

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KÜÇÜKÇEKMECE VE SEFAKÖY YERLEŞİM  
BÖLGELERİNİN ZEMİN BÜYÜTMESİNE GÖRE  
MİKROBÖLGELEMESİ**

**İnş. Müh. Şenol ADATEPE**

**TC YÜKSEKÖĞRETİM KURULU  
DOKÜMAN TASTAYAN MERKEZİ**

**F.B.E İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Geoteknik Programında  
Hazırlanan**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Sönmez YILDIRIM**  
**Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Kutay ÖZAYDIN**  
**: Prof. Dr. Kemal ÖZÜDOĞRU**

**İSTANBUL, 2002**

128664

# İÇİNDEKİLER

İÇİNDEKİLER.....	i
SİMGE LİSTESİ.....	iv
ŞEKİL LİSTESİ.....	v
ÇİZELGE LİSTESİ.....	vii
ÖNSÖZ.....	viii
ÖZET.....	ix
ABSTRACT.....	x
1. GİRİŞ VE ÇALIŞMANIN AMACI.....	1
1.1 Giriş.....	1
1.2 Çalışmanın Amacı.....	2
2. GEOTEKNİK MÜHENDİSLİĞİNDE MİKROBÖLGELEME.....	4
2.1 Mikrobölgelemenin Tanımı.....	4
2.2 Mikrobölgelemenin Temel Kuralları.....	4
2.3 Geoteknik Mühendisliğinde Mikrobölgelemenin Uygulama Alanları.....	5
2.4 Zemin Büyütmesine Göre Mikrobölgeleme Tekniği.....	7
2.4.1 Birinci Derece Mikrobölgeleme.....	7
2.4.2 İkinci Derece Mikrobölgeleme.....	11
2.4.2.1 Ayrıntılı Geoteknik İncelemeler.....	12
2.4.2.2 Mikrobölgelemede Kayma Dalgası Hızının Önemi.....	14
2.4.2.3 Mikrotremor Ölçümleri ve Kayıtların Analizi.....	19
2.4.2.3.1 Mikrotremor Nedir?.....	19
2.4.2.3.2 Mikrotremor Kayıtlarının Analiz Teknikleri.....	21
2.4.3 Üçüncü Derece Mikrobölgeleme.....	21
2.4.3.1 Zeminlerde Dinamik Davranış Analizleri.....	22
2.4.3.2 Bir Zemin Dinamik Davranış Analiz Programı; EERA.....	23
2.4.4 Mikrobölgeleme Çalışmasında Hasar Gözlemlerinin Önemi.....	24
2.4.4.1 Depremlerde Yapısal Hasara Neden Olan Başlıca Etkenler.....	24
2.4.4.2 Yerel Zemin Koşullarının Yapı Hasarına Olan Etkisi.....	26
3. COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ (GIS) HAKKINDA GENEL BİLGİ.....	30
3.1 Giriş.....	30
3.2 Coğrafi Bilgi Sistemleri (GIS) Nedir?.....	30
3.3 GIS Bileşenleri.....	32
3.3.1 Donanım.....	32
3.3.2 Yazılım.....	32
3.3.3 Veri.....	33

3.3.3.1	Coğrafik ve/veya Yersel Veri .....	33
3.3.3.2	Öznelik veya Coğrafi Olmayan Veri .....	33
3.3.3.3	GIS'te Kullanılan Veri Yapıları .....	33
3.3.4	İnsan .....	34
3.3.5	Yöntemler .....	35
3.4	Tez Kapsamında Kullanılan GIS Yazılımları .....	35
4.	<b>KÜÇÜKÇEKMECE BÖLGESİNİN JEOLJİSİ VE TEKTONİK</b>	
	<b>ÖZELLİKLERİ .....</b>	<b>37</b>
4.1	Genel Jeoloji .....	37
4.2	İnceleme Alanının Jeolojisi .....	39
4.2.1	Kırklareli Formasyonu .....	41
4.2.2	Gürpınar Formasyonu .....	41
4.2.3	Çukurçeşme Formasyonu .....	42
4.2.4	Güngören Formasyonu .....	42
4.2.5	Bakırköy Formasyonu .....	43
4.2.6	Alüvyon .....	43
4.3	İnceleme Alanının Tektonik Yapısı .....	44
5.	<b>KÜÇÜKÇEKMECE BÖLGESİNİN YEREL ZEMİN KOŞULLARININ</b>	
	<b>BELİRLENMESİ .....</b>	<b>48</b>
5.1	Giriş .....	48
5.2	Küçükçekmece Bölgesinde Yapılan Sondajlar ve Zemin Özellikleri .....	48
5.3	Küçükçekmece Bölgesi Yerel Zemin Koşullarının Sismik Kırılma Deneyleriyle Belirlenmesi .....	67
5.4	Küçükçekmece Bölgesi Yerel Zemin Koşullarının Mikrotremor Ölçümleri İle Belirlenmesi .....	67
5.5	Küçükçekmece Bölgesindeki Zemin Davranışının Dinamik Analizi .....	71
6.	<b>KÜÇÜKÇEKMECE BÖLGESİNDE, DEPREM SONUCU OLUŞAN YAPI</b>	
	<b>HASARLARININ BELİRLENMESİ .....</b>	<b>96</b>
6.1	Giriş .....	96
6.2	Hasar Verilerinin Değerlendirilmesi .....	96
7.	<b>GIS İLE MİKROBÖLGELEME .....</b>	<b>101</b>
7.1	Giriş .....	101
7.2	Sismik Kırılma Ölçümlerinden Elde Edilen Sonuçlara Göre Yerel Zemin Sınıflarının Belirlenmesi .....	101
7.3	Sondaj Kesitleri İncelenerek Yerel Zemin Sınıflarının Belirlenmesi .....	102
7.4	Kayma Dalgası Hızının Bölgedeki Değişiminin Belirlenmesi .....	103
7.5	Dinamik Analiz Sonucu Bulunan Zemin Büyütmelerinin Bölgedeki Değişiminin Belirlenmesi .....	104
7.6	Dinamik Analiz Sonucu Bulunan En Büyük İvmelerin Bölgedeki Değişiminin Belirlenmesi .....	105
7.7	Dinamik Analiz Sonucu Bulunan Spektral İvmelerin Bölgedeki Değişiminin Belirlenmesi .....	106
7.8	Hasar Dağılımının Belirlenmesi .....	107

8.	YEREL ZEMİN KOŞULLARI İLE HASARIN KARŞILAŞTIRILMASI.....	109
8.1	Giriş.....	109
8.2	Yerel Zemin Sınıfları İle Hasarın Karşılaştırılması.....	109
8.3	Kayma Dalgası Hızları İle Hasarın Karşılaştırılması .....	110
8.4	Zemin Büyütmeleri İle Hasarın Karşılaştırılması.....	111
8.5	En Büyük İvmelerle Hasarın Karşılaştırılması.....	112
8.6	Spektral İvmelerle Hasarın Karşılaştırılması .....	113
9.	SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRMELER.....	114
	KAYNAKLAR.....	116
	ÖZGEÇMİŞ.....	119



## SİMGE LİSTESİ

CPT	Koni penetrasyon deneyi
$D$	Sönüm oranı
$D_r$	Relatif sıklık
$F$	No:200 elekten geçen zeminin % değeri
$GIS$	Coğrafi bilgi sistemleri
$G_{max}$	Maksimum kayma modülü
$G_0$	Düşük deformasyonlardaki kayma modülü
$\sigma'_{v_0}$	Efektif düşey gerilme
$N_{160}$	1 Atmosfer basınca göre $N_{60}$ 'nin düzeltilmiş değeri
$N_{60}$	$N_{SPT}$ ın düzeltilmiş değeri
$N_{78}$	Japon standartlarına göre $N_{SPT}$ nin düzeltilmiş değeri
OCR	Aşırı konsolidasyon oranı
$p'$	Efektif ortalama normal gerilme
$P_a$	Atmosfer basıncı
$q_c$	Koni uç mukavemeti
$SPT$	Standart penetrasyon deneyi
$V_s$	Kayma dalgası hızı

## ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1	Mikrobölgeleme çalışması sırasında izlenebilecek yol .....	6
Şekil 2.2	Kaya ve yumuşak zemin alanlarında ivmelerin değişimi (Idriss, 1990) .....	8
Şekil 2.3	Kayma modülü ve sönüm oranının, kayma deformasyonu ile değişimi üzerine plastisite indeksinin etkisi, (Vučević ve Dobry, 1991).....	12
Şekil 2.4	Bölgede yapılan sismik kırılma deneylerinin coğrafi konumları.....	16
Şekil 2.5	Bölgede yapılan mikrotremor ölçümlerinin coğrafi konumları .....	20
Şekil 2.6	Yerel zemin sınıflarının frekans içeriğine etkisi ( Seed ve Idriss, 1982) .....	28
Şekil 3.1	GIS kullanılarak veri integrasyonu .....	31
Şekil 3.2	GIS bileşenleri.....	32
Şekil 4.1	İstanbul ve yakın çevresinin genel jeoloji haritası (Yıldırım, M., 2002) .....	38
Şekil 4.3	İnceleme alanının jeoloji haritası (Yıldırım, M., 2002) .....	40
Şekil 4.4	Kuzey Anadolu Fayının oluşumu.....	44
Şekil 4.5	Türkiye'nin başlıca fayları.....	45
Şekil 4.6	Türkiye deprem bölgeleri haritası .....	46
Şekil 4.7	17 Ağustos 1999 depreminde kaydedilen maksimum yatay yer ivmeleri (%g).....	47
Şekil 5.1	Mikrobölgeleme çalışmasında kullanılan sondajların bölgedeki dağılımı .....	49
Şekil 5.2	Küçükçekmece Bölgesinde yapılan sondajlardan elde edilen zemin kesitleri ve SPT (N) değerlerinin derinlikle değişimi .....	51
Şekil 5.2	Küçükçekmece Bölgesinde yapılan sondajlardan elde edilen zemin kesitleri ve SPT (N) değerlerinin derinlikle değişimi (Devam).....	52
Şekil 5.2	Küçükçekmece Bölgesinde yapılan sondajlardan elde edilen zemin kesitleri ve SPT (N) değerlerinin derinlikle değişimi (Devam).....	53
Şekil 5.2	Küçükçekmece Bölgesinde yapılan sondajlardan elde edilen zemin kesitleri ve SPT (N) değerlerinin derinlikle değişimi (Devam).....	54
Şekil 5.2	Küçükçekmece Bölgesinde yapılan sondajlardan elde edilen zemin kesitleri ve SPT (N) değerlerinin derinlikle değişimi (Devam).....	55
Şekil 5.2	Küçükçekmece Bölgesinde yapılan sondajlardan elde edilen zemin kesitleri ve SPT (N) değerlerinin derinlikle değişimi (Devam).....	56
Şekil 5.2	Küçükçekmece Bölgesinde yapılan sondajlardan elde edilen zemin kesitleri ve SPT (N) değerlerinin derinlikle değişimi (Devam).....	57
Şekil 5.2	Küçükçekmece Bölgesinde yapılan sondajlardan elde edilen zemin kesitleri ve SPT (N) değerlerinin derinlikle değişimi (Devam).....	58
Şekil 5.2	Küçükçekmece Bölgesinde yapılan sondajlardan elde edilen zemin kesitleri ve SPT (N) değerlerinin derinlikle değişimi (Devam).....	59
Şekil 5.2	Küçükçekmece Bölgesinde yapılan sondajlardan elde edilen zemin kesitleri ve SPT (N) değerlerinin derinlikle değişimi (Devam).....	60
Şekil 5.2	Küçükçekmece Bölgesinde yapılan sondajlardan elde edilen zemin kesitleri ve SPT (N) değerlerinin derinlikle değişimi (Devam).....	61
Şekil 5.2	Küçükçekmece Bölgesinde yapılan sondajlardan elde edilen zemin kesitleri ve SPT (N) değerlerinin derinlikle değişimi (Devam).....	62
Şekil 5.2	Küçükçekmece Bölgesinde yapılan sondajlardan elde edilen zemin kesitleri ve SPT (N) değerlerinin derinlikle değişimi (Devam).....	63
Şekil 5.2	Küçükçekmece Bölgesinde yapılan sondajlardan elde edilen zemin kesitleri ve SPT (N) değerlerinin derinlikle değişimi (Devam).....	64
Şekil 5.2	Küçükçekmece Bölgesinde yapılan sondajlardan elde edilen zemin kesitleri ve SPT (N) değerlerinin derinlikle değişimi (Devam).....	65
Şekil 5.2	Küçükçekmece Bölgesinde yapılan sondajlardan elde edilen zemin kesitleri ve SPT (N) değerlerinin derinlikle değişimi (Devam).....	66
Şekil 5.3	Sondaj kesitlerinde kayma dalgası hızlarının derinlikle değişimi .....	72

Şekil 5.3	Sondaj kesitlerinde kayma dalgası hızlarının derinlikle değişimi (Devam).....	73
Şekil 5.3	Sondaj kesitlerinde kayma dalgası hızlarının derinlikle değişimi (Devam).....	74
Şekil 5.3	Sondaj kesitlerinde kayma dalgası hızlarının derinlikle değişimi (Devam).....	75
Şekil 5.3	Sondaj kesitlerinde kayma dalgası hızlarının derinlikle değişimi (Devam).....	76
Şekil 5.3	Sondaj kesitlerinde kayma dalgası hızlarının derinlikle değişimi (Devam).....	77
Şekil 5.3	Sondaj kesitlerinde kayma dalgası hızlarının derinlikle değişimi (Devam).....	78
Şekil 5.3	Sondaj kesitlerinde kayma dalgası hızlarının derinlikle değişimi (Devam).....	79
Şekil 5.3	Sondaj kesitlerinde kayma dalgası hızlarının derinlikle değişimi (Devam).....	80
Şekil 5.3	Sondaj kesitlerinde kayma dalgası hızlarının derinlikle değişimi (Devam).....	81
Şekil 5.3	Sondaj kesitlerinde kayma dalgası hızlarının derinlikle değişimi (Devam).....	82
Şekil 5.3	Sondaj kesitlerinde kayma dalgası hızlarının derinlikle değişimi (Devam).....	83
Şekil 5.3	Sondaj kesitlerinde kayma dalgası hızlarının derinlikle değişimi (Devam).....	84
Şekil 5.3	Sondaj kesitlerinde kayma dalgası hızlarının derinlikle değişimi (Devam).....	85
Şekil 5.3	Sondaj kesitlerinde kayma dalgası hızlarının derinlikle değişimi (Devam).....	86
Şekil 5.3	Sondaj kesitlerinde kayma dalgası hızlarının derinlikle değişimi (Devam).....	87
Şekil 5.4	Dinamik analiz sonucu bulunan spektral ivmelerin yerel zemin sınıfına ait tasarım ivme spektrumuyla karşılaştırılması .....	88
Şekil 5.4	Dinamik analiz sonucu bulunan spektral ivmelerin yerel zemin sınıfına ait tasarım ivme spektrumuyla karşılaştırılması (Devam).....	89
Şekil 5.4	Dinamik analiz sonucu bulunan spektral ivmelerin yerel zemin sınıfına ait tasarım ivme spektrumuyla karşılaştırılması (Devam).....	90
Şekil 5.4	Dinamik analiz sonucu bulunan spektral ivmelerin yerel zemin sınıfına ait tasarım ivme spektrumuyla karşılaştırılması (Devam).....	91
Şekil 5.4	Dinamik analiz sonucu bulunan spektral ivmelerin yerel zemin sınıfına ait tasarım ivme spektrumuyla karşılaştırılması (Devam).....	92
Şekil 5.4	Dinamik analiz sonucu bulunan spektral ivmelerin yerel zemin sınıfına ait tasarım ivme spektrumuyla karşılaştırılması (Devam).....	93
Şekil 5.4	Dinamik analiz sonucu bulunan spektral ivmelerin yerel zemin sınıfına ait tasarım ivme spektrumuyla karşılaştırılması (Devam).....	94
Şekil 5.4	Dinamik analiz sonucu bulunan spektral ivmelerin yerel zemin sınıfına ait tasarım ivme spektrumuyla karşılaştırılması (Devam).....	95
Şekil 6.1	İnceleme alanının mahalle bazında yerleşim planı .....	97
Şekil 7.1	Sismik kırılma deneyi sonuçlarına göre yerel zemin sınıfları .....	101
Şekil 7.2	Sondaj verileri değerlendirilerek elde edilen yerel zemin sınıfları .....	102
Şekil 7.3	Kayma dalgası hızının bölgedeki değişimi .....	103
Şekil 7.4	Dinamik analizlerle hesaplanan zemin büyütme oranlarının bölgedeki değişimi ..	104
Şekil 7.5	En Büyük İvmelerin Bölgedeki Değişimi .....	105
Şekil 7.6	Spektral İvmelerin Bölgedeki Dağılımı.....	106
Şekil 7.7	Hasar gören yapıların bölgedeki dağılımı ve hasar dereceleri .....	107
Şekil 7.8	Mahalle bazında hasar dağılımı .....	108
Şekil 8.1	Yerel zemin koşullarıyla oluşan hasarın karşılaştırılması .....	109
Şekil 8.2	Kayma dalgası hızları ile oluşan hasarın karşılaştırılması.....	110
Şekil 8.3	Zemin büyütme oranları ile oluşan hasarın karşılaştırılması.....	111
Şekil 8.4	En büyük ivmeler ile oluşan hasarın karşılaştırılması.....	112
Şekil 8.5	Spektral ivmelerle oluşan hasarın karşılaştırılması.....	113

## ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 2.1	Mikrobölgeleme uygulanan geoteknik olaylar ve çalışma aşamaları (TC4 of ISSMFE, 1993, 'Manual for zonation on seismic geotechnical hazards') .....	7
Çizelge 2.2	Jeolojik birimler ile sismik şiddet artırımı arasındaki ilişki .....	9
Çizelge 2.3	Jeolojik birimler ile göreceli arazi büyütmesi arasındaki ilişki .....	10
Çizelge 2.4	Quaterner çökelleri için kayma dalgası hızları (Lajoie ve Helley, 1975).....	10
Çizelge 2.5	Kayma dalgası hızına göre, zemin büyütmesine karşı davranışın sınıflandırılması (Finn, 1993).....	11
Çizelge 2.6	Penetrasyon deneylerinden elde edilen sonuçlar ile zemin özellikleri arasındaki ilişkiler .....	14
Çizelge 2.7	Penetrasyon deneylerinden elde edilen sonuçlar kullanılarak, kayma dalgası hızı hesabında kullanılan bazı eşitlikler .....	17
Çizelge 2.8	Kayma dalgası hızından yararlanılarak relatif zemin büyütme katsayılarının hesaplanması için geliştirilen bazı eşitlikler .....	18
Çizelge 3.1	Coğrafi bilgi Sistemlerinin (GIS) tanımlanması .....	30
Çizelge 5.1	Küçükçekmece bölgesinde yapılan sondajlar, koordinatları, derinlikleri ve YASS seviyeleri .....	50
Çizelge 5.2	Küçükçekmece Bölgesinde yapılan mikrotremor ölçümlerinden elde edilen sonuçlar .....	67
Çizelge 5.3	Sismik kırılma ölçümleri ile belirlenen dinamik zemin parametreleri .....	68
Çizelge 5.3	Sismik kırılma ölçümleri ile belirlenen dinamik zemin parametreleri (Devamı)69	
Çizelge 5.3	Sismik kırılma ölçümleri ile belirlenen dinamik zemin parametreleri (Devamı)70	
Çizelge 6.1	Ağırlıklı hasar hesabında kullanılan puanlama ölçeği .....	96
Çizelge 6.2	İnceleme alanında hasar gören binaların konumları ve hasar seviyeleri .....	98
Çizelge 6.2	İnceleme alanında hasar gören binaların konumları ve hasar seviyeleri (Devam) .....	99
Çizelge 6.3	Mahalle bazında ağırlıklı hasar dağılımı .....	100



## ÖNSÖZ

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde bilgi ve tecrübeleriyle bana yol gösteren tez danışmanım Sayın Prof.Dr. Sönmez YILDIRIM'a teşekkürü bir borç bilirim. Tez sırasında çalışmalarından yararlandığım sayın Prof.Dr. Kutay ÖZAYDIN'a ve Sayın Prof.Dr. Mustafa YILDIRIM'a teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca bu çalışma sırasında değerli yardımlarından yararlandığım Sayın Yrd.Doç.Dr. Mehmet BERİLGİN'e, Sayın Dr. Şükrü ÖZÇOBAN'a, Sayın Dr. Havvanur KILIÇ'a, Sayın İnş.Yük.Müh. Murat TONAROĞLU'na ve Sayın İnş.Yük. Müh. Pelin TOHUMCU'ya teşekkürü değerbilirliğimin gereği olarak görüyorum.

Ağustos, 2002

İnş. Müh. Şenol ADATEPE



## ÖZET

Deprem hareketi sırasında yapı hasarına neden olan en önemli etkenlerden biri de yerel zemin koşullarıdır. Bu nedenle özellikle sismik riski yüksek bölgelerde, yerel zemin koşullarındaki değişimin belirlenmesi büyük önem kazanmaktadır. Bu değişimin belirlenmesinde kullanılan en sağlıklı yöntemlerden biri mikrobölgelemedir. Mikrobölgeleme, bir bölgede yerel zemin koşullarındaki değişimin belirlenmesi amacı ile, bölgenin belirli ölçeklerde daha küçük alt bölgelere ayrılması olarak tanımlanabilir. Geoteknik mühendisliğinde şev stabilitesi, sıvılaşma ve zemin büyütmesi olmak üzere başlıca üç tür sorun için mikrobölgeleme yapılır. Yapılan bu mikrobölgelemelerde genelden özele doğru üç kademeli yöntem izlenir. Birinci derece mikrobölgelemede bölgenin var olan jeolojik, sismolojik, tektonik ve geoteknik veriler toplanarak incelenir. İkinci derece mikrobölgelemede ise arazi deneyleri ve mikrotremor ölçümleri yapılarak büyütme özellikleri belirlenir. Üçüncü derece mikrobölgelemede ise ilk iki yöntemden elde edilen ayrıntılı geoteknik veriler kullanılarak, sayısal ortamda dinamik modelleme yapılır. Ayrıca bölgedeki hasar verileri gözlenerek, yapılan mikrobölgeleme ile hasar arasındaki korelasyon araştırılmalı ve böylece yapılan çalışmanın doğruluğu denetlenmelidir. Elde edilen verilerin değerlendirilmesinde ve bölgedeki değişiminin gösterilmesinde değişik teknikler kullanılmakta olup, içerdiği sayısal, istatistiksel ve coğrafi sorgulama araçları nedeniyle Coğrafi Bilgi Sistemleri (GIS) diğerlerine göre daha çok kullanım alanı bulmaktadır.

Bu çalışma kapsamında, Küçükçekmece-Sefaköy yerleşim bölgelerinde, yerel zemin koşullarıyla oluşan hasar arasındaki ilişki araştırılarak, Coğrafi Bilgi Sistemleri ile zemin büyütmesine göre mikrobölgeleme çalışması yapılmıştır. Bu amaçla bölgede açılan 64 adet sondaj kuyusundan alınan zemin örnekleri incelenmiş, SPT deneyleri yapılmıştır. Bölge genelinde 30 noktada sismik kırılma deneyi yapılarak zemin özellikleri belirlenmeye çalışılmıştır. Ayrıca zeminlerin büyütme ve periyot özelliklerinin belirlenebilmesi amacıyla 11 noktada mikrotremor ölçümleri yapılmıştır. Elde edilen veriler EERA programıyla değerlendirilerek, zeminlerin dinamik davranış analizleri yapılmıştır. Yapılan bütün deneysel ve analitik çalışmalardan elde edilen büyütme parametreleri Coğrafi Bilgi Sistemlerine yüklenerek zemin büyütmelerine göre mikrobölgeleme çalışması yapılmıştır. Ayrıca bölgede gözlenen hasar verileri ile yapılan mikrobölgeleme karşılaştırılarak yapılan çalışmanın doğruluğu denetlenmiştir.

## ABSTRACT

One of the major factors affecting the vulnerability of engineering structures during earthquake is the local site conditions. For this reason, the investigation of the variation of local site conditions within a region of high seismicity has an importance effect on mitigating earthquake hazards. The best method to investigate and evaluate the variation of local site conditions within a region is to perform a microzonation study that investigates the local site conditions by dividing the region into small sub regions in certain scales. In geotechnical engineering, a microzonation study is chiefly conducted on the problems of slope stability, liquefaction likelihood and soil amplification. Microzonation study includes three stages to be followed. The first stage of microzonation involves the collection and investigation of the geotechnical, seismological data of the site. In the second stage of the study, the amplification characteristics are determined on the basis of in-situ tests and microtremor measurements performed at the site. Finally, the third stage involves the dynamic modeling in digital medium by utilizing the detailed geotechnical information gathered from the first and second stages. In addition, the correlation between the earthquake damages and the microzonation study should be assessed in order to verify the performed analysis. Although, there are many tools which are capable of evaluating the data obtained from the site and investigating the variation of local site conditions within a site, Geographical Information Systems (GIS) is a widespread and powerful tool for analyzing geographically and statistically referenced data.

In this study, a GIS based microzonation in provinces of Küçükçekmece and Sefaköy was performed with respect to soil amplification in order to investigate the correlation between local geotechnical site conditions and the structural damages that came about during the earthquake. For this purpose, the variation of local site conditions was investigated by means of 64 borings, Standard Penetration Tests and seismic refraction tests. Soil amplifications and predominant period were experimentally determined by microtremor measurements executed in different 11 points within the region. One dimensional site response program code EERA was used in order to analyze the dynamic behavior of soils. All dynamic parameters related with soil amplification obtained from experimental and analytical works were integrated in GIS and used for microzonation study with respect to soil amplification. The results obtained from GIS and structural damage distributions were compared with each other in order to verify the performed analysis.

## 1. GİRİŞ VE ÇALIŞMANIN AMACI

### 1.1 Giriş

Deprem yükleri altında yapıların hasar görmesine neden olan en önemli faktörlerden birisi de yerel zemin koşullarıdır. Zeminin geoteknik özelliklerinin bölge içinde farklılıklar göstermesi meydana gelen hasarın da değişiklikler göstermesine neden olur. Bu nedenle deprem riski yüksek olan bölgelerde yerel zemin koşullarının araştırılması, deprem sırasında yapının davranışının daha gerçekçi olarak değerlendirilmesi ve meydana gelebilecek hasarların en aza indirilmesi açısından büyük öneme sahiptir. Mikrobölgeleme, yerel zemin koşullarının belirlenmesinde en iyi yöntemlerden biri olup, yerleşime açılacak bölgelerde planlamaların yapılması veya mevcut yerleşim alanlarında meydana gelecek bir deprem sırasında oluşabilecek hasar potansiyelinin belirlenmesi amacı ile, özellikle deprem riski yüksek bölgelerde zeminlerin mühendislik özelliklerinin incelenerek, yerel zemin koşullarının bölge içerisindeki değişiminin belirlenmesi olarak tanımlanabilir. Geoteknik mühendisliğinde zemin büyütmeleri, şev stabilitesi ve sıvılaşma olmak üzere üç tür sorun için mikrobölgeleme yapılır. Bu olaylar için mikrobölgeleme yapılırken, genelden detaya doğru üç aşamalı yöntem uygulanır. Örneğin zemin büyütmelerine göre bir mikrobölgeleme çalışmasında, yerel zemin koşullarındaki değişimin zemin büyütmesi üzerindeki etkisi belirlenir. Bu amaçla birinci derece mikrobölgeleme çalışmasında, bölgenin jeolojik, sismolojik, tektonik ve geoteknik özellikleri incelenerek yerel koşullardaki değişimin büyütme üzerindeki etkisi belirlenir. İkinci derece mikrobölgelemede ise ayrıntılı geoteknik incelemeler yürütülerek arazi ve laboratuvar deneyleri yapılır ve mikrotremor ölçümleri alınır. Arazi deneylerinden bulunan SPT-N değeri veya koni uç direnci gibi parametreler ile kayma dalgası hızının değişimi gösterilerek, yerel zemin koşullarındaki değişimin büyütme üzerindeki etkisi belirlenir. Üçüncü derece mikrobölgelemede ise ilk iki yöntemde elde edilen sonuçlar kullanılarak mühendislik özellikleri belirlenen zeminin, bir boyutlu, iki boyutlu veya üç boyutlu analizler ile dinamik etkiler altındaki davranışı modellenerek, yerel zemin koşullarındaki değişim ile zemin büyütmesi arasındaki ilişki sayısal ortamda sunulur. Yapılan bu üç aşamalı mikrobölgeleme çalışmasından elde edilen sonuçlar ile bölgede oluşan hasar verileri karşılaştırılarak yapılan çalışmaların doğruluğu denetlenmelidir. Özetle sağlıklı bir mikrobölgeleme çalışmasında bölgedeki hasarın sağlıklı bir gözlemle belirlenmesi büyük önem kazanmaktadır.

Mikrobölgeleme çalışmaları ve bu çalışmalardan elde edilecek sonuçların görsel olarak sunulmasında değişik programlar kullanılmakta olup, bunlar içerisinde GIS (Coğrafi Bilgi Sistemleri), hem CAD hem de veri tabanı işlemlerini bünyesinde toplayan ve özellikle coğrafi bazlı verilerin modellenmesinde önemli üstünlükleri olan yazılımlar olarak son yıllarda kullanımı gittikçe yaygınlaşmaktadır. Coğrafi Bilgi Sistemleri (GIS), coğrafi bazlı verilerin veritabanı operasyonlarını yöneten, istenilen parametrelere göre oluşturulan modellerin görsel olarak sunumunu sağlayan sayısal bilgi sistemleri olup, içerdikleri matematiksel, istatistiksel ve coğrafi araçlar sayesinde, elde edilen verilerle coğrafi konum arasında bağlantı kuran, gerçekleştirdiği sorgulamalar ve model çözümler ışığında ileriye dönük planlama ve tasarım çalışmalarına yön gösterecek bilgilerin sayısal ortamda depolanmasını sağlayan yazılımlardır. Bu çalışma kapsamında yapılacak ikinci ve üçüncü derece mikrobölgelemede, zemin büyütmesinin bölgedeki dağılımının modellenmesinde ve oluşan hasarla büyütme arasındaki ilişkinin gösterilmesinde en uygun metodun GIS olduğu düşünülerek bu yöntem tercih edilmiştir.

## 1.2 Çalışmanın Amacı

Bu çalışmanın amacı Küçükçekmece ve Sefaköy yerleşim bölgelerinde Coğrafi Bilgi Sistemleri (GIS) kullanılarak mikrobölgeleme yapmaktır. Mikrobölgelemede, kapsamlı olarak arazi deneylerinden yararlanılan ikinci derece yöntemler ile sayısal analizlerin yapıldığı üçüncü derece yöntemler kullanılmıştır.

Bu çalışmada Yıldız Teknik Üniversitesi Geoteknik Anabilim Dalı tarafından yürütülen Küçükçekmece ve Sefaköy yerleşim alanlarının, yerleşime uygunluk açısından değerlendirilmesi projesi kapsamında yapılan sondajlardan ve mikrotremor ölçümlerinden yararlanılmıştır. Bölgede derinlikleri 12 m ile 40 m arasında değişen 64 adet sondaj yapılmıştır. Sondaj loglarından yararlanılarak SPT-N değerlerinin derinlikle değişimi belirlenmiş, ağırlıklı ortalamaları alınarak her sondaj için eşdeğer SPT-N değerleri hesaplanmıştır. Bu ortalama değerler kullanılarak literatürdeki bağıntılar yardımıyla eşdeğer kayma dalgası hızı ve büyütme katsayıları hesaplanmıştır. Bölge genelinde 30 adet sismik kırılma deneyi yapılarak yüzeye yakın tabakaların boyuna ve enine dalga hızları ( $V_p$  ve  $V_s$ ) ve bazı dinamik zemin özellikleri hesaplanmıştır. Ayrıca 11 noktada yapılan mikrotremor ölçümleri sonuçları Nakamura yöntemine göre değerlendirilerek zeminlerin büyütme ve periyot özellikleri belirlenmeye çalışılmıştır. Zeminlerin dinamik yükler altındaki davranışı, yapılan deneysel çalışmalardan elde edilen veriler kullanılarak sayısal ortamda analiz

edilmiştir. Bu analiz için EERA programından yararlanılmıştır. Dinamik analizlerde ana deprem kaydı olarak 17 Ağustos 1999 Körfez depremi ana kaydı kullanılarak (fay hattına olan uzaklık dikkate alınarak), 64 noktada yüzeyde ivme kayıtları hesaplanmıştır. Böylece bölgede zeminlerin gösterdiği dinamik davranış sayısal olarak belirlenmiştir.

