

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	iii
KISALTMA LİSTESİ	iv
ŞEKİL LİSTESİ	v
ÇİZELGE LİSTESİ	vii
ÖNSÖZ	viii
ÖZET	ix
ABSTRACT	x
1. GİRİŞ	1
1.1 İnceleme Alanında Daha Önce Yapılan Çalışmalar	1
1.2 Bölgenin Depremselliği	3
1.3 Çalışmanın Amacı	6
2. YEREL ZEMİN KOŞULLARININ DEPREM HAREKETİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİ VE ZEMİN DAVRANIŞ ANALİZLERİ	9
2.1 Giriş	9
2.2 Depremler Sırasında Zemin Tabakalarının Davranışı	10
2.3 Mexico City Depremi Hasar Dağılımı	11
2.4 Loma Prieta Depremi Hasar Dağılımı	13
2.5 Zemin Davranış Analizleri	15
2.5.1 Bir Boyutlu Zemin Davranış Analizleri	19
2.5.2 İki Boyutlu Zemin Davranış Analizleri	20
2.6 1966 Duvall Depremi Fraser Deltası Zemin Dinamik Davranış Analizleri	25
2.6.1 Bir Boyutlu Analiz Sonuçları	27
2.6.2 İki Boyutlu Analiz Sonuçları	29
2.6.3 Sonuç	30
3. İNCELEME ALANININ JEOLojİSİ	32
3.1 Genel Jeolojik Yapı	32
3.2 Küçükçekmece Bölgesinin Yerel Zemin Koşullarının Belirlenmesi	34
3.3 Geoteknik İncelemeler	36
3.4 İnceleme Alanındaki Formasyonların Geoteknik Özellikleri	36
3.4.1 Kırklareli Formasyonu	36
3.4.2 Gürpınar Formasyonu	37
3.4.3 Çukurçeşme Formasyonu	37
3.4.4 Güngören Formasyonu	38
3.4.5 Bakırköy Formasyonu	38

3.4.6	Alüvyon	39
4.	İNCELEME ALANINDA YAPILAN DİNAMİK ANALİZLER	41
4.1	PLAXIS Programı	41
4.1.1	Modelin Oluşturulması (INPUT).....	41
4.1.2	Hesapların Yapılması (CALCULATION)	44
4.1.3	Sonuçların Görüntülenmesi (OUTPUT).....	44
4.1.4	Sonuçların Grafik Ortamda Görüntülenmesi (CURVES)	45
4.2	EERA (2000) Programı	45
4.3	Sönüm.....	48
5.	ANALİZLERDE KULLANILAN MALZEME PARAMETRELERİ.....	51
5.1	İncelenen Kesitlerin Topoğrafik ve Jeolojik Özellikleri	51
5.1.1	1-1' Kesiti	53
5.1.2	2-2' Kesiti	53
5.1.3	3-3' Kesiti	55
5.1.4	4-4' Kesiti	56
5.1.5	5-5' Kesiti	59
5.1.6	6-6' Kesiti	59
5.2	Kayma Dalgası Hızı Profillerinin Belirlenmesi.....	62
5.3	Dinamik Zemin Parametreleri	66
5.4	Malzeme Parametreleri.....	70
5.5	İki Boyutlu Analizlerde Kullanılan Rayleigh Sönüm Katsayıları	77
5.5.1	Zeminin Doğal Periyoduna Göre Belirlenen Rayleigh Sönüm Katsayıları.....	77
5.5.2	LUSAS Sonlu Elemanlar Programı ile Belirlenen Rayleigh Sönüm Katsayıları ..	78
5.6	Anakaya İvme Kaydı	82
6.	ANALİZLER VE SONUÇLARI.....	86
6.1	Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	90
6.1.1	Alüvyonda Yeralan Noktalar	90
6.1.2	Bakırköy Formasyonu'nda Yeralan Noktalar.....	98
6.1.3	Gürpınar Formasyonu'nda Yeralan Noktalar	104
6.1.4	Kırklareli Formasyonu'nda Yeralan Nokta	110
6.2	Analiz Sonuçlarının Değerlendirmesi.....	112
7.	SONUÇLAR.....	120
	KAYNAKLAR.....	124
	EKLER	127
	ÖZGEÇMİŞ.....	149

SİMGE LİSTESİ

ξ	Sönüm oranı
G	Kayma modülü
V_S	Kayma dalgası hızı
$SPT(N)$	Standart Penetrasyon deneyi darbe sayısı
$S(T)$	Spektral ivme
γ_n	Doğal birim hacim ağırlık
γ_k	Kuru birim hacim ağırlık
W_n	Doğal su muhtevası
W_L	Likit Limit
W_P	Plastik Limit
I_P	Plastisite indeksi
T	Periyod
f	Frekans
ω	Açısal frekans
n	Porozite
C_c	Sıkışma İndeksi
E	Elastisite Modülü
ν	Poisson Oranı
k	Permeabilite katsayısı
τ	Kayma gerilmesi
γ	Kayma şekil değiştirmesi
α, β	Rayleigh sönüm katsayıları
c	Kohezyon
ϕ	Kayma mukavemeti açısı
S_u	Drenajsız kayma mukavemeti

KISALTMA LİSTESİ

1D	Bir Boyutlu
2D	İki Boyutlu
EERA	Equivalent Linear Earthquake Response Analyses
FAS	Fourier Amplitude Spectrum
GIS	Coğrafi Bilgi Sistemi
MERM	Microzonation Manual
NAF	North Anatolian Fault
NEHRP	National Earthquake Hazard Reduction Program
PGA	Pik Yer İvmesi
RQD	Kaya Kalitesi Oranı
SPT	Standart Penetrasyon Deneyi
TARSCHTS	Target Acceleration Response Spectra Compatible Time Histories
TCR	Toplam Karot Yüzesi

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1	Kuzey Anadolu fayı üzerinde son 100 yılda meydana gelen depremler.....	4
Şekil 1.2	50 yılda %10 aşılma olasılığına göre, (a) PGA'ların, (b) 0.2 s ve (c) 1.0 s için elde edilen spektral ivmelerin değişimi.....	5
Şekil 2.1	Mexico City'de kuvvetli hareket cihazları ve geoteknik şartlar. (a) Kuvvetli hareket cihazlarının Foothill, Geçiş ve Göl kuşaklarına göre konumu; (b) Yumuşak zeminin kalınlık konturları (Kramer, 1996).....	12
Şekil 2.2	UNAM ve SCT istasyonlarındaki (a) ivmenin zamana göre değişimi, (b) Tepki spektrumları (Kramer, 1996).	13
Şekil 2.3	1989 Lome Prieta depremi sırasında San Francisco Körfez bölgesinde ölçülen g cinsinden pik yatay ivmeler (Kramer, 1996).	14
Şekil 2.4	1989 Lome Prieta depreminde Yerba Buena ve Treasure adalarında zemin yüzeyi hareketleri; (a) zamana göre değişimler; (b) tepki spektrumları (Kramer, 1996)..	15
Şekil 2.5	(a) Bir sırtın üçgen bir kama olarak tanımlanması (b) Düzlemsel SH dalgaları ile titreştirilen bir sonsuz kama.....	18
Şekil 2.6	Bir sırtın çeşitli noktalarında hesaplanan büyütmeler.	18
Şekil 2.7	Kırılma süreci ve dalga yayılma şeması (Kramer, 1996).....	19
Şekil 2.8	Bir boyutlu analizin geçerli olma koşulu ile ilgili şema.....	20
Şekil 2.9	Dinamik tepki analizleri ile çözülen yaygın problemler (Kramer, 1996).	21
Şekil 2.10	İstinad duvarı örneğinde tipik bir dört düğümlü elemanda serbestlik derecesini ortaya koyan sonlu eleman ağı (Kramer, 1996).....	21
Şekil 2.11	x-y koordinat sistemindeki düzensiz bir dörtgen elemanın s-t koordinat sisteminde kare şeklinde haritalanması (Kramer, 1996).....	22
Şekil 2.12	Sonlu eleman ağı için üç çeşit sınır durumu: (a) sıfır yerdeğiştirmelerin tayin edildiği elementer sınır; (b) viskoz söndürücü içeren yerel sınır; (c) toplam parametre tutarlı sınırı (Kramer, 1996).....	24
Şekil 2.13	Fraser Deltasında yüzeyden anakayaya olan derinlikler.	25
Şekil 2.14	Fraser deltası zemin çökelleri ve kalınlıkları.	26
Şekil 2.15	KID istasyonunda hesaplanan ve kaydedilen ivme spektrumlarının karşılaştırılması (a) KID180 ⁰ , (b) KID 270 ⁰	27
Şekil 2.16	RHA istasyonunda hesaplanan ve kaydedilen ivme spektrumlarının karşılaştırılması (a) RHA 00 , (b) RHA 2700	28
Şekil 2.17	MNY istasyonunda hesaplanan ve kaydedilen ivme spektrumlarının karşılaştırılması (a) MNY 0 ⁰ (b) MNY 90 ⁰	29
Şekil 2.18	MNY istasyonundaki ivme spektrumunun karşılaştırılması.	30
Şekil 2.19	KID istasyonundaki ivme spektrumunun karşılaştırılması.	30
Şekil 3.1	İnceleme alanının genel jeoloji haritası (Yıldırım ve Savaşkan, 2002).	33
Şekil 3.2	Bölgede yapılan sondajların, sismik kırılma ve mikrotremor ölçümlerinin coğrafi konumları.....	35
Şekil 4.1	Plaxis veri giriş penceresi.....	42
Şekil 4.2	Düğüm ve gerilme noktaları.....	44
Şekil 4.3	Eşdeğer lineer metodda kullanılan gerilme-şekil değiştirme modeli (Bardet vd.,2000).	45
Şekil 4.4	Eşdeğer lineer model (a) Histerisis eğrisi, (b) sekant kayma modülü ve sönüm oranının şekil değiştirme seviyesi ile değişimi.	47
Şekil 4.5	Zeminlerde G/G_{max} ve sönüm oranının kayma şekil değiştirmesi ile değişimi.....	47
Şekil 4.6	Histerisis Eğrisi.	49

Şekil 5.1	İnceleme alanının topoğrafik yapısının değişimi ve analizlerin yapıldığı kesitler.	52
Şekil 5.2	1-1' Kesiti.....	54
Şekil 5.3	2-2' Kesiti.....	55
Şekil 5.4	3-3' Kesiti.....	57
Şekil 5.5	4-4' Kesiti.....	58
Şekil 5.6	5-5' Kesiti.....	60
Şekil 5.7	6-6' Kesiti.....	61
Şekil 5.8	Bakırköy Kireçtaşı için PS – Logging deneylerinden belirlenen kayma dalgası hızları.	63
Şekil 5.9	Gürpınar Kili için PS - Logging deneylerinden belirlenen kayma dalgası hızları.	64
Şekil 5.10	Gürpınar Kumu için PS–Logging deneylerinden belirlenen kayma dalgası hızları	65
Şekil 5.11	$G/G_{max} - \gamma$ ve sönüm oranı ilişkileri, (a) Dolgu, (b) Alüvyon (Göl Kenarı), (c) Alüvyon(Ayamama deresi).....	68
Şekil 5.12	$G/G_{max}-\gamma$ ve sönüm oranı ilişkileri, (a) Güngören kili, (b) Çukurçeşme ve Gürpınar Kumu, (c) Gürpınar Kili.	69
Şekil 5.13	$G/G_{max}-\gamma$ sönüm oranı ilişkileri, (a) Gürpınar tabanı, (b) Kırklareli ve Bakırköy Kireçtaşı.	70
Şekil 5.14	1-1', 2-2' ve 3-3' kesitlerinde anakaya ivme-zaman ve spektral ivme grafikleri.	83
Şekil 5.15	4-4', 5-5', ve 6-6' kesitlerinde anakaya ivme-zaman ve spektral ivme grafikleri.	84
Şekil 6.1	Analiz sonuçlarının özetlendiği noktaların noktaların en kesitler üzerindeki konumları, (a) 1-1' kesiti, (b) 2-2' kesiti, (c) 3-3' kesiti.	87
Şekil 6.2	Analiz sonuçlarının özetlendiği noktaların enkesitler üzerindeki yerleri (a) 4-4' kesiti, (b) 5-5' kesiti, (c) 6-6' kesiti.	88
Şekil 6.3	Analiz sonuçlarının özetlendiği noktaların inceleme alanındaki konumları.	89
Şekil 6.4	1-1' Kesiti A noktasında belirlenen analiz sonuçları.	91
Şekil 6.5	2-2' Kesiti A noktasında belirlenen analiz sonuçları.	93
Şekil 6.6	5-5' Kesiti A noktasında belirlenen analiz sonuçları.	94
Şekil 6.7	2-2' Kesiti I noktasında belirlenen analiz sonuçları.	96
Şekil 6.8	6-6' Kesiti I noktasında belirlenen analiz sonuçları.	97
Şekil 6.9	1-1' Kesiti E noktasında belirlenen analiz sonuçları.....	99
Şekil 6.10	2-2' Kesiti D noktasında belirlenen analiz sonuçları.	100
Şekil 6.11	4-4' Kesiti G noktasında belirlenen analiz sonuçları.	102
Şekil 6.12	6-6' Kesiti E noktasında belirlenen analiz sonuçları.....	103
Şekil 6.13	2-2' Kesiti B noktasında belirlenen analiz sonuçları.	105
Şekil 6.14	5-5' Kesiti C noktasında belirlenen analiz sonuçları.	106
Şekil 6.15	6-6' Kesiti B noktasında belirlenen analiz sonuçları.	107
Şekil 6.16	4-4' Kesiti C noktasında belirlenen analiz sonuçları.	109
Şekil 6.17	3-3' Kesiti C noktasında belirlenen analiz sonuçları.	110
Şekil 6.18	5-5' Kesiti B noktasında belirlenen analiz sonuçları.	111
Şekil 6.19	Plaxis analizlerinden belirlenen yüzey ivmelerinin değişimi.....	116
Şekil 6.20	Plaxis analizlerinden belirlenen spektral ivmelerinin değişimi.....	117
Şekil 6.21	EERA analizlerinden belirlenen yüzey ivmelerinin değişimi.	118
Şekil 6.22	EERA analizlerinden belirlenen spektral ivmelerinin değişimi.	119

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1	Çalışmada kullanılan kayıt istasyonları ile ilgili bazı detaylar ve kaydedilen maksimum ivmeler	26
Çizelge 2.2	Çeşitli doğrultularda alınan filtre edilmiş maksimum ivmeler (cm/sn ²)	27
Çizelge 3.1	SPT-N darbe sayıları (Tohumcu vd. 2003)	40
Çizelge 3.2	Dane çapı dağılımı ve birim hacim ağırlıkları (Tohumcu vd. 2003).....	40
Çizelge 3.3	Mukavemet Parametreleri (Tohumcu vd. 2003)	40
Çizelge 5.1	Formasyonlar için seçilen G/G_{max} ve sönüm oranı-kayma şekil değiştirmesi ilişkileri.....	67
Çizelge 5.2	1-1' Kesiti için malzeme parametreleri	71
Çizelge 5.3	2-2' Kesiti için malzeme parametreleri	72
Çizelge 5.4	3 -3' Kesiti için malzeme parametreleri	73
Çizelge 5.5	4-4' Kesiti için malzeme parametreleri	74
Çizelge 5.6	5-5' kesiti için malzeme parametreleri	75
Çizelge 5.7	6-6' Kesiti için malzeme parametreleri	76
Çizelge 5.8	Rayleigh sönüm katsayılarının belirlenmesinde kullanılan parametreler	78
Çizelge 5.9	Zeminin doğal periyodundan Rayleigh sönüm katsayıları	78
Çizelge 5.10	1-1' Kesitinde yapılan modal analizden elde edilen frekans ve periyod değerleri	79
Çizelge 5.11	2-2' Kesitinde yapılan modal analizden elde edilen frekans ve periyod değerleri	79
Çizelge 5.12	3-3' Kesitinde yapılan modal analizden elde edilen frekans ve periyod değerleri	80
Çizelge 5.13	4-4' Kesitinde yapılan modal analizden elde edilen frekans ve periyod değerleri	80
Çizelge 5.14	5-5' Kesitinde yapılan modal analizde elde edilen frekans ve periyod değerleri	81
Çizelge 5.15	6-6' Kesitinde yapılan modal analizde elde edilen frekans ve periyod değerleri	81
Çizelge 5.16	Modal analiz sonuçlarından belirlenen belirlenen Rayleigh sönüm katsayıları..	82
Çizelge 5.17	Anakaya ivme kayıtlarında, maksimum ivme ve spektral ivme değerleri	85
Çizelge 6.1	Analiz sonuçlarının karşılaştırıldığı noktaların yerleri.....	90
Çizelge 6.2	Zemin yüzünde belirlenen maksimum ivme değerleri	114
Çizelge 6.3	Zemin yüzünde belirlenen spektral ivmelerin maksimum değerleri	115

ÖNSÖZ

Tez çalışmam süresince bilgi ve tecrübeleri ile bana yol gösteren danışmanım Prof.Dr. Kutay ÖZAYDIN'a teşekkürlerimi sunarım. Çalışmamın oluşumunda başlangıcından son gününe her aşamada çok önemli katkılarda bulunan Yrd. Doç. Dr. Havvanur KILIÇ'a şükranlarımı sunarım.

Ayrıca çalışmamın oluşmasında çeşitli aşamalarında katkı yapan Prof. Dr. Mustafa YILDIRIM'a, Yrd. Doç. Dr. Mehmet BERİLGİN'e, Arş. Gör. Ertuğrul ORDU' ya, ve Arş Gör. Pelin TOHUMCU' ya teşekkür ederim.

Şubat, 2006

İnş. Müh. Cevat ALİM

ÖZET

Küçükçekmece-Sefaköy yerleşim bölgelerinde toplam 13.43 km² lik bir alanın yerleşime uygunluğunun araştırılması Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği / Geoteknik Anabilim Dalı tarafından daha önce yapılmıştır (Özaydın vd., 2002). Bu tez çalışması kapsamında, daha önce inceleme bölgesinde yapılan çalışmalardan elde edilen bulguların bir bölümü kullanılarak, inceleme bölgesinin güneyinden kuzeyine doğru, batı-doğu doğrultusunda alınmış altı adet enkesit üzerinde, deprem sırasında oluşacak yüzey hareketlerinin değişimini belirlemek için, bir ve iki boyutlu dinamik davranış analizleri yapılmıştır. Böylece yerel zemin koşullarının deprem hareketi üzerindeki etkisi incelenmiş bir ve iki boyutlu dinamik davranış analiz sonuçları arasındaki fark ortaya konulmuştur.

Bir boyutlu analizler eşdeğer lineer analiz prensibine dayalı olarak çalışan EERA programı ile, iki boyutlu dinamik analizler ise PLAXIS programı ile yapılmıştır. İki boyutlu dinamik davranış analizlerinde sonuçlar üzerinde en çok etkisi olan viskoz sönüm parametreleri farklı iki yöntemle belirlenmiş ve sonuçlar üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Dinamik analizlerde anakaya yer hareketi kaydı olarak kullanılan ve olası İstanbul depremini temsil eden 475 yıllık tekrarlanma periyodlu sentetik ivme kayıtları, Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü tarafından bölgenin sismisitesi dikkate alınarak TARSCTHS programı kullanılarak üretilmiştir. Analiz sonuçları zemin yüzü yer hareketi özelliklerinin, değişen yerel zemin koşulları ve arazi topoğrafyası ile farklılaştığını göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Küçükçekmece, dinamik davranış analizleri, Plaxis, EERA

ABSTRACT

The layout conformity of total 13.43 km² settling areas in Küçükçekmece-Sefaköy has been researched before by Yıldız Technical University Department of Civil Engineering / Geotechnics Division (Özaydın et al., 2002). Within the context of this thesis, one and two dimensional dynamic behaviour analyses are made using some evidences obtained from the previous studies made in the investigation area, from the south to the north of the research area, on six cross-sections taken in the west-east direction, to determine the changes of the surface movements occurring during earthquakes. Consequently, effect of local soil conditions on the earthquake movement is examined; the difference between the one and two dimensional dynamic analyses is displayed.

One dimensional analyses are made by the program EERA which is based on equivalent linear analysis principal, two dimensional dynamic analyses are made by PLAXIS. Viscose damping parameters, which are the most effective on the results of two dimensional dynamic behaviour analyses, are determined by two different methods and the effects of these on the results are examined. 475 year repetition period synthetic acceleration records used as the bedrock motion representing possible İstanbul earthquake in dynamic analyses are produced by Bogazici University Kandilli Observatory and Earthquake Research Institute, taking the seismicity of the area into consideration, by using the program TARSCTHS. The results of the analyses show that the properties of surface motion differ according to varying local soil conditions and land topography.

Keywords: Küçükçekmece, dynamic response analysis, Plaxis, EERA

1. GİRİŞ

Yerel zemin koşullarının kuvvetli deprem yer hareketlerini önemli ölçüde etkilediği, yakın zamanlarda meydana gelmiş yıkıcı depremlerde gözlenen yapısal hasar ve aletsel ölçümlerle açıkça ortaya konmuştur. Depremler sırasında oluşan yer hareketleri yapılara etkileyen sismik kuvvetleri doğrudan etkilediği gibi, aynı zamanda deprem sırasında zemin tabakalarının davranışı ve zemin göçmesi açısından da çok önemlidir. Bu gözlemler ışığında, gerek deprem şartnamelerinde gerekse mikrobölgeleme çalışmalarında yerel zemin koşullarını dikkate almak yönünde yapılan çalışmalar artmaktadır.

Bir sahada oluşan deprem hareketinin özellikleri tektonik yapı, kırılma mekanizması, doğrultu etkisi, merkez üssü uzaklığı, deprem dalgasının ilerleme yolu üzerindeki jeolojik yapının etkisi, deprem dalgalarının girişimi, yerel yüzey topoğrafyasının ve zemin koşullarının etkisi gibi birçok faktöre bağlıdır. Anakaya derinliği, zemin tabakalarının kalınlığı, cinsi, dinamik özelliklerinin derinlikle değişimi, zemin tabakalarının yanal düzensizliği ve topoğrafik özellikler gibi yerel zemin koşulları spektral büyütmeye etkileyen önemli faktörlerdir (Haşal, 2003).

Zemin tabakalarının dinamik analizi için geliştirilen hesap yöntemleri genellikle karşılaşılan problemin gereksinimine göre, bir, iki ve üç boyutlu olarak tanımlanır. Zemin tabakalarının bir boyutlu dinamik analizinde yüzey topoğrafyası ihmal edilmektedir. Fakat gerçekte dar vadilerde, geniş vadilerin kenarlarında ve tepelerin yamaçlarında ikinci ve hatta üçüncü boyutun etkileri ortaya çıkmaktadır.

1.1 İnceleme Alanında Daha Önce Yapılan Çalışmalar

1999 yılında iki büyük depremin yarattığı kayıpların ardından, Marmara bölgesini ve özellikle İstanbul'u etkileyecek olası bir depremin oluşma riskinin artması nedeniyle, Marmara bölgesinin depremselliğinin incelenmesi konusunda yapılan çalışmalar hızlandırılmış, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı'nın ve yerel yönetimlerinde konu ile ilgili sorumlulukları artmıştır. Bu kapsamda Küçükçekmece-Sefaköy yerleşim bölgelerinde toplam 13.43 km² lik bir alanın yerleşime uygunluğunun araştırılması Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği / Geoteknik Anabilim Dalı tarafından yapılmıştır (Özaydın vd. 2002).

Yerleşime uygunluk çalışmalarından, elde edilen jeolojik ve geoteknik veriler kullanılarak, Küçükçekmece-Sefaköy yerleşim bölgesi yerel zeminlerinin olası bir deprem sırasında dinamik davranışı incelenerek zemin büyültmeleri, sıvılaşma ve yamaç kayması tehlikelerine

göre bölgelemesi MERM Mikrobölgeleme El Kitabı, 2003'e göre yapılmıştır (Kılıç, vd. 2004, Kılıç, vd. 2005).

Mikrobölgeleme çalışması kapsamında yapılan çalışmalar aşağıda kısaca özetlenmiştir.

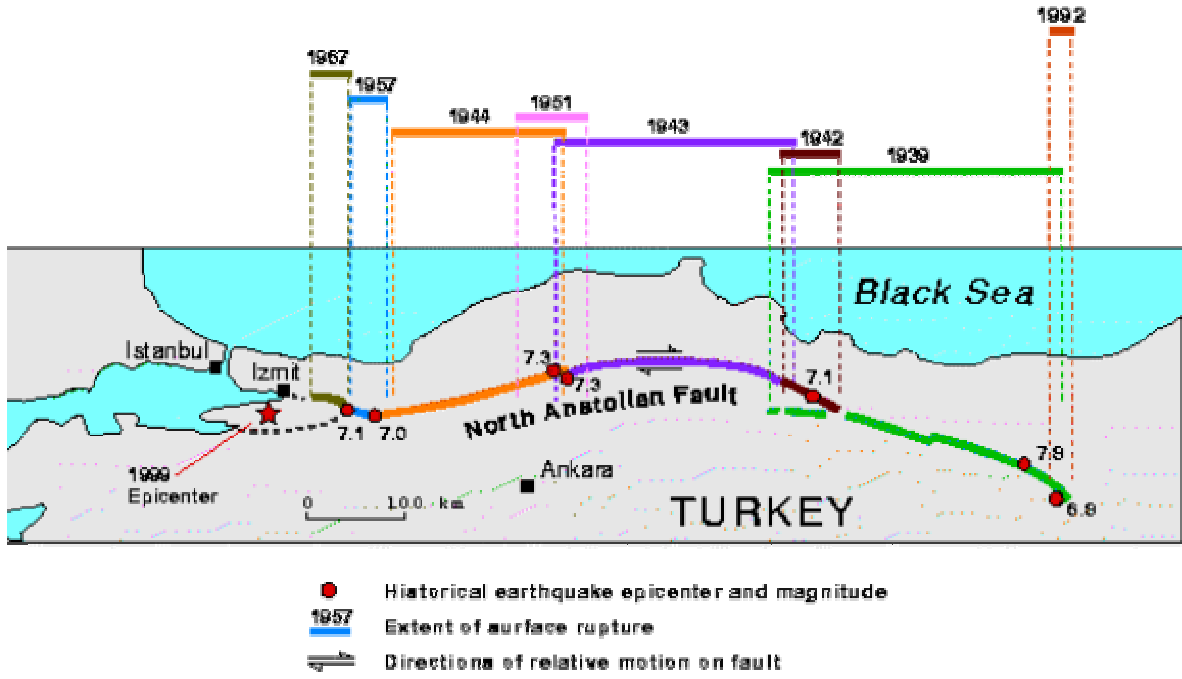
1. Bölgenin yerleşime uygunluğunun araştırılması ve zemin incelemeleri için yapılan arazi çalışmalarıyla, bölgenin jeolojik ve tektonik özellikleri ve bölgede yer alan zeminlerin geoteknik özellikleri belirlenmiştir. Ayrıca inceleme alanında yapılan sismik kırılma ve mikrotremor ölçümleri yerel zemin etkileri bakımından değerlendirilmiştir (Özaydın vd. 2002).
2. Bölgesel ölçekte deprem tehlikesi saptanarak sismik mikrobölgeleme çalışmalarında kullanılmak üzere deprem özellikleri Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Deprem Araştırma Enstitüsü tarafından belirlenmiştir. Bu çalışma sonucunda bölgesel deprem tehlikesi ve gerekli deprem özellikleri Poisson modeli kullanılarak 100 yıllık dönüşüm periyodu veya yaklaşık 50 yılda %40 aşılma olasılığına ve 475 yıllık dönüşüm periyodu veya yaklaşık 50 yılda %10 aşılma olasılığına göre belirlenmiştir.
3. Mevcut geoteknik verilerin mikrobölgeleme amaçlı analizi ve değerlendirilmesi için inceleme alanı 250x250 metrelik hücrelere bölünerek her bir hücre için tipik zemin profilleri belirlenerek Türkiye Deprem Yönetmeliği (Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik; AİGM, 1998), NEHRP (Ulusal Deprem Tehlikesini Azaltma Programı; BSSC, 2001) ve eşdeğer kayma dalgası hızlarına göre sınıflandırılmıştır.
4. Probabilistik deprem tehlikesi hesaplaması sonucunda her bir hücre için referans zeminde ve 100 ve 475 yıllık yinelenme periyodları için elde edilen 0.2 s ve 1 s. deki spektral ivmeler yardımıyla hesaplanan eş-olasılık tepki spektrumu (Uniform Hazard Response Spectrum, NEHRP (1997) ile uyumlu sentetik yer hareketinin benzeşimi (simulasyonu) TARSCTHS (Deodatis, 1996 ve Papageorgiou vd., 2000) programı kullanılarak yapılmıştır.
5. Her bir hücrede belirlenen bu tipik zemin profilleri için, üretilen ivme-zaman kayıtları kullanılarak bir boyutlu (1-D) dinamik davranış analizleri EERA (2000) programı kullanılarak yapılmıştır. Bu analizlerden zemin yüzündeki maksimum ivme ile ivme spektrumu ve zemin büyütme faktörleri belirlenmiştir.
6. Sıvılaşma olasılığı ve yamaç kayması tehlikesi, jeolojik ve geoteknik araştırmalar ve bir önceki aşamada dinamik analizlerden elde edilen veriler ışığında incelenmiştir. Sıvılaşma olasılığı Youd et al (2001) tarafından önerilen yöntem uygulanarak, yamaç kayması tehlikesi ise Siyahi ve Ansal (1993) tarafından önerilen, Siyahi ve Fahjan (2003) tarafından geliştirilen

Coğrafi Bilgi Sistemi (GIS) ortamında çalışan bilgisayar programı (KoeriSlope) yardımıyla yapılmıştır.

7. İnceleme alanında yapılan bütün çalışmalardan belirlenen veriler ışığında, Coğrafi Bilgi Sistemi (GIS) kullanılarak zemin büyütmelemleri ile sınılaşmaya ve yamaç kaymaları riskine karşı göreceli tehlike seviyesine göre üç bölgeye (A, B ve C) ayrılarak mikrobölgeleme haritaları oluşturulmuştur. Sınılaşmaya göre bölgelemelerde sınılaşma potansiyeli indeksi (LPI) ne göre, yamaç kaymalarına göre bölgelemelerde güvenlik sayısına göre değerlendirme yapılmıştır (MERM Mikrobölgeleme El Kitabı, 2003).

1.2 Bölgenin Depremselliği

Kuzey Anadolu Fayı, sismik olarak dünyanın en diri faylarından birisi olduğundan, son yüzyıl içerisinde (1900-2000), özellikle 1939-1967 yılları arasında oluşmuş depremler birçok araştırmacının dikkatlerini Kuzey Anadolu Fayı'nın (NAF) üzerinde yoğunlaştırmıştır. Bu yıllar arasında içerisinde magnitudü 7.0 den büyük yüzeyde faylanma oluşturmuş 6 deprem meydana gelmiştir. Bu depremler, fayın toplam 800 km'den daha fazla bir uzunluğunu kırmıştır. Şekil 1.1 de NAF' ın son yüzyıldaki aktivitesi gösterilmiştir. Kuzey Anadolu Fayı'nın batıdaki uzantısından yaklaşık 110 km uzunluğundaki bir parçanın yırtılmasının yol açtığı 17 Ağustos 1999 Kocaeli depremi, İstanbul'da özellikle Avcılar, Küçükçekmece, Bağcılar ve Bakırköy gibi ilçelerde hasara yol açmıştır. Bunun dışında, İstanbul'un değişik yerlerinde, bina kaliteleri ve zemin koşullarına bağlı olarak, hafif ve orta hasar gören binalar olmuştur. Kuzey Anadolu Fay Hattı, İzmit Körfezi'nden itibaren çatallanmakta, Marmara Denizi'nden geçen kuzey uzantısı genellikle İstanbul için deprem kaynağını teşkil etmektedir. Bu kesimdeki fayın hareket ederek şiddeti yüksek bir depreme neden olması durumunda, Marmara denizi kuzey sahil şeridini I. derecede etkileyerek hasara neden olabilecektir. Küçükçekmece İlçesi, Sefaköy ve Küçükçekmece yerleşim bölgeleri, aktif sağ yönlü Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun yaklaşık 12 km kuzeyinde, I. derece deprem bölgesi içinde yer almaktadır. İstanbul'un ve dolayısıyla da, I. derece deprem bölgesi içinde kalan Küçükçekmece'nin ciddi bir deprem riski taşıdığı bilinmektedir.



Şekil 1.1 Kuzey Anadolu fayı üzerinde son 100 yılda meydana gelen depremler.

İnceleme bölgesinin deprem tehlikesi ve deprem özellikleri Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü tarafından yapılan çalışmalarla belirlenmiştir.

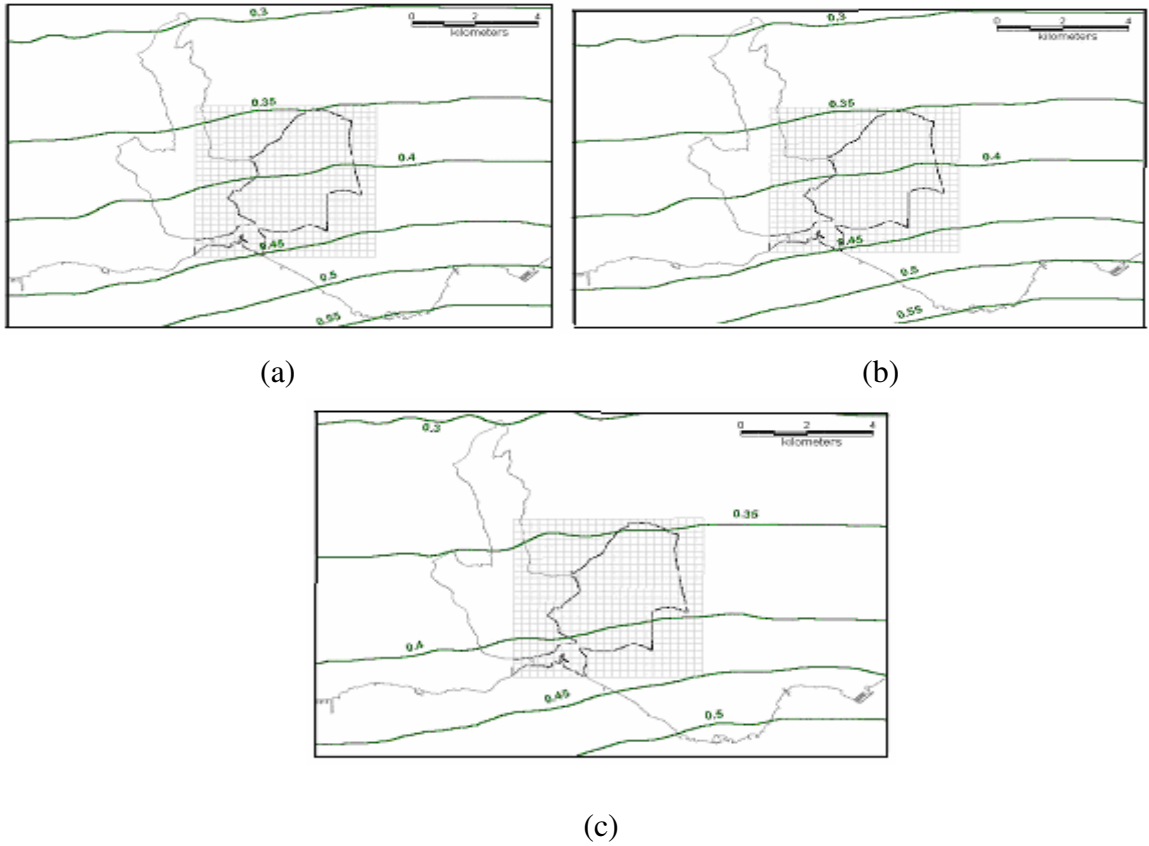
Bölgede deprem tehlikesini oluşturan unsurların iki ayrı grupta incelenebileceği kabul edilmiştir. Bunlar:

- (a) 5.0 – 6.9 manyitüd aralığındaki depremlerden oluşacak yer hareketleri
- (b) 7.0 ve daha yüksek manyitüdü depremlerden oluşacak yer hareketleridir.

(a) grubu depremler bölgedeki ana tektonik unsurlarla ilişkilendirilmesi mümkün olmayan depremler olup “arka plan sismisitesi” olarak adlandırılmaktadır. Bu gruptaki hesaplamalarda 5.0 ve daha yüksek manyitüdü deprem kataloğu kullanılmıştır. Bu depremler, derlenen neotektonik çalışmaların çözünürlük yetersizliği nedeniyle belli faylara atanması mümkün olmayan depremler olup, bunun yerine $0.005^\circ \times 0.005^\circ$ ’lik hücrelere atanmışlardır. Diğer bir deyişle oluşturulan coğrafik gridin her bir hücresi orta büyüklükteki ve daha küçük depremler için potansiyel bir kaynak olarak kabul edilmiştir. Arka plan sismisitesinde manyitüd yineleme ilişkisi olarak Gutenberg-Richter ilişkisi kullanılmıştır.

(b) grubu depremler belirgin faylar boyunca açığa çıkan sismik enerji ile ilgilidir. Bu kısımda kullanılmak üzere bir fay segmentasyon modeli geliştirilmiş (Erdik vd. 2004) ve bu faylar boyunca enerjinin karakteristik depremler aracılığı ile açığa çıktığı varsayılmıştır. Karakteristik depremlerin belirleyici özellikleri manyitüd ve yinelenme süreleridir. Belirlenen

çizgisel fay zonları üzerindeki sismik aktivitenin hesaplanmasında zaman-bağımsız (Poisson) modeli kullanılmıştır. Modelde yer alan her bir segment için karakteristik manyitüd ve yinelenme süresi belirlenerek karakteristik deprem yinelenme olasılıkları hesaplanmaktadır. Bu çalışmada manyitüd dağılımının hesaplanmasında Young and Coppersmith (1985) modeli kullanılmıştır. Segmentasyon modelinde kullanılan girdiler tarihsel sismisite, tektonik modeller ve fay boyunca oluşan kayma hızlarıdır. Bölgedeki toplam deprem tehlikesi (a) ve (b) grubu depremlerden elde edilen tehlikelerin toplanması ile hesaplanmıştır. Çalışmada deprem tehlikesinin sayısallaştırılmasında yer hareketi parametreleri olarak en büyük yer ivmesi ile 0.2 ve 1.0 s periyodlarındaki spektral ivmeler kullanılmıştır. Yer hareketleri yumuşak kaya zemin için belirlenmiştir (NEHRP B/C sınırı). En büyük yer ivmesi azalımı için Boore vd. (1997), Campbell (1997) ve Sadigh vd. (1997) azalım ilişkilerinin ortalaması, spektral ivme azalımı için ise Boore vd. (1997) ve Sadigh vd. (1997) azalım ilişkilerinin ortalaması kullanılmıştır. Zemin dinamik deprem davranış analizleri için yer hareketi özellikleri olarak 100 yıllık yinelenme periyoduna (50 yılda %40 aşılma olasılığı) ve 475 yıllık yinelenme periyoduna (50 yılda %10 aşılma olasılığı) karşı gelen spektral ivme değerleri 0.2 s ve 1.0 s için hesaplanmıştır. Şekil 1.2' de 50 yılda %10 aşılma olasılığına göre pik yüzey ivmelerinin(PGA) 0.2 s ve 1.0 s için elde edilen spektral ivmelerin değişimi gösterilmiştir.



Şekil 1.2 50 yılda %10 aşılma olasılığına göre, (a) PGA'ların, (b) 0.2 s ve (c) 1.0 s için elde edilen spektral ivmelerin değişimi.

Bu tezde, daha önce yapılan çalışmalarda elde edilen veriler kullanılarak bölgenin güneyinden kuzeyine doğru, batı-doğu doğrultusunda alınmış altı adet enkesit üzerinde bir ve iki boyutlu analizler yapılarak, yerel zeminlerin dinamik davranışı incelenmiştir. Arazi deprem davranış analizlerinde anakaya seviyesinde 475 yıllık yineleme periyoduna (50 yılda %10 aşılma olasılığı) karşılık gelen yer hareketi parametrelerinden TARSCTHS (Deodatis, 1996 ve Papageorgiou vd., 2000) programı kullanılarak üretilen sentetik kayıtlar kullanılmıştır.

1.3 Çalışmanın Amacı

Bu çalışmada, yerel zemin koşullarının deprem sırasında oluşan yüzey yer hareketi üzerindeki etkisi bir ve iki boyutlu dinamik davranış analizleri ile incelenerek, iki boyutlu etkilerin derecesinin araştırılması amaçlanmıştır. Ayrıca iki boyutlu dinamik davranış analizlerinde kullanılan viskoz sönüm parametreleri farklı iki yöntemle belirlenerek analiz sonuçları üzerinde etkileri araştırılmıştır.

İnceleme alanının, güneyinden kuzeyine doğru, batı-doğu doğrultusunda alınmış altı adet enkesit üzerinde bir ve iki boyutlu analizler yapılmıştır. Bir boyutlu analizler eşdeğer lineer analiz prensibine dayalı olarak çalışan EERA programı ile, iki boyutlu dinamik analizler ise PLAXIS programı ile yapılmıştır.

Bir boyutlu dinamik davranış analizleri, her bir kesit üzerinde arazi topoğrafyası ve formasyonlar göz önünde bulundurularak inceleme noktalarını temsil edecek seçilen noktalarda yapılmıştır. Bu noktalarda, zemin profili, tabaka kalınlıkları ve geoteknik ve dinamik malzeme parametreleri ile tanımlanmıştır. Anakaya seviyesinde belirlenen sentetik deprem kaydı girilmiş ve tek boyutlu dinamik davranış analizleri yapılmıştır. Analizlerden, zemin yüzündeki ivme değerleri, spektral ivmeler ve zemin büyütmesi değerleri belirlenmiştir. İki boyutlu analizlerde anakaya topoğrafyası düz olarak alındığından kesitlerin taban kısmında yer alan Kırklareli kireçtaşı tek boyutlu analizlerde de göz önüne alınarak iki farklı şekilde değerlendirilmiştir. birinci değerlendirmede anakayanın kayma dalgası hızı tabana ilave edilen Kırklareli kireçtaşının kayma dalgası hızı ile aynı kabul edilmiş (V_s anakaya=700 m/s) ve bu analizlerin sonuçları EERA (700), anakaya kayma dalgası hızının 1500 m/s olarak alındığı ikinci değerlendirme sonuçları ise EERA (1500) olarak sunulmuştur.

İki boyutlu dinamik davranış analizleri, sonlu elmanlar analiz yöntemi ile çözüm yapan PLAXIS 7.2 programı ile yapılmıştır. Analiz edilen kesitler topoğrafik ve geoteknik özellikleri göz önüne alınarak modellenmiştir. Daha sonra bir boyutlu analizlerde kullanılan

sentetik deprem kaydı anakaya ivme kaydı olarak kullanılarak, her bir kesit için dinamik analizler yapılmış ve bu kesitler üzerinde arazi topoğrafyası ve formasyonlar gözönünde bulundurularak seçilen noktalarda, yüzey ivmesi, spektral ivme değerleri ve büyütme belirlenmiştir.

PLAXIS programı ile yapılan dinamik analizlerden söz ederken değinilmesi gereken en önemli kavram, analiz sonuçlarını en çok etkilemesi nedeniyle sönüm katsayılarıdır. Rayleigh α ve Rayleigh β katsayıları olarak anılan ve programa hesap aşamasında girilen bu katsayılar, yer hareketinden dolayı anakayada ortaya çıkan enerjinin, zemin tabakalarından geçerken ne oranda sönümleneceğinin belirlenmesinde önemli rol oynamaktadır. Rayleigh α ve Rayleigh β , zeminin titreşim frekansı ve sönüm oranı ile ilişkilendirilmiş bağıntılarla hesaplanmıştır. Çalışmada sönüm oranı olarak, araştırmacılar arasında genel kabul gören %5 değeri kullanılmıştır.

Çalışmada, zeminin titreşim frekanslarının bulunmasında iki farklı yaklaşım kullanılmıştır. Bunlardan birincisinde; her bir kesit için bir eşdeğer kayma dalgası hızı ve ortalama kesit yüksekliği hesaplanmış ve $4H/V_s$ bağıntısında yerine konulmuştur. Böylelikle zeminin birinci doğal titreşim periyodu hesaplanmış ve bu değer açısal frekansa dönüştürülmüştür. İkinci titreşim frekansı olarak ise zemin davranışının genellikle 10 Hz frekans değerine kadar önemli olduğu kabulüne dayanarak 10 Hz alınmıştır (Rathje, 2001). Böylece zeminin birinci doğal titreşim frekansı ve 10 Hz frekans değerleri arasındaki zemin davranışı dikkate alınarak sönüm katsayıları hesaplanmıştır. Ancak bu hesap şeklinde zeminin topoğrafik özellikleri gözönünde bulundurulmamıştır.

Titreşim frekanslarının hesabında kullanılan ikinci yaklaşımda, sonlu elemanlar analiz yöntemi ile hesap yapan LUSAS programı kullanılmıştır. LUSAS programında, kesitler topoğrafik ve geoteknik özellikleri ile modellenmiş ve bu kesitlerde modal analiz yapılarak ilk on moda ait periyod ve frekans değerleri bulunmuştur. Bu frekans değerlerinden ilk iki moda ait olanlar sönüm katsayılarının hesabında kullanılmıştır. Bu yaklaşımda zemin topoğrafyası dolayısıyla ikinci boyutun etkisi, modelleme esnasında göz önüne alınmıştır. Özellikle ikinci boyutun etkisinin araştırıldığı bu çalışma için arazi topoğrafyası da göz önüne alınarak bulunan Rayleigh α ve Rayleigh β katsayıları ile yapılan dinamik analizlerin daha güvenilir sonuçlar vereceği ileri sürülebilir.

Dinamik analiz sonuçları önce, bir boyutlu ve iki boyutlu analizlerde kullanılan farklı yöntemler için kendi içerisinde karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma yüzey ivmeleri, spektral

ivmeler ve büyütmeler bazında gerçekleştirilmiş ve kullanılan çeşitli yöntemler ile elde edilen sonuçlar arasındaki farklar irdelenmiştir. Daha sonra bir boyutlu ve iki boyutlu analizler birbirleri ile karşılaştırılarak bir ve iki boyutlu analiz sonuçlarının birbirinden farkı açıklanmaya ve iki boyutlu etkilerin yüzey hareketi şiddeti ile sismik büyütmeleri ne derecede etkilediği açıklanmaya çalışılmıştır.

2. YEREL ZEMİN KOŞULLARININ DEPREM HAREKETİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİ VE ZEMİN DAVRANIŞ ANALİZLERİ

2.1 Giriş

Yerel zemin koşullarının kuvvetli deprem yer hareketlerini önemli ölçüde etkilediği, yakın zamanlarda meydana gelmiş yıkıcı depremlerde gözlenen yapısal hasar ve aletsel ölçümlerle açıkça ortaya konmuştur. Depremler sırasında oluşan yer hareketleri yapılara etkiyen sismik kuvvetleri doğrudan etkilediği gibi, aynı zamanda deprem sırasında zemin tabakalarının davranışı ve zemin göçmesi açısından da çok önemlidir.

Depremler sırasında oluşan yer hareketleri kaynak, izlenen yol ve arazi özellikleri gibi birçok faktörden etkilenmektedir. Bu nedenle, oluşacak yer hareketlerinin değerlendirilmesi için

- a) Bölgesel Sismisite
- b) Yer Hareketlerinin Sönümlenmesi
- c) Yerel Arazi Koşulları

gibi faktörlerin dikkate alınması gerekmektedir.

Deprem şartnamelerinde sismik riski tanımlayan parametrelerin kestiriminde, sismojenik kaynakların aktivitesi ve bu kaynaklara olan uzaklığa bağımlı azalım ilişkileri dikkate alınırken, yerel zemin koşullarının etkisi, genellikle yapılara etkiyecek sismik etkileri hesaplamakta kullanılan bağıntılarda bir temel zemini faktörü veya arazi sismik katsayısı ile göz önüne alınmaktadır. Son yıllarda elde edilen deprem verilerine dayalı olarak yeni temel zemini sınıflandırma sistemleri, azalım ilişkileri ve yer-bağımlı davranış spektrumları geliştirilmiştir. Tasarım için sismik tehlikeyi belirleme açısından yerel zemin koşullarının dikkate alınması gereklidir, bu bağlamda da arazi zemin profili yanında topoğrafik özelliklerin de göz önüne alınması gerekmektedir. Kalın ve zayıf zemin formasyonlarının ve arazi topoğrafik konumunun deprem yer hareketini gerek zaman gerekse frekans alanında etkiledikleri bir çok araştırmacı tarafından gösterilmiştir. Yakın tarihlerde meydana gelen depremlerdeki gözlemler bu hususu doğrulamaktadır.

Yerel zemin koşullarının depremin yol açtığı hasara etkisi uzun zamandan beri bilinmekle beraber bu konuda aletsel ölçümlerde ve hesap çalışmalarında son 50 yılda önemli gelişmeler meydana gelmiştir. Bu konudaki ilk önemli bilgiler 1957 San Fransisco depreminde değişik noktalarda alınan bazı ölçümlerden elde edilmiştir. Bu ölçümler, birbirine yakın bölgelerde oluşan yer ivmelerinin bazen birbirinden %100'e varan farklılıklar gösterdiğini ve bunun

büyük olasılıkla ölçüm istasyonları altındaki zemin koşullarından ileri geldiğini ortaya koymuştur.

1985 Mexico City depreminde meydana gelen hasar dağılımı, sismik davranış üzerinde yerel koşulların etkisini açık bir şekilde ortaya koymuştur. Genellikle 0.04 g değerinden düşük olan taban kayası pik ivme değerleri, eski bir göl yatağında yer alan kalın kil tabakalarında yaklaşık 5 misli büyümeye maruz kalmış ve periyodları arazi periyoduna yakın yapılarda çok büyük hasarlara yol açmıştır. 1989 Loma Prieta depreminde de hasarın büyük çoğunluğu yumuşak zemin tabakalarının yer aldığı San Fransisco-Oakland bölgesinde meydana gelmiş ve buralarda spektral ivmelerin yakınlardaki kayalık bölgelere göre 2-4 defa büyüdüğü gözlenmiştir. Bütün bu gözlemler, depreme dayanıklı tasarım için yerel zemin koşullarının dikkate alınması gerektiğini göstermektedir.

2.2 Depremler Sırasında Zemin Tabakalarının Davranışı

Depremlerin yapılarda yol açtığı hasarların yerel zemin koşullarından etkilendiği bilinmektedir. Bu nedenle yapıların inşasından önce yapılan temel zemini etüdlerinde, arazideki temel zeminini oluşturan tabakların muhtemel bir deprem sırasında göstereceği davranışın da incelenmesi gerekli olmaktadır.

Depremler sırasında gözlenen yapısal hasar, zemin yüzünde büyük deplasmanlara yol açan toptan zemin göçmelerinin sonucu olursa meydana gelen yapısal hasar ile yerel zemin koşulları arasındaki ilişki açık olarak görülebilir. Örneğin, gevşek yerleşimli daneli zeminler yer sarsıntılarını sonucu sıkışarak zemin yüzünde büyük toplam ve farklı oturmalara ve böylece taşıdıkları yapılarda büyük hasarlara yol açabilirler.

Gevşek yerleşimli daneli zemin tabakalarının suya doymuş olması halinde ise titreşimlerin yol açtığı sıkışma sonucu boşluk suyundaki hidrostatik basınç artışı zeminin sıvılaşmasına ve üzerindeki yapıların oturmasına, yatmasına veya zemin içine batmasına neden olabilir. Zeminler tekrarlı kayma gerilmeleri altında türlerine, sıkılıklarına, aşırı veya normal konsolide olmalarına, statik kayma gerilmelerine ve tekrarlı yüklemenin çevrim sayısına ve etkiye süresine göre farklı davranışlar sergilerler. Depremin yol açtığı tekrarlı kayma gerilmelerinin genliğine bağlı olarak ortaya çıkan boşluk suyu basıncı artışları ve şekil değiştirmeler, kayma mukavemetinde bir azalma ve zeminde bir yumuşama meydana getirir. Kayma mukavemetinde ortaya çıkan bu azalmanın mertebesi, büyük ölçüde zeminin gerilme-şekil değiştirme özelliklerine bağlıdır

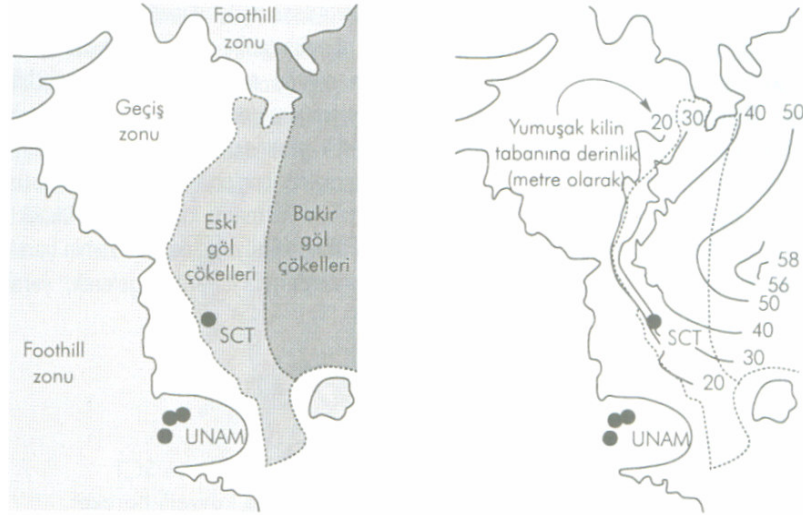
Tekrarlı gerilmelerin etkisinde kalan bir zemin elemanında kayma mukavemeti iki şekilde ve iki aşamada tanımlanabilir. Bunlardan ilki, çoğunlukla dinamik kayma mukavemeti olarak adlandırılmakta ve birim şekil değiştirme genliklerinin hızla artmasına veya belirli bir sınır değeri aşmasına neden olan tekrarlı gerilme genliği değeri olarak tanımlanmaktadır. İkinci kayma mukavemeti tanımlanması ise tekrarlı gerilme sonrası bulunan statik kayma mukavemeti ile ilgilidir. Bugüne kadar yapılan çalışmalardan çıkan genel sonuç deprem sırasında oluşan kayma gerilmelerinin yeterli derecede büyük olması halinde, büyük deformasyonlara ve göçmelere yol açabileceğidir. İkinci sonuç ise, tekrarlı gerilme uygulamaları ile oluşan büyük şekil değiştirmelerin bir yumuşamaya ve boşluk suyu basıncı artışları ile efektif gerilmelerde bir azalmaya yol açabileceği ve dolayısıyla da kayma mukavemetinde bir azalma meydana gelebileceğidir (Ansal, Yıldırım & Erken, 1995).

Depremlerde gözlemlenen yapısal hasara zemin koşullarının etkisi yönünden daha az açık olan bir etki, zeminde hiçbir göçme olmadığı halde zemin koşullarının yapılara etkileyen sarsıntı şiddetine ve dolayısıyla üzerindeki yapıların göreceği hasara yapacağı etkidir. Yerel zemin koşulları, deprem sırasında yapılara etkileyen yer ivmesinin genliğini, frekans özelliklerini ve buna bağlı olarak atalet kuvvetlerini büyük ölçüde etkilemektedir.

2.3 Mexico City Depremi Hasar Dağılımı

Merkez üssü Meksika'nın pasifik kıyısı yakınlarında bulunan, 19 Eylül 1985 Michoacan depremi ($M=8,1$) merkez üssü civarında sadece orta düzeyde hasara neden olmuş fakat 350 km kadar uzaktaki Mexico City'de çok büyük hasarlara yol açmıştır. (Kramer, 1996)

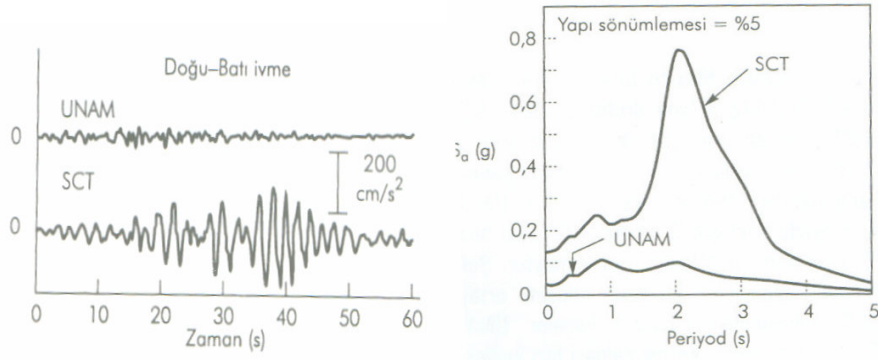
Mexico City zemin koşulları, sismik bölgelendirme bakımından birbirinden farklı üç bölgeye ayrılmaktadır. Kent merkezinin batısındaki Foothill Kuşağı olarak adlandırılan bölge, çoğunlukla granüler zemin, bazalt veya volkanik tüf şeklindeki sık ve sıkı çökellerden oluşur. Göl Kuşağı'nda yakındaki bir volkandan türemiş silt, kil, ve küllerin geçmiş dönemlerde Texcoco Gölü suları içinde havada taşınarak çökelmiş, çok yumuşak kalın tortullar, önemli derinliklere kadar devam etmektedir. Bu yumuşak zeminler genellikle 0-6 m kalınlığında ve "Capa Dura" olarak adlandırılan sıkı bir kum tabakası ile birbirinden ayrılmış iki yumuşak kilden (Mexico City Kili) oluşmaktadır. Göl Kuşağı'nın önemli bir bölümünde yeraltı suyu derinliği 2 m civarındadır. Foothill Kuşağı ile Göl Kuşağı arasında nehir çökellerinin düzensiz olarak bulunduğu ve kalınlığı fazla olmayan yumuşak zeminlerden oluşan Geçiş Kuşağı bulunur.



Şekil 2.1 Mexico City’de kuvvetli hareket cihazları ve geoteknik şartlar. (a) Kuvvetli hareket cihazlarının Foothill, Geçiş ve Göl kuşaklarına göre konumu; (b) Yumuşak zeminin kalınlık konturları (Kramer, 1996).

Mexico City’de 1985 yılından önce çok sayıda kuvvetli ölçüm cihazı yerleştirilmiştir. Şekil 2.1(b)’de Universidad Nacional Autonoma de Mexico (UNAM) ve Secretary of Communications and Transportation (SCT) kayıt sahalarının yerleri görülmektedir. Foothill Kuşağı’ndaki UNAM istasyonunun temelini 3 ile 5m kalınlığındaki bazaltlar oluşturmaktadır. SCT istasyonu ise Göl Kuşağı’ndaki yumuşak zeminler üzerine oturmaktadır.

Michoacan depremi çok büyük bir deprem olmasına rağmen, Mexico City’den çok uzakta olmasından dolayı UNAM istasyonunda sadece 0.03-0.04g’lik ivme üretmiştir. Diğer taraftan, Göl Kuşağı’ndaki SCT istasyonunda pik ivmeler UNAM’dakinin beş katından daha büyüktür. SCT istasyonunda kaydedilen hareketin frekans içeriği de UNAM’daki hareketten çok farklıdır. SCT istasyonunda baskın periyod yaklaşık 2 s ve kuvvetli sarsıntının süresi daha uzun olmuştur. Şekil 2.2 (b)’ de gösterilen tepki spektrumları Göl Kuşağı’ndaki zeminlerin kuvvetli etkisini ortaya koymaktadır. Yaklaşık 2 s’deki periyodlarda SCT sahasındaki spektral ivmeler UNAM sahasındakinden yaklaşık 10 kat daha büyüktür. SCT sahasının zemini, kayma dalgası hızı yaklaşık 75 m/s ve kalınlığı da 35 - 40 m olan yumuşak kilden oluşmaktadır. Buna göre, karakteristik zemin periyodu $T_s = 4H/V_s = 4(37.5)/75 = 2$ s olup, bu değer Şekil 2.2(b)’ deki SCT tepki spektrumu maksimumu ile uyum içerisindedir.



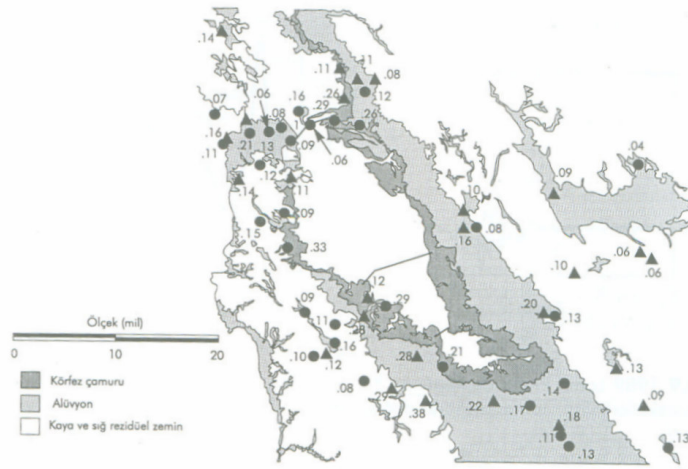
Şekil 2.2 UNAM ve SCT istasyonlarındaki (a) ivmenin zamana göre değişimi, (b) Tepki spektrumları (Kramer, 1996).

Mexico City'deki yapısal hasar oldukça seçici olmuştur. Kentin önemli bir kısmında herhangi bir hasar meydana gelmez iken, bazı bölgelerde çok büyük hasar meydana gelmiştir. Foothill Kuşağı'ndaki hasar önemsiz iken, Geçiş Bölgesi'nde minimum düzeyde kalmıştır. Hasarın en büyüğü, karakteristik zemin periyodunun 1.9 ile 2.8 s arasında tahmin edildiği ve 38 ile 50 m kalınlığındaki yumuşak çökellerden oluşan Göl Kuşağı bölgesinde olmuştur. Bu kuşağın kendi içinde bile, 5'den daha az katlı veya 30'dan daha fazla katlı binalarda düşük düzeyde hasar gözlenmiştir. Ancak, kat sayısı 5 ile 20 arasında değişen yapılar ya tamamen çökmüş, ya da ağır hasara uğramıştır. N katlı bir binanın esas periyodunun yaklaşık olarak $N/10$ saniye alındığı pratik kuralı kullanıldığında, hasar görmüş çoğu yapıların esas periyodunun karakteristik zemin periyoduna eşit veya ona yakın olduğu görülür. Zemin-yapı etkileşiminin periyod uzatma etkisi ve kuvvetli bir deprem sırasında bir yapının esas periyodunun artma eğilimi hesaba katıldığında, hasara uğramış yapıların muhtemelen bunların esas periyodlarına yakın periyodlardaki büyük dinamik kuvvetlerin çok sayıdaki tekrarına maruz kaldıkları görülmektedir. Bu çifte rezonans durumu (anakaya hareketinin zemin tarafından büyütülmesi ve zemin hareketinin de yapı tarafından büyütülmesi) tasarım ve inşaat kusurlarıyla bir araya gelerek, yerel olarak yoğunlaşmış olan yıkıcı hasarı doğurmuştur.

