

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KÜÇÜKÇEKMECE-HALKALI YERLEŞİM BÖLGESİNİN
YEREL ZEMİN KOŞULLARINA GÖRE
DEPREMSELLİĞİNİN İNCELENMESİ**

İnşaat Mühendisi Hakan DEMİR

**FBE İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Geoteknik Programında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Mustafa YILDIRIM (YTÜ)

Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Kutay ÖZAYDIN (YTÜ)

Doç. Dr. Hüseyin YILDIRIM (İTÜ)

İSTANBUL, 2006

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	v
KISALTMA LİSTESİ.....	vi
ŞEKİL LİSTESİ.....	vii
ÇİZELGE LİSTESİ	ix
ÖNSÖZ	x
ÖZET	xi
ABSTRACT	xii
1. GİRİŞ	1
1.1 Çalışmanın Amacı	2
2. MİKROBÖLGELEME YÖNTEMLERİ	3
2.1 Giriş	3
2.2 Mikrobölgeleme Metodolojileri	4
2.2.1 Sismik tehlike analizleri	5
2.2.2 NEHRP Şartnamesi	7
2.2.3 Literatürdeki mikrobölgeleme yöntemleri	8
2.2.4 Mikrobölgelemede kullanılan yer hareketi parametreleri	15
3. YEREL ZEMİN KOŞULLARININ DİNAMİK DAVRANIŞA ETKİLERİ	19
3.1 Giriş	19
3.2 Zeminlerin Deprem Yükleri Altında Davranışları	19
3.2.1 Kum tabakalarında sıvılaşma olasılığı	22
3.3 Yerel Zemin Tabakalarının Etkisi	22
3.4 Zemin Büyütmelerine Göre Bölgeleme	24
4. COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMİ (GIS) HAKKINDA GENEL BİLGİ	27
4.1 Giriş	27
4.2 Coğrafi Bilgi Sistemi (GIS) Nedir?	27
4.3 GIS Bileşenleri	28
4.3.1 Donanım	29
4.3.2 Yazılım	29
4.3.3 Veri	29
4.3.3.1 Coğrafi ve/veya yersel veri	30
4.3.3.2 Öznitelik veya coğrafi olmayan veri	30
4.3.3.3 GIS'te kullanılan veri yapıları	30
4.3.4 İnsan	31

4.3.5	Yöntemler.....	31
4.4	Tez Kapsamında Kullanılan GIS Yazılımlar	32
5.	MİKROBÖLGELEME YÖNETMELİĞİ (MERM, 2003).....	34
5.1	Giriş	34
5.2	Yerel Zeminlerin Geoteknik Özellikleri	34
5.3	Bölgenin Alt Bölgelere Ayrılması ve Temsili Zemin Profilinin Oluşturulması ...	36
5.3.1	Temsili zemin profilinin oluşturulması.....	36
5.3.2	Eşdeğer kayma dalgası hızı ($V_{eş}$)	37
5.4	Yerel Zemin Koşullarının Belirlenmesi.....	37
5.4.1	Türkiye Deprem Yönetmeliği'ne göre zemin sınıflandırma sistemleri.....	37
5.4.2	NEHRP (A.B.D.) Deprem Yönetmeliği	40
5.4.3	NEHRP'de zemin sınıflandırma sistemi.....	40
5.5	Bölgesel Sismik Tehlikenin Belirlenmesi.....	42
5.5.1	Probabilistik (Olasılıksal) deprem tehlikesi	42
5.5.1.1	Azalımlar ilişkileri	43
5.5.1.2	Deprem oluşumunun modellenmesi	44
5.6	Mikrobölgeleme Haritalarının Oluşturulması	46
6.	ZEMİN DİNAMİK DAVRANIŞ ANALİZLERİ	49
6.1	Tek Boyutlu Analizler	49
6.1.1	EERA programı ve özellikleri	51
6.1.2	NERA programı ve özellikleri	55
7.	KÜÇÜKÇEKMECE-HALKALI BÖLGESİNİ JEOLJİSİ VE YEREL ZEMİN KOŞULLARI	56
7.1	Giriş	56
7.2	Genel Jeoloji.....	56
7.3	İnceleme Alanının Jeolojisi.....	60
7.3.1	Kırklareli Formasyonu	61
7.3.2	Gürpınar Formasyonu	62
7.3.3	Çukurçeşme Formasyonu.....	63
7.3.4	Güngören Formasyonu.....	64
7.3.5	Bakırköy Formasyonu.....	66
7.3.6	Alüvyon.....	66
7.4	İnceleme Alanı ve Civarının Tektonik Yapısı.....	66
7.5	İnceleme Alanı ve Civarının Sismolojik Özellikleri	68
8.	KÜÇÜKÇEKMECE - HALKALI YERLEŞİM BÖLGESİNDE MİKROBÖLGELEME YÖNETMELİĞİ ' NİN (MERM, 2003) UYGULANMASI	69
8.1	Giriş	69
8.2	İnceleme Alanı Yerel Zeminlerinin Geoteknik Özellikleri.....	69
8.3	İnceleme Alanının Karelere Bölünmesi ve Temsili Zemin Profillerinin Oluşturulması	75
8.3.1	İnceleme alanında temsili zemin profillerinin oluşturulması.....	76
8.4	İnceleme Alanında Belirlenen Yerel Zemin Sınıfları	77
8.5	Bölgesel Sismik Tehlikenin Değerlendirilmesi.....	80
8.6	Analizlerde Kullanılan Malzeme Parametreleri	83

8.7	Analizlerden Elde Edilen Sonuçlar.....	88
9.	KÜÇÜKÇEKMECE-HALKALI YERLEŞİM BÖLGESİNİN SİSMİK ZEMİN DAVRANIŞI AÇISINDAN COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ İLE MİKROBÖLGELEMESİ.....	92
9.1	Bölgeleme İçin Yapılan İstatistiksel Değerlendirmeler.....	92
9.2	Eşdeğer Kayma Dalgası Hızına Göre Bölgeleme	93
9.3	Spektral İvmelere Göre Bölgeleme	93
9.3.1	%10 aşılma olasılığına göre	93
9.3.2	%40 aşılma olasılığına göre	94
9.4	Spektral Büyütmelere Göre Bölgeleme	94
9.5	Yer Sarsıntısına Göre Bölgeleme	102
10.	SONUÇLAR	108
	KAYNAKLAR.....	110
	EKLER	118
Ek 1	Küçükçekmece - Halkalı yerleşim bölgesine ait jeolojisi haritası.....	119
Ek 2	1-1' Jeolojik zemin kesiti.....	120
Ek 3	2-2' Jeolojik zemin kesiti.....	121
Ek 4	3-3' Jeolojik zemin kesiti.....	122
Ek 5	Oluşturulan idealize zemin profillerinden bazıları ve ivme-zaman kayıtları.....	123
	ÖZGEÇMİŞ.....	133

SİMGE LİSTESİ

A_K	Zemin Büyütme Faktörü
$A(T)$	Spektral ivme katsayısı
C_C	Sıkışma endeksi
d_i	i. tabaka kalınlığı
D	Sönüm oranı
D	Tabaka kalınlığı
G	Kayma modülü
G_{maks}	Maksimum kayma modülü
G_0	Düşük deformasyonlardaki kayma modülü
h_1	En üst zemin tabakası kalınlığı
$I_P = PI$	Plastisite endeksi
I_S	Slake Durabi Index (Suya Dayanıklılık İndeksi)
k	Permeabilite katsayısı
n	Porozite
q_c	Koni uç direnci
q_u	Tek eksenli basınç direnci
RQD	Kaya Kalite Oranı
$R\gamma$	Deprem manyitüdüne bağlı olarak efektif kayma şek. değ.'nin maks. şek. değ.'ye oranı
$SPT(N)$	Standart penetrasyon deneyi darbe sayısı
S_U	Drenajsız kayma mukavemeti
S	Zemin büyütmesi
$S(T)$	Spektral ivme
T_A, T_B	Spektrum karakteristik periyotları
TCR	Toplam Karot Yüzdesi
$V_{eş}$	Eşdeğer kayma dalgası hızı
V_S	Kayma dalgası hızı
V_{si}	i. tabakanın kayma dalgası hızı
$Z1, Z2, Z3, Z4$	Yerel zemin sınıfları (TDY,1998)
γ_n	Doğal birim hacim ağırlık
γ_k	Kuru birim hacim ağırlık
γ_s	Dane birim hacim ağırlık
γ	Kayma şekil değiştirmesi
$\gamma^`$	Kayma şekil değiştirmesi hızı
ω_n	Doğal su muhtevası
ω_L	Likit limit
ω_P	Plastik limit
η	Viskozite
τ	Kayma gerilmesi

KISALTMA LİSTESİ

1D	Bir Boyutlu
2D	İki Boyutlu
3D	Üç Boyutlu
AI	Artificial Intelligence
AHSA	Average Horizontal Spectral Acceleration
ASTM	American Standart for Testing Material
BSSC	Building Seismic Safety Council
CPT	Koni Penetrasyon Testi
DRM	Disaster Risk Management
EERA	Equavalent Earthquake Response Analyses
FEMA	Federal Earthquake Management Agency
GIS	Geographical Information System
GSHAP	Global Seismic Hazard Assesment Program
ISSMFE	International Society for Soil Mechanics and Foundation Engineering
JICA	Japan International Cooperation Agency
JMA	Japon Meteorological Agency
KAF	Kuzey Anadolu Fayı
KOERI	Kandilli Observation and Earthquake Reseach Institute
MERM	Microzonation Manual
NEHRP	National Earthquake Hazard Reduction Program
NERA	Non-linear Earthquake Response Analyses
PGA	Pik Yer İvmesi
PGV	Pik Yer hızı
PSHA	Probabilistic Seismic Hazard
SHAKE	A Computer Program for Earthquake Response Analysis of Horizontally Layered Sites
SI	Spektral İvme
TARSCHTS	Target Acceleration Response Spectra Compatible Time Histories
TC4	Technical Commitee on Earthquake Geotechnical Engineering
TDY	Türkiye Deprem Yönetmeliği (Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik)
SPT	Standart Penetrasyon Testi
YASS	Yeraltı Su Seviyesi

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Gölçük için yapılan bölgeleme (Ansal vd., 2003).....	18
Şekil 4.1 GIS kullanılarak veri integrasyonu.	28
Şekil 4.2 GIS bileşenleri.....	29
Şekil 4.3 Vektör ve Raster veri yapısı.....	31
Şekil 6.1 Yumuşak zemin ve kayada ivmenin değişimi (Idriss, 1990).....	50
Şekil 6.2 Eşdeğer lineer metotta kullanılan gerilme-şekil değiştirme modeli (Bardet vd., 2000).....	52
Şekil 6.3 Normalize edilmiş kayma modülü ve birim şekil değiştirme arasındaki ilişki (Vucetic ve Dobry, 1991).	54
Şekil 6.4 Sönüm oranı ve birim şekil değiştirme arasındaki ilişki (Vucetic ve Dobry, 1991).....	54
Şekil 6.5 Non-lineer metotta kullanılan gerilme-şekil değiştirme modeli (Bardet ve Tobita, 2001).....	55
Şekil 7.1 İstanbul ve yakın çevresinin genel jeoloji haritası (Yıldırım, 2003).....	58
Şekil 7.2 İstanbul ve yakın çevresi Tersiyer çökellerinin stratigrafik sütun kesiti (Yıldırım, 2003).	59
Şekil 7.3 İnceleme alanı jeoloji haritası (Yıldırım, 2003).....	61
Şekil 7.4 Kuzey Anadolu Fayı'nın oluşumu.	67
Şekil 7.5 İstanbul deprem bölgeleri haritası (Afet İşleri Genel Müdürlüğü).	68
Şekil 8.1 Sondaj yerlerinin çalışma sahasındaki dağılımı.....	72
Şekil 8.2 İnceleme alanında yeraltı su seviyesi derinliklerinin değişimi (Yıldırım 2004).....	73
Şekil 8.3 İnceleme alanında anakaya derinliklerinin değişimi (Yıldırım 2004).....	74
Şekil 8.4 İnceleme alanında oluşturulan karelejlar ve isimleri.....	75
Şekil 8.5 I2 hücresi için elde edilen ve ideal bir model olarak düzenlenen kayma dalgası hızının derinlikle değişimi.	76
Şekil 8.6 G16 hücresi için elde edilen ve ideal bir model olarak düzenlenen kayma dalgası hızının derinlikle değişimi.	77
Şekil 8.7 Türk Deprem Yönetmeliği (TDY, 1998)'ne göre zemin sınıflandırılması.	78
Şekil 8.8 NEHRP'e göre zemin sınıflandırması (BSSC, 2001).	79
Şekil 8.9 F12 hücresi için TARSCHTS programı ile elde edilmiş ivme-zaman kaydı; (a) Aşılma olasılığı % 10, (b) Aşılma olasılığı %40.	83
Şekil 8.10 Yapay dolgu (Mat 1) için G/G_{maks} – kayma birim şekil değiştirme ve sönüm – kayma birim şekil değiştirme ilişkileri.....	85
Şekil 8.11 Alüvyon (Mat 2) için G/G_{maks} – kayma birim şekil değiştirme ve sönüm – kayma birim şekil değiştirme ilişkileri.	85
Şekil 8.12 Bakırköy kili ve Güngören kili (Mat 3) için G/G_{maks} – kayma birim şekil değiştirme ve sönüm – kayma birim şekil değiştirme ilişkileri.....	86
Şekil 8.13 Gürpınar kili (Mat 4) için G/G_{maks} – kayma birim şekil değiştirme ve sönüm – kayma birim şekil değiştirme ilişkileri.....	86
Şekil 8.14 Çukurçeşme kumu ve Gürpınar kumu (Mat 5) için G/G_{maks} – kayma birim şekil değiştirme ve sönüm – kayma birim şekil değiştirme ilişkileri.....	87
Şekil 8.15 Gürpınar kumlu çakıllı kesimleri (Mat 6) için G/G_{maks} – kayma birim şekil değiştirme ve sönüm – kayma birim şekil değiştirme ilişkileri.....	87
Şekil 8.16 Bakırköy kireçtaşı (Mat 7) için G/G_{maks} – kayma birim şekil değiştirme ve sönüm – kayma birim şekil değiştirme ilişkileri.....	88
Şekil 9.1 %10 Aşl. olasılığına (EERA) göre ort. sp. ivmeler için bölgelendirme sınır şartları.....	92
Şekil 9.2 Eşdeğer kayma dalgası hızına göre bölgeleme.	96

Şekil 9.3	Spektral ivmelere göre bölgeleme (EERA), (50 yılda %10 aşl. olasılığına göre)..	97
Şekil 9.4	Spektral ivmelere göre bölgeleme (NERA), (50 yılda %10 aşl. olasılığına göre)..	98
Şekil 9.5	Spektral ivmelere göre bölgeleme (EERA), (50 yılda %40 aşl. olasılığına göre)..	99
Şekil 9.6	Spektral ivmelere göre bölgeleme (NERA), (50 yılda %40 aşl. olasılığına göre).	100
Şekil 9.7	Pik spektral büyütmelemlere göre bölgeleme (Midorikawa, 1987).....	101
Şekil 9.8	(%10) Aşılma olasılığına göre yer sarsıntısı haritası (EERA).....	104
Şekil 9.9	(%10) Aşılma olasılığına göre yer sarsıntısı haritası (NERA).....	105
Şekil 9.10	(%40) Aşılma olasılığına göre yer sarsıntısı haritası (EERA).....	106
Şekil 9.11	(%40) Aşılma olasılığına göre yer sarsıntısı haritası (NERA).....	107
Şekil Ek 1.1	Küçükçekmece - Halkalı yerleşim bölgesine ait jeolojisi haritası.....	119
Şekil Ek 2.1	1-1' Jeolojik zemin kesiti.....	120
Şekil Ek 3.1	2-2' Jeolojik zemin kesiti.....	121
Şekil Ek 4.1	3-3' Jeolojik zemin kesiti.....	122
Şekil Ek 5.1	B11 hücresi idealize zemin profili ve ivme-zaman kaydı	123
Şekil Ek 5.2	B13 hücresi idealize zemin profili ve ivme-zaman kaydı	123
Şekil Ek 5.3	C12 hücresi idealize zemin profili ve ivme-zaman kaydı	124
Şekil Ek 5.4	D13 hücresi idealize zemin profili ve ivme-zaman kaydı.....	124
Şekil Ek 5.5	D16 hücresi idealize zemin profili ve ivme-zaman kaydı.....	125
Şekil Ek 5.6	E04 hücresi idealize zemin profili ve ivme-zaman kaydı	125
Şekil Ek 5.7	E13 hücresi idealize zemin profili ve ivme-zaman kaydı	126
Şekil Ek 5.8	F04 hücresi idealize zemin profili ve ivme-zaman kaydı	126
Şekil Ek 5.9	F13 hücresi idealize zemin profili ve ivme-zaman kaydı	127
Şekil Ek 5.10	G06 hücresi idealize zemin profili ve ivme-zaman kaydı.....	127
Şekil Ek 5.11	G08 hücresi idealize zemin profili ve ivme-zaman kaydı.....	128
Şekil Ek 5.12	G13 hücresi idealize zemin profili ve ivme-zaman kaydı.....	128
Şekil Ek 5.13	G14 hücresi idealize zemin profili ve ivme-zaman kaydı.....	129
Şekil Ek 5.14	G15 hücresi idealize zemin profili ve ivme-zaman kaydı.....	129
Şekil Ek 5.15	H13 hücresi idealize zemin profili ve ivme-zaman kaydı.....	130
Şekil Ek 5.16	H17 hücresi idealize zemin profili ve ivme-zaman kaydı.....	130
Şekil Ek 5.17	I02 hücresi idealize zemin profili ve ivme-zaman kaydı	131
Şekil Ek 5.18	J05 hücresi idealize zemin profili ve ivme-zaman kaydı	131
Şekil Ek 5.19	J08 hücresi idealize zemin profili ve ivme-zaman kaydı	132
Şekil Ek 5.20	K13 hücresi idealize zemin profili ve ivme-zaman kaydı	132

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 3.1 Büyütme oranları ile ortalama kayma dalgası hızı arasındaki korelasyonlar.	25
Çizelge 3.2 Farklı jeolojik yapılardaki büyütme faktörleri.	26
Çizelge 4.1 GIS (CBS) tanımı.	27
Çizelge 5.1 Arazi penetrasyon deneyleri - kayma dalgası hızı ilişkileri (MERM, 2003).	36
Çizelge 5.2 Zemin Grupları (TDY, 1998).	39
Çizelge 5.3 Yerel zemin sınıfları (TDY, 1998).	40
Çizelge 5.4 NEHRP' e göre zemin sınıfları.	41
Çizelge 5.5 Spektral ivmeye göre bölgeleme kriterleri.	46
Çizelge 5.6 Yer sarsıntısı bölgelemesinde kullanılan gösterimlerin açıklamaları (MERM, 2003).	48
Çizelge 7.1 Gürpınar formasyonunun endeks özellikleri (Yıldırım, 2003).	63
Çizelge 7.2 Çukurçeşme formasyonunun endeks özellikleri (Yıldırım, 2003).	64
Çizelge 7.3 Güngören formasyonunun endeks özellikleri (Yıldırım, 2003).	65
Çizelge 8.1 SPT-N darbe sayıları (Kılıç vd. 2005).	70
Çizelge 8.2 Doğal su muh., kıvam limitleri ve tabii birim hacim ağırlıklar (Kılıç vd. 2005).	70
Çizelge 8.3 Dane çapı dağılımı (Kılıç vd. 2005).	71
Çizelge 8.4 BÜ Kandilli Rasathanesi Deprem Araştırma Enstitüsü tarafından belirlenen deprem tehlikesi parametreleri (KOERI, 2004).	80
Çizelge 8.5 Formasyonlar için seçilen G/G_{maks} – kayma birim şekil değiştirme ve sönüm – kayma birim şekil değiştirme ilişkileri.	84
Çizelge 8.6 Analizlerden elde edilen ort. spektral ivmeler.	89

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasında, Küçükçekmece-Halkalı yerleşim bölgesinin depremselliği incelenmiş ve çalışma sahasının Mikrobölgeleme Yönetmeliği (MERM, 2003) kriterlerine uyularak, yer sarsıntısına göre bölgelemesi yapılmıştır.

İlk aşamada, inceleme alanına ait jeolojik ve geoteknik veriler derlenmiştir. Bütün veriler değerlendirilerek analizlere hazır hale getirilmiştir. Bu aşamada özverili çalışmalarından dolayı tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Mustafa YILDIRIM'a ve ayrıca tez çalışması genelinde çalışmalarından yararlandığım Sayın Prof. Dr. İ. Kutay ÖZAYDIN'a içten teşekkürlerimi sunarım.

İkinci aşamada, sahanın dinamik analizleri gerçekleştirilerek depreme ilişkin parametreler elde edilmiş ve bu sonuçlar Mikrobölgeleme Yönetmeliği'ne (MERM, 2003) göre değerlendirilmiştir. Bu aşamada ve çalışmanın diğer bölümlerindeki değerli katkılarından dolayı Sayın Yrd. Doç. Dr. Havvanur KILIÇ'a teşekkürü bir borç bilirim. Ayrıca analizlerde kullanılan sismik deprem tehlikesi parametreleri, Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi Deprem Mühendisliği Anabilim Dalı çalışmalarından alınmıştır. Bu vesile ile Deprem Mühendisliği anabilim dalı mensuplarına teşekkürlerimi sunarım.

Son aşamada ise elde edilen deprem parametrelerinin çalışma sahası içindeki dağılımı GIS ortamına aktararak bölgeleme yapılmıştır. Bu aşamada, İnş. Yük. Müh. Şenol ADATEPE'ye verdiği destekten dolayı teşekkür ederim.

Ayrıca bu çalışma sırasında değerli yardımlarından yararlandığım Sayın Arş. Gör. Pelin TOHUMCU ÖZENER'e, Sayın Arş. Gör. Murat TONAROĞLU'na ve Sayın Arş. Gör. Niyazi TERZİ'ye de teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak, tez çalışmam süresince bana verdikleri sonsuz destekten dolayı babam Muhsin DEMİR'e, annem Gülşen DEMİR'e ve kardeşim Volkan DEMİR'e teşekkürlerimi sunmayı kadirbilirliğin bir gereği olarak bir borç bilirim.

Şubat, 2006

İnş. Müh. Hakan DEMİR

ÖZET

Deprem hareketi sırasında yapıyı etkileyen en önemli faktörlerden biri yerel zemin koşullarıdır. Bu nedenle, sismik riski yüksek bölgelerde yerel zemin koşullarındaki değişimin belirlenmesi gereklidir. Son yıllarda elde edilen aletsel kayıtlar, deprem özelliklerinin bir noktadan bir noktaya çok farklı olabileceğini göstermiştir. Dolayısıyla her yapı için noktasal olarak yapılara gelecek deprem kuvvetlerini belirlerken yerel zemin koşullarının etkisini araştırmak özellikle önemlidir. Bu değişimin belirlenmesinde en uygun yöntemlerden biri mikrobölgelemedir. Mikrobölgeleme, bir bölgede olabilecek deprem özellikleri göz önüne alınarak yerel zemin koşullarının nasıl bir davranış ve yapıları etkileyecek deprem kuvvetlerinin inceleme bölgesi içinde nasıl değişim göstereceğinin belirlenmesi olarak tanımlanabilir.

Bu çalışmada, Küçükçekmece-Halkalı yerleşim bölgesinin MERM(2003)'e göre mikrobölgelemesi yapılmıştır. Bu amaçla, inceleme alanı 250 m × 250 m' lik karelere bölünmüş ve her bir kare için idealize edilmiş zemin profilleri hazırlanmıştır. Türkiye Deprem Yönetmeliği(1998) ve NEHRP(2001)' e göre yerel zemin sınıfları belirlenerek, tek boyutlu dinamik davranış analizleri, EERA(2000) ve NERA(2001) isimli iki farklı bilgisayar programı kullanılarak yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Coğrafi Bilgi Sistemi (GIS) ortamına aktararak inceleme alanının yer sarsıntısına göre bölgelemesi yapılmıştır.

Anahtar kelimeler: İstanbul-Halkalı, Mikrobölgeleme, EERA, NERA, Coğrafi Bilgi Sistemi(GIS).

ABSTRACT

One of the most important factors affecting the engineering structures during earthquake is local soil conditions. Because of this reason, site investigation and determination of variation of local site conditions within a region of high seismicity presents importance. Instrumental records obtained in recent years have indicated that earthquake characteristic could performed too much difference form a point to another point. Consequently, evaluation of effects of local soil conditions to the engineer structures during earthquake is especially important. One of the most appropriate methods is determination of this variation. Microzonation could named as determination of soil layers expose how a behavior and earthquake hazard affecting engineering structures expose how a variation within investigation region taking into consideration earthquake characteristic could happen in a region.

In this study, microzonation of Küçükçekmece - Halkalı region has been performed according to Microzonation Manual (MERM, 2003). The research area was divided into 250 m × 250 m grids and representative soil profiles were constituted in the middle of each grids. Local soil classifications were defined according to both Turkish Earthquake Code(1998) and NEHRP(2001). Site response analyses were performed using two different programs, called EERA(2000) and NERA(2001). Zonation, according to Ground Shaking were performed and results have been evaluated in GIS environment.

Keywords: Istanbul-Halkalı, Microzonation, EERA, NERA, Geographical Information System (GIS).

1. GİRİŞ

Bir deprem sırasında üst yapıya gelen kuvvetler, sadece üst yapı ile ilgili değildir. Şüphesiz ki üst yapı tasarımı ve yapım süreci, bir binanın yeterli derecede depreme dayanıklı ve sağlam olabilmesinin en önemli koşuludur. Fakat, deprem sırasında yapılara gelecek deprem kuvvetleri iki ana faktörden etkilenir. Bu faktörlerden birincisi deprem özellikleri, ikincisi yerel zemin koşullarıdır. Deprem dalgaları zemin tabakaları içinden geçerken özellikleri değişebilmekte ve zemin yüzeyinde yer alan yapılara gelecek olan deprem kuvvetlerini arttırabilmektedir. Aynı şekilde deprem dalgaları zemin içinden geçerken zemin tabakalarının özelliklerini de değiştirebilir. Bu nedenlerden dolayı olabilecek depremi göz önüne almadan yapılan herhangi bir yerleşime uygunluk çalışması veya bina bazında temel tasarımı eksik bir değerlendirme olmaktadır.

Bir depremde yapılara gelen deprem kuvvetlerini belirlerken en önemli parametrelerden biri, yapıların bulunduğu noktalarda zemin tabakalarının deprem özelliklerini nasıl değiştirdiğinin belirlenmesidir. Yerel zemin özellikleri bazı bölgelerde deprem kuvvetlerinin büyümesine bazı bölgelerde azalmasına yol açabilir. Zemin büyütmesi olarak tanımlanan bu olayı açıklamaya çalışırken çok karmaşık olabilen zemin tabakalaşma özelliklerini yansıtabilecek bir basitleştirme yapmak gerekebilir. Yapılan araştırmalar zemin yüzeyinden itibaren üst 30 m içinde kalan zemin içinde kalan zemin ve kaya tabakalarının bu açıdan önemli olduğunu göstermektedir. Diğer bir deyişle deneysel olarak bulunan ve zemin yüzeyinden itibaren üst 30 m içindeki zemin ve kaya tabakalarının kayma dalgası hızlarının ağırlıklı ortalaması olarak tarif edilen eşdeğer kayma dalgası hızını kullanarak değişik noktalarda zemin büyütmesini yaklaşık olarak tahmin etmek mümkün olmaktadır.

Yerel zeminlerin dinamik özelliklerinin değişimi göz önüne alınarak yapılar için gerekli deprem tasarım parametrelerinin belirlenmesi için en uygun yöntemlerden biri mikrobölgeleme çalışmasıdır. Mikrobölgelemeyi kısaca tanımlamak gerekirse; özellikle sismik açıdan tehlikeli bölgeler için yapı hasarını azaltmak amacı ile sismik zemin parametrelerine göre bölgenin anlamlı ölçülerde bölgelere ayrılıp, gerekli deprem tasarım parametrelerinin belirlenmesidir. Geoteknik mühendisliğinde zemin büyütmelerine, sıvılaşmaya ve şev stabilitesine göre üç tür mikrobölgeleme çalışması mevcuttur. Mikrobölgelemenin aşamalarından söz edilecek olunursa: İlk aşamada inşaat mühendisliği ve şehir planlama amaçları için ön şart olan gerekliliklerin sağlanmasına yönelik olarak, çalışma alanı için deprem kaynak özelliklerinin olasılıksal bir yaklaşımla daha doğru bir şekilde belirlenmesi gereklidir. İkinci aşamada, jeolojik ve geoteknik saha özelliklerinin ilgili tüm

etkenler hesaba katılarak araştırılmasıdır (örneğin, topoğrafya ve basen etkileri, zemin tabalaşmasındaki değişimler, lineer olmayan zemin davranışı, vs.). Bu bilgiler, sahaya bağlı sismik tehlike çalışmaları için gerekli başlıca verilerdir. Üçüncü aşamada ise şehir planlamasında ve deprem riskini azaltmada kullanılabilecek uygun ve uygulanabilir mikrobölgeleme parametrelerinin, ilk iki aşamada elde edilen verilerin analizi ve değerlendirilmesi ile oluşturulmasıdır.

1.1 Çalışmanın Amacı

Bu çalışmada, Küçükçekmece-Halkalı yerleşim bölgesini etkileyecek olası bir depremin özellikleri ve yerel zemin koşullarının etkileri göz önüne alınarak, bölgenin zemin büyütmelerine göre Mikrobölgelemesi Yönetmeliği'ne (MERM,2003) göre yapılmıştır. Tek boyutlu zemin dinamik davranış analizi yapan EERA(2000) ve NERA(2001) isimli iki farklı bilgisayar programı kullanılarak zemin yüzeyindeki spektral ivme değerleri belirlenmiştir. Pik spektral büyütme ise, Midorikawa (1987) ampirik ilişkisi kullanılarak belirlenmiştir. Elde edilen bu parametreler MERM (2003) yönetmeliği kapsamında değerlendirilerek inceleme alanının yer sarsıntısına göre bölgelemesi yapılmıştır.

Bu amaçla, öncelikle Yıldız Teknik Üniversitesi Geoteknik Anabilim Dalı tarafından yürütülen Küçükçekmece, Sefaköy - Halkalı yerleşim alanlarının, yerleşime uygunluk açısından değerlendirilmesi projesi kapsamında yapılan sondajlardan ve bunlara ek olarak çeşitli kurum ve kuruluşlarca yaptırılan sondajlardan yararlanılmıştır. Bölgede derinlikleri 10 m ile 110 m arasında değişen toplam 54 adet sondaj yapılmıştır. Sondaj loglarından yararlanılarak SPT-N değerlerinin derinlikle değişimi belirlenmiştir. İnceleme bölgesi, 250×250 m'lik karelajlara bölünerek 120 adet hücreye ayrılmıştır. Her bir hücre için bölge merkezinde idealize bir zemin profili tanımlanmıştır. Bu profillerin oluşturulması sırasında yapılmış olan sondaj çalışmalarından ve çıkarılan jeolojik kesitlerden geniş ölçüde faydalanılmıştır. Zeminlerin dinamik etkiler altındaki davranışı, yapılan geoteknik ve jeolojik çalışmalardan elde edilen veriler kullanılarak analiz edilmiştir.

Çalışmalardan elde edilen tüm sonuçlar Coğrafi Bilgi Sistemi (GIS) ortamına aktarılarak, değerlendirilmiş ve bölgenin mikrobölgelemesi yapılmıştır.

2. MİKROBÖLGELEME YÖNTEMLERİ

2.1 Giriş

Deprem riskinin azaltılmasına yönelik yapılan çalışmaların başlangıç aşamasını oluşturan mikrobölgeleme, yer hareketi karakteristiklerinin belirlenmesi için deprem kaynağı, yol ve zemin şartlarının karşılıklı etkileşimini göz önüne alan disiplinler arası bir konudur (Yağcı, 2005).

Sismik mikrobölgeleme, zemin tabakalarının deprem etkileri altındaki davranışlarının tahmin edilmesi ve buna bağlı olarak zemin yüzeyinde deprem özelliklerindeki değişimlerin belirlenmesidir. Deprem hareketindeki değişim, deprem kaynağı ve yol özelliklerinin yerel jeolojik ve geoteknik koşullar ile birlikte olasılıksal olarak değerlendirilmesi ile incelenmektedir. Ulusal ölçekteki mikrobölgeleme haritaları, önceden tanımlanmış bir zemin veya kaya koşuluna göre olasılıksal deprem tehlikesini göstermektedir. Fakat küçük ölçekli haritaların yeterli detayda olmaması nedeni ile mikrobölgeleme haritalarında yerel zemin koşulları dikkate alınmamaktadır (MERM, 2003).

Ansal vd. (2001) tarafından mikrobölgeleme, bir bölgede olabilecek deprem özellikleri göz önüne alınarak zemin tabakalarının nasıl bir davranış göstereceklerinin ve yapıları etkileyecek deprem kuvvetlerinin inceleme bölgesi içinde nasıl bir değişim göstereceğinin belirlenmesi olarak tanımlanmaktadır.

Finn vd. (1990)'nin tanımlanması ile mikrobölgeleme, yerel zemin şartlarının etkisini göz önüne alarak tasarım için sismik tehlike tahminlerinin geliştirilmesi prosedürüdür. Mikrobölgelemenin amacı doğrultusunda deprem kuvvetlerine karşı yapı tasarımında etkili parametreler kullanılmaktadır. Ancak sismik mikrobölgeleme uygulamalarında amaç parsel bazında uygulamaya yönelik tasarım parametrelerinin kullanılması olmamalıdır. Bu çalışmalar öncelikli olarak, kent planlaması ve arazi kullanım amaçlı parametrelerin belirlenmesini hedeflemektedir. Sismik mikrobölgelemenin temel hedefi gelecekteki deprem kayıplarının önlenmesi olmasına rağmen, bu tür çalışmalarının çoğunun hasar verici bir depremden sonra yeniden yapılması için uygun yerin seçilmesi amacıyla oluşturduğu bilinmektedir (Marcellini and Slejko, 1995).

Bir mikrobölgeleme çalışmasında ilk aşama, deprem kaynak ve yol karakteristiklerini göz önüne alarak olabilecek yer hareketi için tehlike analizidir. İkinci aşamada, geoteknik zemin şartları ve belirlenen yer hareketi altında zemin tabakalarının davranışları belirlenmektedir.

Son aşamada, ilk iki aşamadan elde edilen sonuçlara dayanan bir bölgeleme oluşturulmaktadır (Ansal ve Marcellini, 1998).

Mikrobölgeleme için ISSMFE Geoteknik Deprem Mühendisliği Teknik Komitesi tarafından hazırlanan el kitabı, bölgesel yer hareketi davranışı, şev stabilitesi ve sıvılaşma olmak üzere üç tip geoteknik olayın değerlendirmesi için kabul edilmiş yaklaşımları içermektedir. Yer hareketi için mikrobölgeleme çalışmaları, içeriğine dayalı olarak üç farklı aşamada gruplanmaktadır. Birinci aşama, mevcut bilgilerin ve tarihi dokümanların derlenmesine ve yorumlanmasına dayalı genel bir bölgeleme ile tanımlanabilir. İkinci aşama, basit geoteknik çalışmaları ve mikrotremor ölçümlerini kapsamaktadır. Üçüncü aşama bölgeleme ise detaylı geoteknik araştırmalar ve sayısal analiz yöntemlerine dayanmaktadır (TC-ISSMFE, 1993)

Mikrobölgeleme çalışmalarında teoride ve uygulamada geline en son durum, “Deprem Risklerini Azaltmak için Mikrobölgeleme” (MERM) adı verilen çalışma ile “Belediyeler için Sismik Mikrobölgeleme” genel başlıklı projede derlenmiştir. DRM (World Institute for Disaster Risk Management) tarafından Marmara Bölgesi için organize edilen projede, 1999 Kocaeli depreminden ciddi olarak etkilenen, Kocaeli ve Sakarya illeri bu detaylı bilimsel çalışma için seçilen pilot illerdir. 17 Ağustos 1999 Kocaeli depreminin ardından, etkilenen bölgedeki bina standartlarının ve arazi kullanımının düzenlenmesine ait yaklaşımların yetersizliği konusunda genel bir görüş birliği sağlanmıştır. Bu projenin, mikrobölgeleme ile ilgili, sismolojik, geoteknik ve yapısal faktörlerin bilimsel değerlendirmesinde teknik bir destek sağlanması planlanmıştır. Bu iki pilot çalışmadan çıkarılan sonuçlara da dayalı olarak, Türkiye’ de arazi kullanımının düzenlenmesi ve sismik mikrobölgeleme için bir el kitabı hazırlanmıştır (MERM, 2003).

Farklı mühendislik problemlerinin, farklı yer hareketi karakteristiklerinden etkilenmeleri nedeniyle mikrobölgelemede kullanılacak parametrelerin çeşitliliği ve inceleme alanı veri tabanları, mikrobölgeleme uygulamalarındaki yaklaşımları yönlendirmektedir. Bu bölümde, uygulamadaki mikrobölgeleme yöntemleri izlenen farklı yaklaşımlar doğrultusunda incelenmektedir.

2.2 Mikrobölgeleme Metodolojileri

Mikrobölgeleme ve depreme dayanıklı tasarım çalışmalarında yerel zemin koşullarının etkisini dikkate alabilmek için farklı yaklaşımlardan yararlanılabilir. Bu aşamada sismik mikrobölgeleme çalışmaları için en önemli iki nokta, farklı disiplinlerden gelen sismik, jeolojik ve geoteknik verinin birleştirilmesi ve uygulamada kullanılabilir önerilerin

belirlenmesidir (MERM, 2003).

Sismik mikrobölgeleme çalışmaları genel olarak üç aşamada düşünülmektedir. İlk aşamada bölgesel ölçekte sismik tehlike analizi ile deprem kaynağı ve yol etkilerini yansıtan yer hareketi özellikleri belirlenmektedir. İkinci aşamada, yüzey ve yer altı topografyası ile birlikte yerel zemin özelliklerinin etkisi, ilk aşamada belirlenen tasarım yer hareketi için araştırılmaktadır. Son aşama, mikrobölgelemenin hedefleri doğrultusunda seçilecek en uygun parametre cinsinden değişimin haritalanmasını kapsamaktadır (Yağcı, 2005).

Bu bölümdeki alt başlıkların ilki sismik tehlike analizidir. Sismik tehlike analizi, deterministik veya olasılıksal (probabilistik) bir yaklaşıma dayalı olarak yapılabilir. Bu aşamada, olasılıksal yaklaşımda belirlenebilecek yer hareketi parametreleri için seçilecek dönüşüm periyotları ve bölgesel olarak uygun azalım ilişkilerinin seçilmesi, mikrobölgeleme için önemli iki noktayı oluşturmaktadır. Mikrobölgelemenin ikinci aşamasında yerel zemin koşullarının yer hareketleri üzerindeki etkisini araştırıldığı yöntemlerden biri de ampirik yaklaşımlardır. Literatürde yer alan çok sayıdaki ampirik çalışma sonuçları tartışmalar ve genel uzman görüşler doğrultusunda şartnamelere de yansıtılmaktadır. Bu nedenle diğer bir alt bölüm, NEHRP şartnamesine ayrılmıştır. Üçüncü bölümde, literatürdeki projeler kapsamında uygulanan mikrobölgeleme yaklaşımları özetlenmektedir. Son bölümde, literatürdeki mikrobölgeleme çalışmalarının bazıları bu sefer, kullanılan parametrelere dayalı olarak sunulmaktadır (Yağcı, 2005).

2.2.1 Sismik tehlike analizleri

Deprem mühendisliği pratiği, sismik tehlikenin tanımlanmasını ve azaltılmasını kapsamaktadır (Kramer, 1996). Sismik tehlike, sabit bir zaman periyodunda belirli bir yer sarsıntısının görülme olasılığıdır. Sabit bir zaman periyodunda belirli bir hasarın gözlenme olasılığı ise sismik risk olarak tanımlanmaktadır. Sismik riskin rolü, olabilecek bir depremin tahmininde mevcut binalar için çok önemli olmakta ve bu bilgi öncelikleri belirlemede kullanılabilir. Diğer taraftan sismik tehlike değerlendirilmesi, yeni yerleşim alanlarının planlanması ve yeni yapıların tasarımında önem kazanmaktadır. Bölgesel ve ulusal ölçekte sismik tehlikenin tam olarak tanımlanması ve azaltılması için tehlike haritaları ve senaryo çalışmalarında sismotektonik bilgi eksikliğinin göz önüne alınması, yer hareketi ve bina hassasiyetini yansıtan uygun tehlike parametrelerin seçimi ve yerel zemin şartlarını yansıtan mikrobölgeleme çalışmaları zorunlu aşamalar olarak görülmektedir (Ansal ve Slejko, 2001).

Sismik tehlikenin belirlenmesinde, deterministik ve olasılıksal olmak üzere iki farklı yaklaşım

uygulanabilmektedir. Deterministik zaman boyutundan bağımsız olarak bölgede meydana gelebilecek en büyük depremin yaratacağı yer hareketi düzeyi belirlenmektedir. Daha önceki bölümlerde de belirtildiği gibi deterministik yöntemlerde aynı zamanda, stokastik kaynak modellerinin kullanımı veya yüksek frekans bileşenlerinin stokastik yaklaşım ile belirlenmesi gerekebilir. Olasılıksal yaklaşım ise hasar yapıcı yer hareketinin belli bir yerde ve belli bir zaman periyodu içerisinde meydana gelebilme ihtimalini araştırmaktadır [1].

Geleneksel sismik tehlike analizlerinde kaynak, manyitüd ya da makro sismik şiddet gibi tek bir parametreye, yol ise isotropik azalım kuralına dayalı olarak temsil edilmektedir. Ancak yer hareketleri, kaynak karakteristikleri, fay yönlenmesi, gerilme farkı, kırılma şekli, doğrultu etkisi, fay pürüzlülüğü ve kırılma yayılım hızına dayalı olarak özellikle yakın odaklı depremlerde önemli oranda değişim gösterebilir. Bu yüzden olasılıksal yaklaşımların, yer hareketi karakteristiklerini kontrol eden tüm bu faktörlerdeki değişikliği göz önüne alması nedeniyle daha uygun olduğu düşünülebilmektedir. Genel olarak araştırılan bölge için değişik sismik kaynakların varlığı durumunda olasılıksal yaklaşım uygun görülürken, bölgedeki tehlikeyi sadece tek bir kaynak düzenliyorsa deterministik yaklaşım tercih edilmektedir. Bununla birlikte tehlike haritaları için olasılıksal yaklaşım, senaryolar için ise deterministik yaklaşımlar uygun görülmektedir (Ansal ve Slejko, 2001)

Diğer bir çalışmada (Marcellini vd, 2001), Fabriano (İtalya) mikrobölgelemesi için referans yer hareketinin belirlenmesinde, deterministik, olasılıksal ve stokastik yaklaşımlar karşılaştırılmakta ve her yaklaşımın diğerlerine göre avantaj ve dezavantajlara sahip olabildiği vurgulanmaktadır. Referans yer hareketinin, belirli bir dönüş periyodu için beklenen davranış spektrumundan doğrudan elde edilebildiği olasılıksal yaklaşımın, küçük periyotlu hareketler için yüksek ve büyük periyotlu hareketler için ise düşük tahminler ürettiği belirtilmektedir. Çalışmada, seçilecek yaklaşımın çalışmanın hedefleri beklenen maksimum manyitüd ve zemin tipine bağlı olarak belirlenmesi önerilmektedir.

Aynı zamanda olasılıksal yaklaşımda belirlenecek yer hareketi parametreleri için seçilecek dönüşüm periyotları, mikrobölgeleme çalışmaları için önemli noktalardan birini oluşturmaktadır. Olasılıksal ve deterministik olarak hasar senaryolarının oluşturduğu Basel (İsviçre) şehri için yapılmış bir çalışmada (Fah vd, 2001); olasılıksal yaklaşım için 475 yıllık dönüş periyodunun, sismik aktivitesi yüksek yaklaşımlar için yeterli bir güvenlik seviyesi sağladığı ancak, orta dereceli sismik aktiviteye sahip bölgelerde, 1000 yılda bir oluşan hasar verici yüksek yer hareketi seviyeleri göstermediği vurgulanmaktadır.

Uygulanan yaklaşımdan bağımsız olarak sismik tehlike analizlerinin tümü kuvvetli yer hareketi yayılımını ve değişimi tanımlayabilecek yer hareketi azalım ilişkilerinin kullanımını gerektirmektedir. Azalım ilişkileri, deprem büyüklüğü, uzaklık, kaynak mekanizması ve yerel zemin koşullarına bağlı olarak kuvvetli yer hareketinin farklı parametrelerinin medyan ve standart sapmalarını veren, log-normal dağılıma sahip olduğu kabul edilen ampirik bir tanımlamadır (Yağcı, 2005).

2.2.2 NEHRP Şartnamesi

Bir mikrobölgeleme metodolojisi olarak, deprem hasarları ve kuvvetli deprem kayıtlarının yerel zemin koşullarıyla ilişkisinin istatistiksel olarak değerlendirildiği yaklaşımda, zemin sınıflandırma sistemleri ve bu sistemdeki zemin grupları için spektral davranış eğrileri önerilmektedir (Yağcı, 2005). Bu yaklaşım doğrultusundaki çalışmalar genel olarak şartnamelere yansıtılmaktadır.

Başlangıç versiyonu 1970'lerin sonunda hazırlanmış olan NEHRP şartnamesinde, yerel zemin koşullarının etkisi, tartışılan çok sayıdaki ampirik ve analitik çalışma sonuçlarına dayalı olarak düzenlenmektedir. Dolayısıyla şartnamenin bugünkü koşulları, mikrobölgelemedeki gelişen yaklaşımları da yansıtmaktadır.

1994 NEHRP şartnamesi, zemin faktörünü de içine alan tasarım kontrol faktörleri ile mikrobölgelemeye dayalı tasarımda ilk olarak yorumlanabilir (Todd ve Haris, 1995). Amerika'nın bina yönetmeliğindeki deprem tasarım şartnameleri, geniş bölgeleri kapsayan makrobölgelemeden, farklı tasarım gerekleri olan sismik bölgeler içeren mikrobölgelemeye doğru gelişim göstermiştir. Bugünkü şartnamelerde bölgeleme, uygulanabilecek yapısal sistemin, izin verilebilir yapı tipinin ve tasarımda kullanılacak analitik prosedürün belirlenmesinde önemli bir faktör olarak görülmektedir (Hamburger, 2000).

1994 şartnamesi, yüksek ve düşük periyotlardaki yer hareketi büyütmesi üzerinde, anakaya rijitliği, yer hareketi şiddeti seviyesi, zemin tipi, rijitliği ve derinliğinin etkisini gösteren çalışmalar ile 1985 Mexico City ve 1989 Loma Prieta depremlerine ait deneyimleri kapsamaktadır (NEHRP, 2000). 1989 Loma Prieta depremi kuvvetli yer hareketi kayıtları, depreme dayanıklı tasarım için yerel zeminlerin davranışının belirlenmesinde önemli bir veri seti sağlanmıştır. Bu aşamada, araziye bağımlı davranış spektrumlarının tahmini için geliştirilen metodoloji, kayma dalgası hızına dayalı zemin sınıflandırma sistemini ve kayma dalgası hızı ile yer hareketi seviyesinin fonksiyonu olarak ampirik büyütme katsayılarını tanımlamaktadır (Borcherdt, 1994).

Araştırma ve gözlem sonuçlarını yansıtan bu metodoloji ile yerel zemin şartları ve beklenen yer hareketi seviyesi arasında karşılıklı etkileşim göz önüne alınmaktadır. Zeminler genel olarak anakayadaki yüksek periyotlu spektral ivmeyi, düşük periyotlu spektral ivmeye göre daha fazla büyötmektedir ve yüksek yer hareketi seviyeleri için ($S_s > 1$ g; $S_1 > 0.4$ g) düşük periyotlardaki büyüme veya azalma daha düşüktür. Bu durum, mevcut zemin tipleri için maksimum spektral büyüme değerin sabit ($SA = 2.5$) olduğu, şartnamenin bir önceki versiyonunun temelini oluşturmaktadır. Aynı zamanda, özellikle düşük seviyedeki yer hareketine maruz yumuşak zeminlerde, düşük periyotlardaki pik ivmelerin birkaç kat büyütülebildiğine ait kanıtlar, normalize spektrum yaklaşımının yerine iki faktörlü yaklaşımın almasını gerektirmiştir. Bu yaklaşım doğrultusunda NEHRP (2000), şartnamesi ulusal haritalardan elde edilen olası maksimum spektral ivmeleri (düşük periyot değerleri için S_s ve 1 sn için S_1), zemin katsayısı F_a ve F_v değerleri ile düzenlemektedir. Bu katsayılar zemin sınıfı ve maksimum spektral ivmenin (S_s ve S_1) fonksiyonudur.

Bir çalışmada (Hwang vd 1997), 1989 Loma Prieta depremi gözlemlerine dayalı zemin katsayıları, Doğu Amerika'daki yer hareketi karakteristiklerinin Kaliforniya'dakilerden oldukça farklı olduğu görüşü doğrultusunda yeniden değerlendirilmektedir. Olasılıksal yaklaşımın kullanıldığı çalışmada, Doğu Amerika'da olması muhtemel yer hareketi için yapay kayıtlar kullanılmaktadır. Yeniden hesaplanan zemin katsayıları, şartnamedekilerle karşılaştırıldığında bazı zemin sınıflarında, artan spektral ivme değerlerine karşı, şartnamedeki katsayılarda lineer olmayan bir davranış ile azalma, elde edilen yeni katsayılarda ise lineer bir davranış sonucu artış gözlenmektedir.

2.2.3 Literatürdeki mikrobölgeleme yöntemleri

Literatürde çoğunluğu oluşturan mikrotremor ölçümlerine dayalı yöntemlerde, genellikle spektral oranlarda elde edilen parametreler, jeolojik yapı, zemin tabaka kalınlıkları, ampirik ve analitik transfer fonksiyonu sonuçları ile birlikte yorumlanmaktadır. Özellikle sismik aktivitesi düşük bölgelerde, mikrotremor ölçümleri geleneksel sayısal yaklaşımlarla birlikte değerlendirilmektedir. Ampirik-Deneysel yaklaşımlar olarak sınıflandırdığımız bu yöntemlerden farklı olarak diğerk mikrobölgeleme metodolojileri ise bölgesel sismik tehlike parametrelerine dayalı yaklaşımlardır.

Bazı uygulamalar:

Tunus şehrinin mikrotremor ölçümlerine dayalı mikrobölgelemede, H/V spektral oranları yöntemi ile rezonans frekansı ve büyütme parametreleri kullanılmış ve sonuçların geoteknik bölgeleme ile uyumlu olduğu gözlenmiştir (Romdhane vd. 1998).

Kentsel bölgelerdeki sismik mikrobölgeleme çalışmalarında, yerel zaman şartlarının etkisinin ampirik olarak değerlendirilmesi için önerilen bir teknik, mikrotremor ölçümlerine dayanmakta ve birkaç prosedürün birleşiminden oluşmaktadır. İsrail’de iki bölge için uygulanan teknikte, mikrotremor kayıtları Nakamura ve Aki metodlarına göre değerlendirilmektedir. Aki yöntemi ile elde edilen zemin tabakalarının hız modeli için davranış analizleri SHAKE programı ile yapılmıştır. Ampirik spektral oranlar ile analitik transfer fonksiyonlarının karşılaştırıldığı çalışmada, makul bir uyumun elde edildiği belirtilmektedir (Gitterman vd. 1996).

Mexico şehrine ait 1987 bina yönetmeliğinde yer alan, ancak sınırlı sayıdaki mikrotremor ölçümlerine dayanan hakim periyot haritası, daha sonra 1985-1992 yılları arasında yapılmış tüm mikrotremor verileri ve yer hareketi kayıtları derlenerek yenilenmiştir. Mexico şehri için yerel zemin şartlarının etkisi, bir boyutlu, tek tabakalı, lineer bir model ile analiz edilmiştir. Mikrotremor ölçümlerinden elde edilen hakim periyot değerlerinin, kuvvetli yer hareketi verilerine ait ampirik transfer fonksiyonlarından elde edilenlerle mükemmel bir uyum içinde olduğu gösterilmektedir (Lermo ve Chavez-Garcia, 1994).

Mexico şehrine bitişik olan Estado de Mexico bölgesi içinde 67 noktada mikrotremor ölçümleri yapılmış ve iki aylık geçici sismograf ağı kurulmuştur. Mexico şehri için var olan hakim periyot haritasının kuzeydeki bu bölgeye doğru genişletilmesi amacını taşıyan çalışmada, aynı zamanda maksimum relatif amplifikasyon haritası önerilmektedir. Her iki haritanın da yerel jeoloji ile uyum sağladığı gösterilmektedir (Chavez-Garcia ve Cuenca, 1996).

Avustralya’daki büyük şehirlerin çoğunluğu normal yüklenmiş sediment birimler üzerinde yer aldığından, zemin büyütmesi rezonans yaratabilecek periyot değerleri için sismik mikrobölgeleme çalışmalarının gerekli olduğu düşünülmektedir. Uygulanan yöntem, kensel bölgeler için pilot çalışma niteliğindeki Launceston, Tasmania örneği üzerinde açıklanmaktadır. 1884’ten bu yana dış merkez uzaklığı 200 km’nin üzerindeki beş depremde hasar görmüş olan bölgede, araştırmalara dayalı olarak hasarların nedeninin zemin büyütmesi olduğu belirtilmektedir. 53 tanesi sediment, 3 tanesi ise dolomit üzerinde alınan mikrotremor

kayıtları, Nakamura yöntemine dayalı olarak yorumlanmıştır. Gravity araştırmaları ile iki derin vadi kesiti boyunca sediment kalınlıkları detaylı olarak belirlenmiştir. Dolerit üzerinde hesaplanan spektral oranlar büyütme davranışı sergilemez iken sediment zeminde yer alan 53 noktanın 46 tanesinde spektral oranların büyütme etkisi gösterdiği belirtilmektedir. Şehrin 1/10.000 ölçekli mikrobölgeleme haritası; az, orta ve çok katlı binalar için rezonansın oluşabileceği bölgeler cinsinden düzenlenmiştir. 1993 Avustralya standartlarındaki S zemin faktörü (zemin büyütmesi) ise 1/25.000 ölçekli olarak haritalandırılmıştır. Avustralya'nın tamamı için sismik mikrobölgeleme çalışmalarının hedeflendiği bu büyük proje kapsamında, kentsel ölçekteki diğer uygulamalarda, sediment kalınlığı ve Nakamura spektral oranlarına dayalı olarak aynı parametreler kullanılmaktadır (Vagn, 2000).

