

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ANAKAYA EĞİTİMİNİN ZEMİN BÜYÜTMESİNE
ETKİSİ**

DOKTORA TEZİ

Hadi KHANBABAZADEH

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Zemin Mekaniği ve Geoteknik Mühendisliği Programı

HAZİRAN 2014

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ANAKAYA EĞİTİMİNİN ZEMİN BÜYÜTMESİNE
ETKİSİ**

DOKTORA TEZİ

**Hadi KHANBABAZADEH
(501082303)**

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Zemin Mekaniği ve Geoteknik Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Recep İYİSAN

HAZİRAN 2014

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 501082303 numaralı Doktora Öğrencisi **Hadi KHANBABAZADEH**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**ANAKAYA EĞİTİMİNİN ZEMİN BÜYÜTMESİNE ETKİSİ**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Doç. Dr. Recep İYİSAN**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Derin Nur URAL**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Mehmet BERİLGEN
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Hüseyin YILDIRIM
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Erol GÜLER
Boğaziçi Üniversitesi

Teslim Tarihi : **11 Nisan 2014**
Savunma Tarihi : **17 Haziran 2014**

Anneme, babama ve kardeşlerime,

ÖNSÖZ

Bilindiği gibi yerel zemin koşullar ve jeolojik düzensizlikler, anakayadan yüzeye doğru hareket eden deprem dalgalarını etkileyen önemli faktörlerdendir. Farklı zemin koşullarından oluşan ovaların yüzeyinde, anakaya eğiminden kaynaklanan zemin büyütmesinin tahmin edilmesi yerleşim bölgelerinin mikrobölgeleme çalışmalarında büyük rol oynamaktadır. Öte yandan zemin büyütmesinin tek boyutlu analizlerden elde edilebilmesine rağmen yanal süreksizliklerin bulunduğu durumlarda iki ve üç boyutlu analizlerin yapılmasının gerekli olduğu da ortaya çıkmaktadır. Bu çalışmada idealleştirilmiş alüvyonel ovaların düzgün geometriye sahip modellerinin dinamik analizi yapılarak farklı zemin cinsinden oluşan ovaların yüzeyi boyunca zemin büyütmesi ve şiddet faktörünün değişimi incelenmektedir. İki boyutlu hipotetik modellerin dinamik analizinin yanı sıra yatay yönde sınırlı ve eğimli anakaya sınırına sahip Dinar Ovası'nın dinamik analizi de yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara dayanarak farklı anakaya eğimi ve zemin cinsinden oluşan ovaların farklı bölgelerinde zemin davranışının periyotla ilişkisi irdelenmiştir.

Birçok farklı anakaya ivmesi kullanılarak yoğun emek ve zaman harcanarak yapılan bu çalışmanın sonradan yapılıcak araştırmalara katkısı olmak ve yol gösterisi olması en büyük temennimdir.

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım danışmanım Sayın Doç. Dr. Recep İYİSAN'a, tez izleme jürisi üyeleri Sayın Prof. Dr. Derin Nur URAL ve Prof. Dr. Mehmet BERİLGİN'e değerli katkılarından dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca hayatım boyunca maddi ve manevi destekleriyle her zaman yanımda olan anne, babam ve kardeşlerime sevgi, saygı ve şükranlarımı sunarım.

Haziran 2014

Hadi KHANBABAZADEH
(İnş. Y. Müh.)

İstanbul

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xv
ŞEKİL LİSTESİ.....	xviii
ÖZET	xxiii
SUMMARY	xxv
1. GİRİŞ	1
1.1 Amaç	4
1.2 Kapsam	5
2. YEREL ZEMİN KOŞULLARININ VE ANAKAYA EĞİMİNİN ZEMİN BÜYÜTMESİNE ETKİSİ.....	7
2.1 Giriş.....	7
2.2 Yerel Etkilerin Araştırılma Yöntemleri	8
2.2.1 Deneysel yöntemlerle zemin büyütmesinin tahmini	9
2.2.1.1 Kuvvetli yer hareketi kayıtlarından zemin büyütmesinin tahmin edilmesi	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
2.2.1.2 Spektral oranlardan zemin büyütmesinin tahmin edilmesi	10
2.2.1.3 Zemin büyütmesinin bir katsayı ile tahmin edilmesi	13
2.2.1.4 Lineer olmayan zemin büyütmesi	13
2.2.2 Analitik yöntemlerle zemin büyütmesinin tahmini.....	14
2.2.2.1 Aki-Larner yöntemi	15
2.2.2.2 Sınır elemanları yöntemi.....	15
2.2.2.3 Sonlu elemanlar ve sonlu farklar yöntemi	18
2.2.2.4 Hibrit yöntemler	20
2.3 Anakaya Eğimi ve Topoğrafyanın Zemin Büyütmesine Etkisi	21
2.4 İdealleştirilmiş Anakayanın Etkisi	37
2.5 Lineer Olmayan Zemin Büyütmesi.....	39
3. DİNAMİK ANALİZLERDE KULLANILAN MODELLERİN ÖZELLİKLERİ.....	41
3.1 Analitik Yöntemin Seçimi	42
3.2 İdealleştirilmiş Modeller ve Malzeme Özellikleri	42
3.3 Dinamik Sınır Koşulları ve Eleman Boyutu	48
3.4 Dinamik Yüklerin Seçimi ve Kuvvetli Yer Hareketi Kayıtları.....	50
3.5 Sonuçların Kullanıma Hazırlanması	55
3.6 Yapılan Modellemenin Doğrulaması	57
4. ÇALIŞMADA KULLANILAN DİNAMİK ANALİZ YÖNTEMİ VE TEORİK TEMELİ	59
4.1 Flac3D Yazılımı ve Kullanım Alanları	60
4.2 Flac3D'ile Modellemenin Teorik Temeli	62
4.2.1 Başlangıç ve sınır koşulları	65

4.2.2 Hesap adımları.....	66
4.3 Sonlu Farklar Yaklaşımının Uygulanması	67
4.4 Flac3D Yazılımıyla Dinamik Analiz	68
4.4.1 Dinamik yüklerin uygulanması ve sınır koşulları	71
4.4.2 Model içinde dalga yayılma koşullarının sağlanması	73
4.4.3 Mekanik sönümleme	74
4.5 Histeretik Sönüm	74
4.5.1 Mohr-Coulomb modelinin doğal sönümü	76
4.5.2 Histeretik sönümün Mohr-Coulomb modeline entegrasyonu	78
5. KİL ZEMİNDEN OLUŞAN OVALARIN DİNAMİK DAVRANIŞINA ANAKAYA EĞİMİNİN ETKİSİ	81
5.1 Giriş.....	81
5.2 Kilden Oluşan Ovaların Zemin Büyütmesine Anakaya Eğiminin Etkisi.....	82
5.2.1 Çok katı kilden oluşan ovalar	82
5.2.2 Katı kilden oluşan ovalar.....	87
5.2.3 Yumuşak kilden oluşan ovalar	90
5.3 Kilden Oluşan Ovaların Şiddet Faktörüne Anakaya Eğiminin Etkisi	94
5.3.1 Çok katı kilden oluşan ovalar	94
5.3.2 Katı kilden oluşan ovalar.....	96
5.3.3 Yumuşak kilden oluşan ovalar	98
5.4 Sonuç	100
6. KUM ZEMİNDEN OLUŞAN OVALARIN DİNAMİK DAVRANIŞINA ANAKAYA EĞİMİNİN ETKİSİ	101
6.1 Giriş.....	101
6.2 Kumdan Oluşan Ovaların Zemin Büyütmesine Anakaya Eğiminin Etkisi.....	102
6.2.1 Sıkı kumdan oluşan ovalar	102
6.2.2 Orta sıkı kumdan oluşan ovalar.....	107
6.2.3 Gevşek kumdan oluşan ovalar.....	111
6.3 Kumdan Oluşan Ovaların Şiddet Faktörüne Anakaya Eğiminin Etkisi	114
6.3.1 Sıkı kumdan oluşan ovalar	116
6.3.2 Orta sıkı kumdan oluşan ovalar.....	118
6.3.3 Gevşek kumdan oluşan ovalar.....	120
6.4 Sonuç	122
7. İKİ TABAKALI ZEMİNDEN OLUŞAN OVALARIN DİNAMİK DAVRANIŞINA ANAKAYA EĞİMİNİN ETKİSİ.....	123
7.1 Giriş.....	123
7.2 Üst Tabakası Kil Zeminden Oluşan İki Tabakalı Ovaların Zemin Büyütmesine Anakaya Eğiminin Etkisi.....	125
7.2.1 Üst tabakası çok katı kilden oluşan ovalar	125
7.2.2 Üst tabakası katı kilden oluşan ovalar	130
7.2.3 Üst tabakası yumuşak kilden oluşan ovalar	135
7.3 Üst Tabakası Kil Zeminden Oluşan İki Tabakalı Ovaların Şiddet Faktörüne Anakaya Eğiminin Etkisi.....	140
7.3.1 Üst tabakası çok katı kilden oluşan ovalar	140
7.3.2 Üst tabakası katı kilden oluşan ovalar	142
7.3.3 Üst tabakası yumuşak kilden oluşan ovalar	144
7.4 Sonuç	146
8. ANAKAYA EĞİMİNİN DİNAMİK DAVRANIŞA ETKİSİ: DİNAR OVASI MODELİ ÖRNEĞİ.....	147
8.1 Giriş.....	147

8.2 Dinar Ovası'nın Jeolojik ve Topoğrafik Özellikleri	147
8.3 Dinar Ovası'nın İdealleştirilmiş Modeli ve Uygulanan Dinamik Yüklerin Özellikleri	150
8.4 Dinar Ovası'nın İki Boyutlu Dinamik Davranışı.....	153
8.5 Dinar Ovası'nın İki Boyutlu Şiddet Faktörü	159
8.6 Sonuç	160
9. DEĞERLENDİRME	163
9.1 Kil Zeminden Oluşan Ovaların Dinamik Davranışı	164
9.2 Kum Zeminden Oluşan Ovaların Dinamik Davranışı	165
9.3 İki Tabakalı Zeminden Oluşan Ovaların Dinamik Davranışı	167
9.4 Dinar Ovası'nın Dinamik Davranışı	169
10. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	173
KAYNAKLAR	175
EKLER.....	181
ÖZGEÇMİŞ.....	203

KISALTMALAR

1D	: Bir Boyutlu
2D	: İki Boyutlu
3D	: Üç Boyutlu
A	: Zemin Büyütmesi
A_{maks}	: Maksimum Zemin Büyütmesi
AGF	: Şiddet Faktörü
BEM	: Sınır Elemanlar Yöntemi (Boundary Element Method)
CPT	: Koni Penetrasyon Deneyi
D	: Sönüm Oranı
DBYBHY	: Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binaların Hakkında Yönetmelik
DBEM	: Direkt Sınır Elemanlar Yöntemi (Direct Boundary Element Method)
FE	: Sonlu Elemanlar Yöntemi (Finite Elements)
FD	: Sonlu Farklar Yöntemi (Finite Differences)
G	: Kayma Modülü
IBEM	: Direkt Olmayan Sınır Elemanlar Yöntemi (Indirect Boundary Element Method)
K	: Balk Modülü
P	: Basınç Dalgası
PSM	: Spektral Benzer Yöntemi (Pseudo Spectral Method)
S	: Kayma Dalgası
SI	: Spektral Şiddet Faktörü (Spectral Intensity)
SH	: Düzlem Dışı Kayma Dalgası
SPT	: Standart Penetrasyon Deneyi
SV	: Düzlem İçi Kayma Dalgası
T	: Peryot

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Periyot ile şiddet katsayısının ilişkisi (Pergalani ve diğ.,2003).	31
Çizelge 3.1 : Modellerde kullanılan zemin tabakalarının geoteknik özellikleri.	44
Çizelge 3.2 : DBYBHY’de verilen zemin gurupları.....	45
Çizelge 3.3 : FLAC3D yazılımıyla yapılan dinamik analizi sayısı.	47
Çizelge 3.4 : Dinamik analizlerde kullanılan 0.1g ivme değerine sahip kuvvetli yer hareketleri ve özellikleri.....	50
Çizelge 3.5 : Dinamik analizlerde kullanılan 0.2g ivme değerine sahip kuvvetli yer hareketleri ve özellikleri.....	50
Çizelge 3.6 : Dinamik analizlerde kullanılan 0.3g ivme değerine sahip kuvvetli yer hareketleri ve özellikleri.....	51
Çizelge 3.7 : Dinamik analizlerde kullanılan 0.4g ivme değerine sahip kuvvetli yer hareketleri ve özellikleri.....	51
Çizelge 5.1 : Çok katı, katı ve yumuşak kil zeminden oluşan modellerin zemin özellikleri.	82
Çizelge 6.1 : Sıkı, orta sıkı ve gevşek kum zeminden oluşmuş modellerin zemin özellikleri.	102
Çizelge 7.1 : İki tabakalı zeminden oluşmuş modellerin zemin özellikleri.....	124
Çizelge 8.1 : Dinar Ovası’nın zemin özellikleri(Bakır ve diğ., 2002).....	149
Çizelge 8.2 : Dinar Ovası’nın idealleştirilmiş modelinde kullanılan zemin özellikleri.	151
Çizelge 8.3 : Dinar Ovası’nın dinamik analizinde kullanılan kuvvetli yer hareketleri.	151
Çizelge 8.4 : Dinar Ovası’nın dinamik analizinde kullanılan kuvvetli yer hareketleri.	152
Çizelge 8.5 : Dinar Ovası’nın dinamik analizinde kullanılan kuvvetli yer hareketleri.	152
Çizelge 8.6 : Dinar Ovası’nın dinamik analizinde kullanılan kuvvetli yer hareketleri.	152
Çizelge 8.7 : Dinar Ovası’nın yüzeyindeki noktaların doğusundaki anakaya mostrasından uzaklıkları.	153

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Zemin büyütmesine etkiyen faktörler (Şafak, 2001).....	8
Şekil 2.2 : SAPE ve eşdeğer lineer yöntemleriyle hesaplanmış olan zemin büyütmesi fonksiyonları (Cadet ve diğ., 2011).	12
Şekil 2.3 : Rodriguez ve diğ. (2011) tarafından önerilen yöntemin ortamın ayrıklaştırılmasında uygulanması.	18
Şekil 2.4 : Euroseistest bölgesinin yeraltı haritası (Chavez ve diğ., 2000).	19
Şekil 2.5 : Zaman tanım alanında elde edilmiş kayıtlar (Chavez ve diğ., 2000).....	19
Şekil 2.6 : Kamalian ve diğ.(2006) tarafından dinamik yükü olarak kullanılan Ricker palsı.	21
Şekil 2.7 : Kullanılan hipotetik modellerin hibrit metoduyla ayrıklaştırılması (Kamalian ve diğ., 2006).....	21
Şekil 2.8 : Bard ve Bouchon (1980a)'un araştırmasında kullanılan vadi geometrisi.	22
Şekil 2.9 : Bravo ve diğ., (1988)'nin kullandığı iki boyutlu model.	23
Şekil 2.10 : Vadinin farklı konumlarındaki yerdeğiştirme genliğinin frekans ile değişimi(Bravo ve diğ.,1988).....	24
Şekil 2.11 : Kawasae ve Aki (1989)'nin araştırmasında kullanılan vadi modelleri..	24
Şekil 2.12 : Frekansla yatay yerdeğiştirmelerin genliklerinin değişimi (Sanchez-Sesma ve Luzon, 1995).	25
Şekil 2.13 : Dinar bölgesinin yeraltı haritasının doğu-batı kesiti (Bakır ve diğ., 2002).	26
Şekil 2.14 : Dinar ovasının iki boyutlu modellemeye kullanılan sonlu elemanlar ağı (Bakır ve diğ., 2002).....	26
Şekil 2.15 : Araştırmada kullanılan tek tabakalı zeminden oluşan hipotetik model (Heymsfield, 2000).....	27
Şekil 2.16 : Yeryüzündeki yerdeğiştirmenin dinamik yükü ve dalganın çarpma açısıyla değişimi (Heymsfield, 2000).....	28
Şekil 2.17 : KASSEM bölgesinin enkesitinin doğu-batı ve kuzey-güney kesiti (Kamiyama ve Satoh, 2000).	29
Şekil 2.18 : Kayıtlardan elde edilmiş şekil değiştirmelerin modelleme sonuçlarıyla karşılaştırması (Kamiyama ve Satoh, 2000).....	29
Şekil 2.19 : Analizlerde kullanılan simetrik olmayan hipotetik modelin geometrisi (Gril ve diğ., 2003).	30
Şekil 2.20 : Ova boyunca dalganın farklı çarpma açılarında yer değiştirmeler (Gril ve diğ., 2003).....	30
Şekil 2.21 : Bölgenin doğal periyoduyla şiddet faktörü arasındaki korelasyon (Pergalani ve diğ., 2003).	32
Şekil 2.22 : Dinamik davranışı araştırılan bölgenin enkesiti (Finn ve diğ., 2003)....	32
Şekil 2.23 : KID istasyonunda kaydedilmiş ve tek boyutlu analizden hesaplanan hareketin spektral tepkisinin karşılaştırılması (Finn ve diğ., 2003).....	33
Şekil 2.24 : Bir ve üç boyutlu analizlerden elde edilmiş yeryüzü hareketleri (Goto ve Sewada, 2004).....	34

Şekil 2.25 : Yeryüzünün doğu-batı hareketinin hız dalgası formları(Goto ve Sewada, 2004).....	35
Şekil 2.26 : Farklı frekanslarda yatay ivme etkisi altındaki yeryüzü hareketi, a) yüksek frekans, b) orta frekans ve c) düşük frekans (Gelagoti ve diğ., 2010). ...	36
Şekil 2.27 : Euroseistest bölgesinin gerçek ve basitleştirilmiş modelleri (Makra ve diğ., 2005).....	38
Şekil 2.28 : Euroseistest bölgesinin daha basit geometri biçimiyle idealleştirilmiş modelleri (Makra ve diğ., 2005).	38
Şekil 2.29 : Semblat ve diğ. (2005)'nin kullandığı Euroseistest'in gerçek ve basitlendirilmiş modelleri (Semblat ve diğ., 2005).	39
Şekil 2.30 : Zhang ve Zhao (2009)'nun kullandığı tek ve iki boyutlu analizlerin modeli.	40
Şekil 3.1 : Dinamik analizlerde kullanılan farklı anakaya eğimine sahip tek tabakalı ova modelleri	43
Şekil 3.2 : Dinamik analizlerde kullanılan farklı anakaya eğimine sahip iki tabakalı ova modelleri.	46
Şekil 3.3 : Killi zeminlere ait kayma şekil değiştirmesi ile kayma modülünün değişimi.	48
Şekil 3.4 : Kumlu zeminlere ait kayma şekil değiştirmesi ile kayma modülünün değişimi.	48
Şekil 3.5 : Sonlu farklar ağının yatay ve düşey yönlerinde kullanılan sınır şartları. ..	49
Şekil 3.6 : Dinamik analizlerde kullanılan 0.1g ivme değerine sahip deprem kayıtları ve spektrumları.....	52
Şekil 3.7 : Dinamik analizlerde kullanılan 0.2g ivme değerine sahip deprem kayıtları ve spektrumları.	53
Şekil 3.8 : Dinamik analizlerde kullanılan 0.3g ivme değerine sahip deprem kayıtları ve spektrumları.....	54
Şekil 3.9 : Dinamik analizlerde kullanılan 0.4g ivme değerine sahip deprem kayıtları ve spektrumları.	55
Şekil 3.10 : Kawase ve Aki (1989)'nin kullandığı trapez ova şekli.	57
Şekil 3.11 : Trapez şekline sahip ovanın analiz sonuçları, a) Kawase ve Aki (1989)'nin sonuçları, b) Bu çalışmadaki FLAC3D'nin sonuçları.	58
Şekil 4.1 : Çalışmada kullanılan analiz programının terminolojisi.....	61
Şekil 4.2 : Ayırıklaştırılmış ortamın sabit şekildeğiştirmeli dörtyüzlü elemanı.....	64
Şekil 4.3 : Karma ayırıklaştırma yaklaşımının uygulandığı elemanın şekil değiştirmesi, a) şekil değiştirmeden önce b) şekildeğiştirmiş elaman.	65
Şekil 4.4 : FLAC3D yazılımında problemin çözümü için akış diyagramı.	66
Şekil 4.5 : Dinamik yükler ve sınır koşulları.	71
Şekil 4.6 : Mohr-Coulomb modelinin kayma gerilmesi-şekil değiştirmesi çevrimi... ..	77
Şekil 4.7 : Elastoplastik Mohr-Coulomb modelinin kayma modülü ve sönüm oranının kayma şekil değiştirmesiyle değişimi.....	78
Şekil 4.8 : Mohr-Coulomb modeliyle Hardin-Drnevich histeretik sönümlemesinin kayma gerilmesi-şekil değiştirmesi çevrimi.	79
Şekil 5.1 : Kilden oluşan ve farklı anakaya eğimine sahip tek tabakalı ova modelleri.	81
Şekil 5.2 : Kocaeli depreminin etkisi altında meydana gelen zemin büyütmesinin değişimi.	83
Şekil 5.3 : Çok katı kilden oluşan ovaların en büyük spektral zemin büyütmesinin (Amaks) değişimi.	84

Şekil 5.4 : Çok katı kilden oluşan ovaların farklı noktalarının frekans tanım alanındaki zemin büyütmesi.	86
Şekil 5.5 : Katı kilden oluşan ovaların en büyük spektral zemin büyütmesinin (Amaks) değişimi.	88
Şekil 5.6 : Katı kilden oluşan ovaların farklı noktalarının frekans tanım alanındaki zemin büyütmesi.	89
Şekil 5.7 : Yumuşak kilden oluşan ovaların en büyük spektral zemin büyütmesinin (Amaks) değişimi.	91
Şekil 5.8 : Yumuşak kilden oluşan ovaların farklı noktalarının frekans tanım alanındaki zemin büyütmesi.	93
Şekil 5.9 : Çok katı kilden oluşan ovaların yüzeyi boyunca şiddet faktörünün değişimi.	95
Şekil 5.10 : Katı kilden oluşan ovaların yüzeyi boyunca şiddet faktörünün değişimi.	97
Şekil 5.11 : Yumuşak kilden oluşan ovaların yüzeyi boyunca şiddet faktörünün değişimi.	99
Şekil 6.1 : Kumdan oluşan ve farklı anakaya eğimine sahip tek tabakalı ova modelleri.	101
Şekil 6.2 : Sıkı kumdan oluşan ovaların en büyük spektral zemin büyütmesinin (Amaks) değişimi.	103
Şekil 6.3 : Sıkı kumdan oluşan ovaların farklı noktalarının frekans tanım alanındaki zemin büyütmesi.	106
Şekil 6.4 : Orta sıkı kumdan oluşan ovaların en büyük spektral zemin büyütmesinin (Amaks) değişimi.	108
Şekil 6.5 : Orta sıkı kumdan oluşan ovaların farklı noktalarının frekans tanım alanındaki zemin büyütmesi.	110
Şekil 6.6 : Gevşek kumdan oluşan ovaların en büyük spektral zemin büyütmesinin (Amaks) değişimi.	112
Şekil 6.7 : Gevşek kumdan oluşan ovaların farklı noktalarının frekans tanım alanındaki zemin büyütmesi.	115
Şekil 6.8 : Sıkı kumdan oluşan ovaların yüzeyi boyunca şiddet faktörünün değişimi.	117
Şekil 6.9 : Orta sıkı kumdan oluşan ovaların yüzeyi boyunca şiddet faktörünün değişimi.	119
Şekil 6.10 : Gevşek kumdan oluşan ovaların yüzeyi boyunca şiddet faktörünün değişimi.	121
Şekil 7.1 : Tek tabakalı kilden oluşan ova modelleri.	123
Şekil 7.2 : İki tabakadan oluşan ova modelleri.	124
Şekil 7.3 : Tek tabakalı ile üst tabakası çok katı kilden oluşan ovaların en büyük spektral zemin büyütmesinin (Amaks) değişimi.	126
Şekil 7.4 : Tek tabakalı ile üst tabakası çok katı kilden oluşan ovaların farklı noktalarının frekans tanım alanındaki zemin büyütmesi(0.1g).	128
Şekil 7.5 : Tek tabakalı ile üst tabakası çok katı kilden oluşan ovaların farklı noktalarının frekans tanım alanındaki zemin büyütmesi(0.4g).	129
Şekil 7.6 : Tek tabakalı ile üst tabakası katı kilden oluşan ovaların en büyük spektral zemin büyütmesinin (Amaks) değişimi.	131
Şekil 7.7 : Tek tabakalı ile üst tabakası katı kilden oluşan ovaların farklı noktalarının frekans tanım alanındaki zemin büyütmesi(0.1g).	133
Şekil 7.8 : Tek tabakalı ile üst tabakası katı kilden oluşan ovaların farklı noktalarının frekans tanım alanındaki zemin büyütmesi(0.4g).	134

Şekil 7.9 : Tek tabakalı ile üst tabakası yumuşak kilden oluşan ovaların en büyük spektral zemin büyütmesinin (A_{maks}) değişimi.	136
Şekil 7.10 : Tek tabakalı ile üst tabakası yumuşak kilden oluşan ovaların farklı noktalarının frekans tanım alanındaki zemin büyütmesi(0.1g).	138
Şekil 7.11 : Tek tabakalı ile üst tabakası yumuşak kilden oluşan ovaların farklı noktalarının frekans tanım alanındaki zemin büyütmesi(0.4g).	139
Şekil 7.12 : Tek tabakalı ile üst tabakası çok katı kilden oluşan ovaların yüzeyi boyunca şiddet faktörünün değişimi.	141
Şekil 7.13 : Tek tabakalı ile üst tabakası katı kilden oluşan ovaların yüzeyi boyunca şiddet faktörünün değişimi.	143
Şekil 7.14 : Tek tabakalı ile üst tabakası yumuşak kilden oluşan ovaların yüzeyi boyunca şiddet faktörünün değişimi.	145
Şekil 8.1 : Dinar bölgesindeki ana faylar (Bakır ve diğ., 2002).	148
Şekil 8.2 : Dinar Ovası'nın D-B doğrultusundaki jeolojik enkesiti (Bakır ve diğ., 2002).	149
Şekil 8.3 : Dinar Ovası'nın idealleştirilmiş iki boyutlu geometrisi.	150
Şekil 8.4 : Dinar Ovası'nda en büyük spektral zemin büyütmesinin (A_{maks}) değişimi.	153
Şekil 8.5 : Dinar Ovası'nın farklı noktalarının frekans tanım alanındaki zemin büyütmesi (0.1g).	157
Şekil 8.6 : Dinar Ovası'nın farklı noktalarının frekans tanım alanındaki zemin büyütmesi (0.4g).	158
Şekil 8.7 : Dinar Ovası'nın yüzeyi boyunca şiddet faktörünün değişimi.	160
Şekil A.1 : Çok katı kilden oluşan ovaların farklı noktalarının frekans tanım alanındaki zemin büyütmesi (0.2g). ...	182
Şekil A.2 : Çok katı kilden oluşan ovaların farklı noktalarının frekans tanım alanındaki zemin büyütmesi (0.3g).	183
Şekil A.3 : Katı kilden oluşan ovaların farklı noktalarının frekans tanım alanındaki zemin büyütmesi (0.2g).	184
Şekil A.4 : Katı kilden oluşan ovaların farklı noktalarının frekans tanım alanındaki zemin büyütmesi (0.3g).	185
Şekil A.5 : Yumuşak kilden oluşan ovaların farklı noktalarının frekans tanım alanındaki zemin büyütmesi (0.2g).	186
Şekil A.6 : Yumuşak kilden oluşan ovaların farklı noktalarının frekans tanım alanındaki zemin büyütmesi (0.3g).	187
Şekil B.1 : Sıkı kumdan oluşan ovaların farklı noktalarının frekans tanım alanındaki zemin büyütmesi (0.2g).	188
Şekil B.2 : Sıkı kumdan oluşan ovaların farklı noktalarının frekans tanım alanındaki zemin büyütmesi (0.3g).	189
Şekil B.3 : Orta sıkı kumdan oluşan ovaların farklı noktalarının frekans tanım alanındaki zemin büyütmesi (0.2g).	190
Şekil B.4 : Orta sıkı ıkı kumdan oluşan ovaların farklı noktalarının frekans tanım alanındaki zemin büyütmesi (0.3g).	191
Şekil B.5 : Gevşek kumdan oluşan ovaların farklı noktalarının frekans tanım alanındaki zemin büyütmesi (0.2g).	192
Şekil B.6 : Gevşek kumdan oluşan ovaların farklı noktalarının frekans tanım alanındaki zemin büyütmesi (0.3g).	193
Şekil C.1 : Üst tabakası çok katı kilden oluşan ovaların farklı noktalarının frekans tanım alanındaki zemin büyütmesi (0.2g).	194

Şekil C.2 : Üst tabakası çok katı kilden oluşan ovaların farklı noktalarının frekans tanım alanındaki zemin büyütmesi (0.3g).....	195
Şekil C.3 : Üst tabakası katı kilden oluşan ovaların farklı noktalarının frekans tanım alanındaki zemin büyütmesi (0.2g).....	196
Şekil C.4 : Üst tabakası katı kilden oluşan ovaların farklı noktalarının frekans tanım alanındaki zemin büyütmesi (0.3g).....	197
Şekil C.5 : Üst tabakası yumuşak kilden oluşan ovaların farklı noktalarının frekans tanım alanındaki zemin büyütmesi (0.2g).....	198
Şekil C.6 : Üst tabakası yumuşak kilden oluşan ovaların farklı noktalarının frekans tanım alanındaki zemin büyütmesi (0.3g).....	199
Şekil D.1 : Dinar ovası'nın farklı noktalarının frekans tanım alanındaki zemin büyütmesi (0.2g).	200
Şekil D.2 : Dinar ovası'nın farklı noktalarının frekans tanım alanındaki zemin büyütmesi (0.3g).	201

ANAKAYA EĞİMİNİN ZEMİN BÜYÜTMESİNE ETKİSİ

ÖZET

Depremler sırasında yerel etkiler nedeniyle meydana gelen zemin büyütmesi yeryüzünde önemli hasarlara neden olmaktadır. Birçok durumda yerel etkiler ve zemin büyütmesi yatay ve düşey yönde yayılan kayma dalgası varsayımına dayanan tek boyutlu dinamik analizlerle hızlı ve kolay bir şekilde hesaplanabilmektedir. Ancak, gerçekte üç boyutlu yayılan bir dalganın yanal süreksizliklerden dolayı yüzey dalgalarının bir bölgede odaklanmasına yol açmasından dolayı, zemin büyütmesinin tek boyutlu analizlerle değerlendirilmesi her koşulda doğru bir yaklaşım olmamaktadır. Bu durumda iki boyutlu dinamik analiz gerekli olmaktadır. İki boyutlu zemin büyütmesi, zemin tabakaları arasındaki empedans farklılığı ve onların yanal süreksizliğinden kaynaklanan yüzey dalgaların bir aradaki etkisinden meydana gelmektedir.

Bu araştırmada farklı anakaya eğimi ve zemin cinsinin jeolojik düzensizliklere sahip ovaların dinamik davranışına etkisinin anlaşılması için numerik bir çalışma yapılmıştır. Bu amaçla farklı anakaya eğimi ve zemin tabakalarından oluşan ovaların dinamik davranışı varsayımsal modeller üzerinde ve farklı deprem yükleri altında bir ve iki boyutlu dinamik analizler ile incelenmiştir. Modellerin yüzeyinde farklı noktalarda zemin büyütmesi ve şiddet faktörü bulunmuş, sonuçlar karşılaştırılmıştır. Dinamik analizler sonlu farklar yöntemi esaslı FLAC yazılımıyla yapılmıştır. Kullanılan anakaya ivmesi kayıtlarından zemin tabakalarının etkisinin kaldırılması için kayıtların sert tabakalar üzerinde alınmış olduğu dikkat edilmiştir.

İki boyutlu varsayımsal modellerin dinamik analizinin yanı sıra yatay yönde sınırlı ve eğimli anakaya sınırına sahip Dinar Ovası'nın sismik tepkisi de yapılmıştır. Bu araştırmanın sonucu iki boyutlu dalga yayılmasının etkin olduğu alüvyonel ovalar gibi yumuşak tabakaların dinamik davranışının anakaya eğimi ve zemin cinsinden etkilendiğini göstermektedir. Sonuçlar ovaların yüzeyinin farklı noktalarının farklı periyotlara duyarlı olduklarına işaret etmektedir. Etkilerin anakaya hareketinin kuvvetinin artmasıyla da devam ettiği görülmektedir. Ayrıca, tek ve tabakalı zeminlerden oluşan alüvyonel ovaların farklı özelliklere sahip anakaya hareketi etkisi altında gösterdikleri dinamik davranışının maksimum zemin büyütmesi ve rezonans periyodu açısından birbirinden farklı oldukları anlaşılmaktadır. Simetrik olmayan Dinar Ovası'nın iki boyutlu analizinden elde edilen sonuçlardan bu ovanın dinamik davranışının büyük ölçüde ikinci boyuttan etkilendiği ortaya çıkmaktadır.

THE EFFECT OF THE BEDROCK SLOPE ON THE SOIL AMPLIFICATION

SUMMARY

Local geological conditions generate significant amplification of ground motion and concentrated damage during earthquakes. In some situations local amplification and site effect can be inferred reasonably using simple one dimensional shear models based on vertically propagating shear wave concept. However, lateral heterogeneity may give rise to focusing and to locally generated surface waves; therefore, the estimate of the local amplification using 1D models may be erroneous. In fact, two dimensional wave amplification occurs due to the combined effect of impedance ratio between soil layers and surface waves propagating due to the limited extent of the basin. In such situation the application of the two dimensional dynamic analysis is necessary.

The purpose of this study is to investigate the effects of the basin edge on the dynamic behavior of the basins. In this research, the one and two dimensional dynamic behavior of the alluvial basins with different soil types and stratification are investigated using hypothetical models under earthquake motions. To attain this aim, a range of bedrock inclinations at the valley sides from slighter 10° and 20° to steeper 30° and 40° slopes are selected. The total width of the basin is selected 2 km, which is long enough to provide opportunity to investigate the effective distance of the basin edge. Also, total depth of the all models is 100 m.

Since the material characteristics of the basin affect the behavior of the site, the behaviors of the two sandy and clayey sites are compared in this research. To make the results useful at engineering affaires, at selection of the material characteristics it was tried to select two groups of sandy and clayey materials belonging to the different class of soils with respect to the soil classification codes. The selected materials are classified as stiff, medium plasticity and soft clay, and dens, medium and loose sand with respect to Turkish earthquake code.

At the other part of this study the numerical study of the effects of the stratification and change in material type on the dynamic behavior of the clayey basins are investigated. For this purpose two kinds of single and double layer basin models with the total depth of 100m and width of 2 km have been selected. The single layer basins consist of soft, medium and stiff clayey materials, while double layer basins consist of a stiff sandy sub-layer overlaid by one of the soft, medium and stiff clayey soil layer. The bottom layer in all double layer basins is of dens sand.

The constructed models are subjected to the collection of 16 earthquakes with different PGA's of 0.1, 0.2, 0.3 and 0.4 g, four motions for each PGA. To provide the circumstances of the north Anatolian fault with right lateral strike-slip faulting mechanism, the accelerograms produced by SanAndreas fault with same faulting mechanism are included in this collection. For missing the effect of soil layers on selected accelerograms, the used accelerograms are chosen from among those

recorded on stiff layers during real earthquakes, or deconvoluted to the correspondence bedrock motion. This collection includes records of different peak ground accelerations, frequency contents and durations.

The performed dynamic analyses are done using FLAC3D code which utilizes explicit finite difference method. The combination of two advanced dynamic boundary formulation is used at the models boundaries. To model the real situation of interaction between bedrock and soil at the base of the model the flexible base logic which utilizes quiet boundary is applied at the horizontal boundaries, while free-field boundaries are set at the vertical boundaries to simulate the infiniteness of the media at sides. The verification of the modeling is tested using a solution that has been verified extensively.

Along with the two dimensional analysis of the trapezoidal basins, the dynamic analysis of the Dinar basin model has been done in this study. Using the different geotechnical and geological field exploration data the two dimensional model of the basin have been estimated. To evaluate the dynamic behavior of the basin it was subjected to the collection of 16 earthquakes with different PGA's of 0.1, 0.2, 0.3 and 0.4 g, four motions for each PGA.

Also, in this study by conducting 1D analyses along the modeled basin surface the aggravation curve for every case are evaluated and discussed. The amplification and aggravation factor of the different points on the modeled basins' surface have been estimated, and the results have been compared.

The results of this study show that the dynamic behavior of the basins with two dimensional bedrock geometry is affected by the bedrock inclination and soil types. Also the important effect of the bedrock motion strength was observed. It was seen that different parts of the basin surface are sensitive to different periods. The effects of the different parameters on the basin dynamic behavior continue by increasing the PGA of the bedrock excitation.

Since the behavior of the basins is affected by the several parameters like strength and frequency content of the dynamic loads, stratification, soil specification and bedrock angle, a general rule that holds for all cases can not established.

Based on results, it was seen that in the basins with 100 meters depth and 2000 meters width the effect of the two dimensional bedrock is limited to 500 meters from the outcrop. Also, the results indicate the differences in dynamic behavior of single and double layer basins from the aspect of amount and position of the maximum amplification and resonance period. The sensitivity of the shallower lateral parts to lower periods and inner parts to higher periods can be tracked at both single and double layer basins. Beside other differences the most important difference between single and double layer basins is the resonance period of the inner parts of the basins. The results show that almost in all cases the resonance period of the inner points of the single layer basins is lower than double layer basins.

Since the aggravation factor presents only the ratio of the acceleration estimated by two and one dimensional analyses, the use of this factor in the investigation of the dynamic behavior of the basins would be misleading. In this regard, the results indicate that the maximum acceleration evaluated by one dimensional analysis is insufficient in evaluation of the dynamic behavior of the basin edges when compared with two dimensional analysis results.

The results of the analysis of the nonsymmetrical Dinar basin indicates that the dynamic behavior of the basin is broadly affected by the two dimensional bedrock. Also, the results indicates the higher effect of the 6° bedrock inclination at the basin east on the edge amplification with respect to the steeper 20° bedrock slope at the basin West. The results show the insignificant effect of the bedrock located at the level deeper than 150 meter on the amplification behavior of the Dinar basin.

At the nonsymmetric Dinar basin with 200 metres depth and 6000 meters width the effect of the 6° bedrock angle at the eastern part continues until 1500 meters from the outcrop, while at the western part with 20° bedrock angle the two dimensional amplification is affected until 700 meters from the outcrop.

1. GİRİŞ

Meydana gelen depremler sonucu ortaya çıkan hasarlar incelendiğinde, konumları deprem kaynağına göre benzer durumda olan yerleşkelerde farklı deprem şiddetlerinin meydana gelmesi araştırmacıların dikkatlerini çekmiş ve bu durum araştırmaya konu olmuştur. Aydınlatılmaya muhtaç bu konu üzerinde hala çalışmalar devam etmektedir. Aslında, fayın kırılma noktasından anakayaya gelen deprem dalgaları yeryüzüne varana kadar birçok faktörlerden etkilenecek değişikliklere uğramaktadır. Bu faktörlerin arasında yüzeydeki zemin tabakalarıyla daha altta yer alan anakayanın arasındaki zemin tabakalarının cinsi, kalınlıkları, doğrultuları, anakayanın biçim ile derinliği ve etkileyen depremin özellikleri gibi birçok faktörün önemli etkisi olduğu görülmektedir. Yukarıda bahsedilen faktörlere deprem kaynak özellikleri, tektonik yapı, fayın kırılma mekanizması ile doğrultu etkisi ve saha ile depremin merkez üstü arasındaki mesafesi gibi bölge dışından etkileyen faktörleri de eklenebilir. Dolayısıyla, yüzeyde kaydedilmiş bir hareket yerel etkiler içeren bir filtreden geçerek özellik değişimine uğramış bir anakaya hareketi olarak algılanabilmektedir. Böylece, yerel etkilerin anlaşılmasına çalışılan kavram bir sahanın tüm özellikleri dahil olmakla birlikte o bölgeye özgül dinamik davranışın anlaşılması olarak tanımlanabilmektedir. Sonuç olarak yerel etkiler kavramına bu geniş açıdan bakıldığında yüzeydeki hareketin anakaya hareketi ile tüm geoteknik ve jeolojik etkilerin toplamından oluştuğu söylenebilir.

Yerel etkilerin araştırılmasında kullanılan yöntemler analitik ve deneysel yöntemler olmak üzere iki dalda yapılmaktadır. Deneysel araştırmalar zeminin kuvvetli veya zayıf hareketleri ya da mikrotremor sonuçlarının değerlendirilmesinden yapılmaktadır. Analitik yöntemler ise yerel etkilerin bir, iki veya üç boyutlu modelleme yöntemleriyle araştırılmasını kapsamaktadır.

Yerel etkiler konusunda yapılan birçok araştırmaya göre anakaya hareketini etkileyen önemli parametreler 4'e ayrılmaktadır. Birincisi dalganın sert bir tabakadan daha yumuşak bir tabakaya geçerken yerdeğiştirme genliğinde meydana gelen değişimdir. Bu etki iki farklı zemin tabakası arasındaki empedans farklılığından

kaynaklanmaktadır. Empedans farklılığından dolayı oluşan etkiler birinci boyut etkisi olarak da tanımlanmaktadır. İkincisi ise zemin tabakalarının doğal frekanslarının etkisi altında gösterdikleri mekanik rezonanstır. Üçüncü parametre ise zeminin gösterdiği lineer olmayan davranışla ilgilidir. Bu durumda yüksek seviyedeki yerdeğişirmelerin etkisi altında zeminin rijitliği azalarak büyük frekansların azalmasına neden olmaktadır. Son etki ise topoğrafik düzensizliklerin etkisi, anakaya eğimi ve zemin tabakalarının yanal süreksizliklerinden kaynaklanan etkilerdir. Alüvyonel ova/vadilerin yukarıda sayılan faktörlerin etkisi altında gösterdikleri dinamik davranışın oldukça karmaşık olduğundan bu davranışın anlaşılması için birçok araştırma yapılmış olup yeni araştırmalar yapılmaktadır.

Yapılan araştırmalar sonucu alüvyonel vadilerin dinamik yükler altında gösterdikleri davranışın önemli derecede anakaya eğimi ve dinamik yüklerin özellikleriyle alakalı olduğu görülmektedir. Yüksek frekanslarda vadi kenarlarında dalgaların odaklanması nedeniyle ikinci boyutun etkisi üstünlük göstermektedir. Bu durumda vadinin orta kısımlarına doğru ikinci boyutun etkisi azalarak tek boyutlu etkilerin hâkimiyeti görülmektedir. Etkiyen yüklerin frekansı azalarak kenarlardaki dalga odaklanmasının etkisi azalmakla birlikte yüzey dalgalarının meydana gelmesi de görülmektedir. Bu dalgalar vadi kenarlarından yansıyarak vadinin orta kısımlarına doğru ilerlemektedir. Ortaya doğru ilerleyen yüzey dalgaları ve ortamda yayılmış olan cisim dalgalarının etkileşiminden dolayı bazı noktaların zemin büyütmesinde artış bazılarında ise düşüş görülmektedir. Genel olarak, bu durumda büyük frekanslardaki duruma göre maksimum zemin büyütmesinin vadinin orta kısımlarına doğru aktarıldığı görülmektedir. Yukarıda anlatılan düzen dinamik yüklerin özelliği ve ova/vadinin geometrisinin değişimiyle de değişime uğramaktadır. Ayrıca, zemin tabakası sayısı arttıkça daha farklı düzenlerin meydana geldiği tahmin edilmektedir. Böylece, farklı parametrelerin bir aradaki etkilerinin daha iyi anlaşılması için iki hatta üç boyutlu analizlerin yapılması gerekmektedir.

Yüzeyde kaydedilmiş hareketin yerel koşullardan etkilenme seviyesi bir bölgenin geoteknik ve jeolojik karmaşıklığıyla da alakalı olmaktadır. Vadinin ortası gibi yatay anakaya ve zemin tabakalarından oluşan basit geometriye sahip yeraltı oluşumuna sahip bir bölgenin dinamik davranışı zemin tabakalarının cinsleri, kalınlıkları, dinamik özellikleri ve bu özelliklerin derinlik ve şekil değiştirme seviyesine bağlı olarak değişimleri gibi önemli faktörlerden etkilenmektedir. Gerçi bu durumlarda

topoğrafik düzensizliklerin etkisi ihmal edilebilmektedir. Fakat yapılan araştırmalara göre sığ ovaların ortasının davranışı da bu mevkiilerin ovanın kenarlarından yansımış ve orta kısımlara doğru ilerleyen yüzey dalgalarından önemli derecede etkilendiği söylenerek bazen bu özelliğin modellenmesinde tek boyutlu analizlerin de yetersiz olduğu ortaya çıkmaktadır. Üstelik dalgalar bir tabakadan diğer tabakaya geçerken doğrultu değişimi veya dağılmaya maruz kalabilmektedir. Ancak bu olayın analitik modellenmesi için dalganın düşey yönde ilerlemesini varsayan tek boyutlu analiz yapan yazılımların kullanılması birçok durumlarda uygun olabilmektedir. Yapılan araştırmalar bazı durumlarda tek boyutlu analizlerden elde edilen sonuçların iki veya üç boyutlu etkilerin tahmini için geçerli olduğu gösterilmektedir.

Yeraltı ve yeryüzü koşulları daha karmaşık olduğu durumda anakaya hareketine etkiyen faktörlerin sayısı da artmaktadır. Kısacası, bu koşulların etkisi altında meydana gelen davranışlar, dalgaların yansımalarıyla kırılmaları ve onların arasındaki çarpışmalardan dolayı meydana gelen ikinci veya üçüncü boyutun etkileri gibi özelliklerden kaynaklanmaktadır. Anakaya eğimi ve biçiminin bu etkilerin meydana gelmesinde önemli faktörlerden olduğu birçok deprem sırasında görülmektedir. Bu durumlarda, ortamda yayılan dalgaların bir kısmı eğimli anakayaya çarpıp yansiyarak tekrar ortama dönüp tek boyutlu modellerle incelenmesi mümkün olmayan etkileri ortaya çıkarmaktadır. Bu gibi durumlarda analizlerin iki veya üç boyutlu yazılımlarla yapılması gerekmektedir.

Yerel etkiler ve zemin büyütmesi konusunda yapılan araştırmalarda birçok sayısal yöntem kullanılmaktadır. Bu yöntemler arasında sonlu elemanlar yöntemi, sonlu farklar yöntemi, direkt olan sınır elamanlar yöntemi (DBEM) ve direkt olmayan sınır elamanlar yöntemi (IBEM) gibi yöntemler yer almaktadır. Yapılan araştırmalara göre yerel etkiler konusunda yapılan analizlerden elde edilen en gerçekçi sonuçlar sonlu farklar yöntemiyle yapılan analizlerden elde edilmektedir. Ova/vadi gibi oluşumların dinamik davranışının modellenmesinde sadece iki veya üç boyutlu modelleme değil, modelleme için seçilen analiz yönteminin de önemli olduğu anlaşılmaktadır. Bu hususta, geoteknik mühendisliği alanında çok başarılı olan FLAC3D yazılımının dinamik analizlerde sunduğu özelliklerin yerel etkilerin araştırılmasında kullanılmasının önemine vurgulanmalıdır. Bu yazılım sonlu farklar yöntemine dayanan ve tam doğrusal olmayan yaklaşımı kullanarak dinamik dalgaların tabakalı

zeminlerden oluşan bir ortamda yayılmasının modellenmesinde kullanılabilmektedir. Bu nedenle, tez çalışmasında gerçekleştirilen analizlerde bu yazılım kullanılmıştır.

1.1 Amaç

Yerel etkiler konusunda yapılan araştırmaların birçoğunun odak noktası ikinci boyut ve topoğrafik düzensizliklerden kaynaklanan etkilerinin incelenmesi olmaktadır. Bu araştırmaların sonuçları ikinci ve üçüncü boyutların yeryüzü hareketine önemli etkisinin olduğunu göstermektedir. Bu araştırmanın amacı zemin büyütmesine anakaya ve topoğrafyanın etkisi olduğundan farklı hipotetik (varsayımsal) modeller üzerinde dinamik analiz yapılarak anakaya eğimi, çeşitli zemin cinsleriyle tabakaları ve sismik yüklerin ovaların dinamik davranışına etkisinin araştırılmasıdır. Bu amaç için, ovalar gibi yatay yönde sınırlı zemin tabakalarına sahip oluşumlardaki anakaya geometrisinin dinamik yüklerin etkisi altında yüzeyde oluşan yer hareketi özelliklerine etkisi, idealleştirilmiş alüvyonel ovaların geometrisine sahip modellerin bir ve iki boyutlu dinamik analizle incelenmiştir. Analizlerde zemin tabakası olarak kil (ok katı, katı ve yumuşak) ve kum (sıkı, orta sıkı ve gevşek) seçilmiştir.

Bir ve iki boyutlu analizler sonuçlarının karşılaştırılabilmesi amacıyla bu araştırmada iki boyutlu analizlerin yanı sıra, yapılan modellerin farklı noktalarında tek boyutlu analizler yapılmıştır.

Tabakalı zeminlerden oluşan modellerin yüzeyinde farklı noktalarında tek boyutlu profiller seçilerek tek boyutlu analizler de yapılmıştır. Tek ve iki boyutlu dinamik analizlerden elde edilen sonuçları kullanarak ovaların şiddet faktörü eğrilerinin elde edilmesi ve ova yüzeyi boyunca tek ve iki boyutlu analizlerden elde edilen sonuçların arasındaki farkın anlaşılmasına çalışılmıştır. Çalışma kapsamında varsayımsal modeller üzerinde gerçekleştirilen analizlere ek olarak geçmişte meydana gelen depremler sırasında büyük hasarların ortaya çıktığı Dinar Ovası'nın iki boyutlu sismik tepki analizleri yapılmıştır. Yatay yönde sınırlı ve eğimli anakaya sınırına sahip olan Dinar Ovası'nın farklı bölgelerinde meydana gelen dinamik tepkinin anakaya mostrasından uzaklığa bağlı değişimi elde edilerek ovanın kenarlarında meydana gelen yüksek hasar dağılımına neden olan etkenler ortaya konmaya çalışılmıştır.

Hipotetik modeller üzerinde yapılan dinamik analizlerde farklı maksimum ivme, süre ve frekans içeriğine sahip birçok gerçek kuvvetli yer hareketi kayıtları kullanılmıştır. Böylece farklı anakaya eğimine sahip ovaların farklı özelliklere sahip sismik yüklerin etkisi altında gösterdiği davranışın anlaşılması sağlanmıştır.

1.2 Kapsam

Bu çalışmada anakaya eğimi ve ova geometrisinin deprem hareketine etkisinin incelenmesi için idealleştirilmiş hipotetik modeller kullanılarak bir ve iki boyutlu dinamik analizler yapılmıştır. Ayrıca, yeterli miktarda jeolojik ve geoteknik bilgileri ve anakaya geometrisi belli olan Dinar Ovası'nın idealleştirilmiş modelinin dinamik analizi yapılmıştır.

Bu çalışmanın ikinci bölümünde, literatürde alüvyonel ova/vadi geometrisinin zemin büyütmesine etkisi üzerinde yapılmış olan çalışmaların özetleri sunulmaktadır. Başta yerel etkilerin araştırılma yöntemleri olmak üzere yerel etkilerin deneysel ve analitik araştırma yöntemleri anlatılmaktadır. Üçüncü Bölümde bu araştırmadaki dinamik analizlerde kullanılan modellerin özellikleri, Dördüncü Bölümde ise dinamik analiz için kullanılan yöntemin tanıtımı sunulmaktadır. Daha sonra, üç başlık altında olmak üzere anakaya eğiminin tek tabakalı kil, tek tabakalı kum ve üst tabakası farklı kilden oluşan ovaların dinamik davranışından elde edilen sonuçlar verilmektedir. Sekizinci bölümde Dinar Ovası'nın dinamik analizinden elde edilen sonuçlar sunulacaktır. Son ve dokuzuncu bölümde ise sonuçlar ve tartışma bölümü yer almaktadır.

2. YEREL ZEMİN KOŞULLARININ VE ANAKAYA EĞİMİNİN ZEMİN BÜYÜTMESİNE ETKİSİ

2.1 Giriş

Teorik olarak, zemin büyütmesi terimi deprem dalgalarının yeryüzüne yakın yumuşak tabakalardan geçerken genliğinde meydana gelen artışı ifade etmektedir. Bu artış ortamın yoğunluğu ile kayma dalgası hızının çarpımı olarak tanımlanan yeryüzüne yakın tabakaların empedansının birbirinden farklı olduğundan kaynaklanmaktadır. Sönümlenmeden dolayı kaybolan enerji ihmal edilerek ve enerji korunumu yasasını kullanıldığında basit jeolojik bir durumun zemin büyütmesi hesaplanabilmektedir. Sismik enerji akımı, $E(t)$, bir sismik ışın boyunca aşağıdaki bağıntı ile tanımlanır (Şafak, 2001).

$$E(t) = \frac{1}{2}(\rho V)x^2(t) \quad (2.1)$$

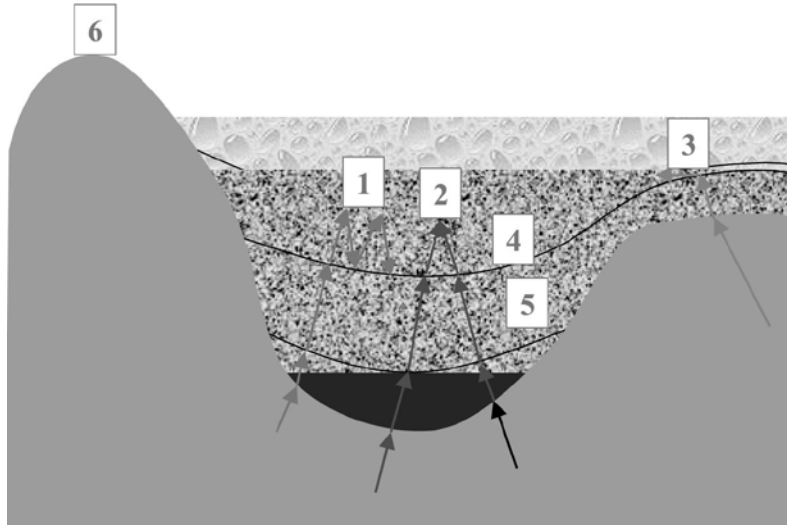
Denklem 2.1’de ρV empedans, ρ kütle yoğunluğu, V kayma dalgası hızı ve $x(t)$ sismik sarsıntısı hızıdır. Dalganın ortamda yayılması sırasında toplam enerji miktarının sabit kalmasını sağlamak için, empedanstaki herhangi bir düşüş sarsıntı hızındaki artış ile telafi edilmelidir. Empedansın gittikçe ρV_1 ’den ρV_2 ’ye değiştiğinde enerji akımı eşitliğinden zemin büyütmesi (A) aşağıda verilen 2.2 denklemi ile ifade edilmektedir.

$$A = \left[\frac{x_2(t)_{maks}}{x_1(t)_{maks}} \right] = \sqrt{\frac{(\rho V)_1}{(\rho V)_2}} \quad (2.2)$$

Empedans değişiminin ani olduğu durumda, örneğin, iki farklı zemin tabakasının bulunduğu, zemin büyütmesi şöyle beyan edilebilir (Şafak, 1995).

$$\left[\frac{x_2(t)_{maks}}{x_1(t)_{maks}} \right] = \frac{(\rho V)_1}{(\rho V)_2} \quad (2.3)$$

Uygulamada ise zemin büyütmesi empedans farklılığı veya herhangi bir nedene bakmaksızın iki bölgenin yer hareketi arasındaki fark olarak tanımlanmaktadır. Bu farkın oluşmasına neden olan etkenlerin arasında dalga odaklanması, doğrultu etkisi, ova-vadi geometrisi ve topoğrafyanın etkisi gibi faktörler de yer almaktadır. Şekil 2.1’de zemin büyütmesine neden olan faktörler verilmektedir. Şekilde de görüldüğü gibi, empedans farklılığından oluşan rezonans (1), yüzeyaltı topoğrafyanın etkisinden kaynaklanan dalga odaklanması (2), cisim dalgalarının yüzey dalgalarına dönüşümü (3), zeminin su muhtevası (4), zemin özelliklerinin ortamdaki rasgele dağılımı (5) ve yeryüzü topoğrafyasının zemin büyütmesine etkiyen faktörler olarak tanımlanmaktadır (Şafak, 2001).



Şekil 2.1 : Zemin büyütmesine etkiyen faktörler (Şafak, 2001).

2.2 Yerel Etkilerin Araştırılma Yöntemleri

Japonya’da 1930’larda yüzeye yakın yumuşak zemin tabakalarının kuvvetli yer hareketine etkisi fark edilerek yerel koşulların zemin büyütmesine etkisi birçok araştırmaya konu olmuştur. Bu durumda, yapılan birçok araştırmada bir bölgede deprem nedeniyle meydana gelen hasar ile bölgenin geoteknik ve jeolojik özellikleri arasında bir bağlantının kurulabilmesine çalışılmıştır. Aki ve Larner (1970) tarafından yapılan ilk çalışmalardan sonrasında zemin büyütmesinin fiziksel temelini anlaşılmaması için konu üzerinde Trifunac (1971, 1973) ve Bard ve Bouchon (1980a, b) tarafından birçok araştırma yapılmıştır. Yapılan araştırmaların birçoğunun odak noktasını ikinci boyut ve topoğrafik düzensizliklerin etkileri teşkil etmektedir. Mexicocity 1985 depremi sırasında alınan kayıtların incelenmesinden bazı

bölgelerdeki zemin büyütmesinin tek boyutlu analizden elde edilen sonuçlardan daha büyük olduğu görülmüştür (Kawasae ve Aki, 1989). Bu ve benzer araştırmaların sonuçları ikinci ve üçüncü boyutun yeryüzü hareketine önemli etkisinin olduğunu ortaya çıkarmaktadır.

Yerel etkilerin araştırılmasında kullanılan yöntemler analitik ve deneysel yöntemler olmak üzere iki türlü yapılmaktadır. Deneysel yöntemlerle yapılan araştırmalarda kuvvetli veya zayıf yer hareketleri ya da mikrotremor sonuçlarının değerlendirilmesi söz konusu olmaktadır. Analitik yöntemlerde ise yerel etkilerin bir, iki veya üç boyutlu modelleme yöntemleriyle araştırılması yapılmaktadır. Bu çalışmanın amacı zemin büyütmesine anakaya ve topoğrafyanın etkisi olduğundan yapılan literatür taramasında konuyla ilgili önemli araştırmaların özeti sunulmaktadır.

2.2.1 Deneysel yöntemlerle zemin büyütmesinin tahmini

Bilindiği gibi, yerel etkilerin araştırılmasında kullanılan yöntemler analitik ve deneysel yöntemler olmak üzere iki dalda yapılmaktadır. Uzun bir zaman yerel etkilerin araştırılması sadece deprem sonrası arazideki gözlemler veya bir depremin farklı noktalardaki kayıtlarının karşılaştırmasını kullanan niteliksel araştırmalar ile sınırlı idi.

Yerel etkilerin deneysel veya arazi yöntemleriyle araştırılması gerçek deprem, yapay hareket veya mikrotremor kayıtlarının analiz edilmesiyle yapılmaktadır. Bir sahanın en güvenilir zemin büyütmesi araştırılması o sahadaki gerçek deprem sırasındaki kayıtların analizinden elde edilmektedir. Geoteknik deprem mühendisliği literatüründe deprem kayıtlarını kullanarak zemin büyütmesinin tahmin edilmesi için çeşitli yöntemler önerilmektedir. Bu yöntemler aşağıdaki gibi sıralanabilir (Şafak, 2001):

- 1) Kuvvetli yer hareketi kayıtlarından zemin büyütmesinin tahmin edilmesi,
- 2) Spektral oranlardan zemin büyütmesinin tahmin edilmesi,
- 3) Zemin büyütmesinin bir katsayı ile hesaplara dahil edilmesi,
- 4) Doğrusal olmayan zemin büyütmesinin deneysel incelenmesi.

2.2.1.1 Kuvvetli yer hareketi kayıtlarından zemin büyütmesinin tahmin edilmesi

Zemin büyütmesinin nitelendirilmesinde kullanılan popüler bir yöntem genelleştirilmiş dönüşüm tekniğinin bir depremin veya artçısının birçok noktadaki

kayıtlarına uygulanmasıdır. Bu yöntemin temel kabulü $U_{ij}(f)$ olarak tanımlanan bir noktadaki Fourier spektrumunun yeryüzünde kaydedilmiş hareketin frekans tanım alanındaki kaynak spektrumu, zemin büyütmesi ve doğrultu etkisi olmak üzere üç parametrenin çarpımından oluşmasının varsayılmasıdır. Böylece yeryüzünde kaydedilmiş hareket aşağıdaki bağıntı ile ifade edilmektedir (Hartzell, 1992):

$$U_{ij}(f) = S_i(f) \cdot R_j(f) \cdot P_{i,j}(f) \quad (2.4)$$

$S_i(f)$, $R_j(f)$ ve $P_{i,j}(f)$, sırasıyla kaynak hareketinin spektrumu, zemin büyütmesi ve doğrultu etkisini göstermektedir. Bu yöntemde dikkate alınması gereken konu zemin büyütmesi faktörünün farklı depremlerden bağımsız olmasıdır. Böylece, elde edilen zemin büyütmesinin doğrusal olduğu varsayılmaktadır. Bu yöntem bir bölgenin zemin büyütmesini sadece yaklaşık ve ortalama bir tanımlama ile tahmin etmektedir.

2.2.1.2 Spektral oranlardan zemin büyütmesinin tahmin edilmesi

Deprem kayıtlarının zemin büyütmesinin nitelendirilmesinde kullanan başka bir yöntem de Borchardt (1970) tarafından önerilen spektral oran yöntemidir. Spektral oran yeryüzü kaydının Fourier spektrumunun genliğinin referans anakaya kaydının spektrumunun genliğine oranı olarak tanımlanmaktadır. Kullanılan kayıtlar aynı depremin farklı yerlerde kaydedilmiş kayıtları olmalıdır. Bu yöntem sadece iki saha arasındaki mesafenin depremin kaynağına göre merkez üstü mesafesinden çok daha küçük olduğu durumda geçerli olmaktadır. Böylece iki mevkiin yer hareketi arasındaki fark sadece yerel etkilere sınırlı kalmaktadır. $Y(t)$ ve $X(t)$, sırasıyla bir deprem sırasında kaydedilmiş yeryüzü ve anakaya hareketinin ayrık-zaman serisi ile tanımlandığında $R(f)$ ile verilen spektral oranı aşağıdaki bağıntıdan hesaplanabilmektedir.

$$R(f) = \frac{\sum_{j=1}^{2k+1} W(j) |Y(f - k - 1 + j)|}{\sum_{j=1}^{2k+1} W(j) |X(f - k - 1 + j)|} \quad (2.5)$$

Bu bağıntıda $Y(f)$ ve $X(f)$, sırasıyla $y(t)$ ve $x(t)$ kayıtlarının Fourier dönüşümüdür. $W(j)$ de $(2k+1)$ noktadan oluşan simetrik düzlem penceresinin

noktalarıdır. Teorik olarak, bağıntı 2.5'te verilen oran $C(f)$ ile tanımlanan çapraz spektral oranı olarak alternatif bir ifadeyle de verilebilmektedir.

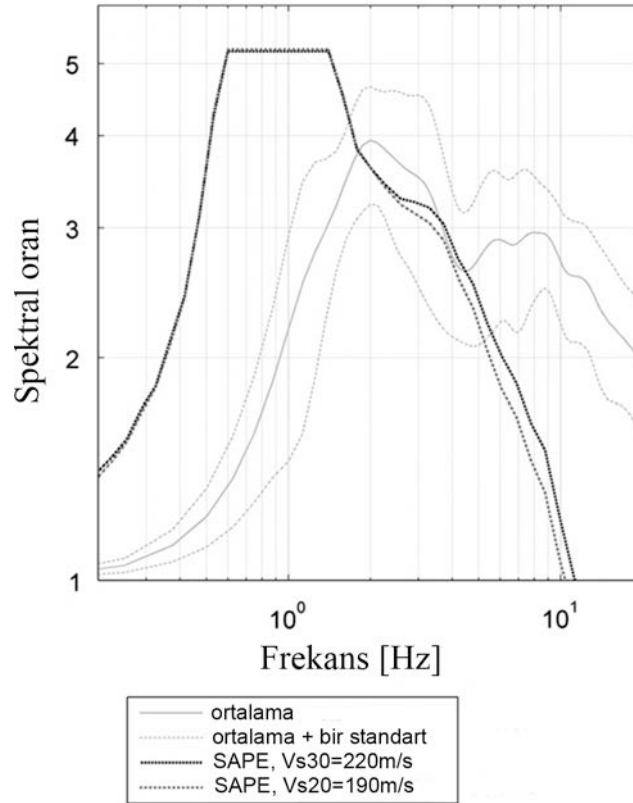
$$C(f) = \frac{\sum_{j=1}^{2k+1} W(j) |Y(f-k-1+j) X^*(f-k-1+j)|}{\sum_{j=1}^{2k+1} W(j) |X(f-k-1+j)|^2} \quad (2.6)$$

Zemin büyütmesi araştırılmalarında bazı araştırmacılar tarafından standart Fourier spektrumu yerine davranış spektrumu kullanılmaktadır. Bu yöntemin temel sorunu elde edilen sonuçların ölçeklendirilmemesinden kaynaklanmaktadır. Zira bir sahada elde edilen spektral oran o sahadaki yer hareketi kaydının özelliklerine bağlı olduğundan dolayı, deprem sırasında sahanın lineer davrandığı durumda bile, aynı sahadaki başka deprem kaydından elde edilen orandan farklı olabilmektedir.

Basitliği nedeniyle git gide daha popüler hale gelmekte olan diğer bir spektral oran yöntemi zemin büyütmesi tahmininde sadece bir istasyondaki kaydın kullanıldığı yöntemdir. Nakamura yöntemi olarak da bilinen bu yöntemde zemin büyütmesinin tahmininde bir noktada kaydedilen (H/V) yer hareketinin yatay genliğinin düşey genliğine olan oranı kullanılmaktadır. Derin yumuşak alüvyonlardan oluşan bölgelerin haricinde, bu yöntem genellikle sahanın rezonans frekansının tahmininde başarılı olmaktadır. Ancak bu frekanstaki genliğin tahmininde yetersiz olduğu ortaya çıkmaktadır (Nakamura, 1989).

Cadet ve diğ. (2011) tarafından yapılan bir araştırmada Barcelona kentinin yerel etkileri üzerinde değerlendirilme yapılmıştır. Bu araştırmanın asıl amacı kentin yeraltı özellikleri ve jeofizik bilgilerini elde ederek bu bulguların Barcelona kentinin mikrobölgelemesi projesinde kullanılmasıdır. Projede kullanılan veriler arazide yapılan mikrotremor ve SPT deneyleri sonuçlarından elde edilmektedir. Değerlendirilmeler sonucu bütünleşmiş veriler daha sonra zemin büyütmesi tahmininde kullanılan SAPE (Site Amplification Prediction Equation) fonksiyonunun oluşturulmasında kullanılmıştır. SAPE fonksiyonu Japonların yaptıkları araştırmalara dayalı olarak 0.25 ile 20 Hz frekanslar arasındaki zemin büyütmesinin tahmininde kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntem tamamen kayma dalgası hızı (V_{sz}) ve sistemin doğal frekans (f_0) bilgileri üzerine kurulmaktadır. Ayrıca, diğer yöntemlere göre zemin büyütmesinin tahmininde her noktadaki kayma dalgası hızının bilinmesinin

gerekli olmadığı bu yöntemin avantajı olarak bilinmektedir. SAPE yöntemiyle elde edilen zemin büyütmesi fonksiyonu daha önceden tek boyutlu modelleme ve eşdeğer lineer yönteminden elde edilen transfer fonksiyonuyla karşılaştırılmıştır. Şekil 2.2’de kentin yumuşak zemin yapısına sahip olan bölgesinde iki yöntem ile hesaplanmış olan zemin büyütmesi fonksiyonları verilmektedir. Benzer uygulamalar dünyadaki birçok kentte de yapılmıştır (Sun ve diğ., 2014; Mittal ve diğ., 2013; Osorio ve Maroyal, 2013).



Şekil 2.2 : SAPE ve eşdeğer lineer yöntemleriyle hesaplanmış olan zemin büyütmesi fonksiyonları (Cadet ve diğ., 2011).

Şekilde görüldüğü gibi, düşük frekanslarda SAPE yönteminden elde edilen büyütme tek boyutlu yönteminden elde edilen sonuçlara göre daha büyük değerler vermektedir. Yöntemlerin doğal frekans tahminine bakıldığında, SAPE yöntemi diğer yönteme göre daha küçük rezonans periyodu tahmin etmektedir. Bu projede daha güvenilir sonuçlara ulaşabilmek için ileri bilgisayar imkânlarının sağlandığı ve zaman kısıtlılığının olmadığı durumunda iki veya üç boyutlu analizlerin yapılmasının gerektiği tavsiye edilmektedir. Bir sahanın zemin büyütmesinin spektral oranı yöntemiyle tahmin edilmesinde yüzey ve kuyiçi kayıtları da kullanılmaktadır. Bu yöntemin en büyük sorunu kuyudaki kaydın yüzeyden yansıyan dalgalar

etkilenmesi, dolayısıyla gerçek bir transfer fonksiyonunun hatalı tahminine neden olabilmektedir.

2.2.1.3 Zemin büyütmesinin bir katsayı ile tahmin edilmesi

Uygulamada ve tasarım kodlarında yerel koşulların etkisi farklı zemin cinsinden oluşan sahalar için katsayı olarak sabit bir değer ile verilmektedir. Bu katsayı belirli bir frekans bandı üzerinde standart spektral oranların ortalamasından elde edilmektedir. Bu yöntem çapraz spektral oranı yöntemi veya davranış spektral yönteminin sonuçlarına da uygulanabilmektedir. Sayısal olarak, ortalama çapraz spektral oranından elde edilen zemin büyütmesi katsayısının ortalama spektral oranı yönteminden elde edilene göre daha doğru bir tahmin olduğu düşünülmektedir. Bunun nedeni de istenmeyen gürültülerin ortalama çapraz spektral oranının üzerindeki etkisinin daha az olduğuyula alakalı olmaktadır. Bir sahanın zemin büyütmesi katsayısının tahmini için kullanılabilecek diğer bir yöntem ise karelerin karekökü metodunu uygulanması olmaktadır.

2.2.1.4 Lineer olmayan zemin büyütmesi

Bir sahanın dinamik yüklerin etkisi altında gösterdiği doğrusal olmayan davranışı uzun zamandan beri deprem araştırmacıları tarafından fark edilerek incelenmektedir. 1994 Northridge, California depremi sırasında da kuvvetli yer hareketi etkisi altında meydana gelen doğrusal olmayan davranışın incelenmesi imkânı bulunmuştur. Sahanın deprem sırasında lineer olmayan davranışının araştırılması için çeşitli teknikler kullanılmaktadır. Bir bölgede varsayılan deprem kaynağı ve dalga yayılımı modelleri göz önüne alınarak gerçekte kaydedilen hareketlerle modelleme sonuçları arasındaki farkın çok fazla olduğu durumda sahanın nonlinear davrandığı kabul edilmektedir. Hartzell (1994)'in yaptığı çalışmada lineer olmayan davranışın meydana gelmesinin belirlenmesi için sahanın zayıf ve kuvvetli yer hareketleri etkisi altındaki kayıtları ile anakaya hareketinin spektral oranı kullanılmaktadır. Kuvvetli yer hareketlerinden elde edilen sonuçların zayıf hareketlerdekinden farklı olduğunda sahanın nonlinear davrandığı ortaya çıkmaktadır.

2.2.2 Analitik yöntemlerle zemin büyütmesinin tahmini

Yerel zemin koşullarının anakaya hareketine olan etkisi birçok araştırmacı tarafından incelenmiştir. Yapılan araştırmaların birçoğunun odak noktası ikinci boyut ve topoğrafik düzensizliklerin etkileri olmaktadır.

Yerel etkiler konusunda yapılan birçok araştırmaya göre, anakaya hareketini etkileyen önemli parametreler dörde ayrılabilir; Birincisi dalganın sert bir tabakadan daha yumuşak tabakaya geçerken yerdeğiştirme genliğinde meydana gelen değişimdir. Bu etki iki farklı zemin tabakası arasında olan empedans farklılığından kaynaklanmaktadır. Empedans farklılığından dolayı oluşan etkiler birinci boyut etkisi olarak da tanımlanmaktadır. İkinci faktör zemin tabakalarının doğal frekanslarında gösterdikleri mekanikal rezonanstır. Üçüncü parametre zeminin gösterdiği lineer olmayan davranışla alakalıdır. Bu durumda büyük genlikli yerdeğiştirmelerin etkisi altında zeminin rijitliği azalarak büyük frekansların hafifleşmesine neden olmaktadır. Son etki ise topoğrafik düzensizliklerin etkisi, anakaya eğimi ve zemin tabakalarının yanal süreksizliklerinden kaynaklanan etkilerdir.

Bilindiği gibi, yerel etkilerin araştırılmasında kullanılan yöntemler analitik ve deneysel yöntemler olmak üzere iki dalda yapılmaktadır. Analitik yöntemler yerel etkilerin bir, iki veya üç boyutlu modellenme yöntemleriyle araştırılmasını kapsamaktadır. Yerel etkilerin modellenmesi için birçok araştırmacı tarafından çeşitli sayısal yöntemler kullanılmaktadır. Modellemede kullanılan analitik yöntemler şöyle özetlenebilmektedir (Sanchez-Sesma, 1995):

- 1) Dalga fonksiyonlarının çok kutuplu açılımları;
- 2) Işın teorisi,
- 3) Aki-Larner yöntemi,
- 4) Sonlu elemanlar yöntemi,
- 5) Sonlu farklar yöntemi,
- 6) Sınır elemanlar yöntemi,
- 7) Hibrit yöntemler,
- 8) Asimptotik yöntemler.

Yukarıdaki yöntemlerin her biri kendi avantajları veya dezavantajları yüzünden zamanla daha yaygın veya daha az kullanılmaktadır. Geçmişte önemli olan Aki-Larner yöntemi günümüzde yerini daha çok kullanılan sınır elemanları, sonlu elemanlar, sonlu farklar veya hibrit yöntemlerine vermektedir. Yapılan araştırmalara göre, yerel etkiler konusunda yapılan analizlerden elde edilen en gerçekçi sonuçlar sonlu farklar yöntemiyle yapılan çalışmalardan elde edilmektedir. Bu konu Frankel (1993) tarafından San Bernardo, California deresinin deprem sırasındaki sismik tepkisi üzerine yapılan çalışmada ortaya konmuştur.

2.2.2.1 Aki-Larner yöntemi

Aki ve Larner (1970) tarafından önerilen yöntemde yansıma ve kırılma ortamı belirsiz kompleks genlikli düzlem dalgalarının bindirmesinden ve onların farklı yönlerde yayılmasıyla modellenmektedir. Ortamda oluşan toplam hareket ise yatay dalga sayılarının entegrasyonundan elde edilmektedir. Bu yöntemin elastik ortamların modellenmesinde gösterdiği esneklikten dolayı alüvyonel vadilerin dinamik analizinde geniş çapta kullanılmıştır. Bard ve Bouchon (1980a, b) tarafından yapılan araştırmada Aki-Larner yöntemi kullanılarak alüvyonel vadilerde P, SV ve SH dalgaların etkisi altında meydana gelen dinamik davranışın zaman tanım alanındaki modellenmesi yapılmaktadır. Bu yöntemin yapısal yönden en zayıf noktası ortamdaki düzensizliklerden yansıyıp veya kırılarak yukarıya doğru ilerleyen dalgaların modellenememesidir. Dolayısıyla, düzensizliklerin açısının büyümesi veya ovaya çarpan dalganın dalga boyutunun küçülmesiyle sistemde dağılan dalgaların genliğindeki dengesizlikle ortaya çıkan hata hızla büyümektedir. Bu da modellenen alüvyonel vadinin elastik özelliklere sahip olan iç ve dış ortamını doğrudan etkilemektedir. Bu hatayı önlemek için tek yolu modellemenin Aki-Larner yönteminin sınırları aşmamasıdır. Başka deyimle, yapılan hipotetik modellemelerde düşük frekanslı yüklerin uygulanması ve seçilen ova/vadi geometrisinin nispeten düzgün olmasına uyulması gerekmektedir. Böylece, gerçekte karşılaşılan ve araştırılması gereken birçok ova/vadi geometrisi ve dinamik yükleri frekansları bu yöntemin sınırları dışında kalmaktadır.

2.2.2.2 Sınır elemanları yöntemi

Son yıllarda sınır elemanları yönteminin yerel etkilerin araştırılmasında kullanılmasında büyük bir artış görülmektedir. Bu artışın önemli nedeni ise yüksek

hızlı bilgisayarların yaygın olarak kullanılmasıdır. Sınır elemanları yöntemi aynı zamanda sınır integral denklemleri olarak da bilinmektedir. Bu yöntemde ortamın sınırları içinde bulunan her nokta, ortamın sınırlarında tanımlanan integraller ile tanımlanmaktadır. Sınır elemanları yönteminde yapay sınırların modellenmesinde karşılaşılan güçlükler olmadığından dalga yayılımı problemlerinin araştırılmasında uygun bir yöntem olarak kullanılmaktadır. Ayrıca, bu yöntemin özelliklerinden modellenen problemin boyutunun düşürüldüğü olduğu için modelleme açısından da kolaylıklar sağlamaktadır. Bu yöntemin başka bir avantajı ise sonlu elemanlar yöntemiyle birleşebilmesi ve elde edilen sonuçların doğruluğunun artabilmesidir. Böylece, sonlu elemanlar yöntemi ile modellenecek bölgenin daha küçük seçilebilmesine yol açmaktadır. Sınır elemanları yönteminin elastik dalga yayılımının araştırılmasında Green fonksiyonunun ayrık dalga sayısı (Discrete Wave Number) DWN açılımıyla birleştirilmesi başarılı olduğundan yerel etkilerin araştırılmasında yaygın olarak kullanılmaktadır. Sınır elemanlarının ayrık dalga sayısı açılımıyla kullanılması iki ana yaklaşım ile yapılmaktadır. Bunlardan birisinde sınır entegral denklemleri (direkt yöntem) ve diğerinde tam çözüm sistemi (direkt olmayan yöntem) kullanılmaktadır. Direkt olan sınır elemanlar yönteminde bir ortamda verilen fiziksel değişkenler onların sınırdaki değerlerine bağlanılmaktadır. Direkt olmayan yöntem ise genelde sınırlardaki kaynakların dağılımı olan ara bilinmeyenlere dayanmaktadır.

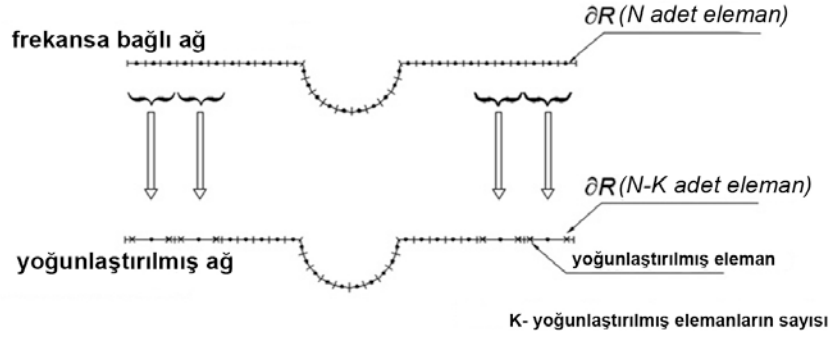
Son zamanlarda, direkt olmayan yöntemin kullanımı avantajlarından dolayı daha yaygın olmaktadır. Bu yaklaşımların uygulamada karşılaşılan temel dezavantajı yüksek hacimli bilgisayarlara gerek duyulması olmaktadır.

Alvarez ve diğ. (2004) tarafından yapılan çalışmada (Direct Boundary Element Method) DBEM yöntemi tabakalı zeminlerden oluşan vadilerin dinamik modellenmesinde kullanmıştır. Bu çalışmada DBEM formülasyonu iki boyutlu yerel etkilerin analizi için geliştirilerek düzlem dalgalarının yeraltı ve yerüstü düzensizliklerden dağılması incelenmektedir. Bu çalışmada kullanılan yaklaşım doğrudan frekans tanım alanında çalışmaktadır. Bu yöntemde modellenmesi gereken bölgenin uzunluğunun (T) topoğrafik düzensizliğin uzunluğuna göre (L) en az 3 katı olarak seçilmesi tavsiye edilmektedir. Böylece, gerçekte karşılanan karmaşık ve büyük çaplı problemlerin analiz imkânı sağlanmaktadır. Bunlarla birlikte, elde edilen sonuçlar bu yöntemin yüksek frekanslı verilerin önemli olduğu sismik risk analizi

gibi araştırmalarda kullanıldığı takdirde bir sũrũ dũzeltmelerin gerektiğini de ifade etmektedir.