2.4 Loma Prieta Depremi Hasar Dağılımı

19 Ekim 1989'da San Francisco kentinin yaklaşık 100 km güneyindeki Loma Prieta Dağı'nın yakınında 7.1 büyüklüğünde bir deprem meydana gelmiştir. Loma Prieta depremi olarak isimlendirilen bu sarsıntının merkez üssü civarında neden olduğu sarsıntının şiddeti VIII iken, San Francisco'nun bazı kesimlerinde IX civarında olmuştur. Deprem hasarının bazı bölgelerde yüksek ve bazı bölgelerde de nispeten düşük olması, yerel zemin etkilerinin önemli olduğuna işaret etmektedir. (Kramer, 1996)

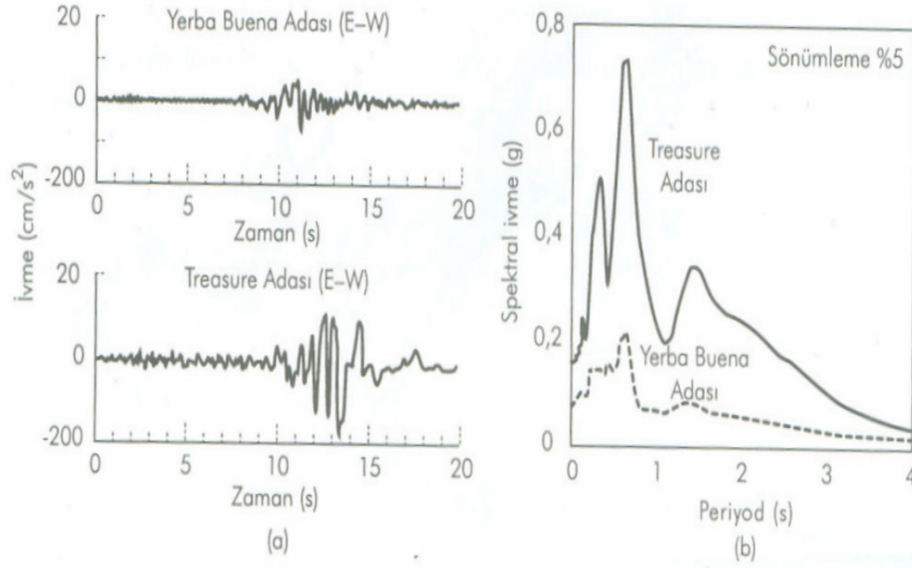
San Francisco Körfezi havzası genellikle kumlu-çakıllı zeminlerin de eşlik ettiği alüvyal kil ve siltli, kumlu kil ile doldurulmuştur. Daha derindeki çökeller, tarihsel buzul denizi çekilmelerinden dolayı aşırı konsolide olmuş, fakat San Francisco Körfez Çamuru olarak bilinen üstteki birim en son çekilme döneminden sonra oluştuğu için normal konsolide siltli kildir. Oldukça sıkışabilir nitelikteki bu malzemenin dayanımı, zemin yüzeyine yakın kesimde yumuşaktan başlayıp daha derinlerde orta katıya yükselmektedir. Sismik bölgelendirme açısından Körfez alanı Şekil 2.3'deki gibi üç alt bölgeye ayrılabilir. San Francisco Körfez Çamuru genellikle körfezin kenarlarında bulunur ve kalınlığı sıfır ile birkaç on metre arasında değişir.



Şekil 2.3 1989 Loma Prieta depremi sırasında San Francisco Körfez bölgesinde ölçülen g cinsinden pik yatay ivmeler (Kramer, 1996).

Gerek dışmerkez ve gerekse San Francisco bölgesi, sismograflar ve akselerometrelerle çok iyi şekilde donatılmıştır. Pik yatay ivmeler Şekil 2.3'de görülen lokasyonlarda kaydedilmiştir. Merkez üssüne yakın yerlerde yüksek olan bu ivmeler, kaynaktan itibaren mesafeye bağlı olarak sönümlenmiştir. Ancak, kaya / sıg rezidüel zemin kuşağındaki sahalarda sönümlenme, alüvyon veya Körfez Çamuru kuşaklarından daha çabuk gelişmektedir. San Francisco Körfezi'ndeki Yerba Buena Adası ve Treasure Adası'nda yerleştirilen iki cihazın tepkileri özellikle çok anlamlıdır. Yerba Buena Adası'ndaki istasyon bir kaya mostrası üzerindedir. Treasure Adası ise, bir kısmı Yerba Buena Adası'nın hemen kuzeybatısında bulunan ve sıg kum sırtlarından oluşan denizsel alanın hidrolik dolgu yapılarak oluşturulduğu yapay bir adadır. Treasure Adası'nın altındaki zemin, değişken kalınlıklardaki San Francisco Körfez Çamuru'ndan oluşmaktadır. Bu sahadaki sismograf istasyonunun altındaki zemin yapısı, 55 ft (16.8m) kalınlığındaki San Francisco Körfez Çamuru üzerindeki 45 ft (13.7 m) kalınlığında

gevşek kum şeklindedir. Yerba Buena sismograf istasyonu doğrudan kaya üzerindedir. İkisi de kaynaktan aynı uzaklıkta olmasına rağmen, Yerba Buena adası ve Treasure Adası'ndaki cihazların kaydettiği zemin yüzeyi hareketleri birbirinden çok farklıdır. Şekil 2.4(a)'da Yerba Buena Adası'ndaki pik ivmeler D-B yönünde 0.06g ve N-S yönünde 0.03g, Treasure Adası'ndaki ivmeler ise aynı yönlerde sırasıyla 0.16g ve 0.11g dir. Bu iki sahaya ait tepki spektrumları Şekil 2.4(b)'de verilmiştir. Açık bir şekilde görüleceği gibi, Treasure Adası'nda alttaki anakaya hareketi yumuşak zemin tarafından önemli ölçüde büyütülmüştür.



Şekil 2.4 1989 Lome Prieta depreminde Yerba Buena ve Treasure adalarında zemin yüzeyi hareketleri; (a) zamana göre değişimler; (b) tepki spektrumları (Kramer, 1996).

2.5 Zemin Davranış Analizleri

Yerel zemin koşullarının yer sarsıntıları üzerindeki etkilerini değerlendirmekte kullanılan arazi davranış analizlerinde genellikle, taban kayası olarak nitelendirilen formasyondan yukarı doğru hareket ettiği varsayılan kayma dalgalarının yayılımı analiz edilmektedir. Bu kavramı esas alarak geliştirilen tek boyutlu ve iki boyutlu dinamik davranış analiz yöntemlerinde zemin tabakalarının lineer veya non-lineer davranışı dikkate alınmaktadır. Söz konusu analiz yöntemleri genellikle aşağıdaki adımlardan oluşmaktadır.

- İnşaat sahası altında yer alan taban kayası formasyonlarında oluşması muhtemel yer hareketinin özelliklerinin belirlenmesi ve hesapta kullanılmak üzere bu özelliklere uygun bir ivme kaydının seçilmesi.

En büyük ivme, hakim periyod ve etkiye süresi gibi deprem özellikleri, beklenebilecek en büyük deprem magnitüdü, sahanın aktif fay hatlarına uzaklığı ve faylanma mekanizmasını dikkate alan ampirik bağıntı ve grafiklerden yararlanılarak seçilebilmektedir. İstenilen özelliklere sahip bir tasarım yer hareketi ise, geçmişte benzer zemin koşullarına sahip bölgelerde kaydedilmiş kuvvetli deprem ivme kayıtlarından veya yapay olarak üretilmiş ivme kayıtlarından yararlanılarak seçilebilmektedir.

- Zemin tabakalarının dinamik özelliklerinin seçilmesi

Değişik zemin tabakaları için kayma modülü (G) ve sönüm oranlarının (ξ) birim şekil değiştirme seviyesi (γ) ve arazi gerilme koşullarına göre değişimini veren laboratuvar ve arazi deney teknikleri ve ampirik bağıntılardan yararlanılarak, temel zeminini oluşturan tabakaların dinamik özellikleri tayin edilebilmektedir.

- Taban kayada oluşan yer hareketinin etkisi altında zemin tabakalarının davranışının analizi ve yer hareketi üzerinde zemin özelliklerinin frekans alanındaki etkilerinin hesaplanması.

Kayma dalgalarının tabandan yukarıya doğru dağılımını esas alan tek boyutlu analiz yöntemlerinden yararlanarak yapı temelleri seviyesinde etkimesi beklenebilecek yer hareketleri belirlenebilmektedir. Bu hesap yönteminde, temel zemininin yatay yönde sonsuza uzanan çok sayıda yatay tabaka ve en altta anakaya olarak nitelendirilen bir yarı sonsuz ortamdan oluştuğu kabul edilmektedir. Her tabakanın homojen ve izotrop olduğu varsayılarak, lineer viskoelastik bir sistem boyunca kayma dalgalarının düşey yönde dağılımı ile tanımlanan davranış incelenmektedir. Davranış analizi bir iletme problemi olarak ele alınmakta, genellikle anakaya olarak nitelendirilen tabakada oluşması muhtemel yer hareketi girdi olarak kullanılarak aşağıdan yukarıya doğru iletim sırasında yer hareketinde meydana gelen değişimler hesaplanabilmektedir.

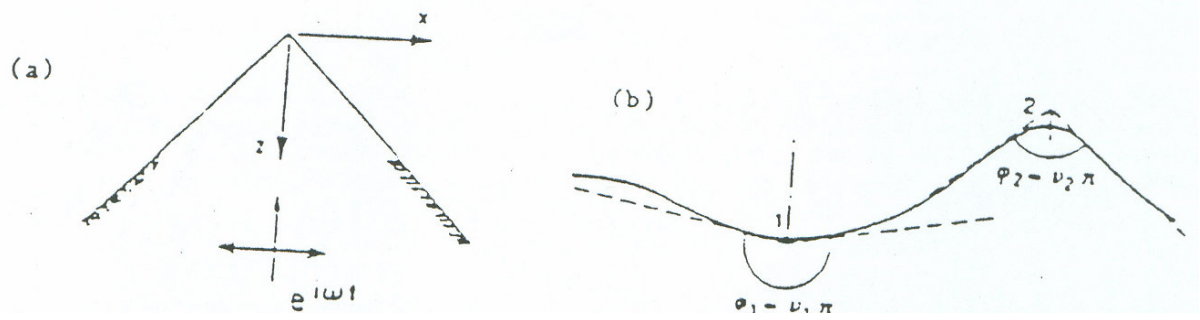
Elastik Davranış: Yer hareketlerinin zemin tabakaları içinde yayılması sırasındaki arazi davranışını anlayabilmek için, bazı basit arazi modellerinden yararlanılabilir. Örneğin, arazi zemin profili rijit bir temel üstüne oturan üniform H kalınlığında ve V_s kayma dalgası hızına sahip bir elastik zemin tabakasından oluşan bir sahanın doğal periyodları $T_n = 4H/(2n-1)V_s$ şeklinde tanımlanabilir. Deprem sırasında arazi davranışı, yer hareketinin frekans içeriği ve bunun arazi periyodları ile ilişkisine bağlı olacaktır. Aynı T_n periyoduna sahip araziler, aynı yer hareketi altında benzer davranış gösterecektir. Periyodların sabit olması ise H/V_s oranının sabit olmasına bağlı olup, H ve V_s 'den hiçbirisi tek başına arazi davranışını tanımlamaya yeterli değildir. Aynı sabit V_s değerine sahip, tabaka kalınlığı farklı araziler aynı

yer hareketi sırasında farklı davranış gösterecektir, fakat bu durumda tabaka kalınlığı ile arazi davranışı arasında kuvvetli bir korelasyon olacaktır. Pik büyütmelemin düşük frekanslar için daha kalın, yüksek frekanslar için ise daha sık tabakalarda meydana geldiği gözlenmektedir. Öte yandan, aynı tabaka kalınlığına ve farklı periyodlara sahip arazilerde kayma dalgası hızı V_s arazi davranışını kontrol eden parametre olacaktır. Birçok araştırmacı tarafından yapılan arazi davranış analizleri sonuçları, birbirine yakın kalınlıkta farklı zemin tabakalarına sahip arazilerde, yer hareketi büyütmeleminin kayma dalgası hızının azalması ile arttığını göstermektedir.

Lineer Olmayan Davranış: Lineer olmayan zemin davranışının etkisini incelemek üzere ise, üniform kalınlıkta lineer olmayan ve histeretik davranış gösteren bir zemin tabakasının davranışını göz önüne alabiliriz. Düşük sarsıntı seviyelerinde davranış büyük ölçüde elastik olacağı için büyütme faktörü periyod, kayma dalgası hızı veya rijit tabaka derinliğine doğrudan bağımlı olacaktır. Yer hareketinin genliği arttıkça meydana gelecek şekil değiştirme seviyeleri büyüyecek ve lineer olmayan histeretik davranış ortaya çıkmaya başlayacaktır. Zemin kayma modülünde meydana gelen azalmaya bağlı olarak arazi periyodu daha uzun periyodlara doğru yer değiştirmeye, histeretik davranıştan dolayı da sönüm oranı artmaya başlayacak, bunlara bağlı olarak arazi hakim periyodunda meydana gelecek olana göre pik davranışta azalma ortaya çıkacaktır. Böyle bir sahada büyütmenin, arazinin başlangıç periyoduna (H ve V_s) veya başlangıçtaki periyod değerine (T) bağılı olarak kestirilebilmesi, periyotta meydana gelen yer değiştirmeye ve oluşan sönümlenmeye bağılı olacaktır. Lineer olmayan zemin davranışının arazi davranış analizini zorlaştırmasının önemli nedeni, bu durumda yer hareketinin şiddetinin bağımsız değişken olarak devreye girmesi olmaktadır.

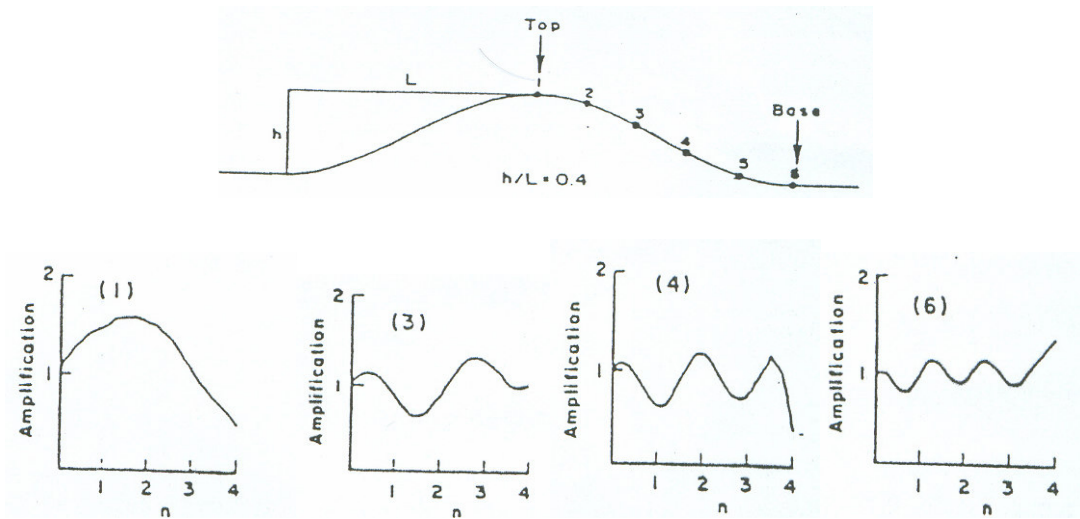
Taban kayasından yüzeye doğru yayılan kayma dalgaları üzerinde yerel zemin koşullarının etkisi, genellikle araziye tabakalı bir yarı-sonsuz ortam olarak modelleyen tek boyutlu kayma kırıışi analizi ile araştırılmaktadır. Bu analizlerde, non-lineer etkiler ve arazinin rezonans periyodu, periyodun artan sarsıntı şiddeti ile uzaması, değişik frekanslarda hareketlerin büyümesi ve küçülmesi gibi önemli faktörler dikkate alınabilmektedir (Schnabel vd., 1972; Lee ve Finn, 1978).

Topoğrafik Etkiler: Yüzeyi engebeli bir arazide, yüzey topoğrafyası yaklaşık olarak üçgen kamalar şeklinde tanımlanarak (Şekil 2.5) tepeye dik ve paralel doğrultuda SH dalgaları yayılması analiz edilebilmektedir .



Şekil 2.5 (a) Bir sırtın üçgen bir kama olarak tanımlanması (b) Düzlemsel SH dalgaları ile titreştirilen bir sonsuz kama.

Diğer taraftan, tepe yüksekliği/vadi genişliği (h/L) oranını bir biçim faktörü olarak kullanmak suretiyle ve Fourier transfer fonksiyonları kullanılarak büyütme oranı hesaplamaları da yapılmaktadır. Şekil 2.6'da bir yamacın değişik noktaları için boyutsuz bir frekans katsayısının ($n = 2L/\lambda, \lambda =$ dalga boyu) değişik değerleri kullanılarak elde olunan büyütme hesapları çözümleri gösterilmiştir.

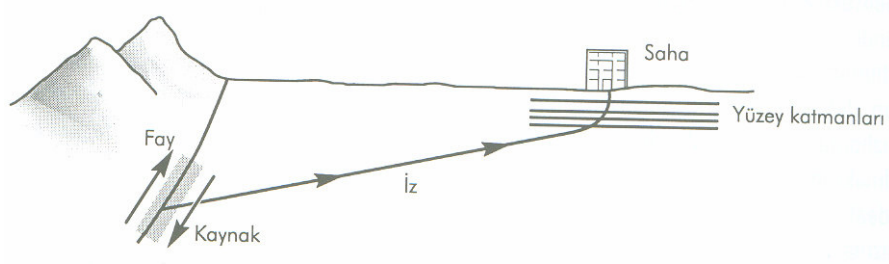


Şekil 2.6 Bir sırtın çeşitli noktalarında hesaplanan büyütmeler.

Bu sonuçlar, büyütme davranışının hesap noktası konumuna göre çok farklı olabildiğini, tepe noktasında düzgün tanımlanmış bir davranış gözlenirken, yamaç aşağı noktalarda davranışın çok daha karmaşık olabileceğini göstermektedir. Büyütme davranışında topoğrafik konumun ve üç boyutlu etkilerin önemli olabileceği bir çok araştırmacı tarafından da gösterilmiş olup ayrıca, bazı depremlerde gözlenen hasar dağılımından da bu görüşü destekleyen veriler sağlanmıştır.

2.5.1 Bir Boyutlu Zemin Davranış Analizleri

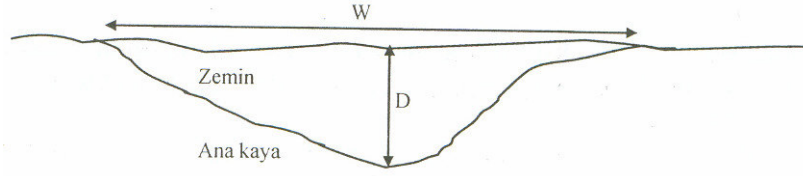
Yerin yüzeyi altında bir fay yırtıldığı zaman, cisim dalgaları kaynaktan tüm yönlerde dağılır. Farklı jeolojik birimlerin sınırlarına eriştiklerinde yansır ve kırılırlar. Sığ derinlikteki birimlerin dalgaları iletme hızları daha derinde bulunanlardan genellikle daha düşük olduğundan, yatay katman sınırına çarpan eğimli ışınlar genellikle daha düşey bir konuma doğru kırılırlar. Işın yer yüzeyine ulaşana kadar meydana gelen kırılmalar bunların çoğu zaman düşeye yakın yönde kırılmalarına neden olurlar. Bir boyutlu zemin davranış analizleri, tüm sınırların yatay olduğu ve zeminin tepkisine egemen olarak anakayadan düşey yönde yayılan SH dalgalarının neden olduğu varsayımına dayanmaktadır (Şekil 2.7). Bir boyutlu zemin davranış analizlerinde zemin ve anakaya yüzeylerinin yatay yönde sonsuz uzanımlı olduğu kabul edilir. Bu varsayım dayalı yöntemlerle kestirilen zemin tepkilerinin birçok deprem sırasında ölçülmüş tepki ile uyum sergilediği gözlenmiştir. (Kramer, 1996)



Şekil 2.7 Kırılma süreci ve dalga yayılma şeması (Kramer, 1996).

Tek boyutlu eşdeğer lineer davranış analizi, yatay veya yataya yakın tabakalanmış ve yeterli derecede homojen zemin profilleri (anakaya dahil) için uygundur. Bu durumlarda, zemin koşullarının seçilen zemin kolonu ile temsil edilmediği haller haricinde, çoğu zaman doğru sonuçlara ulaşılabilir. Analizlerde, zemin kolonunda tek boyutlu analiz yapmak için yazılan standart programlar kullanılabilir (SHAKE, SHAKE 91 veya EERA v.s. gibi).

Tek boyutlu eşdeğer lineer zemin davranış analizlerinin, vadi ve basenlerde iki boyutlu etkilere ve topoğrafyaya göre uygun düzeltmeler yapılarak kullanılması önerilmektedir. İki boyutlu etkilerin sadece anakaya derinliğinin (D), vadi genişliğinin (W) $1/5$ ila $1/10$ 'unu aştığı durumlarda geçerli olduğunu belirlenmiştir (Şekil 2.8).



Şekil 2.8 Bir boyutlu analizin geçerli olma koşulu ile ilgili şema.

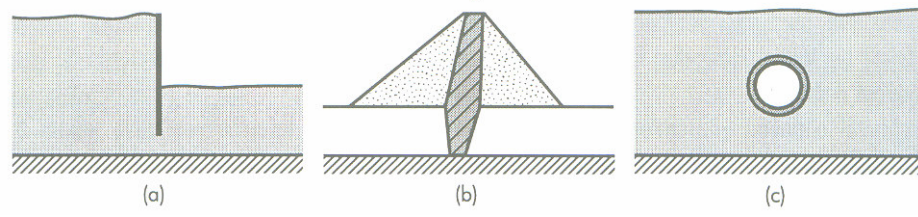
Özellikle basenlerde, uç kısımlarda önemli büyütme beklenmelidir. Bu durumlarda, özellikle yumuşak zeminlerin varlığı halinde, detaylı araştırmalarla olası iki boyutlu büyütme etkilerinin değerlendirilmesi önerilmektedir.

Tek boyutlu eşdeğer lineer analizin derin profiller için (örn. anakaya derinliği $> 500\text{m}$) kullanılması halinde özel dikkat gösterilmelidir. Bu durumlarda, kayma modülünün ve sönüm oranının frekansla değişiminin birim şekil değiştirme spektrumu ve yumuşama eğrileri yardımı ile dikkate alınması önerilmektedir.

Deprem tehlikesi hesapları, zeminde yüksek birim şekil değiştirmelere ve doğrusal olmayan davranışa neden olabilecek çok yüksek ivme seviyeleri verebilmektedir. Uygulamada, doğrusal olmayan zemin davranışı 'lineer eşdeğer zemin modelleri' ile hesaba katılmaktadır. Ancak, bu modeller birim şekil değiştirme seviyeleri dahilinde mümkündür. Her zemin için izin verilen birim şekil değiştirme seviyesi, zeminin kıvamına ve mukavemetine bağlıdır. Genelde, bu modellerin geçerli olduğu aralığın üst sınırı, kayma modülünün (G) birim şekil değiştirme seviyesine bağlı olarak en büyük kayma modülünün yarısına $G_{\max}$ eşit olduğu noktadır.

2.5.2 İki Boyutlu Zemin Davranış Analizleri

Daha önceki bölümde de yer verildiği gibi bir boyutlu yer tepki analiz yöntemleri, düz veya malzeme sınırına paralel hafif eğimli yüzeylerde oldukça yararlıdır. Uygulamada böyle birçok durum söz konusu olup bir boyutlu analizler geoteknik deprem mühendisliği uygulamalarında yaygınca kullanılmaktadır. Ancak, uygulamada karşılaşılan diğer birçok problemde bir boyutlu dalga yayılma varsayımı amaç için uygun olmamaktadır. Eğimli veya düzensiz zemin yüzeylerinde rijit ve gömülü ağır yapılar veya duvarlar ile tünellerin bulunduğu tüm durumlar için iki boyutlu hatta belki de üç boyutlu analiz gerekir. İçinde bir boyutunun diğerlerine göre çok daha büyük olduğu problemler çoğu zaman iki boyutlu düzlemsel birim deformasyon problemi olarak ele alınabilir. Bununla ilgili sıklıkla karşılaşılan problemler Şekil 2.9'da verilmiştir.

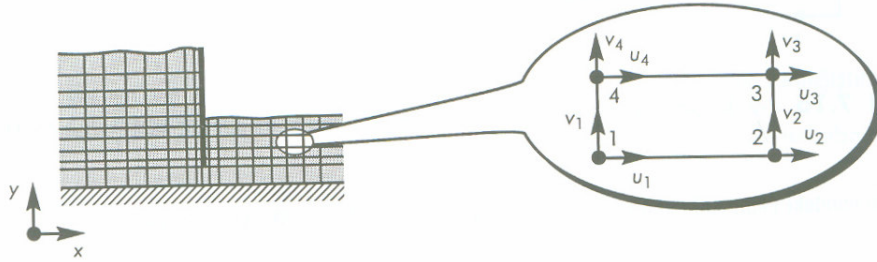


Şekil 2.9 Dinamik tepki analizleri ile çözülen yaygın problemler (Kramer, 1996).

İki boyutlu dinamik tepki problemlerinin çözümünde en çok dinamik sonlu eleman analizleri kullanılmaktadır.

Dinamik Sonlu Elemanlar Analizi

Sonlu elemanlar yöntemi; bir bütünü, sınırları düğüm noktaları ile tanımlanan ve ayrı elemanlardan oluşan bir topluluk olarak ele alır ve bütünün tepkisinin düğüm noktalarındaki tepki ile tanımlanabileceğini kabul eder. Şekil 2.10'da istinad duvarı örneğinde tipik bir dört düğümlü elemenda serbestlik derecesini ortaya koyan sonlu eleman ağı örneği gösterilmiştir (Kramer, 1996).



Şekil 2.10 İstinad duvarı örneğinde tipik bir dört düğümlü elemenda serbestlik derecesini ortaya koyan sonlu eleman ağı (Kramer, 1996).

Hareketin Temel Denklemleri: Sonlu elemanlar yönteminde bahis konusu olan problem aşağıda görüldüğü gibi elemanlara ayrılır. Bir eleman içinde herhangi bir noktadaki zemin yer değiştirmesi (2.1) eşitliği ile tanımlanır,

$$\{v\}^T = \{u \ v\} \quad (2.1)$$

düğüm noktası yer değiştirmesi, $\{q\}^T = \{u_1 u_2 u_3 u_4 v_1 v_2 v_3 v_4\}$ cinsinden aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$\{v\} = [N]\{q\} \quad (2.2)$$

Burada; $[N]$ şekil fonksiyonları matrisidir. Birim deformasyon – yer değiştirme matrisi $[B]$

birim deformasyonların $\{\epsilon\}$ düğüm noktalarındaki yerdeğiştirmelerden $\{q\}$ hesaplanmasına izin verir.

$$\{\epsilon\} = [B]\{q\} \quad (2.3)$$

Gerilme-birim deformasyon matrisi $[D]$ gerilmelerle $\{\sigma\}$, birim deformasyonları şu şekilde ilişkilendirir

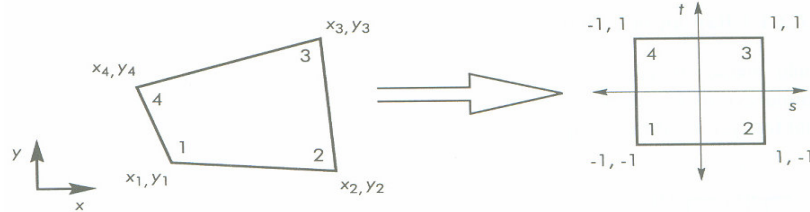
$$\{\sigma\} = [D]\{\epsilon\} \quad (2.4)$$

Şekil 2.11’de görüldüğü gibi, dört kenarlı elemanları karelere dönüştüren (s,t) şeklinde bir yerel koordinat sistemi tanımlayarak ve birim deformasyon-yer değiştirme ile gerilme-birim deformasyon ilişkilerini kullanarak, eleman rijitlik matrisi (z yönünde üniform bir kalınlık varsayarak) aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$[k_e] = \int_{-1}^1 \int_{-1}^1 [B]^T [D] [B] |J| ds dt \quad (2.5)$$

Burada Jacobian aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$|J| = \sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^4 x_i \left(\frac{\partial N_i}{\partial s} \frac{\partial N_j}{\partial t} - \frac{\partial N_i}{\partial t} \frac{\partial N_j}{\partial s} \right) y_j \quad (2.6)$$



Şekil 2.11 x-y koordinat sistemindeki düzensiz bir dörtgen elemanın s-t koordinat sisteminde kare şeklinde haritalanması (Kramer, 1996).

Eleman içindeki yoğunluğu sabit varsayarak, tutarlı eleman kütle matrisi aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$[m_e] = \rho \int_{-1}^1 \int_{-1}^1 [N]^T [N] |J| ds dt \quad (2.7)$$

Bir alternatif olarak, eleman kütlelerinin düğüm noktalarında yoğunlaştığı varsayımına dayalı toplanmış eleman kütle matrisi geliştirilebilir.

Değişik formüllerin sönümlenmenin frekans bağımlılığı üzerindeki etkilerinden dolayı, sönümlenme matrisleri sorunlu olabilmektedir. Ancak, doğrusal olmayan yer tepki analizlerinde sönümlenme başlıca zeminin başlıca histerezli davranışından ileri gelmektedir ve bu nedenle de, tekrarlı yükleme şartları altında rijitlik matrisindeki değişimler ile hesaba katılmaktadır. Çok küçük birim deformasyonlardaki sönümlenmeyi hesaba katmak ve sönümlenmenin sıfır olduğu durumda ortaya çıkabilecek sayısal problemleri asgariye indirmek için, iki boyutlu yer tepki analizinde küçük miktarda viskoz sönümlenme kullanılabilir. Tutarlı bir sönümlenme matrisi aşağıdaki bağıntıdan elde edilebilir.

$$[c_e] = \rho \int_{-1}^1 \int_{-1}^1 [B]^T [\eta] [B] J |dsdt| \quad (2.8)$$

Burada $[\eta]$ sönümlenme terimleri matrisidir ve elemanın hareket denklemleri aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$[m_e] \ddot{\{q\}} + [c_e] \dot{\{q\}} + [k_e] \{q\} = \{Q(t)\} \quad (2.9)$$

Buradaki eleman kuvvet vektörü aşağıdaki gibi tanımlanır

$$\{Q(t)\} = \int_{-1}^1 \int_{-1}^1 [N]^T \{W\} J |dsdt| + \int_s [N]^T \{T\} dS \quad (2.10)$$

Bağıntıda, $\{W\}$ düzenli cisim kuvvetlerinin vektörü ve $\{T\}$, herhangi bir S yüzeyine dışardan etkiyen kuvvetler vektörüdür.

Hareketin global denklemleri: Her eleman için hareket denklemleri elde edildikten sonra, bu denklemler yer değiştirmelerin uyumunu sağlayacak şekilde birleştirilerek hareketin global denklemleri elde edilir.

$$[M]\{\ddot{u}\} + [C]\{\dot{u}\} + [K]\{u\} = \{R(t)\} \quad (2.11)$$

Burada, $[M]$ global kütle matrisi, $[C]$ global sönümlenme matrisi, $[K]$ global rijitlik matrisi, $\{u\}$ global düğüm noktası yerdeğiştirme matrisi ve $\{R(t)\}$ global düğüm noktası kuvvet vektörüdür.

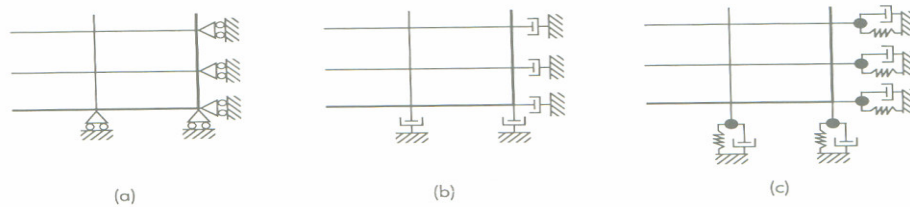
Sınır koşulları: Hesaplama kolaylığı bakımından sonlu eleman analizindeki eleman sayısı olabildiğince az tutulmaya çalışılır. Elemanların maksimum boyutları genellikle dalga yayılma hızı ve belirli bir frekans aralığı ile kontrol edildiğinden, elemanların sayısının azaltılması demek genellikle ayrılmış bölgenin boyutunu küçültmek anlamına gelir.

Ayrımlanmış bölgenin boyutu küçüldükçe de, sınır şartlarının etkisi daha büyük olur. Birçok dinamik tepki probleminde rijit veya anakaya gibi yaklaşık rijit sınırlar, özellikle yatay yönde olmak üzere problemin konusunu teşkil eden bölgeden uzak tutulmaya çalışılır. Bunun sonucunda, ilgili bölgeden uzaklaşan dalga enerjisi etkin bir şekilde o bölgeden tamamıyla uzaklaştırılmış olabilir. Sonlu eleman analizlerinde en çok kullanılan sınırlar üç grup altında incelenebilir.

Ana sınırlar: Sıfır yer değiştirme ve sıfır gerilme şartları ana sınırlarda tanımlanır. Ana sınırlar zemin yüzeyini serbest sınır (sıfır gerilme) olarak modellemede kullanılabilir. Ancak, yanal veya daha düşük sınırlarda eleman sınırlarının mükemmel yansıma özellikleri, gerçekte yayılma ile sınırı geçerek ilgi bölgesini terk eden enerjiyi ağ içinde hapsedebilir. Sonuçta oluşan kutu etkisi zemin tepki analizinde hatalara yol açabilir. Ana sınırların ilgili bölgeden yeterince uzağa yerleştirilmesi durumunda, yansımış dalgaların etkileri sönümlenme neticesinde önemli ölçüde azalmış olur.

Yerel sınırlar: Viskoz söndürücülerin kullanımı yerel sınırların yaygın bir türünü temsil eder. Mükemmel enerji soğrulması için gerekli söndürücü katsayısı değerinin, çarpan dalgaların geliş açısına bağlı olduğu gösterilebilir. Dalgalar sınırı genellikle farklı geliş açılarında eriştiklerinden, belirli bir söndürücü katsayısına sahip bir yerel sınır, gelen dalganın enerjisinin bir kısmını yansıtacaktır. Yerel sınırlarda oluşan yansımaların etkisi, ilgili bölge ile sınır arasındaki mesafenin arttırılmasıyla azaltılabilir.

Tutarlı sınırlar: Tüm geliş açılarında ve frekanslardaki her çeşit cisim dalgası ile yüzey dalgasını absorplayan sınırlara tutarlı sınırlar denir. Tutarlı sınırlar, sınır integral denklemlerinden veya sınır elemanlar yönteminden elde edilen frekans-bağımlı rijitlik matrisleri ile temsil edilebilirler. Şekil 2.12’de sonlu eleman ağı için sıfır yerdeğiştirmelerin tayin edildiği elementer sınır, viskoz söndürücü içeren yerel sınır, toplam parametre tutarlı sınırı gösterilmiştir (Kramer, 1996).



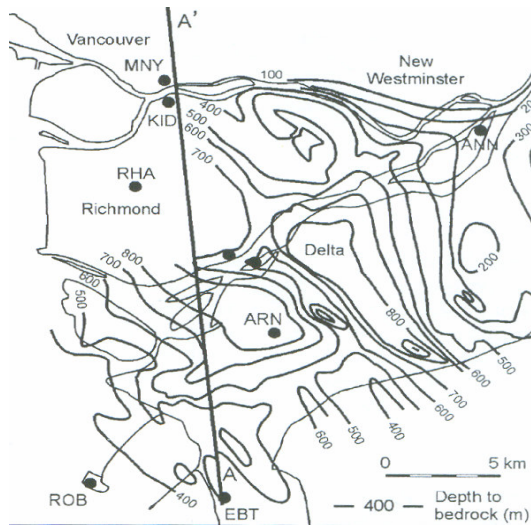
Şekil 2.12 Sonlu eleman ağı için üç çeşit sınır durumu: (a) sıfır yerdeğiştirmelerin tayin edildiği elementer sınır; (b) viskoz söndürücü içeren yerel sınır; (c) toplam parametre tutarlı sınırı (Kramer, 1996).

2.6 1966 Duvall Depremi Fraser Deltası Zemin Dinamik Davranış Analizleri

Dinamik davranış analizi yapılan Fraser Deltası, Kanada'nın British Columbia eyaletinde, Vencouver kentinin güneyinde ve Fraser nehrinin kuzey kolunun aşağı bölümünde yer almaktadır (Finn vd. 2001). Bölgede yapılan çalışma kısaca şu şekilde özetlenebilir(Finn vd., 2001).

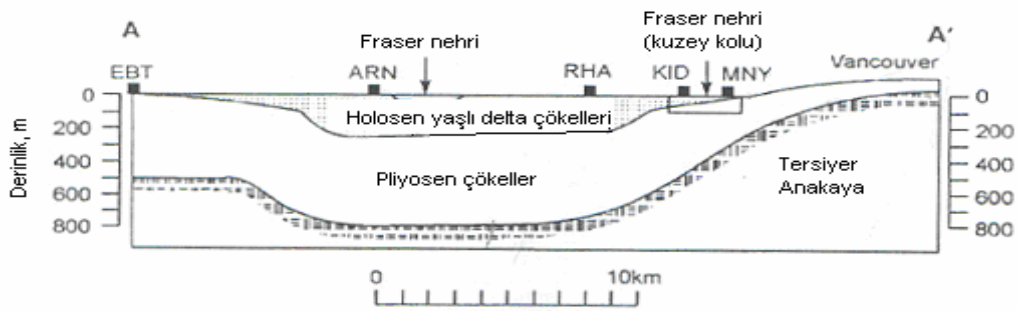
Yapılan sondaj çalışmaları sonucu kuzey-güney doğrultusunda bir zemin kesiti elde edilmiş ve bu kesit üzerinde bir ve iki boyutlu analizler yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar 1966 Duvall depreminde alınan kayıtlarla karşılaştırılmıştır. Böylelikle bölgedeki dinamik zemin davranışının hangi tip analizle daha gerçekçi olarak modellenebileceği değerlendirilmeye çalışılmıştır. Bununla beraber iki boyutlu analizlerde zemin topoğrafyasının davranış üzerindeki etkileri incelenmiştir.

Bölgedeki anakaya üzerindeki çökeller, holosen yaşlı delta çökelleri ve pliyosen yaşlı buzul çağı çökellerinden oluşmaktadır (Rogers v.d.). Anakayanın hemen üzerinde yer alan pliyosen yaşlı çökeller genellikle buzul çağında çökelmiş olan silt ve kumlardan oluşmuştur. Pliyosen çökellerin üzerindeki holosen yaşlı formasyonların kalınlığı 300 m' yi bulmakta ve genellikle silt ve kumdur. Holosen yaşlı çökellerde kayma dalgası hızı derinlikle doğru orantılı olarak artmakla beraber ortalama değerler 200-300 m/s dir. Ancak inceleme bölgesinin birçok kesiminde yüzeydeki kayma dalgası hızları 100 m/s civarındadır. Pliyosen yaşlı çökellerde ise değişkenlik göstermekle beraber, kayma dalgası hızı 500 m/s civarındadır. Anakayada ise bu değer 1500 m/s' den daha büyüktür. Bölgedeki çökellerin yüzeyden anakayaya olan derinlikleri Şekil 2.13'de gösterilmiştir (Britton, 1995).



Şekil 2.13 Fraser Deltası'nda yüzeyden anakayaya olan derinlikler.

Şekil 2.14’de ise çalışma alanındaki Holosen yaşlı çökellerin kalınlığı görülmektedir. Bu çökellerin kalınlıkları havzanın kuzey kenarına doğru hızla azalmaktadır. ARN ve RHA kuvvetli yer hareketi kayıt istasyonlarının etrafında çökellerin kalınlıkları 300 m civarında olmasına karşın, Fraser nehrinin kenarındaki MNY istasyonu yakınlarında sıgıdır. Buna karşın Pliyosen yaşlı çökellerin kalınlıkları kuzeye doğru daha yavaş azalmaktadır. İncelenen kesitin orta kesimlerinde bulunan RHA ve ARN istasyonlarında 800 m kalınlığa ulaşan Pliyosen çökellerin kalınlığı, Fraser nehrinin kuzey kolu civarında ise 200 – 400 m dir. Delta boyunca stratigrafik dizilimi gösteren A-A’ kesiti Şekil 2.14’de verilmektedir. Analiz edilecek bu kesit holosen ve pliyosen çökellerin sınırlarını yaklaşık olarak modellemektedir.



Şekil 2.14 Fraser deltası zemin çökelleri ve kalınlıkları.

Kuvvetli Yer Hareketi Kaydı: Amerika Birleşik Devletlerinin Washington eyaletinde meydana gelen 5.1 magnitüd büyüklüğündeki depremi kaydeden, Fraser deltasındaki kuvvetli yer hareketi kayıt istasyonlarının yerleri Şekil 2.13’de gösterilmiştir. Deprem sırasında kayıt yapan istasyonlarda elde edilen maksimum ivmeler ise Çizelge 2.1’de verilmiştir. Kaya üzerinde yer hareketi kaydı yapan istasyon yalnızca PGC istasyonudur. Depremin merkez üssü ile kayıt istasyonları arasındaki uzaklık 160-180 km arasındadır. Deprem sırasında çeşitli bileşenleri alınan ivme kayıtları filtre edilmiş biçimde Çizelge 2.2’de verilmiştir.

Çizelge 2.1 Çalışmada kullanılan kayıt istasyonları ile ilgili bazı detaylar ve kaydedilen maksimum ivmeler

İstasyon	Uzaklık (km)	Zemin durumu	Maksimum İvme (cm/s ²)		
EBT	166.3	500 m	6.0	3.2	1.5
KID	185.3	45 m(H) 200 m(P)	12.8	13.6	2.9
MNY	186.1	3 m(H) 200 m(P)	15.0	6.9	3.7
RHA	182.7	300 m(H) 500 m(P)	9.0	10.7	2.3

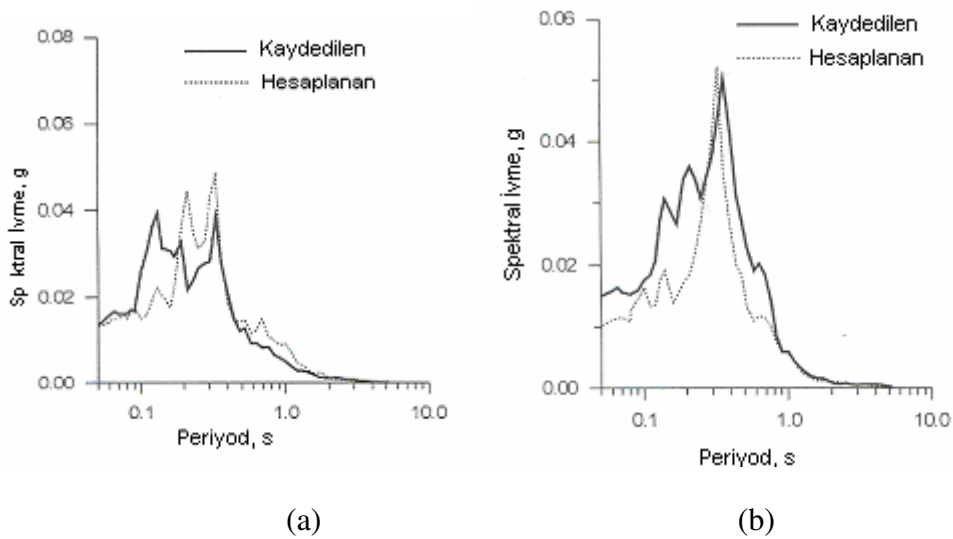
Çizelge 2.2 Çeşitli doğrultularda alınan filtre edilmiş maksimum ivmeler (cm/sn²)

İstasyon	L	Doğrultu (°)	T	Doğrultu (°)	V	Rad	Tan
EBT	4.6	0	-4.5	90	1.5	3.23	5.93
KID	11.9	180	-14	270	2.9	13.61	9.31
PGC	4.6	0	3.5	90	1.8	3.38	4.54
MNY	-6.2	0	15.5	90	-3.7		
RHA	11.1	270	-8.2	0	2.4	10.65	8.87

2.6.1 Bir Boyutlu Analiz Sonuçları

KID İstasyonu: Bir boyutlu zemin dinamik davranış analizlerinde Çizelge 2.2’de verilmiş olan PGC istasyonundan alınan filtre edilmiş kayıt, giriş kaydı olarak kullanılmış ve analiz SHAKE programı ile yapılmıştır. İvme, Fourier spektrumu ve ivme spektrumları her bileşen için hesaplanmıştır. İvme spektrumu mühendislik açısından önemli sonuçlar verebildiği için, karşılaştırmalar ivme spektrumları ile yapılmıştır.

180⁰ bileşeni için analiz sonucu bulunan ve kaydedilen tepki spektrumları Şekil 2.15(a)’da gösterilmiştir. Şekilden de görülebileceği gibi 0.4 s’den büyük periyotlarda tepki spektrumları uyumludur ve pik spektral ivme 0.35 s’de meydana gelmiştir. Bununla beraber periyodun 0.4 s’den küçük olduğu yerlerde tepki spektrum eğrisi benzeşmemektedir. Analiz sonucu bulunan tepki spektrumu 0.2 ve 0.4 s periyod aralıklarında, kaydedilen spektrumdan daha büyük değerler vermiştir. Burada 0.1s’de pik spektral ivme 0.35g olarak hesaplanmıştır. 0.1–0.2 s periyod aralıklarında kaydedilen spektrum da belirgin tepki görülmüş ve 0.13 s civarında pik değere ulaşmıştır.

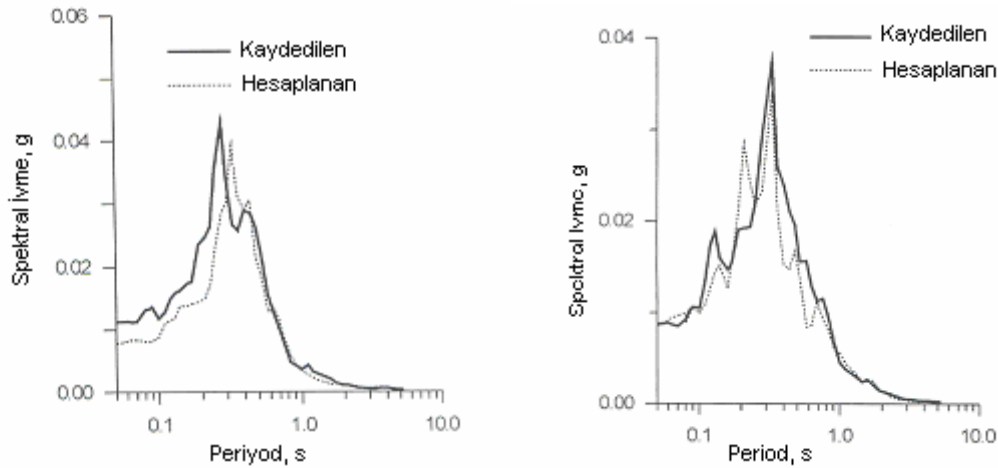


Şekil 2.15 KID istasyonunda hesaplanan ve kaydedilen ivme spektrumlarının karşılaştırılması
(a) KID180⁰, (b) KID 270⁰

270⁰ lik bileşen için de bu davranış şekil 2.15(b)'de görüldüğü gibi benzerdir. Bu örnekte 0.3 s periyod değerinden itibaren uyumlu bir davranış görülmektedir. Ancak 0.3 s' nin altındaki periyodlarda analiz sonucu bulunan tepki kaydedilenden daha düşük değerler almaktadır.

Dinamik tepki analizleri KID istasyonundaki L ve T bileşenleri için pik tepkilerin periyodlarını belirgin olarak ortaya çıkarmaktadır. 0.4 s' den büyük periyodlarda genellikle iyi bir uyum varken, küçük periyodlarda davranış belirgin olarak farklıdır. 0.4 s' den daha düşük periyod değerleri için PGC istasyonundaki anakaya hareketinde büyütme olduğu görülmüştür.

RHA istasyonu: RHA istasyonunda anakayanın yüzeyden olan derinliği 800 m, holosen yaşlı çökellerin kalınlığıda 300 m' dir. Bu bölge uzun periyodlu titreşimlerde belirgin büyütmelerin olmasının beklendiği bir bölgedir. Şekil 2.16(a) ve 2.16(b)' de analizde girilen ivme kaydının iki farklı bileşeni için analiz sonucu bulunan ve kaydedilen tepki spektrumları gösterilmiştir.

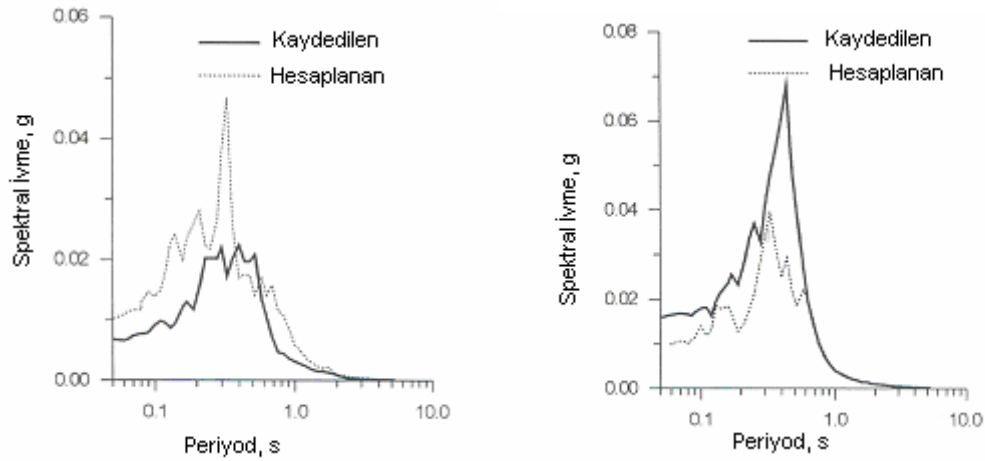


Şekil 2.16 RHA istasyonunda hesaplanan ve kaydedilen ivme spektrumlarının karşılaştırılması (a) RHA 00 , (b) RHA 2700

Analizle bulunan ve kaydedilen tepki spektrumlarına bakıldığında davranışlar oldukça benzerdir. Analiz sonucunda elde edilen ve kaydedilen tepki spektrumları oldukça yakın bir bant içinde değişmekte ve spektral ivme her iki durum içinde 0.3 s periyod değerinde pik yapmaktadır.

Bu istasyonun üzerinde bulunduğu derin çökellerde bir boyutlu dinamik analizler zemin davranışının oldukça iyi bir şekilde temsil etmektedir. Bunun nedenlerinin holosen ve pliyosen çökeller arasındaki sınırın oldukça derinde ve havza sınırının yeterince uzakta olması olduğu düşünülebilir.

MNY İstasyonu: 0^0 bileşeni için pik spektral davranış 0.2-0.6 s periyod değerleri arasındaki geniş bir aralıkta gözlenmektedir. Şekil 2.17 (a)'daki diyagramdan da görülebileceği gibi analizle tespit edilen davranış dar bir bantta gelişmektedir. Pik ivme değeri 0.3 s periyoda gerçekleşmekle beraber tüm diyagram boyunca üç kez belirgin spektral ivme değeri gözlenmektedir. Şekil 2.17 (b)'de 90^0 bileşeni için verilen diyagram incelendiğinde analizle bulunan ve kaydedilen tepki spektrumu arasında da uyumun olmadığı görülmektedir. Burada, analizde bulunan pik periyod, kaydedilen pik periyoddan 0.1 s daha kısadır ve spektral büyütme değeri de yaklaşık %40 daha küçüktür.

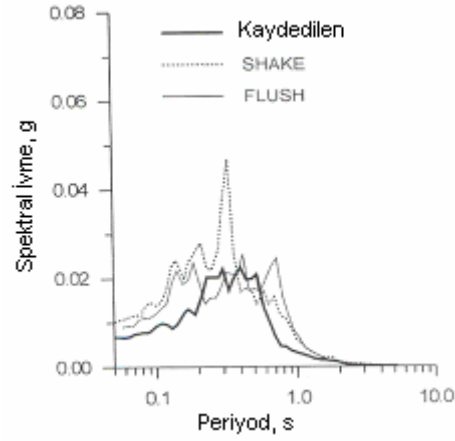


Şekil2.17 MNY istasyonunda hesaplanan ve kaydedilen ivme spektrumlarının karşılaştırılması (a) MNY 0^0 (b) MNY 90^0

2.6.2 İki Boyutlu Analiz Sonuçları

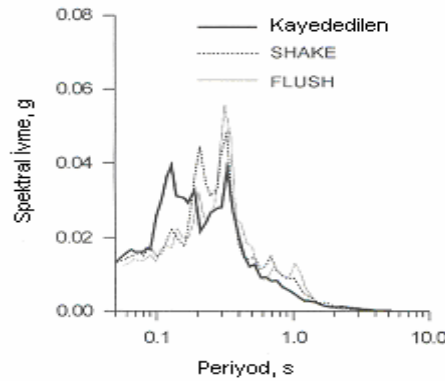
İki boyutlu eşdeğer lineer davranış analizleri A-A' kesitinde FLUSH programı ile yapılmıştır. İki boyutlu analiz sonuçları KID ve MNY istasyonlarında karşılaştırılmıştır. Her iki istasyonda birbirine yakın ve holosen yaşlı çökellerin kalınlıkları da 50m'den azdır.

MNY İstasyonu: Fraser nehrinin kuzey kolunda bulunan MNY istasyonunda analiz sonucunda elde edilen ivme spektrumu Şekil 2.18'de verilmiştir. FLUSH programı ile yapılan analiz sonucunda elde edilen tepki spektrumu, kaydedilen tepki spektrumu ile karşılaştırıldığında SHAKE programından elde edilen tepki spektrumuna oranla daha uyumlu sonuç vermiştir. SHAKE sonuçlarında gözlenen 0.3 s periyod değerindeki belirgin tepki FLUSH analizlerinde gözlenmemektedir.



Şekil 2.18 MNY istasyonundaki ivme spektrumunun karşılaştırılması.

KID İstasyonu: KID istasyonunda elde edilen spektral ivme grafiği Şekil 2.19’da görülmektedir. SHAKE programında 0.2 s periyotta gözlenen spektral büyütme FLUSH’la elde edilen spektrumda görülmemektedir. Bununla birlikte 0.1-0.25 s aralığında kaydedilen spektrumda gözlenen tepki, analiz sonucu bulunan spektrumdan daha fazladır. FLUSH ile elde edilen spektrumda 0.35 s’de en fazla büyütme gözlenmektedir. 0.2 s’den küçük periyotlarda kaydedilen spektrumla FLUSH’ta elde edilen spektrum benzeşmemektedir.



Şekil 2.19 KID istasyonundaki ivme spektrumunun karşılaştırılması.

2.6.3 Sonuç

Bir boyutlu analizlerin tüm çeşitleri için pik tepkinin gerçekleştiği periyod değerleri kaydedilen spektrum ile uyumludur.

KID istasyonu gibi bazı alanlarda kaydedilen yer hareketi 0.1 – 0.25 s periyod aralıklarında güçlü spektral tepkiler göstermektedir. Bu davranış bir boyutlu ve iki boyutlu analizlerde

gözlenmemektedir. Bir boyutlu analizler özellikle RHA istasyonundaki davranışı oldukça iyi temsil etmektedir.

Bunun sebebinin havza sınırının oldukça uzakta ve Holosen/Pliyosen sınırının derinde olmasının olabileceği düşünülmektedir.

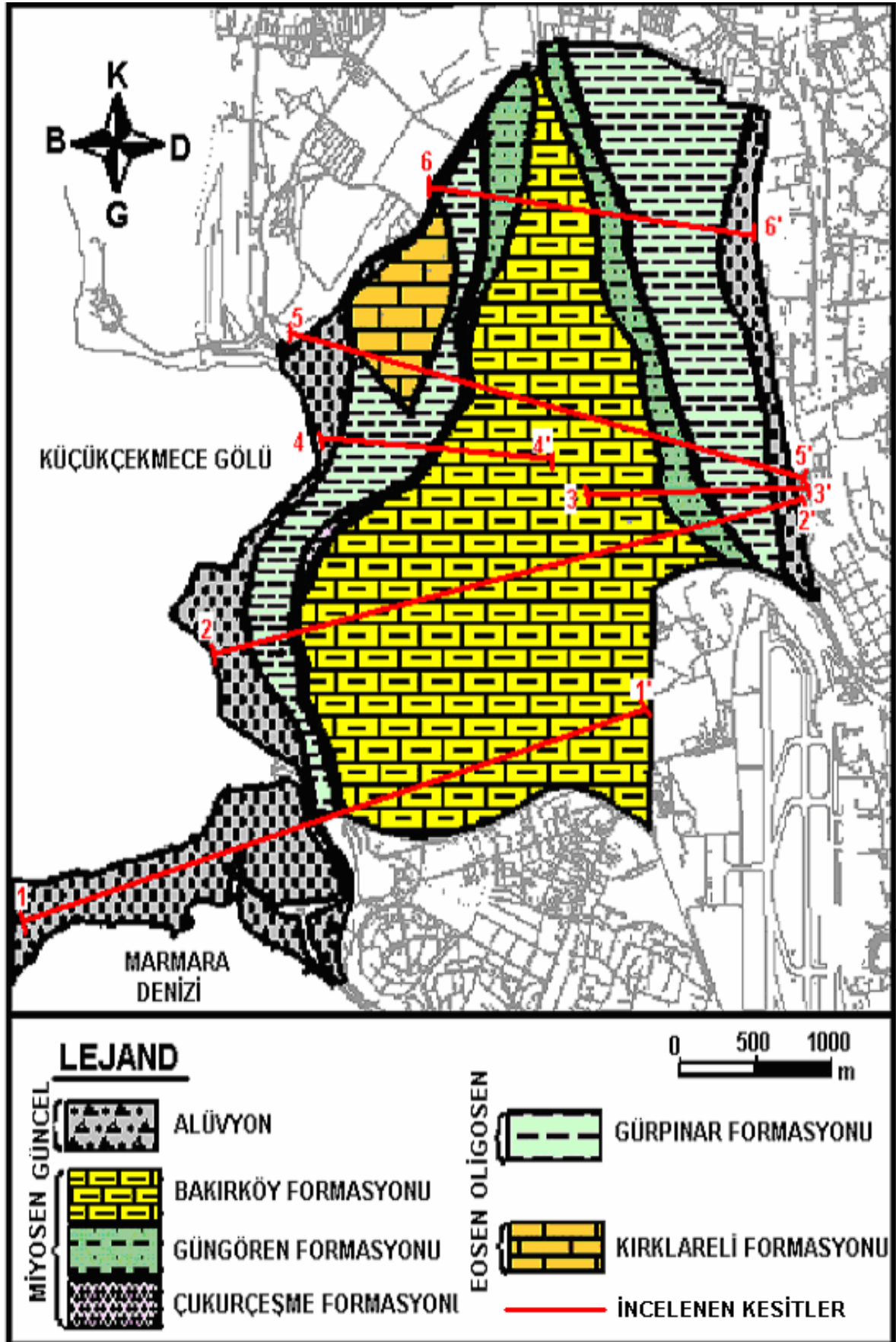
İki boyutlu analizlerin kullanılması zemin davranış analizlerinde bazı arazi özelliklerinin etkisini yansıtmaktadır. Bu analizler, arazinin topoğrafik özelliklerini ve Holosen ve Pliyosen çökellerin sınırının derinliğinin etkisini yansıtmaktadır. Diğer arazi özellikleri, anakayanın topoğrafyası gibi, dalganın yüzeye iletilme mekanizmasını etkilemektedir. Anakayanın derinde veya yüzeyde olmasının da davranış üzerinde önemli etkisi olmaktadır. Bu etki üç boyutlu analizlerle daha gerçekçi olarak ortaya konulabilir.

3. İNCELEME ALANININ JEOLJİSİ

3.1 Genel Jeolojik Yapı

Küçükçekmece ve Sefaköy yerleşim birimlerinin yerleşime uygunluk açısından değerlendirilmesi kapsamında yapılan çalışmalarda bölgenin 1/5000-1/1000 ölçeğinde haritaları yapılmış ve inceleme alanının jeoloji haritası (Yıldırım ve Savaşkan, 2002) Şekil 3.1’de gösterilmiştir. Bu alanda yüzeyleyen formasyonlar, görünür tabanda Orta Eosen yaşlı Kırklareli Formasyonu litolojileriyle başlamaktadır. Trakya Formasyonu (Karbonifer) grovakları üzerinde diskordan duran Kırklareli Formasyonu, kireçtaşı ve killi kireçtaşlarından oluşmaktadır. Dayanımlı olması nedeniyle, çoğunlukla vadilerde dik yamaçları oluşturan Kırklareli Formasyonu, tabanında beyazımsı krem renkli ve kısmen gevşek tutturulmuş karbonatlı ve çakıllı bir taban konglomerasıyla başlayıp üste doğru ince-orta, yer yer kalın katmanlı, sert-sıkı, karstik, dayanımı yüksek kireçtaşlarıyla devam eder. Çoğunlukla yatay, ya da yataya yakın katmanlı istifin, üst seviyeleri kil oranı artarak, killi kireçtaşı-marn litolojilerine dereceli olarak geçmektedir. Kırklareli formasyonu üzerini ise, yörede yaygınca gözlenen Oligo-Miyosen (Üst Oligosen-Üst Miyosen) yaşlı genç çökeller örterler. Kırklareli Formasyonu üzerinde yer alan bu litolojiler, görünür tabanda gri krem renkli çakıl kum litolojileri ile başlar, üste doğru kesintisiz olarak yeşil renkli, ince-orta ve yataya yakın katmanlı aşırı konsolide kil, kum/kil ardalı olarak devam eder (Yıldırım ve Savaşkan, 2002-2003). Üste doğru kesintisiz devam eden istifin, en üst seviyelerinde yüzeyleyen Üst Miyosen yaşlı kum mercekleri Çukurçeşme Formasyonu, organik içerikli yumuşak-orta katı killeri ise, Güngören Formasyonu olarak adlandırılmaktadır. Bu çökellerin en üst seviyesini ise Bakırköy Formasyonu’nun ince kil-kum ara bantlı, Maktra’lı killi kireçtaşları oluşturmaktadır.

Yörede litolojilerin dayanım farklılığı, bugünkü morfolojik yapıyı oluşturmada da etken olmuştur. Üst seviyelerde yer alan Maktralı killi kireçtaşı ve marnlardan oluşan Bakırköy Formasyonu’nun kalınlığı çoğunlukla 5 m-15 m arasında değişmekte ve kısmen dayanımlı olmaları nedeniyle Küçükçekmece yöresinde yüzeylendikleri alanda ve kuzey güney gidişli bir sırtta, tepe düzlüğünü oluşturmuşlardır. Alt seviyelerinde yaygınca yer alan ve Gürpınar Formasyonu olarak adlandırılan kum ara katkılı aşırı konsolide kil litolojileri ise, daha az dayanımlı olmaları nedeniyle, aşınma sonucu bu tepe düzlüğünün batı ve doğu yamacını oluşturmuşlardır. Aşırı konsolide kil-kum litolojilerinin kalınlıkları 50 m’yi aşındır.



