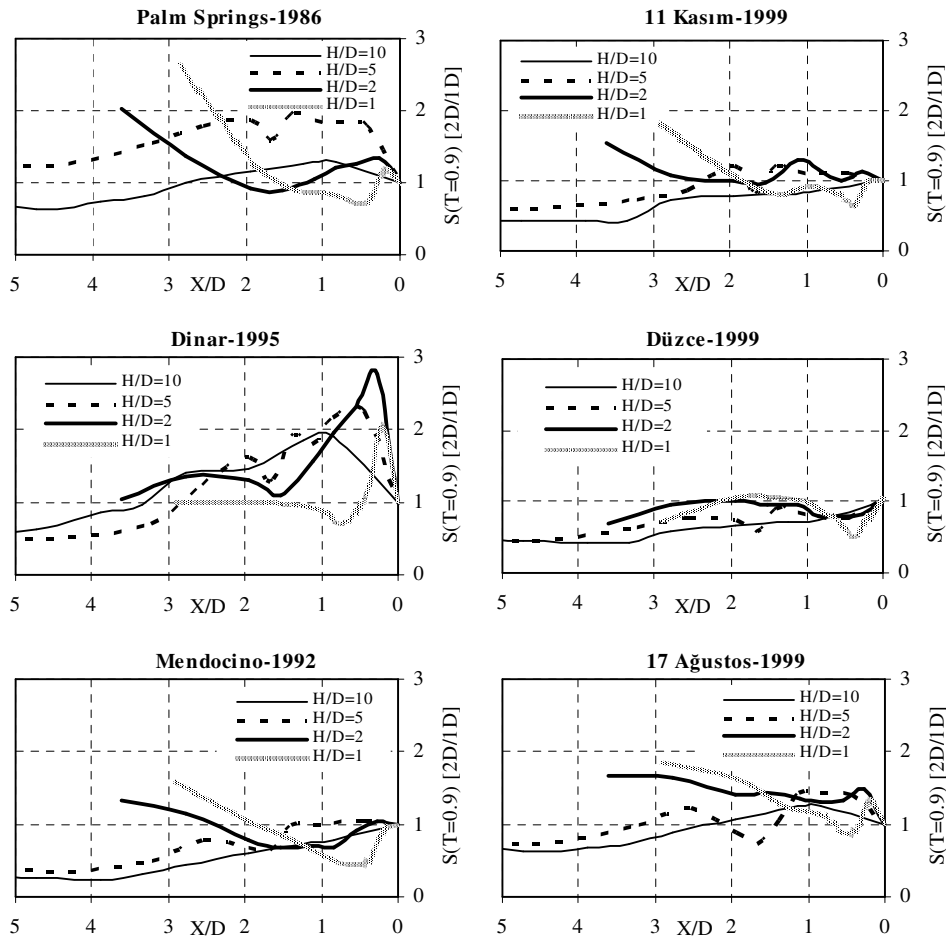


Şekil 8.33 : Düzce ovası modelinde hesaplanan $2D/1D$ oranının ($T=0.4$ s) değişimi.



Şekil 8.34 : Düzce ovası modelinde hesaplanan $2D/1D$ oranının ($T=0.6$ s) değişimi.

2D/1D spektral ivme oranları; ova kenarındaki belirli bir bölgede en büyük değerine ulaşmakta, ova ortasına doğru ilerledikçe farklı periyotlar için hesaplanan 2D/1D oranları 1 değerine yaklaşmaktadır. Yani, iki ve bir boyutlu analizler yapılarak farklı periyotlar için hesaplanan mutlak ivme spektrumu değerleri, ova ortasına doğru ilerledikçe birbirinden farklı deprem hareketi karşısında her anakaya eğimi için birbirine çok yakın değerler almakta, iki ve bir boyutlu analizlerin farklılığı azalmaktadır. Ayrıca hesaplanan 2D/1D spektral ivme oranlarının anakaya eğimine bağlı olmaksızın, X/D büyüklüğünün belli bir değerinden ($X/D=3$) sonra birbirine çok yaklaştığı rahatça fark edilebilmektedir. Dört ayrı anakaya eğimi değerinin (6° , 11° , 27° , 45°) kullanıldığı modellerde en yüksek 2D/1D spektral ivme oranı değerleri anakaya eğiminin 11° , 27° ve 45° ($H/D=5$, 2, 1) olduğu durumlarda ortaya çıkmıştır. Daha düşük ($H/D=10$, $\alpha=6^\circ$) eğime sahip ova modellerinde, ova kenarındaki 2D/1D oranı değerleri diğer modellere oranla daha düşük değerler almaktadır.

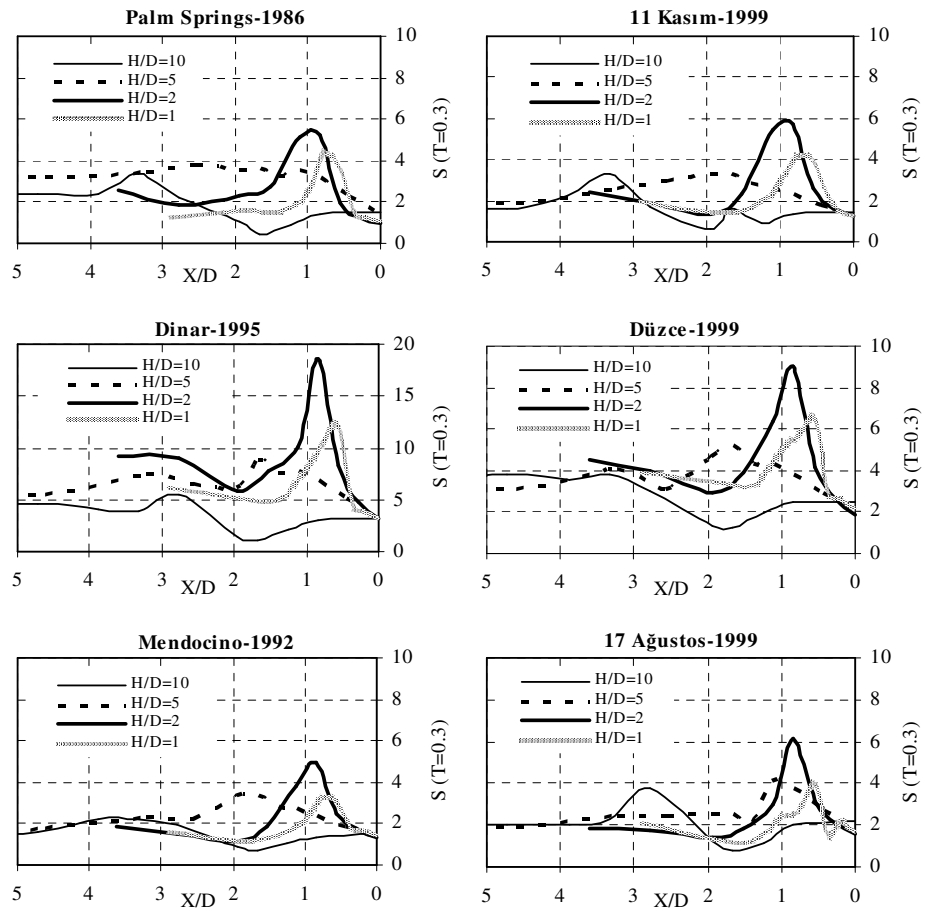


Şekil 8.35 : Düzce ovası modelinde hesaplanan 2D/1D oranının ($T=0.9$ s) değişimi.

$H/D=10$ olan modellerde genellikle ova kenarındaki iki boyutlu geometrinin şiddet artırıcı etkisi kalmamakta ve bir boyutlu analizle hesaplanan mutlak ivme spektrumu

değerleri aynı periyot için iki boyutlu analizle elde edilen ivme spektrumu değerlerinden daha yüksek hesaplanmaktadır. Farklı anakaya eğimine sahip ova modelleri için hesaplanan 2D/1D spektral ivme oranının en yüksek olduğu periyot değerleri genellikle 0.3 s ile 0.4 s'dir. Anakaya eğiminin 11° , 27° ve 45° ($H/D=5$, 2, 1) olduğu durumlarda 2D/1D spektral ivme oranları 2-4 arasında değerler almış ve özellikle $H/D=2$ durumu için en yüksek değerlerine ulaşmıştır.

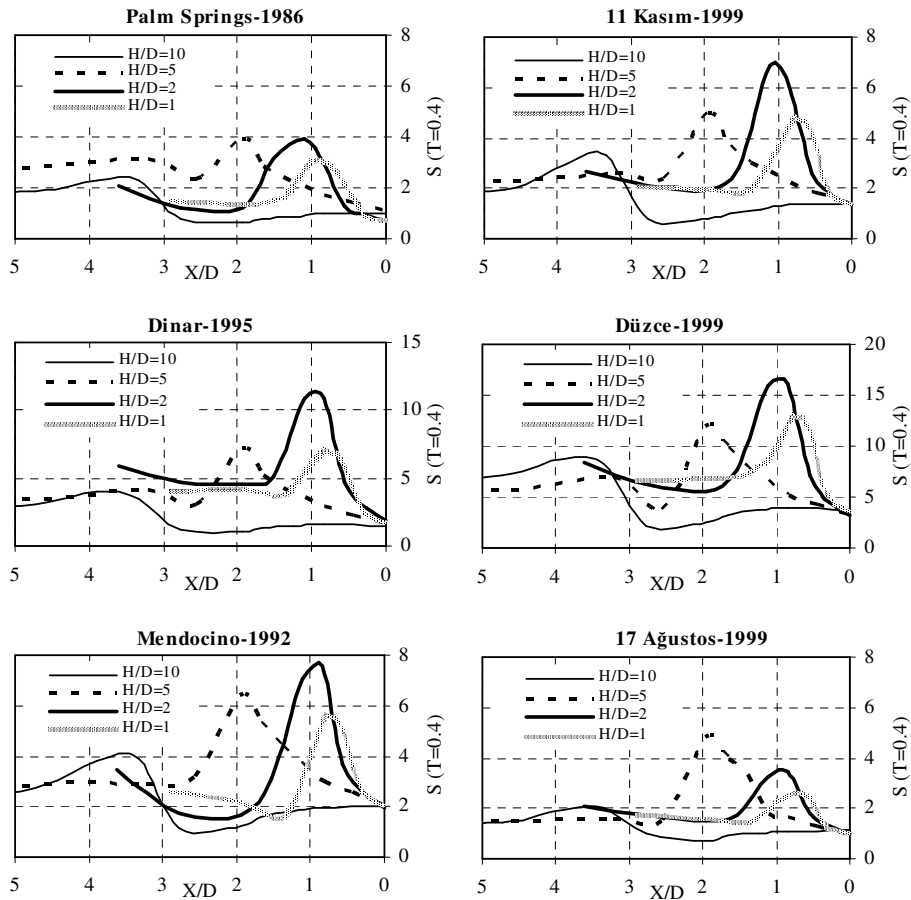
Anakaya eğimleri birbirinden farklı olan iki boyutlu ova modellerinin farklı deprem hareketleri karşısındaki dinamik davranışını belirleyebilmek için yüzeyde farklı noktalarda hesaplanan mutlak ivme spektrumları kullanılarak efektif spektrum katsayıları $S(T)$ elde edilmiş ve yüzeydeki değişimleri, kenardaki anakaya mostrasından itibaren X/D boyutsuz büyüklüğüne bağlı olarak verilmiştir. Farklı periyotlar için spektrum katsayıları hesaplanırken, deprem giriş hareketinin anakaya mostrasındaki en büyük değerine göre normalleştirme yapılmıştır.



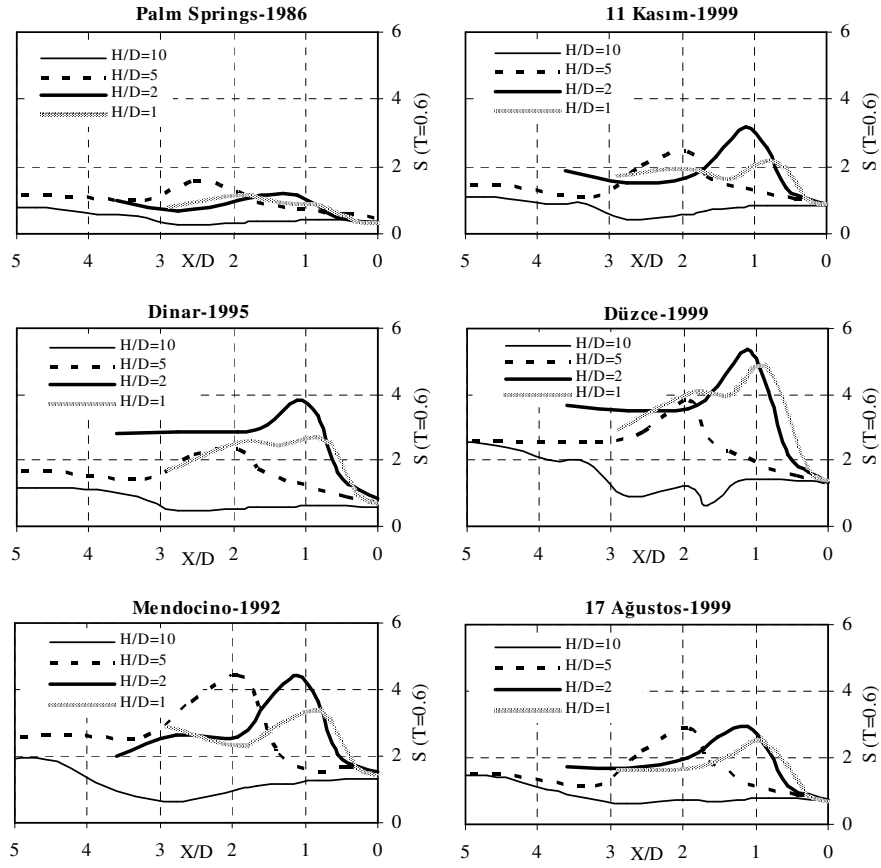
Şekil 8.36 : Düzce modeli için hesaplanan efektif spektrum katsayıları ($T=0.3$ s).

Farklı deprem ve anakaya eğimleri için efektif spektrum katsayısının yüzeydeki değişimi sırasıyla $T=0.3$ s için Şekil 8.36, $T=0.4$ s için Şekil 8.37, $T=0.6$ s için Şekil

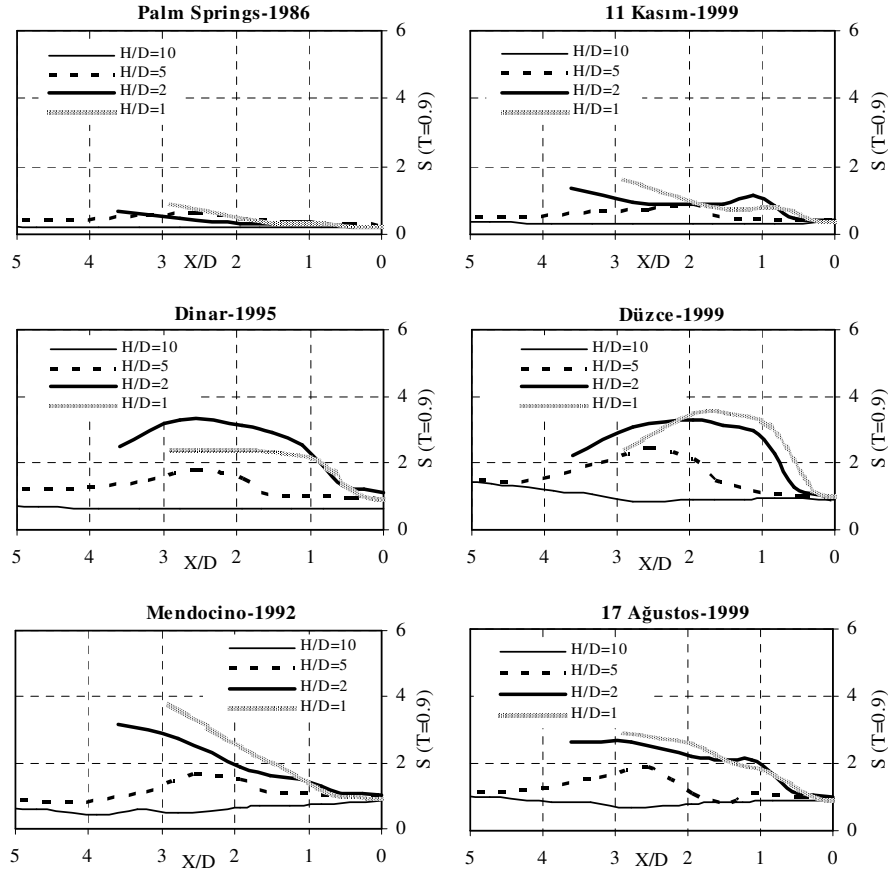
8.38 ve $T=0.9$ s için Şekil 8.39’da verilmiştir. Elde edilen efektif spektrum katsayısı değerlerinin; daha önceki grafiklerde gözüken davranışa benzer olarak, anakaya eğimine bağlı olmaksızın ayrı ayrı her bir deprem için X/D boyutsuz büyüklüğünün yaklaşık 3 değerinden sonra birbirine çok yaklaştığı görülebilmektedir. Bütün vadi modelleri içinde en yüksek spektrum katsayısı değerleri anakaya eğiminin 27° ($H/D=2$) olduğu durumda ortaya çıkmaktadır. Kenardaki anakaya eğiminin 45° ve 11° olduğu modellerde spektrum katsayısı değerleri biraz azalmakla birlikte yine de fark edilebilir derecede yüksek değerler almaktadırlar. Daha düşük ($H/D=10$, $\alpha=6^\circ$) eğime sahip vadi modellerinde bu etkiler gitgide azalmaktadır. Dikkat çekici diğer bir husus ta özellikle $T=0.3$, 0.4 ve 0.6 s periyot değerleri için spektrum katsayılarının en yüksek olduğu bölgelerin, anakaya eğiminin azalmasıyla birlikte kenardaki anakaya mostra sınırından ova ortasına doğru uzaklaşmasıdır. Ayrıca $T=0.9$ s için önemli bir ayrıntı da; $H/D=2$ ve 1 olan ova modellerinde efektif spektrum katsayılarının diğerlerine oranla oldukça yüksek olması ve anakaya mostrasından uzaklaşıp ova ortasına doğru yaklaştıkça yani zemin tabakalarının kalınlığının artması ile bu değerlerin de fark edilir biçimde artmasıdır.



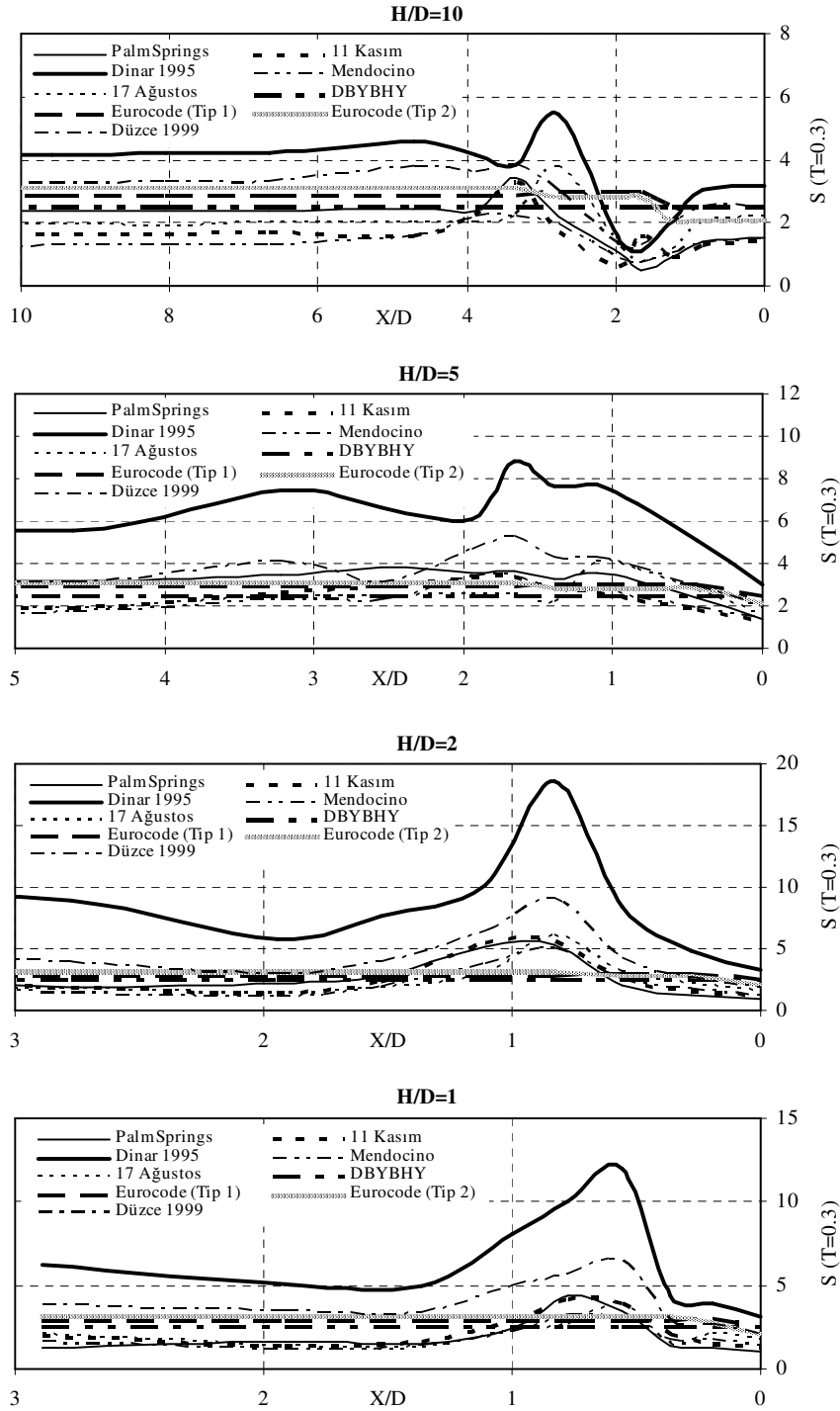
Şekil 8.37 : Düzce modeli için hesaplanan efektif spektrum katsayıları ($T=0.4$ s).



Şekil 8.38 : Düzce modeli için hesaplanan efektif spektrum katsayıları ($T=0.6$ s).



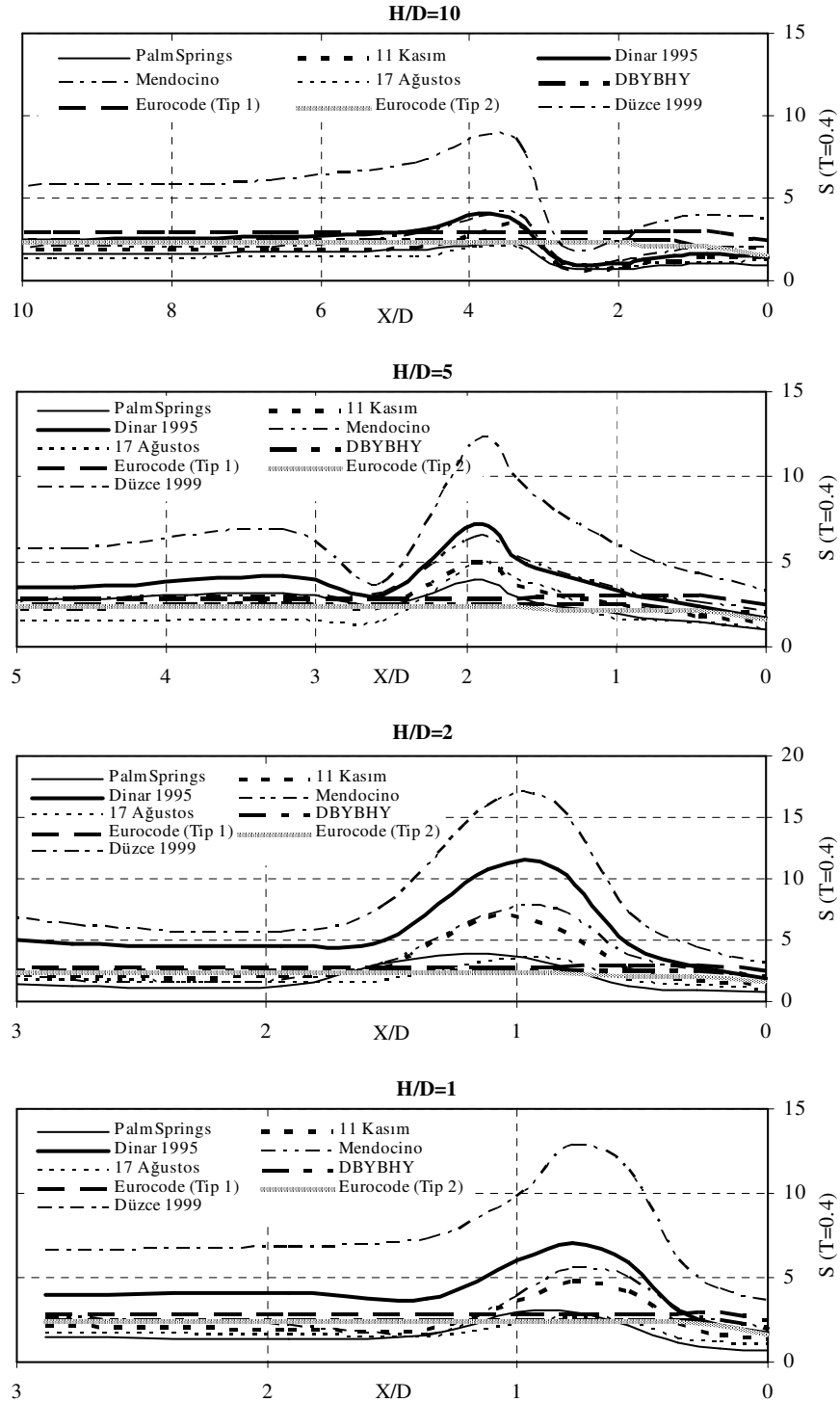
Şekil 8.39 : Düzce modeli için hesaplanan efektif spektrum katsayıları ($T=0.9$ s).



Şekil 8.40 : Farklı anakaya eğimi ve deprem hareketleri için Düzce ovası modelinde hesaplanan efektif spektrum katsayılarının ($T=0.3$ s) tasarım spektrumlarıyla karşılaştırılması.

Farklı anakaya eğimine sahip vadi modelleri için elde edilen efektif tasarım spektrumlarının ($S(T)$) değişimleri kenardaki anakaya mostrasından itibaren X/D boyutsuz büyüklüğüne bağlı olarak hem “DBYBHY”teki tasarım spektrumuyla hem de Eurocode 8’de büyük ve orta büyüklükteki depremler için verilen 1 ve 2 No’lu tasarım spektrumlarıyla karşılaştırılmıştır. Analizler sonucunda hesaplanan efektif

spektrum katsayıları ile farklı yönetmeliklere göre elde edilen tasarım spektrumu katsayılarının ova kenarından itibaren X/D boyutsuz büyüklüğüne bağlı değişimleri $T=0.3, 0.4, 0.6$ ve 0.9 s için sırasıyla Şekil 8.40, 8.41, 8.42 ve 8.43'te verilmiştir.



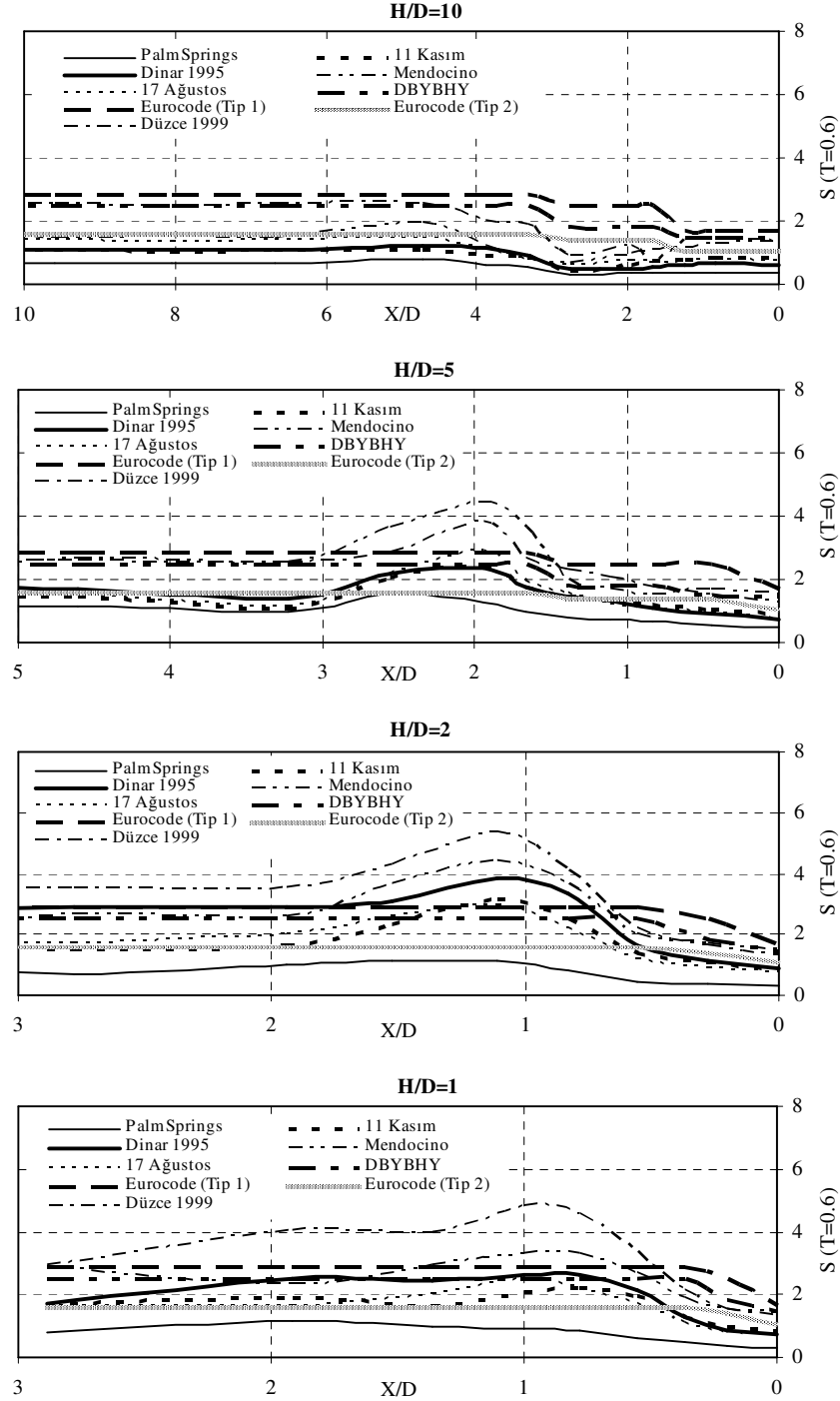
Şekil 8.41 : Farklı anakaya eğimi ve deprem hareketleri için Düzce ovası modelinde hesaplanan efektif spektrum katsayılarının ($T=0.4$ s) tasarım spektrumlarıyla karşılaştırılması.

Şekil 8.40'ta, 0.3 s periyot değerine karşı gelen efektif spektrum katsayılarının; anakaya eğimi farklı olan vadilerde anakaya mostrasından vadi ortasına doğru X/D boyutsuz büyüklüğüne bağlı değişimi ve tasarım spektrumlarıyla karşılaştırılması gösterilmektedir. Özellikle, anakaya eğiminin 27° ve 45° olması halinde; $X/D=0.5-1$ olduğu bölgede spektrum katsayısı değerlerinin tasarım spektrumu değerlerinin 4-6 katına çıktığı görülebilmektedir. Bununla birlikte anakaya eğiminin 6° olduğu durumda, Dinar depremi dışında tasarım spektrumu değerlerinin çok aşıldığı bir deprem görülmemektedir. Anakaya eğiminin 11° ve daha küçük olması halinde spektrum katsayısının maksimum olduğu nokta $X/D=1$ 'den daha uzak bölgeye doğru kaymaktadır.

$T=0.3$ s için Dinar depremi dışındaki depremlerin bütün modellerde meydana getirdiği etkilerin; anakaya eğiminin 27° ve 45° olması durumları haricinde, yönetmeliklerdeki farklı tasarım spektrumu katsayılarını aşmadığı görülmüştür. Buradan 1995 Dinar depreminin, 0.3 s periyot değeri için anakaya eğimine bağlı olmaksızın ova kenarındaki şiddet etkisini çok arttırabilecek bir frekans içeriğine sahip olduğu rahatça anlaşılabilmektedir.

Şekil 8.41'de; kenarda farklı anakaya eğimine sahip ova modellerinde 0.4 s periyot değerine karşı gelen spektrum katsayılarının anakaya mostrasından vadi ortasına doğru X/D boyutsuz büyüklüğüne bağlı değişimi gösterilmiştir. Yine özellikle anakaya eğiminin 27° olması halinde hesaplanan spektrum katsayısı değerleri; depremin frekans muhtevasına bağlı olarak X/D değerinin 1 olduğu bölge yakınında, tasarım spektrumu değerlerinin yaklaşık 6 katına çıkabilmektedir. Tasarım spektrumu değerlerinden daha yüksek spektrum katsayıları özellikle anakayadaki hakim periyot değerleri yaklaşık 0.4 s olan depremler için elde edilmektedir. Ayrıca özellikle 12 Kasım 1999 Düzce depremi için kenardaki anakaya eğiminden bağımsız olarak bütün ova modellerinde çok yüksek spektrum katsayıları hesaplanmıştır.