Batı Avustralya, Perth bölgesi (derin sediment havzası) için daha önceki çalışmaların önerisi doğrultusunda, sismik amplifikasyon olasılığının değerlendirilmesi amacıyla, mikrotremor spektral oranlarının kullanıldığı bir mikrobölgeleme çalışması yapılmıştır. Uygulanan yöntemde yer hareketi spektral oranları, mikrotremor ölçümlerinin kalibrasyonunda kullanılmıştır. Bu düşük deformasyon seviyesinde titreşimlerin, kuvvetli yer hareketi için uygun bir yaklaşıklık sağlayabileceği görülmektedir. Eş zamanlı ölçümlerle hesaplanan spektral oranlar 6 frekans aralığı için (0.2, 0.5, 1, 2, 3, 5 Hz) farklı haritalar üzerinde gösterilmektedir. Haritalanan spektral oranlar ile bölgenin farklı jeolojik görünümüleri arasında oldukça güçlü korelasyonlar dikkati çekmekle birlikte, bu çalışma ile mikrotremor ölçüm ve analiz prosedürü detaylı bir şekilde gözden geçirilmektedir (Gauil vd. 1995).

Kuvaterner nehir taraçaları üzerinde hızlı büyüyen ve genişleyen bir şehir olan Barquisimeto'nun (Venezüella) sismik mikrobölgeleme haritalarında zemin hakim periyodu ve zemin kalınlığı (anakaya derinliği) parametreleri kullanılmaktadır. 500 metre arayla 5 dakikalık mikrotremor kayıtlarının Nakamura yöntemine göre analizinden elde edilen zemin hakim periyotları, ortalama 5 sn olmak üzere, 0.2 sn ile 1.1 sn arasında değişmektedir. Ana kaya (mika-şist) derinliğinin değişimi için 77 sondaj ve 11 sismik kırılma deneyi yapılmıştır. 32 sondajda ulaşılan ana kaya derinliği 5 m ile 15 m arasında değişmektedir. Sismik kırılma deney sonuçları, kayma dalgası hızları 400 m/sn ile 650 m/sn arasında değişen birinci tabakanın ardından, ikinci tabakanın kayma dalgası hızlarının 700 m/sn ile 1200 m/sn arasında kaldığını göstermektedir. Elde edilen mikrobölgeleme haritalarında, zemin tabakasının kalınlığı ile zemin hakim periyodu değerlerinin uyumlu olduğu görülmektedir (Rocabado vd. 2002).

Doğal afet risk değerlendirmesine yönelik, ilk kez 1994 yılında yapılmış olan Chaccao

bölgesindeki (Karakas, Venezüella) çalışma, 1997’de Karakas bölgesi için başlayan sismik risk değerlendirme çalışmalarının bir parçasını oluşturmaktadır. Karakas vadisinin fiziksel özelliklerini değerlendirmek amacıyla yeni jeolojik veriler, mevcut jeolojik ve jeofizik verilerle birlikte yorumlanmaktadır. 1978 Karakas Depremi sırasında çok ağır hasarın meydana geldiği, Chacao yakınındaki Los Palos Grandes bölgesi, Karakas vadisindeki en büyük sediment kalınlığına sahip bölge olarak tanımlanmaktadır. Deprem sonrası yapılan çalışmalar, oluşan hasar ile zemin arasında yakın ilişki olduğunu göstermiştir. Bu doğrultuda sismik mikrobölgeleme haritaları için yerel zemin şartlarının etkisini yansıtan parametrelerden biri sediment kalınlığı olarak görülmektedir. Karakas vadisinde 90’lı yılların sonuna doğru 500 m’lik hücrelerde yapılan çeşitli mikrotremor ölçümlerine ait kayıtlar Nakamura tekniği ile analiz edilmiştir. Hakim periyot değerlerine göre hazırlanan mikrobölgeleme haritasında, geçmiş çalışmalara dayalı sediment kalınlığının dağılımı da yer almaktadır. Karakas vadisinde 1 sn’nin üzerinde hakim periyot değerlerine sahip iki ayrı bölge elde edilmiştir. 2.1 sn’lik hakim periyot değerlerinin gözleendiği Los Palos Grandes bölgesini de kapsayan Chacao bölgesinin bir bölümünde, sediment kalınlığının 300 m’nin üzerinde olduğu ve genel olarak ölçülen periyot değerleri ile sediment kalınlığının uyumlu olduğu belirtilmektedir. Los Palos Grandes bölgesinde, 100 m’lik hücrelerde gerçekleştirilen detaylı ölçüm sonuçları, sediment kalınlığı ile birlikte hakim periyot ve zemin büyütmesi cinsinden haritalanmıştır. Karakas vadisindeki sediment kalınlığına ait bilgilerin kaynağını yer altı su seviyesi araştırmaları kapsamındaki jeofizik ve sondaj çalışmaları 1950 ve 1967 Karakas Depremi’nin etkisini araştıran sismik kırılma çalışmaları oluşturmaktadır. Orijinal verilerin haritalanmamış olmasından kaynaklanan problemleri gidermek amacıyla sediment kalınlığının dağılımı yeni değerlendirmelerle yeniden oluşturulmuştur. Los Palos Grandes bölgesinde, 200 den fazla gravimetrik ölçümlere dayalı olarak sediment kalınlığı isometrik haritası hazırlanmıştır. Çalışılan bölgede sediment kalınlığı ve anakaya profili verilerini desteklemek amaçlı, Temmuz 2001 tarihli sismik kırılma ölçümlerinin ilk analiz sonuçları da önceki çalışma sonuçlarını doğrular nitelikte görülmektedir (Schmitz vd. 2002).

Eski İstanbul ve Erzincan şehir bölgelerinde, farklı özelliklere sahip depremlerde, zemin tabakalarının büyütme özelliklerinin değişimi incelenmiş ve bu değişim dikkate alınarak mikrobölgelemeler yapılmıştır. Eski İstanbul’da çeşitli bölgeler için seçilen temsili zemin profillerindeki yeşil kil ve marn tabakalarının plastisitesinin $I_p = 30-100$ arasında değiştiği bilinmektedir. Plastisite indisindeki olası bu değişimle birlikte, sondaj bilgilerine dayalı olarak belirlenen kayma dalgası hız profilleri ve İstanbul için üretilmiş bir ivme kaydının maksimum değerindeki belirsizliğe dayalı olası farklılıkları göz önüne alan 5 farklı durum için davranış

analizleri yapılmıştır. Bu şekilde, herhangi bir büyüklükteki depremde, çeşitli frekanslarda, amplifikasyonların hangi değerleri aşmasının mümkün olmadığı, çeşitli profiller için görülebilir hale gelmiştir. Bölgeler çeşitli frekans aralıkları için ortalama amplifikasyon faktörlerine ve zemin hakim periyotlarına göre oluşturulmuştur. 1984 depreminde meydana gelen hasarların, yüksek plastisiteli ve aşırı konsolide olmuş, kalın, yeşil kil ve marn tabakalarının bulunduğu bölgelerde yoğunlaştığı gözlenmiştir. Analiz sonuçları bu tabakaların, kuvvetli depremlerde dahi önemli bir büyütme potansiyeline sahip olabileceğini göstermektedir. Bununla birlikte, hasar kayıtlarının vadiler yerine tepelerde bulunması nedeniyle, topografik ve geometrik faktörlerin uygun şekilde temsil edilmesine imkan veren analiz yöntemlerinin kullanılması gereği belirtilmektedir. Erzincan şehir bölgesinde ise 1992 depreminin hasarlarının önemli derecede deprem özellikleri ve yapısal kusurlar etkisinde kaldığı, ancak etkilerin sistemli şekilde azaltılması sonucu yerel zemin şartlarının büyütme özellikleri ile deprem hasarları arasındaki ilişkilerin ortaya çıkarılabildiği belirtilmektedir (Lav, 1994).

Barcelona (İspanya) şehri için zemin davranışı haritaları, Avrupa projesi SERGISAI kapsamında geliştirilen sismik risk değerlendirmesi için bilgisayar programının yerel ölçekteki uygulama sonuçlarını oluşturmaktadır. GIS ve AI (artificial intelligence) teknikleri ve standart yöntemleri içeren sismik risk değerlendirme programı, bir boyutlu zemin davranışı analizlerine dayanmaktadır. Program, bölgesel, alt bölge ve yerel olmak üzere üç farklı ölçekte çalışma imkanı sağlamaktadır. İki nehir arasındaki sediment düzlükte kurulmuş olan şehir, orta dereceli sismik aktivite bölgesinde bulunmasına karşılık, geçmişte düşük frekanstaki hasar verici depremlere ait kanıtlar bulunmaktadır. İlk aşamada, yerel jeoloji (yaş ve litoloji), zemin tabakalanması ve zeminlerin geoteknik özellikleri derlenerek, GIS de 3 boyutlu geoteknik model oluşturulmaktadır. Geoteknik model anakaya derinliğinin ve Kuvaterner tabakalarının değişimini haritalamaktadır. Zeminlerin kayma dalgası hızı ve yoğunluğu mevcut sondajlardan derlenmiştir. İkinci adım, anakaya seviyesindeki yer hareketinin belirlenmesi için sismik tehlike analizi ve bölgesel azalım ilişkilerinin kullanılmasıdır. Bu aşamada uygun yer hareketi verilerinin eksikliği nedeniyle ampirik green fonksiyonu yöntemi ile referans yer hareketi geliştirilmiştir. Belirlenen yer hareketi geoteknik modelin anakaya seviyesinde uygulanarak, bir boyutlu lineer eşdeğer yöntem, SHAKE 91 ile zemin davranış analizleri yapılmıştır. Analiz sonuçlarına dayalı olarak şehrin mikrobölgeleme haritaları zemin hakim periyodu ve maksimum büyütme oranı parametrelerine göre düzenlenmiştir. Maksimum büyütme oranları empedans oranlarını yansıtırken, zemin hakim periyodu haritası, Kuvaterner zeminler için varsayılan kalınlık modeli ile uyum

sağlamaktadır. Son aşamada, bu çalışmadan elde edilen zemin hakim periyodu değerleri, önceki çalışmalarda mikrotremor ölçümlerine dayalı olarak elde edilen ampirik değerlerle, jeolojik birimler ve geoteknik özellikler de göz önüne alınarak detaylı bir şekilde karşılaştırılmaktadır (Jimenez vd. 2000).

İstanbul Bağcılar ilçesi için yapılan mikrobölgeleme çalışmasının ilk aşamasını, bölgenin depremselliğinin olasılıksal yöntemlerle belirlenmesi ve anakaya seviyesindeki tasarım deprem özelliklerinin bulunması oluşturmaktadır. İkinci aşamada, bir boyutlu sayısal analiz ile bulunan bölgeye ait yüzeydeki yer hareketi karakteristikleri farklı parametrelere dayalı olarak haritalanmaktadır. Bu parametreler, “Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik” uyarınca yerel zemin sınıfları, sismik deneylere ve SPT-N sayılarına dayalı olarak belirlenen eşdeğer kayma dalgası hızı, en büyük ivmenin %70’ine karşılık geldiği varsayılan etkin ivme değeri, sayısal analizlerden elde edilen spektral büyütme katsayısı, mikrotremor kayıtlarından hesaplanan, zemin hakim periyodu ve spektral büyütme katsayısıdır. Hazırlanan haritalar 1999 Kocaeli Depremi nedeniyle bölgede oluşmuş hasar dağılımları ile karşılaştırılmaktadır. Haritalarda kullanılmış olan tüm parametreler mikrobölgeleme çalışmalarında etkin olmakla birlikte, ana amacın yapısal hasarı en aza indirmek olması nedeniyle, bölgeleme kriterleri deprem kuvvetlerine karşı yapı tasarımında kullanılan spektral ivme ve zemin hakim periyodu olarak tercih edilmektedir. Sonuç olarak düzenlenen haritalar, her iki parametreye ait dağılımın birleştirilmesine dayanmaktadır (Ansal vd., 2001).

Dinar depreminden sonra meydana gelen hasarın, yerel zemin koşulları ile ilişkisini inceleyen çalışma, coğrafi bilgi sistemleri ile zemin büyütme yöntemleri göre mikrobölgeleme yöntemleri ve bunların geçerliliğini araştırmaktadır. Yerel zemin şartlarının belirlenmesi için yürütülen arazi çalışmaları; sondajlar, standart penetrasyon deneyleri, koni penetrasyon deneyleri, PS Logging (basınç ve kayma dalgası hızının ölçümü için bir arazi deneyi) ve mikrotremor (düşük frekanslı titreşim) ölçümlerini kapsamaktadır. Zeminlerin dinamik davranış analizleri için SHAKE programı kullanıldığı çalışmada, 1 Ekim 1995 Dinar depremi ana kaydı kullanılmıştır. Deneysel ve analitik çalışmalar arasındaki korelasyon ilişkileri ile bu çalışmalardan elde edilen büyütme parametreleri ve derlenen detaylı hasar verisine dayalı olarak belirlenen sismik bölgeleme çalışmaları arasındaki ilişkiler incelenmektedir (Güllü, 2000).

1997 yılındaki ilk mikrobölgeleme çalışması sonuçlarına göre, Santa Fe De Bogota-Colombia şehri için, anakaya seviyesinde 475 yıllık dönüş periyoduna karşılık maksimum yatay ivme

değeri 0,20 g olarak elde edilmiştir. Zemin tipleri ile birlikte 1D ve 2D analiz sonuçlarına göre şehir, tipik tasarım ivme spektrumlarına dayalı olarak 6 farklı bölgeye ayrılmaktadır. Bu mikrobölgeleme haritası, yapılar için sismik değerlendirme yönetmelikleri ve şehrin planlama gelişimi için bir temel oluşturulmakla birlikte sonuçların ampirik deprem verileri ile desteklenmemiş olması bir eksiklik olarak görülmektedir. Bu doğrultuda 1999 yılında kurulan ağda, 32 ivmeölçer ilk mikrobölgeleme haritasını göz önüne alan bir dağılımda yerleştirilmiştir. 3 ivmeölçerden de derin seviyelerden (115 m, 126 m, 184 m) kayıt alınabilmektedir. Haziran 1999 tarihinden itibaren kaydedilen 15 sismik olay ($4.4 < M_L < 6.5$ ve dışmerkez uzaklıkları 55 km ile 510 km arasında değişen) 10 cm/sn^2 'lik küçük ivmelerle zayıf yer hareketi niteliğini taşımaktadır. Bu kayıtlar ile birlikte her istasyonun yakınında ölçülen mikrotremor kayıtlarına dayanan çalışmada SH dalgasına ait %5 sönümlü ivme spektrumları hesaplanmış ve normalize edilen spektrumların gruplanması sonucu 6 ayrı bölge elde edilmiştir. Elde edilen spektrumların ilk mikrobölgeleme çalışmasında önerilen tipik tasarım ivme spektrumları ile karşılaştırılması sonucu bazı bölgelerde, spektral büyüklük ve spektral şekiller açısından önemli farklılıkların bulunduğu belirtilmektedir. Düşey ölçümlerin yapıldığı üç noktada, anakaya kaydı, modellenen zemin profili için SHAKE 91 programı ile yüzeye taşınmış ve hesaplanan elastik tasarım ivme spektrumları yüzeydeki kaydın ivme spektrumları ile karşılaştırılmıştır. Bu modellenen ve kaydedilen spektrumlarda hakim periyotlar benzerlik göstermekle birlikte, 0.8 sn'nin altında periyotlar için, modellenen zemin büyütmesinin daha düşük olduğu belirtilmektedir. Mikrobölgeleme haritaları, mikrotremor kayıtlarının Nakamura yöntemine göre analizinden bulunan hakim periyot değerleri ve yer hareketi kayıtlarına ait spektrumlardan elde edilen hakim periyot değerlerine dayalı olarak oluşturulmuştur. Zayıf yer hareketi ve mikrotremor kayıtlarından elde edilen hakim periyot değerlerinin, birbirleri ile ve ilk mikrobölgeleme haritasındaki zemin tipleri ile üçlü bir korelasyon gösterdiği belirtilmektedir. Çalışma, çoğunlukla lineer zemin davranışına neden olan zayıf yer hareketi kayıtlarının kullanılması nedeni ile yeni analizlerin gerekliliğini vurgulamaktadır (Ojedai vd. 2002).

Büyük bir kısmın sediment havzada yer alan Bursa şehri civarı için olası yer hareketini belirlemek amacı ile yapılan çalışma, farklı jeolojik birimlerden kaynaklanan zemin büyütmesi kadar zemin tipi ve derinliği etkisini de içeren stokastik bir model kullanılmaktadır. Jeolojik tabakalanma, sismik kırılma deney sonuçları ve sondaj verilerinden faydalanılarak kayma dalgası hızı, derinliğin bir fonksiyonu olarak belirlenmiştir. Hipotetik (varsayıma dayanan) bir depreme dayalı tehlike haritaları, 0.02 ile 4 sn aralığındaki 10 periyot değeri için %5 sönümlü spektral ivmeler cinsinden sunulmaktadır (Akyol vd. 2001).

Stokastik yer hareketi modellemesine dayalı geliştirilen bir simülasyon yöntemi ile Orta Amerika şehri için, yapıların performanslarının değerlendirilmesinde kullanılmak üzere yer hareketleri üretilmiştir. Yapay yer hareketi kayıtlarına dayalı olarak elde edilen eş tehlike davranış spektrumlarının FEMA 273' deki spektrumlarla uyumlu olduğu gözlenmiştir. Ancak bu çalışma gibi büyük ölçekli simülasyonlarda kullanılmak üzere lineer olmayan zemin davranışını modelleyen etkili yöntemlerin gerekliliği belirtilmektedir (Wen ve Wu, 2001).

2.2.4 Mikrobölgelemede kullanılan yer hareketi parametreleri

Yer hareketinin en önemli karakteristikleri olan genliği, frekans içeriği ve süresi çeşitli yer hareketi parametreleri ile tanımlanabilir. Bu parametrelerin bir kısmı yer hareketine ait tek bir özelliği tanımlarken bir kısmı da birden fazla özelliği yansıtabilmektedir. Mikrobölgeleme çalışmaları için en uygun parametre, uygulanan yaklaşım doğrultusunda değişebilir.

Yer hareketinin büyüklüğünün ölçülmesinde kullanılan pik ivme değeri mikrobölgeleme parametresi olarak kullanılabilir (Lungu vd. 1998). Yüksek pik ivmelere sahip yer hareketleri düşük pik ivmeli yer hareketlerine göre genel olarak daha yıkıcı olurlar. Ancak bu durum her zaman geçerli olmayabilir, çok yüksek frekanslardaki yüksek pik ivmeler çoğu yapı tipinde az bir hasar neden olur. Pik ivme çok faydalı bir parametre olmasına karşılık, hareketin frekans içeriği ve süresi ile ilgili bilgi sağlamamaktadır (Kramer, 1996).

Daha çok Ampirik-Deneysel yöntemlere dayalı yaklaşımın uygulandığı mikrobölgelemelerde kullanılan bir diğer parametre zemin hakim periyodudur (Ansal vd. 2001, Lermo ve Chavez-Garcia 1994, Romdhane 1998). Ancak Emilia-Romagna (İtalya) uygulamasında olduğu gibi teorik yöntemlere dayalı olarak da belirtilmektedir. Bu çalışmada haritalanan mikrobölgeleme parametreleri; zemin hakim periyodu, 475 yıllık dönüş periyodu için pik ivme ve 0.2, 0.5, 1 sn periyotlarındaki spektral ivme büyütme faktörleridir. Uygulanan mikrobölgeleme yaklaşımı, sismik tehlike analizine dayalı olarak belirlenen yer hareketi için bölgedeki zeminlerin lineer davrandığını varsaymaktadır (Marcellini vd. 1998).

Sismik tehlike analizinde, kullanılan yöntemlerin dışında haritalama tekniklerinin de etkinliği olduğu, İskoçya'daki bir uygulamada vurgulanmaktadır. Bu uygulamada, harita kullanıcıları ve harita kullanımı dikkate alındığında, yer hareketi parametresi olarak şiddetin kullanılmasının uygun olabileceği belirtilmektedir (Muson ve Henni, 2001).

Benzer diğer bir uygulamada, Basel (İsviçre) şehri için sunulan hasar senaryosu tekniğinde, mikrobölgeleme haritaları nitel bir değere dayanmaktadır. Bu değer, yer hareketi büyütmesine

sebepe olabilecek 7 yerel zemin parametresinin etkisini dikkate almaktadır. Bu parametreler Kuvaterner ve Prekuvaterner sedimentlerinin konsolidasyonu, tipi, kalınlığı ve sıkışma potansiyelini içermektedir. Yerel zemin şartlarının büyötmeye karşı hassasiyetini tanımlayan değeri, son 100 yıl boyunca gözlenen makrosismik şiddet verisinin dağılımı temel alınarak, ortalama bölgesel yoğunluk değeriine göre ± 1 şiddet dereceleri aralığında değeriendirilmektedir (Fah vd. 2001).

Detaylı geoteknik incelemelerin olmaması durumundaki bir mikrobölgeleme çalışması, litoloji, tahmini rijitlik ve tabaka derinliği gibi mühendislik jeolojisi özelliklerine dayalı olarak sismik yönetmelik kriterlerine dayanmaktadır. Atina (Yunanistan) için önerilen bölgeleme 1999 Atina depremi ($M=5.9$) hasar dağılımı ve sınırlı sayıdaki nokta için değeriştirilen sayısal analiz sonuçları ile de kontrol edilmektedir (Marinos vd. 2001).

Depremler sırasında yapısal hasarı ve diğeri kayıpları etkileyen ana faktör, yetersiz yapı tasarım ve yapım tekniklerinden kaynaklanan yapısal kusurlar tarafından kontrol edilen bina hassasiyetidir. Diğeri taraftan, yapısal eksikliklerin etkisi deprem kaynak ve zemin şartlarının kontrol edildiği yer hareketi karakteristikleri ile ilgili diğeri faktörler tarafından arttırılmaktadır (Ansal ve Slejko, 2001). Bu doğrultuda mikrobölgeleme çalışmalarında önceden gözlenen yapısal hasar ile uyumlu ve yapıların mühendislik tasarımında uygulanabilir, uygun yer hareketi parametrelerinin seçilmesi büyük önem taşımaktadır (MERM, 2003).

Deprem mühendisliğinde yapı davranışı çok büyük bir öneme sahiptir ve bu doğrultuda davranış spektrumunun, yer hareketi karakterizasyonunda önemli ve faydalı bir araç olduğu kanıtlanmıştır. Aslında davranış spektrumu yapının davranışı ile filtrelenmesi nedeniyle yer hareketi karakteristiklerini dolaylı olarak yansıtmaktadır (Kramer, 1996). Ancak, yer hareketinin yapılar üzerindeki potansiyel etkisini göstermesi nedeniyle mikrobölgeleme çalışmalarında özellikle son zamanlarda farklı spektral parametreler tercih edilmektedir. Bu parametreler aynı zamanda yer hareketinin genliği, frekans içeriği ve süresi ile ilgili birden fazla karakteristiği yansıtmaktadır.

Larissa (Yunanistan) şehri mikrobölgeleme haritaları, benzer davranış spektrum şekillerine dayanmaktadır. SHAKE programı ile yapılan analizlerde anakaya seviyesindeki 4 tasarım depreminin, sismik tehlike analizleri sonucu önerilen olası iki deprem senaryosu (yakın odaklı-sığ ve uzak-ortalama derinlikte) ile uyumlu, benzer sismotektonik bölgelerdeki değeriçek kayıtlardan seçilmiş ve ölçekleme yöntemi ile belirlenmiştir (Pilitakis, 1995).

Mikrobölgeleme haritalarında çoğunlukla kullanılan spektral ivme parametrelerinin, spektral

ivmeler veya spektral büyütme olduğu söylenebilir (Ansal vd. 2001, Lav, 1994, Güllü, 2000, Akyol vd. 2001). Genel olarak tercih edilen bir diğer parametrenin ise spektral şiddet olduğu görülmektedir. Garfagnana (İtalya) bölgesinde sismik davranışın belirlenmesinde, 2D eşdeğer-lineer analiz sonuçlarına dayalı olarak zemin büyütme katsayısı ile 1D ve 2D analiz sonuçlarının karşılaştırılmasına dayalı topografik katsayısı parametreleri kullanılmıştır. Zemin büyütme katsayısı, anakaya ile yüzeydeki spektral şiddetin oranı olarak tanımlanmaktadır. Spektral şiddetler, bölgedeki mevcut bina ve altyapının temsil edilebileceği, 0.1 ve 0.5 saniye periyot aralığındaki hız spektrumunun integrali alınarak hesaplanmıştır. Topografik büyütme kat sayısı ise 0.2 sn ya da 0.4 sn periyodundaki spektral ivmelerin oranı olarak belirlenmektedir (Ferini, 2001).

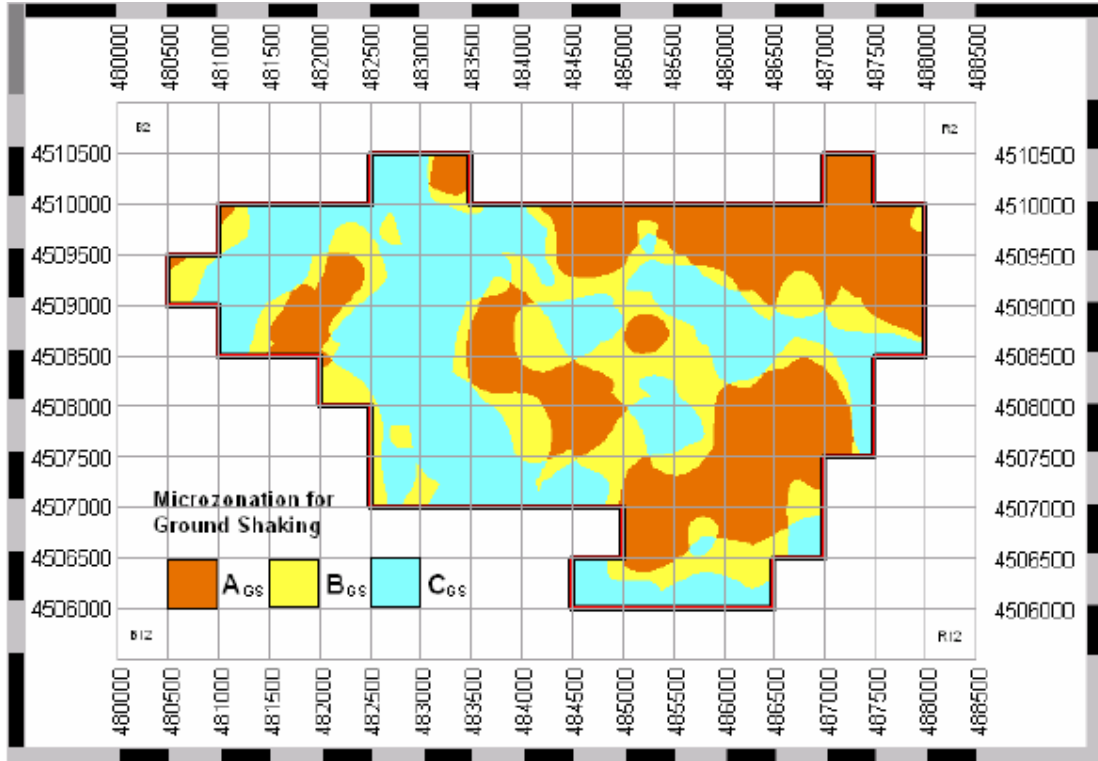
Umbria-Marche (İtalya) mikrobölgeleme çalışmasında ise, bir çok yapı için temel periyot aralığı olduğu düşünülen 0.1 – 0.5 sn arası için, yüzeydeki ve anakayadaki spektral şiddet oranı olarak tanımlanan amplifikasyon katsayısı kullanılmaktadır (Marzorati, 2003). İtalya'daki farklı bir bölge için bir diğer çalışmada, spektral şiddet oranı, 0.1 – 0.5 sn ve 1.1 - 2.5 sn olmak üzere iki periyot aralığı için hesaplanmaktadır. Yazarlar, spektral şiddet oranının, yapısal hasar ve diğer yer hareketi parametrelerine göre daha iyi temsil ettiğini belirtmektedirler (Pergalani vd., 2003).

Japonya'da depremde etkilenecek bölgeler için JMA (Japon Meteorological Agency) sismik şiddeti, yapısal hasarın tahmininde ve kriz yönetiminde kullanılan önemli parametredir. Bu parametrenin pik ivme (PGA), pik hız (PGV) ve spektrum şiddeti (SI) ile korelasyon ilişkileri, Japonya, Birleşik Devletler ve Tayvan'daki 20 depremde seçilen veri setine dayalı olarak incelenmiştir. Analiz sonuçları, JMA sismik şiddet değerinin en yüksek korelasyonu spektrum şiddet ile sağladığını göstermektedir. İki parametreyi analiz sonuçlarında, PGA ve SI birleşiminin, tek parametrelili çözümlere göre daha yüksek korelasyonlar gösterdiği belirtilmektedir. Aynı zamanda, spektrum şiddetinin yapısal hasar ile diğer yer hareketi parametrelerine oranla çok yüksek bir korelasyon gösterdiği, 1995 Kobe depremini de kapsayan bir başka çalışmanın sonucudur. Spektrum şiddetinin 60 cm/sn değeri, Japonya'da deprem sonrası doğal gaz kaynaklarının zorunlu olarak kapatılabilmesi için sınır bir değer olarak belirlenmiş olup, bu amaçla SI-sensörleri kullanılmaktadır (Karim ve Yamazaki, 2002).

Diğer taraftan farklı mühendislik problemlerinin, farklı yer hareketi karakteristiklerinden etkilenmeleri nedeniyle mikrobölgeleme çalışmaları için seçilecek yer hareketi parametreleri de değişmektedir. Los Angeles şehrinde, köprü, tünel ve yer altı boruları gibi zemindeki farklı deformasyonlara hassas yapıların tasarımı için farklı aşılma olasılıkları için düzenlenen

mikrobölgeleme haritalarında, normalize pik deformasyon parametresi kullanılmaktadır. Yöntemin metodolojisi, lineer zemin davranışı için geçerli olabilecek, deformasyon ve hız arasındaki basit ilişkiye dayanmaktadır (Todorovska ve Trifunac, 1996).

Mikrobölgeleme çalışmalarında, hedefler doğrultusunda en uygun parametrenin seçilmesi, uygulamada kullanılabilir önerilerin belirlenmesi açısından en önemli noktalardan birini oluşturmaktadır. Diğer taraftan seçilen parametrelerin haritalanmasında gelişen bir yaklaşım, sonuçların göreceli olarak yorumlanmasıdır. Türkiye'deki farklı bölgeler için uygulanmış mikrobölgeleme yöntemlerinde, elde edilen zemin büyütmesi parametrelerin, incelenen bölgedeki frekans dağılımlarını dikkate alan bir yaklaşımla relatif olarak 3 ayrı bölgede tanımlanmaktadır (Ansal vd., 2001), (Ansal vd. 2003). Şekil 2.1'de Gölçük için yapılan bölgeleme çalışması gösterilmektedir.



Şekil 2.1 Gölçük için yapılan bölgeleme (Ansal vd., 2003).

3. YEREL ZEMİN KOŞULLARININ DİNAMİK DAVRANIŞA ETKİLERİ

3.1 Giriş

Depremlerde yapıları etkileyecek deprem özellikleri önemli ölçüde bu yapıların bulundukları bölgelerdeki zemin koşullarından etkilenir. Bu nedenle yapılarda oluşabilecek hasarları tahmin etmek için yapılan çalışmalarda zemin tabakalarının etkisinin belirlenmesi önemli bir aşamadır. Zemin tabakalarının etkisi zemin tabakalarının cinsine, kalınlıklarına ve yeraltı su seviyesine bağlı olarak değişir. Bu özelliklerin belirlenebilmesi için inceleme alanı içindeki yapılmış sondaj bulgularının, sondajlardan alınmış numuneler üzerinde yapılmış deneylerden bulunan sonuçların birlikte değerlendirilerek zemin tabakalarının etkisi değerlendirilebilir.

Zemin kesitinde yer alan tabakalar kalınlıklarına, cinslerine ve özelliklerine bağlı olarak farklılıklar gösterir. Aynı şekilde zemin kesitinde yer alan farklı kalınlıklarda ve özelliklerdeki zemin tabakaları, bir noktadan bir noktaya da farklı olabilir. Bu nedenle depreme dayanıklı yapı tasarımında zemin hakim periyotları ve zemin büyütmesi gibi dinamik davranış özelliklerinin bir noktadan bir noktaya nasıl değiştiği belirlenmelidir (Ansal, 1994). Zemin tabakalarının depremler sırasında davranışlarını değerlendirebilmek amacıyla dinamik zemin özellikleri arazi ve laboratuvar deneyleri ile bulunur. Yerel zemin koşulları olarak tanımlanan zemin kesitinde yer alan zemin tabakalarının özellikleri, yeraltı su seviyesi ve anakaya derinliği gibi bir anlamda noktasal bir anlamda bölgesel özelliklerin bulunmasında arazide yapılmış sondaj ve arazi deney sonuçlarından yararlanılır. Bir bölge veya bir yerleşim merkezi için bu tür bir çalışma yapılması halinde bölgenin jeolojik yapısına bağlı olarak çalışma alanı içinde yeterli inceleme noktası sayısı da değişir.

3.2 Zeminlerin Deprem Yükleri Altında Davranışları

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. Deprem 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 (Ansal & Erken, 1989).

Tekrarlı yüklerin etkisinde kalan zemin tabakalarının davranışı, temel görevi yaptıkları üst yapılar açısından önemlidir. Tekrarlı yükleme sonucu zemin taşıma gücündeki azalmaların ve

meydana gelebilecek oturmaların önceden belirlenmesi gerekir. Bu amaçla dinamik laboratuvar ve arazi deney yöntemleri geliştirilmiştir. Bu yöntemlerle zeminlerin tekrarlı yükler etkisi altındaki gerilme-şekil değiştirme (dinamik kayma modülü ve sönüm oranı) ve mukavemet özellikleri (kayma genliği ve çevrim sayısı) saptanabilmekte ve zemin davranışları incelenebilmektedir (Ansal, Yıldırım & Erken, 1995).

Zemin tabakaları, içinden geçen deprem dalgalarının özelliklerini etkilediği kadar, deprem dalgaları, örneğin sıvılaşma ve şev kaymalarında gözlemlendiği gibi, zemin tabakalarının mukavemet ve şekil değiştirme özelliklerini de etkiler. Böyle durumlarda bu tabakalar üzerinde yer alan yapılar sadece zemin özelliklerinin değişmesi sonucu büyük hasar görebilirler. Bu nedenle bu tür potansiyele sahip bölgelerin belirlenmesi ve incelenmesi gereklidir.

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 çalışmalardan çıkan genel sonuç depremler 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 çevre gerilmelerinde bir azalmaya yol açabileceği ve dolayısıyla da kayma mukavemetinde bir azalma meydana gelebileceğidir.

Depremler sırasında oluşan yer hareketleri değişken ve düzensiz bir yükleme niteliği gösterir. Bu da zemin tabakalarında tekrarlı fakat düzensiz kayma gerilmelerinin oluşmasına yol açar. Yön ve şiddet değiştiren bu tekrarlı kayma gerilmelerinin etkisi altında kalan zeminlerde oluşan boşluk suyu basınçları ve deformasyonların, mukavemet ve gerilme-şekil değiştirme özelliklerinde meydana getirdiği değişimin bilinmesi, stabilitenin gerçekçi bir biçimde hesaplanması için gereklidir. Zemin elemanlarının tekrarlı gerilmeler altında davranışlarını incelerken iki konu önem kazanır. Bunlardan ilki, tekrarlı kayma gerilmeleri altında kayma mukavemeti, diğeri ise gerilme şekil değiştirme ilişkileridir. Diğer önemli bir inceleme konusu ise tekrarlı gerilmeler sonrası kayma mukavemeti ve gerilme şekil değiştirme özelliklerinde meydana gelen değişimlerdir.

Geçmişte yapılmış deneysel çalışmaların sonuçları zeminler için dinamik kayma mukavemeti olarak tanımlanabilecek kritik bir tekrarlı kayma gerilmesi genliğinin bulunduğunu ve bu değerin yaklaşık statik mukavemetin %50' sine eşit olduğunu göstermektedir. Bu değerden küçük genlikte yapılmış deneylerde boşluk suyu basıncı ve birim kayma genliklerindeki artımlar sınırlı kalırken, kritik değerin üzerindeki deneylerde bu değerlerde hızlı artımlar gözlenmiştir. Kritik kayma gerilmesi genliğinde küçük genliklerde deney yapılması halinde meydana gelen birim kayma genlikleri sınırlı kalırken, boşluk suyu basınçları göreceli olarak yüksek değerlere çıkabilmektedir (Ansal, Yıldırım & Erken, 1995). Bu durumun statik mukavemeti olumsuz yönde etkileyeceği açıktır. Özellikle şevlerde ve kalıcı kayma gerilmelerinin bulunduğu durumlarda depremler sırasında oluşan artık boşluk suyu basınçları nedeniyle depremlerden bir süre sonra stabilitenin bozulduğu ve şev kaymalarının meydana geldiği görülmüştür. Bu nedenden ötürü deprem bölgelerinde şevlerde oluşabilecek boşluk suyu basınçlarını hesaba katmadan, sadece statik mukavemet parametrelerini kullanarak stabilite hesapları yapılması hasarlara yol açabilir. Kohezyonlu zeminlerin tekrarlı yükler etkisi altındaki davranışlarına etki eden faktörlerden biri de çevrim sayısı, diğer bir değişle depremin süresidir.

Böyle bir çalışmanın ilk aşamasında kaya ve zemin tabakalaşması, bu tabakaların özellikleri detaylı bir şekilde arazi ve laboratuvar deneylerine dayanarak incelenir. Ortaya çıkan verilere dayanarak, bir deprem sırasında zemin tabakalarının ve bu tabakaların üzerine oturan yapıların, nasıl bir davranış gösterecekleri deneysel, ampirik ve matematiksel modeller yardımıyla belirlenir.

Burada, deprem esnasında yer hareketlerinin büyük bir kısmının anakayadan yeryüzüne doğru yayılan kayma dalgalarının etkisiyle olduğu kabulüne dayanılmaktadır. Zeminlerin lineer olmayan davranışını göz önüne alan sayısal analiz yöntemlerinin gerçeğe daha yakın sonuçlar verdiği gözlenmiştir. Gerilme ve deformasyon sınır şartlarına uygun sayısal analiz yönteminin seçilmesinden sonra incelenecek bölgede olması muhtemel yer hareketinin özellikleri (en büyük ivme, hakim periyot, etkiye süresi) belirlenir. Bu aşamada zemin tabakalarının dinamik özellikleri (dinamik kayma modülü ve sönüm oranının birim kayma seviyesi ile değişimi ya deneysel olarak ya da deneysel bağıntılar vasıtasıyla) bulunur. Zemin tabakalarının depremler sırasındaki davranışının sayısal analiz yöntemleri ile incelenmesinde en önemli adım zemin tabakalarının geoteknik, jeolojik ve jeofizik özelliklerine ait gerek laboratuvar gerekse arazi deneylerinden elde edilen verilerin güvenilir olmasıdır.

3.2.1 Kum tabakalarında sıvılaşma olasılığı

Yeraltı su seviyesinin yüzeye yakın olduğu, diğer bir deyişle suya doygun, kum tabakalarında depremler sırasında boşluk suyu basınçlarının artması sıvılaşma olarak tanımlanan bir olaya yol açmaktadır (Erken & Ansal, 1994). Böyle bir durumda kum tabakası, kısa bir süre için viskos bir sıvı haline dönüşmekte ve bu tabakaya oturan bütün yapılarda büyük oturmalar, tabakanın içinde bulunan su ve yakıt depoları gibi yapılarda ise yüzeye doğru hareketler, şevlerde ise kaymalar meydana gelebilmektedir. Bu nedenle bu tür tabakalarda sıvılaşma olasılığının incelenmesi gerekir. Diğer yandan, daha önceleri sıvılaşmayacakları düşünülen siltli kum veya kumlu siltten oluşan, suya doygun, tabii zemin tabakalarının da depremler sırasında sıvılaşabilirliği yapılan araştırmalarda ortaya çıkmıştır (Erken vd., 1995). Son yıllarda olan bazı büyük depremlerde bu tür zemin tabakalarında sıvılaşma olaylarının gözlenmiş olması ve tabiatla saf kum tabakalarına göre bu tür tabakalarla daha sık karşılaşılması sıvılaşma olayının daha kapsamlı bir şekilde incelenmesini gerektirmektedir.

3.3 Yerel Zemin Tabakalarının Etkisi

Deprem dalgaları zemin tabakaları içinden geçerken özelliklerinin değişmesi yanı sıra zemin tabakalarının özelliklerini etkilemekte, bir yumuşama ve mukavemet kaybı oluşmasına yol açabilmektedir. Bu nedenle bir bölge için deprem tasarım özellikleri tanımlanırken, en önemli adımlardan biri o bölgedeki zemin tabakalaşması ve bu tabakaları oluşturan zeminlerin tekrarlı gerilmeler altındaki özelliklerinin belirlenmesidir (Ansal, 1998). Bu aşamada yerel zemin tabakalarının özelliklerinin arazi ve laboratuvar deneyleri yardımıyla istenen hassaslıkta bulunabilmektedir. Özellikle düşey ölçüm ağlarında alınmış kayıtlar, zemin tabakalaşmasının ve zemin tabaka özelliklerinin zemin yüzeyinde oluşan deprem hareketinin özelliklerini önemli ölçüde etkileyebileceğini ve oldukça yakın mesafelerde alınmış çok sayıda deprem kaydı, bir noktadan bir noktaya deprem özelliklerinin, deprem kaynak ve yerel geoteknik özellikler arasındaki karşılıklı etkileşim nedeniyle, önemli mertebelerde farklı olabileceğini göstermiştir (Ansal, 1999; Field & Hough, 1990; Hartzell vd. 1997).

Günümüzde artık depremlerde hasara yol açan ana etkenler bilinmektedir. Bu bağlamda hem güvenli, hem de ekonomik olarak deprem hasarlarını azaltmak mümkün olabilir. Depreme dayanıklı yapı üretiminde, maliyeti arttırıcı önlemler yerine, araştırmalara dayalı olarak daha uygun alanlar ve tasarım ilkelerinin belirlenmesi, yerleşim politikaları ve imar planları ile gelişmelerin yönlendirilmesi olabilecek bir depremin etkisini azaltmada tercih edilmelidir. Problemin çözümünü sadece depreme dayanıklı yapı üretiminde aramak gerçekçi bir yaklaşım

olmayabilir. Depreme dayanıklı yapı yapabilmek yalnızca teknik bir sorun olmaktan öte sosyal ve ekonomik faktörlere de bağlıdır. Bu nedenle amaç, daha az tehlikeli alanların belirlenmesi ile ilave maliyetlerin azaltılması, böylece hem ülke ekonomisi açısından kaynakların akılcı kullanımını, hem de deprem hasarının en aza indirilmesini sağlar.

Depreme dayanıklı yapıların yapılması için izlenen yaklaşımda yakın zamana kadar bölgenin sismisitesi ve kabaca sınıflandırılmış zemin cinsi ile yapıya ait bazı özelliklerin bilinmesi yeterli olarak görülmekteydi. Oysa son yirmi yıl içinde karşılaşılmış ve yorumlanabilmiş hasarlar daha detaylı çalışmalar yapılması gereğini ortaya çıkarmıştır. Depremden sonraki hasar esas alınarak, bir şehri bölgelere ayırmak yeniden yapılaşmanın en iyi kılavuzu olabilir (Ansal, İyisan & Ozkan, 1997; İyisan, Ansal & Kaya, 1997). Fakat hasar kayıtlarının seçilen bölgenin tümü için yeterli olmadığı ya da hızlı yapılaşmaya maruz kalan bölgelerde yapılaşmanın şeklini tayin etmek için yıkıcı bir depremin olmasını beklemek yerine böyle bir durumun mevcut verilere dayanarak geliştirilmiş değişik yöntemlerle incelenmesinin yararı açıktır. Bu açıdan olaya yaklaşıldığında, bir ülkeyi birkaç ayrı bölgeye ayıran sismik (makro) bölgelemeden çok daha detaylı ve mühendislik uygulamasına yönelik çalışmaların yapılması gerekli olmaktadır (Crouse & McGuire, 1996). Bu yaklaşımda seçilen bir bölgede olması beklenen depremin özellikleri çeşitli yöntemlerle belirlendikten sonra, yerel zemin koşullarına bağlı olarak farklı alanlarda yapılacak yapılarda uyulması gerekli tasarım kuralları ve buna bağlı olarak yapılaşmanın şekline yön veren haritaların oluşturulmasına diğer bir değişle mikrobölgeleme çalışmalarına öncelik verilmelidir.

Depremlerde yapısal hasara etki eden faktörler üç grup altında; deprem, yerel zemin ve yapı özellikleri olarak tanımlanabilir. Zemin tabakalarının cins, kalınlık, yeraltı su seviyesi gibi özelliklerinin kısa mesafeler içinde çok değişebilmesi, farklı bölgelerde inşa edilmiş aynı tip yapılarda farklı deprem hasarlarına sebep olabilmektedir. Geçmiş depremlere ait ivme ve hasar kayıtları incelendiğinde bu açıkça görülmektedir. Dolayısıyla hasarın azaltılması ve yıkılabilirlik analizlerinde, deprem esnasında farklı davranış gösterecek bölgelerin belirlenmesi doğru olacaktır.

Bir bölgede depremlerin etkisini incelerken, öncelikle zemin tabakalarında deprem nedeniyle, oturmaların, sıvılaşmanın, yamaç ve şevlerde kaymaların olabileceği bölgeler uygun analiz yöntemleri ile değerlendirilmelidir. Buna ek olarak, mikrobölgeleme çalışmalarında, incelenen bölgedeki zemin tabakalarının deprem özellikleri üzerindeki etkisi farklı yöntemlere göre bulunabilir. Yerel zemin koşullarının yapılarda hasar oluşturacak etkilerini başlıca şu şekilde sınıflandırabiliriz:

- Zemin koşullarının deprem özelliklerine etkisi,
- Zemin tabakalarında oturmalar,
- Zemin tabakalarının sıvılaşması,
- Yamaçlarda stabilitenin bozulması (Özaydın, 2001).

Bütün bu konuların ayrı ayrı incelenmesi ve elde olunan bulgulara göre mikrobölgeleme yapılması tercih edilir. Depremler esnasında belirli bir bölgedeki yer hareketi buna sebep olan enerji boşalmasının şekli ve oluşan dalgaların içinde yayıldığı ortamın özelliklerinden etkilenmektedir. Bölgesel jeoloji ve topografik şartlar deprem dalgalarının özelliklerini önemli derecede değiştirerek aynı sismik hareketlere maruz, birbirine yakın bölgelerde aynı tip yapılarda farklı mertebelerde hasara neden olabilmektedir. Bunun yanı sıra deprem dalgaları zeminlerin davranış özelliklerinin değişmesine ve yine yakın mesafelerde farklı hasarların oluşmasına yol açabilir.

Son yıllarda olan depremlerde meydana gelen hasarlar ve bu konuda yapılmakta olan araştırmalardan elde edilen sonuçlar, karşılıklı etkileşim yapan bu ilk iki faktörün çok önemli olduğunu göstermiştir (Ansal & Lav, 1995; Ansal & Siyahi, 1995). Deprem riskinin yüksek olduğu bölgelerde detaylı sismolojik, jeolojik ve geoteknik incelemelerinin yapılması ve bu çalışmalardan elde edilen sonuçların değerlendirilerek, bölgede oluşabilecek depremlerin özelliklerini ve bu özelliklerin farklı jeolojik ve zemin koşullarında nasıl olacağını belirlenebilmesi için bir kuvvetli yer hareketi kayıt ağı oluşturulması tercih edilen bir yaklaşımdır.

3.4 Zemin Büyütmelerine Göre Bölgeleme

Geoteknik risklere karşı sismik bölgelendirme çalışmaları yapan bir grup bilim adamı (Technical Committee for Earthquake Geotechnical Engineering, TC4, ISSMFE, 1993), bir zemin tabakasının yüzey kesimlerinde elde edilen kayma dalgası hızının, söz konusu zeminin büyütmeye seviyelerinin belirlenmesi açısından oldukça önemli bir zemin özelliği olduğunu belirtmişlerdir.

Shima (1978), yüzeyde ölçülen kayma dalgası hızı ile anakayada ölçülen kayma dalgası hızı oranına bağlı olarak büyütmeye faktörünün analitik olarak hesaplanabileceğini göstermiştir. Buna göre anakayadaki kayma dalgası hız değerinin sabit olduğu bölge üzerinde büyütmeye neden olan etkinin yüzeydeki kayma dalgası hızından kaynaklandığını belirtmiştir.

Midorikawa (1987), Borchardt vd. (1991), tarafından yapılan araştırmalarda yer hareketi

esnasında ortaya çıkan kayma dalgası hızının gözlenmesi ve analizi sonucunda, açığa çıkan bu hızın ortalama değerinin, yüzeyde belirli derinlikte yer alan zeminlerde meydana gelen büyütme seviyeleri üzerinde önemli bir etkisi olduğunu belirtmişlerdir. Araştırmacılar tarafından önerilen ortalama kayma dalgası hızı ile büyütme faktörü arasındaki korelasyon bağıntıları Çizelge 3.1’ de verilmektedir.

Çizelge 3.1 Büyütme oranları ile ortalama kayma dalgası hızı arasındaki korelasyonlar.

Araştırmacılar	Eşitlikler
Midorikawa (1987)	$A_K = 68V_s^{-0.6} (V_s < 1100 \text{ m/sn})$ $= 1.0 (V_s > 1100 \text{ m/sn})$
Borcherdt vd.(1991)	$AHSA = 700/V_s \text{ (zayıf hareket için)}$ $= 600/V_s \text{ (kuvvetli hareket için)}$

A_K : Zemindeki en büyük hız için bağıl büyütme faktörü

$AHSA$: 0.4~2.0 s periyot aralığında ortalama yatay spektral büyütme

V_s : 30 m derinlik içerisindeki ortalama kayma dalgası hızı (m/sn)

Yüzey jeolojisine bağlı olarak zeminlerde meydana gelen büyütme davranışı farklı yöntemlerle analiz edilebilmektedir. Borcherdt & Gibbs (1976) yapılan nükleer denemeler sırasında meydana gelen yer hareketinin, değişik zemin yapısına sahip bölgelerde neden olacağı büyütme etkisini, granit zemin üzerinde belirledikleri referans noktasına göre belirlemeye çalışmışlardır. Bununla birlikte yer hareketinin şiddetinde zemin yapısına bağlı olarak meydana gelen artışın, ortaya çıkacak bağıl büyütme faktörü ile de yakından ilgili olduğunu belirtmişlerdir. Shima (1978), Midorikawa (1987) yaptıkları benzer çalışmalarda, farklı zeminlerde sahip olunan farklı yüzey jeolojik yapısı nedeniyle görülebilecek bağıl büyütme faktörü değerlerini, zeminin sismik davranışını dikkate alarak yaptıkları analitik hesaplamalar ile belirlemeye çalışmışlardır. Çizelge 3.2’ de bu araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalardan farklı yüzey jeolojisine göre belirlenen bağıl büyütme faktörü değerleri görülmektedir.

Çizelge 3.2 Farklı jeolojik yapılardaki büyütme faktörleri.

Jeolojik Birim	Bağıl Büyütme Faktörü (A_K)
<u>Borcherdt & Gibbs (1976)</u>	
Körfez Çamuru	11.2
Alüvyon	3.9
Granit	1.0
<u>Shima (1978)</u>	
Turba	1.6
Humuslu zemin	1.4
Kil	1.3
Kum	0.9
<u>Midorikawa (1987)</u>	
Holosen (Güncel çökeller)	3.0
Pleistosen çökelleri	2.1
Volkanik kaya	1.6

4. COĞRAFI BİLGİ SİSTEMİ (GIS) HAKKINDA GENEL BİLGİ

4.1 Giriş

Bir mikrobölgeleme çalışmasında, yerel zemin koşullarını açıklayan parametrelerin bölgedeki değişimin belirlenmesi ve bu parametrelerin analizi sonucu elde edilen veri tabakalarının birleştirilerek aralarındaki ilişkilerin anlaşılması gerekmektedir. Ayrıca elde edilen tüm veriler coğrafi koordinatlar ile ilişkilendirilmelidir. Bütün bu işlemlerin gerçekleştirilebilmesi ve uygulanabilmesi için istatistiksel veya matematiksel coğrafi analizlerine ve verilerin görsel olarak sunumlarının yapılmasına gereksinim vardır. Bu amaç için kullanılan en iyi araçlardan birisi de Coğrafi Bilgi Sistemi (GIS)' dir (Adatepe, 2003).