Şekil 3.1 İnceleme alanının genel jeoloji haritası (Yıldırım ve Savaşkan, 2002).

Küçükçekmece Gölü'ne bakan batı yamaçta Gürpınar Formasyonu aşırı konsolide killeri, yer yer zayıf dayanımlı siltli kiltası özelliğini taşımaları ve karbonat ara katmanlarını da içermeleri nedeniyle de oldukça dik şevleri oluşturabilmektedir. Bunun aksi olarak, tepe düzlüğünün doğu yamacı ile vadi tabanı düzlüğünden geçen Ayamama Deresi'ne kadar gözlenen eşdeğer aşırı konsolide kil litolojilerinin, organik içeriklerinin yer yer yüksek olduğu gözlenmektedir. Doğru yamaçta, vadi tabanında yer alan Ayamama Deresi yatağını oluşturan alüvyal çökellerin kalınlıklarının çoğunlukla 10m'yi aşmamasına karşılık, silt içerikli killerden, Küçükçekmece Gölü kıyı şeridinde gözlenen ve 30'm'ye kadar ulaşan alüvyal çökeller ise, daha çok çakıl ve kum içeriği yüksek killi litolojilerden oluşmaktadır.

Kuzeyden güneye doğru düşük eğimle alçalan bir topoğrafyada yer alan Küçükçekmece bölgesinde kuzey alanlarda tabandan yüzeye çıkan ve ana kayayı oluşturan Kırklareli Formasyonu kireçtaşları, güneye Marmara Denizi'ne doğru gittikçe daha derinde yer almakta, üstünde yer alan marn-kil-kum litolojilerinden oluşan genç çökellerin kalınlığı ise artmakta ve inceleme alanı güney sınırlarında 200m'ye kadar ulaşabilmektedir. Diğer bir ifadeyle, inceleme alanı kuzeyindeki batı ve doğu yamaçlarda vadi tabanına yakın kesimlerde 0-20m arası derinlikte gözlenen ana kaya, topoğrafik yükselti farkı az olmasına karşın, ana kaya derinliği güney sınırda 180m-200m derinlikler arasında değişmektedir.

Tepe düzlüğünden yeraltına sızan sular, batı ve doğu yamaçtan, yatay tabakalanma gösteren kumlu litolojilerden kaynaklar şeklinde aktığından, sızıntı suları oluşturmakta ve bu tabakalar akifer niteliğini taşımamaktadırlar. Yer altı su seviyesi (YASS), vadi tabanının batısında yer alan deniz seviyesindeki alüvyal çökeller ile daha derinde yer alan Kırklareli formasyonundaki poroz kireçtaşlarında yer almaktadır.

3.2 Küçükçekmece Bölgesinin Yerel Zemin Koşullarının Belirlenmesi

Küçükçekmece bölgesinde yerel zemin koşullarının belirlenmesi için derinlikleri 15-40m arasında değişen 64 adet zemin etüd sondajı yapılmıştır. Sondaj kuyuları içinde periyodik aralıklarla Standart Penetrasyon Deneyi (SPT) yapılarak, örselenmiş ve örselenmemiş zemin örnekleri ve kaya ortamlarında karot örnekleri alınmıştır. Sondajlardan alınan zemin ve kaya örnekleri üzerinde laboratuvar deneyleri yapılarak, arazi zemin yapısını oluşturan formasyonların geoteknik özellikleri belirlenmiştir (Özaydın vd. 2002). Arazi zemin tabakalarının olası bir deprem sırasındaki davranışını araştırmak amacı ile jeofizik deneyler ve mikrotremor ölçümleri yapılmıştır. Ayrıca İstanbul İli Sismik Mikro-Bölgeleme Dahil Afet Önleme/Azaltma Temel Planı çalışmaları kapsamında, Küçükçekmece ilçesi ve civarında

3.3 Geoteknik İncelemeler

İnceleme bölgesinde yer alan zeminlerin mukavemet özelliklerini belirleyebilmek için bölgede yapılan derinlikleri 15-40 m arasında değişen toplam 64 adet sondaj ve 36 adet araştırma çukurundan belirlenen geoteknik veriler aşağıda özetlenmiştir. Sondajlar sırasında belirli aralıklarla SPT deneyi yapılarak örselenmiş ve örselenmemiş zemin örnekleri alınmıştır.

3.4 İnceleme Alanındaki Formasyonların Geoteknik Özellikleri

İncelenen bölgede, birbirinden farklı fiziksel ve mekanik özelliklere sahip formasyonlar görülmektedir. Bu formasyonlar Kırklareli Formasyonu, Bakırköy Formasyonu, Güngören Formasyonu, Çukurçeşme Formasyonu, Gürpınar Formasyonu, ve Alüvyon olarak adlandırılmakta ve inceleme alanında çeşitli bölge ve derinliklerde gözlenmektedir (Tohumcu vd. 2003). Sırasıyla bu formasyonların geoteknik özellikleri özetlenerek, elde edilen malzeme parametreleri verilecektir.

3.4.1 Kırklareli Formasyonu

İnceleme sahasında görünür temelde yer yer yüzeylenen en yaşlı birim olan Kırklareli formasyonu şöyle bir istifte sahiptir: Üste doğru kirli beyaz – krem renkli, karstik, yatay – yataya yakın ince – orta katmanlı, sert, orta – yüksek dayanımlı karbonatlı kumtaşı, kavrık kireçtaşı ve resifal kireçtaşı ile devam etmekte, en üst seviyelerde oldukça düşük dayanımlı, kil – killi kum ara tabakalı, beyaz – krem renkli killi kireçtaşı ve marn ardalanması ile son bulmaktadır. İstifin kalınlığı inceleme sahasında yer yer 50 m’yi aşmaktadır. İncelemelere ve fosil bulgularına göre, Kırklareli formasyonu, Orta Eosen’den (Dizer, 1951) başlayıp, en üst seviyelerinde marnlı düzeylerde yer yer Congeria ve balıklı seviyeleri içererek, Alt Oligosen dönemi sonunda da gölsel – karasal ortama geçen, genellikle sık ortamda çökelmiş birresif – killi kireçtaşı istifidir.

Formasyonu oluşturan kireçtaşlarından değişik derinliklerden alınan (Bahçeşehir) 150 adet karot numunesi üzerinde yapılan deney sonuçlarına göre taşların tabii birim hacim ağırlığı, ($\gamma_n = 1.90 - 2.40 \text{ gr/cm}^3$ arasında, dane birim hacim ağırlığı ortalaması, ($\gamma_s = 2.50 \text{ gr/cm}^3$ tür (Fevziye vd., 1994). Bu kayaların porozitesi yaklaşık $n = \%20$ dir. Nokta Yükleme Deneyi ile tahmin edilen Serbest Basınç Dirençleri killi numunelerde azalarak 10 kg/cm^2 ye kadar düşerken, kil içermeyen resifal kireçtaşlarında ise (monolit) 600 kg/cm^2 gibi değerler aldığı gözlenmiştir. Genel olarak ortalama değerleri ise formasyonun üst seviyelerini oluşturan killi

kireçtaşı düzeylerinde 25–100 kg/cm², alt seviyelerinde kil içermeyen düzeylerde 100–250 kg/cm², resifal kireçtaşı düzeyleri için 350 kg/cm² civarında olup, “düşük – orta dirençli kaya” grubuna girmektedir. Kırklareli formasyonu kireçtaşlarından alınan karotlarda, toplam karot yüzdesinin (TCR) ve kaya kalite oranının (RQD) değişim aralıkları ve ortalama değerinin TCR= %17 - %100, (TCR)_{ort}= %58, (RQD)=%0-%80, (RQD)_{ort}= %24 olduğu gözlenmektedir (Yıldırım, 2002).

3.4.2 Gürpınar Formasyonu

Eosen yaşlı Kırklareli Formasyonu’nun üzerinde uyumsuz olarak oturan Oligo - Miyosen yaşlı Gürpınar Formasyonu, inceleme alanında yoğun olarak gözlenmektedir. Gürpınar Formasyonu’nun ana litolojisi grimsi yeşil renkli aşırı konsolide killerden oluşmaktadır. İstif, tabanda killi kum – çakıl düzeyi ile başlar. Kum çakıl siltten oluşan bu düzeylerin, bağlayıcı hamuru sarımsı kahverengi kil olup, iri daneleri düzensiz, kötü boylanmış yuvarlak, az yuvarlaktır. Tabanda yer alan çakıl-kum düzeylerinin hemen üst seviyelerinde kolay dağılan kilaşı ve silttaşları yer almaktadır. İstif daha üstte ise aşırı konsolide yeşil, kahverengi, kahverengimsi yeşil renkli kolay dağılan lamine, ince orta tabakalı, fissürlü killerden oluşup, arada silt, çapraz tabakalı mercekli kum ve yer yer ince marn kömür bantları içerir. İnceleme alanı içinde yer yer 200 m kalınlığa ulaşan Gürpınar Formasyonu kahve - yeşil renkli aşırı konsolide kil özelliğinde olup, plastik – yarı plastik özellik taşımaktadır.

Gürpınar Formasyonu Casagrande Plastisite Kartına göre çoğunlukla yüksek plastisiteli kil (CH) sınıfına girmektedir. Aşırı konsolide kil özelliği taşıdığı bilinen Gürpınar Formasyonu, SPT N darbe sayılarına göre “Katı-Çok Katı” bir zemin niteliğindedir. İçinde mercekler halinde bulunan kum çakıl seviyelerinin SPT N darbe sayısı N = 45 civarındadır. 20 m derinlikten sonraki killi seviyelerin çok sert kıvamda ve N>50 olduğu görülmüştür. Bu değer, yüzeye yüzeye yakın seviyelerde ise N = 30 civarındadır. Ödometre deneyi ile elde edilen sıkışma indeksi C_c değerinin 0.15 mertebesinde olduğu görülmüştür. İstif kum mercekleri haricinde yer altı suyu içermeyip, permeabilite katsayısı ortalama $k = 1 \times 10^{-7}$ ile $k = 1 \times 10^{-8}$ cm/sn arasında değişmektedir. (Yıldırım, 2003).

3.4.3 Çukurçeşme Formasyonu

İnceleme alanında dar bir bölgede mostra veren Çukurçeşme Formasyonu’nun hakim litolojisi açık gri, kirli beyaz, krem renkli kumdur. Genellikle, Gürpınar Formasyonu üzerinde uyumlu olarak ince bantlar halinde yer alan bu formasyon, diğer Üst-Miyosen yaşlı formasyonlar olan

Güngören ve Bakırköy Formasyonları ile yanal ve düşey yönde aşamalı geçiş göstermesinden dolayı birbirleri ile olan dokunakları kesin olmayıp, belli bir zon içinde değişmektedir. Bazen Çukurçeşme Formasyonu litolojileri, karbonat oranı artarak doğrudan en üst seviyede yer alan Bakırköy Formasyonu kireçtaşlarına geçiş gösterebilmektedir.

Çukurçeşme formasyonu “kötü derecelenmiş, siltli, killi kumlar (SM, SC) ve killi çakıl (GC)” sınıfına girmektedir. Kil-Kum-Çakıl oranlarına göre SPT değerleri $N=20-50$ arasında değişmektedir.

Kum katmanları arasında yer yer bantlar halinde gözlenen 10-30 cm arasında değişen killi seviyelerin likit limitleri %30-80, plastik limitleri %15-35, kil-kum-çakıl oranına göre SPT N değerleri $N=10-40$ arasında değişim göstermektedir. Doğal birim hacim ağırlıkları, $\gamma_n=1.92 - 1.98 \text{ gr/cm}^3$, kuru birim hacim ağırlıkları ise, $\gamma_k= 1.45-1.62 \text{ gr/cm}^3$ arasında değişmektedir.

3.4.4 Güngören Formasyonu

İnceleme alanında dar bir alanda gözlenen Güngören Formasyonu, Çukurçeşme Formasyonun üzerinde uyumlu olarak yer almaktadır. Güngören Formasyonu’nun hakim litolojisi, siyahımsı, koyu gri renkli, organik ve şişme özelliği gösteren kildir. İstifte kil-kum ve marn ara katmanları da yer almaktadır.

SPT darbe sayısı $N= 25-30$ arasında değişen yüksek plastisiteli ve çoğunlukla organik içerikli bu killer, su ile temasları halinde önemli şişme özelliği göstermektedirler. Ödometre deneyi ile elde edilen sıkışma indeksi $C_c= 0.19$ olarak bulunmuştur. Tipik Güngören Formasyonu (Süleymaniye Formasyonu) killeri üzerinde Yıldız Teknik Üniversitesi Geoteknik Anabilim Dalı’nda yapılan laboratuvar deneylerinde de bu killerin indeks özellikleri genel olarak, doğal su muhtevası $w_n= \%45-60$, likit limit $w_L= \%102-110$, plastik limit $w_p= \%39-50$ ve plastisite indeksi $I_p=\%60-64$ civarındadır. Alınan numuneler üzerinde uygulanan Standart Kompaksiyon deneyi ile optimum su muhtevaları %21 civarında tespit edilmiştir. Numunelerin 200 No’ lu elekten geçen kısımları (dane çapı $< 0.075\text{mm}$) %90 olarak belirlenmiştir. Genel olarak şişme özelliği gösteren bataklık ortamı ürünü Güngören Formasyonu killerinin bu ortalama değerleri, bu tür killerin içerdiği organik katkıların miktarına göre oldukça değişkenlik gösterebilmektedir.

3.4.5 Bakırköy Formasyonu

İnceleme alanının genellikle güney ve orta kesimlerinde geniş bir alanda kuzeyde ise nispeten dar bir bölgede yüzeylenen bu formasyon, özellikle Bakırköy ve dolayındaki tipik mostraları

nedeniyle Bakırköy formasyonu olarak adlandırılmıştır. Gürpınar Formasyonu üzerine geçişli olarak gelen Üst Miyosen yaşlı Bakırköy Formasyonu, bölgesel olarak daha genç çökeller tarafından uyumsuzlukla örtülmekte ve en fazla 30 m kalınlık göstermektedir.

Bakırköy Formasyonu'nun ana litolojisi gölsel ortamda çökelmiş, kirli beyaz – krem renkli, yatay katmanlı genellikle yeşil kil ara tabakalı, orta – yüksek dayanımlı, Maktra'lı kireç taşları ile zayıf – orta dayanımlı marnlardır.

Beyazımsı krem renkli, boşluklu, kil ara katmanlı, ince orta – tabakalı bol Maktra'lı killi kireçtaşlarından oluşan istifin değişik düzeylerinden alınan kireç taşı örneklerinde, ortalama olarak doğal birim hacim ağırlığı, $\gamma_n = 2.00 - 2.40 \text{ gr/cm}^3$, dane birim hacim ağırlığı, $\gamma_s = 2.59 \text{ gr/cm}^3$, porozitesi, $n = 5-22$ arasındadır. Doğal su muhtevası $w_n = \%5 - 10$ SPT darbe adedi $N > 50$ dir (Yıldırım, 2002).

3.4.6 Alüvyon

İnceleme alanı içerisinde batıda Küçükçekmece Gölü kenarında ve doğu kesimlerde ise Ayamama Deresi çevresinde görülmektedir. Çevre kayaların değişik boyutlardaki çakıl, kum, silt ve kil gibi ayrık malzemesinden oluşan alüvyonun kalınlığı yer-yer 50 m' yi aşmaktadır. Tüm yaşlı birimleri açılı uyumsuzlukla üstleyen Kuvaterner yaşlı bu litolojik birim sadece bitkisel toprak tarafından örtülmektedir.

Arazi zemin profilini oluşturan tabakalar için Çizelge 3.1'de SPT-N sayıları, Çizelge 3.2'de ise dane çapı dağılımı ve birim hacim ağırlıkları değerleri değişim aralıkları özetlenmiştir. Alüvyon, Gürpınar ve Güngören formasyonlarından alınan örselenmemiş numuneler üzerinde yapılan serbest basınç ve konsolidasyonsuz-drenajsız (UU) üç eksenli basınç deneylerinden belirlenen drenajsız kayma mukavemeti (S_u) değerleri ve Kırklareli ve Bakırköy formasyonlarından alınan karot numuneler üzerinde yapılan nokta yükleme ve tek eksenli basınç dayanımı değerleri Çizelge 3.3' de özetlenmiştir.

Çizelge 3.1 SPT-N darbe sayıları (Tohumcu vd. 2003)

	SPT-N darbe sayıları
Dolgu	6-27
Alüvyon	10-40
Bakırköy Formasyonu (killi seviyeler)	İlk 5-10 m de 22-28 sonra > 30
Güngören Formasyonu	Yüzeyde 12-20, derinde > 22
Çukurçeşme Formasyonu	Refü
Gürpınar Formasyonu	İlk 5-7.5 m de 13-18, 7,5-15 m de 22-28 15 m den sonra Refü
Kırklareli Formasyonu (killi seviyeler)	> 26

Çizelge 3.2 Dane çapı dağılımı ve birim hacim ağırlıkları (Tohumcu vd. 2003)

Zemin Tanımı	Çakıl(%)	Kum (%)	Silt-Kil (%)	γ_n (kN/m ³)
Dolgu	43	34	23	17-18
Alüvyon	3-22	26-85	14-84	17-18
Bakırköy Formasyonu (Killi seviyeler)	0-6	16-97	1-84	18-19
Güngören Formasyonu	-	49	51	17-20
Çukurçeşme Formasyonu	-	82-84	16-18	19-20
Gürpınar Formasyonu	0-22	80	32-88	19-21

Çizelge 3.3 Mukavemet Parametreleri (Tohumcu vd. 2003)

Zemin Tanımı	Su (kPa)	Nokta yükleme deneyi tek eksenli basınç dayanımı (kPa)	Tek eksenli yükleme deneyi basınç dayanımı (kPa)
Alüvyon (kil-silt)	21-61	-	-
Güngören Formasyonu	18-77	-	-
Gürpınar Formasyonu	30-80	-	-
Bakırköy Formasyonu	-	1100-97800	-
Kırklareli Formasyonu	-	2780-124290	3900-45600

4. İNCELEME ALANINDA YAPILAN DİNAMİK ANALİZLER

İnceleme alanında 6 adet kesit üzerinde farklı topoğrafik ve jeolojik özellikleri temsil edecek şekilde seçilen noktalarda bir boyutlu analizler ve kesitlerin tümü kullanılarak iki boyutlu analizler yapılmıştır. Bu seçilen noktalarda analizlerin sonuçları karşılaştırılmıştır. Bir boyutlu analizler EERA (2000) ile iki boyutlu analizler ise PLAXIS 7.2 (2002) programı ile yapılmıştır. Bu bölümde, kullanılan programların çalışma prensipleri özetlenecektir.

4.1 PLAXIS Programı

Sonlu elemanlar yöntemi, birçok mühendislik dalında karşılaştığımız matematiksel problemlere yaklaşık sonuçlar bulmak amacıyla kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntem, inşaat mühendisliğinde zemin-yapı etkileşimi, gerilme-şekil değiştirme, yükleme, konsolidasyon, taşıma gücü, akım ağı, zemin dinamiği konularında ve malzeme çeşitliliği olan durumlarda kullanılmakta ve gerçeğe yakın sonuçlar vermektedir.

Program; “Input”, “Output”, “Calculation” ve “Curves” ana başlıkları altında dört bölümden oluşmaktadır. İlk olarak Input bölümünde gerekli veriler bilgisayara girilir, Calculation komutuyla hesaplamalar yapılır, Output komutuyla analiz sonucunda belirlenen zemin davranışı elde edilir ve Curves Komutu ile istenen grafikler çizilebilir.

4.1.1 Modelin Oluşturulması (INPUT)

Programın kullanımı sırasında öncelikle geometrik modelin oluşturulması gereklidir. Geometrik model, gerçek problemi temsil edecek şekilde “Nokta”lar (Point), noktaların birleştirilmesinden oluşan “Çizgi”ler (Line) ve çizgilerin birbirine eklenmesinden meydana gelen kapalı alanlardan (Cluster) oluşturulur.

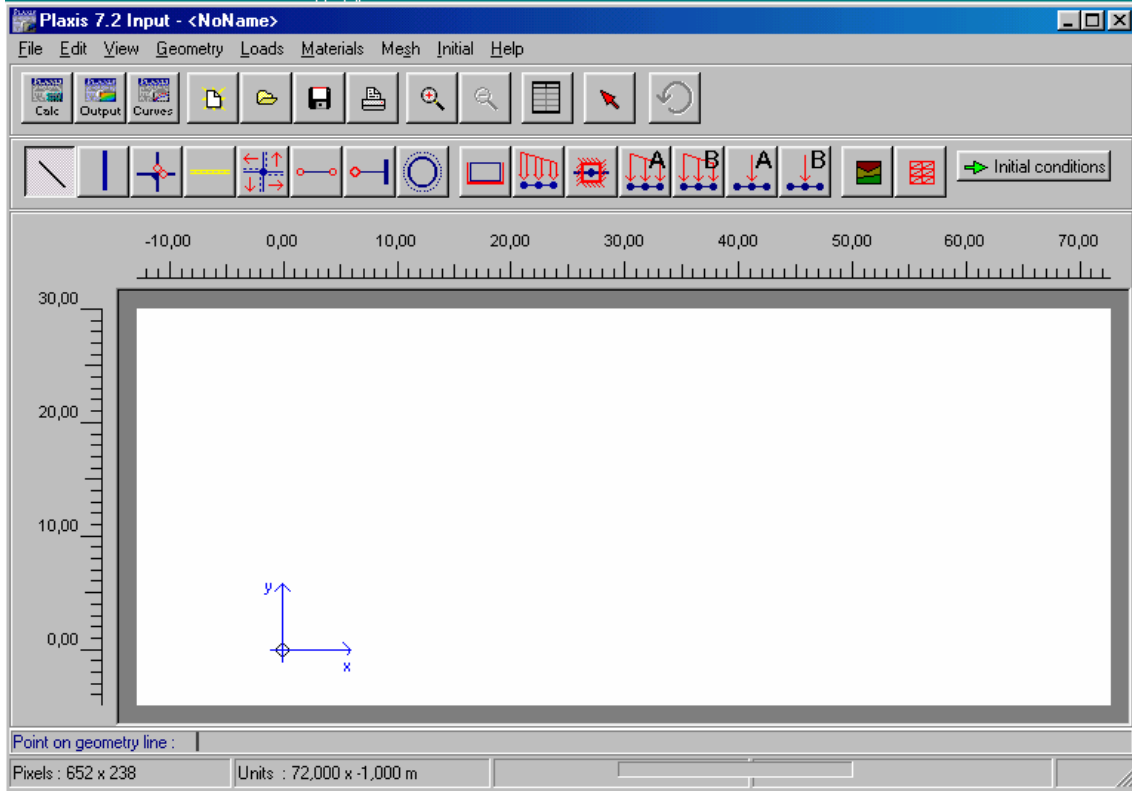
POINT → LINE → CLUSTER

Geometrik modelde zemin tabakalarının, yapısal elemanların, yapım aşamalarının ve yüklemelerin tanımlanması gerekir. Model sınırları sonuçların etkilenmeyeceği kadar geniş seçilmelidir. Şekil 4.1’de Plaxis’de veri giriş penceresi gösterilmiştir.

Bu çalışmada, her bir kesit GEOMETRY LINE komutu kullanılarak kalınlıkları ve uzunlukları ile belirlenmiş ve arazideki gerçek durumlarını yansıtacak şekilde iki boyutlu olarak modellenmiştir. Her bir kesit içerisindeki farklı zemin formasyonlarını gösteren kapalı alanlar (cluster) oluşturulmuştur.

Her kapalı alan o kesit içerisinde bir formasyonu temsil etmektedir. Kapalı alan için yapılan bir işlem o kapalı alandaki her nokta için yapılmış demektir.

Model oluşturulduktan sonra modelin sınırları tanımlanmalıdır. LOADS menüsü altında bulunan ve deprem içeren dinamik problemlerde kullanılmak üzere üretilmiş olan Standart Earthquake Boundaries komutu seçilerek model sınırları otomatik olarak tanımlanmış olur.



Şekil 4.1 Plaxis veri giriş penceresi.

Standart Earthquake Boundaries komutu seçildiğinde, yatay yönde tutulu modelin sağ ve solunda düşey doğrultuda sönümlü sınır ve horizontal fixities, tabanında ise tanımlanmış yerdeğiştirmeler bileşenleri otomatik olarak oluşur. Plaxis programının standart uzunluk birimi m (metre) dir. Eğer deprem kaydı olarak cm/s^2 biriminden bir kayıt girilecekse birimlerin uyumu için prescribed displacement $u_x = 0.01$ ve $u_y = 0$ olmalıdır. Düşey doğrultudaki sönümlü sınır deprem titreşimi nedeni oluşan ve model sınırlarına çarpan dalgaların tekrar model içerisine dönmesini engeller. Bu dalgalar emilmediğinde model sınırlarında ikinci bir dalga yayıcı merkez bulunması gibi bir yanılgıya neden olur bu ise sonuçların doğruluğunu olumsuz etkiler. Düşey doğrultuda sınırlar bu titreşimleri emerek tekrar model içerisine dönmelerine engel olur.

Programda zemin özelliklerini belirlemek amacıyla Mohr-Coulomb (MC), Hardening Soil Model (HS), Soft Soil Creep Model (SSC) ve Lineer Elastic Model olmak üzere dört farklı zemin modeli kullanılabilir. Bu çalışma kapsamında Mohr-Coulomb modelinden yararlanıldığı için burada Mohr-Coulomb modeli parametrelerinden bahsedilecektir.

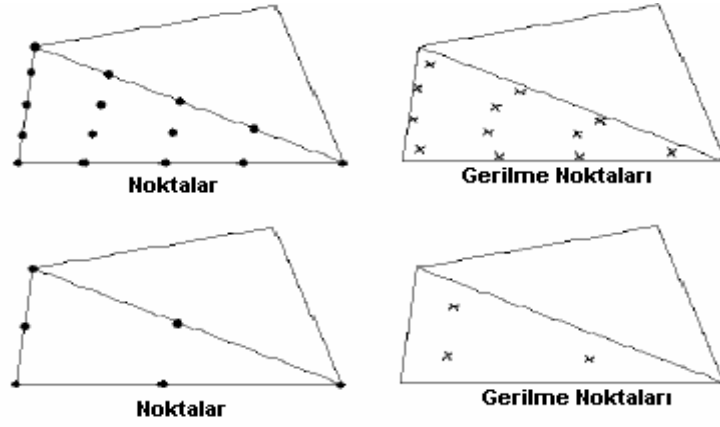
Bu modelde Poisson Oranı (ν), kohezyon (c) içsel sürtünme açısı (ϕ), genleşme açısı (ψ), zeminin kuru ve doğal birim hacim ağırlıkları (γ_k ve γ_n), yatay ve düşey permeabilite katsayıları (k_v ve k_h) ve kayma dalgası hızı (V_s) girilir. Elastisite modülü ve kayma modülü bu değerlerden yararlanılarak program tarafından kendiliğinden hesaplanır. Malzeme parametreleri tanımlandıktan sonra sonlu elemanlar ağının oluşturulması safhasına geçilir.

Sonlu elemanlar ağı ana menü de bulunan mesh komutu ile oluşturulur. Başlangıç koşulları ve hesap kısmından önce sonlu elemanlar ağı oluşturulmak zorundadır. Sonlu elemanlar ağı üretilirken kapalı alanlar üçgen elemanlara bölünürler. Bu çalışmada 6 düğüm noktalı üçgen elemanlardan oluşan düzlem şekil değiştirme modeli kullanılmıştır. Buna ek olarak, daha özel problemlerde daha hassas çözüm için 15 düğüm noktalı elemanlar da kullanılmaktadır. 15 düğümlü elemanların kullanıldığı modellerde doğal olarak hesap süresi daha uzun olmaktadır.

15 düğüm noktalı bir elemanda 15 düğüm noktası, 6 düğüm noktalı bir elemanda ise 6 düğüm noktası bulunmaktadır. Bir sonlu eleman modeli hesabında yer değiştirmeler düğüm noktalarında hesaplanır. Plaxis programında yük - yer değiştirme grafiklerinin görülebilmesi için düğüm noktalarının önceden seçilmesi gerekir. Her bir çözüm için 10 düğüm noktası sınırlaması vardır.

Yer değiştirmelerin aksine, gerilmeler eleman gerilme noktalarında (Gaussian integration points, stress points) hesaplanır. 15 düğümlü bir üçgen elemanda 12, 6 düğümlü bir elemanda ise 3 gerilme noktası vardır. Hesaplar sonucunda modelin istenen bir yerinde oluşan gerilme izlerinin veya gerilme - şekil değiştirme diyagramlarının görülebilmesi için o bölgedeki gerilme noktalarının önceden seçilmesi (en fazla 10) gerekir. Şekil 4.2'de PLAXIS'de kullanılan üçgen elemanların düğüm ve gerilme noktaları gösterilmiştir.

Sonlu elemanlar ağı da oluşturulduktan sonra başlangıç koşullarını belirlemek amacıyla INITIAL CONDITIONS düğmesine basılır. Burada varsa yeraltı su seviyesi çizilir ve boşluk suyu basıncı göz önüne alınır. Daha sonra zemin, üzerinde herhangi bir yapısal eleman olmadığı ilk haline getirilir ve efektif gerilmeler belirlenir.



Şekil 4.2 Düğüm ve gerilme noktaları.

4.1.2 Hesapların Yapılması (CALCULATION)

Model oluşturulduktan sonra hesap aşamasına geçilir. Bu çalışmada başlıca iki hesap aşaması kullanılmıştır. Birincisinde zeminin kendi ağırlığı altında analiz yapılır. Plastik hesap olarak adlandırılan bu bölümde, zeminin herhangi bir dış etki olmaksızın kendi ağırlığı altında meydana gelen yer değiştirmeleri hesaplanmıştır. Daha sonra hesap aşamasının ikincisi ise dinamik analiz bölümüdür. Dinamik analize başlanmadan önce plastik analizde bulunan yer değiştirmelerin bu aşamaya aktarılmasını önlemek için mevcut yer değiştirmeler sıfırlanır. Bundan sonra dinamik analizde kullanacağımız ivme kaydı Multiplier alt menüsünde bulunan ΣM_{disp} bölümünde tanımlanması gerekir. Burada anakaya seviyesinde girilecek ivme kaydı .txt formatında programa eklenir. Program analiz süresince bu dosyadan aldığı veriyi kullanır.

Parameters alt menüsünde bulunan Define düğmesine basıldığında sonuçları en çok etkileyen ileride değineceğimiz Rayleigh α ve Rayleigh β adı verilen sönüm katsayılarının girileceği pencere açılır. Burada bulunan kutucuklara uygun değerler girilir. İvme kaydının süresi time interval bölümüne girildikten sonra analiz yapılır. Program önce plastik analizi tamamlar daha sonra dinamik analiz yapılarak hesap aşaması tamamlanır.

4.1.3 Sonuçların Görüntülenmesi (OUTPUT)

Analiz sonucu elde edilen sonuçların tamamı OUTPUT bölümünde görüntülenebilir. Deformasyonlar, ivmeler, hızlar, boşluk suyu basınçları, gerilmeler v.b. değerler çeşitli formlarda görüntülenebilir. Kesit üzerinde çeşitli yönlerde kesitler alınarak da aynı sonuçlar bu bölümde görüntülenebilmektedir.

4.1.4 Sonuçların Grafik Ortamda Görüntülenmesi (CURVES)

OUTPUT bölümünde elde edilen sonuçların büyük kısmı CURVES adı verilen bu bölümünde grafik olarak görüntülenebilmektedir. Örnek olarak, bu çalışmada her bir kesit üzerinde seçilen çeşitli sayıdaki noktada ivme-zaman grafikleri çizdirilmiştir. Yatay eksen (x) zaman (t) olarak alındığında düşey eksen (y) yatay ivme olarak alınmıştır. Böylelikle ivme - zaman grafikleri çizilmiştir.

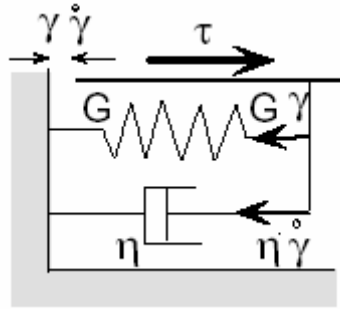
4.2 EERA (2000) Programı

1998 yılında SHAKE ile benzer kabuller yapılarak FORTRAN 90 ile EERA (Equivalent-Linear Earthquake Response Analysis) programı geliştirilmiştir. EERA, FORTRAN 90 dili ile hazırlanmış olan eşdeğer lineer deprem tepki analizi programının EXCEL'de uygulanmasıdır ve EERA' nın girdi ve çıktı verileri EXCEL programı ile ilişkilendirildiği için DOS ortamında çalışan SHAKE programına göre kullanımı daha kolaydır.

Programda zemin Kelvin-Voigt modeli ile ifade edilmekte ve gerilme şekil-değiştirme değiştirme ilişkileri bu kabule dayanılarak yapılmaktadır. Kayma gerilmesi τ , kayma şekil değiştirmesi, γ ve şekil değiştirme hızına, $\dot{\gamma}$ bağlı olarak şu şekilde ifade edilebilmektedir.

$$\tau = G\gamma + \eta\dot{\gamma} \quad (4.1)$$

burada G kayma modülünü ve η viskoziteyi temsil etmektedir.



Şekil 4.3 Eşdeğer lineer metodda kullanılan gerilme-şekil değiştirme modeli (Bardet vd.,2000).

SHAKE programında yapılan kabuller EERA için de aynen geçerlidir. Zemin tabakalarının sadece kayma deformasyonu yapacağı varsayıldığı için, düşey bir zemin kolonu kayma kirişi gibi düşünülerek analizler yapılmaktadır. Hareket halindeki viskoelastik elementler bir parça üzerinde kayma dalgalarını oluşturduğu kayma gerilmeleri artımları, eşit ve ters yönlü elastik

ve viskoz kayma gerilmeleri artımlarına neden olacağından bu durumu ifade eden diferansiyel denklem (hareket denklemi) kurulmuş ve yer değiştirmeler harmonik fonksiyonlarla temsil edilerek çözüm elde edilmiştir. Tabakaların ara yüzeylerinde yer değiştirmelerin ve kayma gerilmelerinin eşitliği şartı, çözümün sürekliliğini sağlamaktadır. İki tabaka arasında transfer ya da büyütme fonksiyonu, çeşitli frekanslardaki dalgaların bu tabakaların yüzeyinde oluşturduğu yer değiştirmelerin oranı şeklinde ifade edilmektedir. Frekans ortamında yapılan çözümlerde, öncelikle anakaya ivme kaydının Fourier dönüşümü ile kayıt frekans ortamına taşınmaktadır. Bu dönüşüm zemin tabakalarının transfer yada büyütme fonksiyonları ile çarpılarak, yüzeydeki kaydın fourier transformu elde edilmektedir. Yüzey kaydının ters fourier dönüşümü ile tekrar zaman ortamında, zemin davranışının etkilerini de taşıyan, ivme kaydı elde edilmektedir. Yüzeydeki ivme kaydı ya da frekans ortamındaki hali, diğer parametre ve fonksiyonların hesaplanmasında kullanılmaktadır.

Zemin davranış analizinde, önce kayma modülü ve sönümün başlangıç değerleri düşük deformasyon seviyelerine karşı gelecek şekilde seçilmekte ve tüm deprem süresi için bir elastik analiz yapılmaktadır. Bu başlangıç çözümlerinde her tabaka için efektif deformasyon seviyesi hesaplanmaktadır. Bunun için R_γ , olarak ifade edilen deprem manyetidüne bağlı bir katsayı ile maksimum deformasyon çapılarak efektif şekil değiştirme bulunabilmektedir. Daha sonra bu efektif deformasyon seviyeleri ile uyumlu kayma modülü ve sönüm oranları seçilmekte ve bir sonraki iterasyonda kullanılmaktadır. Eşdeğer lineer analiz tüm tabakalarda şekil değiştirme ile uyumlu kayma modülü ve sönüm oranı değerleri oluşuncaya kadar devam etmektedir.

Eşdeğer lineer model zeminlerin bazı nonlinear özelliklerini göz önüne almak için Kelvin–Voigt modelinin modifiye edilmesi ile geliştirilmiştir. Zeminlerdeki tekrarlı yükleme altındaki nonlinear ve histeretik gerilme-şekil değiştirme davranışı Şekil 4.4’de gösterilmiştir. Eşdeğer lineer kayma modülü, G , kayma şekil değiştirme seviyesi genliği γ ya bağlı, sekant modülü G_s olarak alınmıştır. Şekil 4.4 (a)’dan da görülebileceği gibi aşağıdaki gibi verilebilir.

$$G_s = \frac{\tau_c}{\gamma_c} \quad (4.2)$$

burada τ_c ve γ_c sırasıyla kayma gerilmesi ve şekil değiştirme genliğidir. Bir döngüde yutulan enerji miktarı bir döngünün tamamlanmasıyla oluşan histeresis eğrisinin alanına eşittir.

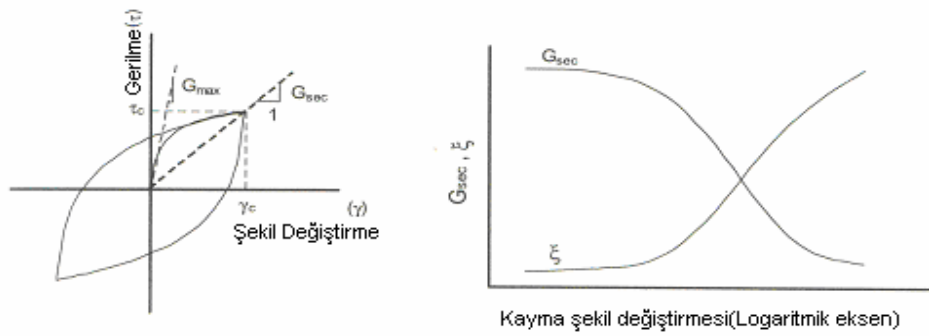
$$W_d = \oint_{\tau_c} \tau d\gamma \quad (4.3)$$

depolanan enerji ise (4.4) eşitliği ile hesaplanır.

$$W_s = \frac{1}{2} \tau_c \gamma_c = \frac{1}{2} G \gamma_c^2 \quad (4.4)$$

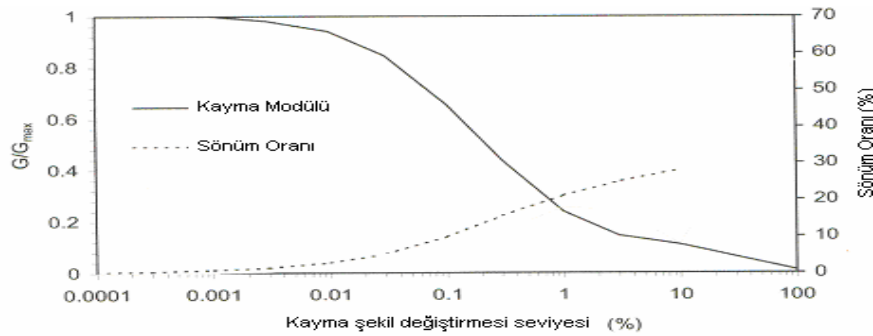
Kritik sönüm oranı ξ , W_d ve W_s cinsinden aşağıdaki gibi gösterilebilir.

$$\xi = \frac{W_d}{4 \pi W_s} \quad (4.5)$$



Şekil 4.4 Eşdeğer lineer model (a) Histerisis eğrisi, (b) sekant kayma modülü ve sönüm oranının şekil değiştirme seviyesi ile değişimi.

EERA analizlerinde zemin profili, kayma dalgası hızları, formasyon kalınlıkları ve birim hacim ağırlıkları ile tanımlanır. Daha sonra programa analizlerde kullanılacak anakaya ivme kaydının girilmesi gerekir. Analizde kullanılan bir diğer önemli veri ise kayma modülü oranı(G/G_{max})-şekil değiştirme seviyesi ve sönüm oranı arasındaki ilişkilerdir. EERA verilen bu ilişkilerden faydalanılarak hesap yapmaktadır. Şekil 4.5’de tipik G/G_{max} ve sönüm oranı-kayma şekil değiştirme ilişkileri gösterilmiştir.



Şekil 4.5 Zeminlerde G/G_{max} ve sönüm oranının kayma şekil değiştirme ile değişimi.

4.3 Sönüm

Sönüm, dinamik yüklenmiş bir malzemedeki ya da mekanik sistemdeki enerji miktarının ısıya dönüşüp azalmasıdır. Bir malzemenin sönümünün büyük olması, bu malzemenin dinamik yükleme ya da titreşimler sırasında daha çok enerji yutması demektir. Zeminlerde sönüm, zemin elemanında bir çevrim sonucu yutulan enerji miktarı olarak tanımlanmaktadır. Zeminlerin sönüm özelliklerini bilmek, zeminlerde dalga yayılımı, deprem yükleri karşısında zemin davranışı gibi dinamik problemlerin çözümü açısından önem taşımaktadır. Sönüm miktarı, dinamik gerilme-şekil değiştirme davranışında oluşan histerisis ilmiğinden hesaplanır. Histerisis ilmiğinin alanı, malzemenin enerjiyi sönümleme kapasitesini gösterir. Zeminlerde ve yapılardaki enerji sürtünme, ısı, plastik akma gibi mekanizmalarla yutulur. Yutulan enerjiyi tanımlamak için kullanılan tanımlardan biri viskoz sönümdür. Viskoz sönüm, visko-elastik bir sistem olarak idealize edilen malzemede, bir titreşim devrinde yutulan enerji miktarıdır. Jacobsen, (1930) tarafından önerilen eş değer sönüm oranı, ξ ,

$$\xi = W_D / 4\pi W_S \quad (4.6)$$

olarak ifade edilir.

W_D , yutulan enerji, W_S maksimum birim kayma enerjisi olarak tanımlanmaktadır. Lineer olmayan davranış sırasında depolanan enerji, Şekil 4.6'de görüldüğü gibi sekant kayma modülünü tanımlayan doğrunun altında kalan üçgenin alanı olarak elde edilir. Böylece depolanan enerji

$$W_S = \frac{1}{2} \gamma_a f(\gamma_a) \quad (4.7)$$

olarak ifade edilir.

Burada, γ_a birim kayma genliğinde bir çevrimde kaybedilen enerji miktarı,

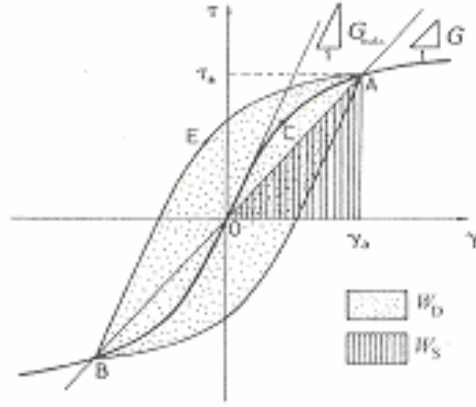
$$W_D = 8 \left[\int_0^{\gamma_a} f(\gamma) d\gamma - W \right] \quad (4.8)$$

olarak hesaplanabilir.

(4.7) ve (4.8) bağıntıları (4.6) bağıntısında yerine konulursa sönüm oranı,

$$\xi = \frac{2}{\pi} \left[\frac{\gamma_a \int_0^{\gamma_a} f(\gamma) d\gamma}{\gamma_a f(\gamma_a)} - 1 \right] \quad (4.9)$$

şeklinde belirlenir.



Şekil 4.6 Histerisis Eğrisi.

Sonlu elemanlar yönteminde genel hareket denklemi aşağıdaki gibidir(Haşal, 2003).

$$[M]\{\ddot{u}\} + [C]\{\dot{u}\} + [K]\{u\} = \{F\} \quad (4.10)$$

(4.10) bağıntısında, $[M]$, kütle matrisi, $[C]$, sönüm matrisi, $[K]$, rijitlik matrisi, $\{F\}$, yük vektörü, $\{\ddot{u}\}$, düğüm noktaları ivme vektörü, $\{\dot{u}\}$, düğüm noktaları hız vektörü, $\{u\}$, düğüm noktaları yerdeğiştirme vektörüdür.

Sönüm terimi genellikle kütle ve rijitliğin lineer kombinasyonu olarak tanımlanmaktadır.

$$C = \alpha M + \beta K \quad (4.11)$$

(4.11) bağıntısında α ve β skaler büyüklerdir ve Rayleigh sönüm katsayıları olarak ifade edilir. Bağıntı (4.11)'deki sönüm terimine sahip bir sistemin n . modu için sönüm oranı aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$\xi_n = \frac{\alpha}{2} \frac{1}{\omega_n} + \frac{\beta}{2} \omega_n \quad (4.12)$$

Burada ω_n açısal frekansı göstermekte, α ve β katsayıları, i . ve j . modlar için belirlenen sönüm oranları ξ_i ve ξ_j kullanılarak (4.13)'de verilen matris çözülerek bulunabilmektedir.

$$\frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1/\omega_i & \omega_i \\ 1/\omega_j & \omega_j \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \alpha \\ \beta \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \xi_i \\ \xi_j \end{Bmatrix} \quad (4.13)$$

Eğer her iki modun da aynı sönüm oranına sahip olduğu düşünülürse α ve β aşağıdaki gibi elde edilir.

$$\alpha = 2\xi \frac{\omega_i \times \omega_j}{\omega_i + \omega_j} \quad \beta = 2\xi \frac{1}{\omega_i + \omega_j} \quad (4.14)$$

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

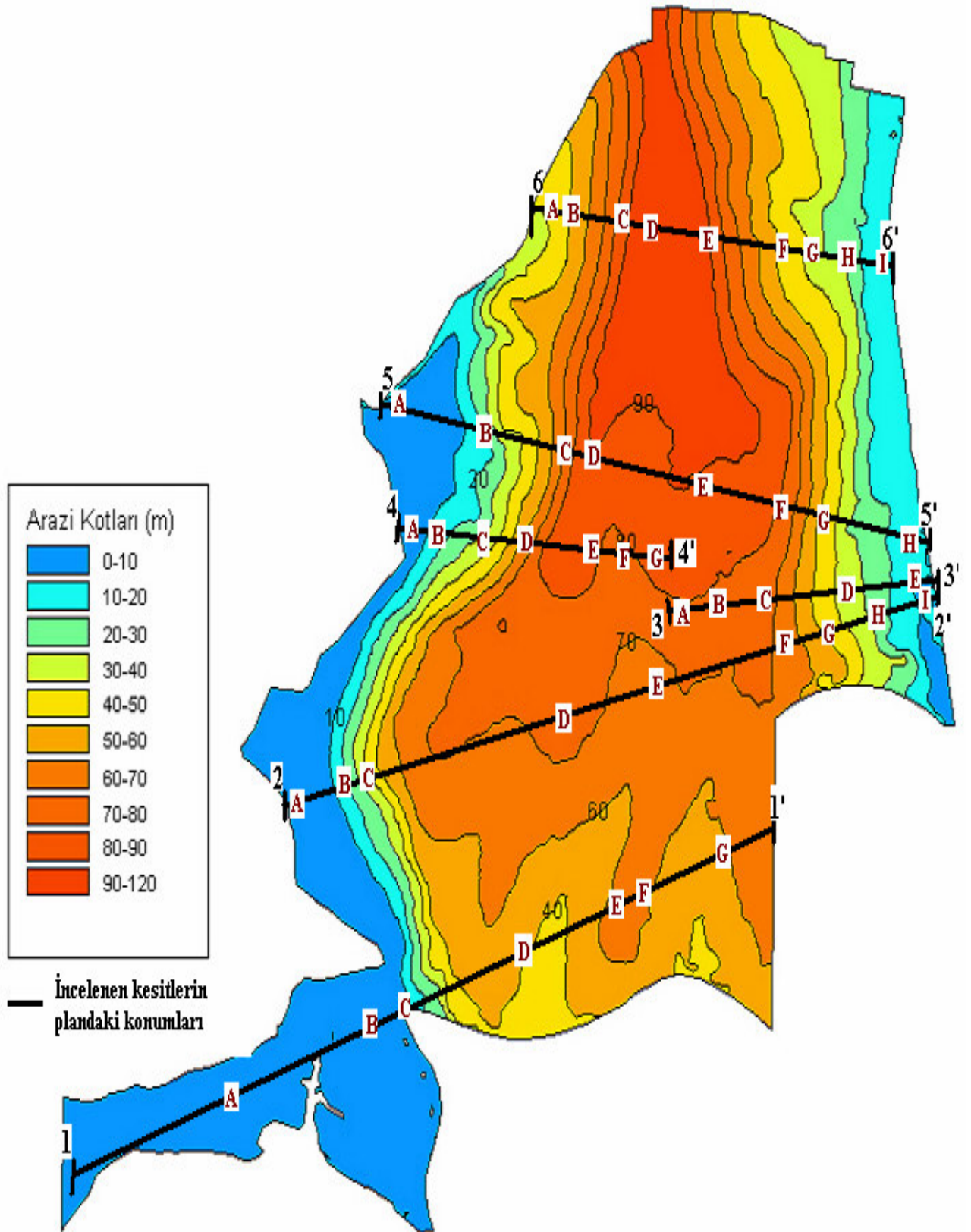
5. ANALİZLERDE KULLANILAN MALZEME PARAMETRELERİ

İnceleme alanının yerleşime uygunluğunun araştırılması kapsamında yapılan arazi çalışmalarıyla, bölgenin jeolojik ve tektonik özellikleri incelenerek yapılan sondajlardan alınan örneklerden bölgede yer alan zeminlerin geoteknik özellikleri araştırılmıştır. Sondajlardan alınan zemin ve kaya örnekleri üzerinde laboratuvar deneyleri yapılarak, arazi zemin yapısını oluşturan formasyonların geoteknik özellikleri belirlenmiştir (Özaydın vd., 2002). Ayrıca İstanbul İli Sismik Mikro-Bölgeleme Dahil Afet Önleme/Azaltma Temel Planı çalışmaları kapsamında, Küçükçekmece ilçesi ve civarında yapılan, derinlikleri 52m ile 200 m arasında değişen 10 adet sondajda derinlik boyunca PS logging deneyi yapılmış ve kayma dalgası hızları ölçülmüştür. Formasyon kalınlıkları, stratigrafik dizilim, birim hacim ağırlıklar, SPT-N sayıları, kayma dalgası hızları, kohezyon, içsel sürtünme açısı yer altı su seviyesinin derinliği gibi parametreler bu çalışmalardan belirlenmiştir.

Şekil 5.1’de inceleme alanının topoğrafik yapısının değişimi ve analizlerin yapıldığı kesitlerin (1-1’, 2-2’, 3-3’, 4-4’, 5-5’ ve 6-6’) yerleri gösterilmiştir. Bu kesitler üzerinde iki boyutlu analizler ve arazi topoğrafyasına ve formasyonlara göre seçilen noktalarda bir boyutlu analizler yapılmıştır. Bir boyutlu analizler EERA (2000) ile iki boyutlu analizler ise PLAXIS 7.2 (2002) programı ile yapılmıştır. Bu bölümde analizlerin yapıldığı kesitler ve analizlerde kullanılan malzeme parametreleri verilecektir. Kayma modülü ve elastisite modülü PLAXIS programında kayma dalgası hızı ve Poisson oranı kullanılarak hesaplanmaktadır.

5.1 İncelenen Kesitlerin Topoğrafik ve Jeolojik Özellikleri

İnceleme alanında analizler batı-doğu doğrultusunda, güneyden kuzeye doğru 6 enkesit üzerinde yapılmıştır. Bu bölümde çalışılan enkesitlerin bazı topoğrafik ve jeolojik özellikleri özetlenmektedir.



Şekil 5.1 İnceleme alanının topoğrafik yapısının değişimi ve analizlerin yapıldığı kesitler.

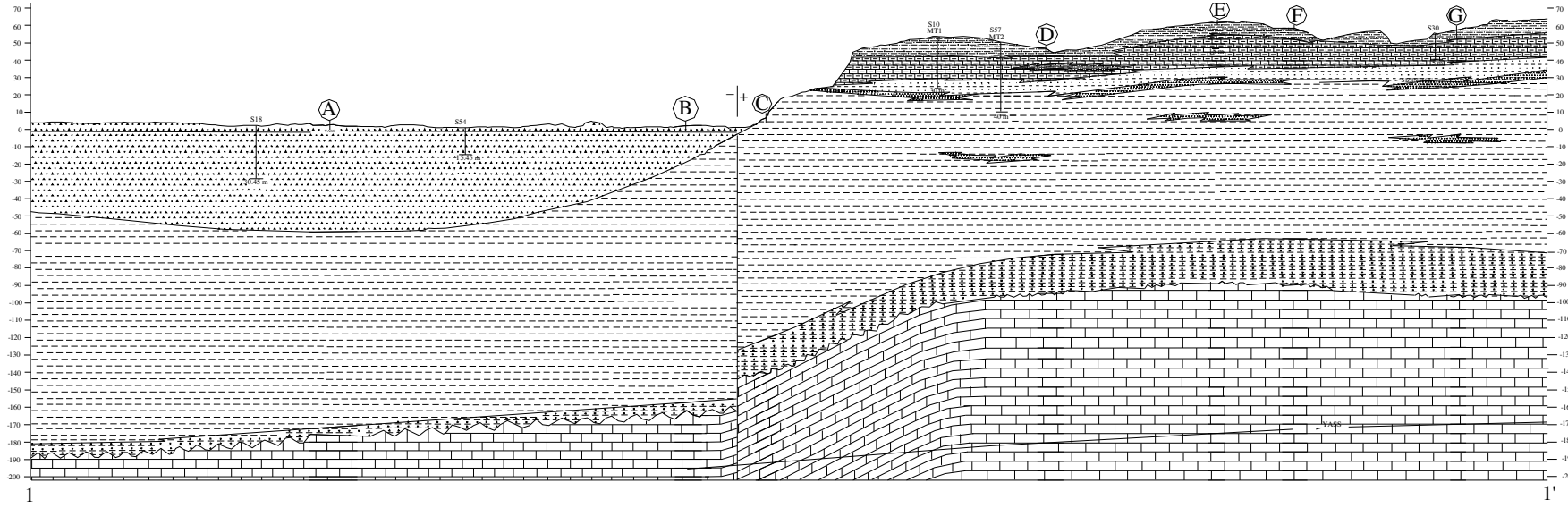
5.1.1 1-1' Kesiti

İnceleme alanının en güneyinde yer alan kesit 4300 m uzunluğu ile analiz edilen 6 adet kesit içerisinde en uzun olanıdır. Kesit batıda Küçükçekmece Gölü ile Marmara Denizi arasında yer alan dar bir kara parçasından başlayarak inceleme alanının doğusuna kadar uzanır. Ancak Ayamama deresinin alüvyon sahalarına ulaşmadan sonlanmaktadır. Şekil 5.2 'de 1-1' kesiti gösterilmiştir. 1-1' kesiti tabanda Kırklareli Formasyonu'nun kireçtaşlı seviyeleri ile başlamaktadır. Kırklareli Formasyonu'nun ardından, Gürpınar Formasyonu ile Kırklareli Formasyonu'nu ayıran kumlu çakıllı bir seviye yer almaktadır. Bu geçiş seviyesinin ardından kalınlığı yer yer 135 m'yi bulan killi ve yer yer kum mercekleri içeren Gürpınar Formasyonu gelmektedir. Kesitin batı kesimi zemin yüzü deniz seviyesine yakın Marmara denizi ile Küçükçekmece gölü arasında yer alan dar kara parçasında, Gürpınar Formasyonu killeri üzerinde Küçükçekmece gölünün alüvyonları bulunan düzlükten geçmektedir. Dizilim orta ve doğu bölümde yatay devamlılığı olmayan kumlu seviye, kalınlığı 5m civarında olan Güngören formasyonu, 15-20 m kalınlıklı Bakırköy Kireçtaşı ile kil ve dolgu zemin ile son bulmaktadır. 1-1' kesitinde bir boyutlu analizler kesitteki topoğrafik değişimleri göz önüne alan, batıdan doğuya doğru sırasıyla A,B,C,D,E,F ve G noktalarında yapılmıştır. İki boyutlu analiz sonuçları da bu noktalar da verilmiştir.

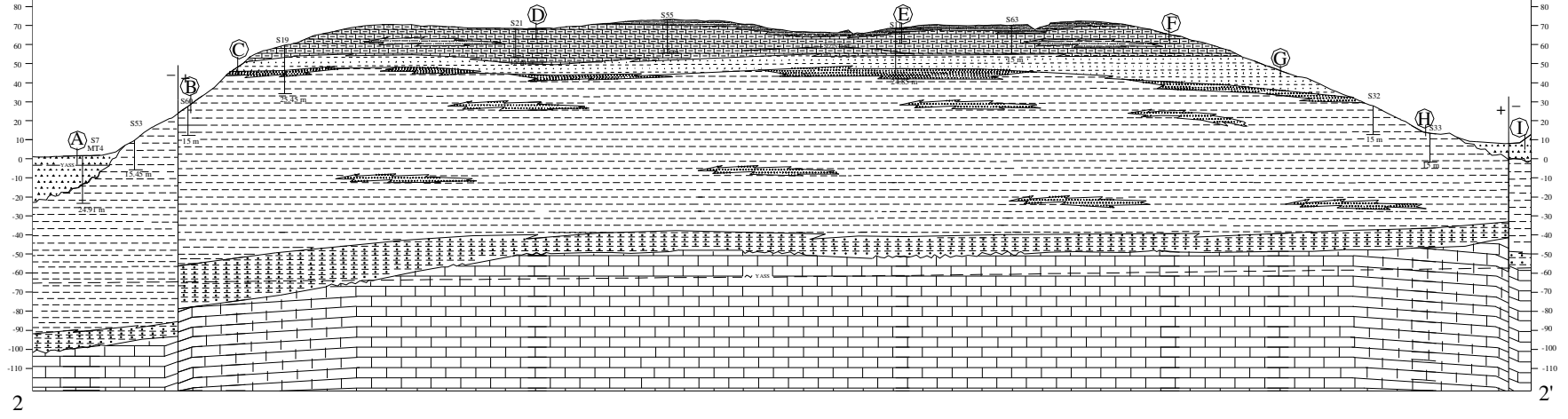
5.1.2 2-2' Kesiti

Batı – Doğu doğrultusundaki uzunluğu yaklaşık 4000 m olan 2-2' kesiti inceleme alanının orta kesimlerinde yer alır. Kesitin batı ve doğu uçlarındaki yamaç topuklarında Küçükçekmece gölünün, ve Ayamama deresinin alüvyonları yüzeylenmektedir. Sol yamaçta sırasıyla Gürpınar ve Güngören Formasyonu'nun killeri yüzeylendikten sonra, orta kesimlerde Bakırköy Formasyonu kireçtaşlarının oluşturduğu uzun bir düzlük yer alır. Bu düzlükten sonra gelen sağ yamaç ise Ayamama deresine doğru iniş eğimli bir kesimdir ve üzerinde sol yamaçtakine benzer şekilde, Güngören ve Gürpınar Formasyonları killeri bulunmaktadır. Kesit Ayamama deresinin alüvyonları ile sonlanmaktadır. Stratigrafik dizilimi ise diğer kesitler ile benzerlik gösterir. Yaklaşık 70 m kalınlığında bir kireçtaşı tabakası (Kırklareli Formasyonu) ile başlayan profil, kalınlığı yer-yer 90 m'yi bulan Gürpınar Formasyonu'nun killeri ile devam eder. Yatay sürekliliği olmayan ince bir kum tabakasının ardından Güngören Formasyonu ile devam eden profil, Bakırköy Formasyonu kireçtaşları ile sona erer. Şekil 5.3'de 2-2' kesiti gösterilmiştir. 2-2' kesitinde bir boyutlu analizler kesitteki topoğrafik değişimleri göz önüne alan, batıdan doğuya doğru sırasıyla A, B, C, D, E, F, G, H ve I noktalarında yapılmıştır. İki boyutlu analiz sonuçları da bu noktalarda verilmiştir.

Şekil 5.2 1-1' Kesiti.



Şekil 5.3.2-2' Kesiti.