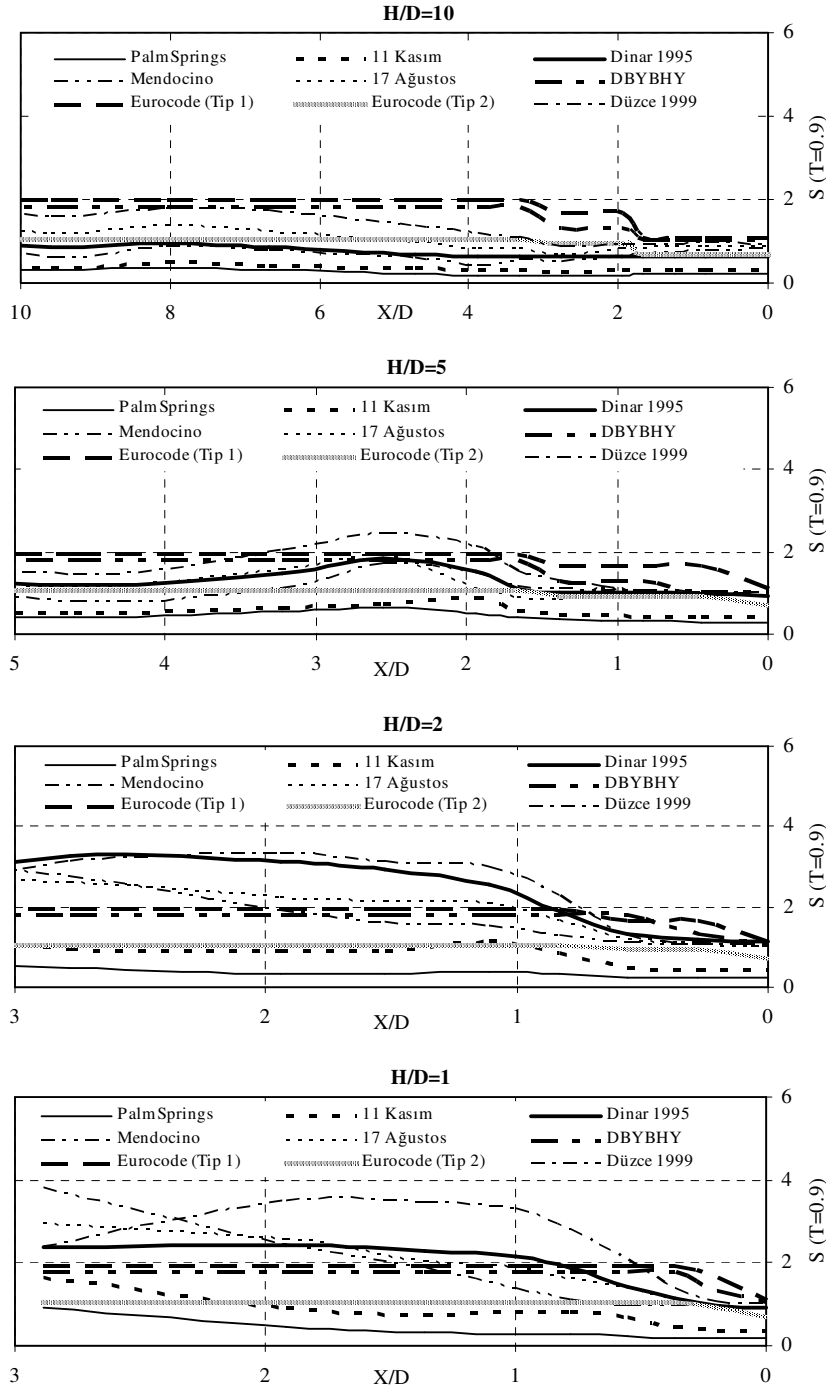
Şekil 8.42'de, 0.6 s periyot değerine karşı gelen efektif spektrum katsayılarının anakaya mostrasından vadi ortasına doğru X/D 'ye bağlı değişimi gösterilmiştir. $T=0.6$ s için Düzce ve Mendocino depremi dışındaki depremlerin bütün modellerde meydana getirdiği etkilerin; anakaya eğiminin 27° olması durumu haricinde, yönetmeliklerdeki farklı tasarım spektrumu katsayılarını aşmadığı görülmüştür. Anakaya eğiminin 6° olması durumunda elde edilen spektrum katsayısı değerleri, tasarım spektrumu değerleriyle uyumlu hale gelmektedir.



Şekil 8.42 : Spektrum katsayılarının ($T=0.6$ s) tasarım spektrumlarıyla karşılaştırılması.

Şekil 8.43'te, 0.9 s periyot değerine karşı gelen efektif spektrum katsayılarının anakaya mostrasından vadi ortasına doğru X/D 'ye bağlı değişimi gösterilmiştir. $T=0.9$ s için önemli bir ayrıntı; $H/D=2$ ve 1 olan ova modellerinde efektif spektrum katsayılarının diğerlerine oranla oldukça yüksek olması, anakaya mostrasından uzaklaşıp ova ortasına doğru yaklaştıkça yani zemin tabakalarının kalınlığının artması ile bu değerlerin de fark edilir biçimde artması ve tasarım spektrumu

değerlerini geçmesidir. Kenardaki anakaya eğiminin düşük olduğu modellerde ($H/D=5, 10$) bu etki ortadan kalkmaktadır.



Şekil 8.43 : Spektrum katsayılarının ($T=0.9$ s) tasarım spektrumlarıyla karşılaştırılması.

8.5.3 İstatistiksel analiz

Farklı anakaya eğimine (6° , 11° , 27° ve 45°) sahip iki boyutlu ova/vadi modelleri üzerinde 6 ayrı deprem hareketi kullanılarak yapılan dinamik analizler sonucunda yüzeydeki farklı noktalar için elde edilen ivme zaman geçmişleri ile mutlak ivme

spektrumları istatistiksel olarak değerlendirilmeye ve farklı anakaya eğimine sahip modellerin kenarında yüzey kısmında bir boyutlu dinamik analizle hesaplanmış spektral ivme değerleriyle, iki boyutlu analizle hesaplanmış değerler arasındaki bağıntı belirlenmeye çalışılmıştır. Bu amaçla; farklı anakaya eğimine sahip modeller için elde edilmiş olan maksimum yatay büyütme ve farklı periyot değerleri için hesaplanmış olan 2D/1D spektral ivme oranları istatistiksel açıdan ele alınmıştır.

Farklı anakaya eğimine sahip ova modellerinde her bir anakaya eğimi için, maksimum yatay büyütme ova kenarından ortasına doğru değişimi tek bir eğri ile temsil edilmeye çalışılmış, bu amaçla, farklı deprem hareketleri kullanılarak yapılan iki boyutlu dinamik analiz sonuçlarının ortalaması alınmıştır. Dolayısıyla, ova kenarındaki her bir noktada farklı deprem hareketleri karşısında elde edilen maksimum yatay büyütme değerlerinin normal dağılmış olduğu kabul edilmiş olup, ortalama, ortalama+std. sapma (aşılma olasılığı % 16) ve ortalama-std. sapma (düşük kalma olasılığı % 16) eğrileri hesaplanmıştır. Kullanılan kuvvetli ivme-zaman geçmişi sayısının örneklemeye uygun olmaması nedeniyle, değerlerin hangi dağılıma uyduğunun tespitinin yapılamaması sonucu eğrilerin normal dağılıma uyduğu kabulü yapılmıştır. Farklı anakaya eğimine sahip iki boyutlu modellerde farklı deprem hareketleri karşısında yüzeyde hesaplanan maksimum yatay büyütme eğrilerinin ortalamasının, ort.+std. sapma ve ort.-std. sapma değerlerinin X/D boyutsuz büyüklüğüne bağlı değişimleri Ek C Şekil 1’de gösterilmiştir.

Şekilden de görülebileceği gibi; kenardaki anakaya eğiminin düşük olduğu ($H/D=10$, $\alpha=6^\circ$) ova modellerinde, eğimli anakaya yüzeyinde hesaplanan maksimum yatay büyütme değerleri birbirine çok yakın değerler almakta ve özellikle $X/D=5$ noktasından sonra sabit bir değere yakınsamaktadırlar. Kenardaki anakaya eğiminin 11° ’ye yükselmesiyle değerler artmakta, eğimin 27° ’ye çıkmasıyla en yüksek maksimum yatay büyütme değerlerine ulaşılmakta, kenardaki anakaya eğiminin 45° ’ye yükselmesiyle büyütme değerlerinde yine azalma başlamaktadır. $H/D=5$ ($\alpha=11^\circ$) olan modelde $X/D=4$, $H/D=2$ ($\alpha=27^\circ$) olan modelde $X/D=2$, $H/D=1$ ($\alpha=45^\circ$) olan modelde $X/D=1.5$ noktalarından sonra maksimum yatay büyütme değerleri sabit değerlere yakınsamaktadır. Maksimum yatay büyütme değerleri bütün modellerde kenardan uzaklaştıkça ortalama olarak yaklaşık 1.5 değerine yakınsamaktadır. Bununla birlikte, ova kenarındaki belirli bir kısımda maksimum yatay büyütme anakaya geometrisine bağlı olarak ortalama 3 değerine kadar yükselmiştir.

Maksimum yatay büyütmelelerin her bir anakaya geometrisi için X/D boyutsuz büyüklüğüne bağlı değişimi sadece grafiklerle gösterilmiş ve farklı deprem hareketleri için hesaplanan yatay büyütmelelerin birlikte değerlendirilmesi sonucu elde edilen ortalama, ortalama+std. sapma ve ortalama-std. sapma eğrileri, herhangi bir fonksiyon yardımıyla tanımlanmaya çalışılmamıştır. Bunun nedeni, anakayadaki deprem hareketinin şiddetinin artması sonucu zemin tabakalarında meydana gelecek rijitlik azalımı ve sönüm artışı nedeniyle oluşacak lineer olmayan davranışın, farklı şiddetteki depremler için bu tanımlamayı hatalı kılacak olmasıdır.

Ova/vadi kenarındaki bölgeler için yapılan tek boyutlu dinamik analiz sonucunda hesaplanan spektral ivme değerlerine, iki boyutlu anakaya geometrisinin etkisinin yansıtılabilmesi için 2D/1D spektral ivme oranları kullanılabilir. Bu etkinin Düzce ovası modeli için belirlenebilmesi amacıyla farklı anakaya eğimleri (6° , 11° , 27° ve 45°) ve deprem hareketleri kullanılarak 2D/1D spektral ivme oranları 5 ayrı periyot değeri için hesaplanmış ve bunların X/D boyutsuz büyüklüğüne bağlı değişimleri Ek C'deki grafiklerde gösterilmiştir. Farklı anakaya eğimine sahip her bir ova modeli için 6 ayrı kuvvetli ivme zaman geçmişi kullanılmasıyla 5 ayrı periyot değeri için hesaplanan 2D/1D spektral ivme oranı değerlerinin ova modelleri üzerindeki her bir nokta için normal dağılıma uyduğu varsayılmış ve ortalama, ort.+std. sapma, ort.-std. sapma eğrileri elde edilmiştir.

Ek C Şekil 2'de $T=0$ için 2D/1D spektral ivme oranı grafikleri verilmiştir. Şekilden de görülebileceği gibi, $H/D=10$ ve 5 değerleri için ova kenarındaki 2D ve 1D spektral ivmeler birbirine yaklaşmaktadır. Özellikle $H/D=10$ ($\alpha=6^\circ$) olan modelde bir boyutlu analiz sonucunda ova kenarının yüzeyinde elde edilen maksimum ivme değerleri, iki boyutlu analizle hesaplananlara göre daha yüksektir. $H/D=5$ olan modelde bu değerler 1'e çok yaklaşmaktadır. $H/D=2$ ($\alpha=27^\circ$) olan modelde ova yüzeyi için hesaplanan 2D/1D oranları, özellikle $X/D=1$ için 2 değerine kadar yükselmektedir. Bütün modeller içinde $T=0$ için en yüksek 2D/1D spektral ivme oranı değerleri $H/D=2$ olan modelde hesaplanmıştır. $H/D=1$ olan modelde, ilgili periyot değeri için 2D/1D spektral ivme oranı azalmaktadır. Şekilden de görülebileceği gibi, $H/D=2$ olan ova modelinde $X/D=2$ ve $H/D=1$ olan ova modelinde $X/D=1.5$ değerinden sonra ortalama 2D/1D spektral ivme oranı 1'e yakınsamaktadır.

$T=0.3$ s için hesaplanan 2D/1D spektral ivme oranı eğrileri Ek C Şekil 3'te gösterilmektedir. $H/D=10$ olan modelde $T=0.3$ s için 2D/1D spektral ivme oranları

1'e çok yakın olmakla birlikte, özellikle ova kenarının belirli bir bölgesinde bir boyutlu analiz sonucunda elde edilen spektral ivme değerleri iki boyutlu analizle hesaplananlara göre oldukça yüksektir. $H/D=5$ olan modelde $2D/1D$ spektral ivme oranları $X/D=4$ noktasına kadar 1-2 arasında farklı değerler almış ve bu noktadan sonra 1'e yaklaşmıştır. $H/D=2$ olan modelde yaklaşık $X/D=1$ noktasında ortalama $2D/1D$ spektral ivme oranı 3'e kadar yükselmiş, $H/D=1$ olan modelde ise bu belirgin artışta yine bir düşme gözlenmektedir. $T=0.3$ s için belirgin olarak en yüksek $2D/1D$ spektral ivme oranı $H/D=2$ ($\alpha=27^\circ$) olan modelde elde edilmiştir.

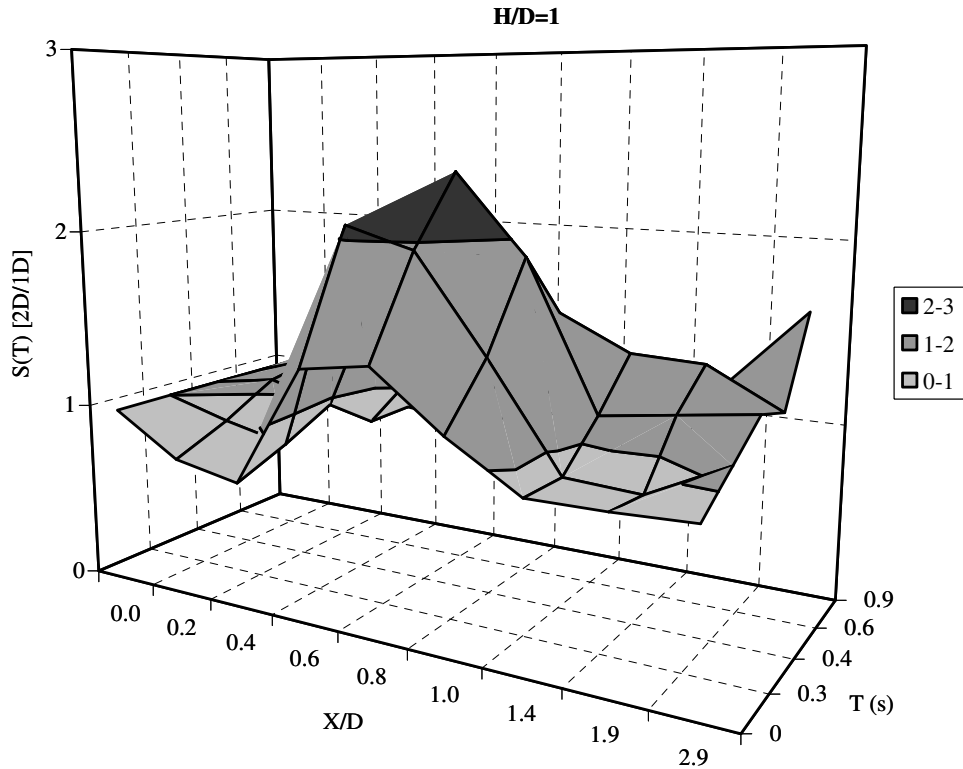
Ek C Şekil 4'te, $T=0.4$ s için $2D/1D$ spektral ivme oranı grafikleri gösterilmiştir. $H/D=10$ olan modelde $X/D=5$ mesafesine kadar $2D/1D$ spektral ivme oranları ortalama 1 civarında değer almışlardır. $X/D=5$ noktasından ova ortasına doğru ise $2D/1D$ oranları ortalama 1 değerine yakınsamıştır. $H/D=5$ olan modelde bu oran yaklaşık $X/D=3$ noktasına kadar 2'ye yakın değerler almışlar, bu noktadan sonra ise 1 değerine yakınsamışlardır. $T=0.4$ s için en yüksek $2D/1D$ oranları $H/D=2$ olan modelde hesaplanmıştır. Bu modelde, $X/D=1$ noktasındaki $2D/1D$ oranı 3 değerine yükselmiştir. $X/D=2$ noktasından sonra değerler yine 1'e yakınsamaktadır. $H/D=1$ olan modelde, en yüksek $2D/1D$ spektral ivme oranları azalarak 2'ye yaklaşmış, $X/D=1.5$ noktasından sonra ise 1'e doğru yakınsamaktadır.

$T=0.6$ s için $2D/1D$ spektral ivme oranı eğrileri Ek C Şekil 5'te gösterilmiştir. $H/D=10$ olan modelde $X/D=5$ noktasından sonra ortalama $2D/1D$ oranları 1'e yakınsamaktadır. $H/D=5$ olan modelde ortalama $2D/1D$ oranları $X/D=3$ noktasına kadar 1-2 arasında değişen, $X/D=3$ noktasından ova ortasına doğru ise 1'e yakınsayan değerler almışlardır. $H/D=2$ olan modelde diğerlerine göre $2D/1D$ oranlarında belirgin bir artış gözlenmiştir. Bununla birlikte ilgilenilen periyodun yükselmesiyle $2D/1D$ oranlarında azalma meydana gelmekte, $X/D=2$ noktasından sonra ise yaklaşık 1.25 değerine düşmektedir. $H/D=1$ olan modelde ise; daha önceki periyot değerlerine oranla daha düşük $2D/1D$ spektral ivme oranları hesaplanmış olup, $X/D=1.5$ noktasından itibaren bu oran azalarak 1 değerine yakınsamaya başlamıştır.

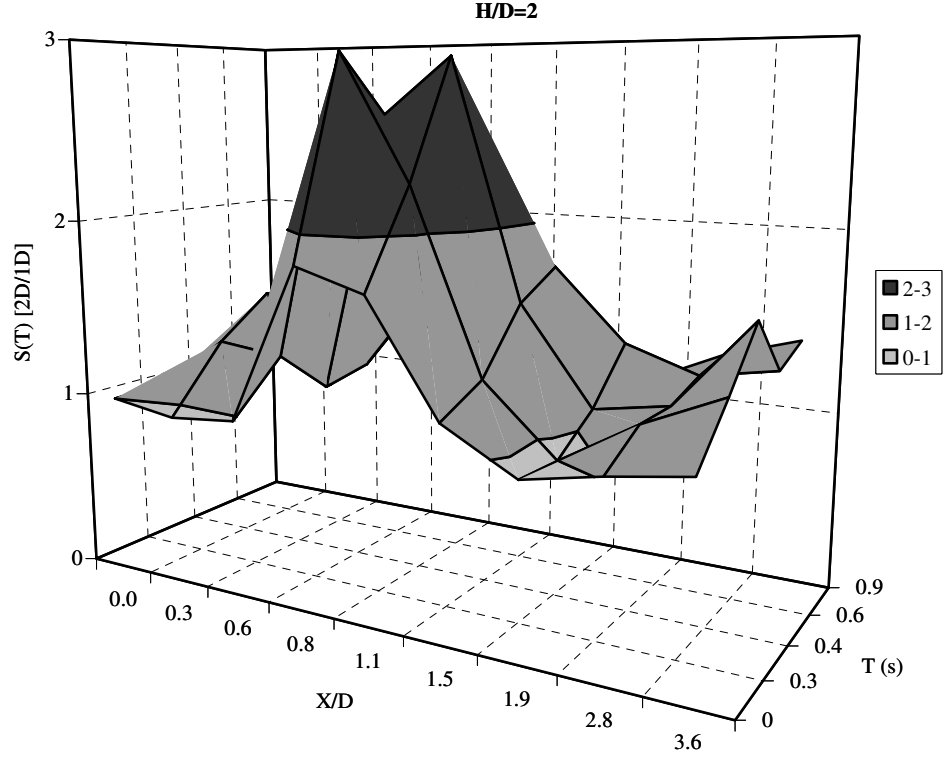
$T=0.9$ s için $2D/1D$ spektral ivme oranı eğrileri Ek C Şekil 6'da verilmiştir. $H/D=10$ olan modelde bir boyutlu analizle ova kenarı yüzeyinde $T=0.9$ s için hesaplanan spektral ivme değerleri, iki boyutlu analizle elde edilenlere göre yüksektir. $H/D=5$ olan modelde, $X/D=3$ noktasına kadar $2D/1D$ oranları ortalama 1.25 değerini

almakta, daha sonra 1'in altına inmektedir. $H/D=2$ olan modelde, daha önceki periyot değerlerine oranla düşük 2D/1D spektral ivme oranları hesaplanmış olup, bunlar $X/D=2$ noktasından sonra azalarak 1 değerine yakınsamaktadır. $H/D=1$ olan ova modelinde, anakayanın ova ortasına doğru dalımının bittiği noktadan belirli bir mesafe sonra 2D/1D spektral ivme oranlarında artış görülmektedir ve bu davranış, daha önceki periyot değerleri ve diğer modeller için gözlenmemiştir.

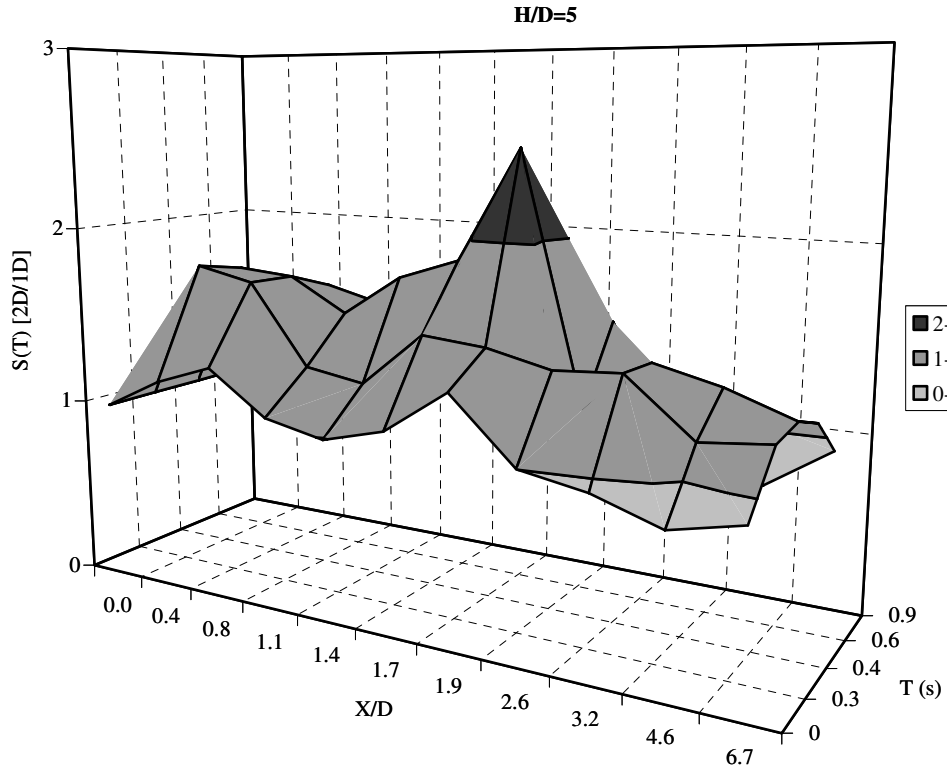
$H/D=10$ olan modellerdeki dikkat çekici husus; ortalama değerlerin genellikle 1'e çok yakın olması, bununla birlikte frekans muhtevasına bağlı olarak bazı deprem hareketleri için (Dinar 1995 ve Düzce 1999) diğerlerine göre yüksek değerlerin özellikle $X/D=5$ noktasına kadar elde edilmiş olmasıdır. Farklı ova modelleri için hesaplanan bütün 2D/1D spektral ivme oranlarının hem X/D mesafesine hem periyot değerlerine bağlı değişimi $H/D=1$, $H/D=2$, $H/D=5$ ve $H/D=10$ modelleri için sırasıyla Ek C Şekil 7, 8, 9 ve 10'da verilmiştir. Yine aynı biçimde, 2D/1D spektral ivme oranlarının hem X/D hem de periyoda bağlı değişimi, farklı anakaya geometrisine sahip ova modelleri için üç boyutlu yüzeyler biçiminde $H/D=1$, $H/D=2$, $H/D=5$ ve $H/D=10$ modelleri için sırasıyla Şekil 8.44, 8.45, 8.46 ve 8.47'de gösterilmiştir.



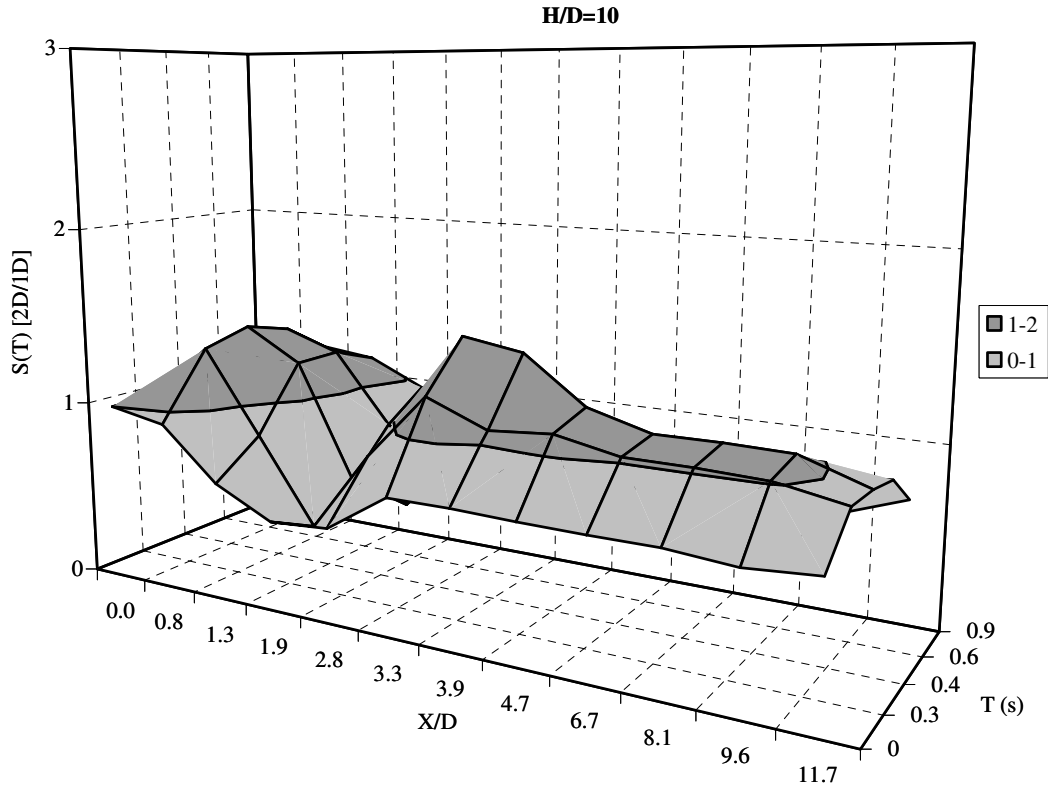
Şekil 8.44 : $H/D=1$ olan ova modelinde 2D/1D spektral ivme oranlarının X/D ve periyoda bağlı değişimi.



Şekil 8.45 : $H/D=2$ olan ova modelinde 2D/1D spektral ivme oranlarının X/D ve periyoda bağlı değişimi.



Şekil 8.46 : $H/D=5$ olan ova modelinde 2D/1D spektral ivme oranlarının X/D ve periyoda bağlı değişimi.



Şekil 8.47 : $H/D=10$ olan ova modelinde 2D/1D spektral ivme oranlarının X/D ve periyoda bağlı değişimi.

Herbiri farklı anakaya geometrisini yansıtan şekillerden de görülebileceği gibi 2D/1D spektral ivme oranları en yüksek değerlerine $H/D=2$ olan modelde ulaşmaktadır. Daha yüksek ve daha düşük anakaya eğimi değerleri için 2D/1D spektral ivme oranları oldukça azalmaktadır. Bütün modeller için en yüksek 2D/1D spektral ivme oranı değerleri 0.2 s-0.5 s aralığında elde edilmiştir. 2D/1D spektral ivme oranlarının en yüksek olduğu bölgelerdeki üç boyutlu yüzeyler genellikle koniyi andıran şekle sahiptirler. Ova kenarındaki anakaya eğiminin azalmasıyla birlikte ($H/D=10$, $\alpha=6^\circ$) iki ve bir boyutlu spektral ivmeler arasındaki farklar en aza inmektedir.

Düzce ovasının kenarının dinamik analizinde kullanılan kayma dalgası hızı ve zemin profilinden oluşan farklı anakaya eğimine sahip modellerin; 6 ayrı deprem hareketi karşısındaki bir ve iki boyutlu dinamik davranışının elde edilmeye çalışıldığı analizlerde, ova modellerinin kenarı için hesaplanan 2D/1D spektral ivme oranlarının X/D boyutsuz büyüklüğüne bağlı değişimi incelenmiş ve nicel bir bağıntı bulunmaya çalışılmıştır. Bu amaçla; $V_{s30}=245$ m/s eşdeğer kayma dalgası hızına sahip, üst tabakalarında siltli kil ($I_p=\% 10-15$) olduğu kabul edilen ve orta rijit anakayaya ($V_s=1000$ m/s) $D=180$ m derinlikte ulaşıldığı varsayılan farklı anakaya eğimine sahip

ova modellerinde 6 ayrı deprem hareketi için elde edilen 2D/1D spektral ivme oranı değerlerinin 5 farklı karakteristik periyottaki ($T=0, 0.3, 0.4, 0.6$ ve 0.9 s) ortalamaları hesaplanmıştır. Farklı deprem hareketleri için normal dağılıma uydukları varsayılan 2D/1D spektral ivme oranlarının ortalama değerlerinin ova kenarındaki değişimleri, her bir anakaya eğimi ve periyot değeri için X/D boyutsuz büyüklüğüne bağlı olarak tek bir fonksiyon ve/veya sabit değer yardımıyla tanımlanmaya çalışılmıştır. Farklı geometriler için elde edilmiş olan 2D/1D spektral oranlarının lineer olmaması ve bazı modeller için birden fazla çok yüksek ve çok düşük noktaya sahip olması, eğrilerde bazı idealleştirmeler yapılmasına ve bazı eğriler için ova kenarında bir bölgeyi temsil eden sabit değerler kullanılmasını gerekli kılmıştır.

Ova kenarındaki ortalama 2D/1D spektral ivme oranlarının anakaya mostrası sınırından olan uzaklığa bağlı değişimi ova modellerinin çoğunda, denklemi aşağıda verilen tek bir fonksiyon kullanılarak tanımlanmıştır.

$$m=S(T) [2D/1D] = e^{\left(a + \frac{b}{(X/D)} + c \cdot \ln\left(\frac{X}{D}\right) \right)} + 1 \quad [X/D > 0] \quad (8.5)$$

Denklemde, m ; 2D/1D spektral ivme oranını, X ; ova kenarındaki anakaya mostrası sınırından olan uzaklığı, D ; ova kenarındaki orta sert anakayanın dalımının sona erdiği noktadaki derinlik ($V_s=1000$ m/s kayma dalgası hızına sahip orta sert anakaya üzerinde yer alan zemin tabakalarının ova ortasına doğru en derin oldukları yerdeki toplam kalınlık), a, b, c ; anakaya eğimi ve ilgilenilen periyoda bağlı değişen değerleri göstermektedir.