Çalışmalardan elde edilen tüm sonuçlar Coğrafi Bilgi Sistemine aktarılmıştır. Bu veriler GIS araçlarından yararlanılarak analiz edilerek bölgenin mikrobölgelemesi yapılmıştır. Ayrıca bölgedeki hasar verileri de Coğrafi Bilgi Sistemine yüklenmiş ve yerel zemin koşulları ile hasar arasındaki ilişki mikrobölgeleme çalışması çerçevesinde ortaya konulmaya çalışılmıştır.



## 2. GEOTEKNİK MÜHENDİSLİĞİNDE MİKROBÖLGELEME

### 2.1 Mikrobölgelemenin Tanımı

Mikrobölgeleme ile ilgili kaynaklarda değişik araştırmacılar tarafından verilmiş çok sayıda tanım bulunmaktadır. Bunlardan bazıları şöyle özetlenebilir. Mikrobölgeleme, dinamik yükler altında zeminin gösterdiği davranışa veya oluşan göçmelere göre bir coğrafi bölgenin daha küçük bölgelere ayrılmasıdır (Hays,1980). Nigg (1982) mikrobölgelemeyi, depremden sonra oluşabilecek hasarın en aza indirgenebilmesi için riski yüksek olan bölgelerin daha küçük bölgelere bölünmesi olarak tanımlamıştır. Mikrobölgeleme ile ilgili en geniş kapsamlı tanımlardan biri Sherif (1982) tarafından yapılmıştır. "Mikrobölgelemenin genel amacı deprem hasarlarını en aza indirmek için doğru arazi kullanımını sağlamaktır. Arazilerin bir plan çerçevesinde düzenli olarak kullanılabilmesi için mikrobölgeleme, jeolojik, sismolojik ve geoteknik etkenleri göz önüne alarak, uygun yerleşim alanlarının oluşturulması ile ilgilendir. Böylece mühendisler deprem sırasında hasarın en az olabileceği bölgelerde tasarım yapma şansına kavuşmuş olacaklardır. Mikrobölgelemede amaç sadece yeni yerleşim bölgelerinin planlanması değildir, mevcut yapılarda da oluşabilecek hasara karşı gerekli tedbirlerin alınması amaçlanır. Bu nedenle sağlıklı bir mikrobölgeleme çalışması mevcut binalardaki hasar potansiyelinin belirlenmesi için gerekli bilgilerle donatılmış olmalıdır." Olshansky ve diğ. (1991) mikrobölgeleme için sismik tehlikeyi gösterecek şekilde bölgenin anlamlı ölçeklerde coğrafi olarak daha küçük bölgelere ayrılması şeklinde bir tanım vermişlerdir. 1994 yılında Klohn-Cripper Consultants Ltd. şirketi tarafından British Columbia için hazırlanan bir raporda mikrobölgeleme, tarihi ve tahmini deprem şiddetine göre bir bölgenin alt bölgelere ayrılması olarak tanımlanmıştır.

Mikrobölgeleme özellikle 1985 Mexico ve 1989 Loma Prieta depremlerinden sonra yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Mikrobölgeleme çalışmalarına ışık tutması açısından 1993 yılında ISSMFE TC4 üyeleri tarafından başlıca üç geoteknik olay için (zemin büyütmesi, sıvılaşma, şev stabilitesi) mikrobölgeleme prensiplerinin anlatıldığı bir el kitabı ('Manual for zonation on seismic geotechnical hazards' December, 1993) hazırlanmıştır.

### 2.2 Mikrobölgelemenin Temel Kuralları

Deprem sırasında fay sistemlerinde biriken gerilmelerin aniden boşalması, mekanik enerjiye dönüşerek depremin odağından başlayarak bütün yönlerde cisim dalgası (P ve S dalgaları) olarak yayılır. Bu dalgalar yüzeye ulaştıklarında periyotları daha uzun olan yüzey dalgaları

(Love ve Rayleigh) meydana getirirler. Bu sismik dalgalar (cisim ve yüzey dalgaları) altında yapı ve zemin sahip oldukları periyot ile salınırlar. Zemin ve üzerindeki yapının yaklaşık olarak eşit periyotlarda salınması, yapı hasarını önemli ölçüde artıran zemin-yapı rezonansına neden olur. Bu durumda depremin karakteri (kaynak, izlenen yol ve arazi özellikleri), yer hareketinin yapı davranışı üzerindeki etkisini kontrol eden en önemli etkeni oluşturur. Bu yüzden mikrobölgeleme bölgenin sismolojik özelliklerinin belirlenmesi, deprem kaynak özelliklerinin tanımlanması, fay hatlarının yerlerinin belirlenmesi, tektonik ve jeolojik yapının belirlenmesi ile başlar. (Ansal ve Marcellini, 1998).

Yerel zemin koşulları ve zeminlerin geoteknik özellikleri ise yer hareketinin yapı davranışına olan etkisini kontrol eden ikinci grup etkenleri oluştururlar. Yer hareketi, birinci ve ikinci grup etkenlerin etkileşimi sonucu bir noktadan diğer bir noktaya önemli derecede fark gösterebileceğinden, mikrobölgeleme çalışması bölgenin yerel zemin koşullarının araştırılması ve zemin davranışının ortaya konulması ile devam eder.

Yer hareketinin yapı davranışı üzerine etkisini kontrol eden üçüncü grup etken ise yapı özellikleridir. Deprem sırasında yapılarda oluşan hasar, depremin özellikleri, yerel zemin koşulları ve yapı özelliklerinin bir göstergesi olduğundan, mikrobölgeleme çalışması yapısal hasarların belirlenmesi ve belirtilen nedenlerle olan ilişkilerinin araştırılması ile tamamlanır.

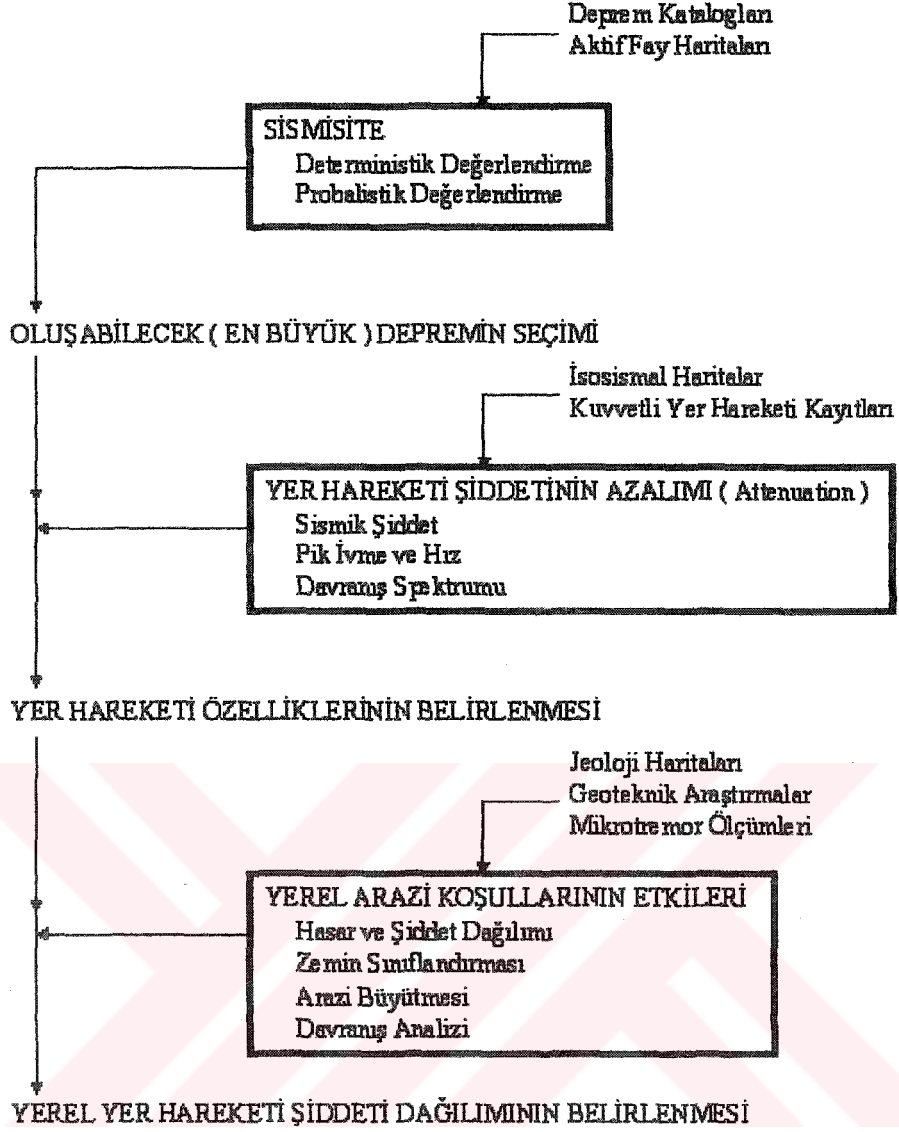
Buna göre bir mikrobölgeleme çalışması sırasında Şekil 1'de gösterilen akış diyagramından faydalanılabilir.

### **2.3 Geoteknik Mühendisliğinde Mikrobölgelemenin Uygulama Alanları**

Geoteknik mühendisliğinde, zemin büyümesi, şev stabilitesi ve sıvılaşma olmak üzere üç tür sorun için mikrobölgeleme yapılır. Çalışmalardaki ayrıntıya göre üç aşamalı bir yaklaşımla mikrobölgeleme çalışması yürütülür. Çizelge 2.1' de geoteknik mühendisliğinde mikrobölgeleme yapılan olaylar ve bölgeleme sırasında yapılacak çalışmalar kısaca özetlenmektedir.

Yapılan tüm bu çalışmalar sonucu elde edilen sonuçların görsel olarak sunumu, klasik haritalama teknikleri kullanılarak el ile yapılabileceği gibi son yıllarda geniş uygulama alanı bulan GIS ( Coğrafi Bilgi Sistemleri ) yardımıyla da yapılabilir.





Şekil 2.1 Mikrobölgeleme çalışması sırasında izlenebilecek yol

Bu tez kapsamında zemin büyütmesine göre mikrobölgeleme çalışması yapılması amaçlanmıştır. Bu çalışma sırasında yapılan arazi penetrasyon deneyleri ve mikrotremor ölçümleri yardımıyla, zemin tabakalarının dinamik yükler altında büyütme özelliklerinin belirlenmesini sağlayan ikinci derece mikrobölgeleme yöntemleri ile dinamik davranış analizini içeren üçüncü derece mikrobölgeleme yöntemleri kullanılmıştır. Bu yöntemler yardımıyla bulunan sonuçlar Coğrafi Bilgi Sistemleri yardımıyla değerlendirilerek sunulmuştur.

Çizelge 2.1 Mikrobölgeleme uygulanan geoteknik olaylar ve çalışma aşamaları (TC4 of ISSMFE, 1993, 'Manual for zonation on seismic geotechnical hazards')

	1. Derece Mikrobölgeleme (Genel Bölgeleme)	2. Derece Mikrobölgeleme (Ayrıntılı Bölgeleme)	3. Derece Mikrobölgeleme (Daha Ayrıntılı Bölgeleme)
<b>Zemin Büyütmesi</b>	<input type="checkbox"/> Tarihi depremler <input type="checkbox"/> Bölgenin jeolojik ve tektonik yapısını gösteren haritalar <input type="checkbox"/> Bölge halkı ile görüşmeler	<input type="checkbox"/> Geoteknik incelemeler <input type="checkbox"/> Mikrotremor ölçümleri	<input type="checkbox"/> Detaylı geoteknik incelemeler <input type="checkbox"/> Zemin davranışının analizi <input type="checkbox"/> Zemin tabakalarının 1 ve 2 boyutlu analizi
<b>Şev Stabilitesi</b>	<input type="checkbox"/> Tarihi depremler <input type="checkbox"/> Bölgenin jeolojik ve tektonik yapısını gösteren haritalar <input type="checkbox"/> Bölge halkı ile görüşmeler	<input type="checkbox"/> Hava fotoğrafları ve uzaktan algılama <input type="checkbox"/> Arazi çalışmaları <input type="checkbox"/> Bölgenin hidrolojik özellikleri ve bitki örtüsü	<input type="checkbox"/> Detaylı geoteknik incelemeler <input type="checkbox"/> Şev stabilitesi analizleri
<b>Sıvılaşma</b>	<input type="checkbox"/> Tarihi depremler <input type="checkbox"/> Bölgenin jeolojik ve tektonik yapısını gösteren haritalar <input type="checkbox"/> Bölge halkı ile görüşmeler	<input type="checkbox"/> Hava fotoğrafları ve uzaktan algılama <input type="checkbox"/> Arazi çalışmaları <input type="checkbox"/> Bölge halkı ile görüşmeler	<input type="checkbox"/> Detaylı geoteknik incelemeler <input type="checkbox"/> Sıvılaşma analizleri
<b>Harita Ölçeği</b>	1/1000000 – 1/50000	1/100000 – 1/10000	1/25000 – 1/5000

#### 2.4 Zemin Büyütmesine Göre Mikrobölgeleme Tekniği

Zemin büyütmesi, deprem dalgalarının kalın, yumuşak/gevşek zemin tabakaları içinden geçerken genliklerinde meydana gelen artış olarak tanımlanabilir. Zemin büyütmesine göre mikrobölgeleme çalışmasında ilk önce, bölgenin jeolojik, sismolojik, tektonik ve geoteknik özelliklerini gösteren mevcut harita ve bilgiler toplanır. Daha sonra geoteknik incelemeler ve mikrotremor ölçümleri yapılarak yerel zemin koşulları hakkında ayrıntılı bilgiler elde edilir. Üçüncü ve son aşamada ise ilk iki aşamada mühendislik özellikleri belirlenen zeminin, bir boyutlu, iki boyutlu ve üç boyutlu analizler yardımıyla deprem etkisi altındaki davranışı modellenmeye çalışılır.

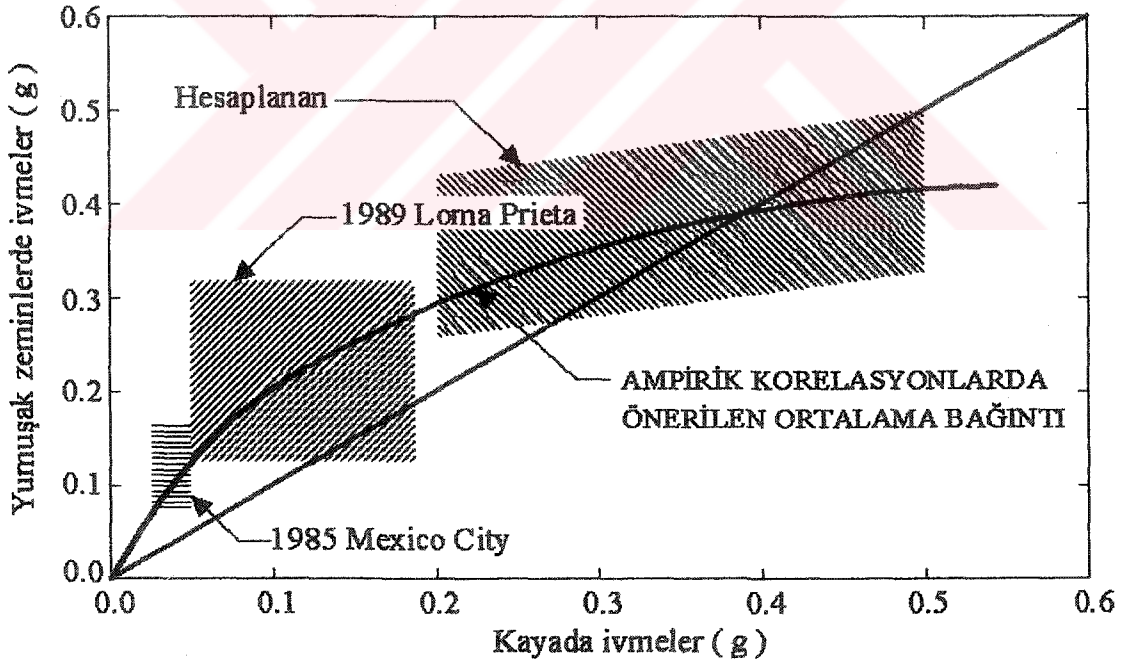
##### 2.4.1 Birinci Derece Mikrobölgeleme

Birinci derece mikrobölgeleme çalışmasına bölgenin sismolojik özellikleri belirlenerek başlanır. Sismik veriler tarihi depremlerden ve aletsel deprem kayıtlarından elde edilir. Daha sonra bölgenin jeolojik ve tektonik yapısını gösteren bilgiler toplanır. Bu tür veriler, bölgenin jeolojisini gösteren haritalardan, hava fotoğraflarından, genel arazi incelemelerinden ve mevcut sondaj loglarından elde edilir. Toplanan sismik veriler kullanılarak depremlerin oluş aralıkları belirlenir. Bir bölgede geçmişte yaşanan şiddetli bir deprem varsa, bölgenin

gelecekte de en az aynı şiddette bir depremle karşı karşıya kalacağı gerçeği, sismolojik veriler değerlendirilirken unutulmamalıdır.

Toplanan tüm bu veriler kullanılarak değerlendirme yapılırken geçmişte yapılan çalışmalardan yararlanılarak zemin büyütmeleri hakkında değerlendirmeler yapılabilir. Bunun için değişik araştırmacılar tarafından verilmiş, jeolojik birimler ile sismik şiddet artırımı ve göreceli arazi büyütmesi arasındaki ilişkileri gösteren Çizelge 2.2 ve Çizelge 2.3'ten yararlanılabilir. Jeolojik verilerin değerlendirilmesinde başka bir yaklaşım da kayma dalgası hızına göre zeminlerin sınıflandırılmasıdır. Bu amaçla Çizelge 2.4'te Lajoie ve Helley (1975) tarafından San Fransisco Bay bölgesindeki farklı quaterner çökelleri için verilen kayma dalgası hızları ve Finn(1993)'e göre Çizelge 2.5'te verilen sınıflandırmadan yararlanılabilir.

Ancak bu değerlendirmeler yapılırken yumuşak zeminlerin her zaman deprem ivmelerini büyütmedikleri unutulmamalıdır. Şekil 2.2'de Idriss (1990) tarafından verilen büyütme grafiğinde görüldüğü gibi yumuşak killer en büyük ivmeleri, 0.4g mertebesine kadar büyütmektedirler. Bundan sonra ise zeminlerin büyük gerilmeler altında gösterdikleri doğrusal olmayan davranış nedeniyle söntüleme etkisi görülmektedir.



Şekil 2.2 Kaya ve yumuşak zemin alanlarında ivmelerin değişimi (Idriss, 1990)

Çizelge 2.2 Jeolojik birimler ile sismik şiddet artırımını arasındaki ilişki

JEOLJİK BİRİM	ŞİDDET ARTIRIMI
<b>Medvedev (1962), M.S.K Ölçeği</b>	
Granit	0
Kireçtaşı, Kumtaşı, Şeyl	0.2 – 1.3
Jips, Marn	0.6 – 1.4
Kaba Daneli Zeminler	1.0 – 1.6
Kumlu Zeminler	1.2 – 1.8
Killi Zeminler	1.2 – 2.1
Dolgu Zeminler	2.3 – 3.0
Islak Zeminler (Çakıl, Kum, kil)	1.7 – 2.8
Islak Dolgu ve Toprak ( Bataklık )	3.3 – 3.9
<b>Evernden ve Thompson (1985), M.M. Ölçeği</b>	
Granit ve Metamorfik Kayalar	0
Paleozoyik Kayalar	0.4
Erken Mezozoik Kayalar	0.8
Kraterler ve Eosen Kayalar	1.2
Kırksız Tersiyer Kayalar	1.3
Oligosen ve Pliosen Kayalar	1.5
Pliosen-Pleistosen Kayalar	2.0
Tersiyer Volkanik Kayalar	0.3
Kuvaterner Volkanik Kayalar	0.3
Alüvyon ( Su Seviyesi < 9 m )	3.0
( 9 m < Su Seviyesi < 30 m )	2.0
( 30 m < Su Seviyesi )	1.5
<b>Kagami ve Diğ. (1986), J.M.A. Ölçeği</b>	
Yamaç Birikintisi	0
Andezit	0
Çakıl	0.2
Nehir Birikintisi	0.4
Volkan Külü	0.5
Kumlu Silt	0.7
Killi Silt	0.8
Silt	1.0
Turba Zeminler	0.9
<b>Astroza ve Monge (1991), M.S.K. Ölçeği</b>	
Granit Kaya	0
Volkanik Pumisitik Killer	1.5 – 2.5
Çakıl	0.5 – 1.0
Kolluvyon	1.0 – 2.0
Lakustrin Birikintileri	2.0 – 2.5

Çizelge 2.3 Jeolojik birimler ile göreceli arazi büyütmesi arasındaki ilişki

JEOLOJİK BİRİM	RELATİF BÜYÜTME FAKTÖRÜ
<b>Borchert ve Gibbs ( 1976 )</b>	
Körfez Çamuru	11.2
Alüvyon	3.9
Santa Clara Formasyonu	2.7
Great Valley Katmanları	2.3
Francisca Formasyonu	1.6
Granit	1.0
<b>Shima ( 1978 )</b>	
Turba	1.6
Humuslu Toprak	1.4
Kil	1.3
Loam	1.0
Kum	0.9
<b>Midorikawa ( 1987 )</b>	
Halosen	3.0
Pleistosen	2.1
Kuvaterner Volkanik Kayalar	1.6
Miyosen	1.5
Tersiyer Öncesi	1.0

Çizelge 2.4 Quaterner çökelleri için kayma dalgası hızları (Lajoie ve Helley, 1975)

JEOLOJİK FORMASYON	DANE ÇAPI	Kayma Dalgası Hızı, $V_s$ , m/s	
		Ortalama Değer	Standart Sapma
Holosen	İnce	200	20
	Orta	230	30
	Kaba	320	25
	Daha Kaba	365	20
Pleistosen	İnce	305	50
	Orta	430	115
	Kaba	495	85
	Daha Kaba	650	155

Çizelge 2.5 Kayma dalgası hızına göre, zemin büyütmesine karşı davranışın sınıflandırılması ( Finn, 1993 )

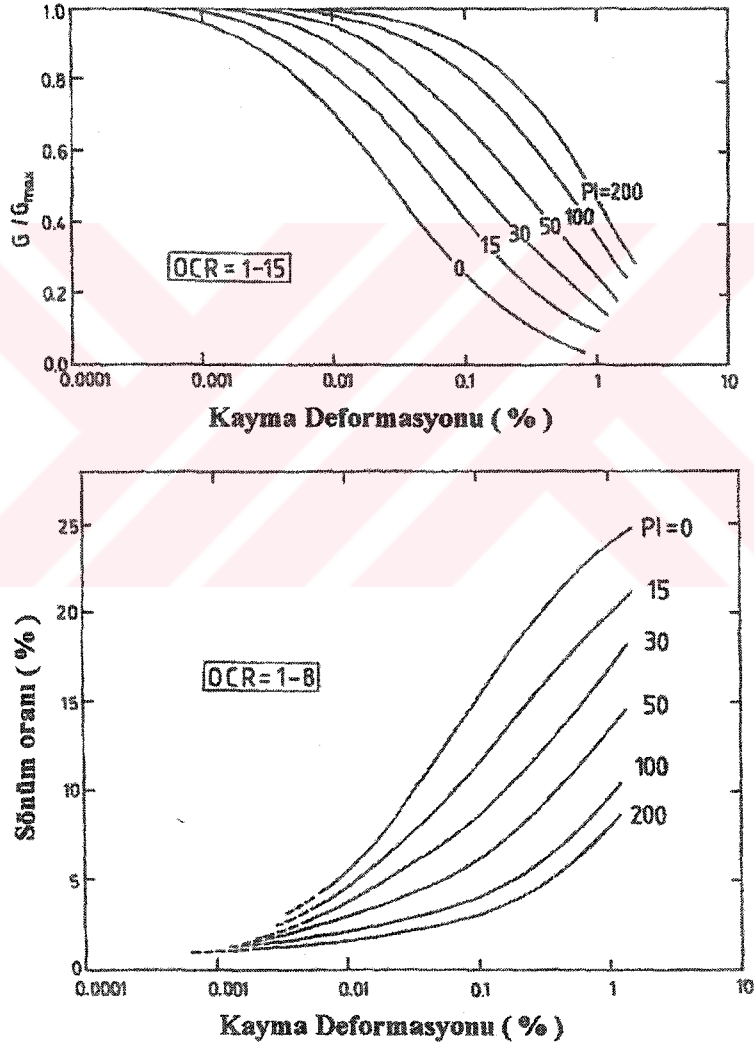
Zemin Grubu	Genel Tanım	Ortalama Kayma Dalgası Hızı, $V_s$ , m/s	Büyütme Potansiyeli
A	Kaya	$V_{ort} > 750$	Yok
B	Derin kohezyonsuz zeminler, katı kohezyonlu zeminler yada ikisinin karışımından oluşan zeminler	$360 < V_{ort} < 760$	Düşük
C	Kum, silt ve/veya sıkı/çok katı kil, bazı çakıllar, kalınlığı 3m'den küçük yumuşak kil tabakaları	$180 < V_{ort} < 360$	Orta
D <sub>1</sub>	Kalınlığı ( $H_c$ ) az ve yumuşak veya orta sıkı kil içeren tabakalar	$V_{ort} < 180$ , ve/veya $3 \text{ m} < H_c < 15 \text{ m}$	Yüksek
D <sub>2</sub>	Kalınlığı ( $H_c$ ) fazla ve yumuşak veya orta katı kil içeren tabakalar	$V_{ort} < 180$ , ve/veya $15 \text{ m} < H_c < 35 \text{ m}$	Yüksek
E <sub>1</sub>	Turba yada organik madde oranı yüksek killer	$H_p > 3 \text{ m}$	Çok Yüksek
E <sub>2</sub>	Yüksek plastisiteli killer	$H_{cp} > 7 \text{ m}$ ve $PI < \%75$	Çok Yüksek
E <sub>3</sub>	Çok kalın ( $H_c$ ) yumuşak veya orta katı kil içeren tabakalar	$H_c > 35 \text{ m}$	Çok Yüksek

#### 2.4.2 İkinci Derece Mikrobölgeleme

İkinci derece mikrobölgeleme çalışması, birinci aşamada bulunan büyütme değerlerinin bölgedeki dağılımının daha sağlıklı bir şekilde belirlenebilmesi için yapılan deneysel çalışmaları ve analizleri içerir. Bunun için bölgede açılan sondajlar incelenerek ayrıntılı geoteknik incelemeler yapılır. Sondajlar sırasında yapılan penetrasyon deneylerinden (SPT ve CPT) elde edilen sonuçlar kullanılarak, amprik eşitlikler yardımıyla veya yerinde yapılan ölçümler ile kayma dalgası hızı dolayısı ile zemin büyütmesi hesaplanır. Bölgede yapılan mikrotremor ölçümleri ile zemin periyotlarının ve büyütmelerin bölgedeki değişimi belirlenmeye çalışılır. Bütün bu çalışmalar sonucu elde edilen veriler, deprem yükleri altında zemin davranışının modelleneceği üçüncü derece bölgeleme çalışmasında kullanılabilir şekilde düzenlenir.

### 2.4.2.1 Ayrıntılı Geoteknik İncelemeler

İkinci derece bölgelemede yapılan ayrıntılı geoteknik incelemeler; laboratuvar deneyleri ve arazi deneyleri olarak ikiye ayrılabilir. Laboratuvar deneyleri ile zeminlerin indeks özellikleri ve kayma mukavemeti parametreleri ( statik ve dinamik ) belirlenir. Bölgelemede zeminlerin deprem yükleri altındaki davranışı dikkate alındığından, zeminlerin dinamik özelliklerinin belirlenmesi daha fazla önem kazanmaktadır. Vucestic ve Dobry (1991) tarafından yapılan bir araştırmada, zeminlerin en önemli dinamik özellikleri olan, maksimum kayma modülü ( $G_{max}$ ) ve sönüm oranı (D) ile birim kayma deformasyonu arasındaki ilişki plastisite indeksinin değişimi de göz önüne alınarak ayrıntılı olarak incelenmiştir. Araştırmacılar tarafından elde edilen sonuçlar Şekil 2.3'te verilmiştir.



Şekil 2.3 Kayma modülü ve sönüm oranının, kayma deformasyonu ile değişimi üzerine plastisite indeksinin etkisi, (Vucestic ve Dobry, 1991)

Bu tez kapsamında yapılan mikrobölgeleme çalışmasında, yerel zemin koşullarındaki değişikliklerin belirlenmesinde temel olarak arazi deneylerinden yararlanıldığından bu konu daha geniş ele alınacaktır. Zeminlerin mühendislik özellikleri arazi deneyleri ile yerinde belirlenirken, ilk 30 m içindeki zeminlerin mühendislik özelliklerinin, deprem sırasında yapı davranışını önemli ölçüde etkilediği unutulmamalıdır. Deprem dalgalarının özelliklerinin derinlikle değişimi üzerinde Power ve diğ. (1986) tarafından Japon aşağı kuyu kayıt şebekelerinden alınan kayıtların SHAKE programı ile analizi sonucu, en büyük ivme değerinin değişiminde ilk 10-20 m derinlikteki yüzey tabakalarının önemli bir etkisi olduğu görülmüştür. Ansal ve Diğ. (1994) tarafından Erzincan depremiyle ilgili yapılan çalışmada en büyük ivme değerlerinin değişiminde yüzey tabakalarının yanı sıra, 25-30 m derinlikte yer alan katı kıvamdaki tabakaların da etkili olduğu görülmüştür. Yapılan bu çalışmalar, zeminlerin mühendislik özelliklerinin arazi deneyleri ile belirlenmesi çalışmalarında ilk 30 m'lik derinliğin kritik bir derinlik olduğunu, açılacak sondajların ve yapılacak incelemelerin en az bu derinlik için olması gerektiğini ortaya koymaktadır.

Mikrobölgeleme amaçları için arazide çoğunlukla penetrasyon deneyleri (SPT ve CPT) yapılır. Standart Penetrasyon Deneyi (SPT) ile elde edilen SPT-N değeri, kaynaklarda verilen bağıntılar yardımıyla kayma dalgası hızının hesaplanmasında kullanılır. Ayrıca SPT-N değerinin derinlikle değişimine bakılarak zemin rijitliği dolayısıyla da zemin büyütmesi hakkında değerlendirme yapılabilir. Koni Penetrasyon Deneyi (CPT) sonucu elde edilen uç mukavemeti de kayma dalgası hızının belirlenmesinde kullanılabilir ancak bu konudaki bağıntılar oldukça sınırlı sayıdadır. Penetrasyon deneylerinden elde edilen sonuçlar kullanılarak, zemin özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan bazı bağıntılar Çizelge 2.6'da verilmiştir.