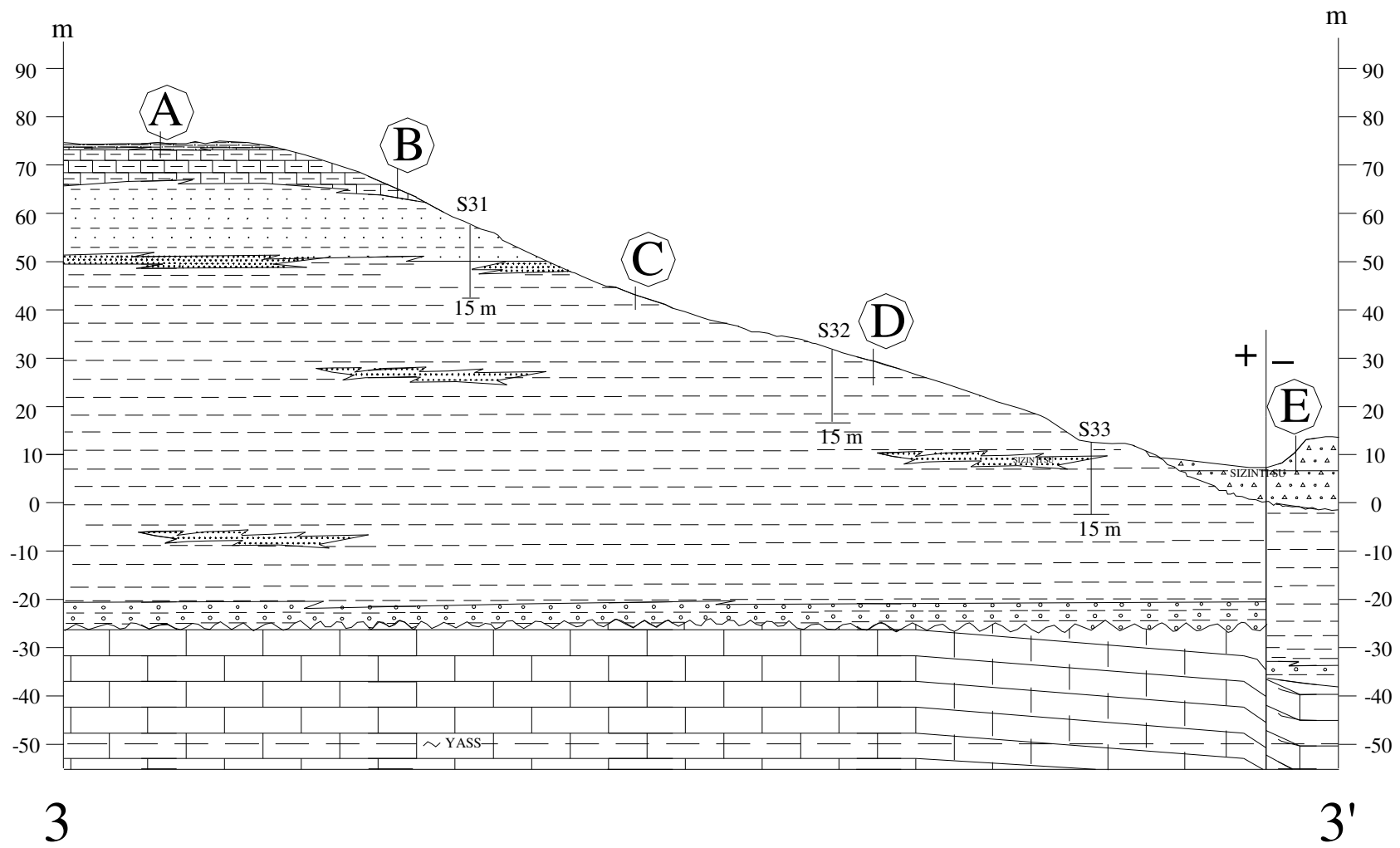


5.1.3 3-3' Kesiti

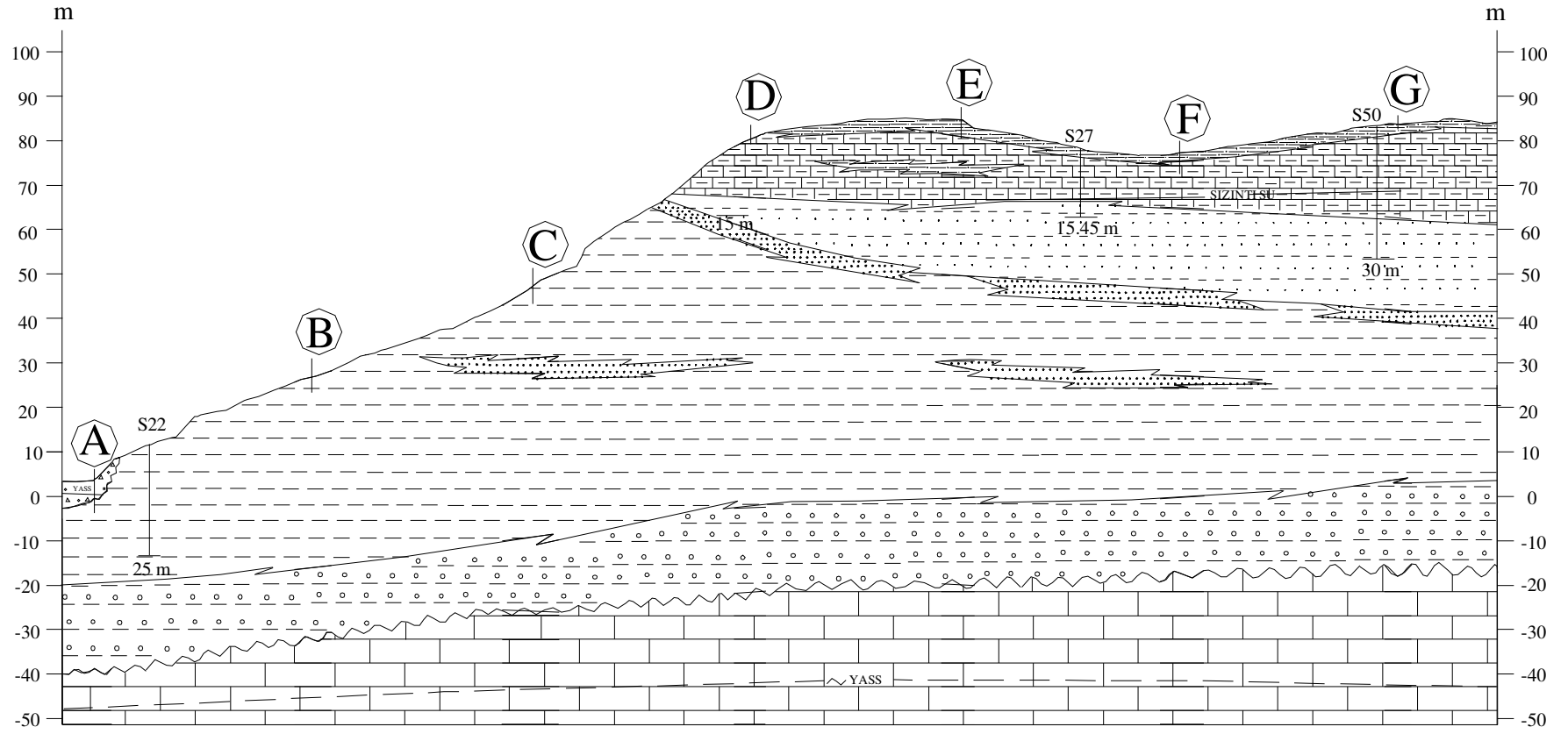
3-3' kesiti inceleme alanının orta kesimlerinin doğusunda bulunmaktadır. Batı-Doğu doğrultusunda yaklaşık olarak 1325 m boyunca devam eder ve yatay uzunluğu en az olan kesittir. Kesit batıda Bakırköy Formasyonu kireçtaşlarının yüzeylendiği bir düzlükle başlar. Daha sonra doğuya doğru sırasıyla Güngören ve Gürpınar Formasyonu killerin yüzeylendiği iniş eğimli bir yamaçtan geçerek Ayamama deresinin alüvyonlarının oluşturduğu bir düzlükle sona erer. Kesitin stratigrafik dizilimi, bölgenin klasik dizilimi ile uyum içerisindedir. Şekil 5.4'de 3-3' kesiti gösterilmiştir. 3-3' kesitinde bir boyutlu analizler kesitteki topoğrafik değişimleri göz önüne alan, batıdan doğuya doğru sırasıyla A, B, C, D ve E noktalarında yapılmıştır. İki boyutlu analiz sonuçları da bu noktalarda verilmiştir.

5.1.4 4-4' Kesiti

İnceleme alanının orta kesimlerinde bulunan kesit, batıda yamaç topuğunda Küçükçekmece Gölü'nün alüvyon sahaları ile başlayıp inceleme alanının orta kesimlerinde kireçtaşlarının yüzeylendiği bölgede sona erer. Yatay doğrultuda uzunluğu 1650 m olan kesit incelenen profiller içerisinde uzunluk olarak ikinci en küçük kesittir. Batıda dar bir alüvyal sahada başlayan 4-4' kesitinin doğu yönündeki çıkış eğimli yamacında yoğun olarak Gürpınar Formasyonu killeri bulunmaktadır. Bu yamacın son bölümünde yüzeyde izlenmeye başlayan Bakırköy Kireçtaşları kesitin doğusuna doğru oluşan düzlükte de yüzeylenir ve kesit bu düzlükte sonlanır. Stratigrafik dizilim nispeten ince bir kireçtaşlı seviye ile başlar. Kalınlığı 15-20 m olan bir geçiş seviyesinden sonra Gürpınar Formasyonu ile devam eder ve daha sonra sırası ile ince bir kum bandı, Güngören Formasyonu killeri ve Bakırköy Formasyonu kireçtaşları ile sonlanır. Şekil 5.5'de 4-4' kesiti gösterilmiştir. 4-4' kesitinde bir boyutlu analizler kesitteki topoğrafik değişimleri göz önüne alan, batıdan doğuya doğru sırasıyla A, B, C, D, E, F ve G noktalarında yapılmıştır. İki boyutlu analiz sonuçları da bu noktalarda verilmiştir.



Şekil 5.5 4-4' Kesiti.

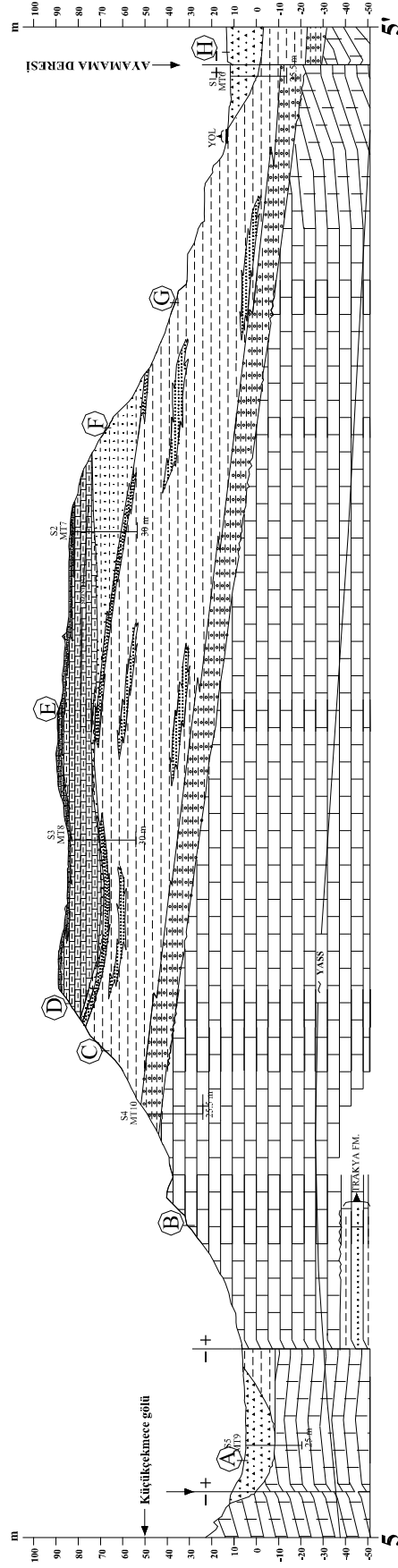


5.1.5 5-5' Kesiti

5-5' kesiti inceleme alanının orta kesimlerinde yer almakta olup batı-doğu doğrultusundaki uzunluğu 3450 m civarındadır. İnceleme alanının bu bölümünde, stratigrafik dizilim diğer bölgelere benzer şekilde Kırklareli Formasyonu kireçtaşları ile başlamakta ve daha sonra kumlu çakıllı yaklaşık 10 m kalınlıklı bir geçiş seviyesinden sonra Gürpınar Formasyonu aşırı konsolide yeşil renkli sert killeri başlamaktadır. Gürpınar Formasyonu söz konusu kesitte en kalın katmanı oluşturmaktadır. Daha sonra Çukurçeşme Formasyonu olarak adlandırılan ve yatay sürekliliği olmayan, kumlu seviye yaklaşık 4-5 m kadar devam etmektedir. Çukurçeşme Formasyonu üzerinde 2-3 m'den başlayarak yer yer 15 m kalınlığa kadar yükselen ve Güngören Formasyonu normal konsolide killeri yer almaktadır. Bu killerin üzerinde ise Bakırköy kireçtaşı 10-13 m kadar devam etmektedir. Kesitin orta kesimlerinin yüzeyinde ise 2-3 m kalınlıklı kil ve dolgu zemin bulunmaktadır. Analiz sonuçlarını vereceğimiz 5-5' kesitinin batısında Küçükçekmece gölü, doğusunda ise Ayamama deresinin alüvyonları bulunmaktadır. Batıda bulunan yamaçta Kırklareli formasyonunun kireçtaşları yüzeylenmektedir. Şekil 5.6'da 5-5' kesiti gösterilmiştir. 5-5' kesitinde bir boyutlu analizler kesitteki topoğrafik değişimleri göz önüne alan, batıdan doğuya doğru sırasıyla A, B, C, D, E, F ve G noktalarında yapılmıştır. İki boyutlu analiz sonuçları da bu noktalarda verilmiştir.

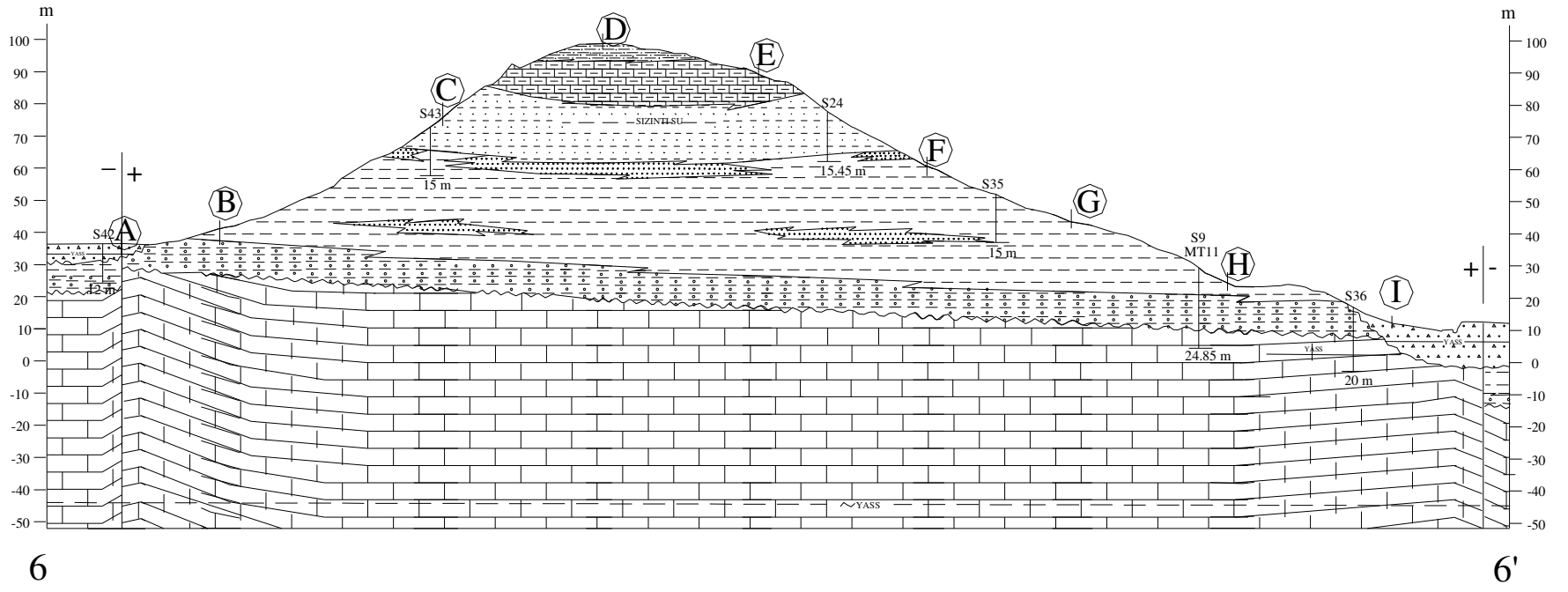
5.1.6 6-6' Kesiti

6-6' Kesiti inceleme alanının en kuzeyinde ve diğer kesitlere göre daha dik bir topoğrafyada yer almaktadır. Batı-Doğu doğrultusundaki uzunluğu yaklaşık 2300 m dir. Batıda Küçükçekmece Gölü'nün alüvyonlarının oluşturduğu düzlükle başlayan kesit, Gürpınar ve Güngören formasyonlarının yüzeylendiği bir yamaçtan sonra, Bakırköy Formasyonu kireçtaşlarının yüzeylendiği bir tepe ile devam eder. Gürpınar ve Güngören Formasyonu killерinin yüzeylendiği bir iniş eğimli kesimden sonra, doğuda Ayamama deresinin alüvyon sahaları ile sonlanır. Stratigrafik dizilim incelenen diğer kesitlerden farklılık göstermez. Kalın bir kireçtaşı serisi ile başlar, kumlu – çakıllı bir geçiş seviyeden sonra, kalın killi bir seviye ve ince, yatay sürekliliği olmayan bir kum bandından sonra Güngören formasyonu killeri ile devam eder ve en üstte ise Bakırköy Formasyonun Kireçtaşları ile sonlanır. Şekil 5.7'de 6-6' kesiti gösterilmiştir. 6-6' kesitinde bir boyutlu analizler kesitteki topoğrafik değişimleri göz önüne alanda, batıdan doğuya doğru sırasıyla A, B, C, D, E, F, G ve I noktalarında yapılmıştır. İki boyutlu analiz sonuçları da bu noktalarda verilmiştir.



Şekil 5.6 5-5' Kesiti.

Şekil 5.7 6-6' Kesiti.

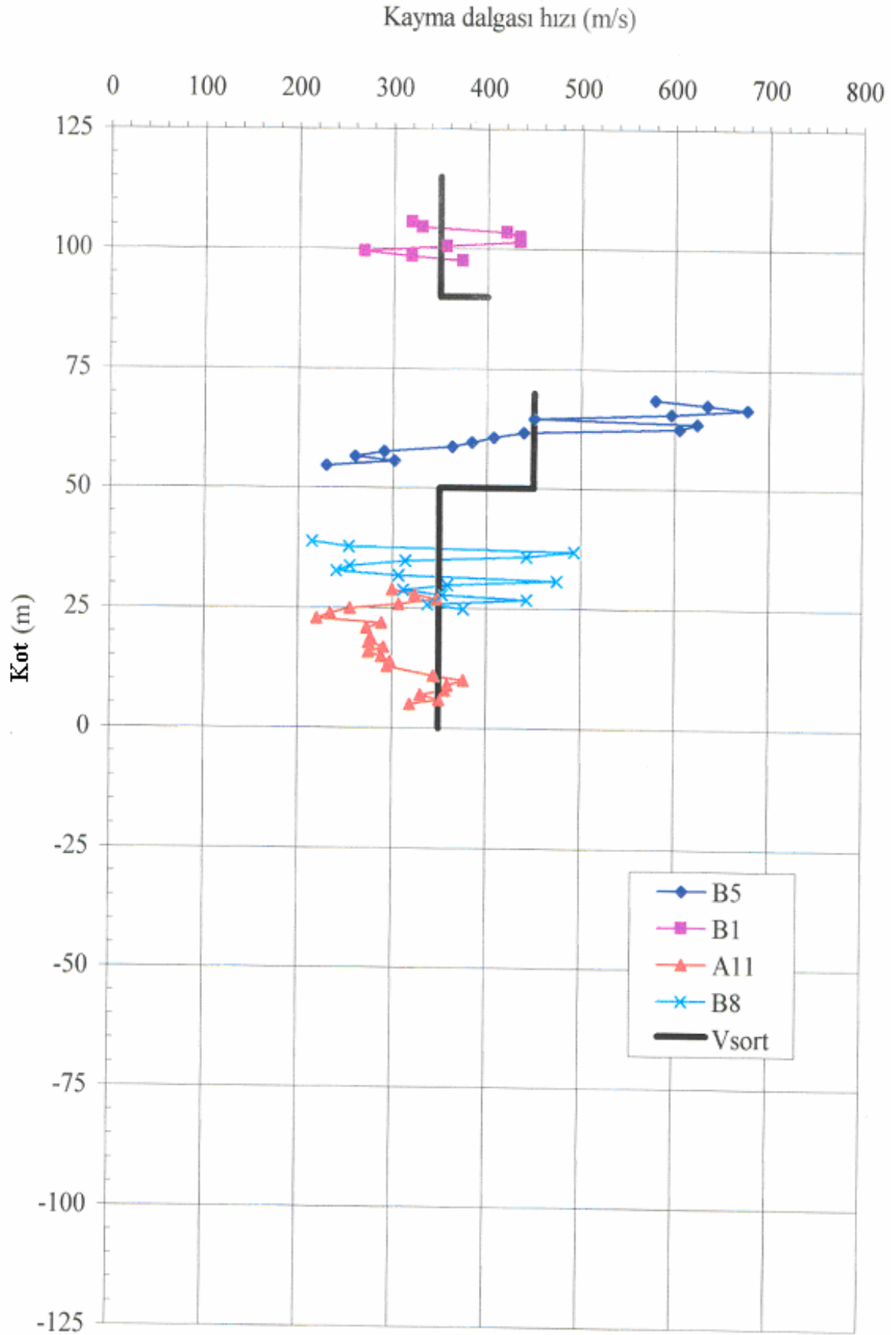


5.2 Kayma Dalgası Hızı Profillerinin Belirlenmesi

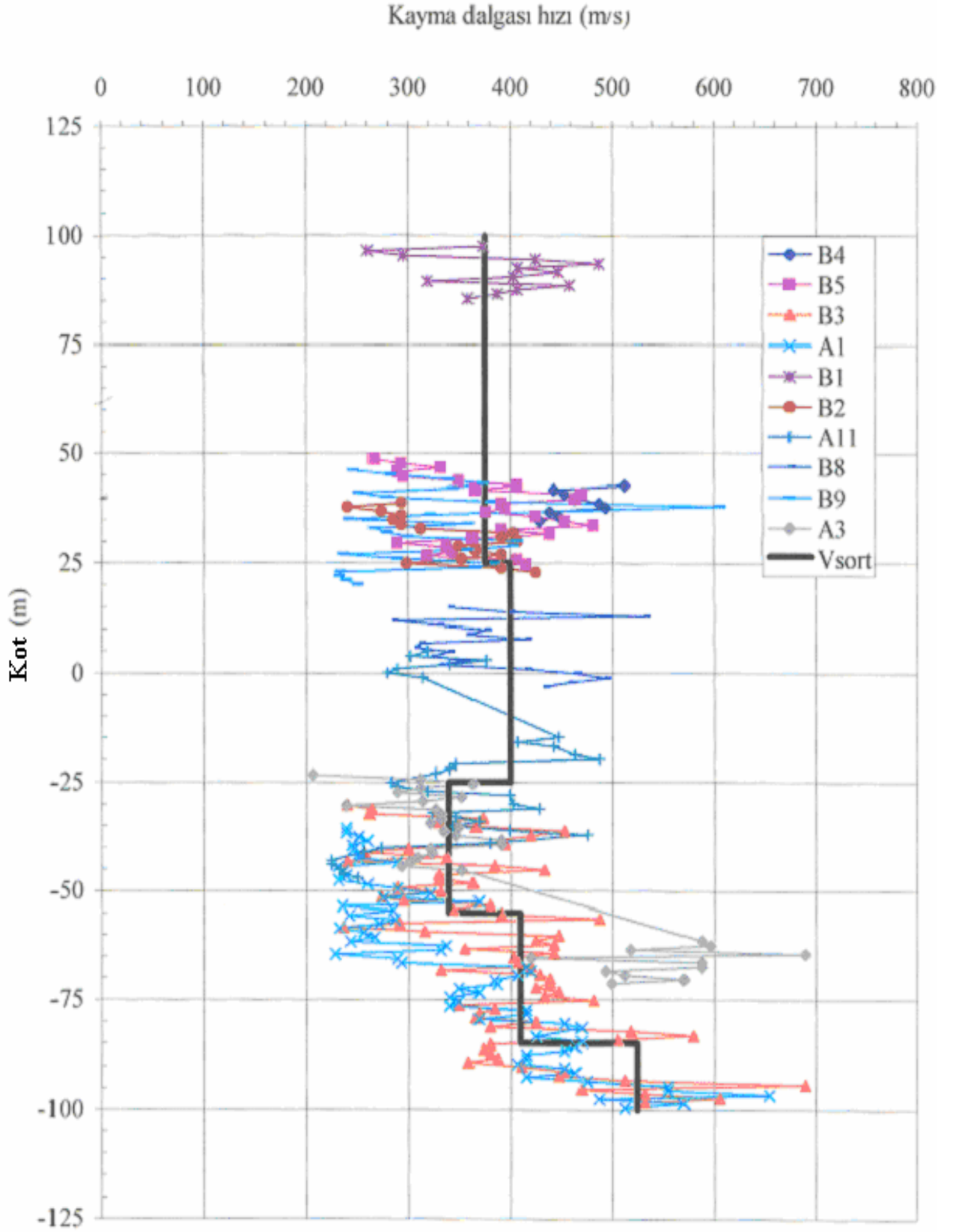
Kayma dalgası hızı dinamik analizlerde sonuç üzerinde önemli etkisi olan bir malzeme parametresidir. Bu çalışmada incelenen kesitlerde kayma dalgası hız profilleri daha önce yapılmış olan PS-Logging deneylerinden ve SPT N sayısına bağlı amprik eşitlikten belirlenmiştir. PS Logging sonuçları yalnızca Bakırköy Kireçtaşı, Gürpınar Kili ve Gürpınar Kumu için mevcuttur. PS- Logging diyagramlarının bulunmadığı diğer formasyonlarda ise kayma dalgası hızları, SPT N sayısına bağlı olarak hesaplanmıştır. Bu amaçla, İyisan (1996) amprik bağıntısı kullanılmıştır. Formasyonlar için SPT N sayıları Çizelge 3.1'den alınmıştır.

$$V_s = 51.5 \times N^{0.516} \quad (5.1)$$

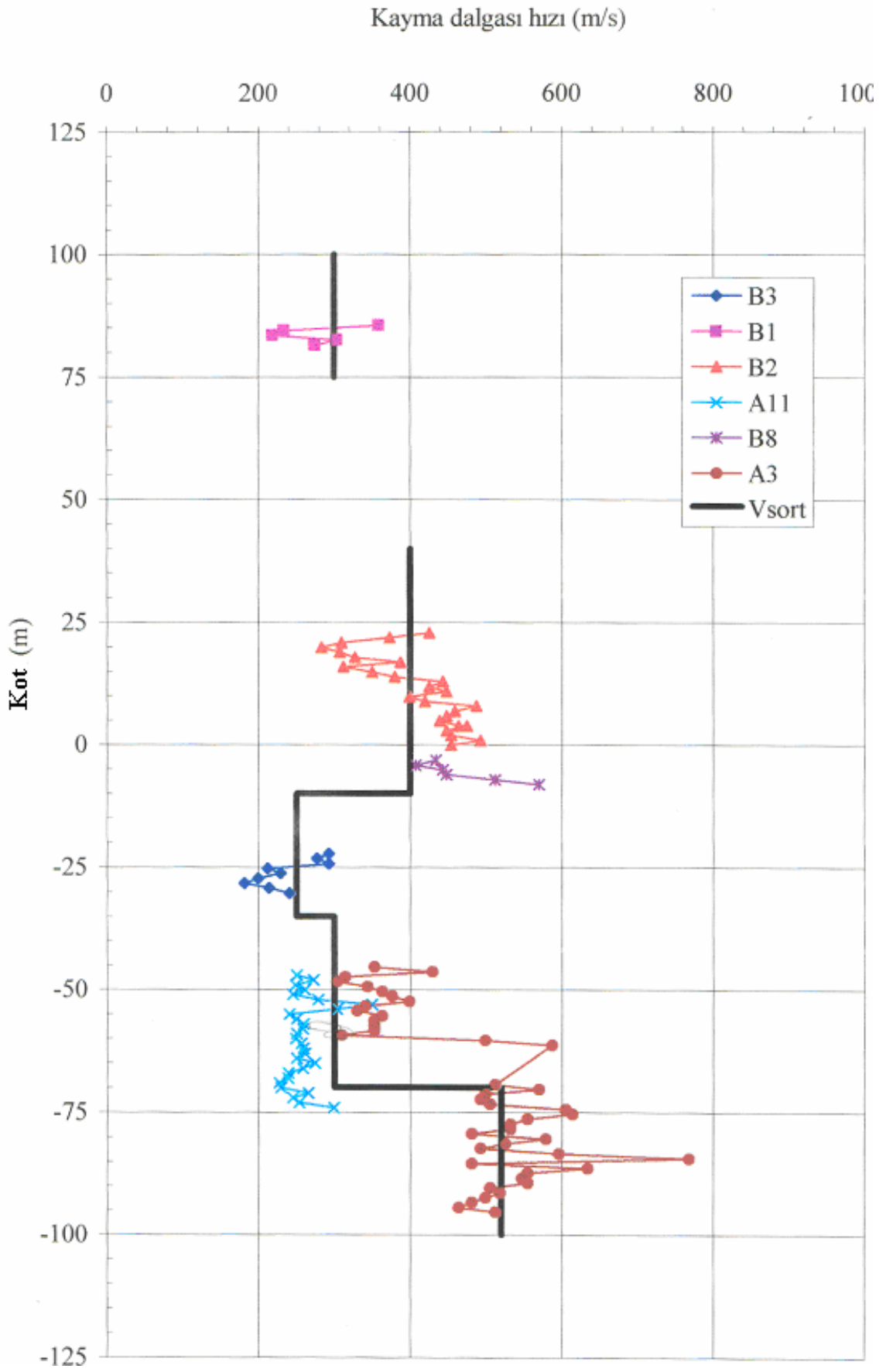
Şekil 5.8, Şekil 5.9 ve Şekil 5.10'da sırasıyla Bakırköy Kireçtaşı, Gürpınar Kili ve Gürpınar Kumu için PS-Logging deneylerinden belirlenen kayma dalgası hızı profilleri gösterilmiştir. Analizlerde ortalama değerler (V_{sort}) kullanılmıştır. Bu formasyonların kesitler üzerinde kotları belirlenerek ölçülerek ilgili diyagramdan kayma dalgası hızları seçilmiştir. Eosen kireçtaşı taban kayası olarak kabul edilip $V_s=700$ m/s ve $V_s=1500$ m/s olarak alınmıştır.



Şekil 5.8 Bakırköy Kireçtaşı için PS – Logging deneylerinden belirlenen kayma dalgası hızları.



Şekil 5.9 Gürpınar Kili için PS - Logging deneylerinden belirlenen kayma dalgası hızları.



Şekil 5.10 Gürpınar Kumu için PS – Logging deneylerinden belirlenen kayma dalgası hızları.

5.3 Dinamik Zemin Parametreleri

Tek boyutlu analizlerde kullanılan önemli dinamik zemin parametreleri $G/G_{\max}$ ve sönüm oranı ve bunların kayma şekil değiştirmesi ile değişimleridir. Türkiye'deki deprem bölgelerinden alınan orta plastisiteli zeminler üzerinde yapılan deneysel çalışmalardan belirlenen $G/G_{\max} - \gamma$ ilişkisi Okur ve Ansal (2001)'de verilmiştir.

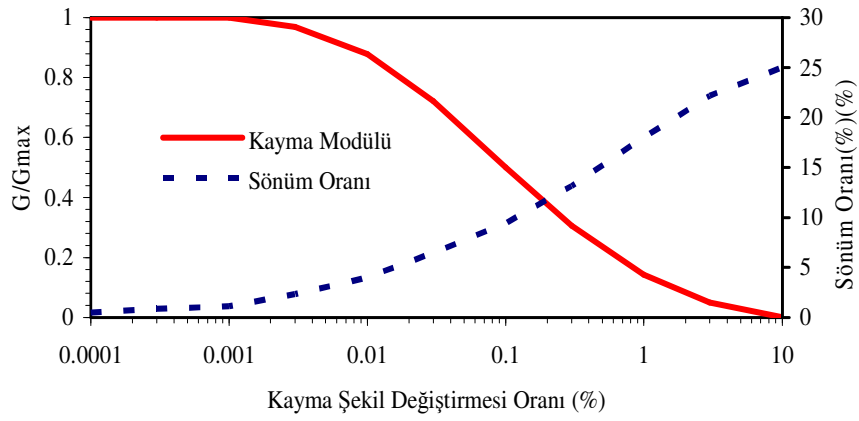
$$\frac{G}{G_{\max}} = \frac{35.09}{\frac{\gamma_a}{1 - 0.99 \exp(-18.97 I_p^{-1.27})} + 34.74} \quad (5.2)$$

Burada, G , kayma modülü, $G_{\max}$, küçük şekil değiştirmede kayma modülü, γ_a , kayma şekil değiştirmesi genliği I_p , plastisite indeksidir.

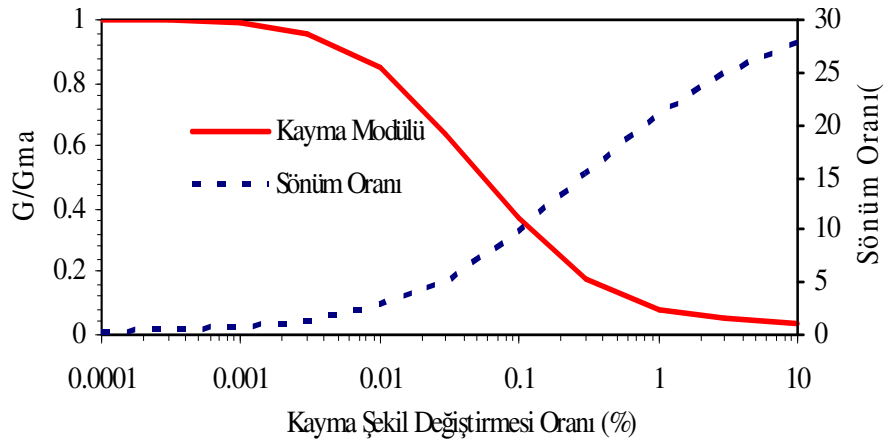
Formasyonlara ait ortalama plastisite indeksleri kullanılarak (5.2) eşitliğinden hesaplanan $G/G_{\max}$ eğrileri ile Vucetic and Dobry (1991)'den belirlenen $G/G_{\max}$ eğrilerinin birbiriyle uyumlu olduğu belirlenmiştir. Yazarla yapılan görüşmelerde sönüm oranı için önerdikleri eşitlik üzerinde çalışmaların devam ettiği öğrenilmiştir. Bu nedenle kil zeminler için plastisite indeksi gözönüne alınarak Vucetic and Dobry (1991) tarafından önerilen $G/G_{\max} - \gamma$ ve Sönüm oranı - γ ilişkileri, Alüvyon, Çukurçeşme ve Gürpınar kumu için Seed and Idriss (1970) ve Idriss (1990) ilişkileri kullanılmıştır. Bakırköy kireçtaşı için ise programda kayalar için önerilen EERA için kaya ilişkileri kullanılmıştır. Her bir formasyona ait seçilen $G/G_{\max} - \gamma$ ve sönüm - γ ilişkileri Çizelge 5.1 'de verilmiştir. Çizelge 5.1'de belirtilen dolgu, alüvyon (göl kenarı), alüvyon (Ayamama deresi kenarı), Güngören kili, Çukurçeşme ve Gürpınar kumu, Gürpınar kili, Gürpınar tabanı ve Kırklareli – Bakırköy kireçtaşlarına ait $G/G_{\max} - \gamma$ ve sönüm ilişkileri Şekil 5.11, Şekil 5.12 ve Şekil 5.13'de verilmiştir.

Çizelge 5.1 Formasyonlar için seçilen $G/G_{\max}$ ve sönüm oranı-kayma şekil değiştirmesi ilişkileri

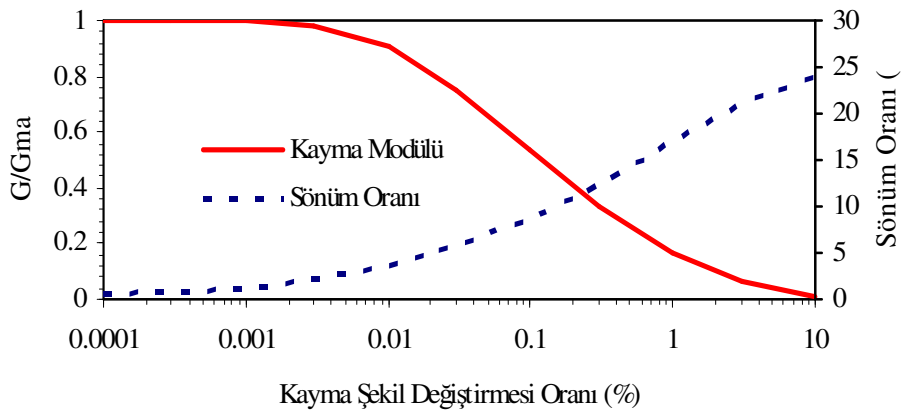
Formasyon	Tip	Seçilen şekil değiştirme bağımlı yaklaşım
Dolgu	Mat 1	$G/G_{\max}$: Vucetic ve Dobry (1991), $I_p=\%25$ Sönüm: Vucetic ve Dobry (1991), $I_p=\%25$
Alüvyon (göl kenarı)	Mat 2	$G/G_{\max}$: Seed ve Idriss (1970), Üst sınır Sönüm: (Idriss 1990)
Alüvyon (Ayamama deresi)	Mat 3	$G/G_{\max}$: Vucetic ve Dobry (1991), $I_p=\%30$ Sönüm: Vucetic ve Dobry (1991), $I_p=\%30$
Bakırköy kireçtaşı	Mat 6	Kaya için EERA İlişkileri
Güngören kili	Mat 3	$G/G_{\max}$: Vucetic ve Dobry (1991), $I_p=\%45$ Sönüm : Vucetic ve Dobry (1991), $I_p=\%45$
Çukurçeşme ve Gürpınar kumu	Mat 5	$G/G_{\max}$: Seed ve Idriss (1970), Üst sınır Sönüm: (Idriss 1990)
Gürpınar kili	Mat 4	$G/G_{\max}$: Vucetic ve Dobry (1991), $I_p=\%40$ Sönüm: Vucetic ve Dobry (1991), $I_p=\%40$
Gürpınar tabanı (Kumlu çakıl)	Mat 5	$G/G_{\max}$: Seed ve Idriss (1970), Üst sınır Sönüm: Seed ve Idriss (1970), ortalama
Kırklareli kireçtaşı	Mat 6	Kaya için EERA İlişkileri
Kırklareli kireçtaşı (Anakaya)	-	-

Dolgu

(a)

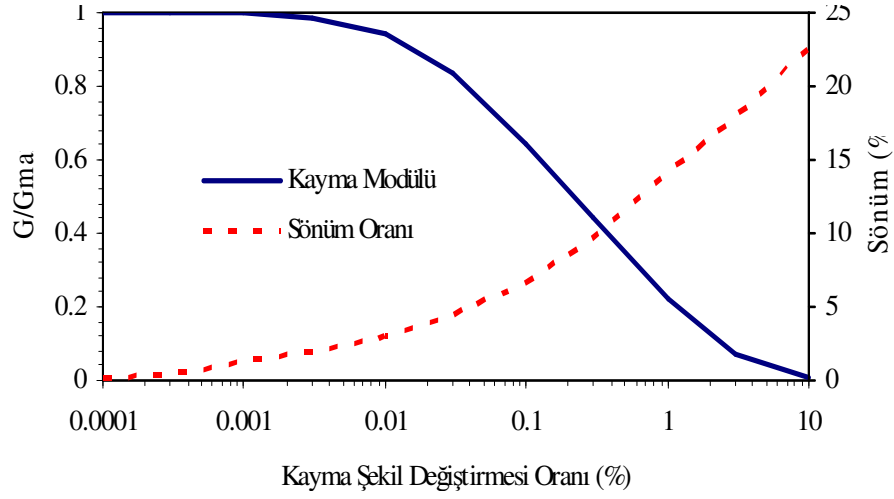
Alüvyon (Göl Kenarı)

(b)

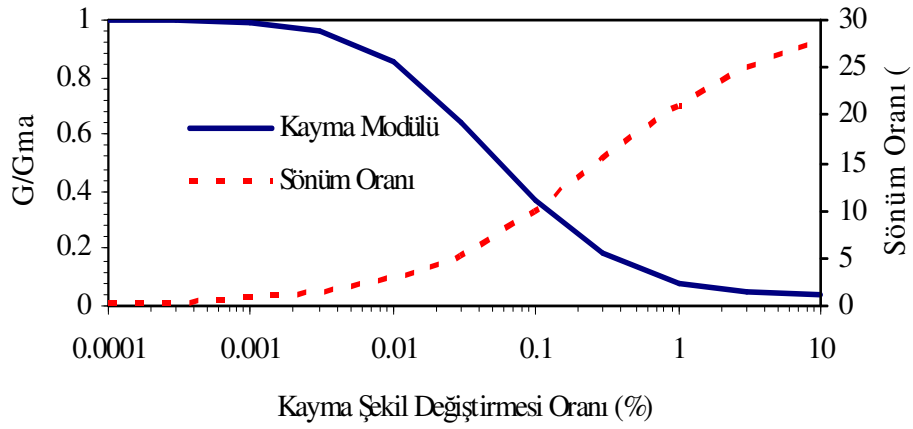
Alüvyon (Ayamama Deresi)

(c)

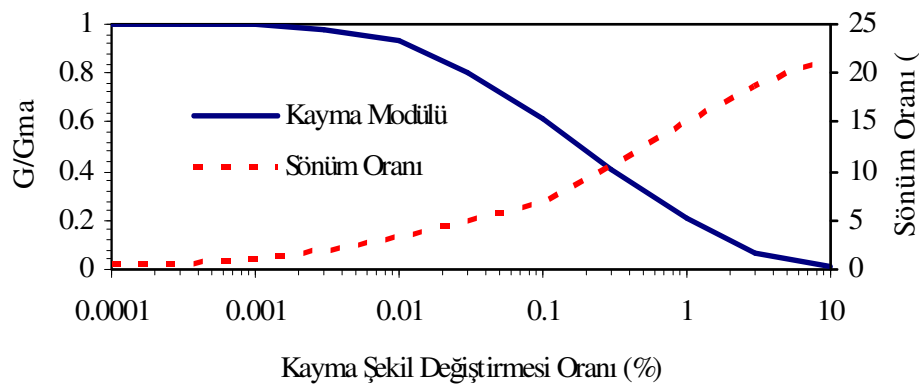
Şekil 5.11 $G/G_{max} - \gamma$ ve sönüm oranı ilişkileri, (a) Dolgu, (b) Alüvyon (Göl Kenarı), (c) Alüvyon (Ayamama deresi).

Güngören Kili

(a)

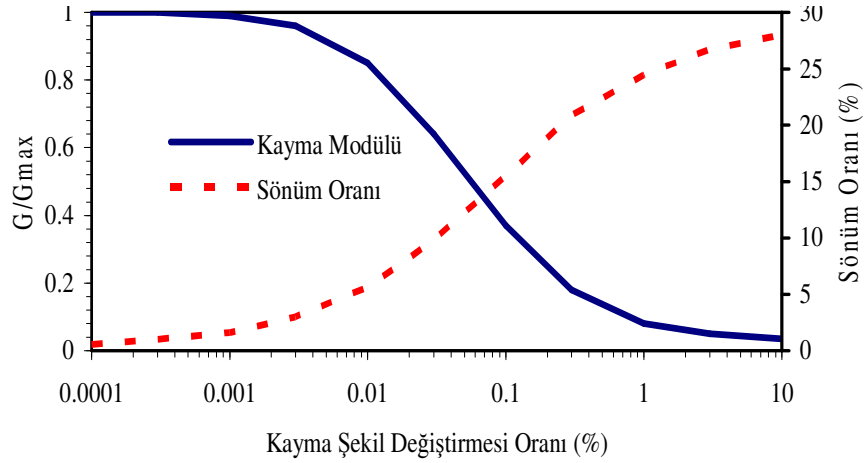
Çukurçeşme ve Gürpınar Kumu

(b)

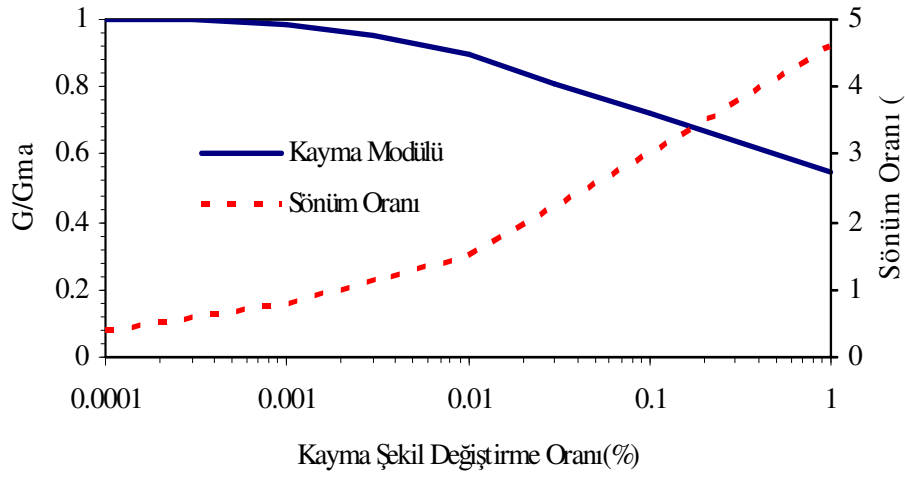
Gürpınar Kili

(c)

Şekil 5.12 G/G_{max} - γ ve sönüm oranı ilişkileri, (a) Güngören kili, (b) Çukurçeşme ve Gürpınar Kumu, (c) Gürpınar Kili.

Gürpınar Tabanı

(a)

Kırklareli ve Bakırköy Kireçtaşı

(b)

Şekil 5.13 $G/G_{\max}$ - γ sönüm oranı ilişkileri, (a) Gürpınar tabanı, (b) Kırklareli ve Bakırköy Kireçtaşı.

5.4 Malzeme Parametreleri

İnceleme alanında analizlerin yapıldığı 1-1', 2-2', 3-3', 4-4', 5-5' ve 6-6' kesitlerine ait malzeme parametreleri sırasıyla Çizelge 5.2, Çizelge 5.3, Çizelge 5.4, Çizelge 5.5, Çizelge 5.6 ve Çizelge 5.7 'de verilmiştir.

Çizelge 5.2 1-1' Kesiti için malzeme parametreleri

Formasyon	γ_k (kN/m ³)	γ_d (kN /m ³)	c^* (kN/m ²)	ϕ^* (°)	V_s , (m/sn)	E^* (kN/m ²)	G^* (kN/m ²)	ν^*
Dolgu	14.30	19.00	1	20	270	287200	106400	0.35
Alüvyon (Göl Kenarı)	13.30	18.00	1	25	175	112200	41560	0.30
Güngören Formasyonu	14.20	19.00	1	19	270	285200	105600	0.35
Çukurçeşme Formasyonu	16.00	20.00	1	30	400	679100	261200	0.30
Gürpınar Formasyonu	16.00	20.00	12	24	400	705200	261200	0.35
Gürpınar Tabanı	14.00	21.00	1	35	450	752200	289300	0.30
Kırklareli Formasyonu	20.00	26.00	-	-	700	2400000	1000000	0.20
Bakırköy Formasyonu	22.50	24.00	-	-	350	674900	281300	0.20
Gürpınar Kumu	16.00	21.00	1	30	250	265300	102000	0.30

(*) işareti konulan parametreler sadece Plaxis'de kullanılmıştır

Çizelge 5.3 2-2' Kesiti için malzeme parametreleri

Formasyon	γ_k (kN/m ³)	γ_d (kN /m ³)	c^* (kN/m ²)	ϕ^* (°)	V_s , (m/sn)	E^* (kN/m ²)	G^* (kN/m ²)	ν^*
Dolgu	14.30	18.00	1	20	270	287200	106400	0.35
Alüvyon (Göl Kenarı)	13.30	18.00	1	25	175	112200	41560	0.30
Alüvyon (Ayamama Deresi)	12.50	17.00	1	14	175	101500	39060	0.35
Güngören Formasyonu	14.20	19.00	1	19	250	244500	90560	0.35
Çukurçeşme Formasyonu	16.00	20.00	1	30	400	679100	261200	0.30
Gürpınar Formasyonu	16.00	20.00	12	24	375	619800	229600	0.35
Gürpınar Tabanı	16.00	21.00	1	35	450	859600	330600	0.30
Kırklareli Formasyonu	20.00	26.00	-	-	700	2400000	1000000	0.20
Bakırköy Formasyonu	22.50	22.50	-	-	375	775900	323300	0.20
Gürpınar Kumu	16.00	21.00	1	30	400	679100	261200	0.30

(*) işareti konulan parametreler sadece Plaxis’de kullanılmıştır.

Çizelge 5.4 3 -3' Kesiti için malzeme parametreleri

Formasyon	γ_k , (kN/m ³)	γ_d (kN /m ³)	c^* (kN/m ²)	ϕ^* (°)	V_s , (m/sn)	E^* (kN/m ²)	G^* (kN/m ²)	ν^*
Dolgu	14.30	19.00	1	20	270	287200	106400	0.35
Alüvyon (Ayamama Deresi)	12.50	17.00	1	14	190	124300	46050	0.35
Güngören Formasyonu	14.20	19.00	1	19	270	287300	106400	0.35
Çukurçeşme Formasyonu	16.00	20.00	1	30	450	860700	331000	0.30
Gürpınar Formasyonu	16.00	20.00	12	24	375	619800	229600	0.35
Gürpınar Tabanı	16.00	21.00	1	35	450	859600	330600	0.30
Kırklareli Formasyonu	20.00	26.00	-	-	700	2400000	1000000	0.20
Bakırköy Formasyonu	22.50	24.00	-	-	450	775900	323300	0.20
Gürpınar Kumu	16.00	21.00	1	30	400	679100	261200	0.30

(*) işareti konulan parametreler sadece Plaxis’de kullanılmıştır.

Çizelge 5.5 4-4' Kesiti için malzeme parametreleri

Formasyon	γ_k (kN/m ³)	γ_d (kN /m ³)	c^* (kN/m ²)	ϕ^* (°)	V_s , (m/sn)	E^* (kN/m ²)	G^* (kN/m ²)	ν^*
Dolgu	14.30	19.00	1	20	270	287200	106400	0.35
Alüvyon (Göl Kenarı)	13.30	18.00	1	25	175	112200	41560	0.30
Güngören Formasyonu	14.20	19.00	1	19	270	285200	105600	0.35
Çukurçeşme Formasyonu	16.00	20.00	1	30	400	679300	261200	0.30
Gürpınar Formasyonu	16.00	20.00	12	24	375	619800	229600	0.35
Gürpınar Tabanı	16.00	21.00	1	35	450	859700	330600	0.30
Kırklareli Formasyonu	20.00	26.00	-	-	700	2400000	1000000	0.20
Bakırköy Formasyonu	22.50	24.00	-	-	400	881500	367300	0.20
Gürpınar Kumu	16.00	21.00	1	30	365	565400	217500	0.30

(*) işareti konulan parametreler sadece Plaxis'de kullanılmıştır.

Çizelge 5.6 5-5' kesiti için malzeme parametreleri

Formasyon	γ_k (kN/m ³)	γ_d (kN /m ³)	c^* (kN/m ²)	ϕ^* (°)	V_s , (m/sn)	E^* (kN/m ²)	G^* (kN/m ²)	ν^*
Dolgu	14.30	19.00	1	20	270	287200	106400	0.35
Alüvyon (Göl Kenarı)	13.30	18.00	1	25	175	112200	41560	0.30
Alüvyon (Ayamama Deresi)	12.50	17.00	1	14	195	126100	48480	0.35
Güngören Formasyonu	14.20	19.00	1	19	270	285200	105600	0.35
Çukurçeşme Formasyonu	16.00	20.00	1	30	400	679100	261200	0.30
Gürpınar Formasyonu	16.00	20.00	12	24	390	670400	248300	0.35
Gürpınar Tabanı	16.00	21.00	1	35	450	859500	330600	0.30
Kırklareli Formasyonu	20.00	26.00	-	-	700	2400000	1000000	0.20
Bakırköy Formasyonu	22.50	22.50	-	-	420	971800	405000	0.20
Gürpınar Kumu	16.00	21.00	1	30	300	382000	146900	0.30

(*) işareti konulan parametreler sadece Plaxis'de kullanılmıştır.

Çizelge 5.7 6-6' Kesiti için malzeme parametreleri

Formasyon	γ_k , (kN/m ³)	γ_d (kN /m ³)	c^* (kN/m ²)	ϕ^* (°)	V_s , (m/sn)	E^* (kN/m ²)	G^* (kN/m ²)	ν^*
Dolgu	14.30	19.00	1	20	270	287200	106400	0.35
Alüvyon (Göl Kenarı)	13.30	18.00	1	25	175	112200	41560	0.30
Alüvyon (Ayamama Deresi)	12.50	17.50	1	14	195	126100	48500	0.35
Güngören Formasyonu	14.20	19.00	1	19	270	285100	105600	0.35
Çukurçeşme Formasyonu	16.00	20.00	1	30	500	895700	408200	0.30
Gürpınar Formasyonu	16.00	20.00	12	24	375	619800	229600	0.35
Gürpınar Tabanı	16.00	21.00	1	35	450	859700	330600	0.30
Kırklareli Formasyonu	20.00	26.00	-	-	700	2400000	1000000	0.20
Bakırköy Formasyonu	22.50	24.00	-	-	375	775000	322900	0.20
Gürpınar Kumu	16.00	20.00	1	30	300	382000	146900	0.30

(*) işareti konulan parametreler sadece Plaxis'de kullanılmıştır.

5.5 İki Boyutlu Analizlerde Kullanılan Rayleigh Sönüm Katsayıları

Daha önce değinildiği gibi Rayleigh sönüm katsayılarının belirlenmesinde iki farklı yöntem izlenmiştir. Birinci yöntemde, her bir kesit için bir eşdeğer kayma dalgası hızı ve ortalama kesit yüksekliği hesaplanmış ve $4H/V_s$ bağıntısında yerine konulmuştur. Böylelikle zeminin birinci doğal titreşim periyodu hesaplanmış ve açısal frekansa dönüştürülmüştür. İkinci titreşim frekansı olarak ise zemin davranışının genellikle 10 Hz değerine kadar etkili olduğu kabulüne dayanarak 10 Hz alınmıştır (Rathje, 2001). Böylece zeminin birinci doğal titreşim frekansı ve 10 Hz'lik frekans değerleri arasındaki davranış dikkate alınarak sönüm katsayıları hesaplanmıştır. Titreşim frekanslarının hesabında kullanılan ikinci yaklaşımda ise sonlu elemanlar analiz yöntemi ile hesap yapan LUSAS programı kullanılmıştır. LUSAS programında, kesitler topoğrafik ve geoteknik özellikleri ile modellenerek bu kesitlerde modal analiz yapılmış ve ilk on moda ait titreşim frekansları bulunmuştur. Bu frekans değerlerinden ilk iki moda ait olanlar sönüm katsayılarının hesabında kullanılmıştır. Bu yaklaşımda zemin topoğrafyası dolayısıyla ikinci boyutun etkisi de göz önüne alınmıştır.

5.5.1 Zeminin Doğal Periyoduna Göre Belirlenen Rayleigh Sönüm Katsayıları

Birincisi yaklaşımda analiz edilecek her bir kesit, enine doğrultuda çeşitli uzunluklarda segmentlere ayrılmıştır. Ayrılan her bir segmentte yer alan formasyonların kayma dalgası hızları (V_{si}) ve formasyonların kalınlıkları (H_i) (5.3) eşitliğinde yerine konularak o segment için bir eşdeğer kayma dalgası hızı belirlenmiştir (V_{se}). Daha sonra elde edilen bu kayma dalgası hızları ve segmentlerin ortalama kalınlıklarının (h_i), (5.4) eşitliğinde yerine konularak her bir kesit için eşdeğer kayma dalgası hızı belirlenmiştir (V_{sesd}). $4H/V_s$ bağıntısında, elde edilen eşdeğer kayma dalgası hızları ve incelenen kesit için tayin edilen ortalama kesit kalınlıkları yerine yazılarak zeminin birinci doğal titreşim periyodu belirlenmiş ve açısal frekansa dönüştürülmüştür. Elde edilen bu açısal frekans değeri bağıntı (4.14) de birinci açısal frekans olarak yerine koyulmuş ve ikinci açısal frekans değeri olarak ise 10 Hz (Rathje, 2001) değeri kullanılmıştır. 10 Hz değeri her kesit için sabit olarak alınmıştır. Çizelge 5.8'de her bir kesit için Rayleigh sönüm katsayılarının belirlenmesinde kullanılan parametreler verilmiştir.

$$V_{se} = \frac{\sum (H_i \times V_{si})}{\sum H_i} \quad (5.3)$$

$$V_{sesd} = \frac{\sum (V_{se}) \cdot h_i}{\sum h_i} \quad (5.4)$$

Birinci ve ikinci açısal frekanslar ve sönüm oranı olarak kabul edilen %5 değeri bağıntı (4.14)'de yerine konularak her bir kesit için belirlenen Rayleigh sönüm katsayıları Çizelge 5.9 verilmiştir.

Çizelge 5.8 Rayleigh sönüm katsayılarının belirlenmesinde kullanılan parametreler

Kesit	Eşdeğer Kayma Dalgası Hızı ($V_{s\text{ eşd}}$) (m/s)	Ortalama Kalınlık (H_{ort}) (m)	Periyod (s)	1.Frekans (Hz)	1.Açısal Frekans (rad/sn)	2.Frekans (Hz)	2.Açısal Frekans (rad/sn)
1-1'	468	235	2	0.5	3.14	10	62.8
2-2'	463	190	1.64	0.61	3.83	10	62.8
3-3'	460	90	0.78	1.28	8.05	10	62.8
4-4'	457	100	0.87	1.15	7.22	10	62.8
5-5'	560	140	1	1	6.28	10	62.8
6-6'	582	105	0.72	1.38	8.67	10	62.8

Çizelge 5.9 Zeminin doğal periyodundan Rayleigh sönüm katsayıları

Kesit	Rayleigh α	Rayleigh β
1 -1'	0.29	0.0015
2 -2'	0.36	0.0015
3- 3	0.71	0.0014
4 -4'	0.64	0.0014
5 -5'	0.57	0.0014
6- 6'	0.76	0.0014

5.5.2 LUSAS Sonlu Elemanlar Programı ile Belirlenen Rayleigh Sönüm Katsayıları

İkinci bir yaklaşım olarak iki boyutlu analizlerde kullanılan Rayleigh sönüm katsayılarının belirlenmesi için gereken frekans bilgileri LUSAS programı ile yapılan modal analizlerden belirlenmiştir. Her bir kesit LUSAS programında topoğrafik özellikleri ve stratigrafik dizilimi dikkate alınarak modellenmiş ve her bir formasyonun birim hacim ağırlığı, Elastisite modülü ve Poisson oranı girilmiştir (Çizelge 5.2, Çizelge 5.3, Çizelge 5.4, Çizelge 5.5, Çizelge 5.6 ve Çizelge 5.7). Sonlu elemanlar ağı oluşturulduktan sonra modal analiz yapılmış ve her bir kesit için ilk 15 moda ait frekans ve periyod değerleri elde edilmiştir. İlk iki mod

için belirlenmiş olan frekans değeri açısal frekans şekline dönüştürülerek, viskoz sönüm katsayılarının hesaplanmasında kullanılan eşitliklere (4.14) yazılmış ve viskoz sönüm katsayıları hesaplanmıştır. LUSAS’la yapılan modal analizlerden elde edilen ilk 10 moda ait frekans, periyod ve açısal frekans değerleri, Çizelge 5.10, Çizelge 5.11, Çizelge 5.12, Çizelge 5.13, Çizelge 5.14 ve Çizelge 5.15’de verilmiştir.

Çizelge 5.10 1-1’ Kesitinde yapılan modal analizden elde edilen frekans ve periyod değerleri

Mod	Frekans (1/s)	Periyod (s)	Açısal Frekans (ω) (rad/s)	Sönüm
1	0.46783	2.137529	2.939464	%5
2	0.515177	1.941080	3.236958	%5
3	0.582316	1.717281	3.658798	%5
4	0.640364	1.561612	4.023531	%5
5	0.685224	1.459377	4.305392	%5
6	0.71688	1.394934	4.504287	%5
7	0.774549	1.291074	4.866631	%5
8	0.799697	1.250474	5.024649	%5
9	0.824004	1.213586	5.177374	%5
10	0.856721	1.167241	5.392936	%5

Çizelge 5.11 2-2’ Kesitinde yapılan modal analizden elde edilen frekans ve periyod değerleri

Mod	Frekans (1/s)	Periyod (s)	Açısal Frekans (ω) (rad/s)	Sönüm
1	0.760043	1.315715	4.775490	%5
2	0.810327	1.234070	5.091434	%5
3	0.890604	1.122833	5.595829	%5
4	1.01418	0.986018	6.372252	%5
5	1.1901	0.840266	7.477627	%5
6	1.3079	0.764584	8.217792	%5
7	1.36829	0.730839	8.597197	%5
8	1.37604	0.726723	8.645907	%5
9	1.45425	0.687640	9.137325	%5
10	1.53048	0.653390	9.616273	%5

Çizelge 5.12 3-3' Kesitinde yapılan modal analizden elde edilen frekans ve periyod değerleri

Mod	Frekans (1/s)	Periyod (s)	Açısal Frekans (ω) (rad/s)	Sönüm
1	1.12044	0.892507	7.039957	%5
2	1.43057	0.699022	8.988515	%5
3	1.62473	0.615487	10.208477	%5
4	1.69962	0.588367	10.678998	%5
5	1.75029	0.571334	10.997409	%5
6	1.95724	0.510924	12.297683	%5
7	2.04565	0.488842	12.853171	%5
8	2.22462	0.449515	13.977732	%5
9	2.32478	0.430148	14.607019	%5
10	2.57186	0.388824	16.159455	%5

Çizelge 5.13 4-4' Kesitinde yapılan modal analizden elde edilen frekans ve periyod değerleri

Mod	Frekans (1/s)	Periyod (s)	Açısal Frekans (ω) (rad/s)	Sönüm
1	0.901064	1.109799	5.661555	%5
2	1.03313	0.967932	6.491325	%5
3	1.21469	0.823255	7.632143	%5
4	1.3977	0.715461	8.781987	%5
5	1.47881	0.676219	9.291614	%5
6	1.4810	0.675219	9.305396	%5
7	1.50925	0.662581	9.482916	%5
8	1.5610	0.640615	9.808078	%5
9	1.60088	0.624656	10.05352	%5
10	1.73946	0.574891	10.929364	%5

Çizelge 5.14 5-5' Kesitinde yapılan modal analizde elde edilen frekans ve periyod değerleri

Mod	Frekans (1/s)	Periyod (s)	Açısal Frekans (ω) (rad/s)	Sönüm
1	1.28811	0.776331	8.093423	%5
2	1.46726	0.681542	9.219083	%5
3	1.59877	0.625481	10.045347	%5
4	1.71518	0.583029	10.776781	%5
5	1.88002	0.531909	11.812493	%5
6	2.07551	0.481809	13.040821	%5
7	2.18666	0.457318	13.739178	%5
8	2.24674	0.445089	14.116692	%5
9	2.35543	0.424551	14.799628	%5
10	3.37414	0.421205	14.917171	%5

Çizelge 5.15 6-6' Kesitinde yapılan modal analizde elde edilen frekans ve periyod değerleri

Mod	Frekans (1/s)	Periyod (s)	Açısal Frekans (ω) (rad/s)	Sönüm
1	1.2911	0.774533	8.112195	%5
2	1.64878	0.606509	10.359585	%5
3	2.10649	0.474723	13.235483	%5
4	2.18166	0.458367	13.707808	%5
5	2.46491	0.405694	15.487479	%5
6	2.55456	0.391457	16.050794	%5
7	2.90935	0.343719	18.279962	%5
8	3.23519	0.309101	2.327322	%5
9	3.32930	0.300363	20.918628	%5
10	3.51756	0.284288	22.101471	%5

Rayleigh α ve Rayleigh β katsayıları (4.14)' de verilen bağıntılardan, Çizelge 5.10 - Çizelge 5.15'de verilen 1. ve 2. mod için açısal frekans ve sönüm değerleri yerine yazılarak belirlenmiştir. Bütün kesitler için belirlenen Rayleigh sönüm katsayıları Çizelge 5.16' da gösterilmiştir.