Sanchez-Sesma ve diğ. (1993), (Indirect Boundary Element Method) IBEM yũntemini kullanarak tek tabakalı alũvyonel vadilerin iki boyutlu dinamik davranışının analizini yapmıştır. Bu araştırmada elastik yarım uzayda yayılan elastik dalgalarının tek tabakalı sınır kaynakları terimleriyle integrasyon ifadesi kullanılarak P, SV ve Rayleigh dalgalarının etkisi altında topoğrafik dũzensizliklerden kaynaklanan yerel etkileri incelenmiştir. Bu modellemede tam Green fonksiyonunun sayısal ve analitik integrasyonuna dayanan ayrıklaştırma yũntemi kullanılmaktadır. Bu araştırmada kullanılan dalgaların dũzlem olması, elastik yarım uzayın Poisson oranının 0.25 olması ve varsayımsal modelin simetrik olduğu gibi varsayımlara rağmen, yine de dũzensiz topoğrafyanın dinamik tepkinin ȃnemli ȃzelliklerinin yakalamasında başarılı olduğu gȃrũlmektedir. Bu araştırmanın sonuēları zemin bũyũtmesinin dinamik yũklerinin frekansı, dalgaların vadiye ēarpma aēısı ve vadi yũzeyinin farklı noktalarının tepkisinin yũksek derecede değişkenliğine vurgulayarak tũm modellerden elde edilen zemin bũyũtmesi değerlerinin dȃrtten daha kũēũk olduğunu gȃstermektedir.

Rodriguez ve diğ. (2011) tarafından yapılan araştırmada sınır elemanları yũnteminde karelerin karekȃkũ yaklaşımı kullanılarak dalgaların dũzensiz topoğrafyaya sahip ortamda yayılması araştırılmaktadır. Bu ēalıřmada ele alınan dũzensizlikler yarım daire, yarım elips ve ũēgen şeklinde olan vadilerin biēiminden oluşmaktadır. Araştırmacıların asıl amacı direkt olmayan sınır elemanları yũnteminde ortamın ayrıklaştırılmasında yeni bir strateji kullanarak problemin modellenmesinde oluşan denklem ve bilinmeyen sayısının daha aza indirilmesi ve neticede problemlerin ēȃzũmũnde gereken hesap işlemleri ve analiz sũresinin daha aza indirmesidir. şekil 2.3'de karelerin karekȃkũ yaklaşımının ortamın ayrıklaştırılması aşamasında uygulanması verilmektedir. Yerel etkilerin araştırılmasında karşılaşan problemlerin "bũyũk problemler" olarak sınıflandırılması nedeniyle modellemelerde hesap işlemleri ve analiz sũresinin azaltılması ȃnemli olduğundan bu yũntemin ȃrnek problemler ȃzerinde uygulandığında elde sonuēların doğruluğu etkilenmezsiniz modellemede oluşan denklem sayısında %34 azalma gȃrũlmektedir.



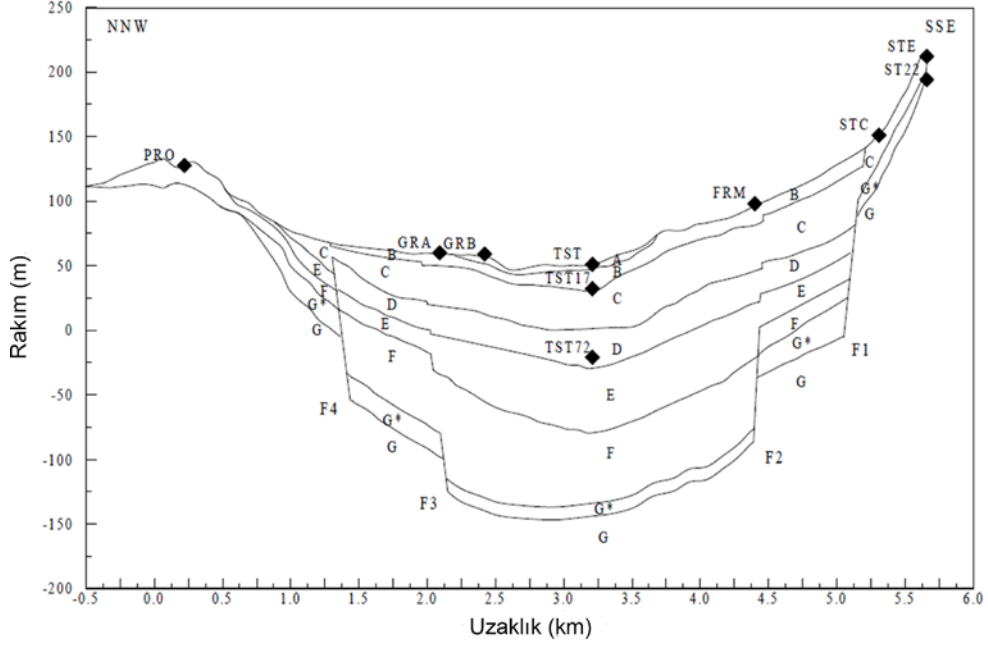
Şekil 2.3 : Rodriguez ve diğ. (2011) tarafından önerilen yöntemin ortamın ayrıklaştırılmasında uygulanması.

2.2.2.3 Sonlu elemanlar ve sonlu farklar yöntemi

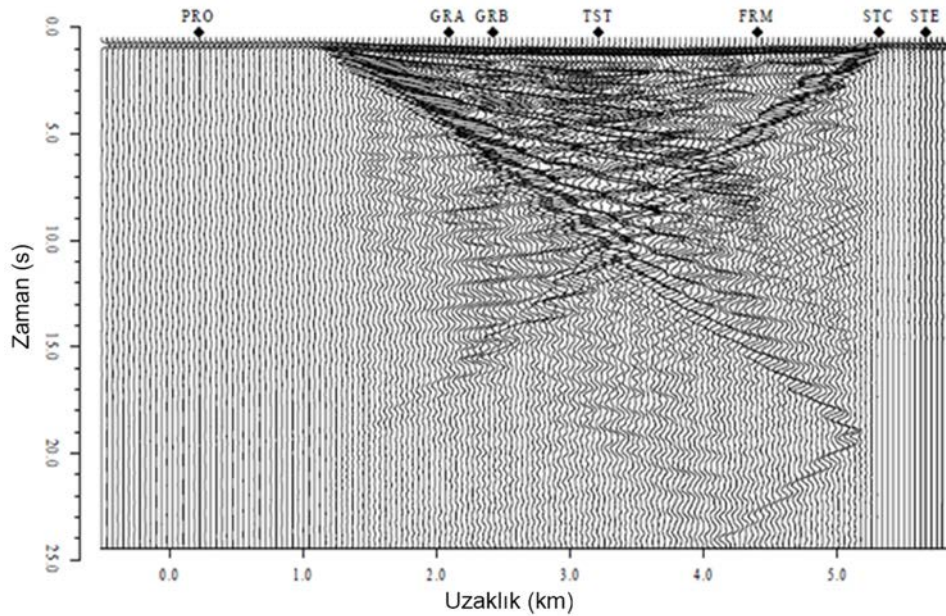
Düzensizlik derecesi yüksek olan geometriye sahip ova/vadilerin doğrusal olmayan dinamik davranışının modellenmesinde sonlu elemanlar ve sonlu farklar yöntemlerin en uygun analiz yöntemler olduğu söylenebilir. Sonlu elemanlar ve sonlu farklar yöntemi deprem sırasında düzensiz topoğrafyaya sahip oluşumlarda meydana gelen cisim dalgalarının yüzey dalgalarına dönüşüm mekanizmasının nicel (sayısal) olarak incelenmesinde başarıyla kullanılmaktadır. Bu yöntemlerin topoğrafik düzensizliklerin modellenmesinde gösterdikleri esneklikler araştırmacıların dikkatini çekmektedir. Buna göre, sonlu elemanlar ve sonlu farklar yöntemlerinin karmaşık oluşumların modellenmesinde ortaya koydukları bazı önemli özelliklerin sınır elemanları yönteminde henüz geliştirilmemiştir. Diğer yandan karmaşık problemlerin sonlu farklar yöntemiyle analizinin sınır elemanları yöntemine göre daha pahalı olduğu bilinmesine rağmen, bir sahanın gerçek dinamik davranışının analizi için yöntem seçiminde sonlu farklar yöntemi çoğu zaman ilk tercih olduğu görülmektedir.

Konuyla ilgili diğer bir araştırma da Chavez ve diğ.(2000) tarafından Euroseistest bölgesi üzerinde yapılmıştır. Bu çalışmada Euroseistest'in iki boyutlu dinamik davranışı bölgede meydana depremler sırasındaki kayıtlar ve bölgenin iki boyutlu analizinin sonuçlarını kullanarak incelenmektedir. Araştırmanın önemli sonuçlarından Euroseistest gibi yeraltı düzensizliğin bulunduğu oluşumlarda frekans tanım alanında yapılan analizlerin yetersiz olduğu ve analizlerin zaman tanım alanında yapılmasının gerektiğini göstermektedir. Son senelerde bölge üzerinde çalışan araştırmacıların çabalarının birçoğu Euroseistest bölgesinin detaylı ve güvenilir yeraltı haritasının belirlenmesine harcanmaktadır. Şekil 2.4'de Euroseistest bölgesinin kesiti Şekil 2.5'de ise zaman tanım alanından elde edilen yeryüzü hareketi

kayıtları verilmektedir. Bölgenin nümerik modellenmesini zorlaştıran faktörlerden birisi bu bölgenin geometrik açıdan aşırı düzensiz olduğudur. Bölgenin aşırı düzensiz olma problemini aşabilmek amacıyla, zaman tanım alanında SH dalgası yayılımını mümkün kılan bir sonlu farklar yöntemi modeli geliştirilmiştir.



Şekil 2.4 : Euroseistest bölgesinin yeraltı haritası (Chavez ve diğ., 2000).



Şekil 2.5 : Zaman tanım alanında elde edilmiş kayıtlar (Chavez ve diğ., 2000).

Bu şekilde ova yüzeyi boyunca ilerleyen yüzey dalgaları açıkça görülmektedir. Ayrıca, anakayaya uygulanan 0.4 saniyelik dinamik hareketin ova yüzeyine vardiktan sonra titreşim süresinin uzaması da açıkça ortaya çıkmaktadır. Sonuçların

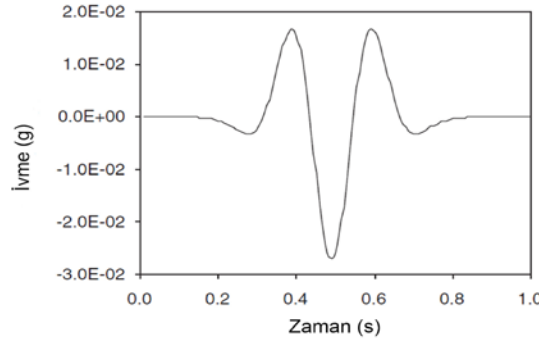
incelenmesinden, meydana gelen maksimum yerdeğiştirme genliğinin her zaman düşeyde ilerleyerek yüzeye varan dalgalara ait olmadığı, lakin ortamda oluşan yüzey dalgalarına ait olduğu da görülmektedir. Ayrıca, bu araştırmada Euroseistes bölgesindeki depremler sırasında yapılan kayıtların dikkatlice incelenmesinden nümerik analizlerde görülen yüzey dalgalarının izinin bulunmasına çalışılmıştır. Elde edilen sonuçlar genelde yerel etkilerin araştırılmasında frekans tanım alanında çalıştığından, bu yöntemlerin iki boyutlu oluşumların analizi için uygun olmadıkları ortaya çıkmaktadır. Bir de, bölgenin yatay tabakalardan oluşan kısmının üzerindeki kayıtların incelenmesinden ovanın bu kısımlarında da tek boyutlu analizden elde edilen sonuçların gerçekçi olmadığı görülmektedir. Bu araştırmada düşük kuvvetli depremlerin kullanılması nedeniyle, elde edilen sonuçların sadece lineer durumlar için geçerli olduğu vurgulanmaktadır.

Yerel etkilerin incelenmesi konusunda Frankel (1993) tarafından sonlu farklar yönteminin kullanıldığı bir araştırmada San Bernardino vadisinin üç boyutlu dinamik davranışının modellenmesi yapılmıştır. Sonuçlara göre yerel etkiler konusunda yapılan analizlerden elde edilen en gerçekçi sonuçlar sonlu farklar yöntemiyle yapılan analizlerden elde edilmiştir.

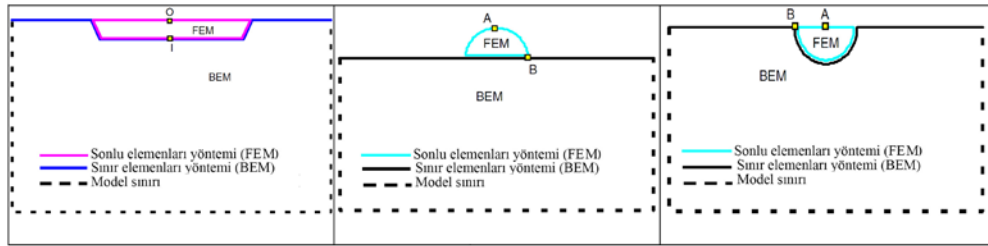
2.2.2.4 Hibrit metotlar

Literatürde yerel etkilerin araştırılmasında kullanılan diğer bir analitik yöntem hibrit yöntemleridir. Genelde, bu tip araştırmaların amacı farklı yöntemlerin bir arada kullanılmasıyla yöntemlerin zayıf noktalarının takviyesi veya farklı yöntemlerin avantajlarının bir arada kullanılması olduğundan elde edilen sonuçların doğruluğunu etkilemeksizin problemlerin analiz süresinin düşürülmesi planlanmaktadır. Son yıllarda, bu konuda yüksek başarılarla imza atan hibrit yöntemlerden sınır elemanlar/sonlu elemanlar yöntemidir. Kamalian ve diğ. (2006) tarafından yapılan araştırmada ova ve tepe gibi topoğrafik düzensizliklerin iki boyutlu dinamik tepkisi BE/FE hibrit yöntemini kullanarak yapılmaktadır. Bu araştırmanın önemli özelliği bir hipotetik modelin P ve SV gibi düzlem dalgalarının bir aradaki etkisi altındaki zemin büyütmesinin zaman tanım alanında modellenmesidir. Araştırmanın temel amacı ise iki boyutlu düzensizliklerin dinamik analizinde kullanılabilen yeni bir yaklaşımın geliştirilmesi olmaktadır. Bilindiği gibi, zaman tanım alanında yapılan analizlerin önemli bir avantajı dalganın doğrusal olmayan yayılımının

incelenmesinin imkânını sağlayarak zeminin dinamik tepkisinin zamanla değişiminin doğrudan elde edilebilmesidir. Bu araştırmada anakayaya etkiyen gerçek deprem kaydı yerine dinamik yükü olarak Ricker palsının kullanılmasının nedeni farklı frekans özelliğine sahip yüklerin etkisinin araştırılması imkânının sağlanmasıdır. Şekil 2.6’da dinamik yükü olarak kullanılan Ricker palsı dalgası ve Şekil 2.7’de kullanılan hipotetik modellerin biçimi ve hibrit yöntemiyle ayrıştırılması verilmektedir.



Şekil 2.6 : Kamalian ve diğ. (2006) tarafından dinamik yükü olarak kullanılan Ricker palsı.



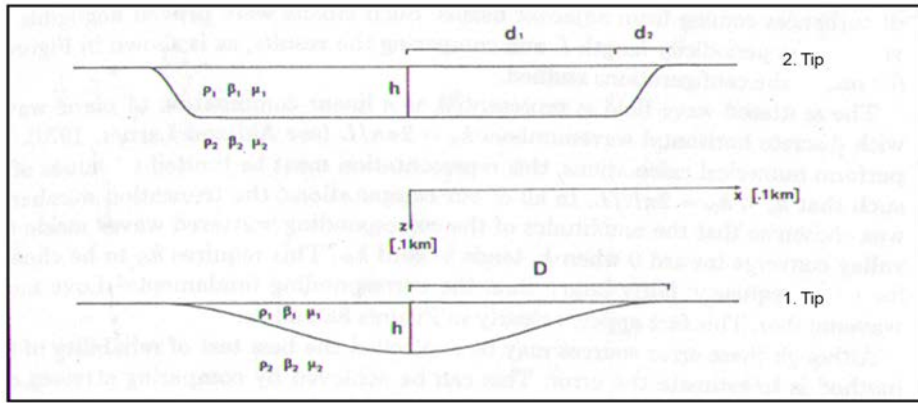
Şekil 2.7 : Kullanılan hipotetik modellerin hibrit metoduyla ayrıştırılması (Kamalian ve diğ., 2006).

Bu araştırmadan elde edilen sonuçlar belli bir dikkat düzeyine ulaşmak için hibrit sınır elemanları/sonlu elemanlar yönteminde kullanılan zaman adımının sınır elemanları yöntemindekine göre %50 daha az olduğunu göstermektedir. Ayrıca, ovaya etkiyen dalga boyutunun düzensizliğin genişliğinin 1/8’inden daha küçük olduğu durumda topoğrafik düzensizliğin zemin büyütmesine etkisinin önemli olduğu ifade edilmektedir (Kamalian ve diğ., 2006).

2.3 Anakaya Eğimi ve Topoğrafyanın Zemin Büyütmesine Etkisi

Depremler sırasında yerel koşulların ve jeolojik düzensizliklerin yeryüzü hareketine etkileri birçok araştırmacı tarafından incelenmiştir (Beyen, 1997; Paolucci, 1999; Rovelli ve diğ., 2001; Faccioli ve diğ., 2002; Assimaki ve Gazetas, 2004; Assimaki

ve Jeong, 2011). Bu araştırmalar genelde yeraltı düzensizlikler ve yeryüzü topoğrafyanın etkisi olmak üzere iki farklı durum için yapılmaktadır. Bard ve Bouchon (1980 a, b) tarafından yapılan araştırmada alüvyonel vadilerin P, SV ve SH dalgalarının etkisi altındaki dinamik tepkisi araştırılmıştır. Yapılan modellemede dalgaların eğimli anakayadan yansıma ve kırılmasının incelenmesi için Aki-Larner yönteminin zaman tanım alanındaki ifadesi kullanılmaktadır. Bu araştırma iki bölümde yapılmaktadır. Birinci bölümde SH dalgası ikincisinde ise P ve SV dalgaları kuvvetli yer hareketi olarak modellenen vadilere uygulanmaktadır. Böylece, SH dalgalarının etkisi altında oluşan Love yüzey dalgası ve P ile SV dalgaları etkisi altında meydana gelen Rayleigh dalgasının oluşmaları ve bu dalgaların ovadaki zemin büyütmesine etkileri incelenmektedir. Şekil 2.8’de, kullanılan hipotetik modellerin geometrik biçimleri verilmektedir. Bu çalışmada kullanılan modellerin biçimi farklı etkilerin incelenebilmesi doğrultusunda seçilmektedir. Sismik dalgaların odaklanmasının araştırılması amacıyla tek dönüşlü kosinüs biçimli bir model (birinci tip) ve yüzey dalgaların oluşmasının incelenmesi için de kenarlarında yarım dönüşlü kosinüs biçimli hipotetik model (ikinci tip) seçilmiştir. Hipotetik modellerin geoteknik özelliklerinin seçimi düşük ve büyük empedans farkından kaynaklanan etkilerin incelenebilme imkanını göz önüne alarak yapılmıştır.

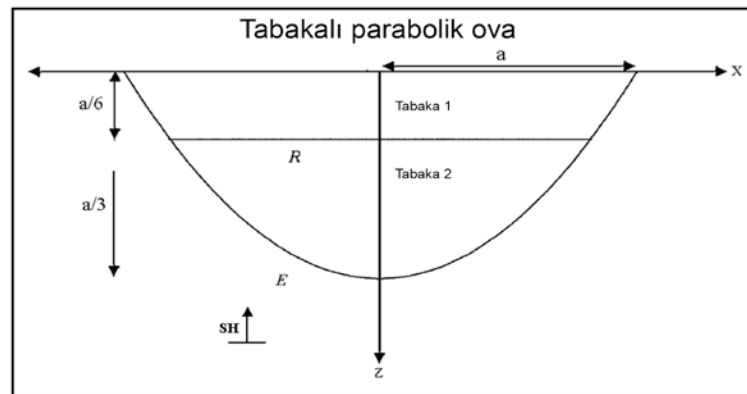


Şekil 2.8 : Bard ve Bouchon (1980 a)’un araştırmasında kullanılan vadi geometrisi.

Bu yöntem ile modellenen ovaların yüzeyinde SH dalgasının etkisi altında meydana gelen hareketler FD, FE ve ışın teorisi yöntemlerinden elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmaktadır. Bu araştırmada önemli bir etken olarak bilinen anakaya ile zemin tabakası arasındaki kayma dalgası hızı farkının ovaların yeryüzü hareketine etki de incelenmektedir. Sonuçlar, meydana gelen Rayleigh dalgasının genliğinin önemli derecede anakaya ile zemin arasındaki kayma dalgası hızı farkı, vadi biçimi

ve dinamik yükü olarak kullanılan dalga türünden (P ve SV) etkilendiğini göstermektedir. Buna ek olarak, Rayleigh dalgasının birinci veya ikinci modunun hakim olduğu durumlarda vadiye çarpan dalganın frekansı ve açısı ile alakalı olduğunu ortaya koymuştur. Sığ vadilerin yüzeyinde meydana gelen rezonans modu P dalgasından fazla SV dalgasından etkilenmektedir. Elde edilen sonuçlara göre, SH dalgasının etkisi altında zemin tabakalarının doğal frekansına yakın titreşim şartları altında, Love dalgalarının etkisinin üstün olduğu görülmektedir. Anakaya ve zemin tabakası arasındaki empedans farkının büyük olduğu durumda yüzey dalgaların vadi kenarlarından defalarca yansıması sonucu yüzeydeki titreşim süresinin anakaya hareketinin süresinden daha büyük olduğu görülmektedir. Düşük empedanslı modellerde ise, yüzey dalgaların oluşması parazit sinyallerin meydana gelmesine yol açmaktadır. Ayrıca, bu durumda oluşan yüzey dalgasının genliğinin uygulanan anakaya hareketinin genliğine göre daha büyük olduğu görülmektedir. Sonuçlar modellenen ovaların dinamik davranışının iki boyutlu anakaya etkisinin altında olduğunu göstermiştir.

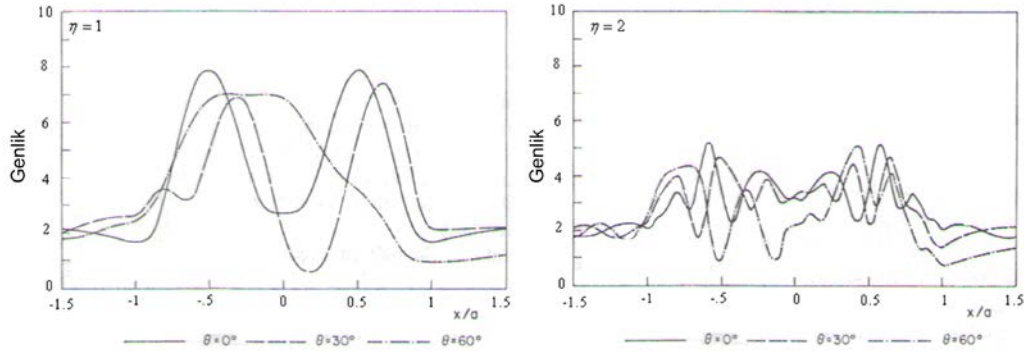
Bravo ve diğ. (1988) tarafından yapılan çalışmada SH dalgasının etkisi altında tabakalı zeminden oluşan ovaların iki boyutlu dinamik analizi yapılarak bu dalga türünün ovaya çarpma açısı ve frekansının değişiminin etkisi araştırılmaktadır. Kullanılan hipotetik model Şekil 2.9’da verilmektedir.



Şekil 2.9 : Bravo ve diğ. (1988)’nin kullandığı iki boyutlu model.

Sonuçlar dinamik yükün frekansının büyümesinin yerdeğiştirme düzeninin karmaşıklığına yol açtığını göstermektedir. Düşük frekanslar ve büyük dalga boyutlarının etkisi altında zemin büyütmesi maksimum iken, yüksek frekanslarda yer değiştirmenin değişimi daha üstün olmaktadır. Örnek olarak, Şekil 2.10’da alüvyonel vadinin farklı konumlarındaki yerdeğiştirme genliğinin frekans ile değişimi

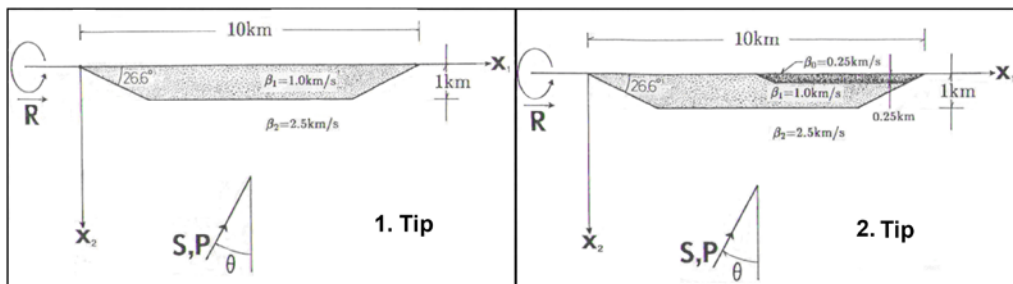
verilmektedir. Bu çalışmada iki boyutlu ova modellerinin yüzeyinin farklı konumlarında boyutsuz frekansa göre hesaplanan transfer fonksiyonuyla aynı konumlardaki tek boyutlu transfer fonksiyonunun arasındaki farkın büyük olduğu gösterilmektedir (Bravo ve diğ., 1988).



Şekil 2.10 : Vadinin farklı konumlarındaki yerdeğiştirme genliğinin frekans ile değişimi (Bravo ve diğ., 1988).

Sonuçlara göre, SH dalgasının vadiye çarpma açısının değişimi vadinin dinamik davranışını etkilemektedir. Bu durumda maksimum zemin büyütmesi vadi boyutlarına yakın dalga boyutlarının etkisi altında meydana gelmiş iken, ovaya çarpan SH dalgasının frekansının büyümesiyle ovanın farklı noktalarının zemin büyütmesinde meydana gelen değişikliklerin büyüdüğü görülmektedir.

Kawasae ve Aki (1989) tarafından yapılan bir araştırmada, Mexico City kentindeki deprem kayıtlarının kaya üzerindeki kayıtlara göre daha uzun süreli olmasının nedeni araştırılmaktadır. Yapılan nümerik çalışmada Şekil 2.11’de gösterilen tek ve iki tabakalı derin vadi modelleri üzerinde dinamik analizler yapılmıştır.

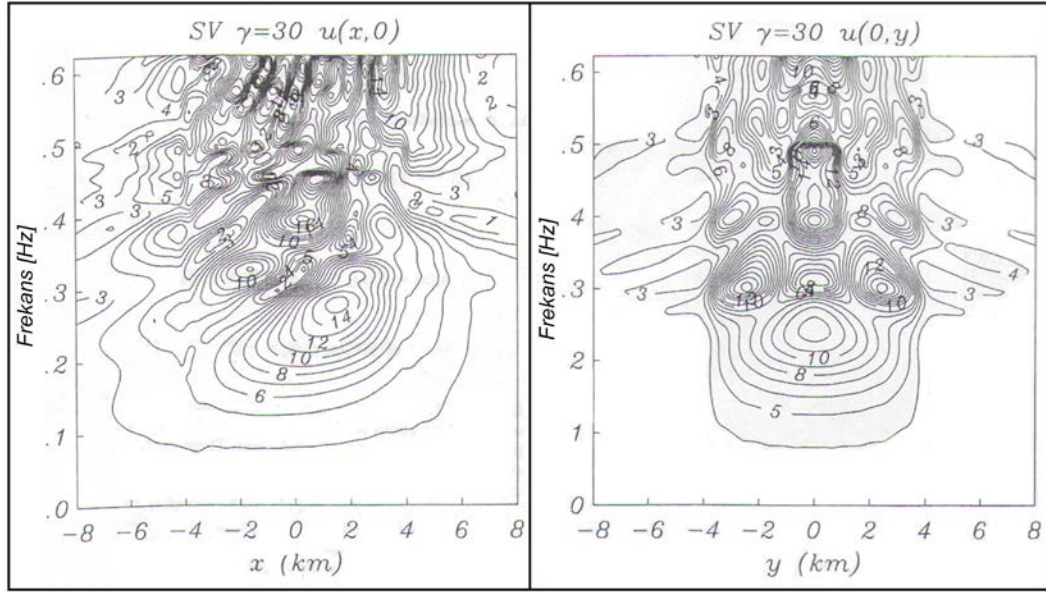


Şekil 2.11 : Kawasae ve Aki (1989)’nin araştırmasında kullanılan vadi modelleri.

Tek tabakalı modelin analizinden elde edilen sonuçlarda ova yüzeyindeki titreşim süresinin anakaya hareketine göre daha uzun olduğunun ovanın geometrisinin etkisinden kaynaklandığı görülmektedir. İkinci modelin analizinde ise zeminin tabakalaşması nedeniyle depremin süresinin anakaya hareketine göre kaç kata yükselebileceği ortaya çıkmaktadır. Sonuçlar ovanın hakim frekansı ve yüzey

dalgalarının genliğinin önemli derecede vadinin geometrik biçiminden etkilendiğine işaret etmektedir.

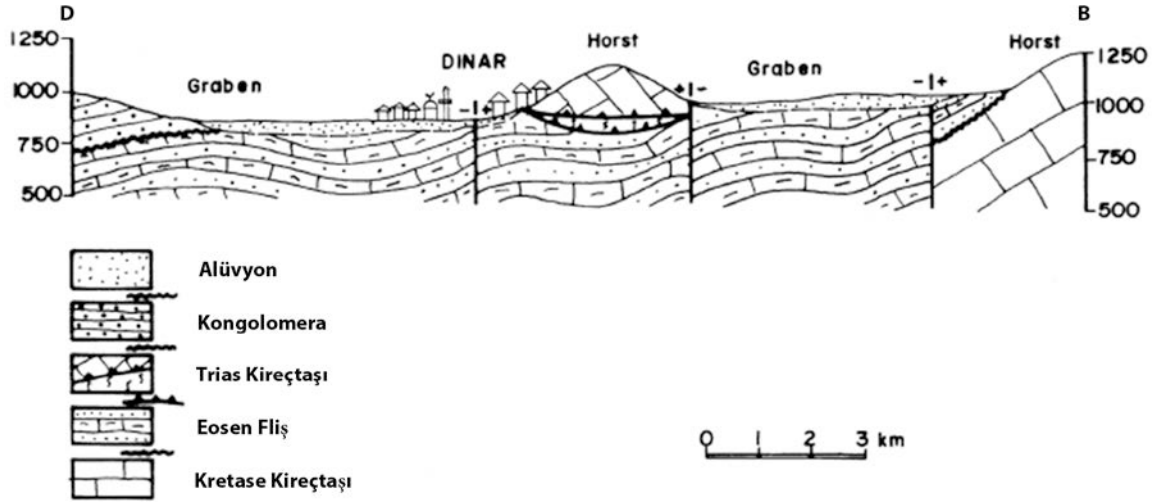
Sanchez-Sesma ve Luzon (1995) tarafından yapılan bir araştırmada IBEM yöntemi kullanılarak üç boyutlu bir silindirik vadinin dinamik yükleri etkisi altındaki tepkisi araştırılmıştır. Şekil 2.12’de x ve y eksenleri boyunca frekansla yatay yerdeğiştirme genliklerinin değişimi verilmiştir.



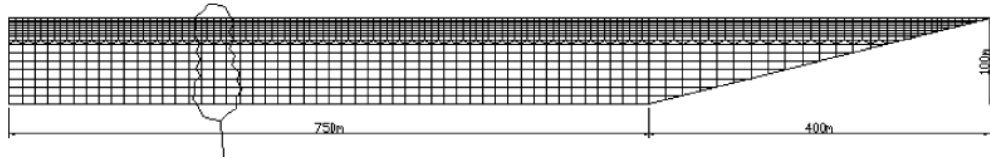
Şekil 2.12 : Frekansla yatay yerdeğiştirmelerin genliklerinin değişimi (Sanchez-Sesma ve Luzon, 1995).

Rezonansın oluşumu iki boyutlu geometrilere görülmekle birlikte üç boyutlu oluşumlarda rezonansın çok daha karmaşık olduğu görülmüştür. Burada x eksenini boyunca kırılmış olan dalgaların da kenarlarda oluşan Rayleigh dalgalarından bir payı vardır. Diğer tarafta ise, y eksenini boyunca oluşan hareketin u bileşeninin önemli kısmının Love dalgalarından oluşması da dikkate alınmalıdır. Böylece, 0.3 ile 0.4 Hz frekansları arasında oluşan rezonans düzeni Love dalgasını göz önüne alarak açıklanabilir. Üç boyutlu analizde u bileşeninde maksimum büyütme 15 iken, tek boyutlu rezonans frekansına göre hafif bir artış göstermektedir. Fakat bu büyütmenin değeri açık alana göre 4.33 olmakla birlikte, empedans oranının iki katına ulaşmaktadır. Silindirik bir model üzerinde yapılan analizden elde edilen sonuçlara göre, basit üç boyutlu geometriye sahip ova modelinin dinamik davranışının çok karmaşık olduğu görülmektedir. Bazı durumlarda Love ve Rayleigh dalgalarının aynı zamanda oluşmalarının net bir şekilde meydana geldiği de kanıtlanmaktadır.

Bakır ve diğ. (2002) tarafından yapılan araştırmada Türkiye, 1995 Dinar depreminde Dinar bölgesinde meydana gelen hasarların uyumsuz dağılımının nedeni incelenmiştir. Kasaba boyunca meydana gelen yapısal hasarların alüvyon tabakaların bulunduğu bölgelerle şehrin doğu tarafındaki kaya kütlelerinin mostrasının bitişiğindeki bölgede daha yoğun olduğu tespit edilmiştir. Şekil 2.13’de araştırılan bölgenin yeraltı haritası ve Şekil 2.14’de de iki boyutlu modellemede kullanılan sonlu elemanlar ağı verilmektedir.



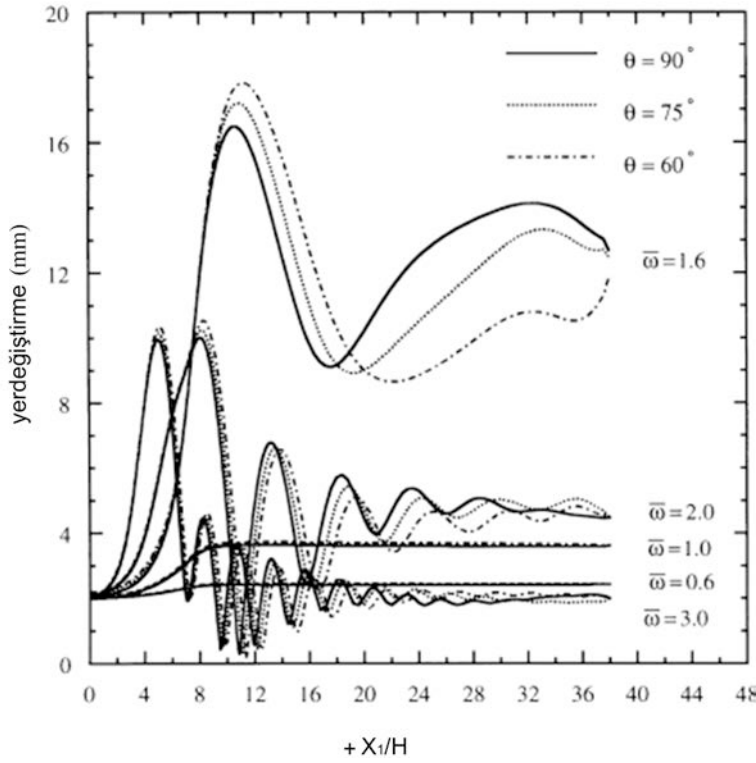
Şekil 2.13 : Dinar bölgesinin yeraltı haritasının doğu-batı kesiti (Bakır ve diğ., 2002).



Şekil 2.14 : Dinar Ovası'nın iki boyutlu modellemede kullanılan sonlu elemanlar ağı (Bakır ve diğ., 2002).

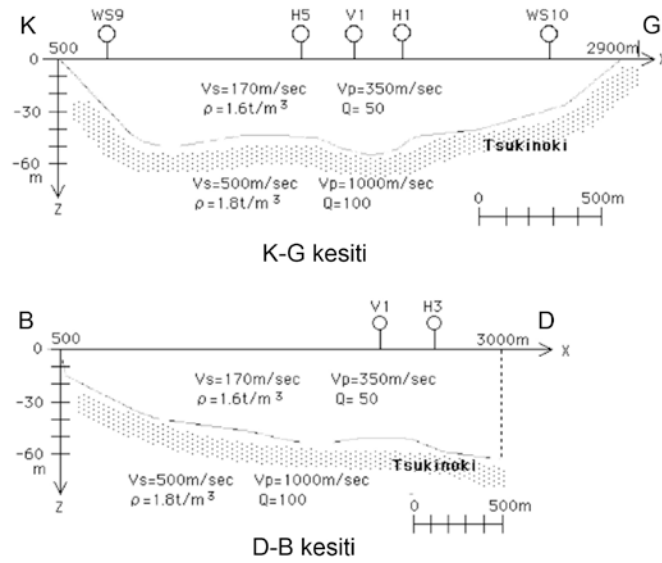
Bu çalışmada yapılan tek ve iki boyutlu analizler sonucu ova yüzeyinin farklı noktalarındaki yeryüzü hareketi elde edilmiştir. Referans anakaya hareketi deprem sırasında yeryüzünde kaydedilmiş hareketin 100 metre derinliğine taşınarak hesaplanmıştır. Araştırma kapsamında yapılan iki boyutlu dinamik analizler sonlu elemanlar yöntemini kullanan QUAD4M yazılımı ve tek boyutlu analizler için de SHAKE programı kullanılmıştır. Meydana gelen hasarların dağılımı göz önüne alınarak şehirde üç farklı bölge belirlenmiştir. Birinci bölge olarak tanımlanan anakaya mostrasının doğusundaki kısımda sadece birkaç binanın ağır hasara uğradığı görülmektedir. Yıkılan veya ağır hasarlara maruz kalan binaların birçoğu üçüncü bölge olarak sınıflandırılan alüvyon tabakaların üzerinde yer alan şehir merkezinde

değişimi verilmektedir. Bu araştırmanın önemli eksikliklerinden modellerin tek tabakadan oluşması ve zemin cinsinin değişiminin etkisinin ihmal edilmesidir.



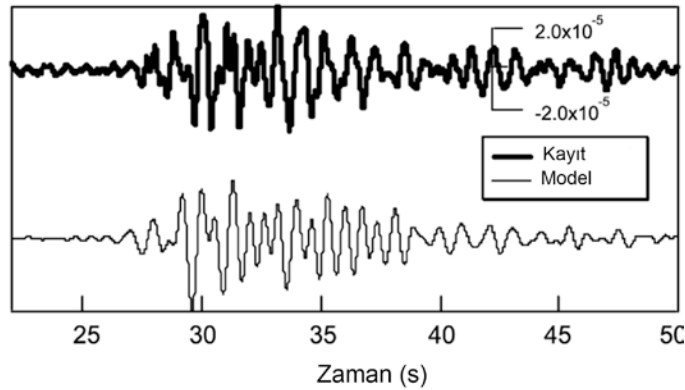
Şekil 2.16 : Yeryüzündeki yerdeğiştirmenin dinamik yükü ve dalganın çarpma açısıyla değişimi (Heymsfield, 2000).

Kamiyama ve Satoh (2000) tarafından yapılan farklı bir araştırmada iki boyutlu analizlerde etkili olan yeni bir parametrenin etkisi araştırılmaktadır. Genelde yerel etkilerin araştırılması ivme, hız ve yerdeğiştirme gibi vektörel hareketlerin değerlendirilmesiyle yapılmaktadır. Böylece gerilme ve şekil değiştirme gibi tansörel hareketlerin etkisi göz ardı edilmektedir. Bu araştırmanın amacı iki boyutlu oluşumlarda yanal düzensizliklerin yüzeyde meydana gelen şekil değiştirmeye etkisinin anlaşılmasıdır. İki boyutlu analizlerin yapılması için hareket denklemlerini zaman tanım alanında çözümleyen PSM (Pseudo-Spectral Method) yöntemi kullanılmaktadır. Bu çalışmada kullanılan dinamik yükleri iki boyutlu anakaya geometrisine sahip olan Miyagi ve Fukushima bölgesinde kurulmuş olan KASSEM şebekesinin depremler sırasında kaydettiği yerdeğiştirmesi geçmişlerinden alınmaktadır. Şekil 2.17’de bu bölgenin enkesiti verilmiştir.



Şekil 2.17 : KASSEM bölgesinin enkesitinin doğu-batı ve kuzey-güney kesiti (Kamiyama ve Satoh, 2000).

Şekil 2.18’de ova yüzeyinde kaydedilen kuvvetli yer hareketiyle modellemeden elde edilen yerdeğiştirmesi sonuçlarının karşılaştırması verilmiştir.

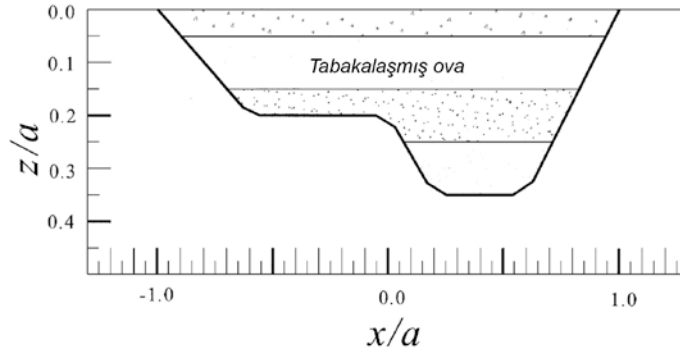


Şekil 2.18 : Kayıtlardan elde edilmiş şekil değiştirmelerin modelleme sonuçlarıyla karşılaştırması (Kamiyama ve Satoh, 2000).

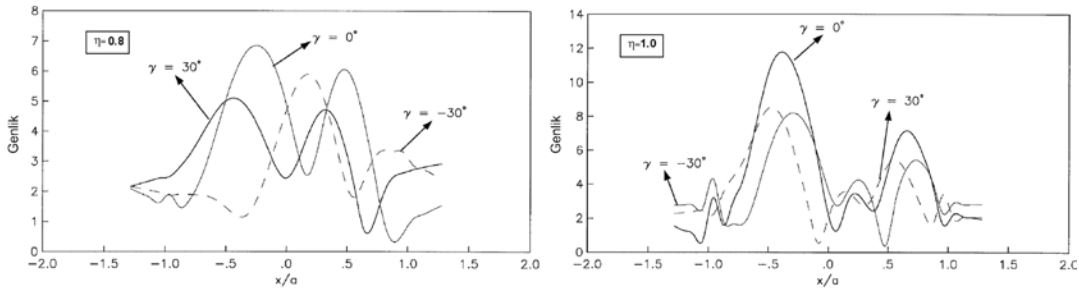
Sonuçlara göre, elde edilen şekil değiştirmeleri özellikle yeraltı düzensizliklerin bulunduğu bölgelerde daha farklı olmaktadır. Böylece, ova yüzeyinin şekil değiştirmesinin yeraltı düzensizliklerden etkilendiği ve neticede yapılara verilen hasar açısından önemli olduğu ortaya çıkmıştır.

Gil ve diğ. (2003) tarafından yapılan çalışmada iki boyutlu dinamik analizlerde IBEM-DWNM (Indirect Boundary Element Method-Direct Wave Number Method) hibrit yöntemi tanıtılarak yeraltı topoğrafyasının tabakalı alüvyonel ovaların dinamik davranışına etkisi incelenmiştir. Bu çalışmada ele alınan simetrik olmayan hipotetik modelin geometrisi Şekil 2.19’da gösterilmiştir. Şekil 2.20’de de, ova yüzeyi

boyunca normalize edilmiş 0.8 ile 1 frekansların etkisi altında yeryüzü hareketinin genliğinin dinamik dalgaların vadiye çarpma açısıyla değişimi görülmektedir.



Şekil 2.19 : Analizlerde kullanılan simetrik olmayan hipotetik modelin geometrisi (Gil ve diğ., 2003).



Şekil 2.20 : Ova boyunca dalga'nın farklı çarpma açılarında yerdeğiştirmeler (Gil ve diğ., 2003).

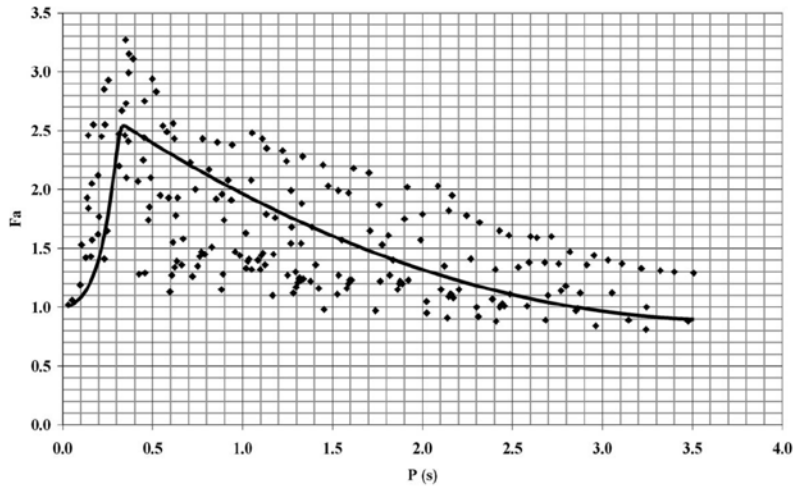
Sonuçlar tabakalı zeminden oluşan ve yanıl düzensizliğe sahip olan ovanın dinamik davranışının daha karmaşık olduğunu göstermektedir. Ayrıca, ova yüzeyinde meydana gelen rezonans düzeninin de dalga'nın vadiye çarpma açısıyla değiştiği görülmektedir. Örneğin, dalga'nın ovaya dik açıyla çarptığı durumda meydana gelen rezonans frekansı 2.7 Hz'iken, aynı dalga'nın vadiye farklı açıyla çarptığında meydana gelen yerdeğiştirme hareketinin rezonans frekansı daha düşük olmaktadır. Bu araştırmanın sonuçlarına göre, genelde düşük frekanslara sahip hareketlerin enerjisinin odaklanması vadinin derin kısımlarında (simetrik vadilerin orta kısımlarda) meydana gelmektedir. Ayrıca, simetrik olmayan anakaya geometrisine sahip olan iki tabakalı ovaların analizinden elde edilen zemin büyütmesinin tek boyutlu analizlerden elde edilenlere göre üç kat daha büyük olduğu görülmüştür. Bu çalışmada zemin tabakalarının özelliklerinin değişiminin yerel etkilerin üzerinde önemli etkisinin olabileceğine değinerek anakaya ve zemin tabakalarının arasındaki yüksek empedans farklılığı ve yüksek frekanslara sahip hareketlerin etkilerinin dinamik analizlerde dikkate alınması tavsiye edilmektedir.

Pergalani ve diğ. (2003) tarafından yapılan araştırmada topoğrafik düzensizliklere sahip olan oluşumların nümerik analizlerinden elde edilen sonuçlar kullanılarak sahaların geoteknik ve jeolojik parametreleri ile zemin büyütmesi arasında bir bağlantının kurulmasına çalışılmıştır. Çalışmanın amacı elde edilen bağıntının başka benzer durumların zemin büyütmesinin tahmininde kullanılmasıdır. Bu araştırmada her bölgenin jeolojik ve jeomorfolojik durumuna göre bir veya iki boyutlu dinamik analiz yapılmıştır. Morfolojik düzensizliği olmayan ve yatay zemin tabakalarına sahip oluşumların tek boyutlu dinamik analizi SHAKE91 yazılımıyla yapılırken, yanal süreksizlik veya topoğrafyalı bölgelerin iki boyutlu analizli sonlu farklar yönteminin kullanıldığı QUAD4M veya sınır elemanlar yönteminin kullanıldığı ELCO yazılımıyla yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar spektral şiddet faktörü ifadesiyle yerel etkilerin değerlendirilmesinde kullanılmıştır. Çizelge 2.1 ve Şekil 2.21’de F_a ile verilen ve yeryüzü spektrumunun anakaya üzerindeki referans spektrumuna oranı olarak tanımlanan zemin büyütmesi katsayısının morfolojik düzensizliği olmayan ve yatay zemin tabakalarına sahip oluşumların yerel etkilerinin tahmini için önerilen değerler verilmektedir.

Çizelge 2.1 : Periyot ile şiddet katsayısının ilişkisi (Pergalani ve diğ., 2003).

P (s)	F_a	P (s)	F_a
≤ 0.10	1.1	0.501–0.60	2.4
0.101–0.15	1.2	0.601–0.70	2.3
0.151–0.18	1.3	0.701–0.80	2.2
0.181–0.20	1.4	0.801–0.95	2.1
0.201–0.21	1.5	0.951–1.10	2.0
0.211–0.22	1.6	1.101–1.20	1.9
0.221–0.23	1.7	1.201–1.35	1.8
0.231–0.24	1.8	1.351–1.50	1.7
0.241–0.25	1.9	1.501–1.65	1.6
0.251–0.26	2.0	1.651–1.80	1.5
0.261–0.27	2.1	1.801–2.00	1.4
0.271–0.28	2.2	2.001–2.20	1.3
0.281–0.29	2.3	2.201–2.50	1.2
0.291–0.30	2.4	2.501–2.90	1.1
0.301–0.50	2.5	> 2.901	1.0

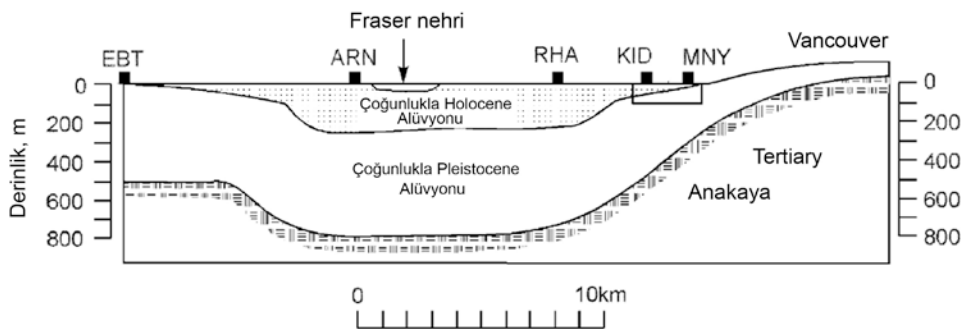
Bu araştırmanın sonuçlarına göre topoğrafik düzensizlik ve yanal süreksizliğe sahip olan alüvyonel oluşumların şiddet faktörünün hesaplanması için iki boyutlu nümerik analizlerin yapılması tavsiye edilmektedir.



Şekil 2.21 : Bölgenin doğal periyoduyla şiddet faktörü arasındaki korelasyon (Pergalani ve diğ., 2003).

Tek boyutlu analizler daha kolay ve ucuz olduğundan bir ve iki boyutlu analizler arasında bir bağıntının kurulması bazı araştırmalara konu olmaktadır. Finn ve diğ. (2003) tarafından yapılan bir araştırmada ABD, 1996 Duvall depremi sırasında kaydedilen sonuçlar kullanılarak bir ve iki boyutlu dinamik analizlerden elde edilen sonuçların güvenilirlikleri incelenmektedir.

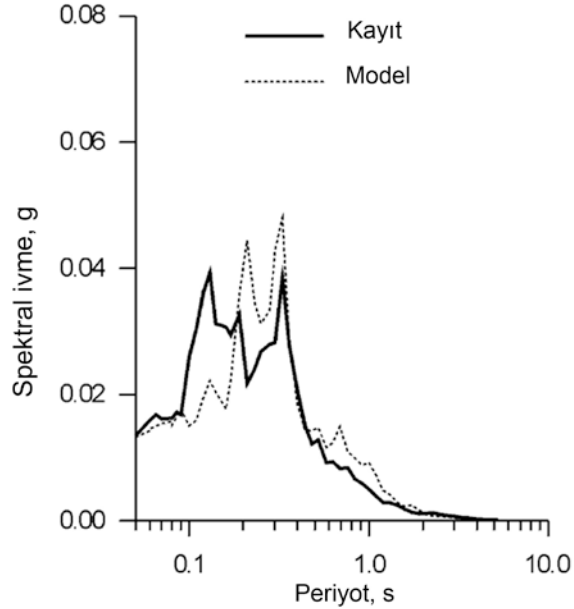
Bu araştırmada deprem sırasında anakaya ile ovanın yüzeyinde kaydedilen kuvvetli yer hareketleri ovanın gerçek dinamik davranışı olarak varsayılmaktadır. Şekil 2.22’de dinamik davranışı incelenen ovanın iki boyutlu geometrisi ve zemin tabakalarının özellikleri verilmektedir. Ovanın gerçek kayıtlarıyla karşılaştırılan tek ve iki boyutlu analizler, sırasıyla SHAKE ve FLUSH yazılımlarıyla yapılmıştır.



Şekil 2.22 : Dinamik davranışı araştırılan bölgenin enkesiti (Finn ve diğ., 2003).

Şekil 2.23’te Şekil 2.22’de görülen KID istasyonunda kaydedilen hareketin spektral ivmesiyle tek boyutlu analizden elde edilen ivme spektrumu karşılaştırılmaktadır. Şekilde 0.4 saniyeden daha büyük periyotlarda iki yöntemden elde edilen sonuçların birbirine yakın olduğu görülmektedir. Ancak 0.4 saniyeden daha küçük periyotlarda

sonuçların arasındaki fark büyükmektedir. Özellikle, nümerik modellemeden elde edilen 0.2 ile 0.4 saniye arasındaki spektrumun vadinin gerçek spektrumundan daha büyük olduğu görülmektedir.

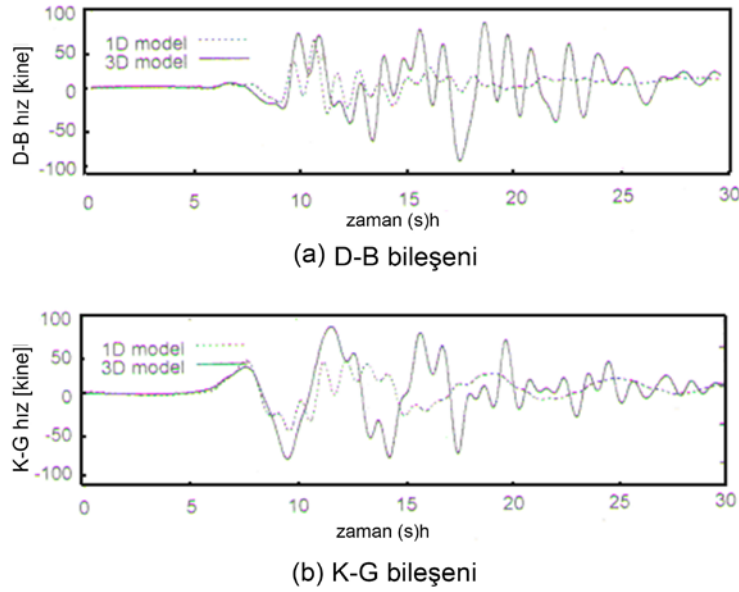


Şekil 2.23 : KID istasyonunda kaydedilmiş ve tek boyutlu analizden hesaplanan hareketin spektral tepkisinin karşılaştırılması (Finn ve diğ., 2003).

Bu araştırmada tek boyutlu analizden elde edilen maksimum zemin büyütmesinin rezonans peryodunun doğru hesaplandığı görülmektedir, ancak vadinin derin kısımları haricinde tek boyutlu spektrumun gerçek spektrumlarla pek uyuşmadığı görülmüştür. Sonuçlar, özellikle ovanın sığ kısımlarında, iki boyutlu analizden elde edilen tahminlerin gerçek kayıtlara daha yakın olduğunu göstermektedir. Kayıtlar ve analizlerin sonuçlarının karşılaştırılmasından ovanın sığ kısımlarında bir ve iki boyutlu analizlerin dinamik davranışın tahmininde yetersiz olduğu gösterilerek üç boyutlu analizlerin yapılması önerilmektedir.

Zemin dinamiği literatüründe alüvyonel ovaların dinamik davranışının daha iyi anlaşılabilmesi için birçok gerçek oluşumların üç boyutlu modellemelerin yapılması önerilmektedir. Bu konuda yapılan önemli çalışmalar arasında Goto ve Sewada (2004)'nın Kocaeli 1999 depreminde bu şehrin merkezinde meydana gelen ağır hasarların nedeninin araştırılması da yer almaktadır. Konuyu ilginç yapan olay faya daha yakın olan şehir merkeziyle fay arasındaki bölgede meydana gelen hasarların daha az olmasıdır. Bu araştırmada konuyu incelemek amacıyla yapılan geniş kapsamlı geoteknik ve jeolojik araştırmalar sonucu bölgenin jeolojik enkesiti belirlenmiştir. Elde edilen bilgilerin değerlendirilmesinden Kocaeli bölgesinin

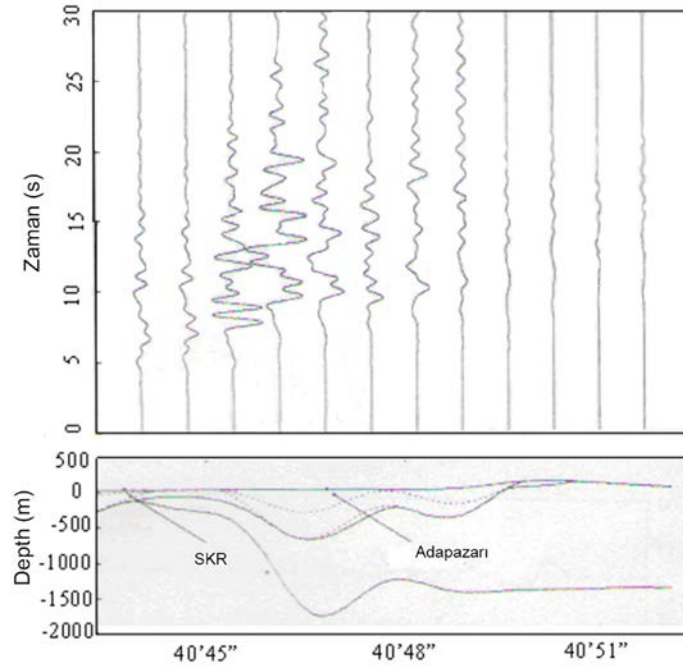
anakaya biçiminin kâse şeklinde olduğu belirlenmiştir. Daha sonra, elde edilen yeraltı bilgilerini kullanarak sonlu farklar yöntemiyle bölgenin üç boyutlu dinamik analizleri yapılmıştır. Yapılan üç boyutlu dinamik analizlerin yanı sıra Adapazarı bölgesinin altındaki zemin tabakalarının sürekli ve yatay oldukları varsayılarak bu bölgenin tek boyutlu dinamik analizi yapılmaktadır. Şekil 2.24’de bir ve üç boyutlu analizlerden elde edilen yeryüzü hareketleri karşılaştırılması verilmektedir.



Şekil 2.24 : Bir ve üç boyutlu analizlerden elde edilmiş yeryüzü hareketleri (Goto ve Sewada, 2004).

Şekilde tek boyutlu analizden elde edilen maksimum hızın üç boyutlu analizden elde edilene göre daha düşük olduğu görülmektedir. Bu sonuçlar Adapazarı’nın merkezinde meydana gelen yüksek zemin büyütmesinin tek boyutlu analizler ile açıklanamayacağını ifade etmektedir.

Şekil 2.25’de Sakarya ile Adapazarı’nın bulunduğu bölgenin yeraltı haritası ve yeryüzünün doğu-batı hareketinin hız dalgası formları verilmektedir. Dalgaların hız bileşenlerinin maksimumlarının meydana geldiği bölgede yeryüzü hareketinin süresinin uzaması dikkat çekmektedir. Bu da, bu olayın yerel koşullar ve anakaya biçiminin etkisinden kaynaklandığını ifade etmektedir. Üç boyutlu analizlerin sonucu Kocaeli merkezindeki yüksek zemin büyütmesinin meydana gelmesinin anakaya biçimi ve bölgenin jeolojik düzensizliğinden kaynaklandığına işaret etmektedir.

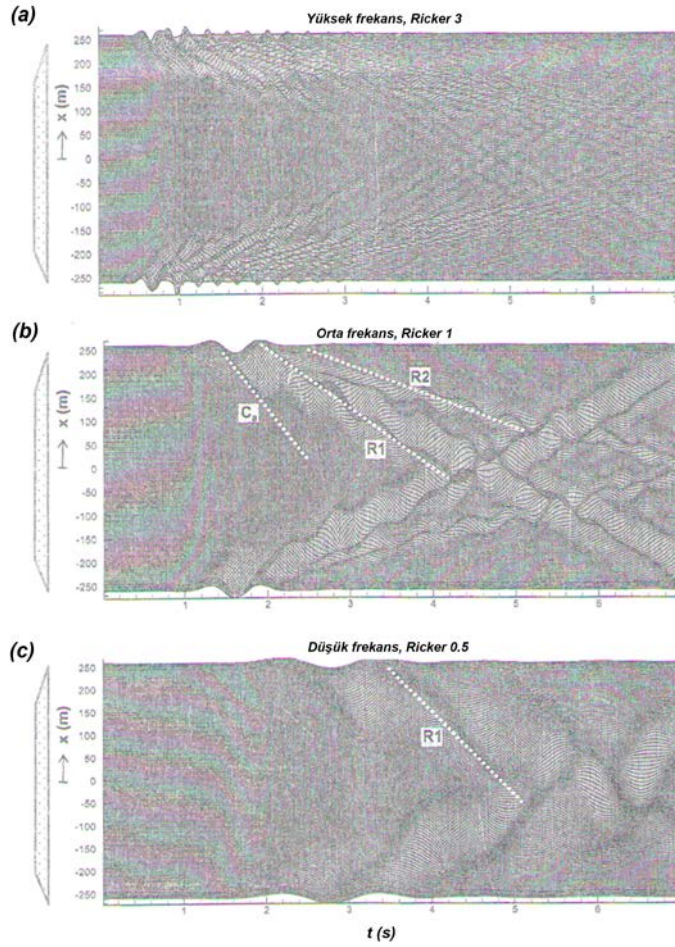


Şekil 2.25 : Yeryüzünün doğu-batı hareketinin hız dalgası formları (Goto ve Sewada, 2004).

Konuyla ilgili diğer bir araştırma da Gelagoti ve diğ. (2010) tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada dalgaların çok yumuşak ve sık alüvyonlarda yayılması ve uygulanan anakaya hareketinin özelliklerinin ovanın dinamik davranışına etkisi incelenerek elastik ve doğrusal olmayan yöntemlerden elde edilen analiz sonuçları karşılaştırılmıştır. Yapılan ova modellerinin viskoelastik analizi sonlu elemanlar yöntemini kullanan ABAQUS ve eşdeğer lineer analizi ise QUAD4M yazılımıyla yapılmıştır. Lineer olmayan analizler de ABAQUS yazılımında kinematik pekleşme bünye modeli kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada frekansın etkisinin incelenmesi için yüksek, orta ve düşük frekanslar olmak üzere üç farklı Ricker pulsu dinamik yük olarak uygulanmıştır. Kullanılan dinamik yüklerin karakteristik frekansı olarak tanımlanan f_0 , sırasıyla 3, 1 ve 0.5 Hz olmaktadır. Şekil 2.26’da modellenen ovanın yüzeyi boyunca farklı karakteristik frekansa sahip anakaya hareketlerinin yatay ivmesi etkisi altında meydana gelen yerdeğiştirmesi verilmiştir.

Sonuçlar, meydana gelen yüksek şiddet faktörünün nedeninin ova kenarlarında dalga odaklanması ve cisim dalgalarının yüzey dalgalarına dönüşümüyle alakalı olduğuna işaret etmektedir. Ovanın orta kısımlarında yüksek frekanslı anakaya hareketleri etkisi altında tek boyutlu davranışın hakim olduğu görülürken, cisim dalgalarının odaklanmasından kaynaklanan iki boyutlu davranış vadinin kenarlarındaki bölgelerle sınırlı kalmaktadır. Düşük frekanslarda ise, dalga boyutlarının büyük olduğu

nedeniyle ovanın dinamik davranışı yüzey dalgalarının orta kısımlara doğru ilerlemesinden etkilenmektedir.



Şekil 2.26 : Farklı frekanslarda yatay ivme etkisi altındaki yeryüzü hareketi, a) yüksek frekans, b) orta frekans ve c) düşük frekans (Gelagoti ve diğ., 2010).

Bu durum, şiddet faktörünün maksimumlarının ovanın orta kısımlarına aktarılmasına yol açmaktadır. Öte yandan, kullanılan zemin cinsinin sönüm oranının yükselmesi yüzey dalgalarının oluşumunu etkileyerek şiddet faktörünün ovanın orta kısımlarına doğru ilerledikçe azalmasına neden olmaktadır. Sonuçlar sönüm oranının ovanın kenarlarındaki AGF'nin üzerinde herhangi bir etkisinin olduğunun belli olmadığına işaret etmektedir. Bu araştırmada tek bir Ricker palsının etkisi altında, özellikle ovanın orta kısımlarında, ovanın lineer olmayan davranışının meydana gelen şiddet faktörünün azalmasına neden olduğu görülmektedir. Ovaya uygulanan sismik yükün gerçek deprem kaydı olduğunda meydana gelen olayların daha karmaşık hale geldikleri görülmektedir; Özellikle ovanın kenarlarında zeminin lineer olmayan davranışının etkisi büyüyerek şiddet faktörün büyümesine neden olmaktadır. Sonuçlar modellenen ovanın dinamik davranışının tamamen ikinci boyutun etkisinin

altında olduğunu ispatlayarak tek boyutlu analizlerden elde edilen sonuçların ovanın dinamik davranışının tahmininde yetersiz olduğuna işaret etmektedir. Ayrıca, ovaların lineer olmayan davranışının her zaman zemin büyütmesine hafifleştirici etkisinin olmadığı da gösterilmiştir (Gelagoti ve diğ., 2010).

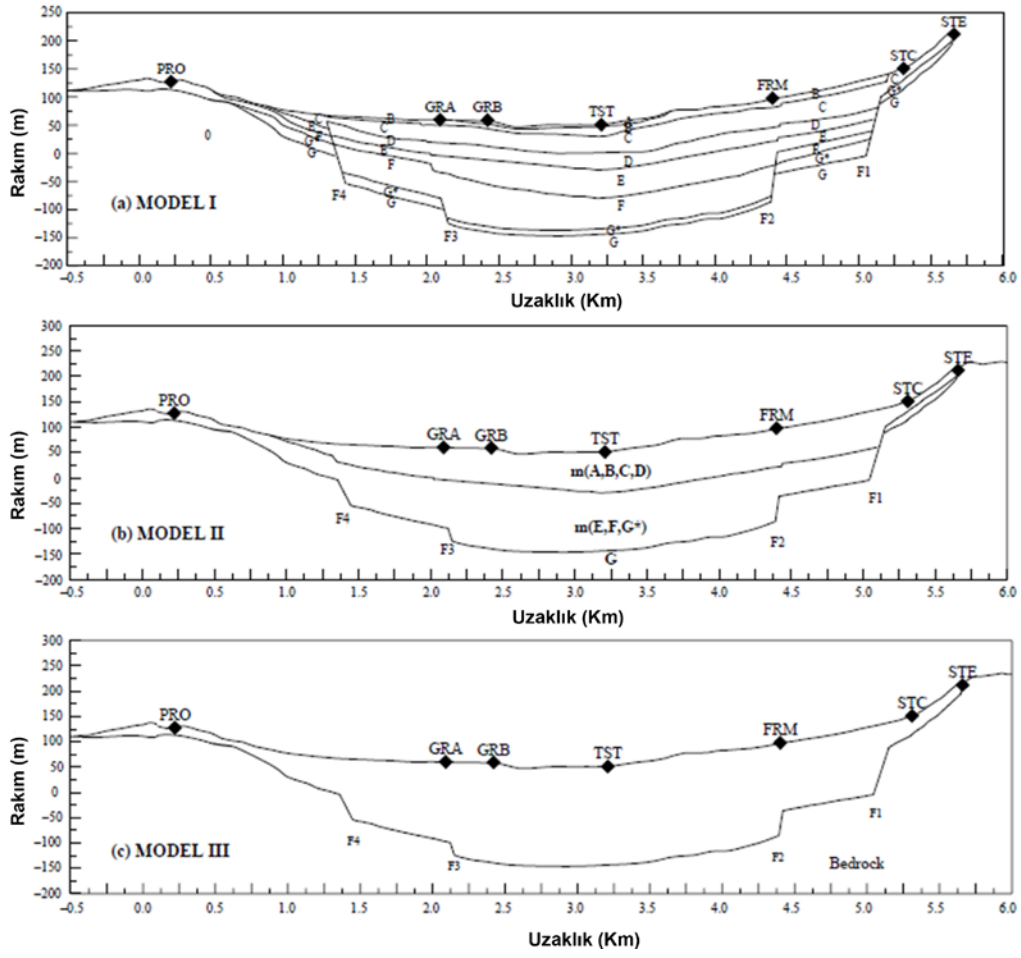
2.4 İdealleştirilmiş Anakayanın Etkisi

Makra ve diğ. (2005) tarafından yapılan araştırmada yerel koşullardan kaynaklanan karmaşık dinamik davranışın etkilerini yönetmeliklere geçirmek amacıyla Euroseistest bölgesinin farklı geoteknik ve jeolojik özelliğe sahip lokasyonlarda nümerik analizler yapılmıştır. Bu araştırmada, ilk önce Euroseistest bölgesinin jeololojik kesiti idealleştirilmiştir. Şekil 2.27’de görüldüğü gibi bölgenin model 1’de verilen tam enkesiti, model 2 ve 3’te farklı şekilde idealleştirilmiş jeolojik enkesitleri verilmiştir. Daha sonra vadinin anakaya eğiminin geometrisinin farklı şekilde idealleştirilmesinin ovanın dinamik davranışına etkisi incelenmiştir. Şekil 2.28’de ovanın anakaya geometrisinin farklı geometrilerle idealleştirilmesi verilmiştir. Sonuçlar Euroseistest bölgesinin dinamik davranışının büyük ölçüde anakaya geometrisinden etkilendiğini göstermektedir. Bu çalışmada, idealleştirilmiş iki boyutlu modellerin analizinden elde edilen sonuçların tek boyutlu analizden elde edilenlere göre ovanın dinamik davranışının daha iyi göstergesi olduğu ifade edilmektedir.

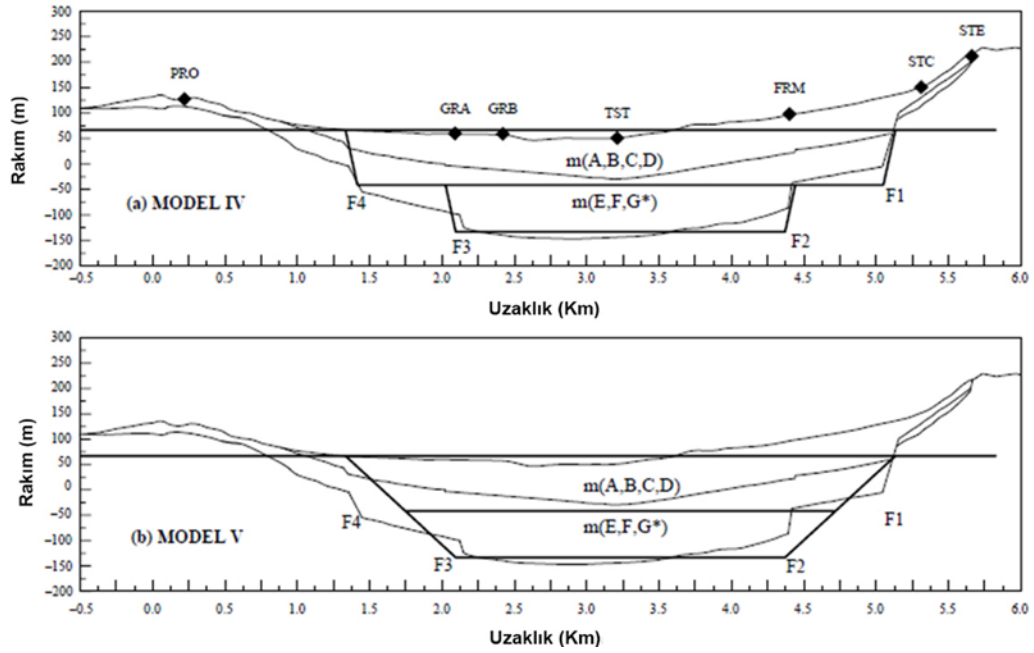
Bu çalışmayı gerçekleştiren araştırmacılar elde edilen sonuçların sadece Euroseistest bölgesi için geçerli olduğunu vurgulayarak ikinci boyutun etkisinin yönetmeliklere geçirebilmesi için daha fazla araştırmaların yapılmasının gerektiği önermektedir.

Semblat ve diğ. (2005) tarafından yapılan çalışmada Euroseistest bölgesinin tabakalaşmasının farklı seviyede idealleştirilmesinin ovanın dinamik davranışına etkisi araştırılmaktadır. Bu çalışmada Şekil 2.29’da verilen idealleştirilmiş modellerin iki boyutlu dinamik analizinden elde edilen sonuçlar karşılaştırılmaktadır.

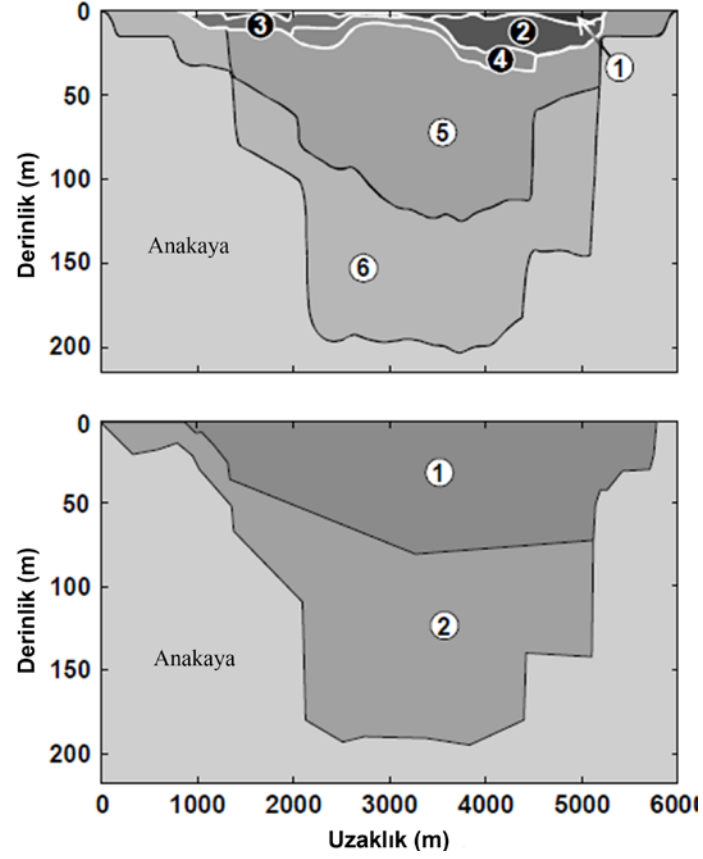
Bu araştırmada ovaların dinamik davranışının önemli özelliklerinin hepsinin idealleştirilmiş ova modellerinin analizinden elde edilemeyebileceğine dikkat çekmektedir.



Şekil 2.27 : Euroseistest bölgesinin gerçek ve basitleştirilmiş modelleri (Makra ve diğ., 2005).



Şekil 2.28 : Euroseistest bölgesinin daha basit geometri biçimiyle idealleştirilmiş modelleri (Makra ve diğ., 2005).



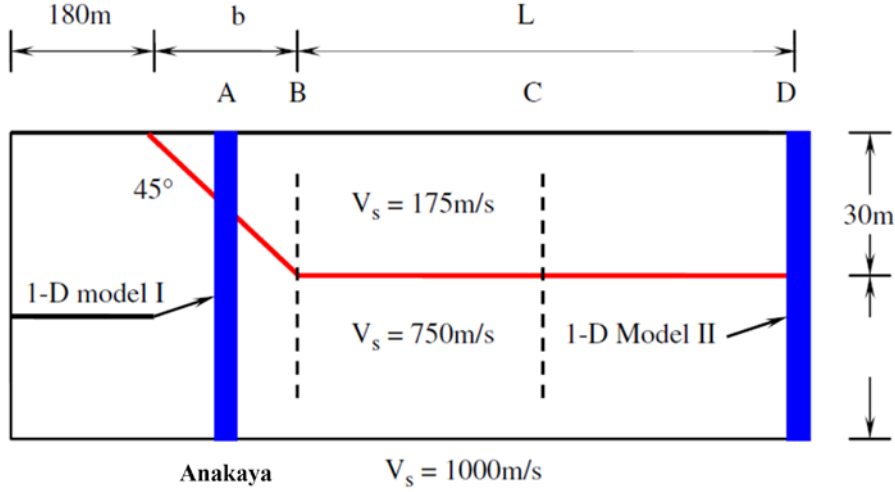
Şekil 2.29 : Semblat ve diğ. (2005)'nin kullandığı Euroseistest'in gerçek ve basitleştirilmiş modelleri (Semblat ve diğ., 2005).

Ayrıca, bir ve iki boyutlu analizlerden elde edilen sonuçların arasındaki farkın büyük olduğu da görülmektedir. Gerçek ve idealleştirilmiş modellerin iki boyutlu analizinden elde edilen sonuçların güvenilir olmakla birlikte ovanın rezonans periyodu ve yerdeğiştirme genliği de doğru hesaplandığı saptanmıştır. Yüksek frekansların etkisi altında meydana gelen zemin büyütmesinin maksimumunun ovanın orta kısımlarına doğru aktarılmasıyla birlikte, gerçek ve idealleştirilmiş modellerin sonuçları arasındaki fark da büyük çıkmıştır. Sonuçlara göre, bir ovanın dinamik davranışının farklı özelliklere sahip depremlerin etkisi altında değişebileceği için, bir ve iki boyutlu analizlerin sonuçları arasındaki fark da büyüyebilmektedir. Daha gerçekçi sonuçların elde edilebilmesi için üç boyutlu analizlerin yapılması tavsiye edilmektedir.

2.5 Lineer Olmayan Zemin Büyütmesi

Sahaların dinamik yüklerin etkisi altında gösterdikleri lineer olmayan dinamik davranışı birçok araştırmaya konu olmaktadır. Zhang ve Zhao (2009) tarafından

yapılan araştırmada alüvyonel vadilerin lineer olmayan dinamik davranışı bir ve iki boyutlu analizlerle incelenmiştir. Bir ve iki boyutlu analizler için kullanılan vadi geometrisi Şekil 2.30’da verilmektedir.



Şekil 2.30 : Zhang ve Zhao (2009)’nun kullandığı tek ve iki boyutlu analizlerin modeli.

Bu araştırmada, farklı boyutlardan oluşan modellerin farklı özelliklere sahip olan kuvvetli yer hareketlerinin etkisi altındaki lineer olmayan dinamik davranışı incelenmektedir. Elde edilen sonuçların değerlendirilmesinden zayıf yer hareketlerinin etkisi altında meydana gelen zemin büyütmesi değerlerinin kuvvetli yer hareketlerinin etkisi altındakilerden farklı olduğu ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle, zayıf yer hareketlerinin etkisi altında meydana gelen zemin büyütmesi ve şiddet faktörü gibi parametrelerin ovaların kuvvetli yer hareketleri etkisi altında göstereceği davranışın tahmininde kullanılmasının doğru olmayabileceği anlaşılmaktadır. Elde edilen sonuçlara göre, kuvvetli yer hareketlerinin etkisi altında ovanın kenarlarında meydana gelen zemin büyütmesinin sadece belirli periyotlarda ovanın orta kısımlarındakinden daha büyük olduğu görülmektedir. Dolayısıyla, ova kenarlarındaki zemin büyütmesinin orta kısımlara göre daha büyük olduğu söyleminin her zaman doğru olmadığı ortaya çıkmaktadır. Zhao ve diğ. (1999) ve Ni ve diğ. (2000) tarafından alüvyonel ovaların kuvvetli yer hareketlerinin etkisi altında gösterdiği lineer olmayan dinamik davranışı konusunda yapılan araştırmalarda da benzer sonuçlara ulaşılmıştır.

3. DİNAMİK ANALİZLERDE KULLANILAN MODELLERİN ÖZELLİKLERİ

Geoteknik deprem mühendisliğinde depremlerin anakaya seviyesinden yüzeye doğru hareket eden dalgalarının özelliklerinin yerel koşullardan etkilenecek değişmesi birçok araştırmada konu edinilmiştir. Bu çalışmada, deprem gibi dinamik yükler altında yatay yönde sınırlı zemin tabakalarına sahip ovalarda anakaya geometrisinin yeryüzü hareketinin özelliklerine etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır. Bir sahanın kapsamlı geoteknik incelemeler sonucu zemin profilinin belirlenmesi ve onun gerçek topoğrafyası kullanılarak dinamik analizlerin yapılması zor ve pahalı olmaktadır. Bu nedenle dinamik analizler genelde idealleştirilmiş zemin ve geometriye dayanan modeller üzerinde yapılmaktadır. İdealleştirilmiş geometrilerin analizinden elde edilen sonuçlar incelendiğinde, bu tür analizlerin alüvyonel ovaların temel dinamik davranışını yansıttıkları görülmektedir. Böylece idealleştirilmiş modeller kullanılarak yapılan geniş kapsamlı dinamik analizlerden elde edilen sonuçların genelleştirilmesinin uygun bir yaklaşım olduğu düşünülmektedir.

Araştırmaların sonuçlarına bakıldığında ikinci ve üçüncü boyutların yeryüzü hareketi üzerinde önemli etkileri olduğundan, yerel etkiler konusunda yapılan araştırmaların birçoğunun odak noktası ikinci boyut ve topoğrafik düzensizliklerin etkilerinin incelenmesi olmaktadır (İyisan ve Haşal, 2007; Lee ve Amornwongpaibun, 2013).