Çizelge 2.6 Penetrasyon deneylerinden elde edilen sonuçlar ile zemin özellikleri arasındaki ilişkiler

Özellik	Araştırmacılar	Eşitlik	Açıklama
Maksimum Kayma Modülü ( $G_0$ )	Ohsaki ve Iwasaki (1973)	$G_0 = a(N_{SPT})^b$	Japon uygulamaları
	Bellotti ve diğ. (1986)	$G_0 = 400(P_a)e^{(1.39D_r)}\left(\frac{P'}{P_a}\right)^{0.43}$	Ticino kumu
Relatif Sıkılık ( $D_r$ )	Meyerhof (1957)	$D_r = 21 \cdot \sqrt{\frac{N_{78}}{\left(\frac{P'}{P_a} + 0.7\right)}}$	Japon standartları
	Tokimatsu ve Yoshimi (1983)	$D_r = 21 \cdot \sqrt{\frac{N_{78}}{\left(\frac{\sigma'_{v_0}}{P_a}\right)} + \frac{F}{1.7}}$	Japon standartları
	Skempton (1986)	$D_r \cong \sqrt{\frac{(N_{160})}{C}}$	C= 65 (Kaba) C= 60 (Orta) C= 55 (İnce)
	Kulhawy ve Mayne (1990)	$\frac{N_{160}}{(D_r)^2} = 60 + 25 \log(D_{50})$	Normal konsolide kumlar
Kayma Mukavemeti Açısı ( $\phi$ )	Schmertmann (1975)	$\phi = \text{tg}^{-1} \left[ \frac{N_{SPT}}{12.2 + 20.3 \frac{\sigma'_{v_0}}{P_a}} \right]$	Derinlik >1m
	Robertson ve Campanella (1983)	$\phi = \text{tg}^{-1} \left[ 0.1 + 0.38 \log \left( \frac{q_c}{\sigma'_{v_0}} \right) \right]$	

#### 2.4.2.2 Mikrobölgelemede Kayma Dalgası Hızının Önemi

Kayma dalgası hızı, zeminlerin en önemli dinamik özelliğidir. Zeminlerin rijitlikleri hakkında doğrudan bilgi verdiği için, büyüme analizlerinde de doğrudan kullanılır. Bu nedenle zemin büyütmesine göre yapılan ikinci derece mikrobölgeleme çalışmasında kayma dalgası hızının belirlenmesi temel amaçtır. Zeminlerde kayma dalgası hızını etkileyen başlıca etkenler; zemin türü, derinlik, jeolojik yük, aşırı konsolidasyon oranı ve boşluk oranıdır. Ayrıca plastisite indeksi de maksimum kayma modülü, dolayısıyla da kayma dalgası hızı üzerinde önemli rol

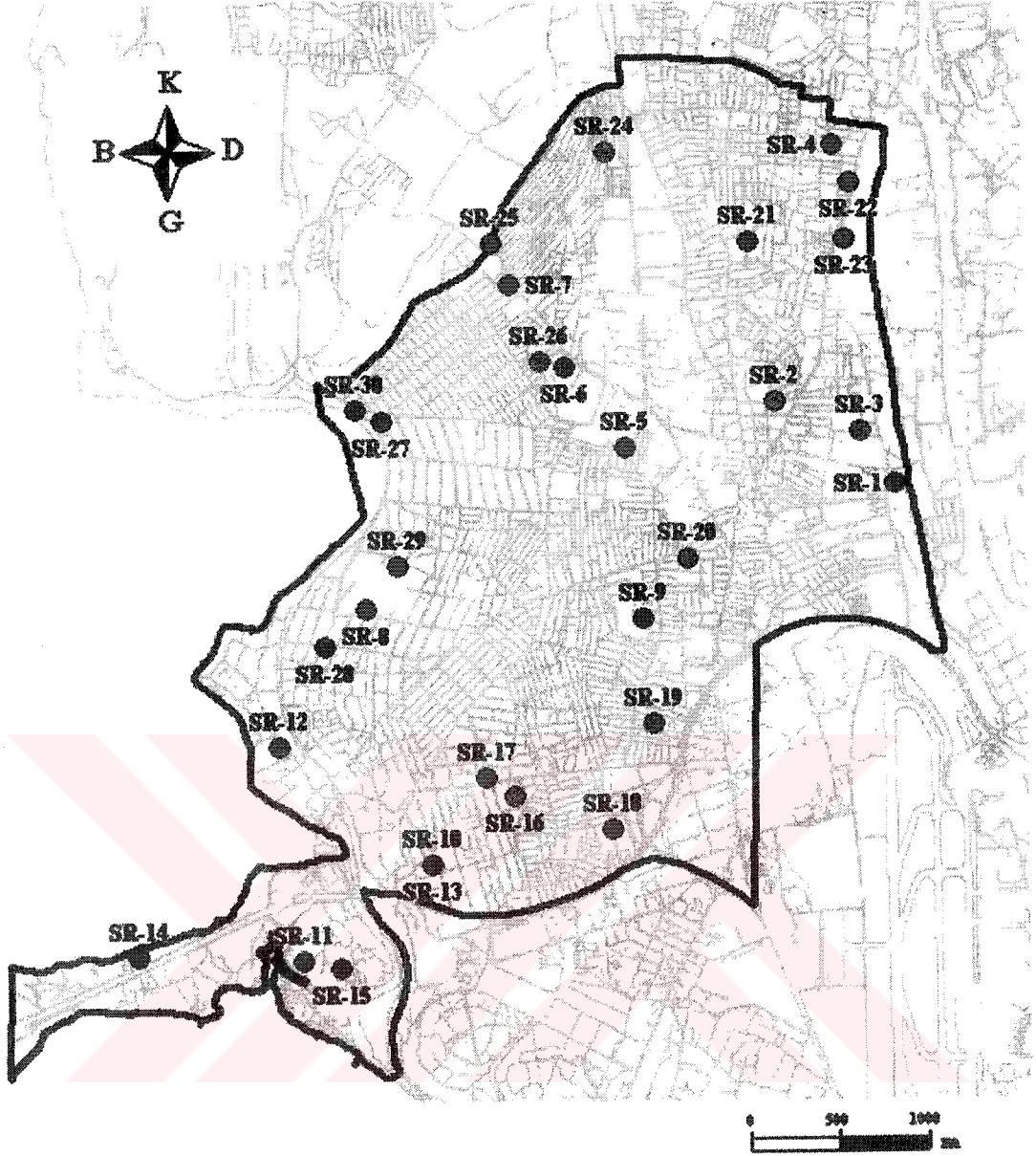
oynayan indeks özelliğidir (Vucetic and Dobry, 1991 ). Zemin tabakalarının deprem sırasındaki davranışı, depremin frekansına ve zeminin hakim periyoduna bağlıdır. Üniform elastik bir zemin için 2.1 eşitliğinden, kayma dalgası hızının zeminin hakim periyodunu (dolayısıyla da tabakaların davranışını) etkileyen önemli bir faktör olduğu görülmektedir.

$$T_n = \frac{4H}{(2n-1)V_s} \quad (2.1)$$

Eşitlikte H elastik tabakanın kalınlığını,  $V_s$  kayma dalgası hızını ve  $T_n$  n'inci salınım için zeminin hakim periyodunu göstermektedir.

Daha önce de belirtildiği gibi ikinci derece mikrobölgeleme çalışmasının temeli, kayma dalgası hızının yerinde ölçülerek veya penetrasyon deneylerinden elde edilen sonuçlara göre ampirik eşitlikler yardımıyla belirlenmesidir. Kayma dalgası hızının arazide ölçülmesi sismik deneylerle gerçekleştirilir. Bu deneyler; PS logging, sismik kırılma deneyi, karşıt delik dalga yayılma deneyi, delikte yukarı veya aşağı yönde dalga yayılma deneyi, yüzeyde dalga yayılma deneyi, temel rezonans deneyi, çevrimli plaka yükleme deneyi ve sismik statik koni deneyi olarak sıralanabilir. İncelenen bölgede kayma dalgası hızını belirlemek için konumları Şekil 4'de gösterilen 30 noktada sismik kırılma deneyi yapılmıştır. Sismik kırılma yönteminde, ara yüzeylerden kırılıp gelen dalgalarla doğrudan gelen dalgaların yayılımı kaydedilir. Sismik enerji kaynağı olarak 8 kg ağırlığında bir balyoz kullanılmıştır. S dalgasında (enine dalga) enerji, 30-40 cm derinliğindeki çukura dik olarak yerleştirilen plakaya vurularak sağlanmıştır. Aynı işlem sağ ve sol taraflı yapılmıştır. Bu iki verinin çarpılması sonucu S enine dalga kayıtları oluşturulmuştur. S enine dalga kayıtlarında düzeçli SH tipi algılayıcılar kullanılmıştır. P boyuna dalga kayıtları merkez frekansı 14 Hz olan algılayıcılarla alınmıştır.

Kayma dalgası hızının yerinde ölçülmesi hem ekonomi hem de zaman açısından sorun oluşturduğu bilinmektedir. Bu nedenle değişik araştırmacılar tarafından penetrasyon deneyi sonuçları kullanılarak kayma dalgası hızının hesaplanabileceği korelasyonlar geliştirilmiştir. Bunlardan bazıları Çizelge 2.7'de verilmiştir.



Şekil 2.4 Bölgede yapılan sismik kırılma deneylerinin coğrafi konumları

Çizelge 2.7 Penetrasyon deneylerinden elde edilen sonuçlar kullanılarak, kayma dalgası hızı hesabında kullanılan bazı eşitlikler

Araştırmacılar	Eşitlik	Zemin Cinsi
Kanai ve diğ. (1966)	$V_s = 19 N^{0.6}$	Tüm
Ohsaki ve Iwasaki (1973)	$V_s = 81.40 N^{0.39}$	Tüm
Imai (1977)	$V_s = 91 N^{0.337}$	Tüm
	$V_s = 102 N^{0.292}$	Kil
	$V_s = 80.60 N^{0.331}$	Kum
Ohta ve Goto (1978)	$V_s = 85.35 N^{0.348}$	Tüm
	$V_s = 92.12 D^{0.339}$	Tüm
	$V_s = 67.79 N^{0.219} D^{0.230}$	İnce Kum
	$V_s = 62.14 N^{0.219} D^{0.230}$	Kil
Seed ve Idriss (1981)	$V_s = 56.4 N^{0.5}$	Tüm
Barrow ve Stokoe (1983)	$V_s = 154 + 0.64 q_c$	Tüm
Sykora ve Stokoe (1983)	$V_s = 100.5 N^{0.29}$	Kum
	$V_s = 134 + 0.52 q_c$	Kum
Lee (1990)	$V_s = 57.40 N^{0.49}$	Kum
	$V_s = 114.43 N^{0.31}$	Kil
	$V_s = 105.64 N^{0.32}$	Silt
	$V_s = 57.40 D^{0.46}$	Kum
	$V_s = 70.81 D^{0.37}$	Kil
	$V_s = 70.52 D^{0.39}$	Silt
İyisan (1996)	$V_s = 51.50 N^{0.516}$	Tüm
	$V_s = 55.30 q_c^{0.377}$	Tüm

**Not:** Eşitliklerde  $V_s$  (m/s),  $D$  (m),  $q_c$  (kg/cm<sup>2</sup>) olarak kullanılmalıdır.

Çizelge 2.7'de verilen bağıntılardan belirlenen kayma dalgası hızlarının, mikrobölgeleme çalışmasında kullanabilmesi için eşdeğer kayma dalgası hızı belirlenmelidir (Ansal ve diğ., 1994). Eşdeğer kayma dalgası hızı, zemin profili derinliği boyunca kayma dalgası hızlarının ağırlıklı ortalaması olup, zemin rijitliğinin tanımında daha gerçekçi sonuçlar ortaya koymaktadır. Eşdeğer kayma dalgası hızı, geoteknik araştırmalarda kritik derinlik olan ilk 25–30 m için hesaplanmalıdır. Ancak, farklı özellikler gösteren tabakalardan oluşan bir zemin profilinde, hesaplanan eşdeğer kayma dalgası hızının veya diğer parametrelerin tek başlarına büyütmenin bir göstergesi olarak belirtilmeleri her zaman doğru sonuç vermeyebilir. Bu yüzden tabakaların birtakım üniform özelliklere sahip olduğu varsayımı gerekir (Ansal ve diğ., 1994)

Belirlenen eşdeğer kayma dalgası hızına göre, zemin büyütmesinin hesabı da kaynaklarda verilen bağıntılar yardımıyla yapılır. Değişik araştırmacılar tarafından geliştirilmiş, kayma dalgası hızı ile göreceli zemin büyütmesi arasındaki ilişkileri gösteren bağıntılar, Çizelge 2.8'de verilmiştir. Bu bağıntılar ilk 30 m'lik zemin profili için ortalama değerlerdir.

Çizelge 2.8 Kayma dalgası hızından yararlanılarak relatif zemin büyütme katsayılarının hesaplanması için geliştirilen bazı eşitlikler

Araştırmacılar	Eşitlik	Açıklamalar
Midorikawa (1987)	$A = 68 V_1^{-0.6}$	$V_1 < 1100 \text{ m/s}$
	$A = 1$	$V_1 > 1100 \text{ m/s}$
Joyner ve Fumal (1984)	$A = 23 V_2^{-0.45}$	
Borcherdt ve diğ. (1991)	$AHSA = \frac{700}{V_1}$	Zayıf hareket için
	$AHSA = \frac{600}{V_1}$	Kuvvetli hareket için
<p>A: En büyük ivmelere göre büyütme katsayısı            AHSA : 0.4 – 2 s spektral aralığında ortalama yatay büyütme  <math>V_1</math> : 30 m derinlik için ortalama kayma dalgası hızı (m/s)  <math>V_2</math> : 1s periyotlu dalga boyunun, ¼ ü kadar bir derinlik için hesaplanan kayma dalgası hızı</p>		

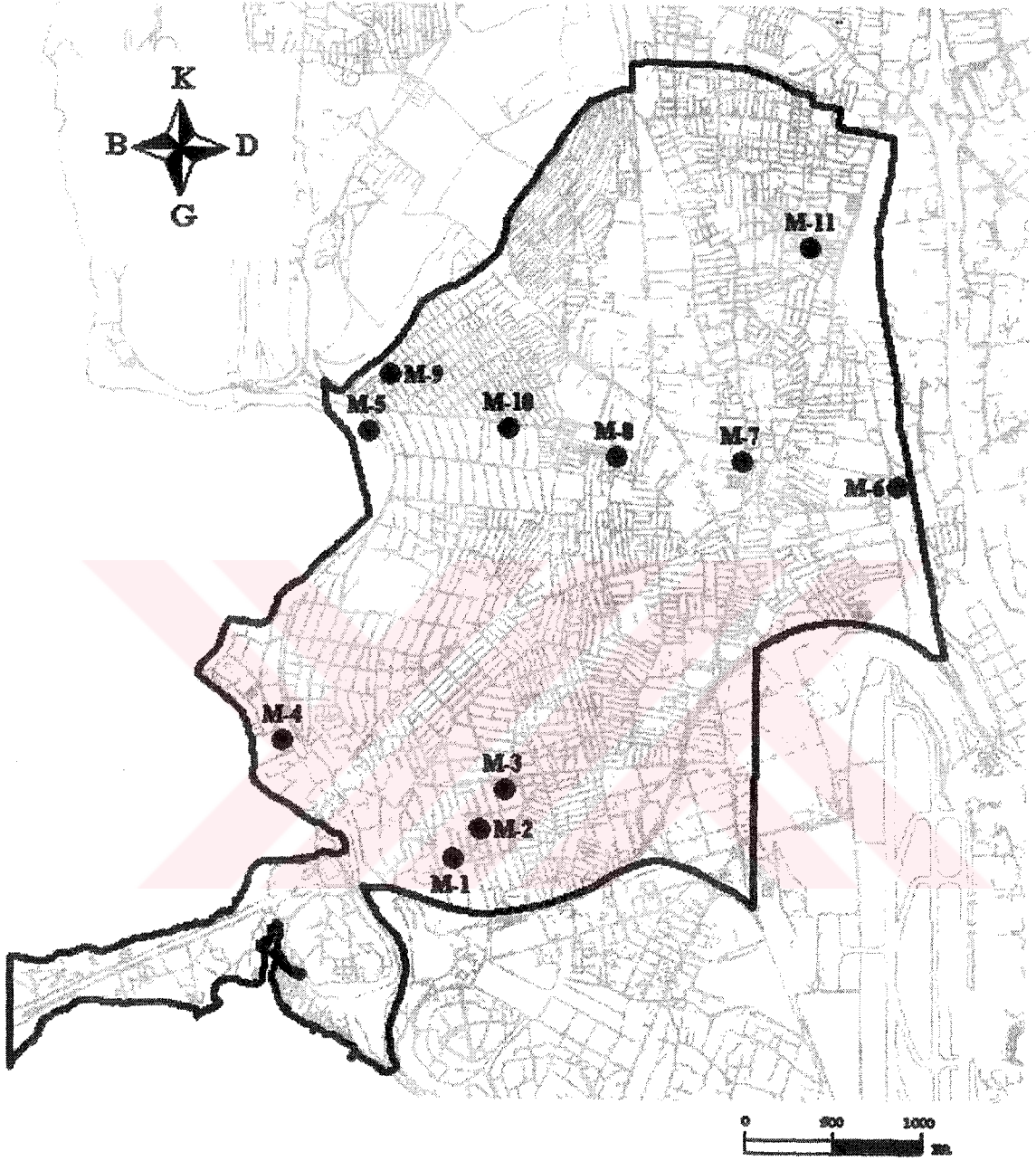
### 2.4.2.3 Mikrotremor Ölçümleri ve Kayıtların Analizi

#### 2.4.2.3.1 Mikrotremor Nedir?

Mikrotremor, hafif deprem, rüzgar, atmosfer etkileri gibi doğal, trafik, sanayi gibi yapay nedenlerle oluşan küçük genlikli titreşimlerdir. Genlikleri 0.001 – 0.01 mm, periyotları ise 1-20 saniye arasında değişir (Ishiyama, 1982). Mikrotremorların çok duyarlı taşınabilir sismometrelerle algılanıp kaydedilmesi mümkün olup, bu veriler deprem sırasında oluşacak kuvvetli yer hareketleri sırasında, yapı veya zeminlerin davranışlarının önceden tahminde kullanılabilir. Kuvvetli yer hareketlerini ölçen sismometre kayıtlarının analizinden bulunan yatay ve düşey deprem hareketi arasındaki ilişkiler kullanılarak, zemin yüzeyinde ölçülen mikrotremorların yatay ve düşey bileşenlerinin spektral oranının hesaplanması ve hesaplanan bu oran yardımıyla da yüzey zemininin sismik özelliklerini belirlenmesi olanağı bulunmaktadır.

Mikrotremorlar salınım özelliklerine göre, kısa periyotlu ve uzun periyotlu olmak üzere ikiye ayrılır. Kısa periyotlu mikrotremorlar, 1 s veya daha düşük periyotlu olup 10-20 m kalınlığında yüzeysel tabakaların büyütme ve periyot özelliklerinin belirlenmesinde kullanılabilirler. Trafik ve endüstriyel gürültüler gibi yapay nedenler bu mikrotremorların kaynağını oluşturur (Kanai ve Tanaka, 1961). Bu tür mikrotremorların hem cisim dalgası (S) hem de yüzey dalgası (Rayleigh) olarak yayıldığı varsayılır. Kısa periyotlu mikrotremor ölçümlerinin, yüzeye yakın zeminlerin hakim periyotları ve genlikleri hakkında sağlıklı bilgiler verdiği bilinmektedir. Uzun periyotlu mikrotremorlar ise 1s'den büyük periyotlu olup ana kayaya kadar olan derin tabakaların büyütme ve periyot özelliklerinin belirlenmesinde kullanılırlar. Bu tür mikrotremorların kaynağı, kıyılarına vuran okyanus dalgaları ve okyanustaki atmosfer değişimlerinin neden olduğu rüzgarlar olup Rayleigh ve Love dalgası olarak yayıldığı düşünülmektedir. Ancak bu tür mikrotremorların hava koşulları nedeniyle kararlı olmayan periyot ve genlik özelliklerine sahip oldukları belirtilmektedir (Seo ve diğ., 1990).

İncelenen bölgede yapılan arazi çalışmaları kapsamında, sondajlar ve sismik kırılma araştırmalarından elde edilen sonuçlarla karşılaştırmak ve inceleme alanındaki farklı zemin türlerinin olası bir depremdeki davranışına bir yaklaşım sağlamak amacıyla, konumları Şekil 2.5'te gösterilen toplam 11 noktada, mikrotremor ölçümleri yapılmıştır. Bu ölçümlerin 10 tanesi, daha iyi korelasyon için, seçilen sondaj noktalarına çok yakın yerlerde gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2.5 Bölgede yapılan mikrotremor ölçümlerinin coğrafi konumları

### 2.4.2.3.2 Mikrotremor Kayıtlarının Analiz Teknikleri

Mikrotremor sonuçlarının analizi için başlıca üç yöntemden yararlanılır.

- a) Fourier genliklerinden veya güç spektrumlarından yararlanılan yöntem
- b) Referans istasyon yöntemi
- c) Nakamura yöntemi (Nakamura, 1989)

Kullanılan bu üç yöntemde de yerel zemin koşullarının büyütme üzerindeki etkisinin, elastik yarı sonsuz bir ortam üzerinde yer alan, tek bir zemin tabakasından kaynaklandığı ve bu zemin tabakasının tek boyutlu davrandığı varsayımı yapılır. Bu durumda 2 ve 3 boyutlu zemin etkileri göz ardı edilerek, yarı sonsuz ortam ile yumuşak zemin tabakası arasındaki büyütme seviyesi ve hakim periyoda göre yerel zemin koşulları belirlenmiş olur. Bu çalışmada mikrotremor ölçümleri Nakamura yöntemiyle analiz edildiğinden bu yöntem üzerinde durulacaktır.

Nakamura yöntemi, kaya ile zemin arasında uygun bir aktarım fonksiyonu belirlenmesine dayalı bir yöntemdir. Mikrotremorların ana kaya üzerindeki yumuşak zeminlerde, cisim dalgaları ve Rayleigh dalgaları olarak yayıldığı varsayılır. Rayleigh dalgasının ana kayayı değil zemin içindeki düşey spektrumları etkilediği düşünülür. Ayrıca yumuşak zeminlerin, mikrotremor hareketinin düşey bileşenlerini büyütmediği ve mikrotremorların yatayda ve düşeyde yaklaşık aynı etkiye sahip Rayleigh dalgaları ürettikleri varsayılır. Aynı zamanda 0.05-5 s gibi geniş bir periyot aralığında hareketin yatay ve düşey spektral bileşenleri, ana kayada ve tabakanın en altında yaklaşık olarak eşit alınır. Bütün bu varsayımlar ışığında yumuşak bir zemin tabakasından kaydedilen mikrotremor kayıtlarının yatay ve düşey spektrum oranlarının, Rayleigh dalgasının etkisini ortadan kaldırdığı ve bu oranların zeminlerin periyot ve büyütme özelliklerini verdiği ilk kez Nakamura (1989) tarafından ileri sürülmüştür.

### 2.4.3 Üçüncü Derece Mikrobölgeleme

Zeminler zayıf yer hareketlerinde (düşük magnitudlü) doğrusal, kuvvetli yer hareketlerinde ise doğrusal olmayan davranış gösterirler. Kuvvetli yer hareketlerindeki doğrusal olmayan davranıştan dolayı zeminlerde büyük deformasyonlar meydana gelir. Oluşan bu deformasyonlar kayma dalgası hızında azalmaya ve buna bağlı olarak zeminlerin dinamik özelliklerinde değişmeye neden olabilirler (Finn, 1991). Bu nedenle mikrobölgeleme çalışmasında zeminlerin dinamik yükler altında doğrusal ve doğrusal olmayan davranışlarının



tam olarak modellenmesi büyük önem kazanmaktadır. Modelleme sırasında kullanılacak parametreler yerel zemin özelliklerinin arazi ya da laboratuvar deneyleri ile incelenmesi ile belirlenir. Bu amaçla gerçekleştirilen üçüncü derece mikrobölgeleme çalışması, bölgeye ait bir deprem kaydı veya bu deprem kaydı ile benzer frekans ve genlik özelliklerine sahip başka bir kayıt ile bilgisayar destekli olarak, zemin özelliklerinin belli olduğu noktalarda zeminin dinamik davranış analizlerinin yapılmasını içerir.

#### 2.4.3.1 Zeminlerde Dinamik Davranış Analizleri

Zeminlerin dinamik davranış analizlerinde, deprem dalgalarının zemin içinden geçerken gösterdiği yansıma, kırılma ve empedans gibi yayılma özelliklerinin sağlıklı bir biçimde belirlenmesi gerekir. Dinamik davranış analizi sırasında izlenen temel adımlar;

- Deprem kaydının seçilmesi
- Malzeme özelliklerinin belirlenmesi ve ideal zemin profilinin oluşturulması
- Uygun analiz yöntemiyle dinamik davranışın belirlenmesi

olarak sıralanabilir.

Bilindiği gibi deprem sırasında zemin tabakalarının gösterdiği büyütme etkileri, uygun bir fonksiyonla belirlenmekte ve zemin yüzeyine ait fourier spektrumunun, ana kaya fourier spektrumuna olan oranı da büyütme fonksiyonu olarak tanımlanmaktadır. Ancak her zaman ana kayadan ölçüm alma olanağı bulunmaktadır. Bu nedenle ana kaya dışındaki zeminlerden alınan ölçümlerden yararlanarak dinamik özelliklerin belirlenmesinde, kaydın ana kayaya taşınması gerekmektedir. Bu nedenle ana kaya diye nitelendirilecek tabakanın sağlıklı bir biçimde belirlenmesi gereklidir. Geoteknik mühendisliğinde kayma dalgası hızının 500 m/sn'den ve SPT-N darbe sayısının 50'den büyük olduğu tabaka ana kaya olarak tanımlanmakla birlikte son yıllarda yapılan çalışmalarda ana kaya diye tanımlanan tabakada kayma dalgası hızının 700 m/sn'den büyük olması gerektiği belirtilmektedir.

Zeminlerin deprem yükleri altındaki davranışlarının 1 boyutlu, 2 boyutlu veya 3 boyutlu analizleri için birçok araştırmacı tarafından değişik analiz yöntemleri geliştirilmiştir. Bu yöntemlerin her birinin farklı yaklaşımı ve varsayımı vardır. Bu yöntemler genel olarak referans istasyon ve referans istasyon dışı yöntemler olarak başlıca iki gruba ayrılabilir. Günümüzde dinamik analizler için geliştirilen bilgisayar programlarından yararlanılmaktadır.

Bu tez kapsamında dinamik davranış analizleri için EERA adlı bilgisayar programından yararlanılmıştır.

#### 2.4.3.2 Bir Zemin Dinamik Davranış Analiz Programı; EERA

Geçmişte meydana gelen depremlerde yapılan gözlemler, oluşan deprem şiddetinin, yumuşak zemin tabakalarında, yakın çevredeki kaya ortamlarına göre daha büyük olduğunu göstermiştir. Yer hareketlerinde oluşan bu büyütme modeli modelleyebilmek için, sonsuz genişlikte yatay zemin tabakalarından meydana gelmiş zemin koşullarını varsayan bilgisayar programlarından yararlanılmıştır. Bu amaç için geliştirilmiş ilk bilgisayar programlarından biri de Schnabel ve diğ. tarafından 1972 yılında geliştirilen SHAKE adlı bilgisayar programıdır. SHAKE, geliştirildiği yıldan günümüze kadar geoteknik deprem mühendisliğinde en çok kullanım alanı bulan bilgisayar programıdır. SHAKE, geçici ve düşey yönde hareket eden kayma dalgalarının etkisindeki bir zemin-kaya sisteminin, davranışını analiz etmekte ve dalga yayılma çözümlerini temel almaktadır. Analizlerde aşağıdaki varsayımlar yapılır.

- Zemin, yatay yönde sonsuza kadar uzanan üniform tabakalardan oluşan bir sistemdir.
- Her tabaka kayma modülü, kritik sönüm oranı, yoğunluk ve kalınlığı ile tam olarak tanımlanmaktadır.
- Davranış ana kayadan yüzeye doğru yayılan yalnızca kayma dalgaları nedeniyledir. Eşit zaman aralıklarında verilen ivme değerleri kayma dalgalarını göstermektedir. Modül ve sönümün deformasyona bağlılığı, her tabaka için hesaplanan ortalama efektif deformasyonlara dayanan bir eşdeğer lineer yöntem ile dikkate alınmaktadır.

Programın avantajları;

- Az sayıda veri ile analiz yapılabilmesi
- Çeşitli zemin özellikleri için analizlerde kullanılan parametrelerin alacağı değerlerin, kaynaklardaki çok sayıda çalışmadan kolaylıkla elde edilebilmesi
- Diğer davranış analizleriyle karşılaştırıldığında sonuçların güvenli tarafta kalması
- Hesaplama süresi ve bilgisayar hafızası açısından sorun oluşturmaması

Programın avantajsız yönleri ise;

- Eşdeğer lineer analiz yöntemi toplam gerilmelere dayalı olup, dinamik yükler altında gelişen boşluk suyu basınçlarının mukavemet ve rijitlik üzerindeki etkilerini dikkate almamaktadır.
- Analiz elastik olduğu için kalıcı deformasyonları doğrudan hesaplamak mümkün değildir.
- Analiz yönteminin dayandığı varsayımlar nedeniyle oluşan kısıtlamalar

olarak sıralanabilir.

1998 yılında FORTRAN 90 kullanılarak, SHAKE'in varsayımlarına dayalı EERA isimli bilgisayar programı geliştirilmiştir. Bu program eşdeğer lineer deprem analizi içerisindeki kavramları modern anlamda yeniden yorumlamaktadır. Bununla birlikte, dinamik boyutlandırma ve matris işlemlerinde kullanılabilir olması programı daha etkin kılmaktadır. Programın veri giriş ve çıkışları EXCEL programı ile ilişkilendirilmiştir.

#### **2.4.4 Mikrobölgeleme Çalışmasında Hasar Gözlemlerinin Önemi**

Bir bölgedeki yapı kalitesinin aynı olduğu varsayımı ile deprem hareketi altında yerel zemin koşullarının yapı hasarı üzerindeki etkisini anlamanın en iyi yolu oluşan hasarların gözlenmesidir. Bu nedenle bir mikrobölgeleme çalışmasında, yerel zemin koşullarının yapı hasarı üzerindeki etkisinin belirlenmesinde ve yapılan mikrobölgeleme çalışmasının doğruluğunun kontrolünde hasar gözlemleri büyük önem kazanmaktadır. Deprem tanımlandığı iki kavramdan biri olan şiddet, oluşan hasar boyutlarına göre depremin nitelendirilmesidir. Şiddet, Modifiye Mercalli (MM), Medvedev-Sponheuer-Karnik (MSK), Rossi Forel (RF) ve Japon Meteoroloji Kurumu (JMA) gibi ölçeklerde belirtilmekle birlikte dünyada en çok kullanılan ölçek Modifiye Mercalli (MM) ölçeğidir.

##### **2.4.4.1 Depremlerde Yapısal Hasara Neden Olan Başlıca Etkenler**

İnşaat mühendisliği açısından bakıldığında yapılarda oluşan hasara neden olan etkenler;

1. Deprem dalgasının karakteristik özellikleri
2. Yapı özellikleri
3. Yerel zemin koşulları

olarak başlıca üç grupta toplanabilir.

Deprem dalgasının genel karakteristik özellikleri olan genlik, frekans içeriği ve sürenin depremin kaynak özelliklerine, deprem dalgasının yayıldığı jeolojik ortamın özelliklerine ve odak uzaklığına bağlı olarak değişimleri, 1. Gruptan dolayı oluşan hasarların başlıca nedenleridir. Genlikler, deprem hareketinin ivme, hız ve yer değiştirme değerleri olup, genelde en çok kullanılan en büyük yatay ivme değeridir. Genliklerin değişik frekanslardaki dağılımı olarak isimlendirilen frekans içeriği, deprem dalgasının yapı üzerindeki etkisini denetleyen en önemli özelliğidir. Bu nedenle dinamik analizlerde frekans içeriği incelenerek, hareketin temel özelliğini ortaya koyan hakim frekans belirlenmelidir. Bir deprem sırasında deprem dalgasının hakim frekansının, zeminin veya yapının hakim frekansıyla aynı olması durumunda rezonans durumu ortaya çıkar ve oluşan hasar önemli ölçüde artar. Deprem sırasında çevrimli yüklemeler nedeniyle yapı ve zemin, hareket süresine bağlı olarak birtakım fiziksel etkiler altında kalacağından deprem hareketinin süresi de hasarı etkileyen önemli özelliklerden birisi olmaktadır.