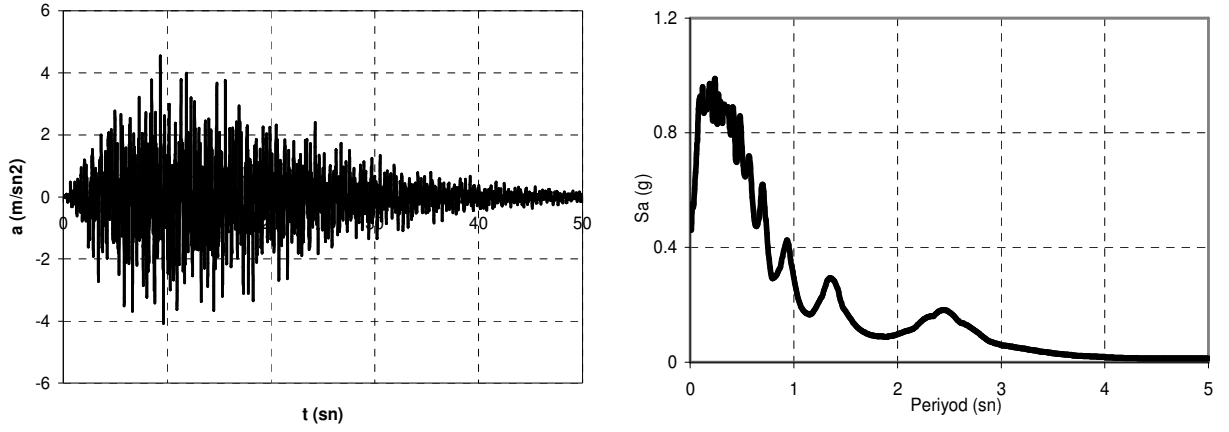
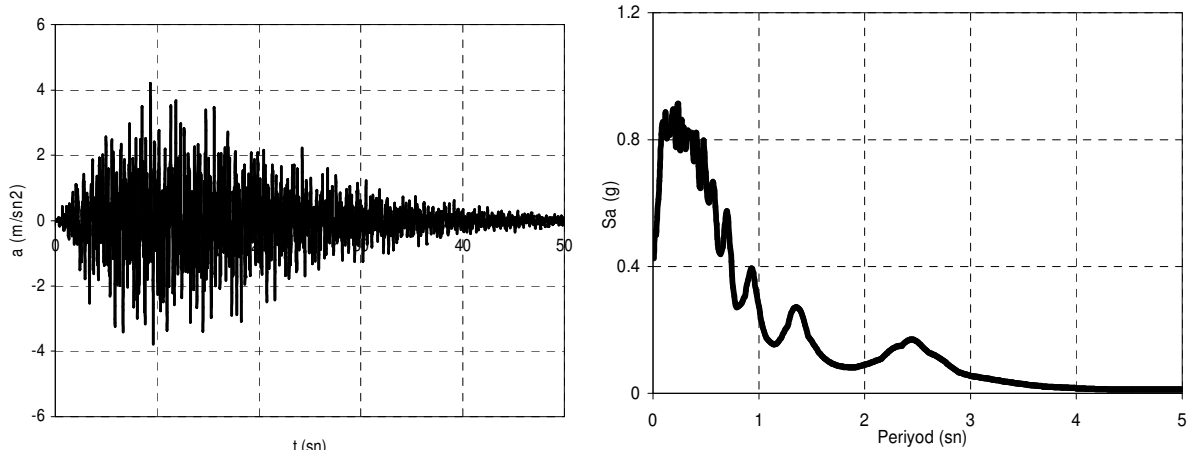
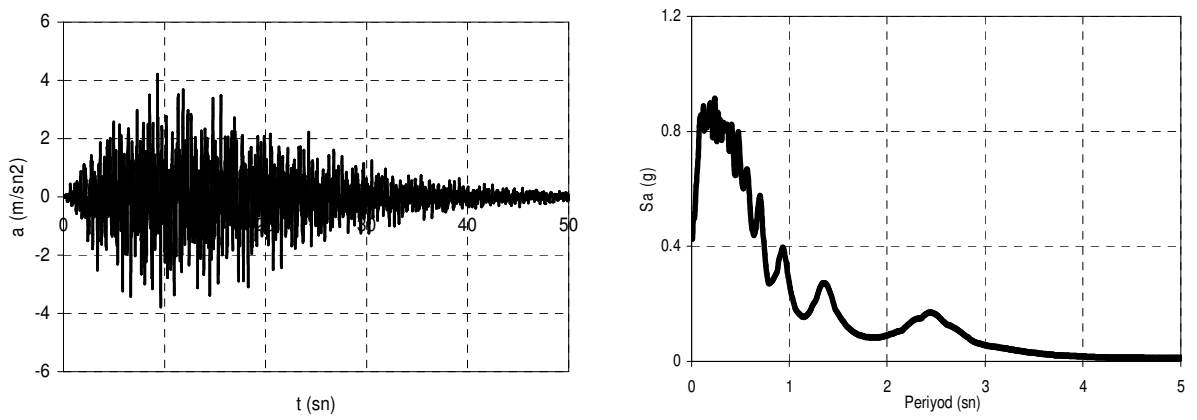
Çizelge 5.16 Modal analiz sonuçlarından belirlenen belirlenen Rayleigh sönüm katsayıları

Kesit	Rayleigh α	Rayleigh β
1 – 1'	0.154	0.0161
2 – 2'	0.2464	0.0101
3 – 3'	0.3948	0.00623
4 – 4'	0.3023	0.00823
5 - 5'	0.430	0.00577
6 –6'	0.454	0.00541

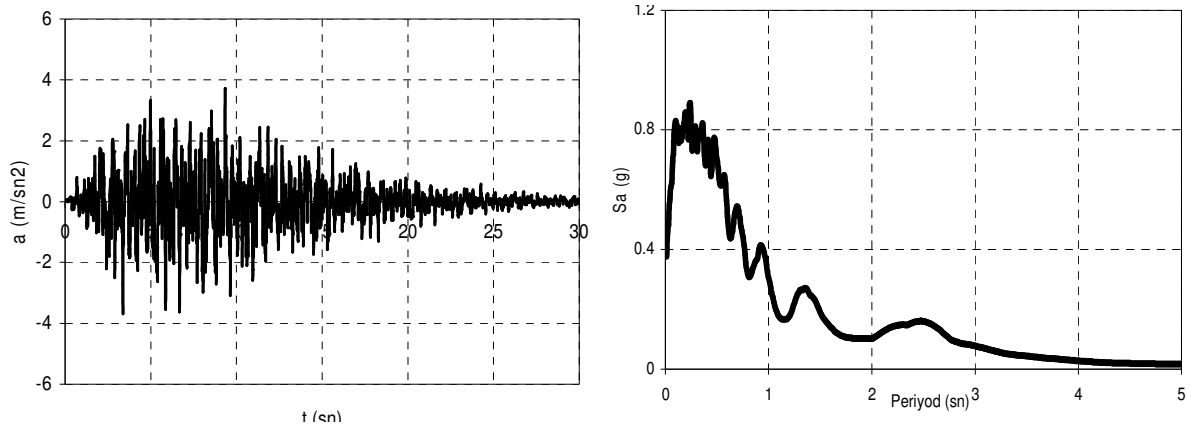
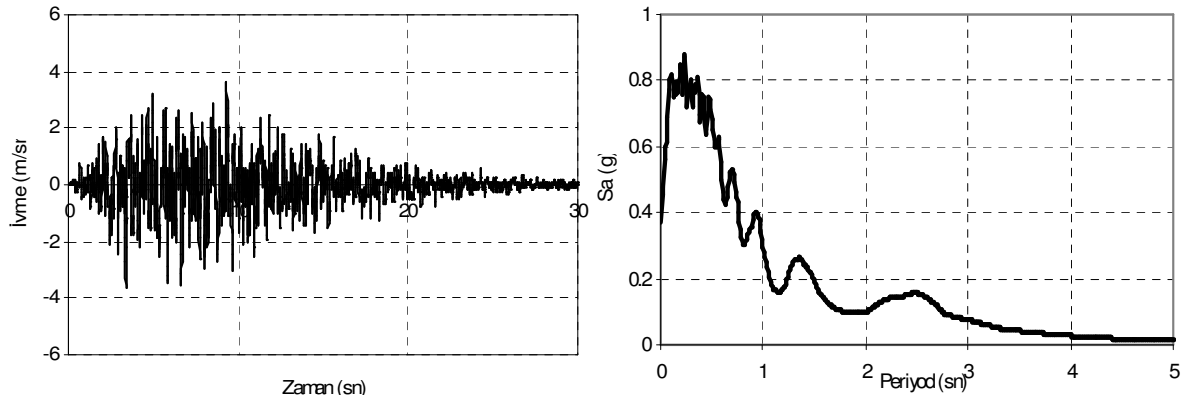
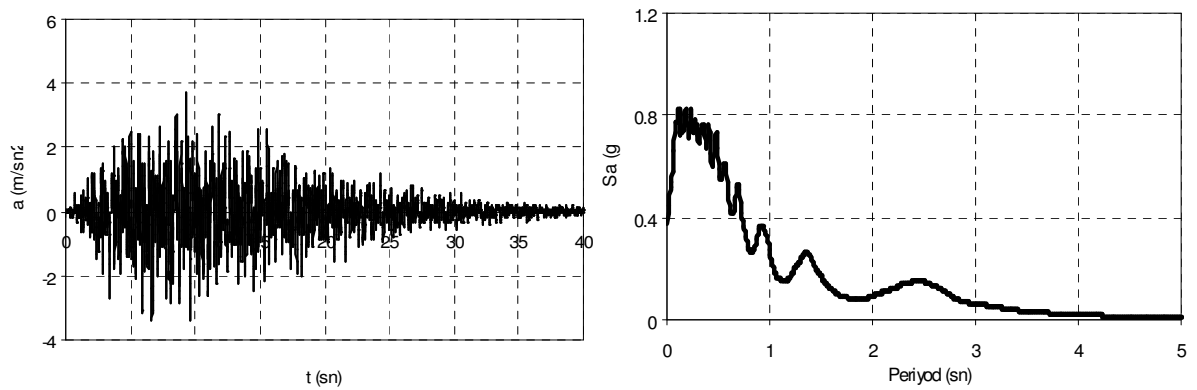
Viskoz sönüm katsayılarının belirlenmesi için yapılan analiz sonuçlarına göre belirlenen parametreler karşılaştırıldığında, birinci yöntemle belirlenen Rayleigh α katsayıları ikinci yöntemle belirlenen değerlerden daha büyüktür. Rayleigh β katsayısında ise tam tersi olarak ikinci yöntemle belirlenen değerler daha büyüktür.

5.6 Anakaya İvme Kaydı

İnceleme alanında bölgesel sismisite gözönüne alınarak olasılıksal sismik risk analizleri Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü tarafından yapılmıştır. Yapılan sismik risk analizleri sonucunda anakaya seviyesinde yer hareketi parametreleri belirlenmiştir (Şekil 1.2). Bu yer hareketi parametreleri kullanılarak anakaya seviyesi için sentetik ivme – zaman kayıtları TARSCETHS programı kullanılarak üretilmiştir. Bölüm 1’de daha önce yapılan çalışmalar kısmında bahsedildiği gibi çalışma alanı 250 m x 250 m aralıklı hücrelere bölünmüştür. Her bir hücre için ayrı bir ivme kaydı üretilmiştir. Ancak tek boyutlu analiz sonuçlarının iki boyutlu analizlerle karşılaştırmasını yapabilmek için her bir kesit üzerinde seçilen bir hücreye ait olan ivme – zaman kaydı EERA ve PLAXIS programlarında anakaya ivmesi olarak kullanılmıştır. Şekil 5.14’de 1-1’, 2-2’, 3-3’ Şekil 5.15’de 4-4’, 5-5’ ve 6-6’ kesitleri için kullanılan anakaya kaydının, ivme-zaman grafikleri ve spektrum eğrileri verilmiştir. Bu eğrilerden elde edilen maksimum ivme ve spektral ivmeler ise Çizelge 5.17’de gösterilmiştir.

1-1' Kesiti2-2' Kesiti3-3' Kesiti

Şekil 5.14 1-1', 2-2' ve 3-3' kesitlerinde anakaya ivme-zaman ve spektral ivme grafikleri.

4-4' Kesiti5-5' Kesiti6-6' Kesiti

Şekil 5.15 4-4', 5-5', ve 6-6' kesitlerinde anakaya ivme-zaman ve spektral ivme grafikleri.

Çizelge 5.17 Anakaya ivme kayıtlarında, maksimum ivme ve spektral ivme değerleri

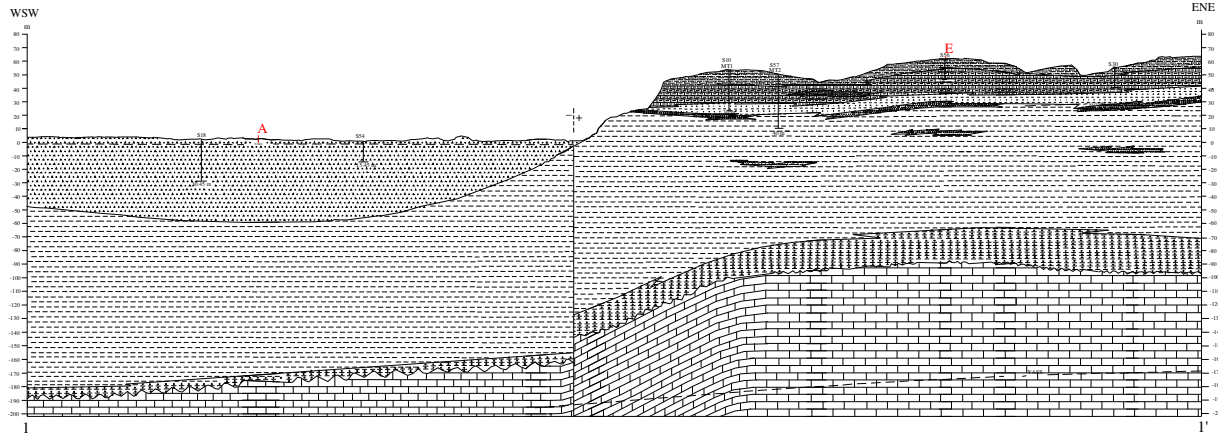
Kesit	Maksimum İvme (m/s^2)	Maksimum Spektral İvme (g)
1 – 1'	4.53	0.98
2 – 2'	4.18	0.91
3 – 3'	4.18	0.91
4 – 4'	3.70	0.89
5 – 5'	3.65	0.87
6 – 6'	3.68	0.82

Çizelge 5.17 de verilen değerlerden ana kayada etkimesi varsayılan deprem hareketinin maksimum ivme maksimum spektral ivme değerleri güneyden kuzeye doğru, Marmara Denizi kıyısından uzaklaştıkça azalmaktadır. Depremde yırtılması beklenen fayların Marmara Denizinde olduğu göz önüne alındığında bu beklenen bir durumdur.

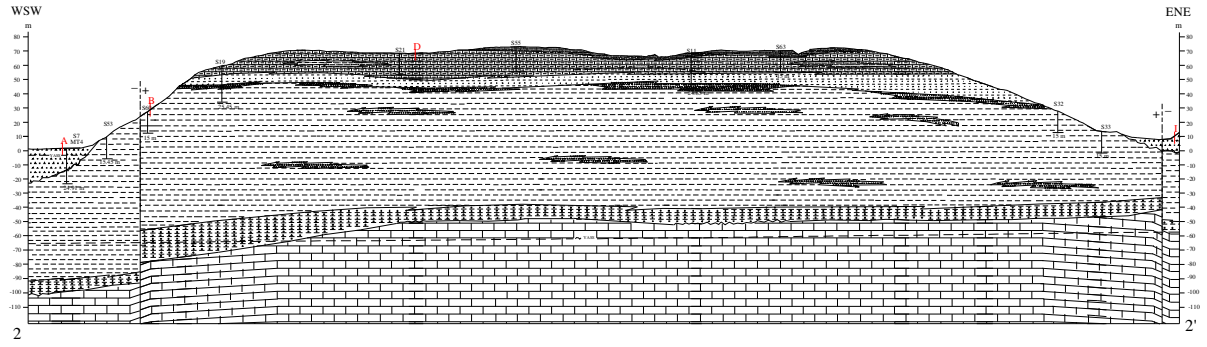
6. ANALİZLER VE SONUÇLARI

Çalışma kapsamında, İstanbul İli Küçükçekmece-Sefaköy yerleşim bölgelerinde Batı-Doğu doğrultusunda toplam 6 adet enkesit alınmış ve bu kesitler üzerinde, her bir kesit için farklı bir anakaya ivme kaydı kullanılarak, bir ve iki boyutlu dinamik davranış analizleri EERA (2000) ve PLAXIS 7.2 programı ile yapılmıştır. Plaxis’de yapılan analizlerde viskoz sönüm parametreleri Rayleigh α ve Rayleigh β katsayıları iki farklı yöntemle belirlenerek kullanılmıştır. Lusas’la yapılan modal analizlerden belirlenen viskoz sönüm parametreleri kullanılarak yapılan analizlerin sonuçları aşağıda verilen çizelge ve grafiklerde Plaxis(V.7.2) şeklinde, zeminin doğal periyodu (4H/Vs) değerinden hesaplanan viskoz sönüm parametreleri ile yapılan analizlerin sonuçları ise Plaxis(V.7.2)* şeklinde gösterilmiştir.

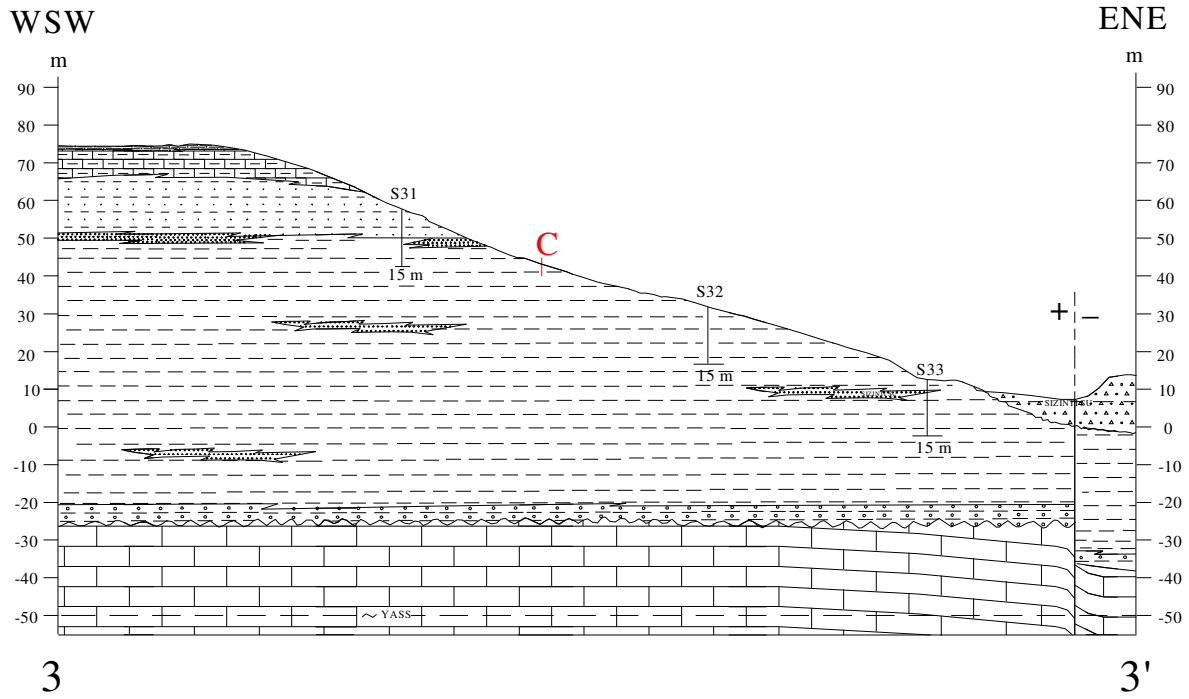
İki boyutlu analizlerde anakaya üst yüzü Şekil 6.1’de kesit tabanında gösterildiği gibi yatay olarak alınmıştır. Böylece kesitlerin taban kısmında yer alan Kırklareli kireçtaşı tabakası hesaplara dahil edilmiştir. İki boyutlu analizlerde göz önüne alınan bu durum, tek boyutlu analizlerde iki farklı şekilde değerlendirilmiştir. Birinci değerlendirmede, deprem hareketi anakaya seviyesi kabul edilen kesit tabanında etkililirken bu seviyenin altında ve üstünde $V_s=700$ m/s kabul edilirmiş, diğerinde kayma dalgası hızı 1500 m/s olarak alınmış ve sonuçları ise EERA(1500) olarak sunulmuştur. EERA programı büyütmeleri kendisi hesaplayıp vermektedir. Plaxis’le yapılan analiz sonucunda büyütme değerleri program tarafından verilmemektedir. Bu nedenle bu analizlerin sonucunda zemin yüzünde belirlenen ivme – zaman davranışı ve anakaya seviyesinde girilen kayıtların Fourier Genlik Spektrumları (FAS) belirlenerek, zemin yüzünde belirlenen FAS değerleri anakayada belirlenen FAS değerlerine oranlanarak zemin büyütmeleri belirlenmiştir. Plaxis’le yapılan analizlerin sonuçları değerlendirilirken programın sınırlamalarından kaynaklanan sorunlarla karşılaşmıştır. Zemin yüzünde elde edilen ivmelerin zaman aralığı ile anakaya seviyesinde girilen kaydın zaman aralığı birbiriyle uyuşmamaktadır. Dolayısıyla anakaya kaydının zaman aralığı, zemin yüzünde belirlenen kayıt ile eşitlenerek FAS’lar bulunmuştur. FAS’ların bulunmasında ve ivmelerin zaman aralıklarının düzenlenmesinde SeismoSignal 3.1 programı kullanılmıştır. İnceleme alanının topoğrafik özellikleri dikkate alınarak enkesitler üzerinde hesap yapılan noktalar arasından seçilen 15 noktada, dinamik analizlerde, zemin yüzünde belirlenen spektral ivme, ivme-zaman ve büyütme davranışlar karşılaştırılmıştır. Şekil 6.1’de seçilen bu noktaların kesitler üzerinde yerleri gösterilmiş, Şekil 6.2’de ise bu 15 noktanın inceleme alanı üzerindeki konumları verilmiştir. Detaylı olarak irdelenen bu 15 nokta dışında kalan diğer noktalardaki spektral ivme ve ivme-zaman grafikleri ise EKLER’de verilmiştir.



(a)

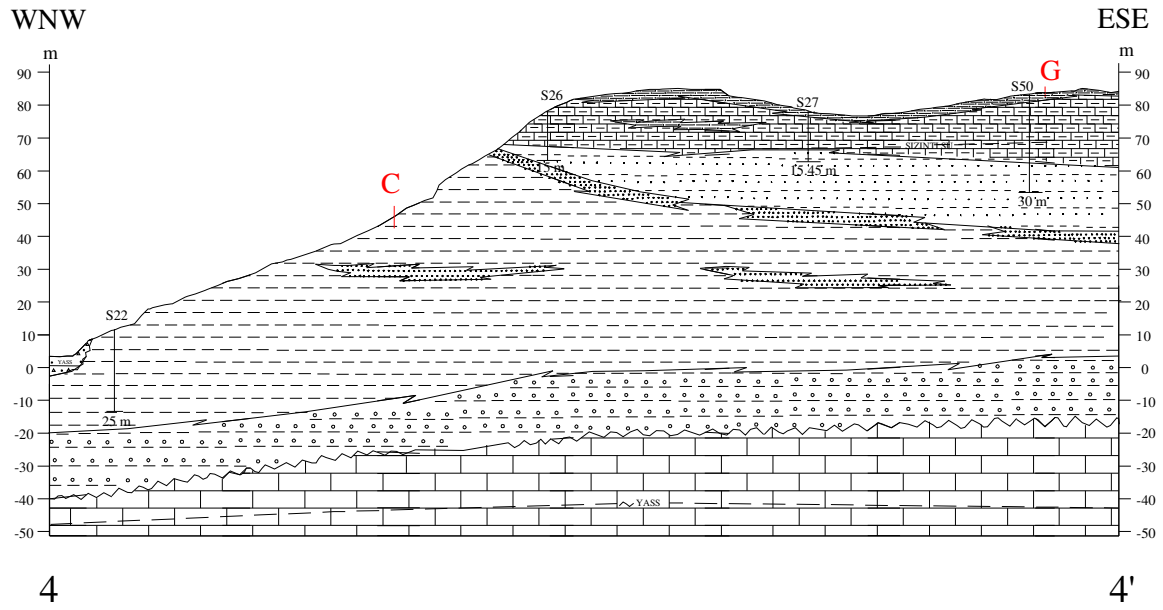


(b)

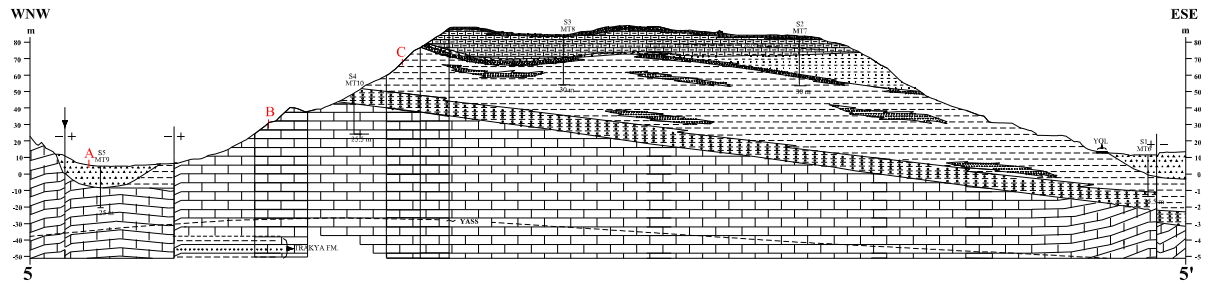


(c)

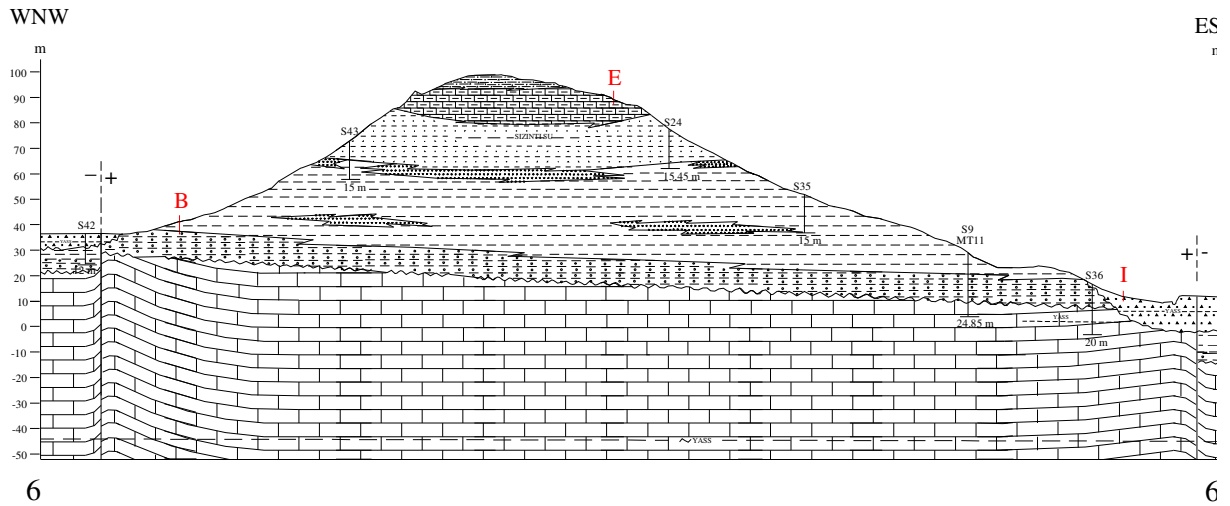
Şekil 6.1 Analiz sonuçlarının özetlendiği noktaların noktaların en kesitler üzerindeki konumları, (a) 1-1' kesiti, (b) 2-2' kesiti, (c) 3-3' kesiti.



(a)

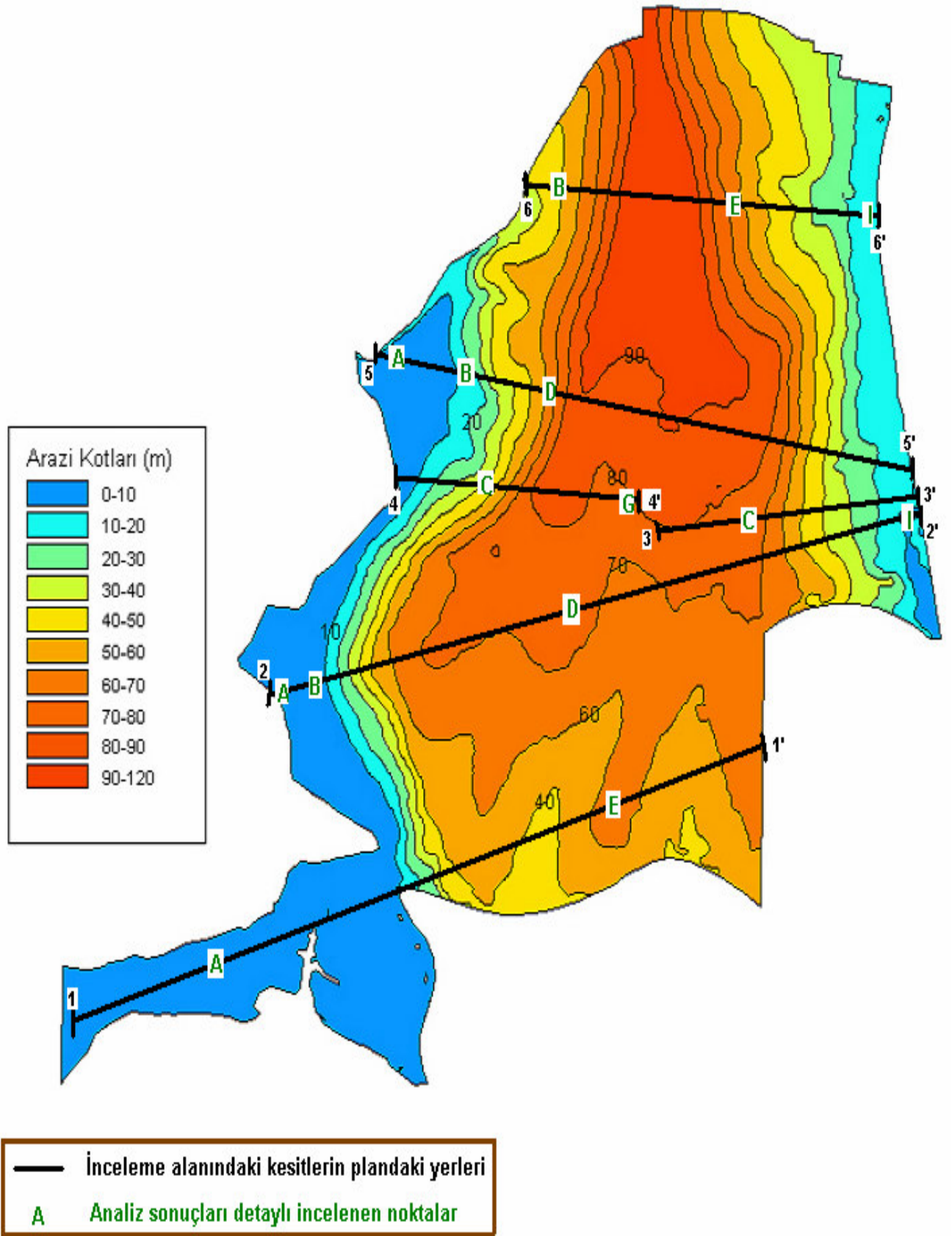


(b)



(c)

Şekil 6.2 Analiz sonuçlarının özetlendiği noktaların enkesitler üzerindeki yerleri (a) 4-4' kesiti, (b) 5-5' kesiti, (c) 6-6' kesiti.



Şekil 6.3 Analiz sonuçlarının özetlendiği noktaların inceleme alanındaki konumları.

Çizelge 6.1’de, analiz sonuçlarının karşılaştırıldığı noktaların morfolojik konumları ve yüzey formasyonu tanımlanmıştır.

Çizelge 6.1 Analiz sonuçlarının karşılaştırıldığı noktaların yerleri

Kesit-Nokta	Formasyon	Konumu	Açıklama
1 – 1’(A)	Alüvyon	Kıyı düzlüğü	Göl kenarı
2 – 2’(A)	Alüvyon	Kıyı düzlüğü	Göl kenarı
5 – 5’(A)	Alüvyon	Kıyı düzlüğü	Göl kenarı
2 – 2’(I)	Alüvyon	Kıyı düzlüğü	Ayamama deresi kenarı
6 - 6’(I)	Alüvyon	Kıyı düzlüğü	Ayamama deresi kenarı
1 – 1’(E)	Bakırköy	Tepe üstü (düzlük)	-
2 – 2’(D)	Bakırköy	Tepe üstü (düzlük)	-
4 – 4’(G)	Bakırköy	Tepe üstü (düzlük)	-
6 – 6’(E)	Bakırköy	Tepe üstü (hafif yamaç)	-
2 – 2’(B)	Gürpınar	Yamaç	Göl tarafı
5 – 5’(C)	Gürpınar	Yamaç	Göl tarafı
6 - 6’(B)	Gürpınar	Yamaç başı	Göl tarafı
4 - 4’ (C)	Gürpınar	Yamaç	Göl tarafı
3 - 3 (C)	Gürpınar	Yamaç	Ayamama deresi tarafı
5 - 5’(B)	Kırlareli	Yamaç	-

6.1 Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması

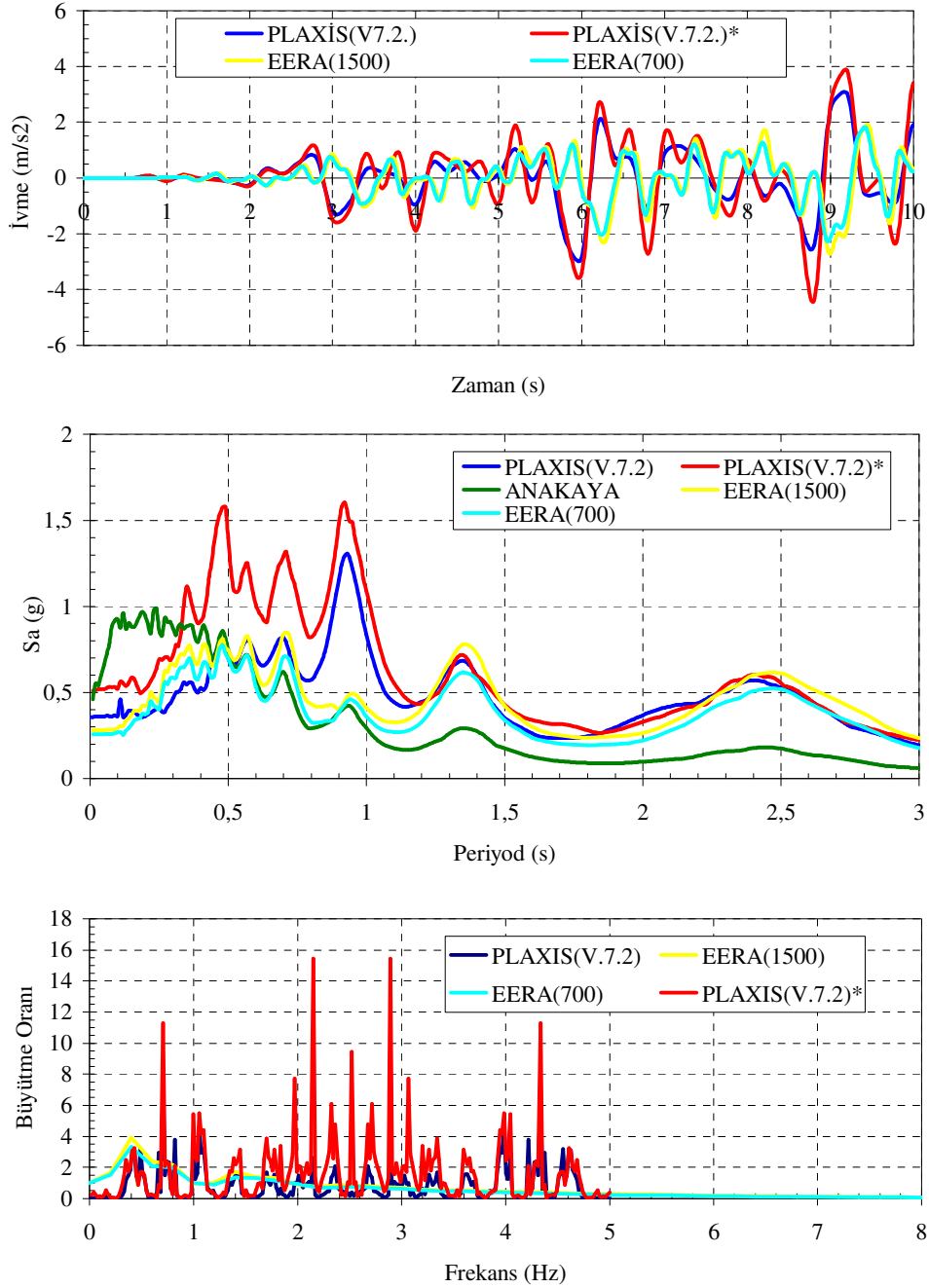
Bir ve iki boyutlu analizlerden zemin yüzünde belirlenen ivme-zaman, spektral ivme ve zemin büyütmesi değerleri seçilen 15 noktada karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmalar Çizelge 6.1’de belirtilen formasyon ve konumlar dikkate alınarak yapılmıştır.

6.1.1 Alüvyonda Yeralan Noktalar

Alüvyon inceleme alanının batısında Küçükçekmece Gölü kenarında, Marmara Denizi ile Küçükçekmece Gölü arasındaki bölgede ve inceleme alanının doğusunda Ayamama Deresi kenarlarındaki düzlüklerde yer almaktadır.

1-1' Kesit A noktası

1-1' Kesiti üzerinde Marmara Denizi ve Küçükçekmece Gölü arasında bulunan alüvyal düzlükte yer alan A noktasında belirlenen analiz sonuçları Şekil 6.4'de gösterilmiştir.



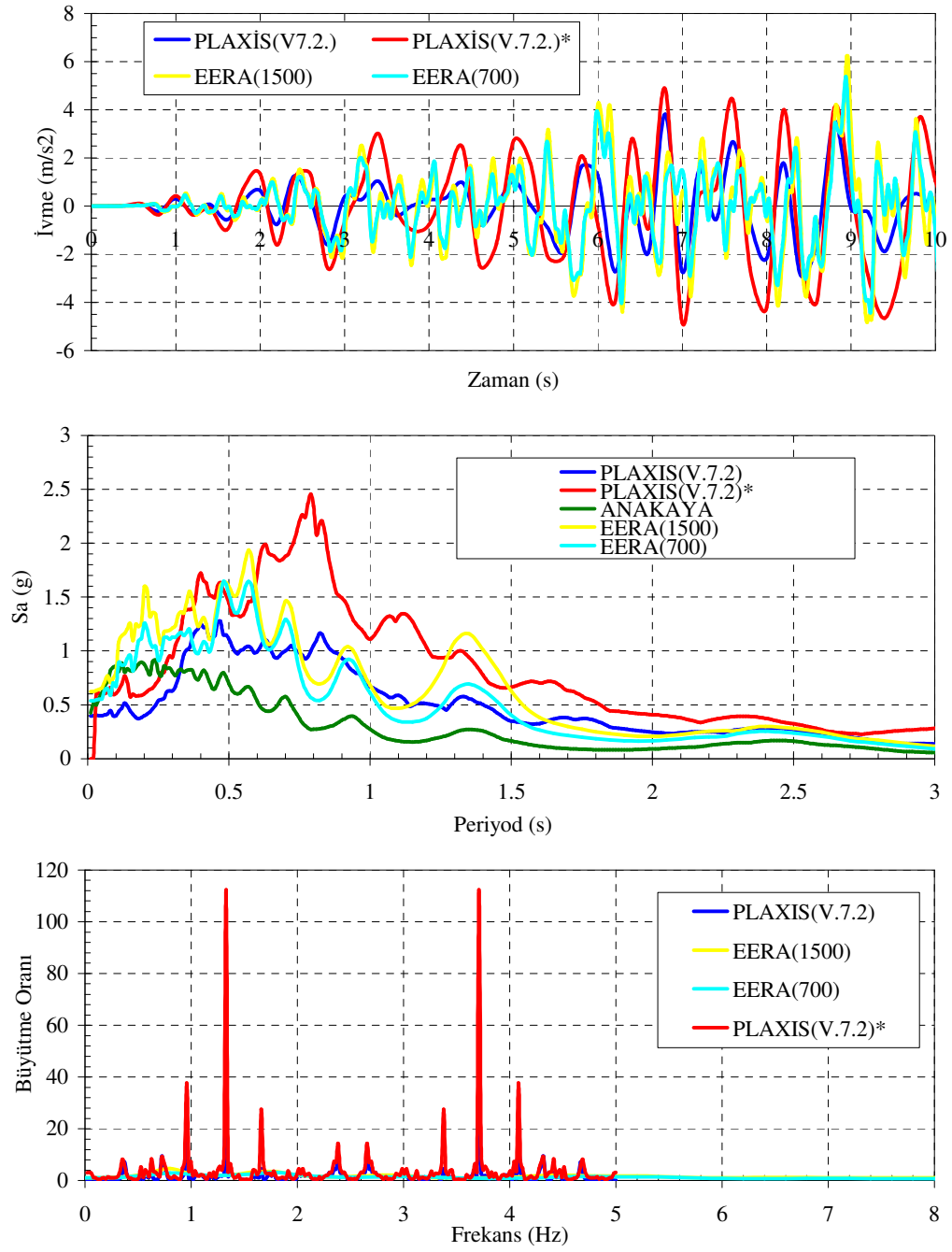
Şekil 6.4 1-1' Kesiti A noktasında belirlenen analiz sonuçları.

A noktasında zemin yüzünde belirlenen ivme-zaman davranışları karşılaştırıldığında EERA'dan belirlenenler birbiriyle uyumlu, Plaxis'den belirlenenler birbiriyle uyumlu, ancak

bir ve iki boyutlu analiz sonuçları karşılaştırıldığında birbiriyle benzer değildir. Bir boyutlu analiz sonucuna göre anakayanın daha rijit alındığı analiz sonucunda belirlenen spektral ivme değerleri EERA(1500), EERA(700) 'den daha büyüktür ancak davranışları benzerdir. İki boyutlu analiz sonucunda belirlenen spektral ivme değerlerinin piklerine karşılık gelen periyod değerleri birbirine çok yakın ancak pikden önceki davranış birbirinden oldukça farklıdır. Hem ivme-zaman hem de spektral ivmelere bakıldığında Plaxis V.7.2*'dan belirlenenler, Plaxis V7.2' den belirlenenlerden daha büyüktür. Bu analizlerde viskoz sönüm katsayıları birbirinden oldukça farklıdır. Bu kesit için hesaplanan hakim periyod 2 s (Çizelge 5.8) olmasına rağmen pik spektral ivmeler 1 s civarında meydana gelmiştir. Zemin büyütme oranları de benzer şekilde, büyütme oranları kendi içlerinde benzer ancak birbirleriyle karşılaştırıldığında uyumlu değildir. EERA'dan belirlenen büyütme oranları 4 iken Plaxis'den belirlenenler oldukça büyüktür.

2-2' Kesiti A noktası

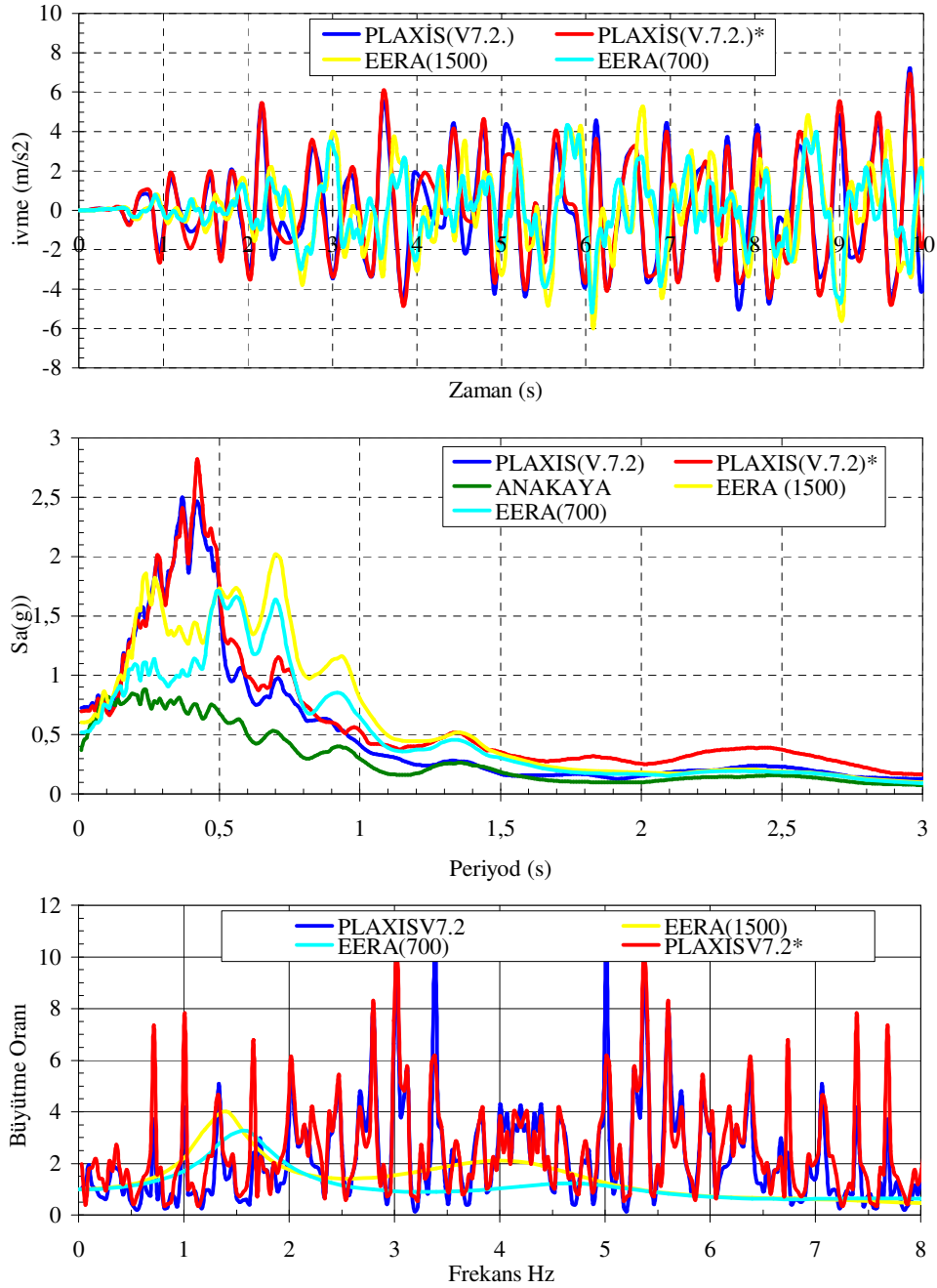
2-2' Kesiti üzerinde Küçükçekmece Gölü kıyısında yamaç düzlüğünde yer alan A noktasında belirlenen analiz sonuçları Şekil 6.5'de gösterilmiştir. A noktasında zemin yüzünde belirlenen ivme-zaman davranışları karşılaştırıldığında EERA'dan belirlenenler birbiriyle uyumlu, Plaxis'den belirlenenler birbirinden farklı, bir ve iki boyutlu analiz sonuçları karşılaştırıldığında ise ivme –zaman davranışları birbirinden oldukça farklıdır. Bir boyutlu analiz sonucuna göre anakayanın daha rijit alındığı analiz sonucunda belirlenen spektral ivme değerleri EERA(1500), EERA(700) 'den daha büyüktür ancak davranışları benzerdir. İki boyutlu analiz sonucunda belirlenen spektral ivmelerin biçimleri ve pik değerlerin karşılık geldiği periyod değerleri birbirinden oldukça farklıdır. Zemin büyütme oranlarında ise analiz sonuçları kendi içlerinde benzer ancak birbirleriyle karşılaştırıldığında uyumlu değildir. EERA'dan belirlenen büyütme oranları 4 iken Plaxis'den belirlenenler oldukça büyüktür. A noktası yamaç düzlüğünde yer almasına rağmen bir ve iki boyutlu analiz sonuçlarına göre belirlenen spektral ivme davranış eğrileri ve ivme-zaman grafikleri birbirlerinden oldukça farklıdır.



Şekil 6.5 2-2' Kesiti A noktasında belirlenen analiz sonuçları.

5-5' Kesiti A noktası

5-5' Kesiti üzerinde Küçükçekmece Gölü'nin kuzey doğusunda Kırklareli kireçtaşı üzerinde çanak şeklinde yerleşmiş yaklaşık 15 m kalınlığında bir alüvyon tabakası üzerinde yeralan A noktasında belirlenen analiz sonuçları Şekil 6.6'da gösterilmiştir.



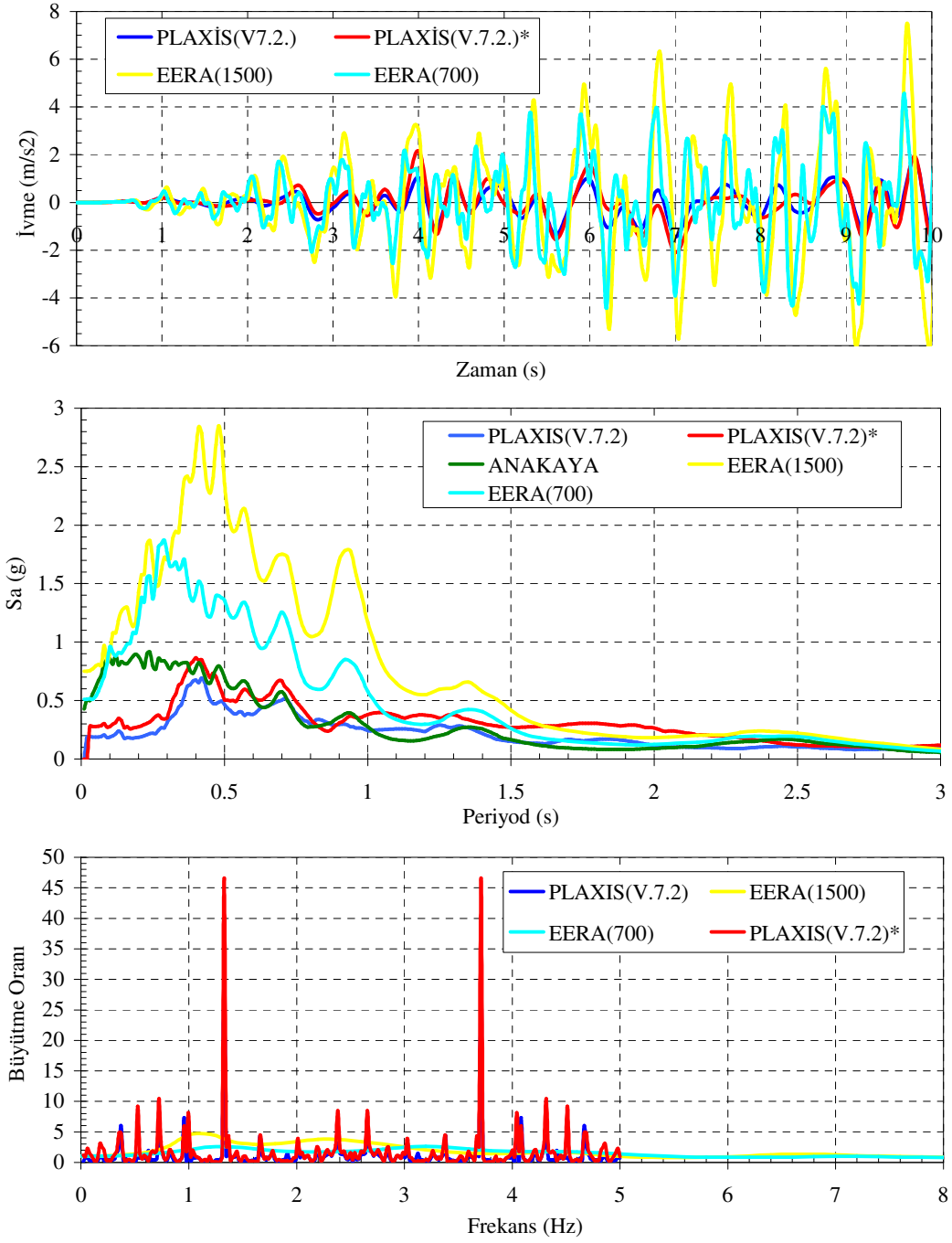
Şekil 6.6 5-5' Kesiti A noktasında belirlenen analiz sonuçları.

A noktasında zemin yüzünde belirlenen ivme-zaman davranışları karşılaştırıldığında EERA'dan belirlenenler birbiriyle uyumlu, Plaxis'den belirlenenler birbiriyle uyumlu, ancak

bir ve iki boyutlu analiz sonuçları karşılaştırıldığında birbiriyle benzer değildir. Bir boyutlu analizlerde, anakayanın daha rijit alındığı analiz sonucunda belirlenen spektral ivme değerleri EERA(1500), EERA(700) 'den daha büyüktür ve 0.5 s lik periyod değerine kadar olan davranışlar birbirinden oldukça farklı bu periyod değerinden sonra uyumludur. İki boyutlu analiz sonucunda belirlenen spektral ivme değerleri birbiriyle oldukça uyumludur. Spektral ivmelerin pik değerleri aynı periyod değerinde meydana gelmiş ve maksimumları biraz farklıdır. Hem ivme-zaman hem de spektral ivmelere bakıldığında Plaxis V.7.2*'dan belirlenenler, Plaxis V7.2' den belirlenenlerle oldukça uyumludur. Bu kesit için hesaplanan ortalama hakim periyod 1 s (Çizelge 5.8) olmasına rağmen pik spektral ivmeler 0.5 s civarında meydana gelmiştir. Zemin büyütmelerinde büyütme oranları da kendi içlerinde benzer ancak birbirleriyle karşılaştırıldığında uyumlu değildir. EERA'dan belirlenen büyütme 4 iken Plaxis'den belirlenenler oldukça büyüktür.

2-2' Kesiti I noktası

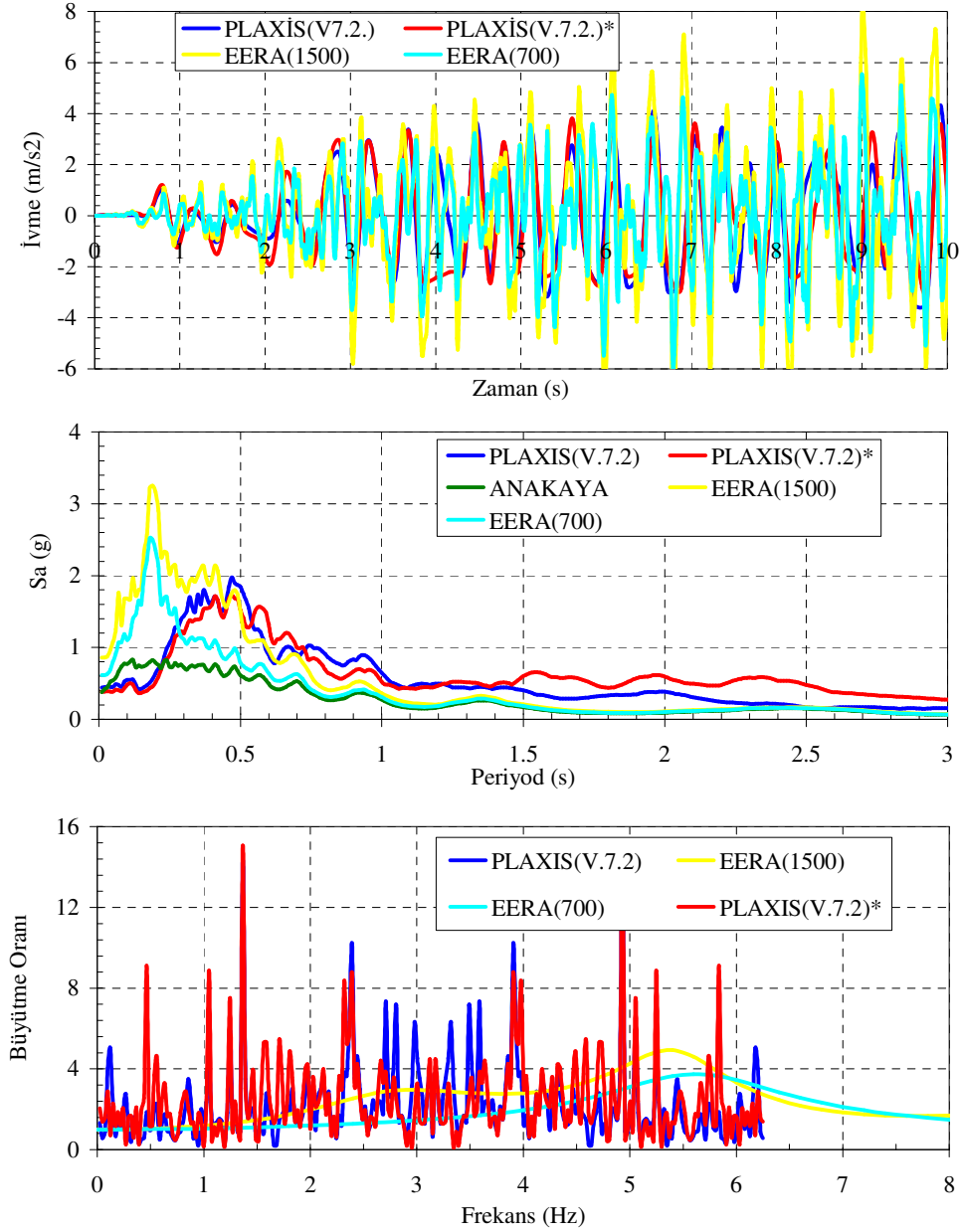
2-2' Kesiti üzerinde Ayamama Deresi kenarındaki düzlükte yaklaşık kalınlığı 10 m olan alüvyon üzerinde yeralan I noktasında belirlenen analiz sonuçları Şekil 6.7'da gösterilmiştir. I noktasında zemin yüzünde belirlenen ivme-zaman davranışları karşılaştırıldığında EERA'dan belirlenenler birbiriyle davranış olarak uyumlu, ancak büyüklük olarak farklıdır. Plaxis'den belirlenenler birbiriyle uyumlu, ancak bir ve iki boyutlu analiz sonuçları karşılaştırıldığında birbiriyle benzer değildir. Bir boyutlu analiz sonucuna göre anakayanın daha rijit alındığı analiz sonucunda belirlenen ivme-zaman ve spektral ivme değerleri EERA(1500), EERA(700) 'den daha büyüktür ve spektral ivmelerin pik değerleri birbirinden oldukça farklıdır. İki boyutlu analiz sonucunda belirlenen spektral ivme değerleri birbiriyle oldukça uyumludur. Spektral ivmelerin pik değerleri aynı periyod değerinde meydana gelmiş ve maksimumları biraz farklıdır. Hem ivme-zaman hem de spektral ivmelere bakıldığında Plaxis V.7.2*'dan belirlenenler, Plaxis V.7.2' den belirlenenlerle oldukça uyumludur. Bir boyutlu analizlerden elde edilen spektral ivmeler ve ivme-zaman grafikleri iki boyutludan büyüktür. Bu kesit için hesaplanan ortalama hakim periyod 1.64 s (Çizelge 5.8) olmasına rağmen pik spektral ivmeler 0.3-0.5 s civarında meydana gelmiştir. Zemin büyütmelerinde kendi içlerinde benzer ancak birbirleriyle karşılaştırıldığında uyumlu değildir. EERA'dan belirlenen büyütme 5 iken Plaxis'den belirlenenler oldukça büyüktür.



Şekil 6.7 2-2' Kesiti I noktasında belirlenen analiz sonuçları.

6-6' Kesiti I noktası

6-6' Kesiti üzerinde Ayamama Deresi kenarındaki düzlükte yaklaşık kalınlığı 10 m olan alüvyon üzerinde yeralan I noktasında belirlenen analiz sonuçları Şekil 6.8'de gösterilmiştir.



Şekil 6.8 6-6' Kesiti I noktasında belirlenen analiz sonuçları.

I noktasında zemin yüzünde belirlenen ivme-zaman davranışları karşılaştırıldığında EERA'dan belirlenenler birbiriyle davranış olarak uyumlu, ancak büyüklük olarak farklıdır. Plaxis'den belirlenenler birbiriyle uyumludur. Bir ve iki boyutlu analiz sonuçları karşılaştırıldığında ivme-zaman davranışları ve spektral ivme davranışları birbiriyle benzer

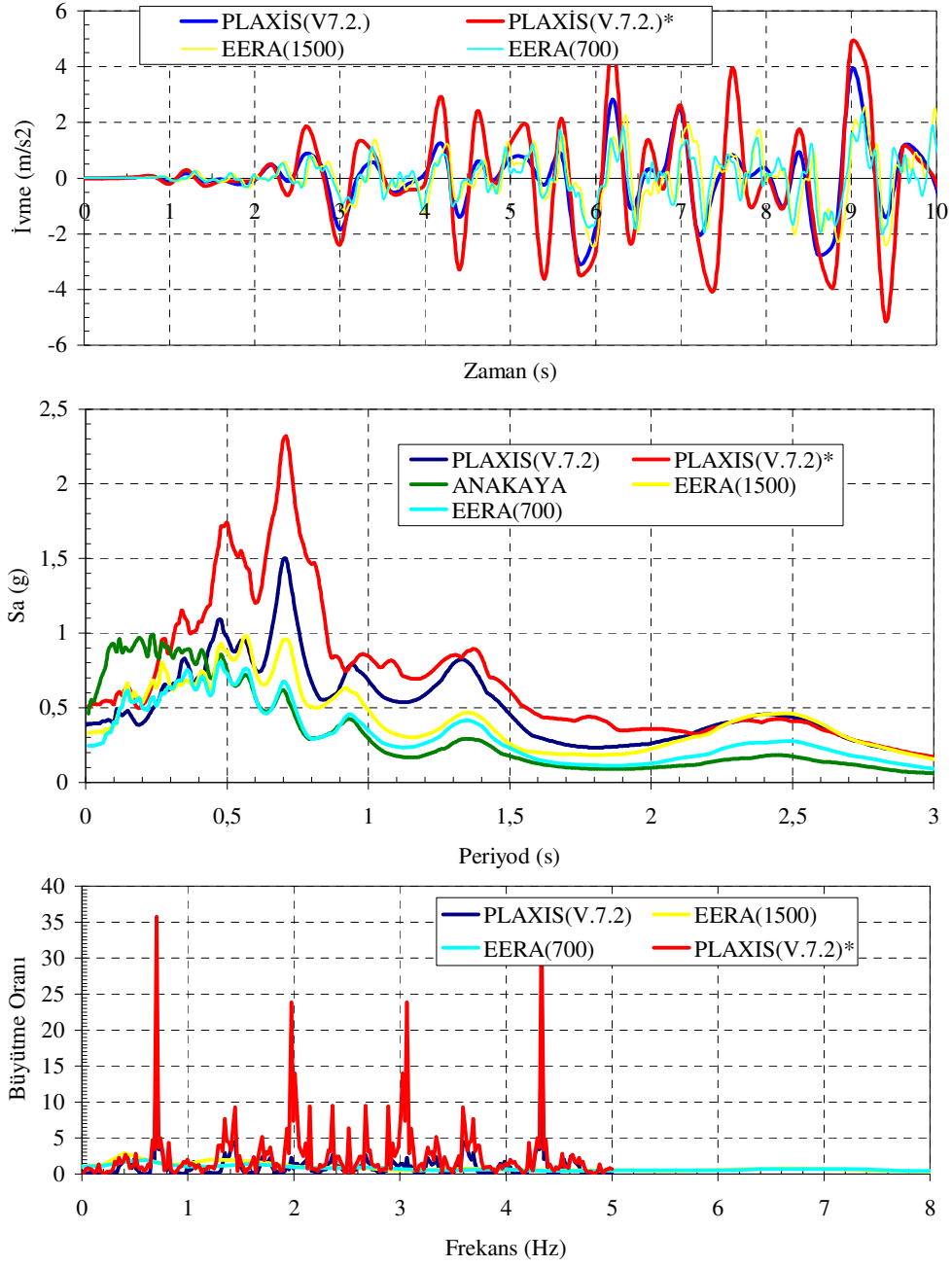
değildir. Bir boyutlu analiz sonucuna göre anakayanın daha rijit alındığı analiz sonucunda belirlenen ivme-zaman ve spektral ivme değerleri EERA(1500), EERA(700) 'den daha büyüktür, spektral ivmelerin pik değerleri aynı periyod değerinde meydana gelmiş fakat pik değerden sonraki davranış birbirinden oldukça farklıdır. İki boyutlu analiz sonucunda belirlenen spektral ivme değerleri birbiriyle oldukça uyumludur. Spektral ivmelerin pik değerleri aynı periyod değerinde meydana gelmiş ve maksimumları biraz farklıdır. Hem ivme-zaman hem de spektral ivmelere bakıldığında Plaxis V.7.2*'dan belirlenenler, Plaxis V.7.2' den belirlenenlerle oldukça uyumludur. Bu kesit için hesaplanan ortalama hakim periyod 0.72 s (Çizelge 5.8) olmasına rağmen pik spektral ivmeler EERA analizlerinde 0.23 s civarında, Plaxis analizlerinde ise 0.5 s civarında meydana gelmiştir. Zemin büyütmeleride kendi içlerinde benzer ancak birbirleriyle karşılaştırıldığında uyumlu değildir. EERA'dan belirlenen büyütmeler 5 iken Plaxis'den belirlenenler oldukça büyüktür.