4.2 Coğrafi Bilgi Sistemi (GIS) Nedir?

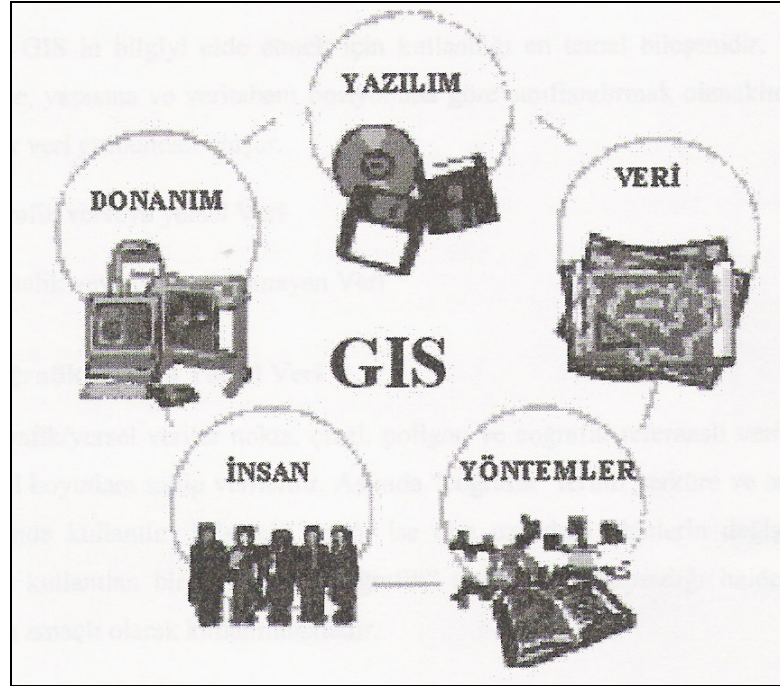
Coğrafi Bilgi Sistemi (GIS) araştırma, planlama ve yönetimdeki karar verme yeteneklerini arttırmak ve ayrıca zaman, maliyet ve personel tasarrufu sağlamak amacıyla; coğrafi nesnelere ait grafik ve grafik olmayan verilerin toplanması, depolanması, işlenmesi, analizi ve sunulması fonksiyonlarını bütünleşik olarak yerine getiren donanım, yazılım, coğrafi veri ve personelden oluşan bir bütündür.

Çizelge 4.1 GIS (CBS) tanımı.

GIS (CBS)		
Coğrafi Bilgi Sistemi		
G (C) : Coğrafi	I (B) : Bilgi	S (S) : Sistem
Lokasyona ait veriler.	Veri tabanları	Kullanıcılar
Koordinat sistemi	Gösterimler/Ürünler	Donanım/Yazılım

Başka bir tanımla GIS, coğrafi veriler üzerinde aşağıda belirtilen işlemleri yapan bilgisayara dayalı bir yapısal sistemdir (Davis, 1996)

- Birçok kaynaktan veri toplama,
- Etkili kullanıma sahip dijital formda verilerin depolanması,
- Ortak bir veri tabanında toplanan çeşitli verilerin yönetimi,
- Verilerin çeşitli şekillerde seçilmesi ve görüntülenmesi,



Şekil 4.2 GIS bileşenleri.

4.3.1 Donanım

Donanım GIS işlemlerinin gerçekleştirilmesinde ve temel olarak veri girişi, veri yönetimi ve veri sunumunda kullanılan aletlerdir. Bunlar genel olarak bilgisayar, sayısallaştırıcı, tarayıcı, çizici ve yazıdan oluşur.

4.3.2 Yazılım

Yazılım veri tabanı yönetimi ve coğrafi analizleri içeren ve ticari olarak satılan paket programlardır. GIS yazılımlarında veri tabanı yönetimi işlevsellersi; verilerin depolanmasını, manipule edilmesini, değiştirilmesini, görüntülenmesini, sorgulanmasını ve coğrafi nokta veya koordinatlar ile ilişkilendirilmesini destekler. GIS'deki coğrafi operasyonlar ise; harita koordinat dönüşümü, haritaların birleştirilmesi, haritaların değişik formlara dönüştürülmesi veya birleştirilmesi işlemlerinde oluşan düzensizliklerin giderilmesi, tematik haritalama yapılması, raster ve vektör verilerin birbirine dönüştürülmesi, haritaların çakıştırılması, tampon bölgeler oluşturulması, uzaklık-çevre-alan ölçümlerinin yapılması ve coğrafi verilerin 2D-3D modellerinin oluşturulması gibi temel kartografik ve coğrafi analizleri içerir.

4.3.3 Veri

Veri (Data), GIS in bilgiyi elde etmek için kullandığı en temel bileşenidir. Verileri genel

olarak türüne, yapısına ve veritabanına opsiyonuna göre sınıflandırmak olanaklıdır. GIS temel olarak iki tür veri grubundan oluşur.

- Coğrafi ve/veya yersel veri
- Öznitelik veya coğrafi olmayan veri

4.3.3.1 Coğrafi ve/veya yersel veri

GIS de coğrafi/yersel veriler nokta, çizgi, poligon ve coğrafi referanslı veriler olup genel olarak yersel boyutlara sahip verilerdir. Aslında “Coğrafi” terimi yerküre ve onun 2D ve 3D gösterimlerinde kullanılır. “Yersel” terimi ise tüm uzaydaki objelerin değişik boyutlarını açıklamakta kullanılan bir terimdir. “Coğrafi” terimini de kapsadığı halde bu iki terim genelde aynı amaçlı olarak kullanılmaktadır.

4.3.3.2 Öznitelik veya coğrafi olmayan veri

Coğrafi parametreleri sayılar, harfler, resimler veya çizimler olarak sunan verilerdir. Öznitelik verisi genel olarak tablolar şeklinde saklanır ve her bir öznitelik verisi bir öge tarafından tanımlanır. Bu tür verilerin parsel numarası, sahibi, bitki türü tanımlayıcı, alan, hacim, voltaj gibi sayısal tanımlama veya su, hava ve zemin durumu gibi sayısal olmayan tanımlama özellikleri vardır. Gerçek bir GIS de öznitelik verisi coğrafi lokasyonlar ile ilişkilendirme özelliğine sahip olmalıdır.

4.3.3.3 GIS’te kullanılan veri yapıları

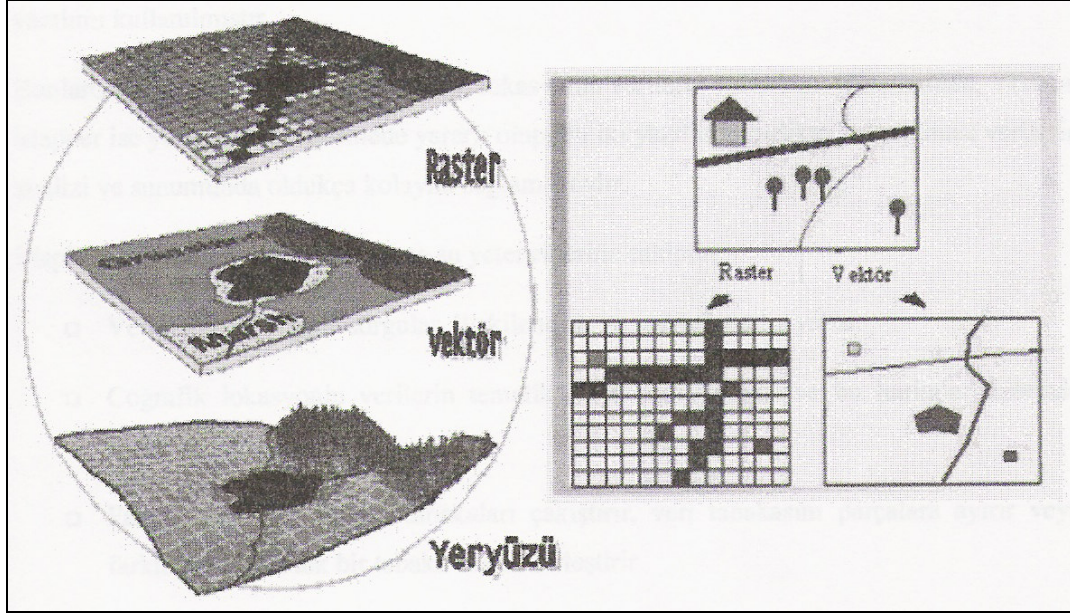
GIS grafiksel verileri iki temel veri yapısında saklar ve gösterir. Bunlar;

- Vektör veri yapısı
- Raster veri yapısı olarak adlandırılırlar.

Vektör verileri noktalar, bir dizi koordinat üzerine yerleşen ve matematiksel olarak ifade edilen çizgiler ve poligonlar olarak tanımlanabilir. Bunlar bir çeşit coğrafi veya mekansal koordinata sahip bir veri modeli olup, yüksek çözünürlüklerinden dolayı kolay gösterime sahiptirler. Ayrıca bu verilerin saklanması donanımda fazla yer kaplamaz. Ancak bu verilerle coğrafi analiz yapmak yüksek kapasiteli donanımlar gerektirir. Ayrıca raster veriye dönüştürmede de elemanların hata payları artar.

Raster veri yapısı coğrafi bir veri modeli olup, veriyi piksel adı verilen noktacıklar serisi olarak gösteren bir yapıya sahiptir. Bu yapıdaki verilere örnek olarak hava fotoğrafları, uydu görüntüleri ve haritalar verilebilir. GIS de tabakaların çakıştırılması ve bazı istatistiksel

analizler bu format ile etkili bir şekilde yapılır. Dikdörtgen gibi dik açılı vektör şekillerin raster formatında gösterimi sorun oluşturmamasına karşın diğer şekillerin gösterimi hata payını artırmaktadır. Bu hata payını azaltmak için çözünürlük artırılabilir ancak o zamanda veri hacmi artmakta ve saklama prolemi ortaya çıkmaktadır.



Şekil 4.3 Vektör ve Raster veri yapısı.

4.3.4 İnsan

GIS bir takım çalışmasıdır. Bir GIS çalışma grubu genel olarak proje yöneticisi, sistem analizcisi, teknisyen ve kullanıcılardan oluşmaktadır. Grubu oluşturan elemanlar, sistemi genel olarak bilen, yönetebilen ve bu sistemi kullanarak karşılaşılan sorunlara çözüm üretme yeteneğine sahip olan kişilerdir.

4.3.5 Yöntemler

GIS uygulamalarında genel olarak iki yöntem uygulanır;

- I . Yöntem : Küçükten başlar ve büyüğe doğru genişler.
- II .Yöntem : Çok detaylı bir integrasyon yaklaşımı ile başlar.

Bu yaklaşımlar sırasıyla tümevarım ve tümdengelim yaklaşımları olarak ifade edilebilir. Problemin çözümünde, GIS için gerekli alt yapı oluşturulamamışsa birinci yöntem uygulanır. GIS deki bütün gerekli integrasyonlar sağlandıktan sonra problem çözülür ise ikinci yöntem kullanılıyor demektir (Adatepe, 2003).

4.4 Tez Kapsamında Kullanılan GIS Yazılımlar

Bu çalışmada yerel zemin koşullarının bölgedeki değişimi GIS kullanılarak incelenmiş ve sunulmuştur. Bu amaçla “MapInfo Professional” ve “Vertical Mapper” olmak üzere iki GIS yazılımı kullanılmıştır.

Bunlardan MapInfo Professional, coğrafi lokasyonlu verilerin veritabanı yönetiminde, Vertical Mapper ise yüzeysel modellemede yararlı olup, bu iki yazılımın birlikte kullanılması verilerin analizi ve sunumunda oldukça kolaylık sağlamaktadır.

MapInfo Professional GIS’ in başlıca şu yeteneklerine sahiptir;

- Verileri SQL dilinde sorgular, ilişkilendirir ve coğrafi analiz yapar.
- Coğrafi lokasyonlu verilerin tematik haritalarını çıkarır ve bu haritalar üzerinde analizler yapar.
- Farklı verilerden oluşan tabakaları çakıştırır, veri tabakasını parçalara ayırır veya farklı tabakaları tek bir tabaka olarak birleştirir.
- Haritaları hem analize, hem de sunuma uygun farklı projeksiyonlara dönüştürür.
- Buffer analizi yapar.
- Sahip olduğu araçlar ile haritalar üzerinde çıkarma, ekleme, değiştirme gibi detaylı düzenlemeleri yapar.

Vertical Mapper’ da bir GIS yazılımı olup, verilerin coğrafi modellenmesi konusunda temel olarak şu yeteneklere sahiptir;

- Coğrafi lokasyonlu verilerin modellenmesinde, veriler arasındaki değerleri matematiksel veya istatistiksel olarak hesaplayarak sürekli yüzeyler elde edip göstermek.
- İçerdiği coğrafi analiz araçları ile birlikte, karışık matematiksel bağıntılar kullanarak, farklı harita tabakalarını hem karşılaştırmalı hem de ayrı olarak analiz etmek.

MapInfo, nokta, çizgi ve alan objeleri ile veriler üzerinde birtakım coğrafi analizler yapabilir ancak bu objeleri kullanarak coğrafya üzerinde sürekli yüzeyler elde edemez, yani yüzeysel modelleme yapamaz. Bunun yapılabilmesi için, coğrafi lokasyonlu veriler arasındaki noktaların da anlamlı olarak bulunup yeni bir grid dosyasında oluşturulan veri ve coğrafi lokasyon noktalarının analiz edilmesi gerekir. Bu işlem için Vertical Mapper’da ki standart hesaplama yöntemlerine dayalı interpolasyon ve modelleme araçlarından yararlanılır. Ayrıca Vertical Mapper, oluşturulan modeli sahip olduğu renk kapasitesiyle iki veya üç boyutlu olarak etkili bir görünümle sunma yeteneğine de sahiptir.

Bu iki program birlikte çalışacak şekilde üretilmiş olup, MapInfo'nun geniş veri tabanı analiz araçları Vertical Mapper'da yüzeysel modelleme seçenekleri kullanılarak, verilerin GIS ortamında analizi ve modellenmesi rahatlıkla yapılabilmektedir.

Bu çalışmada GIS kullanılarak, yerel zemin koşullarının bölgedeki değişiminin uygun bir yüzey modeli ile gösterilmesi, bölgenin hasar haritasının çıkarılması ve yerel zemin koşullarındaki değişim ile hasar verilerinin tek tabakada birleştirilerek aralarındaki korelasyonun incelenmesi amaçlanmaktadır. Bundan sonraki bölümlerde, bu amaç doğrultusunda, GIS bir araç olarak kullanılarak çalışmaya yön verilmiştir.

5. MİKROBÖLGELEME YÖNETMELİĞİ (MERM, 2003)

5.1 Giriş

1999 yılında iki büyük depremin yarattığı kayıpların ardından, Marmara Bölgesi'ni ve özellikle İstanbul'u etkileyecek olası bir depremin oluşma riskinin artması nedeniyle, bölgede deprem tehlike analizlerine dayanan, kapsamlı deprem müdahale planları hazırlanmıştır. Boğaziçi Üniversitesi KOERI tarafından Eartquake Risk Assessment for Istanbul Metropolitan Area (Mayıs 2002)'da İstanbul metropolitan alanına ait bir deprem risk modeli geliştirilerek bir senaryo deprem sonucunda meydana gelebilecek insani ve sosyal kayıpların tahmini yapılmıştır. İstanbul İli Sismik Mikro-Bölgeleme Dahil Afet Önleme/Azaltma Temel Planı (JICA, Mart 2002) çalışmalarında İstanbul ili ve ilçelerini kapsayan bölgelerin deprem tehlikesi deterministik bir yaklaşımla incelenerek farklı senaryo depremler sonucunda meydana gelebilecek insani ve sosyal kayıpların tahmini yapılmıştır. Senaryo depremi sonucunda meydana gelen tüm fiziksel kayıpların eşzamanlı olması, bir kent genelinde depremden kaynaklanacak toplam kayıpların hesaplanması ve acil müdahale ve kurtarma faaliyetlerinin planlanması açısından senaryo depremlerinin kullanılması uygundur. Ancak belirli bir bölge için deprem tehlikesinin hesaplanmasında, bölgeyi etkileyebilecek tüm kaynakları ve deprem oluşumları ile ilgili belirsizlikleri dikkate alması açısından probabilistik yöntemlerin kullanılması daha tutarlı bir yaklaşım olacaktır. Probabilistik deprem tehlikesi analizi, bir bölgede etki yaratabilecek her bir kaynak bölgesinde oluşabilecek her büyüklük ve her uzaklıktaki depremin oluşturacağı her bir senaryo için yer hareketi seviye bilgilerini toplar ve her bir parametre için yer hareketi seviyesindeki yıllık aşılma olasılıklarını belirler (Cornell, 1968; GSHAP 1999; Frankel et al., 1996).

5.2 Yerel Zeminlerin Geoteknik Özellikleri

Depremlerde yapıları etkileyecek deprem özellikleri önemli ölçüde bu yapıların bulundukları bölgelerdeki zemin koşullarından etkilenir. Bu nedenle yapılarda oluşabilecek hasarları tahmin etmek için yapılan çalışmalarda zemin tabakalarının etkisinin belirlenmesi önemli bir aşamadır. Geoteknik özelliklerin anakaya derinliğine kadar veya anakaya olarak kabul edilecek yüksek kayma dalgası hızına sahip (>700 m/sn) zemin tabakalarına kadar yapılması, özellikle dinamik analiz çalışmalarında doğru modelleme yapabilmek için oldukça önemlidir. Anakaya derinliğine kadar deney yapılmasının zor olduğu durumlarda ilk 30 m için araştırma yapılması uygun olacaktır.

Geoteknik incelemeler kapsamında yapılan laboratuvar deneylerinde zeminlerin endeks özellikleri, statik ve dinamik kayma mukavemeti parametreleri ile rijitlik ve sönüm özellikleri bulunur. Mikrobölgeleme çalışması kapsamında zeminlerin deprem hareketi altındaki davranışı incelendiğinden, zeminlerin dinamik özellikleri daha önemli olmaktadır. En önemli iki özellik kayma modülü (G_{maks}) ve sönüm oranı (D)'dır. Bu özelliklerin belirlenmesinde plastisite indisinin etkisini göz önüne almak gerekmektedir.

Geoteknik incelemeler kapsamında yapılan arazi deneylerinden bahsedilecek olursa; bunlar Standart Penetrasyon Deneyi (SPT), Koni Penetrasyon Deneyi (CPT), kayma dalgası hızının yerinde ölçüldüğü sismik deneyler ve mikrotremor deneyleridir. SPT deneyi, arazi deneylerinde en yaygın kullanım alanı bulmaktadır. Bu deneyle sınıflandırma için numune alınması, zeminin sıkılık derecesinin belirlenmesi ve (N) darbe sayısının bulunması mümkün olmaktadır. (N) darbe sayısı ile (V_s) kayma dalgası hızı arasında kurulan korelasyonlarda bu deneyin kullanım sahasının yaygınlaşmasına katkıda bulunmaktadır. Çizelge 5.1'de arazi penetrasyon deneylerinden kayma dalgası hızı hesabı için bazı ilişkiler gösterilmektedir.

Çizelge 5.1 Arazi penetrasyon deneyleri - kayma dalgası hızı ilişkileri (MERM, 2003).

Araştırmacılar	İlişki (V_s) (m/sn)	Zemin Türü
Imai (1977)	$V_s = 91 N^{0.377}$ $V_s = 102 N^{0.292}$ $V_s = 80.6 N^{0.331}$	Tüm zeminler Killer Kumlar
Otha ve Goto (1978)	$V_s = 85.35 N^{0.348}$ $V_s = 67.79 N^{0.219} D^{0.230}$ $V_s = 62.14 N^{0.219} D^{0.230}$	Tüm zeminler İnce kumlar (D : m) Killer (Tabaka Kal. (D : m))
Barrow ve Stokoe (1983)	$V_s = 154 + 0,64 q_c$	Tüm zeminler (q_c : kg/cm ²)
Sykora ve Stokoe (1983)	$V_s = 100.5 N^{0.29}$ $V_s = 134 + 0.52q_c$	Kumlar Kumlar (q_c : kg/cm ²)
Jinan (1987)	$V_s = 116,1(N + 0.3185)^{0.202}$	Holosen Çökelleri
Lee (1990)	$V_s = 57.4 N^{0.49}$ $V_s = 114.43 N^{0.31}$ $V_s = 105.64 N^{0.32}$	Kumlar Killer Siltler
İyisan (1996)	$V_s = 51.5 N^{0.516}$ $V_s = 55.3 q_c^{0.377}$	Tüm Zeminler Tüm Zeminler
Kiku (2001)	$V_s = 68.3 N^{0.292}$	Adapazarı zeminleri

5.3 Bölgenin Alt Bölgelere Ayrılması ve Temsili Zemin Profilinin Oluşturulması

Mevcut geoteknik verilerin mikrobölgeleme amaçlı analizi ve değerlendirilmesi için inceleme alanı karelajlara (500m×500m veya 250m×250m) bölünüp her bir karelay için tipik zemin profilleri belirlenerek Türkiye Deprem Yönetmeliği (Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik; AİGM, 1998), NEHRP (Ulusal Deprem Teklikesini Azaltma Programı; BSSC, 2001) ve eşdeğer kayma dalgası hızlarına göre sınıflandırılmalıdır.

5.3.1 Temsili zemin profilinin oluşturulması

Farklı kaynaklardan elde edilen ve ya belirli bir planlama çerçevesinde yeniden yapılacak zemin etüt verileri değerlendirilerek, tanımlanan karelerin merkezlerinde zemin profilleri tanımlanır. Bu tanımlama sırasında, karelay içerisinde birden fazla saha araştırma (örneğin sondaj çalışması) varsa, bunlar değerlendirilerek karelay ortasında temsili (representative) bir zemin profili oluşturulur. İçerisinde sondaj bulunmayan hücreler için ise, çevre hücrelerdeki

sondaj bilgilerinden faydalanılarak hipotetik (hypothetical) bir zemin profili tanımlanır. Bu değerlendirme sırasında bölgenin topoğrafyası, tektoniği ve jeolojisi (formasyon sınırları, litoloji değişiklikleri, tabakalanma, stratigrafik dizilim) gözönünde bulundurularak yakın sondajlar arasında enterpolasyon yapılır. Bazı durumlarda ise sondaj verilerinin ekstrapolasyonuna gerek duyulabilir. Çalışmalarda bazı karelajlar için oluşturulan “temsili ve hipotetik” zemin profilleri inceleme bölgesinde mevcut olan sondajların mühendislik tecrübelerine (engineering judgement) dayanılarak değerlendirilmesi sonucu belirlenir. Dolayısıyla, bu profiller sadece inceleme bölgelerinin sismik bölgeleme çalışmaları için üretilmiş olup, başka maksatlar için (yeni inşa edilecek binalar için yapılacak zemin incelemeleri, vb.) kullanılmamalıdır.

5.3.2 Eşdeğer kayma dalgası hızı ($V_{eş}$)

Düşey olarak değişik derinliklere yerleştirilmiş kuvvetli yer hareketi sismograflarından alınan kayıtlar ve yapılan araştırmalar yüzeyden itibaren üst 30 m içinde yer alan zemin ve kaya tabakalarının zemin yüzeyinde oluşan deprem özellikleri üzerindeki etkisinin önemli olduğunu göstermektedir. Bu da, üst 30 m içindeki zemin ve kaya tabakalarını kayma dalgası hızlarının ağırlıklı ortalaması olarak hesaplanan ve eşdeğer kayma dalgası hızı diye tanımlanan bir parametrenin yerel zemin etkilerini yansıtabileceğini göstermektedir (Borcherdt, 1994).

5.4 Yerel Zemin Koşullarının Belirlenmesi

Depremler sırasında arazi davranışının değerlendirilmesi açısından ve mikrobölgeleme çalışmaları gibi arazi sınıflandırmalarında kullanılan başlıca kriterler kayma dalgası hızı (V_s), Standart Penetrasyon Darbe sayısı (N) ve killi zeminler için drenajsız kayma mukavemeti (S_u)’dir. Ancak bazı çok olumsuz zemin koşullarına (göçebilen, sıvılaşılabilen zeminler, aşırı hassas killer, çok yüksek plastisiteli killer vb.) sahip arazilerin özel olarak dikkate alınarak geoteknik değerlendirmenin yapılması gerekmektedir.

5.4.1 Türkiye Deprem Yönetmeliği’ne göre zemin sınıflandırma sistemleri

1998’de yürürlüğe giren Türkiye Deprem Yönetmeliği depreme karşı dayanıklı tasarımlarda yerel zemin koşullarının etkisini dikkate almak için dört yerel zemin sınıfını göz önüne alarak, spektrum katsayısı hesabında yerel zemin koşullarına göre seçilecek spektrum karakteristik periyotları kullanılması öngörülmektedir. Spektrum karakteristik periyotları olan T_A ve T_B nin değerleri ise yine yönetmelikte verilen ve yerel zemin sınıflarının belirlenmesinde etkili

olan dört farklı zemin grubuna göre ve en üst zemin tabakası kalınlığına göre belirlenmektedir.

Deprem Yönetmeliğine göre zemin grupları belirlenirken çeşitli parametrelere göre sınıflandırma yapılmaktadır. Bu parametreler Standart Penetrasyon Deneyi sonuçları (N_{30}), kayma dalgası hızı değerleri, eksenel basınç deneyleri ve kumlu zeminler için relatif sıkılık değerleridir. Bu sınıflandırma yapılırken, yeraltı su seviyesinin zemin yüzeyinden itibaren 10 m içinde olduğu durumlarda D grubuna giren zeminler için sıvılaşma potansiyelinin bulunup bulunmadığının saha ve laboratuvar deneylerine dayanan uygun analiz yöntemleri ile incelenmesi gerekmektedir. Gruplandırma, zeminler, en üst tabaka kalınlığına bağlı olarak dört ana zemin sınıfına ayrılır ve temel tabanı altındaki en üst zemin tabakası kalınlığının 3 m' den az olması durumunda, bir alttaki tabaka, en üst zemin tabakası olarak göz önüne alınabilmektedir. Türkiye Deprem Yönetmeliği (TDY)'ne göre zemin sınıflandırılması ve buna bağlı olarak davranış spektrumlarının belirlenmesi için kullanılan zemin grupları ve tanımlamaları, zemin grubu ve en üst zemin tabakası kalınlığını dikkate alan yerel zemin sınıfları yönetmelikte ayrıntılı bir şekilde tablolar halinde sunulmuş ve yerel zemin sınıfları Z1, Z2, Z3 ve Z4 olmak üzere dört zemin sınıfına ayrılmıştır. Çizelge 5.2'de Türkiye Deprem Yönetmeliği'nde tanımlanan zemin grupları ve Çizelge 5.3'de de yerel zemin sınıfları gösterilmiştir.

Çizelge 5.2 Zemin Grupları (TDY, 1998).

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

Çizelge 5.3 Yerel zemin sınıfları (TDY, 1998).

Yerel Zemin Sınıfı	Çizelge 5.2' ye göre Zemin Grubu ve En Üst Zemin Tabakası Kalınlığı (h_1)
Z1	(A) grubu zeminler $h_1 \leq 15 \text{ m}$ olan (B) grubu zeminler
Z2	$h_1 > 15 \text{ m}$ olan (B) grubu zeminler $h_1 \leq 15 \text{ m}$ olan (C) grubu zeminler
Z3	$15 \text{ m} < h_1 \leq 50 \text{ m}$ olan (C) grubu zeminler $h_1 \leq 10 \text{ m}$ olan (D) grubu zeminler
Z4	$h_1 > 50 \text{ m}$ olan (C) grubu zeminler $h_1 > 15 \text{ m}$ olan (D) grubu zeminler

5.4.2 NEHRP (A.B.D.) Deprem Yönetmeliği

NEHRP (National Earthquake Hazard Reduction Program); Amerika Birleşik Devletleri'nde yapılacak olan yeni binalar ve diğer yapıların depreme dayanıklı tasarım ve inşaatı için uyulması gereken koşulları belirleyen ve BSSC (Building Seismic Safety Council) tarafından FEMA (Federal Emergency Management Agency) için hazırlanmış bir yönetmektir. Hazırlanan bu yönetmelikle, özellikle deprem riski yüksek olan bölgelerde inşa edilecek yapıların ve inşa edilmiş olan yapıların maruz kalabilecekleri tehlikeleri en aza indirerek, önemli binaların herhangi bir deprem sırasında veya sonrasında beklenen performanslarını arttırmak amaçlanmaktadır.

5.4.3 NEHRP'de zemin sınıflandırma sistemi

NEHRP tarafından hazırlanan yönetmelikte daha önceki yıllarda üç olan zemin sınıfı sayısı, 1985 Mexico City Depremi'nden sonra yerel zemin koşullarının etkisinin daha iyi anlaşılması ile birlikte dörde çıkarılmıştır. Daha sonra meydana gelen Loma Prieta Depremi'nden elde edilen ölçümler ve yapılan çalışmalardan sonra ise, yerel zemin koşullarının deprem davranışı üzerindeki etkisini göz önüne alabilmek için A'dan F'ye kadar değişen altı zemin sınıfının gerekliliğine karar verilmiştir. Bu zemin sınıfları Çizelge 5.4' de verilmiştir.

Çizelge 5.4'deki zemin sınıfı tanımları, zemin profilinin ilk 30 m'lik derinliği için geçerli olmaktadır. Bu derinlik içerisinde birbirinden kesin olarak ayrılan zemin tabakaları varsa, bunların her biri için zemin parametreleri dikkate alınarak ortalama değerler hesaplanmaktadır. Çizelge 5.4'de verilen zemin sınıfı tanımlamaları için kullanılan ve zemin

özelliklerini yansıtan kayma dalgası hızı, V_s , aşağıdaki şekilde hesaplanarak sınıflandırma yapılmaktadır.

$$V_s = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{V_{si}}} \quad (5.1)$$

Yukarıdaki ifadelerde d_i zemin yüzeyinden itibaren 30 m içerisindeki herhangi bir tabaka kalınlığı, V_{si} , ise yine zemin yüzeyinden itibaren 30 m içerisindeki herhangi bir tabakanın kayma dalgası hızıdır. Çizelge 5.4’de NEHRP’e göre zemin sınıfları gösterilmiştir.

Çizelge 5.4 NEHRP’ e göre zemin sınıfları.

Zemin Sınıfı	Zemin Özellikleri
A	Kayma dalgası hızı $V_s > 1500$ m/sn olan sert kayalar
B	Kayma dalgası hızı $760 \text{ m/s} < V_s \leq 1500$ m/sn olan kayalar
C	Çok sert zeminler ile kayma dalgası hızı $360 \text{ m/sn} < V_s \leq 760$ m/sn olan veya standart penetrasyon değeri $N > 50$ olan veya drenajsız kayma mukavemeti $S_u > 100$ kPa olan yumuşak kayalar.
D	Kayma dalgası hızı $180 \text{ m/sn} < V_s \leq 360$ m/sn olan veya standart penetrasyon değeri $15 < N \leq 50$ olan veya drenajsız kayma mukavemeti $50 \text{ kPa} < S_u \leq 100$ kPa olan katı zeminler.
E	Kayma dalgası hızı $V_s < 180$ m/sn olan veya standart penetrasyon değeri $N < 15$ drenajsız kayma mukavemeti $S_u < 50$ kPa olan veya 3 m’den kalın yumuşak kil tabakası bulunduran zemin profilleri. Yumuşak kil Plastisite İndeksi $PI > 20$, su muhtevası $w \geq \%40$ ve drenajsız kayma mukavemeti $S_u < 25$ kPa olan zeminler olarak tanımlanır.
F	Saha araştırma ve değerlendirmeleri gerektiren zeminler 1. Sismik yükler altında çökme veya Potansiyel göçme riskine sahip zeminler (Sıvılaşabilir zeminler, yüksek hassasiyetli killer, göçebilir zayıf bağlayıcılı zeminler vs.) 2. Turbalar ve/veya yüksek oranda organik killer ($H > 3$ m olan turba veya yüksek oranda organik killer $H =$ zemin tabakası kalınlığı) 3. Çok yüksek plastisiteli killer ($H > 8$ m ve plastisite indeksi $PI > 75$) 4. Çok kalın yumuşak/orta katı kil tabakaları ($H > 36$ m)

5.5 Bölgesel Sismik Tehlikenin Belirlenmesi

Mirkobölgeleme çalışmaları için bölgesel sismik tehlikenin belirlenmesi Olasılıksal Sismik Tehlike Değerlendirilmesi (PSHA) ile yapılmıştır. PSHA, sismik tehlikenin bütünsel olarak görülebilmesi için belirsizliklerin tanımlanarak sayısal olarak ifade edilmesine ve rasyonel bir şekilde ilişkilendirilmesine olanak veren bir ortam sağlamaktadır.

5.5.1 Probabilistik (Olasılıksal) deprem tehlikesi

Deprem tehlikesinin belirlenmesinde yaygın olarak kullanılan iki yöntem bulunmaktadır. Bunlardan birincisi incelenen sahayı etkileyebilecek tüm olası deprem senaryolarını dikkate alan probabilistik deprem tehlike analizidir. Bu analizin sonucunda elde edilen tehlike, referans zemin koşullarında en büyük yer ivmesi ve spektral ivmeler gibi yer hareketi parametreleri ile ifade edilmektedir. Diğer yöntem ise deterministik deprem tehlike analizidir. Deterministik deprem tehlike analizi genellikle probabilistik çalışmayı takiben yapılmaktadır. Bunun nedeni deterministik hesaplamada kullanılan deprem senaryolarının bileşik probabilistik tehlikenin ayrıştırılarak (degredasyon) belirli bir bölgedeki deprem tehlikesine en fazla katkı sağlayan deprem kaynaklarının belirlenmesi ile elde edilmesidir. Deterministik analiz sonucunda yer hareketi parametreleri veya yapay kuvvetli yer hareketi akselerogramları elde edilmektedir (Erdik vd., 2003a). Deprem oluşumları ile ilgili belirsizler dikkate alındığında, deprem yer hareketinin tanımlanmasında probabilistik yöntemin kullanılmasının daha tutarlı ve temkinli bir yaklaşım olduğu ortaya çıkmaktadır (Erdik vd., 2003b).

Probabilistik deprem tehlikesi hasar yapıcı yer hareketinin belli bir yerde ve belli bir zaman periyodu içerisinde meydana gelme ihtimali olarak tanımlanır. Her bir deprem senaryosu (kaynak uzaklığı – deprem büyüklüğü kombinasyonu) için oluşan yer hareketinin ihtimal seviyeleri de göz önüne alınır. Azalım ilişkileri ile bulunan yer hareketinin ortalama (median) ve standart sapma parametreleri ile belirlenen log-normal dağılımları olduğu kabul edilmektedir (Erdik vd., 2003b).

Deprem kaynağındaki büyük depremlerin ortalama tekrarlanma periyodundan daha kısa yinelenme süreleri için deprem tehlikesi, aşılma olasılıklarına bağlı olarak artar. Bu artımın ana sebebi, büyük aşılma olasılıklarında büyük depremlerin olma ihtimallerinin artmasıdır. Büyük depremlerin ortalama tekrarlanma periyodundan daha uzun yinelenme süreleri için deprem tehlikesi yine, aşılma olasılıklarına bağlı olarak artar. Bu durumda artımın ana sebebi azalım ilişkilerindeki istatistiki hatalar (standart sapma) oluşturmaktadır. İstatistiki olarak kaynak bölgesinde büyük depremler ne kadar çok sayıda oluşursa ortalama değerlerin üstünde

deprem yer hareketlerin oluşma ihtimali de o kadar artar. Diğer bir deyişle, üretebilecekleri en büyük depremlerin büyüklükleri aynı olsa bile, deprem aktivitesi yüksek olan bölgelerdeki probabilistik deprem tehlikesi, deprem aktivitesi daha düşük bölgelerden daha fazladır. Bu durum deterministik deprem tehlikesi belirlemeleri ile çelişki yaratmaktadır (Erdik vd., 2003b).

Probabilistik deprem tehlike hesaplarının temel elemanları deprem kaynağının (veya kaynaklarının) tanımlanması, her bir kaynak için deprem oluşum özelliklerinin tesbiti, yer hareketinin azalım ilişkilerinin belirlenmesi ve deprem oluşumlarının zaman boyutunda belirlenmesidir.

5.5.1.1 Azalım ilişkileri

Yer hareketi azalım modelleri probabilistik deprem tehlike hesaplamalarının en önemli unsurlarından biridir. Verilen bir deterministik deprem senaryosundan kaynaklanacak deprem yer hareketine ait davranış spektrumunun ampirik olarak belirlenmesinde de genel olarak azalım ilişkisi kullanılmaktadır. Azalım ilişkileri kuvvetli yer hareketi parametresinin büyüklük, faylanma mekanizması, yayılma hattı ve yerel zemin koşulları gibi parametrelere bağlı olarak tahminini sağlamaktadır (Erdik vd., 2003b).

Geliştirilmiş azalım ilişkilerinde spektral ivmeler depremin büyüklüğü, uzaklığı (R), deprem mekanizması ve lokal zemin koşullarına bağlı ifadelerle verilmektedir. Azalım ilişkilerinde kullanılan uzaklık parametresi;

- Odak noktasına,
- Merkez üssüne,
- Enerji boşalma merkezine,
- Fay yüzeyine,
- Fay uzantısına,

olan mesafe olarak tanımlanabilir. Tanımlardaki bu farklılıklar özellikle faya yakın bölgelerde çok önemli rol oynar (Erdik vd., 2003b).

Ülkemizde kaydedilmiş kuvvetli yer hareketi ivmelerinin kısıtlı sayıda olması, dünyanın başka bölgelerinden alınmış kayıtlardan elde edilmiş azalım ilişkilerinin kullanılmasını zorunlu kılmaktadır. Erdik vd. (2003a) ülkemizde kaydedilmiş kuvvetli yer hareketi verilerinin Kaliforniya verileri kullanılarak elde edilen azalım ilişkileri ile uyum sağlamadığını göstermektedir. Bu kapsamda Boore vd. (1997) ve Sadigh vd. (1997)

tarafından geliştirilmiş spektral ivme azalım ilişkilerinin kullanılması tavsiye edilmektedir (Erdik vd., 2003b).

Azalım ilişkileri özellikle faya yakın bölgelerde dikkatli kullanılmalıdır. Bu bölgelerde azalım ilişkilerinin fay uzaklığına ve deprem büyüklüğüne bağımlılıkları azalır ve standart sapmaları artar. Bu durum azalım ilişkilerinde kullanılan fiziksel modellerin yetersizliğinden, dalga yayılım özelliklerinden, yırtılma boyutları ve direktivite etkisinden ve olası doğrusal olmayan zemin davranışlarından kaynaklanmaktadır.

En büyük yer ötelemesi için geliştirilmiş azalım ilişkilerinde yer ötelemesinin sadece dinamik bileşenleri göz önüne alınmaktadır. Toplam ötelemenin hesabında kullanılması gerekli olan statik öteleme bileşeninin ayrıca tahmini gereklidir (Erdik vd., 2003b).

5.5.1.2 Deprem oluşumunun modellenmesi

Probabilistik deprem tehlikesi hesaplarında deprem oluşumlarının zaman boyutunda tamamen rassal ve hafızasız (zaman bağımsız) veya belirli bir periyodisite (zaman bağımlı) ile meydana geldiği kabulü önemli bir unsurdur. Zaman bağımlı modellerde, aktif fay üzerinde oluşmuş olan son büyük (karakteristik, yani bir fay segmentinin tamamının kırıldığı) depremden sonra geçen süre arttıkça yeni bir büyük (karakteristik) depremin oluşum olasılığı artmaktadır. Zaman bağımlı modelin diğer modellerden ayırıcı özelliği karakteristik depremlerin yinelenme aralığına ait olasılık yoğunluğu fonksiyonlarıdır. Zaman bağımlı modelleme için gerekli bilgilerin olmadığı tektonik birimler veya büyük bölgesel sismik kaynaklar için homojen Poisson modeli gibi zaman bağımsız yöntemlerde kullanılabilir. Poisson modelinde bir sonraki depremin oluşum olasılığı önceki depremin oluşum zamanına bağlı değildir. Kuzey Anadolu Fay Hattı'nın da dahil olduğu birçok büyük tektonik element üzerinde yürütülen yoğun paleosismik ve tarihsel deprem araştırmaları bu faylardaki büyük (karakteristik) depremlerin hemen hemen periyodik olarak oluştuklarını (Schwartz ve Coppersmith, 1984) ve bu nedenle probabilistik deprem tehlikesi belirlemelerinde zaman bağımlı modelleme (Yenilenme Modeli) yönteminin daha uygun olacağını göstermektedir (Erdik vd., 2003a).

Daha önce de belirtildiği gibi zaman bağımlı model, faylar üzerinde büyük depremlerin az çok periyodik olarak oluştuğu varsayımına dayanmaktadır. Geçen T yıllık bir süre içinde deprem meydana gelmemiş olması durumunda takip eden ΔT yıllık süre içinde deprem oluşma olasılığı aşağıdaki ifade ile hesaplanmaktadır.

$$P(T, \Delta T) = \frac{\int_T^{T+\Delta T} f(t) dt}{\int_T^{\infty} f(t) dt} \quad (5.2)$$

Bu denklemde $f(t)$ yineleme aralığı olasılık yoğunluk fonksiyonudur. Olasılık yoğunluğu fonksiyonunun hesaplanması için Gauss, log-normal, Weibull, Gamma ve Brown gibi değişik istatistik modeller önerilmiştir. Bunlar içinde deprem yinelenmeleri en uygun şekilde yansıtanların log-normal ve Brown dağılımları olduğu kabul edilmektedir (Ellsworth vd. 1999).

Karakteristik deprem oluşumları ile modellendirilebilen tektonik birimlerde deprem büyüklüğü yineleme ilişkilerinin belirlenmesinde Youngs ve Coppersmith (1985) yöntemi yaygın olarak kullanılmaktadır. Fay segmentasyonu modelleri ve bu fay segmentleri için karakteristik manyitüd yineleme ilişkileri kullanılması halinde dikkat edilmesi gereken bir husus da arka plan sismik bölgeleri aracılığı ile hesaba katılmasıdır. Arka plan sismisitesi için genellikle Gutenberg-Richter (1944) manyitüd yineleme ilişkisi kullanılmaktadır.

Fay segmentlerinin genellikle karakteristik depremlerle kırıldığı kabul edilmekle beraber birkaç segmentin bir arada kırılıp daha büyük manyitüdlü depremler oluşturması da mümkündür. Bunun nedeni yüzeyde ayrı fay parçaları olarak görünmelerine rağmen segmentlerin daha derin bölgelerde birleşebilmeleri veya bir segmentte meydana gelen depremin komşu segmentleri tetikleyebilmesidir (Erdik vd., 2003b).

Sağlam zemin koşulları için elde edilen davranış spektrumuna dayanarak, zemin büyütme analizlerinde kullanılmak üzere her hücre noktası için asgari iki bağımsız ivme kaydı seti tanımlanacaktır. Bu ivme kayıtları kaydedilmiş depremlerin değiştirilmesi veya simülasyon ile elde edilebilmektedir. İkinci durumda, değişken (non – stationary) simülasyon, kaydedilen depremler ile benzerlik taşıması bakımından durağan (stationary) simülasyona tercih edilmelidir (MERM, 2003).

Sismik mikrobölgelemede ana amaç kent planlaması ve arazi kullanımına yönelik kararların alınmasına yardımcı bilgileri oluşturmaktır. Bölgesel deprem tehlikesi ve gereken deprem özelliklerinin Poisson modeli kullanılarak 100 yıllık bir dönüşüm periyodu ve yaklaşık 50 yılda %40 aşılma olasılığına karşılık gelen değerler alınarak hesaplanmasının daha uygun olacağı görüşü ortaya çıkmıştır (Ansal vd. 2003).

5.6 Mikrobölgeleme Haritalarının Oluşturulması

Her iki yer sarsıntısı girdisi için yüzeydeki davranış spektrumları, zemin davranış analizlerinden hesaplanan ortalama (0.1 – 1.0 sn arası) spektral ivme (S_i) değerleri ile temsil edilmiştir. S_i ortalama değerinin her hücre noktası için hesaplanmasının ardından, üç farklı yer sarsıntısı bölgesi aşağıdaki gibi tanımlanır (MERM, 2003).

- İnceleme alanında tüm ortalama değerlerin dağılımına göre %33 ve %67 yüzdelik değerleri için S_i hesaplanmış ve sırası ile $S_{(%33)}$ ve $S_{(%67)}$ olarak adlandırılmıştır.
- Her i hücresine, elde edilen S_i değerlerine göre bir bölge atanmıştır.

Çizelge 5.5 Spektral ivmeye göre bölgeleme kriterleri.

Bölge	Kriter
A_S	$S_i \geq S_{(%67)}$
B_S	$S_{(%67)} > S_i > S_{(%33)}$
C_S	$S_i \leq S_{(%33)}$

Üç bölge (A,B,C) ile bu şekilde yapılan ayırım sadece $S_{(%67)} > 1.3 S_{(%33)}$ olması durumunda geçerlidir. Bu sağlanmadığı takdirde, benzer yaklaşım ile A_S ve C_S olmak üzere iki bölgeli ayırım önerilmektedir. Bu ayırmada, A_S değeri $S_i > \%50$ yüzdelik durumunda ve C_S değeri $S_i < \%50$ yüzdelik durumuna karşı gelmektedir.

Yer sarsıntısına göre sonuç haritası, zemin davranış analizlerinden elde edilen ortalama spektral ivmeler ile (Midorikawa, 1987) bağıntısı kullanılarak, eşdeğer kayma dalgası hızından hesaplanan spektral büyütme birliktde değerlendirilerek elde edilir.

Zemin davranış analizlerinden bulunan ortalama spektral ivme değerleri (karşı gelen bölgeler A_S , B_S ve C_S) ve eşdeğer kayma dalgası hızından hesaplanan spektral büyütme (karşı gelen bölgeler A_V , B_V ve C_V) arasında bir karşılaştırma şu şekilde yapılabilir:

Her iki parametre için elde edilen haritaların GIS ortamında üst üste bindirilerek, çakışan bölgelerin grafiksel olarak belirlenmesidir. Bu işlemin yapılmasında, bu iki haritanın üç bölgeye ayrılmış olması nedeniyle sonuç harita için yine üç farklı bölgenin seçilmesi gerekir.

- A_{GS} bölgesi; A_S ve A_V veya A_S ve B_V veya B_S ve A_V bölgelerinin örtüştüğü bölgelere karşı gelmektedir.

- B_{GS} bölgesi; A_S ve C_V veya C_S ve A_V veya B_S ve B_V bölgelerinin örtüştüğü bölgelere karşı gelmektedir.
- C_{GS} bölgesi; B_S ve C_V veya C_S ve B_V veya C_S ve C_V bölgelerinin örtüştüğü bölgelere karşı gelmektedir (MERM, 2003).

Çizelge 5.6'de yer sarsıntısına göre bölgelemede kullanılan gösterimlerin açıklamalarına yer verilmiştir.

Çizelge 5.6 Yer sarsıntısı bölgelemesinde kullanılan gösterimlerin açıklamaları (MERM, 2003).

A _{GS}	Bu bölge, şehir planlaması yönünden yoğun nüfus yerleşimi ve önemli yapılar için önerilmemektedir. Öneriler: • Yeni büyük konut yapıları, önemli iş merkezleri ve okullar için yer sarsıntısı düzeyini belirlemek amacı ile sahaya özel araştırmalar gerekmektedir. Tasarım için elde edilecek sarsıntı düzeyinin TDY 'nde verilenden yüksek olması halinde, tasarımda bu değerler göz önüne alınmalıdır. • Bu bölgelerde bulunan binaların sahaya özel koşullar dikkate alınarak değerlendirilmesine ve gerekiyorsa kısa dönemde güçlendirilmesine öncelik verilmelidir. • Yeni tehlikeli endüstriyel tesislerden kaçınılmalıdır. • Mevcut tehlikeli endüstriyel tesisler için riske bağlı kabul edilebilir bir güvenlik seviyesi tanımlanmalıdır. Bu tesislerin hasargörebilirliği belirlenmeli ve tanımlanan güvenlik seviyesi ile kıyaslanmalıdır. Gerekli görüldüğü takdirde, mevcut yapı/tesisler güçlendirilmeli veya kullanım dışı bırakılmalıdır. • Bu bölgede kritik hayati öneme sahip altyapı elemanlarının yapılaşmasına izin verilmemelidir. Mevcut bu tip elemanlar için sahaya özel araştırmalar yapılmalı ve gerek görülüyorsa güçlendirilmelidir.
B _{GS}	Öneriler: • Büyük konut yapıları, önemli iş merkezleri ve okullar vb. değerlendirilmeli ve gerekli durumlarda güçlendirilmelidir. • Mevcut ve ileride inşa edilecek tehlikeli endüstriyel tesisler için riske bağlı kabul edilebilir bir güvenlik seviyesi tanımlanmalıdır. Tesislerin hasar görebilirliği belirlenmeli ve tanımlanan güvenlik seviyesi ile birlikte değerlendirilmelidir. Gerekli görüldüğü durumlarda, bu yapılar güçlendirilmeli veya kullanım dışı bırakılmalıdır. • Yeni inşa edilecek veya halihazırda mevcut bulunan kritik hayati öneme sahip altyapı elemanları için sahaya özel araştırmalar yapılmalı ve hasargörebilirlik belirlenmelidir. Gerek duyulduğu takdirde yapılar güçlendirilmelidir.
C _{GS}	Bu bölgeye özel öneriler yoktur.

6. ZEMİN DİNAMİK DAVRANIŞ ANALİZLERİ

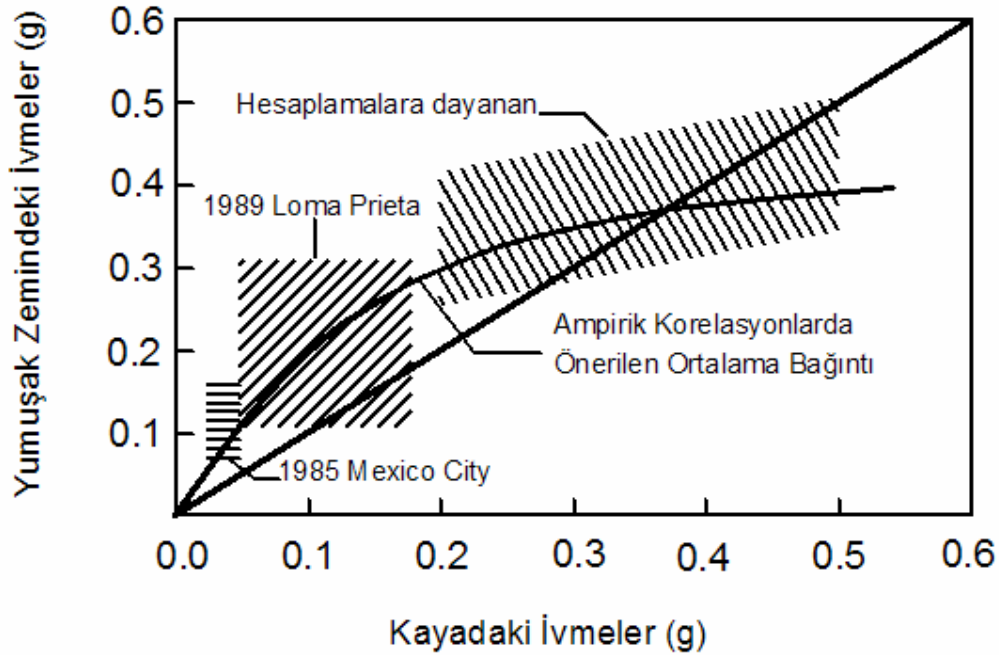
6.1 Tek Boyutlu Analizler

Tek boyutlu dinamik analizlerde en yaygın olarak kullanılan yöntem, bir zemin içindeki S dalgası yayılımının çoklu yansıma modelleridir (Haskell 1953, Lida vd. 1978). Bu yöntemde zemin kolonu yatay tabakalar olarak modellenmektedir. Bu zemin tabakaları, ilgilenilen bölgede ortaya çıkması muhtemel temel hareketlerine tabii tutulmaktadır. Kayma dalgası hızı ölçümleri ya da sondajlardan elde edilen veriler, her bir hücre için zeminin modellenmesinde kullanılmaktadır. Bu analizler için gereken spesifik parametreler; kayma dalgası hızı, yoğunluk, sönüm faktörü ve tabakaların kalınlıklarıdır. Sondaj verileri incelenen bölgedeki tüm hücreler için kullanılamıyorsa, hücreler genel zemin koşullarına göre gruplandırılmaktadır. Örneğin; Japonya'nın Saitama kentinin bölgeleme çalışmasında bölge jeolojik ve jeomorfolojik koşullara dayanan 60 zemin profiline göre sınıflandırılmıştır (Shima ve Imai, 1982). Her bir zemin tabakası için dinamik zemin özellikleri kullanılarak 60 tip zemin profili için arazi büyütmeleri hesaplanmıştır. Benzer büyütme veren zemin profilleri tekrar gruplandırılmıştır ve 60 tip genel zemin durumu, 15 temel zemin büyütme örneğine azaltılmıştır. Her bir eleman için pik ivme azalım ilişkileri ile birlikte büyütme faktörleri kullanılarak sismik tehlike bölgeleme haritası oluşturulmuştur. Genellikle bir deprem sırasında, zemin yüzünde oluşan yer hareketleri zemin tabakaları altında yer alan kayada meydana gelen titreşimlerin zemin yüzüne doğru dalgaların yayılması sonucu iletilmesi ile ortaya çıkmaktadır. Son yıllarda bu koşullar altında zemin davranışını inceleyen hesap yöntemleri geliştirilmiştir. Bu hesap yöntemleri şu şekilde sıralanabilmektedir:

- Dalga denkleminin çözümü esasına dayanan ve zeminin yatay, birbirine paralel, üniform ve viskoelastik özellikleri olan tabakalarda oluştuğu ve dalgaların taban kayadan zemin yüzüne doğru sinüzoidal hareketler halinde yayılmasını kabul eden yöntemler.
- Yatay zemin tabakalarının birbirlerine kayma yayları ile bağlı toplu kütleler olarak ele alan ve tabanında yaratılan bir hareket sonucu bu sistemin davranışını klasik dinamik analiz yöntemleri ile inceleyen yöntemler.
- Karmaşık tabakalaşma ve sınır koşulları olan zemin problemlerinde, zemini sonlu elemanlar olarak idealize eden ve iki yönlü toplu kütlelerin dinamik davranışı olarak inceleyen yöntemler (Özaydın, 1982).