Deprem hareketi sırasında hasara neden olan 2. Grup etkenler olan yapı özellikleridir. Bunlar malzeme niteliği ve tasarım özellikleri olarak sınıflandırılabilir. Bir yapıyı oluşturan elemanlar, deprem kuvvetlerine ve deprem sırasında oluşan deformasyonlara karşı yeterli mukavemete sahip olmalıdır. Tasarım yapılırken deprem kuvvetlerinin yapılara ağırlıklarıyla doğru orantılı olarak etkidikleri unutulmamalıdır. Bu nedenle olabildiğince hafif malzemeler kullanılmalı ve ağırlıklar düzgün olarak dağıtılmalıdır. Ayrıca deprem sırasında oluşabilecek burulma momentlerini en aza indirmek için ağırlık merkezi ile kütle merkezi çakışan veya olabildiğince birbirine yakın olan tasarımlar yapılmalıdır. Yapıların geoteknik deprem mühendisliğini ilgilendiren en önemli özellikleri ise sahip oldukları hakim periyotlarıdır. Deprem sırasında yapı, yüksekliğine ve tipine bağlı olarak değişik titreşim özellikleri gösterir. Yapıların hakim periyotları, rijitlikleri ve kat sayılarına bağlı olarak 0.05 saniyeden başlayıp 1-2 saniye arasında değişebilir (1 katlı çerçeve yapı 0.1 sn, 4 kata kadar alçak yapı 0.5 sn, 10 ile 20 katlı yapılar 1-2 sn). Zeminlerin doğal periyotları ise 0.1 ile 1 saniye arasında değişir. Bu durumda yapı ile zemin periyotlarının aynı olma durumu söz konusudur. Bu durum rezonans olarak isimlendirilmekte ve yapı üzerinde maksimum genlikler oluştuğundan hasarı önemli ölçüde artırmaktadır. Bu nedenle yapının inşa edileceği zeminin hakim periyodu sağlıklı bir şekilde belirlenmeli ve tasarım bu periyot göz önüne alınarak yapılmalıdır.

Depremler sırasında hasara neden olan 3. Grup etkenler ise yerel zemin koşullarıdır.

#### 2.4.4.2 Yerel Zemin Koşullarının Yapı Hasarına Olan Etkisi

Depremlerin yapılarda yol açtığı hasarların, yerel zemin koşullarının değişik etkileri altında kaldığı bilinmektedir. Bu durumda yapıların inşasından önce yapılan temel zemini araştırmasında, arazideki temel zeminini oluşturan tabakaların olası bir deprem sırasında göstereceği davranışların da incelenmesi gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Depremler sırasında gözlenen yapısal hasar, zemin yüzünde büyük deplasmanlara yol açan toptan zemin göçmelerinden dolayı olursa, meydana gelen yapısal hasar ile yerel zemin koşulları arasındaki ilişki açık olarak görülebilir. Örneğin, gevşek yerleşimli granüler zeminler yer sarsıntıları sonucu sıkışarak zemin yüzünde toplam ve farklı oturmalara ve böylece taşıdıkları yapılarda büyük yapısal hasarlara yol açabilirler. Gevşek yerleşimli granüler zemin tabakalarının suya doygun veya doygunluğa yakın olması halinde ise, titreşimlerin yol açtığı sıkışma sonucu boşluk suyundaki hidrostatik basınç artışı zeminin sıvılaşmasına ve üzerindeki yapıların oturmasına, yatmasına veya zemin içine batmasına neden olabilir. Ayrıca depremler sırasında oluşan dinamik gerilmeler ve boşluk suyu basınç artışlarının, yumuşak kil ve kum tabakalarında büyük toprak kaymalarına ve şev göçmelerine de yol açtıkları gözlenmiştir. Depremlerde gözlenen yapısal hasara zemin koşullarının etkisi yönünden daha az açık olan bir etki, zeminde hiçbir göçme olmadığı halde zemin koşullarının yapılara etkileyen sarsıntı şiddetine ve dolayısı ile üzerindeki yapıların göreceği hasara yaptığı etkidir. Yerel zemin koşulları, deprem sırasında yapılara etkileyen yer ivmesinin genliğini, frekans özelliklerini ve buna bağlı olarak atalet kuvvetlerini büyük ölçüde etkilemektedir. Depremler sırasında yapısal davranış üzerinde temel zemininin etkileri ;

- Sarsıntı Şiddeti ve Binaya Etkiyecek Kuvvetlerde Meydana Gelen Artışlar
  - İvme Büyütmesi (Amplifikasyon)
  - Spektral Davranış Parametreleri
- Temel Zemininde Meydana Gelebilecek Olumsuzluklar
  - Taşıma Gücü Kaybı
  - Aşırı Oturmalar
  - Yanal Akmlar
  - Şev Kaymaları

olarak sınıflandırılabilir.

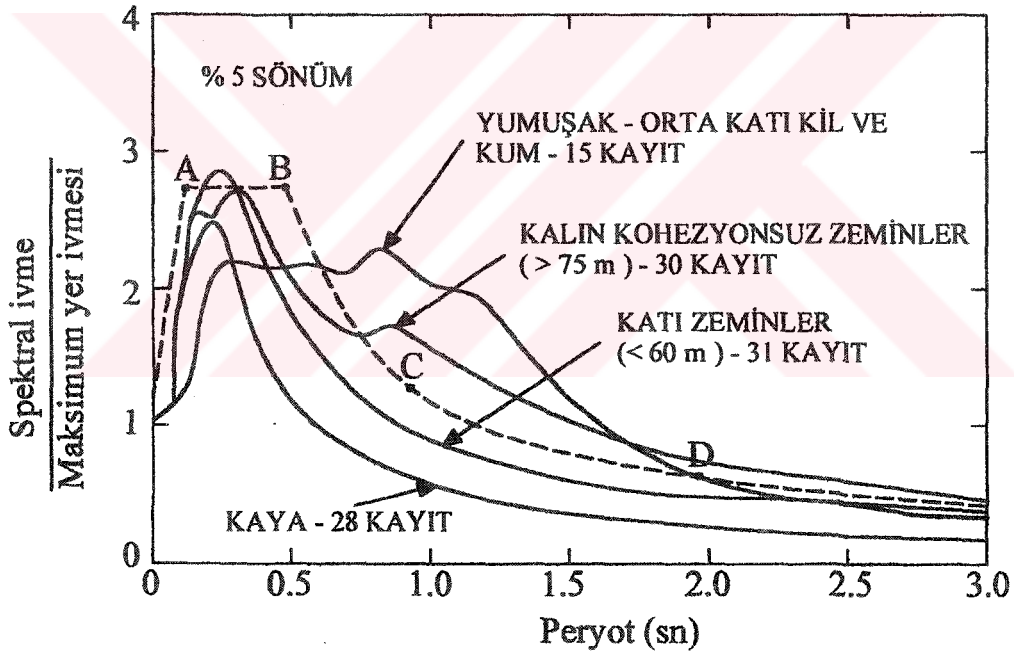
Yerel zemin koşullarının kuvvetli deprem yer hareketlerini önemli ölçüde etkilediği, yakın zamanlarda meydana gelmiş yıkıcı depremlerde gözlenen yapısal hasar ve aletsel ölçümlerle açıkça ortaya konulmuştur. Depremler sırasında oluşan yer hareketleri yapılara etkiyen sismik kuvvetleri doğrudan etkilediği gibi, aynı zamanda deprem sırasında zemin tabakalarının davranışı ve zemin göçmesi açısından da çok önemlidir. Bu gözlemler ışığında, gerek deprem şartnamelerinde gerekse mikrobölgeleme çalışmalarında yerel zemin koşullarını göz önüne almak yönünde çalışmalar yoğunlaşmaktadır. Depremler sırasında oluşan yer hareketleri kaynak, izlenen yol ve arazi özellikleri gibi bir çok etkenden etkilenmektedir. Bu nedenle oluşacak yer hareketlerinin değerlendirilmesi için

- Bölgesel sismisite
- Yer hareketlerinin sönümlenmesi (azalım ilişkileri)
- Yerel arazi koşulları

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

Yerel zemin koşullarının depremin yol açtığı hasara etkisi uzun zamandan beri bilinmekle birlikte bu konuda aletsel ölçümlerde ve hesap çalışmalarında son 40 yılda önemli gelişmeler meydana gelmiştir. Bu konudaki ilk önemli bilgiler 1957 San Francisco depreminde değişik noktalarda alınan ölçümlerden elde edilmiştir. Bu ölçümler, birbirine yakın bölgelerde oluşan yer ivmelerinin bazen birbirinden %100'e varan farklılıklar gösterdiğini ve bunun büyük olasılıkla ölçüm istasyonları altındaki zemin koşullarından ileri geldiğini ortaya koymuştur. Birbirine yakın istasyonlarda benzer farklılıklar 1965 Osaka depreminde de gözlenmiştir.

1985 Mexico City depreminde meydana gelen hasar dağılımı, sismik davranış üzerinde yerel koşulların etkisini açık bir şekilde ortaya koymuştur. Genellikle 0.04 g değerinden düşük olan taban kayası pik ivme değerleri, eski bir göl yatağında yer alan kalın kil tabakalarında yaklaşık 5 misli büyütmüş ve periyotları arazi periyoduna yakın yapılarda çok büyük hasarlara yol açmıştır. 1989 Loma Prieta depreminde de hasarın büyük çoğunluğu yumuşak zemin tabakalarının yer aldığı San Francisco–Oakland bölgesinde meydana gelmiş ve buralarda spektral ivmelerin yakınlardaki kayalık bölgelere göre 2-4 defa büyüdüğü gözlenmiştir. Bütün bu gözlemler, depreme dayanıklı tasarım için yerel zemin koşullarının göz önüne alınması gerektiğini göstermektedir. Yerel zemin koşullarının frekans içeriği üzerine etkisini belirlemek amacıyla Seed ve Idriss (1982) tarafından yapılan çalışmada 23 depremden elde edilen toplam 104 kayıt incelenmiş, bu kayıtlardan elde edilen ivme davranış spektrumları en büyük ivme değerine göre normalize edilerek, dört yerel zemin sınıfı için sonuçlar gruplandırılmıştır.



Şekil 2.6 Yerel zemin sınıflarının frekans içeriğine etkisi ( Seed ve Idriss, 1982)

Bu spektrumlar incelendiğinde her zemin sınıfının farklı spektrumlara sahip olduğu ve özellikle 0.5 sn den büyük periyotlarda zemin rijitliğinin azalması nedeniyle, spektral büyütmelelerde bir artış olduğu, Ayrıca kaya ve katı zeminlerin düşük periyotlarda, derin ve yumuşak zeminlerin ise yüksek periyotlarda salındıkları görülmektedir. Zeminlerin sahip oldukları periyotların zemin-yapı etkileşiminde yapı davranışını dolayısı ile de oluşan hasarı kontrol eden faktörlerden birisi olduğu unutulmamalıdır.





### 3. COĞRAFI BİLGİ SİSTEMLERİ (GIS) HAKKINDA GENEL BİLGİ

#### 3.1 Giriş

Bir mikrobölgeleme çalışmasında, yerel zemin koşullarını açıklayan parametrelerin bölgedeki değişiminin 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 veri analizlerine ve verilerin görsel olarak sunumlarının yapılmasına gereksinim vardır. Bu amaç için kullanılan en iyi araçlardan birisi de Coğrafi Bilgi sistemleri (GIS) dir.

#### 3.2 Coğrafi Bilgi Sistemleri (GIS) Nedir?

Coğrafi Bilgi Sistemleri (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

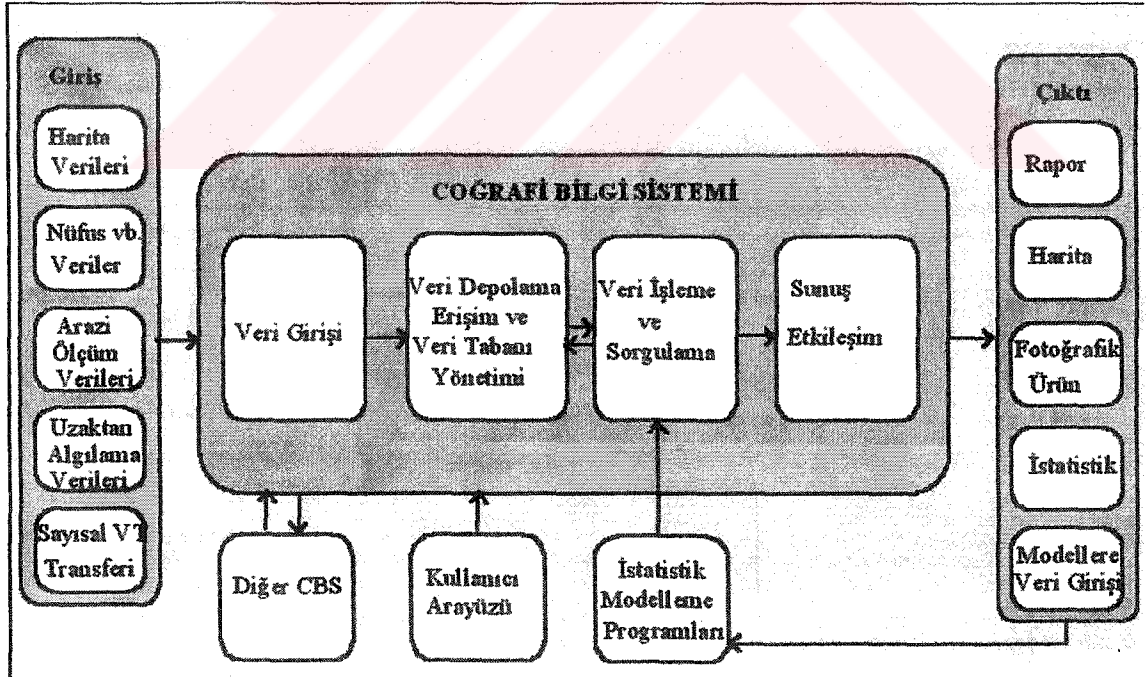
Çizelge 3.1 Coğrafi bilgi Sistemlerinin (GIS) tanımlanması

GIS		
G : Coğrafi	I : Bilgi	S : Sistemler
<ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Mekana ait veriler</li> <li><input type="checkbox"/> Koordinat sistemli</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Veri tabanları</li> <li><input type="checkbox"/> Gösterimler/Ürünler</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Kullanıcılar</li> <li><input type="checkbox"/> Donanım</li> <li><input type="checkbox"/> Yazılım</li> </ul>

Başka bir tanımla GIS, coğrafi veriler üzerinde aşağıda belirtilen işlemleri yapan bilgisayara dayalı bir sayısal 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
- Verinin bir formattan başka bir formata, bir geometrik projeksiyondan başka bir projeksiyona, bir ölçekten başka bir ölçeğe dönüştürülmesi
- Verilerin coğrafik analizi
- Verilerin istenilen düzlemde (1D, 2D, 3D) modellenmesi
- Verilerin raporlar veya haritalar şeklinde gösterilmesi

Yukarıda verilen iki genel tanımdan da anlaşıldığı gibi GIS bilgilerin integrasyonunu sağlayan genel bir bilgi sistemidir. Bu integrasyon şematik olarak Şekil 3.1'de gösterilmektedir.



Şekil 3.1 GIS kullanılarak veri integrasyonu

### 3.3 GIS Bileşenleri

GIS, Şekil 3.2'de şematik olarak gösterildiği gibi donanım, yazılım, veri, insan ve yöntemlerden oluşur.



Şekil 3.2 GIS bileşenleri

#### 3.3.1 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 yazıcıdan oluşur.

#### 3.3.2 Yazılım

Yazılım veri tabanı yönetimi ve coğrafik analizleri içeren ve ticari olarak satılan paket programlardır. GIS yazılımlarında veri tabanı yönetimi işlevsellersi; verilerin depolanmasını, manipule edilmesini, değiştirilmesini, görüntülenmesini, sorgulanmasını ve coğrafik 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 analizler içerir.

### 3.3.3 Veri

Veri (Data) GIS in bilgiyi elde etmek için kullandığı en temel bileşenidir. Verileri genel olarak türüne, yapısına ve veritabanı opsiyonuna göre sınıflandırmak olanaklıdır. GIS temel olarak iki tür veri grubundan oluşur.

- Coğrafi ve/veya yersel Veri
- Öznitelik veya Coğrafi Olmayan Veri

#### 3.3.3.1 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.

#### 3.3.3.2 Öznitelik veya Coğrafi Olmayan Veri

Coğrafi parametreleri sayılar, harfler, resimler veya çizimler (CAD) 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 gibi 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.

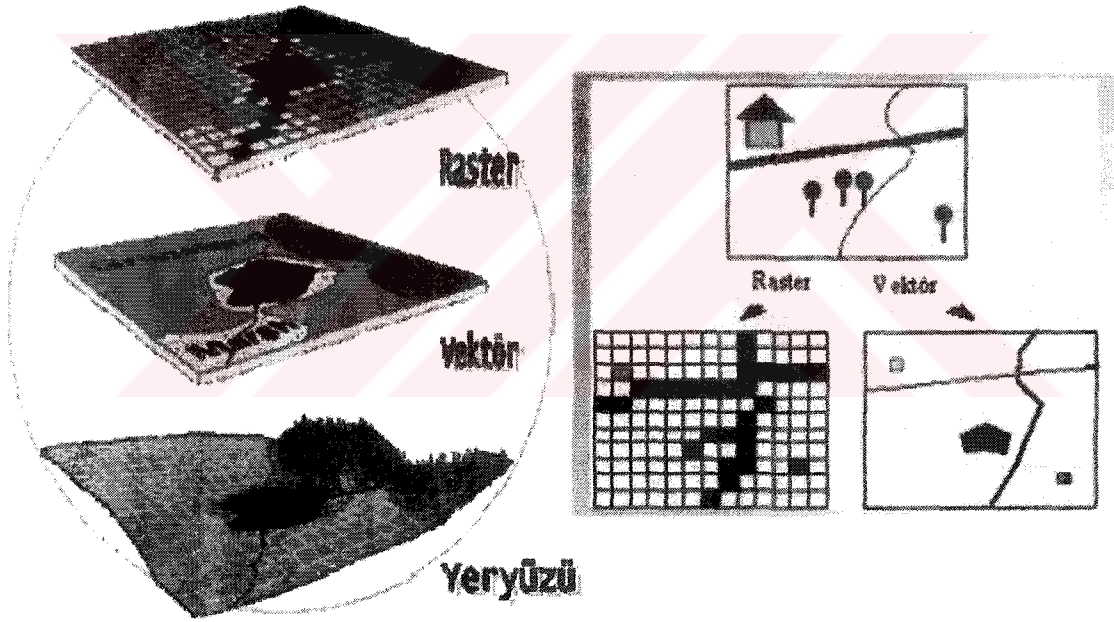
#### 3.3.3.3 GIS’te Kullanılan Veri Yapıları

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 veri modeli olup coğrafik 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 coğrafik 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 problemi ortaya çıkmaktadır.



Şekil 3.3 Vektör ve Raster veri yapısı

#### 3.3.4 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.

### 3.3.5 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 da ifade edilebilir. Problemin çözümünde, GIS için gerekli alt yapı oluşturulamamışsa birinci yöntem uygulanır. GIS deki bütün gerekli integrasyonlar sağlandıktan sonra problem çözülüyor ise ikinci yöntem kullanılıyor demektir.

### 3.4 Tez Kapsamında Kullanılan GIS Yazılımları

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;

- Coğrafik lokasyonlu verilerin modellenmesinde, veriler arasındaki değerleri matematiksel veya istatistiksel olarak hesaplayarak sürekli yüzeyler elde edilip göstermek
- İçerdiği coğrafik 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 coğrafik analizler yapabilir ancak bu objeleri kullanarak coğrafya üzerinde sürekli yüzeyler elde edemez yani yüzeysel modelleme yapamaz. Bunun yapılabilmesi için, coğrafik 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'daki standart hesaplama yöntemlerine dayalı interpolasyon ve modelleme araçlarından yararlanır. 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 veritabanı analiz araçları ve Vertical Mapper'ında yüzeysel modelleme seçenekleri kullanılarak, verilerin GIS ortamında analizi ve modellenmesi rahatlıkla yapılabilmektedir.

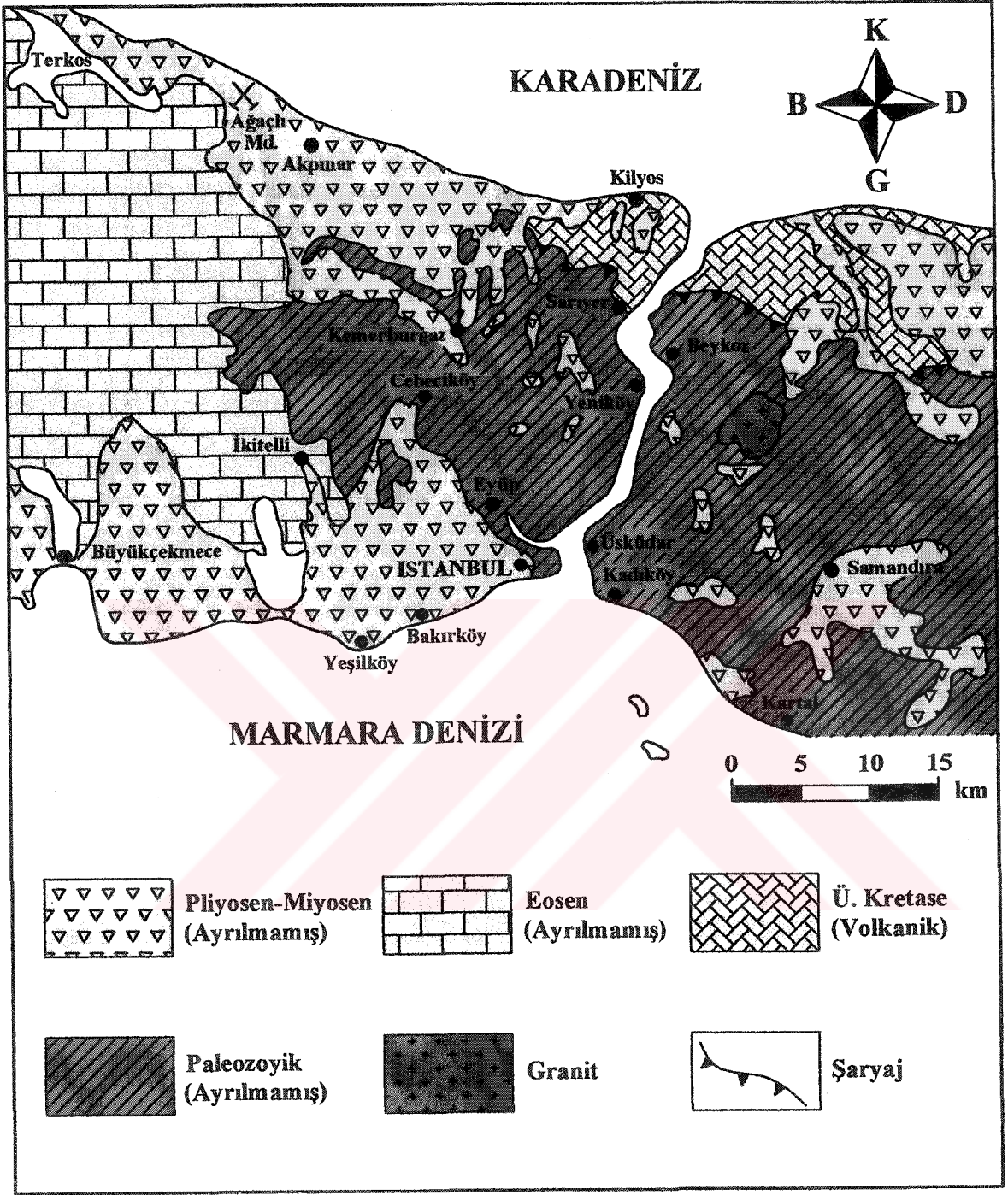
Bu çalışmada GIS kullanılarak, yerel zemin koşullarının bölgedeki değişiminin uygun bir yüzey modeli ile gösterilmesi, bölgenin hasar haritasının çıkarılması ve yerel zemin koşullarındaki değişim ile hasar verilerinin tek tabakada birleştirilerek aralarındaki korelasyonun incelenmesi amaçlanmaktadır.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

## 4. KÜÇÜKÇEKMECE BÖLGESİNİN JEOLJİSİ VE TEKTONİK ÖZELLİKLERİ

### 4.1 Genel Jeoloji

Marmara bölgesinin temelinde Paleozoyik yaşlı formasyonlar yer almaktadır. Paleozoyik yaşlı bu formasyonlar yakından incelendiklerinde, bunların kumtaşı, silttaşı ve kilttaşlarından oluştuğu gözlenmektedir. Genellikle grovak olarak adlanan bu litolojiler çoğunlukla İstanbul Boğazı'nın doğusunu oluşturan Kocaeli Yarımadası'nın büyük bir kısmında mostra vermektedir. İstanbul Kocaeli Yarımadası'ndaki Paleozoyik, Ordoviziyen dönemiyle başlamakta ve "Arkoz Serisi" olarak adlandırılan kırıntılı kayalardan oluşmaktadır. İstif üstü doğru Silüryen yaşlı arkoz-alacalı şeyl ve grovaplardan; Devoniyen yaşlı, kireçtaşı ve şeyllerden; Karbonifer dönemi ise çörtlenden, grovaplardan ve silttaşlarından (Trakya Formasyonu) meydana gelmişlerdir. Bu istif yer yer granitler tarafından kesilmektedir. Paleozoyik istifini kırmızı renkli bir konglomera-kumtaşı serisiyle başlayan Triyas yaşlı formasyonlar uyumsuz olarak örtmektedir. Triyas üzerine ise açılı uyumsuzlukla transgresif olarak konglomera (Hereke Pudingleri) ve kireçtaşları gelmektedir. Üst Kretase yaşlı bu oluşukların üst seviyeleri fliş, marn ve kireçtaşlarıyla 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 oluşmuşlardır ve bu bölgede geniş mostra yayılımlarıyla dikkati çekmektedirler. Edirne-İstanbul arasında yer alan bu tortulların kalınlıkları yer yer 2000 metreyi geçmektedir. Trakya Havzası'nın Orta Eosen döneminde çökelmeye başlayan tortullarda birbirini izleyen dönemlerde transgresyon oluşmuş ve regresyonla sonlanarak gelişmişlerdir. Çökelme, önce sığ deniz tortularıyla başlamış, bunu derinleşen deniz tortuları izlemiş, daha sonra tekrar sığ deniz ve karasal tortullarla sonuçlanmıştır. Bunun sonucu, ya kireçtaşı ve sığ deniz kırıntıları, ya da mikalı kum ve killerden oluşan tortullar çökelmişlerdir. Neojen yaşlı genç çökeller ise, Eosen yaşlı formasyonlar üzerinde diskordan olarak gelişen karasal-gölsel oluşuklardır. İnceleme alanının yeri ve İstanbul çevresinin sadeleştirilmiş jeoloji haritası Şekil 4.1'de gösterilmiştir (Yıldırım, M. , 2002)



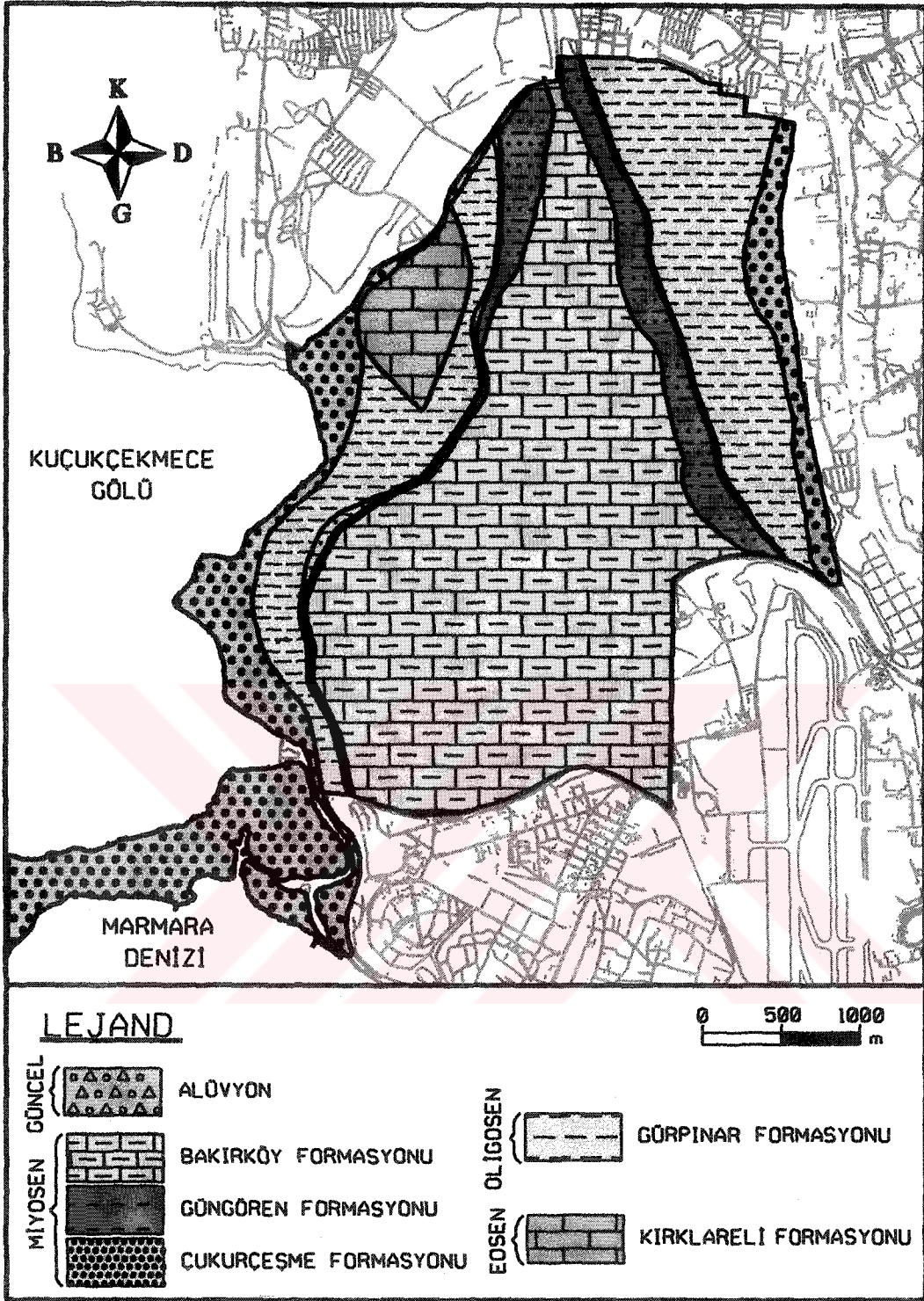


Şekil 4.1 İstanbul ve yakın çevresinin genel jeoloji haritası (Yıldırım, M., 2002)

## 4.2 İnceleme Alanının Jeolojisi

İnceleme alanında yüzeyleyen formasyonlar, görünür tabanda Eosen yaşlı Kırklareli Formasyonu litolojileriyle başlamaktadır. Trakya Formasyonu üzerinde diskordan duran Kırklareli Formasyonu, kireçtaşı ve killi kireçtaşlarından oluşmaktadır. Dayanımlı olması nedeniyle, çoğunlukla vadilerde dik yamaçları oluşturan Kırklareli Formasyonu, tabanında beyazımsı krem renkli ve kısmen gevşek tutturulmuş karbonatlı ve çakıllı bir taban konglomerasıyla başlayıp üstte doğru ince-orta, yer yer kalın katmanlı, sert-sıkı, yer yer karstik, dayanımı yüksek kireçtaşlarıyla devam eder. Çoğunlukla yatay, ya da yataya yakın katmanlı istif, üst seviyelere doğru kil oranı artmakta, kil ara katmanlı killi kireçtaşı-marn katmalarına düşey yönde aşamalı olarak geçmektedir.