6.1.2 Bakırköy Formasyonu'nda Yeralan Noktalar

Bakırköy Formasyonu inceleme alanının güneyinden kuzeyine doğru orta kesiminde geniş bir alanda tepe düzlüklerinde yer almaktadır.

1-1' Kesiti E noktası

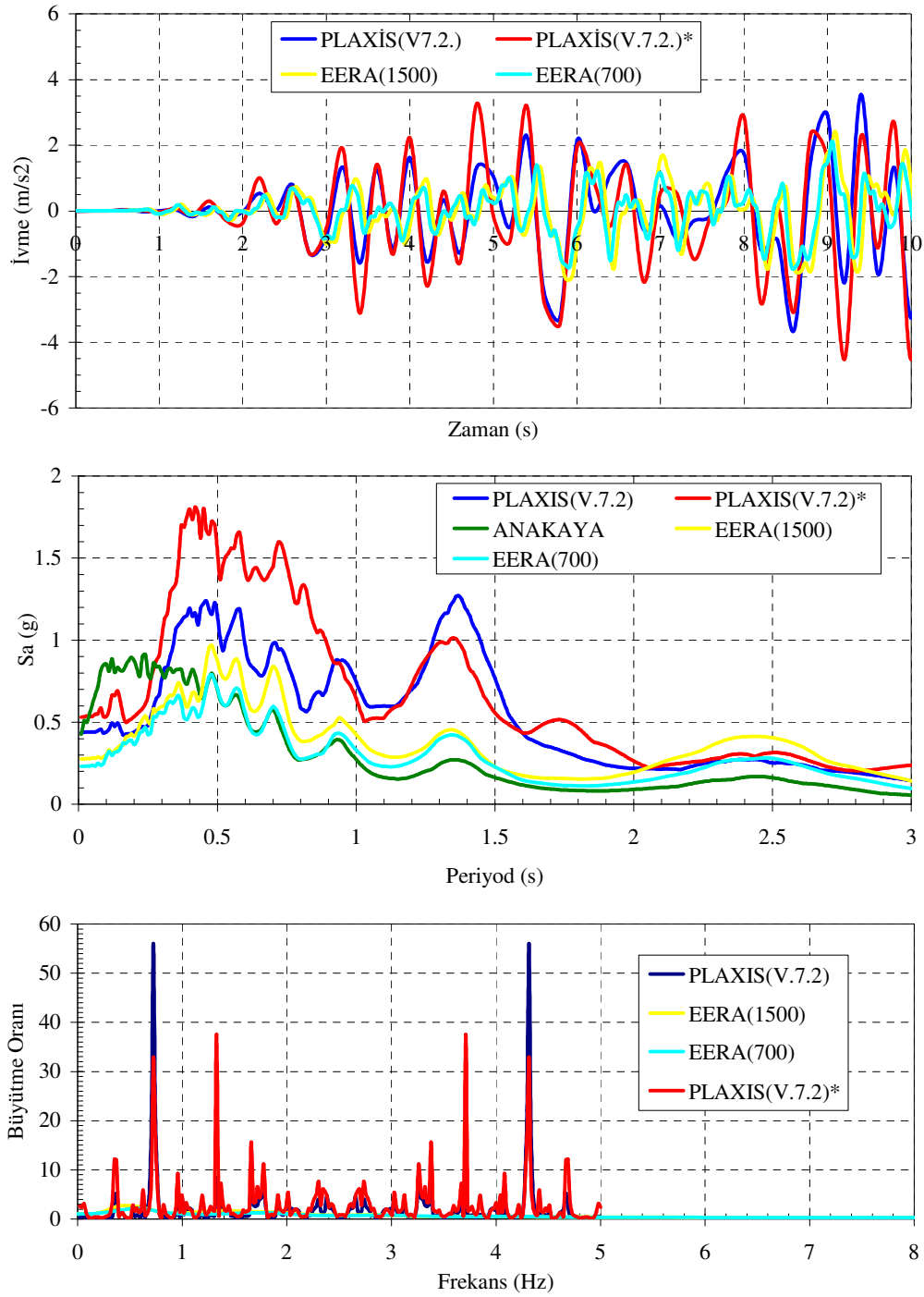
1-1' Kesiti üzerinde, inceleme alanının güneyinde tepe üstündeki düzlükte Bakırköy Formasyonu'nda yeralan E noktasında belirlenen analiz sonuçları Şekil 6.9'de gösterilmiştir. E noktasında zemin yüzünde belirlenen ivme-zaman davranışları karşılaştırıldığında EERA'dan belirlenenler birbiriyle uyumlu, Plaxis'den belirlenenler ise davranış olarak uyumlu, ancak büyüklük olarak oldukça farklıdır. Bir boyutlu analiz sonucuna göre anakayanın daha rijit alındığı analiz sonucunda belirlenen ivme-zaman ve spektral ivme değerleri EERA(1500), EERA(700) 'den daha büyüktür, spektral ivmelerin pik değerleri aynı periyod değerinde meydana gelmiştir. İki boyutlu analiz sonucunda belirlenen spektral ivme davranışları birbiriyle uyumlu fakat büyüklükleri oldukça farklıdır. Spektral ivmelerin pik değerleri de aynı periyod değerinde meydana gelmiş ancak maksimumları oldukça farklıdır. Hem ivme-zaman hem de spektral ivmelere bakıldığında Plaxis V.7.2*'dan belirlenenler, Plaxis V.7.2' den belirlenenlerle eğilim olarak aynı fakat maksimumları oldukça farklıdır. Bu kesit için hesaplanan ortalama hakim periyod 2 s (Çizelge 5.8) olmasına rağmen pik spektral ivmeler EERA analizlerinde 0.5 s civarında, Plaxis analizlerinde ise 0.7 s civarında meydana gelmiştir. Zemin büyütmeleri de kendi içlerinde benzer ancak birbirleriyle karşılaştırıldığında uyumsuzdur.



Şekil 6.9 1-1' Kesiti E noktasında belirlenen analiz sonuçları.

2-2' Kesiti D noktası

2-2' Kesiti üzerinde inceleme alanının ortasında tepe üstündeki düzlükte, Bakırköy Formasyonu'nda yer alan D noktasında belirlenen analiz sonuçları Şekil 6.10'da gösterilmiştir.



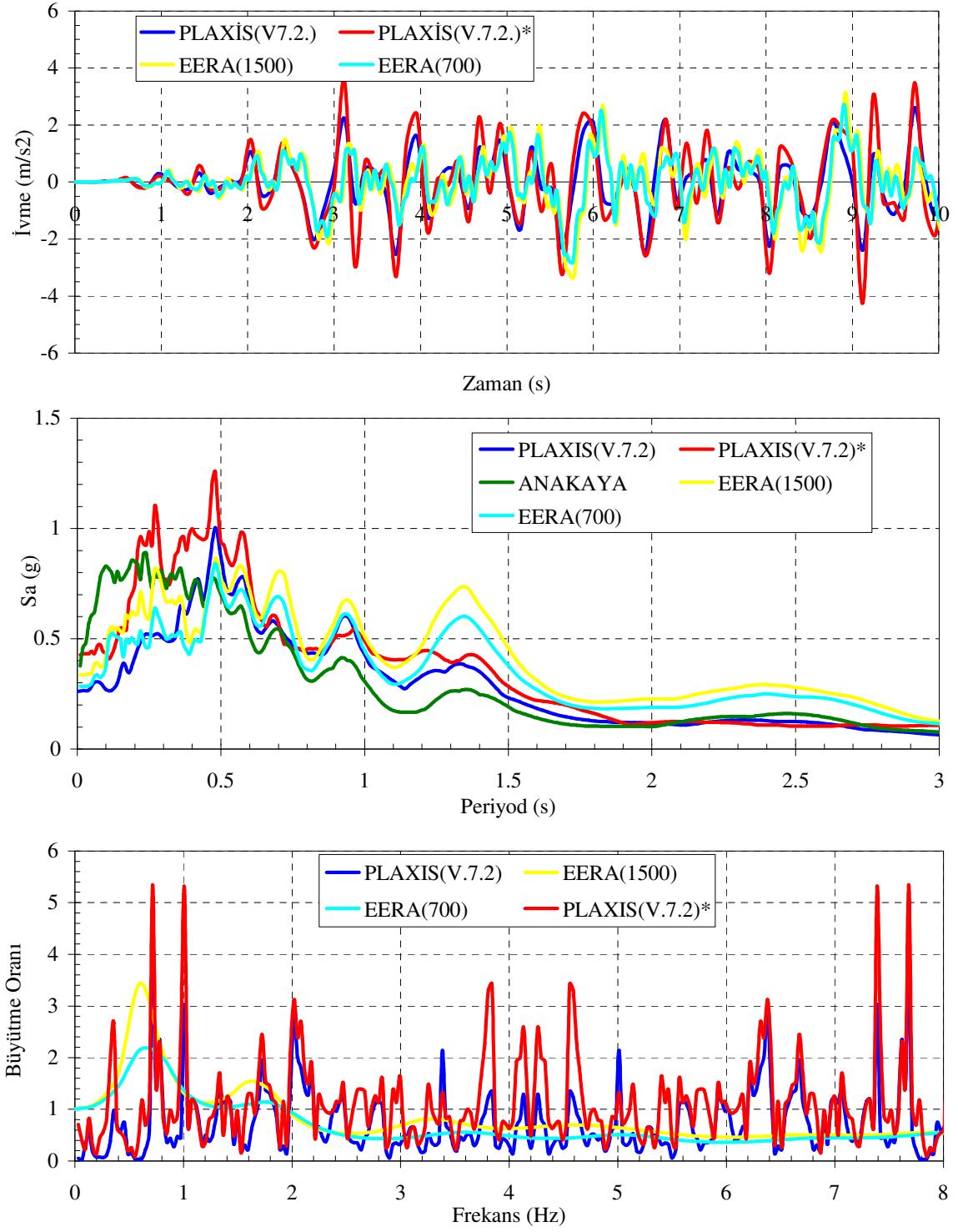
Şekil 6.10 2-2' Kesiti D noktasında belirlenen analiz sonuçları.

Zemin yüzünde belirlenen ivme-zaman davranışları karşılaştırıldığında EERA'dan belirlenenler birbiriyle uyumlu, Plaxis'den belirlenenler de ise davranış uyumlu ancak büyüklükler farklıdır. Bir boyutlu analiz sonucuna göre anakayanın daha rijit alındığı analiz sonucunda belirlenen ivme-zaman ve spektral ivme değerleri EERA(1500), EERA(700) 'den daha büyüktür, spektral ivmelerin pik değerleri aynı periyod değerinde meydana gelmiştir. İki

boyutlu analiz sonucunda belirlenen spektral ivme davranışları birbiriyle uyumludur ve spektral ivmelerin pik değerleri aynı periyod değerinde meydana gelmiş ancak maksimumları oldukça farklıdır. Hem ivme-zaman hem de spektral ivmelere bakıldığında Plaxis V.7.2*'dan belirlenenler, Plaxis V.7.2' den belirlenenler ile eğilim olarak aynı fakat maksimumları oldukça farklıdır. Bu kesit için hesaplanan ortalama hakim periyod 1.64 s (Çizelge 5.8) olmasına rağmen analizlerde pik spektral ivmeler 0.4 s civarında meydana gelmiştir. Bir ve iki boyutlu analiz sonuçları karşılaştırıldığında ivme –zaman davranışları ve spektral ivme davranışları birbirinden oldukça farklıdır. Zemin büyütmelemleri de kendi içlerinde benzer ancak birbirleriyle karşılaştırıldığında uyumsuzdur.

4-4' Kesiti G noktası

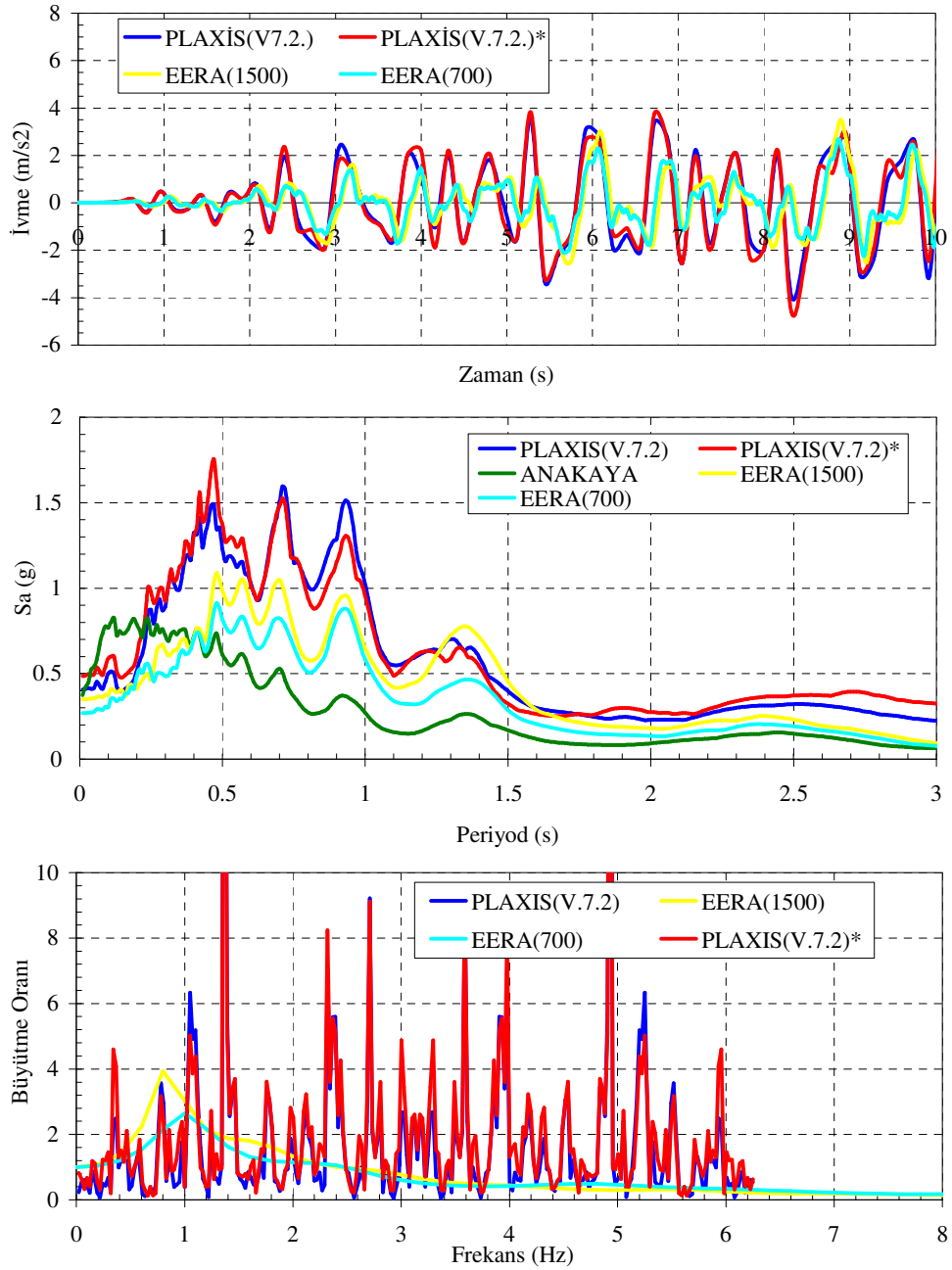
4-4' Kesiti üzerinde inceleme alanının ortasında, tepe üstündeki düzlükte Bakırköy Formasyonu'nda yeralan G noktasında belirlenen analiz sonuçları Şekil 6.11'de gösterilmiştir. Zemin yüzünde belirlenen ivme-zaman davranışları karşılaştırıldığında EERA'dan belirlenenler ve Plaxis'den belirlenenler kendi içlerinde birbirleriyle uyumludur. Bir boyutlu analiz sonucuna göre anakayanın daha rijit alındığı analiz sonucunda belirlenen ivme-zaman ve spektral ivme değerleri EERA(1500), EERA(700) 'den daha büyüktür, bütün spektral ivmelerin pik değerleri aynı periyod değerinde meydana gelmiştir. İki boyutlu analiz sonucunda belirlenen spektral ivmelere bakıldığında pik değere kadar davranış farklı, pikten sonra benzerdir. Bu analizlerde viskoz sönüm katsayıları birbirinden oldukça farklıdır. Sönümün hesaplanmasında rijitlik matrisi ile çarpılan Rayleigh β katsayıları arasında Lusas'la yapılan modal analizlerden belirlenen değer yaklaşık 6 kat büyüktür. Bu kesit için hesaplanan ortalama hakim periyod 0.87 s'dir (Çizelge 5.8), analizlerde pik spektral ivmeler 0.5 s civarında meydana gelmiştir. Zemin büyütmelemleride kendi içlerinde benzer ancak birbirleriyle karşılaştırıldığında uyumsuzdur.



Şekil 6.11 4-4' Kesiti G noktasında belirlenen analiz sonuçları.

6-6' Kesiti E noktası

6-6' Kesiti üzerinde Ayamama Deresine bakan yamacın tepe üstüne yakın kesiminde Bakırköy Formasyonu'nda yeralan E noktasında belirlenen analiz sonuçları Şekil 6.12'de gösterilmiştir.



Şekil 6.12 6-6' Kesiti E noktasında belirlenen analiz sonuçları.

E noktasında bir ve iki boyutlu analiz sonuçları değerlendirildiğinde zemin yüzünde belirlenen ivme-zaman ve spektral ivme davranışları kendi içlerinde birbiriyle uyumlu ancak

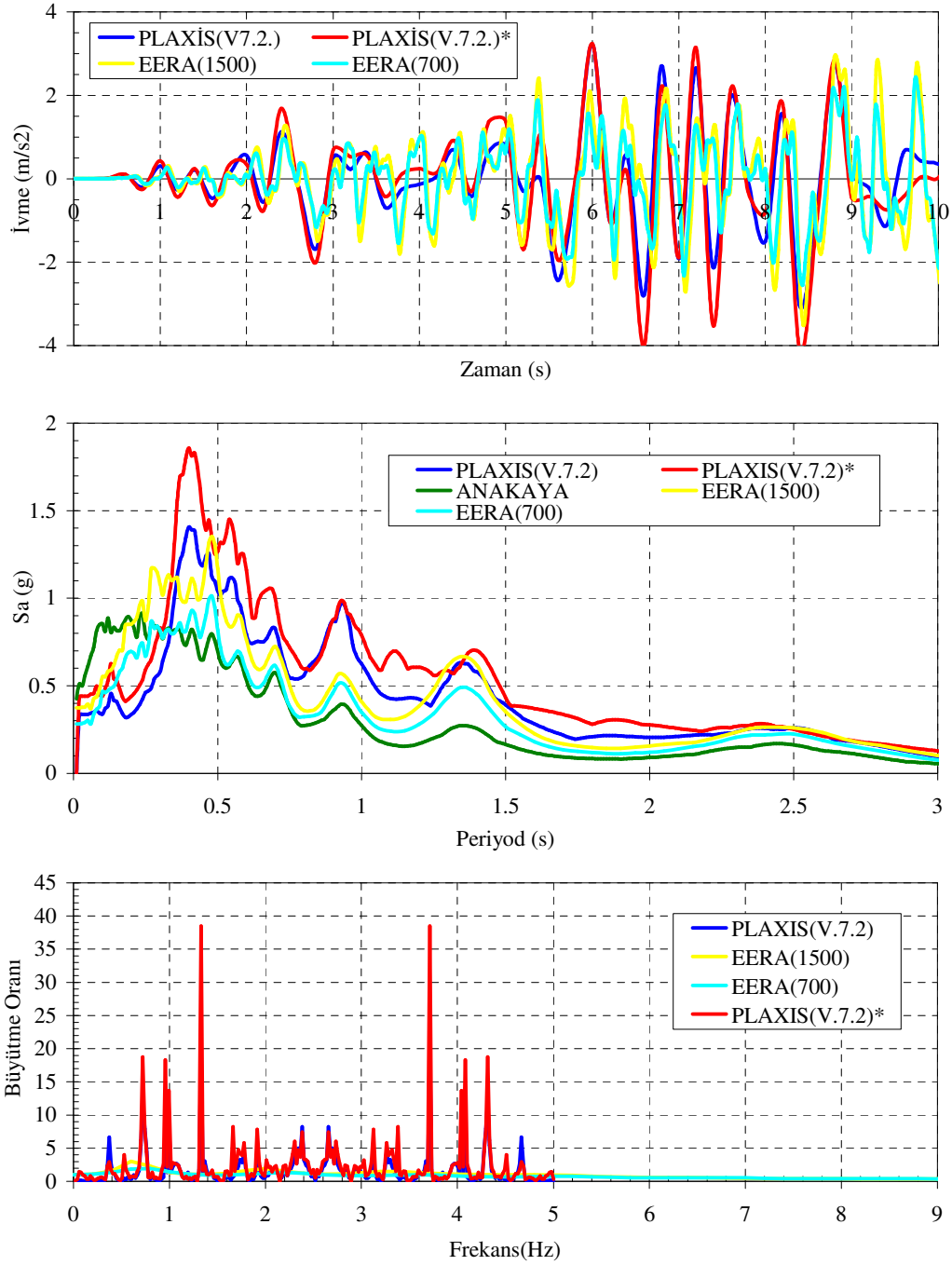
birbiriyle karşılaştırıldığında oldukça farklıdır. Bir boyutlu analiz sonucuna göre anakayanın daha rijit alındığı analiz sonucunda belirlenen ivme-zaman ve spektral ivme değerleri EERA(1500), EERA(700) 'den daha büyüktür, bütün spektral ivmelerin pik değerleri aynı periyod değerinde meydana gelmiştir. İki boyutlu analiz sonucunda belirlenen spektral ivmelere bakıldığında Plaxis V.7.2*'dan belirlenenler, Plaxis V.7.2' den belirlenenlerle çok yakındır. Bu analizlerde viskoz sönüm katsayıları birbirinden oldukça farklıdır ve Rayleigh β katsayıları arasında yaklaşık 4 kat fark vardır. Bu kesit için hesaplanan ortalama hakim periyod 0.72 s (Çizelge 5.8) ve analizlerde pik spektral ivmeler 0.5 s civarında meydana gelmiştir.

6.1.3 Gürpınar Formasyonu'nda Yeralan Noktalar

Gürpınar Formasyonu inceleme alanının batısında Küçükçekmece Gölü'ne bakan yamaçlarda ve inceleme alanının doğusunda Ayamama Deresi'ne bakan yamaçlarda yer almaktadır.

2-2' Kesiti B noktası

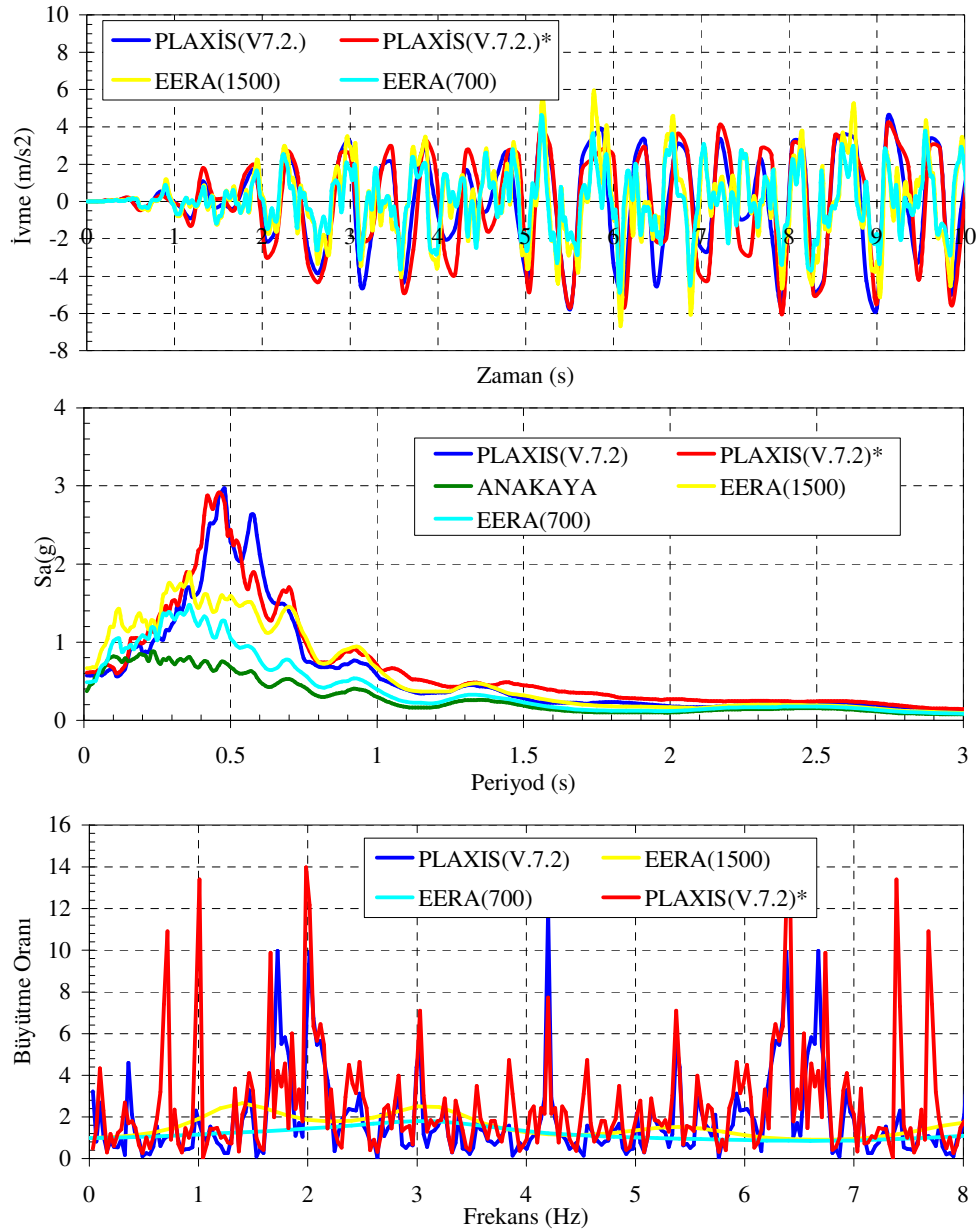
2-2' Kesiti üzerinde Küçükçekmece Gölü'ne bakan yamaçta Gürpınar Formasyonu'nda yeralan B noktasında belirlenen analiz sonuçları Şekil 6.13'de gösterilmiştir. B noktasında bir ve iki boyutlu analiz sonuçları değerlendirildiğinde zemin yüzünde belirlenen ivme-zaman ve spektral ivme davranışları kendi içlerinde birbiriyle uyumlu ancak birbiriyle karşılaştırıldığında farklıdır. Bir boyutlu analiz sonucuna göre ana kayanın daha rijit alındığı analiz sonucunda belirlenen ivme-zaman ve spektral ivme değerleri EERA(1500), EERA(700) 'den daha büyüktür. İki boyutlu analiz sonucunda belirlenen spektral ivmelerin davranışları benzer ancak Plaxis V.7.2*'dan belirlenenler, Plaxis V.7.2' den belirlenenlerden daha büyüktür. Bu analizlerde viskoz sönüm katsayıları birbirinden oldukça farklıdır ve Rayleigh β katsayıları arasında yaklaşık 7 kat fark vardır. Zemin büyütmelemleri de kendi içlerinde benzer ancak birbirleriyle karşılaştırıldığında uyumsuzdur.



Şekil 6.13 2-2' Kesiti B noktasında belirlenen analiz sonuçları.

5-5' Kesiti C noktası

5-5' Kesiti üzerinde Küçükçekmece Gölü'ne bakan yamaçta Gürpınar Formasyonu'nda yeralan C noktasında belirlenen analiz sonuçları Şekil 6.14'de gösterilmiştir.

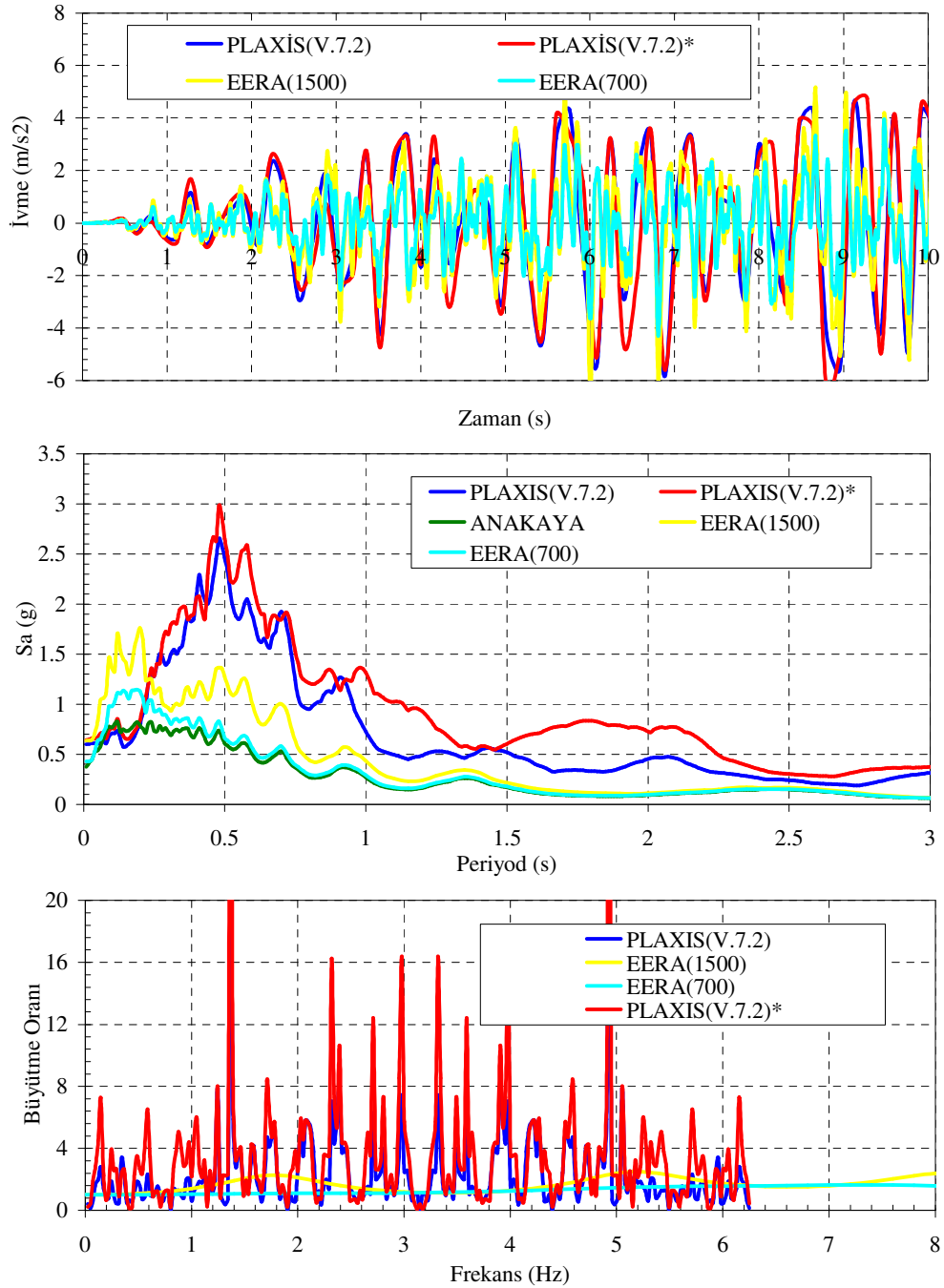


Şekil 6.14 5-5' Kesiti C noktasında belirlenen analiz sonuçları.

C noktasında bir ve iki boyutlu analiz sonuçları değerlendirildiğinde zemin yüzünde belirlenen ivme-zaman ve spektral ivme davranışları kendi içlerinde birbiriyle uyumlu ancak birbiriyle karşılaştırıldığında farklıdır. Bir boyutlu analiz sonucuna göre anakayanın daha rijit alındığı analiz sonucunda belirlenen ivme-zaman ve spektral ivme değerleri EERA(1500), EERA(700) 'den daha büyüktür. İki boyutlu analiz sonucunda belirlenen spektral ivmelere bakıldığında Plaxis V.7.2*'dan belirlenenler, Plaxis V.7.2' den belirlenenlerle oldukça uyumludur. Bu analizlerde viskoz sönüm katsayıları birbirinden oldukça farklı ve Rayleigh β katsayıları arasında 4 kat fark vardır. Zemin büyütme oranları da kendi içlerinde benzer ancak birbirleriyle karşılaştırıldığında uyumsuzdur.

6-6' Kesiti B noktası

6-6' Kesiti üzerinde inceleme alanının kuzey batısındaki yamacın eteğinde, Gürpınar Formasyonu'nda yeralan C noktasında belirlenen analiz sonuçları Şekil 6.15'de gösterilmiştir.



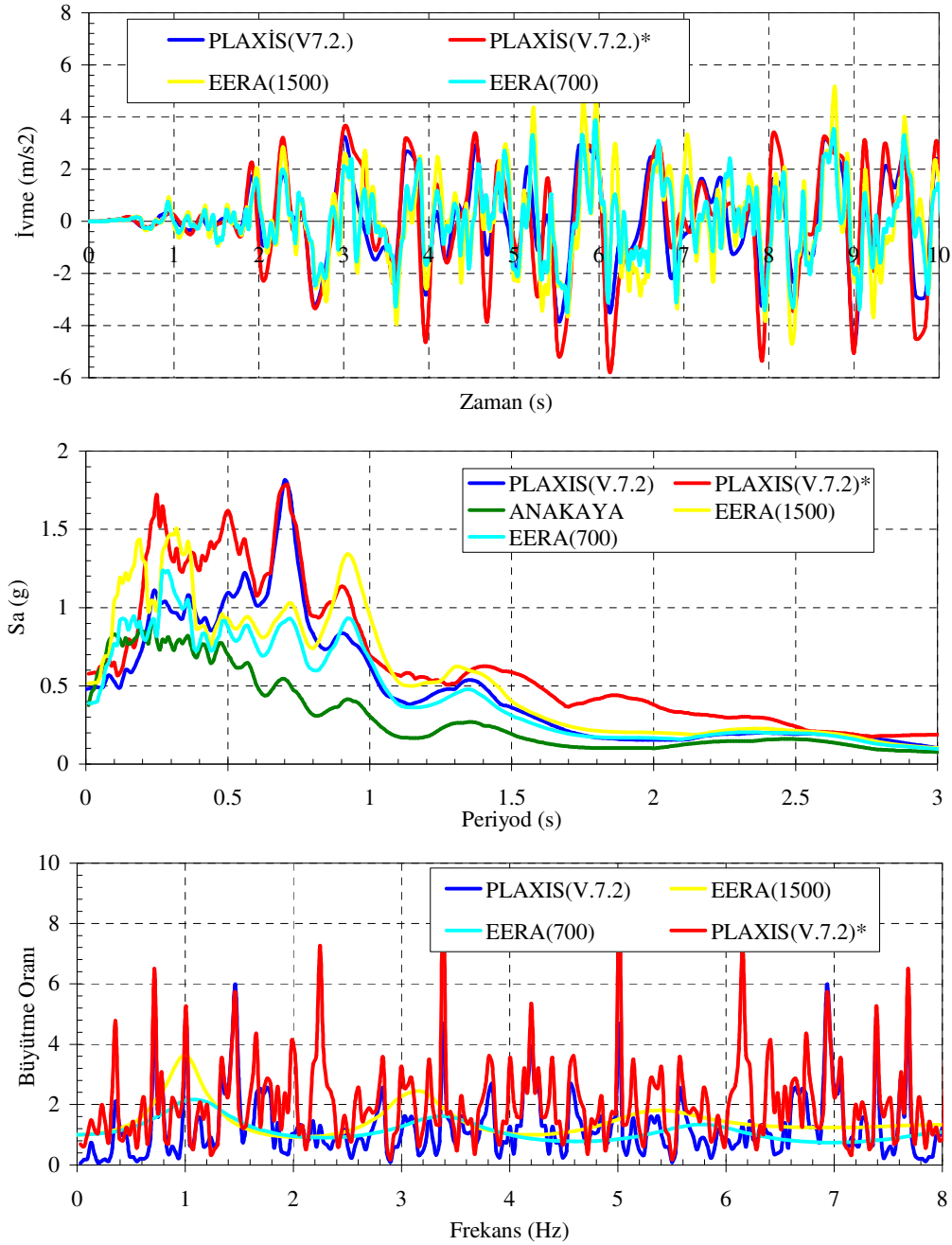
Şekil 6.15 6-6' Kesiti B noktasında belirlenen analiz sonuçları.

B noktasında bir ve iki boyutlu analiz sonuçları karşılaştırıldığında zemin yüzünde belirlenen ivme-zaman davranışları birbiriyle çok uyumlu değildir, spektral ivme davranışları iki

boyutlularda 0.7s'lik periyod değerine kadar benzer, daha büyük periyodlarda çok uyumlu değildir, bir boyutlularda birbirinden oldukça farklıdır. Bir boyutlu analiz sonucuna göre anakayanın daha rijit alındığı analiz sonucunda belirlenen ivme-zaman ve spektral ivme değerleri EERA(1500), EERA(700) 'den oldukça büyüktür. İki boyutlu analizlerde viskoz sönüm katsayıları birbirinden oldukça farklı ve Rayleigh β katsayıları arasında yaklaşık 4 kat fark vardır. Zemin büyütmeleri de kendi içlerinde benzer ancak birbirleriyle karşılaştırıldığında uyumsuzdur.

4-4' Kesiti C noktası

4-4' Kesiti zerinde Küçükçekmece Gölü'ne bakan yamada Gürpınar Formasyonu'nda yeralan C noktasında belirlenen analiz sonuçları Şekil 6.16'da gösterilmiştir. C noktasında bir ve iki boyutlu analiz sonuçları değerlendirildiğinde zemin yüzünde belirlenen ivme-zaman davranışları birbiriyle uyumlu değil ancak kendi içlerinde uyumludur. Spektral ivme davranışları ise bir boyutlularda uyumlu, iki boyutlularda ise 0.6 s'den sonra oldukça benzer, öncesinde ise oldukça farklı davranış göstermiştir. Bir boyutlu analiz sonucuna göre anakayanın daha rijit alındığı analiz sonucunda belirlenen ivme-zaman ve spektral ivme değerleri EERA(1500), EERA(700) 'den büyüktür. İki boyutlu analizlerden belirlenen spektral ivmeler 0.7 s civarındaki pik değerden sonra benzer, Bu analizlerde viskoz sönüm katsayıları birbirinden oldukça farklı ve Rayleigh β katsayıları arasında yaklaşık 4 kat fark vardır. Zemin büyütmeleri de kendi içlerinde benzer ancak birbirleriyle karşılaştırıldığında uyumsuzdur.

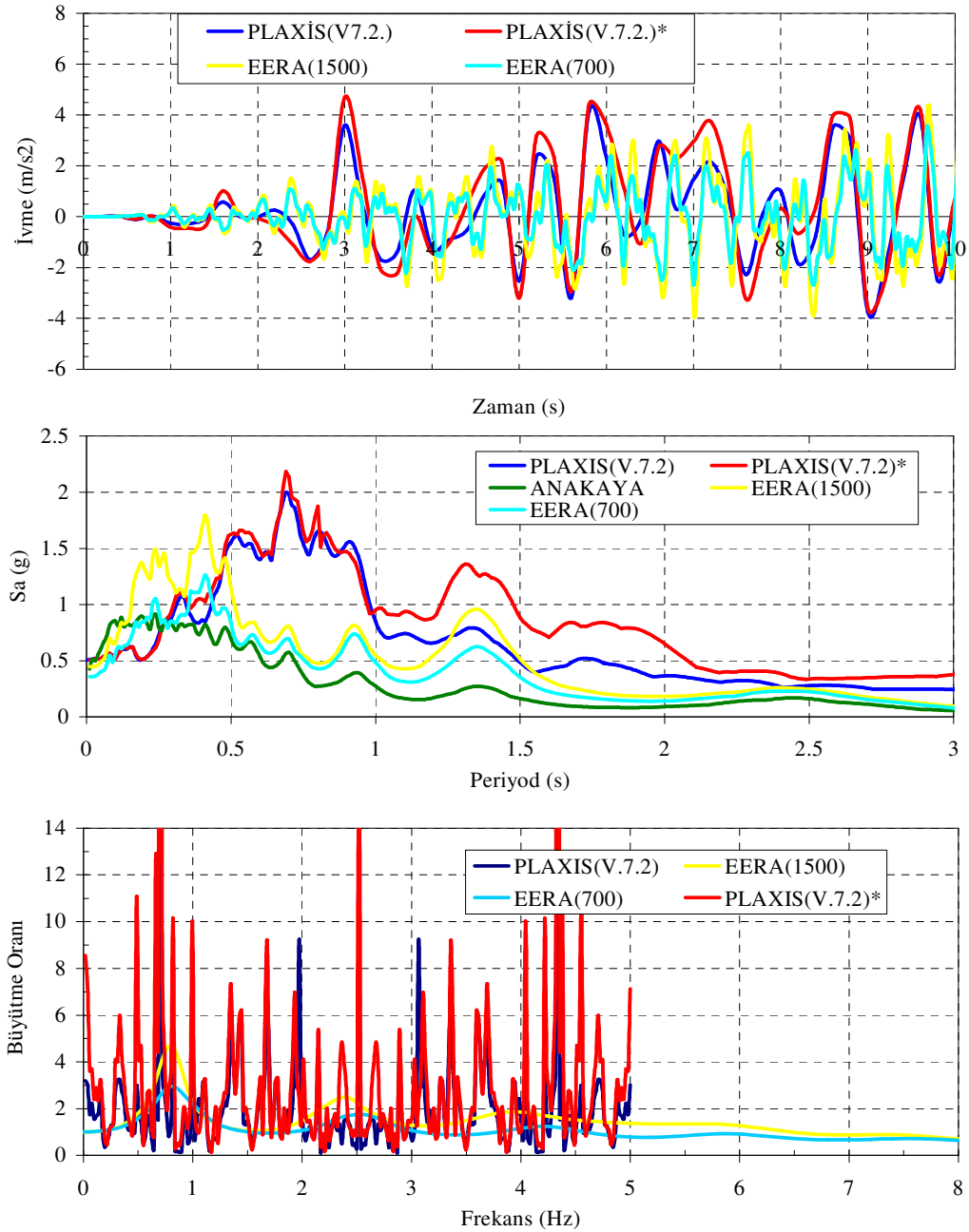


Şekil 6.16 4-4' Kesiti C noktasında belirlenen analiz sonuçları.

3-3' Kesiti C noktası

3-3' Kesiti üzerinde Ayamama Deresi'ne bakan yamaçta Gürpınar Formasyonu'nda yeralan C noktasında belirlenen analiz sonuçları Şekil 6.17'de gösterilmiştir. C noktasında bir ve iki boyutlu analiz sonuçları değerlendirildiğinde zemin yüzünde belirlenen ivme-zaman davranışları birbiriyle uyumlu değil ancak kendi içlerinde uyumludur. Spektral ivme davranışları iki boyutlularda benzer, bir boyutlularda birbirinden farklıdır. Bir boyutlu analiz sonucuna göre anakayanın daha rijit alındığı analiz sonucunda belirlenen ivme-zaman ve

spektral ivme değerleri EERA(1500), EERA(700) ‘den büyüktür. İki boyutlu analizlerde viskoz sönüm katsayıları birbirinden oldukça farklı ve Rayleigh β katsayıları arasında 4 kat fark vardır. Zemin büyütmeleri de kendi içlerinde benzer ancak birbirleriyle karşılaştırıldığında uyumsuzdur.



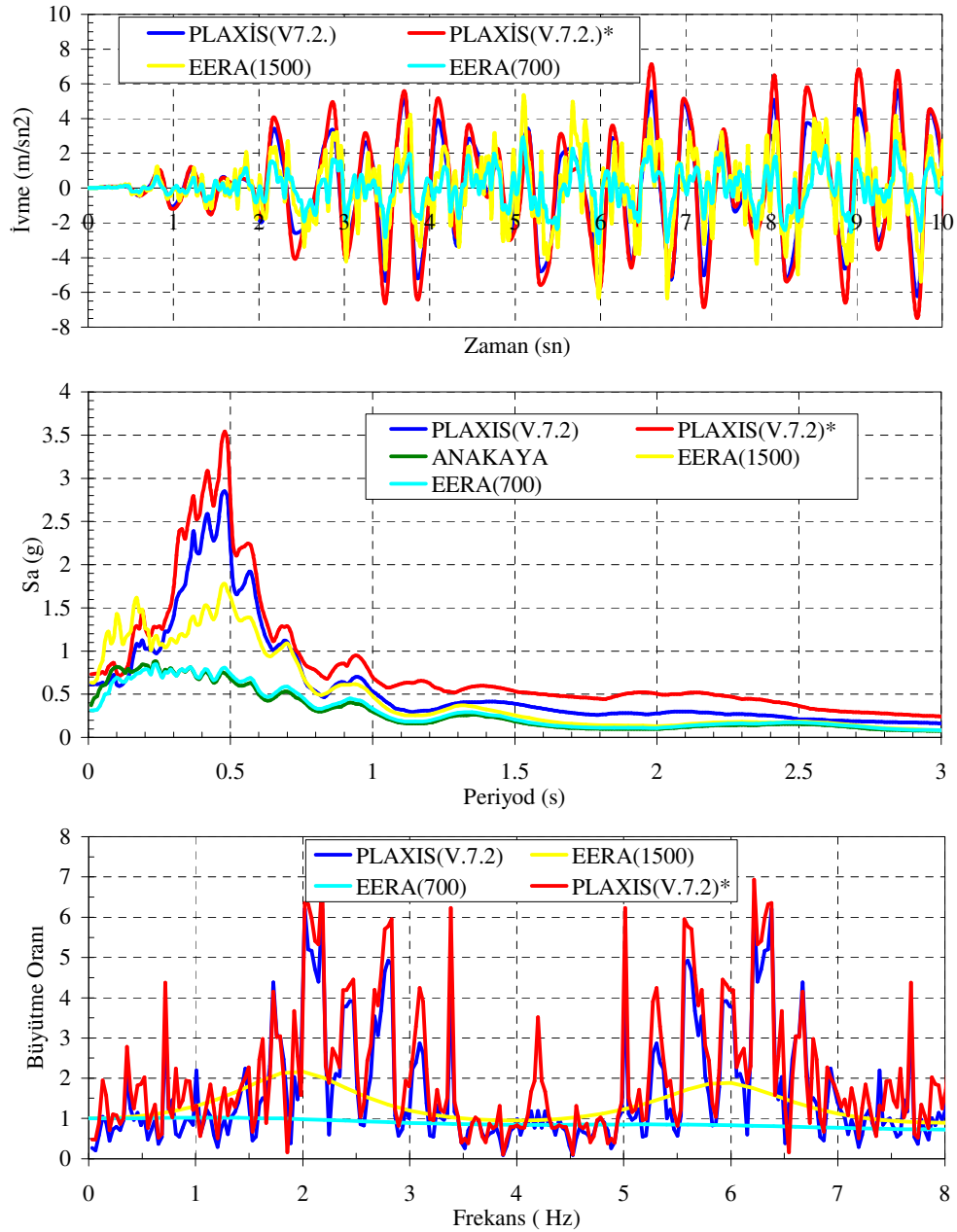
Şekil 6.17 3-3’ Kesiti C noktasında belirlenen analiz sonuçları.

6.1.4 K rkırel  Formasyonu’nda Yeralan Nokta

İnceleme alanında ana kayayı oluşturan K rkırel  Formasyonu kireçtaşları, bölgenin kuzey batısında küçük bir alanda y zeylenmi tir.

5-5' Kesiti B noktası

5-5' Kesiti üzerinde inceleme alanının kuzey batısında yer alan yamaçta, Kırklareli Formasyonu'nda yeralan B noktasında belirlenen analiz sonuçları Şekil 6.18'de gösterilmiştir.



Şekil 6.18 5-5' Kesiti B noktasında belirlenen analiz sonuçları.

(5-5') Kesiti B noktasında bir ve iki boyutlu analiz sonuçları karşılaştırıldığında zemin yüzünde belirlenen ivme-zaman davranışları karşılaştırıldığında iki boyutlu analizlerden belirlenenler birbiriyle uyumlu, bir boyutlulardan belirlenenler birbiriyle uyumlu değildir.

Spektral ivme davranışları iki boyutlularda benzer, bir boyutlularda birbirinden oldukça farklıdır. Bir boyutlu analiz sonucuna göre anakayanın daha rijit alındığı analiz sonucunda belirlenen ivme-zaman ve spektral ivme değerleri EERA(1500), EERA(700) 'den oldukça büyüktür. İki boyutlu analizlerde viskoz sönüm katsayıları birbirinden oldukça farklı ve Rayleigh β katsayıları arasında 4 kat fark vardır. Zemin büyütmelemleri de kendi içlerinde benzer ancak birbirleriyle karşılaştırıldığında uyumsuzdur.

6.2 Analiz Sonuçlarının Değerlendirmesi

Alüvyon üzerindeki noktalarda yapılan bir boyutlu ve iki boyutlu analiz sonuçlarına göre elde edilen ivme-zaman ve spektral ivme davranışları genellikle kendi içlerinde uyumlu ancak birbiriyle karşılaştırıldığında oldukça farklıdır. Küçükçekmece Gölü kenarındaki kalın alüvyon tabakası üzerindeki 1-1' kesiti A, 2-2' kesiti A ve 5-5' kesiti A noktalarında iki boyutlu analizlerden belirlenen ivme-zaman ve spektral ivme davranışları bir boyutlu analizlerden belirlenenlerden oldukça büyüktür. Ayamama Deresi kenarındaki ince alüvyon tabakaları üzerindeki 2-2' kesiti I ve 6-6' kesiti I noktalarında tam tersi davranışlar belirlenmiştir. Anakayanın zemin yüzüne yakın olduğu noktalarda (5-5' kesiti A, 2-2' kesiti I ve 6-6' kesiti I) iki boyutlu analizlerin sonuçları birbiriyle oldukça uyumludur. Bu noktalarda anakaya derinliği 1-1' kesiti A ve 2-2' kesiti A noktalarına göre zemin yüzüne çok daha yakındır. 1-1' kesiti A ve 2-2' kesiti A noktalarında ise bir boyutlu analizlerden elde edilen spektral ivme davranışları birbirleriyle çok uyumludur.

Bakırköy Formasyonu üzerindeki noktalarda yapılan bir boyutlu analizlerden elde edilen ivme-zaman ve spektral ivme davranışları genellikle kendi içlerinde uyumlu, iki boyutlu analizlerde ise anakayanın derinde olduğu 1-1' kesiti E ve 2-2' kesiti D noktalarında spektral ivme davranışları form olarak benzer ancak büyüklükleri oldukça farklıdır. Anakayanın zemin yüzüne daha yakın olduğu 6-6' kesiti E noktasında ise iki boyutlu analizlerden belirlenen ivme-zaman ve spektral ivme davranışları birbirleriyle çok uyumludur.

Gürpınar Formasyonu üzerindeki noktalarda yapılan bir boyutlu analizlerden elde edilen ivme-zaman ve spektral ivme davranışları genellikle kendi içlerinde uyumlu, iki boyutlu analizlerde ise anakayanın derinde olduğu 2-2' kesiti B ve 4-4' kesiti C noktalarında spektral ivme davranışları form olarak benzer ancak büyüklükleri oldukça farklıdır. Anakayanın zemin yüzüne daha yakın olduğu 5-5' kesiti C, 6-6' kesiti B ve 3-3' kesiti C noktalarında ise iki boyutlu analizlerden belirlenen ivme-zaman ve spektral ivme davranışları birbirleriyle çok uyumludur.

Kırklareli Formasyonu üzerindeki noktada (5-5'kesiti C noktası) yapılan bir boyutlu analizlerden elde edilen ivme-zaman ve spektral ivme davranışları uyumlu değildir. İki boyutlu analizlerde ise hem ivme-zaman hemde spektral ivme davranışları birbirleriyle daha uyumludur. Bu noktada anakaya zemin yüzüne çok yakın olduğu için iki boyutlu analizlerden belirlenen ivme-zaman ve spektral ivme davranışları birbirleriyle bir boyutluya göre daha uyumludur.

Yapılan bir boyutlu analiz sonuçlarına göre anakayanın daha rijit alındığı EERA(1500)'den belirlenen ivme-zaman ve spektral ivme değerleri EERA(700) 'den daha büyüktür. Anakaya rijitliği tek boyutlu analiz sonuçlarını etkilemektedir, analizlerde anakaya rijitliği gerçekçi olarak değerlendirilmelidir.

İki boyutlu analizlerde ise PlaxisV.7.2*'dan belirlenen ivme-zaman ve spektral ivmeler Plaxis V.7.2' den belirlenenlerden genellikle daha büyüktür. Bu analizlerde viskoz sönüm parametreleri farklı yöntemlerle belirlenmiştir. İki boyutlu analizlerde viskoz sönüm katsayıları birbirinden oldukça farklıdır ve sönüm ilişkisinde (4.11) zeminin rijitliği ile çarpılan Rayleigh β katsayısı için PlaxisV.7.2*'de girilen değerler Plaxis V.7.2'dekilerden 4-11 kat daha küçüktür.

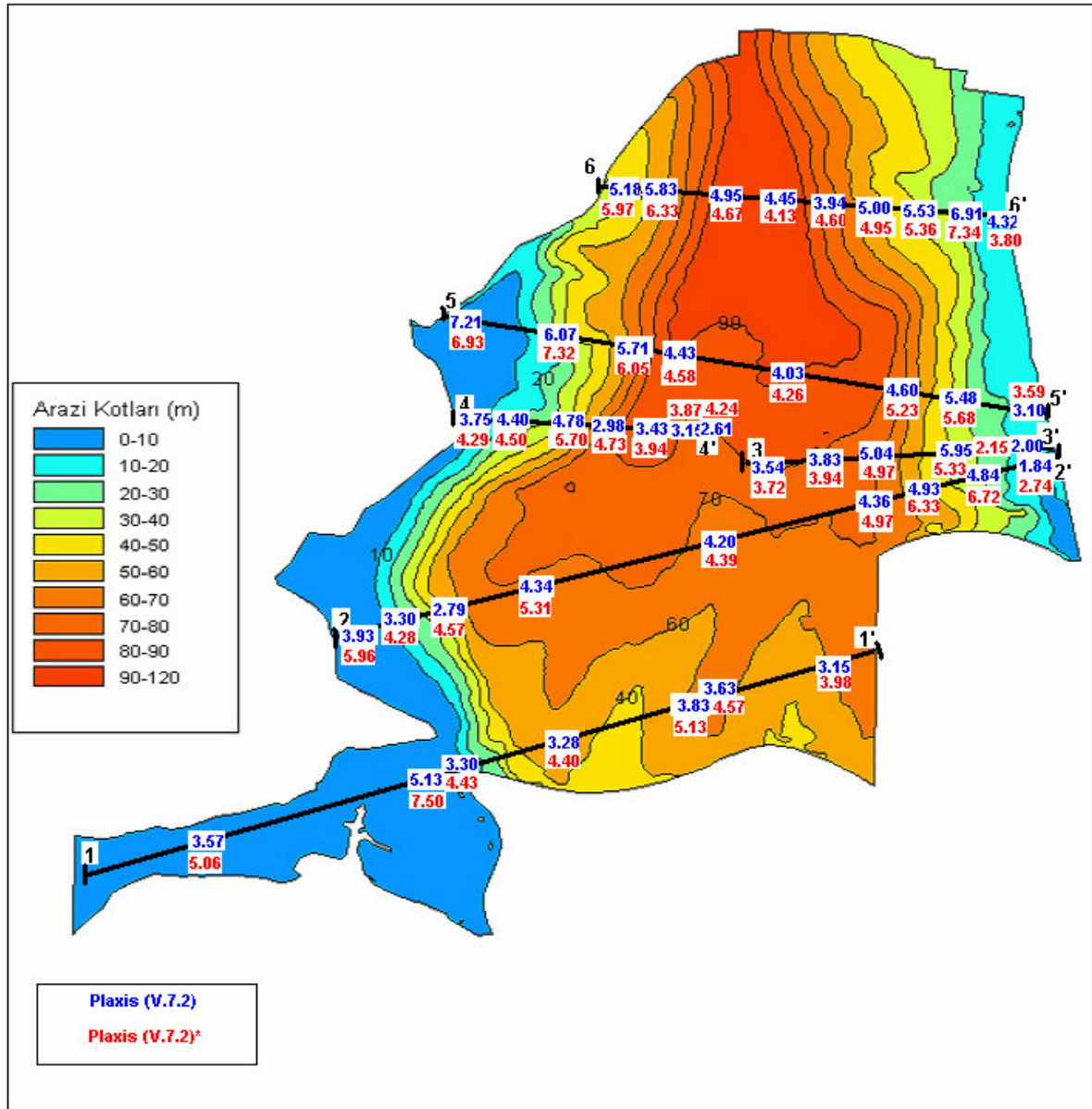
Çizelge 6.2'de zemin yüzünde belirlenen maksimum ivme değerleri ve Çizelge 6.3'de de spektral ivme değerlerinin maksimum değerleri ve maksimumlarının periyod değerleri verilmiştir.