Bu yöntemlerde genellikle zemin tabakalarının davranışını esas olarak taban kayadan yukarı doğru yayılan kayma dalgaları tarafından etkilendiği varsayımı geçerli sayılmaktadır. Bu

kavrama dayanan ve doğrusal olmayan davranışı göz önüne alan hesap yöntemleri ile elde edilen sonuçların birçok arazi gözlemleri ile uyumlu sonuçlar verdiği görülmüştür. Zeminlerin yüksek derecede doğrusal olmayan özellikleri olması nedeni ile, saha özelliklerinin belirlenmesinde ve analizlerde doğrusal olmayan özelliklere önem verilmesi gerekmektedir (MERM, 2003). Zemin tabakalarının doğrusal olmayan davranışlarını hesaba katmak için Schnabel vd. (1972) tarafından günümüzde en çok kullanılmakta olan bilgisayar programı SHAKE geliştirilmiştir. Programda doğrusal olmayan çözüm için eşdeğer lineer analiz yaklaşımı kullanılarak, düşey yönde hareket eden kayma dalgalarının etkisi altındaki yatay zemin tabakalarının davranışı hesaplanmaktadır. Şekil 6.1'de yumuşak zemin ve kayada ivmelerin değişimi (Idriss, 1990) gösterilmiştir.



Şekil 6.1 Yumuşak zemin ve kayada ivmenin değişimi (Idriss, 1990).

Loma Prieta ve Mexico City depremi verileri kullanılarak yumuşak zemin tabakalarının davranışlarının SHAKE programı ile analiz sonuçları verilmiştir (Idriss, 1990).

Burada, yumuşak zeminlerinde büyütme faktörlerinin kuvvetli deprem hareketlerinde daha küçük olduğu görülmektedir.

SHAKE programı yatay çok tabakalı ortamda dalga yayılması probleminin çözümüne dayanan bir bilgisayar programıdır. Programda zeminin non-lineer (doğrusal olmayan) davranışının sönümlendirilmiş lineer elastik model ile yaklaşık olarak temsil edilebileceği

kabul edilmektedir. Zeminlerin gerilme- şekil değiştirme özellikleri ise deformasyon seviyelerine bağlı olarak değişen kayma modülü ve eşdeğer sönüm oranları ile ifade edilmektedir. Programda yapılan diğer kabuller ise sırasıyla şöyledir:

1. Zemin tabakalarını yatay yönde sonsuz uzanan tabakalardan oluştuğu,
2. Her bir tabakanın kayma modülü, kritik sönüm oranı, yoğunluk ve kalınlıkları ile tanımlanabilecekleri ve bu değerlerin frekanstan bağımsız olduğu,
3. Zeminde oluşan tepkinin sadece anakayadan yukarı doğru düşey yönde yayılan kayma dalgaları sebebiyle olduğu,
4. Kayma dalgalarını eşit zaman aralıklarındaki ivme değerleri şeklinde ifade edilebileceği,
5. Kayma modülü ve sönümün deformasyona bağlılığının her tabaka için hesaplanan ortalama efektif deformasyonlara dayanan bir eşdeğer lineer yöntem ile dikkate alınabileceği (Schnabel vd. 1972).

Eşdeğer lineer analiz metodu kesin limitleri olan bir methodtur. Örneğin; Kalın zemin tabakaları üzerinde kısa periyotlu yüksek genlik hareketi için memnun edici sonuçlar vermemektedir (Jouyner ve Chen, 1975). Dahası boşluk suyu basınçlarını hesaba katmayan bir toplam gerilme analizi kullanılmaktadır. Buna bağlı olarak sismik yüklemeler sonucu meydana gelen boşluk suyu basınçlarının mukavemet ve rijitlik üzerindeki etkileri, analiz sırasında sürekli olarak dikkate alınamamaktadır. Ayrıca analiz elastik olduğu için kalıcı deformasyonları hesaba katmak mümkün olmamaktadır. Bunlara rağmen üçüncü derece yöntemler için Shake gibi non-lineer analiz önemli bir yaklaşım olmaktadır.

SHAKE programının ilk versiyonu çıktıktan sonra arazi dinamik analizi için çeşitli programlar önerilmiştir. Bunlardan bazıları şunlardır: SHAKE 90 (Schnabel vd. 1990); SHAKE 91 (Idriss ve Sun, 1992); DYNA 1D (Prevost, 1989); TESS 1 (Pyke, 1985); DESRA2 (Lee ve Finn, 1978); EERA (Bardet vd. 2000) ve NERA (Bardet ve Tobita, 2001).

Bu tez çalışması kapsamında EERA ve NERA dinamik analiz programları kullanılmıştır. Aşağıda bu programların özelliklerinden kısaca bahsedilecektir.

6.1.1 EERA programı ve özellikleri

1998 yılında SHAKE'e benzer kabuller yapılarak Fortran 90 ile EERA programı geliştirilmiştir. EERA eşdeğer lineer deprem tepki analizinin modern bir şeklidir. EERA harfleri "Equivalent-Linear Earthquake Response Analysis" kelimelerinin baş harflerinden meydana gelmektedir. EERA, Fortran 90 dili ile hazırlanmış olan eşdeğer lineer deprem tepki analizi programının Excel'de uygulanmasıdır ve EERA' nın input ve output file' ları Excel

programı ile birleştirilmiştir. Bu nedenle uygulaması DOS ortamında çalışan Shake programına göre son derece kolay olmaktadır.

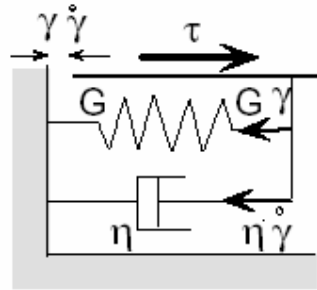
Programda zemin bir yay ve ona paralel bağlı bir amortisörden oluşan Kelvin-Voit modeli ile ifade edilmekte gerilme şekil-değiştirme ilişkileri bu kabule dayanılarak yapılmaktadır. Kayma gerilmesi τ , kayma şekil değiştirmesi γ ve şekil değiştirme hızına $\dot{\gamma}$ bağlı olarak şu şekilde ifade edilebilmektedir.

$$\tau = G\gamma + \eta\dot{\gamma} \quad (6.1)$$

Burada G, kayma modülünü ve η , viskoziteyi temsil etmektedir. Tek boyutlu kayma kirişi kolonunda kayma gerilmesi ve onun hızı, yatay mesafe z ve zamana t bağlı olarak aşağıdaki gibi tanımlanabilmektedir.

$$\gamma = \frac{\partial u(z,t)}{\partial z} \quad \text{ve} \quad \dot{\gamma} = \frac{\partial \gamma(z,t)}{\partial t} = \frac{\partial^2 u(z,t)}{\partial z \partial t} \quad (6.2)$$

Şekil 6.2’de eşdeğer lineer metodda kullanılan gerilme-şekil değiştirme modeli şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 6.2 Eşdeğer lineer metodda kullanılan gerilme-şekil değiştirme modeli (Bardet vd., 2000).

SHAKE programında yapılan kabuller bu programda da aynen geçerli olmaktadır. 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

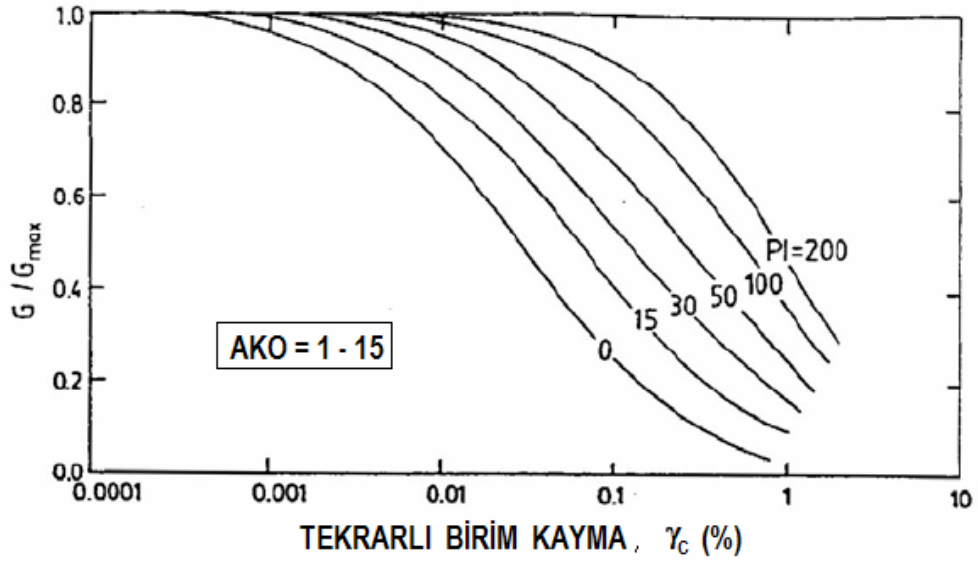
tabaka arasında transfer ya da amplifikasyon fonksiyonu, çeşitli frekanslardaki dalgaların bu tabakaların yüzeyinde oluşturduğu yer değiştirmelerin oranı şeklinde ifade edilmektedir. Frekans ortamında yapılan çözümlerde, öncelikle anakaya ivme kaydının Fourier dönüşümü ile kayıt frekans ortamına taşınmaktadır. Bu dönüşüm zemin tabakalarının transfer ya da amplifikasyon 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 ya da 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_y , olarak ifade edilen deprem magnitudüne bağlı bir katsayı ile maksimum deformasyon çarpılarak 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. Kayma modülü değeri çok küçük şekil değiştirme seviyelerinde,

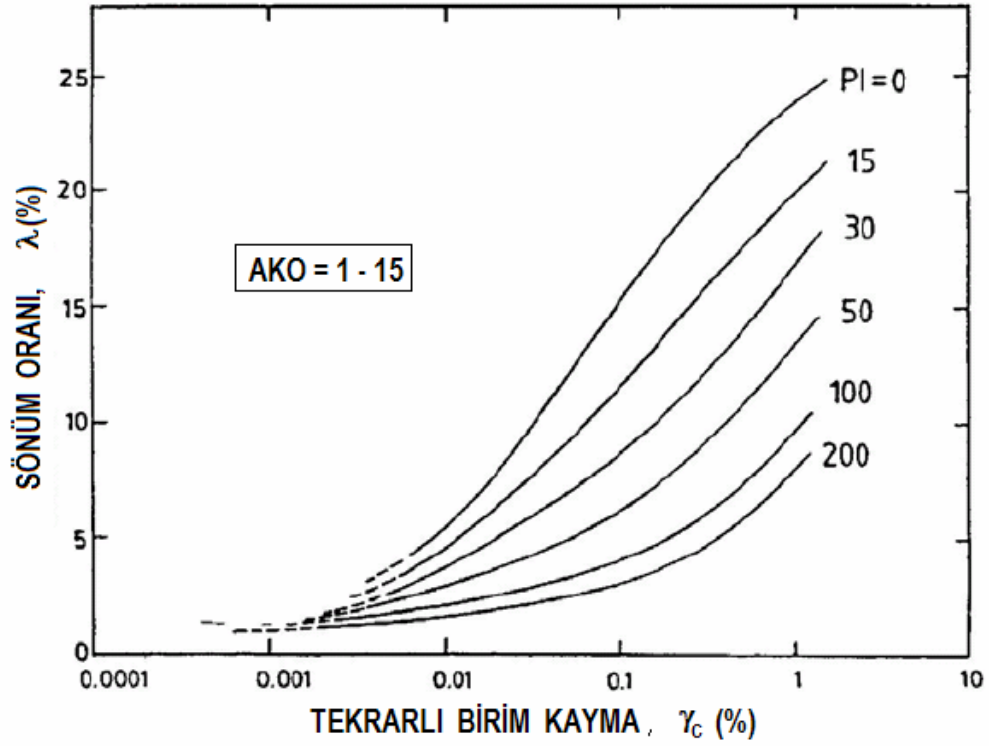
$$G = \rho \cdot V_s^2 \quad (6.3)$$

bağıntısından elde edilmektedir. Burada, ρ ; birim yoğunluk, V_s ; kayma dalgası hızıdır.

EERA programında analizlerde tanımlanan zeminlerin özelliklerinden biri G/G_{maks} – kayma birim şekil değiştirme ve sönüm – kayma birim şekil değiştirme ilişkileridir. Örnek olarak, Şekil 6.3 ve Şekil 6.4’ de Vucetic ve Dobry (1991) tarafından zeminin plastisitesine bağlı olarak önerilen G/G_{maks} – kayma birim şekil değiştirme ve sönüm – kayma birim şekil değiştirme ilişkileri gösterilmektedir.



Şekil 6.3 Normalize edilmiş kayma modülü ve birim şekil değiştirme arasındaki ilişki (Vucetic ve Dobry, 1991).

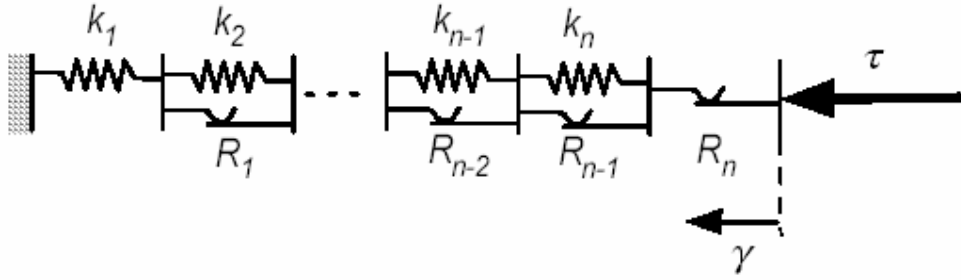


Şekil 6.4 Sönüm oranı ve birim şekil değiştirme arasındaki ilişki (Vucetic ve Dobry, 1991).

6.1.2 NERA programı ve özellikleri

NERA, “Non-Linear Earthquake Response Analysis” kelimelerinin baş harflerinden meydana gelmektedir. EERA programında olduğu gibi Excel ortamında girdi ve çıktılar hazırlanabilmektedir.

Programda zemin, farklı rijitliklere k_j ve kayma direncine R_j sahip bir seri n adet mekanik elemanlarla modellenmektedir (Iwan,1967 ve Mroz, 1967). Şekil 6.5’de Non-lineer metotta kullanılan gerilme-şekil değiştirme modeli (Bardet ve Tobita, 2001) gösterilmiştir.



Şekil 6.5 Non-lineer metotta kullanılan gerilme-şekil değiştirme modeli (Bardet ve Tobita, 2001).

SHAKE ve EERA’daki kabuller NERA’da da geçerlidir. Programın kullanılması sırasında izlenecek yol aşağıdaki şekilde sıralanabilir:

- İvme- zaman kaydı seçilerek eşit zaman aralıklarında düzenlenir.
- Zemin profili anakaya derinliğine kadar oluşturulur. Her tabakanın kalınlığı, birim hacim ağırlığı, kayma dalgası hızı ve malzeme özellikleri ayrı ayrı girilir.
- Analiz yapılacak bölgedeki zeminlerin dinamik özellikleri, plastisite etkisi ile beraber kayma şekil değiştirmesine göre değişiminin gösterildiği eğriler yardımıyla tanımlanmalıdır.
- Programın yapacağı iterasyon değeri girilerek çözüm yapılır.

7. KÜÇÜKÇEKMECE-HALKALI BÖLGESİNİ JEOLJİSİ VE YEREL ZEMİN KOŞULLARI

7.1 Giriş

Bir mikrobölgeleme çalışmasının ilk aşamasında, çalışma yapılacak alana ait jeolojik, tektonik, sismolojik ve geoteknik bilgilerin derlenmesi ve değerlendirilmesi yapılır. Elde edilen veriler ışığında ise sonraki aşama mikrobölgeleme çalışmaları yapılır.

Bu bölümde, üçüncü aşama yöntemler ile yapılacak bölgelemelere yardımcı olması açısından inceleme alanının jeolojik ve geoteknik olarak değerlendirmesi yapılmıştır.

İnceleme sahası, doğuda TEM-Havaalanı bağlantı yolu, kuzeyde TEM Otoyolu Mahmutbey gişeleri mevki, güneyde İnönü Mahallesi Demirkapı Caddesi, batı da ise Halkalı Toplukonutları Hürriyet Caddesi, Halkalı Caddesi ile sınırlandırılmıştır. Sahada esas olarak üç mahalle yer almaktadır. Bunlar; Mehmet Akif Mahallesi, Atatürk Mahallesi ve Halkalı Merkez Mahallesi'dir.

7.2 Genel Jeoloji

İstanbul bölgesi ve çevresinde görünür temelinde Paleozoik yaşlı formasyonlar yer almaktadır. Bu Paleozoik yaşlı formasyonlar yakından incelendiklerinde, bunların kumtaşı, silttaşı ve kilaşlarından oluştukları gözlenmektedir. Bu litolojiler çoğunlukla İstanbul Boğazı'nın doğusunu oluşturan Kocaeli yarımadası'nın büyük bir kısmında mostra vermektedir. İstanbul Kocaeli Yarımadası'ndaki Paleozoik, Ordoviziyen dönemi ile başlamakta ve "Arkoz Serisi" olarak adlandırılan kırıntılı kayalardan oluşmaktadır. İstif üstte doğru Silüryen yaşlı alacalı şeyl ve grovaklardan; Devoniyen, Kireçtaşı ve şeyllerden; Karbonifer dönemi ise çörtlerden, grovaklardan ve silttaşlarından (Trakya Formasyonu) meydana gelmişlerdir. Arkoz Serisi, İstanbul Boğazı Anadolu Yakası'nda yer yer granit-granodiyoritik kayalar tarafından kesilmektedir (Yıldırım 2003).

İstanbul'un doğusuna, İzmit'e doğru, Paleozoyik istifini, kırmızı renkli bir konglomera-kumtaşı serisi ile başlayan Triyas yaşlı formasyonlar diskordan örtmektedir. Triyas üzerine ise Üst Kretase yaşlı açılı uyumsuzlukla transgresif olarak konglomera ve kireçtaşları ya da volkanikler gelmektedir. Bu oluşukların üst seviyeleri fliş, marn ve kireçtaşları ile devam etmektedir. Paleozoyik ve Mesozoyik yaşlı formasyonlar, Senozoyik yaşlı genç çökeller tarafından diskordan olarak örtülmektedir. Tersiyer yaşlı genç çökeller genellikle İstanbul

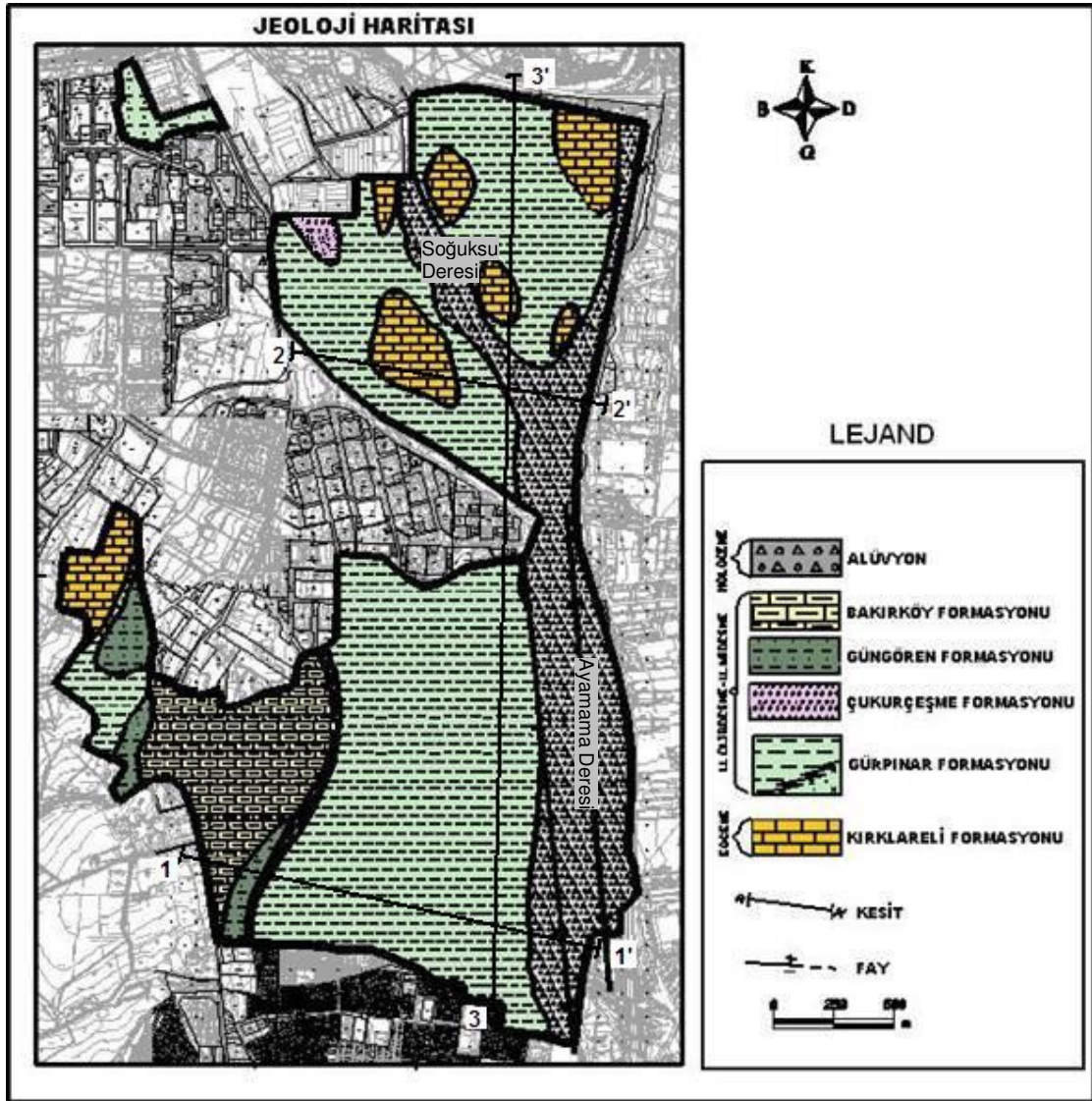
Boğazı batısında Trakya Havzası'nda oluşmuşlar ve bu bölgede geniş mostra yayımlıdır. Edirne-İstanbul arasında yer alan bu sedimentlerin Trakya Orta Bölgesi'nde giderek derinleşen ortamda çökelmiş fliş niteliğindeki eşdeğer litolojilerinin kalınlıkları 4000 m'yi aşmaktadır. Trakya Havzası'nın Orta Eosen döneminde çökelmeye başlayan sedimentleri birbirini izleyen dönemlerde transgresyon ile oluşmuş ve regresyonla sonlanarak gelişmişlerdir. Çökelme, önce sığ deniz ve karasal tortularla sonuçlanmıştır. Bunun sonucu, ya kireçtaşı ve sığ denizi kırıntıları, ya da mikalı kum ve killerden oluşan tortular çökelmişlerdir. Üst Oligosen – Üst Miyosen dönemi yeni transgresif çökelleri ise yaşlı formasyonlar üzerinde Üst Oligosen'de diskordan olarak gelişen ve üste doğru karasal-gölse ortamı temsil eden, şelf ortamında çökelmiş oluşumlardır. Pliyosen dönemi ise daha yaşlı çökelleri örten akarsu çökelleriyle temsil edilmektedir. Tüm bu formasyonlar dere yataklarında güncel alüvyal çökeller tarafından diskordan olarak örtülmektedir. İstanbul çevresinin genel jeoloji haritası ve Tersiyer çökellerinin stratigrafik sütun kesiti sırasıyla Şekil 7.1 ve Şekil 7.2' de gösterilmiştir (Yıldırım, 2003).

S E N O Z O Y İ K						ÜST SİSTEM	
T E R S İ Y E R	KUVA- TERNER	SİSTEM	SERİ	FORMASYON	KALINLIK (m.)	LİTOLOJİ	AÇIKLAMALAR
	P L İ Y O S E N	H O L O S E N	S A M A N D İ R A	5 - 30		ÇAKIL, KUM, SİLT, KİL (ALÜVYON) — Uyumsuzluk —	
						SİLT Lİ KİL : Kırmızı renkli, kumlu, yuvarlak - yarı yuvarlak kuvarsit çakıllı, çok katı - sert, gevşek tutturulmuş — Uyumsuzluk —	
						KİREÇTAŞI - MARN : Beyaz krem renkli, tebeşirimsi, poroz, ince - orta katmanlı, Maktra'lı, kil / kum arakatmanlı	
						KİL: Koyu gri - boz renkli, karbonatsız veya az karbonatlı, siltli, bitki artıklı, yüksek plastisiteli orta katı - katı, mercekli	
Ü. O L İ G O S E N - Ü. M İ Y O S E N	B A K İ R E Y	G Ü N - G Ö R E N	20 - 30		KUM: Sarımsı gri, açık kahverengi, çakıllı ve siltli, kil arakatmanlı, tutturulmamış veya çok gevşek tutturulmuş, çapraz katmanlı		
					KİL / KİLT AŞI - KUM ARDALANMASI : Kil : Grimsi yeşil, aşırı konsolide, tuf seviyeli, fissürlü yer yer karbonatlı / kireçtaşı banlı, kömür katkılı Kıltaşı : Gri - yeşil, ince - orta katmanlı Kum : Açık gri - sarımsı krem renkli, kuvars-kireçtaşı çakıl ve bloklu		
					ÇAKILTAŞI : Grimsi kahverengi, kumlu, killi, kireçtaşı çakıllı, kömür arakatmanlı — Uyumsuzluk —		
O. E O S E N - A. O L İ G O S E N	K İ R K L A F E L İ	G Ü R P İ N A R	> 250		MARN - KİREÇTAŞI: Beyaz - sarımsı bej - gri renkli, orta-kalın katmanlı, karbonatlı kil arakatmanlı, fosilli		
					KARBONATLI KUMTAŞI : Krem renkli, ince taneli, sert, som yapı		
P A L E O Z O Y İ K	K A R B O N İ F E R	T R A K Y A	> 1000		RESİFAL KİREÇTAŞI : Beyaz - bej renkli, sert, som yapı, karstik, bol fosilli		
					ÇAKILTAŞI - MARN : Grimsi bej renkli, bol grovak çakıllı, kum - silt - kil ve kömür arakatmanlı — Uyumsuzluk —		
						KUMTAŞI (Grovak) - SİLT AŞI - KİLT AŞI:	Mavimsi gri - kahverengi, kireçtaşı mercekli (Ölçeksiz)

Şekil 7.2 İstanbul ve yakın çevresi Tersiyer çökellerinin stratigrafik sütun kesiti (Yıldırım, 2003).

7.3 İnceleme Alanının Jeolojisi

İnceleme alanında yüzeylenen en yaşlı litostratigrafik birim Orta Eosen yaşlı Kırklareli formasyonudur. Trakya formasyonu üzerinde diskordan duran Kırklareli formasyonu, kireçtaşı ve killi kireçtaşlarından oluşmaktadır ve inceleme alanının kuzeyinde mostra vermektedir. Eosen yaşlı Kırklareli formasyonu (Kçt) üzerinde ise Üst Oligosen yaşlı Gürpınar formasyonu mevcuttur. Yeşil renkli, ince-orta ve yataya yakın katmanlı aşırı konsolide killerden oluşan Gürpınar formasyonunun üst seviyeleri ise hakim litolojisi kum olan Çukurçeşme formasyonu kum mercekleriyle normal geçişlidir. Çukurçeşme formasyonunun üzerinde ise sırası ile orta-katı / katı kıvamda aşırı konsolide killerden oluşan Güngören formasyonu kil mercekleri ve kil-kum ara bantlı, maktralı killi kireçtaşı-marn aralanmalarından oluşan Bakırköy formasyonu mevcuttur. Bu birimler ise özellikle akarsu yataklarını şekillendiren ve diskordansla tüm yaşlı birimleri örten en genç jeolojik birim olan Kuvaterner yaşlı alüvyon ve güncel dolgu malzemesi tarafından örtülmüştür. İnceleme alanı jeoloji haritası Şekil 7.3 ve Ek 1’de verilmiştir.



Şekil 7.3 İnceleme alanı jeoloji haritası (Yıldırım, 2003).

7.3.1 Kırklareli Formasyonu

İnceleme sahasında görünür temelde yüzeylenen en yaşlı birim Orta Eosen-Alt Oligosen yaşlı Kırklareli formasyonu kireçtaşlarıdır. İnceleme sahasının daha çok kuzey kesiminde yüzeylenen Kırklareli formasyonu kireçtaşları, karbonatlı çakıltaşlarıyla başlayıp 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 aratabakalı, beyaz – krem renkli killi kireçtaşı ve marn ardalanması ile son bulmaktadır. İstifin kalınlığı inceleme sahasında yer yer 50 m’yi aşmakta ve batıya doğru artmaktadır. İncelemelere ve fosil bulgularına göre, Kırklareli formasyonu, Orta Eosen’den (Dizer, 1951) başlayıp, Alt Oligosen dönemi sonunda

da gölsel – karasal ortama geçen, genellikle sığ ortamda çökelmiş bir resif – killi kireçtaşı istifidir (Yıldırım 2003).

Kırklareli formasyonunun jeomekanik özelliklerine değinilecek olursa; formasyonu oluşturan kireçtaşlarından değişik derinliklerden alınan (Bahçeşehir) 150 adet karot numunesi üzerinde yapılan deney sonuçlarına göre bu taşların tabii birim hacim ağırlığı, $\gamma_n = 18.64 - 23.54 \text{ kN/m}^3$ arasında, dane birim hacim ağırlığı ortalaması, $\gamma_s = 24.53 \text{ kN/m}^3$ ’tür. Bu kayaların porozitesi yaklaşık $n = \%20$ dir. Killi numunelerde yapılan aşınma deneyinde (Los Angeles) ise (Çatalca – Sazlıbosna) 100 tur atıldıktan sonraki ağırlık kaybı $\% 16.6$, 500 tur sonraki ağırlık kaybı $\% 57.4$ ’ tür (Erdoğan, 1993). Agregada olarak kullanılan resifal kireçtaşlarında ise 100 tur sonraki ağırlık kaybı $\% 7.36$, 500 tur sonraki ağırlık kaybı $\% 37.95$ ’ tir. 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 tek eksenli basınç dirençleri $q_u = 25 - 100 \text{ kg/cm}^2$, alt seviyelerinde kil oranı içermeyen düzeylerde $q_u = 100 - 250 \text{ kg/cm}^2$, resifal kireçtaşı düzeyleri için $(q_u)_{\text{ort}} = 350 \text{ kg/cm}^2$ 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 $\text{TCR} = \%17 - \%100$, $(\text{TCR})_{\text{ort}} = \%58$, $(\text{RQD}) = \%0 - \%80$, $(\text{RQD})_{\text{ort}} = \%24$ olduğu gözlenmektedir. Yapılan suya dayanıklılık deneylerinde (Slake Durability Test) Slake Durabilite İndeksi, $I_s = \%48.9$ bulunmuştur (Yıldırım, 2002).

7.3.2 Gürpınar Formasyonu

Orta Eosen – Alt Oligosen yaşlı Kırklareli formasyonunun üzerinde uyumsuz olarak oturan Üst Oligosen – Üst Miyosen yaşlı Gürpınar formasyonu, inceleme alanının büyük bir bölümünde yaygın olarak gözlenmektedir.

Gürpınar formasyonun 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 taneleri düzensiz, kötü boylanmış yuvarlak, az yuvarlaktır. Tabanda yer alan çakıl-kum düzeylerinin hemen üst seviyelerinde kolay dağılan kıltaşı ve siltaşıları 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. Yer yer

200 m kalınlığa ulaşan Gürpınar Formasyonu kahve - yeşil renkli aşırı konsolide kil özelliğinde olup, plastik – yarı plastik özellik taşımaktadır (Yıldırım 2003).

Endeks özellikleri Çizelge 7.1’de verilen Gürpınar formasyonu Casagrande sınıflamasına göre çoğunlukla yüksek plastisiteli kil (CH) sınıfına girmektedir. Aşırı konsolide kil özelliği taşıdığı bilinen Gürpınar formasyonu, SPT darbe sayılarına göre “Katı-Çok Katı-Sert” bir zemin niteliğindedir. İçinde kalınlığı yer yer 20 m’yi aşan merccekler halinde bulunan kum çakıl seviyelerinin SPT darbe sayısı $N = 45$ civarındadır. 20 m derinlikten sonraki killi seviyelerin çok sert kıvamda ve $N > 50$ olduğu görülmüştür. Bu değer, yüzeye yakın seviyelerde ise $N = 30$ civarındadır. Ödometre deneyi ile elde edilen sıkışma indeksi C_c değerinin $C_c = 0.15$ mertebesinde olduğu görülmüştür. Bu killerde tespit edilen serbest şişme = % 2.83 - % 5.66, şişme basıncı 2.80 – 4.30 kg/cm² arasındadır. İstif kum merccekleri haricinde yeraltı suyu içermeyip, permeabilite katsayısı ortalama $k = 1 \times 10^{-7}$ ile $k = 1 \times 10^{-8}$ cm/sn arasında değişmektedir. Serbest basınç dayanımı genellikle $q_u = 1.70 - 4.00$ kg/cm² değerleri arasındadır. Kil-kum aralanmaları, zaman zaman değişik yörelerde kil-kumtaşı gibi zayıf kaya niteliğine dönüşebilmektedir (Yıldırım, 2003).

Çizelge 7.1 Gürpınar formasyonunun endeks özellikleri (Yıldırım, 2003).

Endeks Özellikleri (Kil)	
Doğal Birim Hacim Ağırlığı (γ_n)	(19.13 – 21.11) kN/m ³
Dane Birim Hacim Ağırlığı (γ_s)	(25.70 – 26.68) kN/m ³
Kuru Birim Hacim Ağırlığı (γ_k)	(14.71 – 16.68) kN/m ³
Doğal Su Muhtevası (ω_n)	% (15-40)
Likit Limit (ω_L)	% (40-100)
Plastik Limit (ω_P)	% (20-40)
Plastisite İndeksi (I_P)	% (20-60)

7.3.3 Çukurçeşme Formasyonu

İnceleme alanında dar bir bölgede mostra veren Çukurçeşme formasyonunun hakim litolojisi açık gri, kirli beyaz, krem renkli kumdur. Genellikle, Gürpınar formasyonu üzerinde uyumlu

olarak ince bantlar halinde değişik seviyelerde 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 da geçiş gösterebilmektedir.

Endeks özellikleri Çizelge 7.2’ de verilen 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 (Eroskay ve Kale, 1986).

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 değerleri $N=10-40$ arasında değişim göstermektedir. Doğal birim hacim ağırlıkları, $\gamma_n= 18.83 - 19.42 \text{ kN/m}^3$, kuru birim hacim ağırlıkları ise, $\gamma_k= 14.22 - 15.89 \text{ kN/m}^3$ arasında değişmektedir (Yıldırım 2003).

Çizelge 7.2 Çukurçeşme formasyonunun endeks özellikleri (Yıldırım, 2003).

Endeks Özellikleri (Kum)	
Doğal Birim Hacim Ağırlığı (γ_n)	(18.64 – 19.62) kN/m^3
Dane Birim Hacim Ağırlığı (γ_s)	(25.70 – 26.00) kN/m^3
Kuru Birim Hacim Ağırlığı (γ_k)	(14.72 – 17.17) kN/m^3
Doğal Su Muhtevası (ω_n)	% (15-30)

7.3.4 Güngören Formasyonu

İnceleme alanında dar bir alanda gözlenen Güngören formasyonu, Çukurçeşme formasyonunun üzerinde uyumlu olarak yer almaktadır. Güngören formasyonun hakim litolojisi, siyahımsı, koyu gri renkli, organik ve şişme özelliği gösteren kildir. İstifte kil-kum ve marn ara katmanları da yer almaktadır (Yıldırım 2003).

İstanbul ve civarında yaklaşık 50 yıldır kabul edile gelmiş stratigrafik kesit göz önünde tutularak yapılan haritalamalarda, yanal sürekliliği var sayılan bu formasyon aranmış, dolayısıyla da, hemen her zaman, Bakırköy formasyonu kireçtaşları altında gözlemlenen ve Gürpınar formasyonuna ait olan yeşil killer, yanlışlıkla Güngören formasyonu olarak

tanımlanmıştır. Son zamanlarda İstanbul’da yapılan bir çok zemin etüdü raporunda verilen genelleştirilmiş stratigrafik kesitlerde, gerçek stratigrafiyi değiştirmektense, Güngören formasyonunun kalınlığının 175m’ye kadar arttırıldığı görülmektedir (Yıldırım 2003).

Güngören formasyonu killerininde endeks özellikleri Çizelge 7.3’de verilmiştir. SPT darbe sayısı $N = 25-30$ arasında değişen yüksek plastisiteli ve çoğunlukla organik içerikli bu killeri, 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 $\omega_n = \%45-60$, likit limit $\omega_L = \%102-110$, plastik limit $\omega_p = \%39-50$ ve plastisite indeksi $I_p = \%60-64$ civarındadır. Alınan numuneler üzerinde uygulanan Standart Kompaksiyon deneyi ile optimum su muhtevaları $\%21$ civarında tespit edilmiştir. ASTM (1986)’ye uygun şekilde optimum su muhtevasında Standart Proktor Deneyi ile hazırlanan numunelerde şişme basıncı 0.8 kg/cm^2 , 0.07 kg/cm^2 sürşarj yükü altındaki şişme yüzdeleri ise $\%6$ mertebelerinde ölçülmüştür. 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 mercekssel nitelikli killerininde bu ortalama değerleri, bu tür killerin içinde organik katkıların miktarına göre oldukça değişkenlik gösterebilmektedir (Yıldırım 2003).

Çizelge 7.3 Güngören formasyonunun endeks özellikleri (Yıldırım, 2003).

Endeks Özellikleri (Kil)	
Doğal Birim Hacim Ağırlığı (γ_n)	$(16.68 - 19.62) \text{ gr/cm}^3$
Dane Birim Hacim Ağırlığı (γ_s)	$(23.54 - 25.70) \text{ gr/cm}^3$
Kuru Birim Hacim Ağırlığı (γ_k)	$(11.77 - 16.19) \text{ gr/cm}^3$
Doğal Su Muhtevası (ω_n)	$\%(45-60)$
Likit Limit (ω_L)	$\%(102-110)$
Plastik Limit (ω_p)	$\%(39-50)$
Plastisite İndeksi (I_p)	$\%(60-64)$

7.3.5 Bakırköy Formasyonu

İnceleme alanının güney batı kesimindeki sırt düzlüklerini bu formasyon, özellikle Bakırköy ve dolayındaki tipik mostraları nedeniyle Bakırköy formasyonu olarak adlandırılmıştır. Gürpınar formasyonu üzerine geçişli olarak gelen Üst Miyosen yaşlı Bakırköy Formasyonu, genellikle 20-30 m kalınlıkta ve bölgesel olarak daha genç çökeller tarafından uyumsuzlukla örtülmektedir.

Bakırköy formasyonunun ana litolojisi gölsel ortamda çökelmiş, kirli beyaz – krem renkli, yatay katmanlı genellikle yeşil kil ara tabakalı, orta – yüksek dayanımlı, Maktra’lı kireçtaşları ile zayıf – orta dayanımlı marnlardır. Üst seviyelerde yer alan ve Üst Miyosen yaşlı bu litolojiler bazen kalınlıkları 15m – 20m arasında değişen kil tabakaları ile birkaç düzeyde ardalanmalı olabilmektedir.

Beyazımsı krem renkli, boşluklu, kil ara katmanlı, ince orta – tabakalı bol Maktra’lı killi kireçtaşlarından oluşan istifin değişik düzeylerinden alınan kireçtaşı örneklerinde, ortalama olarak doğal birim hacim ağırlığı, $\gamma_n = 19.62 - 23.54 \text{ kN/m}^3$, dane birim hacim ağırlığı, $\gamma_s = 25.41 \text{ kN/m}^3$, porozitesi, $n = 5 - 22$ arasındadır. Doğal su muhtevası $w_n = \%(5 - 10)$, SPT darbe adedi $N > 50$ dir (Yıldırım, 2003).

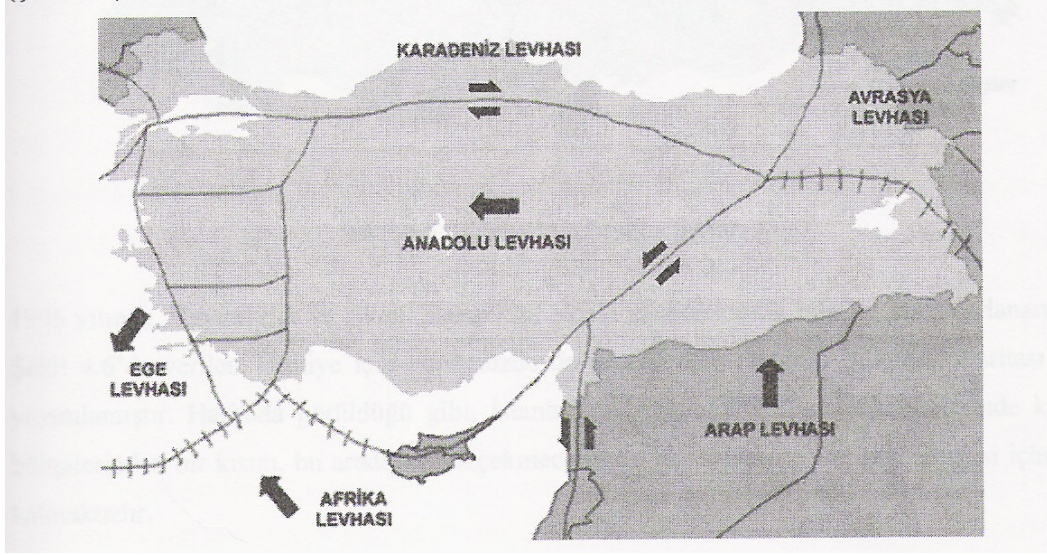
7.3.6 Alüvyon

İnceleme alanı içerisinde kuzey kesimlerde Soğuksu Deresi ve doğu kesimlerde ise Ayamama Deresi çevresinde görülmektedir. Çevre kayaçların değişik boyutlardaki çakıl, kum, silt ve kil gibi ayrık malzemesinden oluşan alüvyonun kalınlığı genellikle 10 m’yi aşmamaktadır. Tüm yaşlı birimleri açılı uyumsuzlukla örten alüvyal çökeller yer yer bitkisel ya da yapay dolgularla örtülmektedir.

7.4 İnceleme Alanı ve Civarının Tektonik Yapısı

Türkiye’nin tektonik yapısı üç büyük levhanın etkisi altındadır. Bunlar; Avrasya, Afrika ve Arap Levhalarıdır. Anadolu’nun büyük bir kısmının yer aldığı Anadolu Levhası ise Avrasya levhası’nın küçük bir bölümüdür. Bu levhalardan Afrika Levhası kuzeye doğru hareket eder (10mm/yıl) ve Akdeniz de Kıbrıs yayı denilen bölgede Anadolu Levhasının altına dalar. Arap levhası ise Kızıldeniz’deki açılma nedeniyle kuzeye doğru hareket eder (25mm/yıl) ve Anadolu Levhası’nı sıkıştırır. Bu sıkışma sonucunda Bitlis bindirme zonu olmuştur. Sıkıştırma halen sürdüğü için Anadolu Levhası kuzey ve güneydeki fay hatları boyunca batıya doğru hareket eder. Anadolu Levhası’nın güney sınırını Doğu Anadolu Fayı, kuzey sınırını ise

17 Ağustos 1999 depreminin oluştuğu, aynı zamanda inceleme alanı ve civarının deprem tehlikesini belirleyen Kuzey Anadolu Fayı (KAF) oluşturmaktadır. Şekil 7.4’de Kuzey Anadolu fayının oluşumu gösterilmiştir.



Şekil 7.4 Kuzey Anadolu Fayı'nın oluşumu.

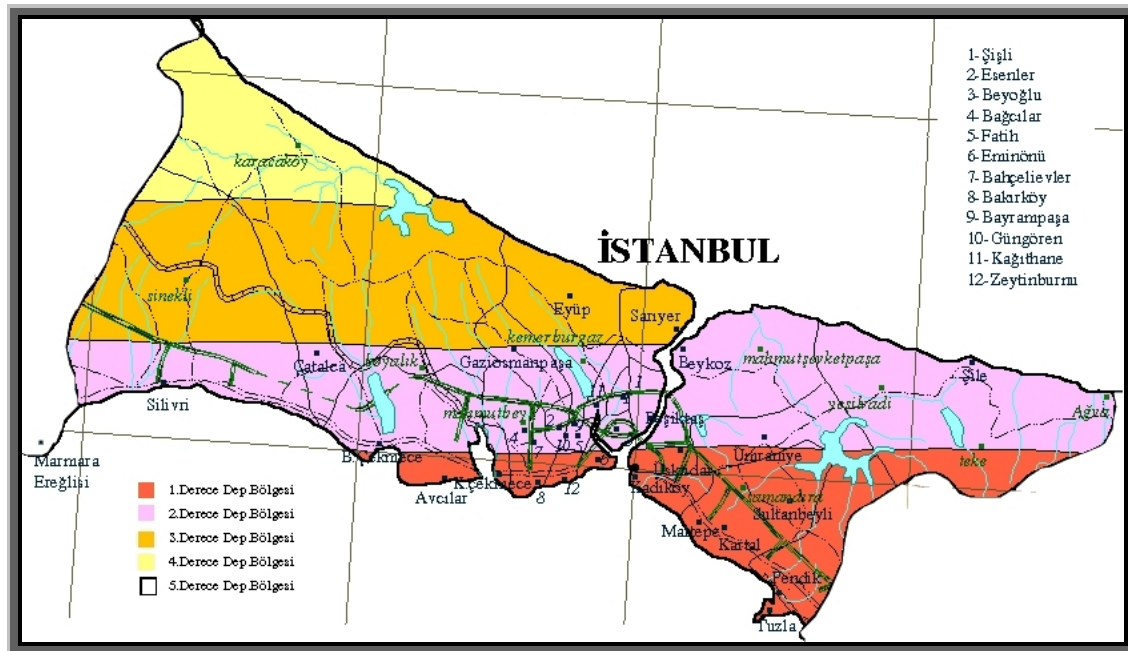
Kuzey Anadolu Fayı (KAF), Türkiye'nin en önemli tektonik yapıları arasında yer almaktadır. Türkiye'de meydana gelen önemli oranda can ve mal kaybına neden olan depremlerin büyük bir kısmının bu faya bağlı olarak geliştiği gözlenmiştir. KAF ilkesel olarak Paleotektonik dönemde Anadolu ve Arap plakalarının sıkışma sonucunda ortaya çıkmıştır. Neotektonik dönem ve sonrasındaki hareketlerle ortaya çıkan ve KAF'nın ilksel konumuna paralel olarak gelişen bir çok fay segmentinden oluşan kırıklar topluluğunda bu fay zonunu oluşturmuşlardır. Genel fay karakteristiği açısından sağ yönlü doğrultu atımlı fayı gösteren KAF zonu doğuda Varto yakınlarından başlayarak batıda Saroz körfezine kadar uzanmaktadır.

Neotektonik dönem ve sonrası hareketlerle açıkladığımız KAF zonu, çok geniş bir deformasyon zonuna sahip olup bu deformasyon zonunun genişliği doğuda 25 km civarındayken batıda 80 km'ye kadar çıkmaktadır. KAF zonunun genel morfolojik özelliklerine bakıldığında; zonun kuzeyinde kalan bölgelerin güneye oranla topoğrafik açıdan daha yüksekte kaldığı, doğrultu atımlı fay zonlarının karakteristik özelliklerinden olan "S" biçimli dere yataklarının oluştuğu derelerin ötelendiği, çok sayıda kütleli hareketlerin ve su kaynaklarının ortaya çıktığı gözlenmektedir. Bu fay zonu üzerinde çok sayıda sedimenter basenlerin varlığı bilinmektedir (Baştürk, 2003)

7.5 İnceleme Alanı ve Civarının Sismolojik Özellikleri

Marmara Bölgesi içinde inceleme alanı tarih boyunca bir çok yıkıcı depreme maruz kalmıştır. Bu bölge 4. ve 19. yüzyıllar arasında 32 adet depremle etkilenmiştir, bu durum ortalama her 50 yılda bir orta şiddette depreme tekabül etmektedir. Yaklaşık her 300 yılda bir ise bölge çok şiddetli depreme maruz kalmaktadır. Şekil 7.5’de İstanbul Deprem Bölgeleri Haritası (Afet İşleri Genel Müdürlüğü) gösterilmiştir.

Bu tez kapsamında incelenen Küçükçekmece bölgesinin , Bayındırlık ve İskan Bakanlığı’nın 1996 tarihinde yayınladığı “Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası”nda 1. derece deprem bölgesi olarak belirtilmiştir. Tarihsel depremler göz önüne alındığında inceleme alanının depremsellik açısından yüksek riskli bir bölge olduğu ortaya çıkmaktadır.



Şekil 7.5 İstanbul deprem bölgeleri haritası (Afet İşleri Genel Müdürlüğü).

8. KÜÇÜKÇEKMECE - HALKALI YERLEŞİM BÖLGESİNDE MİKROBÖLGELEME YÖNETMELİĞİ ' NİN (MERM, 2003) UYGULANMASI

8.1 Giriş

Bu çalışmada inceleme alanı, Mikrobölgeleme Yönetmeliği'nde (MERM, 2003) belirtilen yöntemine uygun olarak zemin büyütmelerine göre bölgelendirilmiştir. MERM, 2003'de 100 yıllık dönüşüm periyodu veya yaklaşık 50 yılda %40 aşılma olasılığı dikkate alınarak mikrobölgeleme çalışmalarının yapılması belirtilmesine rağmen bu çalışmada daha büyük bir depremin (50 yılda %10 aşılma olasılığı) etkileri de incelenerek sonuçlar birbiriyle karşılaştırılmıştır.

Mikrobölgeleme çalışmaları mikrobölgeleme el kitabındaki (MERM, 2003) öneriler doğrultusunda altı aşamada gerçekleştirilmiştir. Bu aşamalar aşağıdaki şekilde sıralanmıştır:

1. Yerel zemin koşullarının geoteknik ve jeofizik özelliklerinin yapılan sondaj çalışmaları yardımıyla belirlenmesi,
2. Bölgenin karelaj ile alt bölgelere ayrılması ve zemin yüzünden anakayaya kadar zemin profillerinin tanımlanması
3. Yerel zemin sınıflarının Türkiye Deprem Yönetmeliği (TDY, 1998) ve NEHRP (2001)'e göre belirlenmesi,
4. Bölgenin deprem tehlikesinin olasılıksal olarak belirlenmesi,
5. Herbir karelaj (veya hücre) için dinamik zemin davranış analizlerinin yapılması,
6. Elde edilen sonuçlara göre yer sarsıntısı haritalarının oluşturulması.

8.2 İnceleme Alanı Yerel Zeminlerinin Geoteknik Özellikleri

İnceleme sahasında yer alan formasyonlar ve bunların geoteknik karakterleri hakkında detaylı bilgi 7. Bölümde verilmiştir. Bölgede yapılan arazi deneyleri ve alınan numuneler üzerinde yapılan deneyler sonucunda elde edilen veriler özet olarak Çizelge 8.1, Çizelge 8.2 ve Çizelge 8.3'de sunulmuştur.

Çizelge 8.1 SPT-N darbe sayıları (Kılıç vd. 2005).

Zemin Tanımı	SPT-N darbe sayıları	
	Aralık	Ortalama
Dolgu	6-16	10
Alüvyon	9-26	18
Bakırköy Formasyonu (killi seviyeler)	4-57	20
Güngören Formasyonu	9-48	16
Çukurçeşme Formasyonu	41-Refü	50
Gürpınar Formasyonu (4.0 -7.50 m arası)	7-Refü	12
Gürpınar Formasyonu (7.50-10.50 m arası)	10-Refü	20
Gürpınar Formasyonu (>10.50 m)	10-Refü	28
Kırklareli Formasyonu (killi seviyeler)	14- Refü	60

Çizelge 8.2 Doğal su muh., kıvam limitleri ve tabii birim hacim ağırlıklar (Kılıç vd. 2005).