Eosen yaşlı Kırklareli Formasyonu üzerinde ise, yörede yaygınca gözlenen Neojen yaşlı genç çökeller yer almaktadır. İnceleme alanı ve çevresindeki litolojiler, görünür tabanda yeşil renkli, ince-orta ve yataya yakın katmanlı aşırı konsolide killerden oluşmaktadır. Oligo-Miyosen yaşlı ve Gürpınar Formasyonu olarak adlandırılan bu formasyonun üzerine hakim litolojisi kumdan oluşan Çukurçeşme Formasyonu çökelleri uyumsuz olarak oturmaktadır. Gri renkli ve sıkı tutturulmuş bu çökeller yer yer çakıl cepleri ile gri renkli kil ara bantlarını da içermektedirler. Daha üst seviyelere doğru gittikçe kumlu litolojiler yerini bol organik içerikli yumuşak-orta katı killere bırakmaktadırlar. Güngören Formasyonu olarak adlandırılan bu killer yöresel olarak orta katı, yer yer katı- çok katı kıvamda olup, aşırı konsolide kil özelliğindedirler. Bu çökellerin en üst seviyesinde ise kil-kum ara bantlı, maktra'lı killi kireçtaşı-marn ardalanmalarından oluşan Bakırköy Formasyonu birimleri yer almaktadır.



Şekil 4.3 İnceleme alanının jeoloji haritası (Yıldırım, M., 2002)

#### 4.2.1 Kırklareli Formasyonu

İnceleme alanında yapılan jeolojik çalışmaları göre, görünür temelde yüzeylenen ilk birim Eosen (Lütésiyen) yaşlı, Kırklareli Formasyonu kireçtaşlarıdır.

Kırklareli Formasyonu, inceleme alanının kuzeybatısında, sadece Kanarya Mahallesi'nde yüzeylenmektedir. İstif, Kuzeydoğu-güneybatı doğrultuda uzanan Ağaçkakan Caddesi boyunca ve Şahin Caddesi'ni kuzeybatı-güneydoğu doğrultuda kesen düşey faylarla yükselmiş ve yüzeylenmiştir. Kanarya Mahallesi'nde Şahin Caddesi kuzeyinden başlayarak, daha kuzey alanlardaki Ağaçkakan Caddesi boyunca yer alan dik yamaçta yaklaşık 0.5 km<sup>2</sup> lik bir alanda yüzeylenen bu formasyon, yakından incelendiğinde, beyazımsı krem renkli, ince-orta, yer yer kalın katmanlı, sert, dayanımı yüksek, mikritik kireçtaşı-killi kireçtaşlarından oluştuğu gözlenmektedir. Tabaka doğrultuları kuzey-güney, eğimleri ise yatay, ya da doğuya 5-15 derece arasında değişmektedir. İstif, yaklaşık 40m-50m'ye varan görünür kalınlığa sahiptir. Birim üst seviyelerinde beyaz, orta katmanlı, poroz, marnlı, killi kireçtaşına geçer. İstifin tipik özellikleri Kanarya Mezarlığı civarındaki mostralarda görülmektedir. Kırklareli Formasyonu, üst seviyelerde beyaz, killi kireçtaşlarının budenli yapısıyla da karakteristiktir.

#### 4.2.2 Gürpınar Formasyonu

Eosen yaşlı Kırklareli Formasyonu'nun karbonat çökellerini uyumsuz olarak örten ilk birim Üst Oligosen yaşlı Gürpınar Formasyonu'dur. Gürpınar Formasyonu, Cennet Mah., Yeni Mah., Cumhuriyet Mah., Kanarya Mah., ve Söğütlü Çeşme Mahalleleri'nin batı yamaçlarında, Kartaltepe Mah., Tefikbey Mah., İnönü Mahalleleri'nin doğu yamaçlarında mostra vermektedir. İstif, özellikle Tefikbey ve İnönü Mahalleleri'nde geniş yayılıma sahiptir.

Gürpınar Formasyonu'nun ana litolojisi grimsi yeşil renkli aşırı konsolide killerden oluşmaktadır. İstif, tabanda, killi kum-çakıl düzeyi ile başlar. Kum, çakıl ve siltten oluşan bu düzeylerin, bağlayıcı hamuru sarımsı kahverenkli kil olup, iri daneleri düzensiz, kötü boylanmış yuvarlak, az yuvarlaktır. Tabanda yer alan çakıl-kum düzeylerinin hemen üst seviyelerinde kolay dağılgan kıltaşı, ve silttaşları yer almaktadır. İstif daha üstte ise, aşırı konsolide yeşil, kahverengi, kahverengimsi yeşil renkli kolay dağılgan lamine, ince orta tabakalı, fissürlü killerden oluşup, arada silt, çapraz tabakalı merceksele kum ve yer yer ince marn ve kömür bantlarını içerir. İnceleme alanı içinde genişçe bir alanda yüzeylenen Gürpınar Formasyonu grimsi yeşil renkli aşırı konsolide kil özelliğinde olup, yüzeylendiği yerlerde ve üst seviyelerinde yer yer gri renkli, yumuşak ve plastik özellik taşımaktadır.

Formasyonun görünür kalınlığı yaklaşık 50 m civarındadır. İnceleme alanının doğu ve batı eteklerinde geniş yayılıma sahip olup, yaklaşık 3 km<sup>2</sup> lik kesimde yüzeilenmektedir. Kuzeye gidildikçe istifin kalınlığı doğu eteklerde artmaktadır ve genellikle dik yamaçlarda yüzeilenmektedir.

#### 4.2.3 Çukurçeşme Formasyonu

Gürpınar Formasyonu üzerine uyumsuz oturan Üst Miyosen yaşlı formasyonlar tabandan tavana Çukurçeşme Formasyonu, Güngören ve Bakırköy Formasyonlarıyla temsil edilir. Birbirleriyle yanal ve düşey yönde aşamalı geçiş gösteren bu formasyonların bu aşamalı geçişten dolayı birbirleriyle olan dokanakları da kesin olmayıp, belli bir zon içinde değişmektedir. Bazen Çukurçeşme Formasyonu litolojileri, karbonat oranı artarak doğrudan en üst seviyede yer alan Bakırköy Formasyonu kireçtaşlarına geçiş gösterebilmektedir. Çukurçeşme Formasyonu kumlu litolojileri, inceleme alanının batı ve doğu yamaçlarında yer yer inceliyor, kapanan bir zon halinde mostra verirler. İstifin en iyi görüldüğü yerlerden biri, Cumhuriyet Mahallesi batı yamaçlarındaki Soğuksu Gazinosu olarak adlandırılan yeşil alan olup, Kanarya Mahallesi ve Söğütluçeşme Mahalleleri boyunca yamaç ile sırt düzlüklerinin başladığı hat boyunca yaygın olarak gözlenmektedir.

Çukurçeşme Formasyonu'nun hakim litolojisi açık gri, kirli beyaz, krem renkli kumdur. Çoğunlukla Gürpınar Formasyonu üzerinde ince bantlar halinde yer almaktadır. Kalınlıkları 5-10m'yi pek aşmamaktadır. İnce bir bant halinde haritalanan Çukurçeşme Formasyonu kumları yer yer çakıl ve yeşil renkli kil mercek ve arakatmanlarını, bazen de üst seviyelere doğru marn arakatmalarını içerebilmektedir. Karasal nitelikli bu formasyonun kum, çakıllı siltli kum-az killi, serizitli kumlarında yer yer çapraz katmanlanma gözlenebilmektedir. İnce, çok ince kum seviyelerinde ise, çoğunlukla kuvars ve ikincil mineral olarak da çört, demirli maddeler, mika minerallerinden serizit ve muskovitleri içermektedir. Karasal nitelikli Çukurçeşme Formasyonu sıkı kum, sıkı çakıl niteliğinde olup, içerdiği kil katkıları ve bantları birime düşük kohezyonlu birim özelliğini vermektedir. Kum ocaklarında açılan oldukça dik şevler, içerdiği silt/kil oranına bağlı olarak stabilitesini koruyabilmektedir.

#### 4.2.4 Güngören Formasyonu

Çukurçeşme Formasyonu kumları üzerinde uyumlu olarak yer alan Güngören Formasyonu'nun hakim litolojisi, siyahımsı, koyu gri renkli, organik ve şişme özelliği gösteren kildir. İstifte kil-kum ve marn arakatmanları da yer almaktadır. İstifin kalınlığı

30m'ye kadar ulaşabilmekle birlikte, ortalama 10m'dir. Güngören Formasyonu, inceleme alanında yamaçlarda ve yamaç-tepe düzlüğü sınırlarını oluşturan kotlarda mostra vermektedir. İstif, yaklaşık 2 km<sup>2</sup> lik bir alanda yüzeylenmektedir.

#### 4.2.5 Bakırköy Formasyonu

Çukurçeşme ve Güngören Formasyonları ile tedrici geçiş gösteren Bakırköy Formasyonu'nun hakim litolojisi, beyazımsı krem renkli, yatay katmanlı marn-kireçtaşlarıdır. Bakırköy Formasyonu, Yeşilova, Beşyol, Gültepe, Kemalpaşa, Sultan Murat, Fevzi Çakmak Mahallelerinin tamamında, diğer mahallelerin ise, düzlük alanlarında geniş bir alanda en üst formasyon olarak yüzeylenmektedir.

Bakırköy Formasyonu litolojileri, genellikle taban kesimlerinde yer yer kalınlığı birkaç m'ye varabilen aşırı konsolide kil ve karbonatlı kum arakatmanları ile başlamakta, üste doğru yeşilimsi renkli aşırı konsolide kil ve kum mercceklerini içeren gözenekli, marn ve Maktra'lı kireçtaşlarından oluşan bir istife dönüşmektedir. İstif, inceleme sahasında yaklaşık 5 km<sup>2</sup> lik sahada yüzeylenmekte olup, hakim yüzeysel litolojiyi oluşturmaktadır. Görünür kalınlığı 2m-20m arasındadır. Kalınlık, güneyden kuzeye doğru gidildikçe incelik. En iyi mostraları Atatürk Hava Limanı, Cennet Mahallesi batı yamaçları, Küçükçekmece Belediye Başkanlığı-E5 karayolunun her iki kenar yamacını oluşturan şevler ile, Söğütülü Çeşme Mahallesi-İnönü Mahallesi sınırını oluşturan Halkalı Caddesi/Oyak Sitesi 1. kısım civarındaki doğu yamaçlarda açılmış kazı çukurlarında gözlenmektedir. Bu yörelerde yapılan gözlemlerde istif, beyazımsı krem renkli, yatay ya da yataya yakın katmanlı, ince-orta katmanlı, poroz, Maktra'lı kireçtaşı-marn, karbonatlı kil ardalımalı olup, kireçtaşları, beyaz, orta sert, kırılğan, boşluklu, bol fosillidirler.

#### 4.2.6 Alüvyon

Güncel Alüvyon, inceleme alanının düşük kotlarında yamaçlardan sonra bitip düzlük alanların yer aldığı kesimlerde yaygınca gözlenmektedir. Yaklaşık 2 km<sup>2</sup> lik bir alanı kaplayan güncel alüvyal çökeller, inceleme alanı batısında Küçükçekmece Gölü ile sınır teşkil eden düzlüklerde yer almaktadır. Fatih Mahallesi'nin tümü alüvyal çökeller üzerinde yer almaktadır. Kalınlıkları, araştırma çukurları ile sondajlardan belirlendiğine göre birkaç m'den başlayıp, yer yer 30m'yi aşmaktadır. Alüvyonun kalınlığı, Küçükçekmece Gölü'nün Marmara Denizi ile birleştiği deniz seviyesi kotlarına yakın (E5 karayolu kuzey ve güneyi) kesimlerde daha da artabilmektedir. Alüvyonun yaygın gözlemlendiği ikinci kesim ise, inceleme alanının

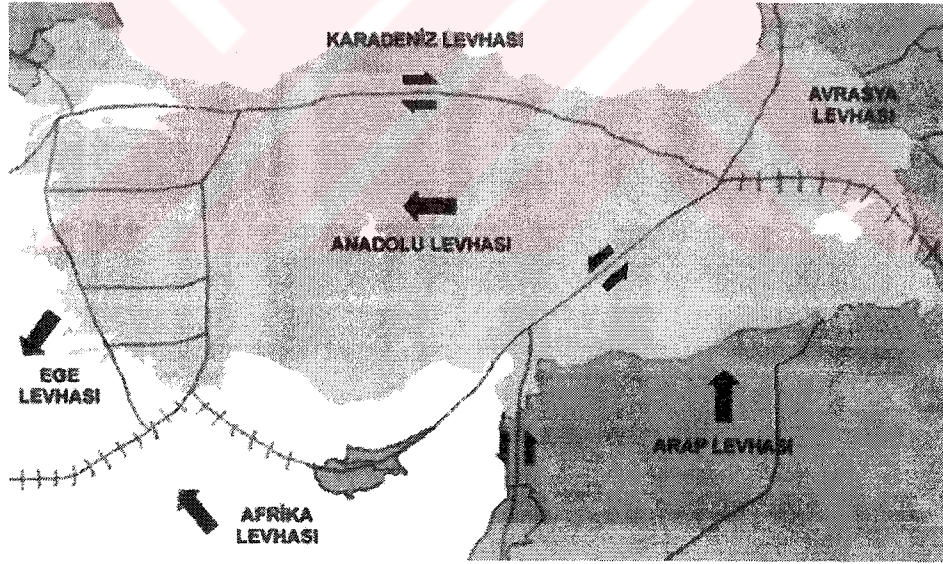
doğusunda, Ayamama Deresi yatağı ve çevresindeki düzlüklerdir. Alüvyal zeminler yer yer yapay dolgu zeminlerle de örtülmüşlerdir.

### 4.3 İnceleme Alanının Tektonik Yapısı

Yerküre üzerinde oluşan depremlerin büyüklüğü ve neden oldukları zararlar göz önüne alındığında iki ana deprem kuşağı en çok dikkat çeken bölgelerdir. Bunlardan biri Büyük Okyanusu çevreleyen ve özellikle Japonya üzerinde etkili olan Pasifik Deprem Kuşağı, diğeri ise Cebelitarık'tan Endonezya adalarına uzanan ve Türkiye'nin de içinde bulunduğu Akdeniz-Himalaya deprem kuşağıdır.

Türkiye'nin bulunduğu bölgede büyük levhalar arasında küçük birçok levhanın olması, Türkiye'nin büyük bir bölümünün deprem kuşağı içinde yer almasına neden olmaktadır. Türkiye, bilinen tarihsel dönem deprem kayıtlarına göre M.Ö. 2000 yılından beri sürekli olarak hasar yapıcı ve yüzey faylanmasına neden olmuş büyük depremlerden etkilenmiştir.

Türkiye, üç büyük levhanın etkisi altındadır. Avrasya, Afrika ve Arap levhaları. Anadolu'nun büyük bir kısmının yer aldığı Anadolu levhası, Avrasya levhasının küçük bir bölümüdür (Şekil 4.4)



Şekil 4.4 Kuzey Anadolu Fayının oluşumu

Bu levhalar arasındaki etkileşim şöyledir: Afrika levhası, Akdeniz'de Helenik-Kıbrıs Yayı denilen bölgede, Avrasya (veya onun bir parçası olan Anadolu) levhasının altına dalar. Arap levhası ise Kızıldeniz'deki açılma nedeniyle kuzeye doğru hareket eder ve Anadolu levhasını

sıkıştırır. Bu sıkıştırma sonucu Bitlis Bindirme Zonu (Bitlis Kenet Kuşağı) oluşmuştur. Sıkıştırma halen sürdüğü için, Anadolu levhası kuzey ve güneydeki fay hatları boyunca batıya doğru hareket eder. Anadolu levhasının kuzey sınırı, bir bölümünde 17 Ağustos depreminin olduğu Kuzey Anadolu Fayı'dır. Güney sınırını ise, Helenik-Kıbrıs Yayı ile Doğu Anadolu Fayı oluşturur (Şekil 4.5).

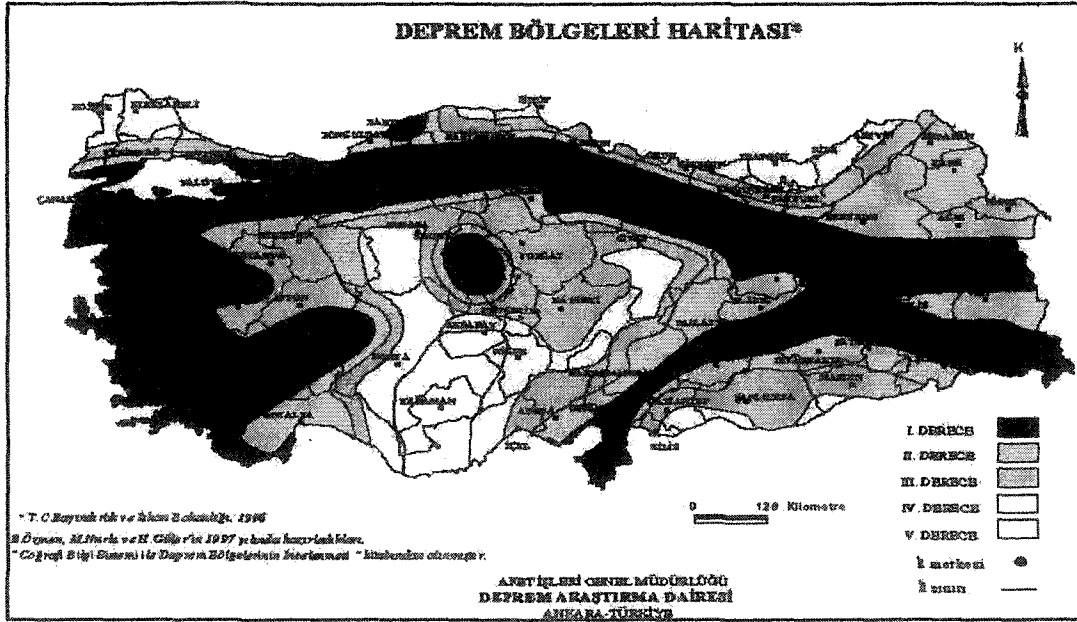
Arap levhasının sıkıştırması sonucu batıya kayan Anadolu levhasının sınırlarında ve Afrika levhasının Avrasya levhasının altına dalması sonucu Akdeniz'de ve Ege Graben Sistemi içerisinde depremler meydana gelir. Ancak Arap levhasının sıkıştırması bu bölgelerdeki hareketlenme ile tamamen giderilemediği için İç Anadolu ve Doğu Anadolu bölgelerinde de içsel deformasyon nedeniyle depremler olabilmektedir.



Şekil 4.5 Türkiye'nin başlıca fayları

1996 yılında, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, eldeki sismotektonik bilgilerden yararlanarak, Şekil 4.6'da verilen Türkiye için günümüzde de geçerli olan Deprem Bölgeleri Haritası'nı yayımlamıştır. Haritada görüldüğü gibi, İstanbul'un Anadolu ve Trakya kesimlerinde kıyı bölgelerinden bir kısmı, bu arada Küçükçekmece İlçesi de, I. Derece Deprem Bölgesi içinde kalmaktadır.





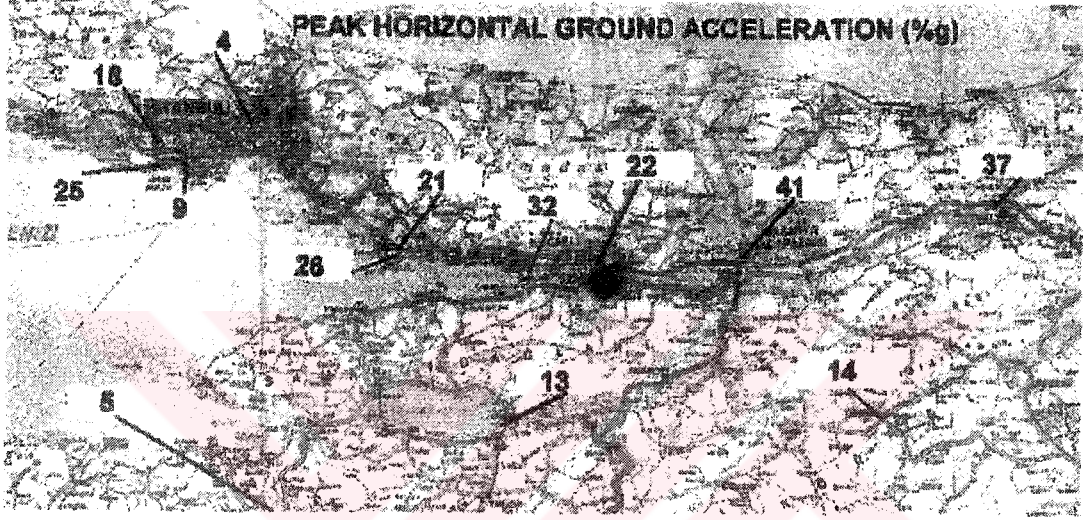
Şekil 4.6 Türkiye deprem bölgeleri haritası

Kuzey Anadolu fayı, sismik olarak dünyanın en diri faylarından birisini oluşturur. Fay, doğuda Doğu Anadolu Fayı ile kesiştiği Karlıova üçlü birleşim noktasından başlar, orta kesimi civarında dışa bükey bir yay yaparak Mudurnu Vadisi segmentinin batı ucuna kadar devam eder. Mudurnu Vadisi segmentinin batısında iki ana kola ayrılarak, kuzeydeki kol Sapanca, oradan Armutlu yarımadasının kuzey kenarını izleyerek Marmara Denizi içerisinden Saros Körfezine doğru uzanır. Güneyde yer alan kol ise Geyve-Mekece-İznik boyunca uzanarak oradan da Bandırma ve daha sonra Biga yarımadasını izleyerek Ege denizine doğru devam eder. Kuzey Anadolu fayının toplam uzunluğu yaklaşık 1000 km civarında olup, toplam atım miktarı 25 km ile 85 km arasında değişmektedir. Doğuda fay 100 m ile birkaç yüz metre arasında değişen genişliklerde oldukça dar çizgisel görüntüler ve ters bileşenli özellikler gösterirken, batıya doğru fay zonunun genişliği artarak 5 km ye ulaşır ve normal atım bileşenli özellikler sunmaktadır. Fay orta kısımda dış bükey bir kavis yaparak fayın kilitlemesine neden olacak şekilde Anadolu bloğunun güneybatıya doğru dönmesine neden olmaktadır.

Kuzey Anadolu Fayı'nın Marmara Denizi içindeki çok parçalı faylanma sistemine dönüştüğü bilinmekle birlikte, Marmara Denizi içindeki tektonik yapı halen araştırılmaktadır. Kuzey Anadolu Fayı'nın batıdaki dallarından yaklaşık 110 km uzunluğundaki bir parçanın yırtılmasının yol açtığı 17 Ağustos 1999 Kocaeli depremi, İstanbul'da özellikle Avcılar

İlçesi'nde, daha sınırlı bir şekilde de Küçükçekmece, Bağcılar, Bakırköy gibi çevre ilçelerde hasara yol açmıştır. Bunun dışında, İstanbul'un hemen her yerinde, bina kaliteleri ve zemin koşullarına bağlı olarak, hafif ve orta hasar gören binalar olmuştur.

17 Ağustos 1999 Kocaeli depreminin İstanbul'da alınan ivme kayıtları, gelecekteki bir depremin etkilerini kestirmek açısından da önemlidir. Bu deprem sırasında, İstanbul'da yaygın bir kuvvetli yer hareketi kayıt ağı bulunmamakla birlikte, gerek hasar dağılımı, gerekse eldeki kayıtlar, Küçükçekmece'nin de yer aldığı İstanbul'un güneybatı bölümünün deprem riskine dikkat edilmesi gerektiğini göstermektedir (Şekil 4.7)



Şekil 4.7 17 Ağustos 1999 depreminde kaydedilen maksimum yatay yer ivmeleri (%g)

Kuzey Anadolu Fay Hattı, İzmit Körfezi'nden itibaren çatallanmakta, Marmara Denizi ortasından geçen uzantısı genellikle İstanbul için deprem kaynağını teşkil etmektedir. Bu kesimdeki fayın hareket ederek şiddeti yüksek bir depreme neden olması halinde, Marmara Denizi kuzey sahil şeridini 1. derecede doğrudan etkileyecek ve hasarlara neden olacaktır.

Marmara Denizi'ndeki faylanma yapısı ve bir defada kırılabilir fay uzunluğu konusunda değişik görüşler olmakla birlikte, genel kabul gören görüş olarak, önümüzdeki 30 yıl içinde İstanbul'u etkileyecek yaklaşık  $M=7$  büyüklüğünde bir depremin meydana gelme olasılığı % 60 civarında olduğu düşünülmektedir.

## 5. KÜÇÜKÇEKMECE BÖLGESİNİN YEREL ZEMİN KOŞULLARININ BELİRLENMESİ

### 5.1 Giriş

Yerel zemin koşullarının bölgedeki değişiminin incelenerek hasara olan etkisinin belirlenmesi için yapılan ikinci derece mikrobölgeleme çalışması kapsamında arazi geoteknik deneyleri, geoteknik sismik deneyler ve mikrotremor ölçümleri yapılarak zeminlerin büyütme ve periyot özelliklerinin bölgedeki değişimi araştırılır. Üçüncü derece mikrobölgelemede ise yapılan geoteknik incelemelerden elde edilen sonuçlar değerlendirilerek zeminlerin deprem hareketi sırasındaki davranışları sayısal olarak incelenir. Bu amaçla Küçükçekmece bölgesinde yürütülen yerleşime uygunluk çalışması sırasında açılan derinlikleri 15-40 m arasında değişen 64 adet sondaj kuyusundan elde edilen örnekler üzerinde geoteknik değerlendirmeler yapılmıştır.

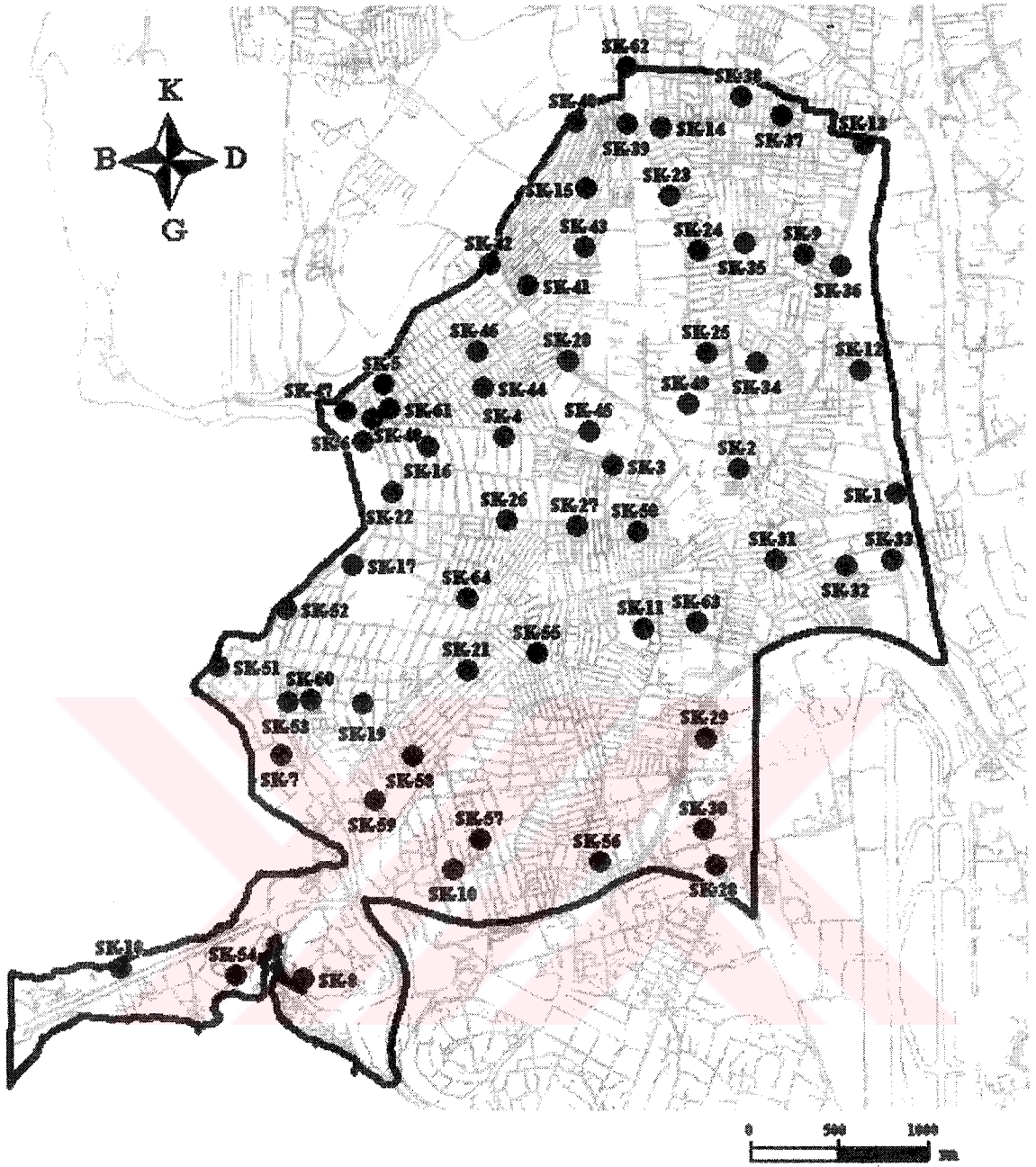
Kayma dalgası hızlarının belirlenmesi amacıyla, bölgede konumları Şekil 2.4'te verilen 30 noktada sismik kırılma deneyi yapılmış ve zeminlerin kayma dalgası hızları yerinde ölçülmüştür.

Ayrıca bölgede konumları Şekil 2.5'te verilen 9 noktada mikrotremor ölçümleri yapılmış, sonuçlar Nakamura metoduyla değerlendirilerek zeminlerin periyot ve büyütme özellikleri belirlenmiştir.

Son olarak ise geoteknik deneylerden elde edilen veriler kullanılarak EERA programı ile 64 sondaj noktası için, bölge zemininin deprem hareketi altındaki davranışı incelenmiştir.