Çizelge 6.2 Zemin yüzünde belirlenen maksimum ivme değerleri

Nokta	Maksimum Yüzey İvmesi (m/s^2)			
	PLAXIS(V.7.2)	PLAXIS(V.7.2)*	EERA(1500)	EERA(700)
(1-1') A	3.57	5.06	2.81	2.56
(2-2') A	3.93	5.96	6.24	5.38
(5-5') A	7.21	6.93	6.01	5.20
(2-2') I	1.84	2.74	7.50	5.10
(6-6') I	4.32	3.80	8.78	6.14
(1-1') E	3.83	5.13	2.10	1.66
(2-2') D	4.34	5.31	2.78	2.31
(4-4') G	2.61	4.24	3.36	2.83
(6-6') E	3.94	4.60	3.50	2.69
(2-2') B	3.30	4.28	3.74	2.81
(5-5') C	5.71	6.05	6.70	4.89
(6-6') B	5.83	6.33	6.38	4,30
(4-4') C	4.78	5.70	5.17	3.89
(3-3') C	5.04	4.97	4.47	3.57
(5-5') B	6.07	7.32	5.88	3.16

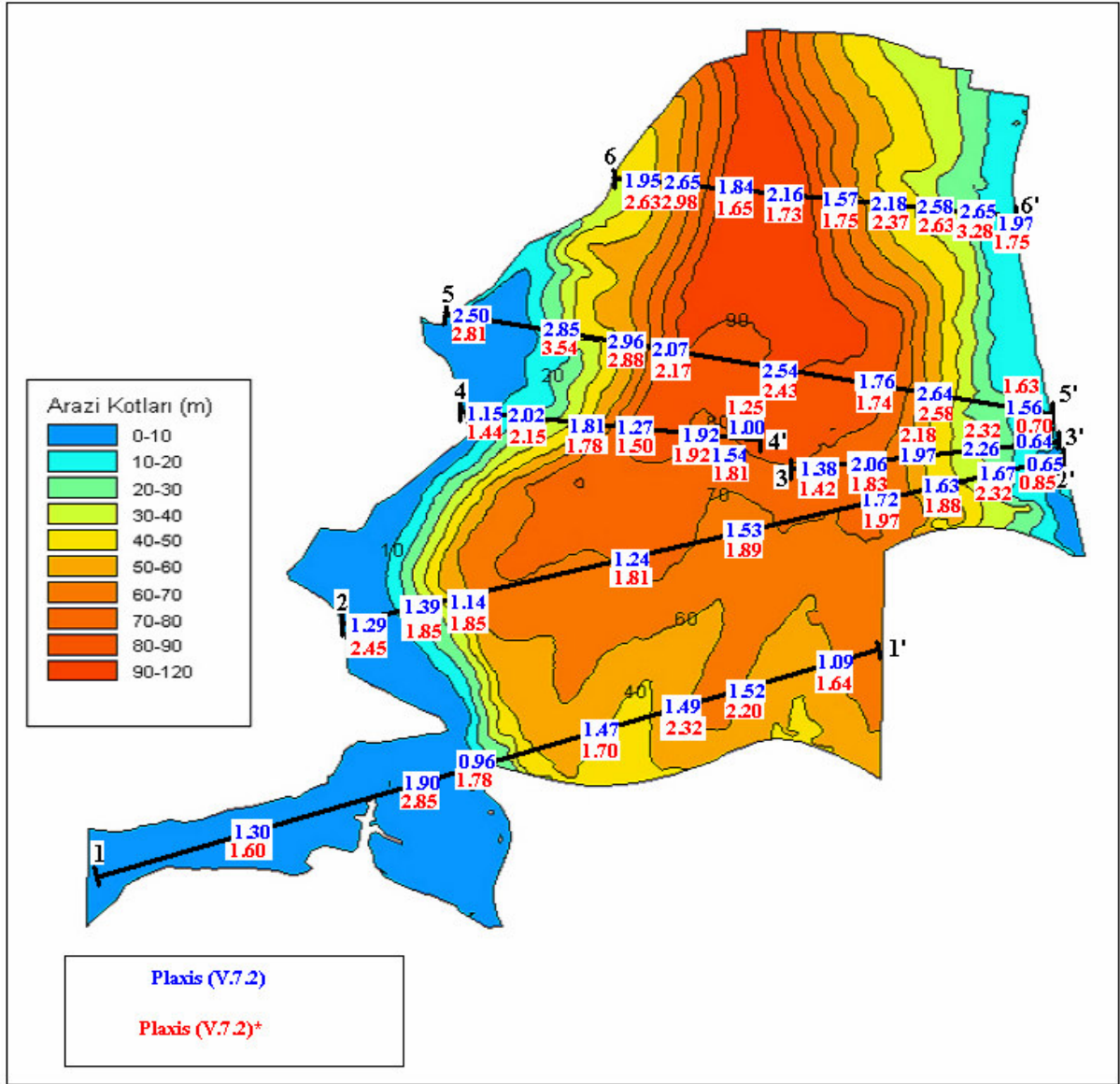
Çizelge 6.3 Zemin yüzünde belirlenen spektral ivmelerin maksimum değerleri

Nokta	Sa (maks) (g)				Periyod, s			
	PLAXIS (V.7.2)	PLAXIS (V.7.2)*	EERA (1500)	EERA (700)	PLAXIS (V.7.2)	PLAXIS (V.7.2)*	EERA (1500)	EERA (700)
(1-1') A	1.30	1.60	0.84	0.77	0.93	0.92	0.72	0.48
(2-2') A	1.29	2.45	1.93	1.64	0.45	0.79	0.57	0.49
(5-5') A	2.50	2.81	2.02	1.70	0.42	0.37	0.70	0.50
(2-2') I	0.64	0.84	2.85	1.87	0.45	0.41	0.48	0.29
(6-6') I	1.97	1.75	3.32	2.52	0.47	0.47	0.19	0.19
(1-1') E	1.49	2.32	0.97	0.80	0.71	0.71	0.57	0.48
(2-2') D	1.24	1.81	0.96	0.79	1.37	0.42	0.48	0.48
(4-4') G	1.00	1.25	0.87	0.84	0.48	0.48	0.49	0.48
(6-6') E	1.57	1.75	1.08	0.88	0.72	0.47	0.49	0.49
(2-2') B	1.39	1.85	1.35	1.01	0.41	0.40	0.48	0.48
(5-5') C	2.96	2.88	1.89	1.47	0.48	0.47	0.36	0.36
(6-6') B	2.65	2.98	1.76	1.14	0.50	0.48	0.20	0.20
(4-4') C	1.81	1.78	1.50	1.23	0.71	0.71	0.32	0.29
(3-3') C	1.97	2.18	1.79	1.26	0.71	0.69	0.41	0.41
(5-5') B	2.85	3.54	1.78	0.84	0.48	0.48	0.48	0.24



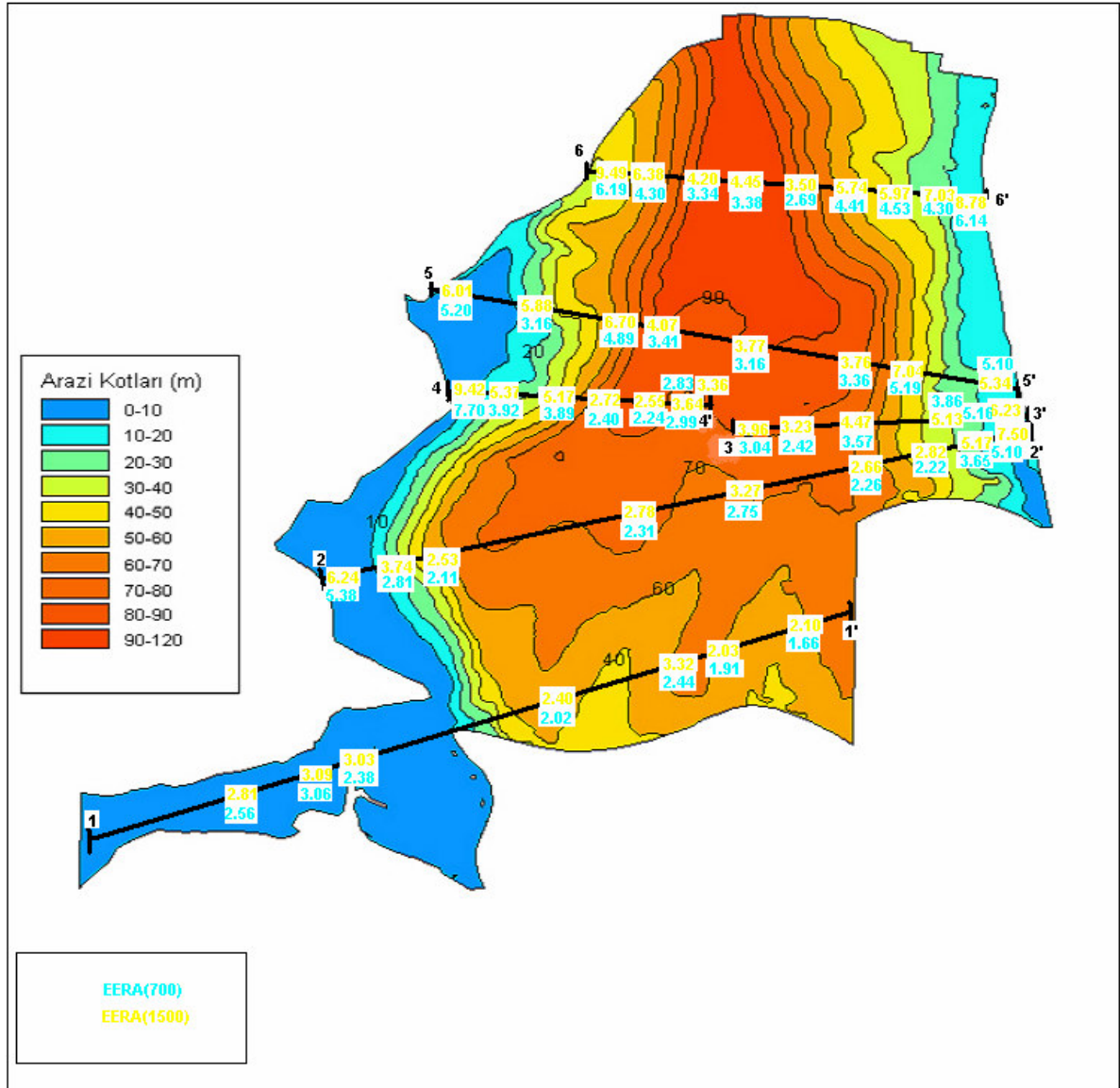
Şekil 6.19 Plaxis analizlerinden belirlenen yüzey ivmelerinin değişimi.

Şekil 6.19'da gösterilen iki boyutlu analiz sonuçları değerlendirildiğinde, genellikle maksimum yüzey ivmeleri inceleme alanının batısında ve doğusunda yer alan yamaçlarda (4-4' kesiti C noktası, 3-3' kesiti C noktası, 5-5' kesiti C noktası, 6-6' kesiti B noktası, 5-5' kesiti B noktası) elde edilmiştir. İnceleme alanının batısında ve doğusunda yer alan alüvyal düzlüklerde ve inceleme alanının tepe üstü düzlüklerinde elde edilen maksimum yüzey ivmeleri genellikle birbiri ile benzer çıkmıştır (1-1' kesiti A noktası, 1-1' kesiti E noktası, 2-2' kesiti A noktası, 6-6' kesiti E noktası, 6-6' kesiti I noktası, 2-2' D noktası).



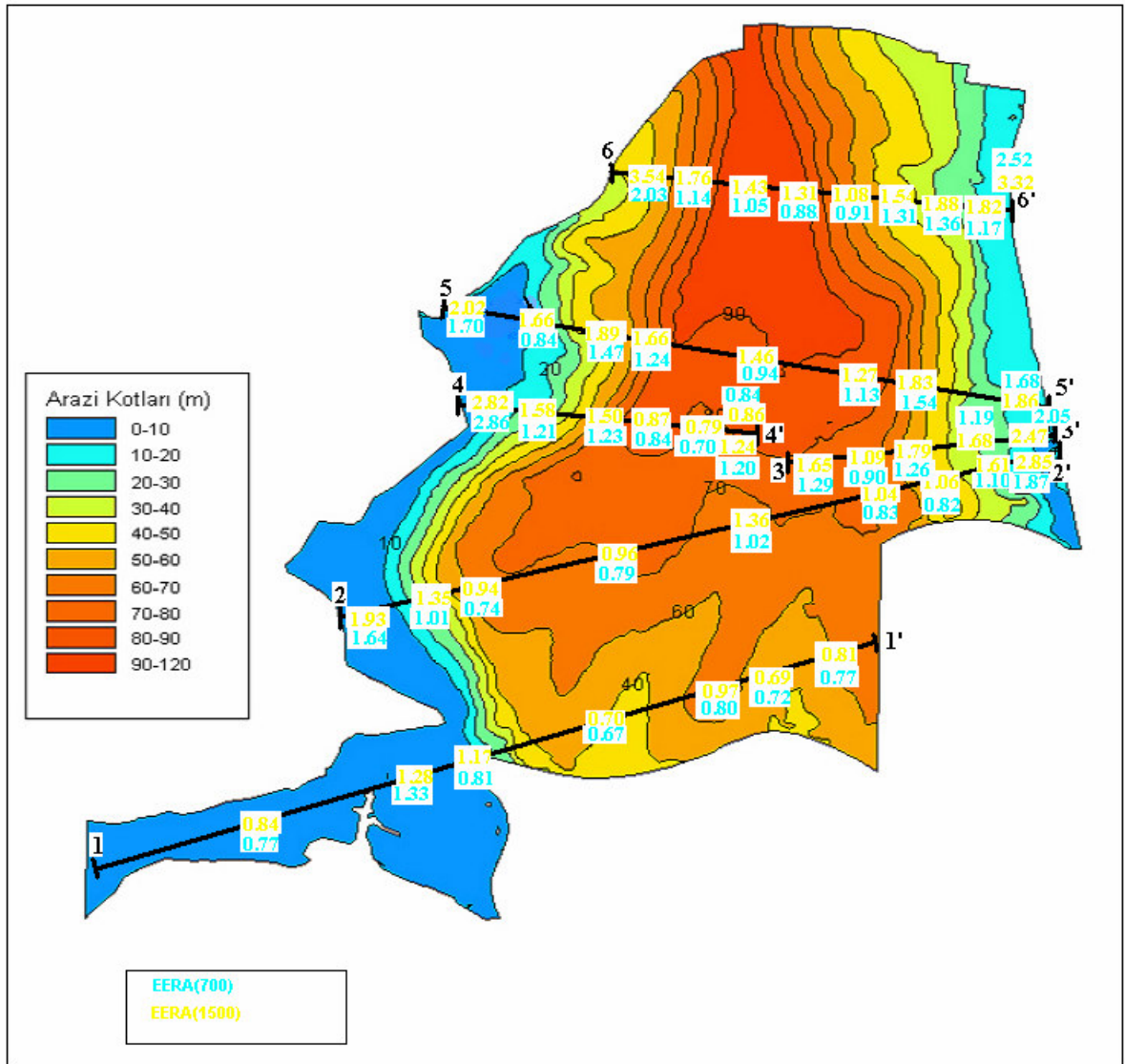
Şekil 6.20 Plaxis analizlerinden belirlenen spektral ivmelerinin değişimi.

Şekil 6.20’de gösterilen iki boyutlu analiz sonuçları değerlendirildiğinde, genellikle maksimum spektral ivme değerleri inceleme alanının batısında ve doğusunda yer alan yamaçlarda (5-5’ kesiti C noktası, 6-6’ kesiti B noktası, 5-5’ kesiti B noktası, 1-1’ kesiti E noktası, 2-2’ D noktası) elde edilmiştir. İnceleme alanının batısında ve doğusunda yer alan alüvyal düzlüklerde ve inceleme alanının tepe üstü düzlüklerinde elde edilen maksimum spektral ivmeleri genellikle birbiri ile benzer çıkmıştır (1-1’ kesiti A noktası, 1-1’ kesiti E noktası, 2-2’ kesiti A noktası, 6-6’ kesiti E noktası, 6-6’ kesiti I noktası, 2-2’ D noktası).



Şekil 6.21 EERA analizlerinden belirlenen yüzey ivmelerinin değişimi.

Şekil 6.21’de gösterilen bir boyutlu analiz sonuçları değerlendirildiğinde, inceleme alanının batısında ve doğusunda yer alan alüvyal düzlüklerde elde edilen maksimum yüzey ivmeleri (2-2’ kesiti A noktası, 5-5’ kesiti A noktası, 2-2’ kesiti I noktası, 6-6’ kesiti I noktası) inceleme alanının batısında ve doğusunda yer alan yamaçlarda (5-5’ kesiti B noktası, 3-3’ kesiti C noktası, 4-4’ kesiti C noktası, 5,5’ kesiti C noktası) ve tepe üstü düzlük alanlarda (1-1’ kesiti E noktası, 2-2’ kesiti D noktası, 4-4’ kesiti G noktası, 6-6’ kesiti E noktası) elde edilen maksimum yüzey ivmelerine göre daha büyüktür.



Şekil 6.22 EERA analizlerinden belirlenen spektral ivmelerinin değişimi.

Şekil 6.22’de gösterilen bir boyutlu analiz sonuçları değerlendirildiğinde, inceleme alanının batısında ve doğusunda yer alan alüvyal düzlüklerde elde edilen maksimum spektral ivmeler (2-2’ kesiti A noktası, 5-5’ kesiti A noktası, 2-2’ kesiti I noktası, 6-6’ kesiti I noktası) inceleme alanının batısında ve doğusunda yer alan yamaçlarda (5-5’ kesiti B noktası, 3-3’ kesiti C noktası, 4-4’ kesiti C noktası, 5,5’ kesiti C noktası) ve tepe üstü düzlük alanlarda (1-1’ kesiti E noktası, 2-2’ kesiti D noktası, 4-4’ kesiti G noktası, 6-6’ kesiti E noktası) elde edilen maksimum spektral ivmelere göre daha büyüktür.

7. SONUÇLAR

Küçükçekmece-Sefaköy yerleşim bölgelerinin güneyinden kuzeyine doğru, batı-doğu doğrultusunda alınmış altı adet enkesit üzerinde bir ve iki boyutlu dinamik analizler yapılmıştır. Böylece depremler sırasında topoğrafik konumun ve yerel zemin koşullarının zemin yüzü yer hareketi üzerindeki etkisi bir ve iki boyutlu dinamik davranış analizleri ile incelenerek, karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Bir boyutlu analizler eşdeğer lineer analiz prensibine dayalı olarak çalışan EERA programı ile, iki boyutlu dinamik analizler ise PLAXIS programı ile yapılmıştır.

Bir boyutlu dinamik davranış analizleri, her bir kesit üzerinde arazi topoğrafyası ve formasyonlar göz önünde bulundurularak seçilen noktalarda yapılmıştır. Bu noktalarda, zemin profili, tabaka kalınlıkları, geoteknik ve dinamik malzeme parametreleri tanımlanarak anakaya seviyesinde bölgenin sismisitesine göre belirlenen sentetik deprem kaydı etkiltilerek, tek boyutlu dinamik davranış analizleri yapılmış ve yüzey ivmesi, spektral ivme değerleri ve büyütme belirlenmiştir.

İki boyutlu dinamik davranış analizlerinde ise inceleme bölgesini temsil eden kesitler topoğrafik ve geoteknik özellikleri göz önüne alınarak modellenmiş ve bir boyutlu analizlerde kullanılan sentetik deprem kayıtları anakaya seviyesinde uygulanarak, dinamik analizler yapılmış ve bu kesitler üzerinde arazi topoğrafyası ve formasyonlar gözönünde bulundurularak ve bir boyutlu analizlerde incelenen noktalar ile çıkışacak şekilde seçilen noktalarda, yüzey ivmesi, spektral ivme değerleri ve büyütme belirlenmiştir.

İki boyutlu analizlerde anakaya topoğrafyası düz olarak alındığından, kesitlerin taban kısmında yer alan Kırklareli kireçtaşı tek boyutlu analizlerde de gözönüne alınarak iki farklı şekilde değerlendirilmiştir. Birinci değerlendirmede anakayanın kayma dalgası hızı tabana ilave edilen Kırklareli kireçtaşının kayma dalgası hızı ile eşit kabul edilmiş (V_s anakaya=700 m/s) ve bu analizlerin sonuçları EERA (700), anakaya kayma dalgası hızının 1500m/sn olarak alındığı ikinci değerlendirme sonuçları ise EERA (1500) olarak sunulmuştur.

İki boyutlu dinamik davranış analizlerinde kullanılan viskoz sönüm parametreleri farklı iki yöntemle belirlenerek dinamik davranışa etkileri araştırılmıştır. Birinci yöntemde, her bir kesit için hesaplanan bir eşdeğer kayma dalgası hızı ve ortalama kesit yüksekliği dikkate alınarak, zeminin birinci doğal titreşim periyodu hesaplanmış ve bu değer birinci doğal açısıl frekansa dönüştürülmüştür. İkinci titreşim frekansı olarak ise zemin davranışının genellikle 10 Hz frekans değerine kadar olan titreşimlerden etkilendiği kabulüne dayanarak 10 Hz değeri

alınmıştır (Rathje, 2001). Böylece zeminin birinci doğal titreşim frekansı ve 10 Hz frekans değerleri arasındaki zemin davranışı dikkate alınarak sönüm katsayıları hesaplanmıştır. Ancak bu hesap şeklinde zeminin topoğrafik özellikleri dikkate alınamamaktadır. İkinci yaklaşım olarak, titreşim frekanslarının hesabında sonlu elemanlar yöntemi ile hesap elastik davranış analizi yapan LUSAS programı kullanılmıştır. LUSAS programında, kesitler topoğrafik ve geoteknik özellikleri ile modellenmiş ve bu kesitlerde modal analiz yapılarak ilk on moda ait periyod ve frekans değerleri belirlenmiştir. Bu frekans değerlerinden ilk iki moda ait olanlar sönüm katsayılarının hesabında kullanılmıştır. Bu yaklaşımda zemin topoğrafyası dolayısıyla ikinci boyutun etkisi, modelleme esnasında göz önüne alınmıştır.

Analizlerde anakaya seviyesinde girilen sentetik deprem hareketi genlikleri, bölgesel sismik risk analizlerinden belirlenen yer hareketi parametrelerine göre üretildiği için inceleme alanının güneyinden kuzeyine doğru uzaklıkla birlikte azalım göstermektedir. Böylece, her bir kesitte anakaya seviyesinde girilen yer hareketi farklıdır ve pik ivmeleri bölgenin güneyinden kuzeyine doğru azalmaktadır.

Taban kayası rijitliğinin farklı alındığı bir boyutlu analiz sonuçları ve sönüm katsayılarının değişik şekillerde tanımlandığı iki boyutlu analiz sonuçları karşılaştırıldığında, alüvyon çökeller üzerinde yer alan noktalar için hesaplanan ivme-zaman ve spektral ivme davranışları, genellikle bir boyutlu analiz sonuçlarının ve iki boyutlu analiz sonuçlarının kendi içlerinde uyumlu, ancak bir boyutlu ve iki boyutlu analiz sonuçların oldukça farklı olduğu gözlenmektedir. Küçükçekmece Gölü kenarındaki kalın alüvyon tabakası üzerindeki 1-1' kesiti A, 2-2' kesiti A ve 5-5' kesiti A noktalarında iki boyutlu analizlerden belirlenen pik yüzey ivmesi ve maksimum spektral ivme değerleri bir boyutlu analizlerden belirlenenlerden oldukça büyüktür. Ayamama Deresi kenarındaki ince alüvyon tabakaları üzerindeki 2-2' kesiti I ve 6-6' kesiti I noktalarında tam tersi sonuçlar belirlenmiştir. Anakayanın zemin yüzüne yakın olduğu noktalarda (5-5' kesiti A, 2-2' kesiti I ve 6-6' kesiti I) iki boyutlu analizlerin sonuçları birbiriyle oldukça uyumludur. Bu noktalarda anakaya derinliği 1-1' kesiti A ve 2-2' kesiti A noktalarına göre zemin yüzüne çok daha yakındır. 1-1' kesiti A ve 2-2' kesiti A noktalarında ise bir boyutlu analizlerden elde edilen spektral ivme değerleri birbirleriyle çok uyumludur.

Bakırköy Formasyonu üzerindeki noktalarda yapılan bir boyutlu analizlerden elde edilen pik yüzey ivmesi ve maksimum spektral ivme değerleri genellikle kendi içlerinde uyumlu, iki boyutlu analizlerde ise anakayanın derinde olduğu 1-1' kesiti E ve 2-2' kesiti D noktalarında spektral ivme formları benzer ancak büyüklükleri oldukça farklıdır. Anakayanın zemin

yüzüne daha yakın olduğu 6-6' kesiti E noktasında ise iki boyutlu analizlerden belirlenen ivme ve spektral ivme değerleri birbirleriyle çok uyumludur.

Gürpınar Formasyonu üzerindeki noktalarda yapılan bir boyutlu analizlerden elde edilen ivme ve spektral ivme değerleri genellikle kendi içlerinde uyumlu, iki boyutlu analizlerde ise anakayanın derinde olduğu 2-2' kesiti B ve 4-4' kesiti C noktalarında spektral ivmeler form olarak benzer ancak büyüklükleri oldukça farklıdır. Anakayanın zemin yüzüne daha yakın olduğu 5-5' kesiti C, 6-6' kesiti B ve 3-3' kesiti C noktalarında ise iki boyutlu analizlerden belirlenen ivme ve spektral ivme değerleri birbirleriyle çok uyumludur.

Kırklareli Formasyonu üzerindeki noktada (5-5' kesiti C noktası) yapılan bir boyutlu analizlerden elde edilen ivme ve spektral ivme değerleri uyumlu değildir. İki boyutlu analizlerde ise hem ivme hem de spektral ivme değerleri birbirleriyle daha uyumludur. Bu noktada anakaya zemin yüzüne çok yakın olduğu için iki boyutlu analizlerden belirlenen ivme ve spektral ivme değerleri birbirleriyle bir boyutluya göre daha uyumludur.

İki boyutlu analizlerde iki farklı yöntemle belirlenen viskoz sönüm katsayıları oldukça geniş bir aralıkta değişim göstermektedir. Sönümün hesaplanmasında zeminin rijitliği ile çarpılan Rayleigh β katsayısının değişimi davranışı oldukça etkilemektedir. Lusas'la yapılan modal analizlerden belirlenen titreşim frekanslarıyla hesaplanan Rayleigh β değerleri, zeminin tabii periyoduna göre belirlenenlerden 4-11 kat daha büyüktür. İki boyutlu analiz sonuçlarına göre belirlenen ivme ve spektral ivme değerlerine bakıldığında, zeminin doğal periyodunun kullanılması ile elde edilen viskoz sönüm katsayıları kullanılarak yapılan analizlerden belirlenen değerler, Lusas programından bulunan viskoz sönüm katsayıları kullanılarak yapılan Plaxis analizlerinden elde edilen değerlerden daha büyüktür. Bu nedenle iki boyutlu analizlerde viskoz sönüm parametrelerinin seçiminde özellikle dikkatli olunmalıdır.

Bir boyutlu analizlerde anakaya rijitliği farklı girilerek yapılan analizlerin sonucunda, belirlenen yüzey ivmeleri, spektral ivmeler ve büyütmeler karşılaştırıldığında anakaya kayma dalgası hızının 1500 m/s olarak alındığı EERA analizlerinde belirlenen değerler kayma dalgası hızının 700 m/s olarak alındığı EERA'den belirlenen değerlerden daha büyüktür. Bu sonuçlara göre, bir boyutlu dinamik davranış analizlerinde anakaya rijitliğinin analizlerin sonuçlarını etkileyen bir parametre olduğunu göstermektedir.

Elde edilen yüzey ivmeleri ve spektral ivmelerin arazi topoğrafyası da göz önüne alınarak değerlendirme yapıldığında; tek boyutlu analizlerde, inceleme alanındaki alüvyon formasyonların yüzeylendiği düzlüklerde elde edilen yüzey ivmeleri ve spektral ivmeler,

yamaçlarda ve bölgenin orta kesimlerindeki Bakırköy formasyonunun kireçtaşları ile kaplanmış düzlüklerde elde edilen değerlere oranla, belirgin şekilde daha büyük değerlere ulaşmıştır. Buna karşın iki boyutlu analizlerde; inceleme alanının batı ve doğusundaki yamaçlarda elde edilen yüzey ivmeleri ve spektral ivmelerin diğer topoğrafik kesimlere oranla daha büyük değerler verdiği gözlenmektedir. Bu durum, dinamik zemin davranış analizlerinde ikinci boyutun etkisinin önemli olduğu olgusunu desteklemektedir. İnceleme alanındaki alüvyal düzlüklerde ve orta kesimdeki kireçtaşı düzlüklerde ise birbirleri ile benzeşen sonuçlar elde edilmiştir.

KAYNAKLAR

- Ansal, A.M., Yıldırım, H & Erken, A. (1995) "Cyclic Stress-Strain-Pore Pressure Behaviour of Soils", Proc. Of Int. Symposium on 70 Years of Soil Mechanics, Istanbul, Vol.2, pp.43-71
- Bardet, J.P., Ichii, K. and Lin, C.H.,(2000), "EERA: A Computer Program for Equivalent-Linear Earthquake Response Analyses of Layered soil Deposits", University of Southern California, Los Angeles.
- Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü, AIGM (2004) "Belediyeler İçin Sismik Mikrobölgeleme El Kitabı", DRM World Institute for Disaster Risk Management
- Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü, AIGM (1998) "Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik", Türkiye Deprem Yönetmeliği (TDY)".
- Boore, D. M., Joyner, W. B. And Fumal, T.E. (1997), "Equations for Estimating Horizontal Response Spectra and Peak Acceleration from Western North American Earthquakes: A summary of recent work", Seismological Research Letters, Vol.68, No.1, pp.128-153.
- Britton, Jr., Harris, JB., Hunter, JA., Luternauer, JL.(1995), "The Bedrock Surface Beneath the Fraser River Delta from Seismic Measurement" Geological Survey Canada
- BSSC-Building Seismic Safety Council (2001), "NEHRP (National Earthquake Hazards Reduction Program) Recommended Provisions for Seismic Regulations for New Buildings and Other Structures", 2000 Edition, Part I: Provisions FEMA 302.
- Campell, K. W., (1997), "Empirical Near-Source Attenuation Relationships for Horizontal and Vertical Components of Peak Ground Acceleration, Peak Ground Velocity and Pseudo-Absolute Acceleration Response Spectra" Seism, Res. Lett., Vol.68, No.1, 154-179.
- Deodatis, G., (1996), "Non-Stationary Stochastic Vector Processes: Seismic Ground Motion Applications" Probabilistic Engineering Mechanics, 11, pp. 145-168.
- Dizer, A.,(1951), "Küçükçekmece-Çatalca Arasındaki Nummuliğin Paleontolojik Etüdü", İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi Monografileri, Sayı: 13, İstanbul.
- Erdik, M., Demircioğlu, M., Şeşetyan, K., Durukal, E., Siyahi, B., "Earthquake Hazard in Marmara Region, Turkey", Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Vol.21, pp.605-631
- Fevziye, A., Biricik, H., Yüzer,N., (1994), "Barshan Mermer Sanayi ve Ocak İşletmeciliğine ait Küfeki Doğal Taşında Yapılan Fiziksel ve Mekanik Deney Sonuçları Raporu",YTÜ İnşaat Fak., İnşaat Müh. Bölümü, Yapı Malz. ABD., İstanbul.
- Haşal, M.E., (2003), " Topoğrafik Düzensizliklerin Zemin Büyütmesine Etkisi", Doktora Tez İlerleme Raporu, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul
- Idriss, I.M., (1990), "Response of Soft Soil Sites during Earthquakes", Proceedings, Memorial Symposium to Honor Professor Harry Bolton Seed, Berkeley, California, Vol II, May.
- İyisan, R., (1996), "Geoteknik Özelliklerin Belirlenmesinde Sismik ve Penetrasyon Deneylerinin Karşılaştırılması", Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- JICA and IMM, (2001), "The Study on a Disaster Prevention/Mitigation Basic Plan in İstanbul Including Seismic Microzonation in the Republic of Turkey", Field Report, Vol.3, Appendix 3 and 4

Kılıç, H., Adatepe, Ş., Tohumcu, Ö., P., Yıldırım, M. and Özaydın, K., (2005), "Evaluation of Küçükçekmece Region with Respect to Soil Amplification" 16 th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, pp.2667-2672, 12-16 September, Osaka, Japan.

Kılıç, H., Adatepe, Ş., Tohumcu, Ö. P., Yıldırım, M., ve Özaydın, K., (2004), "Küçükçekmece Sefaköy Yerleşim Bölgelerinin Yamaç Kayması Tehlikesine göre Sismik Mikro-Bölgelenmesi" Sayfa 517-526, Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Onuncu Ulusal Kongresi, İstanbul Teknik Üniversitesi

Kramer S.L., (1996), Geotechnical Earthquake Engineering, Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, USA

Lee, M.K.W., Finn, W.D.L., (1978), "DESRA-2 Dynamic Effective Stress Response Analysis of Soil Deposits with Energy Transmitting Boundary Including Assessment of Liquefaction Potential", Soil Mechanics Series No:38, University of British Columbia, Vancouver.

MERM (2003), Microzonation Manual, World Institute for Disaster Risk Management.

NEHRP (1997), Recommended Provisions for Seismic Regulations for New Buildings and Other Structures, FEMA-303, Prepared by the Building Seismic Safety Council for the Federal Emergency Management Agency, Washington, DC.

Okur, V., and Ansal, A., (2001), "Dynamic Characteristics of Clays under Irregular Cyclic Loadings", XVth ICSMGE TC4 Satellite Conference, 267-270, İstanbul

Özaydın, K., Yıldırım, S. and Yıldırım, M. (2002) "İstanbul İli Küçükçekmece İlçesi Sefaköy ve Küçükçekmece Bölgelerinin Jeolojik ve Jeoteknik Etüd Raporu ve Yerleşime Uygunluk Açısından Değerlendirilmesi" Yıldız Teknik Üniversitesi Geoteknik Anabilim Dalı, İstanbul.

Özaydın, K., (2001), "Kurs Notları", İnşaat Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi Yayınları.

Özaydın, K., (1982), "Zemin Dinamiği", Deprem Mühendisliği Türk Milli Komitesi Yayınları

Papageorgiou, A., Halldorsson, B. And Dong, G. (2000), TARSCHTS: "Target Acceleration Spectra Compatible Time Histories" University of Buffalo, Dept. Of Civil, Structural and Environmental Engrg., NY.

Plaxis 7.2, (2002), "Finite Element Program", Dynamics Manual, Delft University, Netherlands

Rathje, M. Ellen and Bray, D. J., "One and Two Dimensional Seismic Analysis of Solid Waste Landfills", (2001), Canadian Geotechnical Journal, vol38, p.850-862

Rogers, G.C., Cassidy, C.F., Weichter D.H., "Variation in Earthquake Ground Motions on the Fraser Delta from Strong Motion Seismograph Records", (1997), GSC Fraser Delta, Vol.1997; in press

Sadigh, K., Chang, C.Y., Egan, J. A., Makdisi, F. and Youngs, R. R. (1997) "Attenuation Relationships for Shallow Crustal Earthquakes Based on California Strong Motion Data", Seismological Research Letters, Vol.68, No.1, pp.180-189.

Seed, H. B., Idriss, I.M., (1970) "Soil Moduli and Damping Factors for Dynamic Response Analysis", Report No. UCB/EERC-70/10, Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, December, 48p.

Schnabel, P.B., Lysmer, J., Seed, H.B., (1972), "SHAKE: a Computer Program for Earthquake Response Analysis of Horizontally Layered Sites", Report EERC 72-12, Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley

Siyahi, B. G. And Ansal, A. M (1993) "Microzonation for Slope Failures During Earthquakes" Proc. of 2nd Turkish National Earthquake Engineering Conf. 563-572.

Siyahi, B. and Fahjan, Y. (2003), " Landslide Hazards" Chapter 8, Report on Microzonation of Pilot Areas Adapazarı, Gölcük, İhsaniye and Değirmendere" Case Studies-Part 2C.

Tohumcu, P., Kılıç, H., Özaydın, K., "Yerel Zemin Koşullarının Depremler Sırasında Yapısal Davranış Üzerinde Etkileri Yönünden Sınıflandırılması", Yıldız Teknik Üniversitesi, Beşiktaş-İstanbul

Vucetic, M. and Dobry, R. (1991), "Effect of Soil Plasticity on Cyclic Response", Journal of Geotechnik Engineering, ASCE, Vol.117, No.1, pp 89 -107

W.D.Liam Finn, E. Zhai, T. Tharavaj, X.-S. Hao, C.E. Ventura(2001) "1-D and 2-D Analyses of Weak Motion Data in Fraser Delta from 1966 Duvall Earthquake", Soil Dynamics and Earthquake Engineering, vol 23, p.323,329

Yıldırım, M., Savaşkan, E., (2002), "İstanbul Tersiyer Çökellerinin Stratigrafisi ve Mühendislik Özellikleri", Uluslararası Mühendislik Jeolojisi Türk Milli Komitesi (MJTMK) Bülteni, 25. Yıl, sayı 18, sayfa 48-62.

Youd, T.L., Idriss, I. M., Andrus, R. D., Arango, I., Castro, G., Christian, J.T., Dobry, R., Finn, W. D. L., Harder, L. F. Jr., Hynes, M. E., Ishihara, K., Koester, J. P., Liao, S. S. C., Marcuson, W. F. III., Martin, G. R., Mitchell, J. K., Moriwaki, Y., Power, M. S., Robertson, P. K., Seed, R. B., and Stokoe, K. H., II. (2001) "Liquifaction resistance of soils: Summary Report from the 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF Workshops on evaluation of liquifaction resistance of soils", ASCE Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 127 (10):817-833.

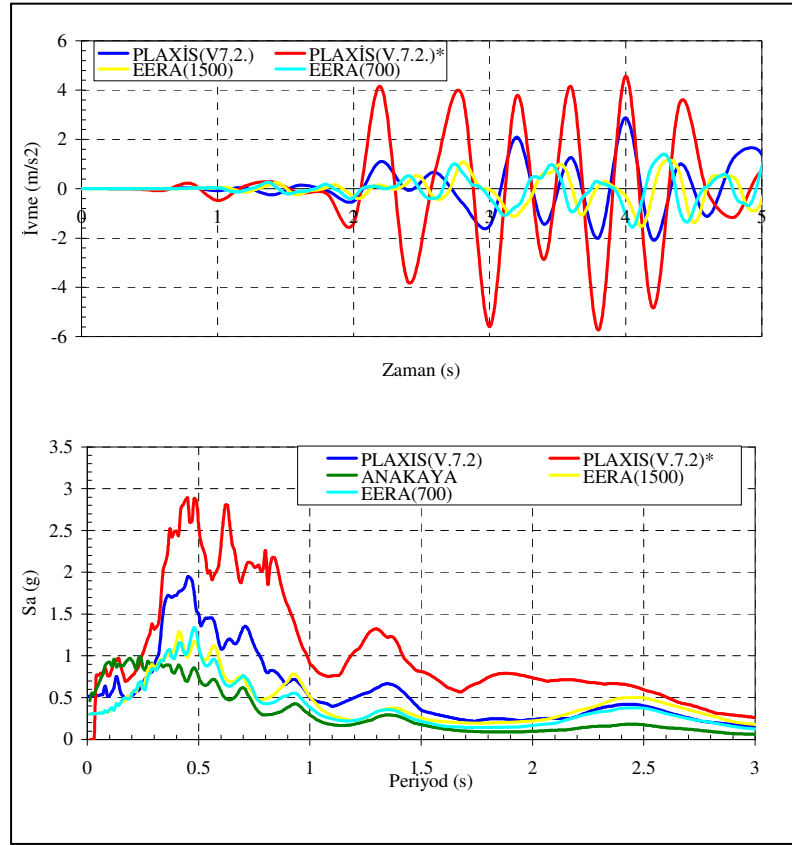
Youngs, R.R and Coppersmith, K.J. (1985), "Implications of fault slip rates and earthquake reoccurrence models to probabilistic seismic hazard estimates" Bulletin of the Seismological Society of America, Vol.75, No.4, pp.939-964.

EKLER

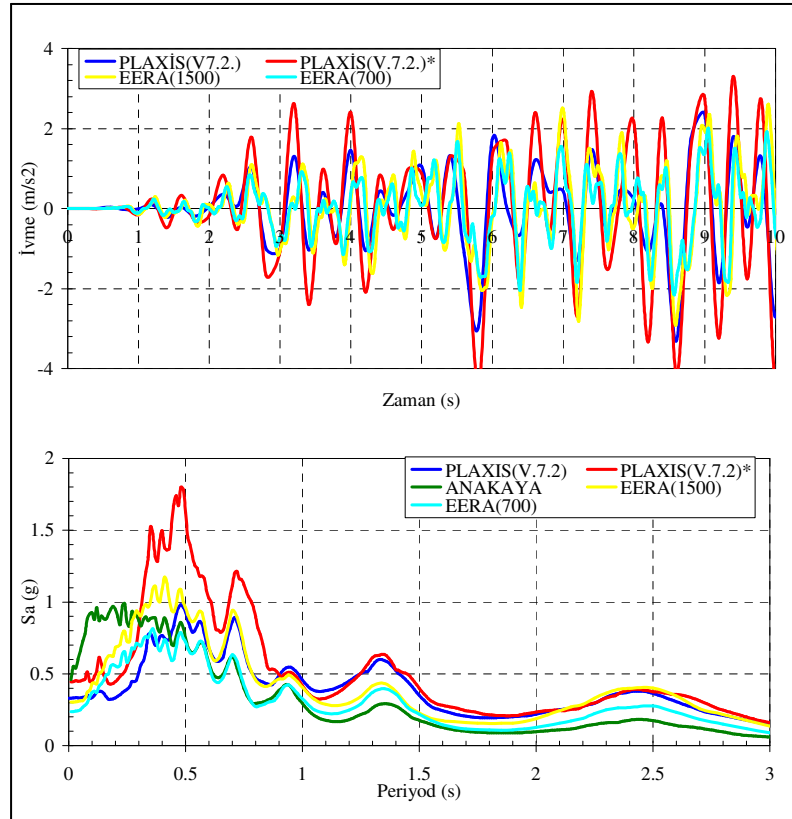
Ek-1: İnceleme alanında analiz yapılan diğer noktalarda elde edilen sonuçlar

Yapılan bir ve iki boyutlu analizlerden, zemin yüzünde belirlenen ivme-zaman, spektral ivme ve zemin büyütmesi değerleri kesitler üzerinde seçilen 15 noktada Bölüm 6'da karşılaştırılmıştır. Bunların dışında kalan Şekil 5.1'de gösterilen diğer 30 noktada elde edilen sonuçlar ise bu bölümde Şekil Ek-1.1 - Şekil Ek-1.15'de verilmiştir.

Ek-2 : İnceleme yapılan Jeolojik Zemin Kesitleri

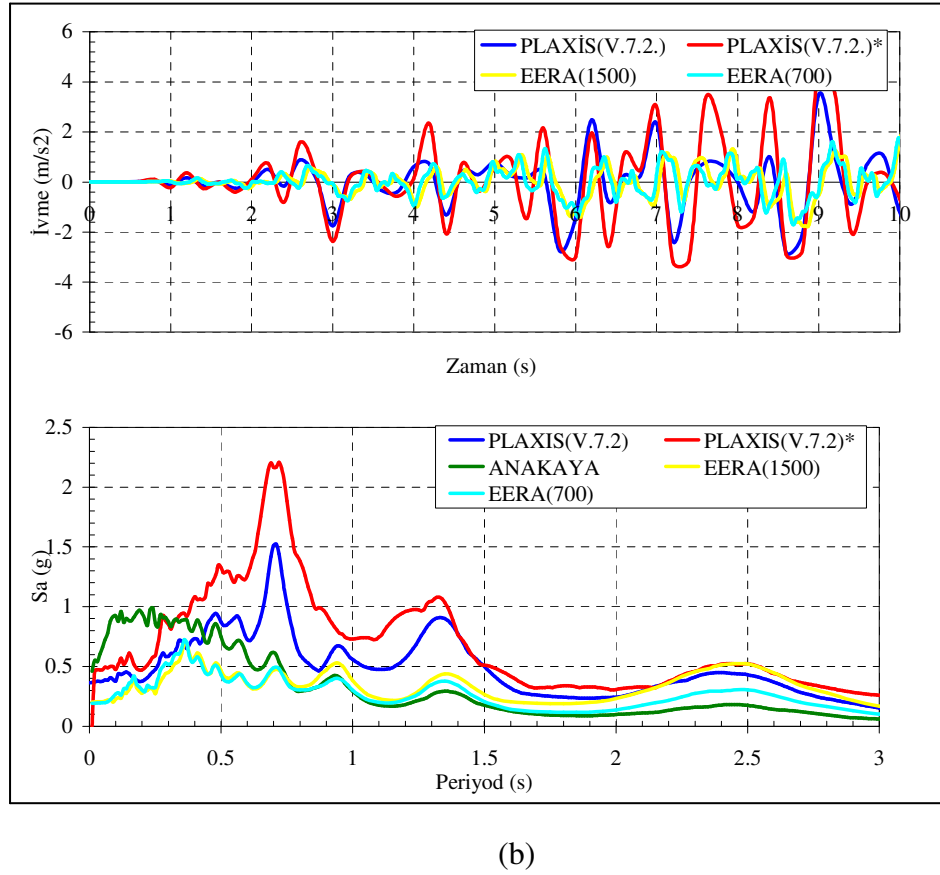
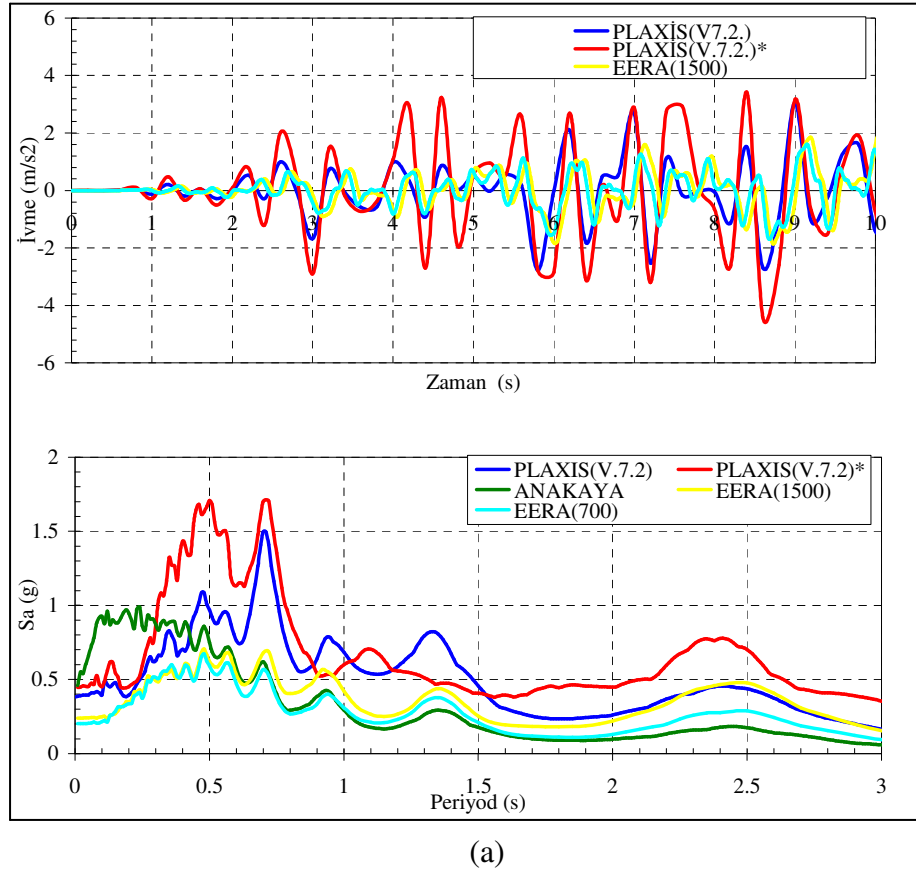


(a)

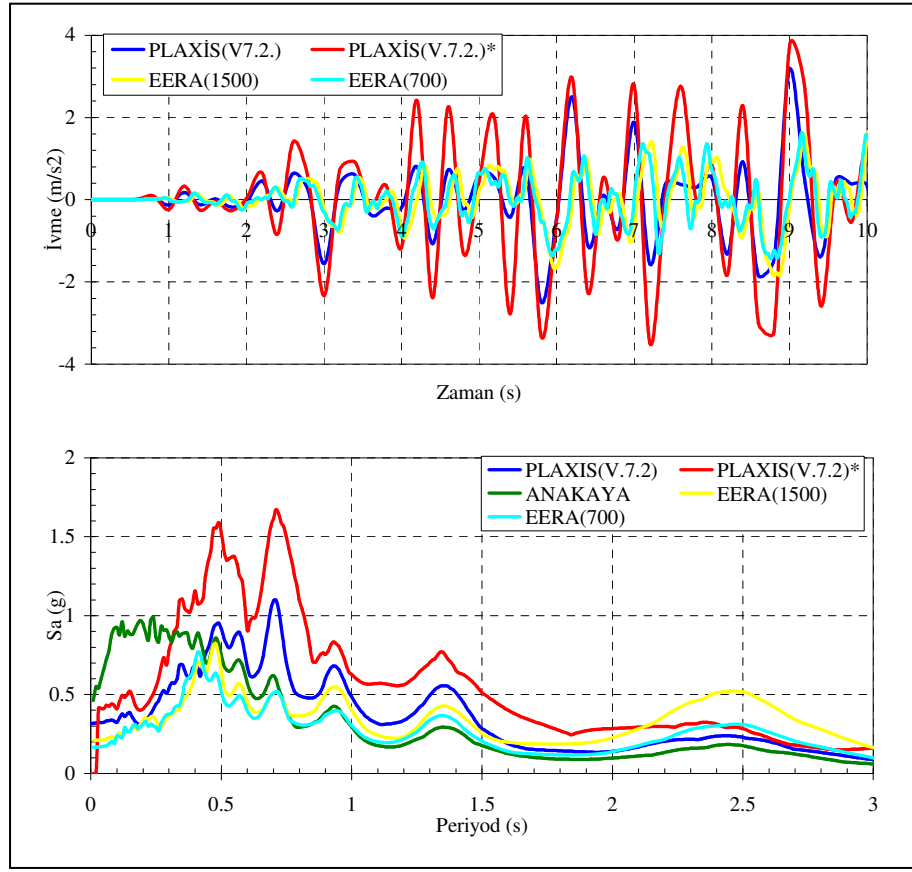


(b)

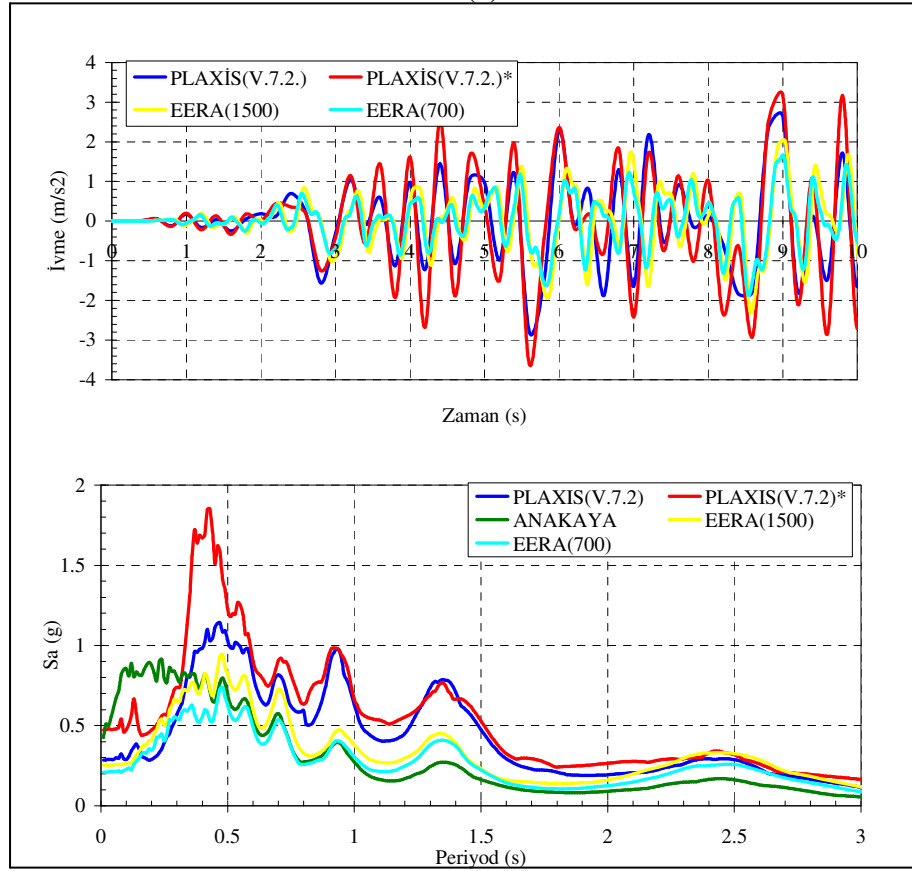
Şekil Ek-1.1 İvme-zaman ve spektral ivme grafikleri (a) (1-1') B noktası, (b) (1-1')C noktası



Şekil Ek-1.2 İvme-zaman ve spektral ivme grafikleri (a) (1-1') D noktası, (b) (1-1') F noktası

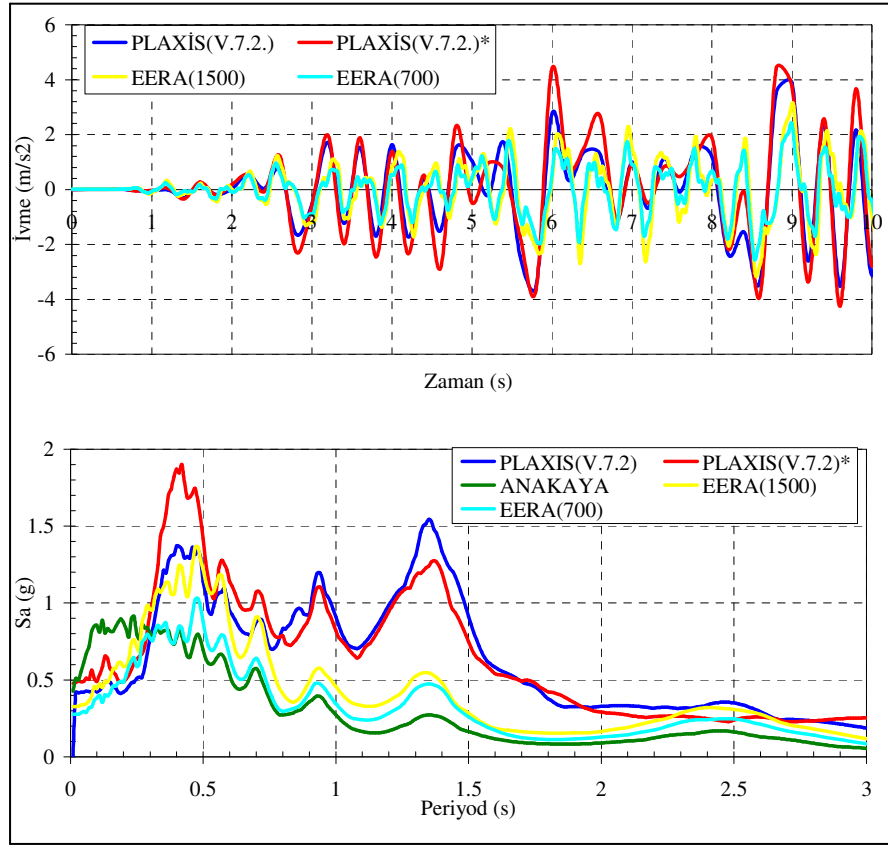


(a)

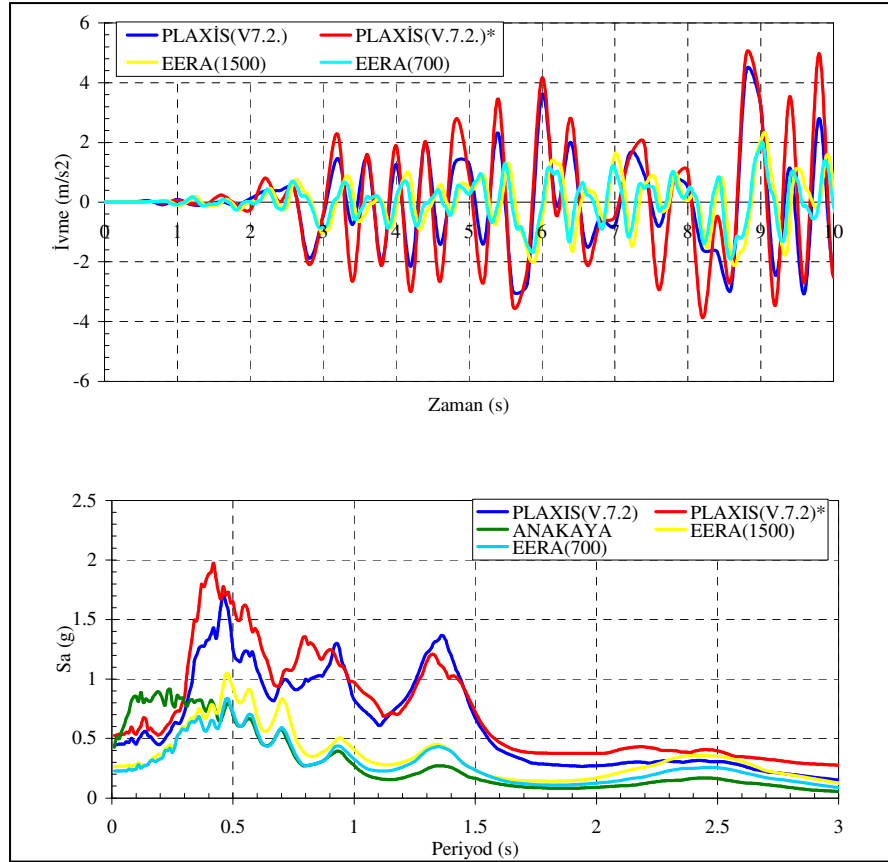


(b)

Şekil Ek-1.3 İvme-zaman ve spektral ivme grafikleri (a) (1-1') G noktası, (b) (2-2') C noktası

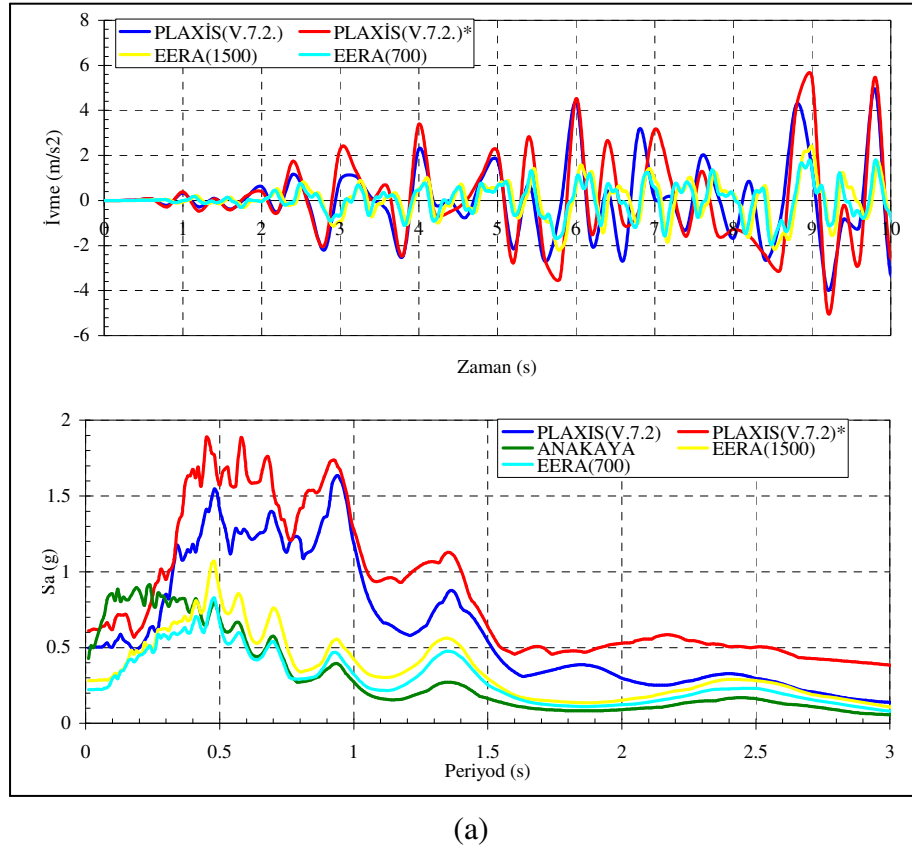


(a)

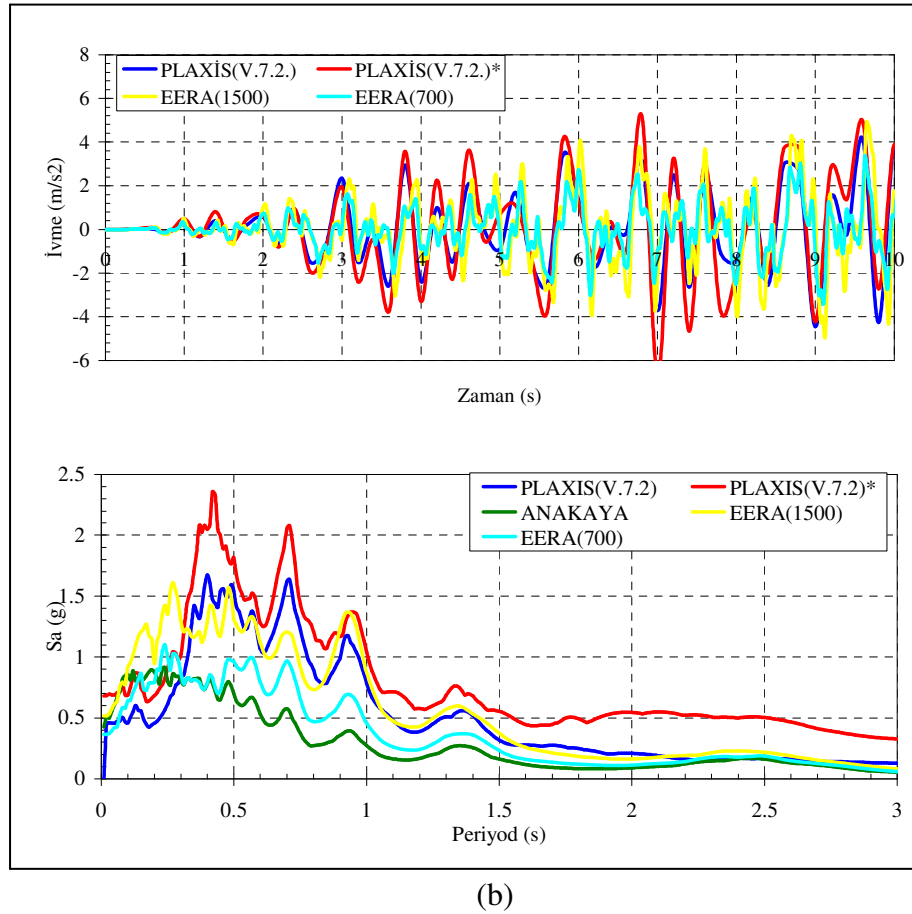


(b)

Şekil Ek-1.4 İvme-zaman ve spektral ivme grafikleri (a) (2-2') E noktası, (b) (2-2') F noktası

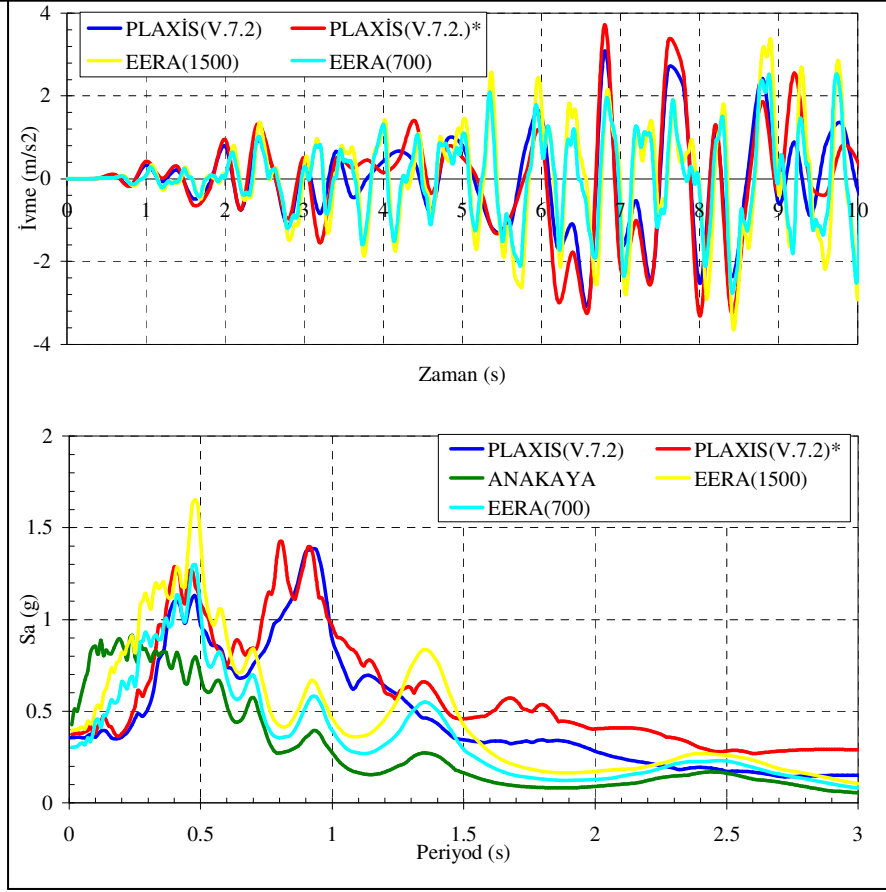


(a)