Zemin Tanımı	ω_n (%)		ω_L (%)		ω_P (%)		γ_n kN/m ³
	Aralık	Ortalama	Aralık	Ortalama	Aralık	Ortalama	
Dolgu	28-32	30	60-64	62	28-30	29	18
Alüvyon	17-34	22	32-57	45	18-28	23	18
Bakırköy Formasyonu (killi seviyeler)	22-32	26	20-56	32	21-37	26	19
Güngören Formasyonu)	21-59	29	40-109	68	24-48	30	19
Gürpınar Formasyonu (4.0 -7.50 m arası)	15-45	30	43-98	60	19-38	28	20
Gürpınar Formasyonu (7.50-10.50 m arası)	16-39	38	51-103	69	22-38	30	20
Gürpınar Formasyonu (>10.50 m)	15-54	35	40-108	80	20-45	32	20
Kırklareli Formasyonu (killi seviyeler)	29-35	32	50-77	60	23-34	26	19

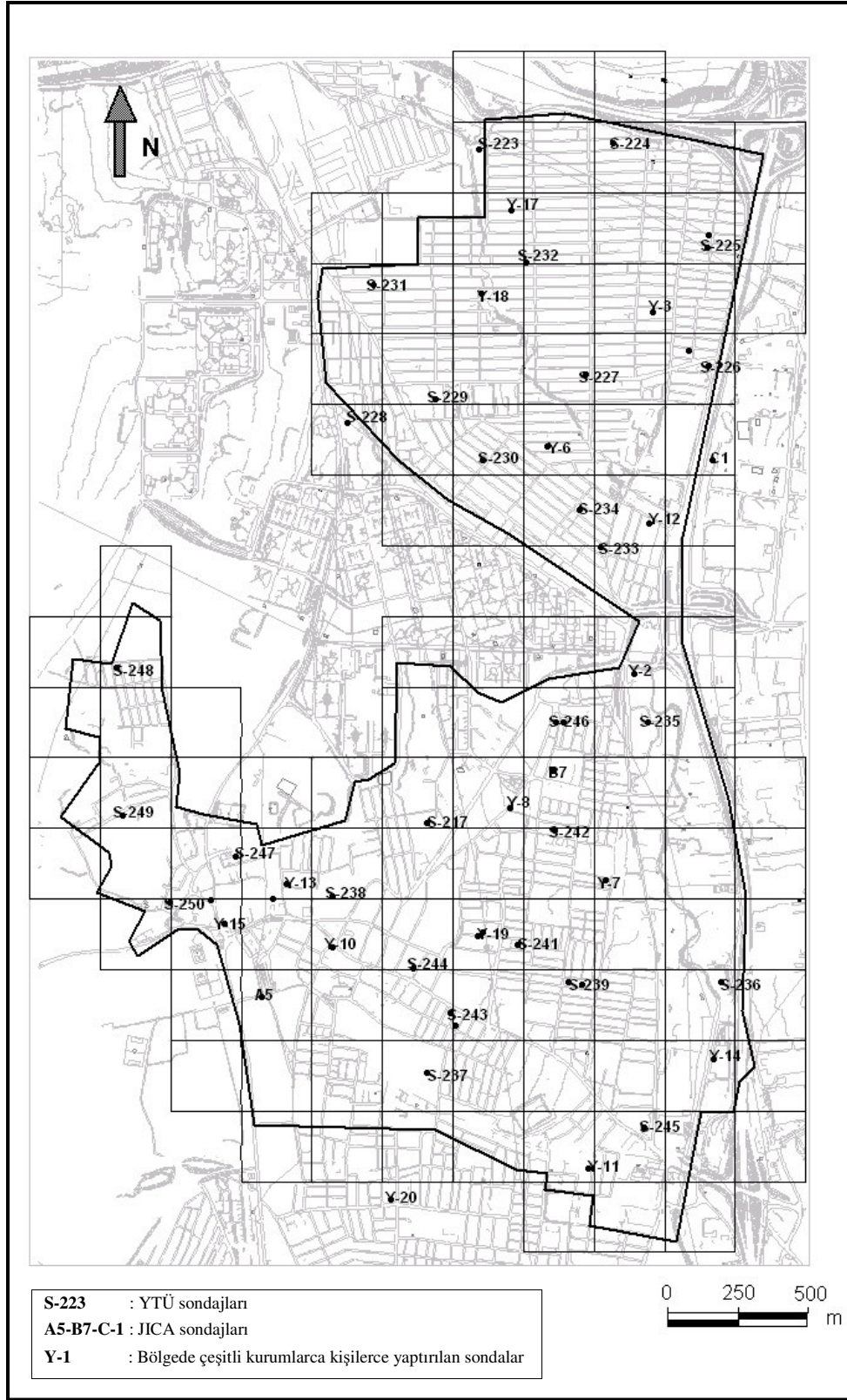
Çizelge 8.3 Dane çapı dağılımı (Kılıç vd. 2005).

Zemin Tanımı	Çakıl (%)	Kum (%)	Silt-kil (%)
Dolgu	0-65	0-28	0-70
Alüvyon	0-14	47-83	17-53
Çukurçeşme Formasyonu (kum)	0-41	48-85	11-23
Gürpınar Formasyonu (kil)	0-34	28-78	7-53

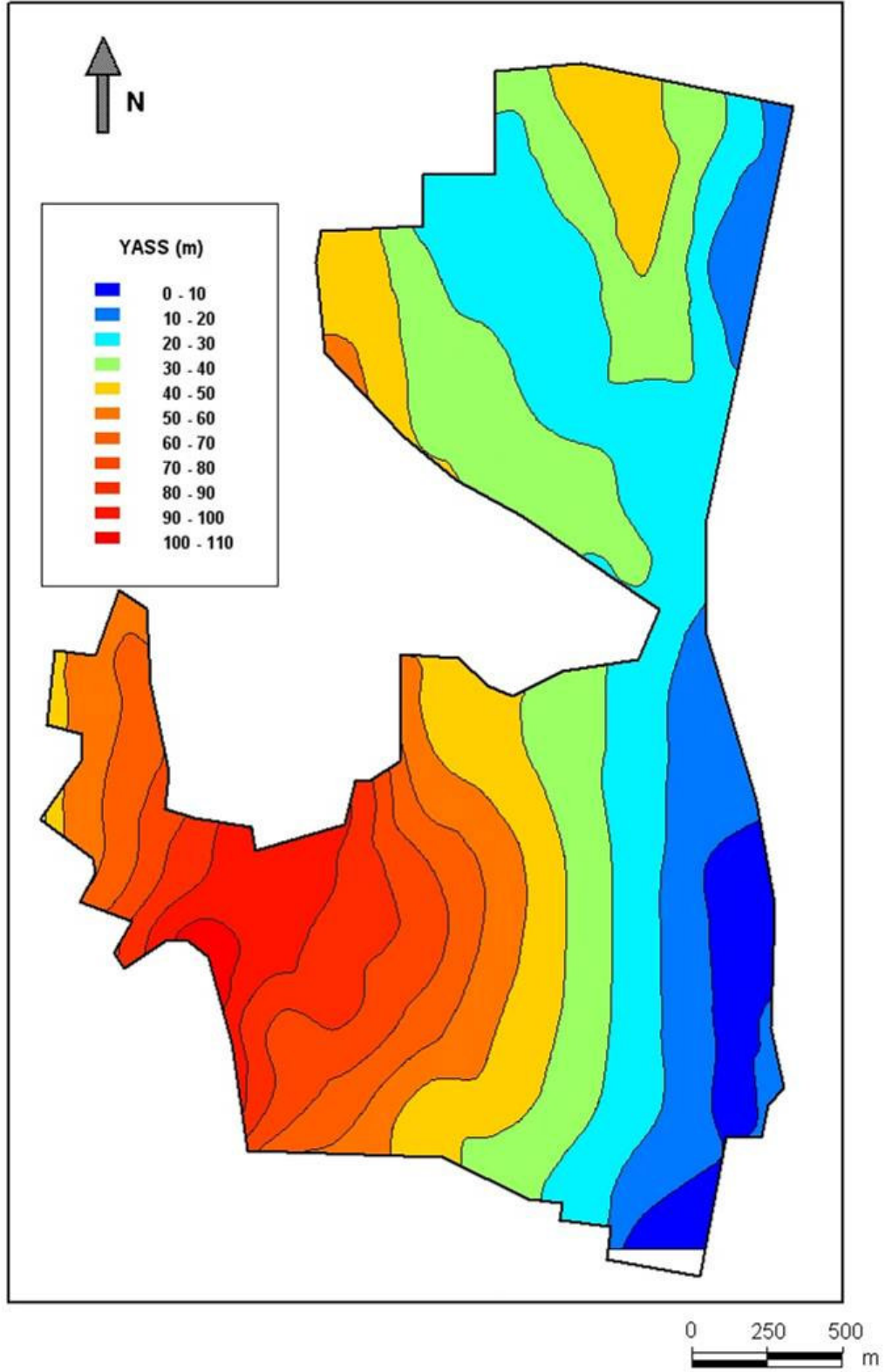
Şekil 8.1’de derinlikleri yaklaşık 10-110 m arasında değişen toplam 54 adet sondajın çalışma sahasındaki yerleri gösterilmiştir. Mevcut sondaj çalışmalarından yararlanılarak bölgeye ait jeolojik zemin kesitleri çıkarılmıştır (Ek 2, Ek 3 ve Ek 4). Çıkarılan bu kesitlerden faydalanılarak bölgenin yeraltı su seviyesi ve anakaya derinlikleri belirlenmiştir (Şekil 8.2 ve Şekil 8.3).

Şekil 8.2’ye bakıldığında yeraltı su seviyesinin inceleme sahasındaki Soğuksu ve Ayamama Dereleri yataklarında doğal olarak en sığ seviyede olduğu sahanın güney batısında ise anakaya seviyesi ile uyumlu olarak en derin seviyede olduğu görülmektedir.

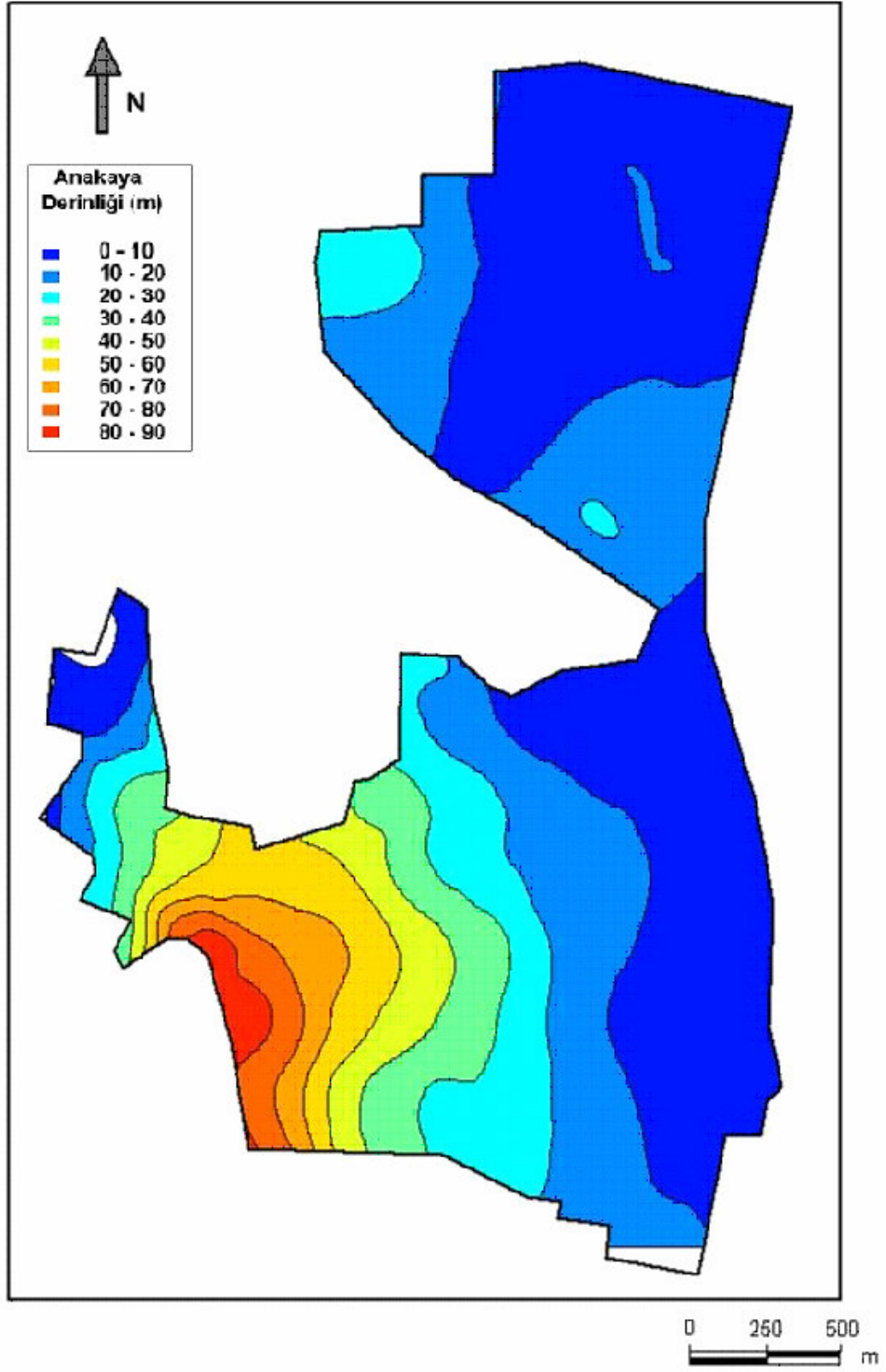
Şekil 8.3’e bakıldığında anakayanın kuzeyden güneye doğru gittikçe derinleştiği görülmektedir. Anakaya derinliğinin inceleme alanının kuzeyinde 10~20 m seviyelerinde, güney batıda ise en derin seviyede olduğu (80~90 m) görülmektedir.



Şekil 8.1 Sondaj yerlerinin çalışma sahasındaki dağılımı.



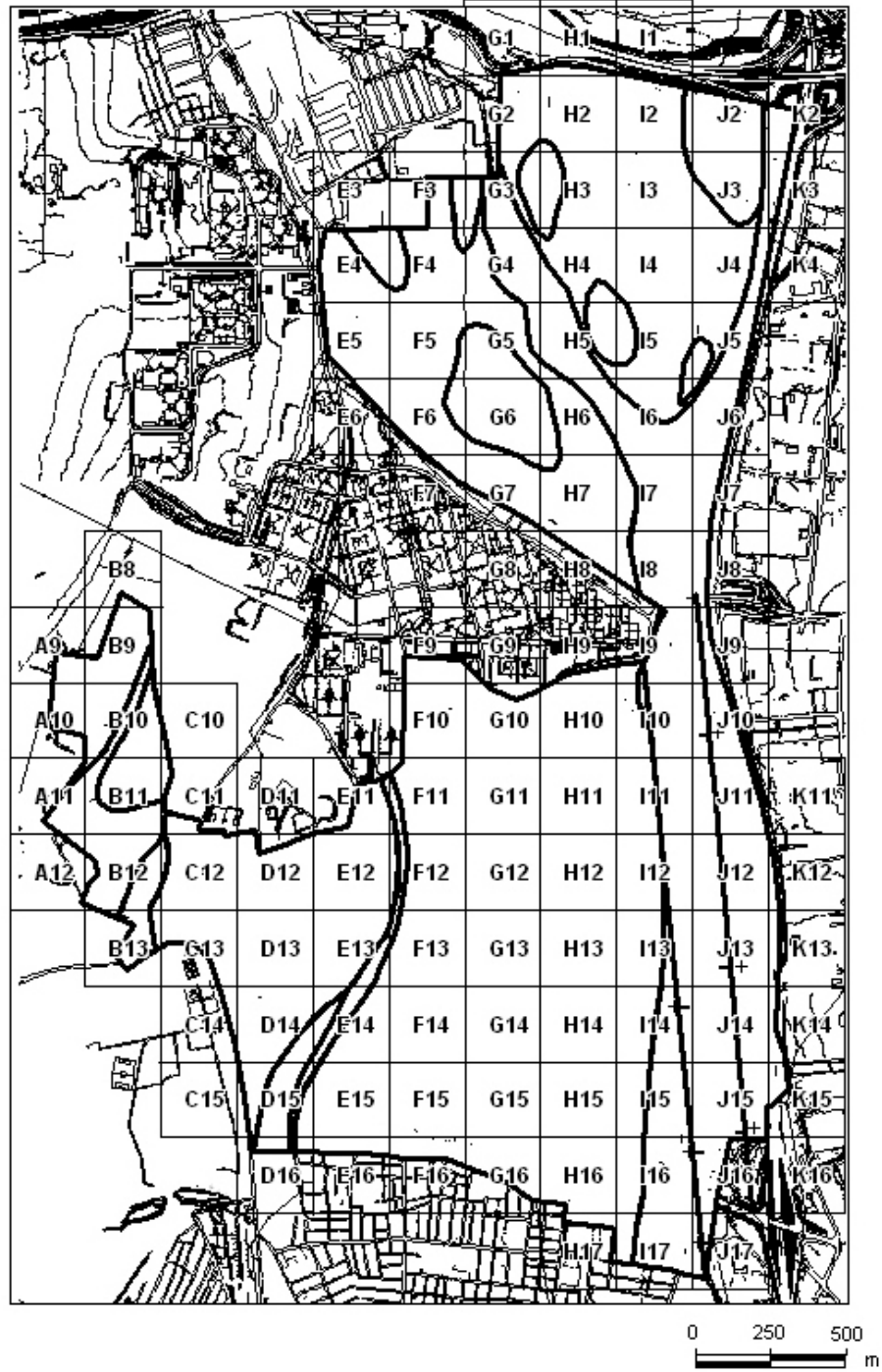
Şekil 8.2 İnceleme alanında yeraltı su seviyesi derinliklerinin değişimi (Yıldırım 2004).



Şekil 8.3 İnceleme alanında anakaya derinliklerinin değişimi (Yıldırım 2004).

8.3 İnceleme Alanının Karelere Bölünmesi ve Temsili Zemin Profillerinin Oluşturulması

Çalışma sahası yaklaşık 5 km² lik bir alandan oluşmaktadır. İnceleme alanı 250 m × 250 m'lik karelere bölünerek 120 adet hücre oluşturulmuştur. Şekil 8.4'de inceleme sahasında oluşturulan karelaj sistemi ve hücre isimleri gösterilmiştir.



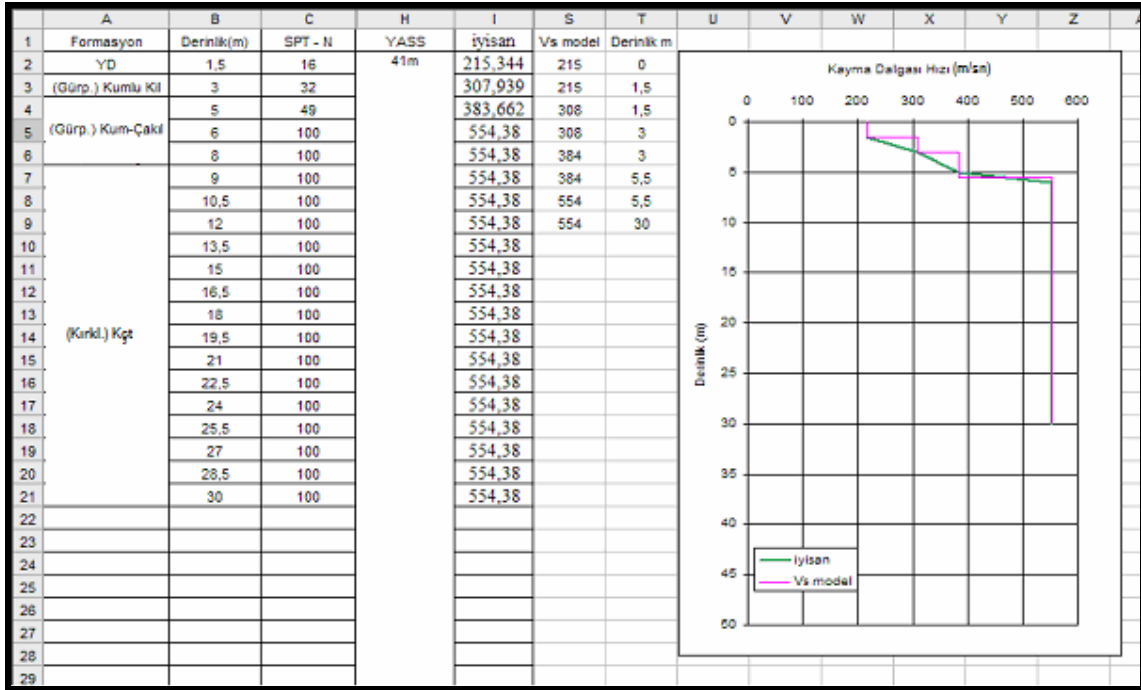
Şekil 8.4 İnceleme alanında oluşturulan karelajlar ve isimleri.

8.3.1 İnceleme alanında temsili zemin profillerinin oluşturulması

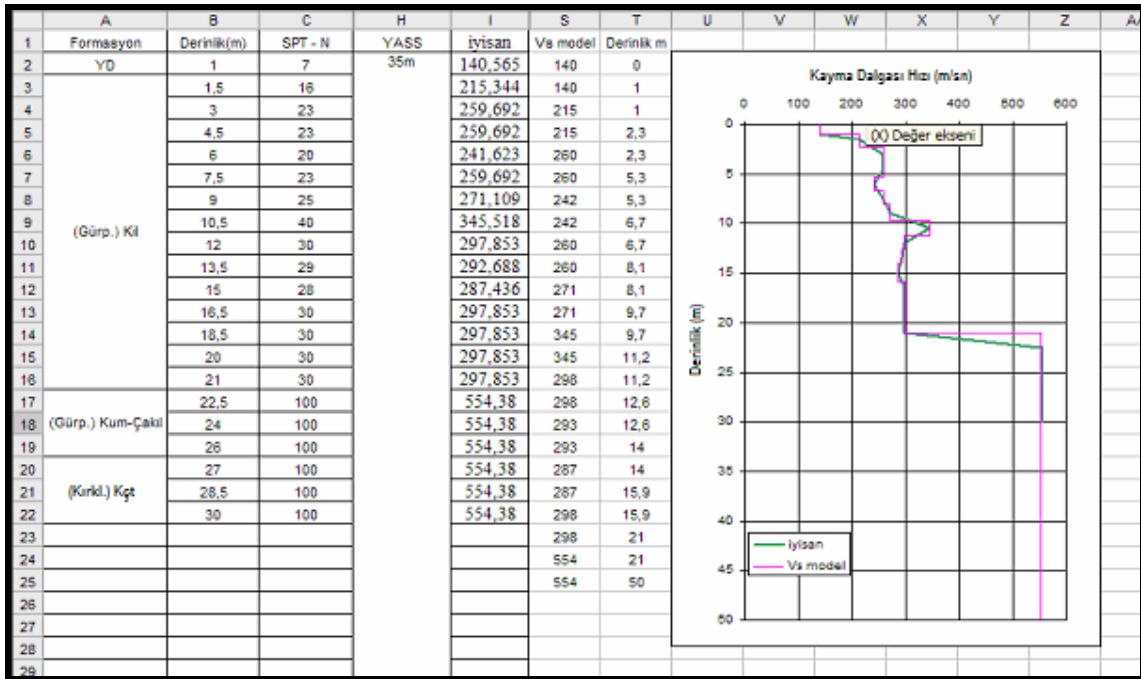
Her kare merkezinde tipik bir zemin profili belirlenmiştir. Bu profillerin oluşturulması sırasında kare içinde kalan sondaj verilerinden faydalanılmıştır. İçinde sondaj bulunmayan hücreler için civar hücrelerdeki sondajlardan ve jeolojik kesitlerden yararlanılmıştır. Kayma dalgası hızlarını belirlerken SPT(N) darbe adetlerine bağlı ampirik eşitliklerden yararlanılmıştır. Bu amaçla, ülkemiz zeminleri için belirlenmiş olan (İyisan, 1996) eşitliği kullanılmıştır.

$$V_s = 51.5 \times N^{0.516} \quad (8.1)$$

Şekil 8.5’de I2 hücresi ve Şekil 8.6’da G16 hücresi için elde edilen zemin profili ve bu profil için hesaplanan kayma dalgası hızı ve analizlerde kullanılmak üzere çıkarılan kayma dalgası hızı modeli (V_s model) gösterilmiştir. Düzenlenen kayma dalgası hızının derinlikle değişimi bir Excel çalışma sayfası şeklinde görülmektedir. Bu işlem 120 adet kare (hücre) için yapılarak her bir hücre için zemin profili, tabaka kalınlıkları ve kayma dalgası hızı profilleri oluşturulmuştur. Ek 5’de bölgede yüzeylenen her bir formasyona ait elde edilen zemin profili ve bu profil için hesaplanan kayma dalgası hızı ve analizlerde kullanılmak üzere çıkarılan kayma dalgası hızı modeli (V_s model) gösterilmiştir.



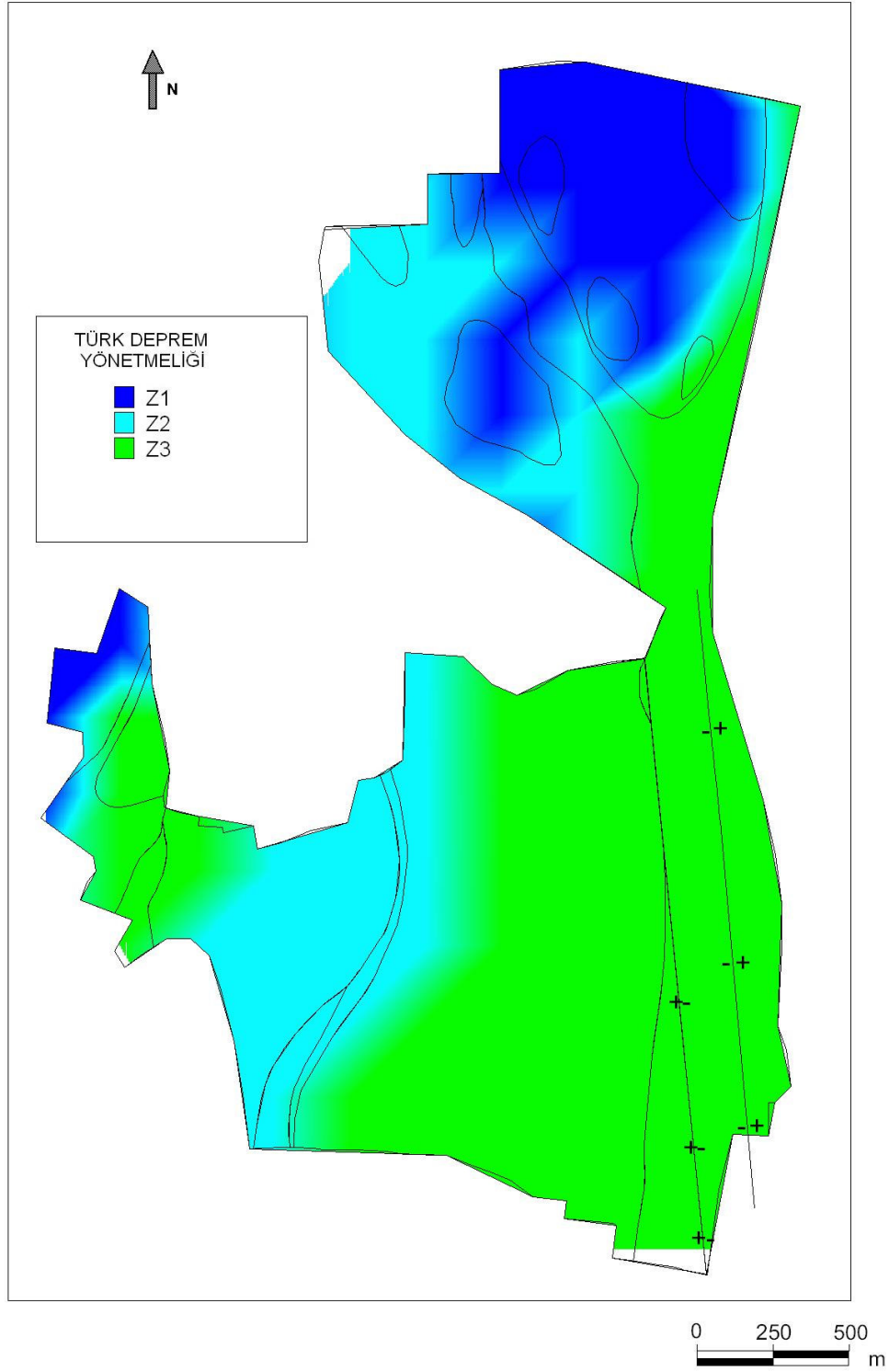
Şekil 8.5 I2 hücresi için elde edilen ve ideal bir model olarak düzenlenen kayma dalgası hızının derinlikle değişimi.



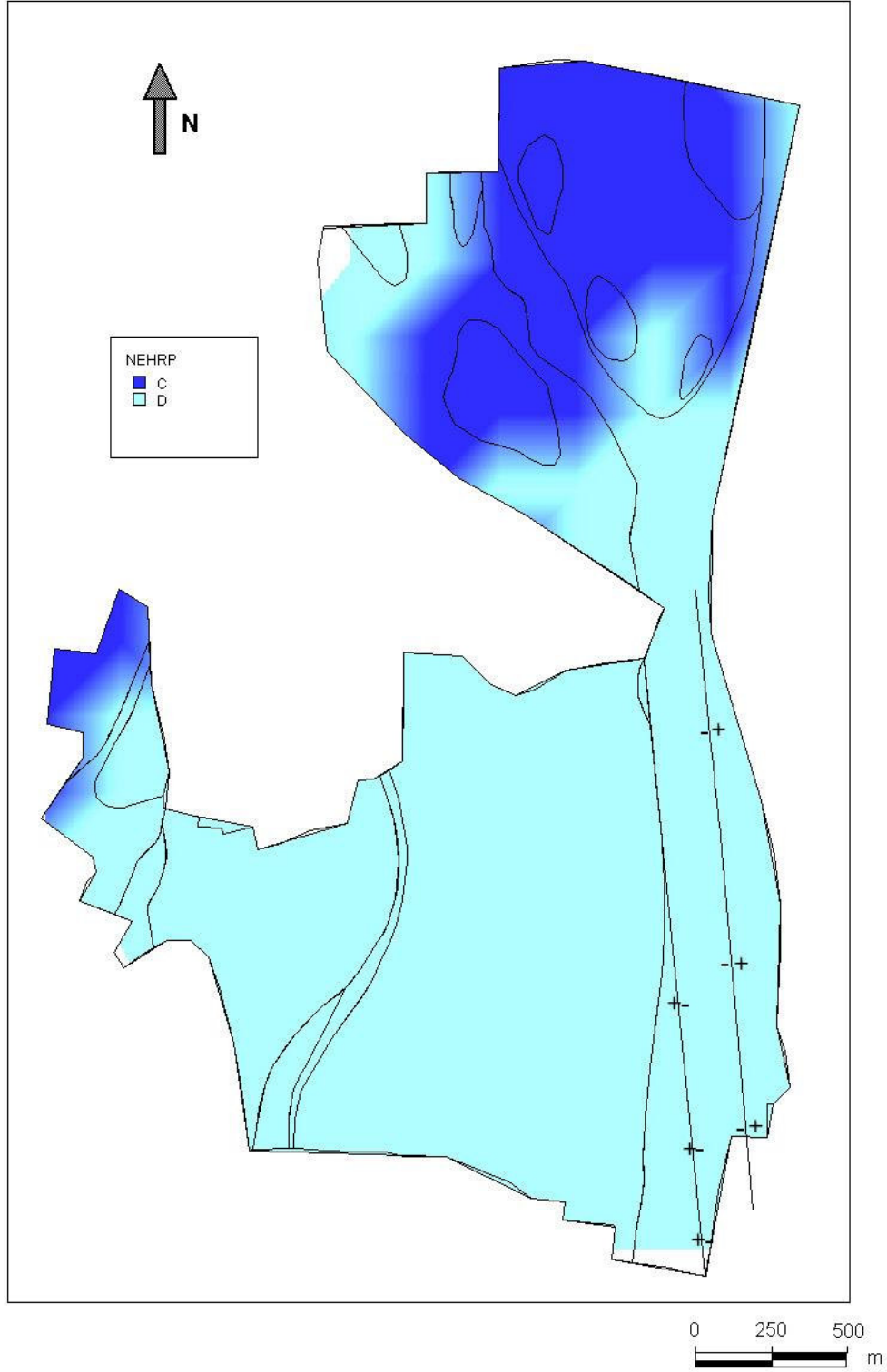
Şekil 8.6 G16 hücresi için elde edilen ve ideal bir model olarak düzenlenen kayma dalgası hızının derinlikle değişimi.

8.4 İnceleme Alanında Belirlenen Yerel Zemin Sınıfları

Türkiye Deprem Yönetmeliği (TDY) (Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik; AİGM, 1998) ve NEHRP (Ulusal Deprem Tehlikesini Azaltma Programı; BSSC, 2001)'e göre inceleme alanındaki yerel zemin sınıflarının değişimi sırasıyla (Z1, Z2, Z3) ve (C, D) olarak belirlenmiş ve sırasıyla Şekil 8.7'de ve Şekil 8.8'de gösterilmiştir. Yapılan bölgeleme çalışması sonucunda, Z1/C bölgesi Kırklareli Formasyonu kireçtaşlarının yüzeylendiği bölgede, Z2/D bölgesi Çukurçeşme formasyonu, Bakırköy formasyonunun büyük kısmı ile Gürpınar formasyonunun yüzeylendiği kuzey alanlarda yer almaktadır. Z3/D bölgesi Güngören ve Gürpınar formasyonu ile Bakırköy formasyonunun muhtemelen killi kesimlerinde ve alüvyonun çok büyük bir kısmında yer almaktadır.



Şekil 8.7 Türk Deprem Yönetmeliği (TDY, 1998)'ne göre zemin sınıflandırılması.



Şekil 8.8 NEHRP'e göre zemin sınıflandırması (BSSC, 2001).

8.5 Bölgesel Sismik Tehlikenin Değerlendirilmesi

İnceleme alanının bölgesel ölçekte deprem tehlikesi, Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi Deprem Araştırma Enstitüsü tarafından belirlenmiştir. Belirlenen 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. Çizelge 8.4' de inceleme alanında yapılan sismik risk analizinin sonuçlarına göre anakaya seviyesinde belirlenen ivme, 0.2 sn ve 1 sn'deki spektral ivme değerleri herbir hücre için verilmiştir.

Çizelge 8.4 BÜ Kandilli Rasathanesi Deprem Araştırma Enstitüsü tarafından belirlenen deprem tehlikesi parametreleri (KOERI, 2004).

Hücre	%40 Aşılma Olasılığı			%10 Aşılma Olasılığı		
	PGA (g)	SA02 (g)	SA1 (g)	PGA (g)	SA02 (g)	SA1 (g)
A9	0.166	0.361	0.155	0.324	0.709	0.321
A10	0.167	0.363	0.156	0.325	0.713	0.323
A11	0.168	0.365	0.157	0.327	0.718	0.324
A12	0.169	0.367	0.158	0.329	0.722	0.326
B8	0.165	0.360	0.154	0.323	0.704	0.319
B9	0.166	0.361	0.155	0.325	0.709	0.321
B10	0.167	0.363	0.156	0.327	0.713	0.323
B11	0.168	0.365	0.157	0.328	0.718	0.324
B12	0.168	0.367	0.158	0.330	0.722	0.326
B13	0.169	0.369	0.159	0.333	0.727	0.328
C10	0.167	0.363	0.156	0.327	0.712	0.322
C11	0.168	0.365	0.157	0.330	0.717	0.324
C12	0.168	0.367	0.158	0.332	0.722	0.326
C13	0.169	0.369	0.159	0.334	0.727	0.328
C14	0.170	0.371	0.160	0.337	0.732	0.331
C15	0.171	0.374	0.161	0.341	0.737	0.333
D11	0.168	0.365	0.157	0.330	0.717	0.324
D12	0.168	0.367	0.158	0.333	0.721	0.326
D13	0.169	0.369	0.159	0.336	0.727	0.328
D14	0.170	0.371	0.160	0.339	0.732	0.331
D15	0.171	0.374	0.161	0.342	0.737	0.334
D16	0.172	0.377	0.162	0.346	0.742	0.336
E3	0.160	0.343	0.151	0.303	0.683	0.302
E4	0.161	0.345	0.151	0.306	0.687	0.305
E5	0.162	0.348	0.152	0.309	0.691	0.307
E6	0.163	0.351	0.153	0.312	0.695	0.310
E11	0.168	0.365	0.158	0.331	0.716	0.324
E12	0.168	0.367	0.158	0.334	0.721	0.326
E13	0.169	0.369	0.159	0.337	0.726	0.328
E14	0.170	0.371	0.160	0.340	0.732	0.331
E15	0.171	0.374	0.161	0.344	0.737	0.334
E16	0.172	0.377	0.162	0.347	0.742	0.336
F3	0.160	0.342	0.150	0.302	0.683	0.302

Çizelge 8.4'ün devamı.

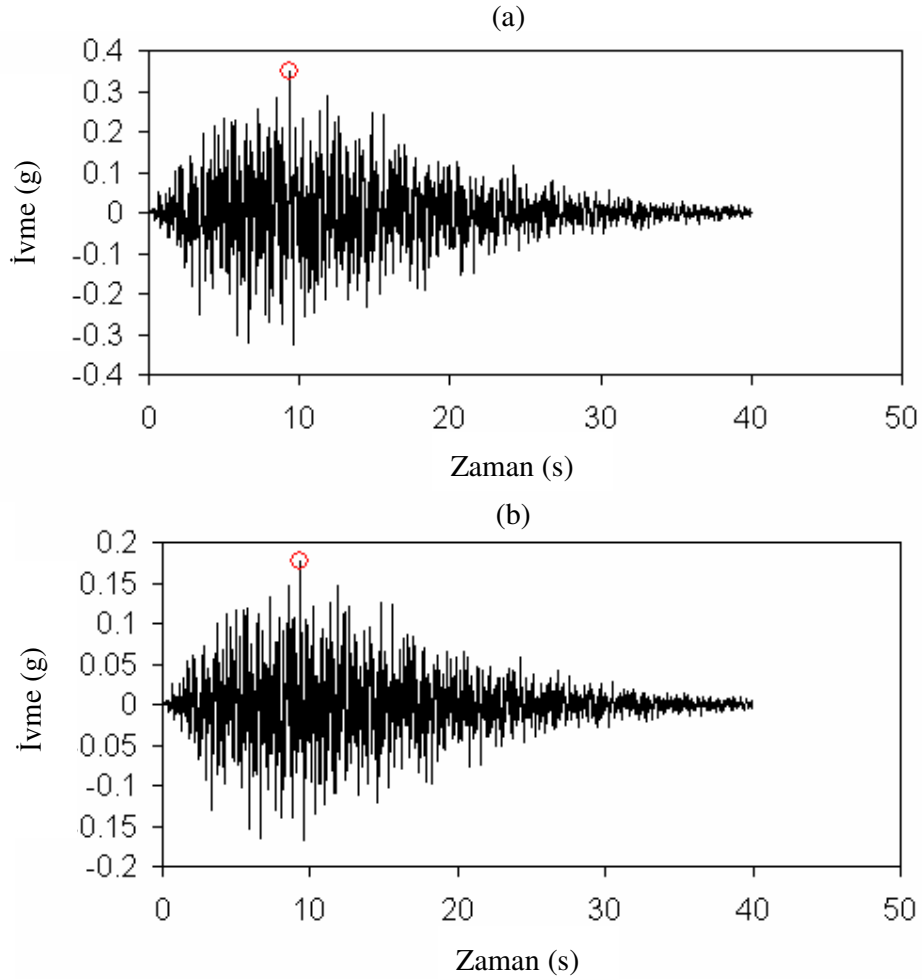
Hücre	%40 Aşılma Olasılığı			%10 Aşılma Olasılığı		
	PGA (g)	SA02 (g)	SA1 (g)	PGA (g)	SA02 (g)	SA1 (g)
F4	0.161	0.344	0.151	0.305	0.687	0.304
F5	0.162	0.347	0.152	0.308	0.691	0.306
F6	0.163	0.350	0.153	0.311	0.696	0.309
F7	0.164	0.352	0.154	0.315	0.700	0.312
F9	0.166	0.358	0.156	0.323	0.708	0.318
F10	0.167	0.361	0.157	0.327	0.712	0.321
F11	0.168	0.364	0.158	0.331	0.716	0.323
F12	0.168	0.366	0.158	0.334	0.721	0.326
F13	0.169	0.369	0.159	0.337	0.726	0.328
F14	0.170	0.371	0.160	0.341	0.732	0.331
F15	0.171	0.374	0.161	0.344	0.737	0.334
F16	0.172	0.376	0.162	0.348	0.743	0.336
G1	0.159	0.337	0.149	0.296	0.673	0.297
G2	0.160	0.339	0.150	0.299	0.678	0.299
G3	0.160	0.341	0.150	0.301	0.682	0.301
G4	0.161	0.344	0.151	0.304	0.687	0.304
G5	0.162	0.346	0.152	0.307	0.691	0.306
G6	0.163	0.349	0.153	0.311	0.696	0.309
G7	0.164	0.352	0.154	0.315	0.700	0.311
G8	0.165	0.355	0.155	0.319	0.704	0.314
G9	0.166	0.358	0.156	0.323	0.708	0.317
G10	0.167	0.361	0.157	0.327	0.712	0.320
G11	0.168	0.364	0.158	0.331	0.717	0.323
G12	0.169	0.366	0.159	0.335	0.722	0.326
G13	0.170	0.369	0.160	0.338	0.727	0.329
G14	0.170	0.371	0.160	0.342	0.733	0.331
G15	0.171	0.374	0.161	0.345	0.738	0.334
G16	0.172	0.376	0.162	0.348	0.743	0.336
H1	0.159	0.336	0.149	0.296	0.673	0.297
H2	0.160	0.339	0.150	0.299	0.678	0.299
H3	0.160	0.341	0.150	0.302	0.682	0.301
H4	0.161	0.343	0.151	0.304	0.687	0.303
H5	0.162	0.346	0.152	0.307	0.691	0.306
H6	0.163	0.348	0.152	0.311	0.696	0.309
H7	0.164	0.351	0.153	0.315	0.700	0.311
H8	0.165	0.354	0.154	0.319	0.704	0.314
H9	0.166	0.357	0.156	0.323	0.708	0.317
H10	0.167	0.360	0.157	0.327	0.712	0.320
H11	0.168	0.363	0.158	0.331	0.717	0.323
H12	0.169	0.366	0.159	0.335	0.722	0.326
H13	0.170	0.368	0.160	0.339	0.727	0.329
H14	0.170	0.371	0.160	0.342	0.733	0.331
H15	0.171	0.373	0.161	0.346	0.739	0.334
H16	0.172	0.376	0.162	0.350	0.745	0.337
H17	0.173	0.379	0.163	0.353	0.751	0.340
I1	0.159	0.336	0.149	0.297	0.673	0.298
I2	0.160	0.338	0.149	0.300	0.677	0.300
I3	0.160	0.341	0.150	0.303	0.682	0.303

Çizelge 8.4'ün devamı.

Hücre	%40 Aşılma Olasılığı			%10 Aşılma Olasılığı		
	PGA (g)	SA02 (g)	SA1 (g)	PGA (g)	SA02 (g)	SA1 (g)
I4	0.161	0.343	0.151	0.305	0.687	0.304
I5	0.162	0.345	0.152	0.307	0.691	0.306
I6	0.163	0.348	0.152	0.310	0.695	0.308
I7	0.164	0.351	0.153	0.314	0.700	0.311
I8	0.165	0.354	0.154	0.318	0.704	0.314
I9	0.166	0.357	0.155	0.323	0.708	0.317
I10	0.167	0.360	0.157	0.327	0.712	0.320
I11	0.168	0.363	0.158	0.331	0.717	0.323
I12	0.169	0.366	0.159	0.335	0.722	0.326
I13	0.170	0.368	0.160	0.339	0.727	0.328
I14	0.170	0.371	0.160	0.342	0.733	0.331
I15	0.171	0.373	0.161	0.346	0.739	0.334
I16	0.172	0.375	0.162	0.350	0.745	0.337
I17	0.173	0.378	0.163	0.354	0.751	0.341
J2	0.160	0.338	0.149	0.302	0.677	0.302
J3	0.160	0.340	0.150	0.304	0.682	0.305
J4	0.161	0.343	0.151	0.307	0.686	0.306
J5	0.162	0.345	0.152	0.309	0.691	0.308
J6	0.163	0.348	0.152	0.311	0.695	0.309
J7	0.164	0.351	0.153	0.314	0.699	0.311
J8	0.165	0.354	0.154	0.318	0.703	0.314
J9	0.166	0.357	0.155	0.322	0.708	0.317
J10	0.167	0.360	0.156	0.326	0.712	0.320
J11	0.168	0.363	0.158	0.331	0.717	0.323
J12	0.169	0.365	0.159	0.335	0.722	0.326
J13	0.170	0.368	0.160	0.339	0.727	0.328
J14	0.170	0.371	0.160	0.342	0.733	0.331
J15	0.171	0.373	0.161	0.346	0.739	0.334
J16	0.172	0.375	0.162	0.350	0.745	0.338
J17	0.173	0.377	0.163	0.355	0.752	0.341
K2	0.160	0.339	0.150	0.304	0.678	0.305
K3	0.161	0.341	0.150	0.307	0.683	0.307
K4	0.161	0.343	0.151	0.309	0.687	0.309
K11	0.168	0.363	0.158	0.330	0.716	0.322
K12	0.169	0.366	0.159	0.334	0.722	0.325
K13	0.170	0.368	0.160	0.338	0.727	0.328
K14	0.170	0.371	0.160	0.342	0.733	0.331
K15	0.171	0.373	0.161	0.346	0.739	0.334
K16	0.172	0.375	0.162	0.350	0.745	0.338

Probabilistik deprem tehlikesi hesaplaması sonucunda her bir hücre için referans zeminde ve 100 ve 475 yıllık yinelenme periyodları için elde edilen 0.2 sn ve 1 sn'deki spektral ivmeler yardımıyla hesaplanan eş-olasılık tepki spektrumu (Uniform Hazard Response Spectrum, NEHRP (1997)) ile uyumlu sentetik yer hareketinin benzeşimi (simulasyonu) TARSCHTS

(Deodatis, 1996 ve Papageorgiou et. al., 2000) programı kullanılarak yapılmıştır. Şekil 8.9’da F12 hücresi için TARSCHTS programı %10 ve %40 aşılma olasılıkları için elde edilen ivme-zaman kayıtları gösterilmiştir.



Şekil 8.9 F12 hücresi için TARSCHTS programı ile elde edilmiş ivme-zaman kaydı; (a) Aşılma olasılığı % 10, (b) Aşılma olasılığı %40.

Ek 5’de inceleme alanının farklı kesimlerinde belirlenen ivme – zaman kayıtları gösterilmiştir.

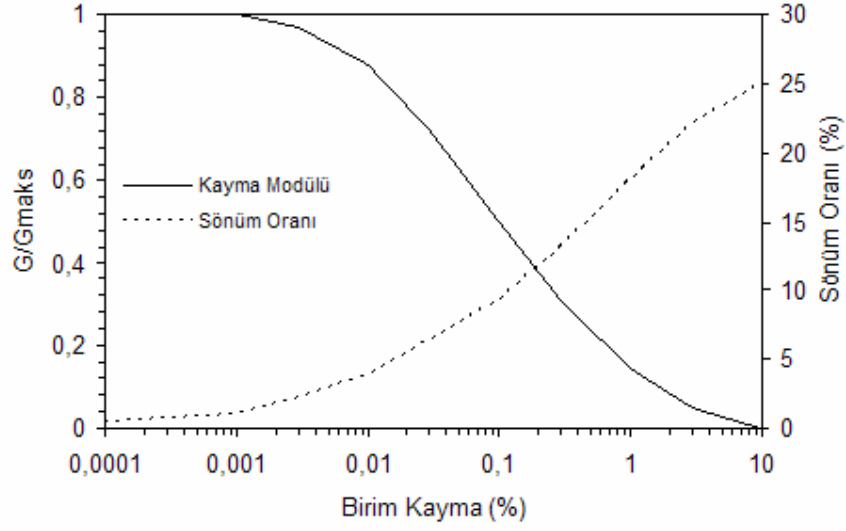
8.6 Analizlerde Kullanılan Malzeme Parametreleri

Her hücre için belirlenen temsili zemin profilleri, model kayma dalgası hızları, sentetik deprem kaydı, tabaka kalınlıkları, G/G_{maks} – kayma birim şekil değiştirme ve sönüm – kayma birim şekil değiştirme ilişkileri dinamik analiz programların girdilerini oluşturmaktadır (Çizelge 8.5).

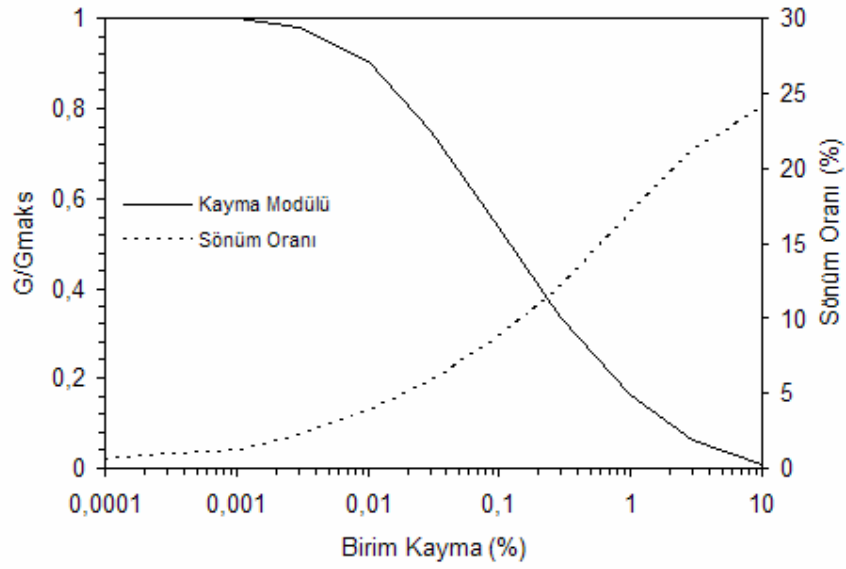
Çizelge 8.5 Formasyonlar için seçilen G/G_{maks} – kayma birim şekil değiştirme ve sönüm – kayma birim şekil değiştirme ilişkileri.

Formasyon	γ_n (kN/m ³)	Tip	Seçilen şekil değiştirme bağımlı yaklaşım
Dolgu	18	Mat 1	G/G_{maks} : Vucetic ve Dobry (1991), I_p =%25 Sönüm : Vucetic ve Dobry (1991), I_p =%25
Alüvyon	17	Mat 2	G/G_{maks} : Vucetic ve Dobry (1991), I_p =%30 Sönüm : Vucetic ve Dobry (1991), I_p =%30
Bakırköy kili	19	Mat 3	G/G_{maks} : Vucetic ve Dobry (1991), I_p =%45 Sönüm : Vucetic ve Dobry (1991), I_p =%45
Güngören kili	19	Mat 3	G/G_{maks} : Vucetic ve Dobry (1991), I_p =%45 Sönüm : Vucetic ve Dobry (1991), I_p =%45
Çukurçeşme ve Gürpınar kumu	20	Mat 5	G/G_{maks} : Seed ve Idriss (1970), Üst aralık Sönüm : Idriss (1990)
Gürpınar kili	20	Mat 4	G/G_{maks} : Vucetic ve Dobry (1991), I_p =%40 Sönüm : Vucetic ve Dobry (1991), I_p =%40
Gürpınar tabanı (kumlu çakıl)	21	Mat 6	G/G_{maks} : Seed ve Idriss (1970), Üst aralık Sönüm : Seed ve Idriss (1970), Ortalama
Bakırköy kireçtaşı	24	Mat 7	Kayanın ortalama azalımı ve kayadaki sönümlenme.
Kırklareli kireçtaşı (Anakaya)	26	-	-

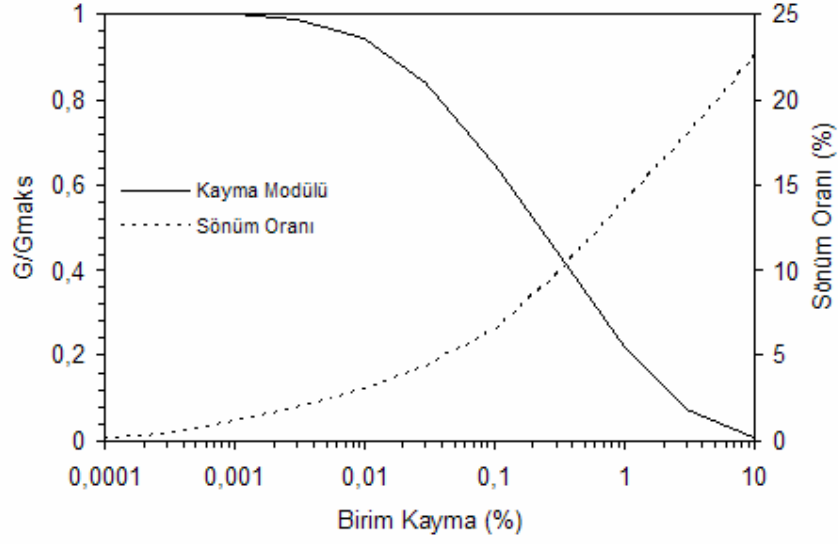
Kil zeminler için plastisite indeksi gözönüne alınarak Vucetic and Dobry (1991) tarafından önerilen G/G_{maks} – kayma birim şekil değiştirme ve sönüm – kayma birim şekil değiştirme ilişkileri, Alüvyon, Çukurçeşme ve Gürpınar kumu için Seed and Idriss (1970) ve Idriss (1990) ilişkileri kullanılmıştır. Bakırköy kireçtaşı için ise programda kayalar için önerilen (Kayanın ortalama azalımı ve kayadaki sönümlenme) ilişkisi kullanılmıştır. Aşağıda her bir formasyon için seçilen G/G_{maks} – kayma birim şekil değiştirme ve sönüm – kayma birim şekil değiştirme ilişkileri bulunmaktadır (Şekil 8.10, Şekil 8.11, Şekil 8.12, Şekil 8.13, Şekil 8.14, Şekil 8.15, Şekil 8.16).



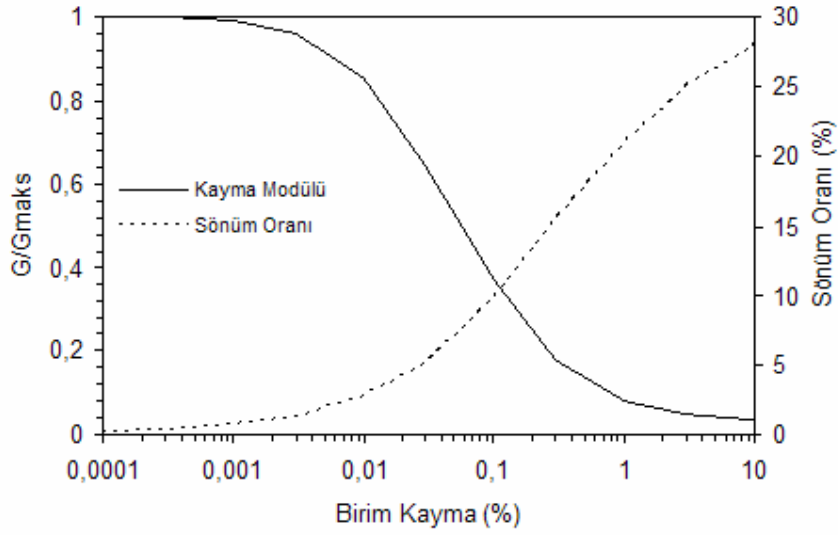
Şekil 8.10 Yapay dolgu (Mat 1) için G/G_{maks} – kayma birim şekil değiştirme ve sönüm – kayma birim şekil değiştirme ilişkileri.