Yukarıda verilen üssel fonksiyon; eğrilerin maksimum 2D/1D spektral ivme oranlarına sahip olduğu bölgeleri yansıtmakta çok başarılı olmakla birlikte, 2D/1D oranı eğrilerinin bazılarında görülen birden fazla düşük ve yüksek noktaya sahip olma biçimini modelleyememektedir. Bununla birlikte, bazı modellerde anakaya mostrası sınırına yakın bölgelerde görülen ani şiddet artışı ve azalışı davranışının doğada tam olarak meydana gelebileceği düşünülmektedir. Bunun nedeni ise; ova ve vadi gibi oluşumlarda anakaya mostrası sınırıyla alüvyon tabakalarının birleştiği bölgelerde genellikle, yamaç molozu ve/veya anakayanın yerinde kimyasal veya fiziksel ayrışmasıyla oluşmuş ve alüvyona oranla daha sıkı ve sert zemin tabakalarının var olmasıdır. Bu nedenle, alüvyonun anakaya mostrasına çok yakın

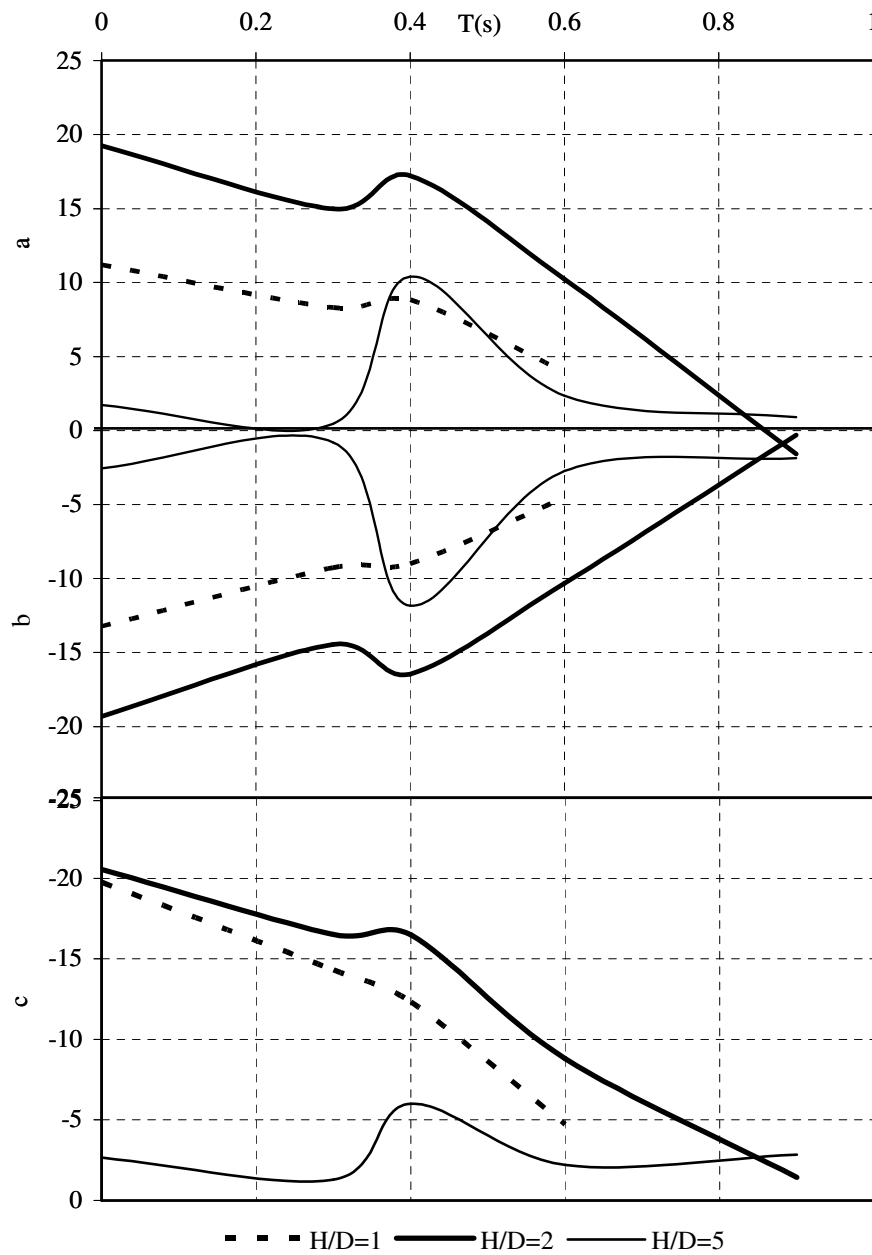
bölgelerinde 2D/1D oranlarında oluşan küçük ikincil artış ve düşüşler ihmal edilmiştir. Ayrıca bazı periyot değerleri ve modeller için ova kenarında belirgin bir artıştan çok sabit değerlerin olduğu belirlenmiştir. Denklem 8.5'te kullanılan değişkenlerin değişik anakaya eğimine sahip ova modellerinde farklı periyotlar için aldıkları değerler ve bu değerlerin geçerli olduğu X/D aralıkları Çizelge 8.4'te sunulmuştur.

Çizelge 8.4 : 2D/1D spektral ivme oranı bağıntısında kullanılan parametrelerin farklı anakaya eğimleri için aldıkları değerler (Düzce ovası modeli).

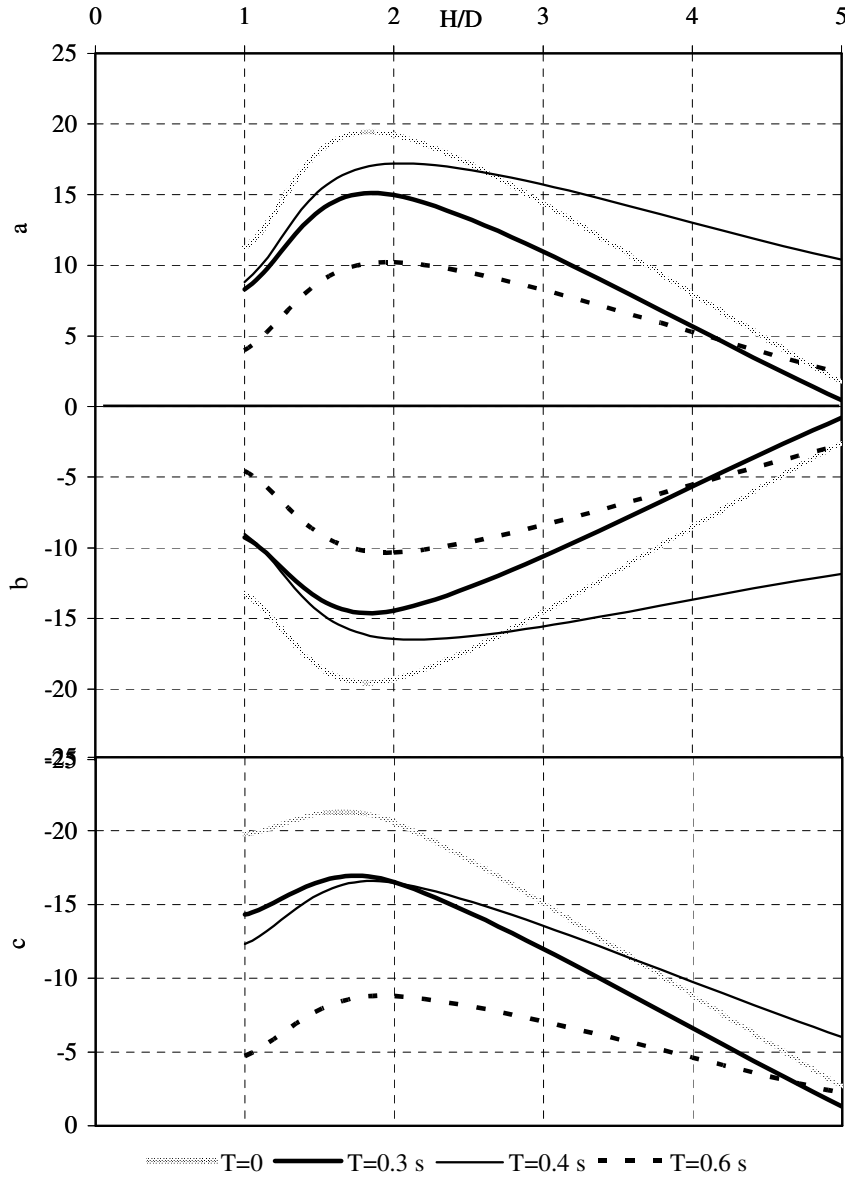
H/D	T (s)	Ortalama					Ort.+Std. Sapma				
		a	b	c	m		a	b	c	m	
1	0	11.2	-13.2	-19.8	-		4.6	-5.4	-8.4	-	
	0.3	8.3	-9.3	-14.3	-		6.8	-7.4	-11.6	-	
	0.4	8.8	-9.0	-12.3	-		6.8	-6.5	-9.1	-	
	0.6	4.0	-4.6	-4.7	-		3.0	-3.0	-3.1	-	
	0.9	-	-	-	0.9 (X/D<1)	1 (1<X/D<2)				1.1 (X/D<1)	1.2 (1<X/D<2)
2	0	19.2	-19.3	-20.6	-		3.2	-2.9	-4.2	-	
	0.3	15.0	-14.5	-16.5	-		11.7	-10.9	-12.9	-	
	0.4	17.2	-16.5	-16.5	-		13.0	-12.0	-12.1	-	
	0.6	10.2	-10.3	-8.8	-		5.1	-4.9	-3.9	-	
	0.9	-1.6	-0.3	-1.4	-		-0.4	-0.2	-1	-	
5	0	1.7	-2.6	-2.7	-						
	0.3	0.5	-0.8	-1.3	-						
	0.4	10.4	-11.9	-6.0	-						
	0.6	2.4	-2.8	-2.2	-						
	0.9	0.9	-1.9	-2.9	-		1	-1.1	-1.6	-	
10	0	-	-	-	0.7 (X/D<10)		-	-	-	0.9	
	0.3	-	-	-	1		-	-	-	1.2	
	0.4	-	-	-	1.1 (X/D<10)		-	-	-	1.3 (X/D<5)	1.2 (5<X/D<10)
	0.6	-	-	-	0.9 (X/D<10)		-	-	-	1.2 (X/D<10)	
	0.9	-	-	-	0.8 (X/D<10)		-	-	-	1.1 (X/D<5)	0.9 (X/D<5)

Üssel fonksiyon içinde geçen ve aldıkları değerler anakaya eğimi ile ilgilenilen periyoda bağlı değişen a, b ve c parametreleri; 2D/1D spektral ivme oranı eğrilerinin aldıkları en büyük değerleri ve eğrilerin çarpıklıklarını belirlemek için kullanılan değerlerdir. a, b ve c parametrelerinin aldıkları değerler anakaya eğimi ve periyoda bağlı değişmektedir. Düzce ovası kayma dalgası hızı ve zemin profiline sahip farklı

geometrideki modeller için elde edilen ve değerleri Çizelge 8.4'te verilen a, b ve c parametrelerinin farklı anakaya eğimi değerleri için periyoda bağlı değişimi Şekil 8.48'de gösterilmiştir. Aynı biçimde farklı periyot değerleri için hesaplanan a, b ve c parametrelerinin anakaya eğimine bağlı değişimi Şekil 8.49'da verilmiştir. Şekillerden de görülebileceği gibi a, b ve c katsayılarının aldıkları değerlerin hem anakaya eğimine hem de periyoda bağlı değişimleri, benzer karakterde eğilime sahip lineer olmayan eğriler biçiminde ortaya çıkmaktadır. Özellikle Şekil 8.49 dikkate alınırsa, belirli periyotlar için hesaplanmış a, b ve c parametrelerinin, anakaya eğimine bağlı olarak birbirine benzer biçimlerde değiştikleri görülebilecektir.



Şekil 8.48 : Farklı anakaya eğimi için hesaplanmış a, b, c parametrelerinin periyoda bağlı değişimi.



Şekil 8.49 : Farklı periyotlar için hesaplanmış a, b, c parametrelerinin H/D'ye bağlı değişimi.

8.6 Sonuçlar

Tez çalışmasının bu bölümünde; ova/vadi gibi oluşumlarda kenardaki anakaya eğiminin, farklı frekans içeriğine sahip depremler sırasında ova/vadi yüzeyinde meydana gelen harekete olan etkisi incelenmeye çalışılmıştır. Bu amaçla oluşturulan iki boyutlu sonlu eleman modellerinde 4 farklı anakaya eğimi (6° , 11° , 27° ve 45°) kullanılmış ve modellerin 6 ayrı deprem hareketi karşısındaki dinamik davranışı belirlenmeye çalışılmıştır. Deprem şiddetinin modeller üzerindeki etkisini anlayabilmek için en büyük mutlak ivme değerleri 0.1 g ile 0.4 g arasında değişen toplam 6 adet yerli ve yabancı kuvvetli anakaya ivme zaman geçmişi kullanılmıştır.

Yapılan dinamik analizlerde, iki boyutlu Dinar ovası modeli ($V_{s30}=200$ m/s, CI , $I_p=$ % 20-25) ve Düzce ovası modeli kullanılmış ($V_{s30}=245$ m/s, Kumlu CL , $I_p=$ % 10-15), böylece hem her iki modelin farklı depremler karşısındaki davranışı incelenmiş hem de kenardaki anakaya eğiminin farklı olması halinde Dinar ve Düzce ovalarında yüzeyde elde edilmiş harekette ne gibi değişiklikler oluşabileceği anlaşılmaya çalışılmıştır.

Bu amaçla; ova yüzeyindeki farklı noktalar için ivme zaman geçmişleri, mutlak ivme spektrumları ve şiddet parametreleri hesaplanmış, bunların yüzeydeki anakaya mostrası sınırından ova ortasına doğru olan uzaklığa bağlı değişimleri incelenmiştir. Bir ve iki boyutlu analiz sonuçlarının farklılığını belirleyebilmek amacıyla yüzeyde farklı noktalar için hesaplanan mutlak ivme spektrumları, bir boyutlu analizden elde edilenlere oranlanmıştır. 2D/1D spektral ivme oranının ovanın kenarından olan uzaklığa bağlı değişimi sırasıyla $T=0$, 0.3 s, 0.4 s, 0.6 s ve 0.9 s için incelenmiştir. Ayrıca iki boyutlu dinamik analizler sonucunda hesaplanan ivme spektrumları, elde edildikleri deprem hareketinin anakaya mostrasındaki en büyük ivme değerine göre normalleştirilmiş ve buna bağlı olarak $T=0.3$ s, 0.4 s, 0.6 s ve 0.9 s için hesaplanan spektrum katsayılarının ova kenarından uzaklığa bağlı değişimleri “DBYBHY” ile “Eurocode 8”te verilen tasarım spektrumu değerleriyle karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda kısaca özetlenmiştir:

- Anakaya mostrasındaki en büyük mutlak ivme değerine bölünerek yapılan normalleştirme sonucunda elde edilmiş maksimum yatay büyütme (a_{maks_y}/a_{maks_k}) ve ASI değerleri, anakaya mostrasından ova ortasına doğru ilerledikçe özellikle kenardaki belirli bir bölgede en büyük değerlerine ulaşmakta ve daha sonra neredeyse yine anakaya mostrasında sahip oldukları değerlere doğru azalarak yaklaşmaktadırlar. Aynı davranış, depremin şiddeti ve anakaya eğiminden bağımsız olarak bütün modellerde hakimdir. Ayrıca yapılan analiz sonuçları göstermiştir ki; farklı depremler için hesaplanan maksimum yatay büyütme ve ASI değerleri, anakaya mostrasından ova ortasına doğru ilerledikçe anakaya eğimine bağlı olmaksızın yaklaşık $X/D=3$ bölgesinden sonra birbirine çok yakın değerler almaya başlamaktadır. Dolayısıyla denilebilir ki, ova/vadi kenarlarında yatay ivme ve ASI değerlerindeki büyütme etkisi kenardaki anakayanın başlangıcından ova ortasına doğru $X/D=3$ bölgesine kadar belirgin olarak ortaya çıkmaktadır. $X/D=3$ büyüklüğü; ovanın kenarındaki anakaya ($V_s \approx 1000$ m/s)

başlangıcından ortasına doğru, alüvyonun en derin olduğu bölgedeki anakaya derinliğinin ($V_s \approx 1000$ m/s) yaklaşık 3 katı mesafeyi tanımlamaktadır.

- Dört ayrı anakaya eğiminin (6° , 11° , 27° ve 45°) kullanıldığı modellerde, ova kenarındaki zemin büyütmesi ve ASI değerlerindeki en büyük artışlar Dinar modeli için anakaya eğiminin 11° ve 27° ($H/D=5$, 2), Düzce modeli için anakaya eğiminin 27° ve 45° ($H/D=2$, 1) olduğu durumlarda ortaya çıkmıştır. Daha düşük eğime (6°) sahip modellerdeki büyütme anakaya eğiminin azalmasıyla fark edilir biçimde düşmektedir.
- a_{maks_y}/a_{maks_k} değeri; $H/D=10$ olan modellerde 0.5-2, $H/D=5$ olan Dinar modelinde 2-5 ve Düzce modelinde 1-3, $H/D=2$ olan Dinar modelinde 1-5 ve Düzce modelinde 1-5.5, $H/D=1$ olan Dinar modelinde 0.5-3 ve Düzce modelinde 1-4 aralığında değişmektedir. Dinar modeli için $H/D=5$ ve Düzce modeli için $H/D=2$ olduğu durumlarda, ivme spektrumu şiddeti (ASI) değeri ve zemin büyütmelerinin etkili olduğu X/D aralığı diğer modellere göre daha geniştir.
- Anakaya mostrasındaki en büyük ivme değerinin 0.4 g olduğu (17 Ağustos depremi) modelde; zemin tabakalarındaki lineer olmayan davranış (rijitlik azalımı ve sönüm artışı) nedeniyle, ova kenarında elde edilmiş olan zemin büyütmesi değerlerinin ve anakaya eğimine bağlı meydana gelen farklılaşmaların azaldığı görülebilmektedir. Bununla birlikte anakaya ivmesinin 0.4 g değerine kadar, özellikle 0.2 g-0.3 g maksimum mutlak ivme değerlerine sahip anakaya deprem hareketleri için ova kenarındaki büyütme değerlerinin ve eğime bağlı farklılaşmaların çok yüksek olduğu gözlenmiştir.
- İki boyutlu modellerde ovanın kenarındaki kısımda dalga dönüşümlerinin oluşması ve yatay doğrultudaki dalgaların anakaya sınırına çarpmasının kenardaki bölgelerde ek düşey hareket meydana getirmesi nedeniyle, vadi kenarında sadece yatay hareketin etkisine bağlı düşey ivme değerlerinin de çok etkili olduğu görülmektedir. Yapılan analizler sonucunda; kenardaki anakayanın eğimi arttıkça, depremin frekans muhtevassından bağımsız olarak maksimum düşey ivme değerlerinin de arttığı, buna ek olarak bu artışın anakayadaki deprem şiddeti yükseldikçe daha da fazlalaştığı görülebilmektedir. Düşey ivme değerlerindeki artış; vadi kenarında $X/D=0-3$ aralığında görülmekle birlikte, $X/D=0-1$ aralığında en büyük değerine ulaşmaktadır. Ova kenarındaki anakaya eğimi arttıkça, düşey

hareketin etkili olduğu bölge daralmakta, anakaya mostrasına doğru yaklaşmakta ve düşey hareketin şiddeti artmaktadır. Yatay harekete bağı oluşan düşey hareketin etkili olduğu bölge, yatay zemin büyütmelelerinin etkili olduğu bölgeye göre daha dar ve anakaya mostrasına daha yakındır.

- Farklı anakaya eğimine sahip ova modellerinde, farklı karakterdeki anakaya hareketleri için 2D/1D spektral ivme oranları hesaplanmıştır. Yüzey hareketinin farklı karakteristiklere (rijitliğe) sahip yapılara olan etkilerinin belirlenebilmesi için; bu değerler, beş ayrı periyot ($T=0, 0.3, 0.4, 0.6, 0.9$ s) için verilmiştir. Genelde, hesaplanan 2D/1D spektral ivme oranları bütün periyot değerleri için ova kenarında belirli bir bölgede ($X/D=0.5-2$) en büyük değerlerine ulaşmaktadır. Genellikle 2D/1D spektral ivme oranları, 0.5-3 arasında değişmektedir. Ova ortasına doğru ilerledikçe, özellikle $X/D=3$ noktasından sonraki bölgelerde 2D/1D spektral ivme oranı değerlerinin anakaya eğimine bağı olmaksızın 1 değerine çok yaklaştığı yani iki boyutlu analizlerle bir boyutlu analizler arasındaki farklılığın çok azaldığı görülebilmektedir.
- Dinar modeli için en yüksek 2D/1D spektral ivme oranı değerleri, sırasıyla $H/D=5$ ($\alpha=11^\circ$) ve $H/D=2$ ($\alpha=27^\circ$) olduğu durumlarda elde edilmiştir. Daha düşük ($\alpha=6^\circ$) ve daha yüksek ($\alpha=45^\circ$) eğime sahip ova modellerinde, kenardaki 2D/1D spektral ivme oranları diğer modellere oranla daha düşük değerler almaktadır. Düzce modelinde ise en yüksek 2D/1D spektral ivme oranı değerleri, sırasıyla $H/D=2$ ($\alpha=27^\circ$) ve $H/D=1$ ($\alpha=45^\circ$) olduğu durumlarda ortaya çıkmıştır. Özellikle anakaya eğiminin 6° olduğu modellerde, ova kenarının belirli bir bölgesinde 1-2 aralığında kalan 2D/1D spektral ivme oranları, ova kenarının büyük bir bölümü için de 1'den küçük değerler almaktadır.
- Anakaya eğimleri birbirinden farklı olan iki boyutlu ova modellerinin farklı deprem hareketleri karşısındaki davranışını belirleyebilmek için, yüzeydeki noktalarda efektif spektrum katsayıları ($S[T]$) hesaplanmış ve ova yüzeyindeki değişimleri her bir deprem hareketi için ayrı olarak X/D boyutsuz büyüklüğüne bağı olarak irdelenmiştir. Buradan, spektrum katsayısı değerlerinin anakaya eğimine bağı olmaksızın X/D boyutsuz büyüklüğünün yaklaşık 3 değerinden sonra farklı deprem hareketleri için birbirlerine çok yaklaştıkları görülmüştür. Farklı anakaya eğimine sahip modeller içinde en yüksek spektrum katsayısı değerleri ve bunların hakim olduğu en geniş ova kenarı mesafesi Dinar modeli

için $H/D=5$, Düzce modeli için $H/D=2$ olduğu durumda elde edilmiştir. Özellikle $H/D=10$ olan modeller için hesaplanan efektif spektrum katsayısı değerleri, diğer modellere oranla daha düşük değerler almaktadır.

- Her bir ova modeli için farklı deprem hareketleri karşısında elde edilen efektif spektrum katsayılarının yüzeydeki değişimleri X/D boyutsuz büyüklüğüne bağlı olarak hem “DBYBHY”teki hem de “Eurocode 8”de verilen 1 ve 2 nolu tasarım spektrumlarıyla karşılaştırılmıştır. Bu kıyaslamalar dört ayrı periyot değeri (0.3, 0.4, 0.6, 0.9 s) için yapılmıştır. Depremin frekans muhtevasına ve ilgilenilen periyoda bağlı olarak efektif spektrum katsayıları, Dinar modeli için tasarım spektrumu değerlerinin 2-3, Düzce modeli içinse 5-6 katına kadar çıkabilmektedir. Bu durum özellikle 0.3 s ve 0.4 s periyot değerleri için çok belirgin olmaktadır. Anakayadaki deprem hareketinin hakim periyodu efektif spektrum katsayılarının belirlenmesinde büyük rol oynamaktadır. Efektif spektrum katsayıları bütün depremler için, anakayadaki hakim periyot değerine yakın periyot değerlerinde en yüksek değerlerine ulaşmaktadır. Hesaplanan spektrum katsayıları ile tasarım spektrumu değerleri arasındaki farklılaşmalar, 0.3-0.4 s için çok yüksek değerlere ulaşmakta iken, daha yüksek periyot değerleri (0.6-0.9 s) için dikkat çekici biçimde azalmaktadır. İlgilenilen periyot değerlerinin yükselmesiyle birlikte hesaplanan spektrum katsayıları tasarım spektrumu katsayılarıyla uyumlu hale gelmektedir.
- Yapılan değerlendirmeler sonucunda; farklı anakaya eğimine sahip ova modelleri için iki boyutlu analizle elde edilen ivme spektrumu değerlerinin bir boyutlu analizle elde edilenlere göre özellikle bazı anakaya eğimi değerleri için ova kenarındaki belirli bir bölgede oldukça farklılaştığı, farklı periyot değerleri için hesaplanan 2D/1D spektral ivme oranlarının bazen 1’den küçük değerler almakla birlikte genelde dikkat çekici yüksek değerler aldığı görülmüştür. Bu durum; çoğu bir boyutlu cisim dalgası (SH) ilerleyişine dayanan tasarım spektrumlarının tekrar gözden geçirilmesini sağlayacak etkiye sahiptir.

Farklı anakaya eğimine sahip iki boyutlu ova modelleri üzerinde 6 ayrı deprem hareketi kullanılarak yapılan dinamik analizler sonucunda yüzeydeki farklı noktalar için elde edilen ivme zaman geçmişleri ile mutlak ivme spektrumları istatistiksel olarak değerlendirilmeye ve farklı anakaya eğimine sahip modellerin kenarında yüzey kısmında bir boyutlu dinamik analizle hesaplanmış spektral ivme değerleriyle,

iki boyutlu analizle hesaplanmış değerler arasındaki bağıntı belirlenmeye çalışılmıştır. Bu nedenle; her bir anakaya eğimi için, maksimum yatay büyütme ova kenarından ortasına doğru değişimi tek bir eğri ile temsil edilmeye çalışılmış ve farklı deprem hareketleri kullanılarak yapılan iki boyutlu dinamik analiz sonuçlarının ortalaması alınmıştır. Hesaplanan ortalama yatay büyütme eğrilerinin birlikte değerlendirilmesiyle elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

- Kenardaki anakaya eğiminin düşük olduğu ($H/D=10$, $\alpha=6^\circ$) ova modellerinde, eğimli anakaya yüzeyinde hesaplanan maksimum yatay büyütme değerleri anakayadaki farklı deprem hareketleri için birbirine çok yakın değerler almakta ve özellikle $X/D=5$ noktasından sonra sabit bir değere yakınsamaktadırlar.
- Dinar modeli için $H/D=5$, Düzce modeli için $H/D=2$ için en yüksek maksimum yatay büyütme değerlerine ulaşılmaktadır. $H/D=5$ olan modelde $X/D=4$, $H/D=2$ olan modelde $X/D=2$, $H/D=1$ olan modelde $X/D=1.5$ noktalarından sonra maksimum yatay büyütme sabit değerlere yakınsamaktadır. Bütün modellerde, belirtilen bu noktalardan sonra ova ortasına doğru maksimum yatay büyütme değerleri yaklaşık 1.5 değerine yakınsamakla birlikte, ova kenarındaki belirli bir kısımda maksimum yatay büyütme anakaya geometrisine bağlı olarak ortalama 3 değerine kadar yükselmiştir.

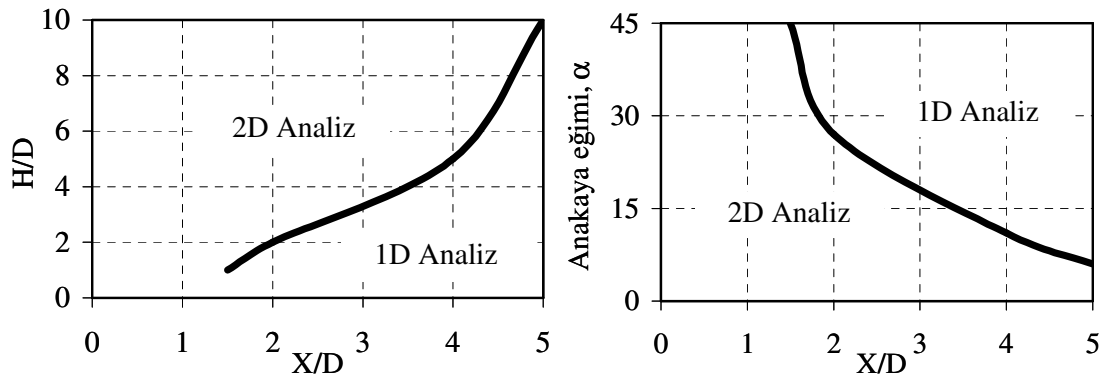
Farklı anakaya eğimine sahip her bir ova modeli için 6 ayrı kuvvetli ivme zaman geçmişinin kullanılmasıyla 5 ayrı periyotta hesaplanan $2D/1D$ spektral ivme oranı değerlerinin modeller üzerindeki her bir nokta için normal dağılıma uyduğu varsayılmış ve ortalama, ort.+std. sapma, ort.-std. sapma eğrileri elde edilmiştir. Elde edilen $2D/1D$ spektral ivme oranı eğrilerinin birlikte ele alınmasıyla bulunan sonuçlar aşağıda verilmiştir:

- $T=0$ için hesaplanan ortalama $2D/1D$ spektral ivme oranı eğrileri incelendiğinde; Dinar modelinde H/D 'in 10 ve 1, Düzce modelinde H/D 'in 10 ve 5 değerleri için ova kenarındaki $2D/1D$ spektral ivme oranlarının ihmal edilebilir mertebede olduğu görülmektedir. Dinar modelinde $H/D=5$ için $X/D=1.5$ ve $H/D=2$ için $X/D=1$ noktalarında hesaplanan ortalama $2D/1D$ spektral ivme oranları, 1.5 değerine kadar yükselmektedir. Düzce modelinde $H/D=2$ için hesaplanan ortalama $2D/1D$ spektral ivme oranları özellikle $X/D=1$ noktasında 2 değerine kadar yükselmektedir.

- $T=0.3$ s için hesaplanan ortalama $2D/1D$ spektral ivme oranı eğrileri incelendiğinde; $2D/1D$ oranlarının $H/D=10$ için genellikle 1'e çok yakın değerler aldığı görülmektedir. Bununla birlikte, Düzce modeli için özellikle ova kenarının belirli bir bölgesinde 1'den oldukça küçük değerler almışlardır. Dinar modelinde $H/D=5$ için $2D/1D$ spektral ivme oranları $X/D=4$ noktasına kadar 1-3 arasında değişmiş ve bu noktadan sonra 1'e yakınsamıştır. Düzce modelinde $H/D=2$ için yaklaşık $X/D=1$ noktasında ortalama $2D/1D$ oranı 3'e kadar yükselmiştir.
- $T=0.4$ s için ortalama $2D/1D$ spektral ivme oranı eğrileri; hem Dinar hem Düzce modelinde $H/D=10$ için, $X/D=5$ noktasına kadar 1 civarında değişen değerler almışlar, $X/D=5$ noktasından ova ortasına doğru ise ortalama 1 değerine yakınsamışlardır. Dinar modelinde $H/D=5$ için, ortalama $2D/1D$ spektral ivme oranı eğrisi yaklaşık $X/D=3$ noktasına kadar en yükseği 3 olan ve ortalaması 2 civarında değişen değerler almıştır. $X/D=4$ noktasından sonra ise 1 değerine yakınsamıştır. Düzce modelinde, $H/D=2$ için $X/D=1$ noktasındaki ortalama $2D/1D$ spektral ivme oranı 3 değerine yükselmiştir. $X/D=2$ noktasından sonra değerler yine 1'e yakınsamaktadır.
- $T=0.6$ s için hesaplanan ortalama $2D/1D$ spektral ivme oranı eğrileri incelendiğinde; Dinar modelinde $H/D=5$ için ortalama $2D/1D$ spektral ivme oranları $X/D=4$ noktasına kadar 1-3 arasında değişen, $X/D=4$ noktasından ova ortasına doğru ise 1'e yakınsayan değerler aldığı görülmektedir. Düzce modelinde $H/D=2$ için ortalama $2D/1D$ spektral ivme oranları $X/D=2$ noktasına kadar 1-2 arasında değişen, $X/D=2$ noktasından ova ortasına doğru ise 1'e yakınsayan değerler almışlardır. İlgilenilen periyodun yükselmesiyle birlikte $2D/1D$ spektral ivme oranlarında azalma meydana gelmektedir.
- $T=0.9$ s için hesaplanan ortalama $2D/1D$ spektral ivme oranı eğrileri incelendiğinde; Dinar modelinde $H/D=10$ için ortalama $2D/1D$ spektral ivme oranı eğrisinin kenar boyunca 1'e çok yakın değerler aldığı görülmektedir. Diğer anakaya eğimi değerleri için $2D/1D$ spektral ivme oranlarının en yüksek hesaplandığı bölgeler, daha önce ilgilenilen düşük periyotlardakine oranla zemin tabakalarının kalınlığının arttığı ova ortasındaki kısımlara kaymıştır. Düzce modelinde $H/D=10$ için, ortalama $2D/1D$ spektral ivme oranlarının 1'den küçük olduğu, $H/D=2$ için ise daha önceki periyot değerlerine oranla daha düşük $2D/1D$ spektral ivme oranlarının elde edildiği görülmektedir. $H/D=1$ için, anakayanın ova

ortasına doğru dalımının bittiği noktadan belirli bir mesafe sonra 2D/1D spektral ivme oranlarında artış görülmektedir ve bu davranış, daha önceki periyot değerleri ve diğer modeller için gözlenmemiştir.

- $H/D=10$ olan modellerdeki dikkat çekici husus; ortalama değerlerin genellikle 1'e çok yakın olması, bununla birlikte frekans muhtevasına bağlı olarak bazı deprem hareketleri için (Dinar 1995 ve Düzce 1999) diğerlerine göre yüksek değerlerin özellikle $X/D=5$ noktasına kadar elde edilmiş olmasıdır.
- Hem Dinar hem Düzce modellerinde; periyot değerlerinden fazla etkilenmeksizin ortalama 2D/1D spektral ivme oranları; $H/D=10$ olan modelde $X/D=5$, $H/D=5$ için $X/D=4$, $H/D=2$ için $X/D=2$, $H/D=1$ olan modelde ise $X/D=1.5$ noktasından sonra genellikle 1 değerine yakınsamakta ve iki boyutlu etkiler çok azalmaktadır. Üzerinde çalışılan geniş ova modellerinden, bir boyutlu dinamik analizin ova kenarındaki hangi bölgeler için yeterli olduğu ve ikinci boyut etkisinin kenardaki hangi kısımlarda dikkate alınması gerektiği belirlenmiş ve bu bölgeler, ilgili modeller için ova geometrisine bağlı olarak Şekil 8.50'de gösterilmiştir.



Şekil 8.50 : Dinar ve Düzce ovası modellerinde 1D ve 2D dinamik davranışla temsil edilen bölgelerin ova kenarındaki geometriye bağlı değişimi.