Bu çalışmada, yatay yönde sınırlı zemin tabakalarına sahip oluşumlardaki anakaya geometrisinin dinamik yüklerin etkisi altında yüzeyde oluşan yer hareketi özelliklerine etkisinin incelenmesi amacıyla idealleştirilmiş alüvyonel ovaların geometrisine sahip modeller üzerinde bir ve iki boyutlu dinamik analizler yapılmıştır.

Bu analizlerde anakaya eğimi ve zemin tabakalarının yanal süreksizliklerinden kaynaklanan etkileri de araştırılmıştır. Ayrıca, yapılan modellerin doğruluğunu göstermek için geniş çapta kabul görmüş olan ve diğer araştırmacılar tarafından da doğrulama amacı için kullanılan modeller ile karşılaştırılmıştır.

3.1 Analitik Yöntemin Seçimi

Yanal süreksizliklerin yüzey dalgalarının bir bölgede odaklanmasına yol açmasından dolayı zemin büyütmesinin sadece tek boyutlu analizlerle değerlendirilmesi her koşulda doğru sonuçlar vermeyebilir (Zhang ve Zhao, 2009; Gelagoti ve diğ., 2010; İyisan ve Khanbabazadeh, 2013; Khanbabazadeh ve İyisan, 2014). Zeminlerin doğrusal olmayan davranışının araştırılmasında, iki veya üç boyutlu geometriler ve düzensizlik içeren ortamların nümerik modellenmesi için çeşitli araştırmacılar tarafından birçok analitik yöntem kullanılmaktadır(Tripe ve diğ., 2013; Liu ve luan, 2013; Amornwongpaibun ve Lee, 2013).

Çeşitli analitik yöntemlerin arasında, düzensizlik derecesi yüksek geometriler ve doğrusal olmayan davranışın modelleyebilmesi kabiliyetine sahip olan sonlu farklar yöntemi, alüvyonel ovaların dinamik davranışının araştırılmasında başarıyla kullanılmaktadır. Bu yöntem düzensiz topoğrafyalarda cisim dalgalarının yüzey dalgalarına dönüşüm mekanizmasının nicel incelenmesinde başarıyla kullanılabilir (Cundall, 2008). Ayrıca bu yöntem topoğrafik düzensizliklerin modellenmesinde yüksek esneklikler göstermektedir. Buna göre, bu nümerik çalışmadaki modellerin dinamik analizlerinin yapılmasında geoteknik deprem mühendisliği alanında yaygın olarak kullanılan FLAC3D programı tercih edilmiştir. Bu yazılım sürekli ortamların mekanik davranışının nümerik analizinde kullanılan ve doğrudan (explicit) sonlu farklar yöntemiyle çalışan bir yazılımıdır. Bu yazılımın tanıtımı ve modelleme kabiliyetleri daha ayrıntılı olarak ikinci bölümde anlatılmıştır.

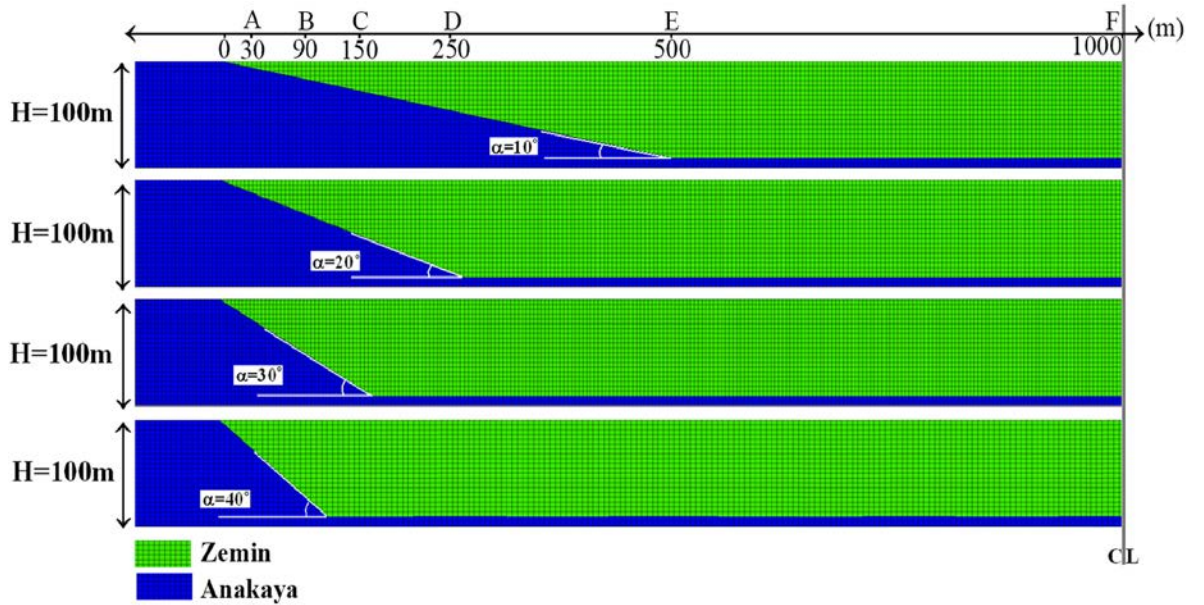
3.2 İdealleştirilmiş Modeller ve Malzeme Özellikleri

Bilindiği gibi sismik davranışta yerel etkilerin araştırılmasında kullanılan yöntemler analitik ve deneysel yöntemler olmak üzere iki şekilde yapılmaktadır. Deneysel araştırmaların temelinde gerçek depremlerde alınmış kuvvetli veya zayıf yer hareketi kayıtlarının değerlendirilmesi gelmektedir. Diğer bir alternatif yöntem ise çok küçük titreşimler olarak tanımlanan mikrotremor kayıtlarının analizidir. Analitik yöntemler ise yerel etkilerin bir, iki veya üç boyutlu analiz yöntemleriyle incelenmesini kapsamaktadır.

Bazı koşullar altında yerel etkiler tek boyutlu sayısal yöntemlerle modellenebilmekte fakat yapılan birçok araştırmanın sonucuna bakıldığında tek boyutlu analizlerin

yetersiz oldukları görülmektedir. Alüvyonel ovaların dinamik yükler altında gösterdikleri davranışın önemli derecede anakaya eğimi ve dinamik yüklerden etkilendiğinden daha gerçekçi davranışı göz önüne alabilmek için iki veya üç boyutlu analizlerin yapılması gerektiği yapılan çalışmada ortaya konmuştur (Bakir ve Özkan, 2002; Haşal ve İyisan, 2012; Sohrabi-Bidar ve Kamalian, 2013; Avila-Carrera, 2013; Chavez-Garcia ve diğ., 2014).

Dinamik yükler altında ovalar gibi yatay yönde sınırlı zemin tabakalarına sahip oluşumlardaki anakaya geometrisinin yeryüzü hareketinin özelliklerine etkisinin incelenmesinin amaçlandığı bu çalışma kapsamında yapılmış olan sayısal modeller üç gruba ayrılmaktadır. Birinci grupta tek tabakalı ovalar ikincisinde iki tabakalı zeminlerden oluşan ovalar ve üçüncü grupta ise seçilmiş olan gerçek bir ovanın dinamik analizi yer almaktadır. Bu amaçla Şekil 3.1’de gösterilen tek tabakadan oluşan ve farklı anakaya eğimine sahip iki boyutlu ova modelleri seçilmiştir.



Şekil 3.1 : Dinamik analizlerde kullanılan farklı anakaya eğimine sahip tek tabakalı ova modelleri.

Şekilde verilen tek tabakalı modellerin derinliği 100 m, genişliği ise 2000 metredir. Ova kenarındaki anakaya eğiminin etkisinin araştırılması için doğadaki gerçek oluşumlarda daha çok karşılaşılan dört farklı anakaya eğimi (10°, 20°, 30° ve 40°) seçilmiştir. Bilindiği gibi, ovaların orta kısımlarına doğru giderek ova kenarındaki anakayanın etkisi azalmaktadır.

Genelde yerel etkiler araştırılması literatüründe ovanın ortasının tek boyutlu davranışını yakalayabilmek için ova genişliğinin ova derinliğinin en az 10 ile 12 katı olmasının gerektiği araştırmacılar tarafından söylenmektedir. Bu nedenle yapılacak dinamik analizlerde kullanılacak modellerde de anakaya eğiminin etkisi altında meydana gelen ve orta kısımlara doğru ilerleyen yüzey dalgalarının etkilerinin ortaya çıkabilmesi imkânının sağlanması için iki boyutlu ova modellerinin genişliği 2 km seçilmiştir.

Ovadaki zemin tabakalarının özelliklerinin anakaya hareketi üzerindeki etkisinin araştırılması için farklı kıvam ve yerleşim sıklığına sahip kil ve kum olmak üzere 6 çeşit zemin cinsi seçilmiştir. Bu zemin cinsleri yumuşak, katı ve çok katı kil ile gevşek, orta sıkı ve sıkı kum zeminden oluşmaktadır. Modellerin tabanında anakaya 10 metre ayrılmış kayadan oluşmuş bir geçiş tabakası olarak alınmıştır. Analizlerde kullanılan zemin tabakalarına ait geoteknik özellikler Çizelge 3.1’de verilmektedir.

Çizelge 3.1 : Modellerde kullanılan zemin tabakalarının geoteknik özellikleri.

Zemin gurubu		c (kPa)	ϕ (°)	V_s (m/s)	G (MPa)	K (MPa)	γ (kN/m ³)
Kum	Sıkı (B)	0	38	500-700	470-1030	1240-2680	19.0-21.0
	Orta Sıkı (C)	0	30	250-450	110-360	290-950	18.0-20.0
	Gevşek (D)	0	26	100-200	15-68	39.1-177.3	15.0-17.0
Kil	Çok katı (B)	150-165	10	450-650	400-900	1060-2370	20.0-21.5
	Katı (C)	75-90	10	200-400	76-336	200-880	19.0-21.0
	Yumuşak (D)	35-45	10	75-175	10.1-61.2	26.4-159.7	18.0-20.0
Anakaya	(A)	*	*	1000	2200	3600	22.0

c: Kohezyon; ϕ : Kayma Direnci Açısı; V_s : Kayma Dalgası Hızı; G: Kayma Modülü; K: Hacimsel Modül; γ : Birim Hacim Ağırlığı.

Bu tabloda c kohezyonu, ϕ kayma direnci açısını, V_s kayma dalgası hızını, G kayma modülünü, K hacimsel modülü ve γ birim hacim ağırlığını göstermektedir. Tablodaki değer aralıkları bu parametrelerin 100 metre derinlikteki değişimlerini göstermektedir. Malzeme özelliklerinin hesaplanmasında derinliğe bağlı olarak etkisinde kaldığı çevre basıncı dikkate alınmıştır. Çizelge 3.1’de verilen zeminlerin geoteknik özellikleri Çizelge 3.2’de verilen 2007 tarihli “Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik” kriterlerine göre A, B, C ve D zemin gurubuna karşı gelmektedir.

Analizlerde kullanılan maksimum kayma şekil değiştirme modülü seçilmiş olan kayma dalgası hızını kullanılarak Bağntı 3.1’ile hesaplanmıştır.

$$G_{maks} = Vs^2 \cdot \rho \quad (3.1)$$

Çizelge 3.2 : DBYBHY’de verilen zemin gurupları.

<i>Zemin Grubu</i>	<i>Zemin Grubu Tanımı</i>	<i>Stand. Penetr. (N/30)</i>	<i>Relatif Sıkılık (%)</i>	<i>Serbest Basınç Direnci (kPa)</i>	<i>Kayma Dalgası Hızı (m/s)</i>
(A)	1. Masif volkanik kayalar ve ayrışmamış sağlam metamorfik kayalar, sert çimentolu tortul kayalar....	—	—	> 1000	> 1000
	2. Çok sıkı kum, çakıl.....	> 50	85–100	—	> 700
	3. Sert kil ve siltli kil.....	> 32	—	> 400	> 700
(B)	1. Tüf ve aglomera gibi gevşek volkanik kayalar, süreksizlik düzlemleri bulunan ayrışmış çimentolu tortul kayalar....	—	—	500–1000	700–1000
	2. Sıkı kum, çakıl.....	30–50	65–85	—	400–700
	3. Çok katı kil ve siltli kil...	16–32	—	200–400	300–700
(C)	1.Yumuşak süreksizlik düzlemleri bulunan çok ayrışmış metamorfik kayalar ve çimentolu tortul kayalar.....	—	—	< 500	400–700
	2. Orta sıkı kum, çakıl.....	10–30	35–65	—	200–400
	3. Katı kil ve siltli kil.....	8–16	—	100–200	200–300
(D)	1.Yeraltı su seviyesinin yüksek olduğu yumuşak, kalın alüvyon tabakaları.....	—	—	—	< 200
	2. Gevşek kum.....	< 10	< 35	—	< 200
	3. Yumuşak kil, siltli kil.....	< 8	—	< 100	< 200

Hacimsel modülü ise kayma şekil değiştirme modülü ve Poisson oranı’nı kullanılarak Bağntı 3.2’ten elde edilmektedir.

$$K = \frac{2}{3} G \frac{(1+\nu)}{(1-2\nu)} \quad (3.2)$$

Bu araştırmanın sonraki bölümünde ise iki tabakalı zeminlerden oluşan ovaların dinamik davranışının analizi ele alınmıştır. Bu amaçla da iki tabakadan oluşan ve

farklı anakaya eğimine sahip iki boyutlu ova modelleri seçilmiştir. Şekil 3.2’de farklı anakaya eğimine sahip iki tabakadan oluşan iki boyutlu ova modelleri verilmektedir. Yapılan iki tabakalı ova modellerinin alt tabakası 50 metre kalınlığında olan bir sıkı kum tabakasından oluşmaktadır. Bu tabakanın üzerinde ise, 50 metre kalınlığında kil zeminlerden oluşan bir tabaka yer almaktadır. Yapılan modellerin toplam derinliği tek tabakalı modellerdeki gibi 100 metredir.

Şekil 3.2 : Dinamik analizlerde kullanılan farklı anakaya eğimine sahip iki tabakalı ova modelleri.

Gevşek, orta sıkı ve sıkı kum olarak kullanılan malzemelerin ortalama kayma dalgası hızı sırasıyla 600, 350 ve 150 m/s alınmıştır. Yumuşak, katı ve çok katı kil çeşitlerinin kayma dalgası hızı için de alınan değerler, sırayla, 125, 300 ve 550 m/s olmaktadır. Anakayadaki kayma dalgası hızı ise 1000 m/s değerini bulmaktadır. Çizelge 3.1’de görüldüğü gibi, modellerde kullanılan farklı zemin guruplarının özelliklerinin derinlikle değişimi de göz önüne alınmıştır. Böylece kullanılan malzeme özelliklerinin tabaka kalınlığı boyunca lineer artışı sağlanmaktadır.

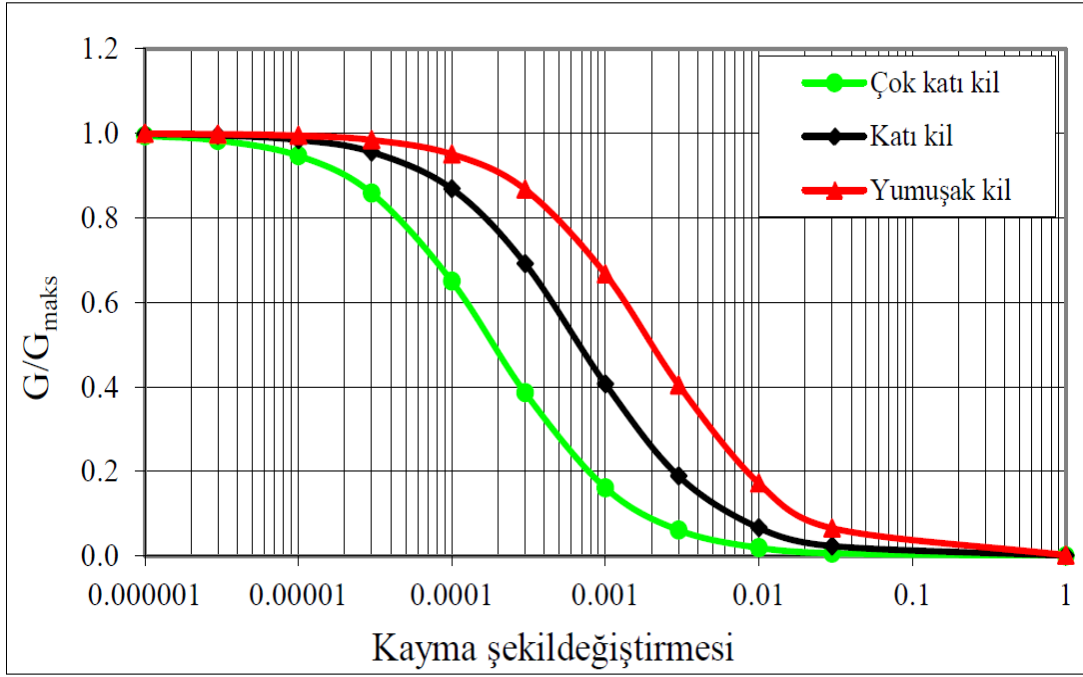
kullanılmakta olan FLAC3D programı ile yapılmıştır. Bu yazılımda zeminlerin doğrusal olmayan davranışı, eşdeğer lineer analizle değil doğrusal olmayan analizler yardımıyla belirlenebilmektedir. Ayrıca, bu yazılımda şekil değiştirmeye bağlı sekant modülü fonksiyonunu kullanan histeretik bir sönümleme formülasyonu uygulanmaktadır.

Tam lineer olmayan yöntemin kapsamında kullanılan davranış modelinde gerçek bir plastisite formülasyonunun kullanıldığından, dinamik analiz süresi boyunca modelin her noktasında oluşan şekil değiştirmeye uygun sönüm oranının belirlenmesi için sadece kayma modülünün kayma şekil değiştirmesi ile değişiminin tanımlanması yeterli olmaktadır. Bu şartlar altında FLAC3D yazılımıyla yapılan dinamik analizlerin sayısı bilgi açısından Çizelge 3.3’de verilmektedir.

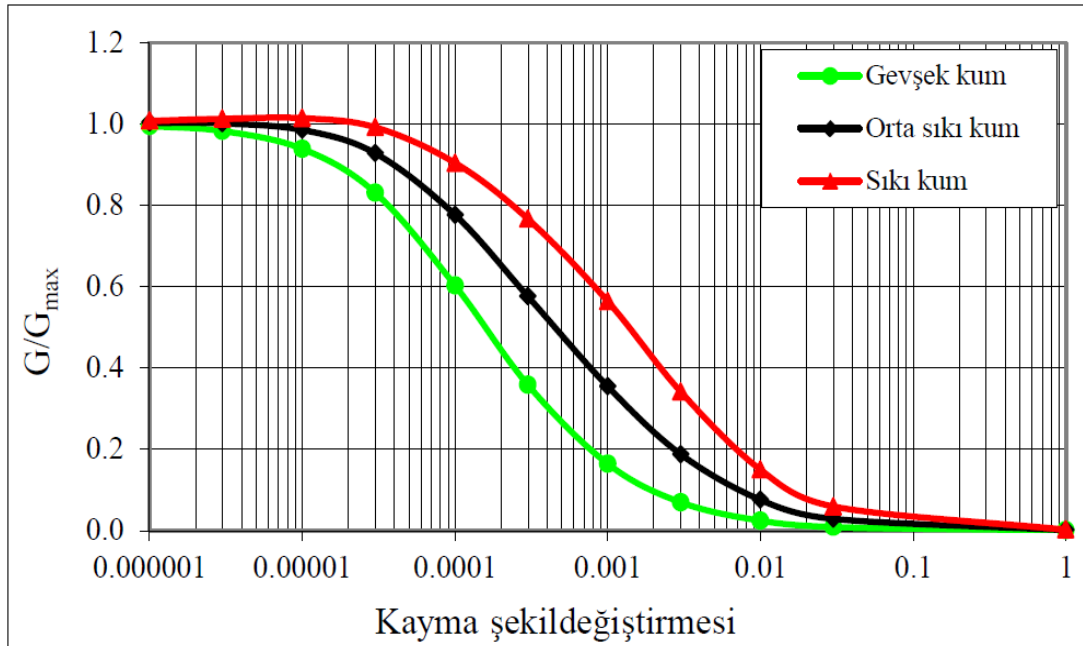
Çizelge 3.3 : FLAC3D yazılımıyla yapılan dinamik analiz sayısı.

Analiz	Ovanın zemin özelliği		Ova boyutları W(m)*D(m)	Anakaya eğimi	Deprem	Analiz sayısı	Toplam analiz
2D	Kum (tek tabaka)	Sıkı	2200*100	4	16	64	592
		Orta Sıkı	2200*100	4	16	64	
		Gevşek	2200*100	4	16	64	
	Kil (tek tabaka)	Çok katı	2200*100	4	16	64	
		Katı	2200*100	4	16	64	
		Yumuşak	2200*100	4	16	64	
	İki tabaka	Çok katı	2200*100	4	16	64	
		Katı	2200*100	4	16	64	
		Yumuşak	2200*100	4	16	64	
	Dinar Ovası	-	6200*220	1	16	16	
1D	-	-	Farklı derinliklerde	-	16	-	3742

Yapılan modellemelerde yaklaşık olarak 200,000 eleman kullanılmış, 1 deprem altında dinamik analizi depremin süresi ve frekans içeriğine bağlı olarak 4 ile 16 saat arasında zaman almıştır. Gelişen teknolojiyle daha hızlı ve kapasiteli bilgisayarların kullanımıyla bu sürenin azalacağı açıktır. Çizelge 3.1’de verilen kil ve kum zemin kesitinin malzemelerin kayma şekil değiştirmesi ile kayma modülünün değişimi, Ishibashi ve Zhang (1993) tarafından önerilen bağıntıları kullanılarak elde edilmiş olup Şekil 3.3 ve 3.4’de verilmektedir. Modellerde anakayanın elastik davranacağı varsayılmıştır.



Şekil 3.3 : Kıl zeminlere ait kayma şekil değıştirmesi ile kayma modülünün değışimi.



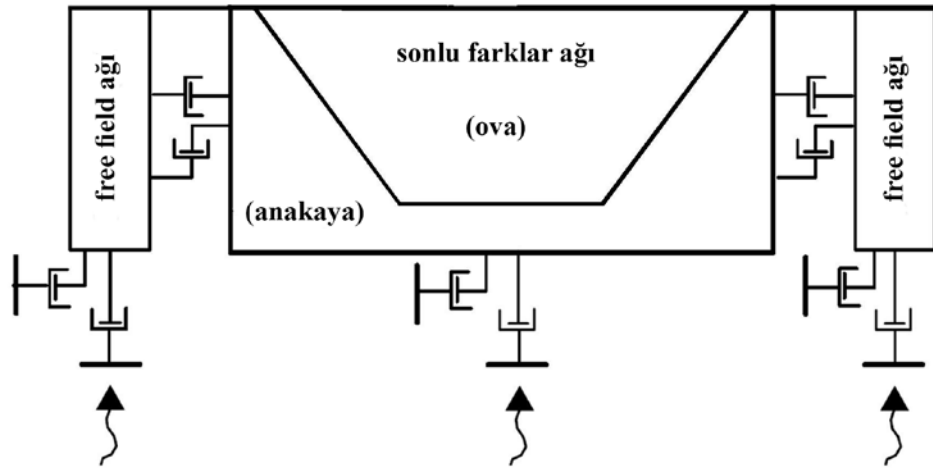
Şekil 3.4 : Kum zeminlere ait kayma şekil değıştirmesi ile kayma modülünün değışimi.

3.3 Dinamik Sınır Koşulları ve Eleman Boyutu

Analizler için kurulan sayısal modellerde, FLAC3D yazılımının tanıtıldığı bölümde de anlatıldığı gibi iki ileri sınır koşulu kullanılmıştır. Modellerin yatay sınırlarında, zemin ve anakaya arasındaki gerçek etkileşimin modellenmesi için esnek taban mantığının (Flexible Base Logic) kullanıldığı “Quiet Boundary” sınır koşulu

uygulanmaktadır. “Quiet Boundary” sınır koşulunun uygulandığı sınırlarda, anakayada ilerleyerek anakaya ve zemin arayüzüne çarptıktan sonra yansıyan dalgaların modelin alt sınırından çıkabilmesi sağlanmaktadır. Düşey sınırlarda ise, ortamın yan taraflarındaki sonsuzluğunun modellenmesi için, “Free-Field” sınır koşulu uygulanmıştır. “Free-Field” sınır koşulu sayesinde, modelin yanal sınırlarına ulaşan dalgaların sınırdan yansıyarak tekrar modelin içine dönmeleri ve onların ortamdan çıkabilmeleri sağlanmaktadır. Şekil 3.5’te yatay ve dikey sınırlarda kullanılmış olan sınır koşulları gösterilmektedir. Görüldüğü gibi, “Free-Field” sınır koşulu modelin düşey sınırlarında sonlu farklar ağına eklenmiş olan bir ağ olarak görev yapmaktadır (Cundall, 2008).

Analizler için kurulan sayısal modellerde göz önüne alınması gereken diğer konu ise sonlu farklar ağı için seçilen eleman boyutudur. Dinamik analizlerde Kuhlemeyer ve Lysmer (1973)’in araştırmasına göre ortamın dalga hızı ve girdi dalgasının frekans içeriği özelliğinin ikisi de dalganın sayısal model doğruluğunu etkilemektedir.



Şekil 3.5 : Sonlu farklar ağının yatay ve düşey yönlerinde kullanılan sınır şartları.

Kuhlemeyer ve Lysmer (1973)’e göre model içinde dalga yayılma koşullarının sağlanması için eleman boyutunun uygulanan dinamik yükün en büyük frekans bileşenine ait olan dalga boyutunun onda biri veya sekizde birinden daha küçük olması gerekmektedir. Bu çalışma kapsamında yapılmış olan modellerin eleman boyutları bu koşulları göz önüne alarak seçilmiştir.

3.4 Dinamik Yüklerin Seçimi ve Kuvvetli Yer Hareketi Kayıtları

Alüvyonel zemin tabakalarından oluşmuş bir ovaya etkiyen kuvvetli yer hareketinin özellikleri ovanın gösterdiği dinamik davranışı etkilemektedir. Başka deyişle bir

ovanın dinamik davranışının göstergesi olarak bilinen zemin büyütmesi, anakaya hareketinin ivmesinin maksimum genliği ve frekans içeriği gibi faktörlerden de etkilenmektedir. Bu ovanın zemin büyütmesinin anakaya hareketlerinden etkilenebileceği anlamına gelmektedir. Bu faktörlerin ovanın zemin büyütmesinin üzerinde olan etkisinin araştırılması için, 16 adet gerçek kuvvetli yer hareketi seçilerek dinamik analizlerde kullanılmıştır. 0.1, 0.2, 0.3 ve 0.4g en büyük mutlak ivme değerlerine sahip hareketlerin her biri için 4 ivme zaman geçmişi kullanılmaktadır. Bu çalışma kapsamında kullanılan kuvvetli yer hareketlerinin özellikleri Çizelge 3.4, 3.5, 3.6 ve 3.7’de verilmektedir.

Çizelge 3.4 : Dinamik analizlerde kullanılan 0.1g ivme değerine sahip kuvvetli yer hareketleri ve özellikleri.

Orijinal kayıt	Palm Spring 1986 (Dep.1)	Chalfant Valley 1986.07.21 (Dep.2)	Mammoth Lakes 1980.05.25 (Dep.3)	Anza (Horse Cany) 1980.02.25 (Dep.4)
İstasyon	Silent Valley	Long Valley Dam	Long Valley Dam	Anza - Pinyon Flat
Formasyon	Ayrılmış Granit	Kaya	Kaya	Kaya
Büyüklik	$M_L=5.9$	$M_w=6.2$	$M_w=6$	$M_w=4.9$
Derinlik (km)	11.1	-	19.7	13
Merkezüstü uzaklığı (km)	19.5	-	-	12
a_{maks} (g)	0.1	0.1	0.1	0.1
v_{maks} (m/s)	0.0332	0.0561	0.0675	0.0226
a_{rms} (m/s ²)	0.2027	0.1578	0.1862	0.1507
Arias şiddeti(m/s)	0.0658	0.0638	0.0666	0.0218
Parantezlenmiş süre (s)	9.96	15.99	11.9	5.945
Anlamli süre (s)	6.14	10.24	7.46	1.945

Çizelge 3.5 : Dinamik analizlerde kullanılan 0.2g ivme değerine sahip kuvvetli yer hareketleri ve özellikleri.

Orijinal kayıt	Sakarya 1999.11.11 (Dep.5)	Dinar 1995 (Dep.6)	Düzce 1999.11.12 (Dep.7)	Livermore 1980.01.27 (Dep.8)
İstasyon	Sakarya Bay. Ve İsk. Müd.	Dinar İstasyonu	Lamont-531	Morgan Terr Park
Formasyon	Kumtaşı	Aluvyon	Kaya	Kaya
Büyüklik	$M_d=5.7$	$M_L=5.9$	$M_w=7.1$	$M_w=5.4$
Derinlik (km)	8.9	12	-	-
Merkezüstü uzaklığı (km)	17.5	2	11.4	10.1
a_{maks} (g)	0.2	0.2	0.2	0.2
v_{maks} (m/s)	0.1409	0.3525	0.2816	0.1221
a_{rms} (m/s ²)	0.2919	0.5028	0.4541	0.3714
Arias şiddeti(m/s)	0.1397	0.8096	0.5283	0.1877
Parantezlenmiş süre (s)	9.45	19.99	15.91	8.485
Anlamli süre (s)	3.11	14.95	10.57	3.425

Çizelge 3.6 : Dinamik analizlerde kullanılan 0.3g ivme değerine sahip kuvvetli yer hareketleri ve özellikleri.

Orijinal kayıt	Mendocino 1992 (Dep.9)	Coyote Lake 1979.08.06 (Dep.10)	Parkfield 1966.06.28 (Dep.11)	Firuzabad 1994.06.20 (Dep.12)
İstasyon	EEL River valley	Coyote Lake Dam	Temblor pre	Firuzabad-ZRT
Formasyon	Kaya	Kaya	Kaya	Kaya
Büyüklik	$M_L=6.5$	$M_w=5.7$	$M_w=6.1$	$M_w=5.9$
Derinlik (km)	14.6	-	-	9
Merkezüstü uzaklığı (km)	15	1.6	16.1	21
a_{maks} (g)	0.3	0.3	0.3	0.3
v_{maks} (m/s)	0.3482	0.2146	0.1683	0.1145
a_{rms} (m/s ²)	0.849	0.5271	0.4752	0.5536
Arias şiddeti(m/s)	0.8079	0.4003	0.3615	0.687
Parantezlenmiş süre (s)	6.995	8.99	9.85	13.98
Anlamli süre (s)	4.82	3.68	4.29	7.14

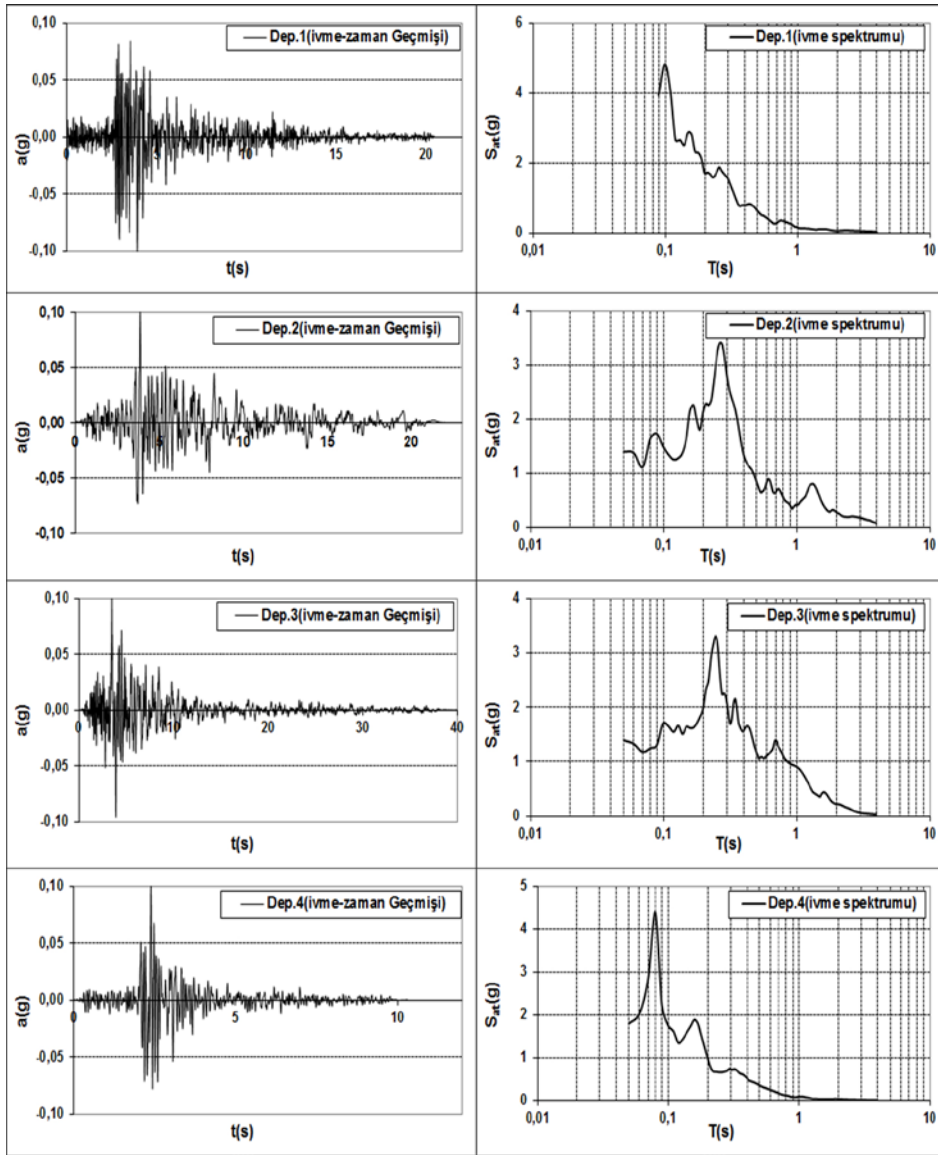
Çizelge 3.7 : Dinamik analizlerde kullanılan 0.4g ivme değerine sahip kuvvetli yer hareketleri ve özellikleri.

Orijinal kayıt	Kocaeli 1999.08.17 (Dep.13)	Parkfield 1966.06.28 (Dep.14)	Umbria Marche 1997.10.16 (Dep.15)	South Iceland 2000.06.17 (Dep.16)
İstasyon	Sakarya Bay. Ve İsk Müd.	Temblor pre	Colfiorito-Casermette	Thjorsarbru
Formasyon	Kumtaşı	Kaya	Kaya	Kaya
Büyüklik	$M_d=7.4$	$M_w=6.1$	$M_w=4.3$	$M_w=6.5$
Derinlik (km)	18	-	2	15
Merkezüstü uzaklığı (km)	35	16.1	1	15
a_{maks} (g)	0.4	0.4	0.4	0.4
v_{maks} (m/s)	0.3589	0.2378	0.3376	0.2174
a_{rms} (m/s ²)	0.6706	0.588	0.6407	0.8194
Arias şiddeti(m/s)	1.5843	0.5537	0.6902	1.6125
Parantezlenmiş süre (s)	21.97	9.93	10.38	14.92
Anlamli süre (s)	9.74	3.19	4.57	4.29

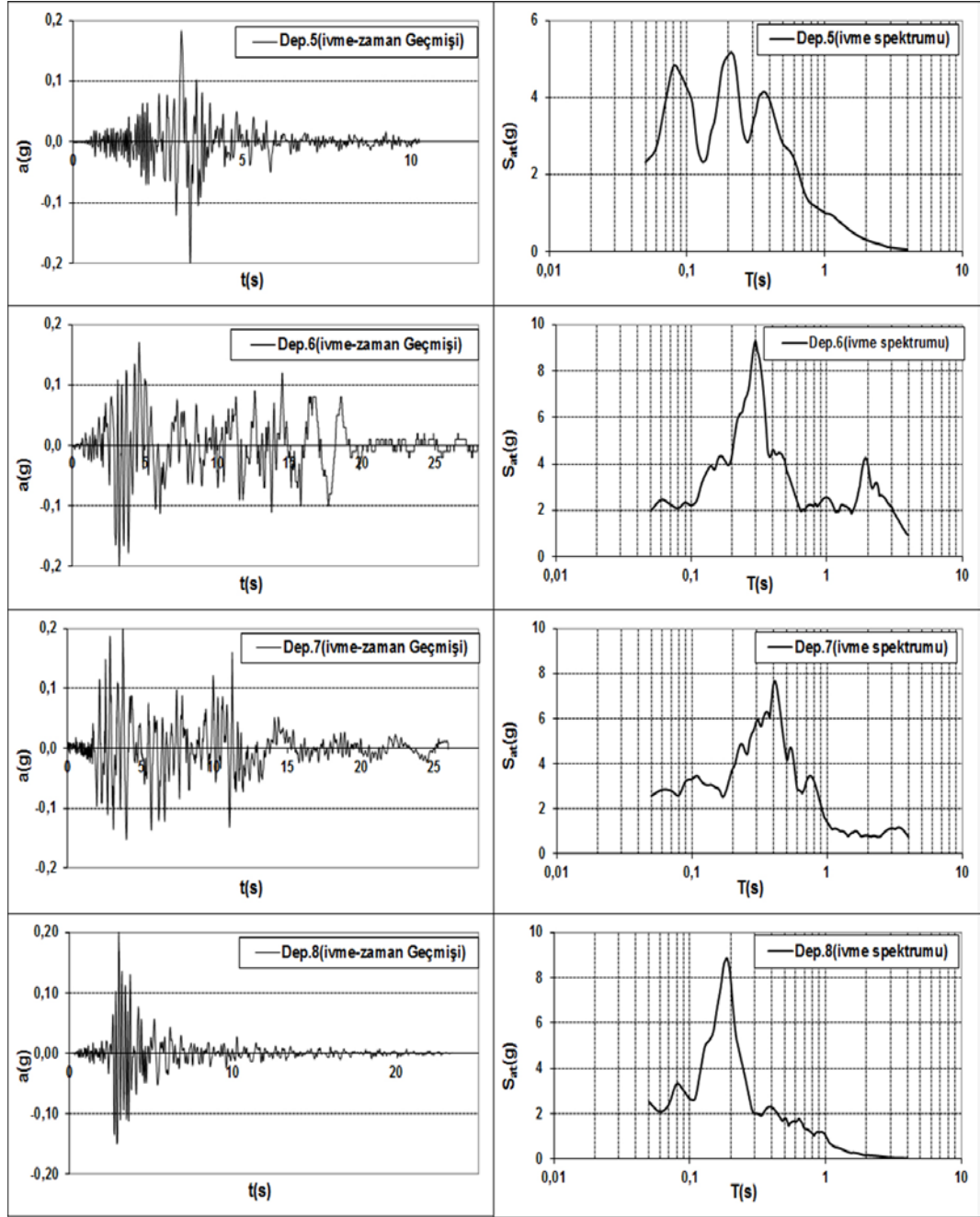
Kayıtlardan farklı zemin tabakalarının etkisinin kaldırılması için dinamik analizlerde kullanılacak ivme zaman geçmişlerinin anakaya hareketi özelliklerine sahip olması gerekmektedir. Bu nedenle kullanılacak kuvvetli yer hareketleri ya anakayada üzerinde kaydedilmiş hareketlerden ya da yeryüzü hareketinin dinamik analizle anakaya seviyesine indirilmesiyle elde edilmiştir.

Yapılacak analizlerden elde edilecek sonuçların özellikle Türkiye Kuzey Anadolu fay hattının sismoteknik yapısının özelliklerini yansıtabilmesi için, bu çalışmada kullanılan depremler Türkiye’de meydana gelen veya aynı kırılma mekanizmasına sahip olan San Andreas fay hattının oluşturduğu depremlerin arasından seçilmiştir.

Seçilen kayıtlar farklı maksimum ivme genliği ve frekans içeriğine sahip olmaktadır. Bu kayıtların hepsi 15Hz üst sınır (Low pass) frekans filtreden geçirilmiş ve taban düzeltmeleri yapılmıştır. Gerçi genelde dinamik analizlerde 25Hz üst sınır frekans filtreden geçirilmiş deprem kayıtları kullanılmaktadır, fakat bu araştırmada yapılan denetimler sonucu 15 Hz'in üzerinde olan yüksek frekanslı hareketlerin etkisinin az olduğundan ayrıca yüksek frekanslara göre seçilen sonlu farklar ağıının eleman boyutunu düşürdüğü ve sonuçta analiz süresinin artmasına neden olduğundan, elde edilen sonuçların dikkatini etkilemeksizin bu frekans aralığında bulunan hareketler filtre edilmiştir. 1 ve 2 boyutlu dinamik analizlerde kullanılan ivme zaman geçmişlerine ait olduğu deprem kayıtları ve onların ivme spektrumları Şekil 3.6, 3.7, 3.8 ve 3.9'da verilmektedir.

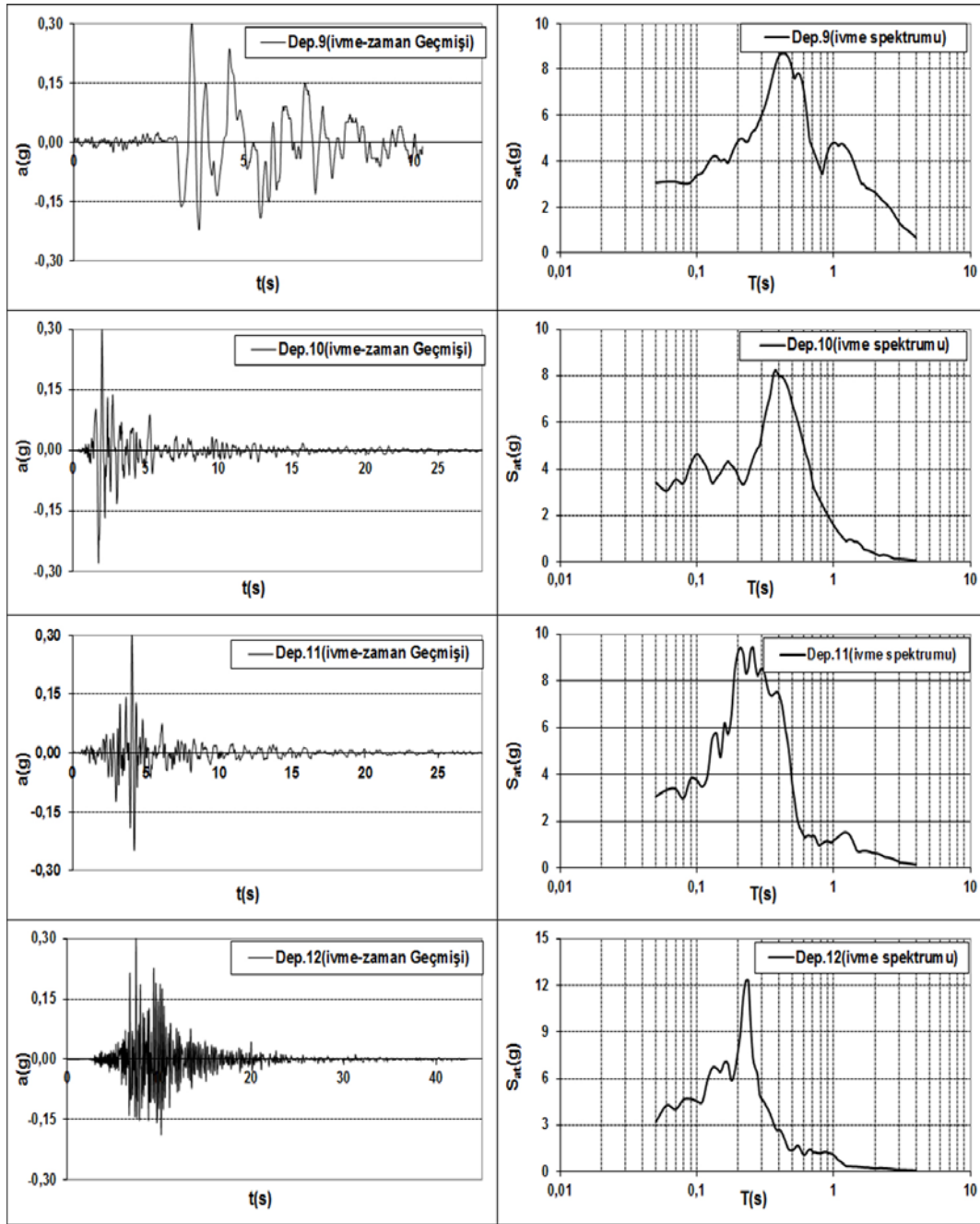


Şekil 3.6 : Dinamik analizlerde kullanılan 0.1g ivme değerine sahip deprem kayıtları ve spektrumları.



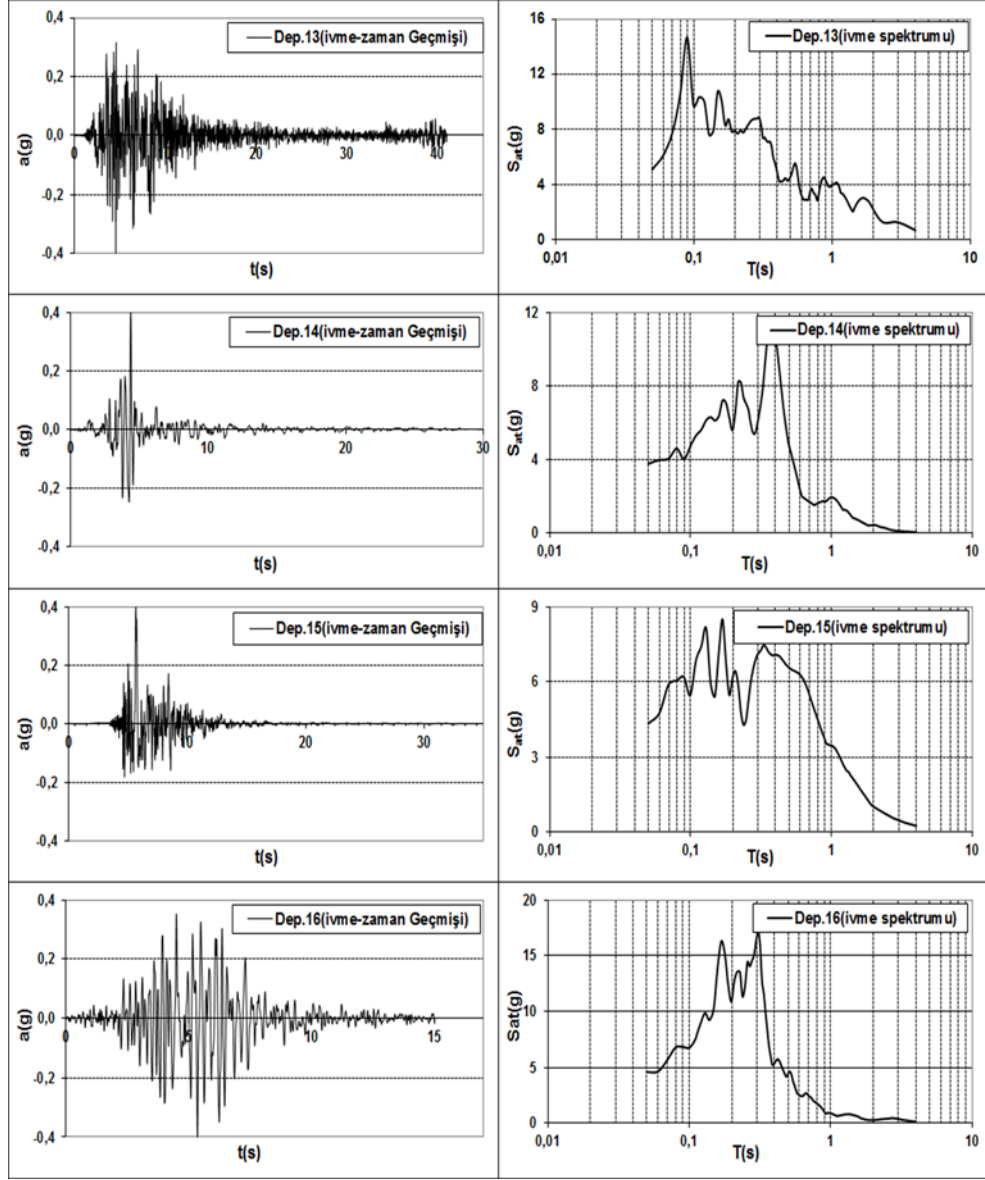
Şekil 3.7 : Dinamik analizlerde kullanılan 0.2g ivme değerine sahip deprem kayıtları ve spektrumları.

Şekil 3.6, 3.7, 3.8 ve 3.9’da verilen anakaya hareketleri, sırasıyla, 0.1g, 0.2g, 0.3g ve 0.4g ivme değerine sahip kayıtlardan seçilmiştir. Şekillerde görüldüğü gibi bu çalışmadaki dinamik analizlerde kullanılan anakaya hareketlerinin özellikleri birbirinden farklı olmaktadır. Çalışmada kullanılan aynı anakaya ivme değerine sahip deprem kayıtlarının süresi, frekans içeriği ve davranış spektrumlarının da birbirinden farklı olduğu görülmektedir.



Şekil 3.8 : Dinamik analizlerde kullanılan 0.3g ivme değerine sahip deprem kayıtları ve spektrumları.

Böylece, deprem hareketlerin farklı özelliklerinin ovaların dinamik davranışına etkisi incelenebilmektedir. Ayrıca, Çizelge 3.4, 3.5, 3.6 ve 3.7’de de görüldüğü gibi anakaya hareketlerinin genelde kuvvet göstergesi olarak bilinen $arms$ ve Arias şiddetlerinin de birbirinden farklı oldukları görülmektedir.



Şekil 3.9 : Dinamik analizlerde kullanılan 0.4g ivme değerine sahip deprem kayıtları ve spektrumları.

3.5 Sonuçların Kullanıma Hazırlanması

İdealleştirilmiş alüvyonel ovaların bir ve iki boyutlu dinamik analizlerinde ilk önce tek tabakalı kil (yumuşak, katı ve çok katı) veya kum (gevşek, orta sıkı ve sıkı) özelliğine sahip zeminlerden oluşan ovaların iki boyutlu dinamik analizi yapılmıştır. Böylece, öncelikle farklı kil ve kum zemininden oluşan ovaların dinamik davranışları incelenmiştir. Ayrıca, kil ve kumdan oluşan ovaların dinamik davranışlarını karşılaştırarak bu ovaların dinamik davranışlarının arasındaki farkı ortaya konmuştur.

Genelde anakaya eğimi ve zemin cinsinden oluşan her ova modeline 16 farklı depremin ivme zaman geçmişi uygulayarak iki boyutlu dinamik analizler yapılmıştır.

Bu analizlerde zemin yüzeyindeki farklı noktaların ivme zaman geçmişleri sonuçları kaydedilmiştir. Her anakaya eğimi ve zemin cinsinden oluşan ova için elde edilen sonuçlar, uygulanan dinamik yüklerin maksimum mutlak ivme değerlerinin 0.1, 0.2, 0.3 ve 0.4g olmak üzere dört farklı grupta değerlendirilmiştir. Sonuçların anlaşılabilir ve daha kullanışlı şekilde sunulması için zemin yüzeyinin her noktasında ilk önce bu koşullar altında elde edilen ivme zaman geçmişinin ivme davranış spektrumu hesaplanmıştır. Zemin büyütmesi ova yüzeyinin her noktasında elde edilen ivme spektrumunun anakaya üzerindeki deprem kaydının ivme spektrumuna oranı olarak tanımlanmaktadır. Belli bir noktada elde edilmiş ivme spektrumunun her frekansta anakaya mostrasının ivme spektrumuna oranlayarak o noktadaki zemin büyütmesi (A) elde edilmiştir. Daha sonra, sonuçların dört farklı şiddet grubu içerisinde değerlendirilebilmesi için, örneğin aynı maksimum mutlak ivme değerine sahip olan dört depremden oluşan 0.1g grubu için, bu dört depremin her frekanstaki zemin büyütmesinin ortalaması hesaplanmıştır. Her frekansta elde edilen bu ortalama zemin büyütmesinin maksimumu (A_{maks}) bir ovanın o noktasındaki belli şiddete sahip depremler altında gösterdiği davranışının temsilcisi olarak tanımlanmıştır. Tüm anakaya eğimleri ve zemin cinslerinden oluşan ovaların iki boyutlu dinamik analizlerinden elde edilen verilerin üzerinde aynı işlemler yapılmıştır. Böylece, farklı anakaya eğimi ve zemin cinslerinden oluşan ovaların değişik şiddete sahip dinamik yüklerin altında gösterecekleri davranışın anlaşılmasına çalışılacaktır.

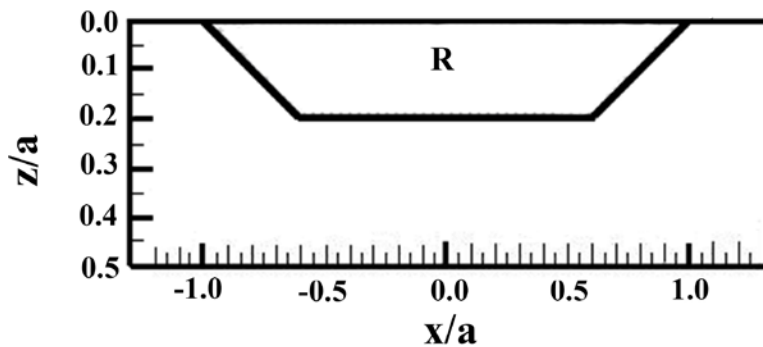
Bu çalışmanın diğer aşamasında, zemin tabakalaşmasının ovaların dinamik davranışına etkisinin incelenmesi amacıyla, iki tabakadan oluşan ovaların bir ve iki boyutlu analizleri yapılmıştır. Bu analizlerde de, tıpkı tek tabakalı ovalarda uygulandığı gibi, ova yüzeyinin her noktasındaki ivme zaman geçmişlerini kaydederek ivme spektrumu hesaplanıp ve farklı şiddete sahip depremler altında gösterilen davranışın göstergesi olarak ortalama zemin büyütmesinin maksimumu hesaplanacaktır.

İki boyutlu analizlerin yanı sıra, yapılan modellerin farklı noktalarında tek boyutlu analizlerin yapılması da planlanmaktadır. Ova modellerinde tek boyutlu analizlerin yapıldığı noktalar Şekil 3.1 ve 3.2’de verilmektedir. Şekil 3.1 ve 3.2’de verilen ovaların yüzeyinde görüldüğü gibi, simetrik ovanın her yarısında tek boyutlu analizlerin A, B, C, D, E ve F olarak belirlenen toplam altı noktada yapılması düşünülmektedir. Seçilmiş olan bu noktalarda, farklı anakaya derinliğine sahip

profillerden oluşan modellerin üzerinde tek boyutlu dinamik analizler yapılacaktır. Her noktada elde edilen ivme zaman geçmişlerinin üzerinde, tıpkı iki boyutlu ovalardaki ivme zaman geçmişlerine uygulandığı gibi, ivme spektrumu hesaplanıp ve farklı şiddete sahip depremler altında gösterilen davranışın göstergesi olarak ortalama zemin büyütmesinin maksimumu hesaplanmıştır. Tek ve iki boyutlu analizlerden elde edilen sonuçların daha anlamlı hale getirilmesi için, iki boyutlu mutlak ivme maksimumunun tek boyutlu mutlak ivme maksimumuna oranı olarak tanımlanan şiddet faktörünün ($AGF=a_{2D}/a_{1D}$) de hesaplanması düşünülmektedir. Böylece, her deprem için A, B, C, D, E ve F noktalarında elde edilmiş olan iki ve bir boyutlu ivme zaman geçmişleri hesaplanır. Daha sonra, sonuçların dört farklı şiddet grubu içerisinde değerlendirilebilmesi için, her noktada elde edilmiş olan şiddet faktörlerinin ortalaması alınarak bir ovanın farklı şiddete sahip depremler altındaki şiddet faktörü olarak sunulacaktır.

3.6 Yapılan Modellemenin Doğrulaması

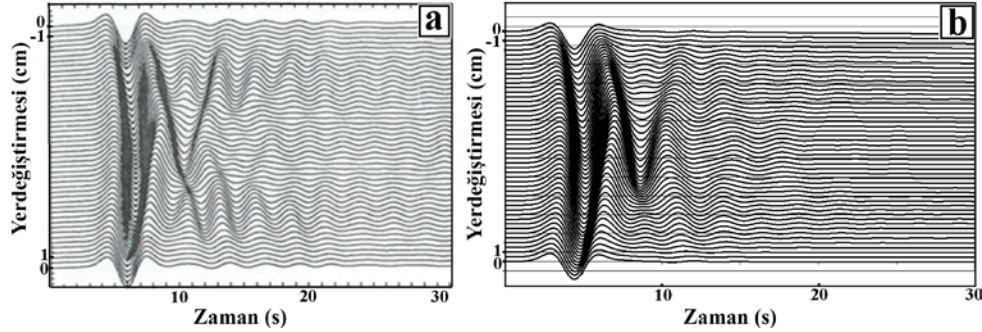
İdealleştirilmiş modeller üzerinde yapılan dinamik analizlerin doğrulaması geniş bazda kabul görmüş olan ve ayrıca diğer araştırmacılar tarafından da bu amaç için kullanılan sonuçlar ile karşılaştırılması yapılmıştır. Bu hususta, trapez geometrisine sahip bir ovanın Kawase ve Aki (1989) tarafından yapılan dinamik analizin sonucundan yararlanılmıştır. Şekil 3.10'da Kawase ve Aki (1989) tarafından kullanılan trapez şekline sahip geometrinin boyutsuz şekli verilmektedir.



Şekil 3.10 : Kawase ve Aki (1989)'nin kullandığı trapez ova şekli.

Kawase ve Aki (1989)'nin çözümünün sonuçları aralarında Ramos-Martinez (1992), Zahradnik (1995) ve Gil-Zepeda ve diğ. (2003)'ün bulunduğu araştırmacılar tarafından denetlenip onaylanmıştır. Ova yüzeyi boyunca meydana gelen

yerdeğiştirme değerlerinin zamanla değişimi, aynı zamanda FLAC3D yazılımı vasıtasıyla aynı koşullar ve şartlar altında yapılmış olan analizin sonuçları Şekil 3.10’da verilmektedir.



Şekil 3.11 : Trapez şekline sahip ovanın analiz sonuçları, a) Kawase ve Aki (1989)’nin sonuçları, b) Bu çalışmadaki FLAC3D’nin sonuçları.

Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, aralarındaki ufak farklılıklara rağmen iki çözüm sonuçlarının birbirine yakın oldukları görülmektedir. Şekil 3.10’da verilen ova modeline dinamik yükü olarak Kawase ve Aki (1989)’nin kullandığı 0.25 Hz frekansına sahip Ricker pulsı uygulanmaktadır. Şekil 3.11’de verilen sonuçlara göre modelin alt sınırından uygulanan dinamik yükün yaklaşık 4 saniye sonra ovanın yüzeyine ulaştığı tespit edilmektedir. Ana dalganın yüzeye ulaştığından sonara, yüzey dalgalarının oluştuğu ve ovanın yüzeyi boyunca ilerlediği de görülmektedir. Görüldüğü gibi yüzey dalgalarının oluşup ova yüzeyinde ilerlemesi iki analiz sonucunda da görülmektedir. Her iki analizde de 10’uncu saniyeden sonra yüzeydeki hareketlerin sönümlenmesi görülmekle birlikte Kawasae ve Aki (1989) tarafından verilen çözümde sönümlenme olayı daha düşük hızla oluşmuştur. 14’üncü saniyeden sonra ana dalga ve yüzey dalgalarının sönümlendiğinden sonra Kawasae ve Aki(1989)’nin çözümünde ova yüzeyinde bir takım kaynaksız sarsıntıların bulunduğu görülmektedir. Bu sarsıntıların Kawasae ve Aki (1989) tarafından kullanılan yöntemin kısıtlarından kaynaklandığı düşünülmektedir.

4. ÇALIŞMADA KULLANILAN DİNAMİK ANALİZ YÖNTEMİ VE TEORİK TEMELİ

Yerel zemin koşullarının, anakayada oluşan hareketin özellikleri üzerinde önemli etkisinin olduğu birçok deprem sırasında tespit edilmiştir. Yerel zemin koşullarının deprem hareketine etkisinin anlaşılabilmesinin en gerçekçi yolu şüphesiz alınan deprem kayıtlarının incelenmesi ve analiz edilmesidir. Ancak yeterli kayıtların olmadığı veya alınamadığı durumlarda yerel koşulların etkileri yapılan bir, iki ve üç boyutlu dinamik analizlerle belirlenebilmektedir. Analizlerde kullanılacak yöntemin seçimi incelenen problemin büyüklüğüne, önemine ve elde mevcut olan saha ile ilgili bilgilere bağlı olmaktadır. Örneğin sığ ve geniş ova gibi oluşumlarda yerel etkiler bir boyutlu (1D) sayısal yöntemlerle modellenenilmektedir. Yerel etkilerin tek boyutlu modellenmesi için lineer elastik, eşdeğer lineer veya lineer olmayan yöntemler kullanılmakta olup bu konuda yapılan birçok araştırmanın sonucu tek boyutlu analizlerin yetersiz olduklarına işaret etmektedir (Bakır ve Özkan 2002; İyisan ve Haşal 2007; Haşal 2008; Zhang ve Zhao 2009; Gelagoti ve diğ. 2010; Haşal ve İyisan 2012).

Ova/vadi boyunca yeterli sayıda deprem kaydedici aletin yerleştirmesinin çok pahalı olduğundan dolayı, ovaların iki veya üç boyutlu dinamik davranışlarının sayısal yöntemlerle araştırılması geoteknik mühendisliği uygulamalarında giderek önem kazanmaktadır. Bu yöntemler arasında sonlu elemanlar ve sonlu farklar yöntemi, direkt ve direkt olmayan sınır elemanları yöntemi ve hibrit tekniği en çok kullanılan yöntemler arasında yer almaktadır. Yapılan araştırmalara göre yerel etkiler konusunda yapılan analizlerden elde edilen en gerçekçi sonuçlar sonlu farklar yöntemiyle yapılan analizlerden elde edildiği savunulmaktadır. Sonlu farklar yönteminin düzensiz geometrilerin modellenmesinde sağladığı esneklikten dolayı bu çalışmada yapılacak iki boyutlu analizlerde de bu yöntemin kullanılmasına karar verilmiştir. Ayrıca sonlu farklar yöntemiyle çalışan FLAC3D yazılımının seçiminde ise bu yazılımda kullanılan ileri dinamik sınır koşulları ve sönümleme

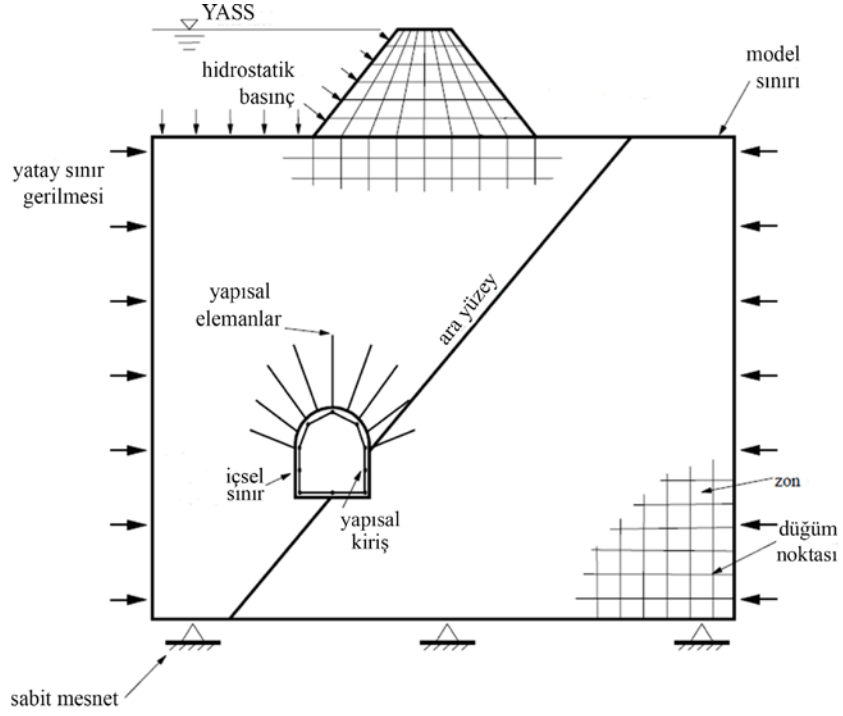
formülasyonunun analizlerin hassaslığının artması üzerindeki etkisi de göz önüne alınmıştır.

Bu bölümde, ova modellerinin analizinde kullanılan FLAC3D yazılımı ile ilgili özet bilgiler verilerek bu programın tanıtımı yapılacak ardından yazılımın teorik altyapısı ve daha sonra da dinamik problemlerin çözümünde kullanılmasına değinilecektir.

4.1 FLAC3D YAZILIMI VE KULLANIM ALANLARI

FLAC3D yazılımı sürekli ortamların denge veya ilerleyen plastik akma durumundaki mekanik davranışının sayısal veya nümerik olarak incelenmesinde kullanılan sonlu farklar yöntemine dayanan bir yazılımdır. Bu yazılım kullanılarak yapılan analizlerle elde edilen davranış bir taraftan belirli bir matematiksel model ve diğer taraftan ise özel bir nümerik uygulamanın sonucu olmaktadır. Yazılımda zemin ve kaya gibi malzemelerin plastik akma seviyesinde gösterecekleri davranışları daha önceden kullanıcı tarafından elemanlar aracılığıyla tanımlanan sonlu farklar ağıının oluşturmasıyla yapılmaktadır. Her bir tek eleman sınır koşulları altında uygulanan kuvvetlere karşı daha önceden belirtilmiş olan lineer veya lineer olmayan gerilme-şekil değiştirme özelliğine uygun bir davranış sergilemektedir. Böylece, modellenen malzemedeki akma ve göçme ayrı ayrı veya aynı anda ortaya çıkabilmekte ve bu durumda sonlu farklar ağı da şekil değiştirip tanımlanan malzemelerle birlikte hareket edebilmektedir.

Kullanılan eksplisit Lagranj Hesaplama Düzeni ve karma ayrıklaştırma tekniği sayesinde plastik akma ve göçme gibi olayların dikkatlice modellenebilmesi de sağlanmaktadır. FLAC yazılımıyla hesaplama aşamasında matris kullanılmadığından aşırı bilgisayar hafızası kullanılmadan büyük çaplı üç boyutlu analizlerin yapılması mümkün olmaktadır. Şekil 4.1’de bu çalışma kapsamında dinamik analizlerde kullanılan programın terimler dizgesi verilmektedir. Şekilde görüldüğü gibi sonlu farklar ağı istenilen zemin yapısı şekline uyarlanan model üzerlerinde statik ve dinamik analizlerin yapılma imkânı sağlanmaktadır. Yazılımda bulunan ara yüzey formülasyonu sayesinde birbirine yapışmış olan fakat fay yapısı gibi birbirinden ayrılma veya bu yüzey boyunca kayma olasılığı olan iki sonlu farklar ağı arasındaki etkileşim de modellenebilmektedir.



Şekil 4.1 : Çalışmada kullanılan yazılımın terminolojisi (FLAC kullanım klavuzu, 2001).

Yapısal elemanlar ise ankraj ve zemin çivisi gibi objelerin modellenmesinde kullanılmaktadır. Sıvılaşma araştırmalarında veya barajların tasarımında kullanılan hidrostatik basınç ise akışkanlar mekaniği formülasyonunun uygulamasıyla yapılmaktadır. Tüm bunların yanı sıra statik ve dinamik sınır koşullarının uygulanmasıyla bu yazılımla gerçekçi bir modellemenin yapılması mümkün olmaktadır (FLAC kullanım klavuzu, 2001).

FLAC3D, esasında geoteknik mühendisliği alanındaki uygulamalar için geliştirilmiş olmasına karşılık yeraltı yapıları, maden mühendisliği ve kaya mekaniği gibi birçok araştırma alanlarında da yaygın olarak kullanılmaktadır. FLAC3D yazılımının mühendislik uygulamalarında kullanım alanlarından bazıları aşağıda verilmektedir:

- Şevlerin ve temellerin tasarımında zemin ve yükleme koşullarına göre deformasyonların ve taşıma kapasitelerinin hesaplanması.
- Zemin yapılarında, dolgu ve şevlerin stabilite analizinde güvenlik katsayısının hesaplanması.
- Sert kayalarda yapılan maden arama ve tünel tasarımında her türlü göçme ve deformasyon oluşumlarının değerlendirilmesi.
- Maden araştırma projelerinde fay yapısının ve etkisinin değerlendirilmesi.

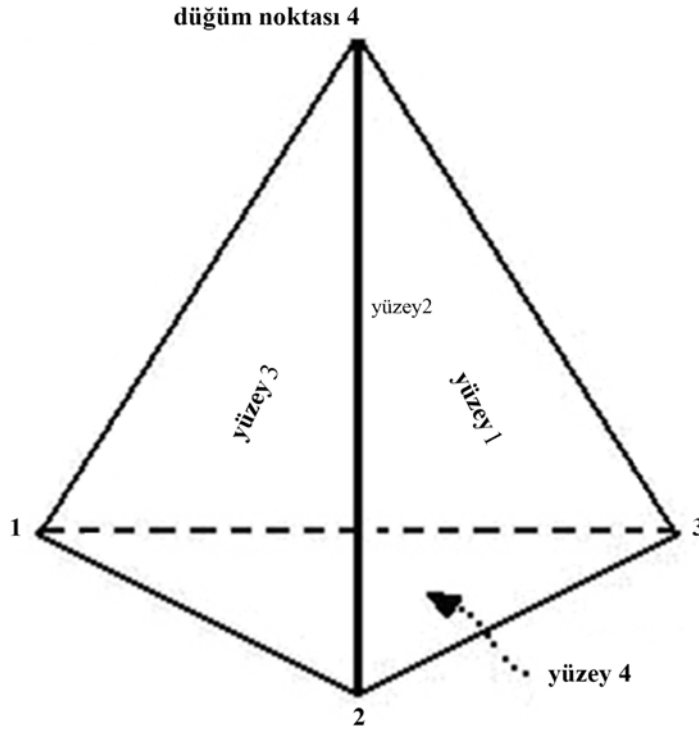
- Jeolojik ve geoteknik problemlerde kaya bulunu, zemin çivisi, zemin ankrajları ve destek sistemlerinin tasarlanması.
- Zemin dayanma yapılarının konsolidasyon ve yeraltı su hareketi araştırılmalarında kullanılan doygun ve kısmen doygun olan ortamdaki akışkanın hareketi, ayrıca drenajlı ve drenajsız yüklemelerde boşluk suyu basıncının oluşumu ve sönümlenmesi olaylarının incelenmesi.
- Tuz ve potasyum madenlerinin tasarımında kullanılan viskoz malzemelerin zamana bağlı krip davranışının incelenmesi.
- Tünel ve maden kazılarında titreşim ve patlama nedeniyle oluşacak dinamik etkilerin incelenmesi.
- Toprak dolgu barajların tasarımında yapıların sismik analizlerin yapılması.
- Yüksek radyasyonlu atıkların yeraltı depolarının performans değerlendirilmesinde kullanılan termik faaliyetler sonucu meydana gelen yükler altında oluşan deformasyon ve mekanik dengesizliklerin incelenmesi.

FLAC3D'nin nümerik temelleri, iki boyutta çalışan FLAC programının formülasyonunun üçüncü boyutta çalışabilmesinin geliştirmesine dayanmaktadır. Bu yazılım, özellikle, geoteknik mühendisliği alanındaki üç boyutlu problemlerin çözümü için ideal bir analiz aracı olarak öne çıkmaktadır.

4.2 FLAC3D'ile MODELLEMENİN TEORİK TEMELİ

Bu çalışma kapsamında dinamik analizlerde kullanılan FLAC3D yazılımında ortamın mekaniği genel hareket kanunları ve idealleştirilmiş malzeme özelliklerini tanımlayan bünye denklemlerinden elde edilmektedir. Elde edilen matematiksel ifadeler, özgün bir başlangıç ve sınır koşulları altında çözümlenmesi planlanan belirli bir geometri ve malzeme özelliklerinin mekanik (gerilme) ve kinematik (şekil değiştirme oranı, hız) değişkenlerini birbirine bağlayan bir kısmi diferansiyel denklemlerden teşkil edilmektedir. Gerçekte FLAC3D, modellenen ortamın dengeye yakın durumunun gerilme ve deformasyonu ile ilgilenmektedir. Ancak denge denklemlerinin doğrudan modellemeye dahil edilmesi onun önemli özelliklerinden biri olmaktadır. FLAC3D'nin varsayılan modu statik problemlerin analizi için ayarlanmıştır. Bu modun yanı sıra mekanik analizlerden bağımsız veya

bağlanmaktadır. Sonlu farklar ağı modellenen probleme göre en az bir adet dörtyüzlü elemandan teşkil edilebilmektedir.

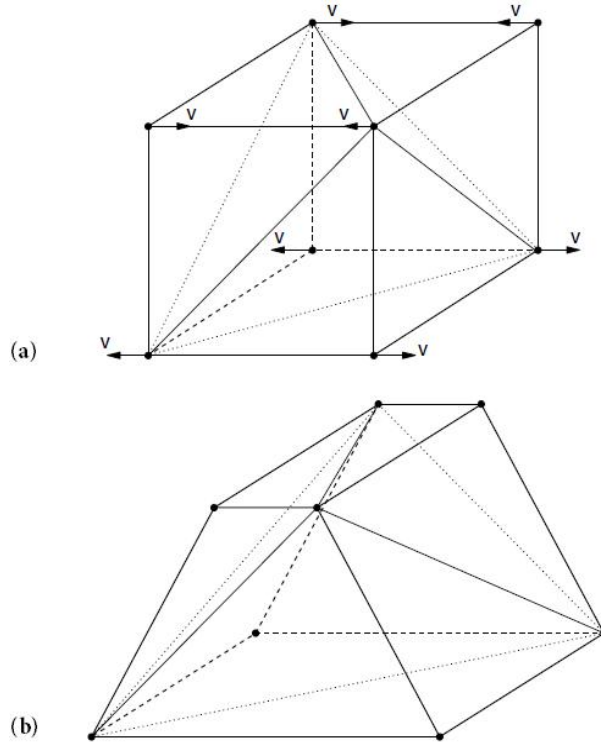


Şekil 4.2 : Ayırıklaştırılmış ortamın sabit şekildeğiştirmeli dörtyüzlü elemanı.

FLAC3D’de kullanılan dörtyüzlü elemanların diğer yazılımlarda yaygın olarak kullanılan üç boyutlu sabit şekil değıştirmeli elemanlara göre avantajı ise bu elemanlarda kum saati şeklinde bilinen deformasyonun meydana gelmemesidir. Bunun nedeni ise düğüm noktalarının deformasyon biçiminin şekil değıştirme yapmayan düğüm noktası hızlarının birleşmesinden oluşması ve böylece düğüm noktalarında güç artışının oluşmamasıdır. Bununla birlikte, plastisite çerçevesinde kullanıldığında bu elemanlar tarafından yeterli deformasyon modu ortaya konulmamaktadır. Örneğin, belirli bir davranış kanunu altındaki özel bir durumda hacim değıştirmeden ayrı ayrı deformasyon yapamayabilirler. Bu gibi durumlarda bu elemanlar teoriden beklenene göre gereğinden daha fazla rijit bir davranış sergilemektedir. Bu gibi sorunun üstesinden gelebilmek için FLAC3D’de karma ortam ayırıklaştırma yaklaşımı uygulanmaktadır.

Karma ayırıklaştırma tekniğinin amacı dörtyüzlü elemanın şekil değıştirme oranı tensorunun birinci değışmeyeninin uygun bir şekilde ayarlanmasıyla elemanların daha çok hacimsel esnekliklerinin sağlanmasıdır. Bu değışmeyen sabit şekil değıştirme oranlı dörtyüzlünün genişleme oranının bir ölçüsü olarak sayılmaktadır.

Bu tekniğin uygulanması sonucu Şekil 4.3'te gösterilmektedir. Bu şekilde karma ayrıklaştırma tekniğinin uygulandığı elemanın şekil değiştirmeye uğradıktan sonra kum saati şeklindeki deformasyona maruz kalmadığı açıkça görülmektedir.



Şekil 4.3 : Karma ayrıklaştırma yaklaşımının uygulandığı elemanın şekil değiştirmesi, a) şekil değiştirmeden önce b) şekildeğiştirmiş elaman (FLAC kullanım klavuzu, 2009).

4.2.1 Başlangıç ve Sınır Koşulları

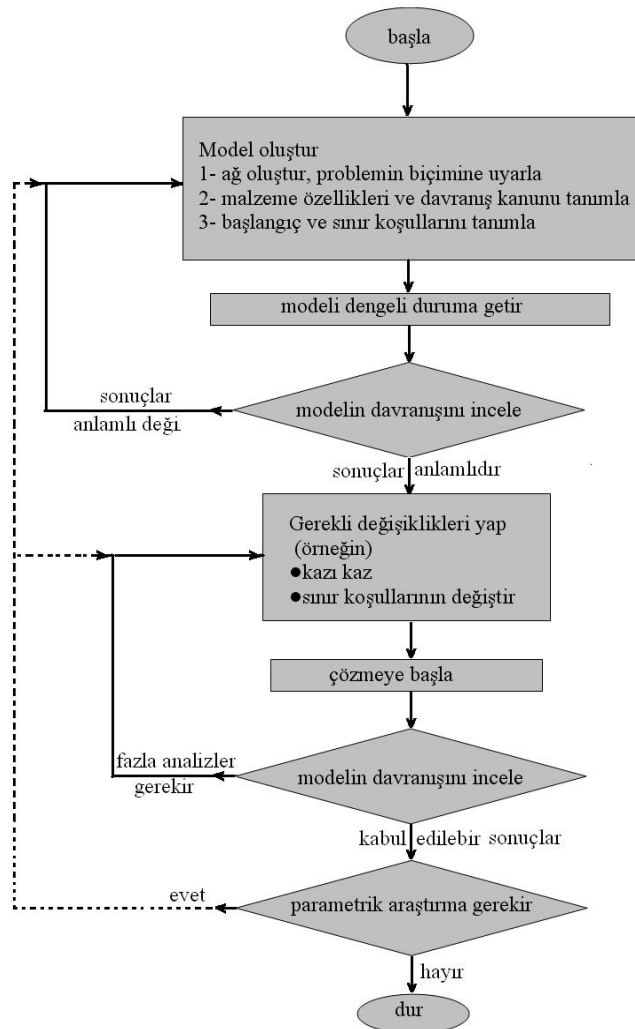
Belirli bir problemin başlangıç koşulları yüzeysel çekim ve yığılmış nokta yükler ile şekil değiştirmelerden oluşmaktadır. Bunlara ilaveten sisteme dış kuvvetler ve başlangıç gerilme koşulları da eklenebilmektedir. FLAC3D uygulamasında tüm gerilmeler ve düğüm noktalarındaki hızlar ilk başta sıfır olmakta, daha sonra uygulanması gereken başlangıç gerilmeleri atanmaktadır. Nokta yükler belirtilen düğüm noktalarında uygulanmakta ve sınırlardaki şekil değiştirmeler ise düğüm noktalarındaki hız miktarı aracılığıyla hesaplanmaktadır. Dış ve yüzeysel çekim kuvvetleri de program tarafından statik olarak denge durumunda olan eşdeğer düğüm noktasındaki yüklere dönüştürülmektedir. Bütün bunlar nümerik düzeninin başlangıç durumunu oluşturmaktadır.

4.2.2 Hesap Adımları

FLAC3D zaman tanım alanında eksplisit sonlu farklar yöntemine dayalı çalışan bir yazılımdır. Her bir zaman adımında yapılan hesaplama düzeni aşağıda sıralanmaktadır:

1. Düğüm noktalarındaki hızlardan yeni şekil değiştirme oranlarının türetilmesi.
2. Davranış kanunları uygulanarak bir önceki zaman adımındaki gerilme ve şekil değiştirme oranlarından yeni gerilmelerin hesaplanması.
3. Bir önceki adımda hesaplanmış olan gerilmelerden yeni düğüm noktası hızı ve şekil değiştirmelerinin hesaplanması için hareket kanununun devreye girmesi.

Şekil 4.4'te, bir problemin FLAC yazılımıyla çözüldüğünde izlenen genel aşamalar verilmektedir.



Şekil 4.4 : FLAC3D yazılımında problemin çözümü için akış diyagramı.

Yukarıda tanımlanan düzen her bir zaman adımında tekrarlanarak modelde oluşan maksimum dengesizlik gözlenmektedir. Sistem denge durumuna geldiğinde bu güç miktarı sıfıra erişmiş olacaktır. Eksi takdirde, sıfırdan başka bir sabit değere yaklaştırmaya başlayacak, bu da sistemin bir kısmı veya tamamının plastik akma durumunda olduğunun göstergesi olacaktır. Şekil 4.4'teki bu akış diyagramında verilen aşamaların sırasına bakıldığında çözüm süresi boyunca izlenen düzenin fiziki olayın doğadaki gelişmesine benzerliği görülmektedir. Yine aynı akış diyagramından görülebileceği gibi her problemin çözüm süreci boyunca elde edilen sonuçların defalarca incelenmesi ve modellemenin kullanıcının istediği doğrultuda ilerlemesinin gözlenmesi gerekmektedir.