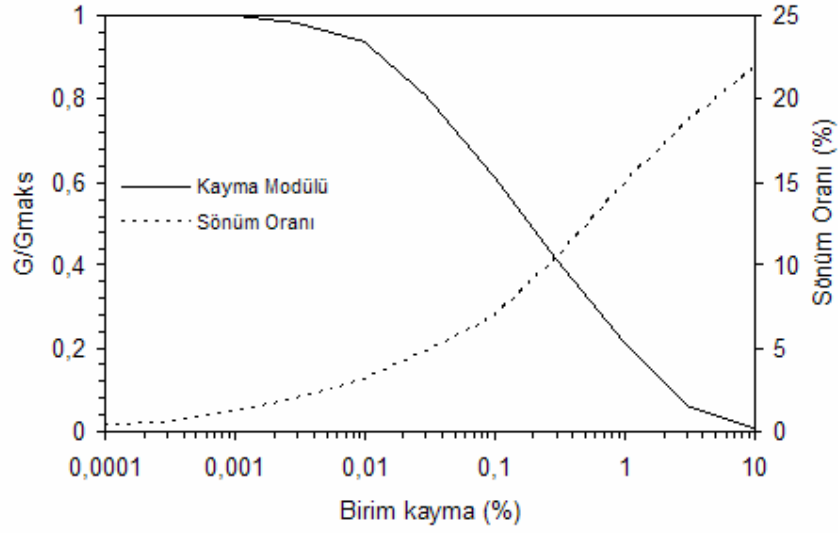
Şekil 8.11 Alüvyon (Mat 2) için G/G_{maks} – kayma birim şekil değiştirme ve sönüm – kayma birim şekil değiştirme ilişkileri.



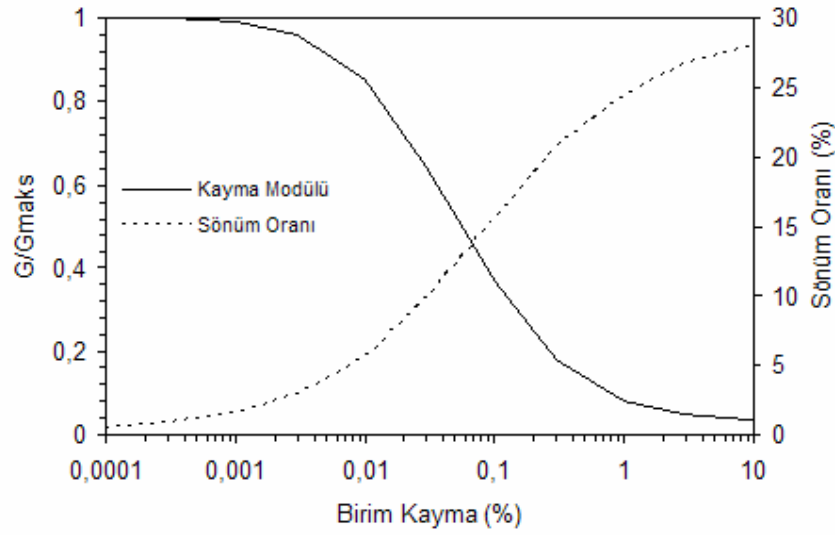
Şekil 8.12 Bakırköy kili ve Güngören kili (Mat 3) için G/G_{maks} – kayma birim şekil değiştirme ve sönüm – kayma birim şekil değiştirme ilişkileri.



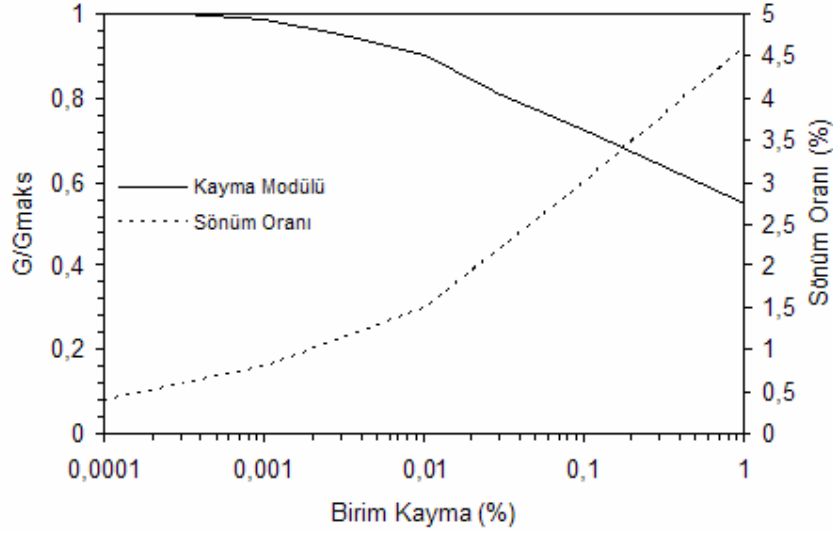
Şekil 8.13 Gürpınar kili (Mat 4) için G/G_{maks} – kayma birim şekil değiştirme ve sönüm – kayma birim şekil değiştirme ilişkileri.



Şekil 8.14 Çukurçeşme kumu ve Gürpınar kumu (Mat 5) için G/G_{maks} – kayma birim şekil değiştirme ve sönüm – kayma birim şekil değiştirme ilişkileri.



Şekil 8.15 Gürpınar kumlu çakıllı kesimleri (Mat 6) için G/G_{maks} – kayma birim şekil değiştirme ve sönüm – kayma birim şekil değiştirme ilişkileri.



Şekil 8.16 Bakırköy kireçtaşı (Mat 7) için G/G_{maks} – kayma birim şekil değiştirme ve sönüm – kayma birim şekil değiştirme ilişkileri.

8.7 Analizlerden Elde Edilen Sonuçlar

%10 ve %40 aşılma olasılıklarına göre belirlenen yer hareketi parametrelerine göre üretilen sentetik kayıtlar kullanılarak yapılan bir boyutlu analizlerden zemin yüzündeki spektral ivme değerleri belirlenmiştir. 0.1 s ve 1.0 s periyotları arasındaki spektral ivme değerlerinin aritmetik ortalaması alınmıştır. Zemin dinamik davranış analizlerinin esas amacı yer sarsıntısı bakımından yerel zemin koşullarının arazi büyütmelemelerine etkisini değerlendirmektir. Eşdeğer kayma dalgası hızını baz alan pik spektral büyütmelemeler arasındaki deneysel ilişki (Midorikawa, 1987) tarafından verilmektedir.

$$A_k = 68 \times V_{eş}^{-0.6} \quad (8.2)$$

Çizelge 8.6'da her bir hücre için %10 ve %40 aşılma olasılıklarında belirlenen ortalama spektral ivme değerleri sunulmuştur. Ayrıca hesaplanan eşdeğer kayma dalgası hızları ve buna göre belirlenen A_k değerleri gösterilmiştir.

Çizelge 8.6 Analizlerden elde edilen ort. spektral ivmeler.

Grid	Veş (m/sn)	A _k	EERA		NERA	
			Sa (%10) (g)	Sa (%40) (g)	Sa (%10) (g)	Sa (%40) (g)
A09	508	1.618	0.536	0.268	0.567	0.283
A10	508	1.618	0.537	0.270	0.535	0.269
A11	406	1.851	0.599	0.299	0.601	0.299
A12	296	2.237	0.958	0.481	0.979	0.492
B08	475	1.685	0.540	0.269	0.538	0.134
B09	475	1.685	0.543	0.271	0.541	0.270
B10	279	2.318	0.871	0.469	0.983	0.495
B11	233	2.583	0.868	0.545	0.997	0.539
B12	241	2.531	0.871	0.545	1.001	0.539
B13	233	2.583	0.792	0.474	0.950	0.527
C10	228	2.617	0.722	0.445	0.802	0.437
C11	228	2.617	0.438	0.315	0.591	0.352
C12	221	2.666	0.459	0.301	0.593	0.352
C13	328	2.104	0.482	0.276	0.472	0.272
C14	328	2.104	0.487	0.279	0.476	0.273
C15	216	2.703	0.720	0.470	0.767	0.441
D11	344	2.044	0.524	0.307	0.609	0.336
D12	344	2.044	0.527	0.307	0.613	0.336
D13	304	2.202	0.518	0.316	0.420	0.281
D14	327	2.108	0.521	0.318	0.587	0.340
D15	282	2.303	0.708	0.404	0.720	0.401
D16	277	2.328	0.629	0.371	0.772	0.427
E03	352	2.016	0.728	0.401	0.792	0.420
E04	348	2.030	0.773	0.415	0.818	0.432
E05	312	2.168	0.703	0.425	0.897	0.486
E06	291	2.260	0.884	0.461	0.860	0.469
E11	359	1.993	0.508	0.310	0.595	0.319
E12	359	1.993	0.440	0.285	0.493	0.271
E13	331	2.092	0.472	0.307	0.341	0.205
E14	245	2.506	0.698	0.447	0.847	0.470
E15	244	2.512	0.967	0.516	0.938	0.549
E16	248	2.488	0.996	0.538	0.770	0.458
F03	267	2.380	0.745	0.380	0.354	0.375
F04	317	2.147	0.854	0.445	0.687	0.381
F05	418	1.819	0.682	0.352	0.685	0.355
F06	415	1.827	0.716	0.364	0.732	0.377
F07	363	1.980	0.750	0.379	0.762	0.390
F09	341	2.055	0.828	0.420	0.824	0.421
F10	341	2.055	0.839	0.422	0.833	0.424
F11	301	2.215	0.812	0.442	0.790	0.425
F12	324	2.119	0.850	0.440	0.809	0.415
F13	258	2.430	0.635	0.387	0.836	0.462
F14	268	2.375	0.690	0.405	0.861	0.462
F15	300	2.219	0.949	0.484	0.985	0.504
F16	250	2.476	0.932	0.545	1.055	0.584
G01	428	1.793	0.591	0.317	0.602	0.321
G02	373	1.948	0.692	0.365	0.597	0.316

Çizelge 8.6'nın devamı.

Grid	Veş (m/sn)	Ak	EERA		NERA	
			Sa (%10) (g)	Sa (%40) (g)	Sa (%10) (g)	Sa (%40) (g)
G03	379	1.929	0.634	0.333	0.597	0.337
G04	372	1.951	0.677	0.355	0.691	0.363
G05	486	1.662	0.517	0.271	0.611	0.316
G06	524	1.588	0.510	0.265	0.505	0.262
G07	353	2.013	0.768	0.392	0.788	0.401
G08	372	1.951	0.784	0.399	0.815	0.423
G09	291	2.260	0.892	0.468	0.834	0.466
G10	291	2.260	0.902	0.471	0.841	0.469
G11	364	1.976	0.834	0.414	0.833	0.417
G12	358	1.996	0.862	0.424	0.844	0.423
G13	238	2.550	0.884	0.552	1.133	0.618
G14	221	2.666	0.992	0.560	1.022	0.551
G15	344	2.044	0.928	0.456	0.951	0.468
G16	303	2.206	1.022	0.500	1.021	0.514
H02	448	1.745	0.551	0.296	0.558	0.298
H03	448	1.745	0.557	0.304	0.557	0.299
H04	391	1.893	0.579	0.315	0.596	0.310
H05	397	1.876	0.596	0.370	0.614	0.321
H06	365	1.973	0.707	0.357	0.716	0.378
H07	385	1.911	0.693	0.453	0.707	0.366
H08	336	2.074	0.894	0.449	0.868	0.456
H09	329	2.100	0.878	0.477	0.879	0.452
H1	285	2.289	0.840	0.295	0.846	0.477
H10	342	2.052	0.829	0.409	0.819	0.431
H11	396	1.879	0.729	0.359	0.745	0.366
H12	390	1.896	0.788	0.385	0.799	0.391
H13	258	2.430	1.125	0.565	1.158	0.582
H14	360	1.989	0.827	0.397	0.831	0.401
H15	329	2.100	0.944	0.446	0.936	0.452
H16	272	2.354	1.170	0.551	1.148	0.554
H17	384	1.914	0.836	0.398	0.837	0.404
I01	454	1.731	0.541	0.289	0.544	0.289
I02	460	1.717	0.539	0.287	0.543	0.286
I03	436	1.773	0.584	0.307	0.592	0.308
I04	390	1.896	0.570	0.297	0.573	0.297
I05	351	2.020	0.568	0.294	0.574	0.297
I06	320	2.135	0.861	0.456	0.841	0.455
I07	256	2.441	0.861	0.511	0.699	0.451
I08	256	2.441	0.871	0.514	0.704	0.453
I09	318	2.143	0.764	0.431	0.742	0.372
I10	331	2.092	0.715	0.384	0.773	0.395
I11	353	2.013	0.779	0.386	0.785	0.393
I12	353	2.013	0.799	0.393	0.794	0.395
I13	353	2.013	0.804	0.393	0.810	0.399
I14	211	2.741	0.724	0.342	0.714	0.343
I15	206	2.781	1.111	0.530	1.092	0.538
I16	253	2.458	1.215	0.583	1.162	0.606

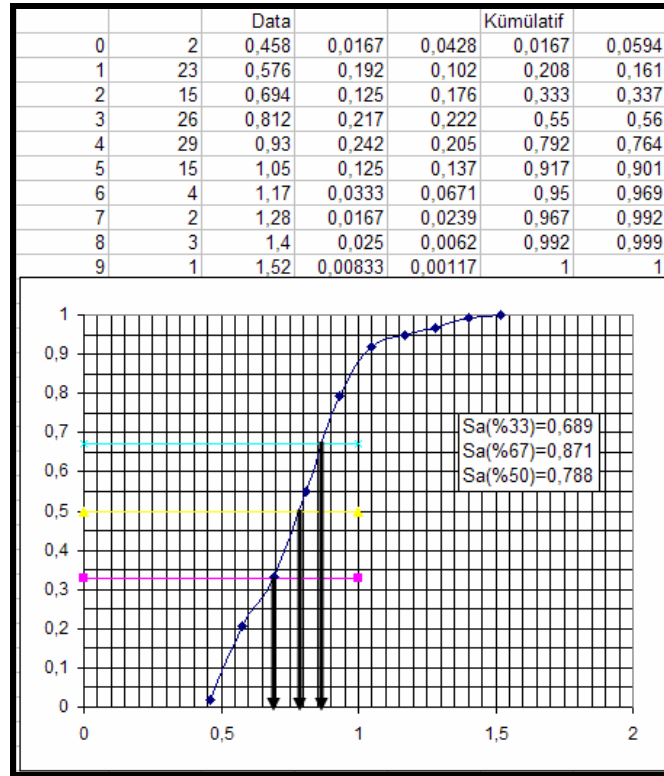
Çizelge 8.6'nın devamı.

Grid	Veş (m/sn)	Ak	EERA		NERA	
			Sa (%10) (g)	Sa (%40) (g)	Sa (%10) (g)	Sa (%40) (g)
I17	343	2.048	0.965	0.447	0.943	0.443
J02	527	1.583	0.498	0.263	0.497	0.262
J03	499	1.635	0.508	0.266	0.506	0.265
J04	388	1.902	0.591	0.310	0.608	0.313
J05	361	1.986	0.723	0.381	0.747	0.384
J06	278	2.323	0.946	0.521	0.910	0.507
J07	262	2.407	1.102	0.508	0.812	0.476
J08	293	2.251	0.937	0.477	0.925	0.501
J09	312	2.168	0.868	0.428	0.893	0.445
J10	333	2.085	0.781	0.394	0.789	0.403
J11	298	2.228	0.960	0.476	0.946	0.479
J12	277	2.328	1.052	0.517	0.971	0.477
J13	303	2.206	0.974	0.467	0.981	0.479
J14	318	2.143	0.899	0.424	0.923	0.439
J15	182	2.995	1.398	0.718	1.121	0.651
J16	182	2.995	1.414	0.722	1.131	0.654
J17	321	2.131	0.985	0.476	1.007	0.487
K02	287	2.279	0.835	0.414	0.822	0.419
K03	287	2.279	0.844	0.417	0.830	0.422
K04	327	2.108	0.713	0.353	0.724	0.363
K11	339	2.062	0.846	0.413	0.863	0.425
K12	315	2.155	0.959	0.477	0.942	0.487
K13	339	2.062	0.868	0.418	0.885	0.430
K14	394	1.885	0.662	0.317	0.675	0.323
K15	193	2.892	1.360	0.663	1.113	0.614
K16	193	2.892	1.376	0.667	1.122	0.618

9. KÜÇÜKÇEKMECE-HALKALI YERLEŞİM BÖLGESİNİN SİSMİK ZEMİN DAVRANIŞI AÇISINDAN COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ İLE MİKROBÖLGELEMESİ

9.1 Bölgeleme İçin Yapılan İstatistiksel Değerlendirmeler

Bölgeleme yapılabilmesi ve sınır şartlarının belirlenmesi için sonuçların istatistiksel dağılımı belirlenmelidir. Elde edilen veriler (eşdeğer kayma dalgası hızı, spektral ivmeler vb. gibi) Rockwell Software tarafından üretilen Arena(V5.0) isimli istatistik değerlendirme programı ile değerlendirilmiştir. Girilen verilerin istatistiki özellikleri (ortalama değer, standart sapma, vs.) belirlenmiştir. Sonraki aşamada verilerin dağılımının en çok hangi fonksiyonuna (Log-normal, Üssel, Weibull, Erlang, Gama vs.) uygun olduğu belirlenerek bu fonksiyon için birikimli frekans grafikleri çizilmiştir. Uygun dağılım seçilerek çizilen grafiklerde, birikimli frekans grafiklerinin %33, %67 ve %50'sine karşılık gelen değerleri belirlenmiştir. Grafiklerde $S(\%67) > 1.3 \times S(\%33)$ koşulu sağlanırsa üçlü bölgeleme ($A > \%67$; $\%33 < B < \%67$; $C < \%33$); sağlanamaz ise ikili bölgeleme ($A > \%50$; $C < \%50$) yapılmıştır. Şekil 9.1'de bu değerlendirmeye örnek olarak %10 aşılma olasılığı (EERA) için ort. spektral ivmelerin dağılım grafiği çizilmiştir.



Şekil 9.1 %10 Aşl. olasılığına (EERA) göre ort. sp. ivmeler için bölgeleştirme sınır şartları.

9.2 Eşdeğer Kayma Dalgası Hızına Göre Bölgeleme

Oluşturulan temsili zemin profillerindeki tabakaların kayma dalgası hızlarının zemin yüzeyinden itibaren ağırlıklı ortalamaları alınarak elde edilen ($V_{eş}$) eşdeğer kayma dalgası hızlarına göre bölgeleme yapılmıştır. Her bir hücre için elde edilen eşdeğer kayma dalgası hızlarının oluşturduğu dağılımda $V_{eş}(\%33) = 298$ m/sn ve $V_{eş}(\%67) = 352$ m/sn olarak bulunmuştur. $V_{eş}(\%67) > 1.3 \times V_{eş}(\%33)$ şartı bu durumda sağlanamadığından $V_{eş}(\%50) = 329$ m/sn değeri kullanılarak inceleme alanı $A_{V_{eş}}$ ve $C_{V_{eş}}$ olmak üzere iki ayrı bölgeye ayrılmıştır. $A_{V_{eş}}$ alanları eşdeğer kayma dalgası hızlarının 329 m/sn'den büyük olduğu alanları, $C_{V_{eş}}$ alanları ise eşdeğer kayma dalgası hızlarının 329 m/sn'den küçük olduğu alanları göstermektedir. Şekil 9.2'de eşdeğer kayma dalgası hızına göre bölgeleme gösterilmiştir.

Yapılan bölgelemenin jeolojik birimler içindeki dağılımına (Şekil 9.2) bakıldığında Ayamama Deresi alüvyonları, Güngören formasyonu, Bakırköy formasyonunun bir kısmı muhtemelen killi kesimleri ve Gürpınar formasyonunun büyük kısmı A bölgesinde, Kırklareli formasyonunun yüzeylendiği kesimler ve yakın çevresi, Bakırköy formasyonu kireçtaşı içeren kesimleri ve Gürpınar formasyonunun taban kesimini oluşturan kum-çakıllı seviyeleri C bölgesinde kalmaktadır.

9.3 Spektral İvmelere Göre Bölgeleme

9.3.1 %10 aşılma olasılığına göre

50 yılda %10 aşılma olasılığına göre EERA ile yapılan zemin dinamik analizi sonucunda elde edilen spektral ivmelerin her bir hücre için aritmetik ortalaması hesaplanarak $S_s(\%33) = 0.689$ g ve $S_s(\%67) = 0.871$ g olarak bulunmuştur. $S_s(\%67) > 1.3 \times S_s(\%33)$ şartı bu durumda sağlanamadığından $S_s(\%50) = 0.788$ g değeri kullanılarak inceleme alanı A_s ve C_s olmak üzere iki ayrı bölgeye ayrılmıştır. A_s alanları ortalama spektral ivmelerin 0,788 g'den büyük olduğu alanları, C_s alanları ise ortalama spektral ivmelerin 0,788 g'den küçük olduğu alanları göstermektedir ve Şekil 9.3'de %10 aşılma olasılığına göre EERA analizlerinden belirlenen spektral ivmelere göre bölgelemesi gösterilmiştir.

50 yılda %10 aşılma olasılığına göre NERA ile yapılan zemin dinamik analizi sonucunda elde edilen spektral ivmelerin her bir hücre için aritmetik ortalaması hesaplanarak $S_s(\%33) = 0.693$ g ve $S_s(\%67) = 0.845$ g olarak bulunmuştur. $S_s(\%67) > 1.3 \times S_s(\%33)$ şartı bu durumda sağlanamadığından $S_s(\%50) = 0.783$ g değeri kullanılarak inceleme alanı A_s ve C_s olmak üzere iki ayrı bölgeye ayrılmıştır. A_s alanları ortalama spektral ivmelerin 0.783 g'den büyük

olduğu alanları, C_s alanları ise ortalama spektral ivmelerin 0.783 g'den küçük olduğu alanları göstermektedir ve Şekil 9.4'de %10 aşılma olasılığına göre NERA analizlerinden belirlenen spektral ivmelere göre bölgelemesi gösterilmiştir.

Yapılan bölgelemenin jeolojik birimler içindeki dağılımına (Şekil 9.3 ve Şekil 9.4) bakıldığında Ayamama Deresi alüvyonları, Güngören formasyonu ve Gürpınar formasyonunun büyük kısmı A bölgesinde, Kırklareli formasyonunun yüzeylendiği kesimler ve yakın çevresi, Bakırköy formasyonu ve Gürpınar formasyonu taban kesimini oluşturan kum-çakıllı seviyeleri C bölgesinde kalmaktadır.

9.3.2 %40 aşılma olasılığına göre

50 yılda %40 aşılma olasılığına göre EERA ile yapılan zemin dinamik analizi sonucunda elde edilen spektral ivmelerin her bir hücre için aritmetik ortalaması hesaplanarak $S_s(\%33) = 0.365$ g ve $S_s(\%67) = 0.446$ g olarak bulunmuştur. $S_s(\%67) > 1.3 \times S_s(\%33)$ şartı bu durumda sağlanamadığından $S_s(\%50) = 0.411$ g değeri kullanılarak inceleme alanı A_s ve C_s olmak üzere iki ayrı bölgeye ayrılmıştır. A_s alanları ortalama spektral ivmelerin 0.411 g'den büyük olduğu alanları, C_s alanları ise ortalama spektral ivmelerin 0.411 g'den küçük olduğu alanları gösterecek şekilde bölgeleme yapılmış ve Şekil 9.5'te gösterilmiştir.

50 yılda %40 aşılma olasılığına göre NERA ile yapılan zemin dinamik analizi sonucunda elde edilen spektral ivmelerin her bir hücre için aritmetik ortalaması hesaplanarak $S_s(\%33) = 0.366$ g ve $S_s(\%67) = 0.450$ g olarak bulunmuştur. $S_s(\%67) > 1.3 \times S_s(\%33)$ şartı bu durumda sağlanamadığından $S_s(\%50) = 0.413$ g değeri kullanılarak inceleme alanı A_s ve C_s olmak üzere iki ayrı bölgeye ayrılmıştır. A_s alanları ortalama spektral ivmelerin 0.413 g'den büyük olduğu alanları, C_s alanları ise ortalama spektral ivmelerin 0.413 g'den küçük olduğu alanları gösterecek şekilde bölgeleme yapılmış ve Şekil 9.6'de gösterilmiştir.

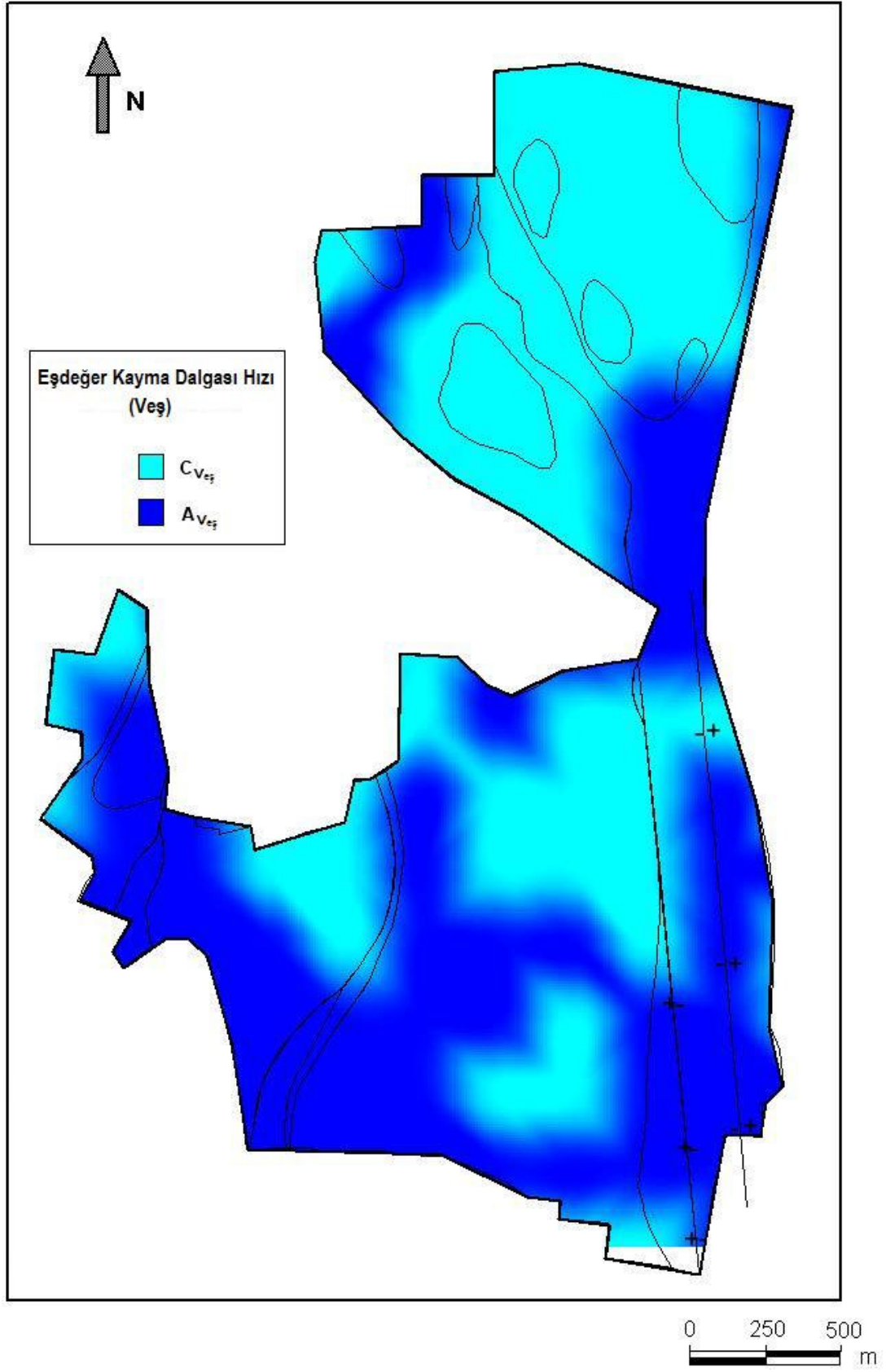
Yapılan bölgelemenin jeolojik birimler içindeki dağılımına (Şekil 9.5 ve Şekil 9.6) bakıldığında Ayamama Deresi alüvyonları, Güngören formasyonu ve Gürpınar formasyonunun büyük kısmı A bölgesinde, Kırklareli formasyonunun yüzeylendiği kesimler ve yakın çevresi, Bakırköy formasyonu ve Gürpınar formasyonu taban kesimini oluşturan kum-çakıllı seviyeleri C bölgesinde kalmaktadır.

9.4 Spektral Büyütmelere Göre Bölgeleme

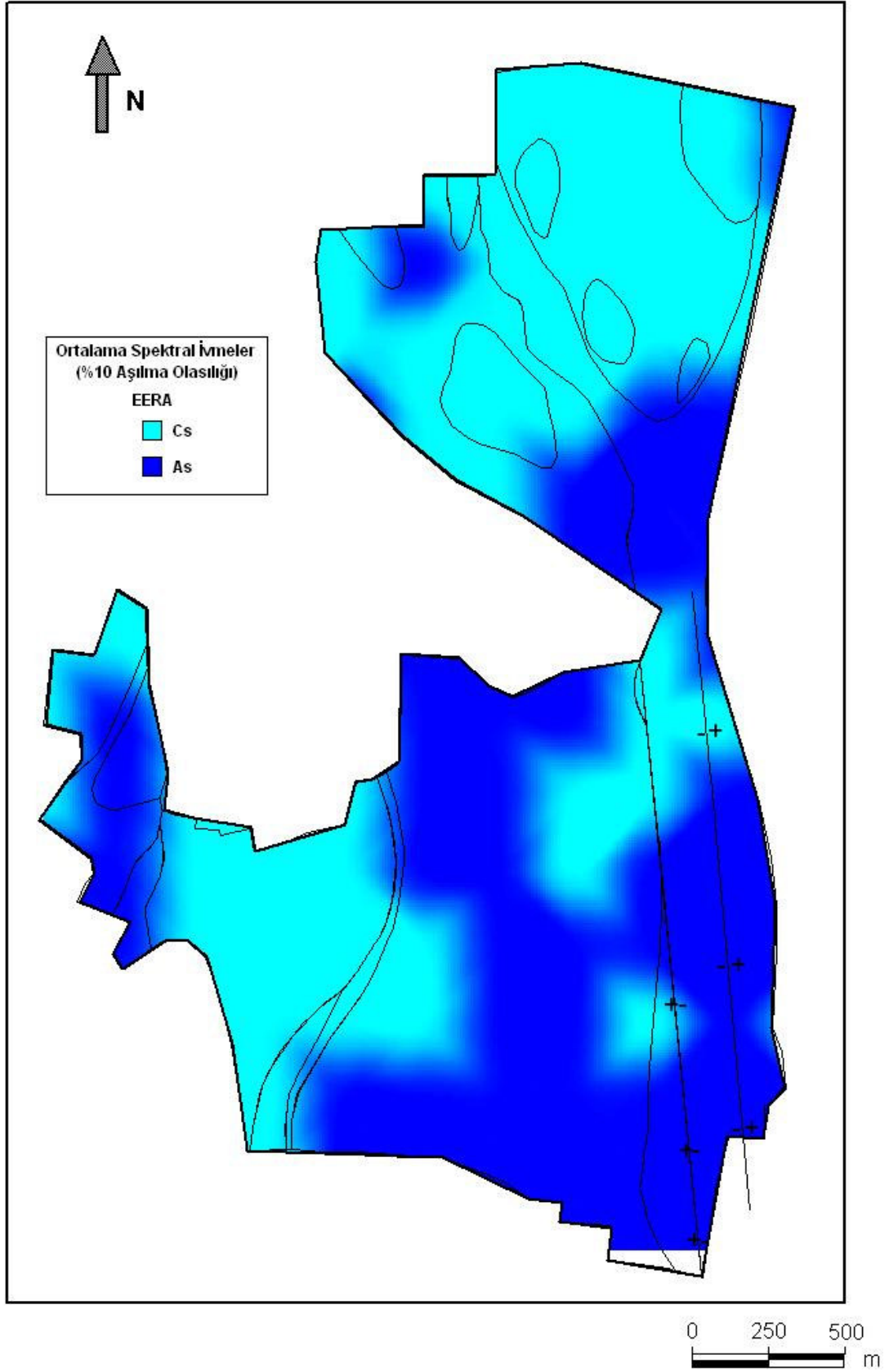
Midorikawa, 1987 eşitliği kullanılarak zemin tabakalarının ilk 30 metresindeki ortalama eşdeğer kayma dalgası hızlarının bir fonksiyonu olan A_v büyütmeye değerleri her bir hücre için

tespit edilmiştir. $A_V(\%33) = 1.97$ g ve $A_V(\%67) = 2.24$ g olarak bulunmuştur. $A_V(\%67) > 1.3 \times A_V(\%33)$ şartı bu durumda sağlanamadığından $A_V(\%50) = 2.10$ g değeri kullanılarak inceleme alanı A_V ve C_V olmak üzere iki ayrı bölgeye ayrılmıştır. A_V alanları, pik spektral büyütmelemin 2.10 g'den büyük olduğu alanları, C_V alanları ise pik spektral büyütmelemin 2.10 g'den küçük olduğu alanları gösterecek şekilde bölgeleme yapılmış ve Şekil 9.7'da gösterilmiştir.

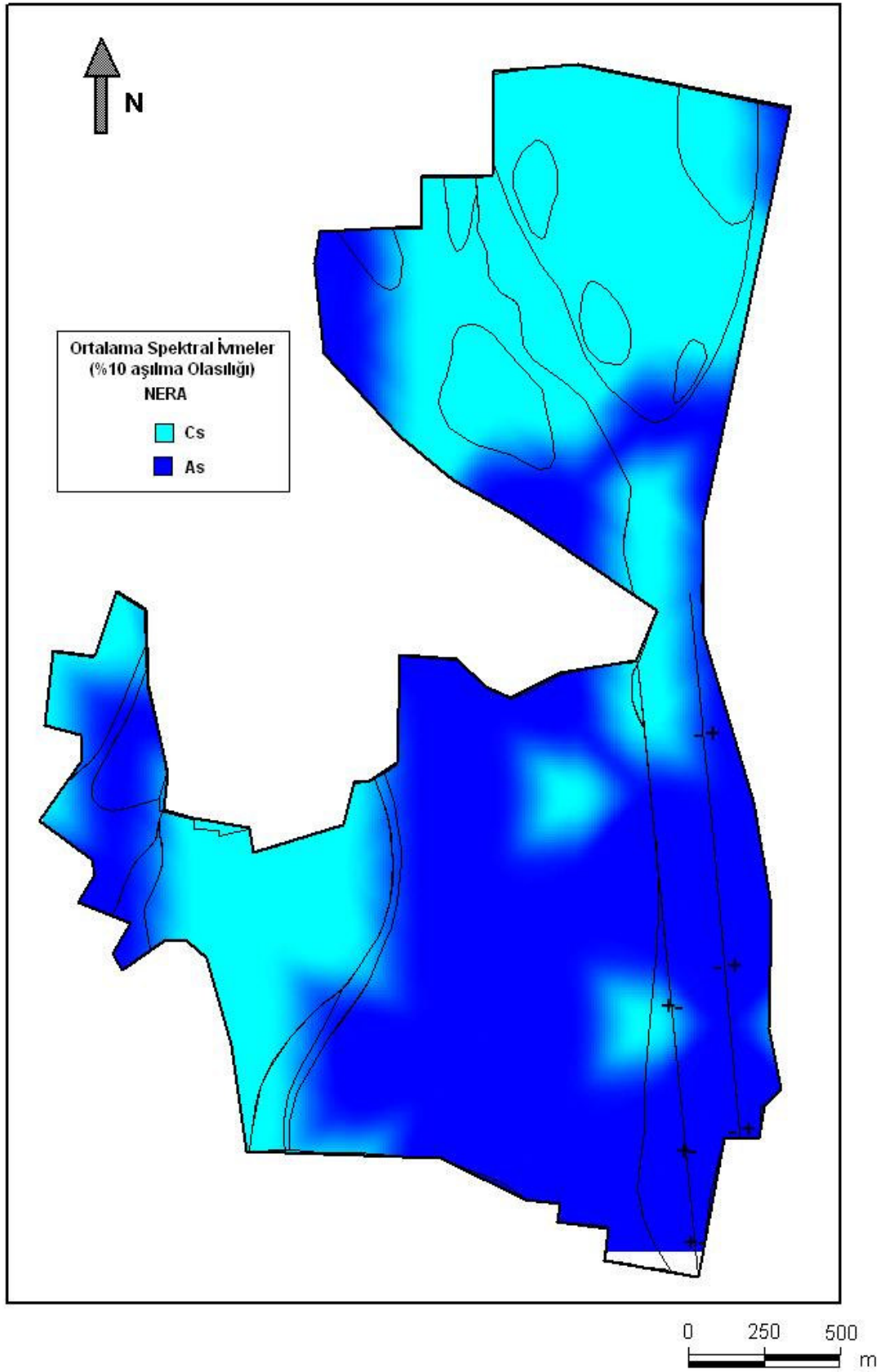
Yapılan bölgelemenin jeolojik birimler içindeki dağılımına (Şekil 9.7) bakıldığında Ayamama Deresi alüvyonları, Güngören formasyonu, Bakırköy formasyonunun bir kısmı muhtemelen killi kesimleri ve Gürpınar formasyonunun büyük kısmı A bölgesinde, Kırklareli formasyonunun yüzeylendiği kesimler ve yakın çevresi, Bakırköy formasyonu kireçtaşı içeren kesimleri ve Gürpınar formasyonu taban kesimini oluşturan kum-çakıllı seviyeleri C bölgesinde kalmaktadır.



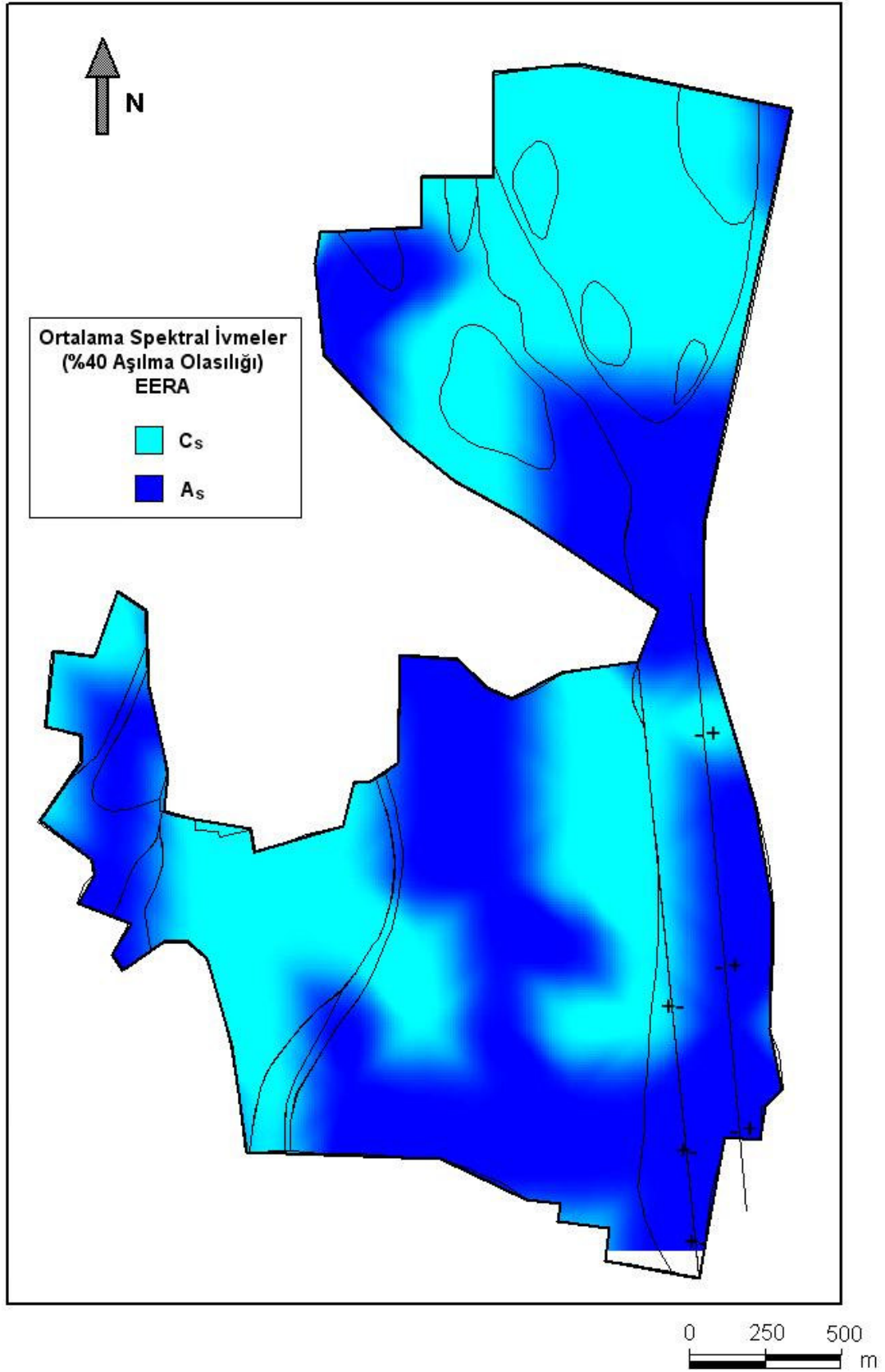
Şekil 9.2 Eşdeğer kayma dalgası hızına göre bölgeleme.



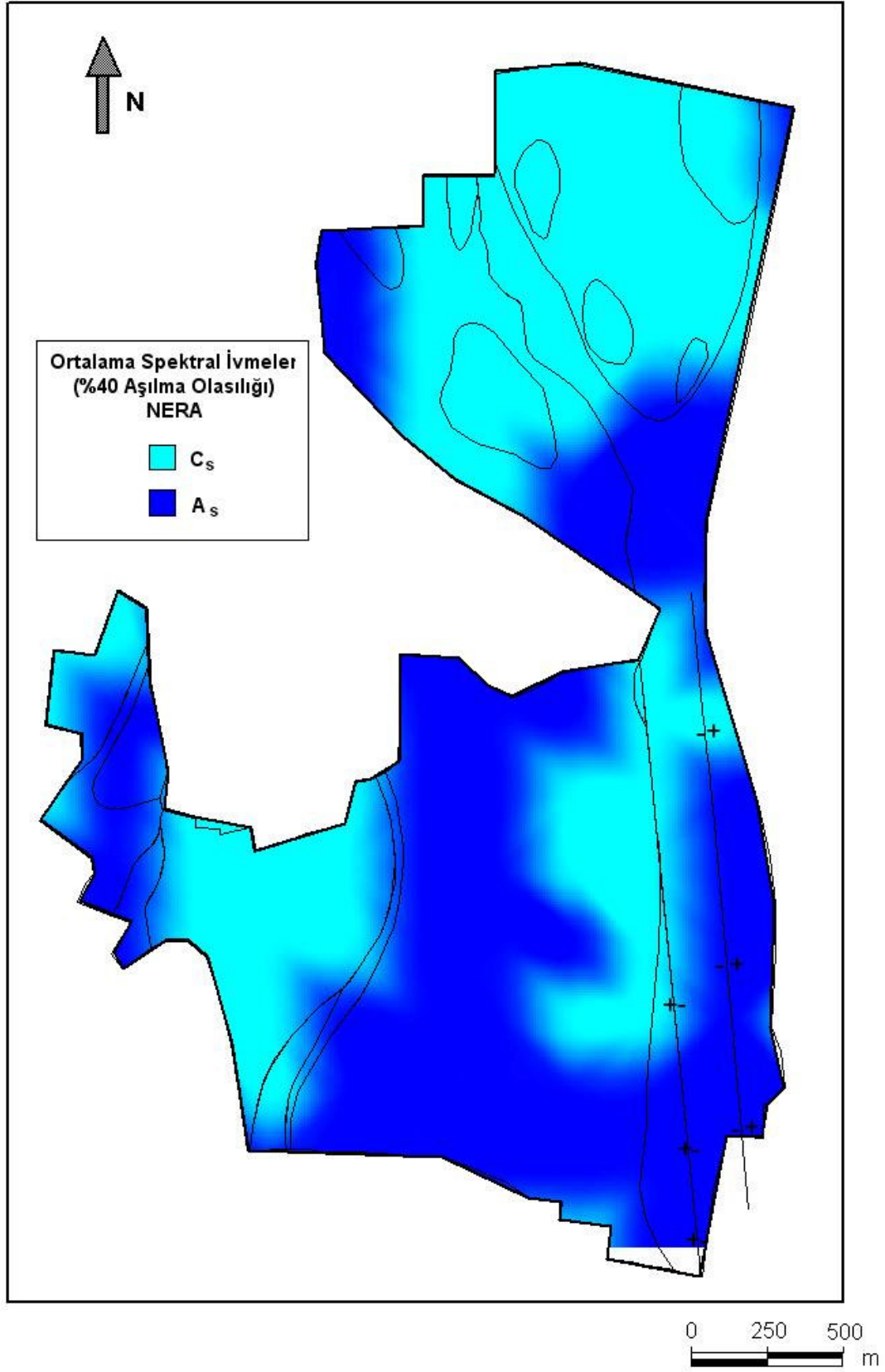
Şekil 9.3 Spektral ivmelere göre bölgeleme (EERA), (50 yılda %10 aşl. olasılığına göre).



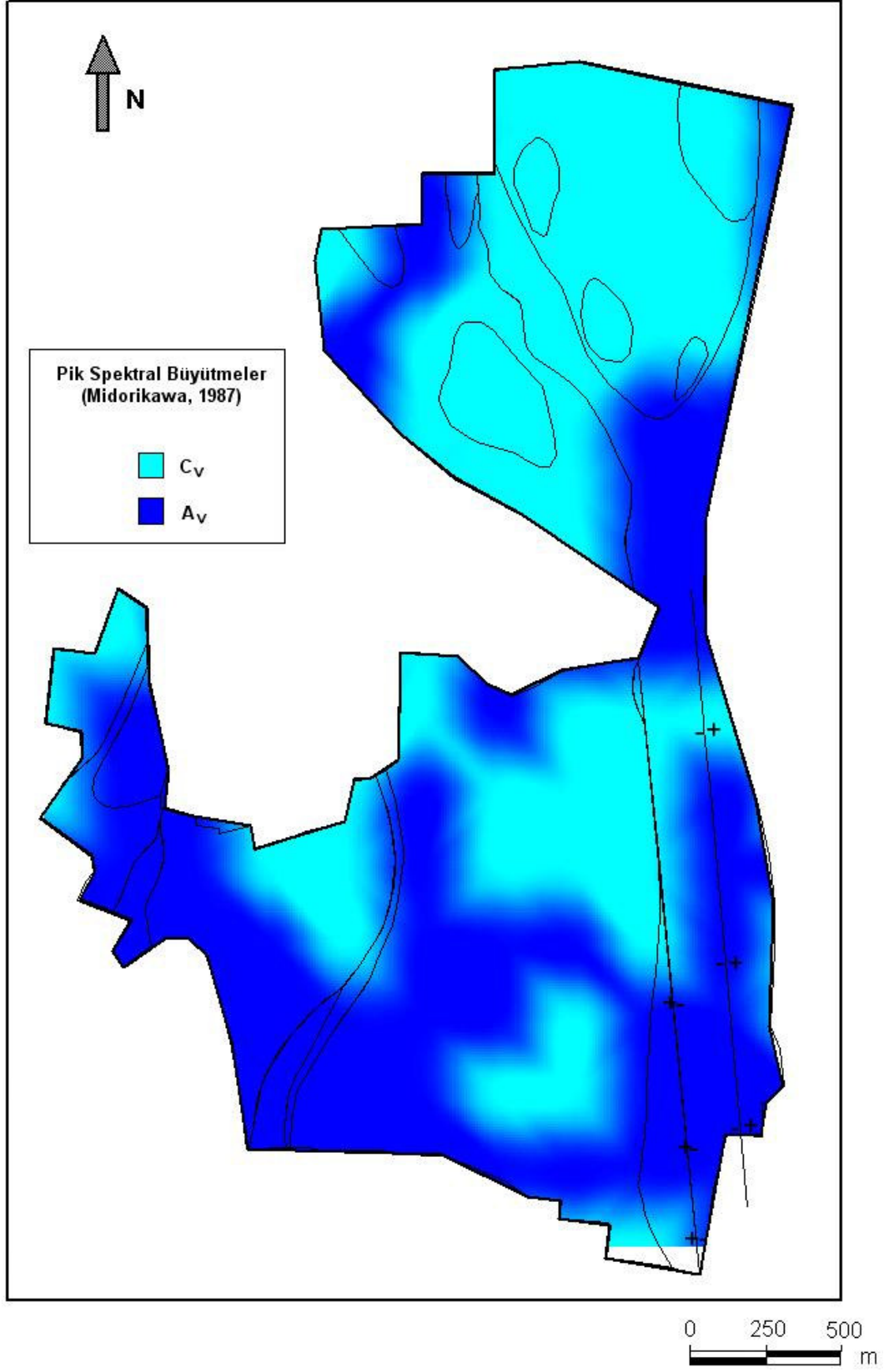
Şekil 9.4 Spektral ivmelere göre bölgeleme (NERA), (50 yılda %10 aşı. olasılığına göre).



Şekil 9.5 Spektral ivmelere göre bölgeleme (EERA), (50 yılda %40 aşl. olasılığına göre).



Şekil 9.6 Spektral ivmelere göre bölgeleme (NERA), (50 yılda %40 aşl. olasılığına göre).



Şekil 9.7 Pik spektral büyütmelere göre bölgeleme (Midorikawa, 1987).

9.5 Yer Sarsıntısına Göre Bölgeleme

Yapılan analizler neticesince her iki bir boyutlu dinamik analiz programlarından (EERA ve NERA) elde edilen spektral ivmeler ve eşdeğer kayma dalgası hızları kullanılarak (Midorikawa, 1987) spektral büyütme elde edilmiştir. Bölgelemede $S(\%67) > 1.3 \times S(\%33)$ şartı sağlanmadığından A_S , C_S , A_V , C_V şeklinde bölgeleme yapılmıştır. Yer sarsıntısına göre bölgelemede ise spektral ivmeler ve spektral büyütme ortak olarak değerlendirildiğinden bölgeleme şu şekilde yapılmıştır:

A_{GS} : A_S ve A_V

B_{GS} : A_S ve C_V ve ya C_S ve A_V

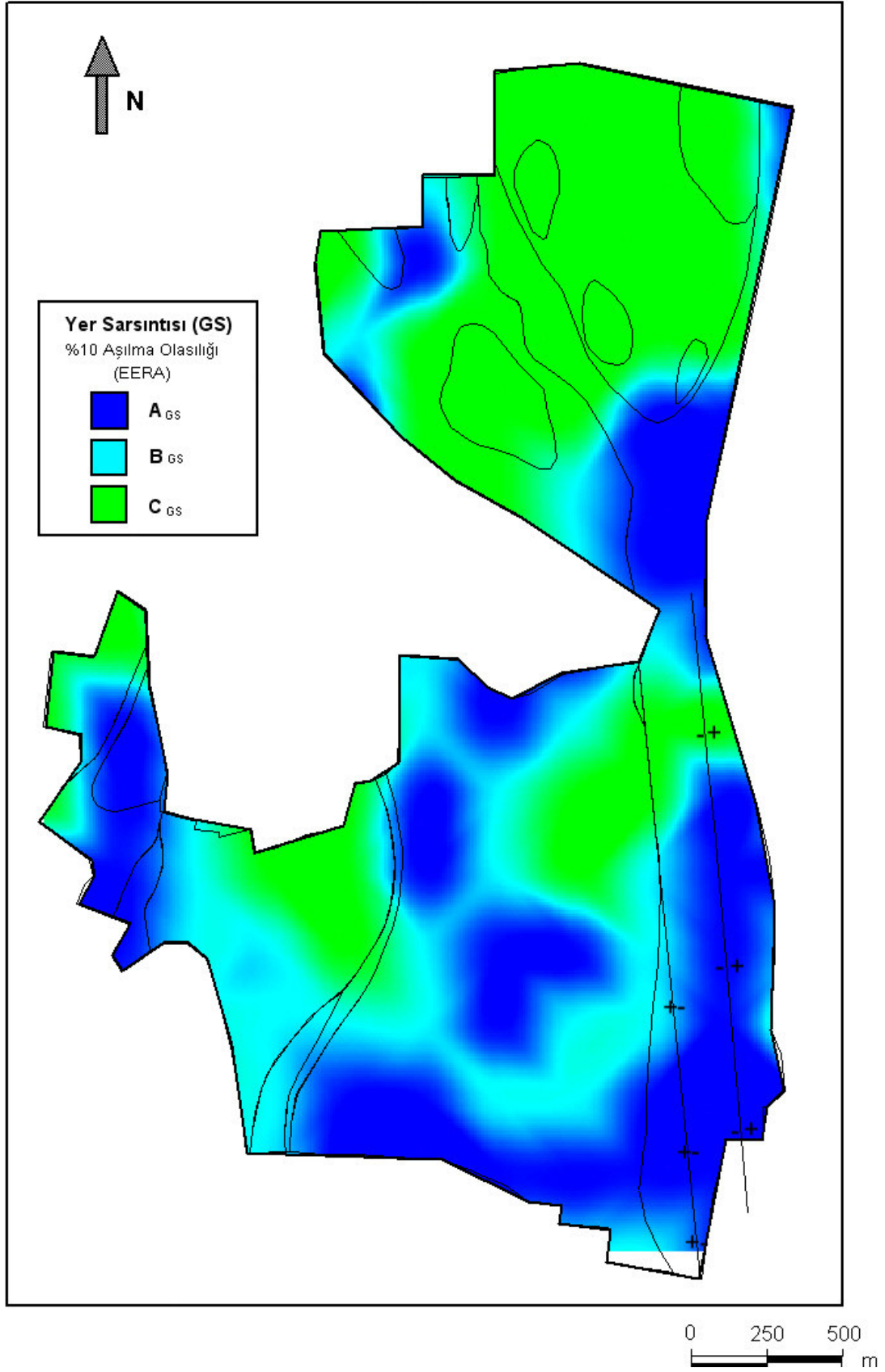
C_{GS} : C_S ve C_V

Daha sonra bu iki yöntemle elde edilen bölgelemeler GIS ortamında üst üste bindirilerek yer sarsıntısına göre bölgenenerek haritalandırılmıştır. Sonuç olarak, yine üçlü sınıflama sistemine uyularak oluşturulan bu haritalar Şekil 9.8, Şekil 9.9, Şekil 9.10 ve Şekil 9.11’de verilmektedir.