- Ova kenarındaki farklı anakaya eğimleri için 2D/1D spektral ivme oranları en yüksek değerlerine Dinar modelinde $H/D=5$, Düzce modelinde $H/D=2$ olduğunda ulaşmaktadır. Bütün modeller için en yüksek 2D/1D spektral ivme oranları 0.2 s-0.5 s aralığında elde edilmiştir. Dinar modelinde özellikle $H/D=5$, Düzce modelinde ise özellikle $H/D=2$ için 2D/1D spektral ivme oranlarının 0.2 s-0.5 s periyot aralığında 2-3 arasında değişen değerler aldığı görülmekte ve ayrıca bu değerlerin X/D -periyot düzlemine bağlı değişimi çizildiğinde, belirtilen model ve periyot değerleri için oluşan üç boyutlu yüzeylerin genellikle koni ve piramiti

andırdığı görülmektedir. Ova kenarındaki anakaya eğiminin azalmasıyla birlikte ($H/D=10$, $\alpha=6^\circ$) iki ve bir boyutlu spektral ivmeler arasındaki farklar en aza inmektedir.

- Modellerdeki zemin grupları değiştiğinde, zemin büyütmelerinin, efektif spektrum katsayılarının ve 2D/1D spektral ivme oranlarının en yüksek değerlere ulaştığı anakaya eğimleri de değişmektedir. Dinar modelinde ($V_{s30}=200$ m/s) en yüksek zemin büyütme ve 2D/1D spektral ivme oranları, $H/D=5$ ($\alpha=11^\circ$) olan anakaya geometrisinde hesaplanmış, Düzce modelinde ($V_{s30}=245$ m/s) ise en yüksek dinamik tepkiler $H/D=2$ ($\alpha=27^\circ$) olması durumunda elde edilmiştir. Dolayısıyla ova modellerinin genelindeki zemin grubunun değişmesiyle birlikte en yüksek dinamik tepkilerin elde edildiği anakaya eğimleri de değişmektedir. Daha rijit olan Düzce modeli için yüksek zemin büyütmesi ve 2D/1D spektral ivme oranlarının elde edildiği anakaya eğimi değeri, Dinar modeline oranla daha büyüktür. Bununla birlikte, anakaya eğiminin belirli bir değeri geçmesinden sonra yüzeyde hesaplanan dinamik tepkilerde azalma meydana gelmektedir. Ayrıca ova modellerindeki zemin grupları değişse bile 2D/1D spektral ivme oranlarının en yüksek elde edildiği periyot aralığı (0.2 s-0.5 s) değişmemektedir.

Daha sonra, ova modellerinin kenarı için hesaplanan 2D/1D spektral ivme oranlarının X/D boyutsuz büyüklüğüne bağlı değişimi incelenmiş ve aralarında nicel bir bağıntı bulunmaya çalışılmıştır. 2D/1D spektral ivme oranı eğrilerinin lineer olmaması ve bazı modeller için birden fazla çok yüksek ve çok düşük noktaya sahip olması, eğrilerde bazı idealleştirmeler yapılmasına ve bazı eğriler için ova kenarında bir bölgeyi temsil eden sabit değerler kullanılmasını gerekli kılmıştır. Bütün bu idealleştirmeler dikkate alındıktan sonra, farklı deprem hareketleri için normal dağılıma uydukları varsayılan 2D/1D spektral ivme oranlarının ortalama değerlerinin ova kenarındaki değişimleri, her bir anakaya eğimi ve periyot değeri için X/D boyutsuz büyüklüğüne bağlı olarak denklemi aşağıda verilen tek bir fonksiyon kullanılarak tanımlanmıştır.

$$m=S(T) [2D/1D] = e^{\left(a + \frac{b}{(X/D)} + c \ln \left(\frac{X}{D} \right) \right)} + 1 \quad [X/D > 0] \quad (8.6)$$

Denklemden, m ; 2D/1D spektral ivme oranını, X ; ova kenarındaki anakaya mostrası sınırından olan uzaklığı, D ; ova kenarındaki orta sert anakayanın dalımının sona erdiği noktadaki derinliği ($V_s=1000$ m/s kayma dalgası hızına sahip anakaya üzerindeki zemin tabakalarının ova ortasına doğru en derin oldukları yerdeki toplam kalınlık), a , b , c ; anakaya eğimi, yerel zemin sınıfı ve ilgilenilen periyoda bağlı değişen değerleri göstermektedir. Fonksiyon içinde geçen ve aldıkları değerler anakaya eğimi ile ilgilenilen periyoda bağlı değişen a , b ve c parametreleri; 2D/1D spektral ivme oranı eğrilerinin aldıkları en büyük değerleri ve eğrilerin çarpıklıklarını belirlemek için kullanılmaktadır. 2D/1D spektral ivme oranlarının en yüksek değerlere ulaştığı $H/D=2$ ve 5 olan modellerde $T=0.2$ s- 0.5 s periyot aralığı için, a ; 8 ile 17 , b ; -9 ile -17 , c ise -9 ile -16 arasında değişmektedir. Dinar modelinde 2D/1D spektral ivme oranlarının en yüksek değerlere ulaştığı $H/D=5$ durumu ve 0.2 s- 0.5 s periyot aralığı için; a , b ve c parametreleri sırasıyla ortalama 14 , -14 ve -10 , daha rijit olan Düzce modelinde ise 2D/1D spektral ivme oranlarının en yüksek değerlere ulaştığı $H/D=2$ hali ve 0.2 s- 0.5 s periyot aralığı için; a , b ve c parametreleri sırasıyla ortalama 16 , -16 ve -16 değerlerini almaktadır.

Dinar ve Düzce ovalarının kayma dalgası hızı profilleriyle oluşturulmuş farklı anakaya eğimine sahip ova/vadi modelleri üzerinde yapılan çalışmada elde edilen 2D/1D spektral ivme oranı bağıntıları sayesinde; ova/vadi kenarındaki bir bölge için yapılan tek boyutlu dinamik analizlerden elde edilen spektral ivme değerlerine, anakaya eğimine ve X/D büyüklüğüne bağlı olarak ikinci boyut etkisi yansıtılabilir. Ayrıca, yapılan çalışmalardan; 2D/1D spektral ivme oranlarının X/D 'nin hangi değerlerinden sonra ihmal edilebilecek kadar azaldığı da ortaya çıkmaktadır.

9. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Depremler sırasında oluşan yer hareketinin genliğinde, frekans içeriğinde ve süresinde değişikliğe neden olan faktörlere genel olarak “yerel etkiler” adı verilmektedir. İncelenen bölgedeki koşullara bağlı olan yerel etkiler başlıca, yüzeye yakın zemin tabakalarıyla daha altta yer alan anakaya arasındaki özgül direnç farklılığından kaynaklanmaktadır. Yerel etkiler lineer elastik, eşdeğer lineer veya lineer olmayan bir boyutlu sayısal yöntemler yardımıyla modellenenmektedir. Yerel etkiler ayrıca vadi/ova gibi derin oluşumlarda ve bunların kenarlarında yanal jeolojik düzensizlikler tarafından meydana gelen etkileri de kapsamaktadır. Cisim dalgalarına ek olarak yüzey dalgalarının mevcudiyetiyle baskın hale gelen bu etkilerin anlaşılabilmesi için 2 ve 3 boyutlu sayısal modellerle çalışılması daha uygun olmaktadır. Buna bağlı olarak, yer hareketi özelliklerinde yüzey topoğrafyasına bağlı olarak meydana gelen bölgesel değişimlerin de yerel etkiler kapsamında olması gerektiği anlaşılmaktadır.

Bu çalışmada, yüzey topoğrafyasının ve ova/vadi gibi yatay yönde sınırlı zemin tabakalarına sahip derin oluşumlardaki anakaya geometrisinin, deprem sırasında yüzeyde oluşan kuvvetli yer hareketinin özelliklerine etkisi, idealleştirilmiş yüzey ve yüzey altı geometrisine sahip tepe/ova modelleri üzerinde düzenlenen bir (1D) ve iki (2D) boyutlu dinamik analizler yardımıyla incelenmiştir. Yapılan çalışmada başlangıçta; basamak şeklinde geometriye sahip tepelerde anakaya deprem hareketinin yüzeyde nasıl bir değişime uğradığı, ova/vadi gibi oluşumların dinamik analizinde kullanılan sonlu eleman analizi yöntemlerindeki sınır şartlarının uygunluğu ve geçerlilik şartları üzerinde durulmuş, daha sonra trapez şeklinde idealleştirilmiş 45° anakaya eğimine sahip modellerde farklı depremler sırasında oluşan yüzey hareketine ova/vadi geometrisi ile yerel zemin sınıfının etkileri araştırılmış, bu tür oluşumlar için yapılan bir ve iki boyutlu dinamik analizler arasındaki farklar ve bir boyutlu analizlerin geçerlilik koşulları incelenmiştir. Bölgede düzenlenmiş olan geniş açıklıklı eş zamanlı mikrotremor ağ (array) ölçümleri ile diğer arazi deneylerinin verilerinin birlikte değerlendirilmesi sonucunda

kayma dalgası hızı profili ve geometrisi elde edilen Dinar Ovası modelinde 1 Ekim 1995 depreminin, ova kenarında meydana getirdiği etkiler ve bunların oluşan hasarla olan ilişkisi belirlenmeye çalışılmıştır. Aynı şekilde, Düzce Ovası'nın kenarında 12 Kasım 1999 depreminde meydana gelen etkiler, kurulan iki boyutlu ova modeli üzerinde düzenlenen dinamik analizlerle anlaşılmaya çalışılmıştır. Düzce Ovası'nın iki boyutlu kayma dalgası hızı profili, bölgede düzenlenmiş olan geniş açıklıklı ve eş zamanlı mikrotremor ağ ölçümleri ile tekil mikrotremor ölçüm sonuçlarının birlikte değerlendirilmesiyle elde edilmiştir. Daha sonra, ova ve vadi gibi oluşumların kenarındaki anakaya eğiminin, farklı frekans içeriğine sahip depremler sırasında yüzeyde meydana gelen harekete olan etkisi incelenmiş, bu amaçla Dinar ve Düzce Ovası modellerinin kayma dalgası hızı profili ve zemin grupları kullanılmıştır. Yapılan analizlerde bir ve iki boyutlu davranış arasındaki farklılığı anlayabilmek amacıyla farklı periyotlardaki 2D/1D spektral ivme oranlarının ova kenarındaki değişimi belirlenmiş, ova/vadi kenarı gibi kısımlar için farklı tasarım spektrumlarının yeterliliği incelenmiştir. Ayrıca bu çalışmada, 2D/1D spektral ivme oranlarını tahmin edebilmek amacıyla kullanılan modeller için geometriye bağlı bir bağıntı önerilmiştir. Bu bağıntı yardımıyla, ova kenarındaki bir bölge için yapılan bir boyutlu dinamik analiz sonucunda hesaplanan spektral ivmelere ikinci boyut etkisi yansıtılabilmektedir. Yapılan çalışmada aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- Yüzey topoğrafyası zemin büyütmesine etkiyen önemli faktörlerden biridir. Ele alınan ova-tepe modelinden de görülebileceği gibi; üst kısımlarında ani rijitlik farkı olan yamaçların tepelerinde, farklı deprem hareketleri için hesaplanan 2D/1D spektral ivme oranı yerel hakim periyot civarında oldukça yükselmektedir.
- Rijit vadi modelleri, anakayadaki deprem hareketinin şiddetine oranla frekans içeriğinden daha fazla etkilenmektedir.
- Sığ ve rijit vadi modelleri dışında üst tabakanın kum olması durumunda zemin büyütmesi değerleri, artan ivme ile daha hızlı bir azalma göstermektedir.
- Trapez şeklindeki modellerin analizinde anakaya ivmesinin 0.2 g ve daha yüksek olması durumunda vadi modellerinin farklı noktaları için 2D/1D spektral ivme oranlarının değeri 2'nin altına düşmekte, değişik vadi bölgeleri için bu oranlar birbirinden farklılaşabilmekte ancak farklılaşma aralığı sınırlı kalmaktadır.

Basitlik ve anlaşılabilirlik açısından her vadi modelinin belirli bir anakaya ivme büyüklüğü için bir tek 2D/1D spektral büyütme eğrisiyle temsil edilebileceği kabul edilmiştir. Bu nedenle ele alınan herhangi bir vadi modeli için yüzeyin farklı noktalarında hesaplanan 2D/1D spektral ivme oranlarının ortalaması alınmıştır. Farklı anakaya ivme büyüklükleri ve modeller için elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- Tüm modellerde anakaya mostrasındaki ivme değerlerinin küçük olması halinde ortalama 2D/1D spektral ivme oranları çok yükselmekte, ivmenin artmasıyla oranlar azalmaktadır.
- Anakaya mostrasındaki ivme zaman geçmişinin en büyük değerinin 0.1 g olması durumunda hesaplanan ortalama 2D/1D spektral ivme oranlarının en büyük değerleri üst tabakası kil olan modellerde 2-5 arasında değişmekte, bununla birlikte anakaya mostrasındaki ivme zaman geçmişinin en büyük değerinin 0.2 g ve daha büyük olması halinde hesaplanan ortalama 2D/1D spektral ivme oranları 0.5-2 aralığında değerler almaktadır.
- Üst tabakası kum olan modelde, anakaya mostrasındaki ivme zaman geçmişinin en büyük değerinin 0.1 g olması durumunda hesaplanan 2D/1D spektral ivme oranlarının üst tabakanın kil olması durumuna göre azaldığı, anakaya mostrasındaki ivme zaman geçmişinin en büyük değerinin 0.2 g ve daha büyük olması halinde hesaplanan ortalama 2D ve 1D spektral ivme değerlerinin birbirlerine çok yaklaştığı görülmektedir.
- $B/D \geq 10$ olması durumunda, 2D/1D spektral ivme oranları vadi kenarından vadi ortasına doğru çok farklılaşmaktadır. Kenara yakın bölgelerde ikinci boyut etkisi daha belirgin olmaktadır. Vadi ortasında bir ve iki boyutlu analizler benzer sonuçlar vermektedir.

1 Ekim 1995 depreminin, Dinar Ovası'nın kenarında meydana getirdiği etkiler ve bunların oluşan hasarla olan ilişkisi belirlenmeye çalışılmıştır. Ova yüzeyindeki ivme zaman geçmişleri, mutlak ivme spektrumları, şiddet parametreleri elde edilmiş ve bu değerler ile $T=0.3$ s, $T=0.4$ s ve $T=0.6$ s için 2D/1D spektral büyütme oranının kenarından olan uzaklığa bağlı değişimleri incelenmiştir. Ayrıca yapılan 2 boyutlu dinamik analizler sonucunda modelin yüzeyindeki farklı noktalar için hesaplanan efektif spektrum katsayılarının ova kenarından uzaklığa bağlı değişimleri

“DBYBHY” ile Eurocode 8’de verilen tasarım spektrumu değerleriyle karşılaştırılmıştır. Aynı şekilde, Düzce Ovası’nın kenarında 12 Kasım 1999 depreminde meydana gelen etkiler de, oluşturulan iki boyutlu model üzerinde düzenlenen iki ve bir boyutlu dinamik analizlerle anlaşılmaya çalışılmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

- Dinar ve Düzce ovalarındaki zemin tabakalarının ve anakaya dalımının iki boyutlu geometrisinin belirlenmesinde kullanılan geniş açıklıklı eş zamanlı mikrotremor ağ ölçümleri bölgede yapılan diğer arazi deneyleriyle uyumlu sonuçlar vermiştir. Bu durum, mikrotremor array deneyinin özellikle derin alüvyonlardaki sismik anakaya derinliği ve kayma dalgası hızı profilinin elde edilmesinde başarıyla kullanılabileceğini göstermektedir.
- Dinar ve Düzce Meteoroloji İstasyonu ivme zaman geçmişi kayıtlarının geliştirilmiş 1D eşdeğer lineer yöntemle sismik taban anakayasına taşınmasıyla elde edilen giriş hareketinin kullanılmasıyla yapılan analizlerde, maksimum yatay ivme değerlerinin iki boyutlu ova modelinin kenarında bir bölgede belirgin biçimde arttığı ve sadece yatay harekete bağlı oluşan düşey ivmelerin de yüksek değerler aldığı görülmüştür.
- Ana şokta Dinar ve Düzce ovalarının üzerindeki farklı bölgelerde meydana gelen hareketin karakteristiklerini belirlemek için yapılan iki boyutlu dinamik analizlerde, modelin hem anakaya hem de ova kısımlarındaki düğüm noktalarında düşey ve yatay sönümleyiciler kullanılmış ve bunlara ek olarak yatayda sonsuza uzanan tabakaların sönüm kuvvetlerinin etkisi de katılmıştır. Dinar ve Düzce Meteoroloji İstasyonu için elde edilen mutlak ivme spektrumlarının, ana şok sırasında kaydedilmiş ivme zaman geçmişinden hesaplananlarla oldukça uyumlu olduğu görülmektedir.
- Dinar’daki yapı stoğunun hasar derecesiyle bağlantı kurulabilecek en uygun parametrelerden birisinin ivme spektrumu şiddeti (ASI) olduğu söylenebilir. İvme spektrumu şiddeti, kuvvetli yer hareketinin rijit yapılara etkisini göstermek açısından etkilidir. Yapılan iki boyutlu analizlerin değerlendirilmesi neticesinde ova kenarındaki eğimli anakayanın yüzeydeki izdüşümünde belli bir bölgede ASI değerlerinin yükseldiği ve yaklaşık % 50 oranında arttığı hesaplanmıştır.

- Mühendislik bakış açısı yönünden Dinar Depremi'nin en olağandışı tarafının Dinar'daki hasarın kısmi dağılımı olduğu söylenebilir. D-B doğrultusundaki ivme zaman geçmişlerinin en büyük değerlerinin ovanın kenarından uzaklığa bağlı değişimi incelendiğinde, hasar oranının en yüksek olduğu bölgede maksimum ivmelerin ovanın diğer bölgelerine oranla yaklaşık % 30-40 oranında arttığı ve değerlerin 0.5 g'ye ulaştığı görülmektedir. Ayrıca yine bu bölgede sadece yatay harekete bağlı dalga dönüşümleri sebebiyle oluşan düşey ivme değerlerinin 0.25 g gibi ihmal edilemeyecek değerlere ulaştığı anlaşılmaktadır.
- 2D/1D spektral ivme oranları (şiddet faktörü), özellikle düşük periyot değerleri ($T=0.3-0.4$ s) için ova kenarında birbirine yakın mesafelerde çok farklılaşabilmektedir.
- Tasarım spektrumlarıyla iki boyutlu analiz sonucunda elde edilen değerler karşılaştırıldığında; özellikle $T=0.3-0.4$ s için "DBYBHY" ile Eurocode 8'de verilen tasarım spektrumu değerlerinin yetersiz kaldığı, $T=0.6$ ve 0.9 s içinse her iki yönetmelikteki tasarım spektrumu değerleri de Dinar ve Düzce ovalarının her bölgesi için yeterli olduğu görülmektedir.

Ova/vadi gibi oluşumlarda kenardaki anakaya eğiminin, farklı frekans içeriğine sahip depremler sırasında ova/vadi yüzeyinde meydana gelen harekete olan etkisi incelenmeye çalışılmıştır. Bu amaçla oluşturulan iki boyutlu sonlu eleman modellerinde 4 farklı anakaya eğimi kullanılmış ve modellerin 6 ayrı deprem hareketi karşısındaki dinamik davranışı belirlenmeye çalışılmıştır. Dinar ve Düzce ovası modelleri kullanılarak yapılan dinamik analizlerden elde edilen sonuçlar aşağıda kısaca özetlenmiştir.

- Farklı anakaya eğimine sahip modellerde; zemin büyütmesi, ASI değerleri ve 2D/1D spektral ivme oranlarındaki en büyük artışlar anakaya eğimi değerinin belirli bir aralığında ortaya çıkmaktadır.
- Anakaya mostrasındaki en büyük ivme değerinin 0.4 g olduğu modelde; zemin tabakalarındaki lineer olmayan davranış nedeniyle, ova kenarında elde edilmiş olan zemin büyütmesi değerlerinin ve anakaya eğimine bağlı meydana gelen farklılaşmaların azaldığı görülebilmektedir.
- Anakaya eğimi arttıkça, düşey hareketin etkili olduğu bölge anakaya mostrasına doğru yaklaşmakta ve düşey hareketin şiddeti artmaktadır.

- Bütün modeller için en yüksek ortalama 2D/1D spektral ivme oranı değerleri (S(T)[2D/1D]=2-3) genelde 0.2 s-0.5 s periyot aralığında elde edilmiştir.
- Ova modellerindeki zemin grubunun değişmesiyle birlikte en yüksek dinamik tepkilerin elde edildiği anakaya eğimleri de değişmektedir.
- Hem Dinar hem de Düzce ovası zemin modelleri kullanılarak yapılan analizlerde elde edilen ortalama 2D/1D spektral ivme oranları, ilgilenilen periyot değerlerinden fazla etkilenmeksizin sismik anakaya eğimine bağlı olarak kenardaki anakaya mostrasından belirli bir mesafede genellikle 1 değerine yakınsamakta ve iki boyutlu etkiler ihmal edilebilir hale gelmektedir.
- Farklı anakaya eğimine sahip ova modelleri için iki boyutlu analizle elde edilen ivme spektrumu değerlerinin bir boyutlu analizle elde edilenlere göre özellikle vadi kenarındaki belirli bir bölgede oldukça büyük olduğu görülmüştür. Bu durum; çoğu bir boyutlu cisim dalgası (SH) ilerleyişine dayanan tasarım spektrumlarının tekrar gözden geçirilmesini sağlayacak etkiye sahiptir.

Bazı idealleştirmeler yapıldıktan sonra, farklı deprem hareketleri için normal dağılıma uydukları varsayılan 2D/1D spektral ivme oranlarının ortalama değerlerinin ova kenarındaki değişimleri, her bir anakaya eğimi ve periyot değeri için X/D boyutsuz büyüklüğüne bağlı olarak denklemi aşağıda verilen tek bir fonksiyon kullanılarak tanımlanmıştır.

$$m=S(T) [2D/1D] = e^{\left(a + \frac{b}{(X/D)} + c \ln \left(\frac{X}{D} \right) \right)} + 1 \quad [X/D > 0] \quad (9.1)$$

Denklemden, m; 2D/1D spektral ivme oranını, X; ova kenarındaki anakaya mostrası sınırından olan uzaklığı, D; ova kenarındaki orta sert anakayanın dalımının sona erdiği noktadaki derinliği, a, b, c; anakaya eğimi, yerel zemin sınıfı ve ilgilenilen periyoda bağlı değişen değerleri göstermektedir. Spektral ivme oranlarının en yüksek değerlere ulaştığı modellerde T=0.2 s-0.5 s periyot aralığı için, a; 8 ile 17, b; -9 ile -17, c ise -9 ile -16 arasında değişmektedir.

Yukarıdaki bağıntı, bir ve iki boyutlu dinamik analiz sonuçları arasındaki farkı gösterebilmek amacıyla düzgün geometriye sahip idealleştirilmiş modeller ve sınırlı sayıdaki anakaya deprem hareketi kullanılarak elde edilmiştir. Elde edilen bu bağıntı,

bu çalışma kapsamında seçilen modeller için geçerlidir. Bununla birlikte daha fazla sayıda kuvvetli ivme zaman geçmişi ve farklı modeller kullanılarak bu bağıntının geliştirilmesi ve genelleştirilebilmesi mümkün olacaktır.

Bu çalışmada, farklı kayma dalgası hızı ve zemin profiline sahip modeller üzerinde yapılan analizler sonucunda elde edilen 2D/1D spektral ivme oranı bağıntıları sayesinde; ova kenarındaki bir bölge için yapılan bir boyutlu dinamik analizlerden elde edilen spektral ivme değerlerine, anakaya eğimine ve X/D büyüklüğüne bağlı olarak ikinci boyut etkisinin yansıtılabileceği gösterilmiş, spektral ivme oranlarının X/D 'nin hangi değerlerinden sonra ihmal edilebilecek kadar azaldığı belirlenmiştir.

Bununla birlikte ova/vadi gibi yatay yönde sınırlanmış bölgelerin deprem sırasında oluşan gerçek davranışını sayısal modellere yansıtabilmek ve iki boyutlu analizlerin doğruluğunu ispatlayabilmek için bu tür oluşumlarda, geometrinin etkisini ortaya çıkarabilecek biçimde kuvvetli yer hareketi ölçüm istasyonlarının kurulması gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik**, 1997. İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi, Yayın No:25.
- Afet İşleri Genel Md. Deprem Araştırma Dai.**, 1995. *1 Ekim 1995 Dinar Depremi Ön Raporu*, Ankara.
- AFPS**, 1995. Guidelines for seismic microzonation studies, *French Association for Earthquake Engineering*, 18 pp.
- Aki, K. and Larner, K.L.**, 1970. Surface motion of a layered medium having an irregular interface due to incident plane SH waves, *Journal of Geophysics*, **75**, 933-954.
- Aki, K. and Irikura, K.**, 1991. Characterization and mapping of earthquake shaking for seismic zonation, *4th Int. Conf. on Seismic Zonation*, Stanford, California USA, **1**, 61-110.
- Allen , C.R.**, 1980. Comparisons between the North Anatolian Fault Zone of Turkey and San Andreas Fault of California, multidiciplinary approach to earthquake prediction”, *Proceedings of the International Symposium on Earthquake Prediction in the North Anatolian Fault Zone held in Istanbul*, Friedr. Vieweg and Sohn, Eraunschweig/Wiesbaden, 1982, 67-85.
- Ambraseys, N.N. and Zatopek, A.**, 1969. The Mudurnu valley earthquake of july 22nd 1967”, *Bulletin of the Seismological Society of America*, **59**, 521-589.
- Ambraseys, N.N.**, 1970. Some characteristic features of the Anatolian Fault Zone, *Tectonophysics*, **9**, 143- 165.
- Ambraseys, N.N.**, 1975. Studies in historical seismicity and tectonics in geodynamics of today, *Roy. Soc. Lon.*, 9-16.
- Ambraseys, N.N. and Finkel, C.F.**, 1988. The Anatolian earthquake of 17 August 1668, in *Historical Seismograms and Earthquakes of the World*, W.H.K. Lee, H. Meyers and K.Sh.M. Zaki, Eds, Academic Press, 173-180.

- Amirbekian, R.V. and Bolt, B.A.**, 1998. Spectral comparison of vertical and horizontal seismic strong ground motions in alluvial basins, *Earthquake Spectra*, **Vol. 14**, No. 4, 573-595.
- Ansal, M.A., Erdik, M., Kurtulus, A., Erken, A., Sesetyan, K. and Siyahi, B.**, 2002. State of the art report. Review of current literature on seismic microzonation, *Microzonation for Earthquake Risk Mitigation*, Department of Earthquake Engineering, Kandilli Observatory and Earthquake Research Institute, Bogazici University, Istanbul, Turkey, 114 pp.
- Ansal, M.A., İyisan, R. and Güllü, H.**, 2001. Microtremor measurements for the microzonation of Dinar, *Pure and Applied Geophysics*, **158**, 2525-2541.
- Arias, A.**, 1970. A measure of earthquake intensity, *Seismic Design for Nuclear Power Plants*, ed. R.J. Hansen, MIT Press, Massachusetts, 438-483.
- Asten, M.W. and Henstidge, J.D.**, 1984. Array estimators and the use of microseisms for reconnaissance of sedimentary basins, *Geophysics*, **Vol. 49**, No.11, 1828-1837.
- Athanasopoulus, G.A., Pelekis, P.C. and Leonidou, E.A.**, 1999. Effects of surface topography on seismic ground response in the Egion (Greece) 15 June 1995 Earthquake, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, **18**, 135-149.
- Bakır, B.S., Özkan, M.Y. and Cılız, S.**, 2002. Effects of basin edge on the distribution of damage in 1995 Dinar, Turkey Earthquake, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, **22**, 335-345.
- Bard, P.Y. and Bouchon, M.**, 1980a. The seismic response of sediment-filled valleys. part 1: The case of incident SH waves, *Bulletin of the Seismological Society of America*, **70**, 1263-1286.
- Bard, P.Y. and Bouchon, M.**, 1980b. The seismic response of sediment-filled valleys. part 2: The case of incident P and SV waves, *Bulletin of the Seismological Society of America*, **70**, 1921-1941.
- Bard, P.Y. and Bouchon, M.**, 1985. The two dimensional resonance of sediment filled valleys, *Bulletin of the Seismological Society of America*, **75**, 519-541.

- Barka, A.A., Akyüz, S. and Altunel E.**, 1999. The August 17, 1999 İzmit Earthquake $M=7.4$ and November 12, 1999 Düzce Earthquake $M=7.2$, Eastern Marmara Sea Region Int. Conference on Earthquake Hazard and Risk into Mediterranean Region, N.E. Univ., Cyprus.
- Barka, A.A. and Kadinsky C.K.**, 1988. Strike slip fault geometry in Turkey and its influence on earthquake activity”, *Tectonics*, **Vol. 7**, No. 3, 663-684.
- Bolt, B.A.**, 1969. Duration of strong motion, *Proceedings of the 4th World Conference on Earthquake Engineering*, Santiago, Chile, 1304-1315.
- Boore, D.M.**, 1972. Finite difference methods for seismic wave propagation in heterogeneous materials, *Methods in computational physics*, **11**, 1-37, Seismology, *Surface waves and earth oscillations*, B.A. Bolt, editor, Academic Press, New York.
- Bouchon, M. and Aki, K.**, 1977. Discrete wave number representation of seismic source wave fields, *Bulletin of the Seismological Society of America*, **67**, 259-277.
- Bouchon, M.**, 1985. A simple, complete numerical solution to the problems of diffraction of SH waves by an irregular surface, *J. Acoust. Soc. Am.*, **77**, 1-5.
- Canitez, N. and Toksöz, M.N.**, 1982. Crustal structure in Turkey. Unpublished Report.
- Capon, J.**, 1969. High resolution frequency wavenumber spectrum analysis, *Proc. IEEE*, **Vol. 57**, 1408-1418.
- Castellani, A., Chesi, C., Peano, A. and Sardella, L.**, 1982. Seismic response of topographic irregularities. In: Cakmak, A.S., Abdel-Ghaffar, A.M., Brebbia, C.A., Balkema/Rotterdam, editors. *Proceedings of Soil Dynamics and Earthquake Engineering Conference*, Southampton, **1**, 251-268.
- Chandrupatla, T.R. and Belegundu, A.D.**, 2002. *Introduction to Finite Elements in Engineering*, Prentice-Hall, ISBN:0130615919, p. 453.
- Chávez-García, F.J., Cuenca, J. and Sanchez-Sesma, F.J.**, 1996. Site effects in Mexico City urban zone. A complementary study, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, **15**, 141-146.
- Chávez-García, F.J. and Faccioli, E.**, 2000. Complex site effects and building codes: Making the leap, *Journal of Seismology*, **4**, 23-40.

- Chin-Hsiung, L., Jeng-Yaw, H. and Tzay-Chyn, S.,** 1998. Observed variation of earthquake motion across a basin-Taipei city, *Earthquake Spectra*, **Vol. 14**, No. 1, 115-134.
- Chopra, A.K.,** 1995. *Dynamics of Structures: Theory and Applications to Earthquake Engineering*, Prentice-Hall, Upper Saddle River, USA, pp. 729.
- Coutel, F. and Mora, P.,** 1998. Simulation based comparison of four site response estimation techniques, *Bulletin of the Seismological Society of America*, **Vol. 88**, No. 1, 30-42.
- Crampin, S. and Üçer, B.,** 1975. The Seismicity of the Marmara sea region of Turkey, *Geophys. J. R. Astron. Soc.*, **40**, 269-288.
- Cyclic 1D,** 2003. Computer simulation of site earthquake response and liquefaction, Developed by Elgamal, A., Yang, Z., Parra, E. & Ragheb, A., UCSD.
- Çevik, D.Ş.,** 1998. Dinar ve deprem, *Deprem Araştırma Bülteni*, **78**, 13-14.
- Demirtaş, R.,** 1994. Kuzey Anadolu fay zonunun batı kesiminde Taşkesti-Çayköy (Bolu-Adapazarı) arasında trenç çalışmaları, *Türkiye Jeoloji Kurultayı Bülteni*, **9**, 62-76.
- Demirtaş, R.,** 1995. Paleoseismology of the North Anatolian Fault; A case study in the Mudurnu Valley segment, *Bull. of International Inst. of Seismology and Earthquake Engineering*, Individual studies by participants at the IISEE, BRI, Ministry of Construction, Tsukuba, Japan 31, 119-130.
- Demirtaş, R. and Yılmaz, R.,** 1995. Seismotectonics of Turkey, A Report in Turkish and English Press, General Directory of Disaster Affairs, Ankara, pp. 25.
- Demirtaş, R. and Yılmaz, R.,** 1996. Türkiye'nin sismotektoniği; sismisitedeki uzun süreli değişim ve güncel sismisiteyi esas alarak deprem tahminine bir yaklaşım, Afet İşleri Gn. Md. Deprem Araştırma Dairesi Yayını, 91s., Ankara (Türkçe ve İngilizce).
- Demirtaş, R., Karakısa, S., Yatman, A., Baran, B., Zünbül, S., Iravul, Y., Altın, N., Bağcı, G. ve Yılmaz, R.,** 1996. 1 Ekim 1995 Dinar Depremi, *Türkiye Jeoloji Kurultayı Bülteni*, **11**, 44-58.
- Demirtaş, R.,** 2000. Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun Abant-Gerede arasındaki kalan bölümünün paleosismisitesi, *Doktora Tezi*, A.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü.