### 5.2 Küçükçekmece Bölgesinde Yapılan Sondajlar ve Zemin Özellikleri

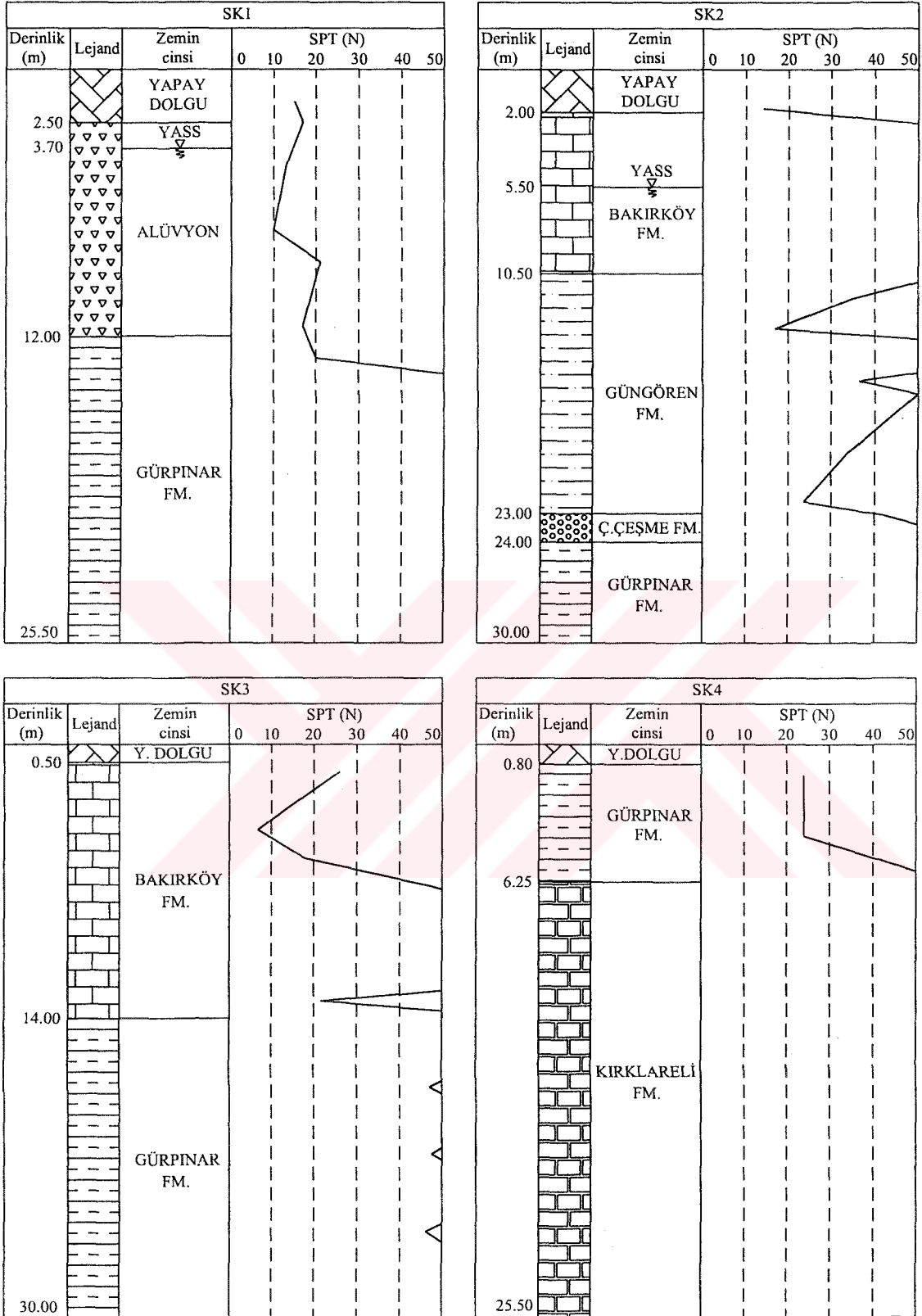
Küçükçekmece bölgesinde yerel zemin koşullarının belirlenmesi ve zemin büyütmesine göre mikrobölgeleme çalışması için, bölgede yürütülen yerleşime uygunluk çalışması kapsamında açılan, derinlikleri 15-40 m arasında değişen 64 adet sondaj kuyusundan elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. Sondaj kuyularının yerleri Şekil 5.1'de gösterilmektedir. Ayrıca sondaj kuyularının derinlikleri ve YASS seviyeleri de Çizelge 5.1'de verilmiştir. Yapılan sondajlarda elde edilen zemin kesitleri ve SPT (N) değerinin derinlikle değişimi Şekil 5.2'de verilmiştir.



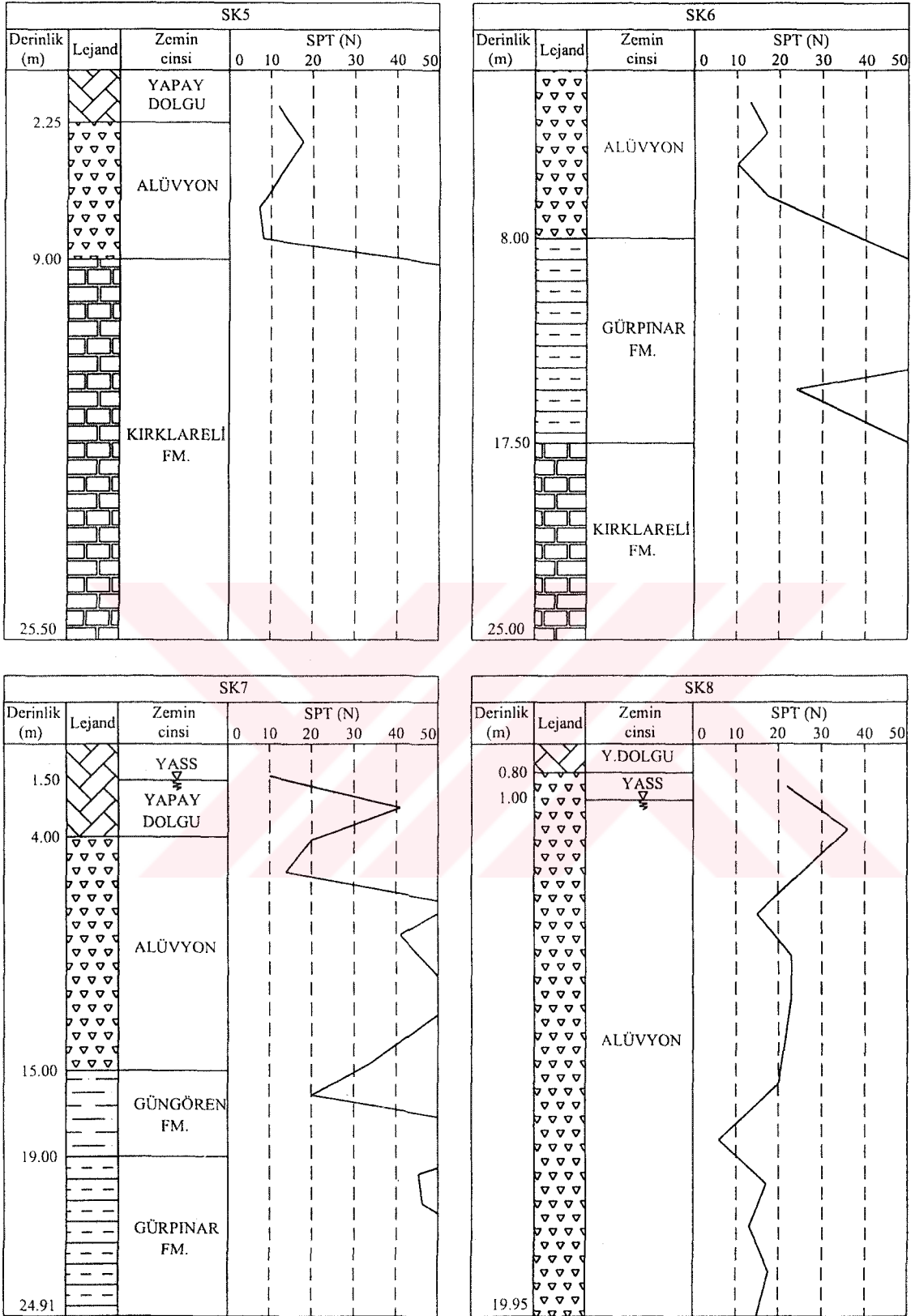
Şekil 5.1 Mikrobölgeleme çalışmasında kullanılan sondajların bölgedeki dağılımı

Çizelge 5.1 Küçükçekmece bölgesinde yapılan sondajlar, koordinatları, derinlikleri ve YASS seviyeleri

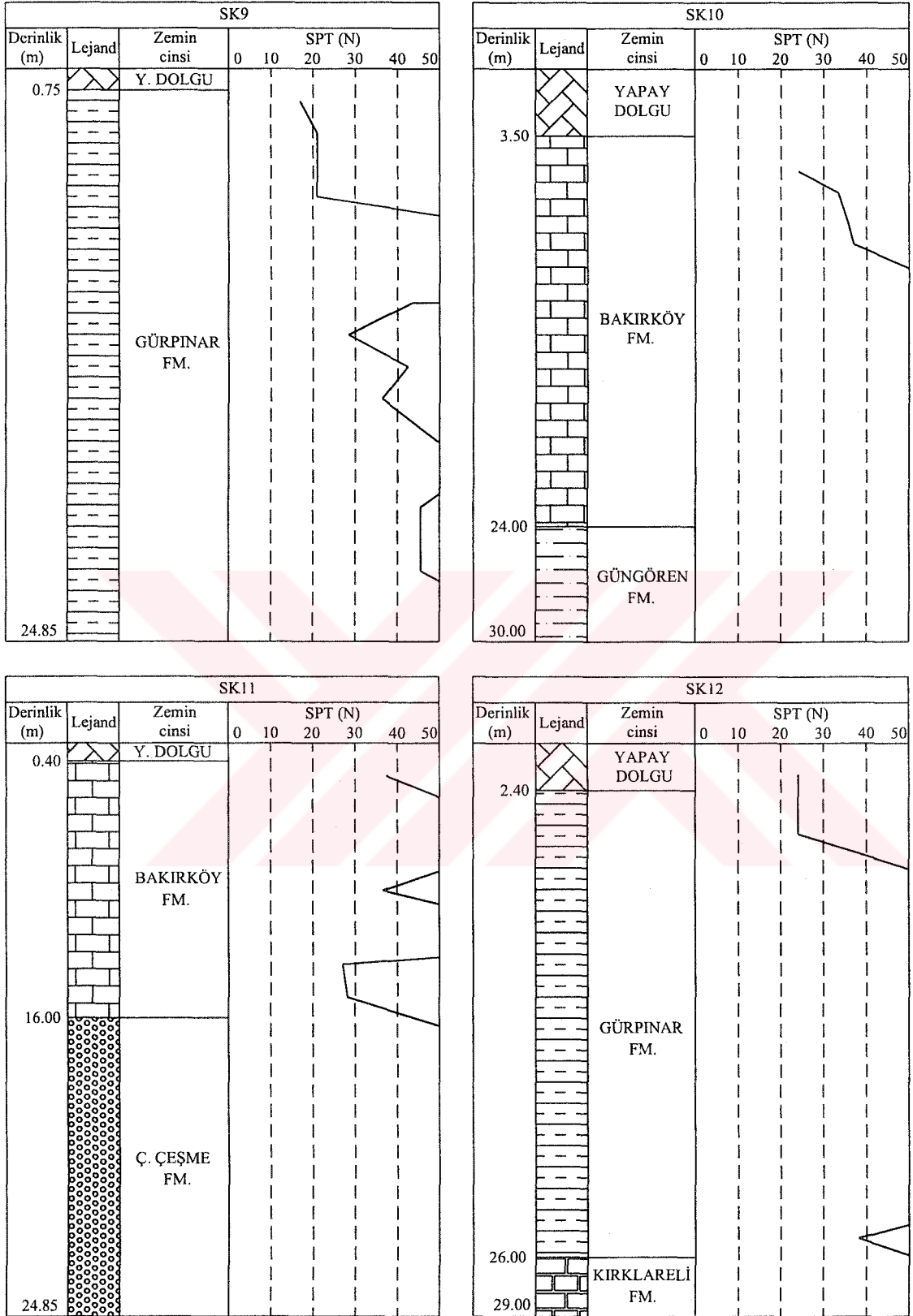
SONDAJ NO	KOORDİNATLAR		SONDAJ YERİ	YASS (m)	SONDAJ DERİNLİĞİ (m)
	E	N			
SK-1	399824.44	4542293.09	Tevfik Bey Mahallesi Dr.Ali Demir Caddesi	-	25.50
SK-2	398942.79	4542436.75	Tevfik Bey Mahallesi Yeşil Sokak – Süreyya Sokak	5.50	30.00
SK-3	398224.87	4542459.80	Kanarya Mahallesi Karadeniz Sokak – Şeref Sokak	-	30.00
SK-4	397615.00	4542615.00	Kanarya Mahallesi Mavi Kuş Sokak – İskete Sokak	-	25.50
SK-5	396939.32	4542918.44	Kanarya Mahallesi Sakrak Kuşu Sokak – Üveyik Kuşu Sokak	-	25.00
SK-6	396820.03	4542596.95	Fatih Mahallesi Hatboyu Caddesi Kanarya Tren İstasyonu Doğusu	-	25.00
SK-7	396343.45	4540825.01	Fatih Mahallesi 27 Mayıs Caddesi Cennet Bahçesi	1.50	25.00
SK-8	396458.01	4539551.75	Fatih Mahallesi Kubilay Caddesi Fırat Çıkmazı – Marmara Sokak	1.00	20.00
SK-9	399319.88	4543654.06	İnönü Mahallesi Muammer Aksoy Caddesi Yeşil Sokak – Gül Sokak	-	25.00
SK-10	397313.69	4540164.47	Cennet Mahallesi Barbaros Caddesi – Mevlana Caddesi	-	30.00
SK-11	398400.00	4541535.00	Gültepe Mahallesi Bağlar Caddesi Kardeşler Çıkmazı	4.90	25.00
SK-12	399633.34	4542999.00	Tevfik Bey Mahallesi Tahsin Tekoğlu Caddesi Kahraman Sokak	-	29.00
SK-13	399664.73	4544276.20	İnönü Mahallesi Muammer Aksoy Caddesi Çam Sokak – Güneş Sokak	-	18.00
SK-14	398520.70	4544379.41	İnönü Mahallesi Hakan Caddesi Salkım Sokak – Barış Sokak	5.10	25.00
SK-15	398092.35	4544033.50	Söğütü Çeşme Mahallesi Ertuğrul Sokak – Gülbahar Sokak	-	25.00
SK-16	397185.00	4542560.00	Kanarya Mahallesi Şahin Caddesi Çalı Kuşu – Pelikan Sokak	-	24.00
SK-17	396754.12	4541901.95	Cumhuriyet Mahallesi Aşık Veysel Caddesi İstasyon Sokak	-	25.00
SK-18	395430.00	4539610.00	Fatih Mahallesi Askerlik Şubesi Yanı	3.25	30.45
SK-19	396810.00	4541110.00	Cumhuriyet Mahallesi Yıldız Caddesi Sakız ağacı Sokak – Menekşe Sk.	-	25.50
SK-20	397985.00	4543045.00	Söğütü Çeşme Mahallesi Fevzi Çakmak Caddesi Divriği Kuşu Sokak	-	25.00
SK-21	397403.89	4541289.93	Yeni Mahalle Ara 3. Sokak Küne Sokak – Düz Sokak	-	15.00
SK-22	396979.45	4542309.31	Kanarya Mahallesi Leylek Caddesi – Güvercin Caddesi Arı Kuşu Sokak	-	25.00
SK-23	398561.14	4543989.42	İnönü Mahallesi İstiklal Caddesi Süleyman Efendi Sokak – Sosyal Sokak	7.70	15.45
SK-24	398725.00	4543675.00	İnönü Mahallesi İstiklal Caddesi Uzun Sokak – Enfes Sokak	-	15.45
SK-25	398770.00	4543090.00	Tevfik Bey Mahallesi İstiklal Caddesi – Yel değirmeni Caddesi G.5 Sokak	3.50	15.00
SK-26	397625.00	4542140.00	Cumhuriyet Mahallesi Leylek Caddesi – Kökmar Caddesi İğde Sokak	-	15.00
SK-27	398019.97	4542115.35	Sultan Murat Mahallesi Yeni Park Sokak Edip Sokak – Trakya Sokak	-	15.00
SK-28	398795.65	4540186.75	Beyoğlu Mahallesi İnönü Caddesi – Birlik Caddesi Shall Benzin İstasyonu	-	15.00
SK-29	398747.20	4540905.88	Beyoğlu Mahallesi İnönü Caddesi Çamlıbel Sokak – Sefa Sokak	-	15.00
SK-30	398735.54	4540391.44	Beyoğlu Mahallesi Birlik Caddesi Fabrikalar Caddesi – Akasya Caddesi	-	15.00
SK-31	399140.28	4541916.25	Kartaltepe Mahallesi Hayırlı Caddesi Ala Sokak – Ayla Sokak	-	15.00
SK-32	399546.16	4541882.14	Kartaltepe Mahallesi 19 Mayıs Sokak Cihan Sokak – Karadeniz Sokak	8.50	15.00
SK-33	399799.69	4541918.78	Kartaltepe Mahallesi Malazgirt Caddesi Menderes Sokak	8.50	15.00
SK-34	399049.70	4543039.25	Tevfik Bey Mahallesi Yel değirmeni Caddesi Saray Sokak – Vural Sk.	-	15.00
SK-35	398982.82	4543721.39	İnönü Mahallesi Maslak Çeşme Caddesi Sevinç Sokak – Oral Sokak	-	15.00
SK-36	399516.93	4543592.84	İnönü Mahallesi Muammer Aksoy Caddesi Türkler Sokak B.B.D	13.40	20.00
SK-37	399196.96	4544440.27	İnönü Mahallesi Hakan Caddesi – Ardahan Caddesi	-	15.00
SK-38	398969.25	4544542.76	İnönü Mahallesi Selim Sokak – Yassı Sokak	-	15.00
SK-39	398327.36	4544398.91	İnönü Mahallesi Halkalı Caddesi – İstiklal Caddesi	-	15.00
SK-40	398031.52	4544407.04	Söğütü Çeşme Mahallesi Huzur Caddesi Korutürk Sokak – Sazlı Sokak	-	15.00
SK-41	397756.60	4543482.81	Söğütü Çeşme Mahallesi Huzur Caddesi Hüriyet Sokak – Yıldırım Sk.	-	15.00
SK-42	397543.41	4543603.48	Kanarya Mahallesi Huzur Caddesi – Ağaçkakan Caddesi	9.10	12.00
SK-43	398083.15	4543690.95	Söğütü Çeşme Mahallesi Huzur Caddesi Telli Kavak Sokak – Yılmaz sk.	-	15.00
SK-44	397497.83	4542897.07	Kanarya Mahallesi Sülün Caddesi – Bahçin Caddesi Yarasa Sokak	-	15.00
SK-45	398100.03	4542654.07	Kanarya Mahallesi Anadolu Sokak – Can Sokak	10.50	15.00
SK-46	397464.30	4543103.63	Kanarya Mahallesi Bozdoğan Caddesi Florya Caddesi – Ceylan sokak	7.70	12.00
SK-47	396719.41	4542769.60	İstasyon Mahallesi Ağaçkakan Caddesi Hatboyu Caddesi Göl Kıyısı	6.30	13.00
SK-48	396870.66	4542724.20	Kanarya Mahallesi Şahin Caddesi Çil Sokak – Ördek Sokak	5.10	29.00
SK-49	398654.56	4542798.01	Tevfik Bey Mahallesi Özcan Sokak Güldallar Sanayi Sitesi	-	15.00
SK-50	398366.92	4542076.52	Fevzi Çakmak Mahallesi Nadide Sokak Canan Sokak	15.00	30.00
SK-51	395990.14	4541322.57	Fatih Mahallesi Yalı Caddesi Meltem Sokak Göl Kenarı	2.75	20.00
SK-52	396375.60	4541646.48	Fatih Mahallesi Manolya Sokak Göl Kenarı	3.00	20.00
SK-53	396384.88	4541122.88	Cumhuriyet Mahallesi Hatboyu Caddesi Mine Sokak – Mine Çıkmazı	-	15.45
SK-54	396072.83	4539576.08	Fatih Mahallesi Beyazalı Caddesi	2.80	15.45
SK-55	397801.12	4541391.79	Yeşilova Mahallesi İnönü caddesi Kırkpınar Sokak Sezenler Sokak	-	15.00
SK-56	398142.28	4540210.04	Yeşilova Mahallesi Barbaros Caddesi Zümrüt Sokak Lale Sokak	-	15.00
SK-57	397465.14	4540332.99	Cennet Mahallesi Alparslan Caddesi Mektep Sokak Güneş Sokak	-	40.00
SK-58	397084.85	4540810.73	Yeni Mahalle Engin Sokak Tamel Sokak Ülkü Sokak Pınar Sokak	-	15.00
SK-59	396868.04	4540563.90	Yeni Mahalle İmaret Caddesi Yeni yol Caddesi Türbe çıkmazı	-	15.00
SK-60	396519.34	4541127.02	Cumhuriyet Mahallesi Aşık Veysel Caddesi Sakız ağacı Sokak	7.20	15.00
SK-61	396964.73	4542779.98	Kanarya Mahallesi Bozdoğan Caddesi Florya Caddesi Kırılgaç Sokak	-	24.00
SK-62	398327.26	4544720.38	Halkah Yolu Çamlık Mevkii	-	15.00
SK-63	398705.82	4541564.47	Mustafa Kemal Paşa Mahallesi Güllü sokak Turna Sokak Nebioğlu sk.	-	15.00
SK-64	397400.12	4541704.84	Cumhuriyet Mahallesi Kule Caddesi Kayın Sokak Yasemin Caddesi	-	15.00
TOPLAM SONDAJ DERİNLİĞİ					1254.75 m



Şekil 5.2 Küçükçekmece Bölgesinde yapılan sondajlardan elde edilen zemin kesitleri ve SPT (N) değerlerinin derinlikle değişimi

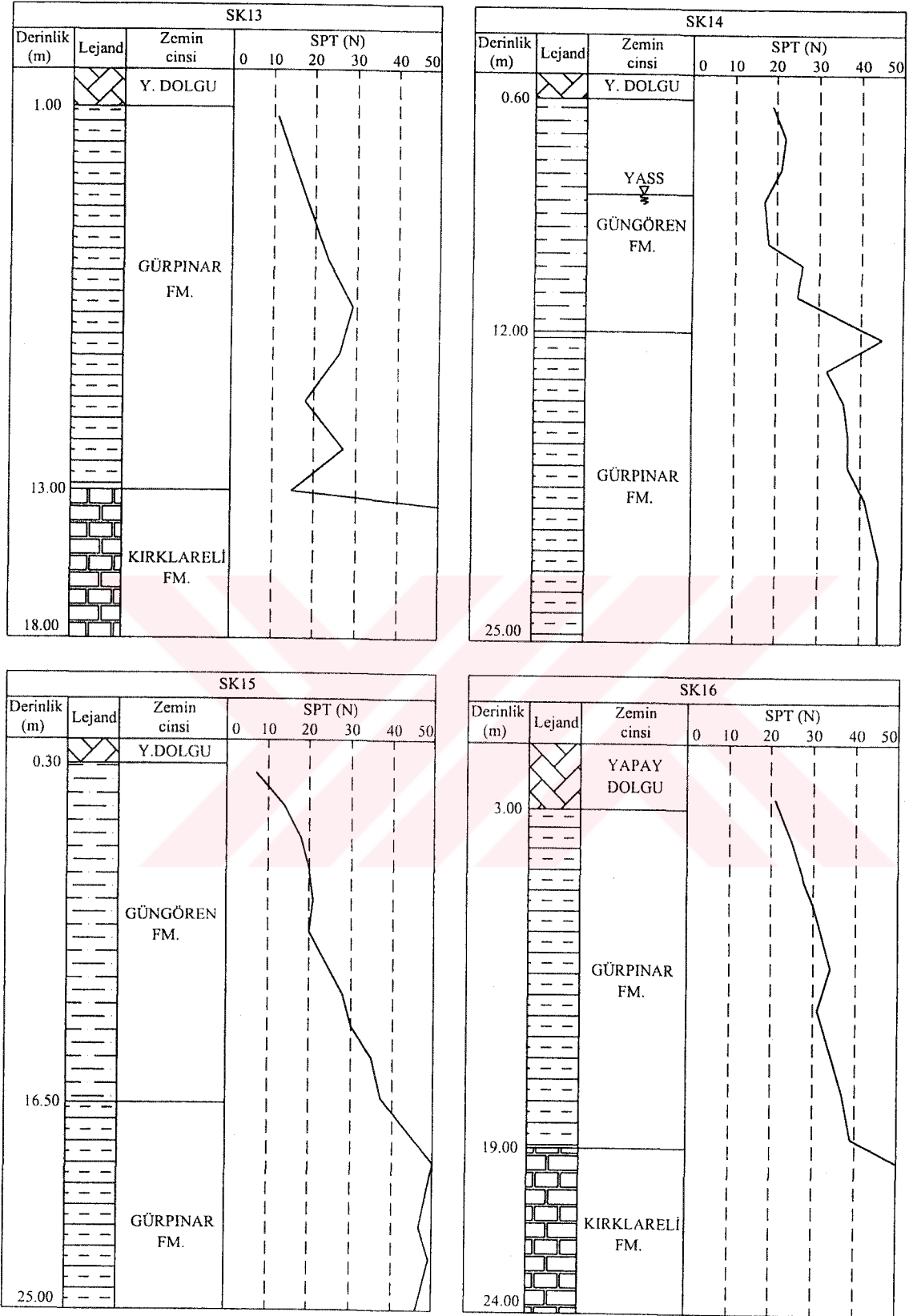


Şekil 5.2 Küçükçekmece Bölgesinde yapılan sondajlardan elde edilen zemin kesitleri ve SPT (N) değerlerinin derinlikle değişimi (Devam)

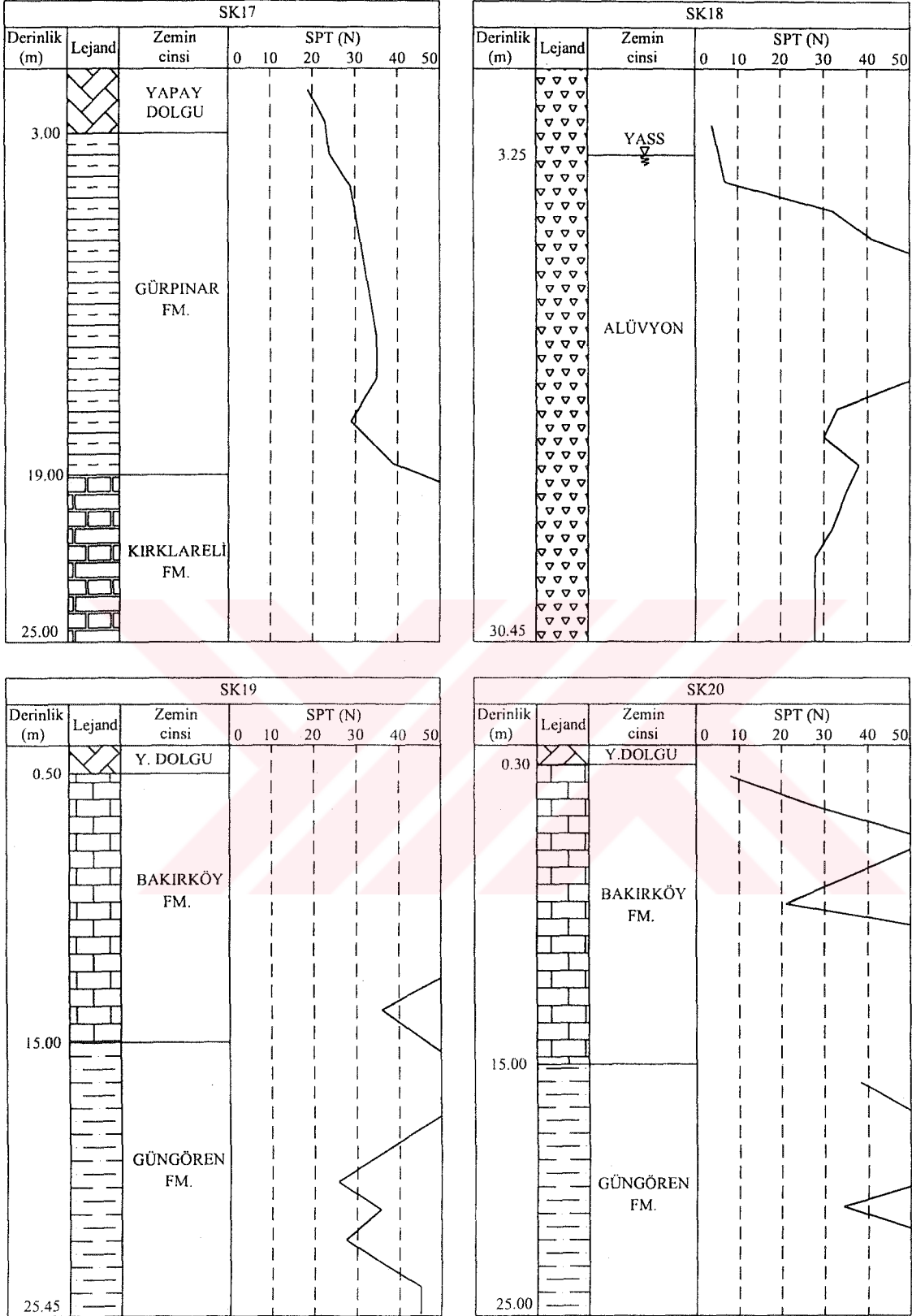


Şekil 5.2 Küçükçekmece Bölgesinde yapılan sondajlardan elde edilen zemin kesitleri ve SPT (N) değerlerinin derinlikle değişimi (Devam)