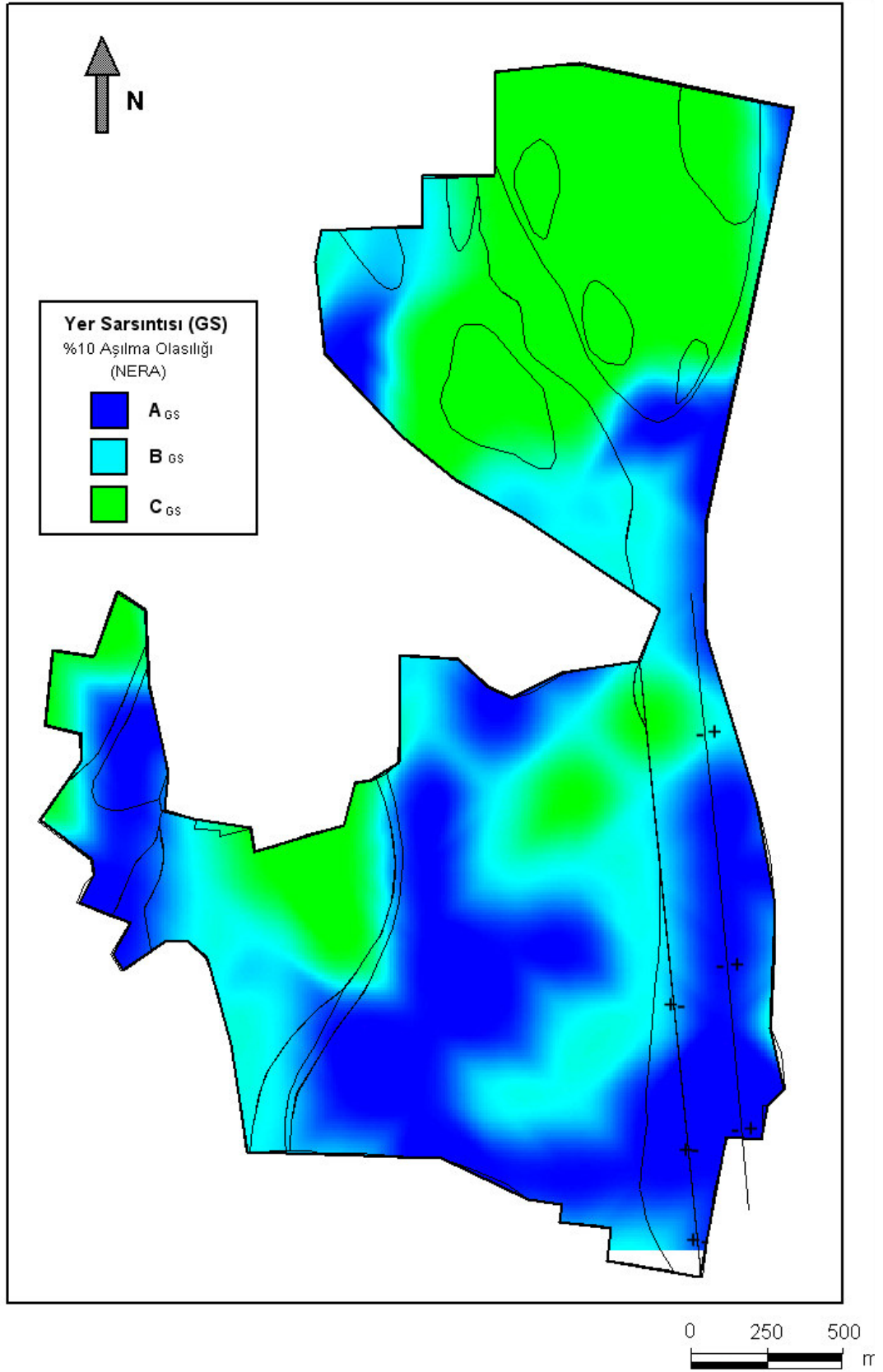
Yer sarsıntısı tahmini için oluşturulan haritalar jeoloji haritaları ile karşılaştırılmıştır. Şekil 9.8 ve Şekil 9.9’deki haritalardan açıkça görüldüğü üzere Ayamama Deresi alüvyonları, çalışma sahanın batısındaki Güngören formasyonu ve çalışma alanının büyük bölümü oluşturan Gürpınar formasyonunun güneydeki ve anakayanın derinde olduğu kesiminin büyük bir bölümü, A bölgesinde kalmaktadır. Bakırköy formasyonu muhtemelen marn-killi kesimleri, Çukurçeme formasyonu ve Gürpınar formasyonu tabanını oluşturan çakıllı kumlu kesimleri, B bölgesinde ve son olarak tabanda anakayayı oluşturan Eosen yaşlı Kırklareli formasyonunun yüzeylendiği bütün kesimler ve yakın çevresi ile Bakırköy Formasyonu kireçtaşlarının bulunduğu kesimler, C bölgesini oluşturmaktadır.

Şekil 9.10 ve Şekil 9.11’deki haritalar incelendiğinde yine Ayamama Deresi alüvyonları, çalışma sahasının batısındaki Güngören formasyonu ve çalışma sahasında geniş yer bulan Gürpınar formasyonunun sahanın güneyindeki anakaya seviyesinin derinde olduğu kesimler, Ayamama Deresi’ne bakan doğu yamaçta yer alan kesimleri Kırklareli formasyonu kireçtaşının yüzeylendiği kısımlar hariç, A bölgesinde kalmaktadır. Tepe düzlüğünde gözlenen Bakırköy formasyonu muhtemelen marn-killi kesimleri, Çukurçeme formasyonu ve Gürpınar formasyonu tabanını oluşturan çakıllı kumlu kesimleri, B bölgesinde ve son olarak tabanda anakayayı oluşturan Eosen yaşlı Kırklareli formasyonunun yüzeylendiği bütün kesimler ve yakın çevresi ile Bakırköy formasyonu kireçtaşlarının bulunduğu kesimler,

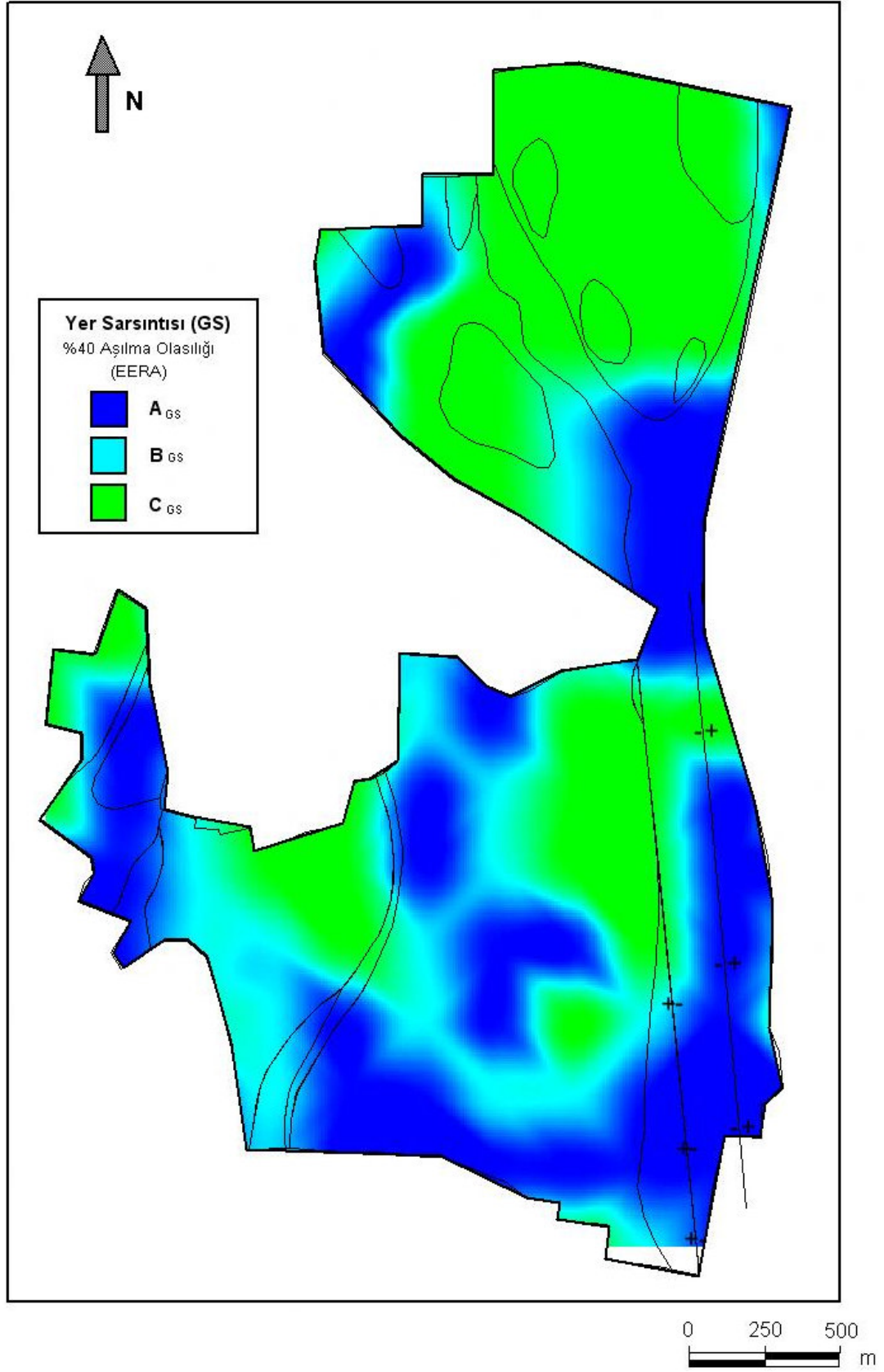
sağanın kuzeyinde kalan Gürpınar formasyonunun taban seviyesini oluşturan kumlu-çakıllı kesimler, C bölgesini oluşturmaktadır. Bu haritalarda öncekilere kıyasla çalışma sahasının güneyindeki C bölgesinin daha geniş yer bulduğu da gözlenmektedir.



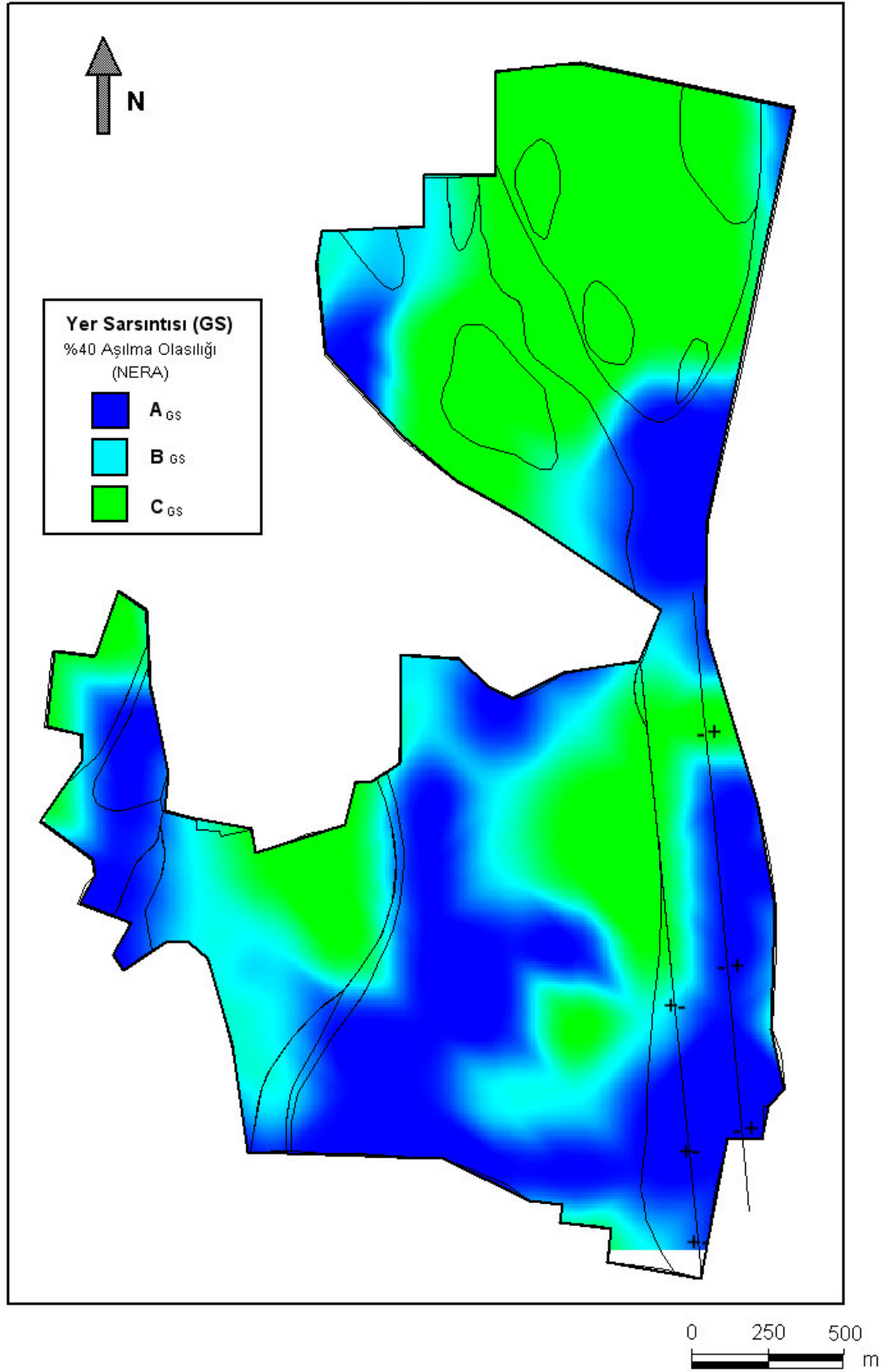
Şekil 9.8 (%10) Aşılma olasılığına göre yer sarsıntısı haritası (EERA).



Şekil 9.9 (%10) Aşılma olasılığına göre yer sarsıntısı haritası (NERA).



Şekil 9.10 (%40) Aşılma olasılığına göre yer sarsıntısı haritası (EERA).



Şekil 9.11 (%40) Aşılma olasılığına göre yer sarsıntısı haritası (NERA).

10. SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında, Küçükçekmece-Halkalı yerleşim bölgesinin depremselliği incelenmiş ve çalışma sahasının Mikrobölgeleme Yönetmeliği (MERM, 2003) kriterlerine uyularak, yer sarsıntısına göre bölgelemesi yapılmıştır. Çalışmada kullanılan bölgesel deprem tehlikesi parametreleri ise, Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi Deprem Araştırma Enstitüsü çalışmalarından alınmıştır. Bu parametreler kullanılarak anakaya seviyesindeki ivme – zaman kayıtları üretilmiştir. Bu sentetik deprem kayıtları kullanılarak yerel zemin koşullarının depremselliğe olan etkileri belirlenmeye çalışılmış ve bu kapsamda mikrobölgeleme çalışmaları yürütülmüştür. Bu amaçla önce arazi çalışmalarıyla bölgenin jeolojik, geoteknik ve tektonik özellikleri belirlenmiş, bölgesel deprem riski olasılıksal olarak değerlendirilerek yer hareketi parametreleri 50 yılda %10 ve %40 aşılma olasılığına göre belirlenmiştir.

Mikrobölgeleme Yönetmeliği'ne (MERM, 2003) göre yapılan sismik mikrobölgeleme çalışmasından kuzey kesimlerde yüzeylenen Kırklareli Formasyonu kireçtaşları, güney kesimlerde geniş bir platoda gözlenen Bakırköy Formasyonu kireçtaşları ve Gürpınar Formasyonu'nun yüksek kum içeren seviyeleri, B ve C bölgelerini oluşturmaktadır. Diğer taraftan, Gürpınar formasyonunun killi kesimleri ve çalışma sahasının güneyinde anakayanın derinde olduğu kesimlerinde, Ayamama Deresi kenarları alüvyal kesimler ve batı kesimlerde yüzeylenen Güngören formasyonu ise A bölgesini oluşturmaktadır. Yer sarsıntısına göre mikrobölgeleme haritalarının yerel zemin sınıfı haritaları (Şekil 8.7 ve Şekil 8.8) ile de uyduğu görülmektedir.

%10 aşılma olasılığına göre yapılan yer sarsıntısı tahmini haritaları jeoloji haritaları ile karşılaştırıldığında Ayamama Deresi alüvyonları, çalışma sahanın batısındaki Güngören formasyonu ve çalışma alanının büyük bölümü oluşturan Gürpınar formasyonunun güneyindeki ve anakayanın derinde olduğu kesiminin büyük bir bölümü, A bölgesinde kalmaktadır. Bakırköy formasyonu muhtemelen marn-killi kesimleri, Çukurçeme formasyonun kumlu mercekleriyle ve Gürpınar formasyonu tabanını oluşturan çakıllı kumlu kesimler B bölgesinde ve son olarak tabanda anakayayı oluşturan Eosen yaşlı Kırklareli formasyonunun yüzeylendiği bütün kesimler ve yakın çevresi ile Bakırköy formasyonu kireçtaşlarının bulunduğu kesimler, C bölgesini oluşturmaktadır.

%40 aşılma olasılığına göre yapılan yer sarsıntısı tahmini haritaları jeoloji haritaları ile karşılaştırıldığında yine Ayamama Deresi alüvyonları, çalışma sahasının batısındaki Güngören formasyonu ve çalışma sahasında geniş yer bulan Gürpınar formasyonunun sahanın

güneyindeki anakaya seviyesinin derinde olduğu kesimler, Ayamama Deresine bakan Doğu yamaçta yer alan kesimleri Kırklareli formasyonu kireçtaşının yüzeylendiği kısımlar hariç, A bölgesinde kalmaktadır. Tepe düzlüğünde gözlenen Bakırköy formasyonu muhtemelen marn-killi kesimleri, Çukurçeme formasyonu kum mercekleri ve Gürpınar formasyonu tabanını oluşturan çakıllı kumlu kesimleri B bölgesinde ve son olarak tabanda anakayayı oluşturan Eosen yaşlı Kırklareli formasyonunun yüzeylendiği bütün kesimler ve yakın çevresi ile Bakırköy formasyonu kireçtaşlarının bulunduğu kesimler, sahanın kuzeyinde kalan Gürpınar formasyonunun taban seviyesini oluşturan kumlu-çakıllı kesimler, C bölgesini oluşturmaktadır. %10 ve %40 aşılma olasılıklarına göre yapılan bölgeleme haritaları ortak olarak değerlendirildiğinde, %40 aşılma olasılığına göre oluşturulan haritalarda çalışma sahasının güneyindeki C bölgesinin %10 aşılma olasılığı göre oluşturulan haritalara kıyasla daha geniş yer bulduğu gözden kaçmamaktadır.

EERA ve NERA programı kullanılarak yapılan dinamik analizlerin yer sarsıntısı bölgelemesi açısından çok büyük benzerlikler gösterdiği görülmektedir. Bunun nedeni olarak da, çalışma sahasının anakaya derinliğinin genel olarak sığ olduğundan zemin tabakalarının non-lineer davranış göstermediği ve deplasmanların elastik sınırlar içinde kaldığı düşünülmektedir.

Genel olarak mikrobölgelemede başlıca üç unsur önemlidir. Bunlardan ilki deprem özelliklerinin bölgesel ölçekte olasılıksal olarak belirlenmesi, ikinci önemli unsur, yerel zemin koşullarının tanımlanmasında bir karelaaj sisteminin uygulanması ve böylece yerel zemin özelliklerinin daha güvenilir bir şekilde değerlendirilmesinin sağlanması ve üçüncü unsur ise, zemin büyütmesine göre yapılan mikrobölgelemenin spektral büyütmelere göre olması ve farklı şekillerde bulunan spektral büyütmelerin birlikte değerlendirilerek, bölgelemelerin yumuşak geçişlerle gösterilmesidir. Deprem riskinin olasılıksal olarak alındığı, jeolojik ve geoteknik verilerin değerlendirilerek ve saha koşulları ele alınarak yapılan bu mikrobölgeleme çalışması esas olarak şehir planlayıcıları tarafından işlenecek veriler olmaktadır. Diğer yandan mikrobölgeleme çalışmaları çerçevesinde yapılan değerlendirme ve analizler ister istemez yaklaşık olup, bazı basitleştirmeleri ve varsayımları içermektedir. Bu nedenle de mikrobölgeleme, parsel bazında yapılması gereken geoteknik incelemelerin yerini almamalı ve bu amaçla kullanılmamalıdır.

KAYNAKLAR

Adatepe, Ş. (2002) “Küçükçekmece-Sefaköy Yerleşim Bölgelerinin Zemin Büyütmesine göre Mikrobölgelesi”, Y.Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Ansal, A., Springman, S., Studer, J., Demirbaş, E., Önalp, A., Erdik, M., Giardini, D., Şeşetyan, K., Demircioğlu, M., Akman, H., Fah, D., Cristen, A., Laune, J., Buchheister, J., Çetin, Ö., Siyahi, B., Fahjan, Y., Gülkan, P., Bakır, S., Lestuzzi, P., Elmas, M., Köksal, D., Gökçe, O., (2003), “Adapazarı ve Gölcük İçin Mikrobölgeleme Çalışmaları”, Beşinci Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, İstanbul

Ansal, A., Biro, Y., Erken, A., Gülerce, Ü., Özçimen, N., (2001) “Seismic zonation in Istanbul: A case study” Geotechnical Earthquake Engineering and Microzonation Seminar, İstanbul.

Ansal, A., Slejko, D. (2001) “The long and winding road from earthquakes to damage”, Soil Dynamic and Earthquake Eng., p:369.

Ansal, A.M. (1999) “Strong Motions and Site Amplification”, Theme Lecture, Second International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering, Lisbon, Portugal, Balkema Publishers, Rotterdam, Vol.3, pp.879-894.

Ansal, A.M. (1998) "Zeminlerin Tekrarlı Gerilmeler Altında Davranışları ve Depremlerde Yerel Zemin Koşullarının Etkisi" Hamdi Peynircioğlu Konuşması, Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Yedinci Ulusal Kongresi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul

Ansal, A., Marcellini, A. (1998) “Variability of source and site factors in seismic factors in seismic microzonation , state of the art report”, Proc. Of 11. European Conference on Earthquake Engineering, Bakelma, Rotterdam.

Ansal, A.M., İyisan, R. & Özkan, M. (1997) "A Preliminary Microzonation Study for the Town of Dinar" Seismic Behaviour of Ground and Geotechnical Structures, Balkema, Rotterdam, 3-9.

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

Ansal, A.M. & Siyahi, B.G. (1995) "Effects of Coupling Between Source and Site Characteristics During Earthquakes", European Seismic Design Practice, Rotterdam : Balkema, 83-89.

Ansal, A.M. & Lav, A.M.(1995) "Geotechnical Factors in 1992 Erzincan Earthquake" Proc. 5th International Conference on Seismic Zonation, Nice, (1):667-674.

Ansal, A.M. (1994) "Effects of Geotechnical Factors and Behaviour of Soil Layers During Earthquakes, State-of-the-Art Lecture", *Proc. of 10th European Con. on Earthquake Engineering*, Wien, Austria, (1):467-476

Ansal, A.M. & Erken, A. (1989) “Undrained Behaviour of a Clay Under Cyclic Shear Stresses”, ASCE Journal of Geotechnical Engineering Division, Vol.115, No.7, pp.968-983.

Bardet, J.P., Tobita, T.,(2001), “NERA: A Computer Program for Non-linear Earthquake Response Analyses of Layered soil Deposits”, University of Southern California, Los Angeles.

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.

Barrow, B.L., Stokoe, K.E.II. (1983) “Field Investigation of liquefaction sites in Northern California”, Geotechnical Eng. Thesis, GT 81, Civil Eng. Dep., Uni. Of Texas at Austin

Baştürk, F. (2003) “Avcılar İlçesinin coğrafi bilgi sistemleri ile Sismik Mikrobölgeleme”, Y. Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

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 (2004) “Belediyeler İçin Sismik Bilisel Son Durum Raporu”, DRM World Institute for Disaster Risk Management..

Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü, AIGM (2004) “Belediyeler İçin Sismik Mikrobölgeleme Örnek Uygulamalar”, DRM World Institute for Disaster Risk Management..

Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü, AIGM (1998) “Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik – Türk Deprem Yönetmeliği (TDY)”.

Boore, D. M., Joyner, W. B., Fumal, (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, 128-153.

Borcherdt, R.D. (1994) “Estimation of Site Dependent Response Spectra for Design - Methodology and Justification”, Earthquake Spectra, 11, p:173

Borcherdt, R.D., Wentworth, C.M., Janssen, A., Fumal, T. & Gibbs, J. (1991) “Methodology for Predictive GIS Mapping of Special Study Zones for Strong Ground Shaking in the San Francisco Bay Region”, Proc. 4th Inter. Conf. On Seismic Zonation, (3):545-552.

Borcherdt, R.D. & Gibbs, J.F. (1976) "Effect of Local Geological Conditions in the San Francisco Bay Region on Ground Motions and the Intensities of the 1906 Earthquake", Bull. Seism. Soc. Am., (66):467-500

BSSC – Building Seismic Safety Council (2001), “NEHRP (National Earthquake Hazards Reduction Program) Recommended Provisions for Seismic Regulations for New Buildings and for other structures”, 2000 Edition, Part I: Provisions FEMA 302.

Chavez-Garcia, F.J., Cuenca, J. (1996) “Site Effect in Mexico City Urban Zone, A Complementary Study”, Soil Dynamic and Earthquake Eng., p:141.

Cornell, A.(1968) “Engineering Seismic Risk Analysis” Bull. Seism. Soc. Am., Vol. 58, 1583-1606.

Crouse, C.B. & McGuire, J.W.(1996) “Site Response Studies for Purposes of Revising NEHRP Seismic Provisions”, Earthquake Spectra, (12)3:407-440.

Çiçek, G.İ. (2005) “Sismik Bölgeleme ve İstanbul’un Deprem Zararlarının Tahmini” Doktora Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul

Davis B.,(1996), “GIS: A Visual Approach”, On Word Press, USA, 376 pp.

- Detonatis, G. (1996), "Non-stationary Stochastic Vector Processes: Seismic Ground Motion Applications", Probabilistic Engineering Mechanics, p: 145-168
- Dizer, A.,(1951), "Küçükçekmece-Çatalca Arasındaki Nummulitlerin Paleontolojik Etüdü", İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi Monografileri, Sayı: 13, İstanbul.
- Ellsworth, W. L., Matthews, M. V., Nadeau, R. M., Nishenko S. P., Reasenberg P. A., Simpson, R. W., (1999) " A Physically-Based Earthquake Recurrence Model for Estimation of Long-Term Earthquake", Workshop on Earthquake Recurrence: State of the Art and Direction for the Future, Istituto Nazionale de Geofisica, Rome, Italy, 22-25 Feb., 1999.
- Erdik, M., Demircioğlu, M. B., Şeşetyan, K., Durukal, E., Siyahi, B. (2003a), "Earthquake Hazard in Marmara Region" EGS-AGU-EUG Joint Assembly, Nice, France.
- Erdik, M., Durukal, E., Siyahi, B., Fahjan, Y., Şeşetyan, K., Demircioğlu, M., Akman, H. (2003b) "Depreme dayanıklı Yapı Tasımında Deprem Yer Hareketlerinin Belirlenmesi" Beşinci Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, Davetli Konuşma, 26-30 Mayıs 2003, İstanbul.
- Erdoğan, M., (1993) "İstanbul ve Dolayının Yapay Agregat Potansiyeli", Uluslararası Mühendislik Jeolojisi Türk Milli Komitesi Bülteni, Sayı:14, Sayfa: 29-41, İstanbul.
- Erken, A., Ansal, A.M, Yıldırım, H., Ülker, R., Sancar, T. & Kılıç, C (1995) "Liquefaction of Silt and Sand Layers in Erzincan-Ekşisu", First Int. Conf. on Earthquake Geotechnical Engineering, Tokyo, Vol.1, pp.13-18.
- Erken, A & Ansal, A.M. (1994) "Liquefaction Characteristics of Undisturbed Sands", Performance of Ground and Soil Structure During Earthquakes, 13th Int. Conf. Soil Mechanics and Foundation Engng., New Delhi, pp.165-170.
- Eroskay, S., Kale, S., (1986) "İstanbul Boğazı Tüp Geçiş Güzargahında Jeoteknik Bulgular", Uluslararası Mühendislik Jeolojisi Türk Milli Komitesi Bülteni, Sayı 8, Sayfa:2-7, İstanbul.
- Fah, D., Kind, F., Lang, K., Giardini, D. (2001) "Earthquake senarios for the city of Basel", Soil Dynamics and Earthquake Eng., p:405.
- Ferini, M., Petrini, V., Lo Piresti, D., Puci, I., Luzi, L., Pergalani, F., Signanini, P. (2001) "Numerical Modeling for the Evaluation of Seismic Response at Catelnuovo Garfagnana in Central Hally", XV. ICSMGE TC4 Satellite Conferance on Lessons Learned form Recent Strong Earthquakes, İstanbul.
- Field, E.H., Hough, S.E., Jacob, K.H. (1990), "Using Microtremors to Assess Potential Earthquake Site Response: A Case Study in Flushing Meadows, New York City", Bull. Seism. Soc. Am., (80)6:1456-1480.
- Finn, W.D.L., Ventura, C.E. (1995) "Challenging issues in local microzonation", 5.International Conferance on Seismic Zonation, Nice, France.
- Frankel, A., Mueller, C., Barnhard, T., Perkins, D., Leyendecker, E. V., Dickman, N., Hanson S., Hopper, M. (1996) "National Seismic Hazard Maps: Documentation June 1996" Open File Report 96-532, U. S. Geological Survey, Denver, Colorado.
- Gaull, B.A., Kagami, H., Taniguchi, H. (1996) "The Microzonation of Perth, Western Australia, Using Microtremor Spectral Ratios", Earthquake Srectra.

- Gitterman, Y., Zaslavsky, Y., Shapira, A., Shtivelman, V. (1996) "Empirical Site Response Evaluations: Case Studies in Israel", *Soil Dynamic and Earthquake Eng.*, p:141.
- Gutenberg, B., Richter, C.F. (1944) "Frequency of Earthquakes in California", *Bulletin of Seismological Society of America*, Vol-34, No.4, p: 1985-1988.
- Güllü, H. (2000) "Dinar'ın Zemin Büyütmelerine göre Coğrafi Bilgi Sistemleri ile Mikrobölgelemesi", *Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.*
- Hamburger, R. O. (2000) "Application and Impacts of Seismic Zonation", *Earthquake Engineering Abstracts*,
- Haskell, N.A. (1953) "The Dispersion of Surface Waves on Multi-Layered Media", *Bull. Seism. Soc. Am.*, Vol.43, p:17-34
- Hwang, H.M., Lin, H., Huo, J. (1997) "Site Coefficients for Dizayn of Buildings in Eastern United States", *Soil Dynamics and Earthquake Eng.*, p:29.
- Idriss, I.M. and Sun, J.I. (1992), "User's Manual for SHAKE 91" Center for Geotechnical Modelling, Department of Civil Engineering, University of California, Davis.
- Idriss, I.M. (1990) "Response of Soft Soil Sites during Earthquakes", *Proceeding of the Symposium to Honor Proffessor Harry Bolton Seed, Berkeley California*, Vol. II, p:273-289.
- Imai, T. (1987) "P and S wave velocities of the ground in Japan", *Proceeding of IX. International Conf.on Soil Mechanics and Foundation Eng.*, (2), p: 257-260.
- Iwan, W.D. (1967) "On A Class of Models for the Yielding Behavior of Continious and Composite System", *Journal of Applied Mechanics, ASME*, Vol.34, p:612-617.
- İyisan, R., (1996) "Geoteknik Özelliklerin Belirlenmesinde Sismik ve Penetrasyon Deneylelerinin Karşılaştırılması", *Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.*
- Joyner, W.B., Chen, A.T.F. (1975) "Calculation of Nonlinear Ground Response in Earthquakes", *Bulletin Seismological Society of America*, Vol.65, p:1315-1336.
- Jimenez, M.J., Garcia-Fernandez, M., Zona, G., Cella, F. (2000) "Mapping Soil Effects in Barcelona, Spain, through an integrated GIS environment", *Soil Dynamic and Earthquake Eng.*, p:289.
- Jinan, Z. (1987) "Corelation between seismic wave velocity and the number of blow SPT and depth", *Selected Paper form the Chinese Journal of Geotechnical Eng.*, ASCE, p: 92-100.
- Karim, K.R., Yamazaki, F. (2002) "Corelation of JMA Instrumental Seismic Intensity with Strong Motion Parameters", *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, p:1191.
- Kılıç, H., Tohumcu Özener, P., Yıldırım, M., Adatepe, Ş., Demir, H. (2005) "Seismic microzonation of Küçükçekmece-Halkalı region in İstanbul", *Underground Space Use: Analysis of the Past and Lessons for Future - Erdem&Solak (eds) Taylor&Francis Group, London*, p: 642-647
- Kiku, H., Yoshida, N., Yasuda, S., Irisawa, T., Nakazawa, H., Shimizu, Y., Ansal, A., Erken, A. (2001) "In-situ penetration tests and soil profiling in Adapazarı, Turkey", *Proc. ICSMGE/TC4 Satellite Conf. on 'Lessons Learned form Recent Strong Earthq.'*, p:259:265
- Kramer, S.L. (1996) "Geotechnical Earthquake Engineering", *Prentice Hall International Series in Civil Engineering and Engineering Mechanics*, New Jersey, USA.

- Lav, A. (1994) "İstanbul ve Erzincan Şehirlerinde Zemin Büyütme Etkilerine göre Mikrobölgeleme", Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Lee, M.K.W., Finn, W.D.L. (1978) "DESR 2: Dynamic Effective Stress Response Analysis of Soil Deposits with Energy Transmitting Boundry Including Assessment of Liquefaction Potential", Soil Mechanics Series No. 38, University of British Columbia, Vancouver.
- Lee, S.H.H. (1990) "Regression model of shear wave velocities", Journal of Chinese Ist. of Engineers, p: 519-532.
- Lermo, J., Chavez-Garcia, F.J. (1994) "Site Effect Evaluation at Mexico City: Dominant Period and Relative Amplification form Strong Motion and Microtremor Records", Soil Dynamic and Earthquake Eng., p:413.
- Lida, K., Masaki, K., Taniguchi, H., Tsuboi, T. (1978), "Seismic Characteristic of the Ground and Earthquake Risk in Nagoya Area, Proc. Fifth Japan Earthquake Eng. Sympo, p:1415-1422.
- Lungu, D., Aldeta, A., Nedelcu C., Cornea, T. (1998) "Use of GIS technology for Microzonation of Frequancy content and effective peak values of soil response to earthquakes", 11. European Conferance on Earthquake Engineering, Balkema, Rotterdam.
- Manual For Zonation on Seismic Geotechnical Hazards, (1993), TC for Earthquake Geotechnical Engineering, TC4, ISSMFE.
- Marcellini, A., Daminelli, R., Franceschina, G., Pagani, M. (2001) "Regional and local seismis hazard assessment", Soil Dynamics and Earthquake Eng., p:415.
- Marcellini, D., Raminelli, M., Pagani, F., Riva, A., Tento, T., Crespallani, C., Madiyai, G., Marzorati, S., Luzi, L., Petrini, V., Meroni, F, Pergolani, F. (2003) "Detection of Local Site Effects Through the Estimation of Building Damages", Soil Dynamic and Earthquake Eng., p:497.
- Marcellini, A., Slejko, D. (1995) "State of art of seismic hazard and microzonation in Italy", 10. European Conferance on Eathquake Enginnering, Balkema, Rotterdam,
- Marinos, P., Bouckovalas, G., Tsiambaosi G., Sabatakakis, N., Antoniou, A. (2001) "Ground Zoning Againts Seismic Hazard in Athens-Greek", Engineering Geology, p:343.
- MERM (2003), Microzonation Manual, World Instittu for Disaster Risk Management.
- Midorikawa, S.,(1987), "Prediction of isoseismal map in the Kanto plain due to hypthetical earhtquake", Journal of Structural Engineering, Vol. 33b, pp. 43-48.
- Mroz, Z. (1967) "On the Description of Anisotropic Workhardening", Journal of Mechanics and Physics of Solid, Vol.15, p:163-175.
- Muson, R.M.W., Henni, P.H.O. (2001) "Methodological Cosiderations of Probabilistic Seismic Hazard Mapping", Soil Dynamic and Earthquake Eng, p:385.
- NEHRP (2000), Recomend Provision for Seismic Regulation New Buildings, FEMA 369
- NEHRP (1997), Recomend Provision for Seismic Regulation New Buildings and Other Structures, FEMA 302-303.
- NEHRP (1997), Recomend 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.

Ojedai, A., Martinez, S., Bermudez, M., Atakan, K. (2002) "The new accelerograph network for Sante Fe De Bogota, Colombia and Implications for microzonation", Soil Dynamic and Earthquake Eng.

Ohta, Y., Goto, N. (1978) "Empirical Shear Wave Velocity Equation in Terms of Characteristics Soil Indexes", Earthquake Eng. and Struc. Dyn., p: 167-187.

Özaydın, K., Yıldırım, S., Yıldırım, M. (2002) "İstanbul İli Küçükçekmece İlçesi Halkalı ve İkitelli Yerleşim Bölgeleri İmar Düzenlemesi 1-2-3-4 ve 5. Uygulama Sahalarının 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 Eng., NY.

Pergalani, F., Compagnoni, M., Petrini, V. (2003) "Evaluation of Site Effect in some Localities of 'Alta Val Tiberina Umbra' (Italy) by Numerical Analysis", Soil Dynamic and Earthquake Eng., p:85.

Pitilakis, K.D. (1995) "Seismic microzonation practice in Greece: A Critical Review of some Important Factors", 10. European Conference on Earthquake Engineering, Balkema, Rotterdam.

Prevost, J.H. (1989), DYNA 1D: A Computer Program for Nonlinear Ground Response Analysis-Technical Documentation, Report NCEER-89-0025, National Center for Earthquake Engineering Research, Buffalo, NY.

Pyke, R.M. (1985), TESS 1: A Computer Program for Nonlinear Ground Response Analysis, User's Manual, TAGA Engineering Software Services, Lafayette, California.

Rocabado, V., Schmits, M., Gonzalez, J., Audemard, F., Andrade, L., Vitoria, A., Rojas, R., Enomoto, T., Abeki, N., Delgado, J. (2002) "Seismic Microzonation Study in Barquisimeto - Venezuela", 12. European Conference on Earthquake Engineering, p: 815, Londra

Romdhane, N. B., Mecher, P., Duval, A.M., Meneroud, J.P., Vidal, S. (1998) "Microzoning the City of Tunis by Recording Background Noise", 11. European Conference on Earthquake Engineering, Bakelma, Rotterdam.

Sadigh, K., Chang, C. Y., Egan, J.A., Makdisi, F., Youngs (1997) "Attenuation Relationships for Shallow Crustal Earthquakes Based on California Strong Motion Data", Seismological Research Letters, Vol. 68, 180-189.

Schmitz, M., Enomoto, T., Ampuero, J.P., Rocabado, V., Kantak, P., Sanchez, J., Rendom, H., Gonzalez, J., Abeki, N., Villotte, J.P., Navorro M., Delgado, J. (2002) "Seismic Microzonation Study in Chacao District, Caracas -Venezuela", 12. European Conference on Earthquake Engineering, p: 808, Londra

Schnabel, P., Lysmer, J., and Seed, H. B. (1972) "SHAKE: A Computer Program For

Earthquake Response Analysis or Horizontally Layered Sites”, Report No. UCB/EERC-72/12 Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, December, 1972, 102p.

Schwartz, D., Coppersmith K., (1984) “Fault Behavior and Characteristic Earthquake - Examples from the Wasatch and San Andreas Fault Zone”, J. Geophys. Res., 89, 5681-5698.

Seed, H.B., Idriss, I.M. (1970) “Soil Moduli and Damping Factors for Dynamic Response Analyses”, Report No: EERC 70-10, EERC, University of California, Berkeley.

Shima, E., Imai, T. (1982) “Estimation of Strong Ground Motions Due to the Future Earthquakes-A Case Study for Saitama Prefecture”, Japan, Proc., 3. International Conference on Microzonation, Vol.1, p:519-530.

Shima, E. (1978) "Seismic Microzoning map of Tokyo" Proc. Second Inter. Conf. on Microzonation, (1):433-443

Sykora, D.W., Stokoe, K., H. II (1983) “Correlation of In situ measurements in Sand of Shear Wave Velocity, Soil Characteristics and Site Conditions” Geotech. Eng. Report, GR83-33, The Uni. Of Texas at Austin.

Todd, D., Harris, J.R. (1995) “De facto Microzonation Through the Use of Soil Factor in Design Triggers”, 5. International Conference on Seismic Zonation, Nice, France.

Todorovska, M.I., Trifunac, M.D. (1996) “Hazard Mapping of Normalized Peak Strain in Soils During Earthquakes: Microzonation of A Metropolitan area”, Soil Dynamic and Earthquake Eng., p:321.

Vagn, H.J. (2000) “Seismic Microzonation in Australia”, Journal of Asian Earth Sciences, p:3.

Vannucci, G., Frassinetti, L., Martelli, D., Palumbo & G. Viel (1998) “Seismic Microzonation of some Municipalities of the Rubicone Area (Emilia-Romagna Region)” 11. European Conference on Earthquake Engineering, Balkema, Rotterdam.

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

Wen, Y.K., Wu, C.L. (2001) “Uniform Hazard Ground Motions for Mid-America Cities”, Earthquake Spectra, No: 2.

Yağcı, B. (2005) “Mikrobölgeleme Metodolojileri ve Balıkesir İçin Bir Uygulama”, Doktora Tezi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir.

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.

Yıldırım, M., Savaşkan, E., (2003), “İstanbul Bölgesi Tersiyer Çökellerinin Stratigrafisine Yeni Bir Yaklaşım ve Çökellerin Mühendislik Özellikleri”, İstanbul’un Jeolojisi Sempozyumu, sayfa 87-102, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası-İstanbul.

Youngs, R.R., ve Coppersmith, K.J., (1985) “Implications of fault slip rates and earthquake recurrence model to probabilistic seismic hazard estimates”, Bull. Seismol. Am., 75, 939-964.

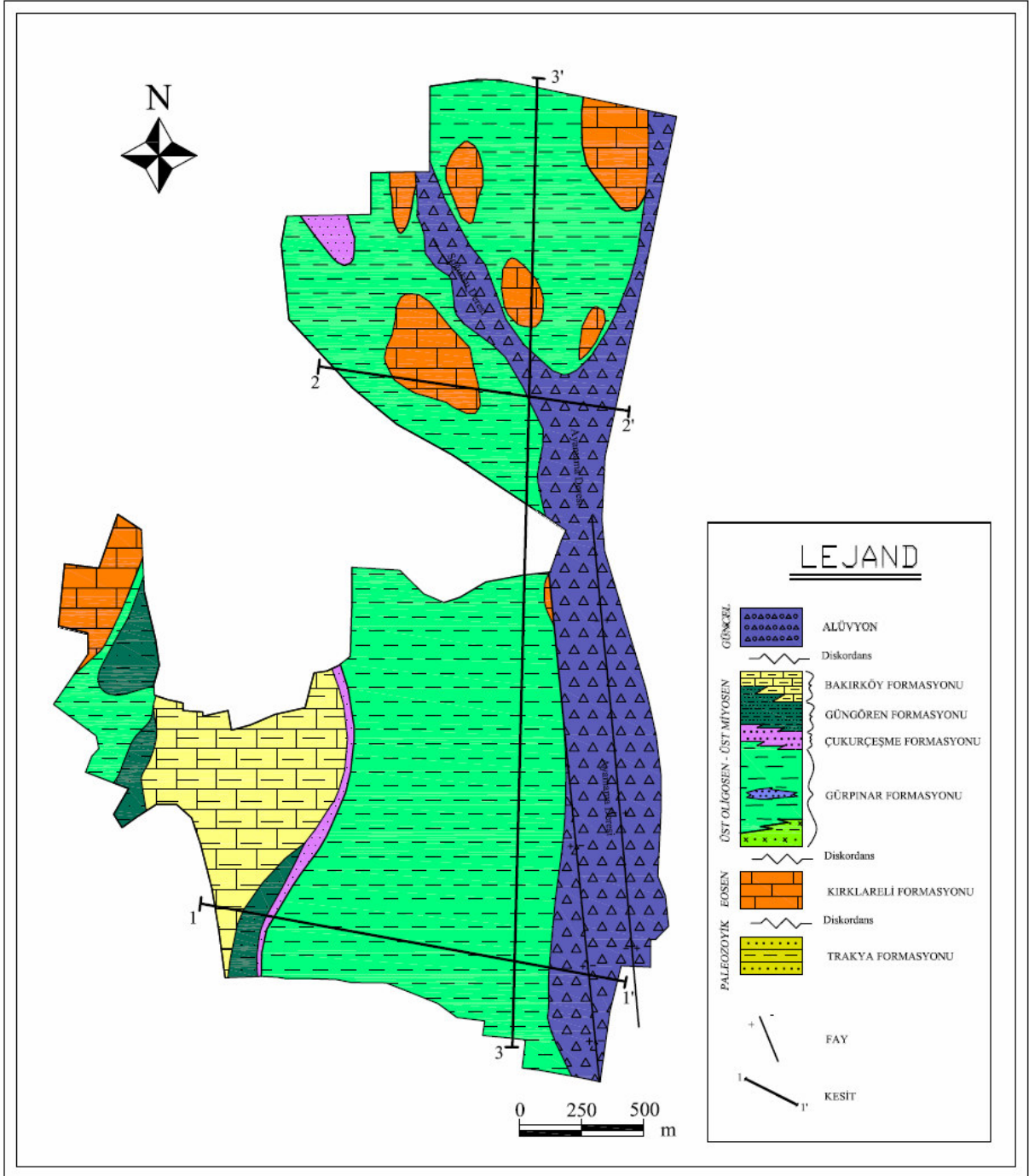
İNTERNET KAYNAKLARI

- [1] www.koeri.boun.edu.tr/deprenmmuh/izmir/izmirrapor2002.htm.
- [2] <http://seismo.ethz.ch/GSHAP/>

EKLER

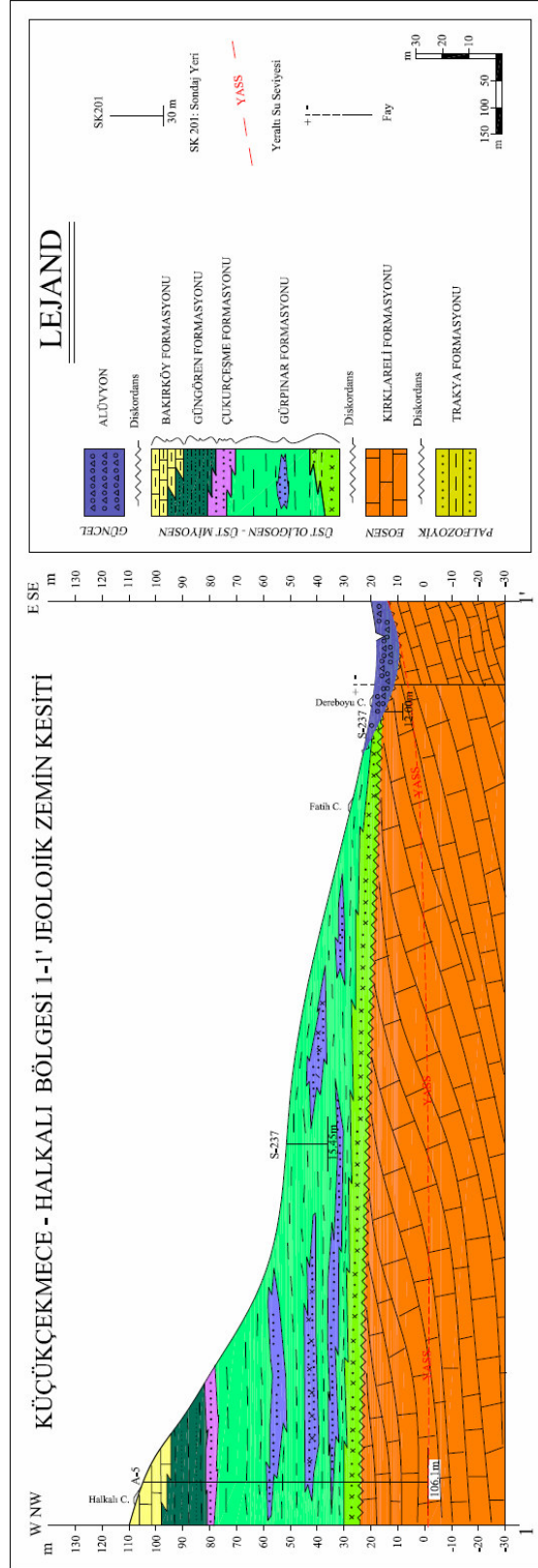
- | | |
|------|--|
| Ek 1 | Küçükçekmece- Halkalı yerleşim bölgesine ait jeolojisi haritası |
| Ek 2 | 1-1' Jeolojik zemin kesiti |
| Ek 3 | 2-2' Jeolojik zemin kesiti |
| Ek 4 | 3-3' Jeolojik zemin kesiti |
| Ek 5 | Oluşturulan idealize zemin profillerinden bazıları ve ivme-zaman kayıtları |

Ek 1 Küçükçekmece - Halkalı yerleşim bölgesine ait jeolojisi haritası



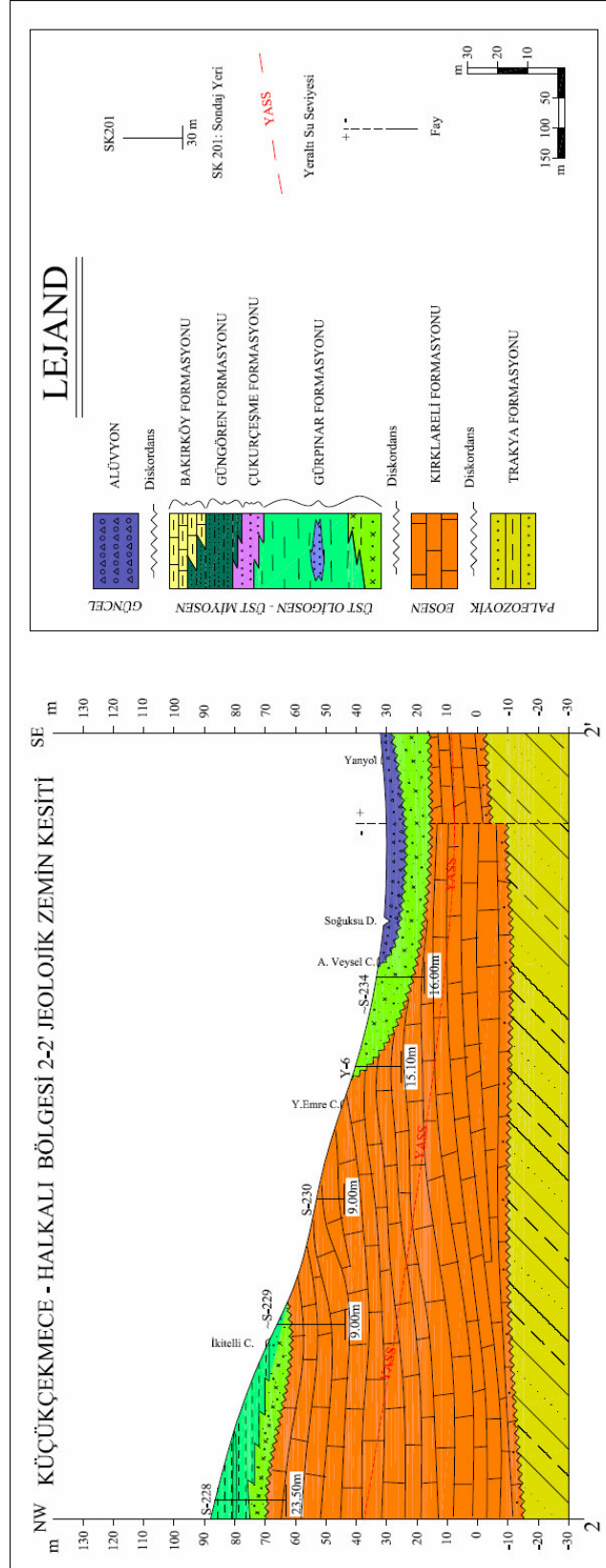
Şekil Ek 1.1 Küçükçekmece-Halkalı Yerleşim bölgesine ait jeoloji haritası