- Demirtaş, R., Erkmen C. ve Yaman M.**, 2000. 12 Kasım 1999 Düzce depremi: yüzey kırık geometrisi, atım miktarı dağılımı ve gelecek deprem potansiyeli, *Deprem Araştırma Dairesi 12 Kasım 1999 Düzce-Kaynaşlı Depremi Raporu*.
- Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik**, 2007. T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Mart 2007.
- Dewey, J.W.**, 1976. Seismicity of Northern Anotolia, *Bulletin of the Seismological Society of America*, **66**, 843-868.
- Durukal, E., Erdik, M., Avcı, J., Yüzügüllü, Ö., Alpay, Y., Avar, B., Zülfikar, C., Biro, T. and Mert, A.**, 1998. Analysis of the strong motion data of the 1995 Dinar, Turkey earthquake, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, **17**, 557-578.
- DYNEQ**, 2003. A computer program for dynamic response analysis of level ground by equivalent linear method, Version 3.23, Revised from Original Version (May 1995) by Yoshida and Suetomi.
- EERA**, 2000. A computer program for equivalent linear earthquake response analyses of layered soil deposits, by Bardet, J. P., Ichii, K. and Lin, C. H., Department of Civil Engineering, University of Southern California.
- Emre, Ö., Duman, T.Y. ve Doğan, A.**, 1999. 17 Ağustos 1999 Doğu Marmara depremi yüzey kırığı haritası ve ön değerlendirme raporu, **22**, Ankara.
- Ergin, K., Güçlü, U. ve Uz, Z.**, 1967. Türkiye ve civarının deprem katalogu (M.S.11-1964), *İTÜ Arz Fiziği Enst. Yay.*, **24**, s. 74.
- Erken, A., İyisan, R., Özay, R. ve Güllü, H.**, 1999. 1995 Dinar depreminde Dinar'da yerel zemin koşulları ve zeminlerin davranışları, İTÜ Geliştirme Vakfı, *Teknik Rapor*, No:203, İstanbul.
- Eurocode 8**, 2003. Design of Structures for Earthquake Resistance - Part 1: General Rules, Seismic Actions and Rules for Buildings, European Standard.
- Eyidoğan, H. and Jackson, J.**, 1985. A seismological study of normal faulting in the Demirci, Alaşehir and Gediz earthquakes of 1969-1970 in the western Turkey, Implications for the Nature and Geometry of Deformation in the Continental Crust, *Geophys. J. R. Astr. Soc.*, **8**, 569-607.

- Faccioli, E.**, 1991. Seismic amplification in the presence of geological and topographic irregularities, *Proc. 2nd International Conference on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering*, St. Louis, Missouri, State-of-art paper, 1779-1797.
- FLUSHPLUS**, 1993. A Computer Program for Approximate 3-D Analysis of Soil-Structure Interaction Problems, An enhanced PC version of the original FLUSH program published in 1975 by Lysmer, J., Udaka, T., Tsai C.-F., Seed H.B. (program conversion and modification by Deng, N.), Berkeley, University of California: EERI, 1993.
- Fukushima, Y. and Midorikawa, S.**, 1994. Evaluation of site amplification factors based on average characteristics of frequency dependent Q^{-1} of sedimentary strata", *J. Structural and Constructional Engineering*, AIJ, **460**, 37-46.
- Gao, S., Liu, H., Davis, P.M. and Knopoff, L.**, 1996. Localized amplification of seismic waves and correlation with damage due to the Northridge Earthquake: Evidence for focusing in Santa Monica, *Bulletin of the Seismological Society of America*, **Vol. 86**, No. 2, 209-230.
- Geli, L., Bard, Y.P. and Jullien, B.**, 1988. The effect of topography on earthquake ground motion: a review and new results, *Bulletin of the Seismological Society of America*, **78**, 42-63.
- Gökten, E., Çemen, İ., Özaksoy, V. and Erkmen, C.**, 1999. The mechanism of the 17 August 1999 Gölcük (Kocaeli)-Arifiye (Adapazarı) earthquake, NW Turkey, *Int. Conference on Earthquake Hazard and Risk in the Mediterranean Region*, Proc. 23-36, NE Univ., Cyprus.
- Güllü, H., İyisan, R. and Ansal, A.**, 2000. A study of local soil conditions effect on structural damage, *Proceedings of the Third Japan-Turkey Workshop on Earthquake Engineering*, Edited by Boduroğlu, Özdemir, Ansal and İlki, Istanbul Technical University, **2**, 97-101, February, 2000.
- Güllü, H.**, 2001. Dinar'ın zemin büyütmelerine göre coğrafik bilgi sistemleri ile mikrobölgelemesi, *Doktora Tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Gürbüz, C., Püskülcü, S. and Üçer, S.B.**, 1992. A study of crustal structure in Marmara region using earthquake data, *Multidisciplinary Research of Fault Activity of the North Anatolian Fault Zone*, **4**, 29-41.

- Haskell, N.A.**, 1953. The dispersion of surface waves on multi layered media, *Bulletin of the Seismological Society of America*, **43**, 17-34.
- Haşal, M.E. ve İyisan, R.**, 2004. Yerel zemin koşullarının zemin büyütmesine etkisi: Bir ve iki boyutlu analiz, *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Onuncu Ulusal Kongresi Bildiriler Kitabı*, 16-17 Eylül, 343-352, İ.T.Ü., İstanbul.
- Hong, T.L. and Helmberger, D.V.**, 1978. Glorified optics and wave propagation in nonplanar structure, *Bulletin of the Seismological Society of America*, **68**, 2013-2032.
- Horike, M.**, 1996. Geophysical exploration using microtremor measurements, *Proc. of 11th World Conf. on Earthquake Engineering*, Paper No. 2033.
- Huang, H.C. and Chiu, H.C.**, 1999. Canyon topography effects on ground motion at Feitsui damsite, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, **18**, 87-99.
- Iida, K., Masaki, K., Taniguchi, H. and Tsuboi, T.**, 1978. Seismic characteristics of the ground and earthquake risk in Nagoya area, *Proc. 5th Japan Earthquake Engineering Symposium*, 1415-1422.
- Ishibashi, I. and Zhang, X.**, 1993. Unified dynamic shear moduli and damping ratios of sand and clay, *Soils and Foundations*, Japanese Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering, **Vol. 33**, No. 1, 182-191.
- İyisan, R. ve Ansal, A.**, 1995. Dinamik zemin özelliklerini belirlemede PS Logging yöntemi, *3. Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, İstanbul.
- İyisan, R.**, 1996. Geoteknik özelliklerin belirlenmesinde sismik ve penetrasyon deneylerinin karşılaştırılması, *Doktora Tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- İyisan, R. ve Ansal, A.**, 1998. Yerel zemin koşullarının mikrotremor ile belirlenmesi, *Zemin Mekaniği ve Temel Müh. 7. Ulusal Kongresi*, YTÜ, İstanbul, 542-549.
- İyisan, R., Ansal, A. ve Özçimen, N.**, 2000. Dinamik zemin özelliklerini belirlemede arazi ölçümlerine dayanan korelasyonlar, *Zemin Mekaniği ve Temel Müh. 8. Ulusal Kongresi*, İTÜ, İstanbul, 409-416.
- İyisan, R., Gülerce, Ü., Yamanaka, H. ve Ansal, A.**, 2002. Kayma dalgası hızının mikrotremor ölçümleriyle belirlenmesi, *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Dokuzuncu Ulusal Kongresi Tutanakları*, 21-22 Ekim, 322-331, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir.

- Iyisan, R. and Hasal, M.E.**, 2007. The effect of ground motion characteristics to the dynamic response of alluvial valley models, *13th Asian Regional Conference of Soil & Geotechnical Engineering*, Theme-7 Dam Engineering, Paper Code 7.1-8, Kolkata.
- Jiang, T., Nishioka, S., Nagasaka, H. and Kuribayashi, E.**, 1993. Three dimensional reflectivity method for complicated irregular formations, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, **12**, 173-182.
- Jibson, R.**, 1987. Summary of research on the effects of topographic amplification of earthquake shaking on slope stability. US Geological Survey, *Open-file Report 87-268*, Menlo Park, California, 1987.
- Kawase, H.**, 1998. The cause of the damage belt in Kobe: 'The basin edge effect', Constructive Interference of the Direct S-Wave with the Basin-induced Diffracted/Rayleigh Waves, *Seismological Research Letters*, **67**, 25-34.
- Ketin, İ.**, 1948. Son on yılda Türkiye'de vukuu gelen büyük depremlerin tektonik ve mihanik neticeleri hakkında, *TJKB 2*, Ankara.
- Ketin, İ.**, 1969. Kuzey Anadolu Fayı hakkında, *Bull. Min. Res. Exp. Ins*, Ankara, **72**, 1-27.
- Ketin, İ.**, 1976. San Andreas ve Kuzey Anadolu Fayları arasında bir karşılaştırma, *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, **19**, 149-154.
- Ketin, İ.**, 1993. *Genel Jeoloji – Yer Bilimlerine Giriş*, İTÜ Vakfı Yayınları, İstanbul.
- King, J. L. and Tucker, B. E.**, 1984. Dependence of sediment filled valley response on the input amplitude and the valley properties, *Bulletin of the Seismological Society of America*, **Vol. 74**, No. 1, 153-165.
- Klingele, E. and Madici, F.**, 1997. Gravimetric studies of the Marmara Sea region, active tectonics of Northwestern Anatolia, The Marmara Poly Project, C. Schindler and M. Pfister (Eds.), 487-501.
- Kobayashi, K., Amaike, F. and Abe, Y.**, 1992. Attenuation characteristics of soil deposits and its formulation, *International Sym. Effects of Surface Geology on Seismic Motion*, 269-274.
- Koçyiğit, A.**, 1984. Güneybatı Türkiye ve yakın dolayında levha içi yeni tektonik gelişim. *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*. C.27, 1-16.

- Koçyiğit, A., Bozkurt, E., Cihan, M., Özacar, A. and Toksöz, B., 1999.** Neotectonic frame of Turkey: A special emphasis on the 17 August 1999 Gölcük-Arifiye earthquake (NE Marmara-Turkey), *Int. Conference on Earthquake Hazard and Risk in the Mediterranean Region*, Proc. 1-11, NE Univ., Cyprus.
- Komut, T., 2000.** 1999 Düzce Depremi kırığının değerlendirilmesi, *Batı Anadolu'nun Depremselliği Sempozyumu Bildiriler*, 189-197.
- Kramer, S. L., 1996.** *Geotechnical Earthquake Engineering*, Prentice-Hall, Upper Saddle River, USA, pp. 653.
- Krinitszky, E.L. and Chang, F.K., 1979.** State-of-the-art for assessing earthquake hazards in the United States: Specifying peak motions for design earthquakes, Miscellaneous Paper S-73-1, Report 7, U.S Army Corps of Engineers Waterways Experiment Station, Vicksburg, Mississippi.
- Lee, J.J. and Langston, C.A., 1983.** Three dimensional ray tracing and the method of principal curvature for geometric spreading, *Bulletin of the Seismological Society of America*, **73**, 765-780.
- Lysmer, J. and Richart, F.E.Jr., 1966.** Dynamic response of footings to vertical loadings, *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division*, ASCE, **Vol. 92**, No. SM1, 65-91, January, 1966.
- Lysmer, J. and Kuhlemeyer, R.L., 1969.** A finite dynamic model for infinite media, *Jour. Engineering Mechanics Division*, ASCE, **Vol. 95**, No. EM4, 859-877, August, 1969.
- Lysmer, J. and Drake, L.A., 1971.** The propagation of love waves across non-horizontally layered structures, *Bulletin of the Seismological Society of America*, **61**, 1233-1252.
- Lysmer, J. and Drake, L.A., 1972.** A finite element method for seismology, *Methods of Computational Physics*, **Vol. 11**, Chapter 6, Academic Press, 1972.
- Makdisi, F.I. and Seed, H.B., 1978.** Simplified procedure for estimating dam and embankment earthquake induced deformations, *Journal of the Geotechnical Engineering Division*, ASCE, **Vol. 104**, No. GT7, 849-867.

- Makra, K.**, 2000. Contribution to the evaluation of site response for complex soil structure (Euroseistest Valley) using experimental and theoretical approaches, *Ph. D. Thesis*, Dept. of Civil Engineering, Aristotle University of Thessaloniki.
- Makra, K., Raptakis, D., Chavez-Garcia, F.J. and Pitilakis, K.**, 2001. Site effects and design provisions: The case of Euroseistest, *Journal of Pure and Applied Geophysics*, **Vol. 158**, No. 12, 2349-2367.
- Manual for Zonation on Seismic Geotechnical Hazards**, 1993. TC4 for ISSMFE.
- Mayne, P. W. and Rix, G. J.**, 1995. Correlations between shear wave velocity and cone tip resistance in natural clays, *Japanese Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering*, **Vol. 35**, No. 2, 107-110.
- MERM**, 2003. *Microzonation for Earthquake Risk Mitigation*, Part E. State of the Art Report Review of Current Literature on Seismic Microzonation, prepared by Ansal, A., Erdik, M., Kurtulus, A., Erken, A., Sesetyan, K., Siyahi, B., Department of Earthquake Engineering, KOERI, Bogazici University, 81220, Cengelkoy, Istanbul.
- Murphy, J.R. and Hewlett, R.A.**, 1975. Analysis of seismic response in the city of Las Vegas, Nevada: A preliminary microzonation, *Bulletin of the Seismological Society of America*, **65**, 1557-1597.
- NERA**, 2001. A computer program for nonlinear earthquake site response analyses of layered soil deposits, by Bardet, J. P., Tobita, T., Department of Civil Engineering, University of Southern California.
- Nowack, R. and Aki, K.**, 1984. The two dimensional gaussian beam synthetic method: Testing and application, *Journal of Geophysical Research*, **89**, 7797-7819.
- Nurlu, M.**, 1999. Almacık dağı (Adapazarı) çevresinin deprem risk alanları ile aktif tektoniği, *Doktora tezi*, Hacettepe Üniversitesi, 125.
- Olsen, K.B.**, 2000. Site amplification in the Los Angeles Basin from three dimensional modeling of ground motion, *Bulletin of the Seismological Society of America*, **Vol. 90**, No. 6, 77-94.
- OPENSEES**, Open System for Earthquake Engineering Simulation, Pacific Earthquake Engineering Research Center, <http://opensees.berkeley.edu/opensees>, 19.04.2004, University of California, Berkeley.

- Özbey, C., Sari, A., Lance, M., Erdik, M. and Fahjan, Y.,** 2004. Empirical strong ground motion attenuation relations for northwestern Turkey, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, **Volume: 24**, Issue: 2, 115-125.
- Özkan, M.,** 1997. Dinar’da yapılan mikrotremor ölçümleri ile arazi deneylerinin karşılaştırılması, *Yüksek Lisans Tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Öztürk, A.,** 1982. Tectonics of Dinar Sandıklı-Işıklı Region. Communications of Faculty of Science, University of Ankara, No.25, pp. 1-58.
- Pitilakis, K.,** 2004. *Recent Advances in Earthquake Geotechnical Engineering and Microzonation*, A. Ansal (ed.), Kluwer Academic Publishers, Netherlands, 139-193.
- PLAXIS,** 2005. Finite element code for soil and rock analyses, Version 8, Edited by Brinkgreve, R.B.J. & Vermeer, P.A., A.A. Balkema, Rotterdam, Brookfield, 2005.
- Psarropoulos, P.N., Gazetas, G. and Tazoh, T.,** 1999. Seismic response analysis of alluvial valley at bridge site, *Proceedings of the Second Int. Conf. On Earthquake Geotechnical Engineering*, **1**, 41-47.
- QUAKE/W,** 2004. Finite element dynamic earthquake analysis, Geo-Slope Office.
- Rassem, M., Heidebrecht, A.C. and Ghobarah, A.,** 1995. A simple engineering model for the seismic site response of alluvial valleys, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, **14**, 199-210.
- Rassem, M., Ghobarah, A. and Heidebrecht, A.C.,** 1997. Engineering perspective for the seismic site response of alluvial valleys, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, **26**, 477-493.
- Reinoso, E., Wrobel, L.C. and Power, H.,** 1997. Two dimensional scattering of P, SV and Rayleigh waves: Preliminary results for the valley of Mexico, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, **26**, 595-616.
- Reinoso, E., Wrobel, L.C. and Power, H.,** 1997. Three dimensional scattering of seismic waves from topographical structures, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, **16**, 41-61.
- Sánchez-Sesma, F.J. and Esquivel, J.A.,** 1979. Ground motion on alluvial valleys under incident plane SH waves”, *Bulletin of the Seismological Society of America*, **Vol. 69**, No. 4, 1107-1120.

- Sánchez-Sesma, F.J.**, 1985. Diffraction of elastic SH waves by wedges, *Bulletin of the Seismological Society of America*, **Vol. 75**, No. 5, 1435-1446.
- SAP2000N**, 2002. Integrated software for structural analysis and design, Version 8.0, Computers and Structures Inc., Berkeley, California, U.S.A, 2002.
- Sato, H.**, 1991. Scattering of earthquake wave in Dandam inhomogeneous media, *Jishi*, **44**, 85-97.
- Schnabel, P.B., Lysmer, J. and Seed, H.B.**, 1972. Shake: A computer program for earthquake response analysis of horizontally layered sites, Report No. UCB/EERC 72-12, Earthq. Eng. Research Center, University of California, Berkeley, p. 102.
- Seed, H.B. and Idriss, I.M.**, 1970. Soil moduli and damping factors for dynamic response analyses, Report No. EERC 70-10, Earthq. Eng. Research Center, University of California, Berkeley.
- SHAKE91**, 1992. A computer program for conducting equivalent linear seismic response analyses for horizontally layered soil deposits, A modified PC version of the original SHAKE program published in 1972 by Schnabel, Lysmer and Seed (modifications made by Idriss, I.M., Sum, J.I.), Berkeley, University of California, EERI, 1992.
- Sokolov, Y.V., Loh, C.H. and Wen, K.L.**, 2001. Empirical models for site and region dependent ground motion parameters in the Taipei area: A unified approach, *Earthquake Spectra*, **Vol. 17**, No. 2, 313-332.
- Stasa, F.L.**, 1995. *Applied Finite Element Analysis for Engineers*, ISBN:0030627370, Oxford University Press, USA, p. 672.
- Stephenson, W.J., Williams, R.A., Odum, J.K. and Worley, D.M.**, 2000. High resolution seismic reflection survey and modeling across an area of high damage from 1994 Northridge Earthquake, Sherman Oaks, California, *Bulletin of the Seismological Society of America*, **Vol. 90**, No. 3, 643-654.
- Su, F., Anderson, G., Ni, S.D. and Zeng, Y.**, 1998. Effect of site amplification and basin response on strong motion in Las Vegas, Nevada, *Earthquake Spectra*, **Vol. 14**, No. 2, 357-376.
- Suetomi, I. and Yoshida, N.**, 1996. A comparison of frequency dependent damping in equivalent linear analysis, *Proc. 31st Symposium of Geotechnical Engineering*, 1119-1120.

- Sugiyama, T., Hayakawa, M., Tsuboi, T., Nakamura, S. and Suetomi, I., 1990.** Frequency dependence of Q values in soil deposits at Nobi plane, *Proceedings of the 25th Japan National Conference on Geotechnical Engineering*, 899-902.
- Şafak, E., 1997.** Models and methods to characterize site amplification from a pair of records, *Earthquake Spectra*, **Vol. 13**, No.1, 97-129.
- Şafak, E., 2001.** Local site effects and dynamic soil behaviour, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, **21**, 453-458.
- Şaroğlu, F., Emre, Ö., ve Kuşcu, İ., 1992.** Türkiye Diri Fay Haritası, MTA Gn. Md. Yayını, Ankara.
- Şimşek, O. and Dalgıç, S., 1997.** Consolidation properties of the clays at Duzce Plain and their relationship with geological evaluation, *Türkiye Jeoloji Bülteni*, **Vol. 40**, No. 2, 29-38.
- Teves-Costa, P. and Bard, P.Y., 1996.** Seismic behaviour estimation of thin alluvium layers using microtremor recordings, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, **15**, 201-209.
- Tokimatsu, K., 1992.** Use of short period microtremors for Vs, *Journal of Geotechnical Engineering*, ASCE, **118**, 1544-1558.
- Toksöz, M.N., Shakal, A.H. and Micheal, A.J., 1979.** Space-time migration of earthquakes along the North Anatolian Fault zone and microseismic gaps, *P.A. Geophysics*, **Vol. 117**, No. 19, 1258-1270.
- Trifunac, M. D., 1971.** Surface motion of a semi-cylindrical alluvial valley for incident plane SH waves, *Bulletin of the Seismological Society of America*, **61**, 1755-1770.
- Türker, E., Kaya, M.A., Kamacı, Z., Uyanık, O., Büyükköse, N., Mutlutürk, M., Yalçın, A. ve Özkan, F., 1996.** Dinar Afet Bölgesi Geoteknik Raporu, Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta.
- Ueshima, T. and Nakazono, N., 1996.** Application of equivalent linear method considering frequency dependent characteristics on earthquake record at Lotung, *Proc. 51st Annual Conf. of the JSCE*, 1, pp. 408-409.

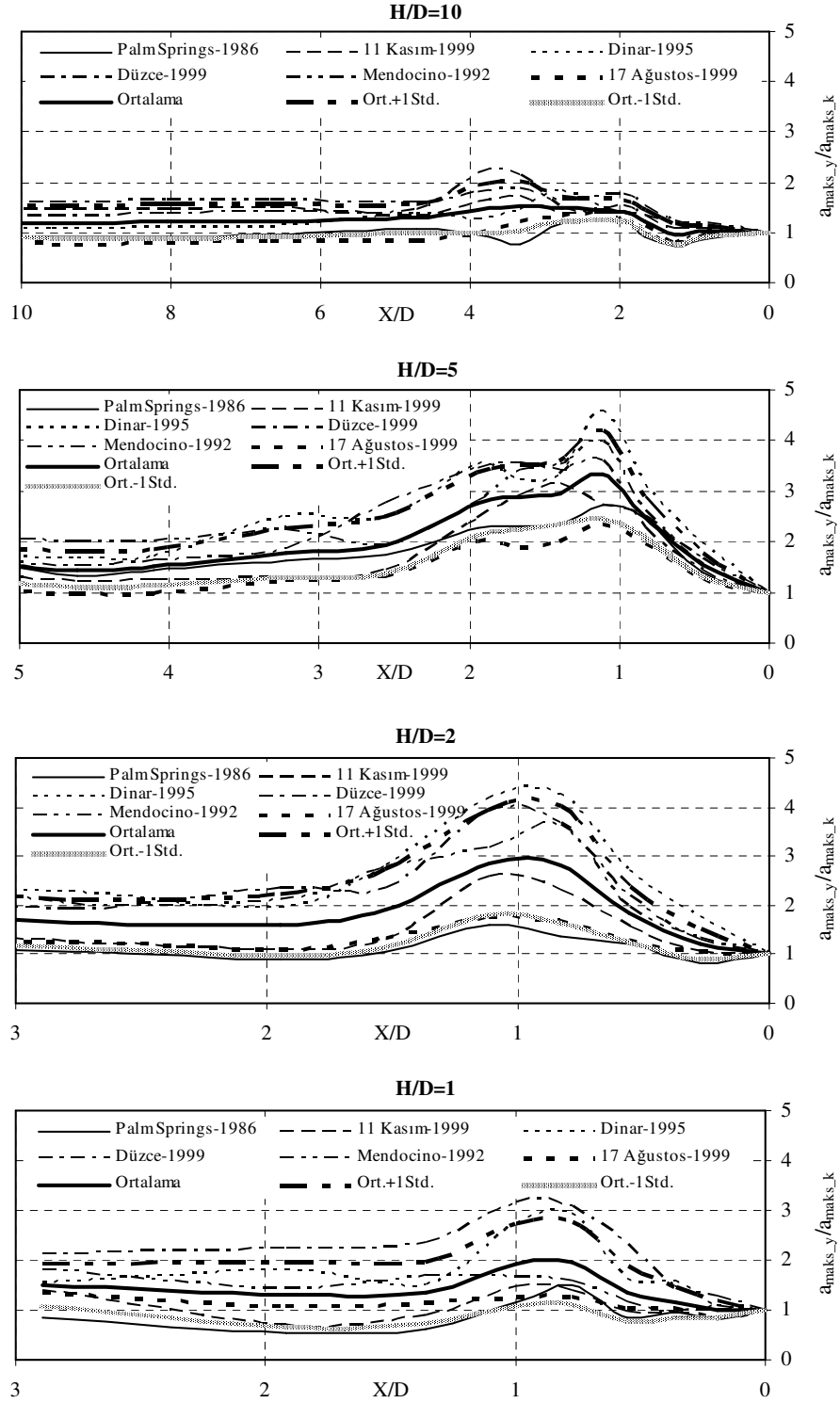
- Vanmarcke, E.H.**, 1979. State of the art for assessing earthquake hazards in the United States: Representation of earthquake ground motion: Scaled accelerograms and equivalent response spectra, Miscellaneous Paper S-73-1, Report 14, U.S Army Corps of Engineers Waterways Experiment Station, Vicksburg, Mississippi.
- Varol, B., Kıvanç, N., Gökten, E., Kılıç, R., Çemen, İ., Kayabalı, K., Alçiçek, M.C., Sözeri, K., İleri, Ö., Koçbay, A., Bilgehan, R.P., Kırmızı, E., Ulaş, K. ve MTA Gn. Md.**, 1999. 17 Ağustos 1999 depremi sonrası Düzce (Bolu) ilçesi alternatif yerleşim alanlarının jeolojik incelemesi, TÜBİTAK Yer Deniz Atmosfer Bilimleri ve Çevre Araştırma Grubu, s. 59.
- Von Thun, J.L., Rochim, L.H., Scott, G.A and Wilson, J.A.**, 1988. Earthquake ground motions for design and analysis of dams, *Earthquake Engineering and Soil Dynamics II*, Recent Advance in Ground-Motion Evaluation, Geotechnical Special Publication 20, ASCE, New York, 463-481.
- Waas, G.**, 1972. Earth vibration effects and abatement for military facilities-analysis method for footing vibrations through layered media, Technical Report S-71-14, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, Mississippi, September, 1972, Also a doctoral dissertation entitled “*Linear Two-Dimensional Analysis of Soil Dynamics Problems in Semi-Infinite Layered Media*”, from the University of California, Berkeley, California.
- Wald, D.J. and Graves, R.W.**, 1998. The response of the Los Angeles basin, California”, *Bulletin of the Seismological Society of America*, **Vol. 88**, No. 2, 337-356.
- Wen, K.L., Peng, H.T. and Lin, L.F.**, 1995. Basin effects analysis from a dense strong motion observation network, *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, **24**, 1069-1083.
- Wong, H.L. and Jennings, P.C.**, 1975. Effects of canyon topography on strong ground motion, *Bulletin of the Seismological Society of America*, **65**, 1239-1257.
- Yamanaka, H.**, 1998. Geophysical exploration of sedimentary structures and their characterization, *The Effects of Surface Geology on Seismic Motion*, Balkema, Rotterdam, pp.15-33.

- Yoshida, N.**, 1984. Applicability of conventional computer code SHAKE to nonlinear problem, *Proc. Symposium on Amplification of Ground Shaking in Soft Ground*, JSSMFE, 14-31.
- Yoshida, N., Kobayashi, S., Suetomi, I. and Kinya, M.**, 2002. Equivalent linear method considering frequency dependent characteristics of stiffness and damping, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, **22**, 205-222.
- Zhao, C. and Valliappan, S.**, 1993. Seismic wave scattering effects under different canyon topographic and geological conditions, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, **12**, 129-143.

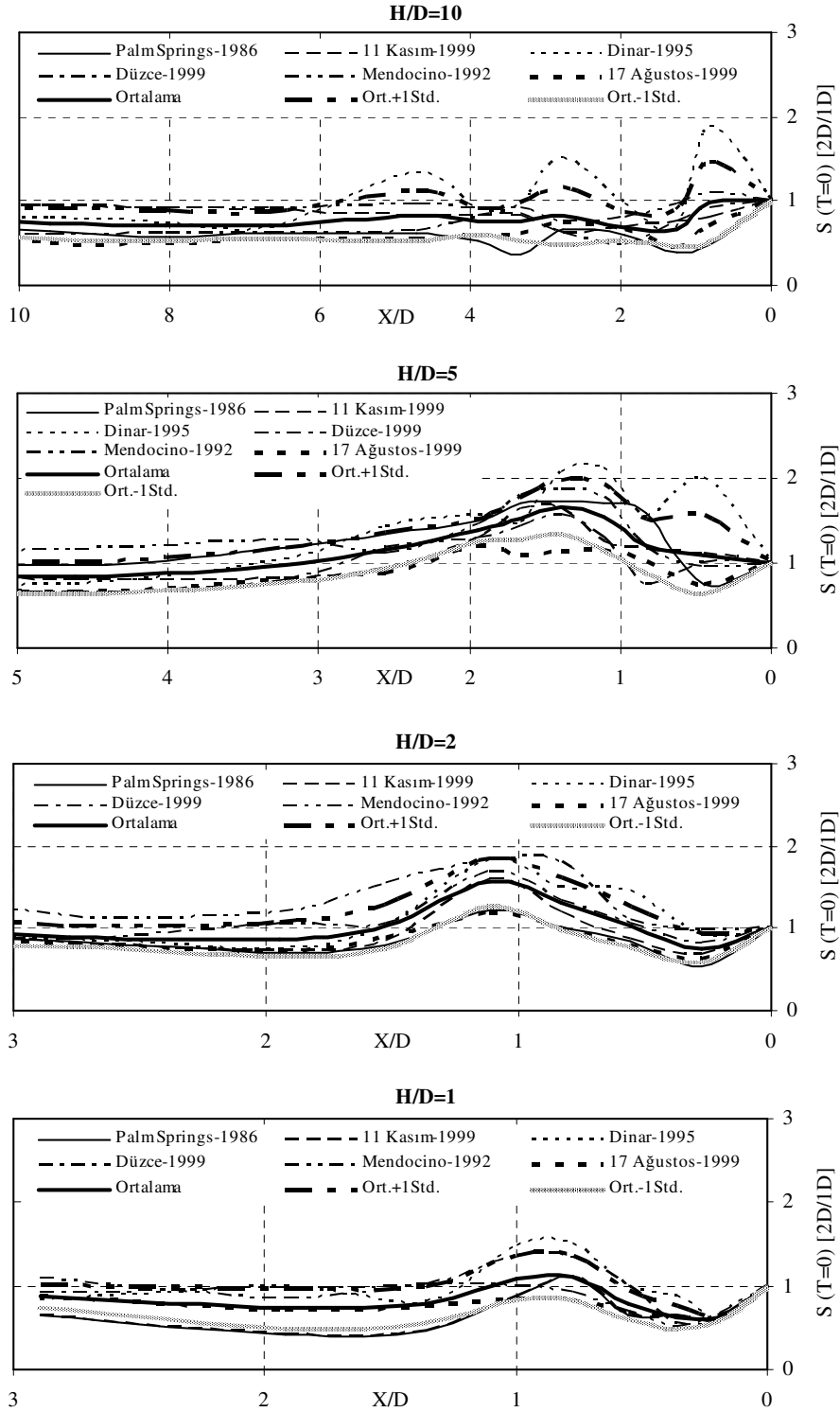
EKLER

- EK A :** 1 Ekim 1995 Dinar Depremi sonrasında mahallelerdeki hasar seviyesine göre bina yüzdeleri ve genel hasar oranları
- EK B :** Farklı anakaya eğimine sahip Dinar ovası ($V_{s30}=200$ m/s, $I_p=\%$ 20-25) modellerinde maksimum yatay büyütme değerlerinin, 2D/1D spektral ivme oranlarının X/D 'ye ve periyoda bağlı değişimi ve istatistiksel değerlendirme
- EK C :** Farklı anakaya eğimine sahip Düzce ovası ($V_{s30}=245$ m/s, $I_p=\%$ 10-15) modellerinde maksimum yatay büyütme değerlerinin, 2D/1D spektral ivme oranlarının X/D 'ye ve periyoda bağlı değişimi ve istatistiksel değerlendirme