4.3 Sonlu Farklar Yaklaşımının Uygulanması

Bu bölümde sonlu farklar yaklaşım ortamının oluşturulması ve uygulanması ana hatları ile sunulacaktır. Bunun için hareket denklemlerinin düğüm noktalarındaki formülasyonunun başlangıcı olan düzgün dörtyüzlünün şekil değiştirme oranının bileşenlerinin sonlu farklar yöntemiyle ifadesi verilmektedir. Düzgün dörtyüzlünün düğüm noktaları daha önceden Şekil 4.2'de verildiği gibi 1, 2, 3 ve 4 olarak numaralandırılmaktadır. İfadelerde n . düğüm noktasının karşısına gelen yüzey, n . yüzeyi olarak isimlendirilmektedir. Gauss ıraksama teorisi dörtyüzlüye uygulandığında aşağıdaki bağıntı yazılabilir.

$$\int_V v_{i,j} dV = \int_S v_i n_i dS \quad (4.1)$$

Bu integraller sırasıyla dörtyüzlü elemanın hacim ve yüzeyi üzerinde alınmaktadır. Bu bağıntıda V hacim, S alan ve $[n]$ ise dörtyüzlünün her yüzünde yüzey dışı yönündeki birim vektörüdür.

Bir sabit şekil değiştirme oranlı dörtyüzlünün hız alanı doğrusal varsayıldığında, $[n]$ 'ile tanımlanan birim vektörü de dörtyüzlünün her yüzeyinde sabit kalmaktadır. Buradan bağıntı 4.1'deki integrasyon sonucu aşağıdaki denklem elde edilmektedir.

$$V_{i,j} = \sum_{f=1}^4 \bar{v}_i^{(f)} n_j^{(f)} S^{(f)} \quad (4.2)$$

Bu denklemde (f) , f cephesi üzerindeki değişkenin değeriyle ilişkilidir. $\bar{v}_i$ ise hızın i bileşeninin ortalama değeridir. Hız değişiminin lineer olduğu durumda.

$$\bar{v}_i^{(f)} = \frac{1}{3} \sum_{l=1, l \neq f}^4 v_i^l \quad (4.3)$$

Bu denklemdeki l , l 'inci düğüm noktasındaki değer ile ilişkilidir. Denklem 4.2'nin denklem 4.3'de yerleştirildiğinde.

$$V_{v_{i,j}} = \frac{1}{3} \sum_{l=1}^4 v_i^l \sum_{f=1, f \neq l}^4 n_j^{(f)} S^{(f)} \quad (4.4)$$

Denklem 4.1'de v_i yerine 1 konulup ıraksama teorisinin uygulanmasıyla;

$$\sum_{f=1}^4 n_j^{(f)} S^{(f)} = 0 \quad (4.5)$$

bağıntısı elde edilmektedir. Elde edilen son bağıntının kullanıldığında ve diğer taraftan da denklem 4.4'ün V 'ye bölüldüğünde.

$$v_{i,j} = -\frac{1}{3V} \sum_{l=1}^4 v_i^l n_j^{(l)} S^{(l)} \quad (4.6)$$

elde edilmektedir. Dolayısıyla şekil değiştirme oranı tensoru aşağıdaki gibi ifade edilebilmektedir.

$$\xi_{i,j} = -\frac{1}{6V} \sum_{l=1}^4 (v_i^l n_j^{(l)} + v_j^l n_i^{(l)}) S^{(l)} \quad y_t = \phi_1 \cdot y_{t-1} + \varepsilon_t \quad (4.7)$$

4.4 FLAC3D Yazılımıyla Dinamik Analiz

Önceki bölümlerde söylendiği gibi FLAC3D'nin varsayılan kullanım modu statik analizler için uyarlanmaktadır. Dinamik problemlerin çözümü için statik modunun yanı sıra dinamik analiz modu seçeneği de kullanılabilmektedir. FLAC3D'nin dinamik analiz seçeneği, üç boyutlu tam dinamik analizlerin yapılmasını mümkün kılmaktadır. Bu hesaplamalarda tam hareket denklemleri, statik çözümünde kullanılan aktif kütle yerine bir bölgenin etrafındaki gerçek yoğunluğu ile elde edilen düğüm noktasına yığılmış kütle kullanarak eksplisit sonlu farklar yöntemi ile

özlmektedir. FLAC3D’de kullanılan tam lineer olmayan analiz yöntemi, deprem mühendisliği uygulamalarında kabul görmüş olan ve daha yaygın olarak kullanılan eşdeğer lineer yöntemi ile çelişmektedir. Eşdeğer lineer yöntemi farklı geometrilerin modellenmesinde güçlükler arz etmesine karşılık uygulanmasının kolay olması ve dinamik deneylerden elde edilen labratuvar sonuçlarının direkt olarak kullanabilmesi nedeniyle geoteknik mühendisliği alanında daha çok tercih edilmektedir. Diğer yandan tam lineer olmayan yöntem, çözülmesi istenilen problemin fiziğini daha düzgün olarak modelleyebilmekte ancak kullanıcının daha çok uğraş vermesini gerektirmektedir. Ayrıca, dinamik olayların daha ayrıntılı ve hassas bir şekilde modellenebilmesi için de bu tür yöntemlerin kullanıldığı yazılımlarda daha kapsamlı gerilme-şekil değiştirme davranış modellerinin oluşturulmasının gerekli olduğu da önem taşımaktadır.

FLAC3D’nin dinamik bölümünde seçmeli olarak kullanılabilen şekil değiştirmeye bağlı sönüm oranıyla sekant modülü fonksiyonunu birleştiren histeretik bir sönümleme ifadesi bulunmaktadır. Bu da doğrudan tam lineer ve eşdeğer lineer yöntemlerin arasındaki farkların incelenmesinin imkânının sağlanması anlamına gelmektedir.

Dinamik analizlerde tam lineer olmayan yöntemin eşdeğer lineer yöntemine göre birçok üstünlüğe sahip olduğu bilinmektedir. Bu avantajların daha çok belirtmesi nedeniyle, aşığıda tam lineer olmayan yöntemin özellikleri kısaca verilmektedir:

- 1) Bu yöntemde daha önceden belirlenmiş olan herhangi bir lineer olmayan davranış, kanunu izlenebilmektedir. Histeretik bir model kullanıldığı takdirde, fazladan bir sönüm belirtmeden modelin her noktası uygulanan etki seviyesine uygun bir sönümleme ve tanjant modülü değerine sahip olmaktadır. Varsayılan Rayleigh veya bölgesel snmlerin kullanılması durumunda, belirlenen sönüm katsayıları ağın her yerinde ve tüm dinamik yükleme süreci boyunca değişmemektedir. Fakat bu yöntemde modelin farklı noktalarında uzamsal olarak değişen sönüm oranı da atanabilmektedir. .
- 2) Lineer olmayan malzeme modeli kullanıldığından farklı frekans bileşenlerinin ve bunların karışımlarının doğal olarak meydana gelebilmesinin imkânı sağlanmaktadır.

- 3) Geri alınamaz yer değiştirmeler ve diğer kalıcı değişimler ise otomatik olarak modellenenebilmektedir.
- 4) Yazılımın içinde bulunan davranış modellerin tümünde gerçek plastisite formölasyonu kullanılmaktadır. Böylece plastik şekil değiştirme artışları ile gerilmeler arasındaki bağlantının kurulması sağlanabilmektedir.
- 5) Farklı davranış modellerinin etkilerinin incelenmesine imkân sağlanmaktadır.
- 6) S ve P dalgalarının aynı zamanda yayılmasının modellenmesi sağlanabilmektedir. Ayrıca malzemenin bu iki hareket bileşenlerinin bileşkesinin etkisi altındaki davranışının incelenebilme imkânı da sağlanabilmektedir. Bilindiği gibi yerin kuvvetli hareketleri altında bileşke etkilerin önemi artabilmektedir. Örneğin, sürtünmeli bir malzemede, dinamik olarak normal gerilmenin azalması sonucu kayma mukavemetinin azalmasına neden olabilir.
- 7) Lineer olmayan yöntemin denklemleri efektif gerilme terimleriyle yazılabilmektedir. Dolayısıyla sarsıntı sırası ve sonrasındaki boşluk suyu basıncının oluşması ve dağılması da modellenenebilmektedir. Bu yöntem ile herhangi bir gerilme-şekil değiştirme bağıntısı gerçekçi bir şekilde izlenebilmektedir.

FLAC3D yazılımında bulunan çeşitli lineer olmayan davranış modelleri, statiğe benzer yüklemeler ya da davranışın esasen monoton olduğu dinamik durumlar için yapılmıştır. Dinamik zemin-yapı etkileşimi için uygun olan bir davranış modeli gerçek zeminin gösterdiği histeretik eğrisi ve enerji emiciliği özelliklerini yakalamalıdır. Özellikle, birçok frekans bileşeninden oluşan karmaşık dalga şekillerinin her bileşeninin enerjisinin sönümlenmesi gerçekleştirilmelidir. Örneğin, birçok modelde düşük frekanslara göre yüksek frekansların sönümlenmemiş oldukları görölmektedir. Bu durumda elastik olmayan dinamik davranışların modellenmesinde, FLAC3D yazılımında bulunan modellerin sönüm oranına ek sönümlerin de ilave edilebilme şansı mevcuttur.

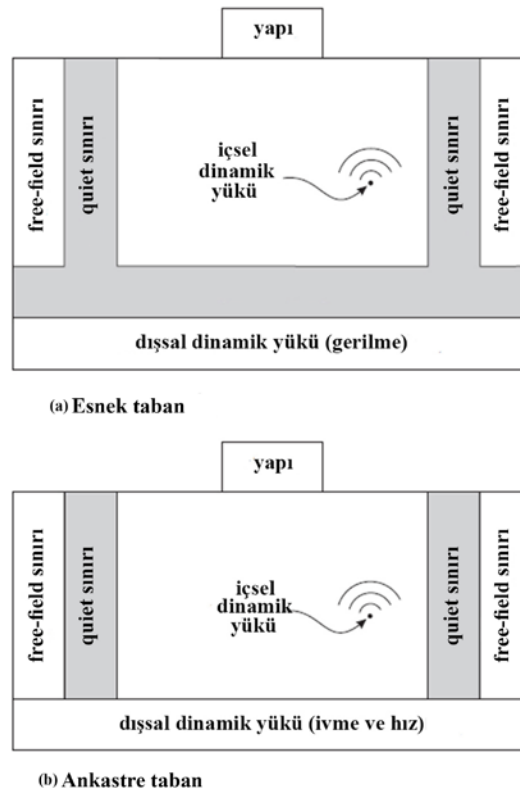
Dinamik analizlerde de statik analizlerde uygulandığı gibi sonlu farklar formölasyonu uygulanmaktadır. Fakat burada statik formölasyonunun optimum yakınsamasında kullanılan düğüm noktalarındaki gerçek olmayan fiktif bir kütle yerine gerçek kütle kullanılmaktadır. Sonlu elemanlar deyimleriyle, FLAC3D’de

yığılmış kütle ve köşegen kütle matrisi kullanılmaktadır. FLAC3D'nin kullanıcı tarafından dinamik analizlerde kullanıldığında dikkate alınması gereken önemli üç ana adım aşağıdaki gibi sıralanmaktadır:

- 1) Dinamik yüklerin uygulanması ve sınır koşulları,
- 2) Dalganın uygun bir şekilde modelden geçiminin sağlanması,
- 3) Mekanik sönümleme.

4.4.1 Dinamik yüklerin uygulanması ve sınır koşulları

FLAC3D yazılımında belirli bir bölgenin içerisinde bulunan malzemenin dinamik sınır koşulları altındaki davranışının modellenmesi amaçlanmaktadır. Dinamik modele etkiyen yükler ise sınırlardan veya modelin içerisindeki düğüm noktalarından uygulanan içsel ve/veya dışsal dinamik yüklerinden oluşmaktadır. FLAC3D'de tipik statik sınır koşullarına ilaveten “Quiet Boundary” ve “Free-Field” adlı iki ileri dinamik sınır koşulu bulunmaktadır. Model sınırlarında meydana gelen dalga yansımaları “Quiet Boundary” veya “Free-Field” sınır koşullarının kullanılmasıyla azaltılmaktadır. Şekil 4.5'te bu yazılımda kullanılan çeşitli dinamik yükler ve sınır koşulları verilmektedir.



Şekil 4.5 : Dinamik yükler ve sınır koşulları.

Şekilde görüldüğü gibi dinamik analizde modellenen problemin alt sınırları esnek veya rijit olmak üzere iki çeşit taban modeline ayrılmaktadır. Anakaya ve üzerindeki zemin tabakası arasında çok yüksek dinamik empedans olduğu durumda, örneğin yüksek kayma dalgası hızına sahip bir anakaya ve üzerinde çok düşük kayma dalgası hızı olan bir alüvyon tabakasının bulunduğu bir durumda, modelin alt sınırı rijit taban olarak modellenebilmektedir. Anakaya ve üzerindeki zemin tabakası arasındaki empedans farkı düşük olduğu takdirde modelin alt sınırlarında esnek taban uygulamasının yapılması gerekmektedir.

Bu yazılımda dinamik yükleri ivme-zaman, hız-zaman, basınç-zaman ve kuvvet-zaman geçmişi şekillerinde modele uygulanabilmektedir. Genelde dinamik girdiler modellerin sınırlarına uygulanmaktadır. Bir de ivme, hız ve kuvvet girdileri modelin içerisindeki düğüm noktalarına da uygulanabilir.

Lysmer ve Kuhlemeyer (1969) tarafından önerilen “Quiet Boundary” sınır koşulu birbirinden bağımsız olarak dik ve yatay yönlerde sınırlara bağlanan sönümleyicilerden oluşmaktadır. Bu koşullar, doğrudan sınırlarda bulunan düğüm noktalarının hareket denklemlerinde tanımlanmaktadır. Bunun yerine, her bir tek zaman adımında yatay ve düşey yönlerdeki etkiler hesaplanarak aynı sınır yüklerinin uygulandığı gibi sınırlardaki düğüm noktalarına uygulanmaktadır. Sonuç olarak, sınırlardan dışarıya doğru ilerlemekte olan dalgaların model içerisine yansımaları engellenmekle birlikte gerekli enerji radyasyonu da sağlanmış olmaktadır.

Analiz edilen bölgenin yanal sınırlarındaki sürekliliğin modellenmesi için de “Free-Field” sınır koşulu önerilmektedir. Bu yaklaşımın amacı ise modelin etrafındaki düşey sınırlara erişen dalgaların sınırlardan yansımadan model dışına çıkarılmalarının sağlanmasıdır. Cundall ve diğ. (1980) tarafından önerilen ve sonlu farklar ile çalışan NESSI yazılımında kullanılan bu yaklaşım, “Free-Field” sınır koşulu adı altında FLAC3D yazılımında kullanılmak üzere geliştirilmiştir. Bu sınır koşulu sonlu farklar ağının analizine paralel olarak hesaplamalara katılmaktadır. “Free-Field” ağından sonlu farklar ağına uygulanan kuvvetlerin hesaplanması aşağıda verilen bağıntılar yardımı ile hesaplanmaktadır.

$$F_x = -\rho C_p (v_x^m - v_x^{ff}) A + F_x^{ff} \quad (4.8)$$

$$F_y = -\rho C_s (v_y^m - v_y^{ff}) A + F_y^{ff} \quad (4.9)$$

$$F_z = -\rho C_s (v_z^m - v_z^{ff}) A + F_z^{ff} \quad (4.10)$$

Burada F_x , F_y ve F_z sırasıyla x,y,z doğrultularındaki kuvvetler, ρ modelin düşey sınırı boyunca malzemenin yoğunluğu, A ise serbest yüzey “Free-Field” ağı üzerindeki düğüm noktasının etkili alanıdır. C_p ve C_s ise yanal sınırlardaki P ve S dalgalarının hızıdır. Diğer parametrelerin anlamları ise aşağıdaki gibidir:

v_x^m, v_y^m, v_z^m = sonlu farklar ağının yanal sınırı boyunca düğüm noktalarının x, y ve z eksenleri yönündeki hız;

$v_x^{ff}, v_y^{ff}, v_z^{ff}$ = “Free-Field” ağı boyunca düğüm noktaların x, y ve z eksenleri yönündeki hız;

$F_x^{ff}, F_y^{ff}, F_z^{ff}$ = Düğüm noktaların etrafındaki “Free-Field” zonlarının $\sigma_{xx}^{ff}, \sigma_{xy}^{ff}$ ve σ_{xz}^{ff} gerilmelerinden gelen düğüm noktalarının kuvvet payı.

Elde edilen bu güçler, dinamik analiz boyunca her zaman adımında modelin düşey sınırlarındaki düğüm noktalarında hesaplanarak ana sonlu farklar ağına uygulanmaktadır.

4.4.2 Model içinde dalga yayılma koşullarının sağlanması

Dinamik analiz sırasında, dalga yayılımının nümerik çarpıklığı modelleme koşulları sonucu olarak meydana gelebilir. Girdi dalgasının frekans içeriği ve ortamın dalga hızı özelliklerinin ikisi de yapılan modelden dalganın geçimi ve nümerik analizin doğruluğunu etkilemektedir. Kuhlemeyer ve Lysmer (1973)’in araştırmalarına göre modelde doğru bir dalga geçiminin sağlanması için eleman boyutunun uygulanan dinamik yükün en büyük frekans bileşeninin dalga boyutunun onda biri veya sekizde birinden daha küçük olması gerekmektedir. Buna göre.

$$\Delta l \leq \frac{\lambda}{10} \quad (4.11)$$

Bu bağıntıda Δl eleman boyutu ve λ ise dinamik yükün oldukça çok enerjisi olan en büyük frekans bileşeninin dalga boyutudur.

4.4.3 Mekanik sönümleme

Doğal dinamik sistemlerin titreşim enerjisinin söndürülmesinde belli bir derecede süneklilik özelliği bulunmaktadır. Aksi takdirde dinamik bir yük uygulandığında, sistemin sonsuza kadar durmadan salınmaya devam etmesi gerekecektir. FLAC3D’de iki genel mekanik sınıfına ait olan yarı statik ve dinamik problemlerin çözümünde dinamik bir algoritma kullanılmaktadır. Sönüm oranı her iki sınıftaki problemlerin çözümünde de uygulanmaktadır fakat yarı statik problemlerde denge durumuna daha çabuk yakınsanmak için daha büyük bir sönüm oranı gerekmektedir.

Zemin ve kaya gibi malzemelerin doğal sönümlemeleri esasen histeretik bir doğaya sahip olmaktadır. Bu da, sönüm oranının frekanstan bağımsız olması anlamına gelmektedir. Zaman tanım alanında çalışan yazılımlarda, genelde sınırlı bir frekans aralığının içinde yaklaşık olarak frekanstan bağımsız olan bir sönümün sağlanması için Rayleigh sönüm oranı kullanılmaktadır. Bu sönüm türünü teşkil eden iki viskoz unsurun da frekansa bağlı olduğuna rağmen, belirli bir frekans aralıklarında frekansa bağıllık etkisinin kaldırılması sağlanmaktadır. FLAC3D’de ise, Rayleigh sönümünün yerine başka bir seçenek daha sunulmaktadır. Histeretik sönüm seçeneği şekil değiştirmeye bağlı olan modül ve sönüm fonksiyonlarının doğrudan hesaplamalara dahil edilmelerine imkân sağlamaktadır. Bu da, davranış kanununun seçiminde hiçbir uzlaşma yapılmadan, tam lineer olmayan ve eşdeğer lineer yöntemleri ile yapılmış olan hesaplamaların doğrudan karşılaştırılmalarını mümkün kılabilir.

4.5 Histeretik Sönüm

Uzun yıllar boyunca eşdeğer lineer yöntemi dinamik yükler altında olan zemin ve kayaların dalga yayılımı ve davranış spektrumunun hesaplamalarında kullanılmıştır. Bu yöntemin çözümünde doğrusallığın varsayılması nedeniyle doğrudan lineer olmayan etkiler yakalanamamaktadır. Sönüm oranı ve malzeme yumuşaması gibi bazı lineer olmayan etkilerin yakalanması için şekil değiştirmeye bağlı modül ve sönüm fonksiyonları sadece yaklaşık olarak hesaplara katılmaktadır. Diğer taraftan, tam lineer olmayan yöntemin esasında dinamik problemin doğru fizikinin modellenme kapasitesi mümkün olmaktadır. Histeretik sönüm oranının FLAC3D formülasyonuna dahil edilmesinin amaçlarından birisi ise Rayleigh gibi ek sönüm oranına olan ihtiyacın giderilmesidir. Rayleigh sönümünün analiz sırasında çok küçük zaman adımının gereksindiğinden analiz süresinin büyük oranda uzamasına

yol açmaktadır. Dolayısıyla Rayleigh sönümü yazılım kullanıcılarının tarafından sevilmeyen bir sönümleme çeşidi olarak bilinmektedir. Histeretik sönüm oranı tek başına veya Rayleigh gibi sönümleme yöntemleriyle birlikte de kullanılabilir. Histeretik sönüm oranı formülasyonu tam bir davranış modeli değildir; bu formülasyon yazılımdaki lineer olmayan davranış modellerine ilave olarak kullanılması gerekmektedir. Ayrıca, malzeme akmasının modellenmesinin temel yolu olarak da algılanmamalıdır. Plastik akma ve yeterli histeretik davranışı kapsayan davranış modellerin kullanıldığı takdirde başka bir ek sönüm oranının ilave edilmesine gerek duyulmamaktadır. Akma durumu haricinde kendine özgü sönümü olmayan modellerde, FLAC3D'deki histeretik sönüm seçeneğine gerek duyulmaktadır. Ayrıca, histeretik sönümün kullanıldığında artık Rayleigh sönümünün kullanımına gerek kalmamaktadır. Bu yazılımda Mohr-Coulomb gibi bir elastoplastik model kullanıldığında seçim Rayleigh ve histeretik sönüm oranları arasında yapılmaktadır.

FLAC3D'nin histeretik sönümleme formülasyonunda davranış kanunu fonksiyonunun çağırılmasından önce ortalama şekil değiştirme oranı tensoru hesaplanıp daha sonra şekil değiştirme oranının hesaplamalarının düzeltilmesi ile analizlere dahil edilmektedir. Tüm bu aşamalarda, histeretik mantığının çağırılmasıyla davranış kanununda kullanılabilecek bir modül çarpanı hesaplanmaktadır. Daha sonra ise bu çarpan davranış kanunu tarafından analiz edilen zonun tanjant kayma modülü değerinin ayarlanmasında kullanılmaktadır.

Zemin ve kayaların doğasında dinamik yüklerin etkisi altında meydana gelen enerji emiliminin büyük oranda histeretik olduğu bilinmektedir. Bu da kayma şekil değiştirme yükleme/boşalma çevriminin uygulandığı frekanstan bağımsız olduğu, fakat çevrimin genliğine bağlı olduğu anlamına gelmektedir. İdeal olarak bu özellik uygun bir davranış kanunu vasıtasıyla üretilebilir, ancak bu iş için yeterli olabilecek bir lineer olmayan modelin çok karmaşık olması ve. Bu amaca erişmek için birçok malzeme parametresinin böyle bir modele dahil edilmesi gerekmektedir. Bunun yerine sismik yüklemeler sırasında meydana gelen geri alınamaz birikmiş şekil değiştirmelerin modellenmesinde Mohr-Coulomb gibi daha basit modeller kullanılabilir. Bu modellerde, ortamın elastik davranacağı ve dalga'nın ortamda yayıldığı sırada tekrarlı sünekliğin göz önüne alınabilmesi için ek sönümün ilave edilmesi gerekmektedir. Bunun için Rayleigh sönümü de kullanılabilir fakat sınırlı

frekans aralığında yaklaşık olarak frekanstan bağımsız olduğu, ancak sonlu farklar yönteminin zaman adımıyla meydana getirdiği büyük oranda düşüş gibi dezavantajlardan dolayı uygun bir seçenek olmadığı ortaya çıkmaktadır. FLAC3D’de, histeretik sönümü artı davranış modelinin plastik akmasından kaynaklanan sönümün uygulanması yapılmaktadır.

4.5.1 Mohr-Coulomb modelinin doğal sönümü

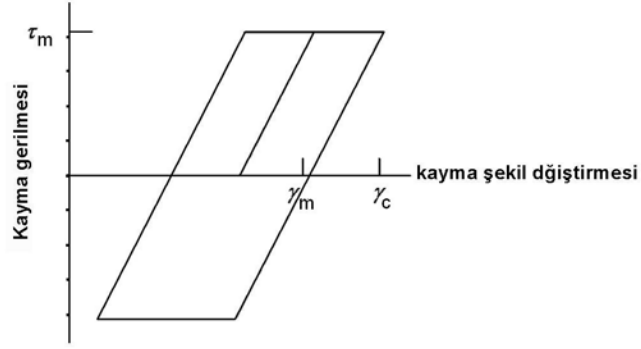
Mohr-Coulomb modeli gibi standart elastik plastik modellerde de kayma modülü azalması ve sönüm oranı eğrileri üretilebilmektedir. Sabit maksimum kayma modülü G_{maks} ve sabit akma kayma gerilmesi τ_m olan bir elastik-plastik modelin $|\gamma|$ genlikli bir tekrarlı kayma şekil değiştirme yüküyle çarpıldığında, akma sınırı içerisinde, sekant kayma modülü G , G_{maks} ile eşit olmaktadır. Akmayı oluşturacak tekrarlı gerilme için sekant modülü,

$$G = \frac{\tau_m}{|\gamma|} \quad (4.12)$$

bağıntısı ile hesaplanmaktadır. Kayma modülünün azalmasını gösteren eğri G/G_{maks} oranının kayma şekil değiştirme genliğini $|\gamma|$ ’ya bağlı kalmaktadır. $|\gamma|$ ’nın γ_m ’den daha büyük olduğu durumda, ayrıca $\gamma_m (= \frac{\tau_m}{G_{maks}})$ bağıntısının kullanıldığında G/G_{maks} oranı aşağıdaki gibi yazılabilmektedir.

$$\frac{G}{G_{maks}} = \frac{\gamma_m}{|\gamma|} \quad (4.13)$$

Başlangıç yükleme ve boşaltma-tekrar yükleme çevriminden oluşan bir $\gamma_c > \gamma_m$ genlikli gerilme-şekil değiştirme çevrimi Şekil 4.6’da verilmektedir. Bu şekilde γ_c , dinamik yük olarak uygulanan ve γ_m ’den büyük olan kayma şekil değiştirmesinin genliğidir.



Şekil 4.6 : Mohr-Coulomb modelinin kayma gerilmesi-şekil değıştirmesi çevrimi.

Çevrim sırasında birikmiş olan maksimum enerji W , aşağıdaki gibi elde edilebilir.

$$W = \frac{1}{2} \tau_m \gamma_c \quad (4.14)$$

Sönümlenmiş olan enerji olarak çevrim içinde kalan bölgenin alanı ise aşağıdaki bağıntı ile hesaplanabilir.

$$\Delta W = 4 \tau_m (\gamma_c - \gamma_m) \quad (4.15)$$

Dolayısıyla,

$$\frac{\Delta W}{W} = \frac{8(\gamma_c - \gamma_m)}{\gamma_c} \quad (4.16)$$

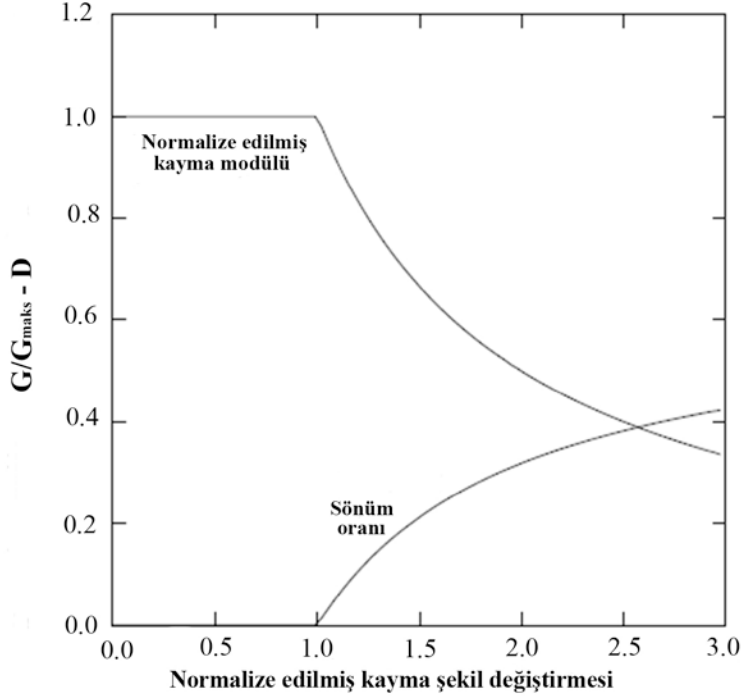
Sönüm oranının D ile tanımlandığında:

$$D \approx \frac{1}{4\pi} \frac{\Delta W}{W} \quad (4.17)$$

ve daha sonra bağıntı 4.14 ve 4.15'in bağıntı 4.17'ye yerleştirildiğinde.

$$D = \frac{2}{\pi} \frac{(\gamma_c - \gamma_m)}{\gamma_c} \quad (4.18)$$

Bağıntı 4.13'de normal edilmiş olan $G/G_{\max}$ bağıntısını ve bağıntı 4.18'de sönüm oranının normal edilmiş sıklık şekil değıştirme oranına (γ/γ_m) karşı çizildiğinden elde edilen eğriler Şekil 4.7'de verilmektedir.



Şekil 4.7 : Elastoplastik Mohr-Coulomb modelinin kayma modülü ve sönüm oranının kayma şekil değıştirmesiyle değışimi.

Görüldüğü gibi sınırlı bir siklik şekil değıştirme bazında, hatta basit bir davranış kanunu da deneysel sonuçlarla uyumlu bir modül azalma ve sönüm oranı eğrileri üretebilmektedir.

4.5.2 Histeretik sönümün Mohr-Coulomb modeline entegrasyonu

Histeretik sönümün bir elastik-plastik model ile beraber kullanıldığında, elastik bölgede modül azalma tekniği, plastik bölgede ise modelin natürel sönümü devreye girmektedir. Bunun için Hardin-Drenvich sönümünün Mohr-Coulomb modeliyle birleştirilmesi uygulanacaktır. Mohr-Coulomb modelinde tanjant elastik modülü G_{maks} ve sabit akma gerilmesi τ_m parametreleri bulunmaktadır. Elastik bölgede enerji emme özelliğinin modellenmesi için Hardin-Drenvich modeli kullanılmaktadır. Bundan dolayı, hiperbolik kanunundan elde edilen akma seviyesinin Mohr-Coulomb modelindeki akma gerilmesinden daha büyük olması gerekmektedir. Bu da, aşağıda verilen koşulun sağlandığında gerçekleşebilecektir.

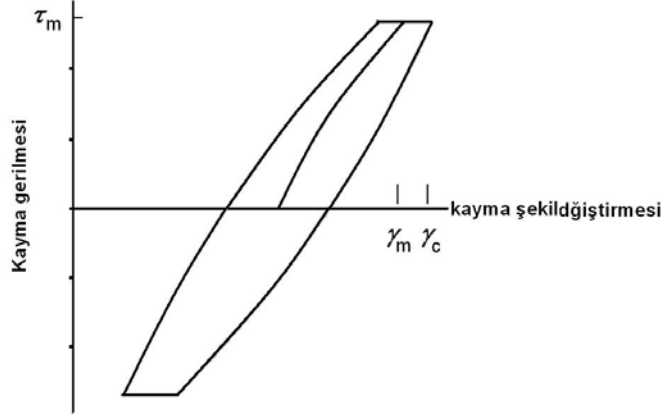
$$\gamma_{ref} > \gamma_m \quad (4.19)$$

Bu bağıntıda, γ_{ref} Hardin-Drenvich modelinde τ_m / G_{maks} oranının nihai değeridir.

γ_m ise,

$$\gamma_m = \frac{\tau_m}{G_{maks}} \quad (4.20)$$

olarak tanımlanmaktadır. Mohr-Coulomb akmasını ihtiva eden başlangıç yükleme eğrisi ile bir döngüde izlenilen boşalma/tekrar yükleme çevrimi Şekil 4.8’de verilmiştir.



Şekil 4.8 : Mohr-Coulomb modeliyle Hardin-Drenvich histeresis sönümlemesinin kayma gerilmesi-şekil değıştirmesi çevrimi.

Bu yüklemelerde, γ_c ’nin γ_m ’den küçük olduğu durum elastik bölge olarak tanımlanmaktadır. Kayma şekil değıştirme olarak tanımlanan γ_m ise aşağıdaki bağıntıdan elde edilmektedir.

$$\frac{\tau_m}{G_{maks}} = \frac{\gamma_m}{1 + \frac{\gamma_m}{\gamma_{ref}}} \quad (4.21)$$

Elastik bölgede kayma modülünün azalma faktörü aşağıdaki bağıntı ile verilmektedir.

$$\frac{G}{G_{maks}} = \frac{1}{1 + \frac{|\gamma|}{\gamma_{ref}}} \quad (4.22)$$

Plastik bölge olarak tanımlanan $\gamma_c \geq \gamma_m$ durumu için kayma modülünün kayma şekil değıştirmesi ile azalması benzer bir şekilde,

$$\frac{G}{G_{maks}} = \frac{1}{(1 + \frac{\gamma_m}{\gamma_{ref}}) \frac{|\gamma|}{\gamma_m}} \quad (4.23)$$

bağıntısı ile ifade edilmektedir. Plastik bölgede Şekil 4.8’de verilen bir çevrimde kaybolan enerji miktarı, ΔW , döngü içinde kalan kapalı alan olarak tanımlanmaktadır. Bu enerji aşağıdaki terimlerin toplamından elde edilebilir.

$$\Delta W = \Delta W_H + \Delta W_{MC} \quad (4.24)$$

Bu bağıntıda yer alan ΔW_H ve ΔW_{MC} aşağıda verilen bağıntılar yardımı ile hesaplanmaktadır.

$$\Delta W_H = 4G_{maks}\gamma_{ref}^2 \left\{ 2 \left[\frac{\gamma_m}{\gamma_{ref}} - \ln \left(1 + \frac{\gamma_m}{\gamma_{ref}} \right) \right] - \frac{\left(\frac{\gamma_m}{\gamma_{ref}} \right)^2}{1 + \frac{\gamma_m}{\gamma_{ref}}} \right\} \quad (4.25)$$

$$\Delta W_{MC} = 4 \left(\frac{G_{maks}}{1 + \frac{\gamma_m}{\gamma_{ref}}} \right) \gamma_m^2 \left(\frac{\gamma_c}{\gamma_m} - 1 \right) \quad (4.36)$$

ΔW_H ve ΔW_{MC} , sırasıyla, elastik bölgedeki histeretik sönüm ve plastik bölgedeki Mohr-Coloumb sönümü olarak tanımlanmaktadır. Bir çevrimde birikmiş olan maksimum enerji ve sönüm oranı ise sırayla;

$$W = \frac{1}{2} \tau_m \gamma_c \quad (4.47)$$

$$D = \frac{1}{4\pi} \frac{\Delta W_H + \Delta W_{MC}}{W} \quad (4.58)$$

bağıntılarıyla elde edilmektedir. Bağıntı 4.25 ve 4.26, 4.28’de yerine yerleştirildiğinde, dinamik analizlere kullanılacak sönüm oranı aşağıdaki bağıntıdan elde edilebilmektedir. Böylece, histeretik sönümün Mohr-Coulomb modelinin elastik bazına entegrasyonu gerçekleşmiş olmaktadır.

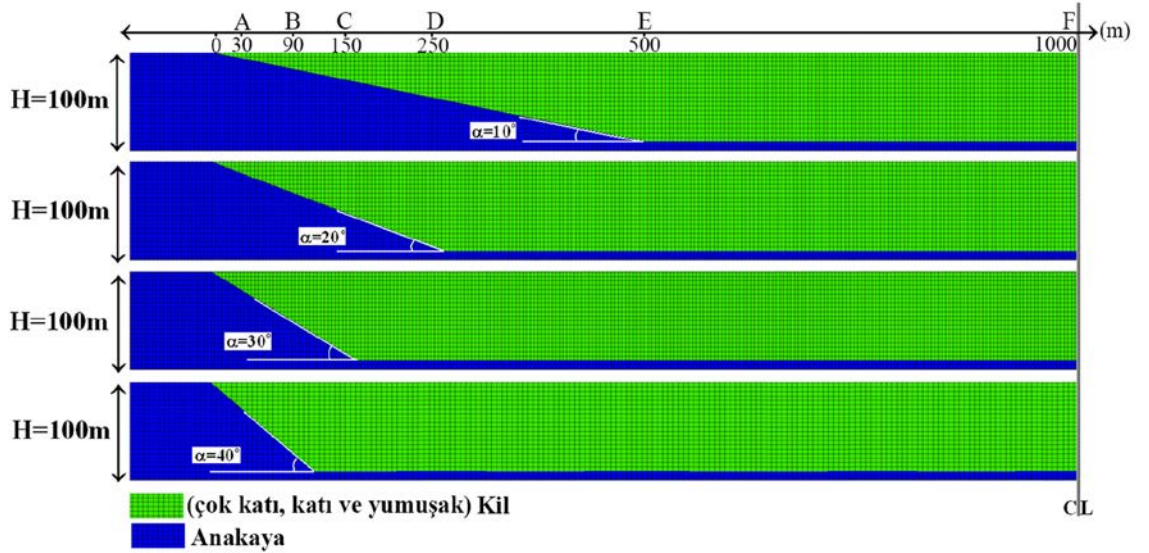
$$D = \frac{2}{\pi} \left\{ 2 \frac{1 + \frac{\gamma_m}{\gamma_{ref}}}{\left(\frac{\gamma_m}{\gamma_{ref}} \right)^2} \left[\frac{\gamma_m}{\gamma_{ref}} - \ln \left(1 + \frac{\gamma_m}{\gamma_{ref}} \right) \right] - 1 \right\} \left\{ \frac{1}{\frac{\gamma_c}{\gamma_{ref}}} + \frac{2}{\pi} \frac{(\gamma_c - \gamma_m)}{\gamma_c} \right\} \quad (4.29)$$

5. KİL ZEMİNDEN OLUŞAN OVALARIN DİNAMİK DAVRANIŞINA ANAKAYA EĞİMİNİN ETKİSİ

5.1 Giriş

Ana kaya üzerinde yer alan zemin tabakalarının özellikleri ova yüzeyinde oluşacak deprem hareketinin özelliklerini etkilemektedir. Zemin profilinde kil veya kum tabakalarının olması davranışa etki edecektir. Ana kaya eğimi ve zemin cinsinin yüzeydeki deprem hareketine etkisini incelemek amacıyla, farklı anakaya eğimine sahip ovaların önce tek tabakalı ve aynı zemin cinsinden oluştuğu kabul edilmiştir.

Bu bölümde, tek tabakalı yumuşak, katı ve çok katı olmak üzere üç farklı kilden oluşan ovaların dinamik analizinden elde edilen sonuçlar sunulmaktadır. Anakaya eğiminin etkisinin araştırılması için Bölüm 4’de anlatıldığı şekilde genelde gerçek oluşumlarda en çok karşılaşılan 10, 20, 30 ve 40° olmak üzere 4 farklı anakaya açısı seçilmiştir. Şekil 5.1’de analizlerde kullanılan yatay yönde sınırlı zemin tabakalarına sahip 4 farklı ova modeli verilmektedir.



Şekil 5.1 : Kilden oluşan ve farklı anakaya eğimine sahip tek tabakalı ova modelleri.

Modellerin derinliği 100 m, genişliği ise 2000 metredir. Bu bölümde analiz edilmiş olan ova modellerinin malzeme özellikleri çok katı, katı ve yumuşak kil tabakasından

oluşmaktadır. Analizlerde kullanılan çok katı, katı ve yumuşak kil tabakalarının zemin özellikleri Çizelge 5.1’de verilmektedir.

Çizelge 5.1 : Çok katı, Katı ve yumuşak kil zeminden oluşan modellerin malzeme özellikleri.

Zemin gurubu		c (kPa)	ϕ (°)	V_s (m/s)	G (MPa)	K (MPa)	γ (kN/m ³)
Kil	Çok katı (B)	150-165	10	450-650	400-900	1060-2370	20.0-21.5
	Katı (C)	75-90	10	200-400	76-336	200-880	19.0-21.0
	Yumuşak (D)	35-45	10	75-175	10.1-61.2	26.4-159.7	18.0-20.0
Anakaya	(A)	*	*	1000	2200	3600-	22.0

c: Kohezyon; ϕ : Kayma Direnci Açısı; V_s : Kayma Dalgası Hızı; G: Kayma Modülü; K: Hacimsel Modül; γ : Birim Hacim Ağırlığı.

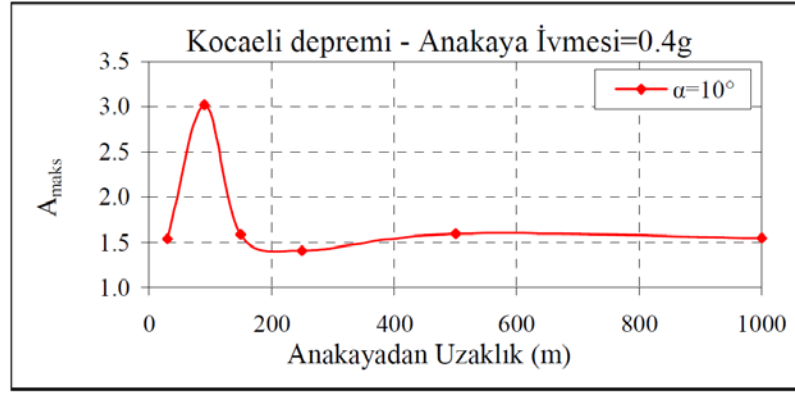
Tüm modellere 16 adet kuvvetli yer hareketi uygulanarak sonlu farklar yöntemine dayanan FLAC3D yazılımı ile dinamik analizler yapılmış, ova kenarındaki anakaya eğiminin, anayaka hareketinin ve zemin özelliklerinin zemin büyütmesine etkisi incelenmiştir. Ayrıca, ovanın farklı noktalarında yapılacak tek boyutlu analizler kullanarak ova yüzeyi boyunca elde edilen şiddet faktörünün değişimi (2D/1D maksimum ivme değerleri) incelenmiştir.

5.2 Kilden Oluşan Ovaların Zemin Büyütmesine Anakaya Eğiminin Etkisi

Ova boyunca her noktada farklı anakaya eğimleri ve deprem şiddetleri için hesaplanmış olan spektral ivmelere göre zemin büyütmelemlerinin en büyük değerlerinin kenardan uzaklığa göre değişimi incelenmiştir. Modellerin simetrik olmalarından dolayı zemin büyütmesi eğrileri sadece ovaların yarısı için verilmektedir. Hesaplanmış olan zemin büyütmesi ve şiddet faktörü eğrileri sırasıyla çok katı, katı ve yumuşak killer için sunulmaktadır.

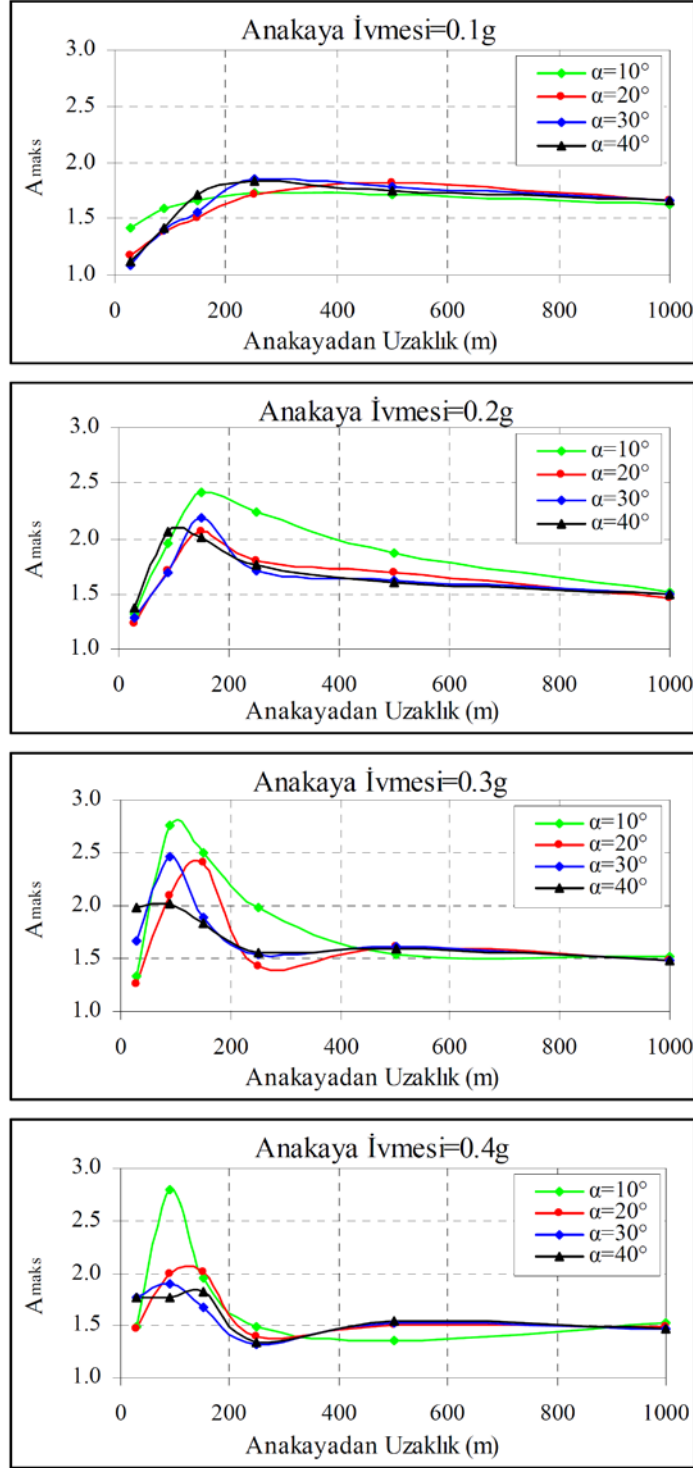
5.2.1 Çok katı kilden oluşan ovalar

Zemin özellikleri ovaların deprem sırasında meydana gelen dinamik davranışını etkilemektedir. Araştırmanın bu bölümünde çok katı kilden oluşan ovaların dinamik analizinden elde edilen sonuçların değerlendirilmesi yapılmıştır. Şekil 5.2’de, bir fikir vermek açısından, çok katı kilden oluşan ovaların 0.4g ivme değerine sahip Kocaeli 1999 depreminin etkisi altında meydana gelen zemin büyütmesi değişimi verilmektedir.



Şekil 5.2 : Kocaeli depreminin etkisi altında zemin büyütmesinin değişimi.

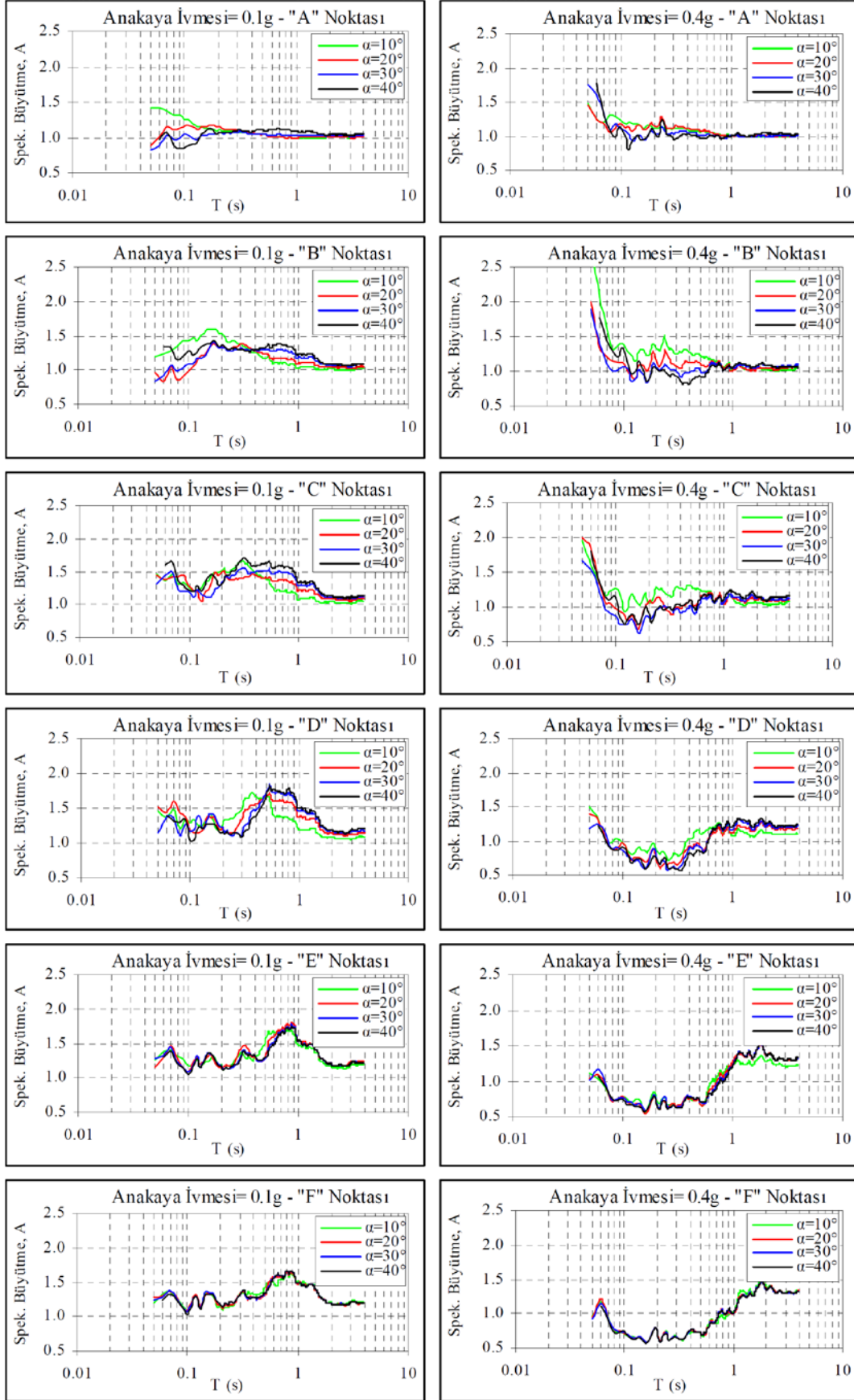
Şekil 5.3'te çok katı kilden oluşan varsayımsal ovaların zemin büyütmesinin değişimi verilmektedir. Görüldüğü gibi en büyük ivmesi 0.1g ve 0.2g olan anakaya hareketlerinin etkisi altındaki zemin büyütmesi, sırasıyla 1.8 ve 2.4 iken 0.3g ve 0.4g ivmeye sahip daha güçlü hareketlerin etkisi altında 2.8'e kadar yükselmektedir. Bu sonuçlara bakıldığında çok katı kilden oluşan ovaların daha hafif olan 0.1g ivmeye sahip hareketlerin etkisi altında gösterdiği davranış biçiminin daha güçlü hareketlerin etkisi altında gösterdiğinden farklı olduğu anlaşılmaktadır. 0.1g ivme değerine sahip hareketlerin etkisi altında meydana gelen zemin büyütmesi eğrisinin maksimumunun anakaya mostrasından uzakta oluşmuş ayrıca belirli bir doruk noktası yok iken, daha güçlü hareketlerin etkisi altında zemin büyütmesinin maksimumu anakaya mostrasına yakın bölgelerde meydana gelmektedir. Farklı anakaya eğimlerinin 0.1g ivme değerine sahip hareketlerin etkisi altında zemin büyütme değerleri birbirine yakın olmasına rağmen, daha güçlü hareketlerde 10° anakaya eğiminin etkisinin hakim olduğu görülmektedir. Aslında, sonuçlar çok katı killerde daha hafif olan 0.1g ivme değerine sahip hareketlerin etkisi altında ovada oluşan zemin büyütmesinin anakaya eğiminden bağımsız olduğuna işaret etmektedir. Öte yandan ovanın davranışının anakaya eğiminden etkilendiği daha çok 0.3g ve 0.4g ivmeli hareketlerin altında görülmektedir. 0.4g'li hareketlerin etkisi altında, anakaya eğiminin 10° olduğu durum haricinde, diğer eğimlerdeki zemin büyütmesinin birbirine yakın olduğu da söylenebilmektedir. Beklendiği gibi, anakaya mostrasından uzaklaştıkça anakaya eğiminin zemin büyütmesine etkisi azalmaya başlamaktadır. Sunulan şekillerden de görüleceği üzere, ovanın ortasına doğru ilerledikçe farklı anakaya eğimlerinin zemin büyütmesi eğrileri birbirine yaklaşarak tek bir eğriye dönüşmektedir. Bu ise belli bir mesafeden sonra anakaya eğiminin etkisinin dinamik davranışa etkisi olmadığına işaret etmektedir.



Şekil 5.3 : Çok katı kilden oluşan ovaların en büyük spektral zemin büyütmesinin (A_{maks}) değişimi.

Anakaya mostrasından yeterince uzaklaştıktan sonra zemin büyütmesi değeri ovanın ortasının zemin büyütmesine yakın olan noktaların tek boyutlu davrandığı düşünülmektedir. Şekil 5.3'te verilen sonuçlara göre, anakaya mostrasından yaklaşık 300 metrelik bir mesafe içerisinde ovanın iki boyutlu davrandığı görülürken, bu mesafenin dışında daha büyük zemin büyütmesi meydana gelerek ovanın tek boyutlu

davrandığı görülmektedir. Daha güçlü hareketlerin etkisi altında ise, anakaya mostrasından yaklaşık 500 metreden sonra anakaya eğiminin etkisi kaybolmaktadır. Şekil 5.3'te verilen sonuçlar ova yüzeyi boyunca sadece maksimum zemin büyütmesinin değişimini göstermektedir. Fakat her noktada meydana gelen maksimum zemin büyütmesinin hangi periyota ait olduğu konusunda herhangi bir bilgi vermemektedir. Elde edilen maksimum zemin büyütmesi değerlerinin meydana geldiği periyotların belirlenebilmesi amacıyla ova yüzeyinde 6 farklı noktanın frekans tanım alanındaki zemin büyütmeleri incelenmiştir. Zemin büyütmesinin frekans tanım alanında hesaplandığı noktalar Şekil 5.1'de A, B, C, D, E ve F ile gösterilmektedir. Şekil 5.4'te 0.1g ve 0.4g ivmelere sahip hareketlerin etkisi altında çok katı kilden oluşan ovaların bu noktalarında frekans tanım alanında hesaplanan zemin büyütmesi verilmektedir. 0.2g ve 0.3g ivme değerlerine sahip zemin büyütmeleri ise ekte verilmektedir. Elde edilen sonuçlardan çok katı kilden oluşan ovaların yüzeyinin farklı noktalarının farklı periyotlara duyarlı oldukları görülmektedir. Görüldüğü gibi, 0.1g ivmesine sahip hareketlerde B noktasında meydana gelen zemin büyütmesinin en büyük değeri 0.2 saniyede oluşmuşken, bu değer C ve D noktalarında, sırasıyla 0.3 ve 0.5 saniyeye yükselerek E ve F noktalarında 0.9 saniye değerine ulaşmaktadır. Buna göre, ova kenarındaki sığ bölgelerin küçük periyotlara duyarlı oldukları anlaşılmaktadır. Anakaya mostrasından uzaklaştığında, ovanın derin kısımlarının rezonans periyodunun daha büyük periyotlara çekildiği de tespit edilmektedir. Bu durum, ovanın daha güçlü hareketlerin etkisi altında gösterdiği davranışta da görülmektedir. En büyük ivme değeri 0.4g olan hareketlerde ise C noktasına kadar meydana gelen rezonanslar 0.1saniyeden küçük periyotlara sınırlı kalmakla birlikte diğer periyotlarda pek bir zemin büyütmesi görülmemektedir. D noktasında ise bu durum değişerek zemin büyütmesi eğrisinde iki farklı maksimum noktası ortaya çıkmaktadır. D noktasından sonraki noktalar için de zemin büyütmesi eğrilerinde iki maksimum noktası bulunmakta ve rezonans periyodunun 2 saniye civarına yükselişi kayda değer bir sonuç olarak görülmektedir. Anakaya mostrasından ovanın ortasına doğru giderken rezonans periyotların düşük frekanslardan daha büyük frekanslara aktarılmasına bakıldığında, D noktasının bir geçiş noktası olarak algılanabileceği anlaşılmaktadır. Ayrıca, uygulanan anakaya hareketinin ivme değerinin artması, çok katı kilden oluşan ovaların yaklaşık orta kısımlarının rezonans periyodunun



Şekil 5.4 : Çok katı kilden oluşan ovaların farklı noktalarının frekans tanım alanındaki zemin büyütmesi.

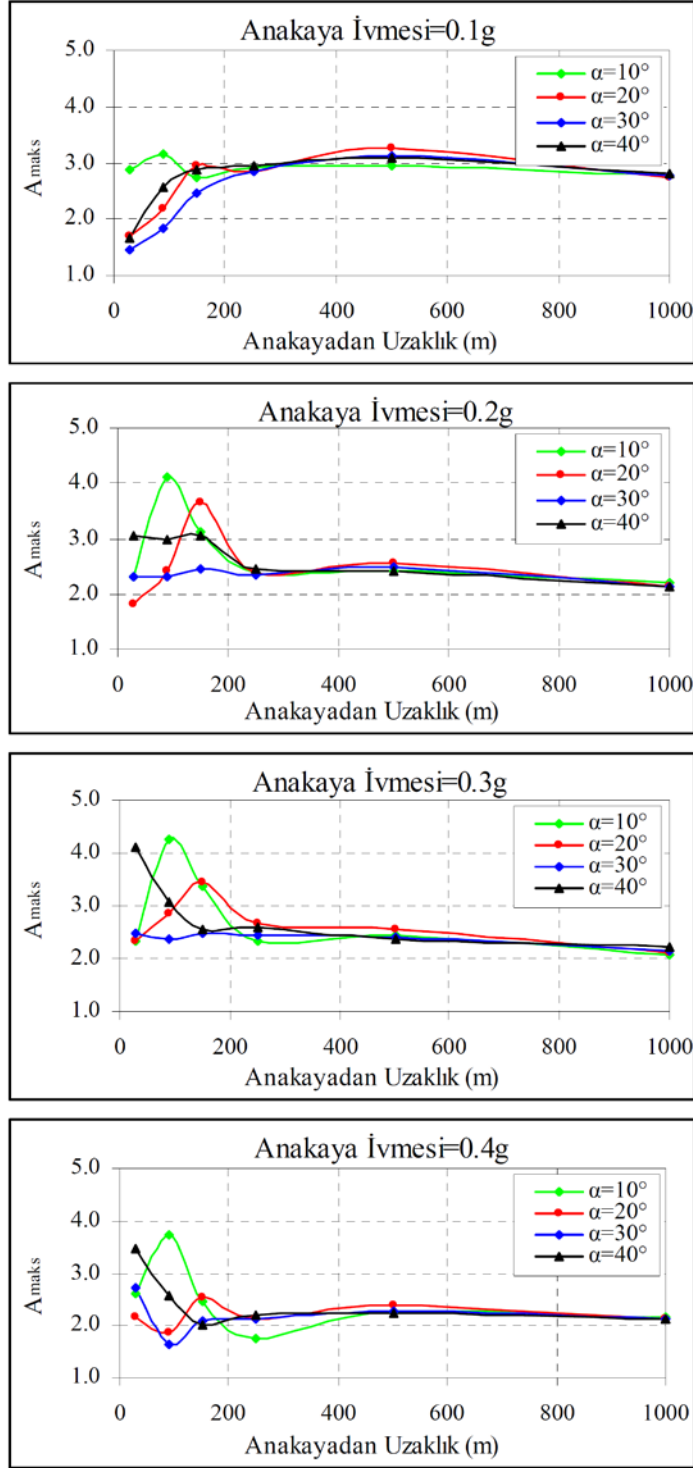
artmasına neden olduğu görülmektedir. Örneğin, E noktasının rezonans periyodu 0.1g hareketlerin etkisi altında 0.9 saniye iken 0.4g'li hareketlerin etkisi altında 2 saniye değerine yükselmektedir.

5.2.2 Katı kilden oluşan ovalar

Daha önceden söylendiği gibi ovadaki zemin tabakasının özelliklerinin anakaya hareketi üzerinde olan etkisinin araştırılması için farklı kil çeşitleri olmak üzere 3 çeşit zemin cinsi seçilmiştir. Bu bölümde de katı kilden oluşan ovaların dinamik analizinden elde edilen sonuçlar sunulmaktadır.

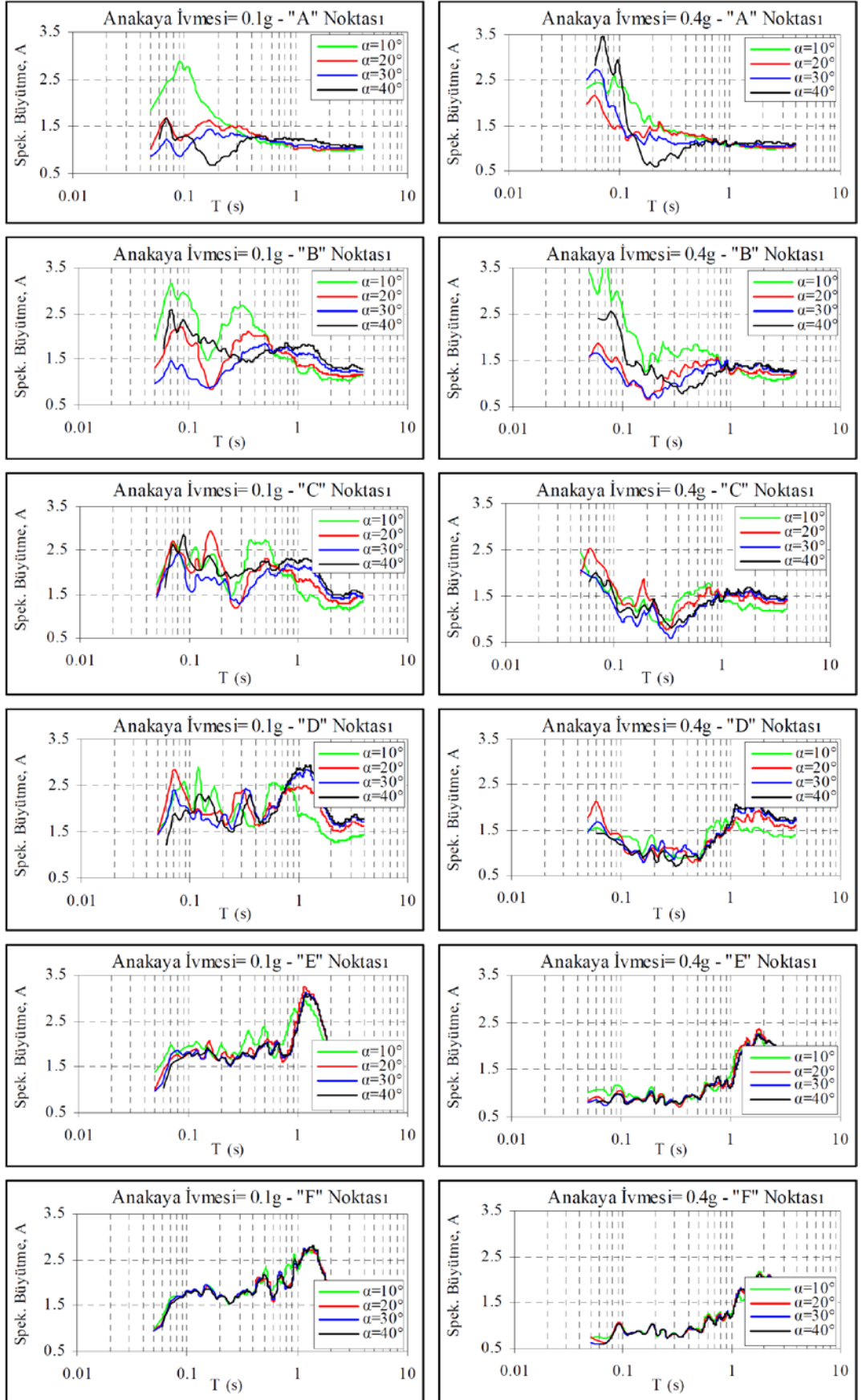
Şekil 5.5'te katı kilden oluşan ovaların yüzeyinde farklı anakaya eğimi ve kuvvetli yer hareketleri etkisi altında meydana gelen zemin büyütmesinin değişimi verilmektedir. Sonuçlar zemin büyütmesinin ortalamasının çok katı killerde görülene göre yükseldiğini göstermektedir. Katı killerden oluşan ovalarda 0.1g ivme değerine sahip hareketlerin etkisi altında meydana gelen zemin büyütmesi yaklaşık 3 iken, bu değer 0.2 ve 0.3g ivmeli hareketlerin etkisi altında 4'ün üzerine çıkmaktadır. Görüldüğü gibi, ovanın 0.1g ivmesine sahip hareketlerin etkisi altındaki davranış düzeni daha güçlü hareketlerin etkisi altındaki davranıştan farklı olmaktadır. Hemen hemen aynı düzen çok katı killerden oluşan ovalarda da görülmüştür. Çok katı ve katı kilden oluşan ovaların daha hafif olan 0.1g ivmesine sahip hareketlerin etkisi altında gösterdiği davranışın böyle bir zemin büyütmesi düzenine neden olduğu düşünülmektedir. Burada da, anakaya eğiminin 10 derece olması durumunun davranışına hakim olduğu görülmektedir. Ancak özellikle 0.2g ve 0.3g ivmesine sahip deprem hareketlerin etkisi altında, 30° anakaya eğiminin iki boyutlu davranışa etkisinin çok az olduğu da dikkat çekmektedir. Sonuçlar katı kilden oluşan ovaların iki boyutlu davranışının anakaya mostrasından yaklaşık 300 metre mesafesi ile sınırlı kaldığını göstermektedir.

Ova yüzeyi boyunca bu şekilde verilen maksimum zemin büyütmesi eğrileri önceden de söylendiği gibi bir noktadaki zemin büyütmesinin hangi periyotta meydana geldiği konusunda bilgi içermemektedir. Bu nedenle maksimum büyütmelerin oluştuğu periyotların belirlenmesi amacıyla ova yüzeyinin farklı noktalarının frekans tanım alanında hesaplanmış olan zemin büyütmesinin incelenmesi yapılmıştır.



Şekil 5.5 : Katı kilden oluşan ovaların en büyük spektral zemin büyütmesinin (A_{maks}) değişimi.

Şekil 5.6’da katı kilden oluşan ovaların 0.1 ve 0.4g ivme değerine sahip hareketlerin etkisi altında gösterdiği zemin büyütmesinin frekans tanım alanındaki değişimi verilmektedir. 0.2 ve 0.3g ivmeli hareketlerin zemin büyütmesi de ekte verilmektedir.



Şekil 5.6 : Katı kilden oluşan ovaların farklı noktalarının frekans tanım alanındaki zemin büyütmesi.

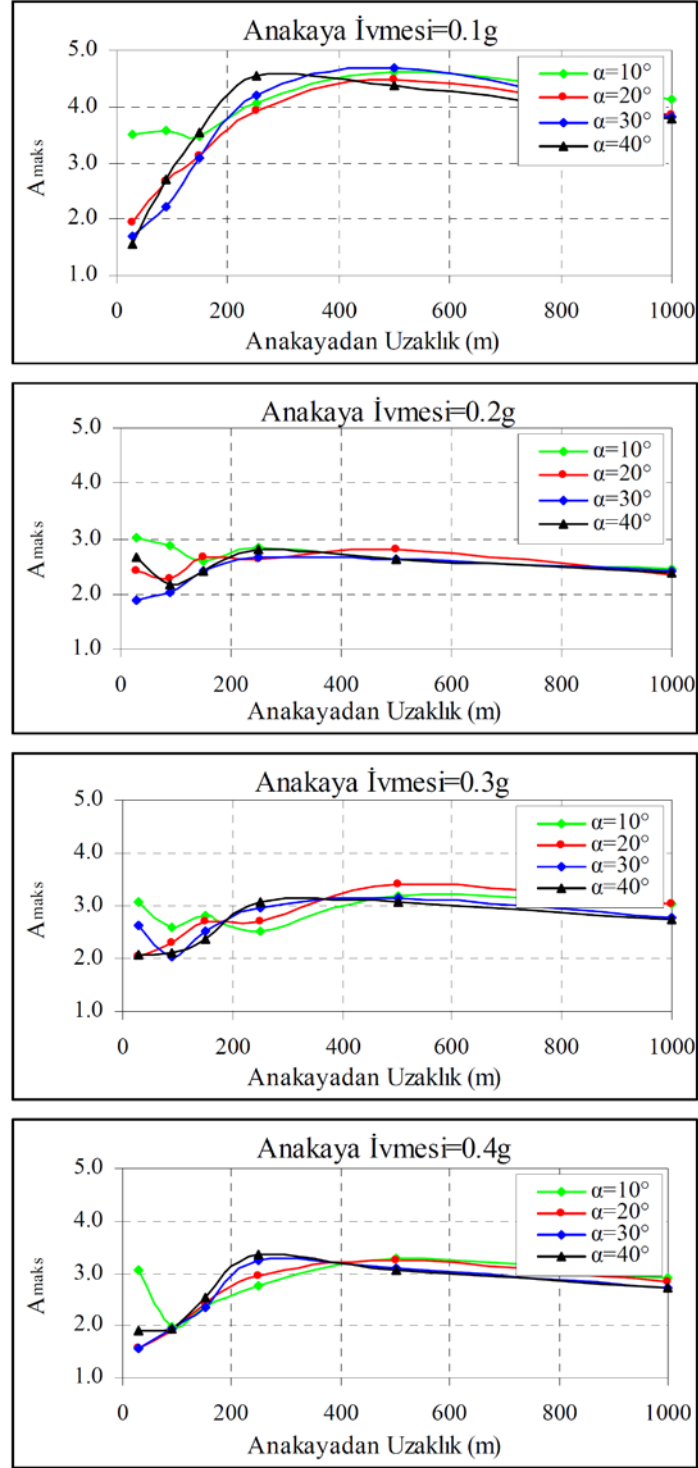
Burada da katı killerden oluşan ovanın farklı noktalarındaki maksimum zemin büyütmesinin farklı periyotlara ait oldukları görülmektedir.

Bu sonuçlara göre, 0.1g ivme değerine sahip hareketlerin etkisi altında, anakaya mostrasına yakın bölgelerin maksimum zemin büyütmesi 0.1s'den daha küçük frekanslarda meydana gelirken, bu değer ovanın orta kısımlarına doğru 1.2s'nin üzerine çıktığı görülmektedir. Aynı düzen daha şiddetli 0.4g'li hareketlerin etkisi altındaki davranışlarda da izlenilmekte fakat ovanın orta kısımlarında meydana gelen rezonans periyodunun 1.8s'lere ulaştığı görülmektedir.

5.2.3 Yumuşak kilden oluşan ovalar

Zeminlerin cinsi ve özelliği ovaların iki boyutlu dinamik davranışlarına etkiyen önemli parametreler arasında yer almaktadır. Kil zeminden oluşan ovaların dinamik davranışının bu malzemenin farklı çeşitlerinden etkilendiği de anlaşılmaktadır. Farklı kil malzemelerinin etkisinin anlaşılması doğrultuda, bu bölümde yumuşak killerden oluşan ovaların iki boyutlu dinamik analizinin sonuçları verilmektedir. Şekil 5.7'de, yumuşak kilden oluşan ovaların yüzeyinde farklı anakaya eğimi ve güçlü yer hareketleri altında meydana gelen zemin büyütmesinin değişimi verilmektedir.

0.1g ivmesine sahip hareketlerin etkisi altında ovanın maksimum zemin büyütmesi diğer kil çeşitlerinden oluşan ovalarda meydana gelenlerden farklı olarak 5'e ulaşmaktadır. Ancak 0.1g ivmeye sahip hareketlerin etkisi altında yumuşak kilden oluşan ovalarda görülen davranış düzeni çok katı ve katı kilden oluşan ovalardaki düzene benzemektedir. Fakat daha güçlü hareketlerin etkisi altında yumuşak kilden oluşan ovalarda meydana gelen zemin büyütmesi değerleriyle diğer zemin çeşitlerindekiiler arasında farklılıklar görülmektedir. Çok katı ve katı killerden oluşan ovaların 0.1g'den daha büyük hareketlerin etkisi altında görülen maksimum zemin büyütmesi anakaya mostrasına daha yakın bölgelerde meydana gelmektedir, oysa yumuşak kilden oluşan ovaların zemin büyütmesi eğrilerine bakıldığında, ya belli bir maksimum noktası görülmektedir ya da maksimum noktası anakaya mostrasından daha uzak kısımlarında meydana gelmektedir. Ayrıca, diğer kil çeşitlerinden oluşan ovalarda ovanın sığ kısımlarının düşük periyotlara duyarlı olduğu görülürken, yumuşak kilden oluşan ovaların sığ kısımlarının bu periyotlara hassas olmadıkları ortaya çıkmaktadır. Bunun nedeni böyle açıklanabilir: Yumuşak killerin doğal



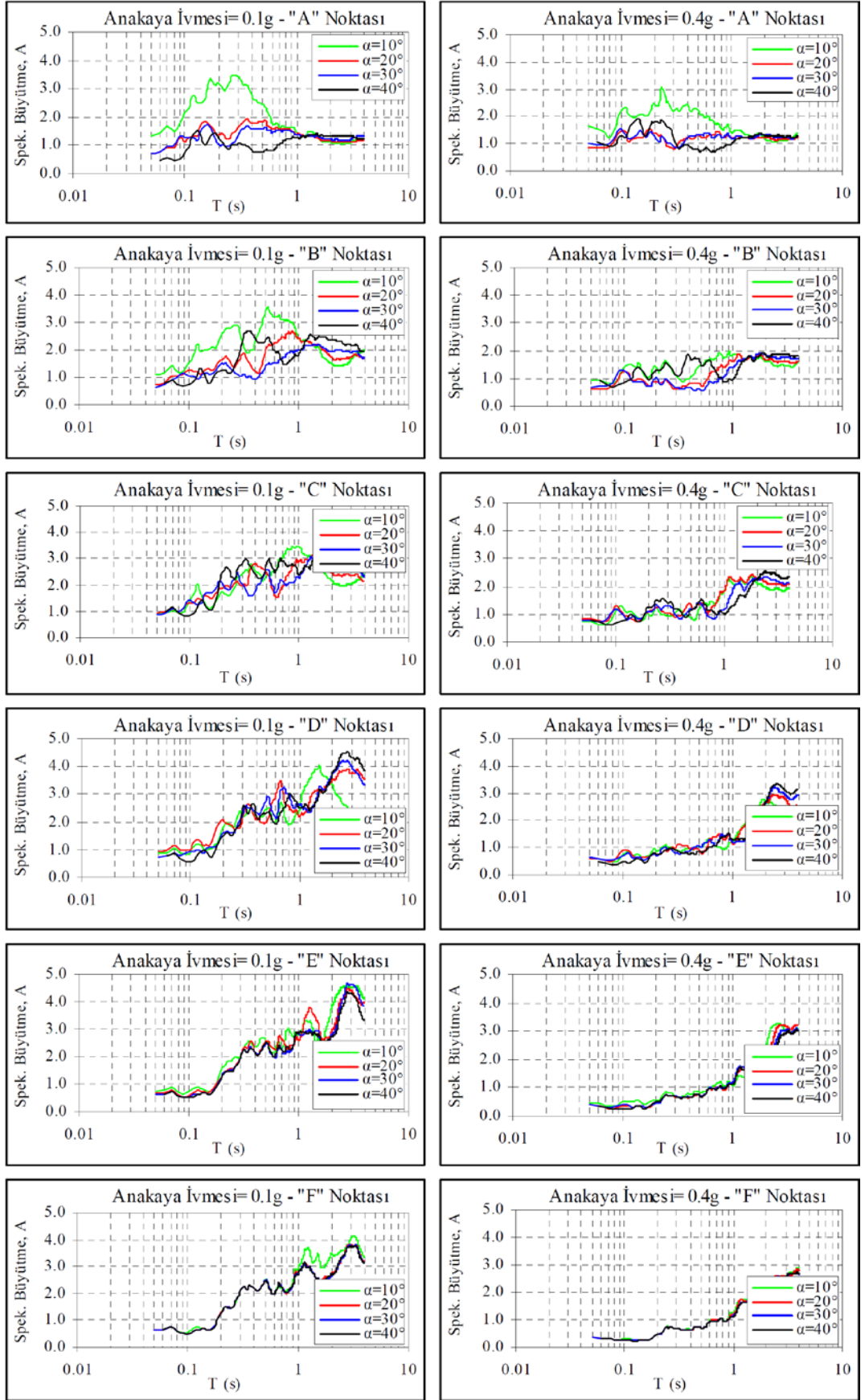
Şekil 5.7 : Yumuşak kilden oluşan ovaların en büyük spektral zemin büyütmesinin (A_{maks}) değişimi.

periyodu diğer kil çeşitlerine göre daha büyük olmakla birlikte, bu çeşit killerin yüksek frekanslara karşı sönümleyici bir etkiye sahip oldukları görülmektedir; Bu da, ovaların sığ kısımlarının yüksek frekanslara duyarlılıklarını etkileyerek, ovanın bu bölgelerinde düşük periyotlu hareketlerin meydana gelmelerini engellemektedir. Dolayısıyla bu tip ovalarda anakaya mostrasına yakın bölgelerde yüksek zemin

büyütmeleri ortaya çıkmamaktadır. Diğer taraftan, yüzey dalgalarının oluşması ve onların ovanın orta kısımlarına doğru ilerlemesi sonucu, daha büyük zemin büyütmelerinin ovanın orta kısımlarında meydana gelmesine neden olmaktadır. Gerçi yumuşak killerde diğer kil çeşitlerine göre empedans farklılığından dolayı en büyük zemin büyütmesinin meydana gelmesi beklenmesine rağmen elde edilen sonuçlara göre ova kenarlarında meydana gelen en yüksek zemin büyütmesinin katı kilden oluşan ovalara ait olduğu görülmektedir. Ayrıca, ova boyunca farklı anakaya eğimleri için elde edilen zemin büyütmesi eğrilerinin bir birine yakınlıklarından yumuşak killerden oluşan ovaların dinamik davranışının anakaya eğiminden etkilenmediği anlaşılmaktadır.

Şekil 5.7 uygulanan deprem hareketlerinin ivme değerinin artmasının ovaların dinamik davranışına etkisini de göstermektedir. Uygulanan hareketin ivmesi 0.2g'den 0.4g'ye artmasıyla zemin büyütmesi değerlerinin yaklaşık 3'e kadar yükselişine neden olmaktadır. Bu ise, yumuşak kilden oluşan ovaların dinamik davranışının deprem şiddetinin artmasından pek etkilenmediğini ifade etmektedir. Diğer kil çeşitlerinden oluşan ovalarda rağmen, sonuçlar yumuşak kilden oluşan ovaların daha büyük kısmının yüksek zemin büyütmesi etkisinin altında olduğunu göstermektedir.

Şekil 5.7'de verilen maksimum zemin büyütmesi değerlerin periyotla değişimini belirlemek anlayabilmek için, yumuşak kil zemininden oluşan ovanın yüzeyinin farklı noktalarının frekans tanım alanındaki zemin büyütmesi eğrileri hesaplanarak Şekil 5.8'de verilmektedir. Bu şekilde sadece 0.1g ve 0.4g şiddetine sahip hareketlerin etkisi altında elde edilmiş spektral zemin büyütmeleri verilmektedir. 0.2g ve 0.3g şiddetine sahip hareketlerin etkisi altındaki spektral zemin büyütmeleri ise eklerde verilmektedir. Burada da, ovanın farklı noktalarında meydana gelen maksimum zemin büyütmesinin farklı periyotlara ait oldukları görülmektedir. Görüldüğü gibi, anakaya mostrasına yakın A ve B noktalarının rezonans periyodunun 0.1s'ile 1s arasında iken, C noktasından sonraki noktaların rezonans periyodu daha yüksek periyotlara aktarılmaktadır. Yine de diğer kil çeşitlerinde görülenlere rağmen, yumuşak kilden oluşan ovalarda 0.1s'nin altında hiç bir zemin büyütmesi meydana gelmemektedir.



Şekil 5.8 : Yumuşak kilden oluşan ovaların farklı noktalarının frekans tanım alanındaki zemin büyütmesi.