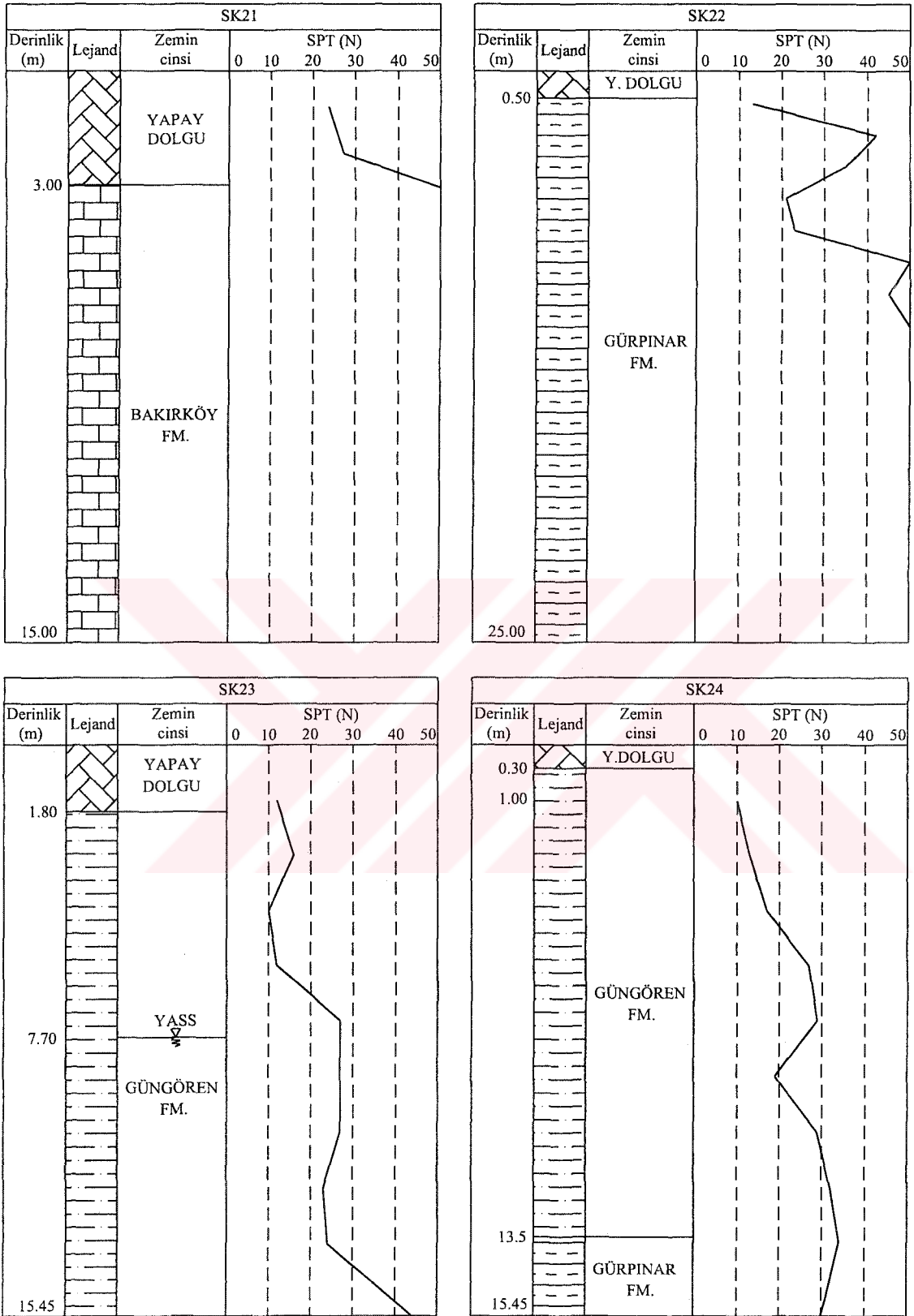




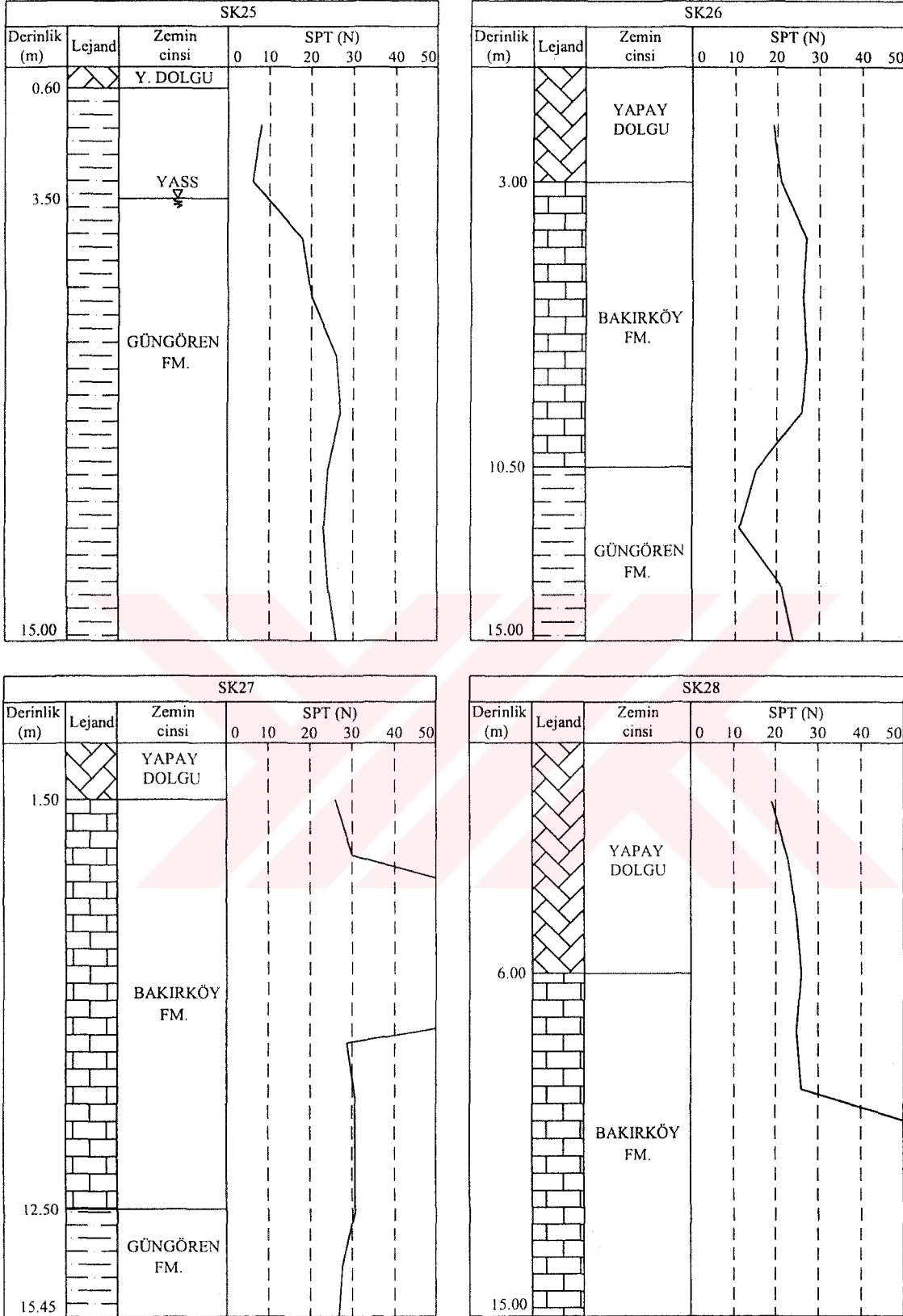
Şekil 5.2 Küçükçekmece Bölgesinde yapılan sondajlardan elde edilen zemin kesitleri ve SPT (N) değerlerinin derinlikle değişimi (Devam)



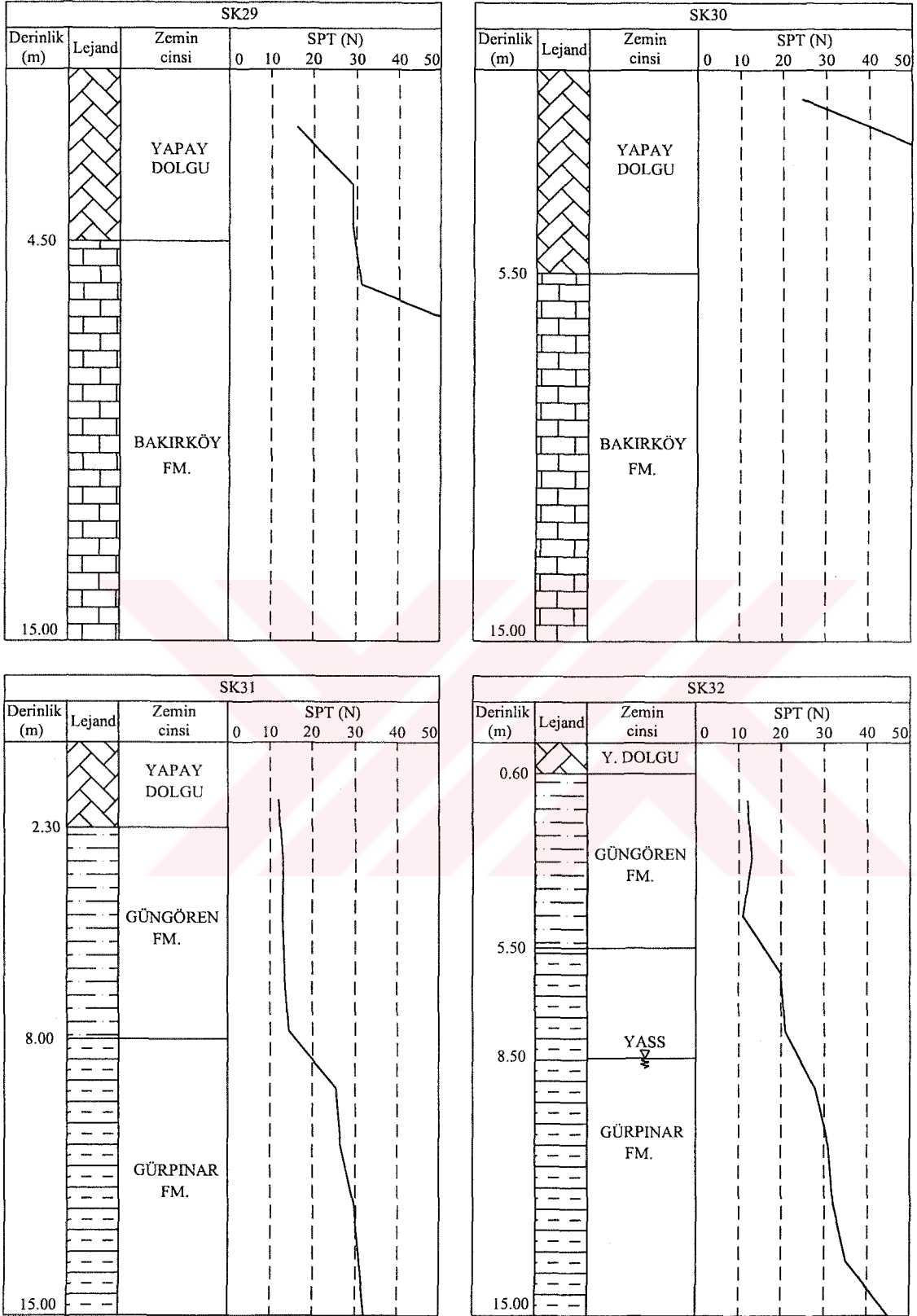
Şekil 5.2 Küçükçekmece Bölgesinde yapılan sondajlardan elde edilen zemin kesitleri ve SPT (N) değerlerinin derinlikle değişimi (Devam)



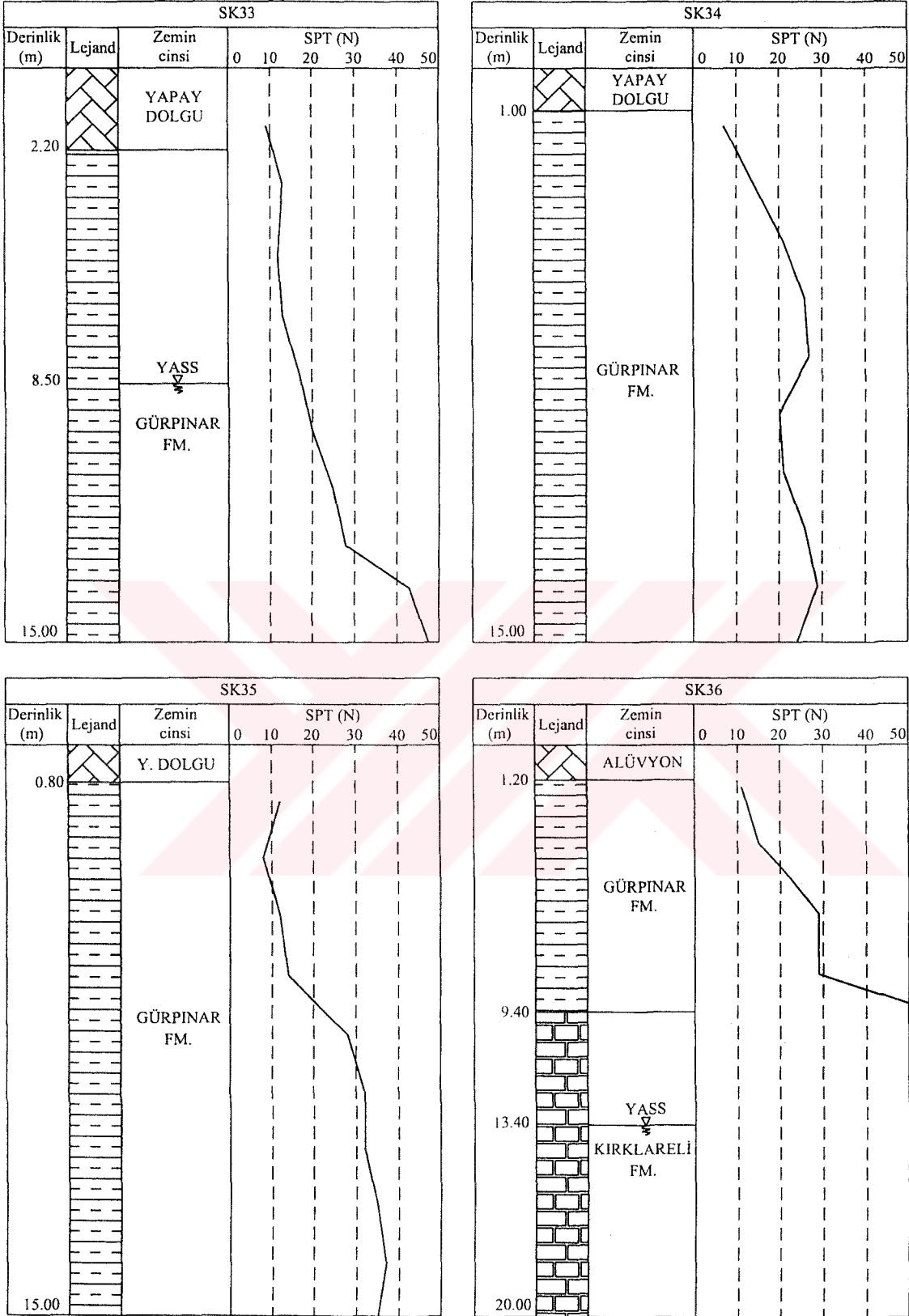
Şekil 5.2 Küçükçekmece Bölgesinde yapılan sondajlardan elde edilen zemin kesitleri ve SPT (N) değerlerinin derinlikle değişimi (Devam)



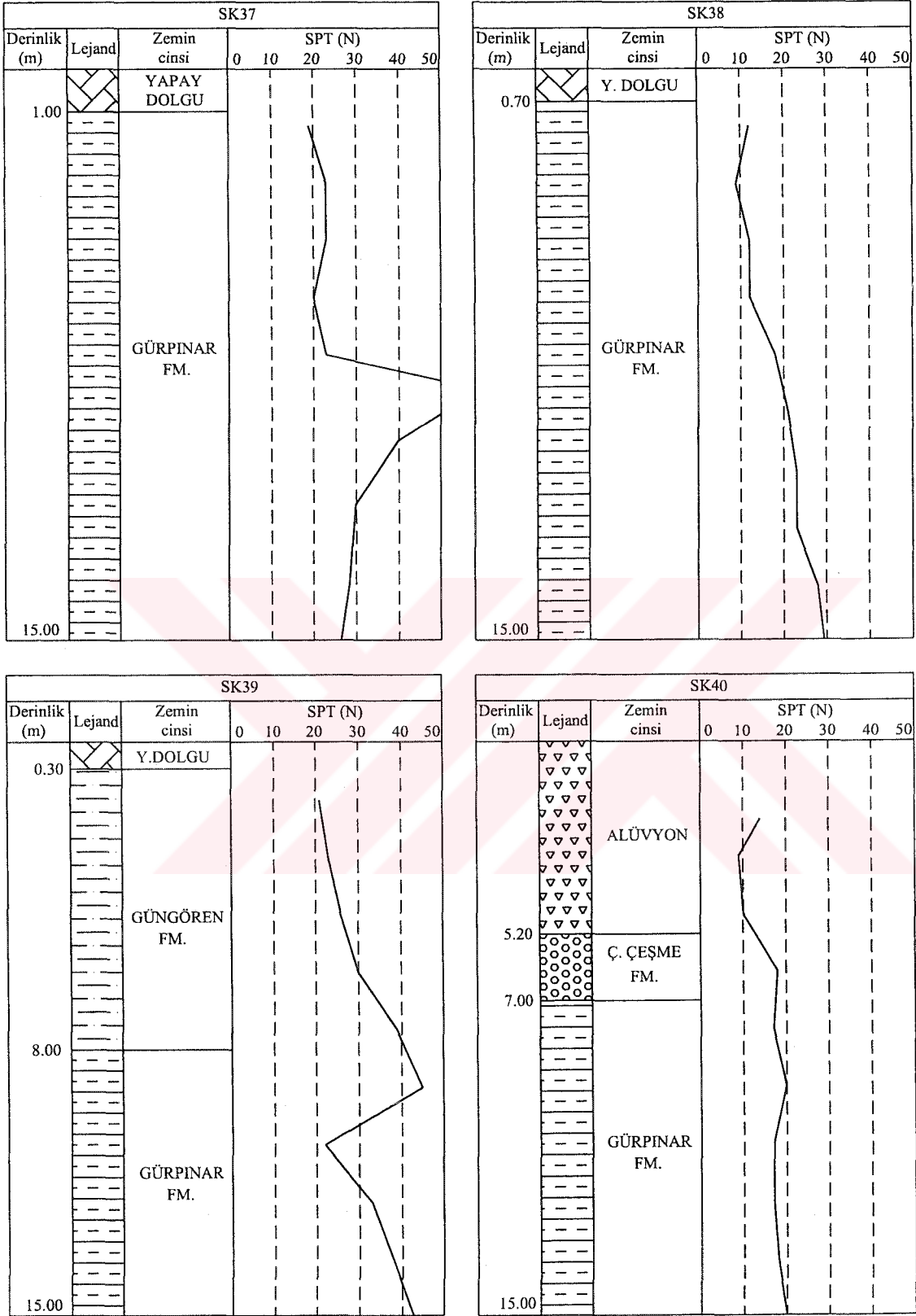
Şekil 5.2 Küçükçekmece Bölgesinde yapılan sondajlardan elde edilen zemin kesitleri ve SPT (N) değerlerinin derinlikle değişimi (Devam)



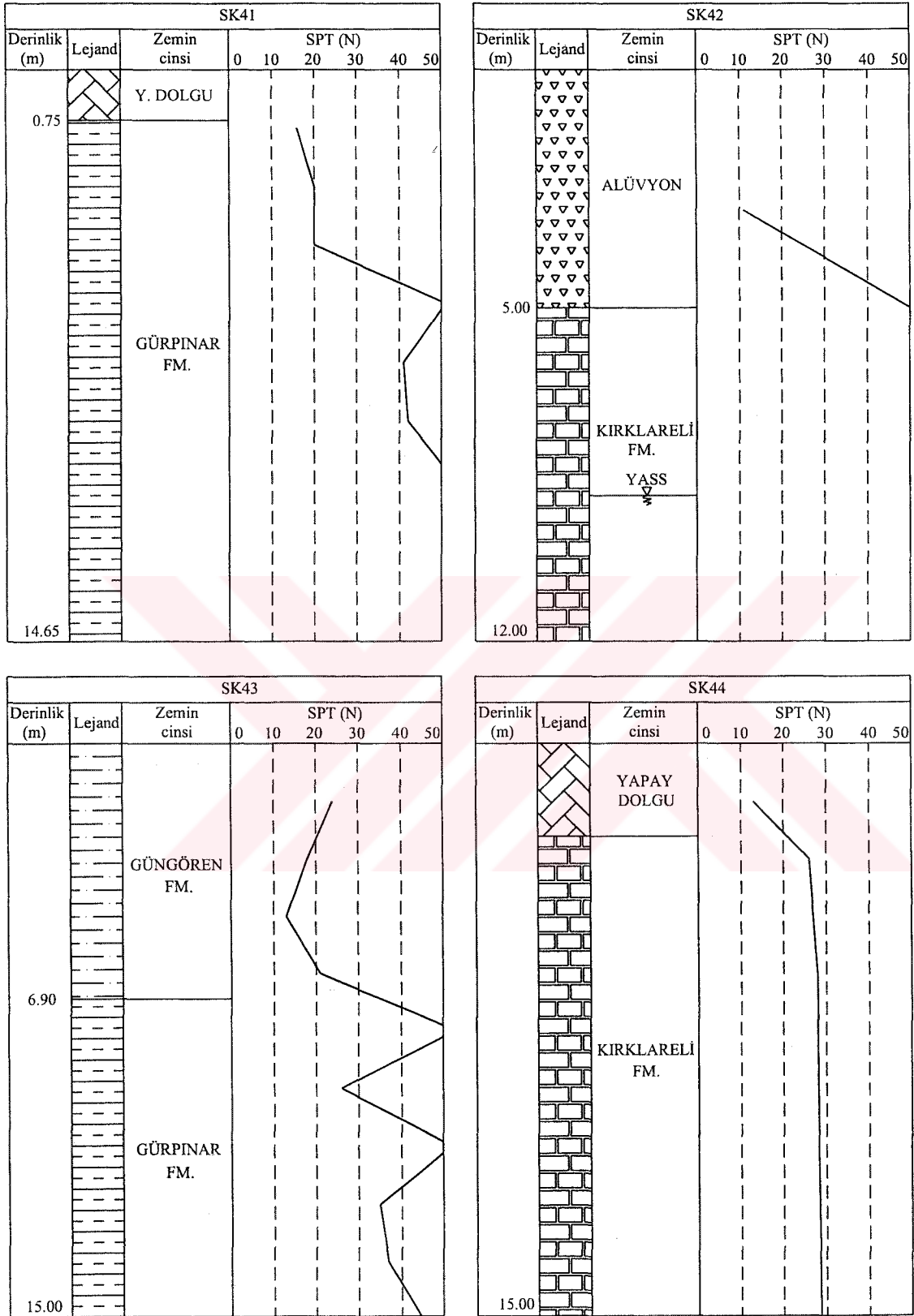
Şekil 5.2 Küçükçekmece Bölgesinde yapılan sondajlardan elde edilen zemin kesitleri ve SPT (N) değerlerinin derinlikle değişimi (Devam)



Şekil 5.2 Küçükçekmece Bölgesinde yapılan sondajlardan elde edilen zemin kesitleri ve SPT (N) değerlerinin derinlikle değişimi (Devam)

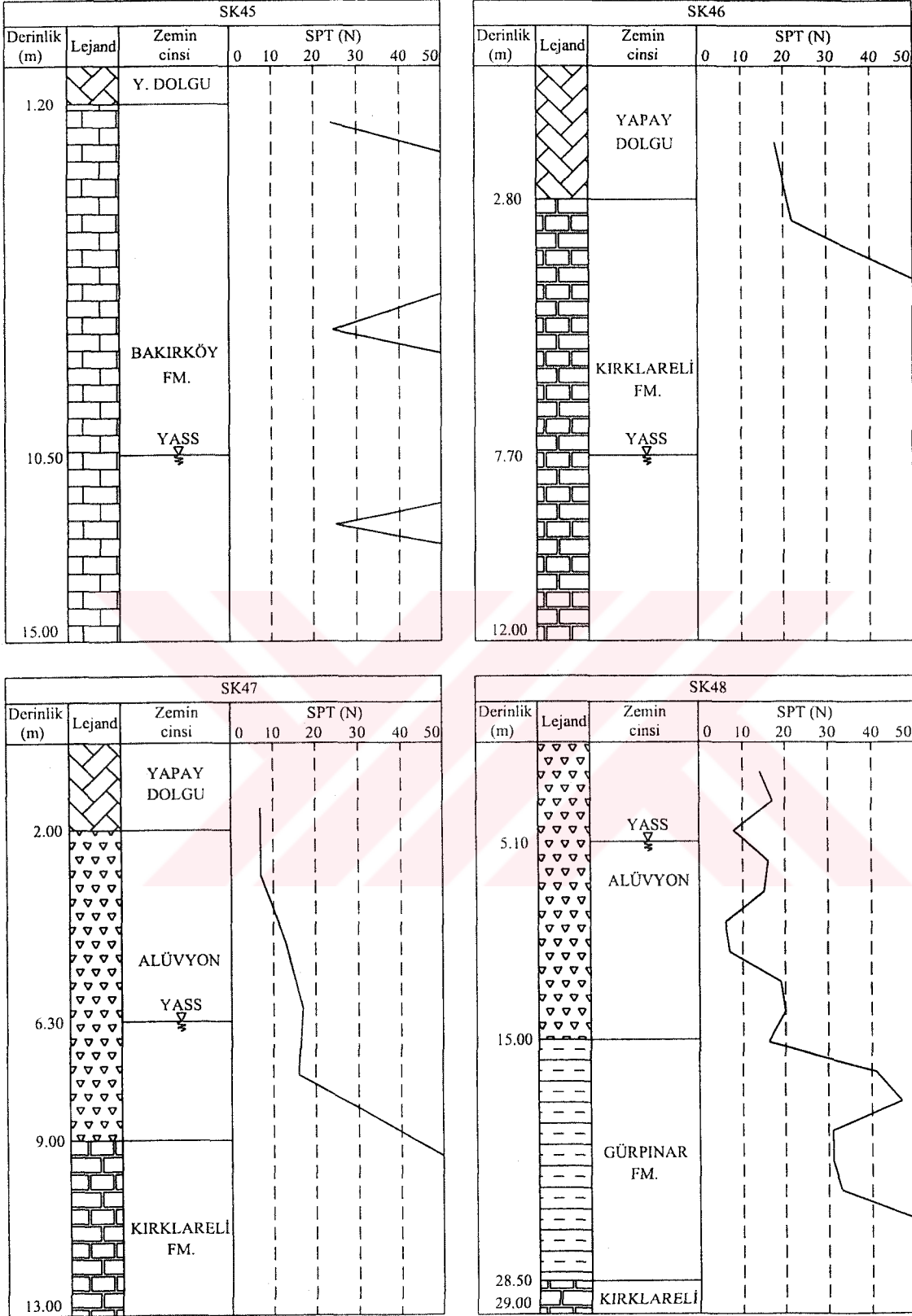


Şekil 5.2 Küçükçekmece Bölgesinde yapılan sondajlardan elde edilen zemin kesitleri ve SPT (N) değerlerinin derinlikle değişimi (Devam)

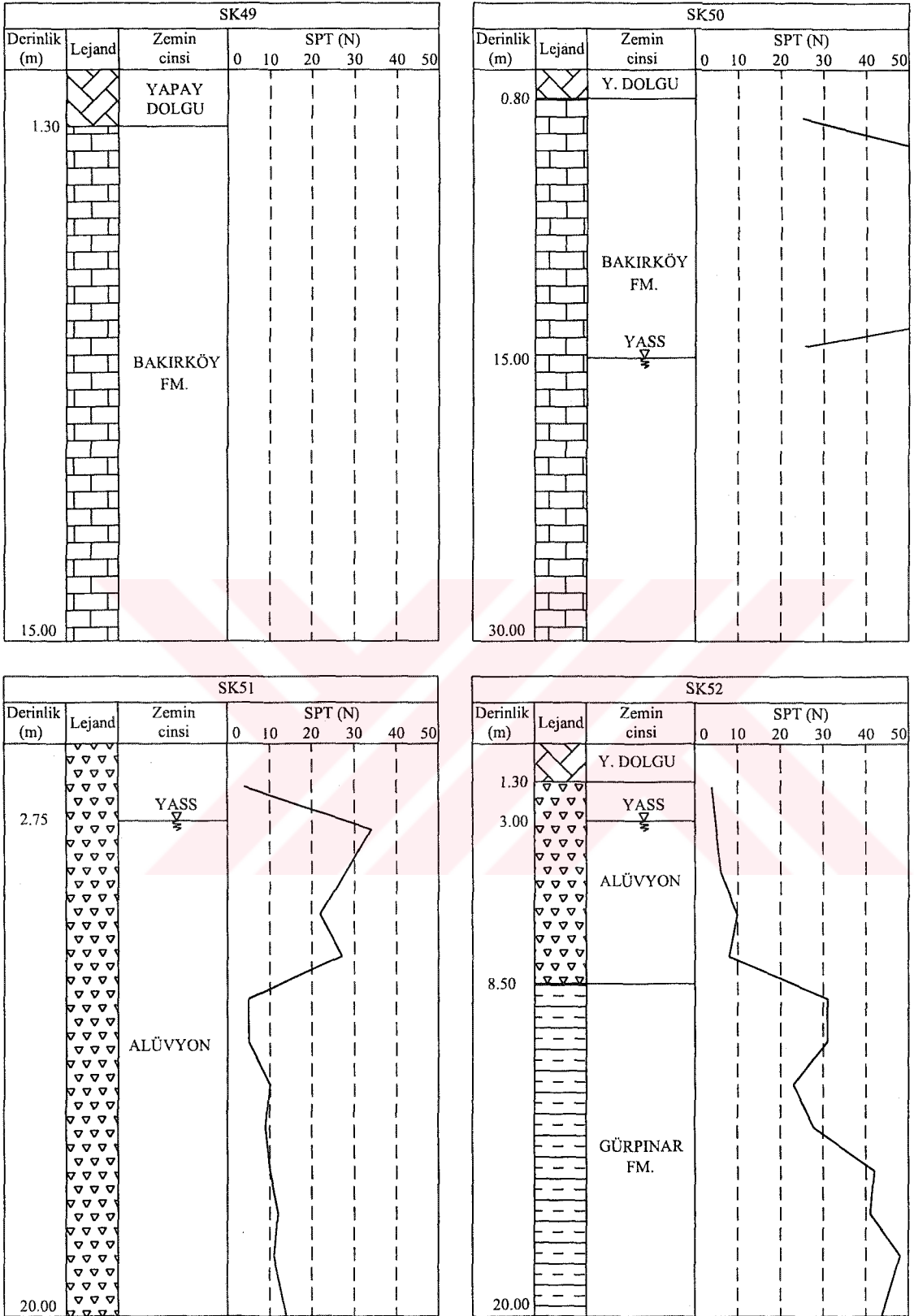


Şekil 5.2 Küçükçekmece Bölgesinde yapılan sondajlardan elde edilen zemin kesitleri ve SPT (N) değerlerinin derinlikle değişimi (Devam)