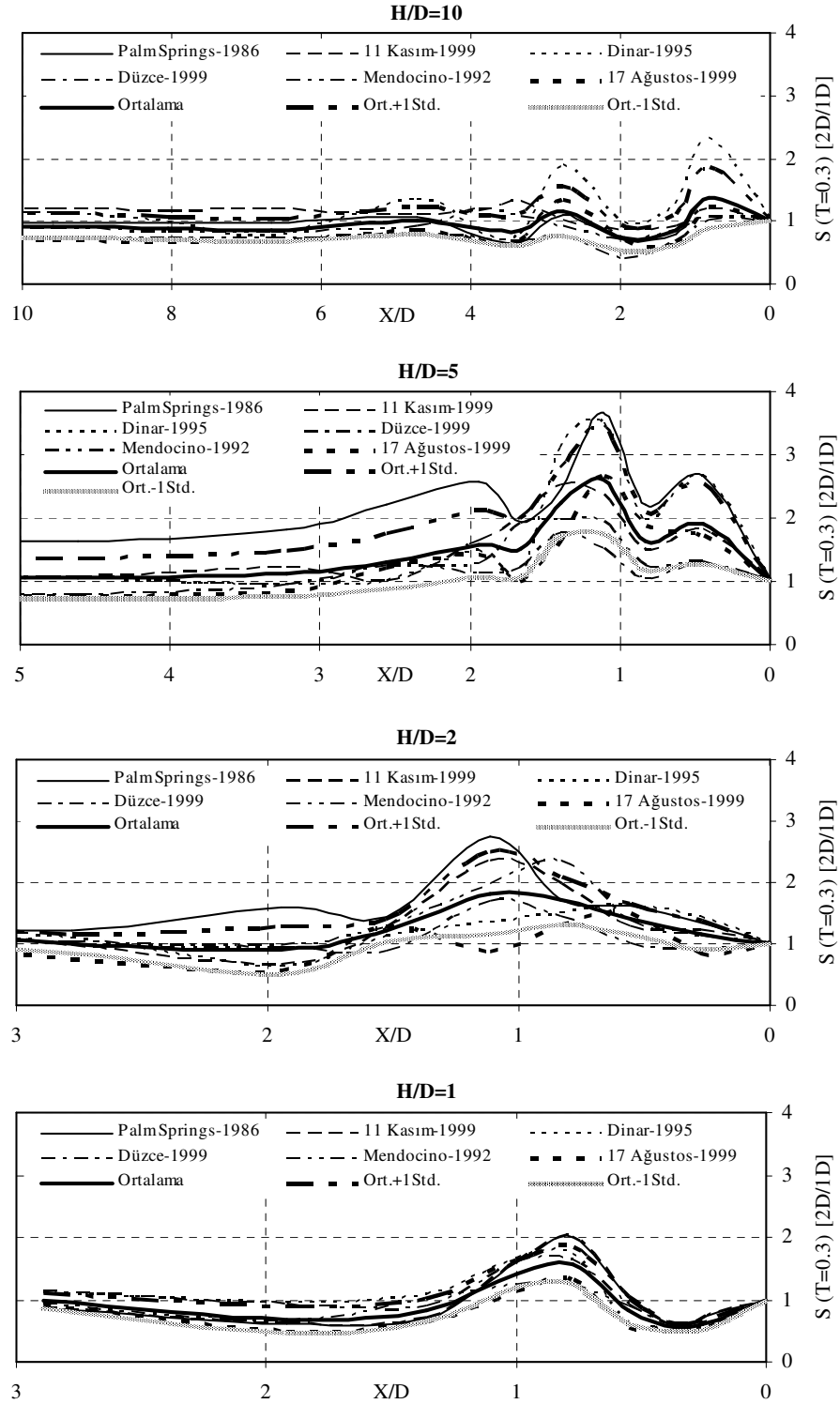
EK B



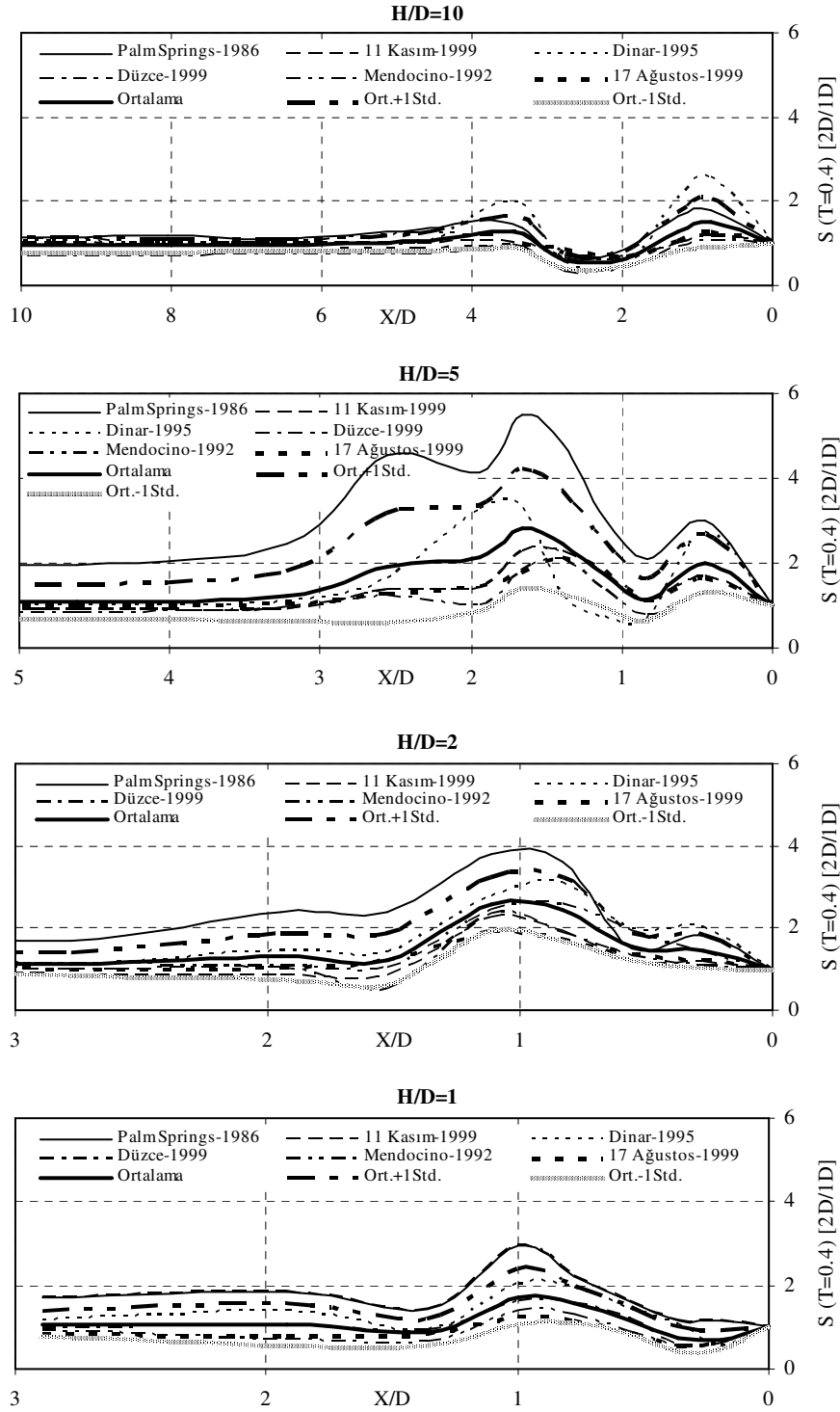
Şekil B.1 : Farklı anakaya eğimine sahip Dinar ovası ($V_{s30}=200$ m/s, $I_p=\%$ 20-25) modellerinde maksimum yatay büyütme değerlerinin X/D 'ye bağlı değişimi.



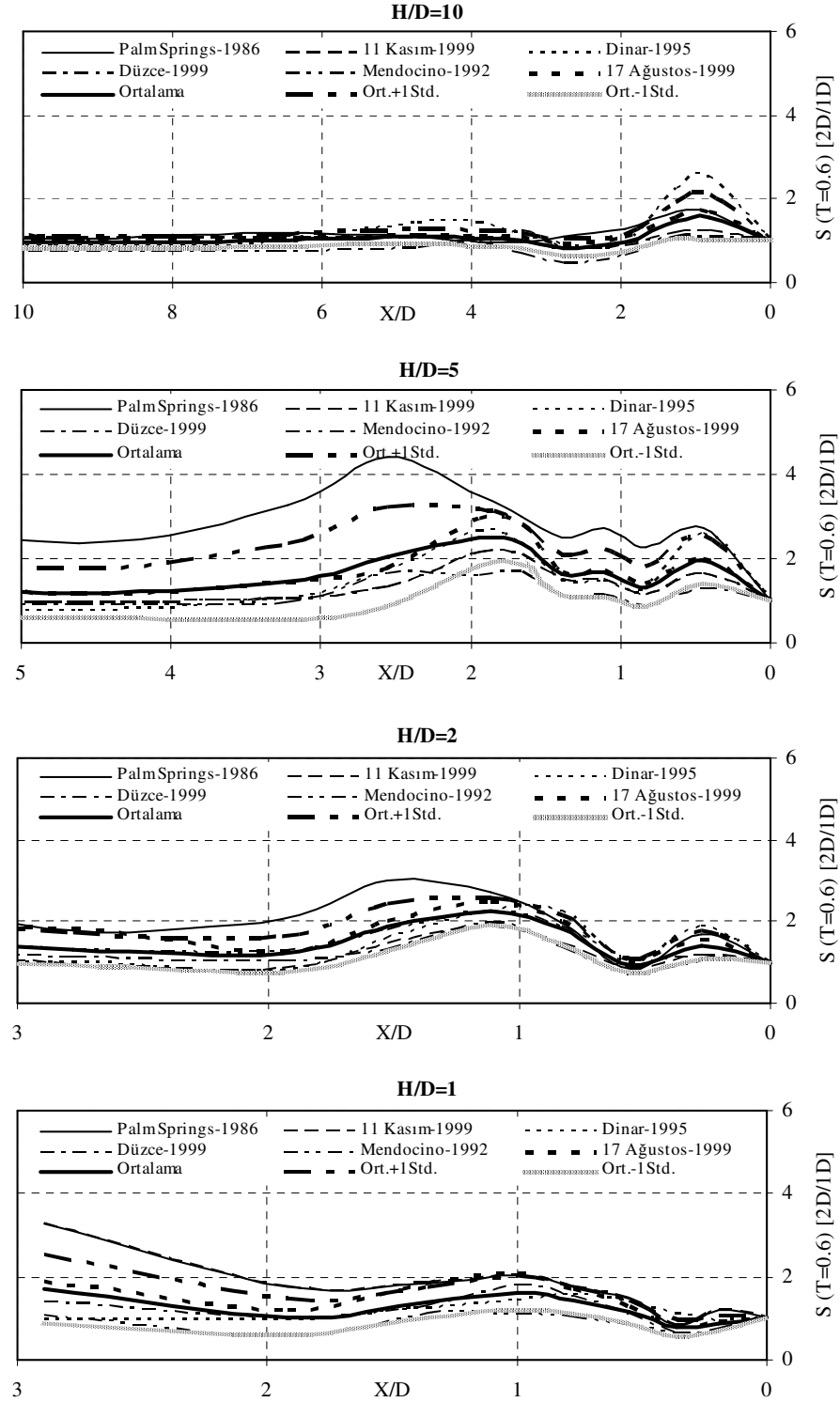
Şekil B.2 : Farklı anakaya eğimine sahip Dinar ovası modellerinde $T=0$ için $2D/1D$ spektral ivme oranlarının X/D 'ye bağlı değişimi.



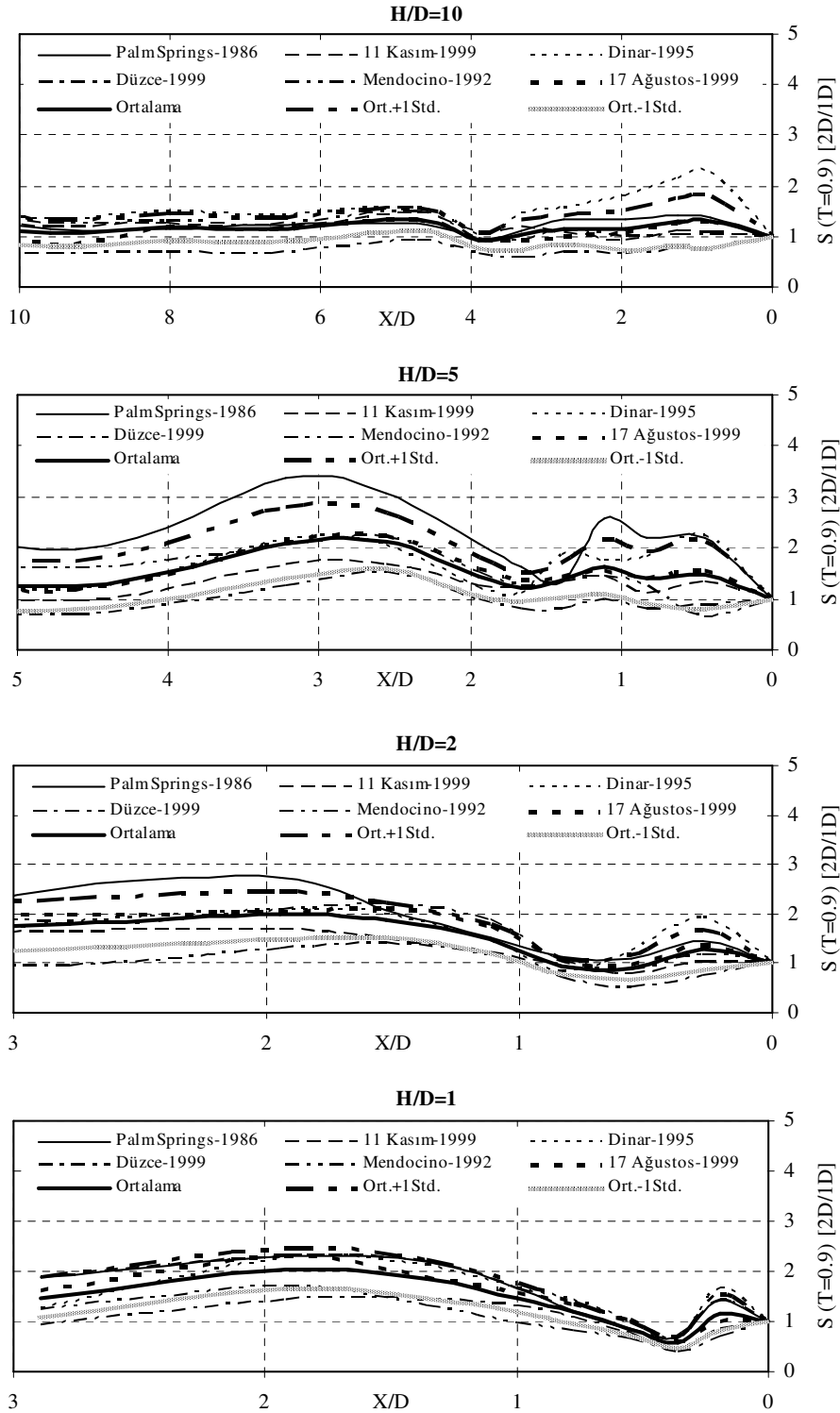
Şekil B.3 : Farklı anakaya eğimine sahip Dinar ovası modellerinde $T=0.3$ s için $2D/1D$ spektral ivme oranlarının X/D 'ye bağlı değişimi.



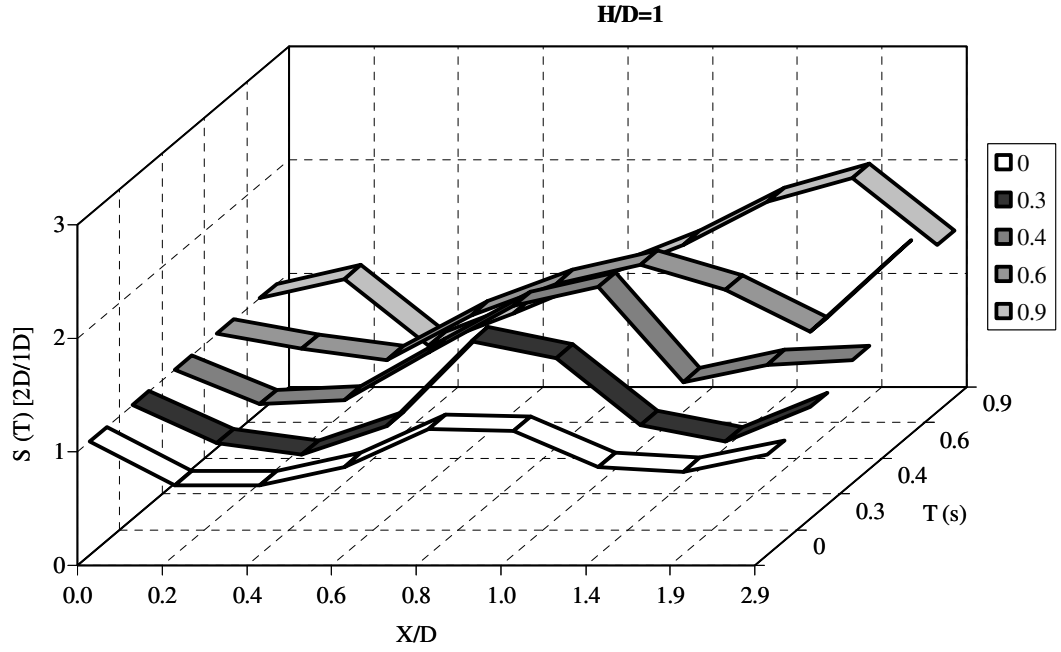
Şekil B.4 : Farklı anakaya eğimine sahip Dinar ovası modellerinde $T=0.4$ s için $2D/1D$ spektral ivme oranlarının X/D 'ye bağlı değişimi.



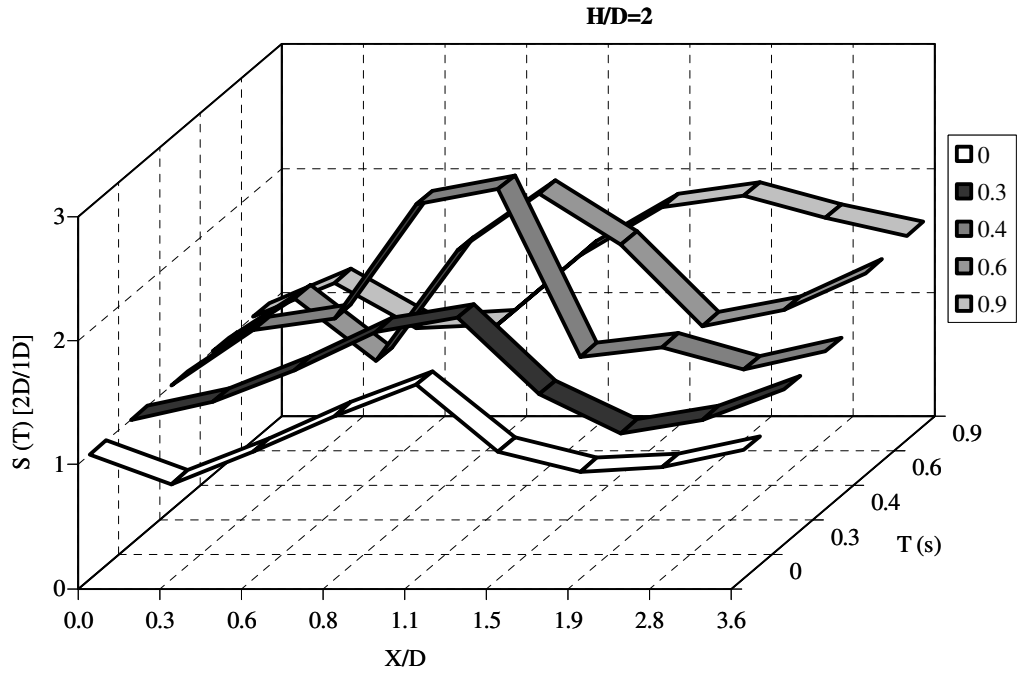
Şekil B.5 : Farklı anakaya eğimine sahip Dinar ovası modellerinde $T=0.6$ s için $2D/1D$ spektral ivme oranlarının X/D 'ye bağlı değişimi.



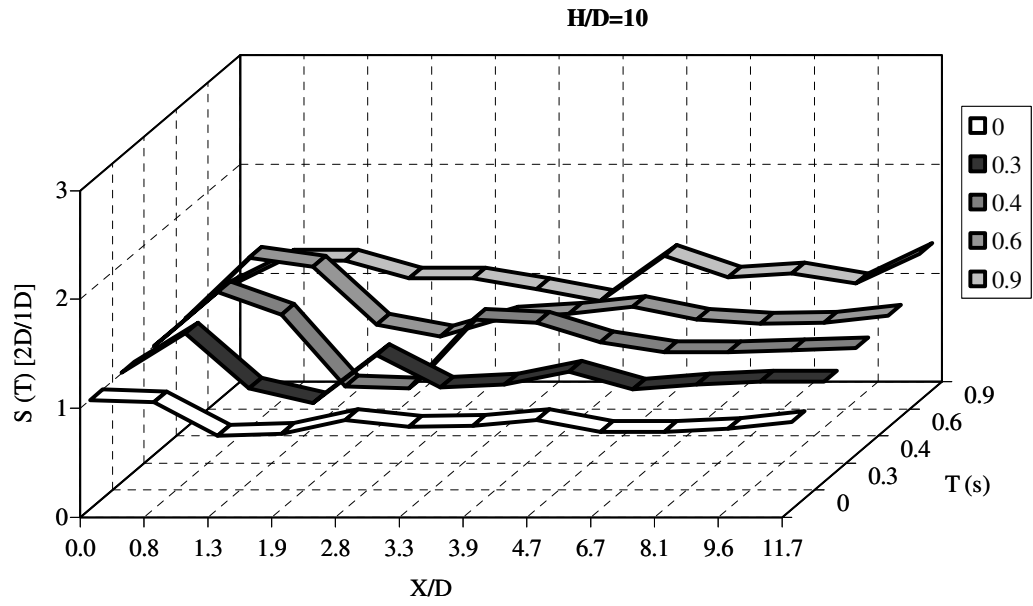
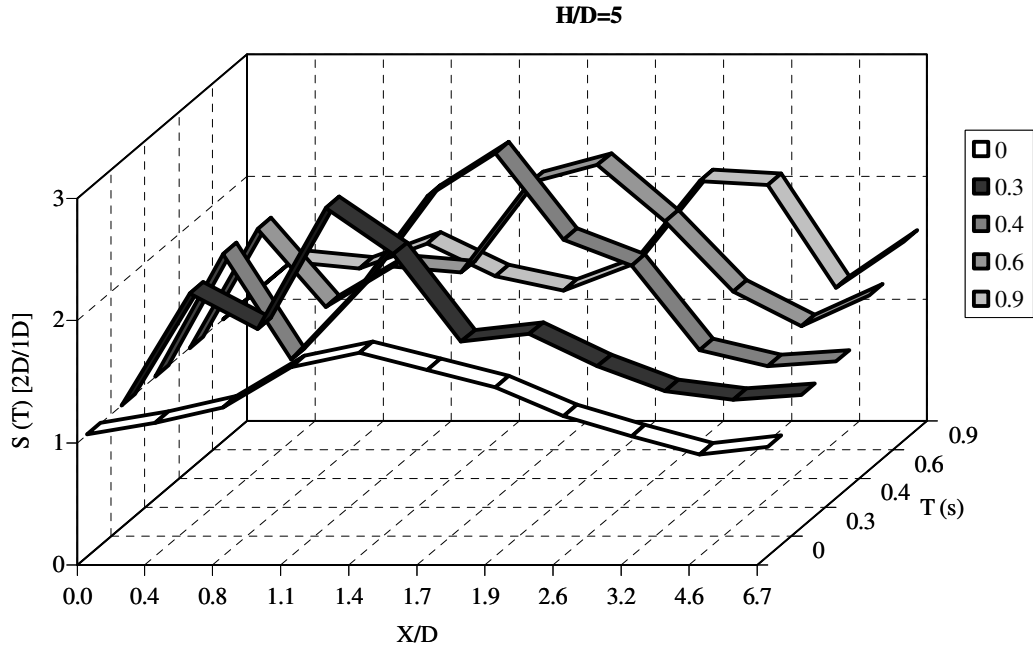
Şekil B.6 : Farklı anakaya eğimine sahip Dinar ovası modellerinde $T=0.9$ s için $2D/1D$ spektral ivme oranlarının X/D 'ye bağlı değişimi.

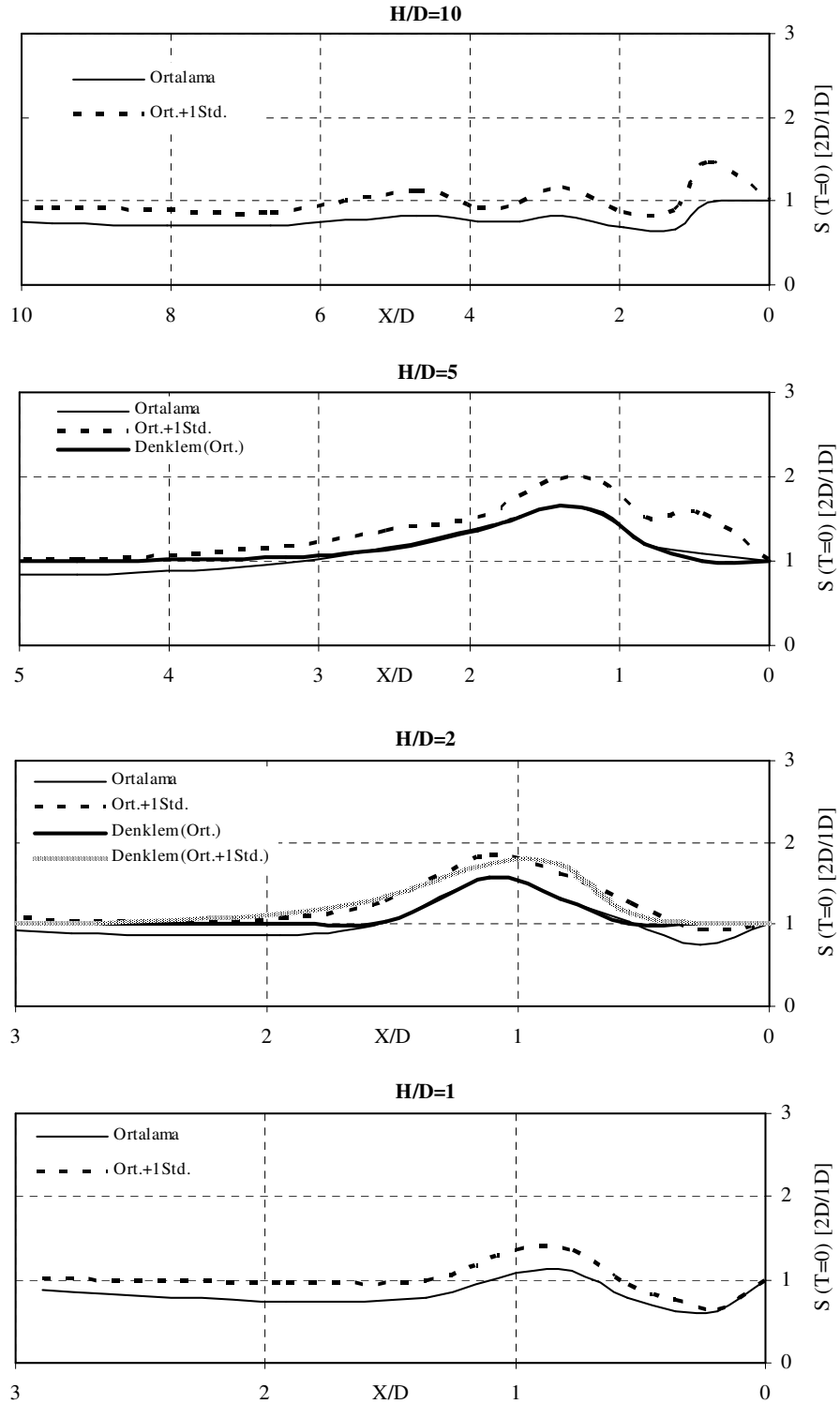


Şekil B.7 : H/D=1 olan Dinar ovası modelinde 2D/1D spektral ivme oranlarının X/D ve periyoda bağlı değişimi.

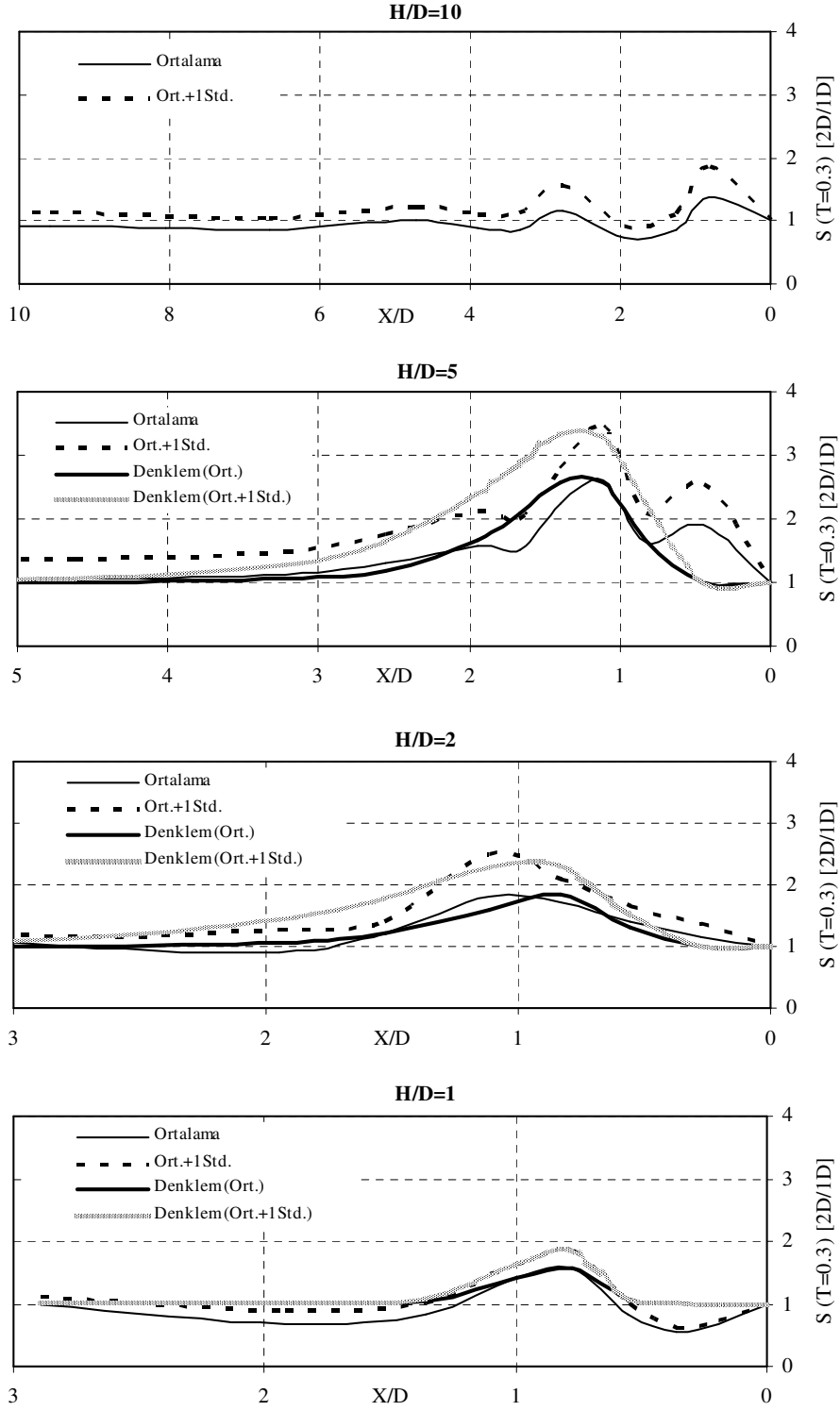


Şekil B.8 : H/D=2 olan Dinar ovası modelinde 2D/1D spektral ivme oranlarının X/D ve periyoda bağlı değişimi.