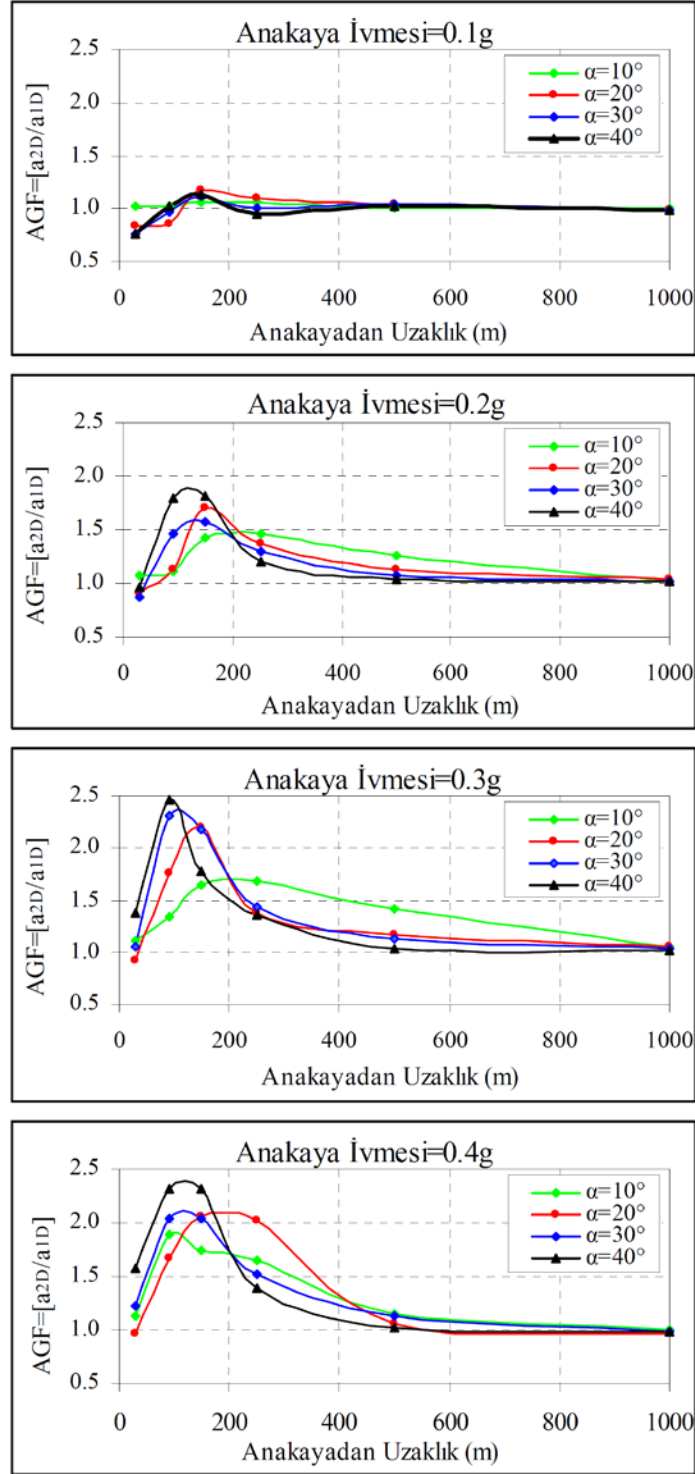
Ayrıca, çok katı ve katı killere rağmen, uygulanan yer hareketinin şiddetinin artmasının yumuşak killerden oluşan ovaların rezonans periyodunun üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı da ortaya çıkmaktadır.

5.3 Kilden Oluşan Ovaların Şiddet Faktörüne Anakaya Eğiminin Etkisi

Bir ovanın dinamik davranışının değerlendirilmesinde önemli anlam taşıyan şiddet faktörü ($AGF=a_{2D}/a_{1D}$) iki boyutlu analizlerle bulunan en büyük mutlak ivme değerinin (a_{2D}) tek boyutlu analizlerle bulunan en büyük mutlak ivme (a_{1D}) değerine oranı olarak tanımlanmaktadır. Farklı anakaya eğimine sahip ovaların şiddet faktörlerinin hesaplanması için, farklı kil çeşitlerinden oluşan modellerin bir ve iki boyutlu dinamik analizi yapılmıştır. Modellenen ovaların simetrik olduklarından dolayı şiddet faktörü eğrileri sadece ovaların yarısında verilmektedir. Elde edilen sonuçların değerlendirilmesinden tek boyutlu modelden elde edilen sonuçların yanal süreksizliklerin bulunduğu durumlardaki geçerliliklerinin anlaşılmasına çalışılacaktır. Fakat bilindiği gibi, şiddet faktörü sadece bir ve iki boyutlu analizlerden elde edilen mutlak maksimum ivmelerinin arasındaki farkı ortaya çıkarmaktadır ve bu ivmelerin hangi periyotlarda meydana geldiği konusunda bir bilgi içermemektedir. Dolayısıyla elde edilen sonuçların değerlendirilmesinde, şiddet faktörünün daha çok bir ve iki boyutlu analiz yöntemlerinin arasındaki farkın ortaya çıkarması açısından önem taşıdığına dikkat edilmelidir. Hesaplanmış olan şiddet faktörü eğrileri, sırasıyla, çok katı, katı ve yumuşak kilden oluşan ovalar için sunulmaktadır.

5.3.1 Çok katı kilden oluşan ovalar

Çok katı kilden oluşan ve farklı anakaya eğimine sahip olan ovaların yeryüzü boyunca hesaplanmış olan şiddet faktörü eğrileri Şekil 5.9'da verilmektedir. Ayrıca, farklı kuvvetli yer hareketlerinin şiddet faktörüne etkisinin anlaşılabilmesi için elde edilen sonuçlar 0.1g, 0.2g, 0.3g ve 0.4g maksimum ivme değerleri olmak üzere dört farklı kuvvet seviyesi için hesaplanarak şekillerle sunulmaktadır. Görüldüğü gibi, daha hafif 0.1g şiddetine sahip hareketlerin etkisi altında elde edilen şiddet faktörünün düzeni daha güçlü hareketlerin etkisi altındakilerden farklı olmaktadır.



Şekil 5.9 : Çok katı kilden oluşan ovaların yüzeyi boyunca şiddet faktörünün değişimi.

0.1g ivmesine sahip hareketlerin etkisi altında anakaya eğimi 10° olan ovaların hemen hemen her noktasındaki şiddet faktörünün 1 olduğu görülmektedir. Başka bir deyimle, bu durum iki boyutlu analiz yönteminden elde edilen mutlak maksimum ivmelerin tek boyutlu yöntemden elde edilenlere çok yakın olduğunu ifade etmektedir. Daha büyük anakaya eğimlerinde ise anakaya mostrasından yaklaşık 100

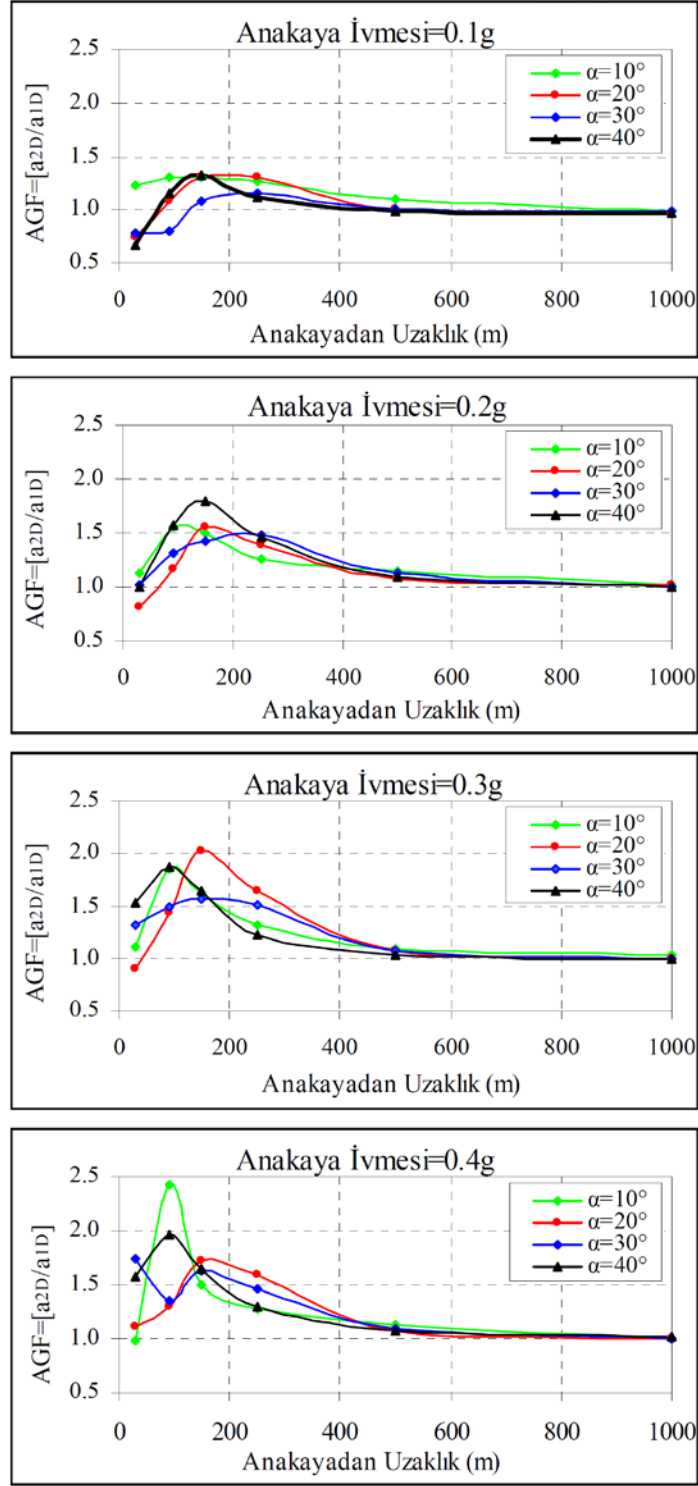
metrelik bir mesafe içerisinde şiddet faktörünün 1'den daha küçük olduğu, 100 ile 200 metre arasında ise 1'in üzerine çıktığı görülmektedir. Ovanın bu bölgesinin haricindeki diğer noktalarda elde edilen şiddet faktörün hemen hemen 1 değerini bulmaktadır.

Uygulanan anakaya hareketinin şiddetinin artmasıyla ovanın şiddet faktörünün düzeni de değişmeye başladığı görülmektedir. 0.1g'den daha güçlü hareketlerin etkisi altında, ovanın sığ kısımlarında şiddet faktörü 1'den daha büyük olarak elde edilmiştir. Sonuçlara göre, 0.1g'den daha büyük hareketlerin etkisi altında meydana gelen en büyük şiddet faktörleri 40° anakaya eğimine ait olmaktadır. Bu açı için maksimum şiddet faktörleri 0.2, 0.3 ve 0.4g'li hareketlerin etkisi altında, sırasıyla, 1.9, 2.5 ve 2.4 değerlerine ulaşmaktadır. Ayrıca, en küçük şiddet faktörleri 10° anakaya eğiminde meydana gelmektedir.

0.2 ve 0.3g'li hareketlerin etkisi altında, 10° anakaya eğimine sahip ovaların haricinde, anakaya mostrasından 500 metre mesafeden sonra bir ve iki boyutlu analizlerden elde edilen maksimum ivmelerin hemen hemen aynı oldukları görülmektedir. Beklendiği gibi de, ovaların ortasının şiddet faktörü 1 değerine yakınsamaktadır. Yani 1 ve 2 boyutlu analiz sonuçları arasında fark görülmemekte, ovaların bu kısımlarındaki dinamik davranışının tek boyutlu olarak incelenmesi yeterli olmaktadır.

5.3.2 Katı kilden oluşan ovalar

Şekil 5.10'da katı kilden oluşan ve farklı anakaya eğimine sahip olan ovaların yüzeyi boyunca hesaplanmış olan şiddet faktörü eğrileri verilmektedir. Katı kilden oluşan ovalarda da, farklı güçlü yer hareketlerinin şiddet faktörüne etkisinin anlaşılması için, elde edilen sonuçlar, dört farklı kuvvet seviyesinde sunulmaktadır. Daha önce çok katı kilden oluşan ovaların şiddet faktörü düzeninin incelenmesinde görüldüğü gibi, katı kilden oluşan ovalarda da 0.1g şiddetine sahip hareketlerin etkisi altında elde edilen şiddet faktörü düzeni daha güçlü hareketlerin etkisi altındakilerden farklı olmaktadır. Bu hareketlerin etkisi altında 20°, 30° ve 40° anakaya eğimlerinde ovanın bazı bölgelerinde tek boyutlu analizlerden elde edilen maksimum ivmelerin hakim olduğu görülmektedir.



Şekil 5.10 : Katı kilden oluşan ovaların yüzeyi boyunca şiddet faktörünün değişimi.

Anakaya eğiminin 20 ve 40 derece olduğu ovalarda, tek boyutlu analizlerden elde edilen maksimum ivmelerin üstün olduğu bölgenin anakaya mostrasından yaklaşık 100 metrelik bir mesafenin içerisinde iken, anakaya eğiminin 30 derece olan ovalarda bu mesafe 150 metreye kadar yükselmektedir. Sonuçlar, nispeten hafif olan 0.1g'li hareketlerin etkisi altındaki şiddet faktörünün daha güçlü hareketlere göre 1'e

daha yakın olduğunu göstermektedir. Bu da daha hafif hareketlerin etkisi altında elde edilen bir ve iki boyutlu analizlerin sonuçlarının birbirine daha yakın olduğu anlamına gelmektedir.

Uygulanan güçlü yer hareketinin şiddetinin artmasıyla ovanın kenarındaki şiddet faktörü de artmaya başlıyor. Sonuçlara göre, 0.2, 0.3 ve 0.4g'li şiddetler altında maksimum şiddet faktörü, sırasıyla, 1.8, 2.1 ve 2.45 değerlerine ulaşmaktadır. Farklı anakaya hareketlerinin etkisi altında elde edilen maksimum şiddet faktörlerinin incelendiğinde, bu maksimumların farklı anakaya eğimleri koşulları altında meydana geldikleri görülmektedir. Örneğin, 0.2g'li hareketi etkisi altında maksimum şiddet faktörü 40, 0.3g'lilerde 20 ve 0.4g'lilerde ise 10° anakaya eğimine sahip ovada meydana gelmektedir. Bu arada, elde edilen en düşük şiddet faktörü de 30° anakaya eğimine sahip ovalarda elde edilmiştir.

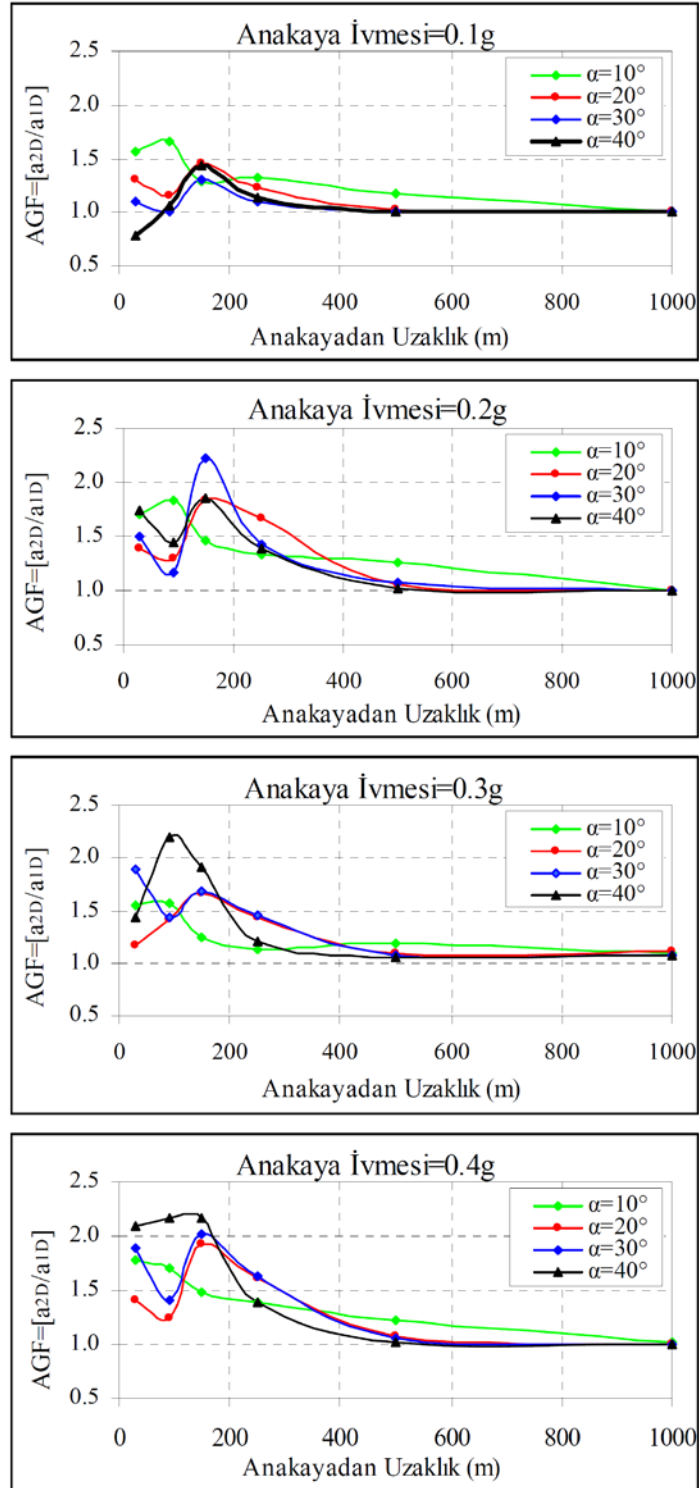
Ovanın orta kısımlarına ilerledikçe, farklı anakaya eğimlerine ait şiddet faktörleri eğrileri birbirine yakınlaşmaya başlıyor. Bu da, anakaya mostrasından uzaklaştıkça anakaya eğiminin etkisinin azalmasına işaret etmektedir. Ayrıca, ovanın orta kısımlarına doğru tüm şiddet faktörü eğrileri 1 değerine yakınsadığı görülmektedir. Bu da, anakaya mostrasından yeterince uzaklaştıktan sonra bir ve iki boyutlu analizlerden elde edilen sonuçların arasındaki farkın kalmasını ifade etmektedir.

5.3.3 Yumuşak kilden oluşan ovalar

Farklı kil cinsinden oluşan ovaların dinamik davranışının anlaşılması için, yumuşak kilden oluşan ve farklı anakaya eğimine sahip olan ovaların yüzeyi boyunca hesaplanmış olan şiddet faktörü eğrileri Şekil 5.11'de verilmektedir. Yine de, farklı güçlü yer hareketlerinin şiddet faktörüne etkisinin anlaşılması için, elde edilen sonuçlar dört farklı şiddet seviyesinde sunulmaktadır.

Yumuşak killerde de 0.1g ivmeye sahip hareketlerin etkisi altında ve 40° anakaya eğimine sahip ovaların kısa bir bölümünün haricinde, ova kenarlarında iki boyutlu analizlerin sonuçlarının üstün olduğu görülmektedir. Ovanın orta kısımlarında ise, anakaya eğiminin etkisinin azalmasıyla birlikte, şiddet faktörü eğrileri birbirine yaklaşıp 1 değerine yakınsamaktadır. Sonuçlara göre, 0.1g ivmesine sahip hareketlerin etkisi altında, en yüksek şiddet faktörü 10° anakaya eğimine ait olmakla birlikte, bu eğimin şiddet faktörü eğrisi düzeninin diğer eğimlerden farklı olduğu da

görülmektedir. Bu durumda, diğer anakaya eğimlerinin eğrileri birbirine benzemektedir.



Şekil 5.11 : Yumuşak kilden oluşan ovaların yüzeyi boyunca şiddet faktörünün değişimi.

Ayrıca, bu koşullarda elde edilen şiddet faktörlerinin daha şiddetli hareketlerin etkisi altındakilere göre daha düşük oldukları da söylenebilmektedir. Anakaya hareketi

şiddetinin artmasıyla, 0.2g ivmesine sahip hareketlerin etkisi altında meydana gelen maksimum şiddet faktörü 30° anakaya eğimine ait olmakla birlikte 2.25'e ulaşmaktadır. Daha güçlü 0.3g ve 0.4g ivmesine sahip deprem hareketlerinde ise, maksimum şiddet faktörü 2.2 değerini bularak 40° anakaya eğiminin etkisi altında meydana gelmektedir. Dolayısıyla, daha güçlü hareketlerin etkisi altında, yumuşak killerin şiddet faktörünün daha çok yüksek eğimlerden etkilendiği söylenebilmektedir. Ayrıca, 0.1g ivme değerine sahip hareketlerden daha kuvvetli hareketlerin etkisi altında, meydana gelen maksimum şiddet faktörünün anakaya hareketinin şiddetinin artmasından pek etkilenmediği de görülmektedir.

5.4 Sonuç

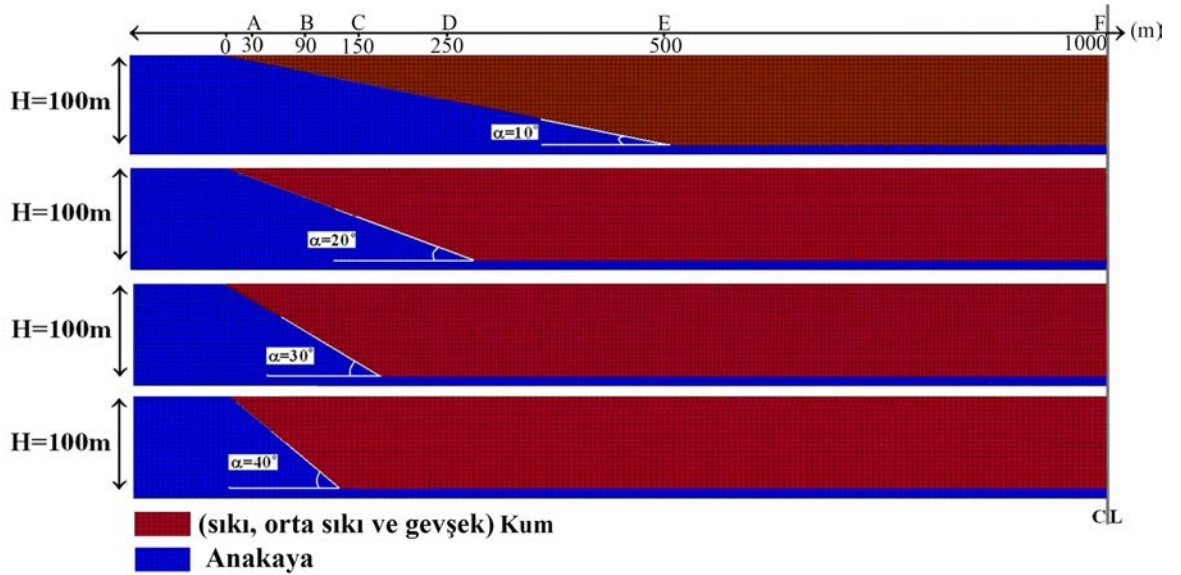
Ova kenarlarındaki anakaya eğiminin farklı anakaya hareketleri etkisi altında ovaların dinamik davranışına etkisinin incelenmesi amacıyla, derinlikleri 100 metre olan 10° , 20° , 30° ve 40° olmak üzere 4 farklı anakaya eğimi seçilerek tek tabakalı yumuşak, katı ve çok katı olmak üzere 3 farklı kil çeşidinden oluşan ovaların dinamik analizinden elde edilen sonuçlar irdelenmiştir.

Sonuçlar iki boyutlu geometriye sahip ovaların dinamik davranışının anakaya eğiminden etkilendiğini göstermektedir. Bununla birlikte, ovanın dinamik davranışının anakayaya etkiyen hareketin maksimum ivme değerinin artmasından etkilendiği görülmektedir. Sonuçlara göre, ova yüzeyi boyunca meydana gelen maksimum zemin büyütme oranları farklı periyotlarda ortaya çıkmaktadır. Ova yüzeyi boyunca farklı noktaların frekans tanım alanındaki zemin büyütme oranlarının incelenmesinden anakaya mostrasına yakın noktaların rezonans periyodunun anakaya mostrasından daha uzak noktalardakine göre daha düşük olduğu görülmektedir. Ovaların şiddet faktörü eğrilerinin de anakaya eğiminden ve anakayaya etkiyen hareketlerin farklı ivme değerinden etkilendiği görülmektedir. Çok katı ve katı kilden oluşan ovaların 0.1g ivme değerine sahip hareketlerin etkisi altındaki daha düşük şiddet faktörleri değerlerine rağmen daha kuvvetli anakaya hareketlerinin etkisi altında meydana gelen şiddet faktörlerinin daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu da daha kuvvetli yer hareketlerinin etkisi altında iki ve tek boyutlu analizlerden elde edilen maksimum mutlak ivme değerinin arasındaki farkın büyüdüğünü göstermektedir.

6. KUM ZEMİNDEN OLUŞAN OVALARIN DİNAMİK DAVRANIŞINA ANAKAYA EĞİMİNİN ETKİSİ

6.1 Giriş

Ana kaya eğimi ve zemin cinsinin yüzeydeki deprem hareketine etkisini incelemek amacıyla bu bölümde tek tabakalı gevşek, orta sıkı ve sıkı olmak üzere üç farklı kum tabakasından oluşan ovaların dinamik analizlerinden elde edilen sonuçlar sunulmaktadır. Bu çalışmanın amacının anakaya eğiminin ovaların dinamik davranışına etkisinin araştırılması olduğundan, ova kenarlarında 10, 20, 30 ve 40° olmak üzere 4 farklı anakaya eğimi seçilmektedir. Şekil 6.1’de kumdan oluşan ve farklı anakaya eğimine sahip tek tabakalı ova modelleri verilmektedir.



Şekil 6.1 : Kumdan oluşan ve farklı anakaya eğimine sahip tek tabakalı ova modelleri.

Analizlerde kullanılan sıkı, orta sıkı ve gevşek kum çeşitlerinin zemin özellikleri Çizelge 6.1’de verilmektedir. Tüm modellere 16 farklı kuvvetli yer hareketi uygulanarak FLAC3D programı ile dinamik analizler yapılmıştır. Elde edilen sonuçların değerlendirilmesinden çeşitli kum cinsinden oluşan ovaların kenarındaki anakaya eğimi, anakaya hareketinin ivme değeri ve malzeme özelliklerinin değişimi gibi önemli parametrelerin zemin büyütmesine etkisinin anlaşılmasına

çalışılmaktadır. Bununla birlikte, ovanın farklı noktalarında yapılacak tek boyutlu analizlerin sonuçlarını kullanarak ova yüzeyi boyunca elde edilen şiddet faktörünün değişimi incelenmektedir. Hesaplanmış olan zemin büyütmesi ve şiddet faktörü eğrileri sırayla gevşek, orta sıkı ve sıkı kumlar için sunulmuştur.

Çizelge 6.1 : Sıkı, orta sıkı ve gevşek kum zeminden oluşan modellerin zemin özellikleri.

Zemin gurubu		c (kPa)	ϕ (°)	V_s (m/s)	G (MPa)	K (MPa)	γ (kN/m ³)
Kum	Sıkı (B)	0	38	500-700	470-1030	1240-2680	19-21
	Orta sıkı (C)	0	30	250-450	110-360	290-950	18-20
	Gevşek (D)	0	26	100-200	15-68	39.1-177.3	15-17
Anakaya	(A)*	*	*	1000	2200	3600	22

c: Kohezyon; ϕ : Kayma Direnci Açısı; V_s : Kayma Dalgası Hızı; G: Kayma Modülü; K: Hacimsel Modül; γ : Birim Hacim Ağırlığı.

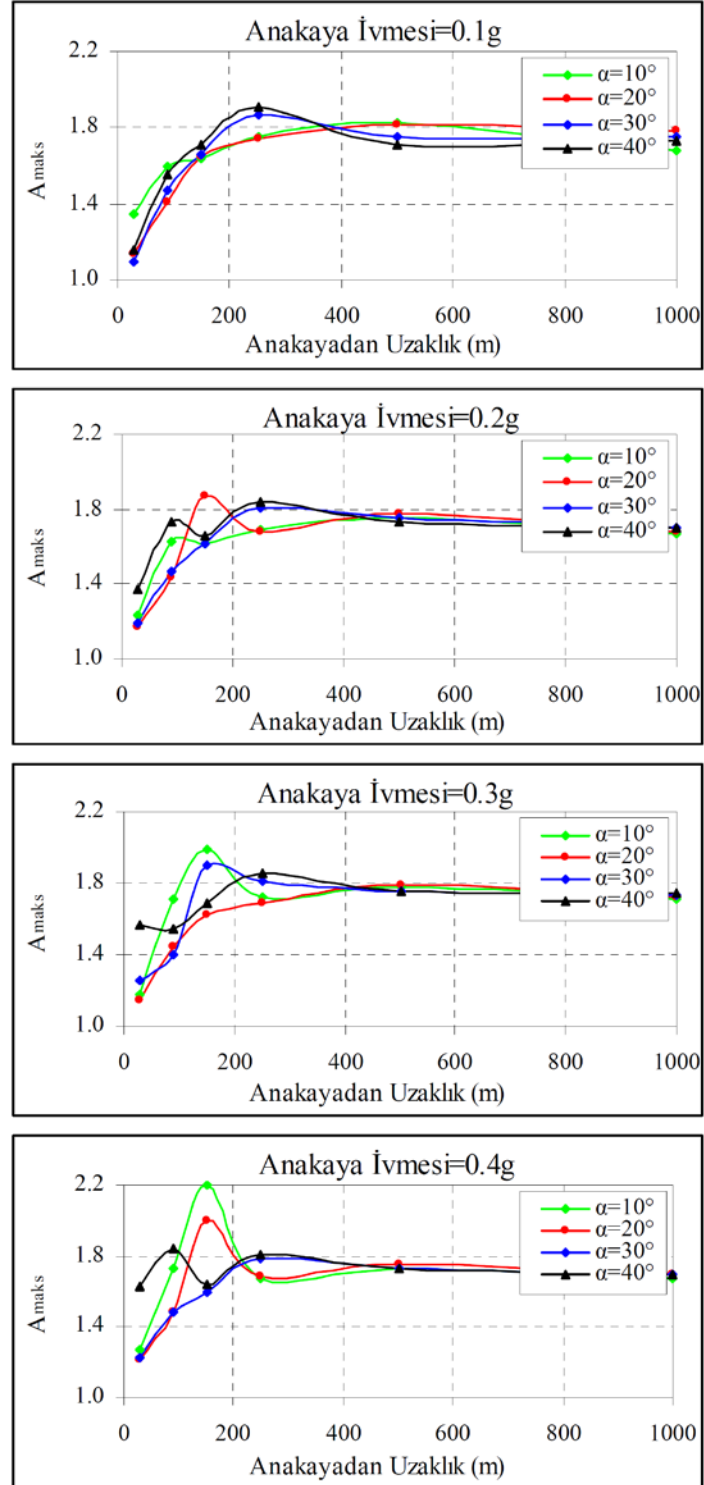
6.2 Kumdan Oluşan Ovaların Zemin Büyütmesine Anakaya Eğiminin Etkisi

Bilindiği gibi, zemin büyütmesi ova yüzeyinin her noktasında elde edilen ivme spektrumunun anakaya üzerindeki deprem kaydının ivme spektrumuna oranı olarak tanımlanmaktadır. Bu bölümde ova yüzeyi boyunca farklı anakaya eğimi ve deprem ivme değerleri için hesaplanmış olan zemin büyütmesi değerlerinin maksimumunu eğriler aracılığıyla sunulmaktadır. Modellenmiş olan ovaların simetrik olduğundan dolayı zemin büyütmesi eğrileri sadece ovanın yarısı için verilmektedir. Elde edilen sonuçlar, sırasıyla, gevşek, orta sıkı ve sıkı kumlar için sunulmaktadır.

6.2.1 Sıkı kumdan oluşan ovalar

Şekil 6.2’de sıkı kum cinsinden oluşan ovaların yüzeyinde farklı anakaya eğimi ve kuvvetli yer hareketlerinin etkisi altında meydana gelen zemin büyütmesinin değişimi verilmektedir. Görüldüğü gibi, 0.1g ivme değerine sahip hareketlerin etkisi altında, tüm anakaya eğimlerinde meydana gelen zemin büyütmelerinin maksimumları anakaya mostrasından daha uzak bölgelerde meydana gelmektedir. Sonuçlara göre, bu hareketlerin etkisi altında 10 ile 20° ve 30 ile 40° anakaya eğimine sahip ovaların gösterdiği zemin büyütmesinin birbirine yakın oldukları görülmektedir. Sonuçlar 10 ile 20° anakaya eğimine sahip ovaların maksimum zemin

büyütmesinin anakaya mostrasının 250 metreliğinde, 30 ve 40° anakaya eğimine sahip ovalarınki ise 500 metreliğinde meydana geldiğini göstermektedir.



Şekil 6.2 : Sıkı kumdan oluşan ovaların en büyük spektral zemin büyütmesinin (A_{maks}) değişimi.

Bir de, 10 ile 20° gibi düşük anakaya eğimlerinin etkisi altında meydana gelen zemin büyütmelerinin daha yüksek eğimlerdekenden daha az oldukları da görülmektedir.

Anakaya eğimi 10 ile 20° olduğu ovalarda ovanın büyük bir kısmında yüksek zemin büyütmesinin etkili olduğu da dikkat çekmektedir. 10° anakaya eğimin haricinde, diğer eğimlerdeki zemin büyütmesi eğrileri anakaya mostrasından yaklaşık 500 metre mesafeden sonra ovanın ortasındaki zemin büyütmesi değerine yaklaşmaktadır. Bu da anakaya mostrasından yeterince uzaklaştıktan sonra anakaya eğiminin etkisinin kalktığına işaret etmektedir.

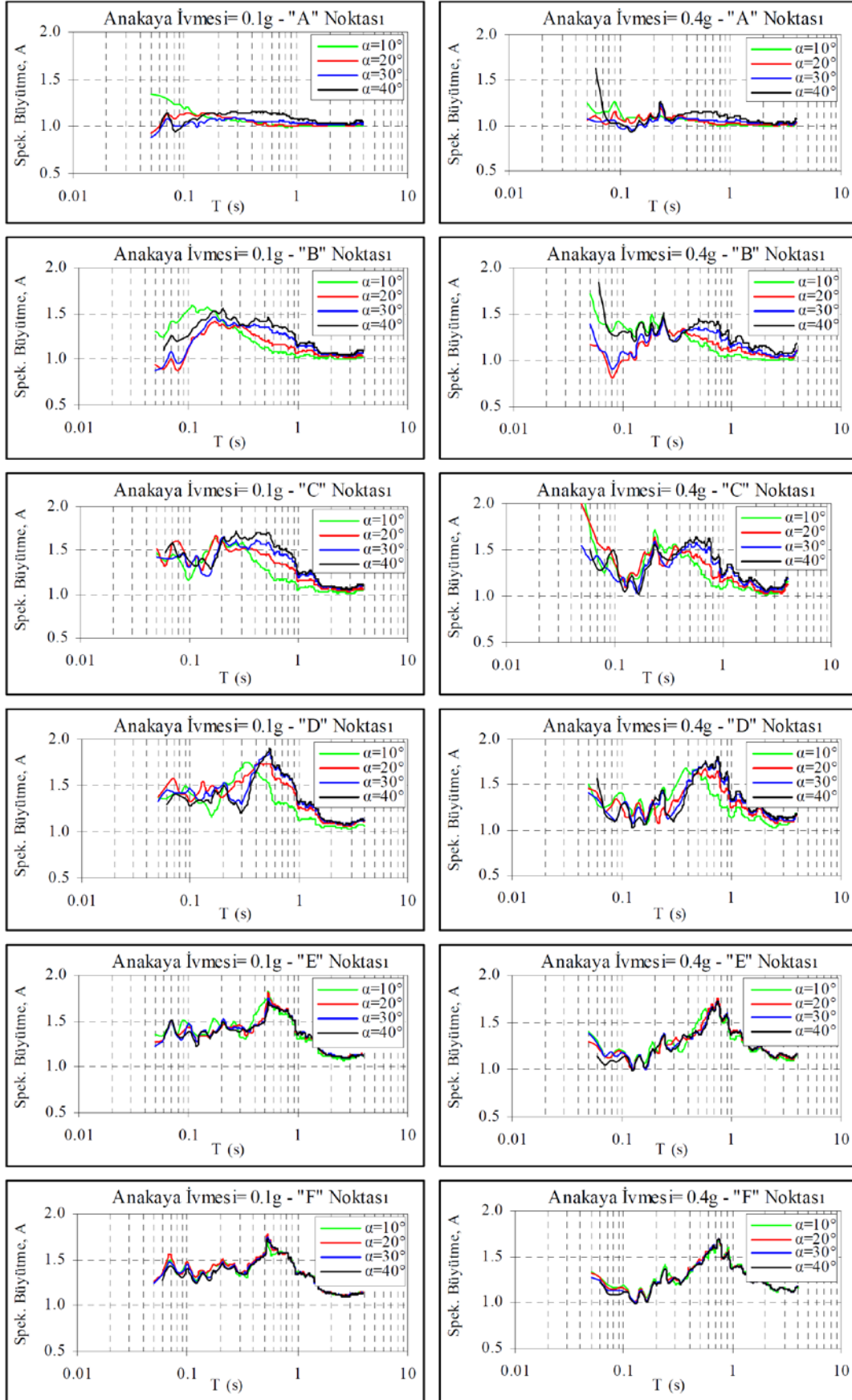
Ovalara etkiyen kuvvetli yer hareketlerinin maksimum mutlak ivme değeri 0.2g'ye yükselince, ovada meydana gelen maksimum zemin büyütmesi yine de 1.90 değerini aşmıyor, fakat bu defa maksimum zemin büyütmesi 20° anakaya eğimine ait olmaktadır. 0.2g ivme değerine sahip hareketlerin etkisi altında farklı anakaya eğimlerine ait zemin büyütmesi eğrilerinin birbirinden farklı oldukları da ovaların dinamik davranışlarının 0.1g ivme değerine sahip hareketlerdekine göre anakaya eğiminden daha çok etkilendiğini göstermektedir. Burada da, 10 ile 20° anakaya eğimine sahip ovalar için anakaya mostrasından 250 metre mesafeden sonra ve 30 ile 40° anakaya eğimine sahip ovalar için ise 150 metreden sonra zemin büyütmesi eğrileri arasında benzerlikler görülmektedir. Bir de, zemin büyütmesi eğrilerinin maksimumlarının ovanın farklı yerlerinde meydana geldiği de dikkat çekmektedir. 0.2g ivme değerine sahip hareketlerin etkisi altında, zemin büyütmesi eğrileri anakaya mostrasından 400 metre mesafeden sonra ovanın ortasındaki zemin büyütmesi değerlerine ulaşmaktadır. Bu da bu mesafenin haricinde anakaya eğiminin etkisinin kalktığı ve tek boyutlu davranışın başlangıç noktasını göstermektedir. Görüldüğü gibi, bu mesafenin haricinde, zemin büyütmesi eğrilerinin birbirine yaklaşarak tek bir eğriye dönüşmektedir.

Ovalara uygulanan kuvvetli yer hareketlerinin maksimum mutlak ivme değeri 0.3g ve 0.4g'ye yükseldiğinde, ova kenarlarındaki anakaya eğiminin etkisi altında meydana gelen zemin büyütmesi eğrilerinin birbirinden farkı daha da artmaktadır. Bu durumda, en büyük zemin büyütmesi 10° anakaya eğimine sahip olan ovalarda meydana gelmektedir, fakat 0.3g ivme değerine sahip hareketlerin etkisi altında 2 olan zemin büyütmesi 0.4g hareketlerin etkisi altında 2.2'ye yükselmektedir. Ovalarda anakaya eğiminin etkisinin kalkması 0.3g ve 0.4g ivme değerine sahip hareketlerin ikisinde de anakaya mostrasından yaklaşık 400 metre uzaklıkta gerçekleşmektedir. Bu mesafenin haricinde zemin büyütmesi eğrileri birbirine

yaklaşarak ovanın ortasında meydana gelen tek boyutlu zemin büyütmesi değerine ulaşmaktadır.

Sonuçlara bakıldığında, ovalara etkiyen kuvvetli yer hareketlerinin maksimum mutlak ivme değeri arttıkça maksimum zemin büyütmesi değerleri 1.9'dan 2.2'ye yükselmektedir. Böylece, sıkı kumdan oluşan ovalara uygulanan depremlerin kuvvetinin artmasıyla zemin büyütmesinde hafif bir yükselişin meydana geldiği söylenebilmektedir. Ovaların ortasındaki tek boyutlu zemin büyütmesi değerlerine de bakıldığında, uygulanan kuvvetli yer hareketlerinin hepsinin etkisi altında elde edilen zemin büyütmesi değeri yaklaşık 1.7 olmaktadır. Bu da sıkı kumlardan oluşan ovaların tek boyutlu zemin büyütmesinin ovaya etkiyen dinamik yüklerinin kuvvetinin artmasından etkilenmediğini göstermektedir.

Şekil 6.2'deki sonuçlar ova yüzeyi boyunca sadece maksimum zemin büyütmesinin değişimini göstermektedir, fakat ova yüzeyinin her noktasında meydana gelen maksimum zemin büyütmesinin hangi periyota ait olduğu konusunda herhangi bir bilgi vermemektedir. Ova yüzeyi boyunca elde edilen maksimum zemin büyütmesinin hangi periyotta meydana geldiğinin anlaşılması için, ova yüzeyinin farklı noktalarında frekans tanım alanındaki zemin büyütmesi elde edilmiştir. Frekans tanım alanında zemin büyütmesinin hesaplandığı noktalar Şekil 6.1'de A, B, C, D, E ve F ile gösterilmiştir. Şekil 6.3'te, 0.1g ve 0.4g ivme değerine sahip hareketlerin etkisi altında sıkı kumdan oluşan ovaların bu noktalarında frekans tanım alanında hesaplanmış olan zemin büyütmesi eğrileri verilmektedir. 0.2g ve 0.3g ivme değerine sahip hareketlerin etkisi altındaki zemin büyütmesi eğrileri ise ekte verilmektedir. Sonuçlar sıkı kumdan oluşan ovaların yüzeyinin farklı noktasında meydana gelen maksimum zemin büyütmesinin farklı periyotlara ait olduğunu göstermektedir. 0.1g ivme değerine sahip hareketlerin etkisi altında, B noktasında meydana gelen maksimum zemin büyütmesinin periyodu yaklaşık 0.1 saniye iken, ovanın orta kısımlarına ilerledikçe bu değerin 0.5 saniyeye yükselmektedir. Dolayısıyla, sıkı kumlardan oluşan ovaların da kenarlarının düşük periyotlara, ovanın orta kısımları ise daha yüksek periyotlara duyarlı oldukları görülmektedir. Benzer durum ovanın 0.4g ivme değerine sahip hareketlerin etkisi altında gösterdiği davranışta da izlenmektedir. Sonuçlara göre, anakayadan daha uzak kısımlarda 0.4g ivme değerine sahip hareketlerin etkisi altında meydana gelen rezonans periyodu



Şekil 6.3 : Sıkı kumdan oluşan ovaların farklı noktalarının frekans tanım alanındaki zemin büyütmesi.

aynı noktada 0.1g ivme değerine sahip hareketlerin etkisi altındakine göre daha yüksek değere sahip olmaktadır. Örneğin, D noktasının 0.1g ivme değerine sahip hareketlerin etkisi altındaki tınlaşım periyodu 0.5s iken, daha kuvvetli 0.4g ivme değerine sahip hareketlerin etkisi altında 0.8s'ye yükselmektedir.

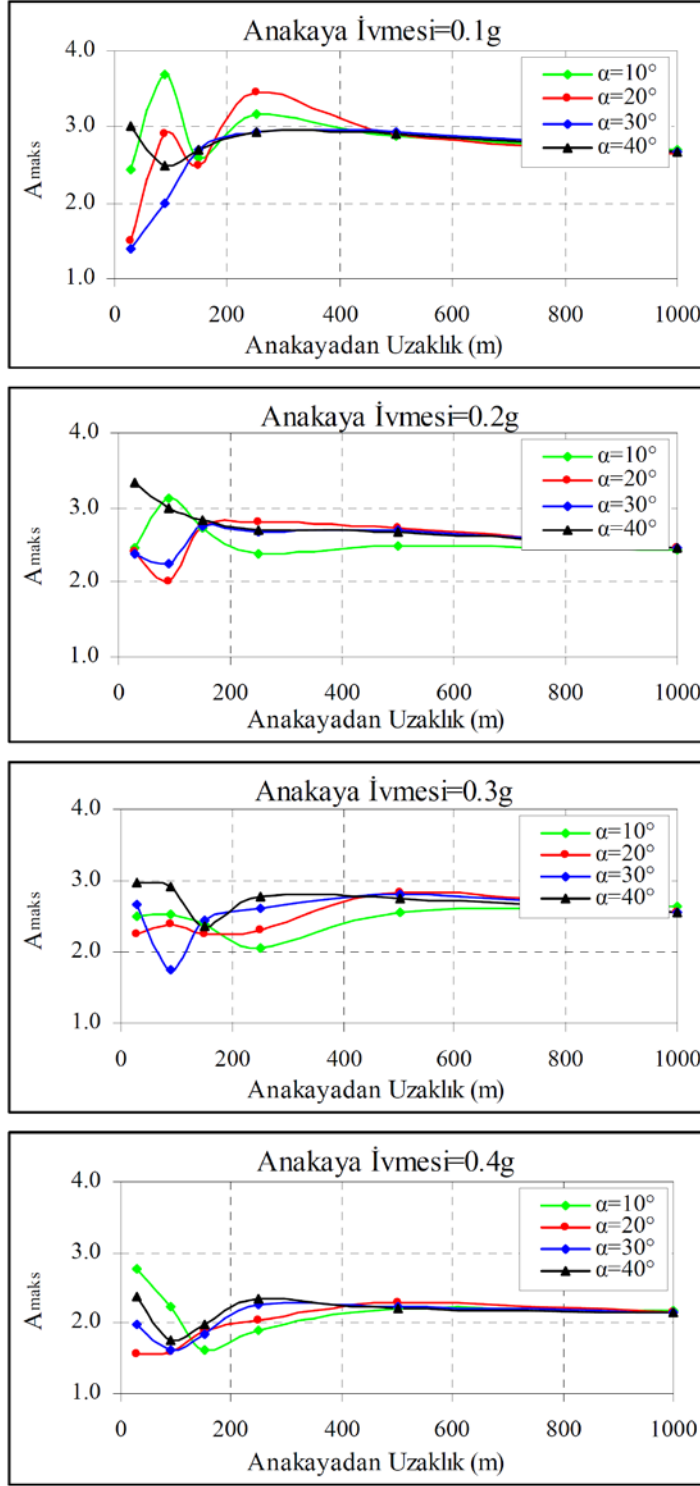
Ayrıca, ovanın orta kısımlarına doğru ilerledikçe, farklı anakaya eğimlerine ait zemin büyütmesi eğrilerinin birbirine yaklaşmaları ve nihayet tek bir eğri haline dönüştükleri görülmektedir. Bu da frekans tanım alanında da ovaların orta kısımlara doğru ilerledikçe anakaya eğiminin etkisinin ortadan kalktığının göstergesidir.

6.2.2 Orta sıkı kumdan oluşan ovalar

Şekil 6.4'te orta sıkı kum cinsinden oluşan ovaların yüzeyi boyunca farklı anakaya eğimi ve kuvvetli yer hareketlerinin etkisi altında meydana gelen zemin büyütmesinin değişim verilmektedir. Sonuçlarda görüldüğü gibi, anakaya eğiminin değişimi sadece zemin büyütmesi eğrilerinin maksimumunu değil, maksimumların ova yüzeyinde meydana geldikleri konumu da etkilemektedir. En yüksek zemin büyütmesi 3.7 olmak üzere 0.1g ivme değerine sahip hareketlerin etkisi altında ve 10° anakaya eğimine ait olmaktadır.

Şekilde, anakaya eğiminin 10° olduğu ve 0.1g ivme değerine sahip hareketlerin etkisi altında zemin büyütmesinin ovanın kenarlarında daha yüksek olduğu görülmektedir. Anakaya mostrasından uzaklaştıkça 20° eğimine sahip olan anakayanın etkisi hakim olmaya başladığı söylenebilmektedir. 30° eğimli anakayanın meydana getirdiği maksimum zemin büyütmesi ise anakaya eğiminin yüzeydeki iz düşümünün haricinde meydana gelmektedir. 30 ve 40° anakaya eğimine sahip ovaların genel davranışlarının arasındaki benzerliklere rağmen 40° eğiminin hemen anakaya mostrasına yakın noktada gösterdiği yüksek zemin büyütmesi de dikkat çekmektedir. 40° anakaya eğimi, bir yere kadar da 30° eğimi neredeyse ovanın büyük bir kısmında üniform bir zemin büyütmesi göstermektedir.

Ayrıca, Şekil 6.4'te görüldüğü gibi, orta sıkı kumlarda ovanın gösterdiği zemin büyütmesi düzeni etkiyen anakaya hareketinin kuvvetinin artmasıyla değişmektedir. Anakaya etkiyen hareketin maksimum mutlak ivme değeri 0.2g'ye yükseldiğinde, 10 ve 40° eğimlerde ovanın kenarlarındaki zemin büyütmesi daha yüksek iken, 20 ve 30° eğimlerin daha düşük zemin büyütmesi gösterdiği de dikkat çekmektedir.



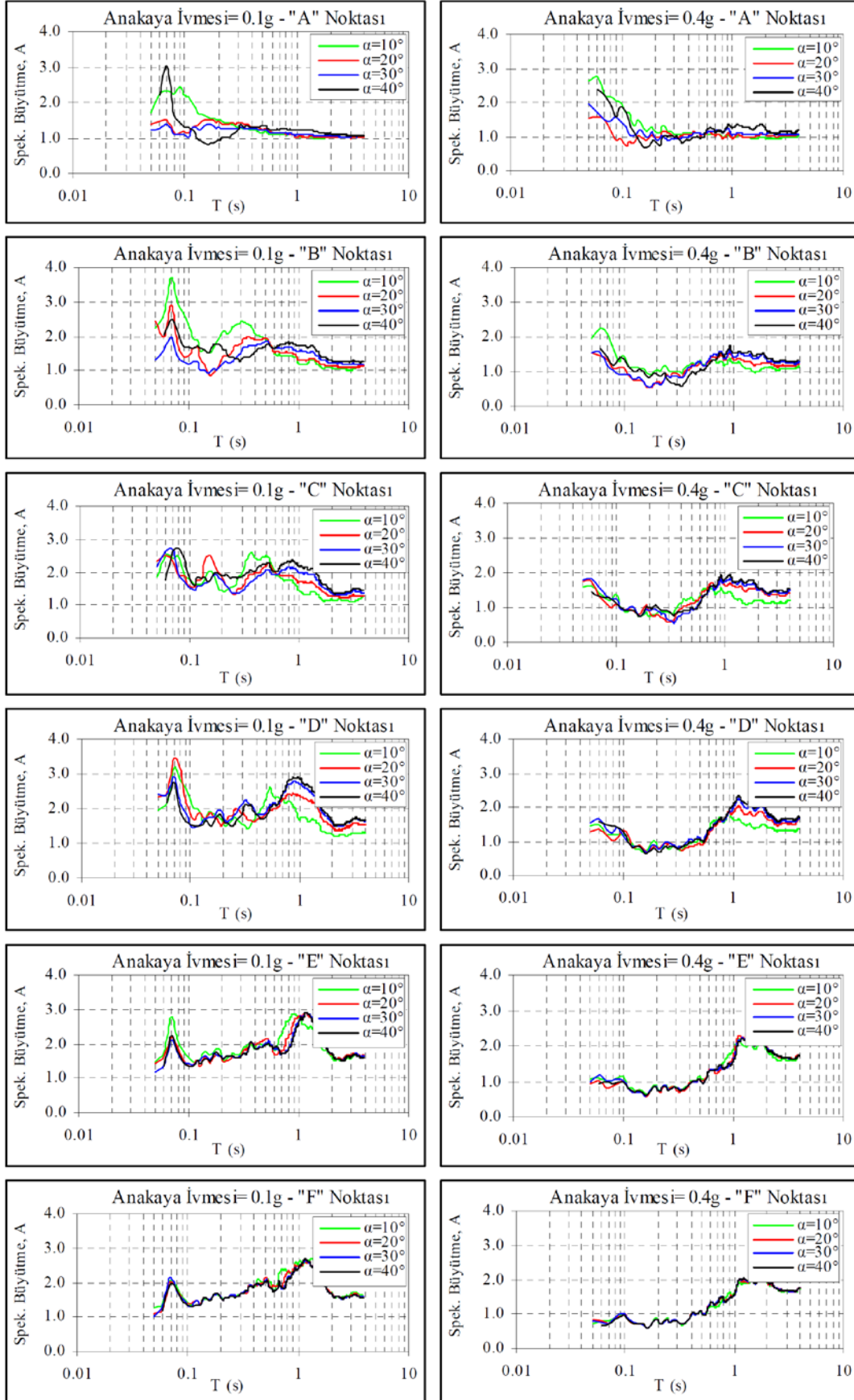
Şekil 6.4 : Orta sıkı kumdan oluşan ovaların en büyük spektral zemin büyütmesinin (A_{maks}) değişimi.

0.3g ivme değerine sahip hareketlerin etkisi altında ise, zemin büyütmesi eğrilerinin birbirinden farklı oldukları, orta sıkı kumdan oluşan ovalarda zemin büyütmesinin anakaya eğiminden etkilendiğini göstermektedir. Etkiyen anakaya hareketlerinin maksimum mutlak ivme değeri 0.4g'ye yükseldiğinde, ovanın farklı anakaya

eğimlerinin etkisi altında gösterdiği zemin büyütmesi eğrileri arasındaki benzerlik dikkat çekmektedir. Anakaya eğiminin etkisi neredeyse ovanın ilk 250 metre mesafesi ile sınırlı kalmaktadır.

Sonuçlara bakıldığında, orta sıkı kumdan oluşan ovalarda elde edilen zemin büyütmesi eğrilerinin anakaya mostrasından yaklaşık 500 metre mesafeden sonra birbirine yaklaşımağa başladığı ve ovanın ortasına kadar da devam ettiği görülmektedir. Bu da bu noktadan sonra anakaya eğiminin etkisinin ortadan kalktığı ve ovanın iki boyutlu davranışının ovanın orta kısımlarında beklenen tek boyutlu davranışa geçiş yaptığının göstergesidir. Aslında, ovanın gerçek tek boyutlu davranışı, modellenen ovanın iki boyutlu analizi sırasında yeterince anakaya mostrasından uzak noktanın davranışı olarak tanımlanmaktadır. Orta sıkı kumlardan oluşan ovaların tek boyutlu zemin büyütmesi 0.1g, 0.2g ve 0.3g ivme değerine sahip hareketlerin etkisi altında birbirine yakın olmakla birlikte yaklaşık 2.5 ile 2.7 olmaktadır. Sonuçlardan, anakayaya etkiyen hareketin maksimum mutlak ivme değerinin 0.4g'ye yükseldiğinde ovanın ortasındaki tek boyutlu zemin büyütmesinin 2.2'ye düştüğü de anlaşılmaktadır.

Şekil 6.4'te verilen sonuçlar sadece spektral zemin büyütmesinin maksimumlarını göstererek bu maksimumların meydana geldikleri periyotlar konusunda bilgi içermemektedir. Şekil 6.5'te, 0.1g ve 0.4g ivme değerine sahip hareketlerin etkisi altında, orta sıkı kumdan oluşan ovaların yüzeyindeki noktaların frekans tanım alanında hesaplanmış olan zemin büyütmesi verilmektedir. Frekans tanım alanında 0.2g ve 0.3g ivme değerlerine sahip hareketlerin etkisi altındaki zemin büyütmesi eğrileri ise ekte verilmektedir. Şekilde, ovanın farklı noktalarının maksimum zemin büyütmesinin farklı periyotlarda meydana geldikleri açıkça görülmektedir. Sonuçlara göre, 0.1g ivme değerine sahip hareketlerin etkisi altında, ovanın kenarlarındaki maksimum zemin büyütmesi 0.1s de meydana gelmiş iken, ovanın orta kısımlarındaki noktaların maksimum zemin büyütmesi 1 il 1.2s arasında meydana gelmektedir. Orta sıkı kumlardan oluşan ovaların 0.1g ivme değerine sahip hareketlerin etkisi altında gösterdiği davranışa bakıldığında da, anakaya mostrasına yakın kısımların daha düşük periyotlara duyarlı oldukları görülmektedir. Anakaya mostrasından uzaklaştıkça, ilk önce C noktasının spektral zemin büyütmesi eğrilerinde geniş periyot aralığını etkileyen iniş çıkışlar oluşmaya başladığı görülmektedir.



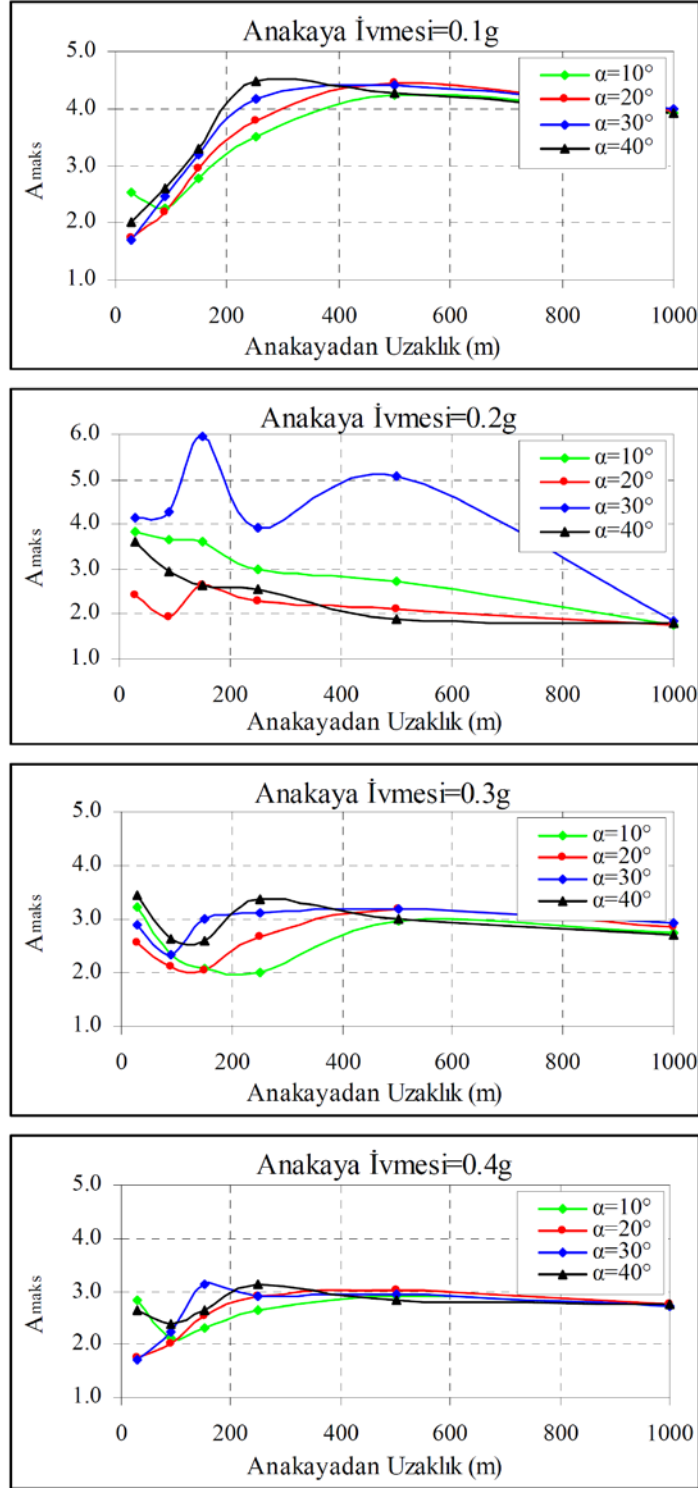
Şekil 6.5 : Orta sıkı kumdan oluşan ovaların farklı noktalarının frekans tanım alanındaki zemin büyütmesi.

C noktasından sonraki noktaların eğrilerinde ise iki maksimum noktası görülmektedir; Bunlardan birisi düşük periyotlarda diğeri ise yüksek periyotlara ait olmaktadır. Bu da, bu noktaların rezonans periyodunun ikinci modunun oluşmasını göstermektedir. Dolayısıyla, orta sıkı kumlardan oluşan ovalarda C noktasının bir geçiş noktası olduğu da ifade edilebilmektedir. Ovanın farklı noktalarının farklı periyotlara duyarlılığı mühendislik açısından büyük bir önem taşımaktadır. Dolayısıyla, yeraltı düzensizliğine sahip ovaların dinamik davranışının incelendiğinde sadece ova yüzeyi boyunca maksimum zemin büyütmesinin değişimi değil, ovanın her noktasının frekans tanım alanındaki davranışının da göz önüne alınmasının gerektiğini de göstermektedir.

6.2.3 Gevşek kumdan oluşan ovalar

Şekil 6.6'da gevşek kumdan oluşan ovaların yüzeyinde farklı anakaya eğimi ve kuvvetli yer hareketlerinin etkisi altında meydana gelen zemin büyütmesinin değişimi verilmektedir. Sonuçlarda 0.1g ivme değerine sahip hareketleri ve farklı anakaya eğimlerinin etkisi altında meydana gelen zemin büyütmesi eğrilerinin düzeninin birbirine yakın oldukları görülmektedir. Gevşek kumdan oluşan ovaların 0.1g ivme değerine sahip hareketlerin etkisi altında gösterdikleri dinamik davranışın önemli özelliği zemin büyütmesinin anakaya mostrasına yakın bölgelerde daha düşük oldukları, ovanın orta kısımlarına ilerledikçe zemin büyütmesinin artmasıdır. Bu durumda en büyük zemin büyütmesi 4.5 değeriyle 40° anakaya eğimine sahip ovada meydana gelmektedir. Ayrıca, diğer anakaya eğimlerinde meydana gelen maksimum zemin büyütmesi anakaya mostrasından 500 metre uzaklıkta meydana gelmiş iken, 40° eğimindeki maksimum zemin büyütmesi 250 metre uzaklıkta meydana gelmektedir. Görüldüğü gibi, anakaya mostrasından 400 metrelik bir mesafe içerisinde, anakaya eğiminin açısının yükselmesiyle zemin büyütmesi artmaktadır. Bu mesafenin haricinde, zemin büyütmesi eğrileri birbirine yaklaşarak sonunda nihayet yaklaşık 900 metreden sonra ovanın ortasının zemin büyütmesi değerine ulaşmaktadır.

Gevşek kumdan oluşan ovaların 0.1g ivme değerine sahip hareketlerin etkisi altındaki davranışın diğer bir özelliği ise ova yüzeyinin büyük bir oranının yüksek zemin büyütmesi etkisinin altında olduğudur.



Şekil 6.6 : Gevşek kumdan oluşan ovaların en büyük spektral zemin büyütmesinin (A_{maks}) değişimi.

Ovanın büyük bir bölümünde zemin büyütmesinin 4'ün üzerinde olduğu görülmektedir. Ovanın ortasında meydana gelen zemin büyütmesine bakıldığında da, en büyük zemin büyütmesi 0.1g ivme değerine sahip hareketlerin etkisi altında meydana gelmektedir. Ayrıca, ovanın ortasının tek boyutlu zemin büyütmesinin

ovanın iki boyutlu maksimum zemin büyütmesine yakın olduğu da dikkat çekmektedir.

Uygulanan depremlerin maksimum mutlak ivme değeri 0.2g'ye yükseldiğinde, daha düşük kuvvetli hareketlerin etkisi altında görülen zemin büyütmesi düzeni değişime uğramaktadır. Şekilde gevşek kumdan oluşan ve 30° anakaya eğimine sahip ovaların zemin büyütmesi düzeninin diğer eğimlerden farklı olduğu görülmektedir. Görüldüğü gibi, zemin büyütmesinin maksimumunun 6'ya kadar yükselişi, bu şartlar altında meydana gelen rezonansın sonucu olduğunu göstermektedir. Gevşek kumlarda 30° anakaya eğimi ve 0.2g ivme değerine sahip hareketlerin etkisi altında görülen zemin büyütmesi düzeninin diğer eğimler ve kuvvetlerin etkisi altında görülene göre daha yüksek olgununun nedeni 12 Kasım 1999 Düzce depremiyle alakalı olmaktadır. Diğer araştırmacıların tarafından yapılan araştırmalara bakıldığında da, düzce ovasında meydana gelen yüksek dereceli hasarların değerlendirilmesinden de bu depremin kuvvetli olduğu görülmektedir. 30° eğimin haricinde, ovada meydana gelen en yüksek zemin büyütmesi 10° anakaya eğimine ait olmaktadır. 10, 20 ve 40° eğimlerin etkisi altındaki zemin büyütmesi anakaya mostrasının yakınlarında daha büyük olduğu, ovanın orta kısımlarına ilerledikçe azaldığı da görülmektedir. 0.2g ivme değerine sahip hareketlerin etkisi altında ovanın ortasının zemin büyütmesinin 0.1g ivme değerine sahip hareketlerin etkisi altındakine göre 4'den 1,8'e indiği de dikkat çekmektedir.

Uygulanan anakaya hareketinin maksimum mutlak ivme değeri 0.3g'ye yükseldiğinde ovanın zemin büyütmesi düzeni de değişmeye uğramaktadır. Görüldüğü gibi, tüm anakaya eğimlerinin zemin büyütmesi eğrilerinde anakaya mostrasının yakınlarında meydana gelen düşüşün ardından ovanın orta kısımlarına ilerledikçe bir yükselişin meydana geldiği görülmektedir. Anakaya mostrasının yakınlarında 40° eğimin zemin büyütmesi hâkim iken, ovanın orta kısımlarında 30° eğimin etkisi üstün olmaktadır. Farklı anakaya eğimlerinin zemin büyütmesi eğrilerindeki farklılıklara rağmen, anakaya mostrasından 500 metre uzaklıktan sonra bu eğriler birbirine yaklaşarak sonunda ovanın ortasının tek boyutlu zemin büyütmesine ulaşmaktadır.

0.4g ivme değerine sahip hareketlerin etkisi altında ise en yüksek zemin büyütmesi 30 ile 40° anakaya eğimlerinin etkisi altında meydana gelmektedir. Ovaya etkiyen

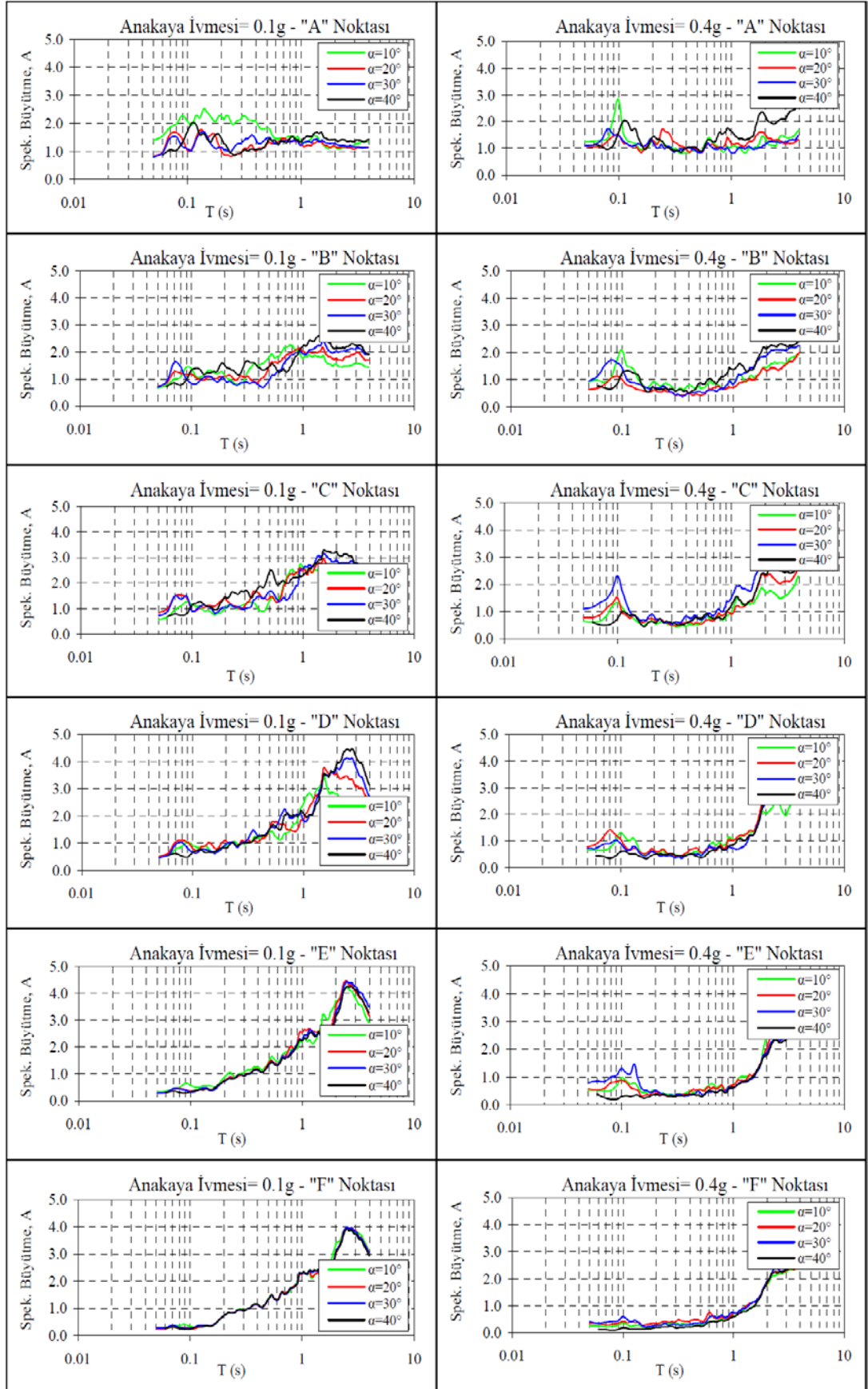
hareketlerin kuvvetinin 0.3g'den 0.4g'ye yükselişi ovanın ortasının zemin büyütmesini pek etkilememektedir. Bu durumda, zemin büyütmesi eğrileri anakaya mostrasından 350 metre mesafeden sonra birbirine yaklaşılarak ovanın tek boyutlu zemin büyütmesine yakınsamaktadır. Bu da, 0.4g ivme değerine sahip hareketlerin etkisi altında daha hafif hareketlerde görülenlere göre anakaya eğiminin etkisinin anakaya mostrasından daha kısa bir mesafede kalktığını göstermektedir.

Şekil 6,7'de gevşek kumdan oluşan ovaların yüzeyindeki noktalarının frekans tanım alanında 0.1g ve 0.4g ivme değerine sahip hareketlerin etkisi altında gösterdiği zemin büyütmesi verilmektedir. 0.2g ve 0.3g ivme değerine sahip hareketlerin etkisi altında meydana gelen zemin büyütmesi ise ekte verilmektedir. Görüldüğü gibi, 0.1g ivme değerine sahip hareketlerin etkisi altında sadece anakaya mostrasına yakın olan A noktasının rezonans periyodu daha küçük 0.1s'lerde meydana gelmektedir. Ovanın orta kısımlarına ilerledikçe zemin büyütmesinin maksimumlarının daha yüksek periyotlarda meydana geldikleri görülmektedir. B ve C noktalarının rezonans periyodu 1.5 saniye iken, anakaya mostrasından daha uzak olan D, E ve F noktalarının rezonans periyodu 2 saniyeyi geçmektedir.

Daha kuvvetli 0.4g ivme değerine sahip hareketlerin etkisi altında ise, anakaya mostrasına yakın B noktasında 10 ve 30° eğimlerin zemin büyütmesi eğrilerinde iki maksimum noktası görülmektedir. Benzer duruma 30° eğiminin C noktasında da rastlanmaktadır. Bu maksimumların birisi daha küçük 0.1s'lerde diğeri ise daha yüksek olan 2s'lerde meydana gelmektedir. Ovanın orta kısımlarına ilerledikçe de rezonans periyotların daha yüksek periyotlarda meydana geldikleri görülmektedir.

6.3 Kumdan Oluşan Ovaların Şiddet Faktörüne Anakaya Eğiminin Etkisi

Bilindiği gibi, ovaların dinamik davranışının değerlendirilmesinde önemli anlam taşıyan şiddet faktörü ($AGF=a_{2D}/a_{1D}$) iki boyutlu mutlak ivme maksimumunun tek boyutlu mutlak ivme maksimumuna oranı olarak tanımlanmaktadır. Bu bölümde, farklı anakaya eğimine sahip olan ve çeşitli kum malzemesinden oluşan ovaların tek ve iki boyutlu dinamik analizinin değerlendirilmesi sonucu elde edilen şiddet faktörü sunulmaktadır. Modellenmiş olan ovaların simetrik olduğundan dolayı, elde edilen şiddet faktörü eğrileri sadece ovaların yarısı için verilmektedir. Sonuçların değerlendirilmesinden tek ve iki boyutlu yöntemlerden elde edilen sonuçların yanal



Şekil 6.7 : Gevşek kumdan oluşan ovaların farklı noktalarının frekans tanım alanındaki zemin büyümesi.

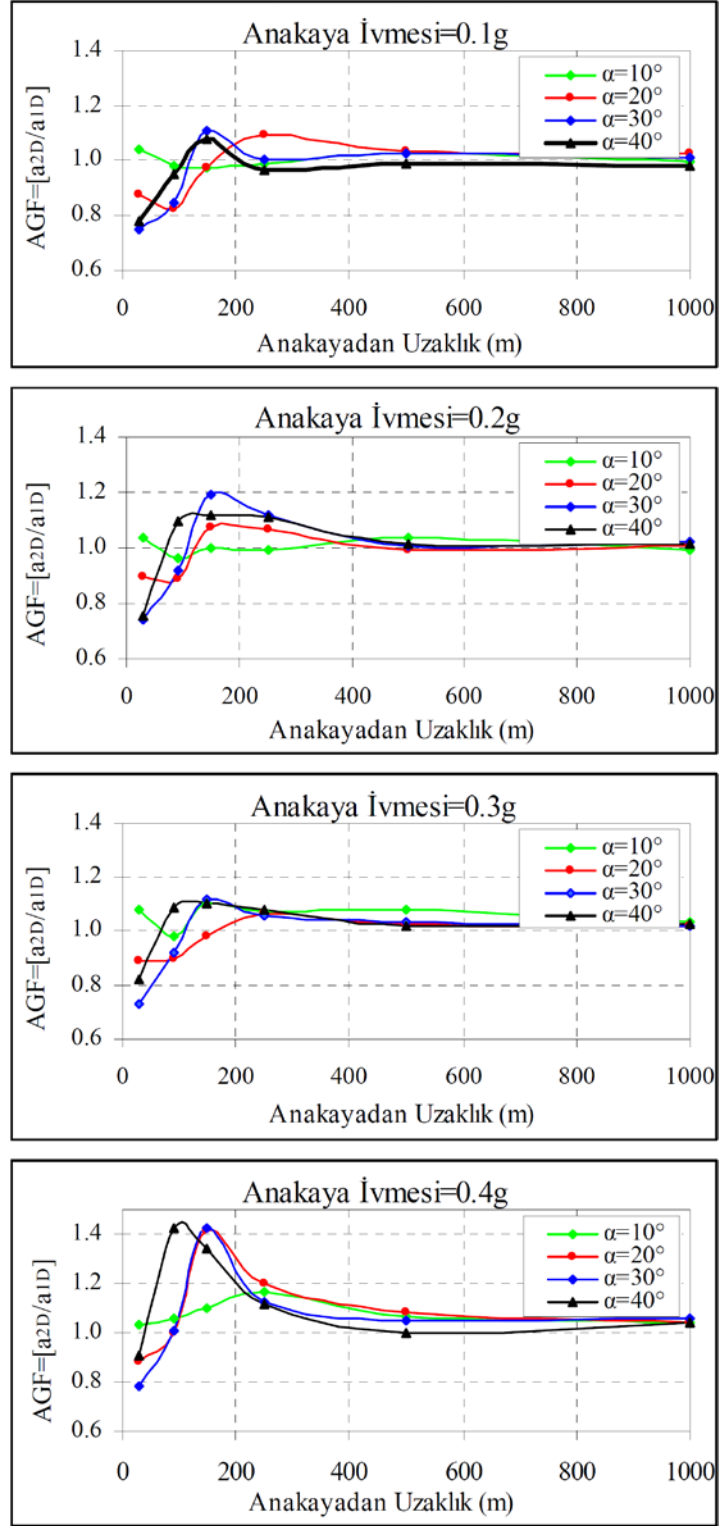
süreksizliklerin bulunduğu durumlardaki geçerliliklerinin anlaşılmasına çalışılacaktır. Daha önce kilden oluşan ovaların şiddet faktörünün değerlendirilmesinde de vurgulandığı gibi, şiddet faktörü sadece tek ve iki boyutlu analizlerden elde edilen maksimum mutlak ivme değerlerinin arasındaki farkı ortaya çıkarmaktadır ve bu ivmelerin hangi periyotlarda meydana geldiği konusunda bilgi içermemektedir. Dolayısıyla, elde edilen sonuçların değerlendirilmesinde, şiddet faktörünün daha çok tek ve iki boyutlu analiz yöntemlerinin arasındaki farkın ortaya çıkarması açısından önem taşıdığına dikkat edilmelidir.

6.3.1 Sıkı kumdan oluşan ovalar

Sıkı kumdan oluşan ve farklı anakaya eğimine sahip olan ovaların yüzeyi boyunca hesaplanmış olan şiddet faktörü eğrileri Şekil 6.8’de verilmektedir. Ayrıca, farklı kuvvetli yer hareketlerinin şiddet faktörüne etkisinin anlaşılması için elde edilen sonuçlar dört farklı anakaya ivmesi seviyesinde sunulmaktadır. Görüldüğü gibi, 0.1g ivme değerine sahip hareketlerin etkisi altında 10° eğimin şiddet faktörü eğrisinin 1’e yakın olduğu görülmektedir. Dolayısıyla, bu durumda tek ve iki boyutlu yöntemlerden elde edilen maksimum mutlak ivme değerlerinin birbirine yakın olduğu söylenebilmektedir.

Anakaya eğimi 20°’ye yükseldiğinde, anakaya mostrasına yakın bölgelerde tek boyutlu analizinden elde edilen ivmelerinin daha büyük olduğu görülmektedir. Ovanın orta kısımlarına ilerledikçe, iki boyutlu yöntemden elde edilen ivmelerin hakim olmaya başlamaktadır. Anakaya mostrasından 250 metreden sonra 20° anakaya eğiminin şiddet faktörünün azalmaya başladığı görülmektedir. 500 metreden sonra ise sabit bir eğriye dönüşerek ovanın ortasının şiddet faktörüne ulaşmaktadır.

Daha yüksek 30 ve 40° eğimlerde ise 20° eğimindekine benzer bir değişim izlenmektedir, fakat bu eğimlerde şiddet faktörünün 1 üzerine yükselişi anakaya mostrasından 180 ile 220 metre arasında meydana gelmektedir. 0.1g ivme değerine sahip hareketlerin etkisi altında en büyük ve en küçük şiddet faktörleri, sırasıyla, 1.1 ve 0.75 olmaktadır. Bu da, 0.1g ivme değerine sahip hareketlerin etkisi altında şiddet faktörünün anakaya eğiminden etkilendiğine rağmen tek ve iki boyutlu analizlerden elde edilen maksimum mutlak ivmelerin birbirine yakın olduğu anlamına gelmektedir. 0.2g ve 0.3g ivme değerine sahip hareketlere gelince de, daha düşük



Şekil 6.8 : Sıkı kumdan oluşan ovaların yüzeyi boyunca şiddet faktörünün değişimi.

kuvvetli hareketlerin etkisi altında görülen düzene benzer bir şiddet faktörü değişimi görülmektedir. Ovaya uygulanan anakaya hareketinin maksimum mutlak ivme değeri 0.4g'ye yükseldiğinde, tek ve iki boyutlu analizlerden elde edilen ivmeler arasındaki fark artarak 1.45'lere ulaşmaktadır. Bu durumda, 10° anakaya eğimi

haricinde, gerçi anakaya mostrasından 100 metrelik bir mesafe içerisinde tek boyutlu analizin sonuçlarının daha büyük olduğu görünmektedir, fakat ovanın diğer kısımlarında iki boyutlu analizin sonuçlarının hakim olduğu dikkat çekmektedir. Ovanın ortasına doğru yaklaştıkça, farklı anakaya eğimlerine ait şiddet faktörü eğrileri birbirine yaklaştırmaya başlayarak nihayet ovanın ortasının şiddet fa kötüne ulaşmaktalar. Bu da anakaya mostrasından yeterince uzaklaştığında anakaya eğiminin etkisinin kalktığı anlamına gelmektedir.