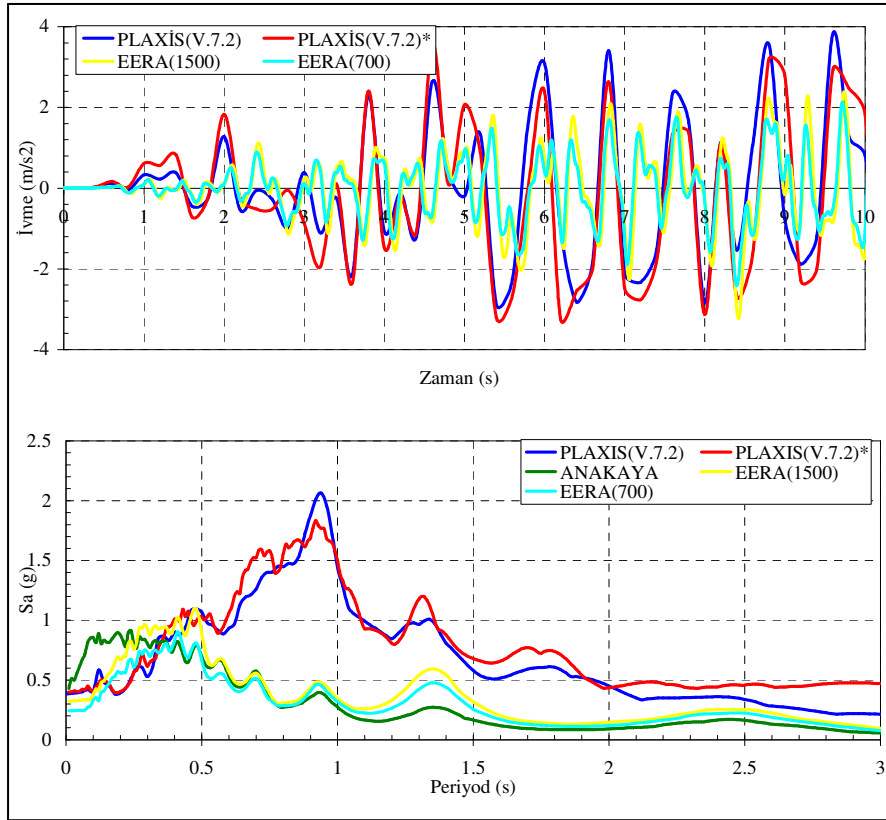


(b)

Şekil Ek-1.5 İvme-zaman ve spektral ivme grafikleri (a) (2-2') G noktası, (b) (2-2') H noktası

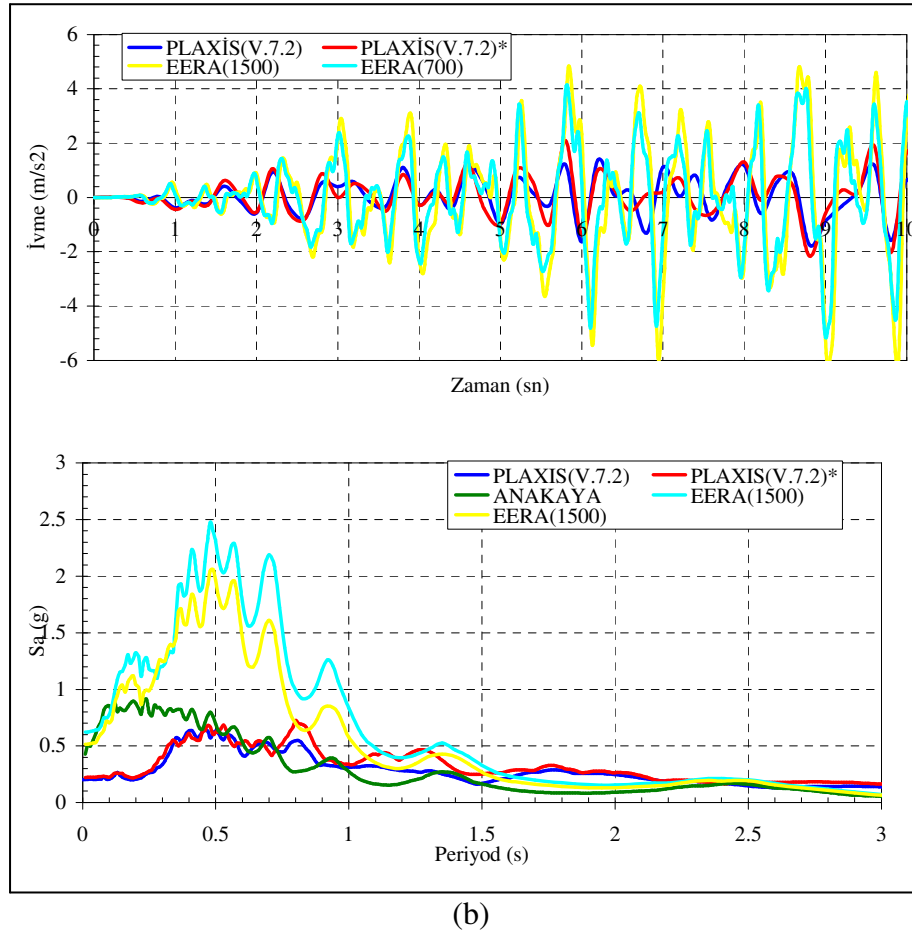
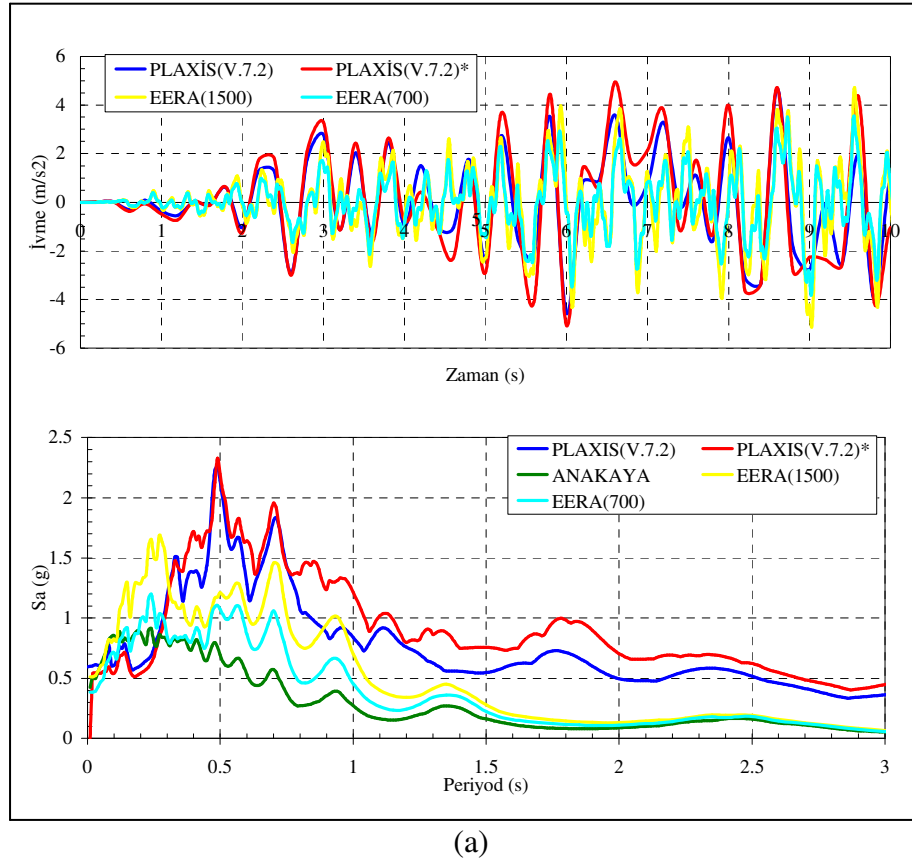


(a)

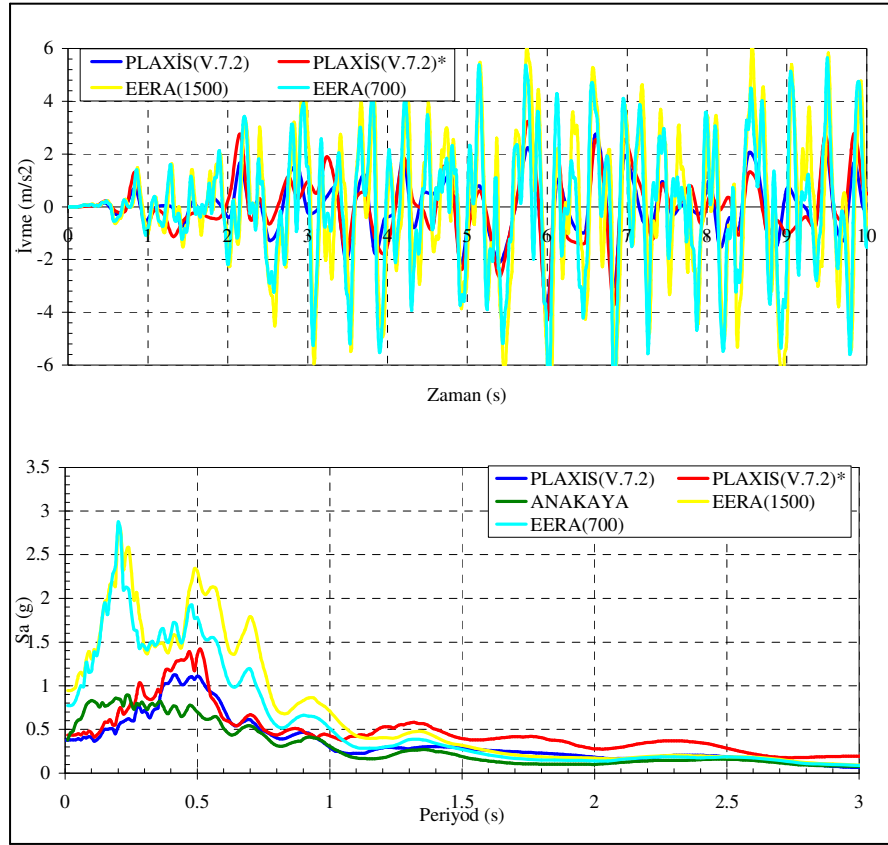


(b)

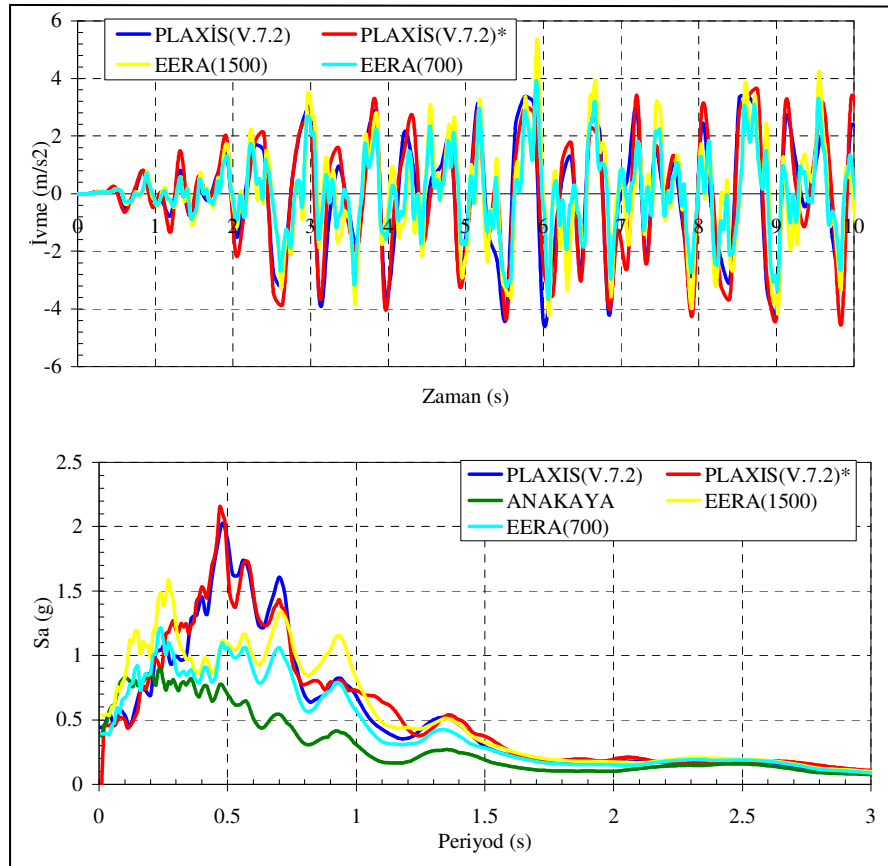
Şekil Ek-1.6 İvme-zaman ve spektral ivme grafikleri (a) (3-3') A noktası, (b) (3-3') B noktası



Şekil Ek-1.7 İvme-zaman ve spektral ivme grafikleri (a) (3-3') D noktası, (b) (3-3') E noktası

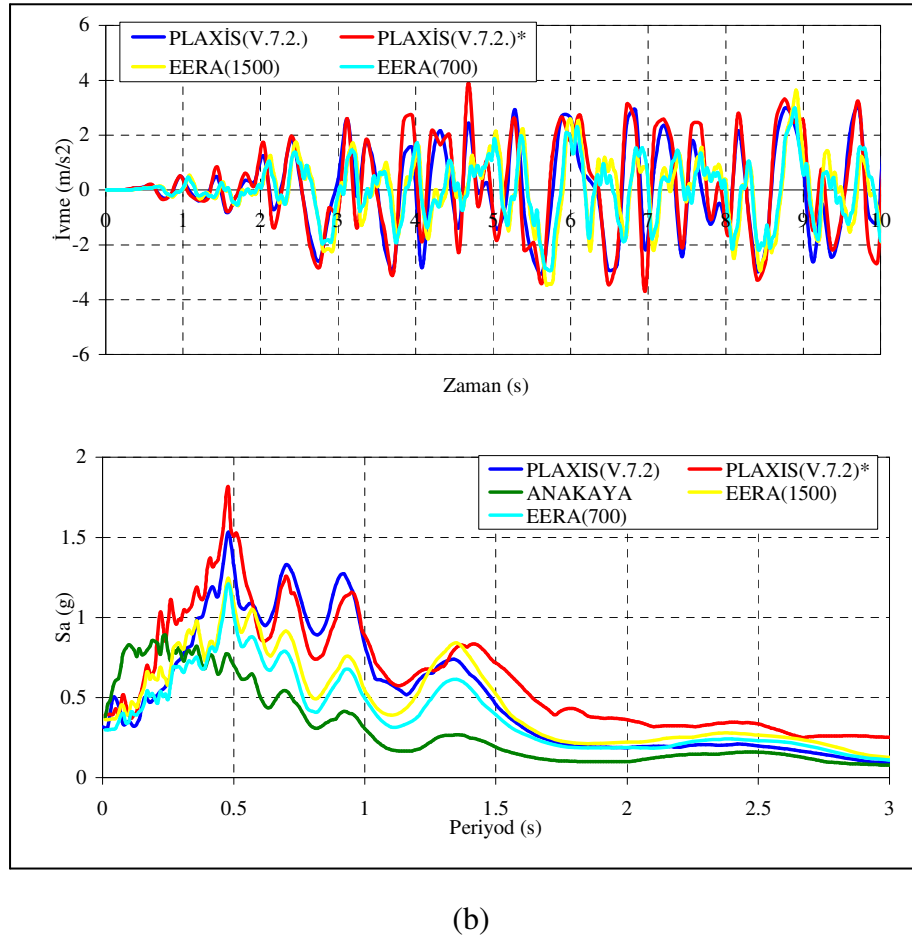
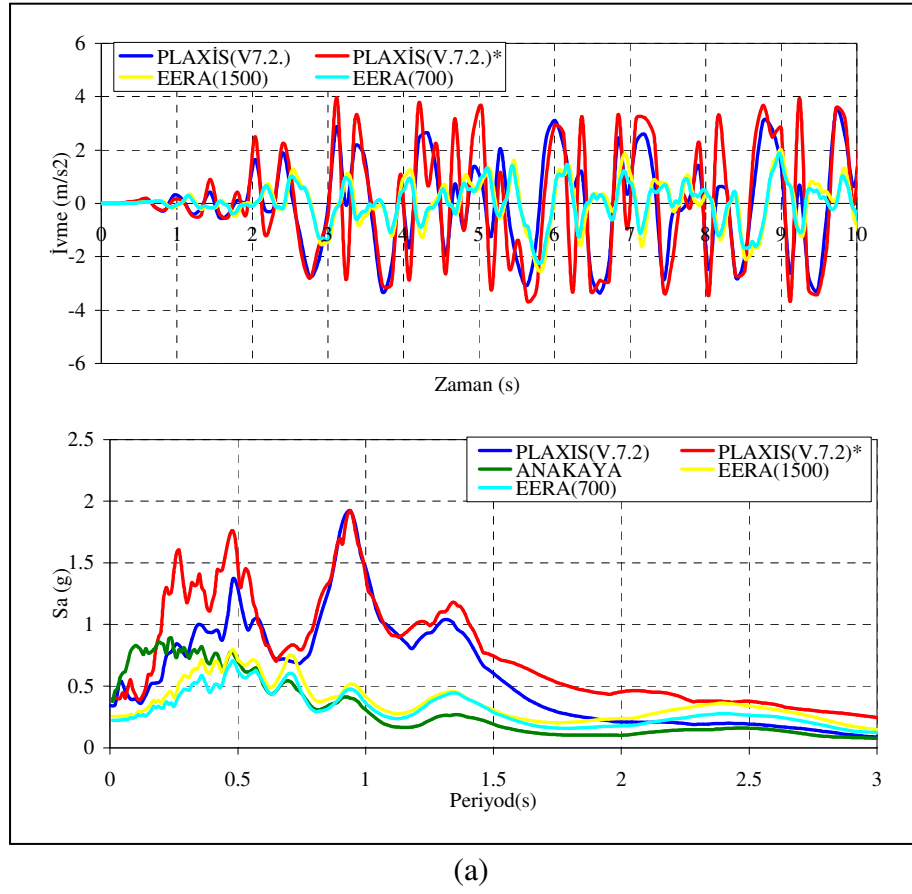


(a)

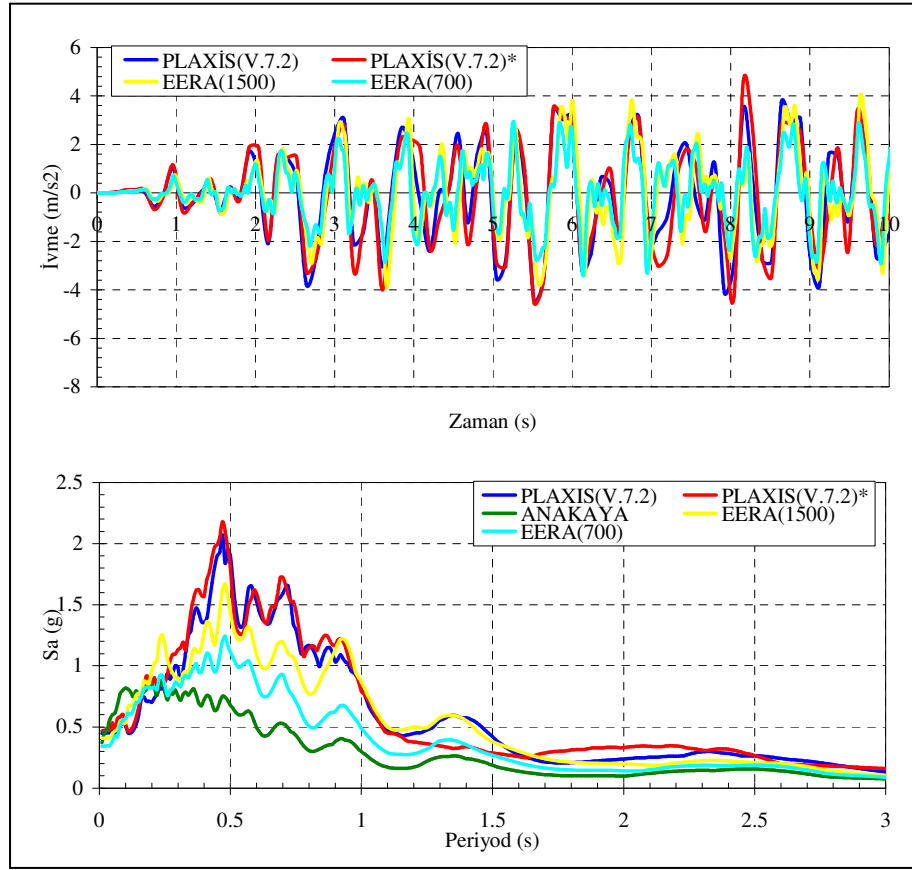


(b)

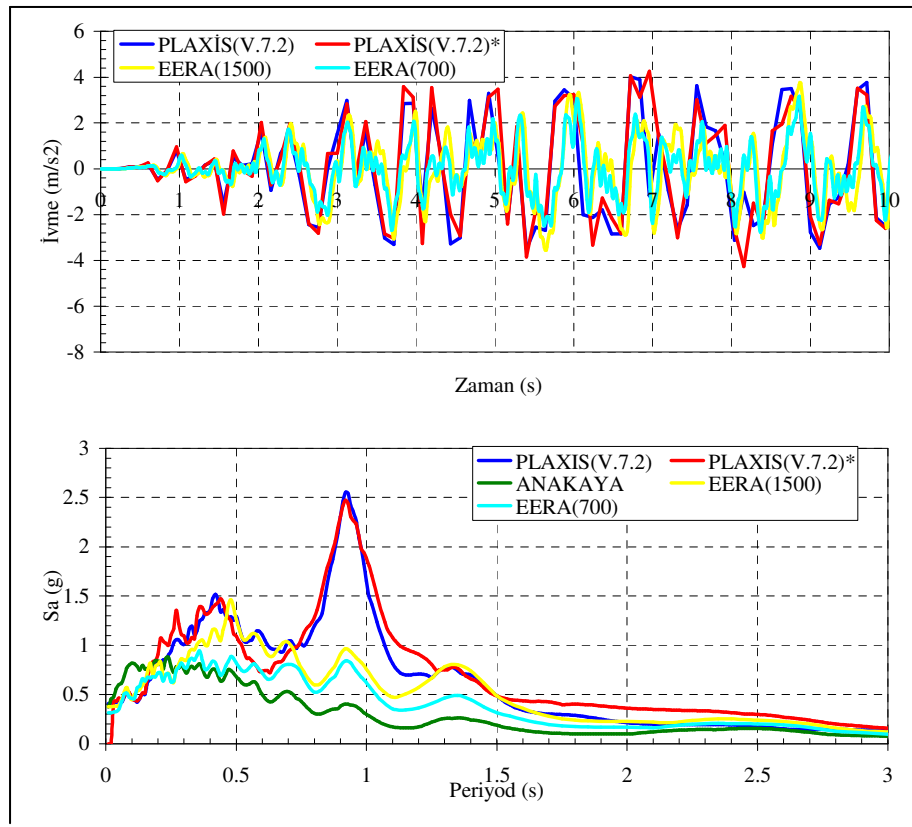
Şekil Ek-1.8 İvme-zaman ve spektral ivme grafikleri (a) (4-4') A noktası, (b) (4-4') B noktası



Şekil Ek-1.9 İvme-zaman ve spektral ivme grafikleri (a) (4-4') E noktası, (b) (4-4') F noktası

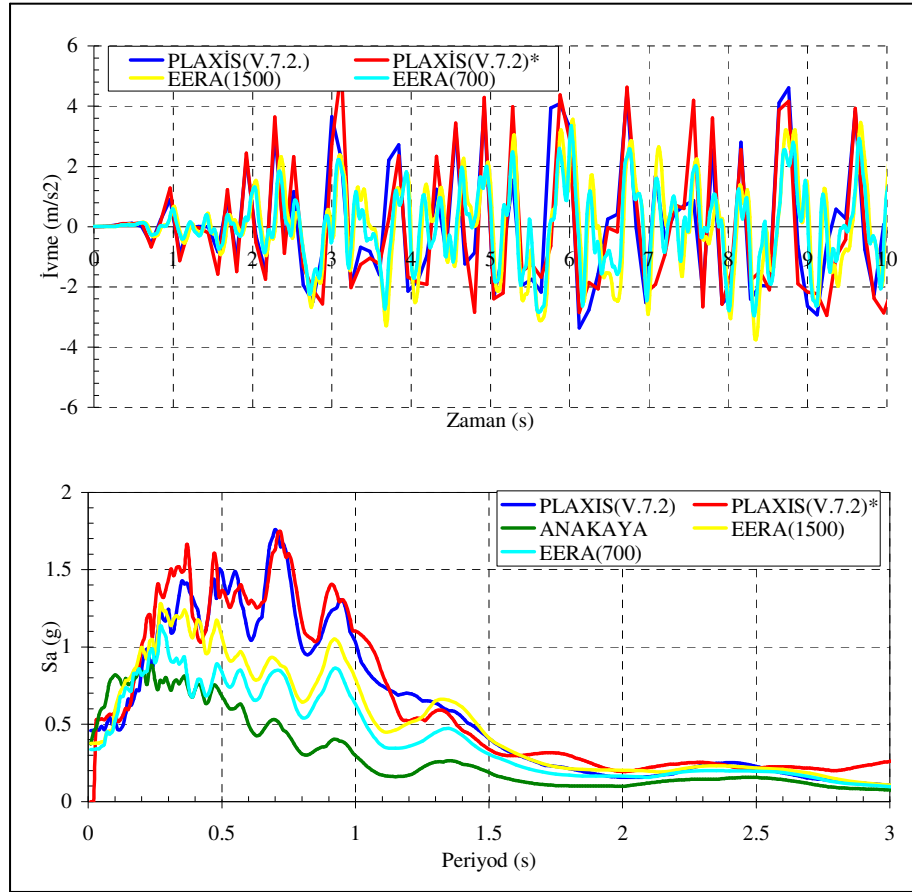


(a)

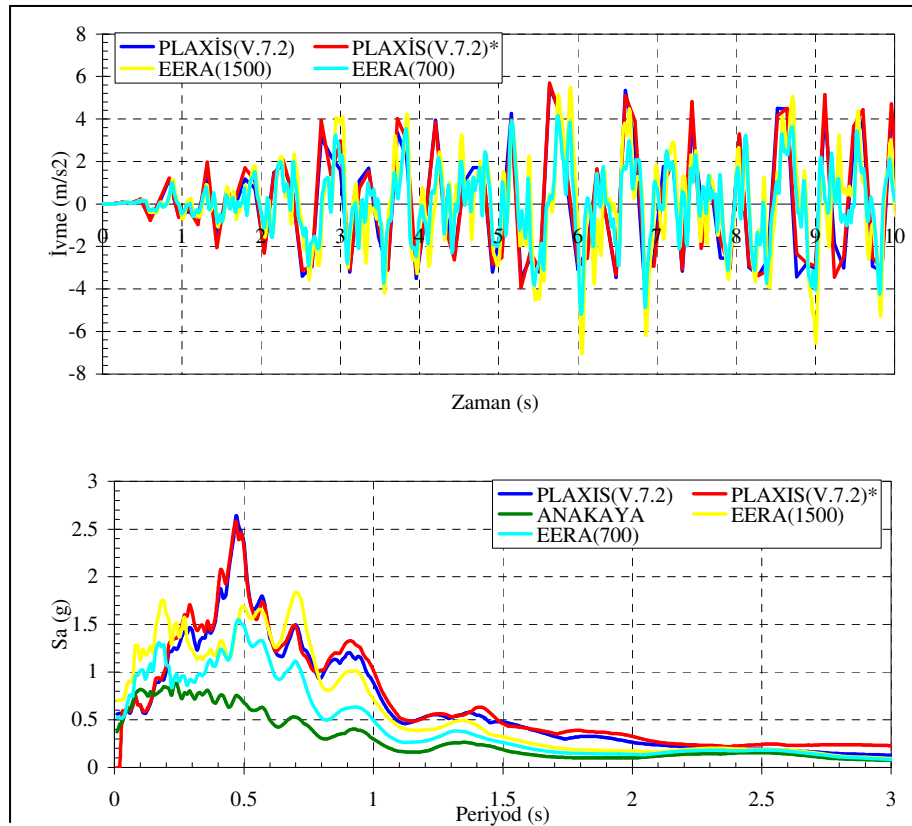


(b)

Şekil Ek-1.10 İvme-zaman ve spektral ivme grafikleri (a) (5-5')D noktası, (b) (5-5')E noktası

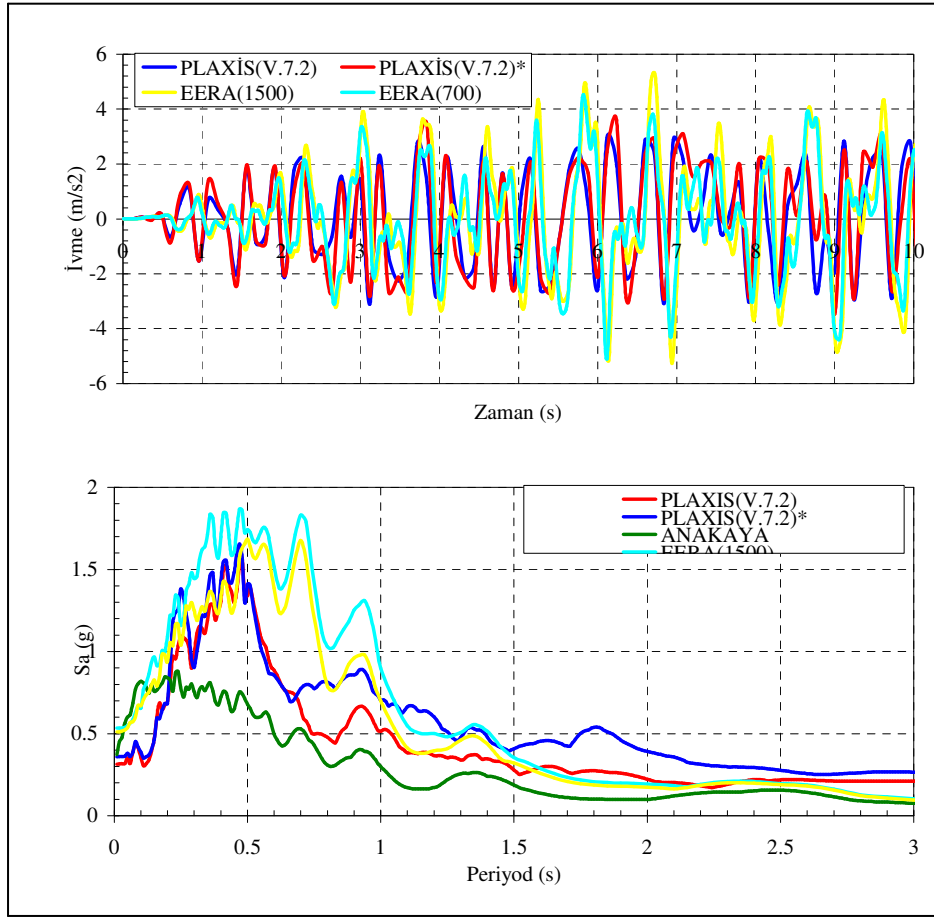


(a)

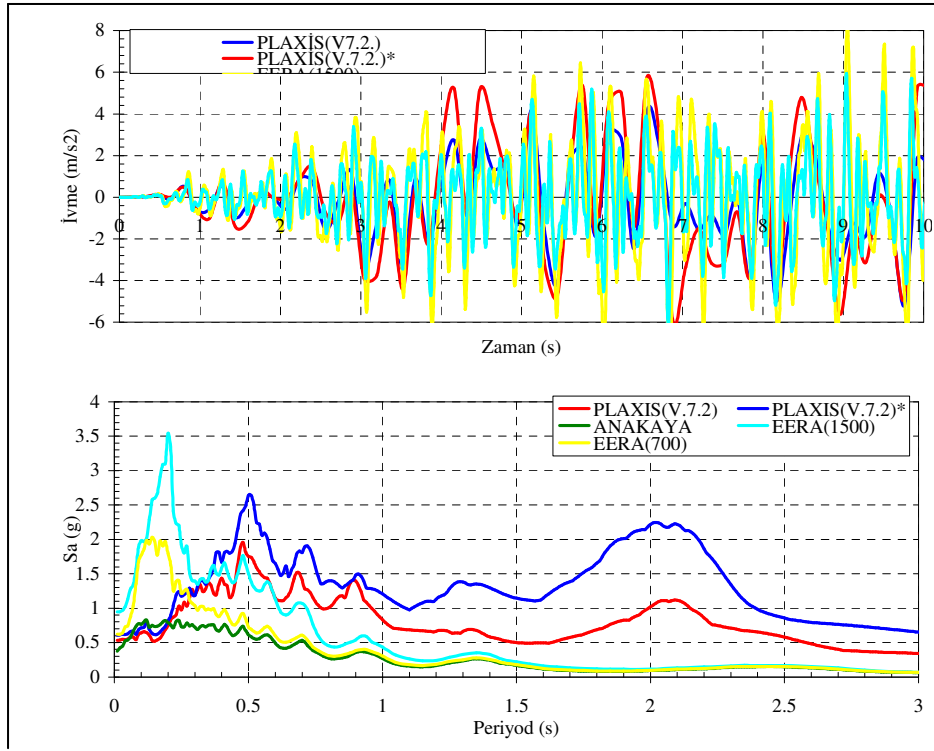


(b)

Şekil Ek-1.11 (5-5) F ve (5-5') G noktalarında ivme-zaman ve spektral ivme grafikleri

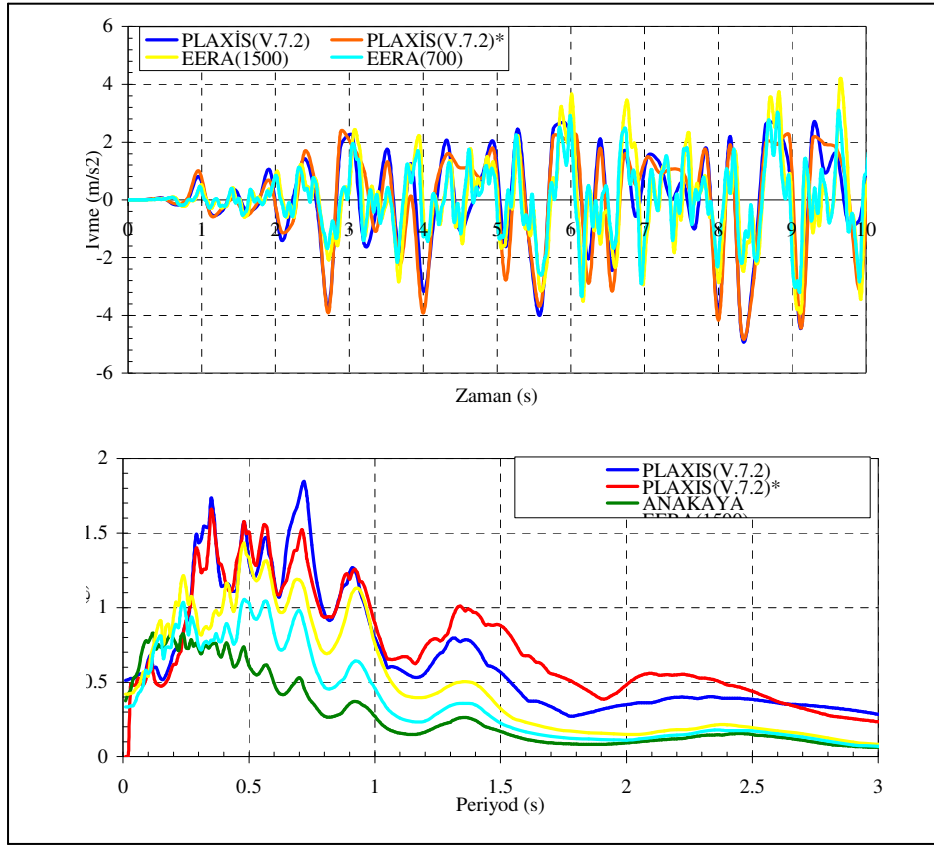


(a)

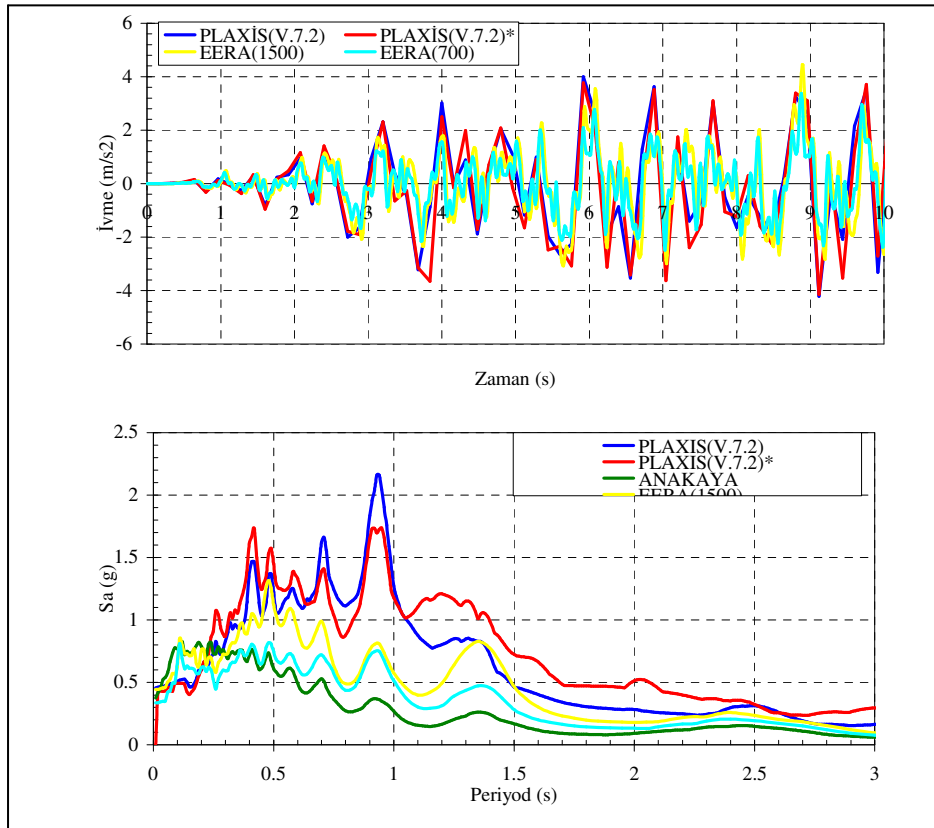


(b)

Şekil Ek-1.12 İvme-zaman ve spektral ivme grafikleri (a) (5-5')H noktası, (b) (6-6')A noktası

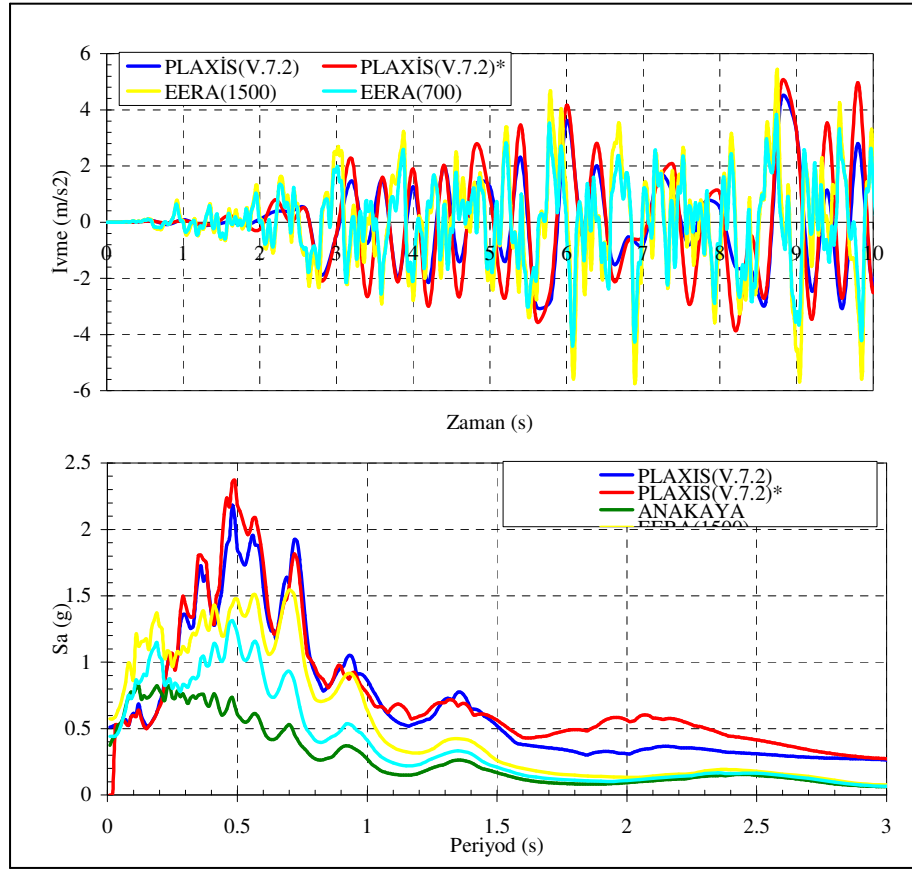


(a)

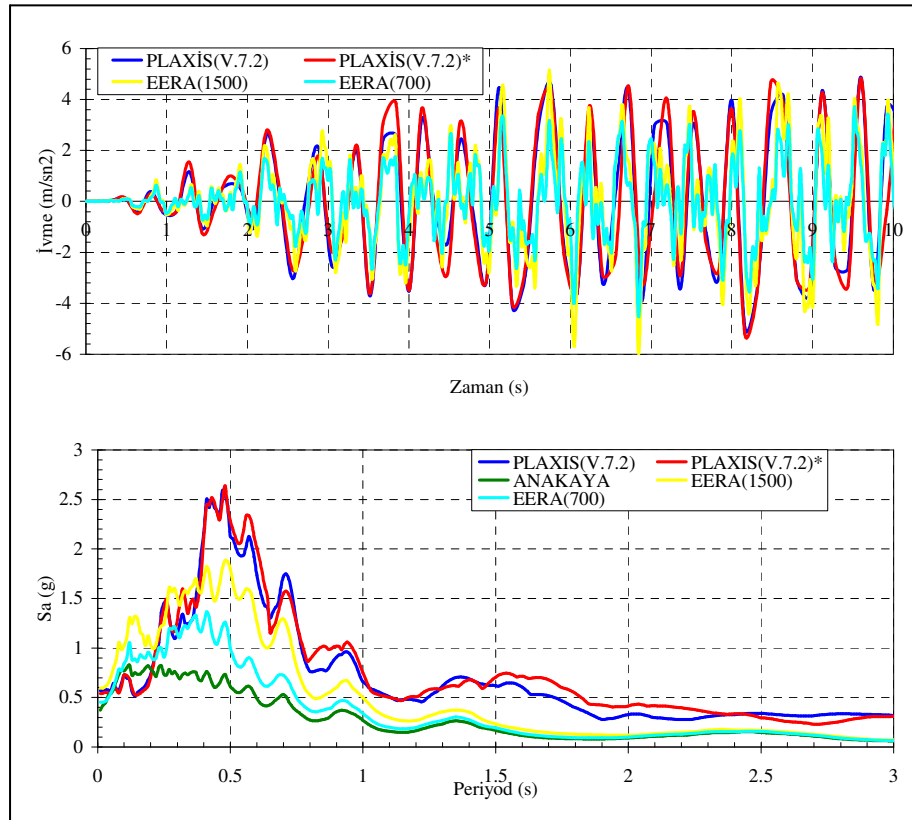


(b)

Şekil Ek-1.13 (6-6) C ve (6-6') D noktalarında ivme-zaman ve spektral ivme grafikleri

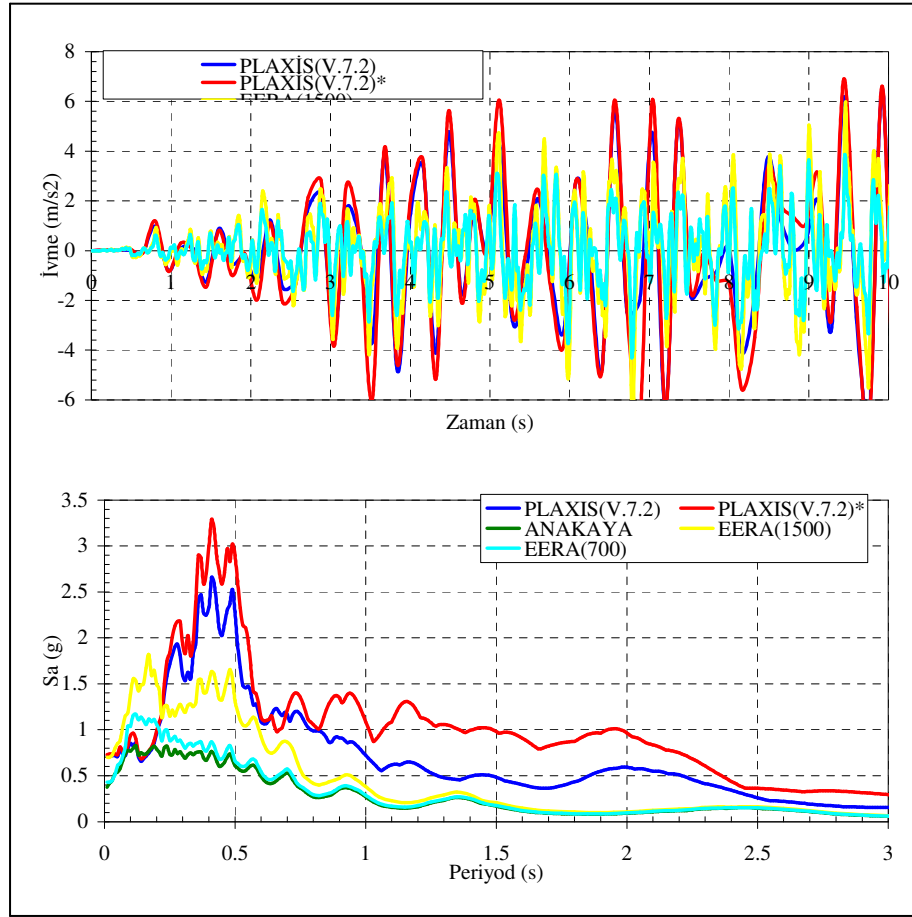


(a)



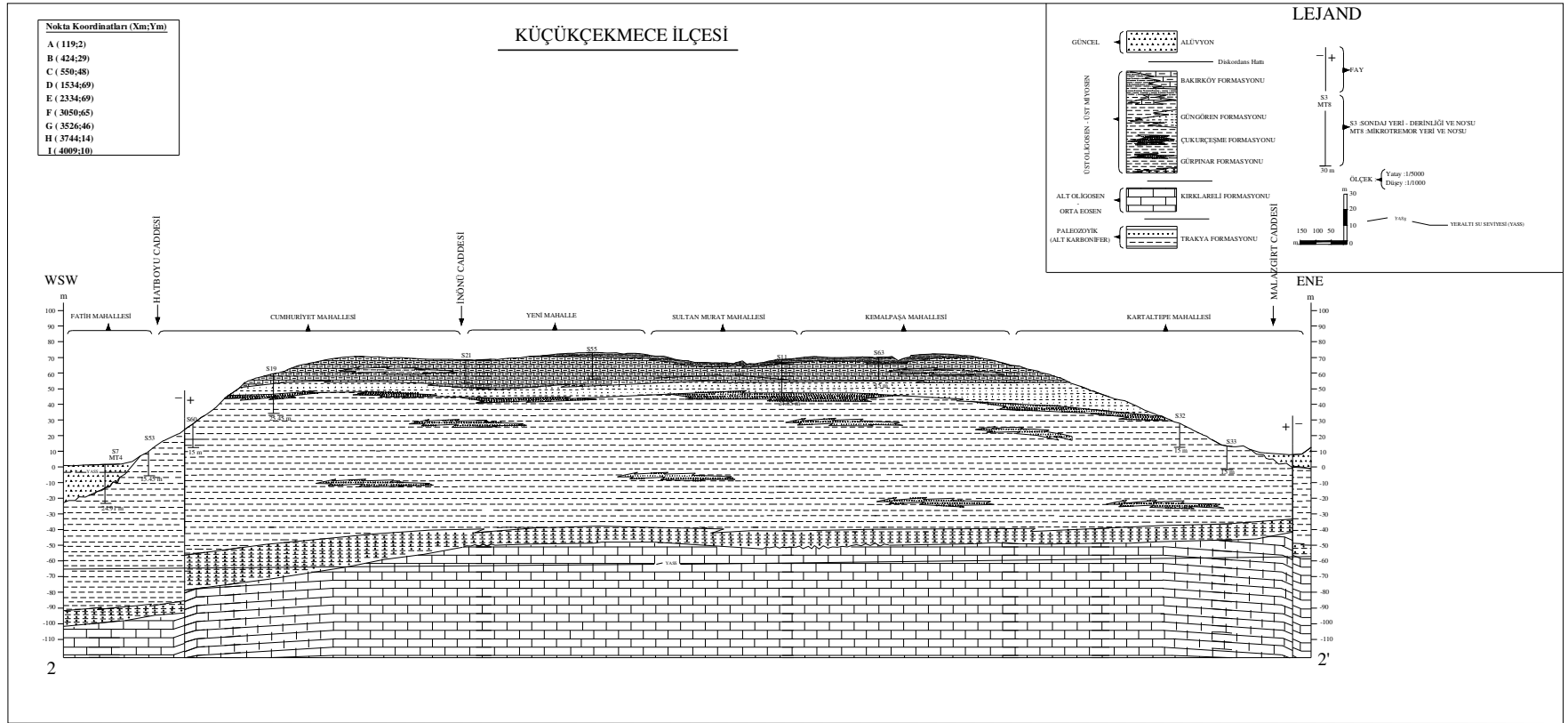
(b)

Şekil Ek-1.14 (6-6) F ve (6-6') G noktalarında ivme-zaman ve spektral ivme grafikleri



Şekil Ek-1.15 (6-6') H noktasında ivme-zaman ve spektral ivme grafikleri

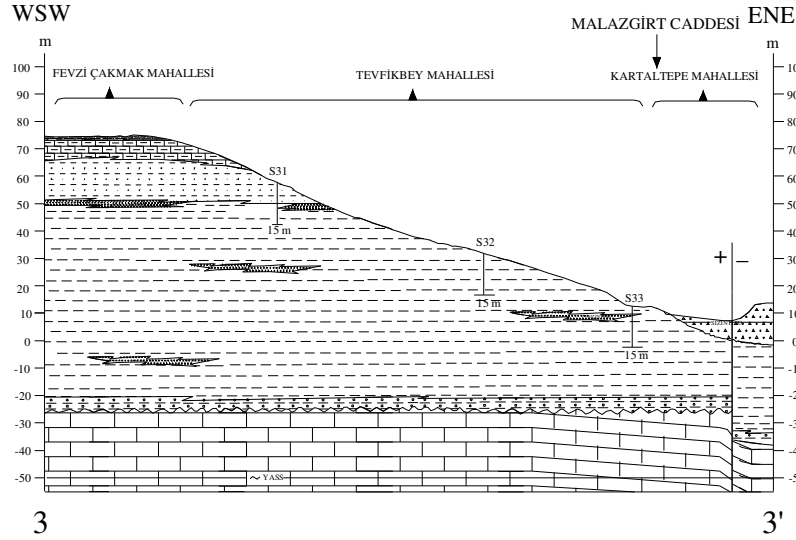
Şekil Ek-2.2.2-2' Kesiti



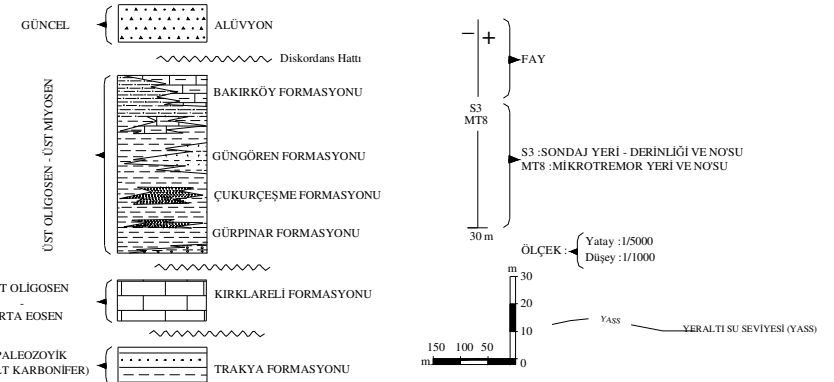
KÜÇÜKÇEKMECE İLÇESİ

Nokta Koordinatları (Xm;Ym)

A (95;74)
B (347;65)
C (596;43)
D (841;30)
E (1282;11)



LEJAND

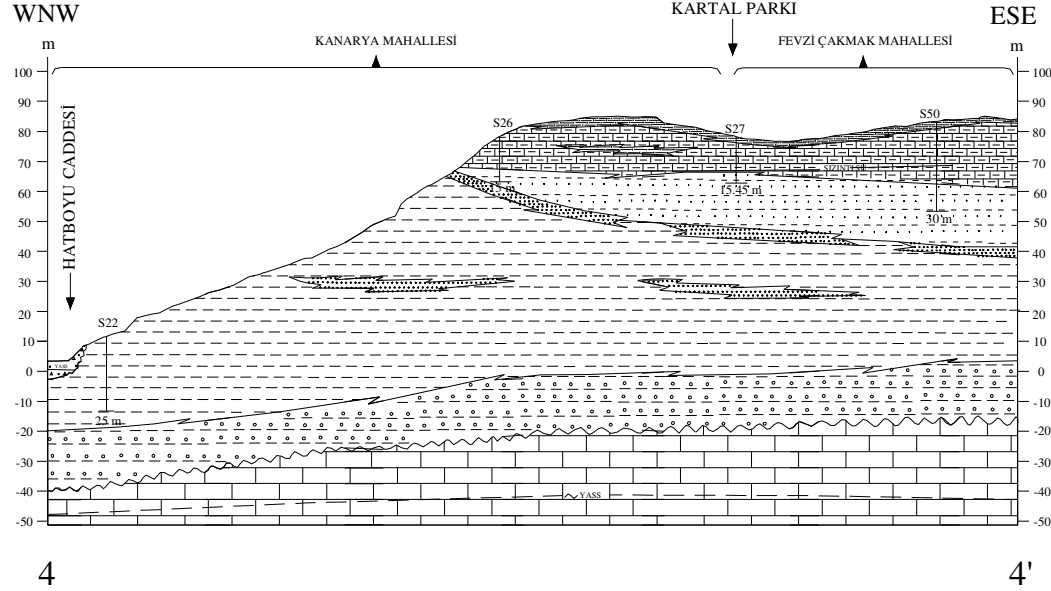
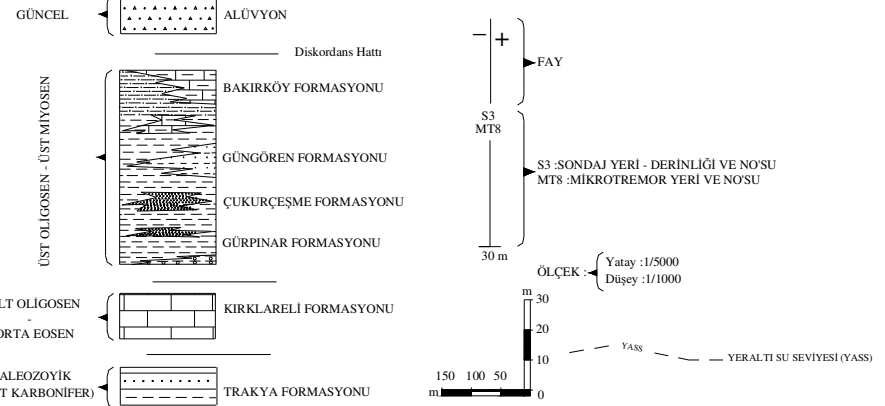


KÜÇÜKÇEKMECE İLÇESİ

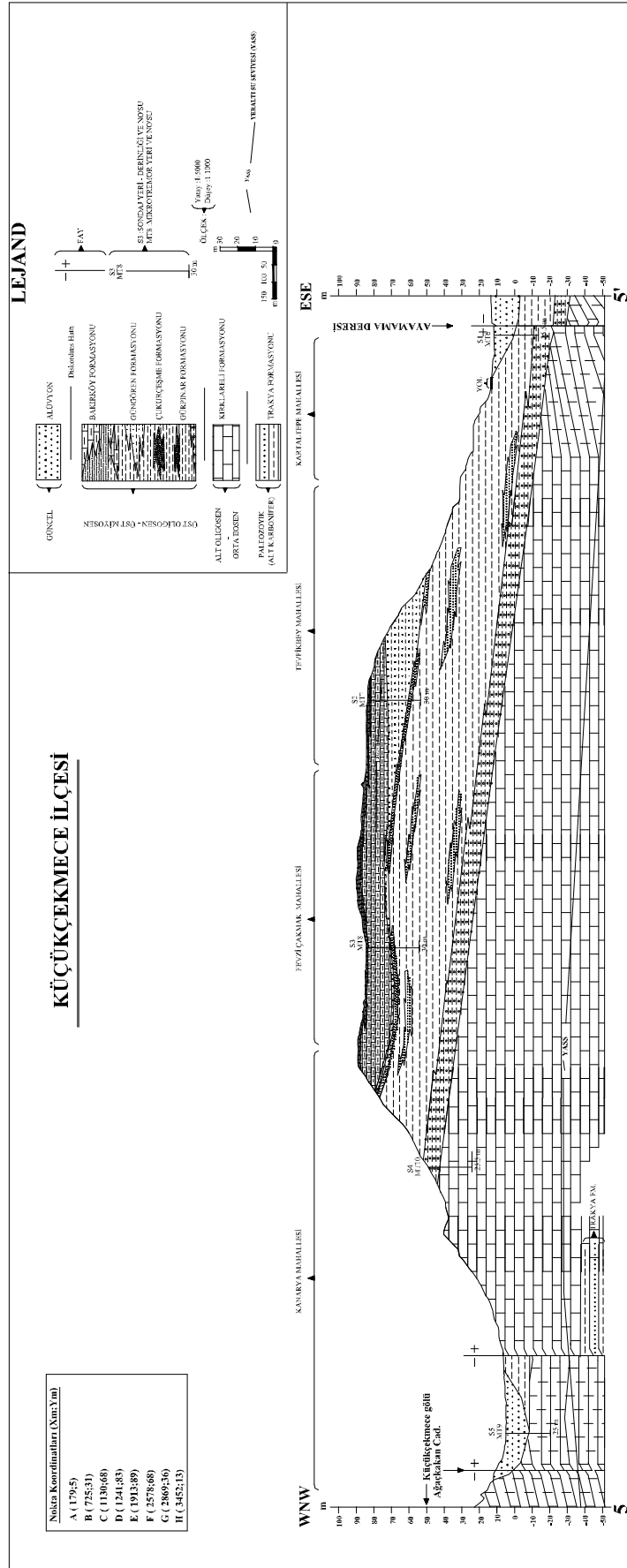
Nokta Koordinatları (Xm;Ym)

A (37;3)
B (286;27)
C (539;47)
D (788;80)
E (1154;85)
F (1403;77)
G (1530;84)

LEJAND

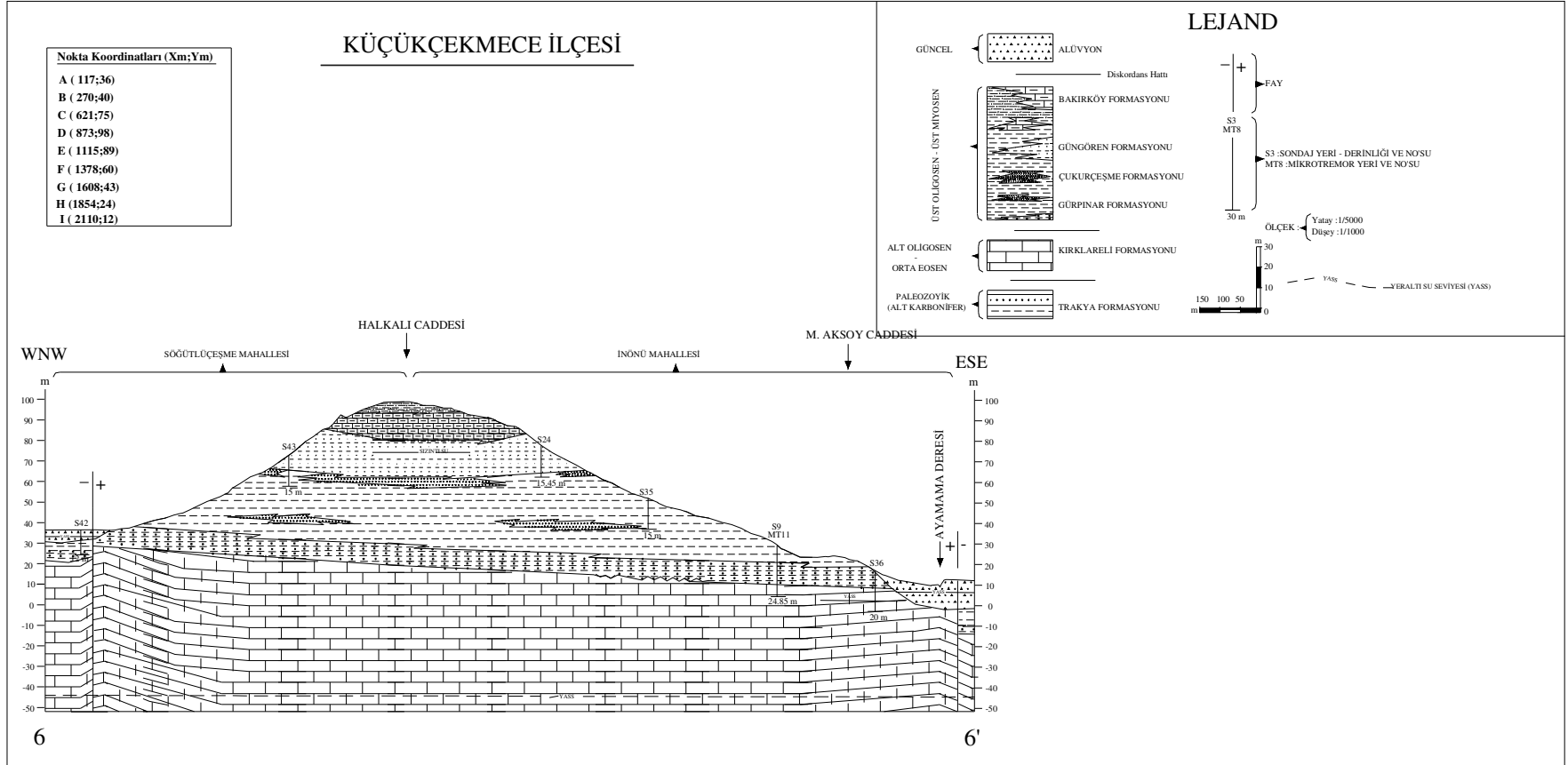


Şekil Ek-2.4.4.4' Kesiti



Şekil Ek-2.5 5-5' Kesiti

Şekil Ek-2.6 6-6' Kesiti



ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi 01.01.1980

Doğum yeri Trabzon

Lise 1992-1995 Bayrampaşa Tuna Lisesi

Lisans 1996-2000 Trakya Üniversitesi Çorlu Mühendislik Fakültesi
İnşaat Mühendisliği Bölümü

Çalıştığı kurum(lar)

2003-2004 Beton Yapı Denetim A.Ş.

2004-2005 Sönmez İnşaat San. ve Tic. A.Ş.

2005 – devam ediyor Bayındırlık ve İskan Bakanlığı,
Karayolları Genel Müdürlüğü