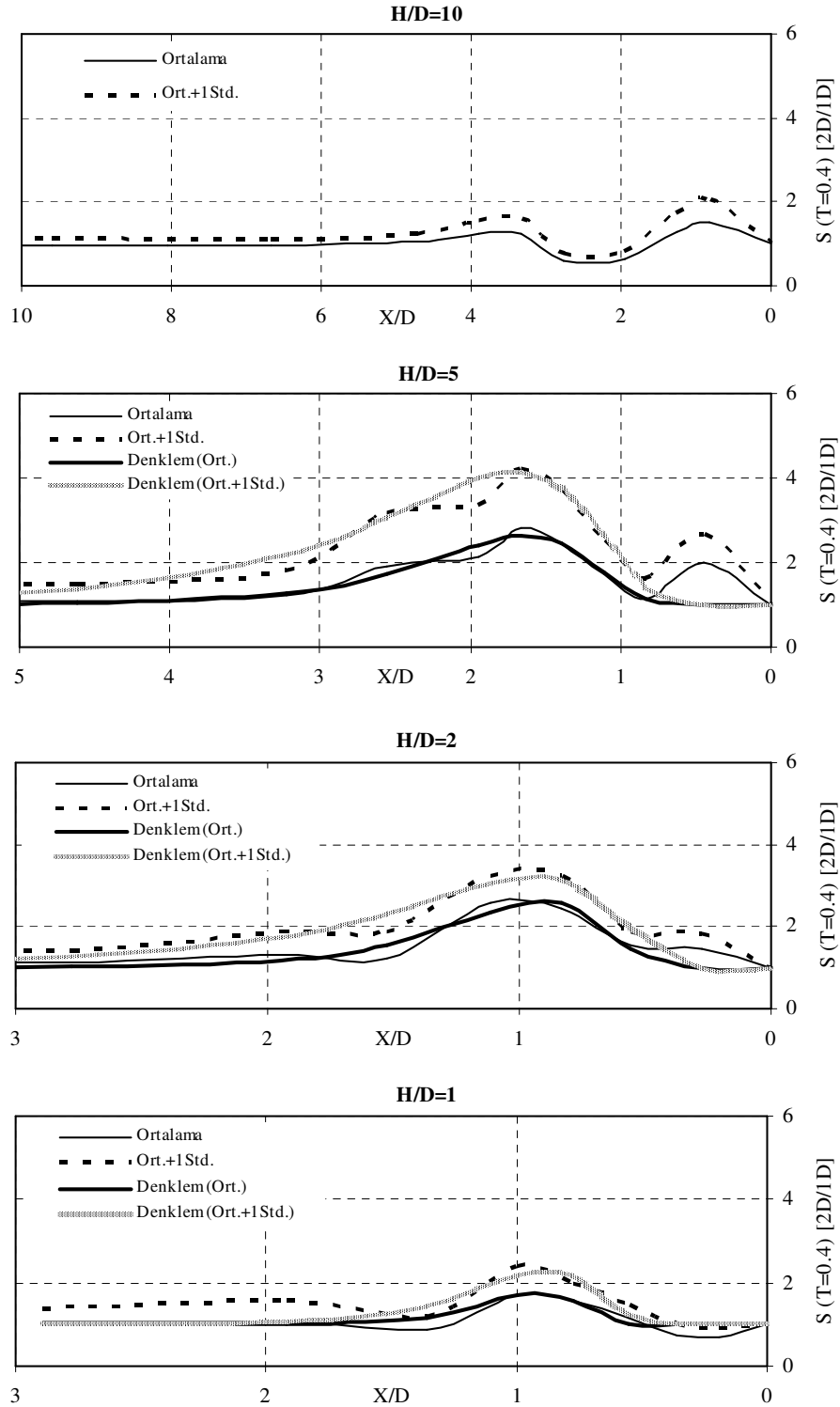




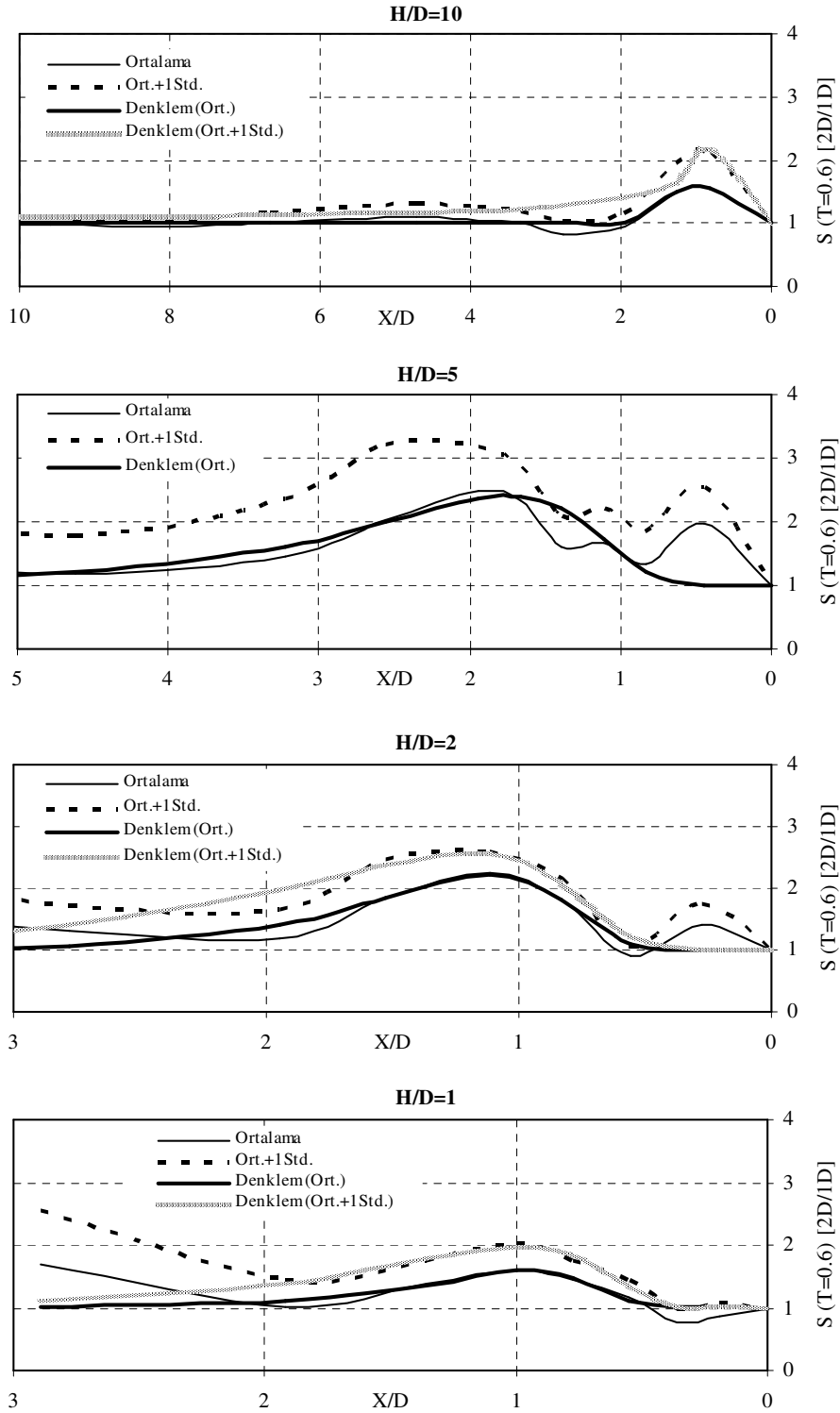
Şekil B.11 : Farklı anakaya eğimine sahip ova modellerinde $T=0$ için 2D/1D spektral ivme oranlarının X/D 'ye bağlı değişiminin istatistiksel olarak değerlendirilmesi.



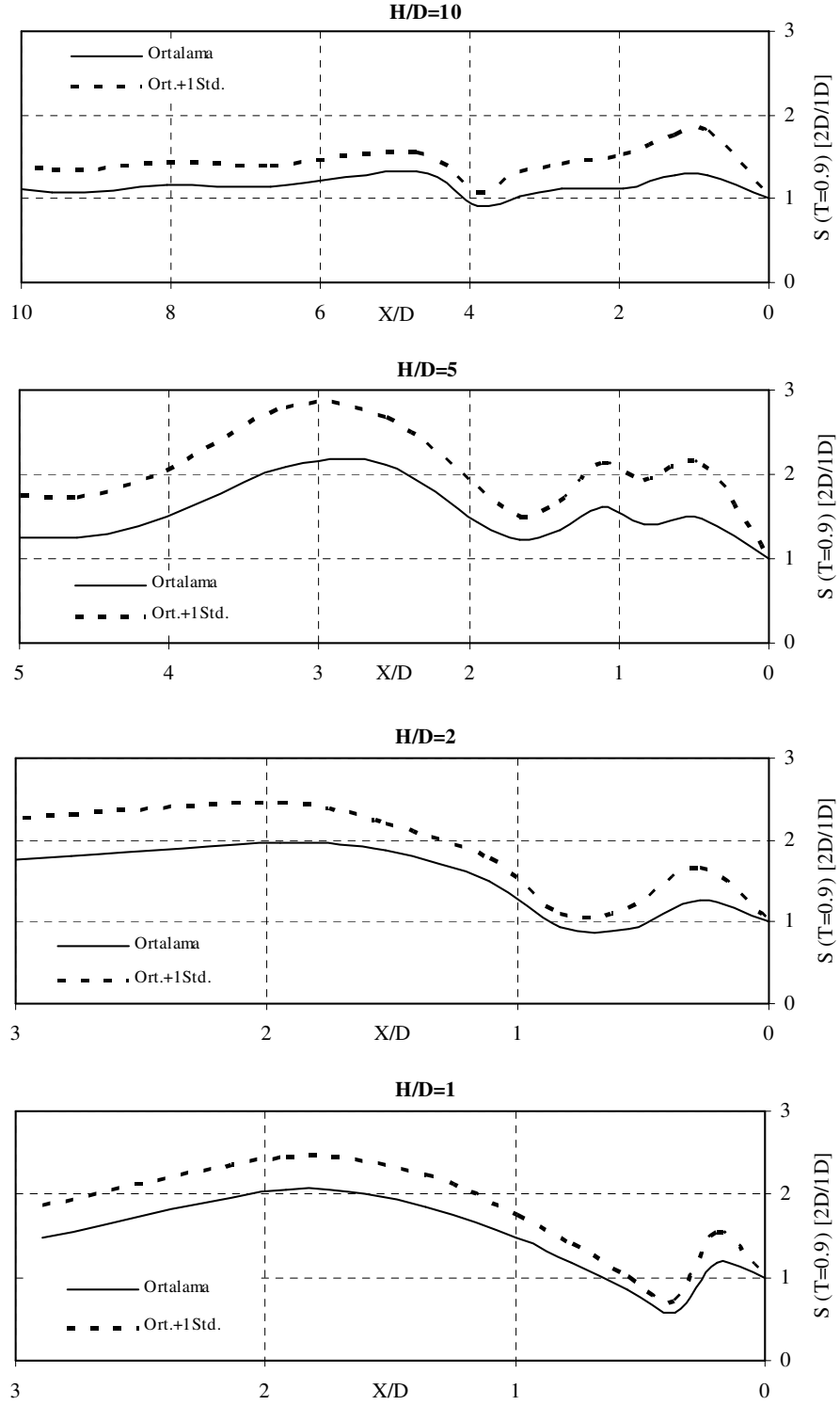
Şekil B.12 : Farklı anakaya eğimine sahip ova modellerinde $T=0.3$ s için $2D/1D$ spektral ivme oranlarının X/D 'ye bağlı değişiminin istatistiksel olarak değerlendirilmesi.



Şekil B.13 : Farklı anakaya eğimine sahip ova modellerinde $T=0.4$ s için $2D/1D$ spektral ivme oranlarının X/D 'ye bağlı değişiminin istatistiksel olarak değerlendirilmesi.

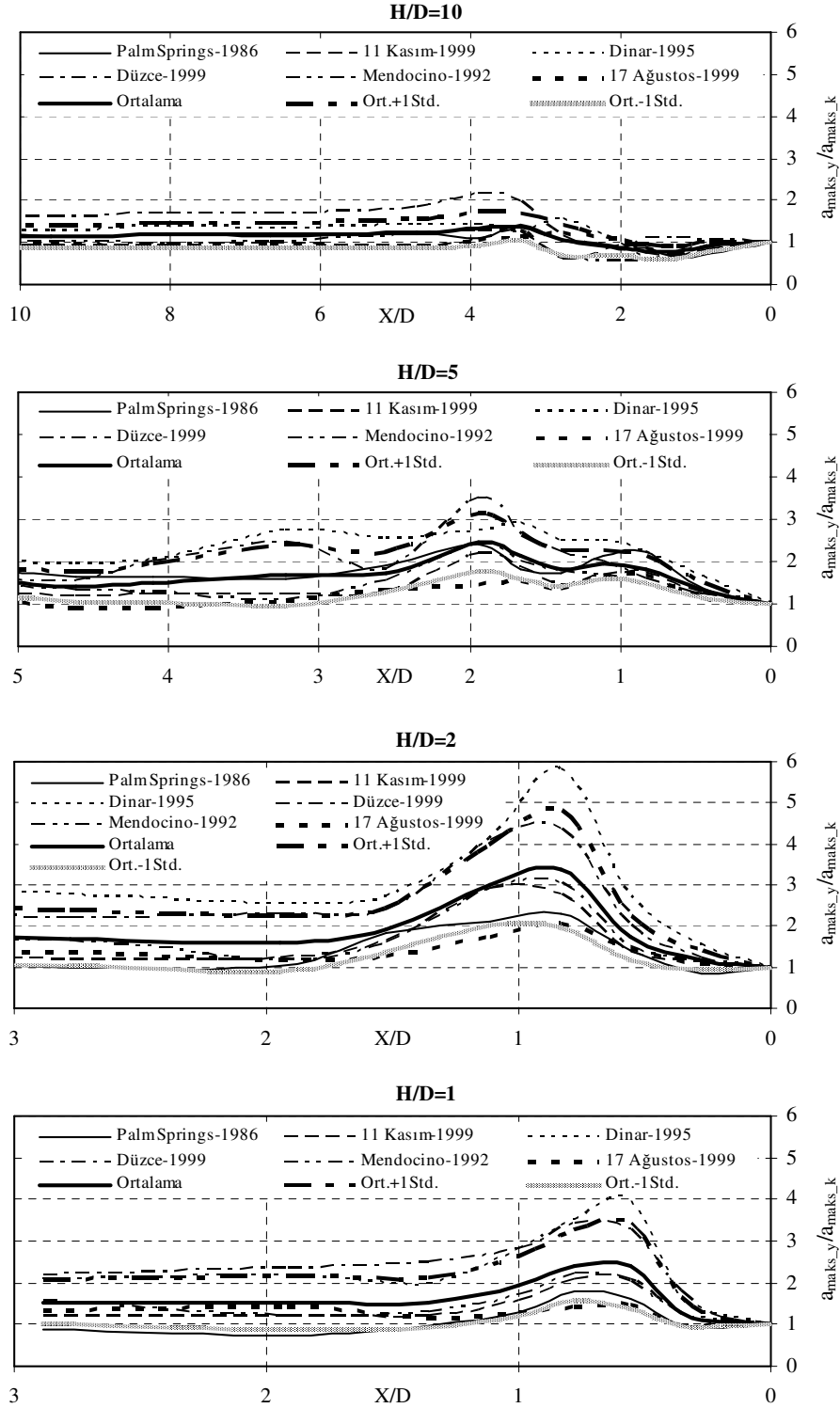


Şekil B.14 : Farklı anakaya eğimine sahip ova modellerinde $T=0.6$ s için $2D/1D$ spektral ivme oranlarının X/D 'ye bağlı değişiminin istatistiksel olarak değerlendirilmesi.

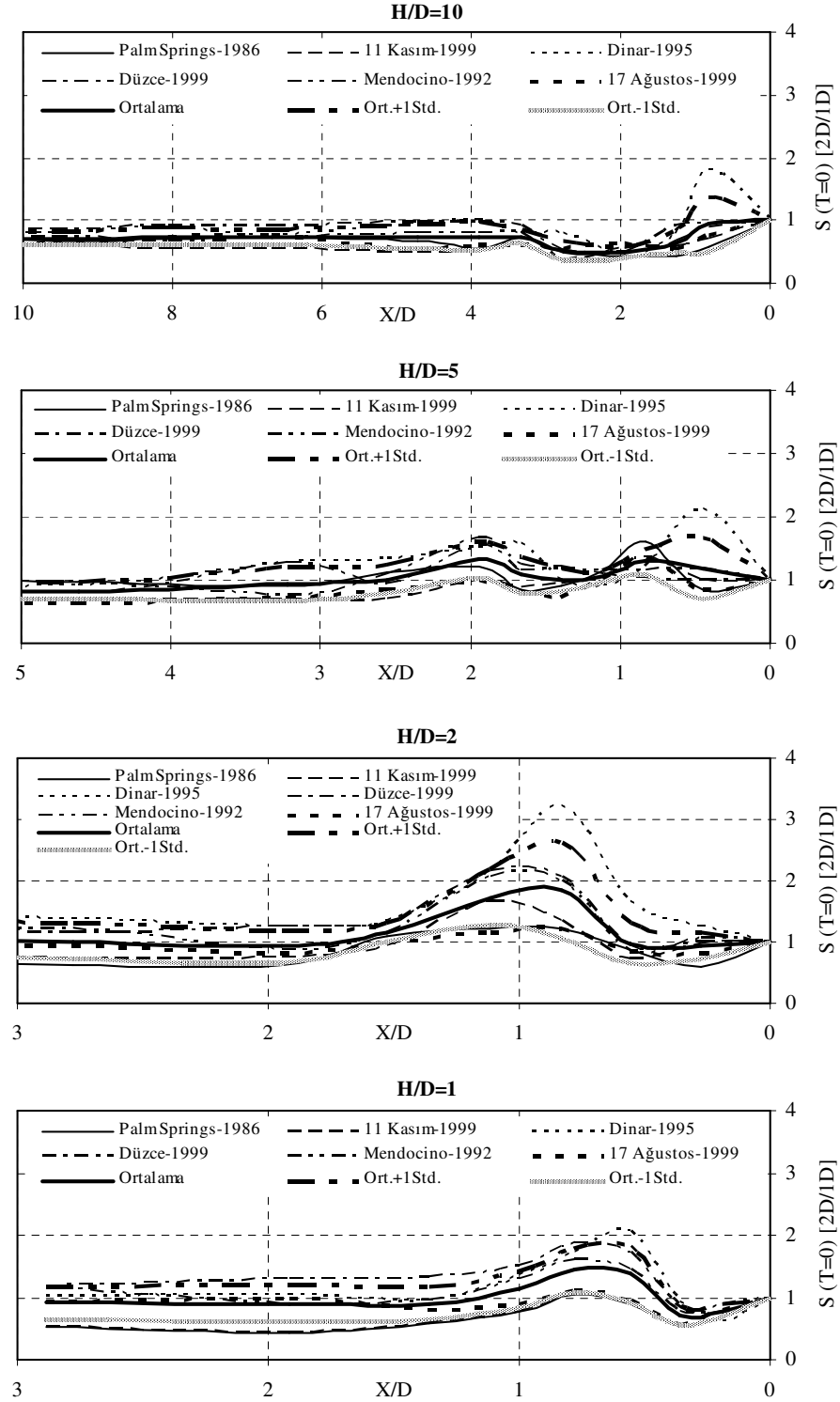


Şekil B.15 : Farklı anakaya eğimine sahip ova modellerinde $T=0.9$ s için 2D/1D spektral ivme oranlarının X/D 'ye bağlı değişiminin istatistiksel olarak değerlendirilmesi.

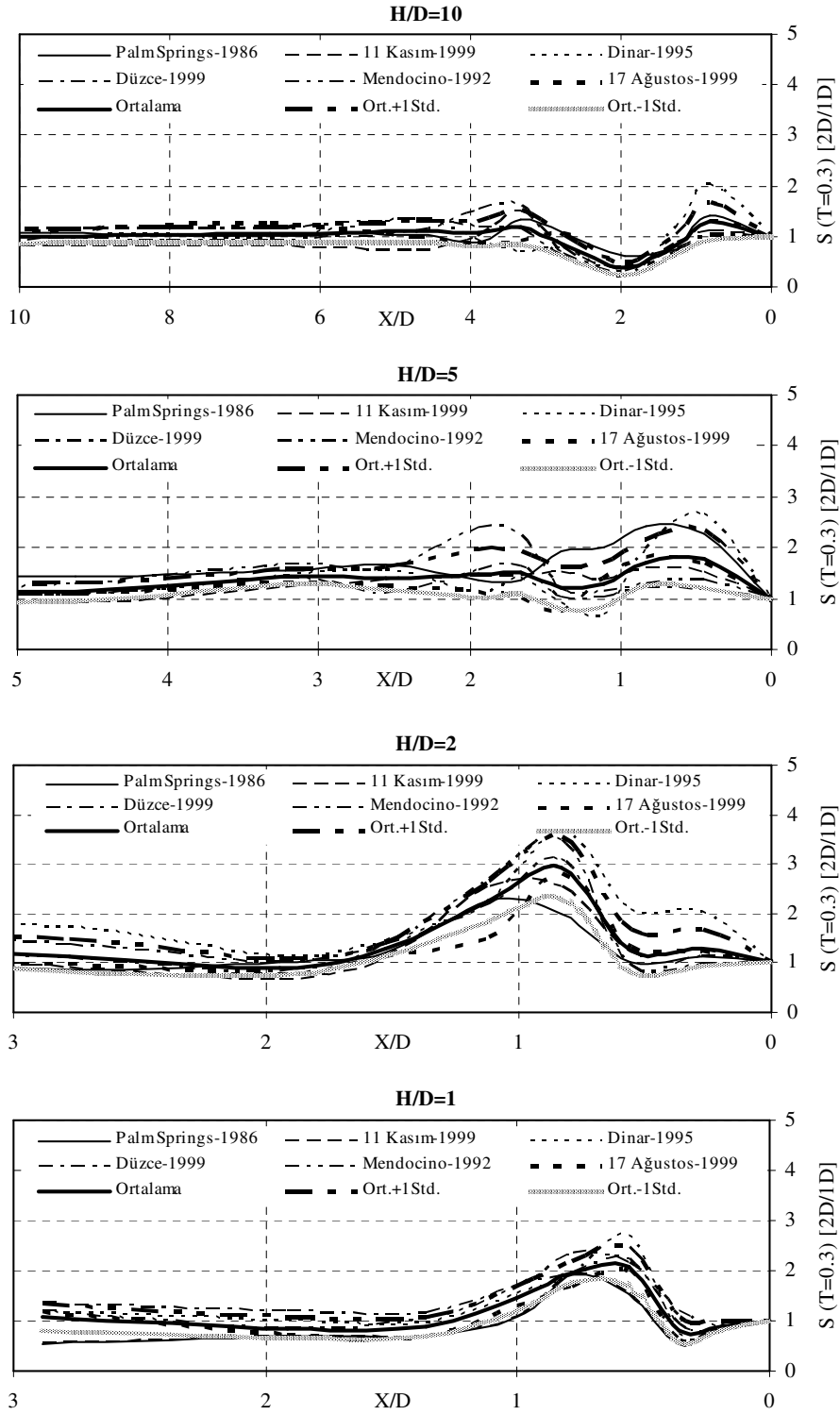
EK C



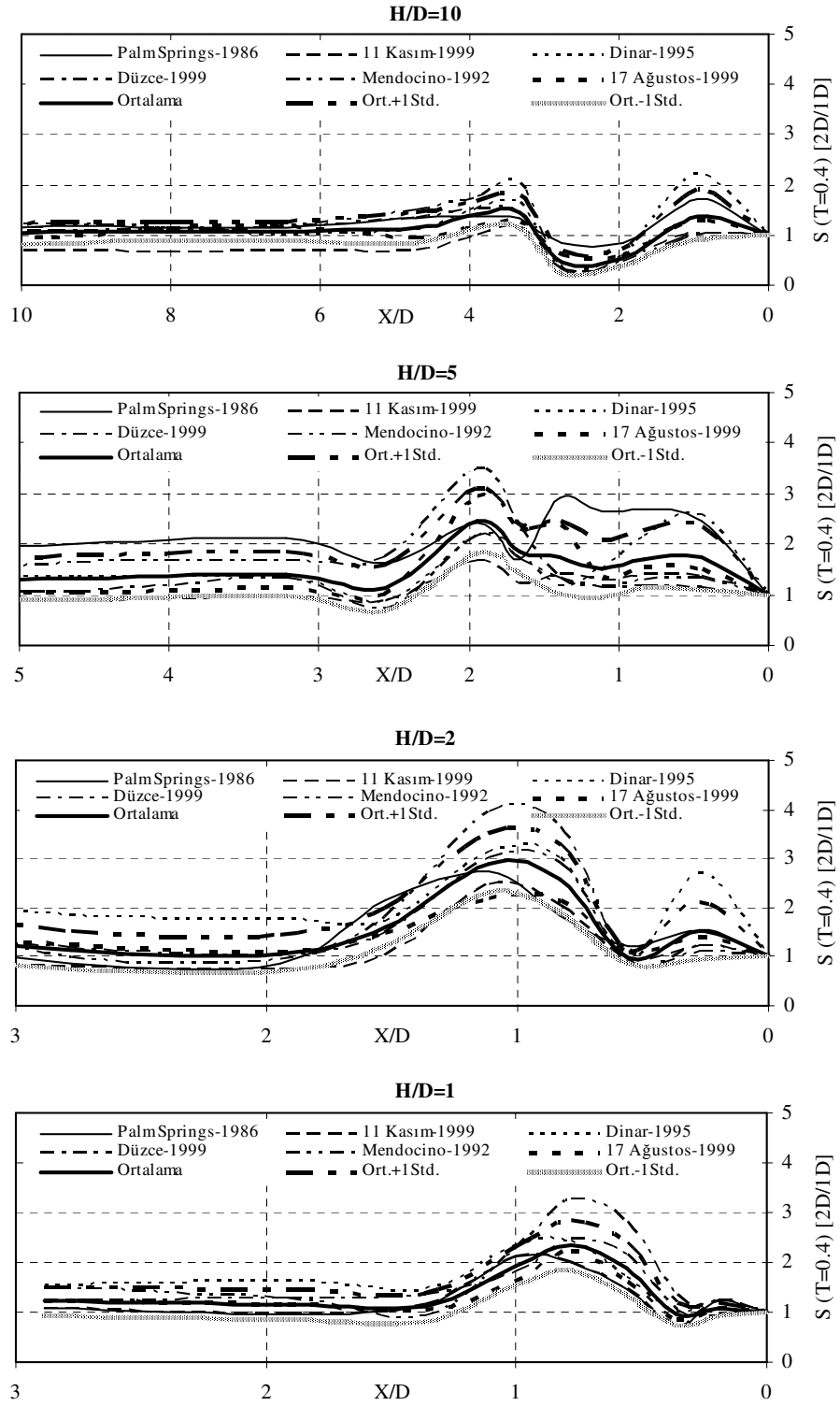
Şekil C.1 : Farklı anakaya eğimine sahip Düzce ovası ($V_{s30}=245$ m/s, $I_p=\% 10-15$) modellerinde maksimum yatay büyütme değerlerinin X/D 'ye bağlı değişimi.



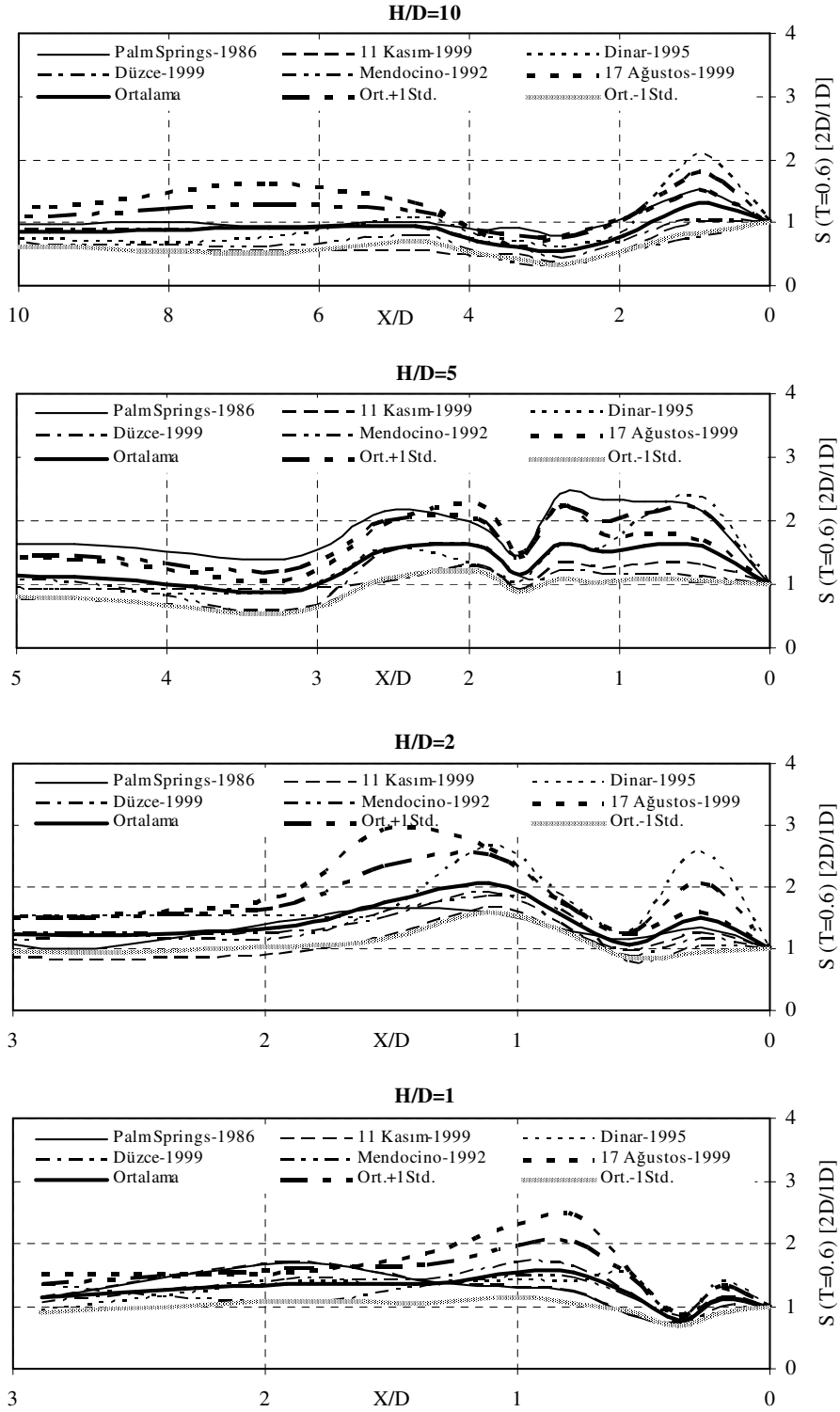
Şekil C.2 : Farklı anakaya eğimine sahip Düzce ovası modellerinde $T=0$ için $2D/1D$ spektral ivme oranlarının X/D 'ye bağlı değişimi.



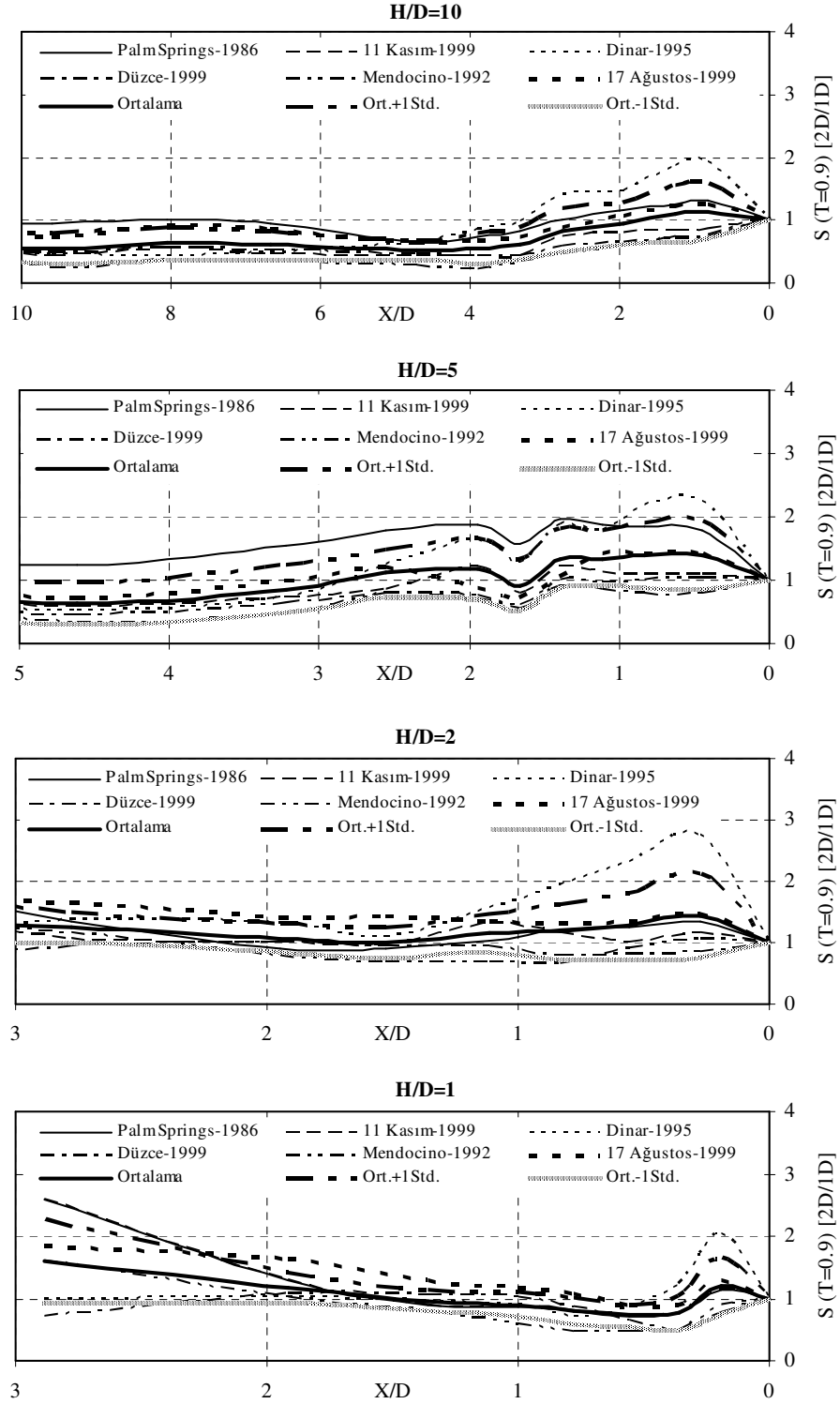
Şekil C.3 : Farklı anakaya eğimine sahip Düzce ovası modellerinde $T=0.3$ s için $2D/1D$ spektral ivme oranlarının X/D 'ye bağlı değişimi.