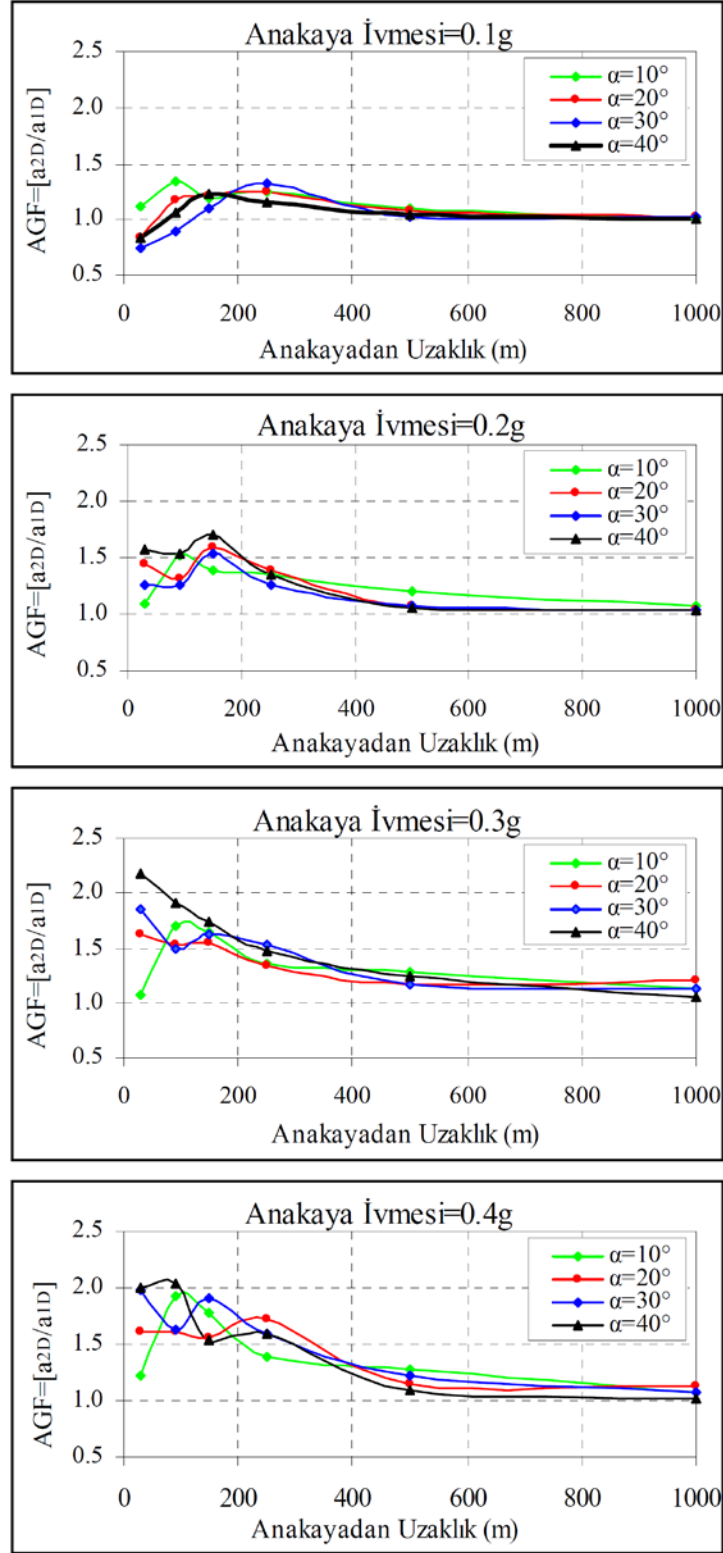
6.3.2 Orta sıkı kumdan oluşan ovalar

Şekil 6.9’da orta sıkı kumdan oluşan ve farklı anakaya eğimine sahip ovaların yüzeyi boyunca hesaplanmış olan şiddet faktörü eğrileri verilmektedir. Sonuçlar orta sıkı kumdan oluşan ovaların şiddet faktörünün sıkı kumlardan oluşanlara göre daha yüksek olduğunu ifade etmektedir. 10° anakaya eğimi haricinde, 0.1g ivme değerine sahip hareketlerin etkisi altında anakaya mostrasının yakınlarında tek boyutlu analizlerin sonuçları daha büyük olmaktadır. Anakaya mostrasından uzaklaştıkça iki boyutlu analizlerin maksimum mutlak ivme değerleri daha büyük değerlere ulaşmaktadır. Ovaların orta kısımlarında ise tüm şiddet faktörü eğrileri 1 değerine yakınsamaktadır. Sıkı kumlarda 10° eğiminin bir ve iki boyutlu analizlerinin sonucunun birbirine yakın olduğuna rağmen, orta sıkı kumlarda anakaya mostrasına yakın bölgelerin en büyük şiddet faktörü bu eğime ait olmaktadır.

Daha aralı bölgelerde ise 30° anakaya eğiminin şiddet faktörü hakim olmaktadır. Ayrıca 10 ile 20° eğimlerin anakaya mostrasından 150 metre uzaklıkta, 30 ile 40° eğimlerde ise 500 metreden sonra birleşmeleri de dikkat çekmektedir.

Anakaya mostrasından 400 metrelik bir mesafe içerisinde anakaya eğimlerinin şiddet faktörü eğrilerinin birbirinden farklı oldukları bu bölgede anakaya eğiminin etkisinin yüksek olduğunu göstermektedir.

0.2g ivme değerine sahip hareketlerde ise artık tek boyutlu analizlerden elde edilen maksimum mutlak ivme değerlerinin hakim olduğu görünmemektedir. Bu durumda, anakaya mostrasından 500 metreye kadar iki boyutlu analizlerin ivmesinin daha büyük olmasıyla birlikte maksimum şiddet faktörü 1.7’ye ulaşmaktadır. Ayrıca, anakaya mostrasından 200 metre mesafeden sonra farklı anakaya eğimlerinin şiddet faktörü eğrilerinin birbirine yakın oldukları da dikkat çekmektedir.



Şekil 6.9 : Orta sıkı kumdan oluşan ovaların yüzeyi boyunca şiddet faktörünün değişimi.

Ovaya uygulanan anakaya hareketinin maksimum mutlak ivme değeri 0.3g ve 0.4g'ye yükseldiğinde, hemen hemen ovanın her yerinde iki boyutlu analizden elde edilen ivmelerin daha büyük olmasıyla birlikte, iki ve tek boyutlu analizlerin

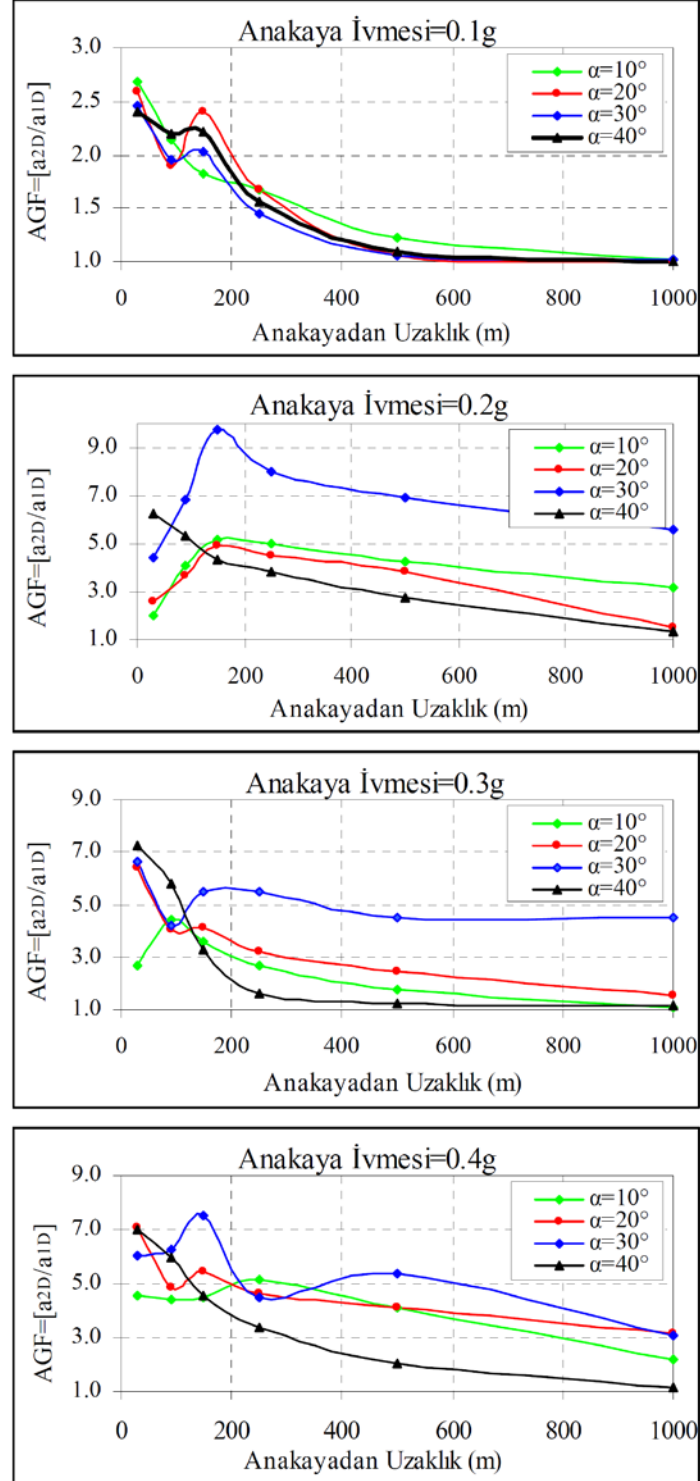
sonuçları arasındaki fark yüzde yüzü geçmektedir. 0.3g ve 0.4g ivme değerine sahip hareketlerin etkisi altında en büyük şiddet faktörleri 40° anakaya eğimine sahip ovalarda meydana gelmektedir.

6.3.3 Gevşek kumdan oluşan ovalar

Şekil 6.10’da gevşek kumdan oluşan ve farklı anakaya eğimine sahip ovaların yüzeyi boyunca hesaplanmış olan şiddet faktörü eğrileri verilmektedir. Sonuçlar gevşek kumdan oluşan ovaların şiddet faktörünün sıkı ve orta sıkı kumlardan oluşanlardakinden çok daha büyük olduğunu göstermektedir. Sıkı ve orta sıkı kumlardan oluşan ovalarda 0.1g ivme değerine sahip hareketlerin etkisi altında meydana gelen maksimum şiddet faktörü 1.3 iken, bu değer gevşek kumlarda 2.5’e ulaşmaktadır. Sıkı ve orta sıkı kumlardan oluşan ovalarda görülen şiddet faktörü düzenine rağmen, burada anakaya mostrasının yakınlarında bile tek boyutlu analizlerden elde edilen ivmelerin daha küçük olduğu görülmektedir. Sonuçlar anakaya mostrasına yakın bölgelerde de iki boyutlu analizlerden elde edilen ivmelerin daha büyük olduğunu göstermektedir. Bir de, gevşek kumlardan oluşan ovaların 0.1g ivme değerine sahip hareketlerin etkisi altında meydana gelen şiddet faktörü eğrilerinin birbirine yakın oldukları, şiddet faktörünün anakaya eğiminden pek etkilenmediğini göstermektedir. Şiddet faktörü eğrileri ovanın orta kısımlarına ilerledikçe azalmaya başlayarak anakaya mostrasından yaklaşık 600 metre mesafeden sonra 1’e yakınsamaktadır.

Ovaya uygulanan anakaya hareketinin maksimum mutlak ivme değerinin artmasıyla, gevşek kumdan oluşan ovaların şiddet faktöründe büyük bir artış meydana gelmektedir. 0.2g ivme değerine sahip hareketlerde, 30° anakaya eğiminin haricinde, ovada meydana gelen maksimum şiddet faktörü 6’ya ulaşmaktadır. Daha önce gevşek kumdan oluşan ovaların zemin büyütmesinin değerlendirilmesinde de görüldüğü gibi, burada da 30° eğimin etkisi altında meydana gelen şiddet faktörünün de diğer eğimlerdekenden farklı olduğu görülmektedir. Burada da, meydana gelen yüksek şiddet faktörün büyük bir kısmının olağan üstü kuvvetli olan 12 Kasım 1999 Düzce depremine ait olduğu ortaya çıkmaktadır. Gevşek kumdan oluşan ve 30° anakaya eğimine sahip olan ovaların 12 Kasım 1999 Düzce depreminin etkisi altında gösterdiği yüksek şiddet faktörü, elde edilen zemin büyütmesi sonuçlarını da göz

önüne alarak, bu şartların etkisi altında meydana gelen rezonans ile ilgili olduğu düşünülmektedir.



Şekil 6.10 : Gevşek kumdan oluşan ovaların yüzeyi boyunca şiddet faktörünün değişimi.

Ovanın orta kısımlarına ilerledikçe 20 ile 40° eğimlerin şiddet faktörü eğrileri 1'e yakınsamaktadır, fakat 10 ile 30° eğimlerde hatta ovanın ortasında bile şiddet

faktörünün yüksek olduğu görülmektedir. Ancak 0.3g ivme değerine sahip hareketlerin etkisi altında meydana gelen şiddet faktöründe 0.2g ivme değerine sahip hareketlerde görülene göre düşüş görülmektedir. Fakat hala 30° eğimin etkisinin hakim olduğu devam etmektedir. Diğer eğimlerde ise, anakaya mostrasının hemen yakınında meydana gelen yüksek şiddet faktörün ardından ovanın orta kısımlarına doğru ilerledikçe eğrilerin eğimi düşmeye başlamaktadır. Ovanın ortasında 10, 20 ve 40° eğimlerin şiddet faktörünün 1'e yakınsamasına rağmen, 30° eğimin iki boyutlu analizlerden elde edilen maksimum mutlak ivmesinin tek boyutlu analizinden elde edilene göre daha yüksek olduğu dikkat çekmektedir. Gevşek kumdan oluşan ovalarda 30° anakaya eğiminin yüksek şiddet faktörü 0.4g ivme değerine sahip hareketlerin etkisi altında da devam etmektedir.

6.4 Sonuç

Tez çalışmasının bu bölümünde ova kenarlarındaki anakaya eğiminin farklı anakaya hareketleri etkisi altında ovaların dinamik davranışına etkisinin incelenmesi amacıyla, derinlikleri 100 metre olan 10, 20, 30 ve 40° olmak üzere 4 farklı anakaya eğimi seçilerek tek tabakalı sıkı, orta sıkı ve gevşek olmak üzere 3 farklı yerleşim sıklığına sahip kum zeminden oluşan ovaların dinamik analizinden elde edilen sonuçlar irdelenmiştir. Elde edilen sonuçlar ova yüzeyi boyunca zemin büyütmesi eğrileri ve şiddet faktörü eğrilerine dönüştürülerek sunulmaktadır.

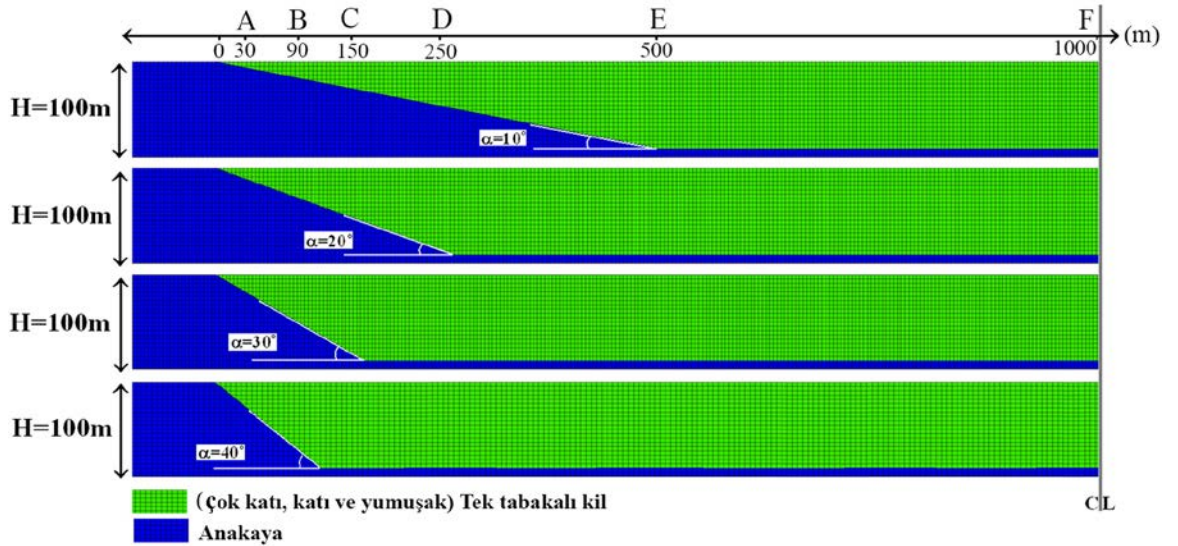
Ova yüzeyi boyunca elde edilen zemin büyütmesi ve şiddet faktörü eğrileri ovaların dinamik davranışlarının iki boyutlu anakaya geometrisinden etkilendiğini göstermektedir. Kum cinsinden oluşan ovaların zemin büyütmesi düzeninin kilden oluşan ovalardakinden farklı olduğu ovanın zemin cinsinin dinamik davranışına etkisini göstermektedir. Kumdan oluşan ovalarla kilden oluşan ovaların dinamik davranışlarının arasındaki en önemli diğer bir fark ise kumdan oluşan ovaların yüzeyinin farklı noktalarının rezonans periyodunun kilden oluşan ovalardakine göre daha düşük olduğudur.

Kumdan oluşan ovaların analizinde 30° anakaya eğimi ve 0.2g ivme değerine sahip hareketlerin etkisi altında farklı zemin büyütmesi değişimi meydana gelmektedir. Bu durumun 12 Kasım 1999 Düzce depreminin olağanüstü özellikleriyle alakalı olduğu düşünülmektedir.

7. İKİ TABAKALI ZEMİNDEN OLUŞAN OVALARIN DİNAMİK DAVRANIŞINA ANAKAYA EĞİMİNİN ETKİSİ

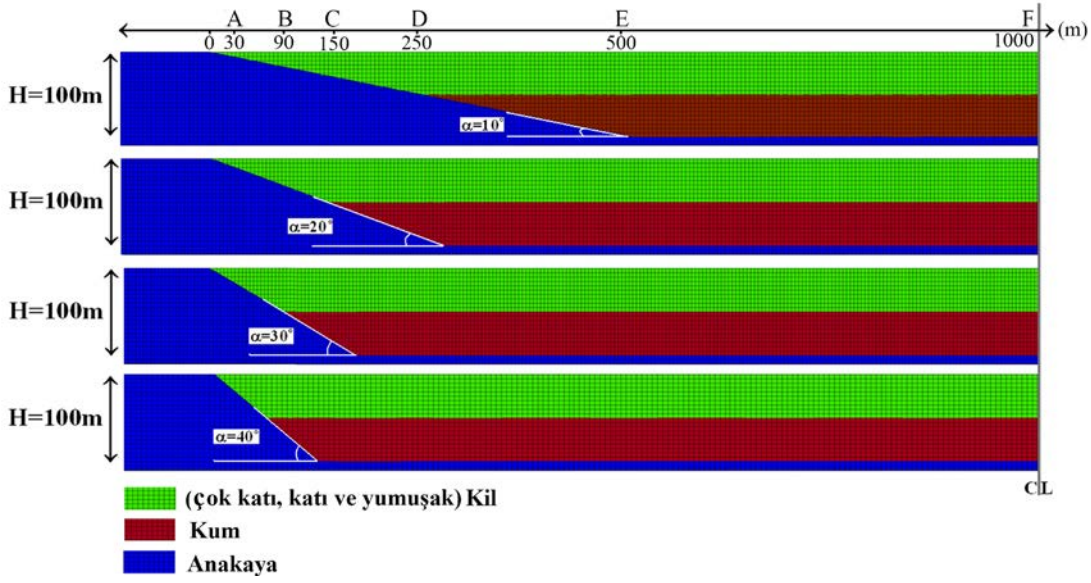
7.1 Giriş

Bu bölümde, zemin tabakalaşmasının ovaların dinamik davranışına etkisinin incelenmesi amacıyla iki tabakadan oluşan ovaların bir ve iki boyutlu dinamik analizinden elde edilen sonuçların değerlendirilmesi yapılmaktadır. İki tabakalı ova modellerinin toplam derinliği, tek tabakalı modellerde olduğu gibi 100 metredir. Modellerde ovanın alt tabakasını 50 metre kalınlığında olan sıkı kum tabakası oluşturmaktadır. Bu tabakanın üzerinde ise 50 metre kalınlığında farklı kıvam ve özelliklere sahip kil tabakası yer almaktadır. Üst kesimde yer alan kil tabakası kıvamı yumuşak, katı ve çok katı kil olarak değişmektedir. Anakaya eğiminin etkisinin araştırılması için yine önceki bölümde olduğu gibi 10, 20, 30 ve 40° olmak üzere 4 farklı anakaya eğimi seçilmiştir. Şekil 7.1 ve 7.2’de kullanılan tek ve iki tabakalı ova modelleri verilmektedir.



Şekil 7.1 : Tek tabakalı kilden oluşan ova modelleri.

Tüm modellere 16 adet kuvvetli yer hareketi uygulanarak sonlu farklar yöntemine dayanan FLAC3D yazılımı ile dinamik analizler yapılmıştır. Ovalarda kullanılan zeminlerin özellikleri ise Çizelge 7.1’de verilmektedir.



Şekil 7.2 : İki tabakadan oluşan ova modelleri.

Çizelge 7.1 : İki tabakalı zeminden oluşmuş modellerin zemin özellikleri.

Zemin gurubu		c (kPa)	ϕ (°)	V_s (m/s)	G (kPa)	K (kPa)	γ (kN/m ³)
Kil	Çok katı (B)	150-165	10	450-650	4e5-9e5	10.6e5-23.7e5	20-21.5
	Katı (C)	75-90	10	200-400	0.76e5-3.36e5	2e5-8.8e5	19-21
	Yumuşak (D)	35-45	10	75-175	10.1e3-61.2e3	26.4e3-159.7e3	18-20
Kum	Sıkı (D)	0	38	500-700	4.7e5-10.3e5	12.4e5-26.8e5	19-21
Anakaya		*	*	1000	22e5-	36e5-	22

c: Kohezyon; ϕ : Kayma Direnci Açısı; V_s : Kayma Dalgası Hızı; G: Kayma Modülü; K: Hacimsel Modül; γ : Birim Hacim Ağırlığı.

Bu analizlerde de tıpkı tek tabakalı ovalarda uygulandığı gibi ova yüzeyinin her noktasındaki ivme zaman geçmişleri kaydedilerek ivme spektrumu hesaplanıp farklı ivme değerlerine sahip depremlerin etkisi altında gösterilen davranışın göstergesi olarak ortalama zemin büyütmesinin maksimumu hesaplanmaktadır. Ayrıca, ovanın farklı noktalarında yapılacak tek boyutlu analizlerin sonuçlarını kullanarak ova yüzeyi boyunca elde edilen şiddet faktörünün değişimi incelenecektir. İki tabakalı ovaların analizinin sonuçlarının daha iyi anlaşılması için, elde edilen maksimum zemin büyütmesi ve şiddet faktörü eğrileri tek tabakalı kilden oluşan ovalardan elde edilen sonuçlarla karşılaştırılarak sunulmaktadır.

7.2 Üst Tabakası Kil Zeminden Oluşan İki Tabakalı Ovaların Zemin Büyütmesine Anakaya Eğiminin Etkisi

Bu bölümde, ova boyunca farklı anakaya eğimleri ve deprem kuvvetleri etkisi altında hesaplanmış olan zemin büyütmesi değerlerinin maksimumu eğriler şeklinde sunulmaktadır. Modellenmiş olan ovaların simetrik olduklarından dolayı zemin büyütmesi eğrileri sadece ovaların yarısı için verilmektedir. Hesaplanmış olan zemin büyütmesi eğrileri, sırasıyla, üst tabakası çok katı, katı ve yumuşak killerden oluşan ovalar için sunulmaktadır.

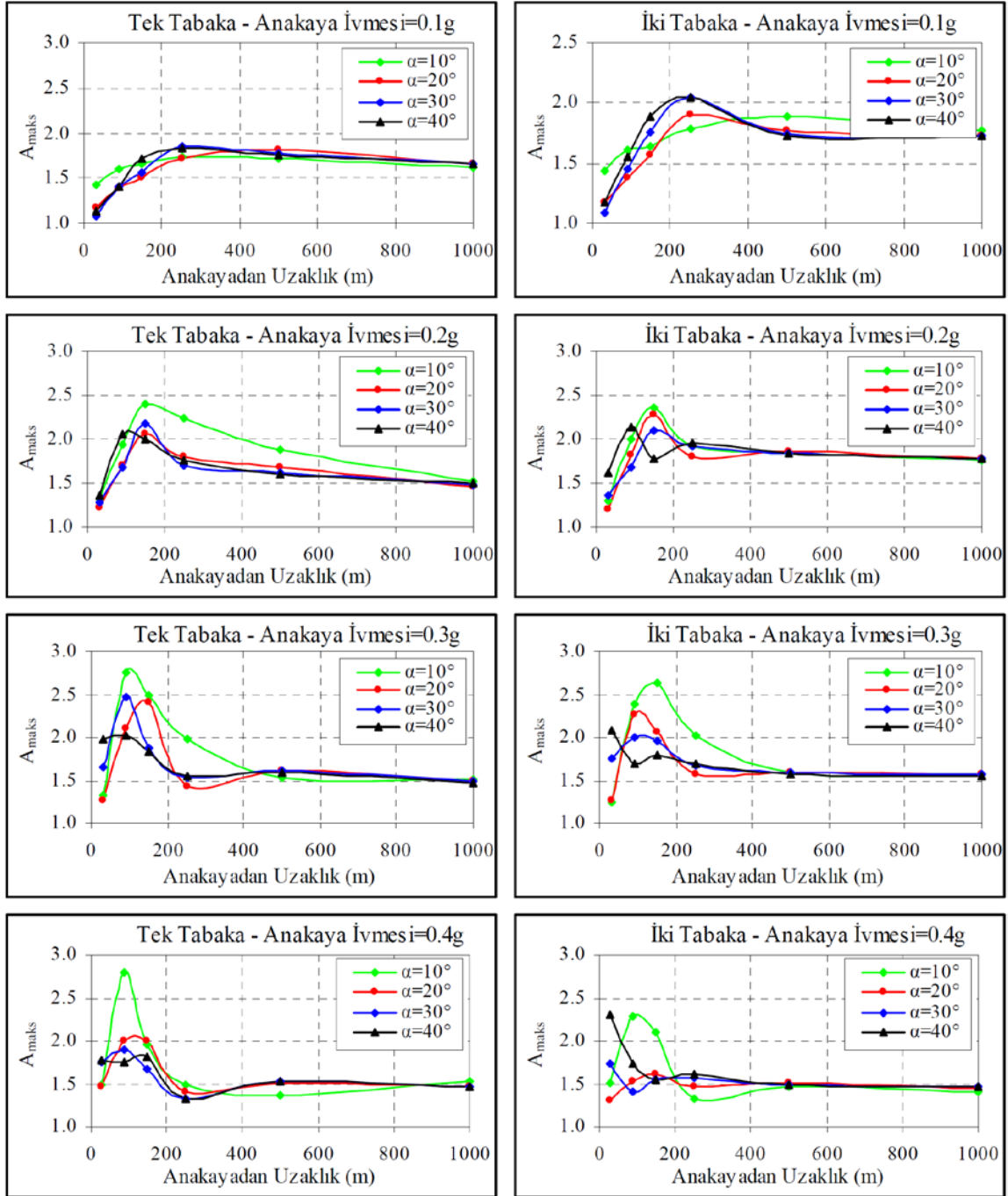
7.2.1 Üst tabakası çok katı kilden oluşan ovalar

Şekil 7.3'te tek tabakalı ve üst tabakası çok katı kilden oluşan iki tabakalı ovalarda zemin yüzeyinde farklı anakaya eğimleri ve ivme değerleri için hesaplanmış spektral zemin büyütme değerlerinin mesafe ile değişimi verilmektedir.

Farklı kuvvetli yer hareketlerinin zemin büyütmesine etkisinin anlaşılması için elde edilen sonuçlar 4 farklı ivme değeri seviyesinde sunulmaktadır. Sonuçlara göre, tek tabakalı ovalarda 0.1g ivmeye sahip hareketlerin etkisi altında zemin büyütmesi eğrilerinde belli bir maksimum noktası görülmemekle birlikte 1.8 değerinde meydana gelen en büyük zemin büyütmesi anakaya mostrasından 250 metre uzaklıkta meydana gelmektedir. Aynı koşullar altında, iki tabakalı ovalarda ise 20, 30 ve 40° anakaya eğimine sahip ovaların zemin büyütmesi eğrilerinde tek tabakalıları göre hafif bir maksimum noktası görülmektedir. Tek tabakalı ovalarda, ovanın ortasında meydana gelen ve tek boyutlu davranış olarak tanınan zemin büyütmesi anakaya mostrasından yaklaşık 300 metre mesafede ortaya çıkmaktadır. Oysa iki tabakalı zeminlerden oluşan ovalarda bu mesafe 400 metreye yükselmektedir. Aslında, ovalar bu mesafenin içinde 0.1g ivmeye sahip hareketlerin etkisi altında iki boyutlu dinamik davranışı göstermektedirler. Her iki tip ovanın da ortasında meydana gelen zemin büyütme değerleri birbirine yakın olmakla ve yaklaşık 1.7 değerini bulmaktalar. Bu şartlar altında tek tabakalı ovanın büyük bir kısmının yüksek zemin büyütmesi etkisinin altında olduğu da dikkat çekmektedir.

Daha kuvvetli 0.2g ivmeye sahip hareketlerin etkisi altında, her iki ovanın zemin büyütmesi eğrilerinde belli bir maksimum noktaları oluşmaya başlamaktadır. Özellikle, 10° anakaya eğiminde tek tabakalı ovanın iki boyutlu davranışı anakaya

mostrasından 500 metrelik bir mesafeden sonraya kadar devam ederken, bu mesafe iki tabakalı ovalarda anakaya mostrasından 250 metre mesafe ile sınırlı kalmaktadır. Ayrıca, iki tabakalı ovanın ortasının zemin büyütmesi tek tabakalı ovaadkinden daha büyük olduğu da görülmektedir.

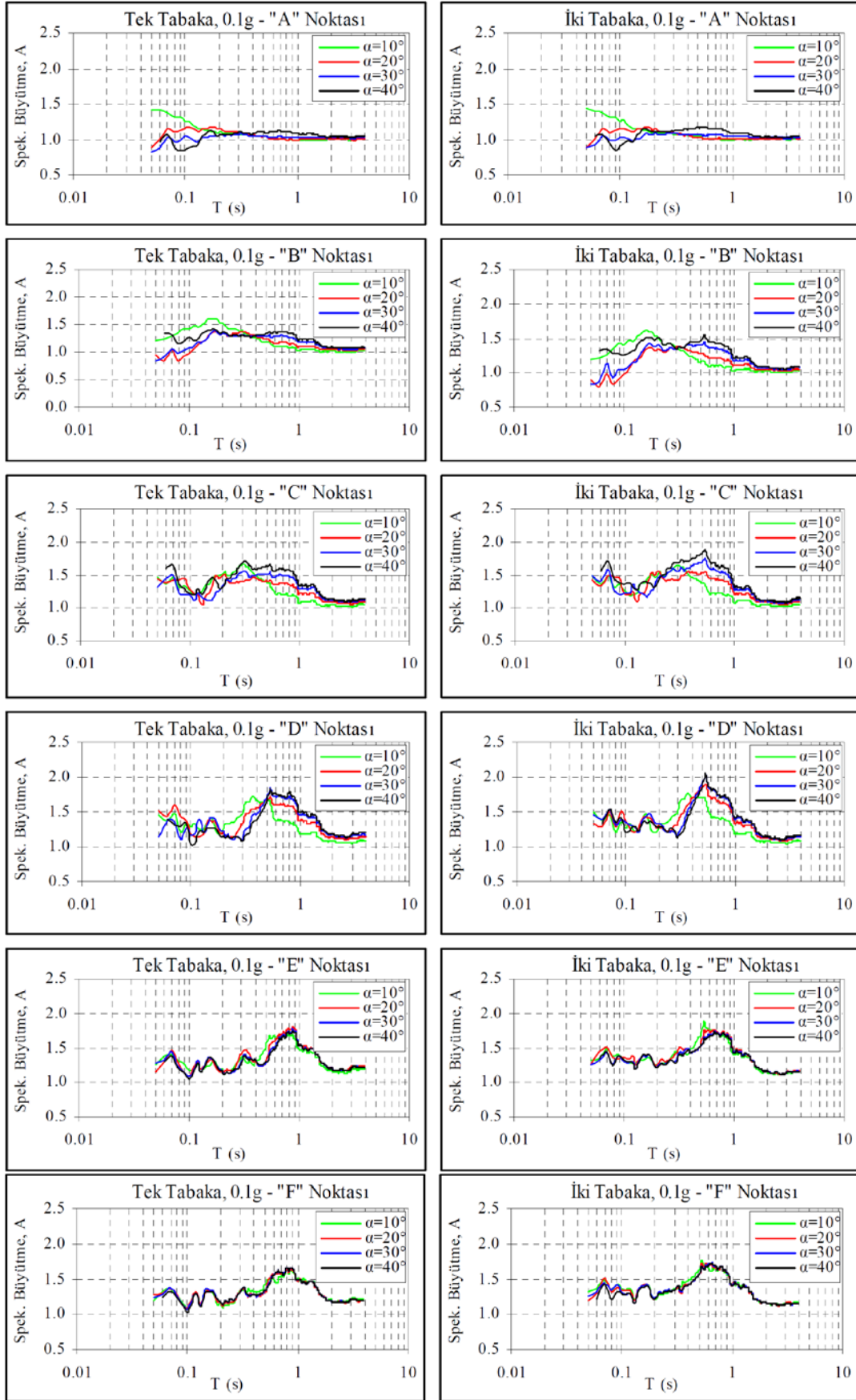


Şekil 7.3 : Tek tabakalı ile üst tabakası çok katı kilden oluşan ovaların en büyük spektral zemin büyütmesinin (A_{maks}) değişimi.

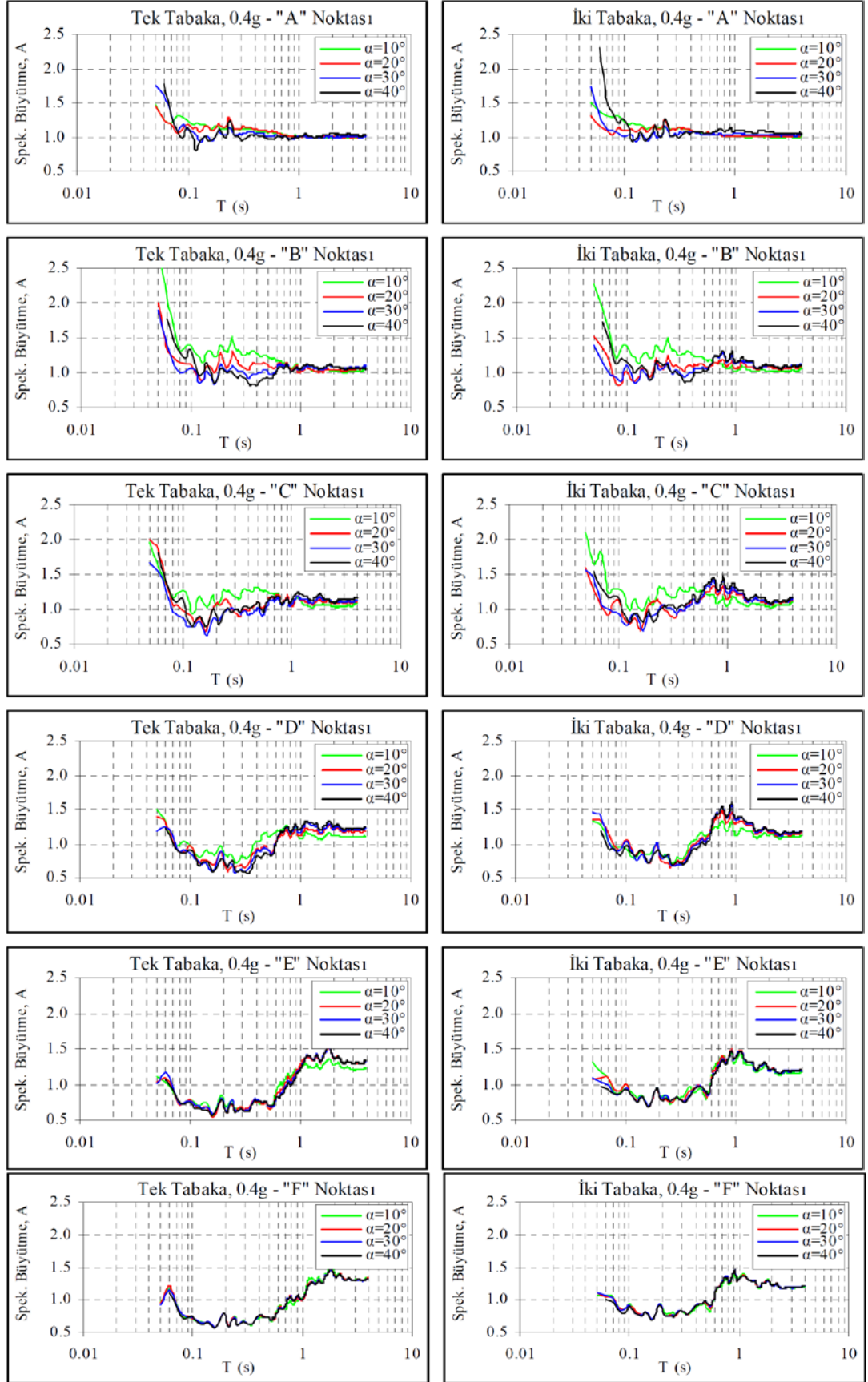
0.1g ve bir yere kadar 0.2g ivmeye sahip hareketlerin etkisi altında meydana gelen zemin büyütmesi eğrilerine birbirine yakın olmasına karşılık, 0.3g ivmeye sahip

hareketlerin etkisi altında ovanın davranışına anakaya eğiminin etkisi ortaya çıkmaktadır. 0.4g ivmeye sahip hareketlerin etkisi altında ise, meydana gelen iki boyutlu davranışların arasındaki farklılık büyük olmaktadır. Ovaların ikisinde de 10° anakaya eğiminin zemin büyütmesi hakim iken iki tabakalı ovanın zemin büyütmesi tek tabakalıya göre daha düşük olmaktadır. Bir de, 40° anakaya eğiminin etkisi altında hemen hemen anakaya mostrasının yakınında gösterdiği yüksek zemin büyütmesi haricinde, 10° anakaya eğiminden başka eğimlerde önemli bir iki boyutlu zemin büyütmesi görülmemektedir.

Şekil 7.3'te verilen sonuçlar sadece ovaların yüzeyindeki noktalarda meydana gelen maksimum spektral zemin büyütmesini göstermektedir ve bu büyütmelemlerin hangi periyotlarda meydana geldikleri konusunda hiç bir bilgiyi ihtiva etmemektedir. Elde edilen maksimum zemin büyütmesi eğrilerinin daha ayrıntılı incelenebilmesi için, tek tabakalı ve üst tabakası çok katı kilden oluşan ovaların yüzeyinde seçilmiş olan A noktasından F noktasına kadar frekans tanım alanında 0.1g ve 0.4g ivmeye sahip hareketlerin etkisi altında elde edilmiş olan spektral zemin büyütmesi eğrileri, sırasıyla, Şekil 7.4 ve 7.5'te verilmektedir. Frekans tanım alanında 0.2g ve 0.3g ivmeye sahip hareketlerin etkisi altında elde edilen zemin büyütmesi eğrileri ise eklerde verilmektedir. İlk bakışta, üst tabakası çok katı kilden oluşan iki tabakalı ovaların yüzeyindeki farklı noktalarda meydana gelen zemin büyütmesinin maksimumlarının farklı periyotlara ait oldukları görülmektedir. Hem 0.1g hem de 0.4g ivmeye değerine sahip hareketlerin etkisi altında, anakaya mostrasına yakın noktaların daha düşük periyotlara, anakaya mostrasından uzak noktaların ise daha yüksek periyotlara hassa oldukları görülmektedir. Ayrıca, ovanın orta kısımlarına doğru ilerledikçe farklı anakaya eğimine sahip ovaların zemin büyütmesi eğrilerinin birbirine yaklaşarak birleşmesi de görülmektedir. Şekil 7.4'de görüldüğü gibi, 0.1g ivmeye sahip hareketlerin etkisi altında, çok katı kilden oluşan tek ve iki tabakalı ovaların anakaya mostrasına yakın noktalarında meydana gelen rezonans periyodunun birbirine yakın olduğuna rağmen, anakaya mostrasından daha uzak olan E ve F noktalarındaki rezonans periyodu birbirinden farklı olmaktadır. Çok katı kilden oluşan tek tabakalı ovaların E ve F noktasında meydana gelen rezonans periyodu 0.85 saniye iken, bu değer üst tabakası çok katı kilden oluşan iki tabakalı ovalarda 0.5 saniyeye düşmektedir.



Şekil 7.4 : Tek tabakalı ile üst tabakası çok katı kilden oluşan ovaların farklı noktalarının frekans tanım alanındaki zemin büyütmesi(0.1g).



Şekil 7.5 : Tek tabakalı ile üst tabakası çok katı kilden oluşan ovaların farklı noktalarının frekans tanım alanındaki zemin büyümesi(0.4g).

Şekil 7.5'te de, frekans tanım alanında tek tabakalı ile üst tabakası çok katı kilden oluşan iki tabakalı ovalarda daha kuvvetli 0.4g ivmeye sahip hareketlerin etkisi altında meydana gelen zemin büyütmesi eğrileri verilmektedir. Burada da ovanın kenarlarının daha düşük periyotlara, ovanın orta kısımları ise daha yüksek periyotlara hassas oldukları görülmektedir. Her iki ova türünde de ovaya etkiyen hareketin kuvvetinin artması ovanın ortasına yakın noktaların rezonans periyodunun yükselmesine neden olmaktadır. Görüldüğü gibi, tek tabakalı ovalarda D, E ve F noktalarının rezonans periyodu 0.1g ivmeye sahip hareketlerin etkisi altında 0.85 saniyeden 0.4g ivmeye sahip hareketlerin etkisi altında 2 saniyeye yükselmektedir. Benzer bir durum ise iki tabakalı ovalarda da izlenmektedir. D, E ve F noktalarının rezonans periyodu 0.1g ivmeye sahip hareketlerin etkisi altında 0.5 saniye iken, 0.4g ivmeye sahip hareketlerin etkisi altında 1 saniyeye yükselmektedir. Ayrıca, tek tabakalı ovalarda anakaya mostrasından uzak noktaların rezonans periyodunun üst tabakası çok katı kilden oluşan ovalardakine göre daha büyük olduğu görülmektedir.

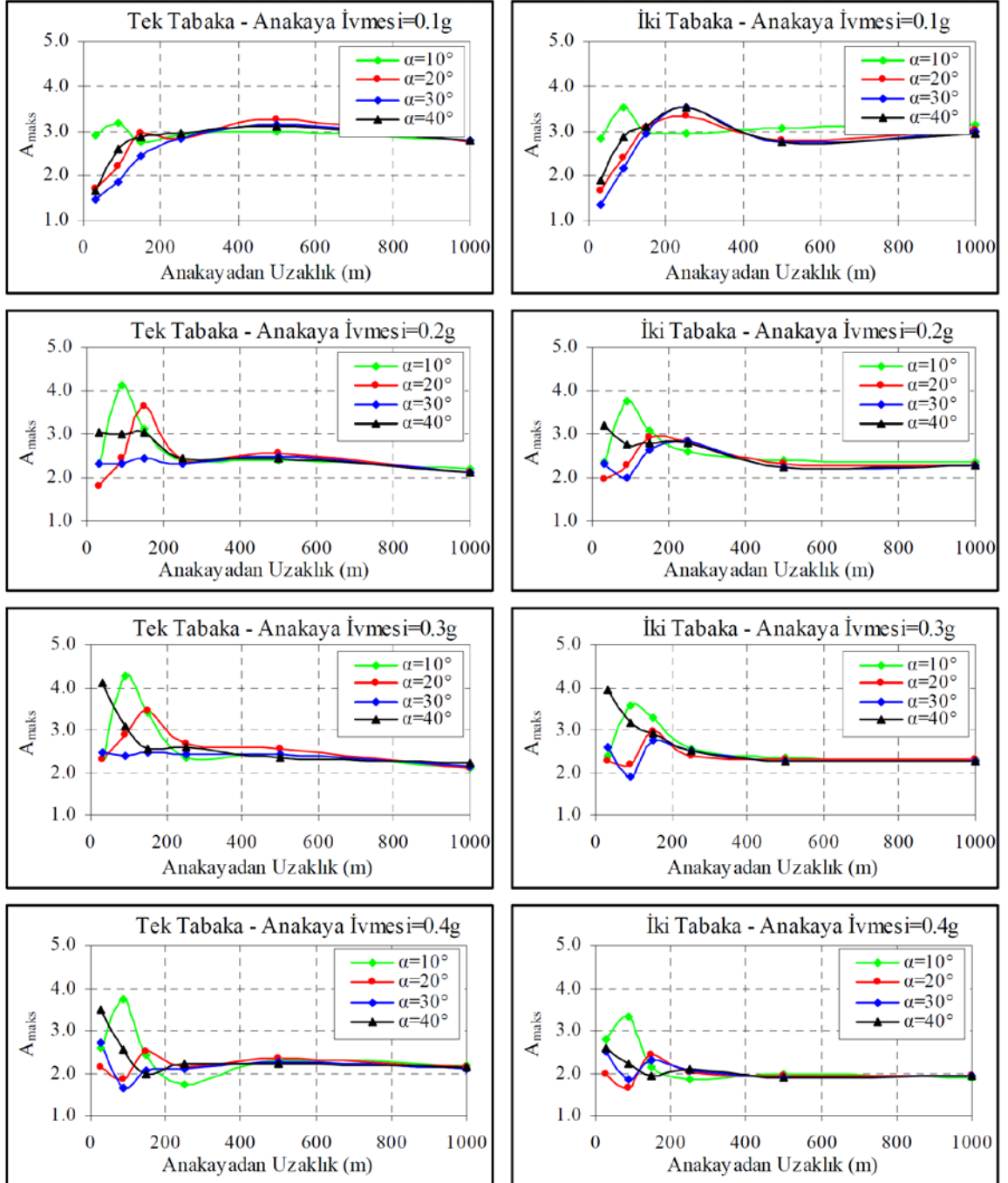
7.2.2 Üst tabakası katı kilden oluşan ovalar

Şekil 7.6'da tek ve üst tabakası katı kilden oluşan iki tabakalı ovaların yüzeyi boyunca spektral zemin büyütmesi farklı anakaya eğimlerinin etkisi altında verilmektedir.

Farklı kuvvetli yer hareketlerinin zemin büyütmesine etkisinin anlaşılması için, elde edilen sonuçlar 4 farklı kuvvet seviyesinde sunulmaktadır. Sonuçlar katı kilden oluşan tek ve iki tabakalı ovaların zemin büyütmesinde çok katı killerdeki gibi dikkate değer bir yükseliş meydana geldiğini göstermektedir. Örneğin, 0.1g ivmeye sahip hareketlerin etkisi altında maksimum zemin büyütmesi tek tabakalı ovalarda 1.85'ten 3.25'e, iki tabakalı ovalarda ise 2'den 3.5'a yükselmektedir. Sonuçlar, bu şartlar altında tek ve iki tabakalı ovaların zemin büyütmesi düzeninin birbirinden farklı olduğunu da göstermektedir. 10° anakaya eğiminin haricinde, tek tabakalı ovaların anakaya mostrasına yakın noktalarının zemin büyütmesi daha düşük iken, ovaların ortasına doğru ilerledikçe ova yüzeyinin büyük bir kısmını kapsayan ve kenarlardakine göre daha yüksek bir zemin büyütmesi düzeni görülmektedir. İki tabakalı ovalara bakıldığında ise, 0.1g ivmeye sahip hareketlerin etkisi altında ovaların daha küçük bir bölümünün maksimum zemin büyütmesiyle kapsandığı görülmektedir. Bir de, 10° eğimden başka eğimlerin 0.1g ivmeye sahip hareketlerin

etkisi altındaki zemin büyütmesi eğrilerinin birbirine yakın oldukları da dikkat çekmektedir.

Ovalara etkiyen anakaya hareketinin kuvveti arttıkça, ova boyunca meydana gelen zemin büyütmesi eğrilerinin maksimumunun anakaya mostrasından 250 metrelik bir mesafe ile sınırlı kalmaktadır.

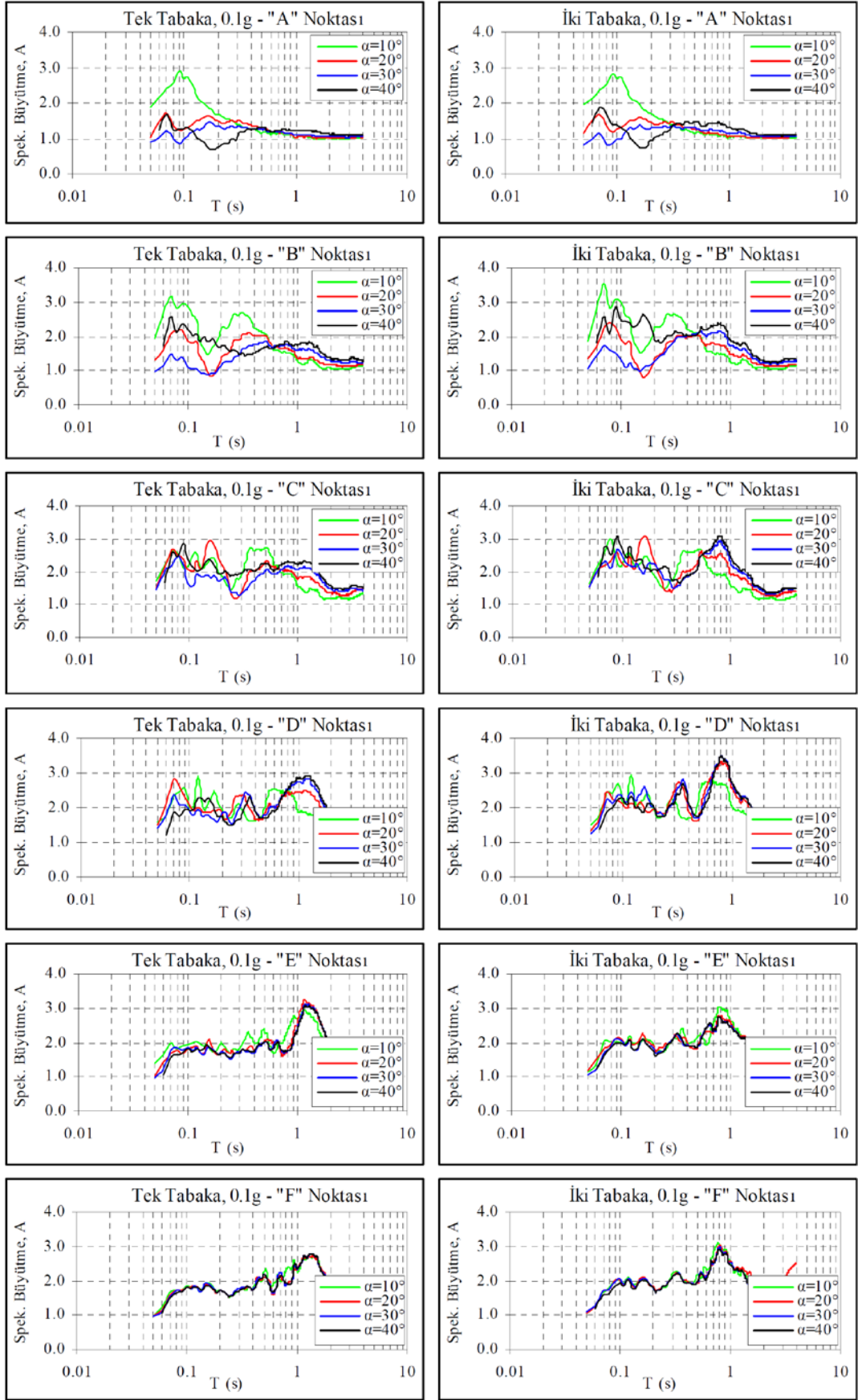


Şekil 7.6 : Tek tabakalı ile üst tabakası katı kilden oluşan ovaların en büyük spektral zemin büyütmesinin (A_{maks}) değişimi.

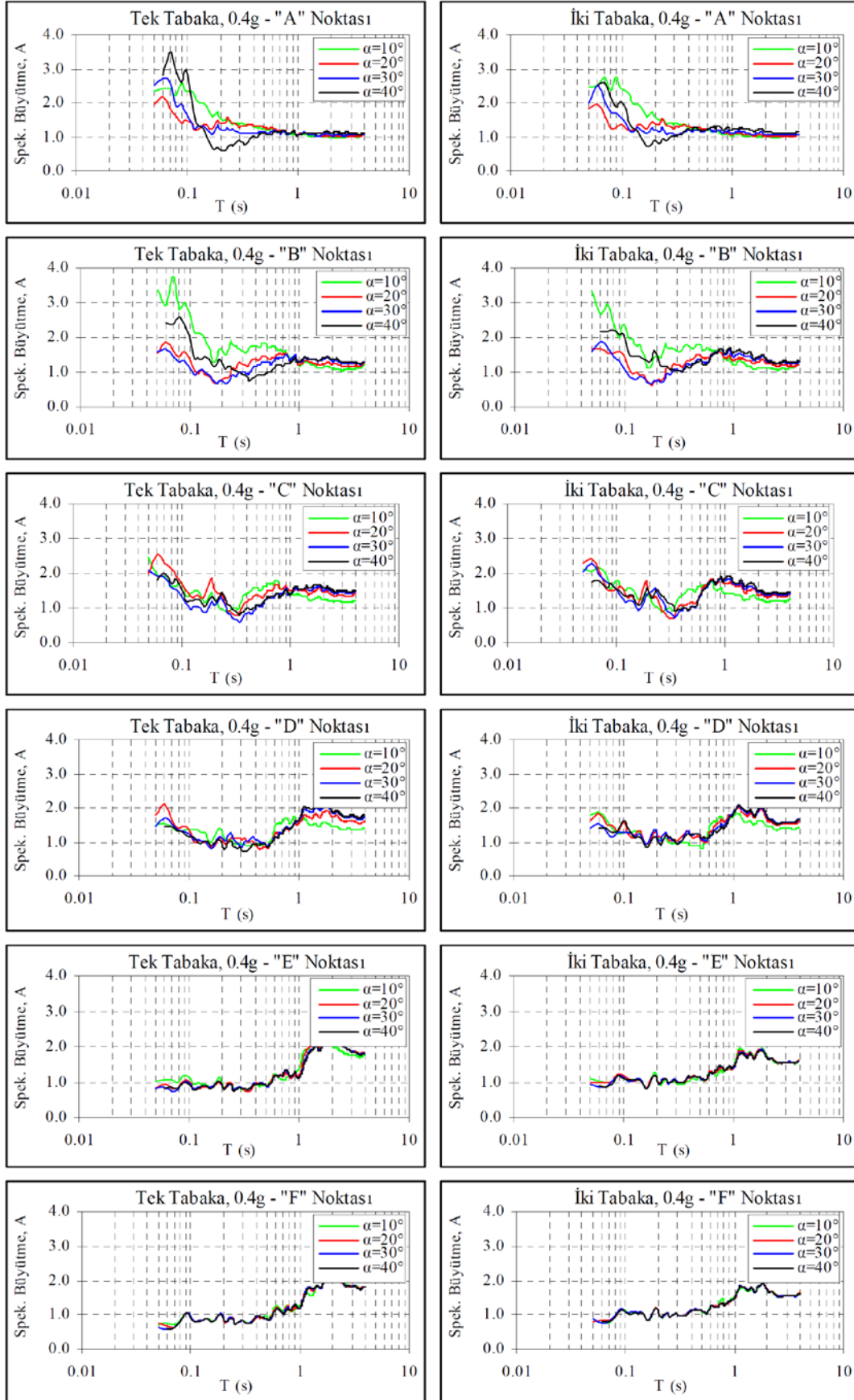
Genelde de, katı kilden oluşan ovaların her ikisinde de iki boyutlu davranışının anakaya mostrasından 300 ile 400 metrelik bir mesafe ile sınırlı olduğu söylenebilmektedir. 40° anakaya eğiminin 0.3g ivmeye sahip hareketlerin etkisi altında hemen anakaya mostrasına yakın bir noktada gösterdiği yüksek zemin büyütmesi haricinde, bu şartlar altında 10° anakaya eğiminin etkisinin hakim olduğu görülmektedir. Ayrıca, 0.1g ivmeye sahip hareketlerden daha kuvvetli hareketlerin etkisi altında ise, iki tabakalı ovaların 10° eğimde gösterdiği maksimum zemin büyütmesinin tek tabakalılardakine göre daha düşük olduğu da görülmektedir.

Katı kilden oluşan ovaların frekans tanım alanındaki dinamik davranışının anlaşılması için ova yüzeyinde A'dan F'ye kadar daha seçilmiş olan noktalarda 0.1g ivmeye sahip hareketlerin etkisi altında elde edilmiş olan spektral zemin büyütmesi eğrileri Şekil 7.7'de, 0.4g ivmeye sahip hareketlerin etkisi altında ise Şekil 7.8'de verilmektedir. Frekans tanım alanında 0.2g ve 0.3g ivmeye sahip hareketlerin etkisi altında elde edilen zemin büyütmesi eğrileri ise eklerde verilmektedir. Daha önce çok katı kilden oluşan ovalarda görüldüğü gibi, katı kilden oluşan ovalarda da ovanın farklı noktalarında meydana gelen maksimum zemin büyütmesinin farklı periyotlara ait olduğu görülmektedir. Tek tabakalı ovalarda 0.1g ivmeye sahip hareketlerin etkisi altında anakaya mostrasına yakın bölgelerin rezonans periyodu 0.1 saniye altında iken, ovanın ortasına yakın bölgelerin maksimum zemin büyütmesi 1.2'den 1.4 saniyeye yükselmektedir. İki tabakalı ovalarda ise ova kenarındaki A ve B noktalarında rezonans periyodu 0.1 saniyeden daha küçük iken, ovanın orta kısımlarına ilerledikçe yükselmektedir. Sonuçlara göre, tek tabakalı ovalarda en büyük rezonans periyodu 1 saniyenin üzerinde iken, iki tabakalı ovalarda 1 saniyenin altında kaldığı görülmektedir. Bir de, anakaya mostrasından 150 metre uzaklıkta bulunan C noktasının geniş bir periyot aralığında duyarlı olduğu ve bu noktanın zemin büyütmesi eğrilerinde iki maksimum noktasının bulunması da dikkat çekmektedir. Buna göre, C noktasının anakaya mostrasına yakın olan daha düşük periyotlara duyarlı noktalardan daha yüksek periyotlara duyarlı olan noktalar arasında bir geçiş noktası niteliği taşıdığı söylenebilmektedir.

Şekil 7.8'de de, katı kilden oluşan ovaların daha kuvvetli 0.4g ivmeye sahip hareketlerin etkisi altında frekans tanım alanında gösterdiği davranış verilmektedir. Yine de ovanın kenarlarının daha düşük periyotlara ve anakaya mostrasından daha uzak noktaların daha yüksek periyotlara duyarlı oldukları görülmektedir, fakat ovaya



Şekil 7.7 : Tek tabakalı ile üst tabakası katı kilden oluşan ovaların farklı noktalarının frekans tanım alanındaki zemin büyütmesi (0.1g).



Şekil 7.8 : Tek tabakalı ile üst tabakası katı kilden oluşan ovaların farklı noktalarının frekans tanım alanındaki zemin büyütmesi (0.4g).

etkiyen anakaya hareketinin kuvvetinin artması ova ortasına yakın noktaların rezonans periyodunu etkilemektedir. Bu şartlar altında, tek tabakalı ovaların rezonans periyodu 2 saniyeye yükselmiş iken, iki tabakalı ovalarınki de 1 saniyenin üzerine çıkmaktadır. Ayrıca, D noktasının zemin büyütmesi eğrisinde de iki maksimum noktasının bulunması da dikkat çekmektedir.

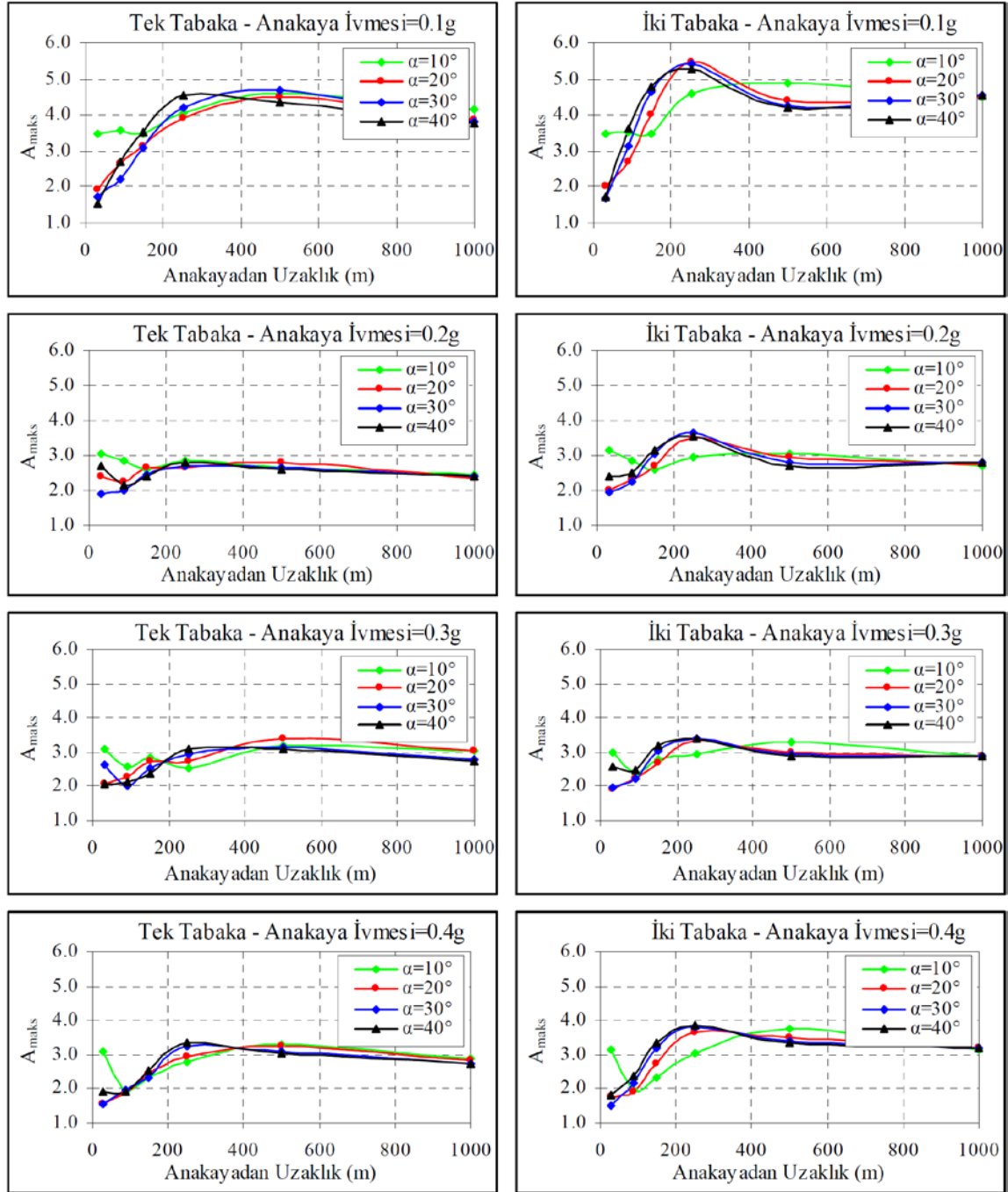
7.2.3 Üst tabakası yumuşak kilden oluşan ovalar

Şekil 7.9’da tek tabakalı ve üst tabakası yumuşak kilden oluşan iki tabakalı ovaların yeryüzü boyunca spektral zemin büyütme eğrileri farklı anakaya eğimlerinin etkisi altında verilmektedir. Burada da farklı kuvvetli yer hareketlerinin zemin büyütmesine etkisinin anlaşılması için, elde edilen sonuçlar 4 farklı kuvvet seviyesinde sunulmaktadır. Bu araştırmada kullanılan farklı kil çeşitleri aralarında meydana gelen en yüksek zemin büyütmesi yumuşak kilden oluşan ovalarda ve 0.1g ivmeye sahip hareketlerin etkisi altında meydana gelmektedir. Görüldüğü gibi, en yüksek zemin büyütmesi tek tabakalı ve üst tabakası yumuşak kilden oluşan iki tabakalı ovalarda, sırasıyla, 4.7 ve 5.4 olmaktadır. Ayrıca, anakaya mostrasından 200 metrelik bir mesafe içerisinde en yüksek zemin büyütmesi kati kilden oluşan ovalara ait iken, ova kenarlarından daha uzak noktalarda meydana gelen en yüksek zemin büyütmesi yumuşak kilden oluşan ovalara ait olmaktadır.

Şekil 7.9’da verilen sonuçlar, ovalara uygulanan farklı ivme değerine sahip anakaya hareketlerinin etkisi altında iki tabakalı ovaların maksimum zemin büyütmesinin tek tabakalı ovalardan daha büyük olduğunu da göstermektedir. Elde edilen sonuçlar, yumuşak kilden oluşan ovalarda zemin büyütmesi eğrilerinin maksimumunun anakaya mostrasına yakın olan sığ bölgelerde meydana gelmediğini göstermektedir. Ayrıca, tek tabakalı ovaların zemin büyütmesi eğrilerinde de belirli bir maksimum noktası görülmemektedir. Öte yandan, iki tabakalı ovalarda 0.1g ivmeye sahip hareketlerin etkisi altında meydana gelen zemin büyütmesi eğrilerindeki belirli maksimum noktası ovaya uygulanan anakaya hareketinin kuvvetinin artmasıyla hafifleşmeye başlamaktadır. Diğer kil çeşitlerinde görüldüğünün tersine, burada iki tabakalı kilden oluşan ovaların zemin büyütmesi eğrilerinin maksimumlarının olduğu noktalarda 10° anakaya eğiminin etkisi nispeten daha küçük olmaktadır.

Bir de, yumuşak kilden oluşan tek ve iki tabakalı ovaların zemin büyütmesi eğrilerinin birbirine takribi yakınlıkları da dikkat çekmektedir. Bu da, yumuşak

kilden oluşan tek ve iki tabakalı ovaların davranışının anakaya eğiminden pek etkilenmediğine işaret etmektedir. Yine de, diğer kil çeşitleriyle karşılaştırıldığında, ovanın ortasında meydana gelen en yüksek zemin büyütmesi de yumuşak kilden oluşan ovalara ait olmaktadır. Yumuşak kilden oluşan tek ve iki tabakalı ovaların ortasının zemin büyütmesi 0.1g ivmeye sahip hareketlerin etkisi altında, sırasıyla, 4 ve 4.5 olmaktadır.



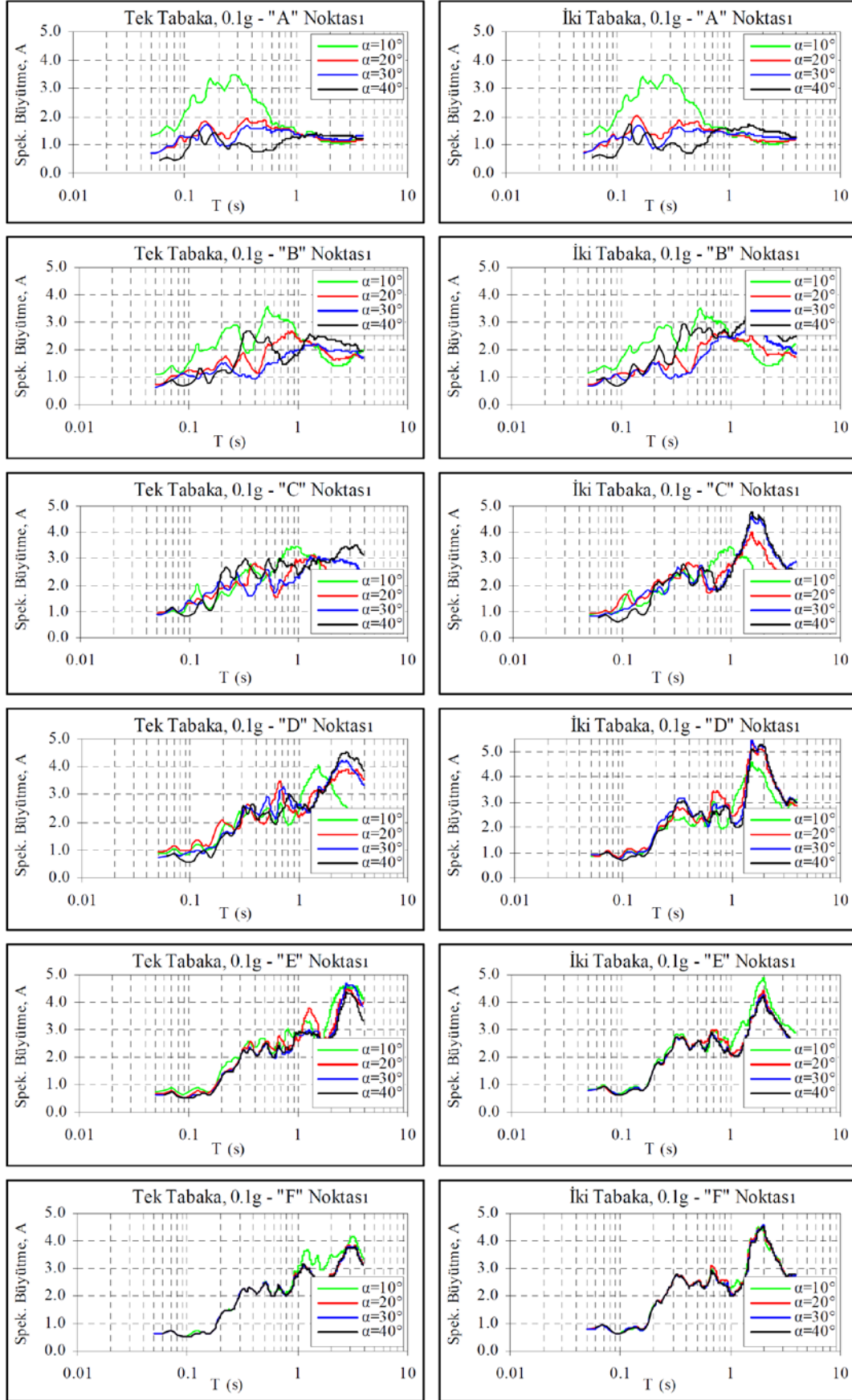
Şekil 7.9 : Tek tabakalı ile üst tabakası yumuşak kilden oluşan ovaların en büyük spektral zemin büyütmesinin (A_{maks}) değişimi.

Ovalara uygulanan anakaya hareketinin kuvvetinin artmasının etkisine bakıldığında, tek tabakalı ovalarda 0.1g ivmeye sahip hareketlerin etkisi altında meydana gelen 4.7 zemin büyütmesinin 0.2g ivmeye sahip hareketlerin etkisi altında 2.75'e dikkate değer düşüşünün ardından, daha kuvvetli hareketlerin etkisi altında 3.25'e yükselmektedir. İki tabakalı ovalarda ise 0.1g ivmeye sahip hareketlerin etkisi altında meydana gelen 5.4 maksimum zemin büyütmesinin ardından, ovaya etkiyen anakaya hareketinin kuvvetinin artmasıyla zemin büyütmesinin 3.5 ile 4 arasında değiştiği görülmektedir.

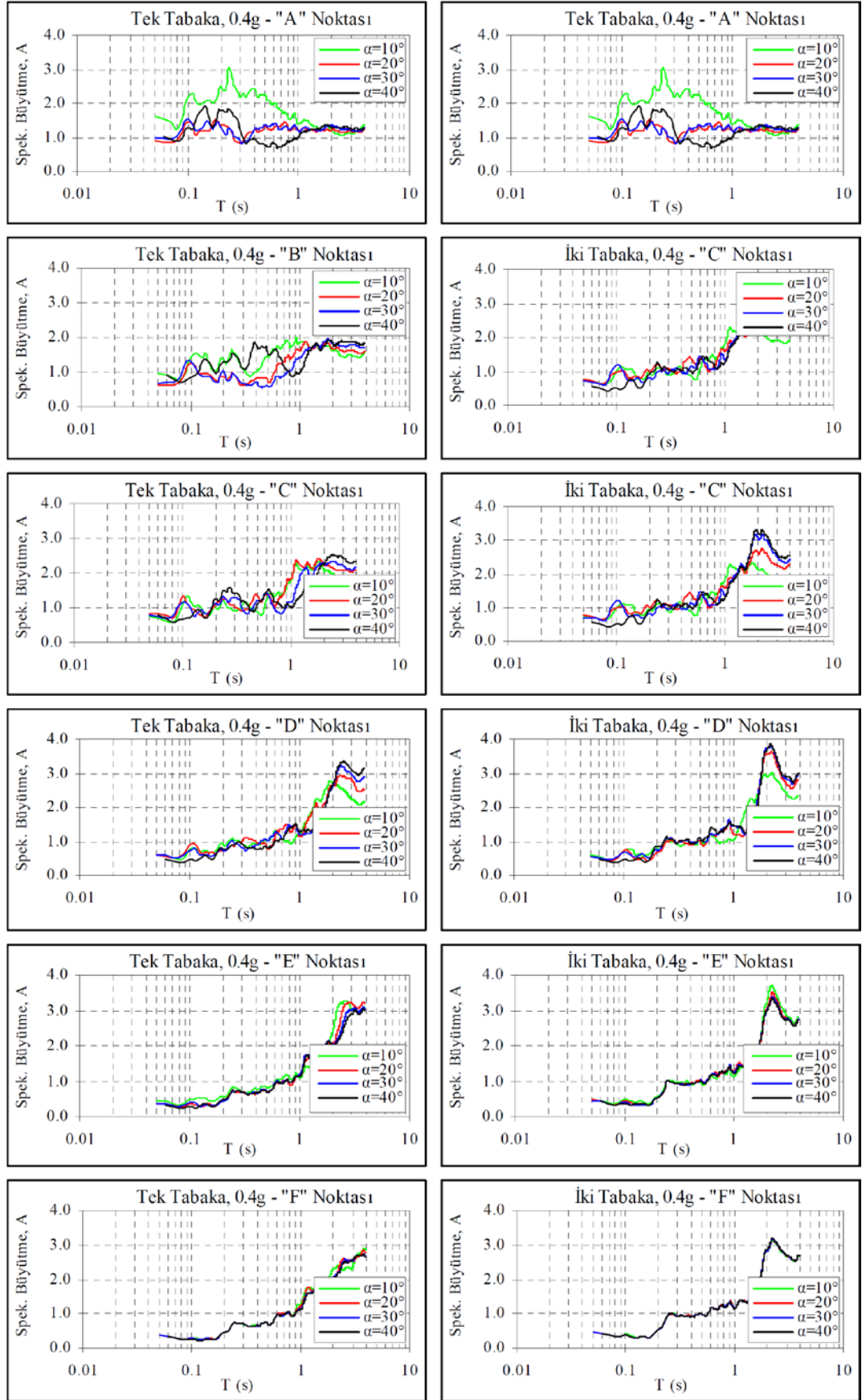
Şekil 7.10 ve 7.11'de 0.1g ve 0.4g ivmeye sahip hareketlerin etkisi altında yumuşak kilden oluşan tek ve iki tabakalı ovaların frekans tanım alanında gösterdiği zemin büyütmesi verilmektedir. Şekil 7.10'da görüldüğü gibi, katı kilden oluşan ovalarda görüldüğünün tersine 0.1 saniyenin altında hiç bir rezonansın meydana geldiği görülmemektedir. Şekillerde anakaya mostrasından uzak olan noktaların daha yüksek periyotlara duyarlı oldukları görülmektedir.

Yüksek periyotlara duyarlılık tek tabakalı ovalarda C noktasından başlarken iki tabakalı ovalarda bu olay anakaya mostrasına daha yakın olan B noktasından başlamaktadır. Bir de, tek tabakalı ovalarda 3 saniyeye ulaşan en yüksek rezonans periyodu iki tabakalı ovalarda 2 saniyeye inmektedir. Her iki çeşit ovanın zemin büyütmesi eğrileri ovanın ortasına yaklaştıkça hemen hemen tek bir eğriye dönüşmektedir. Bu da, anakaya mostrasından uzaklaştıkça anakaya eğiminin etkisinin kalktığını göstermektedir. Şekil 7.11'e bakıldığında da, ovaya etkiyen anakaya hareketinin kuvvetinin 0.4g'ye yükselmesinin tek ve iki tabakalı ovaların rezonans periyodu üzerinde pek etkisi olmadığını göstermektedir.

Çok katı ve katı kilden oluşan ovalarda da görüldüğü gibi, ovanın sığ kısımları daha düşük periyotlara duyarlı olmaktadır. Fakat şekil 7.10 ve 7.11'e bakıldığında, yumuşak kilden oluşan ovaların sığ kısımlarının rezonans periyodunun diğer kil çeşitlerinden oluşan ovalarda meydana gelenlere göre daha yüksek olduğunun nedeni yumuşak kilin doğal frekansının diğer killere göre daha yüksek olduğu ve bu tür kilin düşük frekanslara karşı bastırıcı özelliğe sahip olduğudur.



Şekil 7.10 : Tek tabakalı ile üst tabakası yumuşak kilden oluşan ovaların farklı noktalarının frekans tanım alanındaki zemin büyütmesi(0.1g).



Şekil 7.11 : Tek tabakalı ile üst tabakası yumuşak kilden oluşan ovaların farklı noktalarının frekans tanım alanındaki zemin büyütmesi(0.4g).

7.3 Üst Tabakası Kil Zeminden Oluşan İki Tabakalı Ovaların Şiddet Faktörüne Anakaya Eğiminin Etkisi

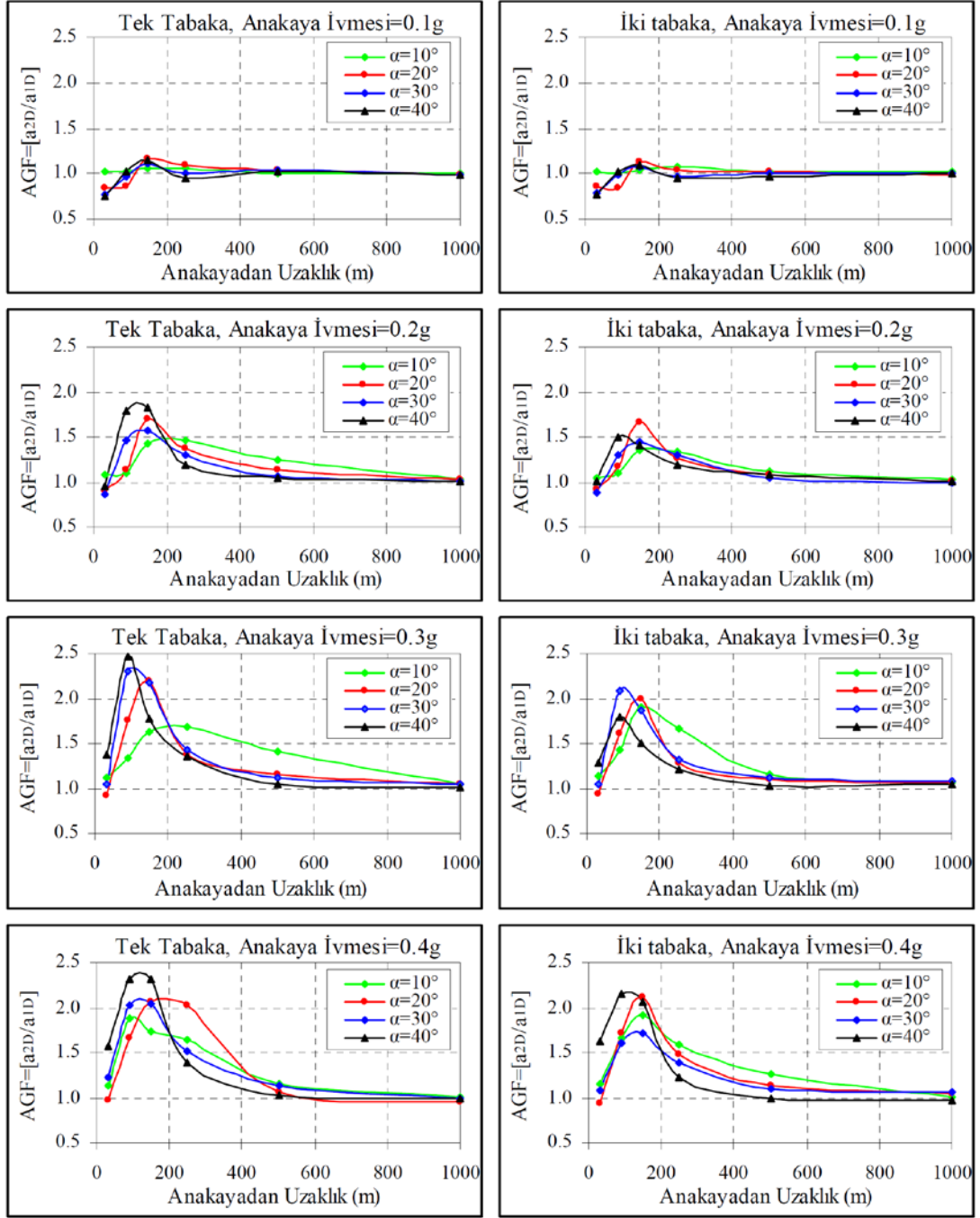
Bu bölümde yanal süreksizliklerin tabakalı ovaların şiddet faktörüne etkisinin anlaşılması için üst tabakasının farklı kil çeşitlerinden oluşan modellerin bir ve iki boyutlu dinamik analizi yapılarak elde edilen sonuçların değerlendirilmesi yapılmaktadır. Tabakalı ovaların analizinden elde edilen sonuçlar tek tabakalı ovaların yüzeyi boyunca hesaplanmış olan şiddet faktörüyle karşılaştırılarak sunulmaktadır.

İki tabakalı ovaların analizinin sonuçlarının daha iyi anlaşılması için, ova yüzeyi boyunca elde edilen şiddet faktörü eğrileri tek bakalı kilden oluşan ovalardan elde edilen sonuçlarla karşılaştırılarak sunulmaktadır.

7.3.1 Üst tabakası çok katı kilden oluşan ovalar

Şekil 7.12’de tek tabakalı ve üst tabakası çok katı kilden oluşan iki tabakalı ovaların yeryüzü boyunca ve farklı anakaya eğimlerinin etkisi altında hesaplanmış olan şiddet faktörünün değişimi verilmektedir. Ayrıca, farklı kuvvetli yer hareketlerinin şiddet faktörüne etkisinin anlaşılması için, elde edilen sonuçlar 4 farklı kuvvet seviyesinde sunulmaktadır.