Ek 2 1-1' Jeolojik zemin kesiti



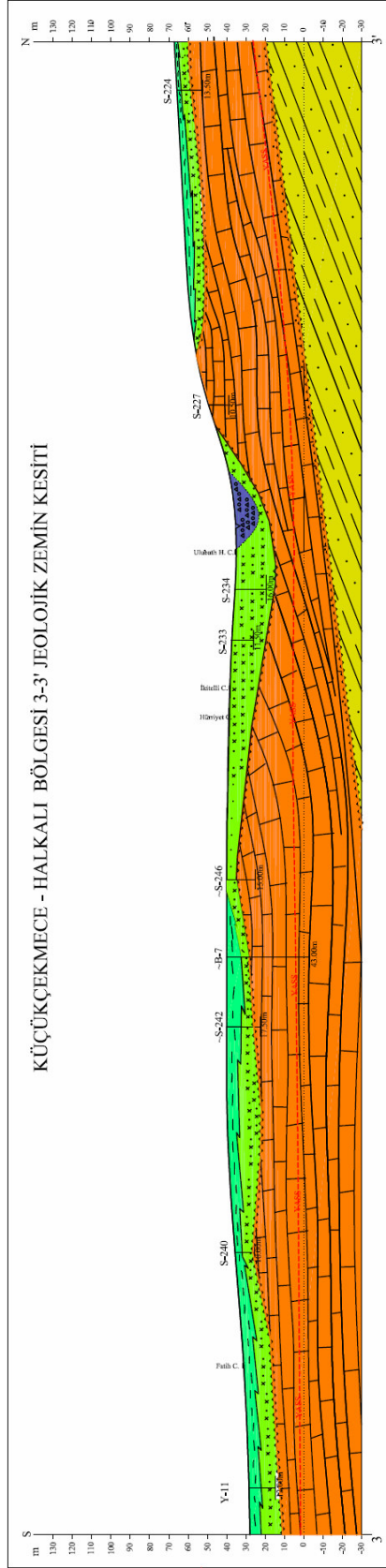
Şekil Ek 2.1 1-1' Jeolojik zemin kesiti

Ek 3 2-2' Jeolojik zemin kesiti



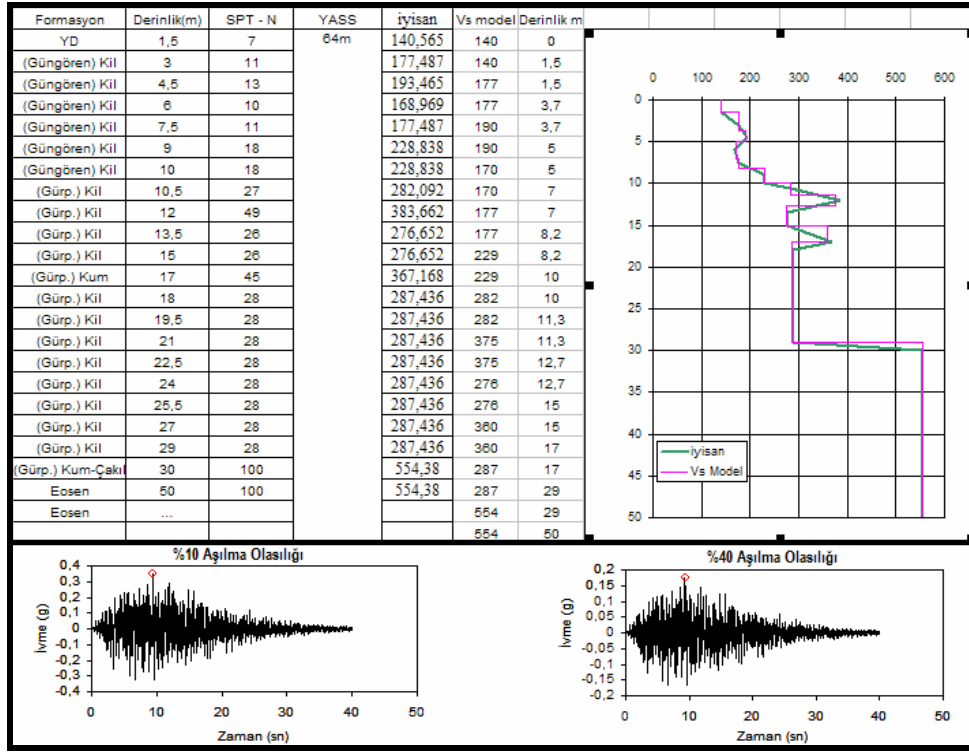
Şekil Ek 3.1 2-2' Jeolojik zemin kesiti

Ek 4 3-3' Jeolojik zemin kesiti

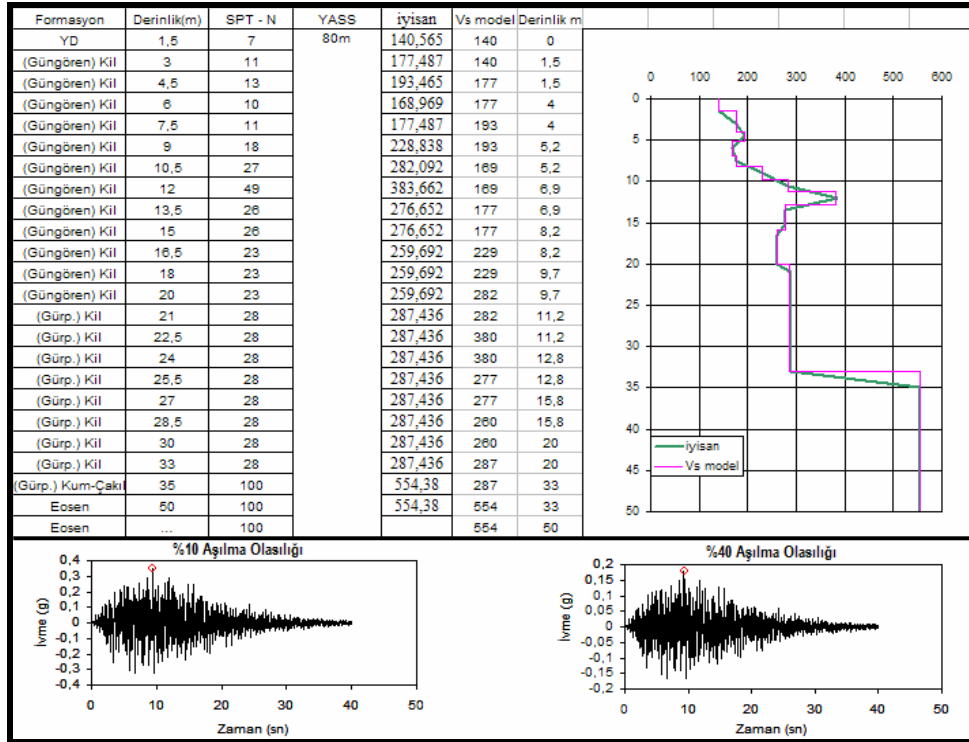


Şekil Ek 4.1 3-3' Jeolojik zemin kesiti

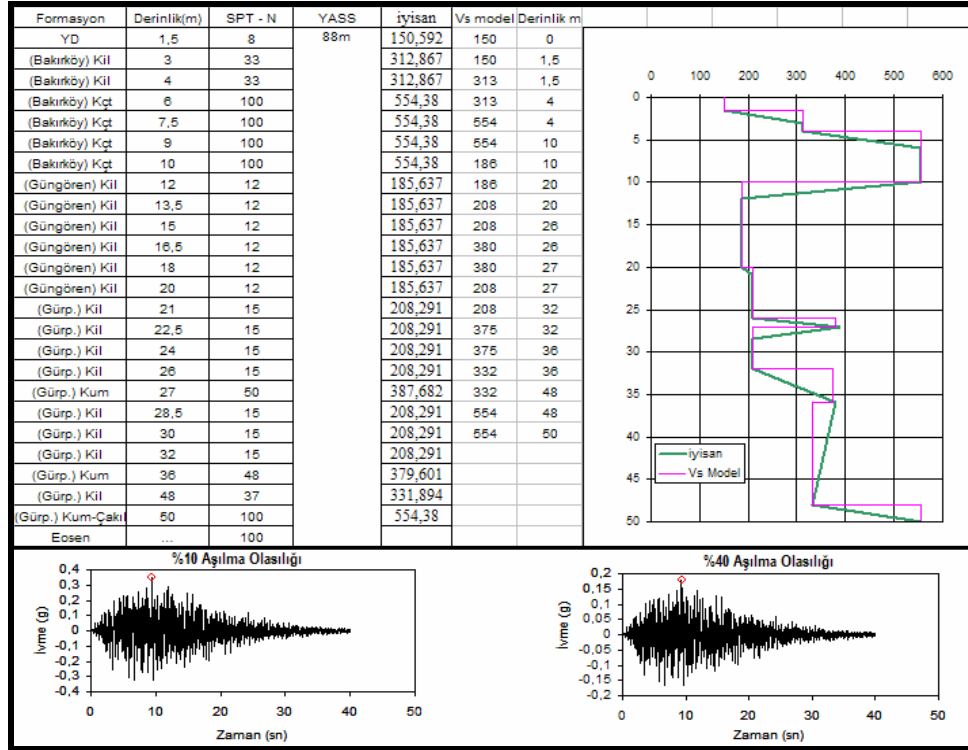
Ek 5 Oluşturulan idealize zemin profillerinden bazıları ve ivme-zaman kayıtları



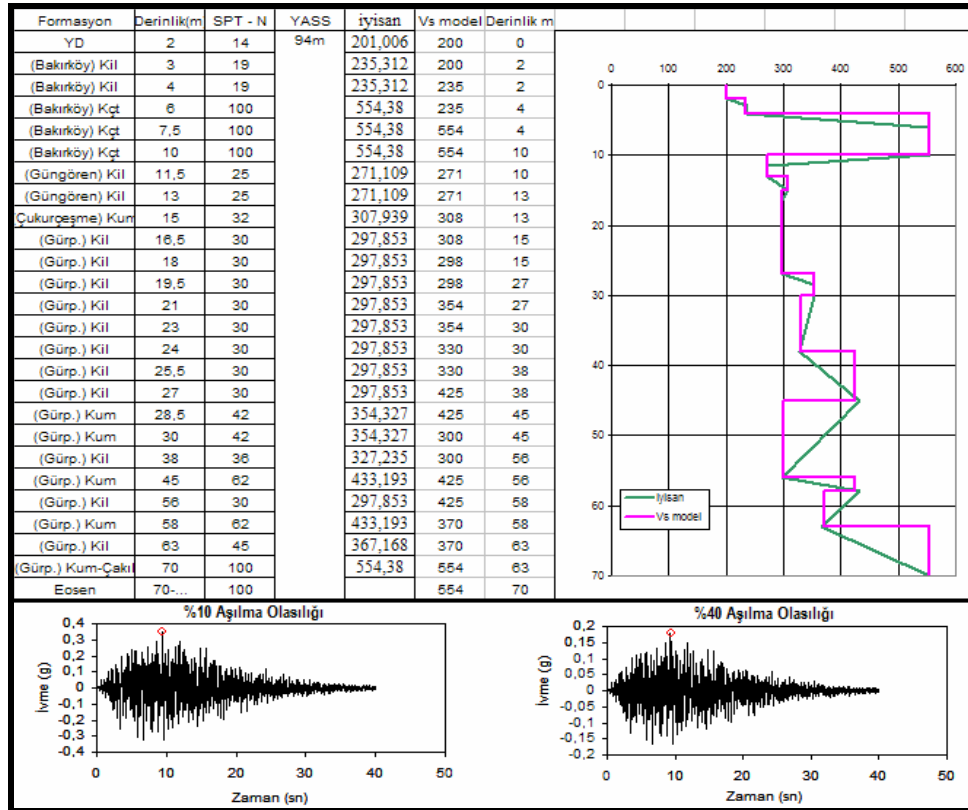
Şekil Ek 5.1 B11 hücresi idealize zemin profili ve ivme-zaman kaydı



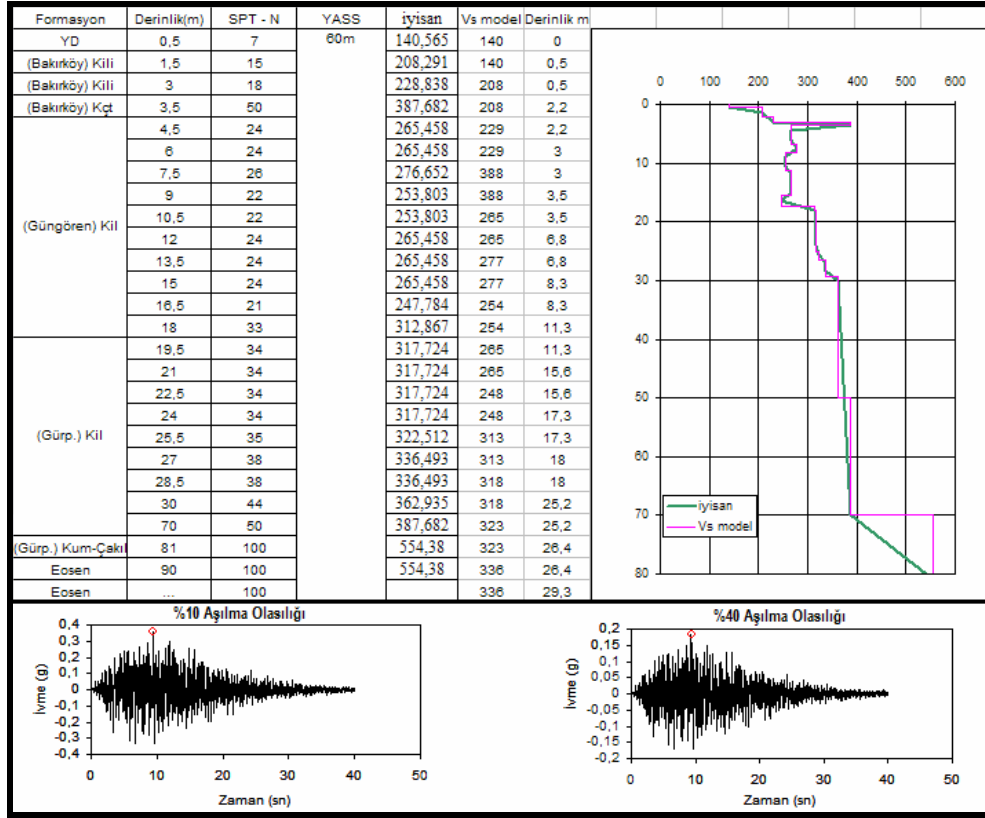
Şekil Ek 5.2 B13 hücresi idealize zemin profili ve ivme-zaman kaydı



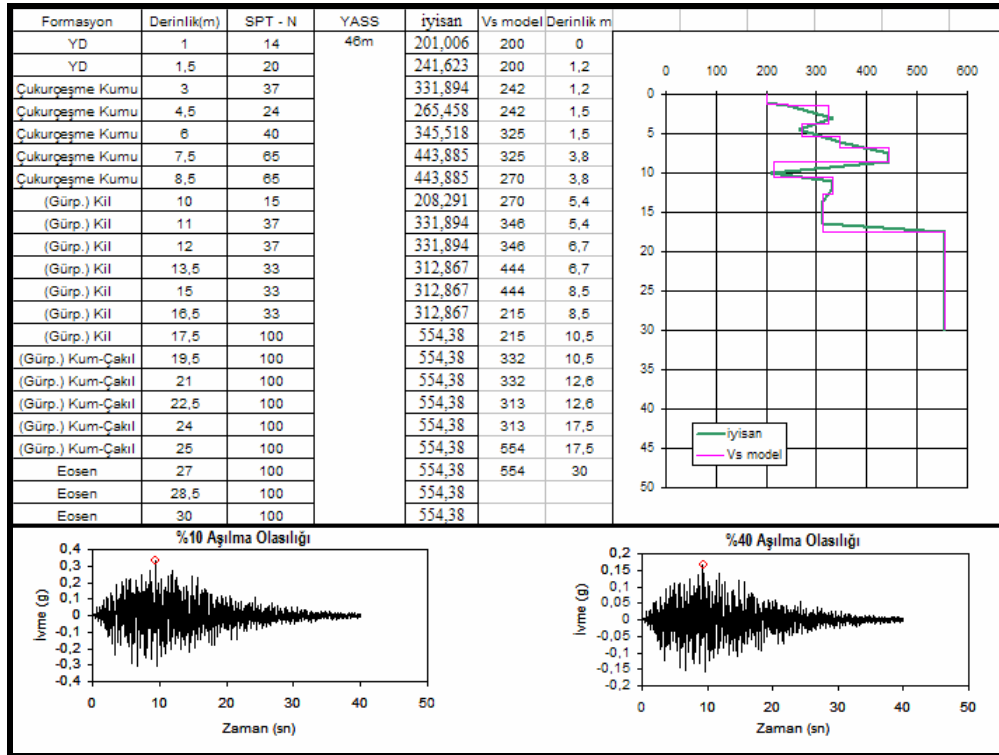
Şekil Ek 5.3 C12 hücresi idealize zemin profili ve ivme-zaman kaydı



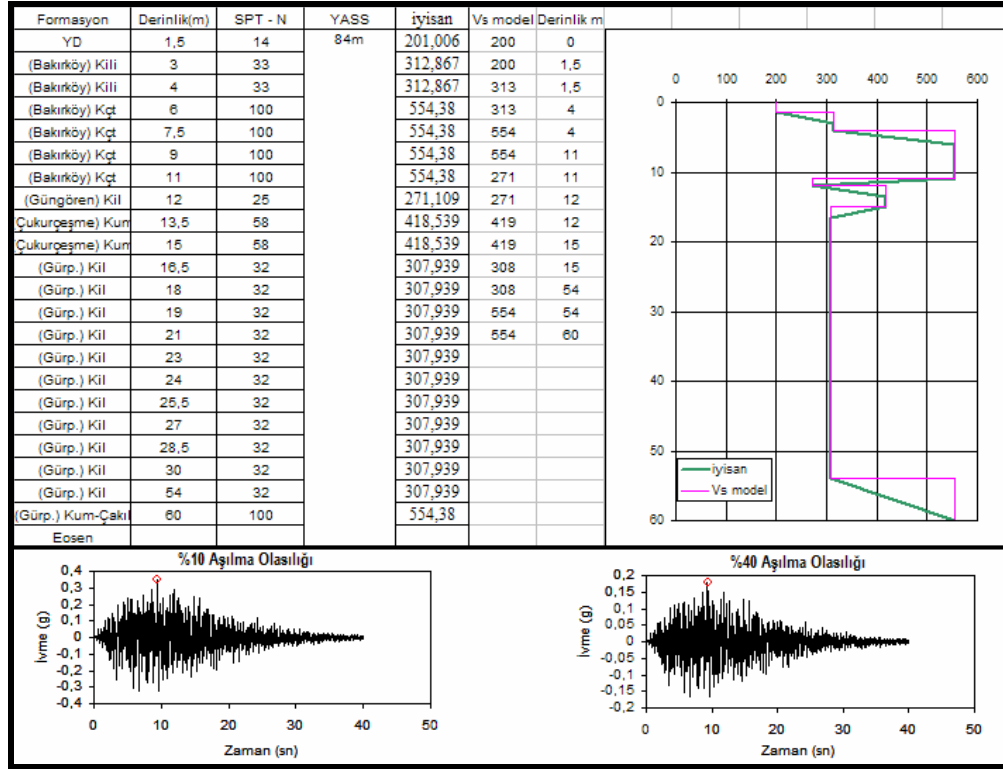
Şekil Ek 5.4 D13 hücresi idealize zemin profili ve ivme-zaman kaydı



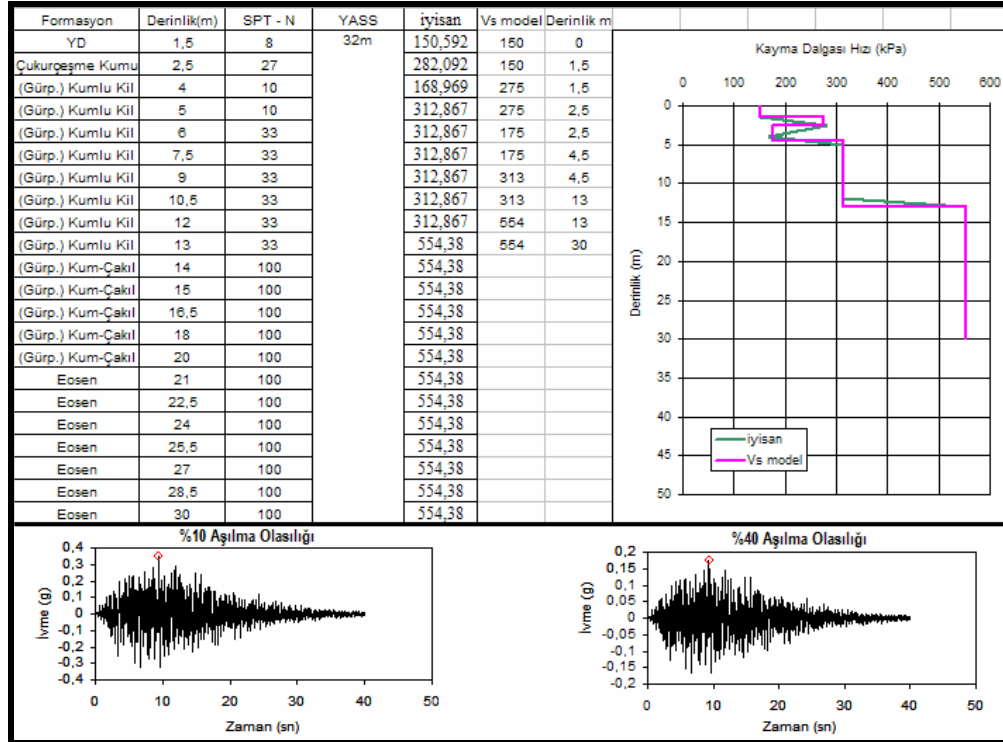
Şekil Ek 5.5 D16 hücresi idealize zemin profili ve ivme-zaman kaydı



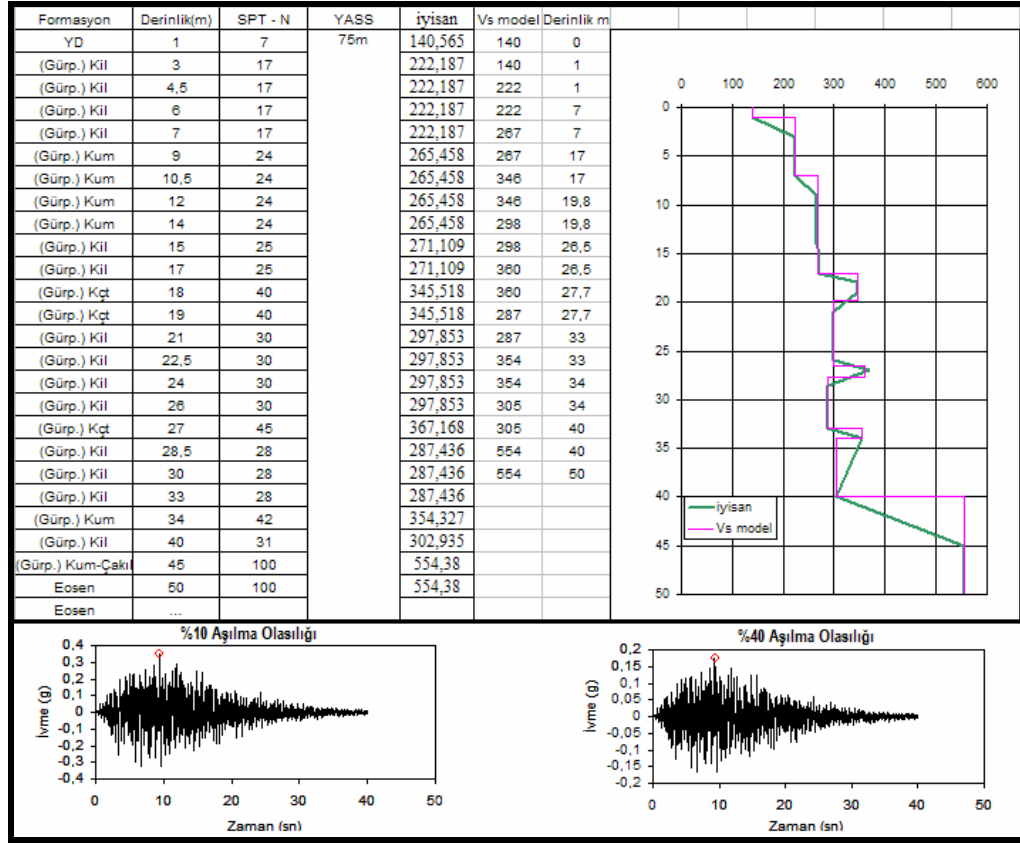
Şekil Ek 5.6 E04 hücresi idealize zemin profili ve ivme-zaman kaydı



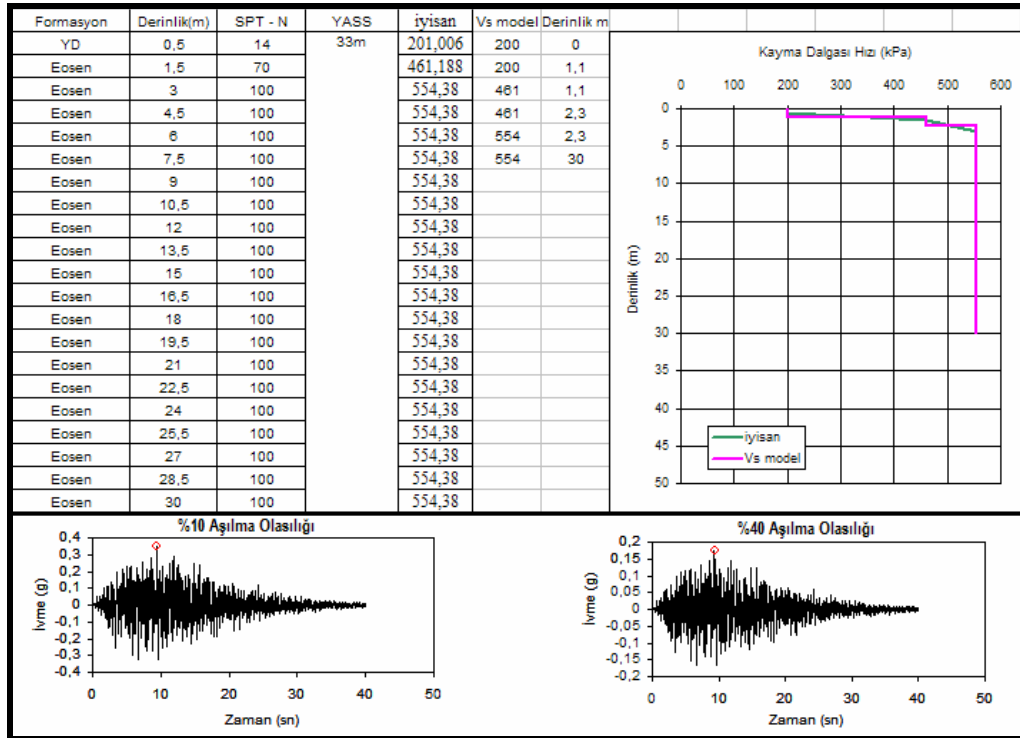
Şekil Ek 5.7 E13 hücresi idealize zemin profili ve ivme-zaman kaydı



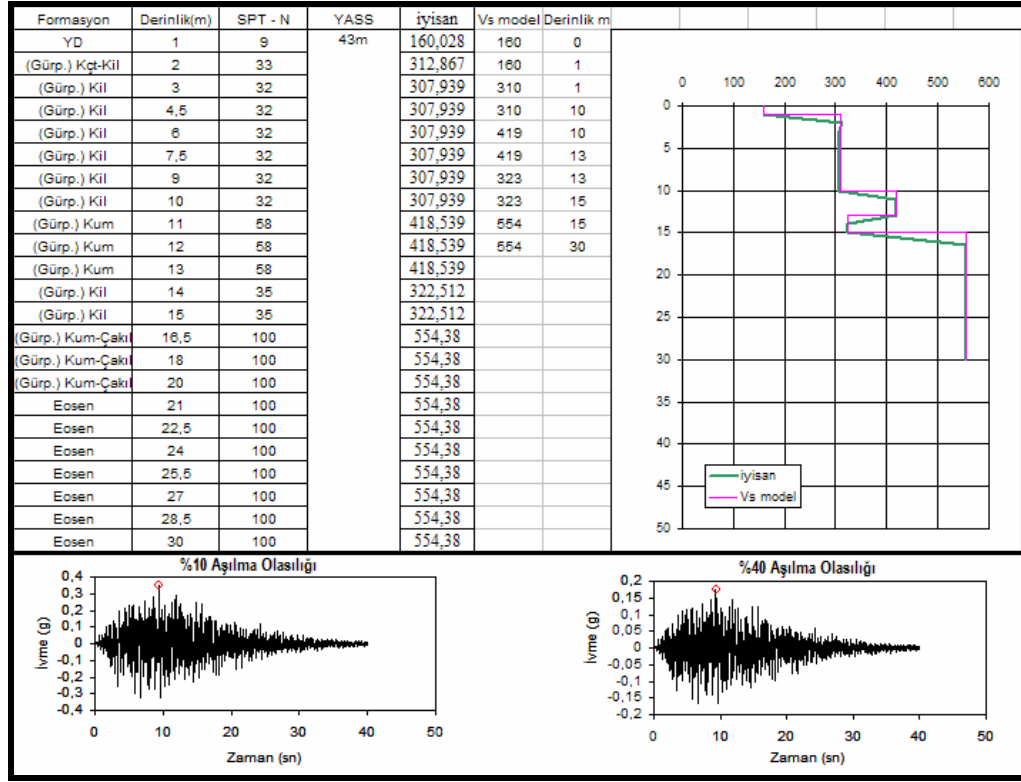
Şekil Ek 5.8 F04 hücresi idealize zemin profili ve ivme-zaman kaydı



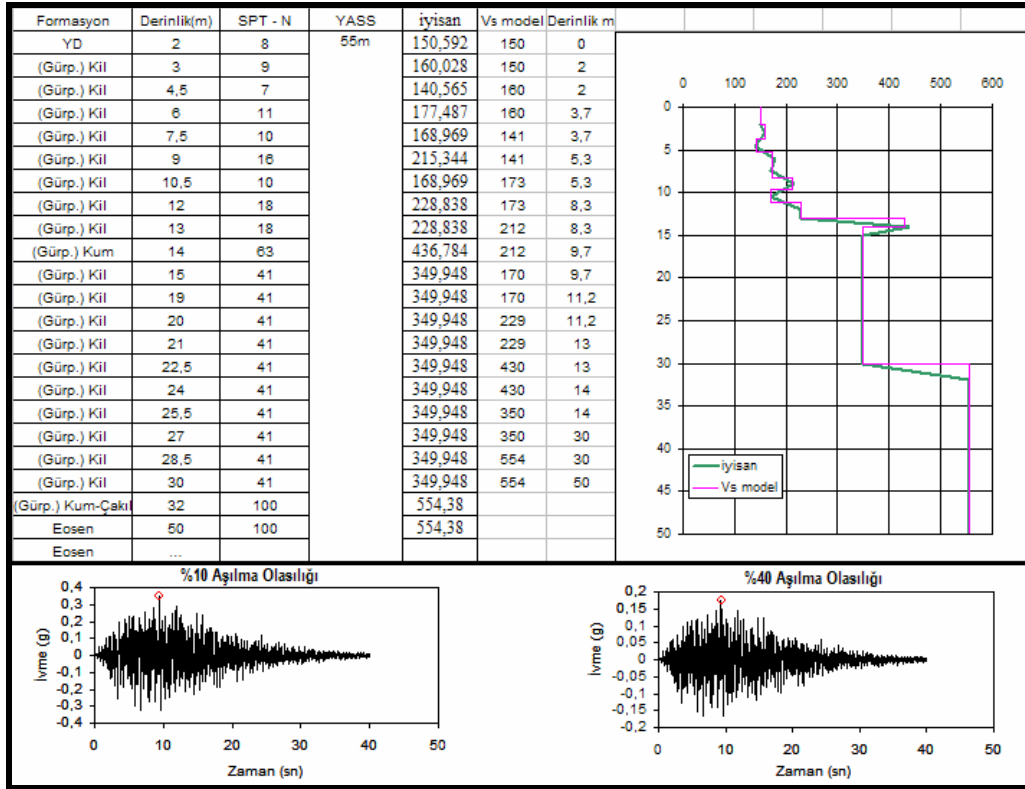
Şekil Ek 5.9 F13 hücresi idealize zemin profili ve ivme-zaman kaydı



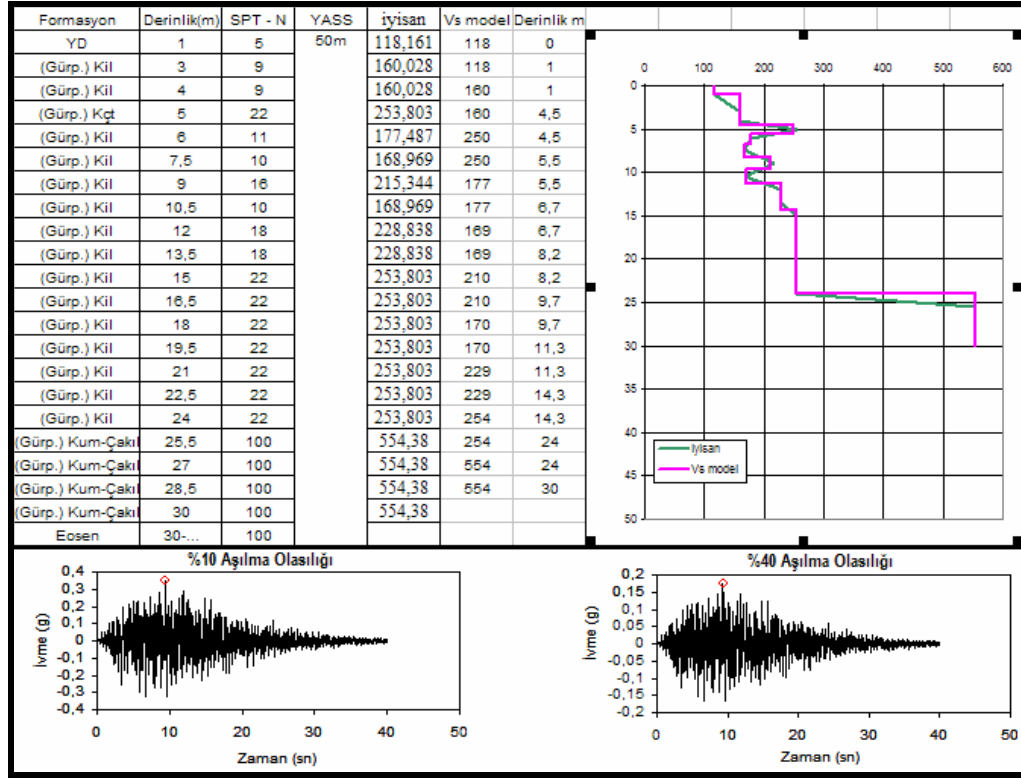
Şekil Ek 5.10 G06 hücresi idealize zemin profili ve ivme-zaman kaydı



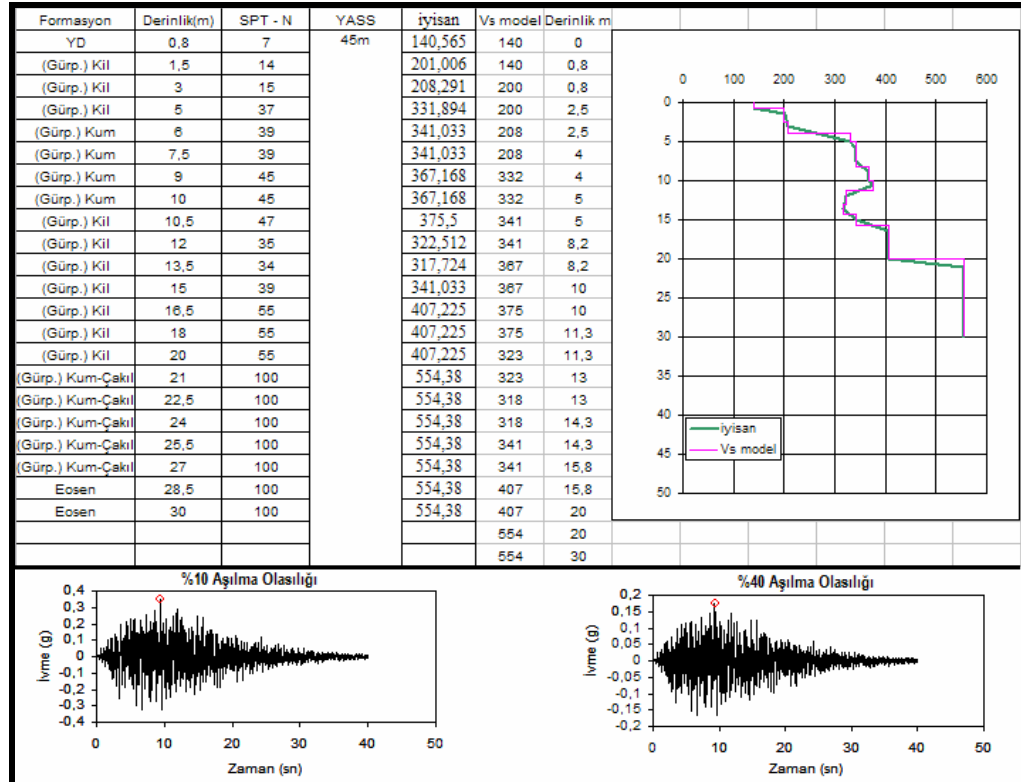
Şekil Ek 5.11 G08 hücresi idealize zemin profili ve ivme-zaman kaydı



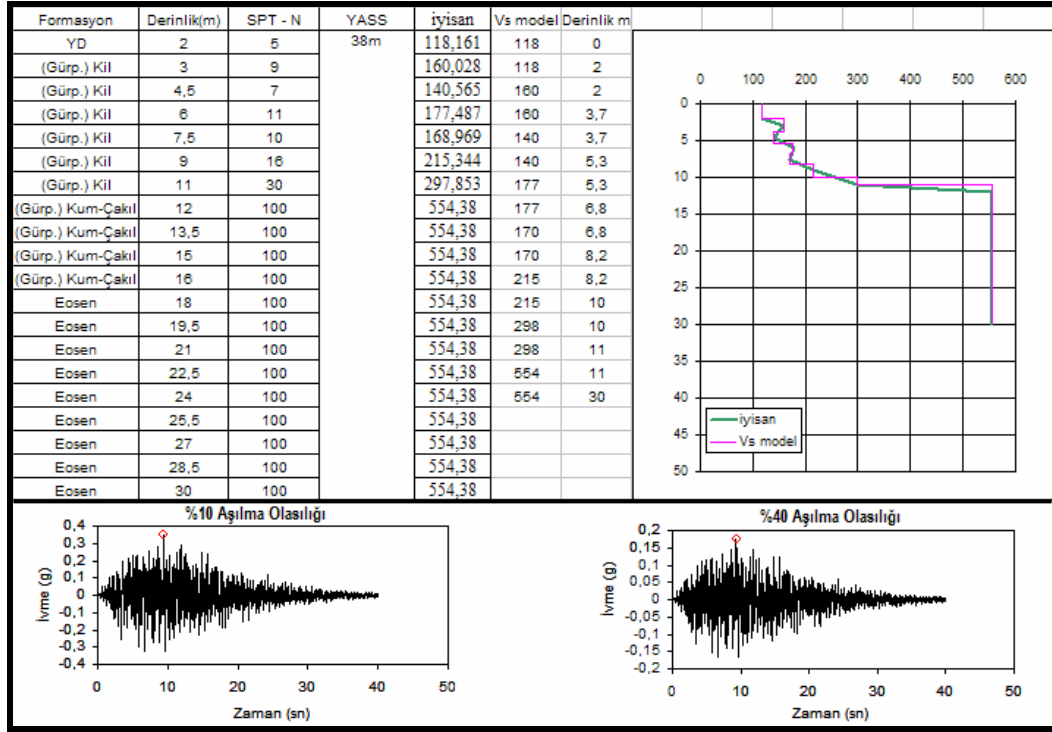
Şekil Ek 5.12 G13 hücresi idealize zemin profili ve ivme-zaman kaydı



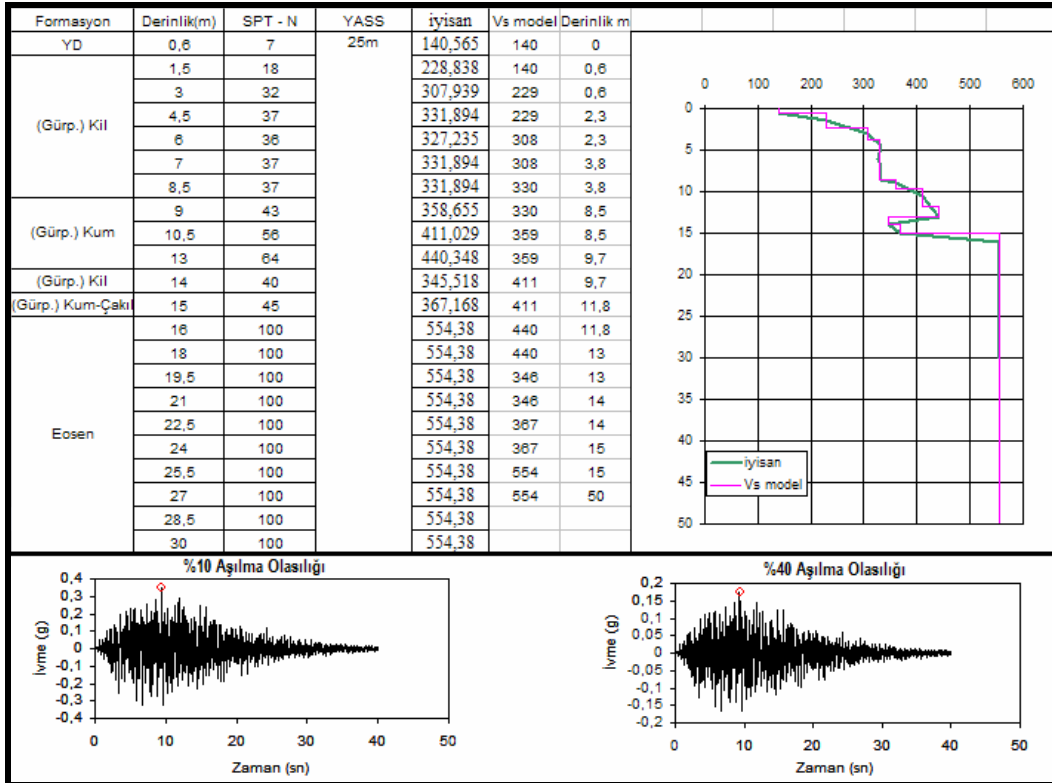
Şekil Ek 5.13 G14 hücresi idealize zemin profili ve ivme-zaman kaydı



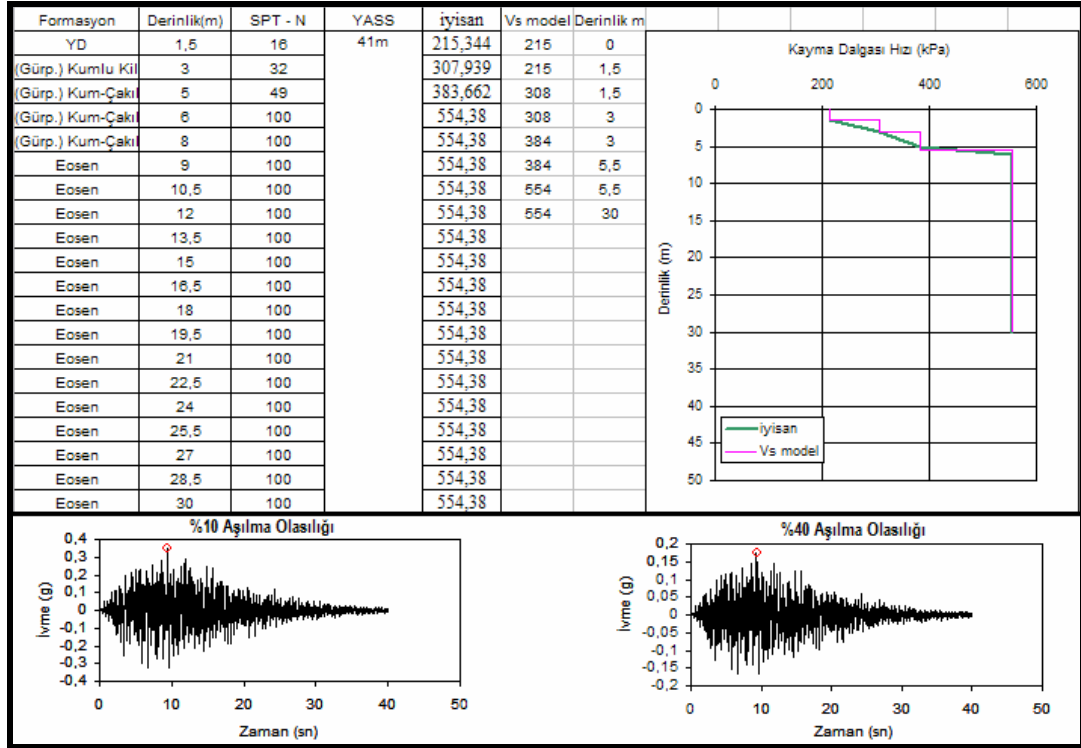
Şekil Ek 5.14 G15 hücresi idealize zemin profili ve ivme-zaman kaydı



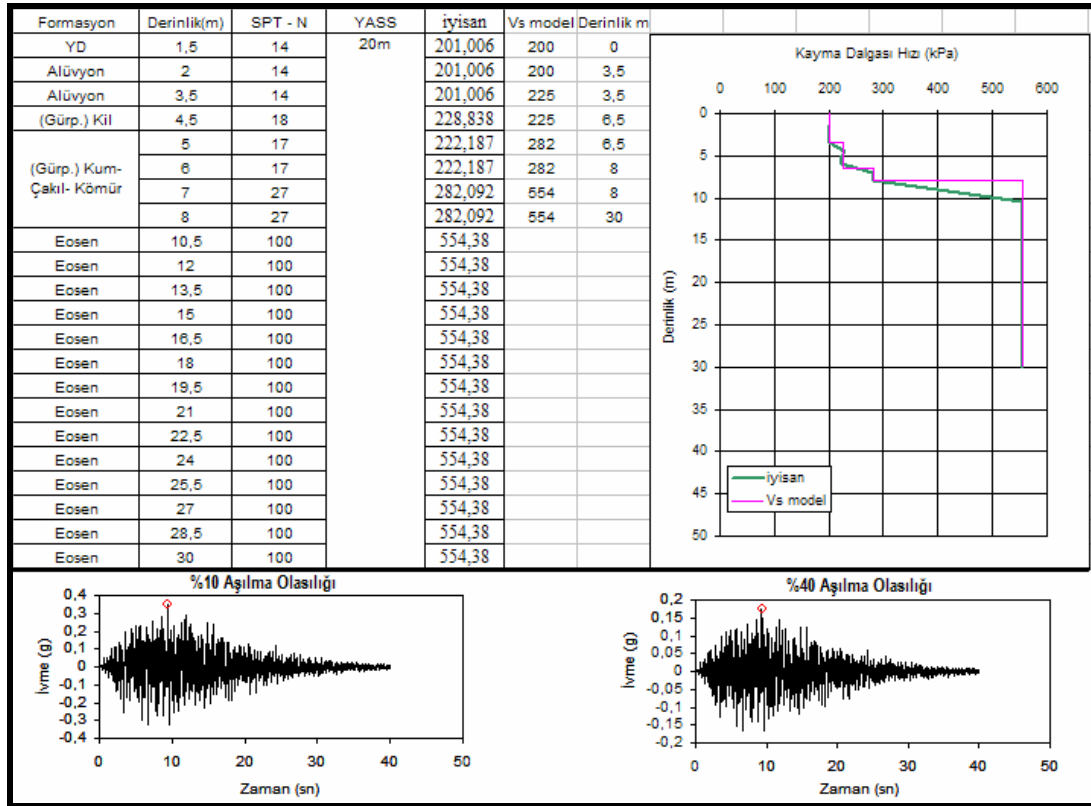
Şekil Ek 5.15 H13 hücresi idealize zemin profili ve ivme-zaman kaydı



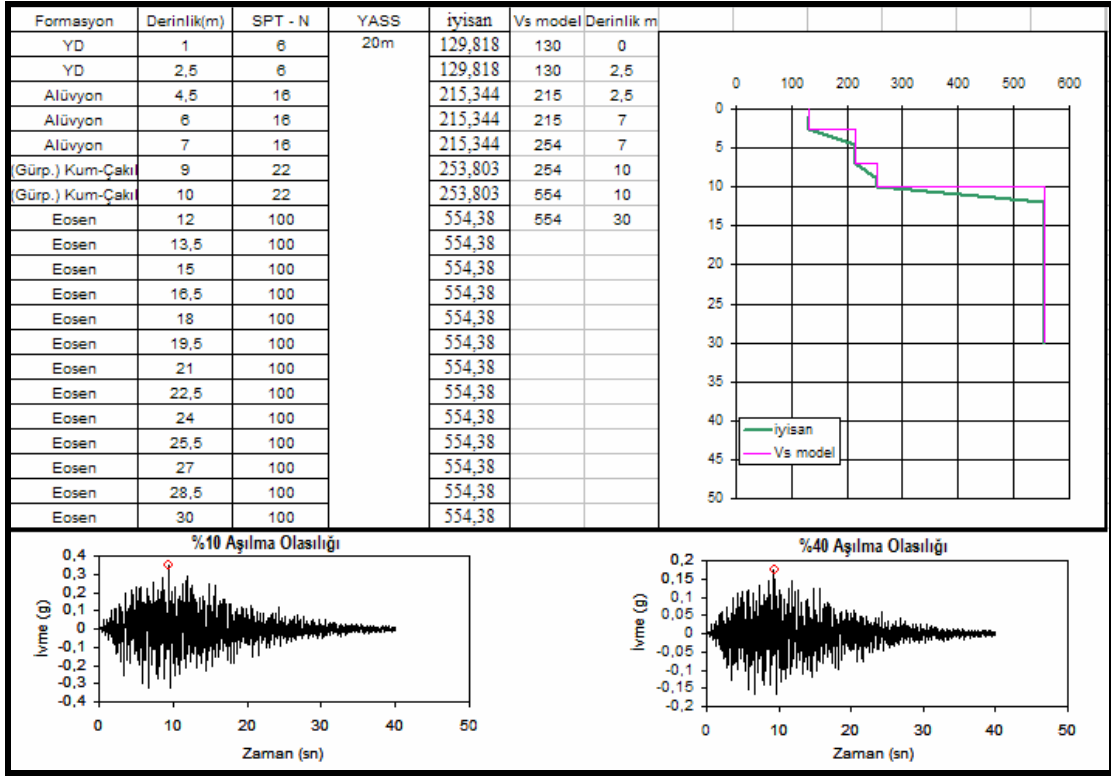
Şekil Ek 5.16 H17 hücresi idealize zemin profili ve ivme-zaman kaydı



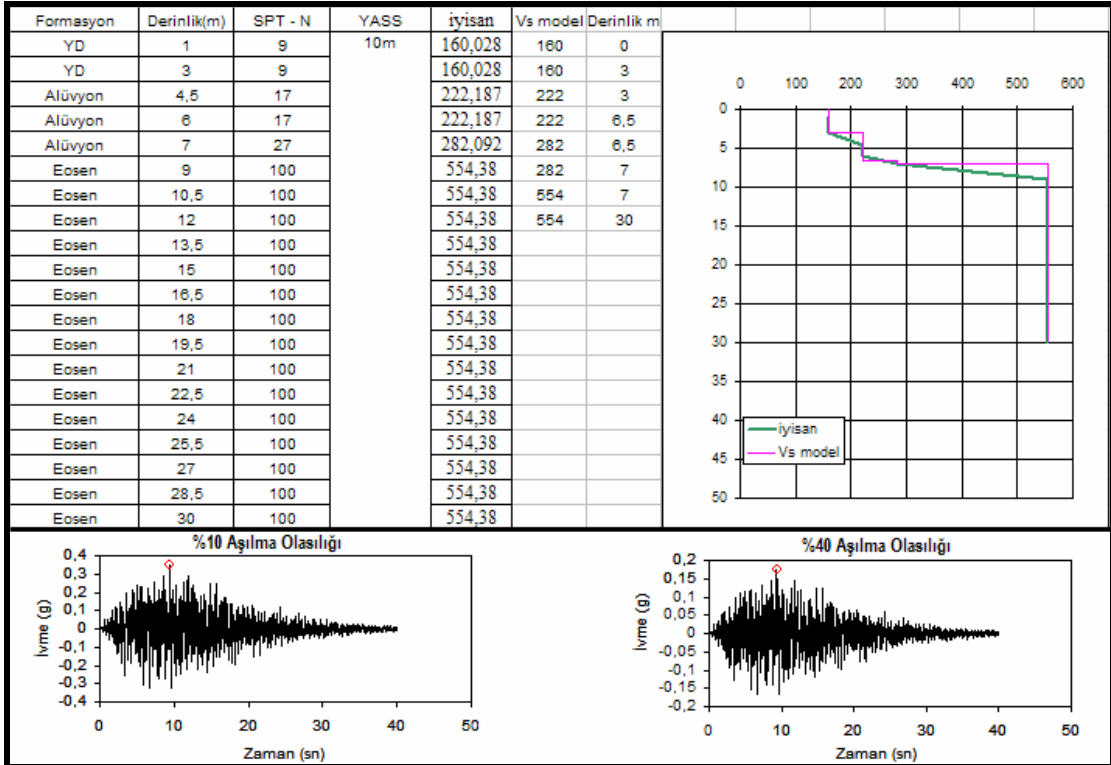
Şekil Ek 5.17 I02 hücresi idealize zemin profili ve ivme-zaman kaydı



Şekil Ek 5.18 J05 hücresi idealize zemin profili ve ivme-zaman kaydı



Şekil Ek 5.19 J08 hücresi idealize zemin profili ve ivme-zaman kaydı



Şekil Ek 5.20 K13 hücresi idealize zemin profili ve ivme-zaman kaydı

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi 29.10.1980

Doğum yeri Erbaa

Lise 1994-1997 Üsküdar Beylerbeyi Lisesi

Lisans 1997-2001 Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi
İnşaat Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans 2002-2006 Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Müh. Anabilim Dalı, Geoteknik Programı

Çalıştığı kurum(lar)

2003-2004 Aks Yapıdenetim A.Ş.

2004-Devam ediyor GEOgrup İnş. San. ve Tic. A.Ş.