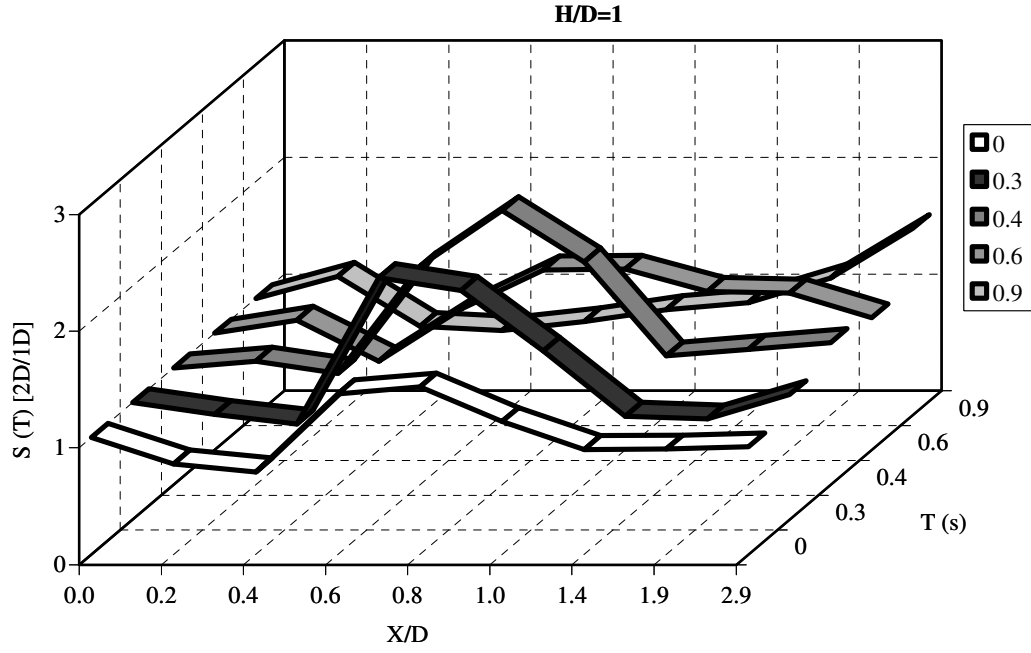
Şekil C.4 : Farklı anakaya eğimine sahip Düzce ovası modellerinde $T=0.4$ s için $2D/1D$ spektral ivme oranlarının X/D 'ye bağlı değişimi.



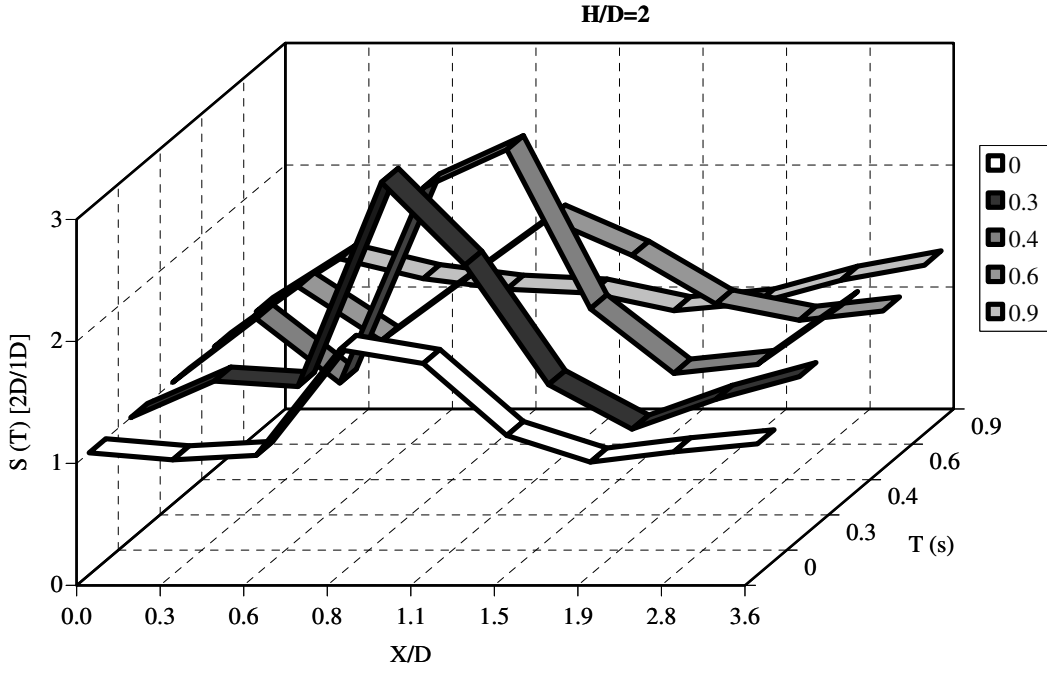
Şekil C.5 : Farklı anakaya eğimine sahip Düzce ovası modellerinde $T=0.6$ s için $2D/1D$ spektral ivme oranlarının X/D 'ye bağlı değişimi.



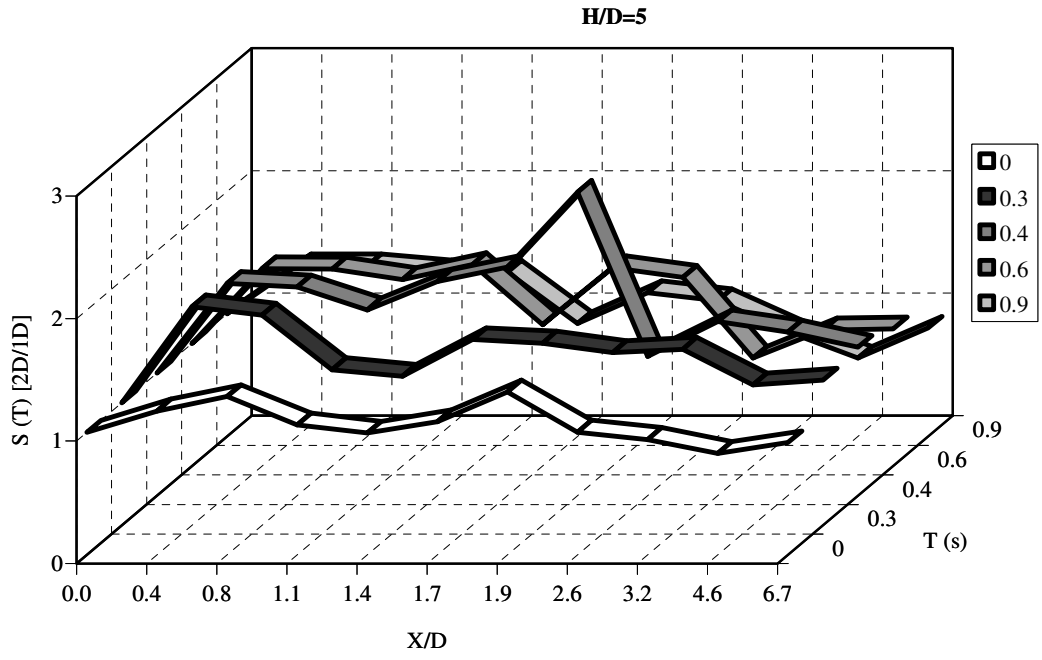
Şekil C.6 : Farklı anakaya eğimine sahip Düzce ovası modellerinde $T=0.9$ s için $2D/1D$ spektral ivme oranlarının X/D 'ye bağlı değişimi.



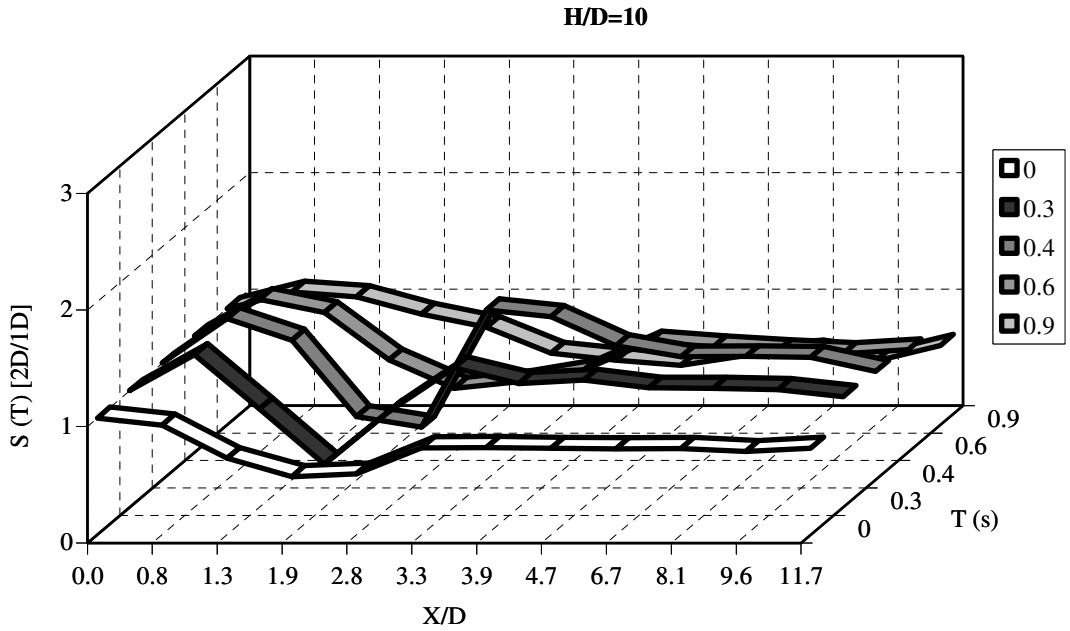
Şekil C.7 : H/D=1 olan Düzce ovası modelinde 2D/1D spektral ivme oranlarının X/D ve periyoda bağlı değişimi.



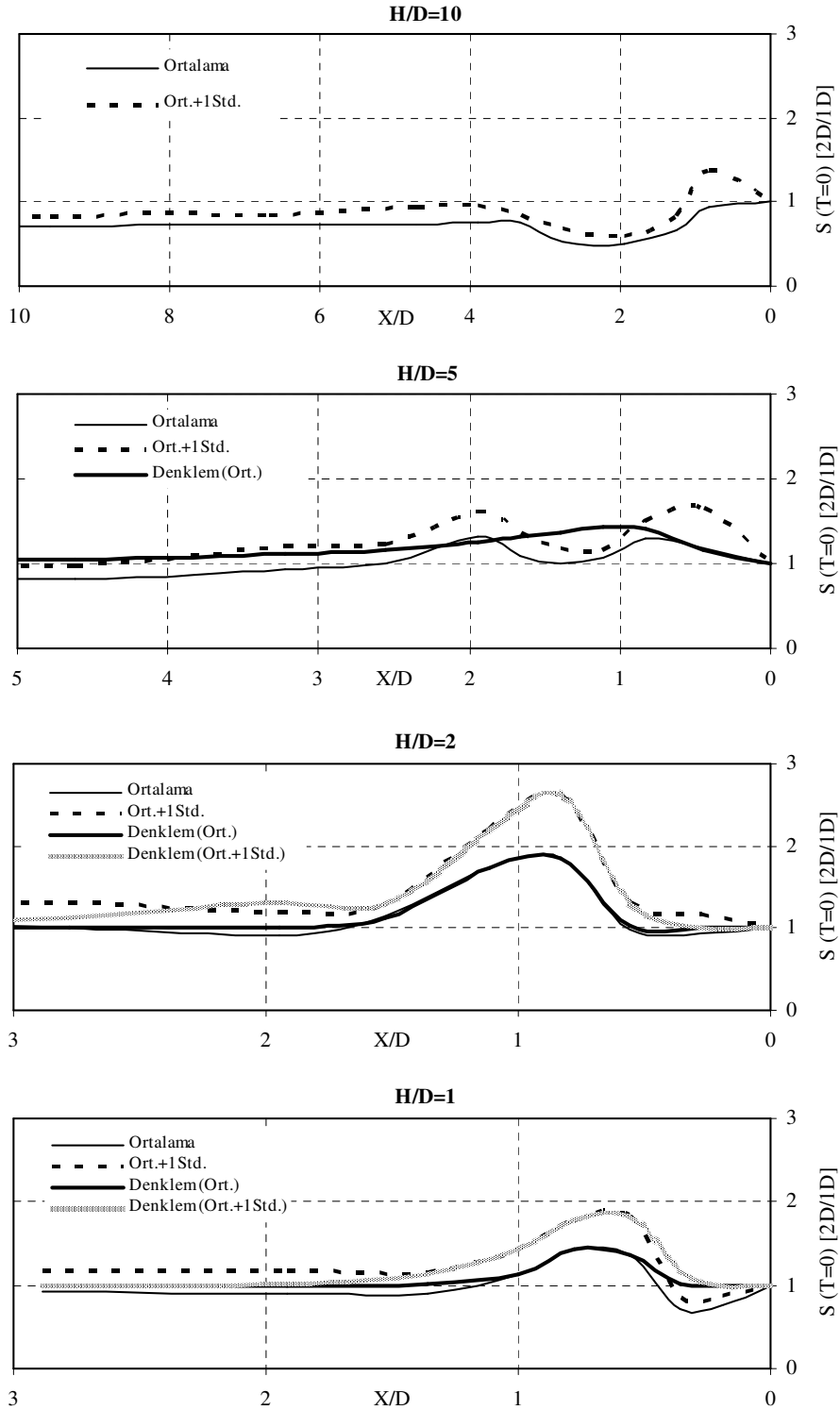
Şekil C.8 : H/D=2 olan Düzce ovası modelinde 2D/1D spektral ivme oranlarının X/D ve periyoda bağlı değişimi.



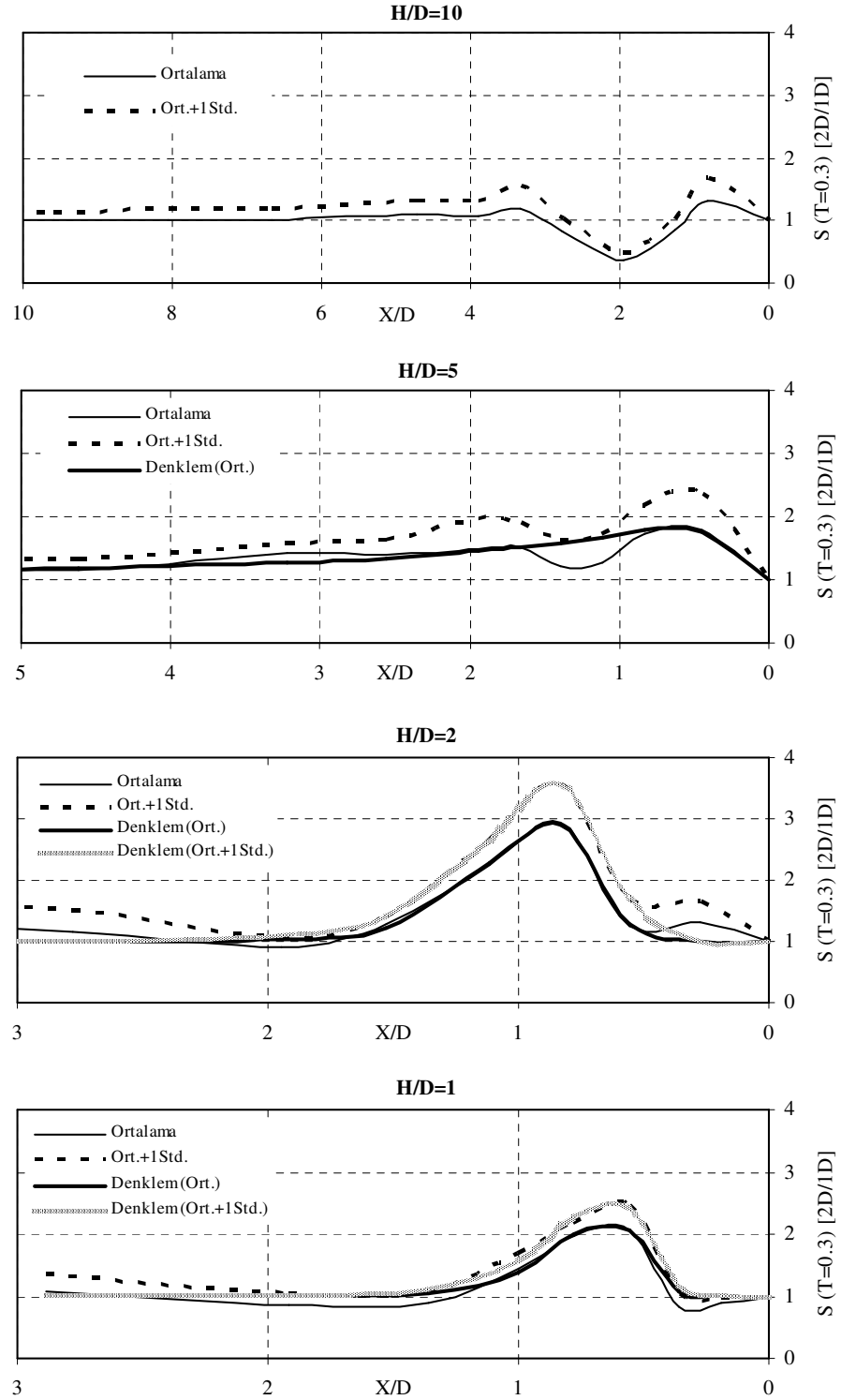
Şekil C.9 : $H/D=5$ olan Düzce ovası modelinde 2D/1D spektral ivme oranlarının X/D ve periyoda bağlı değişimi.



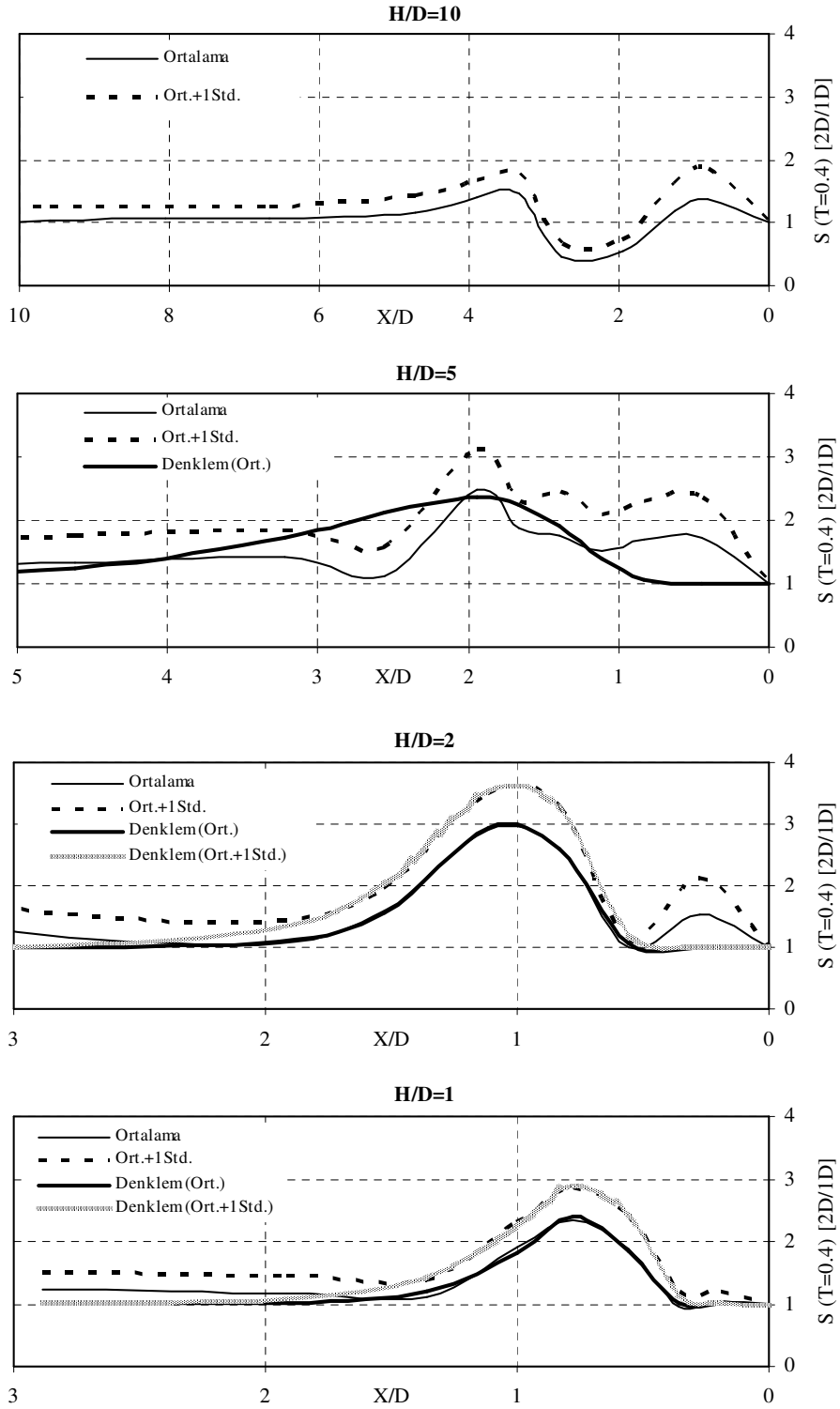
Şekil C.10 : $H/D=10$ olan Düzce ovası modelinde 2D/1D spektral ivme oranlarının X/D ve periyoda bağlı değişimi.



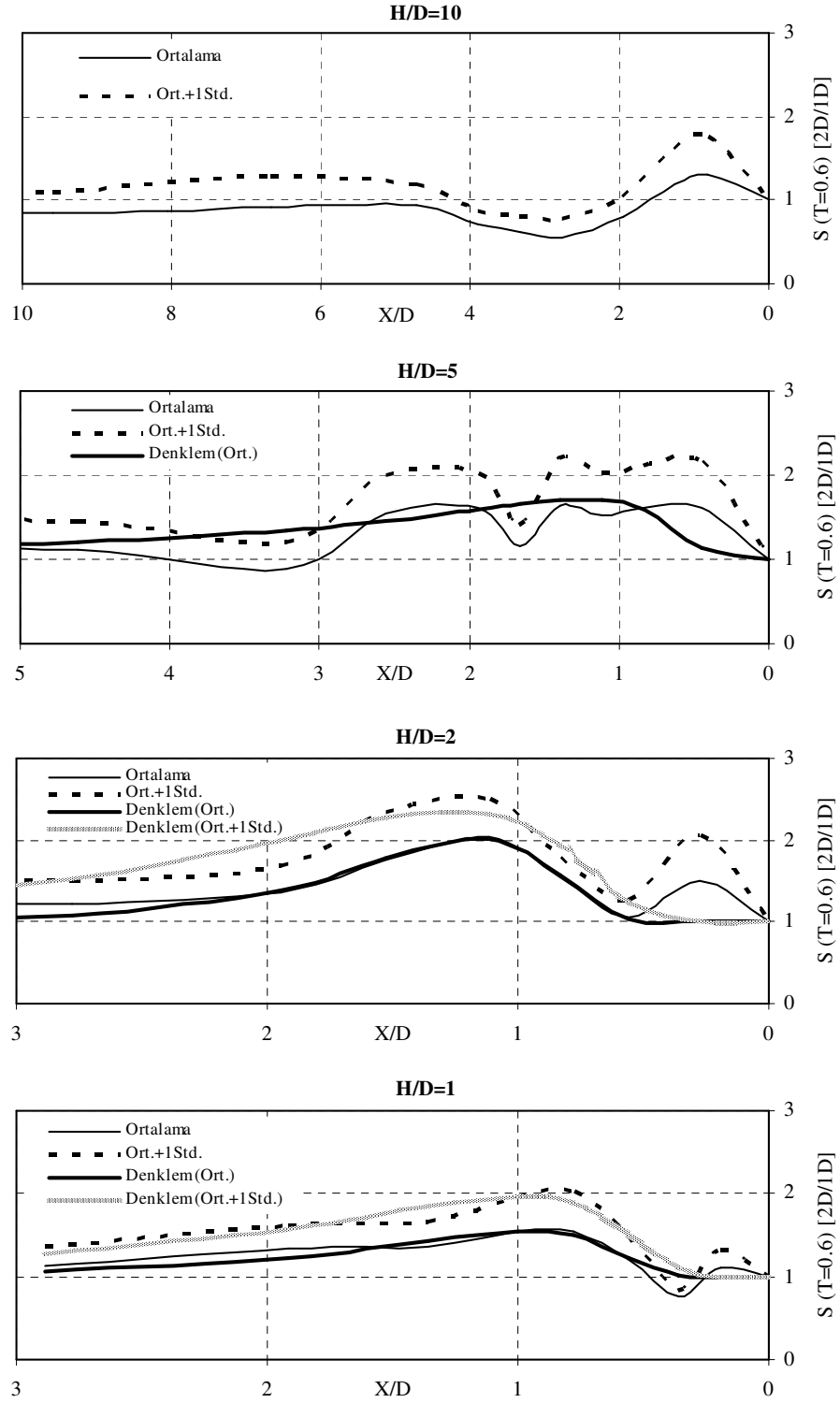
Şekil C.11 : Farklı anakaya eğimine sahip ova modellerinde $T=0$ için 2D/1D spektral ivme oranlarının X/D 'ye bağlı değişiminin istatistiksel olarak değerlendirilmesi.



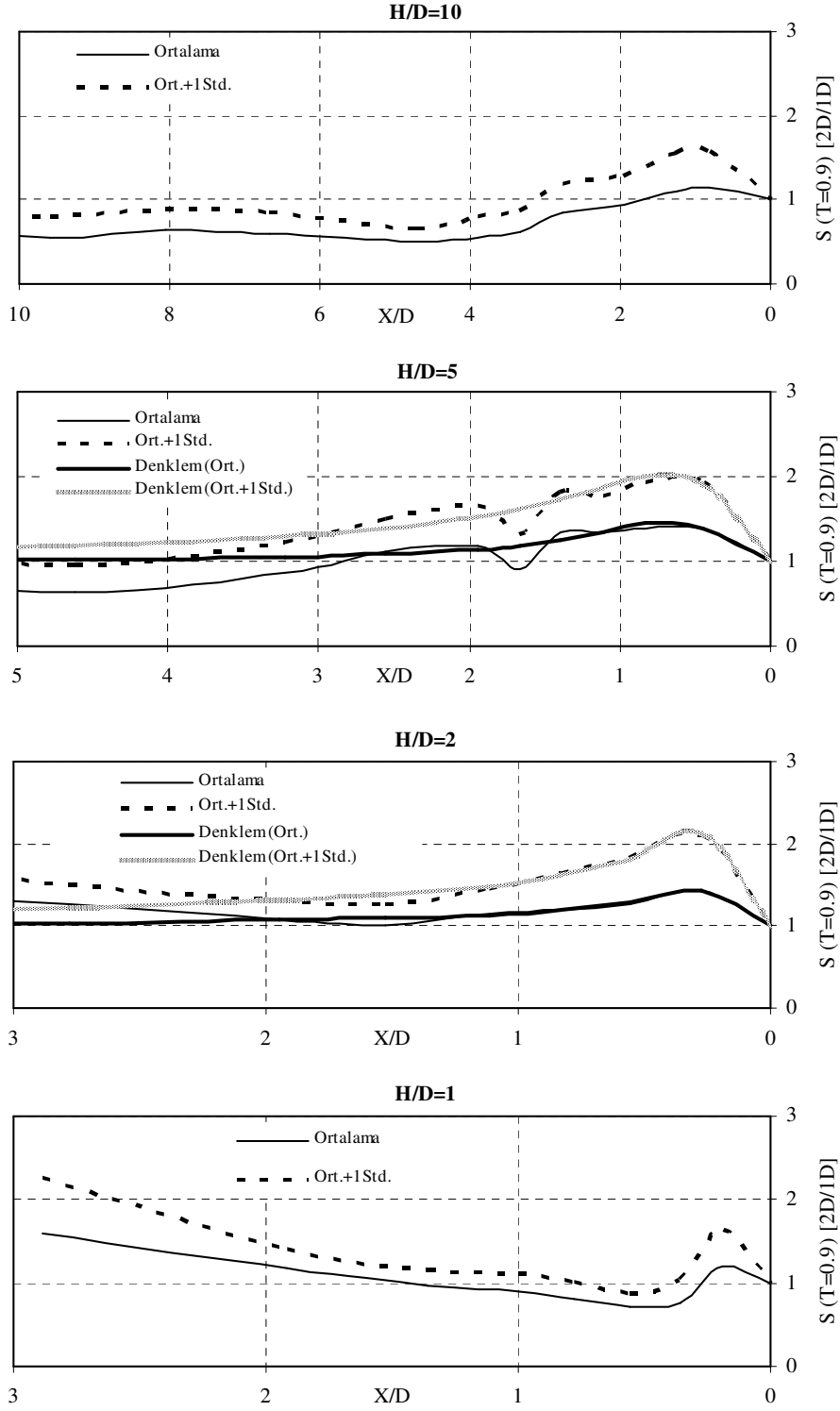
Şekil C.12 : Farklı anakaya eğimine sahip ova modellerinde $T=0.3$ s için 2D/1D spektral ivme oranlarının X/D 'ye bağlı değişiminin istatistiksel olarak değerlendirilmesi.



Şekil C.13 : Farklı anakaya eğimine sahip ova modellerinde $T=0.4$ s için $2D/1D$ spektral ivme oranlarının X/D 'ye bağlı değişiminin istatistiksel olarak değerlendirilmesi.



Şekil C.14 : Farklı anakaya eğimine sahip ova modellerinde $T=0.6$ s için $2D/1D$ spektral ivme oranlarının X/D 'ye bağlı değişiminin istatistiksel olarak değerlendirilmesi.



Şekil C.15 : Farklı anakaya eğimine sahip ova modellerinde $T=0.9$ s için $2D/1D$ spektral ivme oranlarının X/D 'ye bağlı değişiminin istatistiksel olarak değerlendirilmesi.

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: Murat Emre HAŞAL

Doğum Yeri ve Tarihi: Ankara / 08-05-1976

Adres: Kükürtlü Mahallesi, Çörekçi Sokak, Gül Apt., No:2/11 Osmangazi /BURSA

Lisans Üniversitesi: İstanbul Teknik Üniversitesi

Yayın Listesi:

- Aksoy, İ.H. ve **Haşal, M.E.**, 2000. Uçucu kül – çimento – köpük karışımının hafif dolgu malzemesi olarak geoteknik özellikleri, *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Sekizinci Ulusal Kongresi Tutanakları*, II. Cilt, 638-644, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Aksoy, İ.H. ve **Haşal, M.E.**, 2001. Geotechnical properties of fly ash –cement - foam mixture as a lightweight fill material, *Proceedings of the XV th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*, Istanbul, Volume 3, pp.1679-1682, Balkema, Netherlands.
- Aksoy, İ.H. ve **Haşal, M.E.**, 2003. Fly ash – cement - foam mixture as a lightweight fill material, *Proceedings of the International Conference on New Developments in Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*, Near East University, Volume 1, Lefkoşa, North Cyprus.
- Aksoy, İ.H. ve **Haşal, M.E.**, 2005. Uçucu kül-çimento-köpük karışımının hafif dolgu malzemesi olarak kullanılabilirliği, *İnşaat Mühendisleri Odası Bursa Şubesi Aylık Yayın Organı*, Bursa Bülten, sayı:39, sf. 24-30.
- Aksoy, İ.H., Sever, S. ve **Haşal, M.E.**, 2006. Uçucu kül-çimento-genleşmiş polistiren köpük daneleri karışımının hafif dolgu malzemesi olarak geoteknik özellikleri, *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Onbirinci Ulusal Kongresi*, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, 7-8 Eylül, sf. 184-191.
- Aksoy, İ.H., Sever, S. ve **Haşal, M.E.**, 2006. Polistiren köpük daneleri-çimento-uçucu kül karışımının geoteknik özellikleri, *İkinci Ulusal Geosentetikler Konferansı*, 16 -17 Kasım, Boğaziçi Üniversitesi, sf. 69-74.
- Aksoy, İ.H., **Haşal, M.E.** and Sever, S., 2007. Fly ash-cement-foam and fly ash-cement-EPS beads mixtures as lightweight fill materials, *13th Asian Regional Conference of Soil & Geotechnical Engineering*, Theme-10 Ground Improvement, 10.2 Mechanical and chemical techniques, Paper Code 10.2-6, Kolkata.

- **Haşal, M.E.** ve İyisan, R., 2004. Yerel zemin koşullarının zemin büyütmesine etkisi: Bir ve iki boyutlu analiz, *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Onuncu Ulusal Kongresi Bildiriler Kitabı*, 16-17 Eylül, 343-352, İ.T.Ü., İstanbul.
- **Haşal, M.E.** ve İyisan R., 2005. Bursa şehri için olasılıksal sismik tehlike analizi uygulaması, *TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası Bursa Şubesi Aylık Yayın Organı*, Bursa Bülteni, sayı:38, sf. 16-22.
- İyisan, R. ve **Haşal, M.E.**, 2006. Farklı deprem hareketinin ve yerel zemin sınıfının zemin büyütmesine etkisi, *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Onbirinci Ulusal Kongresi*, 7-8 Eylül, 343-352, K.T.Ü., Trabzon.
- İyisan, R. ve **Haşal, M.E.**, 2007. Trapez kesitli vadi modelinde yerel zemin koşullarının dinamik davranışa etkisi, *İ.T.Ü. Dergisi/d*, Cilt 6, Sayı:1, sf. 3-14, Şubat 2007.
- İyisan, R. and **Haşal, M.E.**, 2007. The effect of ground motion characteristics to the dynamic response of alluvial valley models, *13th Asian Regional Conference of Soil & Geotechnical Engineering*, Theme-7 Dam Engineering, Paper Code 7.1-8, Kolkata.
- İyisan, R., **Haşal, M.E.** ve Kepçeoğlu, Ö., 2008. Bursa ili Güzelyalı beldesinde yapılan mikrotremor ölçüm sonuçları, *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Onikinci Ulusal Kongresi*, 16-17 Ekim, S.Ü., Konya.