Şekilde, tek ve iki tabakalı çok katı kilden oluşan ovalarda daha hafif 0.1g ivmeye sahip hareketlerin etkisi altında hesaplanan şiddet faktörü daha kuvvetli hareketlerdekine göre daha düşük olduğu görülmektedir. Bu da, daha düşük kuvvetli hareketlerin etkisi altında tek ve iki boyutlu analizlerden elde edilen maksimum mutlak ivme değerinin birbirine yakın olduğunu göstermektedir. Bu durumda ova yüzeyinde hesaplanan en büyük şiddet faktörü tek ve iki tabakalı ovalarda birbirine yakın olmakla birlikte 1.2’nin altında kalmaktadır. Şiddet faktörü anakaya mostrasından 100 metrelik bir mesafeye kadar genelde 1’e yakın ya da 1’den daha az olduğu görülmektedir. Bu da, anakaya mostrasına yakın kısımların tek boyutlu analizinden elde edilen maksimum mutlak ivme değerinin iki boyutlulara yakın veya daha büyük olduğunu ifade etmektedir. Ovaların büyük bir kısmı ise 1 şiddet faktörü göstermektedir. Anakaya hareketinin kuvveti 0.2g’ye yükseldiğinde, tek ve iki tabakalı ovaların şiddet faktörleri eğrileri arasındaki fark artmaktadır.



Şekil 7.12 : Tek tabakalı ile üst tabakası çok katı kilden oluşan ovaların yüzeyi boyunca şiddet faktörünün değişimi.

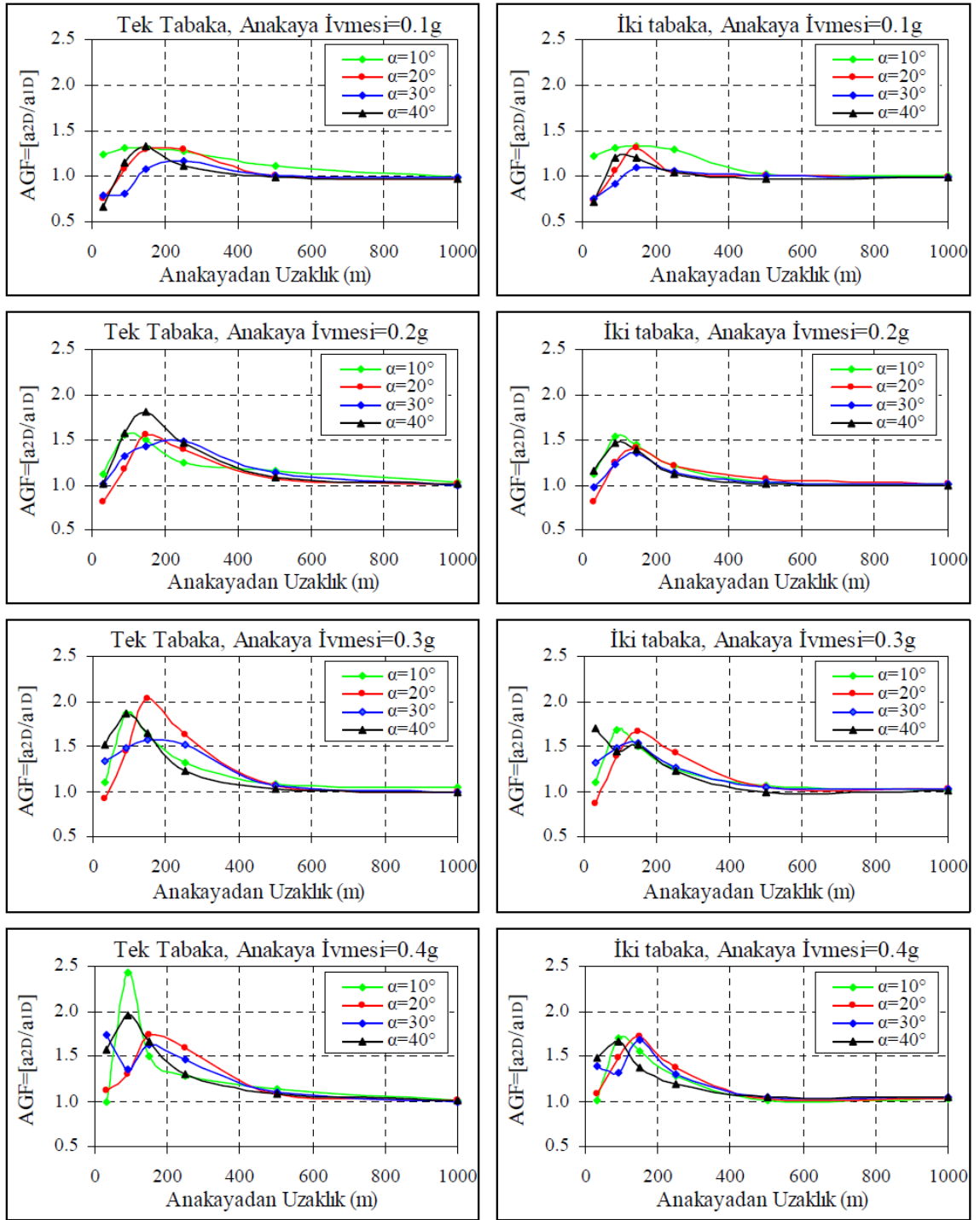
Sonuçlar, iki tabakalı ovaların şiddet faktörünün tek tabakalılarından daha az olduğunu göstermektedir. Bu durumda, tek tabakalı ovalarda en büyük şiddet faktörü 40° anakaya eğiminde ve 1.9 olmaktadır, hâlbuki iki tabakalılarda 20° anakaya eğiminde ve 1.7'ye ulaştığı görülmektedir. Bir de, sadece anakaya mostrasından kısa bir mesafe içerisinde şiddet faktörünün 1'den daha az olduğu görülmektedir.

Ovalara etkiyen anayasa hareketinin kuvveti 0.3g ile 0.4g'ye yükselince yine de tek tabakalı ovaların maksimum şiddet faktörünün iki tabakalılarından daha büyük olduğu devam etmektedir. Bu durumda, tek tabakalı ovalarda en yüksek şiddet faktörü 40° anakaya eğiminde meydana gelmiş iken, iki tabakalı ovalarda 0.2g ivmeye sahip hareketlerin etkisi altında 20, 0.3g ivme değerindekilerde 30 ve 0.4g'lilerde ise 40° anakaya eğiminde meydana gelmektedir. Çok katı kilden oluşan ovalarda da anakaya mostrasından uzaklaştıkça anakaya eğiminin etkisi azalarak farklı anakaya eğimlerinin etkisi altında elde edilen şiddet faktörü eğrileri birbirine yaklaşmaktadır. Ayrıca, ovanın ortasına yaklaştıkça tek ve iki boyutlu analizlerden elde edilen maksimum mutlak ivme değerleri birbirine yaklaşarak 1 şiddet faktörüne yakınsamaktadır.

7.3.2 Üst tabakası katı kilden oluşan ovalar

Tek tabakalı ve üst tabakası katı kilden oluşan iki tabakalı ovaların yeryüzü boyunca farklı anakaya eğimlerinin etkisi altındaki şiddet faktörünün değişimi Şekil 7.13'te verilmektedir. Çok katı kilden oluşan ovaların 0.1g ivmeye sahip hareketlerin etkisi altındaki şiddet faktörü 1.2'den daha az iken, katı kilden oluşan ovalarda 1.3'ü geçmektedir. Fakat yine de tek ve iki tabakalı ovaların maksimum şiddet faktörünün birbirine yakınlığı devam etmektedir.

0.2g ivmeye sahip hareketlerin etkisi altında tek tabakalı ovaların maksimum şiddet faktörü iki tabakalı ovalarından daha büyük olmaktadır. Görüldüğü gibi, tek tabakalı ovaların maksimum şiddet faktörü 40° anakaya eğiminin etkisi altında 1.8 iken, iki tabakalı ovalarda 10° anakaya eğiminin etkisi altında 1.55'i bulmaktadır. Bu durumda, her iki ova çeşidinde de sadece 20° anakaya eğiminin etkisi altında anakaya mostrasının yakınlarında bulunan kısa bir bölgede şiddet faktörünün 1'den daha küçük olduğu görülmektedir. 0.3g ivmeye sahip hareketlerin etkisi altında ise ova yüzeyinde maksimum şiddet faktörü tek tabakalı ovalarda 2'nin üzerine, iki tabakalılarda ise 1.7'ye ulaşmaktadır. Daha kuvvetli olan 0.4g ivmeye sahip hareketlerin etkisi altında meydana gelen maksimum şiddet faktörü tek tabakalı ovalarda hemen hemen 2.5'u bulmuş iken, iki tabakalı ovalarda 0.3g ivmeye sahip hareketlerin etkisi altındaki 1.7'lerde kalmaktadır. Bu durumda, hiç bir anakaya eğiminin etkisinin altında hesaplanan şiddet faktörü 1'den daha az olmamaktadır.



Şekil 7.13 : Tek tabakalı ile üst tabakası katı kilden oluşan ovaların yüzeyi boyunca şiddet faktörünün değişimi.

Sonuçlar katı kilden oluşan tek ve iki tabakalı ovaların ikisinin de şiddet faktörü eğrilerinin anakaya mostrasından uzaklaştıkça birbirine yaklaştığını ve nihayet tek bir eğriye dönüştüğünü göstermektedir. Bu da, ova kenarlarından uzaklaştıkça anakaya eğiminin etkisinin azalarak kalkmasını göstermektedir.

7.3.3 Üst tabakası yumuşak kilden oluşan ovalar

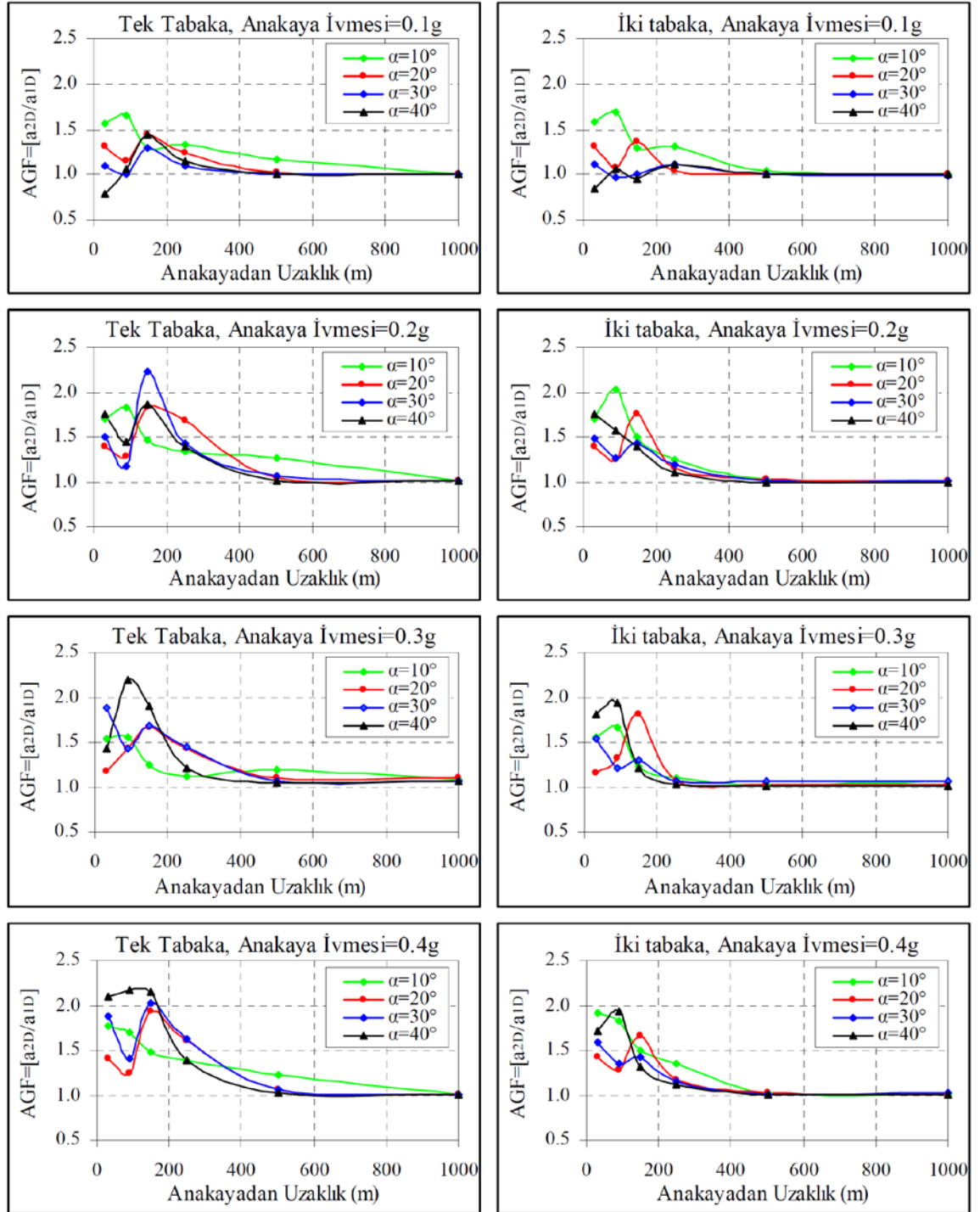
Şekil 7.14’de tek tabakalı ile üst tabakası yumuşak kilden oluşan iki tabakalı ovaların yeryüzü boyunca şiddet faktörünün değişimi farklı anakaya eğimlerinin etkisi altında verilmektedir. 0.1g ivmeye sahip hareketlerin etkisi altında sadece tek ve iki tabakalı ovaların şiddet faktörünün maksimumu değil belki özellikle 10 ve 20° anakaya eğiminin etkisinin altında hesaplanmış olan şiddet faktörü eğrileri de birbirine benzemektedir. Çok katı ve katı kilden oluşan ovaların maksimum şiddet faktörü 1.3’lerde iken, be değer yumuşak killerde hemen hemen 1.7’ye ulaşmaktadır. Bir de, tek ve iki tabakalı ovaların 40° anakaya eğiminin etkisi altındaki şiddet faktörü eğrilerinin arasındaki fark da ilginç olmaktadır.

Ovaya etkiyen anakaya hareketinin kuvvetinin 0.2g’ye yükselmesiyle birlikte her iki çeşit ovanın da şiddet faktöründe artış meydana gelmektedir. Tek tabakalı ovalarda şiddet faktörünün maksimumu 30° anakaya eğiminin etkisi altında 2.2’yi, iki tabakalılarda ise 10° anakaya eğiminin etkisi altında 2’yi aşmaktadır.

0.3g ivmeye sahip hareketlerin etkisi altında elde edilen sonuçlara bakıldığında her iki ova çeşidinin de maksimum şiddet faktörü 40° anakaya eğiminin etkisi altında meydana geldiği görülmektedir. Yumuşak kilden oluşan iki tabakalı ovaların farklı anakaya eğimlerinin şiddet faktörü eğrilerinin birbirinden farklı olduğu, bu gibi durumlarda şiddet faktörünün anakaya eğiminden etkilendiğini ifade etmektedir. 0.4g ivmeye sahip hareketlerin etkisi altında ise, her iki çeşit ovada da en yüksek şiddet faktörünün 40° anakaya eğiminin etkisi altında meydana geldiği görülmektedir.

Sonuçlar, yumuşak kilden oluşan tek ve iki tabakalı ovalarda 0.1g’den daha kuvvetli hareketlerin etkisi altında hesaplanan şiddet faktörünün maksimumunun pek değişmediğini göstermektedir. Bir de, yumuşak kilden oluşan ovaların farklı anakaya eğimlerinin etkisi altındaki şiddet faktörü eğrilerine bakıldığında, bu ovaların diğer kil çeşitlerindeki gibi birbirinden daha farklı olduğu görülmektedir. Bu da, bu durumda anakaya eğiminin şiddet faktörüne etkisinin yüksek olduğunu ifade etmektedir. Diğer kil çeşitlerinden oluşan ovalarda da görüldüğü gibi, yumuşak kilden oluşan ovalarda da anakaya mostrasından uzaklaştıkça farklı anakaya eğimlerinin etkisi altında elde edilen şiddet faktörü eğrilerinin birbirine yaklaşarak

nihayet tek bir eğriye dönüştüğü ve ovanın ortasına doğru ise 1 şiddet faktörüne yakınsadığı görülmektedir.



Şekil 7.14 : Tek tabakalı ile üst tabakası yumuşak kilden oluşan ovaların yüzeyi boyunca şiddet faktörünün değişimi.

7.4 Sonuç

Tez çalışmasının bu bölümünde zemin tabakalaşmasının ovaların dinamik davranışına etkisinin incelenmesi amacıyla tek ve iki tabakalı bir ve iki boyutlu dinamik analizlerin sonuçları verilmiştir. Tek tabakalı ovaların derinlikleri 100 metre olmakla birlikte 4 farklı anakaya eğiminden oluşmaktadır. Ovalardaki zemin cinsi de yumuşak, katı ve çok katı olmak üzere 3 farklı kil çeşidinden teşkil edilmektedir. İki tabakalı ovaların modellerinin toplam derinliği 100 metre olmakla birlikte, ovaların alt tabakasında 50 metre kalınlığında olan bir sıkı kum tabakası bulunmaktadır. Bu tabakanın üzerinde ise, 50 metre kalınlığında olan ve farklı kil çeşitlerinden oluşan bir zemin tabakası yer almaktadır. Bu zemin cinsleri yumuşak, katı ve çok katı kil cinsinden oluşmaktadır. Elde edilen sonuçlar ova yüzeyi boyunca zemin büyütmesi eğrileri ve şiddet faktörü eğrilerine dönüştürülerek sunulmaktadır.

İki tabakalı ovaların yüzeyi boyunca elde edilen zemin büyütmesi ve şiddet faktörleri eğrilerinin tek tabakalı ovalarinkinden farklı olduğu zemin tabakalaşmasının ovanın dinamik davranışı üzerinde etkisini göstermektedir. Diğer yandan, farklı anakaya eğimleri etkisi altında meydana gelen zemin büyütmesi eğrileri iki tabakalı ovaların dinamik davranışının ova kenarlarındaki anakaya eğiminden etkilendiği görülmektedir. Sonuçlara göre modellerin hemen hemen hepsinde tek tabakalı ovalardaki anakaya mostrasından uzak noktaların rezonans periyodu iki tabakalı ovalara göre daha düşük olmaktadır. Ayrıca, anakaya hareketinin kuvvetinin artması da iki tabakalı ovaların zemin büyütme düzenini etkilediği de ortaya çıkmaktadır.

8. ANAKAYA EĞİMİNİN DİNAMİK DAVRANIŞA ETKİSİ: DİNAR OVASI MODELİ ÖRNEĞİ

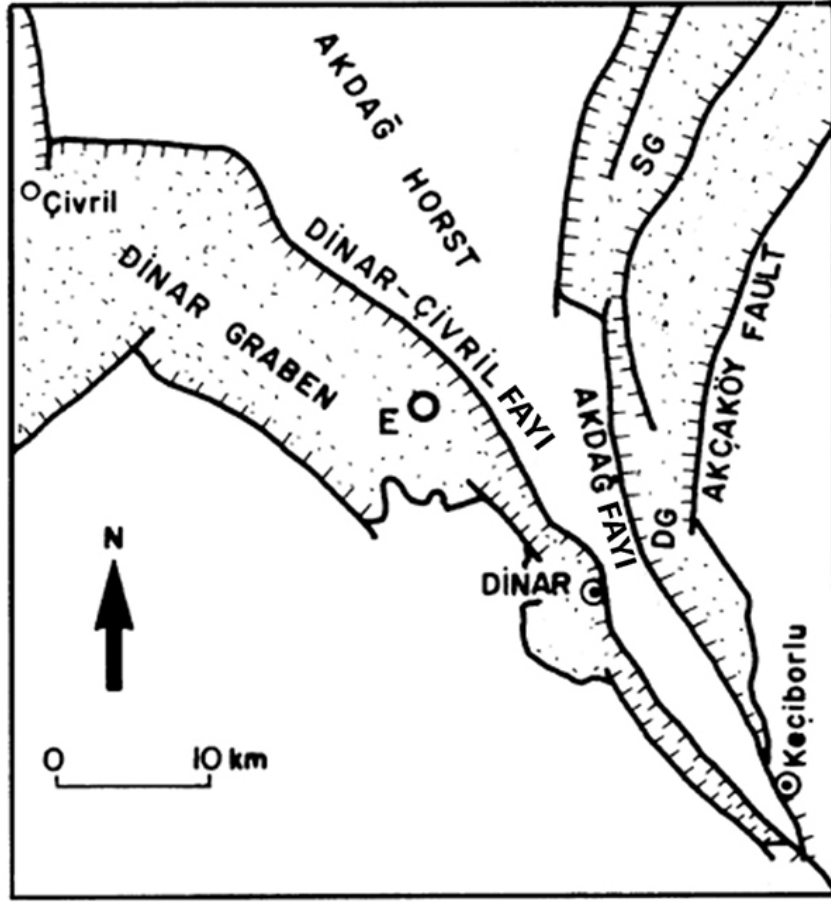
8.1 Giriş

Tez çalışmasının bu aşamasında, anakaya eğimi ve ova geometrisinin yeryüzü hareketinin üzerinde olan etkisinin anlaşılması için idealleştirilmiş hipotetik (varsayımsal) modellerin bir ve iki boyutlu dinamik analizinin yapılmasının ardından, iki boyutlu geometriye sahip olan gerçek bir vadinin dinamik analizi yapılmıştır. Bu amaçla geçmişte meydana gelen depremler sırasında büyük hasarların ortaya çıktığı Dinar Ovası'nın iki boyutlu geometrisi ele alınmıştır. Yatay yönde sınırlı ve eğimli anakaya sınırına sahip Dinar Ovası'nın farklı bölgelerinde oluşturduğu dinamik tepkinin geometriye bağlı değişimi elde edilerek bu vadinin kenarlarında meydana gelen yüksek hasar dağılımını etkileyen parametrelerin anlaşılmasına çalışılmıştır.

8.2 Dinar Ovası'nın Jeolojik ve Topoğrafik Özellikleri

İç Ege'de bulunan Dinar'ın Dombay Ovası'nın güney kısımları Akdeniz diğer yerleşim alanları Ege bölgesindedir. Göller bölgesinin bir elemanı olarak incelenen Dinar'ın komsuları kuzeyde Sandıklı (Afyon) Güneyde Keçiborlu (Isparta) kuzey doğuda Suhut (Afyon) Güney doğuda Isparta kuzey batıda Denizli güney batıda Basmakçı, Evciler, Dazkiri ile çevrilmiş ilçe merkezi olarak 38 derece kuzey paraleli ile 30 derece doğu boylamının kesiştiği noktanın 15 km kuzey doğusundadır. Dinar bölgesinde bulunan iki graben ve aralarındaki horst oluşumuna neden olan iki adet ana fay sistemi bulunmaktadır. Şekil 8.1'de görüldüğü gibi bunların bir tanesi KG-GB doğrultusundaki Dinar-Çivril fay sistemi diğeri ise K-G doğrultusundaki Akdağ fay sistemidir. Dinar ve civarının genel jeolojik yapısı incelendiğinde batısında Kuvaterner alüvyon, kuzeyinde eosen kireçtaşı ve kumtaşı doğu ve güneyinde ise Jura-Kretase kireçtaşı ve şistten oluştuğu görülmektedir (Durukal ve diğ. 1998). Bu

bölgede yapılan araştırmalar sonucu, doğuya doğru uzanan horst oluşumu genellikle kireçtaşı ve konglomeradan meydana gelmiştir (Bakır ve diğ., 2002).

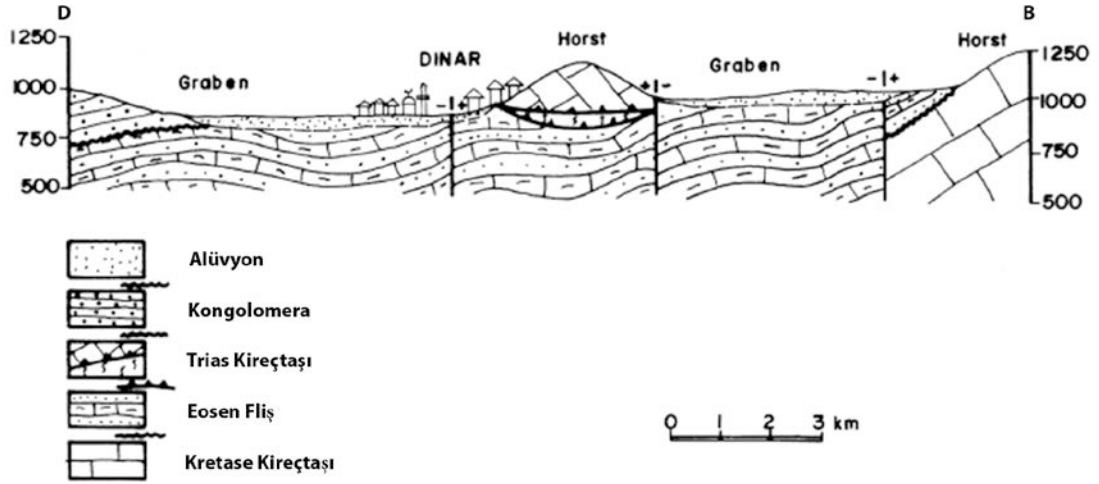


E: Merkez Üstü
DG: Dombayova Grabeni
SG: Sandıklı Grabeni
Noktalı alanlar Plio-Kuaterner çağına ait alüvyonel
Sedimentleri göstermektedir.

Şekil 8.1 : Dinar bölgesindeki ana faylar (Bakır ve diğ., 2002).

Şekil 8.2’de Bakır ve diğ. (2002) tarafından önerilen Dinar Ovası’nın D-B doğrultusundaki karakteristik bir jeolojik kesiti verilmektedir.

Dinar Ovası’nın zemin koşullarının belirlenmesi için birçok araştırmacı tarafından arazi çalışmaları yapılmıştır. Bu çalışmalar kapsamında SPT, CPT, PS-Logging, Tekil ve Eş Zamanlı Mikrotremor ölçümleri yapılmıştır (İyisan 1996; İyisan ve diğ., 2002; Ansal ve diğ., 2001; Erken ve diğ., 1999; Türker ve diğ., 1996). Yapılan arazi incelemelerine göre yüzeydeki zemin tabakalarının yaklaşık %80’inin değişik derinliklerde kalınlıkları 4 ile 10 metre arasında değişen çoğunlukla katı, kısmen sert ve yumuşak çakıllı kil, kumlu kil, çakıllı kumlu kil veya kil tabakalarından oluştuğu görülmektedir.



Şekil 8.2 : Dinar Ovası'nın D-B doğrultusundaki jeolojik enkesiti (Bakır ve diğ., 2002).

Ovanın diğer %15'i ise 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 oluşmaktadır. Ovanın %2'si de çakıl tabakalarından oluştuğu görülmektedir. Çizelge 8.1'de Dinar ovasında yapılan sondajlardan elde edilen numunelerin zemin özellikleri verilmektedir.

Çizelge 8.1 : Dinar Ovası'nın zemin özellikleri (Bakır ve diğ., 2002).

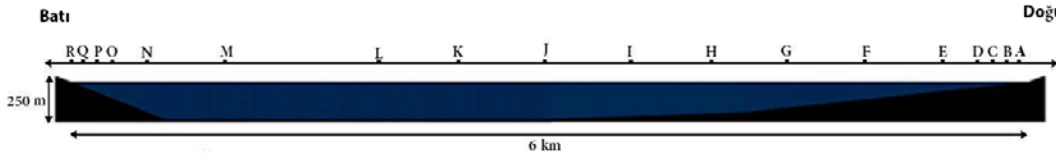
Zemin Cinsi: Çakıl, kum, siltli kum ve siltli çakıl	
Doğal birim hacim ağırlık, γ (kN/m ³)	14.0-17.0
Özgül ağırlık, G_s	2.62-2.63
İnce dane yüzdesi (%)	6-40.
SPT-N30	4-50 ⁺
Zemin Cinsi: Çakıl, kum, siltli kum ve siltli çakıl	
Doğal birim hacim ağırlık, γ (kN/m ³)	18.0-19.0
Özgül ağırlık, G_s	2.72-2.76
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-N	2-21.

Yapılan incelemeler sonucu 2007 tarihli “ Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik” kriterlerine göre bölgenin daha çok Z3 sınıfı zeminlerden oluştuğu görülmektedir (Güllü, 2001).

8.3 Dinar Ovası'nın İdealleştirilmiş Modeli ve Uygulanan Dinamik Yüklerin Özellikleri

Bilindiği gibi, bir sahanın kapsamlı geoteknik incelemeler sonucu zemin profilinin belirlenmesi ve onun gerçek topoğrafyasını kullanarak dinamik analiz yapılması güç ve pahalı olmaktadır. Bu nedenle yapılan dinamik analizler genelde gerçek sahaların idealleştirilmiş zemin ve geometriye dayanan modellerinin üzerinde yapılmaktadır. İdealleştirilmiş ile daha detaylı geometrilerin analizinden elde edilen sonuçların incelendiğinde, bu sonuçların alüvyonel ovaların temel dinamik davranışını yansıtması açısından birbirine yakın oldukları görülmektedir (Semblat ve diğ., 2005; Makra ve diğ., 2005). Böylece, idealleştirilmiş modeller üzerinde geniş kapsamlı dinamik analizlerin yapılmasından elde edilen sonuçların genelleştirilmesinin uygun bir yöntem olarak birçok araştırmada kullanılmaktadır.

Bu çalışmada Şekil 8.2'de Bakır ve diğ. (2002) tarafından verilen Dinar Ovası'nı D-B doğrultusundaki karakteristik jeolojik kesiti ele alınarak Dinar Ovası'nın idealleştirilmiş iki boyutlu geometrisi elde edilmiştir. Bu çalışmada Dinar Ovası'nın idealleştirilmiş iki boyutlu geometrisi Şekil 8.3'te verilmektedir.



Şekil 8.3 : Dinar Ovası'nın idealleştirilmiş iki boyutlu geometrisi.

Şekilde görüldüğü gibi 6 km genişliğe sahip Dinar ovası iki adet horst arasında yer almaktadır. Ovanın doğu tarafında bulunan anakaya yaklaşık %10 bir eğime sahip olmaktadır. Bu eğim yaklaşık 180m derinliğe kadar devam etmektedir fakat bu derinliğe ulaştıktan sonra anakayanın eğimi daha hafifleyerek yaklaşık 2°'yi bulmaktadır. Bu eğim 220m derinliğe kadar devam ettiği görülmektedir. Ovanın doğu tarafındaki anakaya eğimi anakaya mostrasından yaklaşık 3 km'ye kadar devam ettiği görülmektedir. Ovanın batı tarafında ise anakaya eğiminin yaklaşık 20° olduğu görülmektedir. Bu taraftaki anakaya doğu kısımlardakine göre daha yüksek açıyla 220 m derinliğe inmektedir. Ovanın ortasındaki diğer yerlerde ise anakayanın yatay bir eğime sahip olduğu anlaşılmaktadır.

Dinar ovasında yapılan arazi incelemelerinden elde edilen sonuçları kullanarak ovanın idealleştirilmiş zemin özellikleri de elde edilmiştir. Bu arada, bilindiği gibi 6 km genişliğe sahip bir ovanın homojen olmadığından birçok farklı zemin özellikleriyle karşılaşmaktadır fakat bu çalışmadaki Dinar Ovası'nın dinamik analizinden elde edilen sonuçların idealleştirilmiş geometri ve zemin özellikleri koşulları altında geçerli olduğunun altı da çizilmektedir. Bu çalışmada Dinar Ovası'nın idealleştirilmiş geometrisinin dinamik analizinde kullanılan zemin özellikleri Çizelge 8.2'de verilmektedir.

Çizelge 8.2 : Dinar Ovası'nın idealleştirilmiş modelinde kullanılan zemin özellikleri.

Zemin	c (kPa)	ϕ (°)	V_s (m/s)	G (MPa)	K (MPa)	γ (kN/m ³)
Ova	50-140	10	175-600	55.1-828	143.7-2159	18.0-21.6
Ayrışmış bölge	140-150	10	600-700	828-1127	2159-2939	21.6-22.0
Anakaya	*	*	1000	2200	3600	22.0

c: Kohezyon; ϕ : Kayma Direnci Açısı; V_s : Kayma Dalgası Hızı; G: Kayma Modülü; K: Hacimsel Modül; γ : Birim Hacim Ağırlığı.

Yapılan modellerde kullanılan zemin özelliklerinin derinlikle değişimi sağlanmaktadır. Dinar ovasının idealleştirilmiş modeline 16 adet kuvvetli yer hareketi uygulanarak FLAC3D yazılımı ile dinamik analizler yapılmış, ova kenarındaki anakaya eğiminin ve anayaka hareketinin özelliklerinin zemin büyütmesine etkisi incelenmiştir. Dinar Ovası'nın dinamik analizinde kullanılan kuvvetli yer hareketlerinin adı ve özellikleri Çizelge 8.3, 8.4, 8.5 ve 8.6'da verilmektedir

Çizelge 8.3 : Dinar Ovası'nın dinamik analizinde kullanılan kuvvetli yer hareketleri.

Orijinal kayıt	Palm Spring 1986	Chalfant Valley 1986.07.21	Mammoth Lakes 1980.05.25	Anza (Horse Cany) 1980.02.25
İstasyon	Silent Valley	Long Valley Dam	Long Valley Dam	Anza - Pinyon Flat
Formasyon	Ayrışmış Granit	Kaya	Kaya	Kaya
Büyükölç	$M_L=5.9$	$M_w=6.2$	$M_w=6$	$M_w=4.9$
Derinlik (km)	11.1	-	19.7	13
Merkezüstü uzaklığı (km)	19.5	-	-	12
a_{maks} (g)	0.1	0.1	0.1	0.1
v_{maks} (m/s)	0.0332	0.0561	0.0675	0.0226
a_{rms} (m/s ²)	0.2027	0.1578	0.1862	0.1507
Arias şiddeti(m/s)	0.0658	0.0638	0.0666	0.0218
Parantezlenmiş süre (s)	9.96	15.99	11.9	5.945
Anlamli süre (s)	6.14	10.24	7.46	1.945

Çizelge 8.4 : Dinar ovası'nın dinamik analizinde kullanılan kuvvetli yer hareketleri.

Orijinal kayıt	Sakarya 1999.11.11	Dinar 1995	Düzce 1999.11.12	Livermore 1980.01.27
İstasyon	Sakarya Bay. Ve İsk. Müd.	Dinar İstasyonu	Lamont-531	Morgan Terr Park
Formasyon	Kumtaşı	Aluvyon	Kaya	Kaya
Büyükölük	$M_d=5.7$	$M_L=5.9$	$M_w=7.1$	$M_w=5.4$
Derinlik (km)	8.9	12	-	-
Merkezüstü uzaklığı (km)	17.5	2	11.4	10.1
a_{maks} (g)	0.2	0.2	0.2	0.2
v_{maks} (m/s)	0.1409	0.3525	0.2816	0.1221
a_{rms} (m/s ²)	0.2919	0.5028	0.4541	0.3714
Arias şiddeti(m/s)	0.1397	0.8096	0.5283	0.1877
Parantezlenmiş süre (s)	9.45	19.99	15.91	8.485
Anlamli süre (s)	3.11	14.95	10.57	3.425

Çizelge 8.5 : Dinar ovası'nın dinamik analizinde kullanılan kuvvetli yer hareketleri.

Orijinal kayıt	Mendocino 1992	Coyote Lake 1979.08.06	Parkfield 1966.06.28	Firuzabad 1994.06.20
İstasyon	EEL River valley	Coyote Lake Dam	Temblor pre	Firuzabad-ZRT
Formasyon	Kaya	Kaya	Kaya	Kaya
Büyükölük	$M_L=6.5$	$M_w=5.7$	$M_w=6.1$	$M_w=5.9$
Derinlik (km)	14.6	-	-	9
Merkezüstü uzaklığı (km)	15	1.6	16.1	21
a_{maks} (g)	0.3	0.3	0.3	0.3
v_{maks} (m/s)	0.3482	0.2146	0.1683	0.1145
a_{rms} (m/s ²)	0.849	0.5271	0.4752	0.5536
Arias şiddeti(m/s)	0.8079	0.4003	0.3615	0.687
Parantezlenmiş süre (s)	6.995	8.99	9.85	13.98
Anlamli süre (s)	4.82	3.68	4.29	7.14

Çizelge 8.6 : Dinar ovası'nın dinamik analizinde kullanılan kuvvetli yer hareketleri.

Orijinal kayıt	Kocaeli 1999.08.17	Parkfield 1966.06.28	Umbria Marche 1997.10.16	South Iceland 2000.06.17
İstasyon	Sakarya Bay. Ve İsk Müd.	Temblor pre	Colfiorito-Casermette	Thjorsarbru
Formasyon	Kumtaşı	Kaya	Kaya	Kaya
Büyükölük	$M_d=7.4$	$M_w=6.1$	$M_w=4.3$	$M_w=6.5$
Derinlik (km)	18	-	2	15
Merkezüstü uzaklığı (km)	35	16.1	1	15
a_{maks} (g)	0.4	0.4	0.4	0.4
v_{maks} (m/s)	0.3589	0.2378	0.3376	0.2174
a_{rms} (m/s ²)	0.6706	0.588	0.6407	0.8194
Arias şiddeti(m/s)	1.5843	0.5537	0.6902	1.6125
Parantezlenmiş süre (s)	21.97	9.93	10.38	14.92
Anlamli süre (s)	9.74	3.19	4.57	4.29

Ayrıca, ovanın farklı noktalarında yapılacak tek boyutlu analizler sonuçlarını kullanarak ova yüzeyi boyunca elde edilen şiddet faktörünün değışimi (2D/1D maksimum ivme değeri) incelenmiştir. Dinar ovası yüzeyi boyunca tek boyutlu

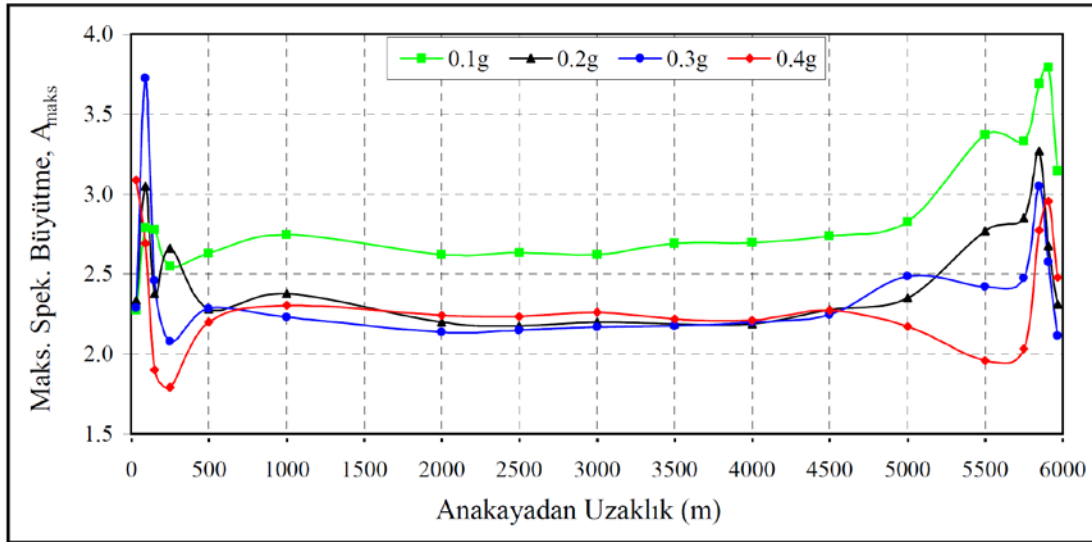
analizlerin yapıldığı noktalar ve ovanın doğusundaki anakaya mostrasından uzaklıkları Çizelge 8.7’de verilmektedir.

Çizelge 8.7 : Dinar Ovası’nın yüzeyindeki noktaların doğusundaki anakaya mostrasından uzaklıkları.

J	I	H	G	F	E	D	C	B	A	Nokta
3000	2500	2000	1500	1000	500	250	150	90	30	Uzaklık (m)
R	Q	P	O	N	M	L	K	J	I	Nokta
5970	5910	5850	5750	5500	5000	4000	3500	3000	2500	Uzaklık (m)

8.4 Dinar Ovası’nın İki boyutlu Dinamik Davranışı

Bilindiği gibi, bir noktada zemin büyütmesi o noktada elde edilen ivme spektrumunun anakaya üzerindeki deprem kaydının ivme spektrumuna oranı olarak tanımlanmaktadır. Bu bölümde Dinar Ovası boyunca farklı noktalarda farklı deprem kuvvetleri için hesaplanmış olan zemin büyütmelerinin en büyük değerlerinin ova kenarından uzaklığa göre değişimi incelenmektedir. Ayrıca, ova boyunca farklı ivme değerlerine sahip deprem hareketlerinin etkisi altında yüzeydeki farklı noktaların frekans tanım alanındaki zemin büyütmesi eğrileri de verilmektedir. Şekil 8.4’te Dinar Ovası’nın yüzeyi boyunca meydana gelen zemin büyütmesinin farklı kuvvetli yer hareketlerinin etkisi altındaki değişimi verilmektedir.



Şekil 8.4 : Dinar Ovası’nda en büyük spektral zemin büyütmesinin (A_{maks}) değişimi.

Bilindiği gibi Dinar ovasının doğu ve batısında bulunan anakaya eğimlerinin birbirinden farklı olduğundan dolayı ovanın biçimi simetrik bir geometriye sahip olmamaktadır. Ovanın iki tarafında elde edilen zemin büyütmesi eğrilerine

bakıldığında da ovanın simetrik davranmadığı açıkça görülmektedir. Görüldüğü gibi, ovanın anakaya eğiminin daha düşük olduğu doğu tarafında meydana gelen iki boyutlu davranış ovanın batısındaki daha yüksek eğime sahip anakayanın bulunduğu taraftakine göre anakaya mostrasından daha uzak mesafeye kadar devam etmektedir. Sonuçlara göre, ovanın doğusunda anakayanın zemin büyütmesi üzerindeki etkisi anakaya mostrasından 1500 metreye kadar uzanmış iken, bu mesafe ovanın batısında yaklaşık 700 metreye sınırlı kalmaktadır.

Ovanın doğu tarafındaki davranışı konusunda ilginç olan konu anakaya eğiminin ovanın ortasına kadar uzanmasına rağmen yüzeydeki zemin büyütmesinin sadece 1500 metreye kadar anakaya eğiminden etkilenmesidir. Buna göre, Dinar Ovası'nın doğusunda yüzeydeki zemin büyütmesinin 150 metreden daha derinde olan eğimli anakayadan pek etkilenmediği söylenebilir.

Şekil 8.4'te Dinar Ovası'nda farklı ivme değerine sahip deprem hareketlerinin etkisi altında meydana gelen zemin büyütmesi eğrileri de verilmektedir. Görüldüğü gibi 0.1g ivme değerine sahip hareketlerin etkisi altındaki zemin büyütmesi eğrisi daha büyük ivme değerlerine sahip hareketlerdekinden farklı olmaktadır. Ovanın doğusunda en büyük zemin büyütmesi değeri 3.8 olmakla birlikte 0.1g ivme değerine sahip hareketler etkisi altında meydana gelmektedir. Bu durumda da anakaya eğiminin etkisi anakaya mostrasından 1500 metrelik bir mesafeye kadar devam etmektedir fakat vadinin ortasının tek boyutlu zemin büyütmesi daha kuvvetli hareketlerde meydana gelen zemin büyütmesinden daha büyük olmaktadır. Sonuçlara göre vadinin ortasının 0.1g ivmeye sahip hareketlerin etkisi altında meydana gelen tek boyutlu zemin büyütmesi 2.6 olmaktadır. Bu koşullarda vadinin batı kısmına bakıldığında anakaya mostrasına yakın bölgede meydana gelen maksimum zemin büyütmesinin yaklaşık 2.8 değerine ulaştığı görülmektedir fakat bu değer vadinin ortasındaki tek boyutlu zemin büyütmeye çok yakın olduğu da dikkat çekmektedir.

Ovaya uygulanan anakaya hareketinin ivme değeri 0.2g'ye yükseldiğinde vadide ova boyunca meydana gelen zemin büyütmesi eğrilerinde de değişiklikler meydana gelmektedir. Bu durumda ovanın doğusunda meydana gelen maksimum zemin büyütmesi 0.1g ivmesindekine göre 3.3 değerine düştüğü görülmektedir fakat ovanın bu kısmındaki zemin büyütmesi düzeni ile 0.1g ivmesinde görülen düzen arasında benzerliğin olduğu da söylenebilmektedir. Ovanı batısında 0.2g ivmesinin etkisi altında meydana gelen maksimum zemin büyütmesi 3'ten geçerek 0.1g

ivmesindekinden daha büyük değere ulaşmaktadır. Ovanın orta kısmına bakıldığında ise 0.2g ivmesine sahip hareketlerin etkisi altında meydana gelen zemin büyütmesinin 0.1g ivmesindekine göre daha düşük olduğu görülmektedir. Bu durumda ovanın ortasındaki zemin büyütmesi 2.6'dan 2.2'ye düşmektedir.

Ovaya çarpan kuvvetli yer hareketlerin ivme değeri 0.3g'ye yükseldiğinde elde edilen zemin büyütmesi eğrileri değişmektedir. Ovanın doğusunda meydana gelen zemin büyütmesi daha düşük ivme değerine sahip hareketlerin etkisi altında görülenlere göre daha düşük olmaktadır. Bu bölgede sadece anakaya mostrasının 150 metreliğinde yaklaşık 3 değerinde olan bir zemin büyütmesi meydana gelmektedir fakat anakaya mostrasından uzaklaştıkça bu değer 2.5'a kadar inmesi görülmektedir. Ovanın batı kısmına bakıldığında ise daha farklı bir durum ortaya çıkmaktadır. Bu bölgede en büyük zemin büyütmesi 0.3g ivme değerine sahip anakaya hareketlerinin etkisi altında meydana gelmektedir. Bu durumda anakaya mostrasından yaklaşık 100 metrelik bir mesafede meydana gelen 3.7 zemin büyütmesine rağmen anakaya mostrasından 100 ile 400 metrelik bir mesafe aralarında ovanın ortasında meydana gelen zemin büyütmesinden daha az olarak yaklaşık 2'ye kadar düştüğü kaydedilmektedir. Sonuçlar ovanın ortasında 0.3g ivme değerine sahip hareketlerin etkisi altında meydana gelen tek boyutlu davranışın 0.2g ivmesine sahip hareketlerdekine göre hemen hemen aynı olduğunu da göstermektedir.

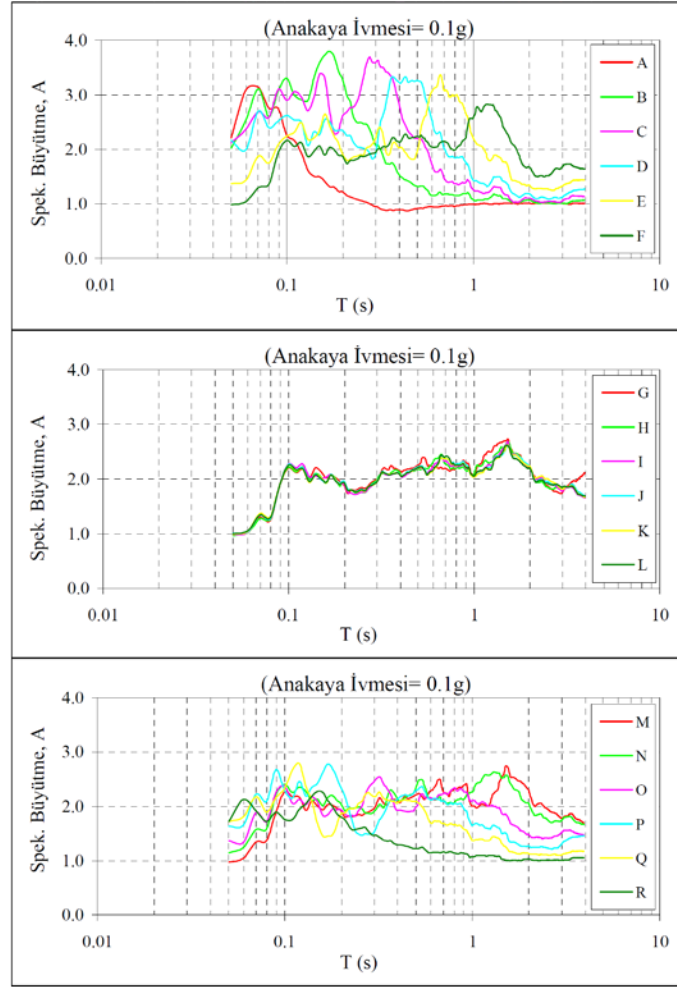
0.4g ivme değerine sahip hareketlerin meydana getirdiği zemin büyütmesine bakıldığında genelde en düşük zemin büyütmesinin bu hareketlerin etkisi altına meydana geldiği görülmektedir. Bu da 0.4g ivme değerine sahip olan kuvvetli yer hareketlerinin zeminde meydana getirdiği lineer olmayan davranıştan ve depremin enerjisinin bu şartlar altında daha çok sönmüldüğünden kaynaklanmaktadır. Bir de sonuçlar 0.4g ivmesine sahip hareketlerde ovanın hem doğusunda hem de batısında daha düşük ivme değerine sahip hareketlerde görülen zemin büyütmesi düzeninden farklı bir düzeninin ortaya çıktığını göstermektedir. Ovanın doğusunda görüldüğü gibi anakaya mostrasının 100 metreliğinde meydana gelen en büyük 3 zemin büyütmesinin ardından bu değer ovanın ortasında meydana gelen zemin büyütmesinden daha düşük olan 1.9'a kadar düşmektedir. Ovanın daha büyük anakaya eğimine sahip olan batı kısmında da benzer bir durum ortaya çıkmaktadır. Bu durumda en büyük zemin büyütmesi hemen anakaya mostrasının yanında

meydana geldikten sonra ovada görülen en düşük zemin büyütmesi olan 1.8'e kadar bir düşüş göstermektedir. Anakaya mostrasından uzaklaştıkça bu düşük zemin büyütmesinin ardından meydana gelen zemin büyütmesi yükselerek ovanın ortasındaki zemin büyütmesi değerine ulaşmaktadır. Ovanın orta kısımlarında 0.4g ivme değerine sahip kuvvetli yer hareketlerinin etkisi altında meydana gelen zemin büyütmesi daha düşük ivme değerine sahip olan 0.2g ve 0.3g hareketlerdekilere yakın olduğu da görülmektedir.

Daha önceki bölümlerde, killi ve kumlu tabakalardan oluşan ovaların dinamik analiz sonuçlarında belirlendiği gibi Şekil 8.4'te verilen sonuçlar sadece ova yüzeyindeki noktaların anakaya göre maksimum zemin büyütmesi değerini vermektedir ve bu büyütmelemin hangi periyota ait olduğu konusunda hiç bir bilgi içermemektedir. Bu yüzden frekans tanım alanında ova yüzeyinin farklı noktalarının 0.1g ve 0.4g ivme değerine sahip anakaya hareketlerinin etkisi altındaki zemin büyütmesi eğrileri Şekil 8.5 ve 8.6'da verilmektedir. Bu şekillerde, Şekil 8.3'te de görüldüğü gibi, A noktasından F noktasına kadar verilen eğriler ovanın batısının, G noktasından L noktasına kadar verilen eğriler ovanın ortasının ve M noktasından R noktasına kadar verilen eğriler ise ovanın doğusunun zemin büyütmesi eğrişlerini göstermektedir.

Şekillerde ova yüzeyindeki noktaların maksimum zemin büyütmesi değerlerinin, özellikle doğu ve batı kısımlarda, farklı periyotlarda meydana geldikleri görülmektedir. Sonuçlara göre ovanın orta kısmı olarak bilinen F noktasından M noktasına kadar uzanan bölgedeki noktaların rezonans periyotları birbirine yakın olmaktadır. Bu noktaların rezonans periyodunun yaklaşık 1.5 saniye olmakla birlikte zemin büyütmesi eğrilerinin de birbirine çok yakın oldukları da görülmektedir. Bu da ovanın doğusunda F noktasından batısında ise M noktasından sonraki bölgenin dinamik davranışının anakaya eğiminden etkilenmediğini göstermektedir. Bu bölgedeki noktaların davranışıyla ilgili başka bir konu ise 0.1 saniye ile 1.5 saniye arasında yüksek zemin büyütmesi değerlerinin meydana gelmesidir. Bu da bu noktaların zemin büyütmesinin geniş bir periyot aralığına duyarlı olduğunu ifade etmektedir.

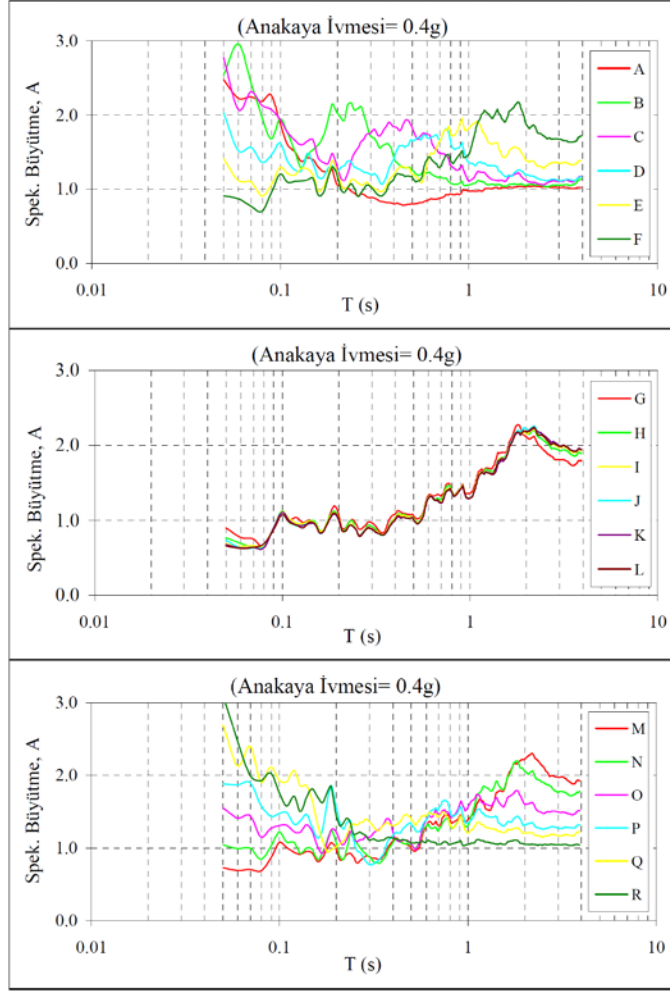
Şekil 8.5'e kabaca bakıldığında ovanın doğu tarafındaki noktaların zemin büyütmesi eğrilerinin arasındaki farklılığın ovanın batı tarafındaki eğrilerin arasındaki farklılıktan daha büyük olduğu görülmektedir.



Şekil 8.5 : Dinar Ovası'nın farklı noktalarının frekans tanım alanındaki zemin büyütmesi (0.1g).

Bu durum ovanın doğusunda bulunan daha düşük anakaya eğiminin Dinar ovası yüzeyindeki noktaların periyodik davranışını daha çok etkilediğini göstermektedir. Görüldüğü gibi ovanın doğusunda anakaya mostrasından uzaklaştıkça yüzeydeki noktaların rezonans periyotları değişmektedir. Örneğin, A noktasının rezonans periyodu 0.06 saniye iken bu değer B, C, D, E ve F noktaları için, sırasıyla, yaklaşık 0.18, 0.3, 0.4, 0.7 ve 1.2 saniye olmaktadır. Anakaya eğiminin daha büyük olduğu batısında da benzer bir durumla karşılaşılmaktadır. M, N, O, P, Q ve R noktalarının rezonans periyotları, sırasıyla, 1.54, 1.32, 0.33, 0.16, 0.12 ve 0.15 saniye olmaktadır.

Ovaya uygulanan anakaya hareketinin kuvvetinin artmasının ova yüzeyindeki noktaların periyodik davranışının üzerindeki etkisinin anlaşılması için daha kuvvetli 0.4g ivme değerine sahip hareketlerin etkisi altında ova yüzeyinin farklı noktalarının gösterdiği davranış Şekil 8.6'da verilmektedir.



Şekil 8.6 : Dinar Ovası'nın farklı noktalarının frekans tanım alanındaki zemin büyütmesi (0.4g).

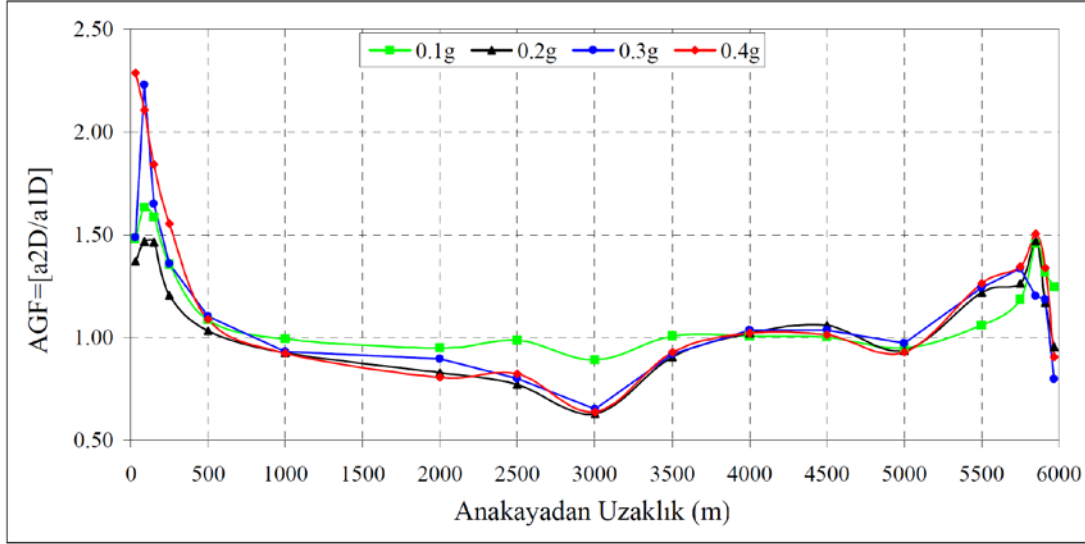
Görüldüğü gibi A noktasının rezonansı 0.1 saniyenin altında meydana gelmektedir. B, C ve D noktalarında ise, sırasıyla, 0.24, 0.47 ve 0.74 saniyedeki rezonansa ilaveten, 0.1 saniyenin altında da bir rezonansın meydana geldiği görülmektedir. E ve F noktaların rezonans periyodu ise yaklaşık 0.9 saniye ile 1.85 saniyede meydana gelmektedir. Elde edilen bu sonuçlar anakaya mostrasından uzaklaştıkça ova yüzeyindeki noktaların rezonans periyodunun yükselmesini ifade etmektedir. Ovanın orta kısımlarının 0.4g ivme değerine sahip hareketlerin etkisi altındaki zemin büyütmesi eğrilerine bakıldığında bu noktaların zemin büyütmesi eğrilerinin birbirine yakın oldukları görülmektedir. Bu da bu noktaların ova kenarından yeterince uzak olduklarından dolayı anakaya eğiminden pek etkilenmediklerini göstermektedir. Bu noktaların hepsinin rezonans periyodu yaklaşık 1.85 saniye olmaktadır.

Ovanın batı kısmında ise anakaya mostrasına yakın olan R ve Q noktalarının rezonans periyodunun 0.1 saniyenin altında meydana gelmektedir. Fakat anakaya mostrasından uzaklaştıkça O, N ve M gibi noktaların rezonans periyodu uzayarak yaklaşık 2 saniyeye ulaşmaktadır. Sonuçlar bu bölgede 0.2 saniye ile 1.5 saniye arasında önemli bir rezonansın meydana gelmediğini de göstermektedir.

Bu bölümde frekans ortamında anakaya hareketinin ivme değerinin artmasının zemin büyütmesi üzerindeki etkisinin anlaşılması için 0.1g ve 0.4g ivmeye sahip hareketlerinin etkisi altında meydana gelen zemin büyütmesi eğrileri karşılaştırılmıştır. 0.2g ve 0.3g ivme değerine sahip hareketlerin etkisi altında elde edilen sonuçlar ise ekte verilmektedir.

8.5 Dinar Ovası'nın İki Boyutlu Şiddet Faktörü

Daha önceden de kil ve kumdan oluşan ovaların dinamik davranışının araştırılmasında da söylendiği gibi şiddet faktörü eğrileri ovaların dinamik davranışlarının araştırılması için uygun bir yaklaşım olmamaktadır zira şiddet faktörü iki ve tek boyutlu analizlerden elde edilen maksimum mutlak ivme değerlerinin oranı olduğundan dolayı sadece iki yaklaşımdan elde edilen ivmelerle ilgilenmektedir. Bununla birlikte çalışmanın bu kısmında Dinar ovası boyunca meydana gelen şiddet faktörü eğrileri 4 farklı ivme değerine sahip deprem hareketlerinin etkisi altında verilmektedir. Şekil 8.7'de Dinar ovası yüzeyi boyunca elde edilen şiddet faktörleri eğrileri verilmektedir. Şekilde görüldüğü gibi ova kenarlarındaki farklı anakaya eğimlerinin etkisi elde edilen şiddet faktörü eğrilerine yansımaktadır. Ovanın doğusunda anakaya mostrasından 1000 metrelik bir mesafe içerisinde iki boyutlu analizden elde edilen maksimum mutlak ivme değerlerinin tek boyutlu yöntemindekinden %50 kadar daha büyük olduğu görülmektedir. Bu bölgede 0.1g, 0.2g ve 0.4g ivme değerine sahip hareketlerin etki altında meydana gelen maksimum şiddet faktörleri hemen hemen aynı olmaktadır. Ovanın doğusunda bulunan anakaya eğiminin ovanın ortasına kadara devam ettiğine rağmen yine de anakaya mostrasından 1000 metre ile 2000 metre arasında şiddet faktörünün hemen hemen 1 olduğu da dikkat çekmektedir.



Şekil 8.7 : Dinar Ovası'nın yüzeyi boyunca şiddet faktörünün değişimi.

Ovanın batısına bakıldığında farklı ivme değerine sahip hareketlerin etkisi altında elde edilen şiddet faktörü eğrilerinin birbirinden daha farklı oldukları görülmektedir. Bu bölgede meydana gelen maksimum şiddet faktörü 2.25'den daha büyük olmakla birlikte daha kuvvetli 0.3g ve 0.4g ivmeye sahip hareketlerin etkisi altında meydana gelmektedir. 0.2g ivme değerine sahip hareketlerin haricinde, ovanın batısında diğer kuvvetli hareketlerin etkisi altında meydana gelen şiddet faktörlerinin maksimumlarının ovanın doğusundakilerden daha büyük oldukları da görülmektedir. Bu bölgede de anakaya mostrasından 750 metrelik bir mesafeden sonra şiddet faktörü eğrileri 1 değerine yaklaşmaktadır.

Ovanın orta kısımlarına bakıldığında doğudaki anakaya mostrasından 1000 metre batısından ise 2000 metrelik bir mesafeden sonra şiddet faktörü eğrilerinin 1'den daha küçük bir değer bulmaktadır. Sonuçlara göre 0.1g ivme değerine sahip hareketlerin şiddet faktörü eğrisi daha kuvvetli hareketlerinkinden bir az farklı olmaktadır. Bir de 0.2g, 0.3g ve 0.4g ivme değerine sahip hareketlerin eğrilerinin de birbirine çok yakın oldukları da açıkça görülmektedir. Ova boyunca meydana gelen en düşük şiddet faktörü ise 0.65 değerle ovanın ortasında meydana gelmektedir.

8.6 Sonuç

Tez çalışmasının bu bölümünde simetrik olmayan ve yatay yönde sınırlı ve eğimli anakayaya sahip olan Dinar Ovası'nın iki boyutlu dinamik analizi yapılmıştır. Bu amaçla ilk önce Dinar Ovası'nda yapılan arazi çalışmalarının sonuçlarını göz önüne

olarak bu ovanın D-B doğrultusundaki idealleştirilmiş geometrisi elde edilmiştir. Elde edilen iki boyutlu idealleştirilmiş ova modelinin dinamik analizi için geoteknik mühendisliği alanında başarılı olan ve sonlu farklar yöntemiyle çalışan FLAC3D yazılımı kullanılmıştır. Yapılan ova modeline 16 adet kuvvetli yer hareketi uygulanarak ovanın dinamik davranışları incelenmektedir. Elde edilen sonuçların değerlendirilmesinden ova yüzeyi boyunca farklı deprem ivme değerleri için hesaplanmış olan zemin büyütmesi ve şiddet faktörü eğrileri sunulmuştur.

Sonuçlar Dinar Ovası'nın dinamik davranışının iki boyutlu anakaya eğiminden etkilendiğini göstermektedir. Ovanın doğu ve batısındaki anakayanın simetrik olmadığı ova yüzeyi boyunca meydana gelen zemin büyütmesi ve şiddet faktörü eğrilerini etkilemektedir. Buna göre, ovanın doğusundaki 6° anakaya eğiminin etkisi anakaya mostrasından 1500 metreye kadar ovanın batısındaki 20° anakaya eğiminin etkisi ise anakaya mostrasından 700 metreye kadar etkin olmaktadır. Ova yüzeyinin farklı noktalarının frekans tanım alanındaki davranışlarının incelenmesinden bu noktalarda elde edilen maksimum zemin büyütmelerinin farklı periyotlarda meydana geldikleri ortaya çıkmaktadır.

Şiddet faktörünün sadece bir ve iki boyutlu analizlerden elde edilen mutlak maksimum ivmelerinin arasındaki farkı gösterdiği göz önüne alındığında bu parametrenin ovaların dinamik davranışının araştırılmasında kullanımının yanıltıcı olabileceği düşünülmekle birlikte, bir fikir oluşturması açısından, bu çalışmada Dinar ovası boyunca şiddet faktörü eğrilerinin değişimi hesaplanarak sunulmuştur. Sonuçlar anakaya eğiminin daha büyük olduğu batı kısmındaki şiddet faktörünün anakaya eğiminin daha düşük olduğu doğu kısmındakine göre daha büyük olduğunu göstermektedir. Ovanın kenarlarından uzak olan orta kısmında beklenen 1 değerine yakın şiddet faktörüne rağmen bu bölgede meydana gelen şiddet faktörünün 1'den daha küçük olduğu görülmektedir. Bunun da simetrik olmayan ovanın doğusundaki anakaya eğiminin ovanın ortasına kadar uzanarak bu bölgenin hem 2D hem de 1D maksimum mutlak ivme değerini etkilemesinden kaynaklandığı anlaşılmaktadır.

9. DEĞERLENDİRME

Depremlerde anakaya seviyesinden yüzeye doğru ilerleyen deprem dalgalarının özellikleri yerel koşullardan etkilenecek şekilde değişmektedir. Bu çalışmada, ova gibi yatay yönde sınırlı zemin tabakalarına sahip oluşumlardaki anakaya geometrisinin dinamik yükler altında yüzeyde oluşan yer hareketi özelliklerine etkisi incelenmiştir.

Tek boyutlu dinamik analizler geoteknik mühendisliğinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak birçok deprem sırasında meydana gelen hasar dağılımının incelenmesinden tek boyutlu analizlerin zemin büyütmesinin tahmininde yetersiz olduğu anlaşılmaktadır. Bu nedenle yerel etkilerin araştırılmasında iki veya üç boyutlu analizlerin yapılmasının gerekli olduğu ortaya çıkmaktadır. Bir sahanın kapsamlı geoteknik incelemeler sonucu yeraltı haritasının belirlenmesi ve onun gerçek topoğrafyası kullanılarak dinamik analizlerin yapılması zor ve pahalı olmaktadır. Bu nedenle dinamik analizler genelde idealleştirilmiş zemin ve geometriye dayanan modeller üzerinde yapılmaktadır.

Bu amaçla idealleştirilmiş alüvyonel ovaların geometrisine sahip modeller üzerinde bir ve iki boyutlu dinamik analizler yapılarak anakaya eğimi ve farklı zemin cinslerinin yeryüzü hareketinin üzerinde olan etkileri araştırılmıştır. Ova yüzeyi boyunca 16 adet farklı kuvvetli yer hareketi etkisi altında elde edilen değerler zemin büyütmesi ve şiddet faktörü eğrileri şeklinde sunulmaktadır. İki boyutlu hipotetik modellerin dinamik analizinin yanı sıra yatay yönde sınırlı ve eğimli anakaya sınırına sahip Dinar Ovası'nın farklı bölgelerinde gösterdiği dinamik davranışın değişimi elde edilerek bu vadinin kenarlarında meydana gelen yüksek hasar dağılımını etkileyen parametrelerin anlaşılmasına çalışılmıştır. Bu çalışma kapsamında yapılmış olan dinamik analizlerden elde edilen sonuçlar, sırasıyla, tek tabakalı kil, tek tabakalı kum ve üst tabakası farklı kil çeşidinden oluşan ovalar için sunulmaktadır.

9.1 Kil Zeminden Oluşan Ovaların Dinamik Davranışı

Çok katı ve katı kilden oluşan ovaların 0.1g ivme değerine sahip hareketlerin etkisi altında gösterdiği zemin büyütmesinin daha kuvvetli hareketlerdekine göre farklı olduğu görülmektedir. Bu durumda, daha düşük 0.1g ivmesine sahip hareketlerde maksimum zemin büyütmesi ovanın orta kısımlarında meydana gelmiş iken, daha kuvvetli hareketlerin etkisi altındaki zemin büyütmesi ovanın kenarlarına sınırlı kalmaktadır. Bu da ovanın kenarlarında daha kuvvetli hareketlerin etkin olduklarını ifade etmektedir. Ayrıca, çok katı ve katı kilden oluşan ovalarda 10° anakaya eğiminin etkisinin üstün olduğu görülmektedir.

Yumuşak kilden oluşan ovalara bakıldığında farklı ivme değerine sahip hareketlerin etkisinin altında elde edilen zemin büyütmesi düzeninin birbirine yakın oldukları görülmektedir. Sonuçlara göre yumuşak kilden oluşan ovalarda maksimum zemin büyütme miktarı ovanın orta kısmında meydana geldikleri görülmektedir. Bir de, bu durumda ovadaki zemin büyütmesi düzeninin anakaya eğiminden pek etkilenmediği de anlaşılmaktadır. Gerçi farklı kil çeşidinden oluşan ovalar arasında en yüksek zemin büyütmesi değeri yumuşak kilden oluşan ovalarda ve anakaya mostrasından uzak bölgede görülmektedir fakat ova kenarlarındaki maksimum zemin büyütmesi katı kilden oluşan ovalarda meydana gelmektedir.

Ovaların frekans tanım alanındaki davranışları ovanın farklı noktalarında meydana gelen maksimum zemin büyütmesinin farklı periyotlara ait olduğunu göstermektedir. Görüldüğü gibi, anakaya mostrasına daha yakın noktaların rezonansı daha düşük periyotlarda meydana gelmiş iken, anakaya mostrasından daha uzak noktalarinki daha büyük periyotlarda meydana gelmektedir. Ayrıca, anakaya hareketinin kuvvetinin artması çok katı ve katı kilden oluşan ovalarda anakaya mostrasından aralı noktaların rezonans periyodunu yükseltmektedir. Yumuşak kilden oluşan ovaların rezonans periyodunun uygulanan anakaya hareketinin ivme değerinin artmasından pek etkilenmediği de görülmektedir.

Çok katı kilden oluşan ovaların farklı noktalarında yapılmış olan tek boyutlu analizleri kullanarak ova yüzeyi boyunca elde edilen şiddet faktörünün değişiminin incelenmesinden daha hafif 0.1g ivme değerine sahip hareketlerin etkisi altında elde edilen şiddet faktörünün düzeni daha güçlü hareketlerin etkisi altındakilerden farklı olduğunu göstermektedir. Anakayaya etkiyen kuvvetli hareketlerin ivmesinin

artmasıyla ova boyunca şiddet faktörü artmaktadır. Bu durumda en yüksek şiddet faktörleri anakayanın etkisi altındaki ovaların kenarlarında görülmektedir. Çok katı killerden oluşan ovalarda en büyük şiddet faktörünün düşük anakaya eğimine ait olmaktadır.

Katı kilden oluşan ovalarda da 0.1g ivme değerine sahip hareketlerin etkisinin altında meydana gelen şiddet faktörü daha kuvvetli hareketlerdekine göre daha düşük olmaktadır. Bu da daha hafif hareketlerin etkisi altında tek ve iki boyutlu analizlerden elde edilen maksimum mutlak ivme değerlerinin birbirine yakın olduğunu göstermektedir. Daha kuvvetli anakaya hareketlerde ova kenarlarındaki eğimli anakayanın şiddet faktörü üzerindeki etkisi artmaktadır. 0.3g ve 0.4g ivme değerine sahip hareketlerin etkisi altında ova kenarlarındaki anakaya eğimlerinin etkisi daha büyük olmaktadır.

Yumuşak kilden oluşan ovalarda 0.1g ivme değerine sahip hareketlerde meydana gelen şiddet faktörü diğer kil çeşidinden oluşan ovalardakinden daha büyük olmaktadır. Ayrıca, şiddet faktörü eğrilerinin ovaların kenarlarındaki anakaya eğimlerden etkilendiği de açıkça görülmektedir. Daha kuvvetli olan 0.3g ile 0.4g ivme değerine sahip anakaya hareketlerinin etkisi altında meydana gelen şiddet faktörünün daha büyük olan 40° anakaya eğiminden etkilendiği görülmektedir.

Bu çalışmada, 0.1g ivme değerinden daha büyük ivmelere sahip hareketlerin etkisi altında, farklı anakaya eğimleri ve farklı kil çeşitlerinden oluşan ovaların şiddet faktörünün incelenmesinden iki boyutlu geometriye sahip ovalarda tek boyutlu analizden elde edilen maksimum mutlak ivme değerinin anakaya mostrasından 500 metre mesafeden sonra geçerli olduğu görülmektedir.

9.2 Kum Zeminden Oluşan Ovaların Dinamik Davranışı

Elde edilen sonuçlar farklı kum çeşidinden oluşan ovaların dinamik davranışının ovanın iki boyutlu geometrisinden etkilendiğini ve sadece anakaya mostrasından uzak bölgelerin davranışının tek boyutlu analizle tahmin edilebileceğini göstermektedir. Çeşitli kumdan oluşan ovaların kenarlarındaki anakaya eğiminin sadece elde edilen zemin büyütmesinin maksimumu değil belki ova yüzeyinde bu maksimumların meydana geldikleri konumu da etkilediği anlaşılmaktadır.

0.1g ivme değerine sahip hareketlerin etkisi altına sıkı kumdan oluşan ve farklı anakaya eğimine sahip ovaların zemin büyütmesi eğrilerinin birbirine yakın oldukları görülmektedir. Bu durumda tüm anakaya eğimlerinde meydana gelen zemin büyütmesinin maksimumları anakaya mostrasından daha uzak bölgelerde meydana gelmektedir. Ovalara uygulanan hareketlerin kuvvetinin artmasıyla ova yüzeyinde meydana gelen maksimum zemin büyütmesinin değerinin yükselmesiyle birlikte anakaya eğiminin etkisinin artması da görülmektedir.

Orta sıkı kumdan oluşan ovaların lineer olmayan dinamik analizinden elden sonuçlara bakıldığında meydana gelen maksimum zemin büyütmesi değerleri sıkı kumdan oluşan ovalardakine göre daha büyük olmaktadır. Ayrıca, ova yüzeyi boyunca görülen zemin büyütmesi düzeninin de değiştiği görülmektedir. Ovaya etkiyen anakaya hareketinin kuvvetinin artmasıyla farklı anakaya eğimine sahip ovaların dinamik davranışı da değişmektedir. Anakaya hareketinin ivme değeri 0.4g'ye yükseldiğinde ovanın farklı anakaya eğimlerinin etkisi altında gösterdiği zemin büyütmesi eğrileri arasındaki benzerlik dikkat çekmektedir.

Gevşek kumdan oluşan ovaların 0.1g ivme değerine sahip hareketlerin etkisi altındaki davranışının önemli özelliği zemin büyütmesinin anakaya mostrasına yakın bölgelerde daha düşük oldukları, ovanın orta kısımlarına ilerledikçe zemin büyütmesinin artmasıdır. Bu durumda meydana gelen zemin büyütmesi diğer kum çeşidinden oluşan ovalardakinden daha büyük olduğu ayrıca ova yüzeyinin büyük bir kısmının yüksek zemin büyütmesi etkisinin altında olduğu da görülmektedir. Gevşek kumlardan oluşan ovalarda 30° anakaya eğimi ve 0.2g ivme değerine sahip hareketlerin etkisi altında meydana gelen farklı zemin büyütmesi düzeninin nedeni 12 Kasım 1999 Düzce depremiyle alakalı olduğu düşünülmektedir.

Kumdan oluşan ovaların frekans tanım alanındaki davranışlarına bakıldığında ise ovanın farklı noktalarında meydana gelen maksimum zemin büyütmesinin farklı periyotlara ait olduğu görülmektedir. Daha önceden kil cinsinden oluşan ovaların dinamik davranışının frekans tanım alanında incelenmesinde de görüldüğü gibi, anakaya mostrasına yakın noktaların rezonans periyodunun daha düşük olduğu, ovanın orta kısımlarına ilerledikçe zemin büyütmesinin maksimumlarının daha yüksek periyotlarda meydana geldikleri görülmektedir.

Şiddet faktörü eğrilerine bakıldığında sıkı kumdan oluşan ovaların farklı noktalarında yapılmış olan tek boyutlu analizleri kullanarak ova yüzeyi boyunca elde edilen şiddet faktörünün değişiminin incelenmesinden 0.1g, 0.2g ve 0.3g ivme değerine sahip hareketlerin etkisi altında anakaya mostrasından yaklaşık 100 metrelik bir mesafe içerisinde şiddet faktörünün 1'den daha az olduğu görülmektedir. Bu da bu durumda sıkı kumlardan oluşan ovaların anakaya mostrasına yakın bölgelerde tek boyutlu analizden elde edilen maksimum mutlak ivme değerlerinin iki boyutlu analizlerdekinden daha büyük olduğunu ifade etmektedir. Sonuçlar sıkı kumdan oluşan ovaların şiddet faktörünün anakayaya uygulanan hareketin ivme değerinin artmasından etkilendiğini göstermektedir. En büyük şiddet faktörü en kuvvetli 0.4g ivme değerine sahip hareketlerin etkisi altında meydana gelerek anakayaya etkiyen hareketin gücünün artmasıyla tek ve iki boyutlu analizden elde edilen sonuçların arasındaki farkın büyüdüğünü göstermektedir.

Orta sıkı kumdan oluşan ovalarda, anakaya mostrasından 100 metrelik bir mesafe içerisinde 0.1g ivme değerine sahip hareketlerin etkisi altında görülen davranışın haricinde, diğer anakaya eğimleri ve ivme değerleri etkisinin altında iki boyutlu analizden elde edilen maksimum mutlak ivme değerlerinin tek boyutlulardan daha büyük olduğu görülmektedir. Sonuçlar anakayaya etkiyen hareketin kuvvetinin artmasının ova kenarlarında meydana gelen şiddet faktörünün yükselmesine neden olduğunu göstermektedir. Bir de orta sıkı kumdan oluşan ovalarda elde edilen şiddet faktörünün sıkı kumdan oluşan ovalardakinden daha büyük olduğu görülmektedir.

Sonuçlar gevşek kumdan oluşan ovaların kenarlarında anakaya eğiminden etkilenecek meydana gelen şiddet faktörünün sıkı ve orta sıkı kumdan oluşan ovalarda görülene göre daha yüksek olduğunu göstermektedir. Gevşek kumdan oluşan ovaların kenarlarında tüm anakaya ivme değerleri ve eğimleri etkisi altında iki boyutlu analizden elde edilen maksimum mutlak ivme değeri tek boyutludan daha büyük olmaktadır. 0.3g ivme değeri ve 30° anakaya eğiminin etkisi altında meydana gelen yüksek şiddet faktörü eğrisinin nedeni 12 Kasım 1999 Düzce depreminin olağan üstü özelliklere sahip olduğuyla alakalı olmaktadır.

9.3 İki Tabakalı Zeminden Oluşan Ovaların Dinamik Davranışı

Sonuçlar tek ve iki tabakalı ovaların davranışının meydana gelen zemin büyütmesinin maksimum değeri ve bu maksimumların meydana geldiği konumlar

açısından farklı olduklarını göstermektedir. Ayrıca ovaların kenarlarının düşük periyotlara, anakaya mostrasından daha uzak noktaların ise daha büyük periyotlara duyarlı oldukları da görülmektedir.

İki boyutlu tek ve iki tabakalı ovaların dinamik davranışının arasındaki farklarla ilaveten, diğer önemli bir fark ise bu ovalarda anakaya mostrasından uzaktaki noktaların rezonans periyodundaki farktır. Sonuçlar modellerin neredeyse hepsinde tek tabakalı ovaların anakaya mostrasından uzak bölgelerdeki noktaların rezonans periyodunun iki tabakalı ovalara göre daha düşük olduğunu göstermektedir.

Tek ve iki tabakalı ovalarda meydana gelen maksimum zemin büyütmesi ovalara uygulanan anakaya hareketinin kuvvetinin artmasıyla da değişmektedir. Katı kilden oluşan ovalarda 0.1g ivme değerine sahip hareketlerin etkisi altında tek tabakalı ovaların maksimum zemin büyütmesi iki tabakalı ovalardakinden daha büyükken, daha kuvvetli anakaya hareketlerin etkisi altında iki tabakalı ovalardaki zemin büyütmesinin daha büyük olduğu görülmektedir. Yumuşak kilden oluşan ovalara gelince katı kilden oluşan ovalarda görülen düzenin değiştiği görülmektedir. Bu durumda 0.1g ivme değerine sahip hareketlerin etkisi altında tek tabakalı ovaların maksimum zemin büyütmesi iki tabakalı ovalardakinden daha düşük olduğu ortaya çıkmaktadır. Sonuçlar daha kuvvetli anakaya hareketlerinin etkisi altında iki tabakalı ovaların maksimum zemin büyütmesinin daha büyük olduğunu göstermektedir.

Katı ve yumuşak kilden oluşan ovalarda görülen düzene rağmen, çok katı kilden oluşan ovaların davranışında özel bir düzen görülmektedir. Bir de, farklı kil cinsinden oluşan ovalar arasında en düşük zemin büyütmesi tek tabakalı çok katı kilden oluşan ovalarda meydana gelmektedir. En büyük zemin büyütmesi ise iki tabakalı yumuşak kilden oluşan ovalarda meydana gelmektedir. Ayrıca, sonuçlar ova ortasında meydana gelen en büyük zemin büyütmesinin de iki tabakalı yumuşak kilden oluşan ovaya ait olduğunu da göstermektedir.

Ovaların yüzeyinin farklı noktalarında yapılmış olan tek boyutlu analizleri kullanarak ova yüzeyi boyunca 0.1g ivme değerine sahip hareketlerin etkisi altında üst tabakası çok katı kilden oluşan ovaların şiddet faktörünün tek tabakalı çok katı kilden oluşan ovalardakine yakın olduğu görülmektedir. Anakaya hareketinin maksimum ivme değeri yükseldiğinde tek ve iki tabakalı ovaların şiddet faktörleri eğrileri arasındaki

fark artmaktadır. Sonuçlar, iki tabakalı ovaların şiddet faktörünün tek tabakalılarından daha az olduğunu göstermektedir.

Üst tabakası katı kilden oluşan ovaların şiddet faktörü 0.1g ivme değerine sahip hareketlerin etkisi altında çok katı kilden oluşan ovalardakine göre daha büyük olmaktadır. 0.1g ivme değerinden daha büyük ivmeye sahip hareketlerin etkisi altında iki tabakalı ovalarda meydana gelen şiddet faktörlerinin tek tabakalılarından daha düşük olduğu da ortaya çıkmaktadır. 0.4g'den daha düşük ivme değerine sahip hareketlerin etkisi altında elde edilen sonuçlara bakıldığında bazı anakaya eğimlerin etkisi altında anakaya mostrasına yakın bölgelerde şiddet faktörün 1'den daha küçük olduğu görülmektedir. Fakat anakaya eğimlerinden etkilenen ova kenarlarının genelde iki boyutlu analiz sonuçlarının etkisi altında oldukları da görülmektedir.

Üst tabakası yumuşak kilden oluşan ovaların şiddet faktörü eğrilerinin düzenine bakıldığında bu eğrilerin diğer kil çeşitlerindekiyle göre ova kenarlarındaki anakaya eğiminden daha çok etkilendikleri görülmektedir. Anakaya mostrasına yakın bir bölgede 40° anakaya eğiminin 0.1g ivme değerine sahip hareketlerin etkisinin altında gösterdiği 1'den daha küçük şiddet faktörünün haricinde, yumuşak kilden oluşan ovaların kenarlarında iki boyutlu analizden elde edilen maksimum mutlak ivme değerinin üstün oldukları görülmektedir. Yumuşak kilden oluşan tek ve iki tabakalı ovalarda elde edilen en büyük şiddet faktörünün birbirine yakın olduğuna rağmen bu maksimumların farklı anakaya eğimi etkisi altında meydana geldikleri de dikkat çekmektedir.

9.4 Dinar Ovası'nın Dinamik Davranışı

Alüvyonel ovaların dinamik yükler altında gösterdiği dinamik davranışın önemli derecede anakaya eğimi ve dinamik yüklerin özellikleriyle alakalı olmaktadır. Bu çalışmada anakaya eğimi ve zemin tabakalarının yanal süreksizliklerinden kaynaklanan etkilerin anlaşılması için farklı anakaya eğimine sahip simetrik ovaların dinamik davranışının incelenmesinin yanı sıra gerçek iki boyutlu ve simetrik olmayan bir ovanın dinamik analizinin yapılması planlanmıştır. Bu amaçla depremler sırasında farklı bölgelerinde meydana gelen farklı hasar dağılımının yatay yönde sınırlı ve eğimli anakayadan kaynaklandığı düşünülen Dinar Ovası'nın iki boyutlu lineer olmayan yöntem kullanılarak dinamik analizi yapılmıştır.

Bu çalışmada ilk önce birçok araştırmacı tarafından yapılan arazi çalışmaları sonucu belirlenmiş olan Dinar Ovası'nın D-B doğrultusundaki jeolojik enkesitini kullanarak bu ovanın idealleştirilmiş geometrisi elde edilmiştir.

Elde edilen sonuçlar Dinar Ovası'nın kenarlarında meydana gelen zemin büyütmesinin iki boyutlu anakaya eğiminden etkilendiğini göstermektedir. Ova kenarlarında meydana gelen en yüksek zemin büyütmesi doğuda yaklaşık 3.8 batıda ise 3.7 olmaktadır. Sonuçlar ovanın doğu ve batısında birbirine yakın en büyük zemin büyütmesinin meydana geldiğini göstermektedir fakat bu büyütme farklı anakaya ivmesine sahip hareketlerin etkisi altında meydana gelmektedir. Farklı ivme değerine sahip anakaya hareketlerinin etkisi altında meydana gelen maksimum zemin büyütmesi değerleri, 0.3g ivme değerine sahip hareketler hariç, ovada daha düşük anakaya eğimine sahip olan doğu bölgesinde anakaya eğiminin daha büyük olduğu batısındakine göre daha yüksek olmaktadır. Eğimli anakayanın iki boyutlu etkisi ovanın doğusundaki anakaya mostrasından yaklaşık 1500 metreye kadar uzanmış iken, ovanın batısındaki anakaya mostrasından sadece 700 metreye kadar etkin olduğu görülmektedir.

Ovanın doğu tarafındaki anakaya eğiminin ovanın ortasına kadar uzandığına rağmen yüzeydeki zemin büyütmesinin sadece 1500 metreye kadar anakaya eğiminden etkilendiği Dinar Ovası'nda zemin büyütmesinin 150 metreden daha derinde olan eğimli anakayadan pek etkilenmediğini göstermektedir.

Ova yüzeyi boyunca farklı anakaya ivmesi değerine sahip hareketlerin etkisi altında elde edilen zemin büyütmesi eğrilerine bakıldığında Dinar Ovası'nın dinamik davranışının ovaya etkiyen anakaya hareketinin kuvvetinin artmasından da etkilendiği görülmektedir. Anakaya mostrasından aralı bölgelerde anakaya eğiminden kaynaklanan iki boyutlu davranışın etkili olduğu bölgenin haricinde 0.1g ivme değerine sahip olan hareketlerin etkisi altında meydana gelen zemin büyütmesi daha kuvvetli hareketlerdekine göre daha büyük olmaktadır. Ovanın tek boyutlu davranışı olarak bilinen bu bölgede 0.1g'den daha kuvvetli hareketlerin etkisi altında meydana gelen zemin büyütmesinin hemen hemen aynı olduğu görülmektedir.

Dinar Ovası'nın yüzeyinin farklı noktalarının frekans tanım alanındaki davranışın incelenmesinden ova yüzeyindeki noktaların maksimum zemin büyütmesi değerlerinin, özellikle doğu ve batı kısımlarda, farklı periyotlarda meydana geldikleri

görülmektedir. Bir de ovanın doğu tarafındaki noktaların zemin büyütmesi eğrilerinin arasındaki farklılığın ovanın batı tarafındaki eğrilerin arasındaki farklılıktan daha büyük olduğu da görülmektedir. Dinar Ovası'nın frekans tanım alanındaki davranışı anakaya hareketinin kuvvetinin artmasından da etkilenmektedir.

Ova yüzeyi boyunca elde edilen şiddet faktörü eğrilerinin değişimi Dinar Ovası'nın kenarlarında iki boyutlu analiz yönteminden elde edilen maksimum mutlak ivme değerlerinin tek boyutlu analizden elde edilen ivmelerden daha büyük olduğunu göstermektedir. Anakaya eğiminin daha büyük olduğu batı tarafındaki şiddet faktörünün doğu tarafındakine göre daha büyük olduğu da görülmektedir. Ovanın ortasında beklenen birbirine yakın 1D ve 2D maksimum mutlak ivme değerlerine rağmen bu bölgede şiddet faktörünün 1'den daha küçük olduğu görülmektedir. Elde edilen sonuçlardan simetrik olmayan ovanın doğusundaki anakaya eğiminin ovanın ortasına kadar uzanarak bu bölgenin hem 2D hem de 1D maksimum mutlak ivme değerini etkilediğinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

10. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, anakaya eğiminin zemin büyütmesine etkisini incelemek amacıyla idealleştirilmiş ova geometrisine sahip modeller üzerinde farklı genlik ve frekans içeriğine sahip kuvvetli yer hareketi ivme kayıtları kullanılarak bir ve iki boyutlu dinamik analizler yapılmış, anakaya eğimi ve farklı zemin cinslerinin yeryüzü hareketinin özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Çalışmada yapılan analizlerden elde edilen sonuçlar kapsamlı bir şekilde bölümler halinde verilmiştir.

Birçok dalga formundan oluşan ve karmaşık bir yapıda olan bir deprem hareketi etkisi altında, iki boyutlu geometriye ve farklı zemin koşullarına sahip ovaların dinamik davranışının anakaya eğiminden etkilendiği ortaya çıkmakta ancak zemin büyütmesi düzeni hakkında genel veya birçok koşulu kapsayan kuralın ortaya çıkmayabileceği anlaşılmaktadır.

Ovaların yüzeyi boyunca elde edilen sonuçlar eğimli anakayanın ovanın dinamik davranışına etkisinin anakaya mostrasından genelde 500 metrelik bir mesafe içerisinde sınırlı kaldığını göstermektedir. Ova yüzeyindeki farklı noktaların frekans tanım alanındaki dinamik davranışının incelenmesinden, anakaya mostrasına daha yakın noktaların rezonansının daha düşük periyotlarda, anakaya mostrasından daha uzak noktalarinki ise daha büyük periyotlarda meydana geldiği görülmektedir. Buna göre, ovanın farklı noktalarının farklı periyotlara duyarlı oldukları ortaya çıkmaktadır.

Anakayalara etkiyen hareketin ivmesinin artması ova yüzeyinde oluşan hareketin özelliklerinin, dolayısıyla zemin büyütmesini ve en büyük değerini etkilemektedir. Ovanın orta kısımlarındaki rezonans periyodu anakayaya etkiyen hareketlerin ivme değeri arttıkça büyümektedir.

Ovaların dinamik davranışı, ovadaki zeminin tabakasının sayısı arttıkça değişmektedir. Sonuçlar modellerin neredeyse hepsinde tek tabakalı ovaların anakaya mostrasından uzak bölgelerdeki noktaların rezonans periyodunun iki tabakalı ovalara göre daha düşük olduğunu göstermektedir.

Simetrik olmayan ve yatay yönde sınırlı ve eğimli anakayaya sahip olan Dinar Ovası'nın dinamik analizinden elde edilen sonuçlara bakıldığında ovanın dinamik davranışının ikinci boyutun etkisi altında olduğu görülmektedir. Ovanın doğusunda ve batısında farklı anakaya eğimi olduğundan farklı davranışlar elde edilmiştir. Dinar Ovası'nda zemin büyütmesinin, belli bir derinlikten sonra anakaya eğiminden pek etkilenmediği anlaşılmaktadır.

Şiddet faktörü sadece bir ve iki boyutlu analizlerden elde edilen mutlak maksimum ivmelerin oranı olduğundan bu parametrenin ovaların dinamik davranışının araştırılmasında kullanımının yanıltıcı olabileceği düşünülmektedir. Bu gerçek göz önüne alınarak, tek boyutlu dinamik analizlerin geoteknik deprem mühendisliğinde yaygın olarak kullanılmasına rağmen, tek boyutlu analizlerden elde edilen sonuçların iki veya üç boyutlu geometriye sahip ovaların özellikle kenarlarında meydana gelen zemin büyütmesinin tahmininde yetersiz olduğu ortaya çıkmaktadır.

Yanal süreksizliklerin bulunduğu durumlarda zemin büyütmesinin üçüncü boyuttan da etkilenebileceği bilinmektedir. Bu çalışmada yapılan dinamik analizler iki boyutlu analizlerle sınırlı tutulmuştur. Bu nedenle, sonradan yapılacak araştırmalarda üçüncü boyutun etkisi de dikkate alınarak 3D analizlerin yapılması ve sonuçların karşılaştırılması önerilmektedir. Ayrıca, anakaya hareketinin SV, SH ve P bileşenlerinin bir arada uygulanması ve genelde kullanılan SV hareketinin etkisi altında meydana gelen sonuçlarla karşılaştırılması da ayrıca önerilmektedir.

KAYNAKLAR

- Alvarez, S., Sanchez-Sesma, F. J., Benito, J., Alarcon, E.** (2004). The direct boundary element method: 2D site effects assessment on laterally varying layered media (methodology), *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 24, 167-180.
- Amornwongpaibun, A., Lee, V. W.** (2013). Scattering of anti-plane (SH) waves by a semi-elliptical hill: II- deep hill, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 52, 126–137.
- Ansal, M. A., İyisan, R. and Güllü, H.** (2001). Microtremor measurements for the microzonation of Dinar, *Pure and Applied Geophysics*, 158, 2525-2541.
- Assimaki, D., Gazetas, G.** (2004). Soil and topographic amplification on canyon banks and the 1999 Athens earthquake. *Journal of Earthquake Engineering*, 8(1),1-43.
- Assimaki, D., Jeong, S.** (2011). Coupled topography-stratigraphy effects during the m 7.0 Haiti earthquake: the case of hotel Montana, *4th IASPEI / IAEE International Symposium*, University of California Santa Barbara.
- Avila-Carrera, R., Sanchez-Sesma, F. J.** (2013).The variational projection method (VPM): A modern technique to simulate the seismic response of shallow alluvial valleys, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 50, 134–142.
- Bakır, B. S., Özkan, M.Y., Ciliz, 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, 1263–86.
- 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, 1921–41.
- Beyen, K.** (1997) *Study of two dimensional nonlinear analysis of site response.* (Doktora tezi). Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul.
- Bravo, M.A., Sanchez-Sesma, F. J., Chavez-Garcia, F.J.** (1988). Ground motion on stratified alluvial deposits for incident SH waves, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 78, 436–50.
- Borcherdt, R.D.** (1970). Effects of local geology on ground motion near San Francisco Bay, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 60, 29-61.

- Cadet, H., Macau, A., Benjumea, B., Bellmont, F., Figueras, S.** (2011). From ambient noise recording to site assessment: The case study of Barcelona microzonation, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 31, 271-281.
- Chavez-Garcia, F. J., Manakou, M. V., Raptakis, D. G.**(2014). Sub soil structure and site effects: Acomparision between results from SPAC and HVSR insites of complex geology *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 57, 133–142.
- Chavez-Garcia, F. J., Raptakis, D., Makra, K., Pitilakis, K.** (2000). Site effects at Euroseistest- II. Results from 2D numerical modeling and comparison with observations, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 19, 23-39.
- Cundall, P. A.** (2001). *FLAC Manual: A Computer Program for Fast Lagrangian Analysis of Continua (First Revision)*. Minneapolis, Minnesota, USA.
- Cundall, P. A.** (2009). *FLAC Manual: A Computer Program for Fast Lagrangian Analysis of Continua (Fourth Edition)*. Minneapolis, Minnesota, USA.
- Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik**, 2007. T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Mart 2007.
- 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.
- 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.
- Faccioli, E., Vanini, M. and Frassiné, L.** (2002). Complex site effects in earthquake ground motion, including topography, *12th European Conference on Earthquake Engineering*, Paper Reference: 844.
- Finn, W.D., Zhai, E., Thavaraj, T., Hao, X.S., Ventura, C. E.** (2003). 1-D and 2-D analyses of weak motion data in Fraser Delta from 1966 Duvall earthquake, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 23, 323-329.
- Frankel, A.** (1993). Three dimensional simulation of ground motion in the Santa Bernardino Valley, California, for hypothetical earthquake on the San Andreas fault, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 83, 1020–1041.
- Gelagoti, F., Kourkoulis, R., Anastasopoulos, I., Tazoh, T., Gazetas, G.** (2010). Seismic wave propagation in a very soft alluvial valley: sensitivity to ground-motion details and soil nonlinearity, and generation of a parasitic vertical component, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 100(6), 3035–3054.
- Gil-Zepeda, S. A., Montalvo-Arrieta, J. C., Vai, R., Sanchez-Sesma, F. J.** (2003). A hybrid indirect boundary element-discrete wave number method applied to simulate the seismic response of stratified alluvial valleys, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 23, 77-86.

- Goto, H. and Sawada, S.** (2004). Numerical simulation of strong ground motion on Adapazarı basin during the 1999 Kocaeli, Turkey, earthquake, 13th World conference on earthquake engineering, Vancouver, B.C., Canada, Paper No. 720.
- Güllü. H.** (2001). *Dınarın Zemin büyütmelerine göre coğrafik bilgi sistemleri ile mikrobölgelemesi* (Doktora tezi). İTÜ Fen Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- Hartzell, SH.** (1992). Site response estimation from earthquake data, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 82,2308-27.
- Hartzell, SH.** (1994). Variability in nonlinear sediment response during the 1994 Northridge, California, earthquake, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 88(6), 1426-37.
- Haşal, M. E.** (2008). *Topoğrafik düzensizlikle zemin büyütmesine etkisi* (doktora tezi). İTÜ Fen Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- Hasal, M. E., and İyisan, R.** (2012). Effect of edge slope on soil amplification at a two dimensional basin model, 15th WCEE, Lisbona, Paper no: 4455.
- Heymsfield, E.** (2000). Two-dimensional scattering of SH waves in a soil layer underlain with bedrock, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 19, 489-500.
- İyisan, R.** (1996). *Geoteknik özelliklerin belirlenmesinde sismik ve penetrasyon deneylerinin karşılaştırılması* (Doktora tezi). İTÜ Fen Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- 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.
- İyisan, R., 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.
- Kamalian, M., Jafari, M. K., Sohrabi-Bidar, A., Razmkhah, A., Gatmiri, B.** (2006). Time domain two-dimensional site response analysis of non-homogeneous topographic structures by a hybrid BE/FE method, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 26, 753-765.
- Kamiyama, M., Satoh, T.** (2002). Seismic response analysis of laterally inhomogeneous ground with emphasis on strains, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 22, 877-884.
- Kawase, H. and Aki, K.** (1989). A study on the response of a soft basin for incident. S, P and Rayleigh waves with special reference to the long duration observed in Mexico City, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 79, 1361–82.
- Lee, V. W., Amornwongpaibun, A.** (2013). Scattering of anti-plane (SH) waves by a semi-elliptical hill:I-Shallow hill, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 52, 116–125.

- Liu, T., Luan, Y.** (2013). Mesh grading approach for wave propagation in high velocity-contrast media, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 50, 182–191.
- Makra, K., Chavez-Garcia, F. J., Raptakis, D., Pitilakis K.** (2005). Parametric analysis of the seismic response of a 2D sedimentary valley: implications for code implementations of complex site effects, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 25, 303-315.
- Mittal, H., Kamal, Kumar, A., Singh, SK.** (2013). Estimation of site effects in Delhi using standard spectral ratio, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 50, 53–61.
- Nakamura, Y.** (1989). *A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremore on the ground surface*, QR Railway Technical research Institute, 30(1).
- Ni, S. D., Anderson, J. G., Zeng, Y., Siddharthan, R. V.** (2000). Expected signature of nonlinearity on regression for strong ground-motion parameters, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 90(6B), 53–64.
- Osorio, L., Mayoral, J. M.** (2013). Seismic microzonation for the northeast Texcoco lake area, Mexico, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 48, 252–266.
- Paolucci, R.** (1999). Shear resonance frequencies of alluvial valleys by Rayleigh's method. *Earthquake Spectra*, 15(3), 503-521.
- Pergalani, F., Compagnoni, M., Petrini, V.** (2003). Evaluation of site effects in some localities of 'Alta Val Tiberina Umbra' (Italy) by numerical analysis, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 23, 85-105.
- Rodriguez-Castellanos, A., Sanchez-Sesma, F. J., Ortiz-Aleman, C., Orozco-del-Castillo, M.** (2011). Least square approach to simulate wave propagation in irregular profiles using the indirect boundary element method, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 31, 385-390.
- Rovelli, A., Scognamiglio, L., Marra, F. and Caserta, A.** (2001). Edge-diffracted 1-s surface waves observed in a small-size intermontane basin (Colfiorito, central Italy). *Bulletin of the Seismological Society of America*, 91, 1851-1866.
- Sanchez-Sesma, F. J. and Luzon, F.** (1995). Seismic response of three-dimensional alluvial valleys for incident P, S and Rayleigh waves, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 85, 269–84.
- Sanchez-Sesma, F. J., Ramos-Martinez, J., Campillo, M.** (1993). An indirect boundary element method applied to simulate the seismic response of alluvial valleys for incident P, S and Rayleigh waves, *Earthquake Engineering Structural Dynamics*, 22, 279–95.
- Semblat, J. F., Kham, M., Parara E., Bard, P. Y., Pitilakis, K., Makra, K., Raptakis, D.** (2005). Seismic wave amplification: Basin geometry vs soil layering, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 25, 529-538.

- Sohrabi-Bidar, A., Kamalian, M.** (2013). Effects of three-dimensionality on seismic response of Gaussian-shaped hills for simple incident pulses, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 52, 1–12.
- Sun, C., Kim, H., Chung, C., Chi, H.** (2014). Spatial zonations for regional assessment of seismic site effects in the Seoul metropolitan area, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 56, 44-56.
- Şafak, E.** (1995). Discrete-time analysis of seismic site amplification, *Journal of Engineering Mechanics*, ASCE, 121(7), 801-9.
- Şafak, E.** (2001). Local site effects and dynamic soil behavior, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 21, 453-458.
- Tripe, R., Kontoe, S., Wong, T. K. C.** (2013). Slope topography effects on ground motion in the presence of deep soil layers, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 50, 72–84.
- 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.
- Zhao, J. X., Davenport, P. N., McVerry, G.H.** (1999). Modelling and earthquake response of Gisborne post office site, New Zealand, *Bull NZ Soc Earthquake Eng*, 32(3), 146–69.
- Zhang, J. and Zhao, J. X.** (2009). Response spectral amplification ratios from 1- and 2 dimensional nonlinear soil site models, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 29, 563-573.

EKLER

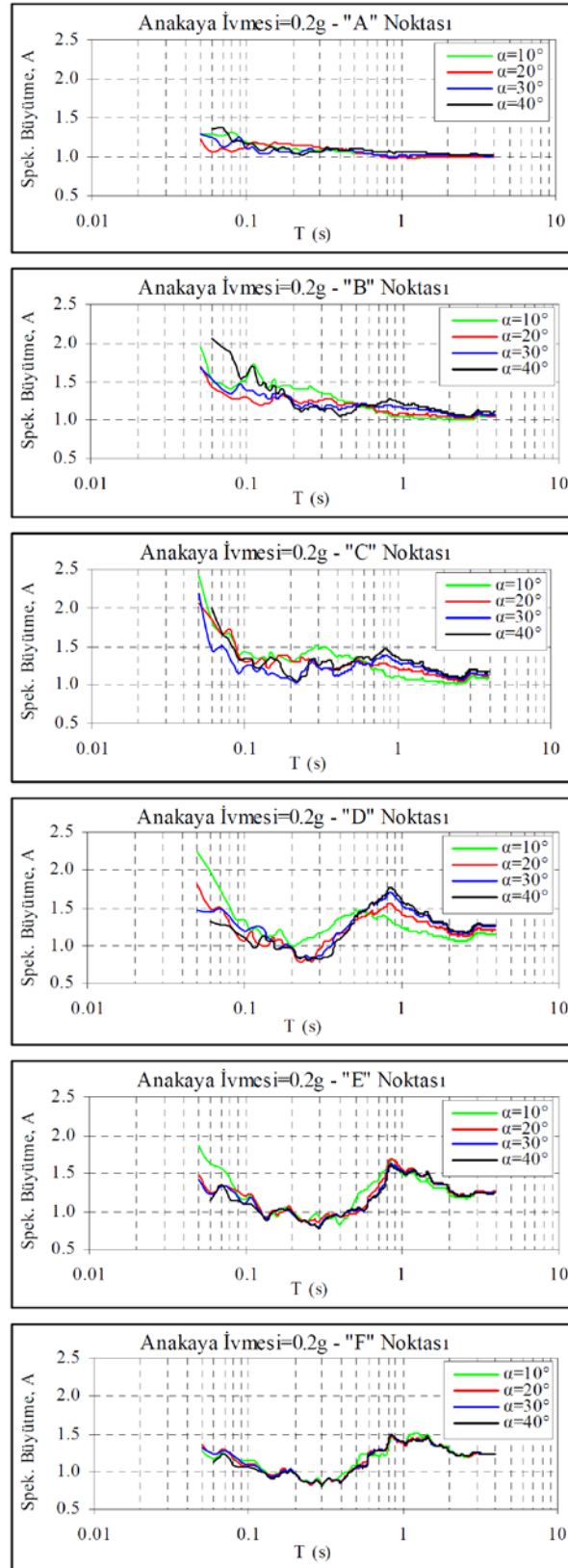
EK A: Farklı kilden oluşan ovaların farklı noktalarının frekans tanım alanındaki zemin büyütmesi

EK B: Farklı kumdan oluşan ovaların farklı noktalarının frekans tanım alanındaki zemin büyütmesi

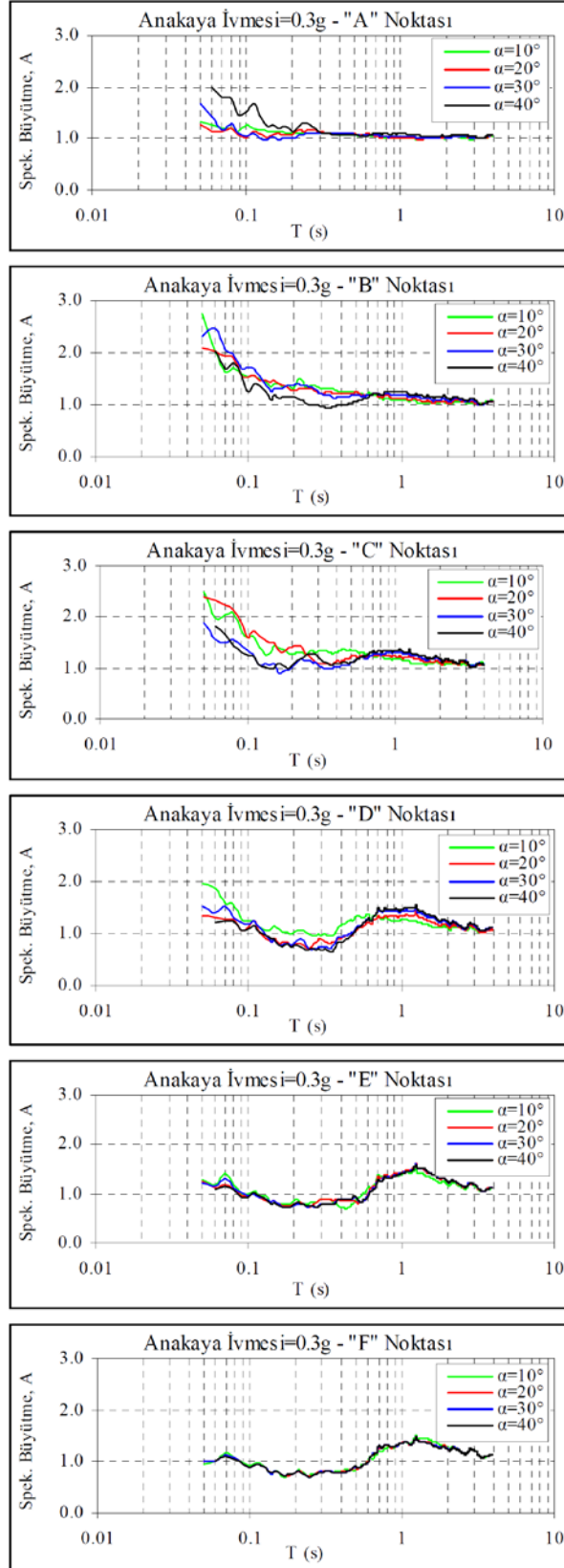
EK C: Üst tabakası farklı kilden oluşan ovaların farklı noktalarının frekans tanım alanındaki zemin büyütmesi

EK D: Dinar ovası'nın farklı noktalarının frekans tanım alanındaki zemin büyütmesi

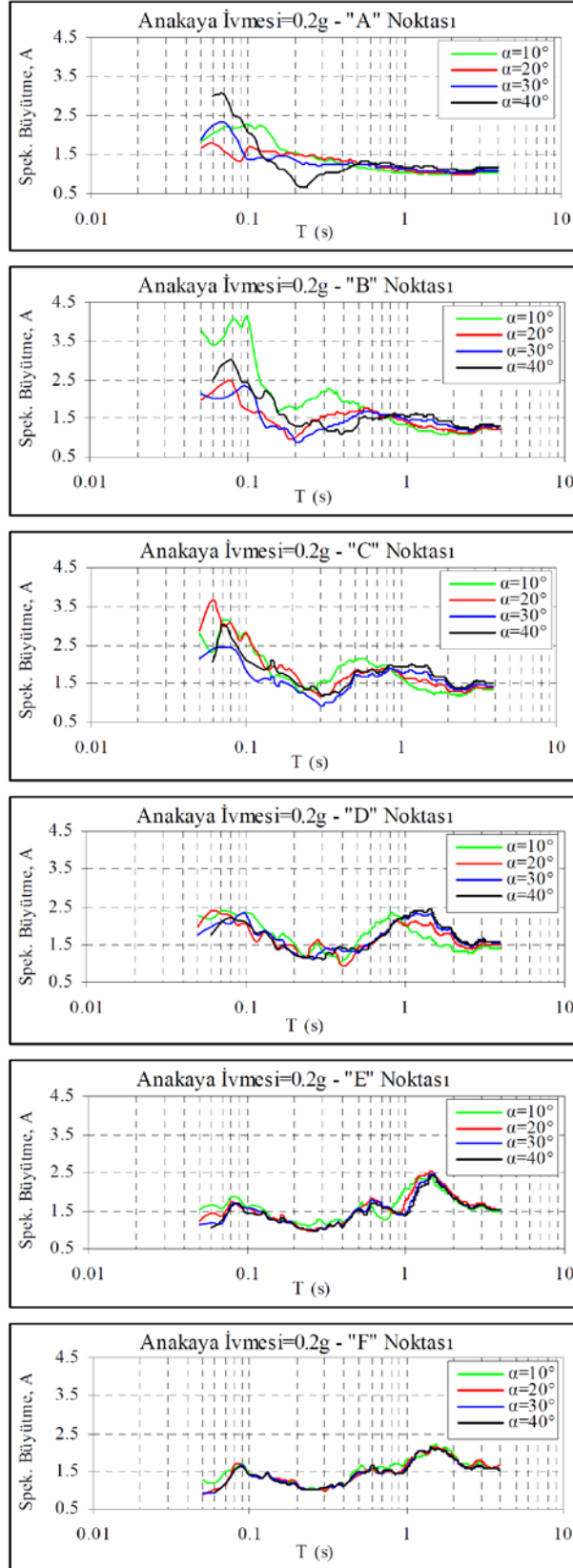
EK A: Farklı kilden oluşan ovaların farklı noktalarının frekans tanım alanındaki zemin büyütmesi



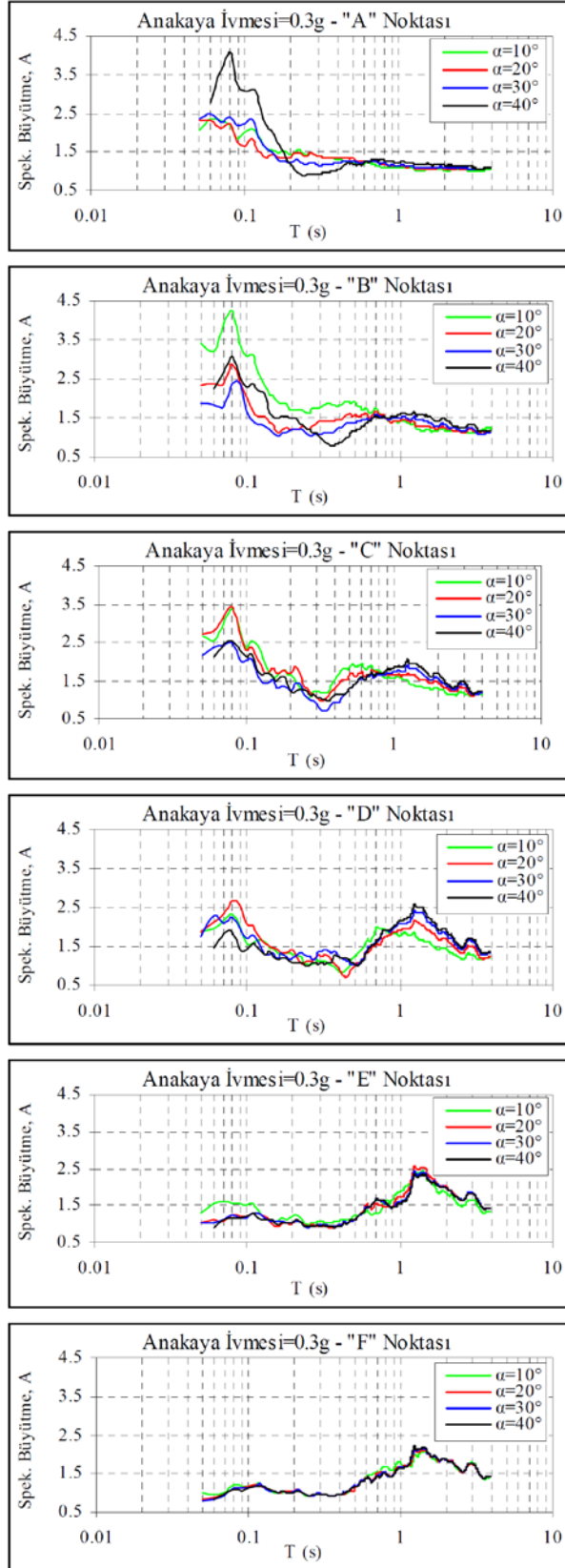
Şekil A.1 : Çok katı kilden oluşan ovaların farklı noktalarının frekans tanım alanındaki zemin büyütmesi (0.2g).



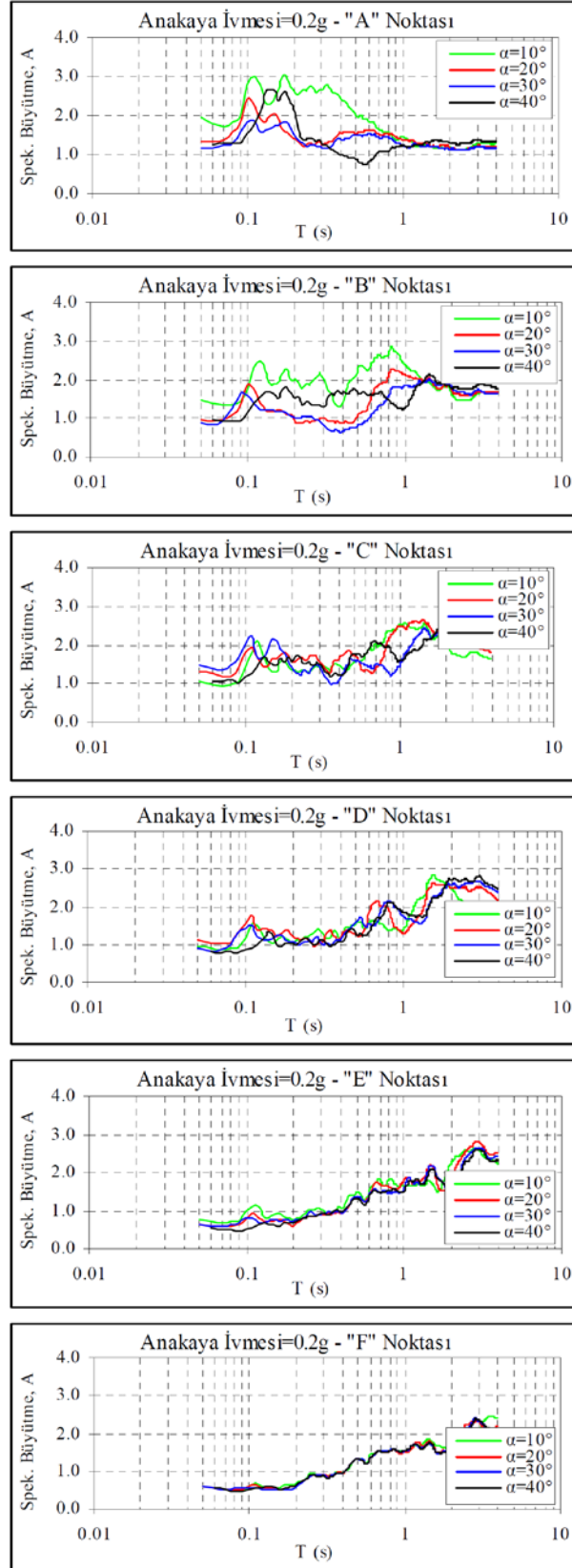
Şekil A.2 : Çok katı kilden oluşan ovaların farklı noktalarının frekans tanım alanındaki zemin büyütmesi (0.3g).



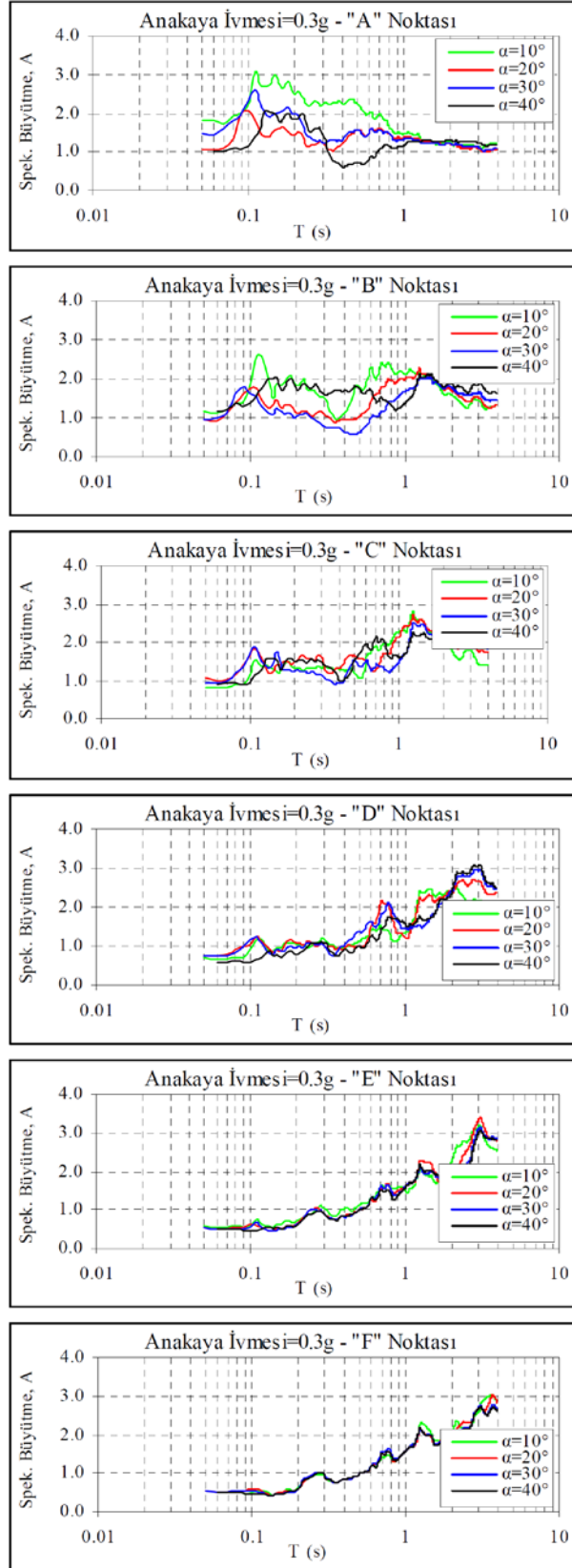
Şekil A.3 : Katı kilden oluşan ovaların farklı noktalarının frekans tanım alanındaki zemin büyütmesi (0.2g).



Şekil A.4 : Katı kilden oluşan ovaların farklı noktalarının frekans tanım alanındaki zemin büyütmesi (0.3g).

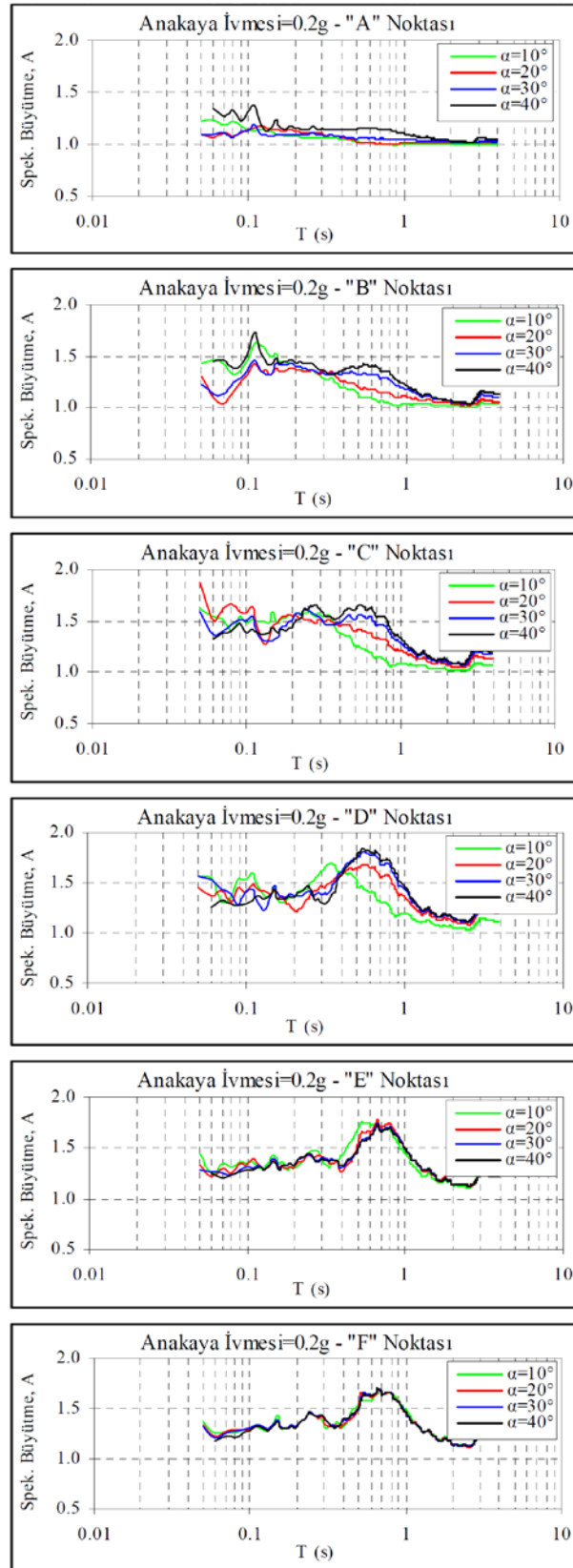


Şekil A.5: Yumuşak kilden oluşan ovaların farklı noktalarının frekans tanım alanındaki zemin büyümesi (0.2g).

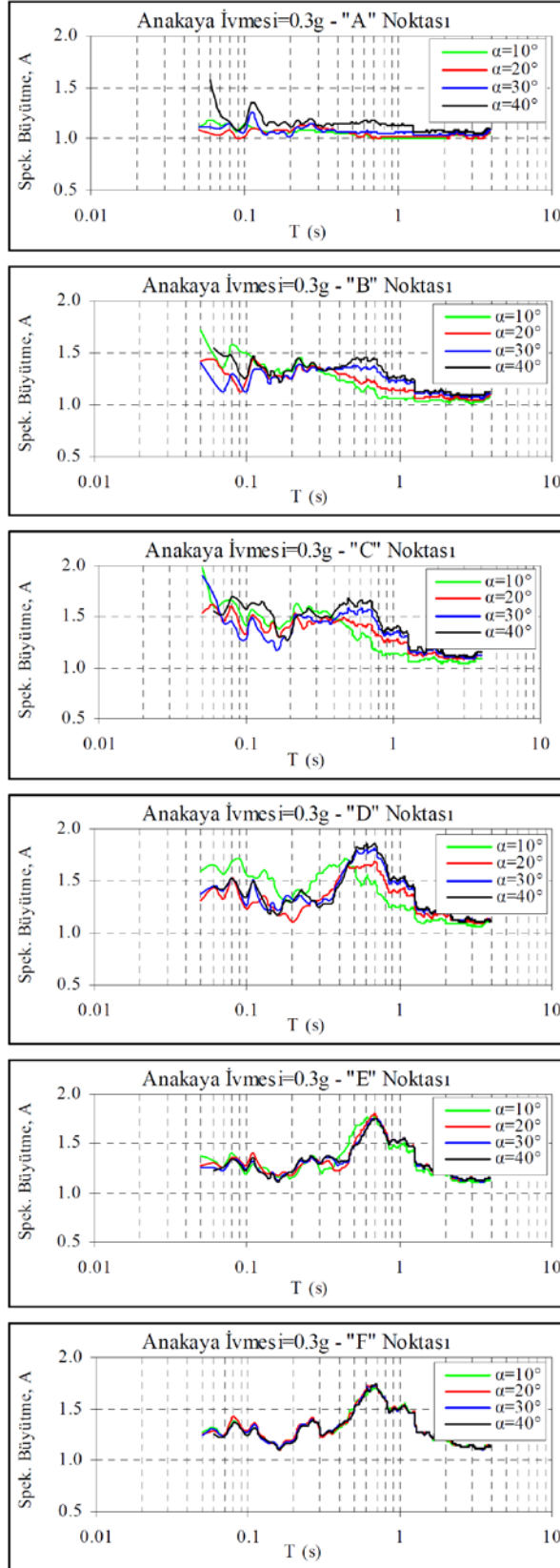


Şekil A.6: Yumuşak kilden oluşan ovaların farklı noktalarının frekans tanım alanındaki zemin büyütmesi (0.3g).

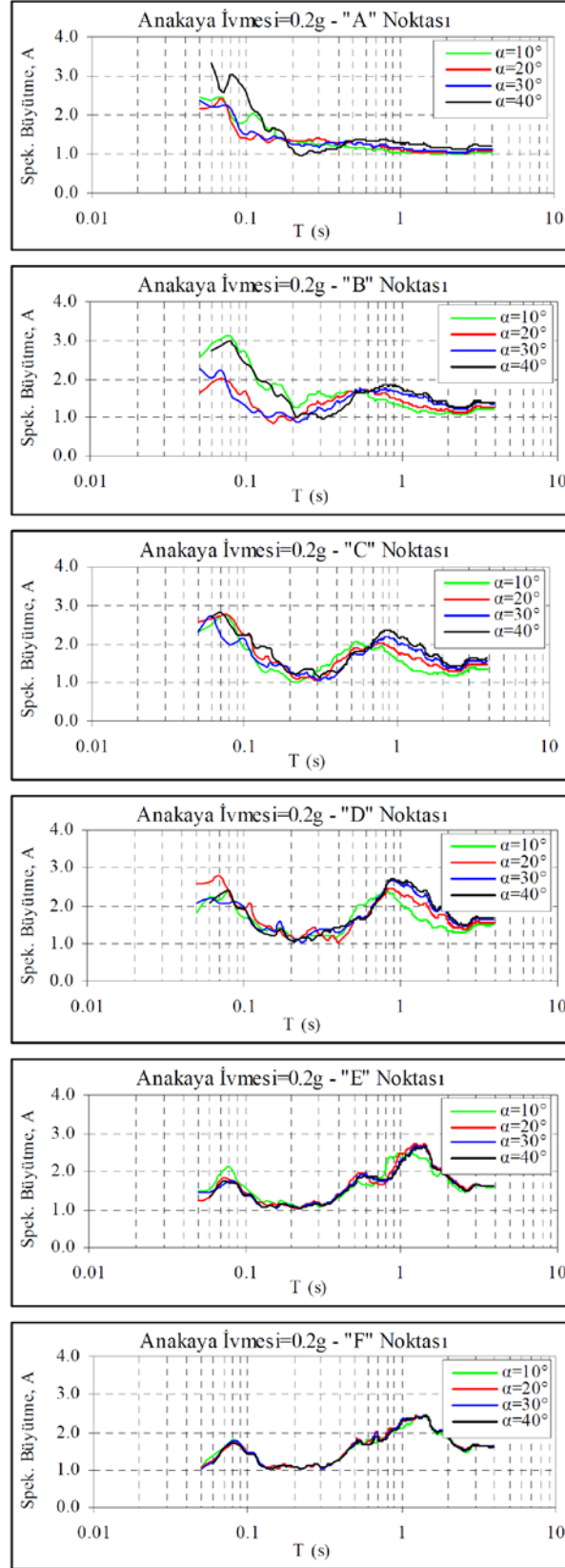
EK B: Farklı kumdan oluşan ovaların farklı noktalarının frekans tanım alanındaki zemin büyütmesi



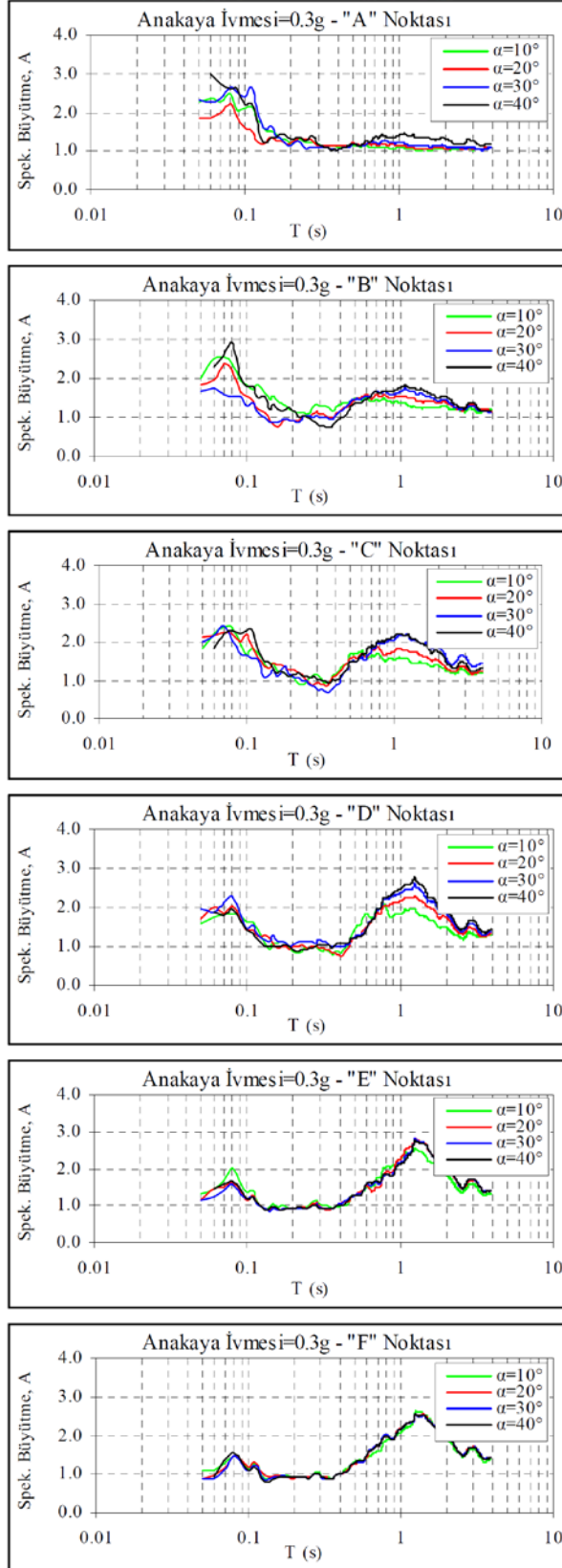
Şekil B.1 : Sıkı kumdan oluşan ovaların farklı noktalarının frekans tanım alanındaki zemin büyütmesi (0.2g).



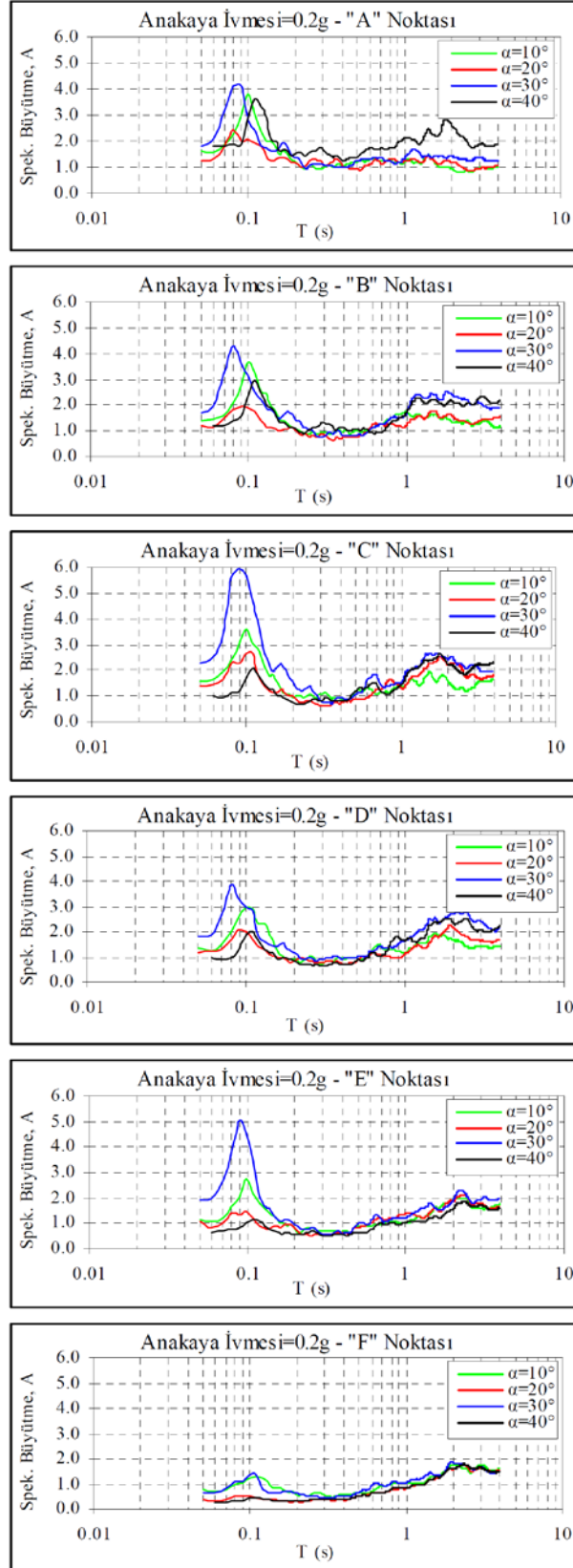
Şekil B.2 : Sıkı kumdan oluşan ovaların farklı noktalarının frekans tanım alanındaki zemin büyütmesi (0.3g).



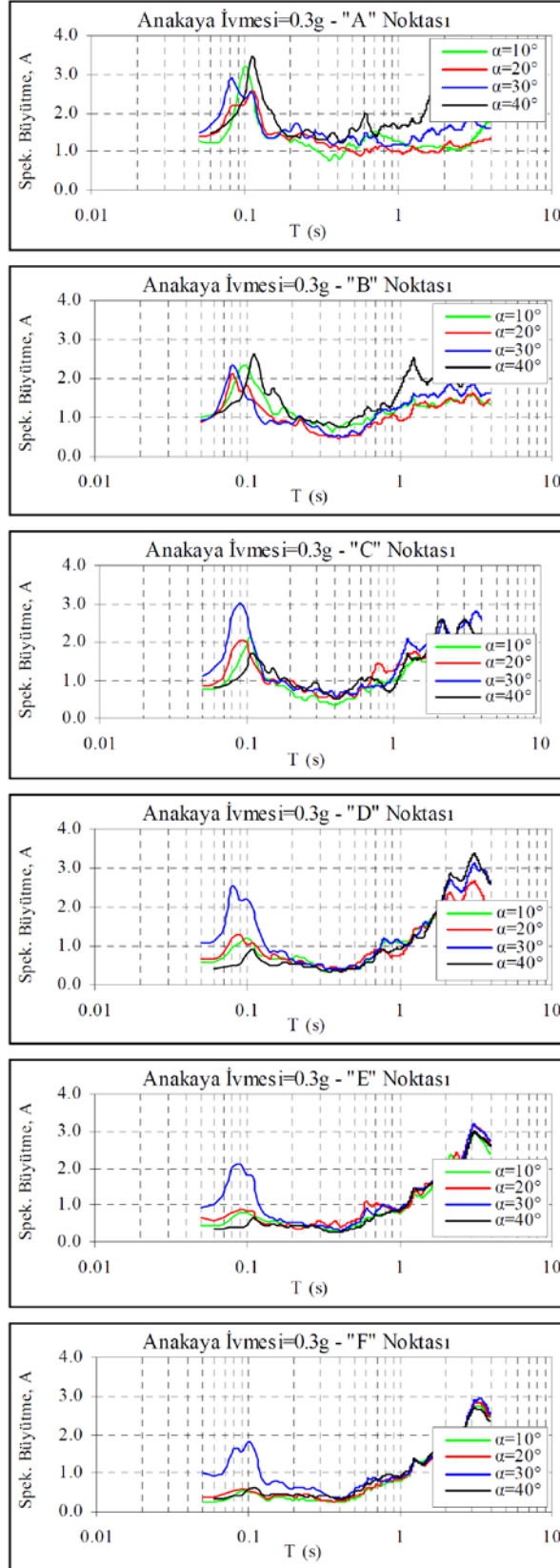
Şekil B.3 : Orta sıkı kumdan oluşan ovaların farklı noktalarının frekans tanım alanındaki zemin büyütmesi (0.2g).



Şekil B.4 : Orta sıkı kumdan oluşan ovaların farklı noktalarının frekans tanım alanındaki zemin büyütmesi (0.3g).

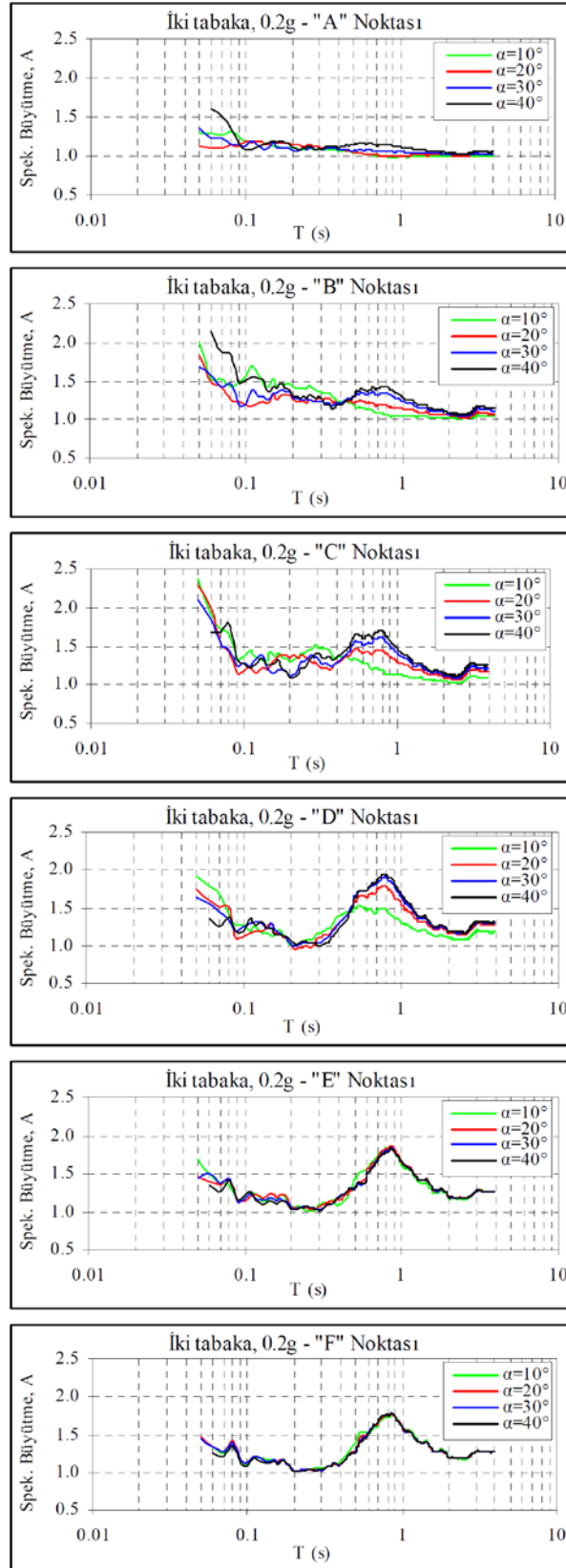


Şekil B.5 : Gevşek kumdan oluşan ovaların farklı noktalarının frekans tanım alanındaki zemin büyütmesi (0.2g).

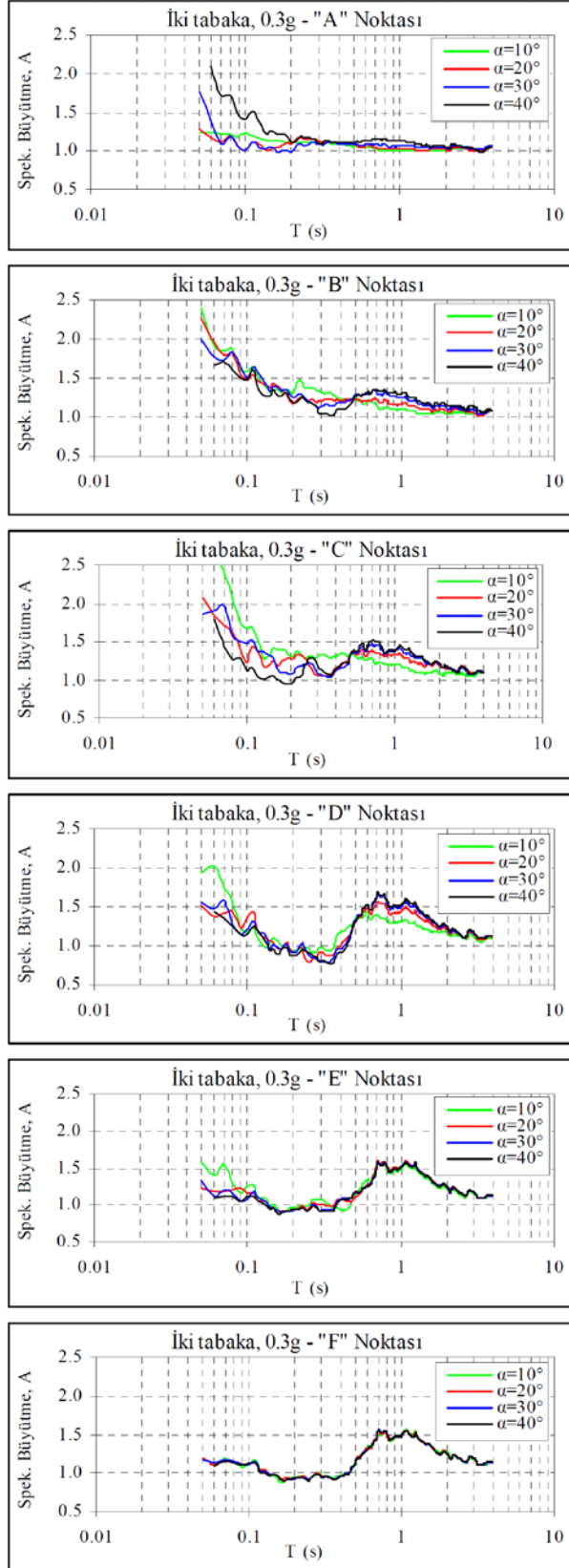


Şekil B.6 : Gevşek kumdan oluşan ovaların farklı noktalarının frekans tanım alanındaki zemin büyütmesi (0.3g).

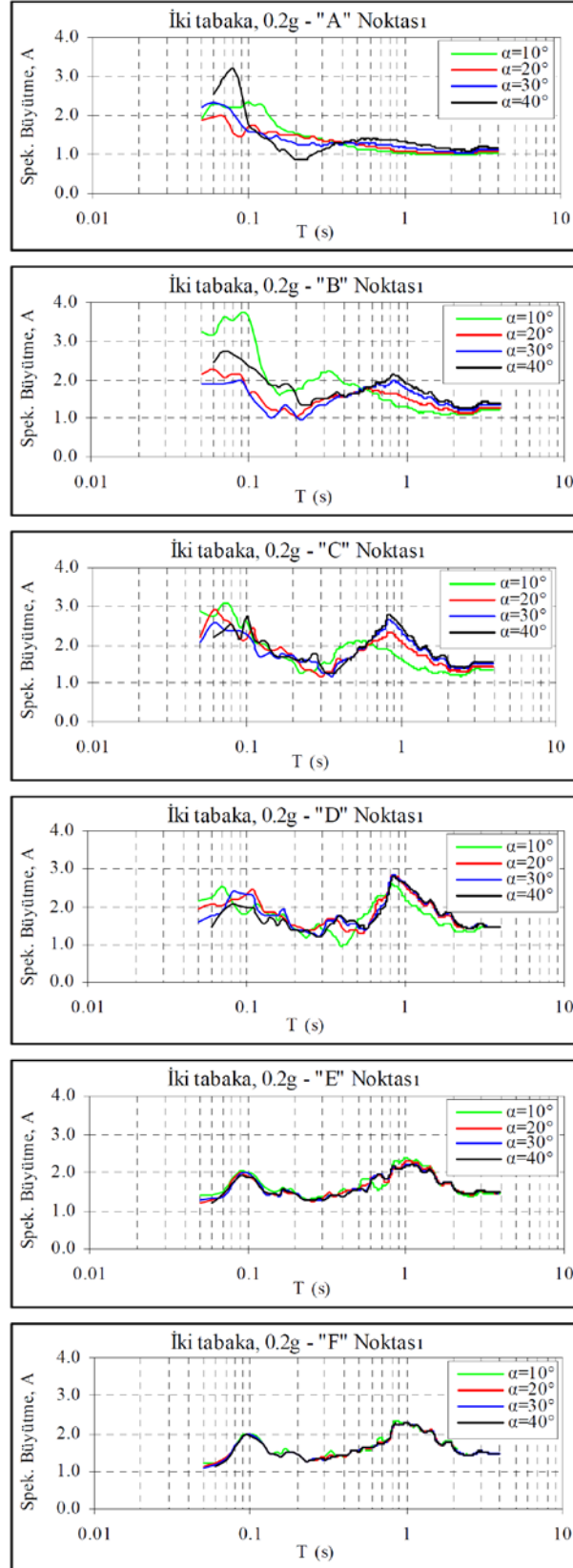
EK C: Üst tabakası farklı kilden oluşan ovaların farklı noktalarının frekans tanım alanındaki zemin büyütmesi



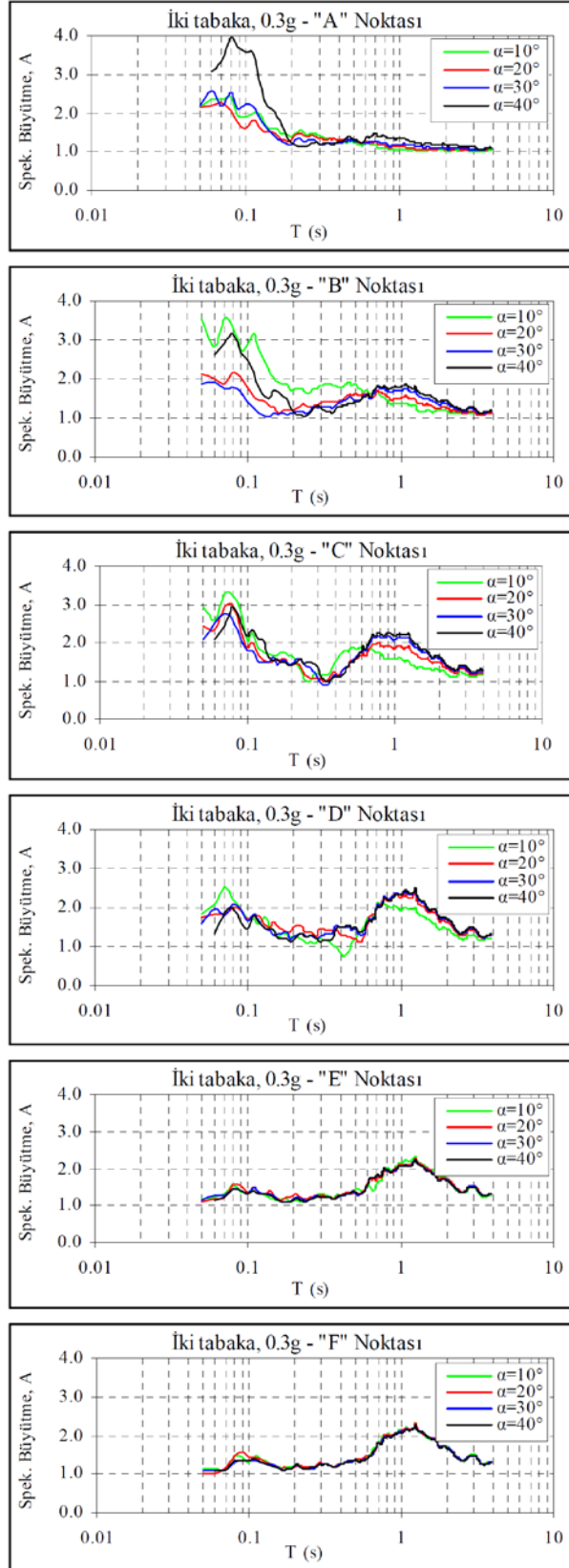
Şekil C.1 : Üst tabakası çok katı kilden oluşan ovaların farklı noktalarının frekans tanım alanındaki zemin büyütmesi (0.2g).



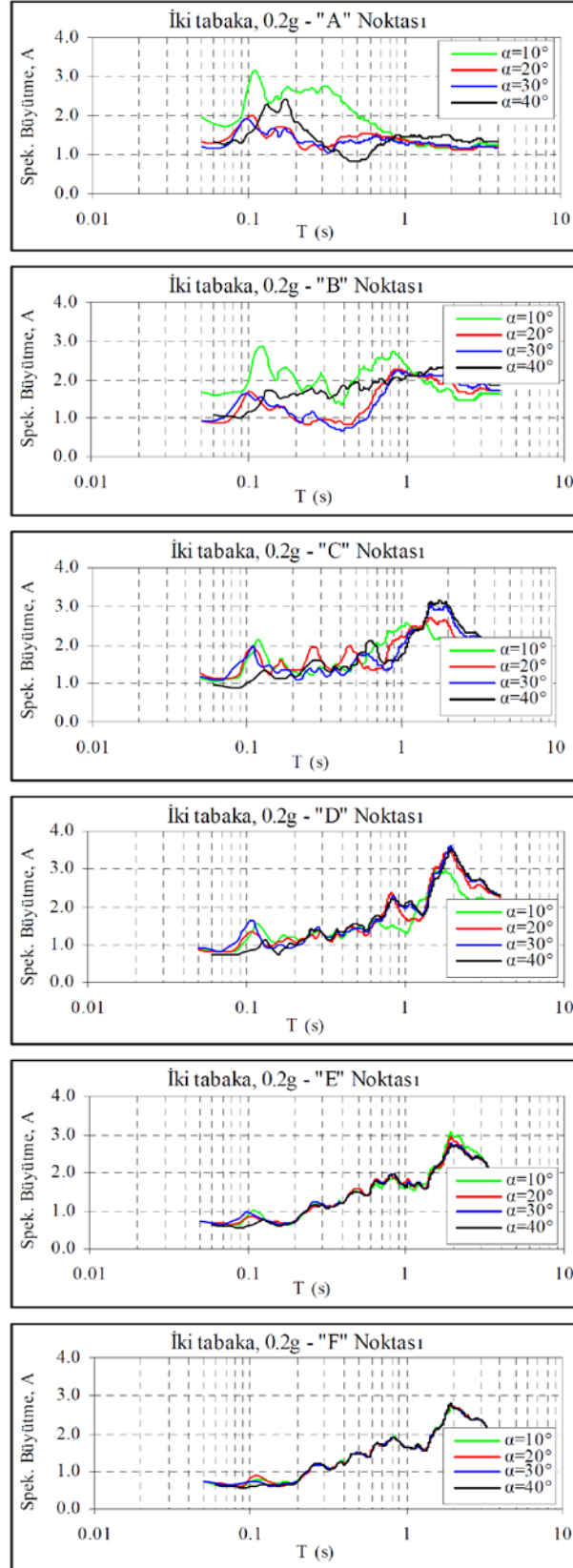
Şekil C.2 : Üst tabakası çok katı kilden oluşan ovaların farklı noktalarının frekans tanım alanındaki zemin büyütmesi (0.3g).



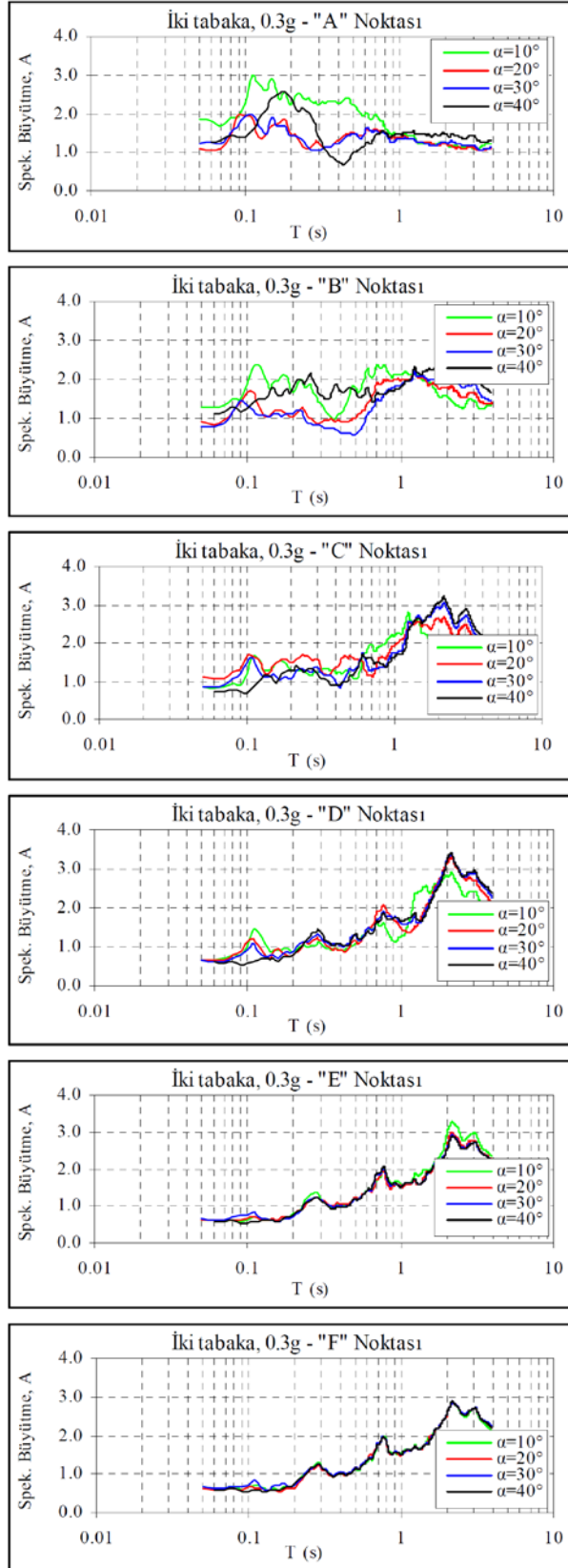
Şekil C.3 : Üst tabakası katı kilden oluşan ovaların farklı noktalarının frekans tanım alanındaki zemin büyütmesi (0.2g).



Şekil C.4 : Üst tabakası katı kilden oluşan ovaların farklı noktalarının frekans tanım alanındaki zemin büyütmesi (0.3g).

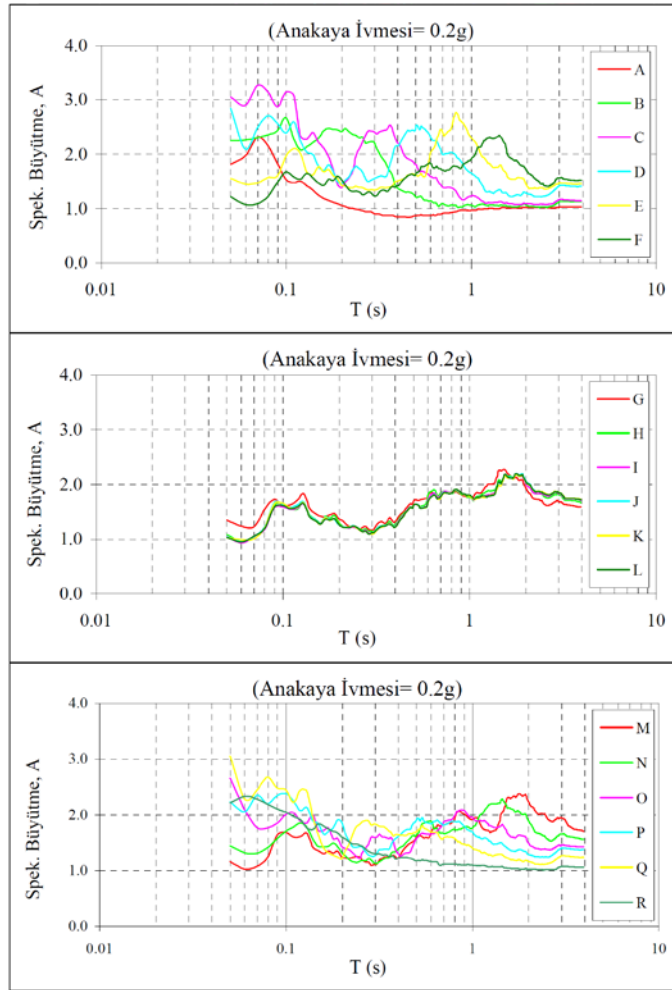


Şekil C.5 : Üst tabakası yumuşak kilden oluşan ovaların farklı noktalarının frekans tanım alanındaki zemin büyütmesi (0.2g).

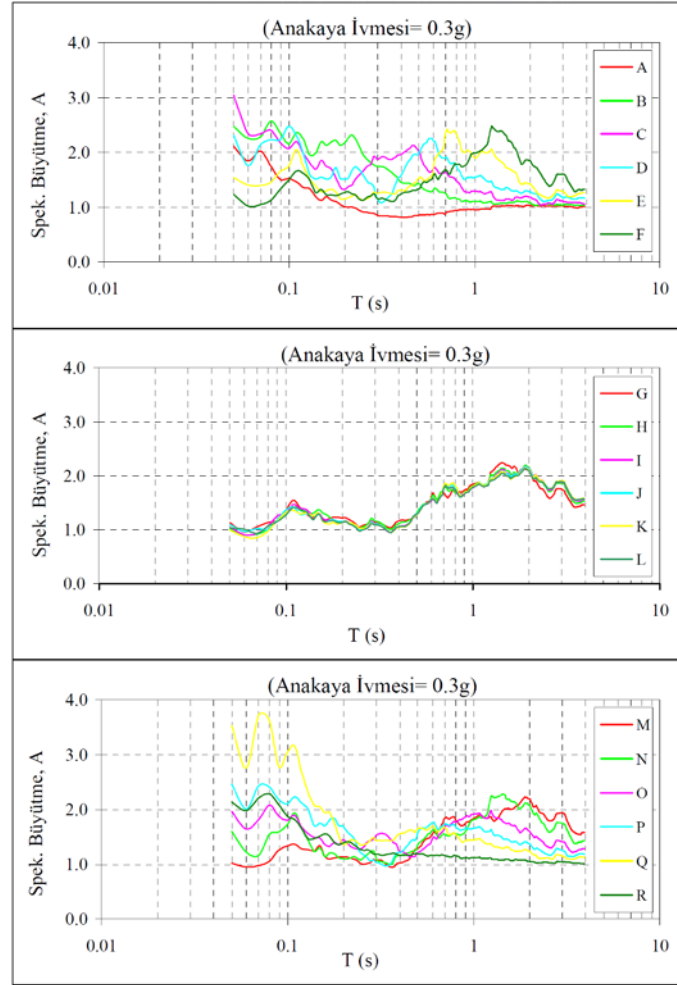


Şekil C.6 : Üst tabakası yumuşak kilden oluşan ovaların farklı noktalarının frekans tanım alanındaki zemin büyütmesi (0.3g).

EK D : Dinar ovası'nın farklı noktalarının frekans tanım alanındaki zemin büyütmesi



Şekil D.1 : Dinar ovası'nın farklı noktalarının frekans tanım alanındaki zemin büyütmesi (0.2g).



Şekil D.2 : Dinar ovası'nın farklı noktalarının frekans tanım alanındaki zemin büyütmesi (0.3g).

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: Hadi KHANBABAZADEH
Doğum Yeri ve Tarihi: Maragheh, 1980
E-Posta: hadikhanbabazadeh@gmail.com
Lisans: İnşaat Mühendisliği
Yüksek Lisans : Zemin Mekaniği ve Geoteknik Mühendisliği
Mesleki Deneyim ve Ödüller:

Yayın ve Patent Listesi:

TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR/SUNUMLAR

1. Iyisan, R., **Khanbabazadeh H.** (2013). A numerical study on the basin edge effect on soil amplification. *Bulletin of the earthquake engineering*, **11**, 1305-1323.
2. **Khanbabazadeh, H.**, Iyisan, R. (2014). A numerical study on the 2D behavior of the single layered clayey basins. *Bulletin of the earthquake engineering*, DOI: 10.1007/s10518-014-9590-4.
3. **Khanbabazadeh H.**, Iyisan R. (2014). A numerical study on the 2D behavior of the clayey basins. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, DOI:10.1016/j.soildyn.2014.06.029