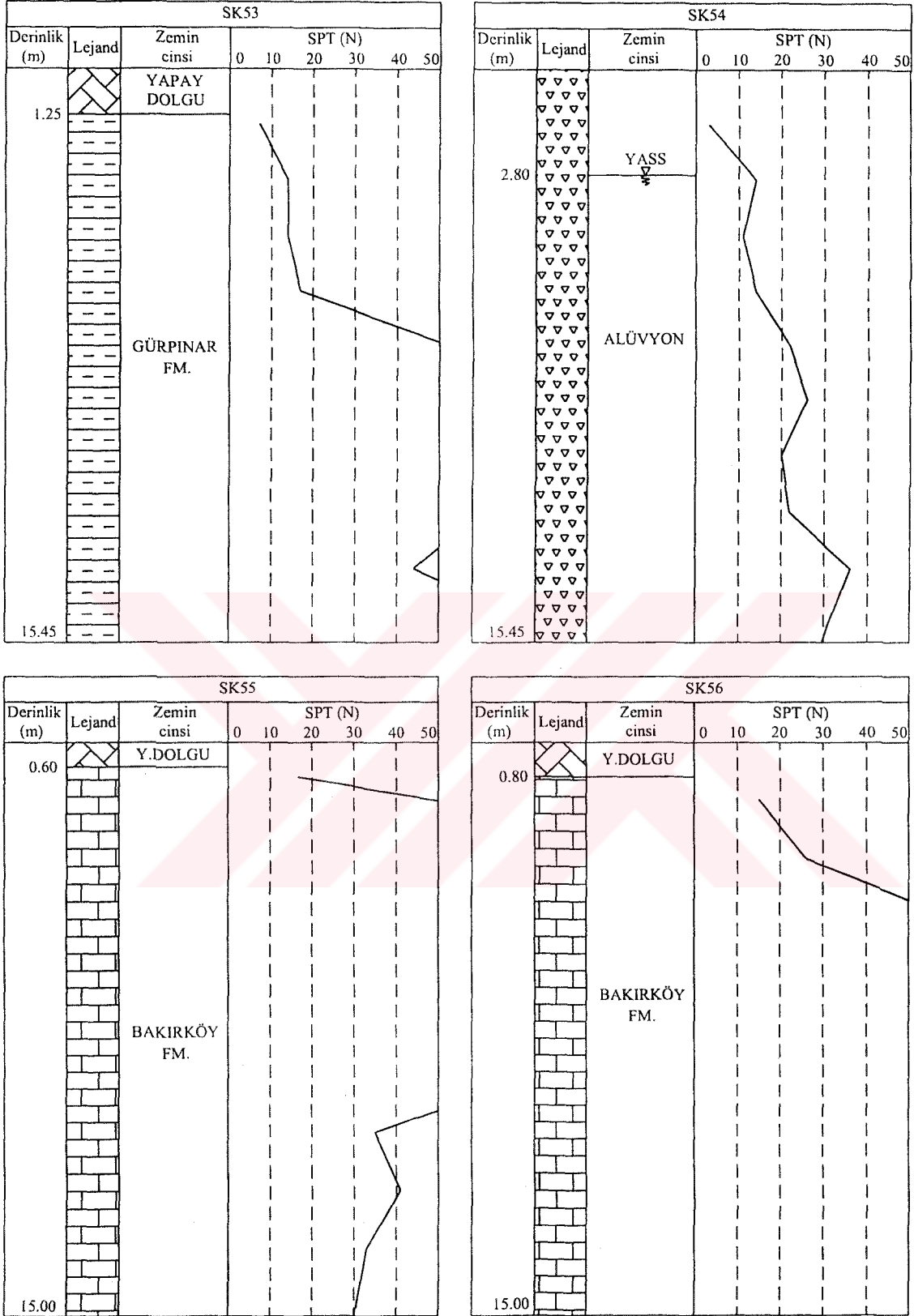




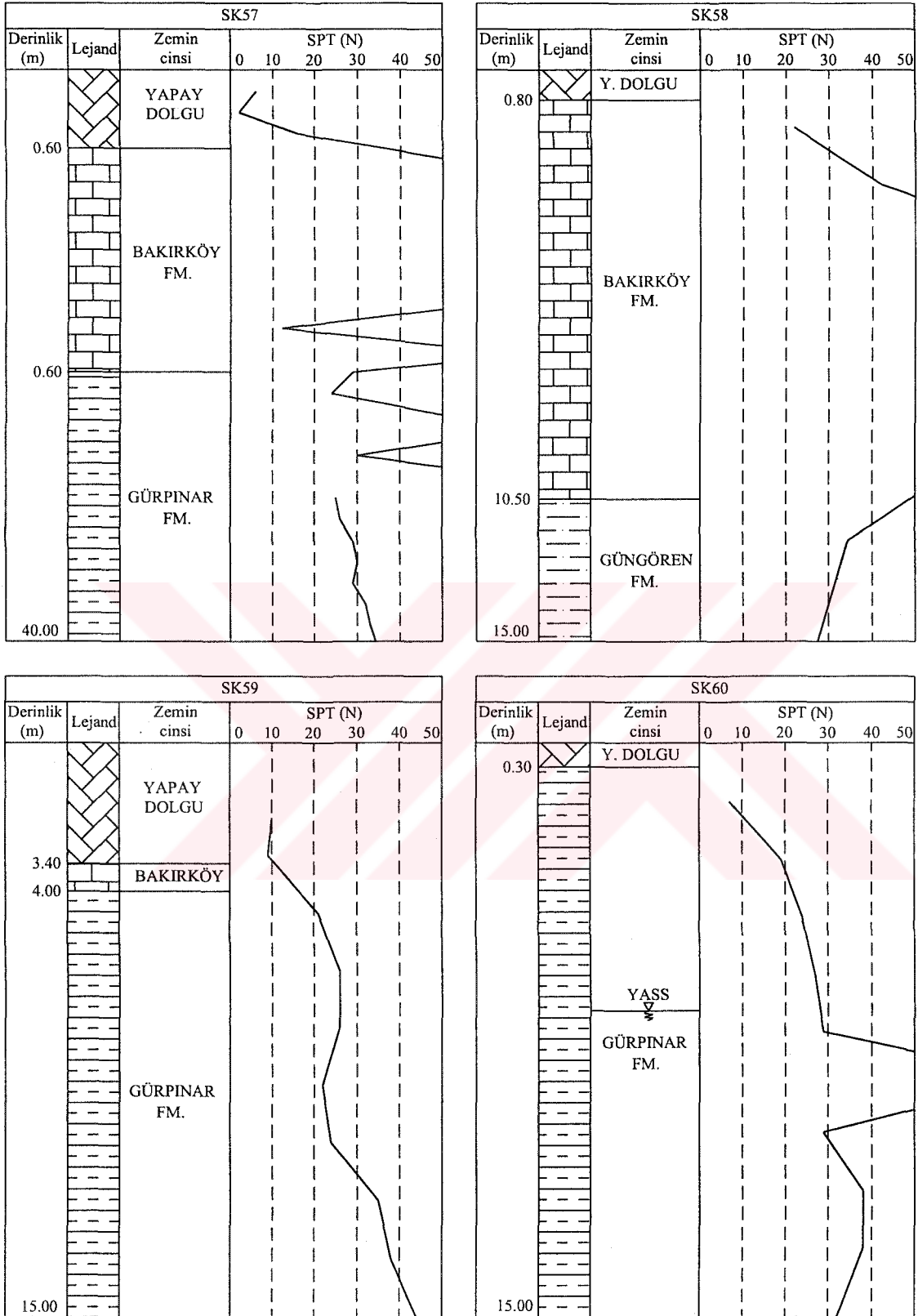
Şekil 5.2 Küçükçekmece Bölgesinde yapılan sondajlardan elde edilen zemin kesitleri ve SPT (N) değerlerinin derinlikle değişimi (Devam)



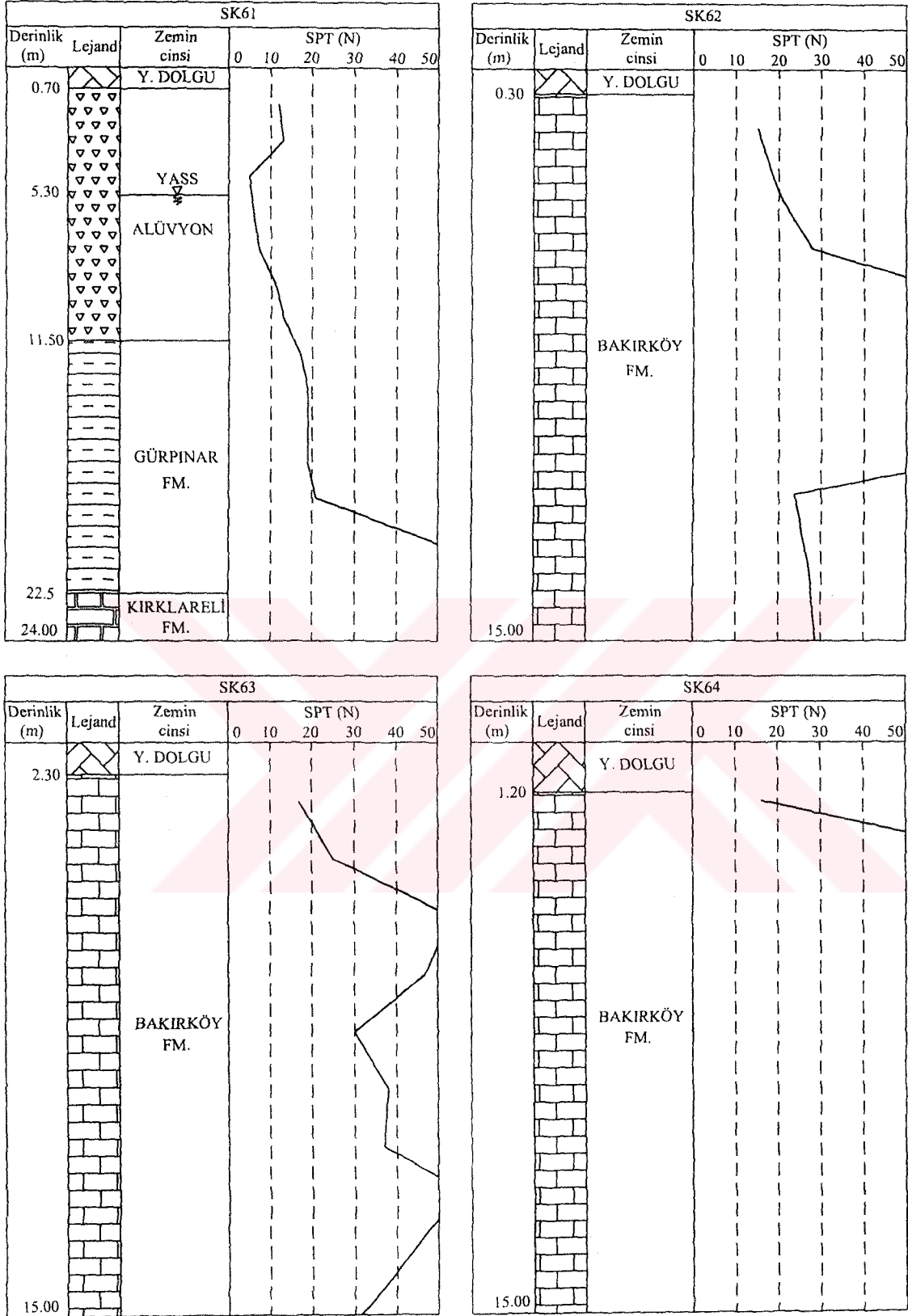
Şekil 5.2 Küçükçekmece Bölgesinde yapılan sondajlardan elde edilen zemin kesitleri ve SPT (N) değerlerinin derinlikle değişimi (Devam)



Şekil 5.2 Küçükçekmece Bölgesinde yapılan sondajlardan elde edilen zemin kesitleri ve SPT (N) değerlerinin derinlikle değişimi (Devam)



Şekil 5.2 Küçükçekmece Bölgesinde yapılan sondajlardan elde edilen zemin kesitleri ve SPT (N) değerlerinin derinlikle değişimi (Devam)



Şekil 5.2 Küçükçekmece Bölgesinde yapılan sondajlardan elde edilen zemin kesitleri ve SPT (N) değerlerinin derinlikle değişimi (Devam)

### 5.3 Küçükçekmece Bölgesi Yerel Zemin Koşullarının Sismik Kırılma Deneyleriyle Belirlenmesi

Kayma dalgası hızlarının arazide ölçülmesi amacıyla konumları Şekil 2.4'te verilen 30 noktada sismik kırılma deneyi yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Çizelge 5.3'de özetlenmiştir.

### 5.4 Küçükçekmece Bölgesi Yerel Zemin Koşullarının Mikrotremor Ölçümleri İle Belirlenmesi

Küçükçekmece Bölgesinde yerel zeminlerin periyot ve büyütme özelliklerinin belirlenmesi amacıyla konumları Şekil 2.5'te verilen 9 noktada yapılan mikrotremor ölçümlerinden yararlanılmıştır. Yapılan ölçümler Nakamura metoduyla analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlar Çizelge 5.2'de özetlenmiştir.

Çizelge 5.2 Küçükçekmece Bölgesinde yapılan mikrotremor ölçümlerinden elde edilen sonuçlar

Ölçüm Noktası	Zemin Büyütme Değerleri		Hakim Periyot Değerleri (sn)		Kayma Dalgası Hızı (Vs, m/sn)
	(Doğu-Batı)	(Kuzey-Güney)	(Doğu-Batı)	(Kuzey-Güney)	
M1	1.5	1.2	2	2	460
M2	2	2.8	4	3.33	275
M3	2.1	1.9	1.66	2	300
M4	1.9	1.9	1.43	1.33	325
M5	4.5	4.8	0.21	0.20	125
M6	3.8 - 4	2.3 - 3.8	0.31 - 1.25	0.33 - 1.54	160
M7	4.5	3.5	1	0.91	150
M8	4.8	4.1	0.57	0.66	130
M9	2.5	2.2 - 3.8	0.15 - 0.24	0.15 - 0.25	200
M10	4.8 - 5.9	3.3 - 5.5	0.15 - 0.48	0.15 - 0.5	150
M11	4.2	3.2	0.57	0.59	170

Çizelge 5.3 Sismik kırılma ölçümleri ile belirlenen dinamik zemin parametreleri

Serim	Derinlik (P dalgası hızından) (m)	Basınç Dalga Hızı, $V_p$ (m/s)	Kesme Dalga Hızı, $V_s$ (m/s)	Poisson Oranı, $\mu$	Yoğunluk, $d$ ( $g/cm^3$ )	Kayma Modülü, G (MPa)	Young Modülü, E (MPa)	Sıkışabilirlik, K (MPa)	Lame Sabiti, l (MPa)	Zemin Grubu	Yerel Zemin Sınıfı	Zemin Hakim Tit. Periyodu, $T_0$ (s)
SR1	3,0 / 9,0	373	213	0,26	1,36	629	1578	1102	682	C	Z3	0,69
		731	294	0,40	1,61	1420	3976	6627	5680			
SR2	3,0 / 3,5	382	154	0,40	1,37	331	928	1547	1547	C	Z4	0,93
		604	221	0,42	1,54	767	2179	4541	4541			
SR3	4,0 / 2,0	367	203	0,28	1,36	572	1464	1109	1109	C	Z3	0,53
		659	389	0,23	1,57	2424	5963	3681	3681			
SR4	4,0 / 2,0	388	179	0,36	1,38	451	1227	1461	1461	C	Z3	0,54
		1112	450	0,40	1,79	3699	10356	17261	17261			
SR5	2,0 / 2,5	440	264	0,22	1,42	1009	2464	1467	793	B	Z2	0,46
		1159	443	0,41	1,81	3625	10221	18928	16512			
SR6	3,0 / 5,5	407	262	0,15	1,39	974	2239	1066	417	B	Z2	0,40
		1041	558	0,30	1,76	5592	14539	12116	8388			
SR7	1,5 / 2,0	490	300	0,20	1,46	1341	3218	1788	894	B	Z2	0,39
		1480	562	0,42	1,92	6188	17574	36612	32486			
SR8	5,0 / 5,5	414	213	0,32	1,40	648	1711	1584	1152	B	Z2	0,45
		1470	482	0,44	1,92	4551	13108	36413	33379			
SR9	13,0 / 10,0	1174	252	0,48	1,81	1173	3472	28931	28149	B	Z1	0,31
		1372	731	0,30	1,89	10306	26794	22329	15458			
SR10	1,0 / 4,5	471	235	0,33	1,44	811	2159	2116	1575	C	Z4	0,41
		907	534	0,23	1,70	4947	12169	7511	4214			

Çizelge 5.3 Sismik kırılma ölçümleri ile belirlenen dinamik zemin parametreleri (Devamı)

Serim	Derinlik (P dalga hızından) (m)	Basinç Dalga Hızı, $V_p$ (m/s)	Kesme Dalga Hızı, $V_s$ (m/s)	Poisson Oranı, $\mu$	Yoğunluk, $\rho$ ( $g/cm^3$ )	Kayma Modülü, G (MPa)	Young Modülü, E (MPa)	Sıkışabilirlik, K (MPa)	Lame Sabiti, l (MPa)	Zemin Grubu	Yerel Zemin Sınıfı	Zemin Hakim Tit. Periyodu, $T_0$ (s)
SR11	2,0 / 1,0	457	186	0,40	1,43	505	1413	2356	2019	C	Z4	0,95
		1492	217	0,49	1,93	927	2764	46059	45441			
SR12	1,0 / 1,5	615	293	0,35	1,54	1349	3642	4047	3148	B	Z2	0,42
		831	480	0,25	1,66	3902	9757	6504	3903			
SR13	3,5 / 3,0	436	231	0,30	1,41	768	1996	1663	1151	B	Z2	0,37
	11,5 / 13,5	11421	632	0,28	1,80	7336	18781	14228	9337			
		2707										
SR14	2,5 / 1,0	593	317	0,30	1,52	1559	4052	377	2338	C	Z3	0,50
		1786	410	0,47	1,95	3345	9834	54632	52403			
SR15	6,5	448	223	0,33	1,42	753	2004	1964	1462	C	Z3	0,54
		1607	421	0,46	1,92	3472	10140	42248	39933			
SR16	5,0	438	265	0,21	1,42	1018	2462	1415	737	B	Z1	0,33
		1195	727	0,21	1,82	9816	23754	13651	7108			
SR17	4,5 / 4,0	474	208	0,38	1,44	636	1755	2437	2013	C	Z3	0,54
		1008	425	0,39	1,75	3225	8967	13586	11436			
SR18	1,0	492	267	0,29	1,46	1062	2740	2175	1467	B	Z1	0,22
	9,5 / 8,0	1174	548	0,36	1,80	5516	15003	17861	14183			
		2000	1154	0,25	2,00	27178	67945	45294	27178			
SR19	1,5	429	174	0,40	1,40	433	1211	2018	1730	B	Z1	0,31
	6,5	706	334	0,36	1,59	1810	4923	5861	4654			
		1474	797	0,29	1,92	12445	32108	25482	17186			
SR20	1,5 / 4,5	566	315	0,28	1,51	1529	3914	2965	1946	B	Z1	0,29
		1335	809	0,21	1,87	12489	30222	17369	9043			



Çizelge 5.3 Sismik kırılma ölçümleri ile belirlenen dinamik zemin parametreleri (Devamı)

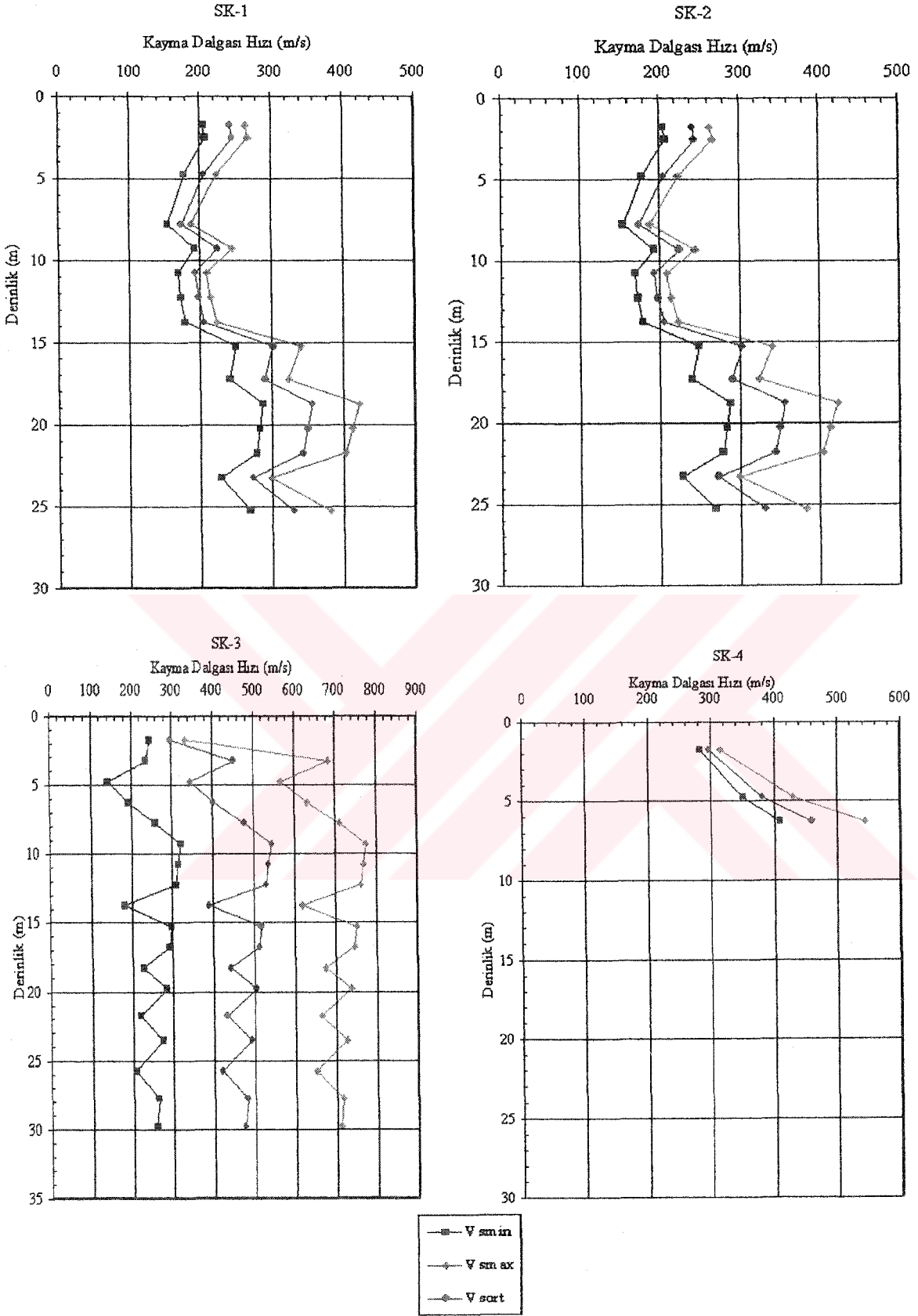
Serim	Derinlik (P dalgası hızından) (m)	Basıncı Dalgası Hızı, $V_p$ (m/s)	Kesme Dalgası Hızı, $V_s$ (m/s)	Poisson Oranı, $\mu$	Yoğunluk, $\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	Kayma Modülü, G (MPa)	Young Modülü, E (MPa)	Sıkışabilirlik, K (MPa)	Lame Sabiti, l (MPa)	Zemin Grubu	Yerel Zemin Sınıfı	Zemin Hakim Tit. Periyodu, $T_0$ (s)
SR21	3,5 / 5,3	350	170	0,35	1,34	395	1067	1185	922	C	Z3	0,50
		951	288	0,45	1,72	1456	4222	14072	13102			
SR22	1,5	330	170	0,32	1,32	389	1028	952	692	C	Z3	0,50
	1,3 / 1,6	680	274	0,40	1,58	1210	3389	5649	4842			
		1440	509	0,43	1,90	5023	14366	34204	30856			
SR23	4,0 / 3,0	384	210	0,29	1,37	617	1591	1262	851	C	Z3	0,61
		845	358	0,39	1,67	2184	6072	9199	7743			
SR24	5,5	654	234	0,43	1,57	877	2509	5973	5389	C	Z3	0,60
		1206	357	0,45	1,83	2380	6902	23006	21419			
SR25	2,0	625	379	0,21	1,55	2272	5498	3160	1645	B	Z1	0,29
		1639	710	0,38	1,93	9928	27400	38056	31438			
SR26	4,0	457	181	0,41	1,43	478	1348	2496	2178	C	Z3	0,70
		1092	303	0,46	1,78	1668	4869	20289	19177			
SR27	3,5 / 4,0	499	208	0,39	1,47	649	1804	2733	2301	B	Z2	0,45
		1174	477	0,40	1,81	4202	11767	19611	16809			
SR28	3,0	402	170	0,39	1,39	410	1140	1727	1453	B	Z2	0,40
		1237	562	0,37	1,84	5930	16249	20831	16878			
SR29	2,5	429	167	0,41	1,41	401	1132	2095	1828	C	Z3	0,73
		870	280	0,44	1,68	1344	3871	10752	9856			
SR30	5,0 / 5,5	421	236	0,27	1,40	796	2021	1464	934	C	Z3	0,54
		1292	397	0,45	1,86	2991	8675	28916	26922			

### 5.5 Küçükçekmece Bölgesindeki Zemin Davranışının Dinamik Analizi

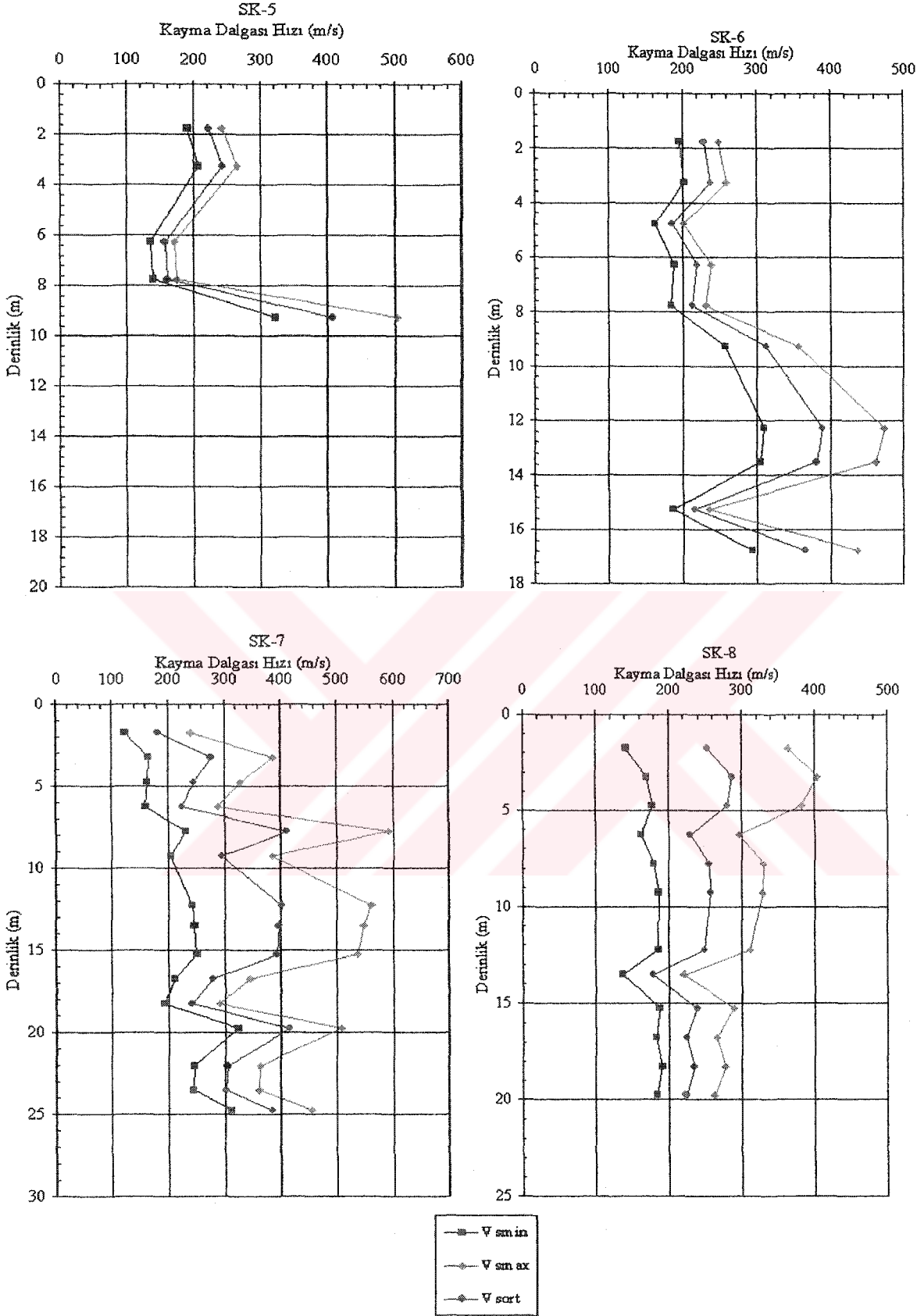
Daha önce değinildiği gibi zemin büyütmesine göre mikrobölgeleme çalışmasının üçüncü ve son aşaması zeminlerin, ikinci derece yöntemler sonucu elde edilen geoteknik özelliklerini kullanarak, dinamik davranışlarının sayısal olarak modellenmesini içermektedir. Bu tez kapsamında Küçükçekmece bölgesinde açılan 64 adet sondaj kuyusu ile elde edilen geoteknik veriler kullanılarak EERA programı yardımıyla bölgenin büyütme ve periyot özellikleri belirlenmeye çalışılmıştır. Analizler için ilk önce kayma dalgası hızları belirlenmeye çalışılmıştır. Bu amaçla Çizelge 2.7’de verilen bağıntılardan yararlanılmıştır. Bağıntılardan bulunan sonuçlar karşılaştırılarak her sondaj için limit değerler ve bunların ortalamaları belirlenmiştir. Sonuçlar Şekil 5.3’te verilmiştir.

Dinamik analizler için Küçükçekmece Nükleer İstasyonu Ana şok kaydı D-B bileşeni kullanılmıştır. Bu kayıt yüzeyden alındığı için EERA programı yardımıyla ana kayaya taşınmış ve mühendislik hipotetik ana kaya ivme kaydı elde edilmiştir. Daha sonra kontrol amacıyla ana kaya kaydı tekrar yüzeye taşınmış ve gerçek ivme kaydıyla karşılaştırılmıştır. Sonuçlar uyumlu olduğundan dinamik analizlerde bu kaydın kullanılmasına karar verilmiştir.

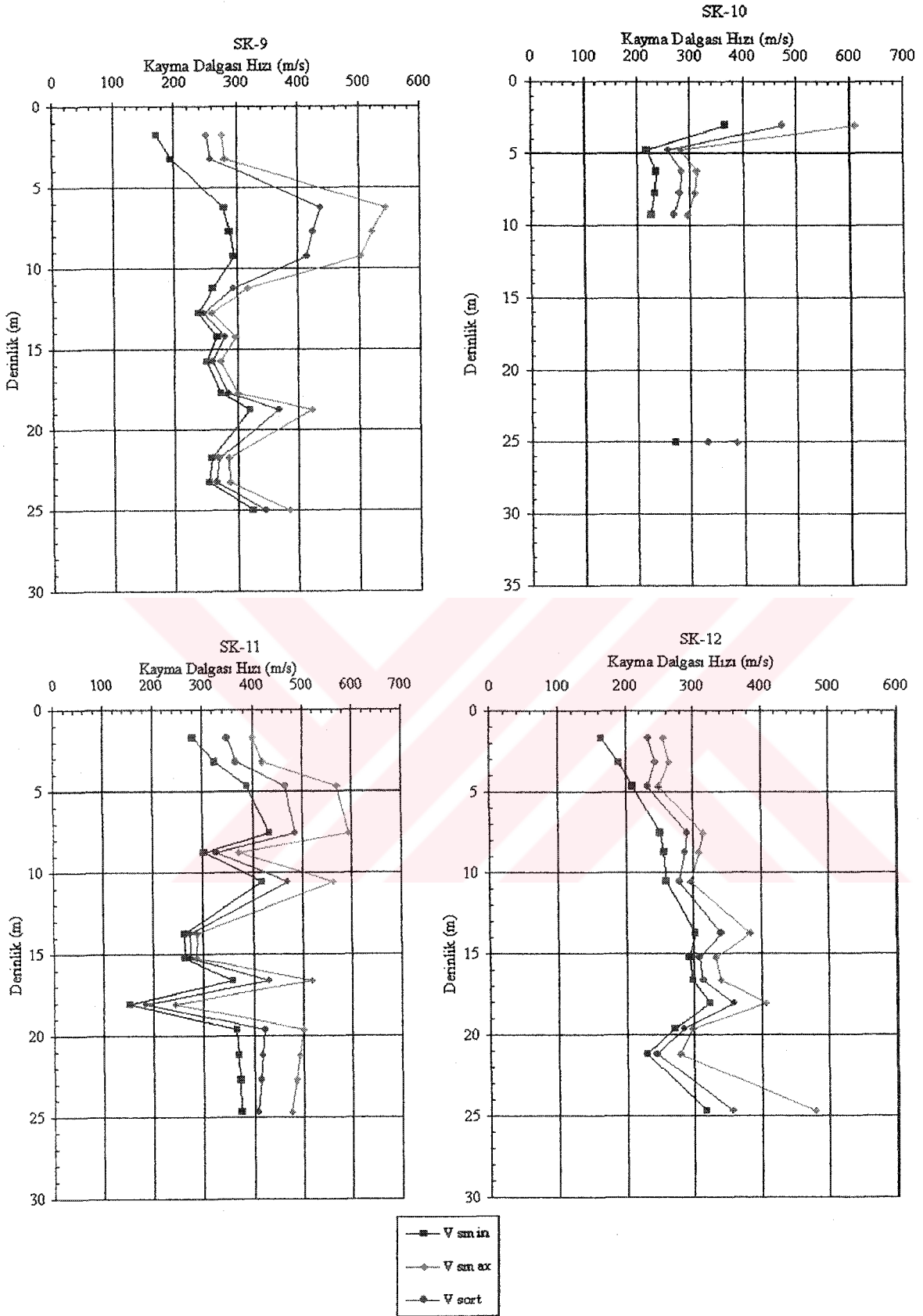
Mühendislik ana kayada hipotetik kaydın belirlenmesinden sonra bu kayıt, Küçükçekmece bölgesinde yapılan 64 adet sondaj kuyusunda idealize edilmiş zemin kesiti için EERA programı yardımıyla zemin yüzeyine taşınmış ve zemin büyütmesi değerleri hesaplanmıştır. Ayrıca dinamik analizler sonucunda her sondaj kuyusu için spektral ivme değerleri hesaplanmış ve o sondaj kuyusu için belirlenen yerel zemin sınıfına ait, Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik’te verilen tasarım ivme spektrumlarıyla karşılaştırılmıştır. Sonuçlar Şekil 5.4’te sunulmuştur.



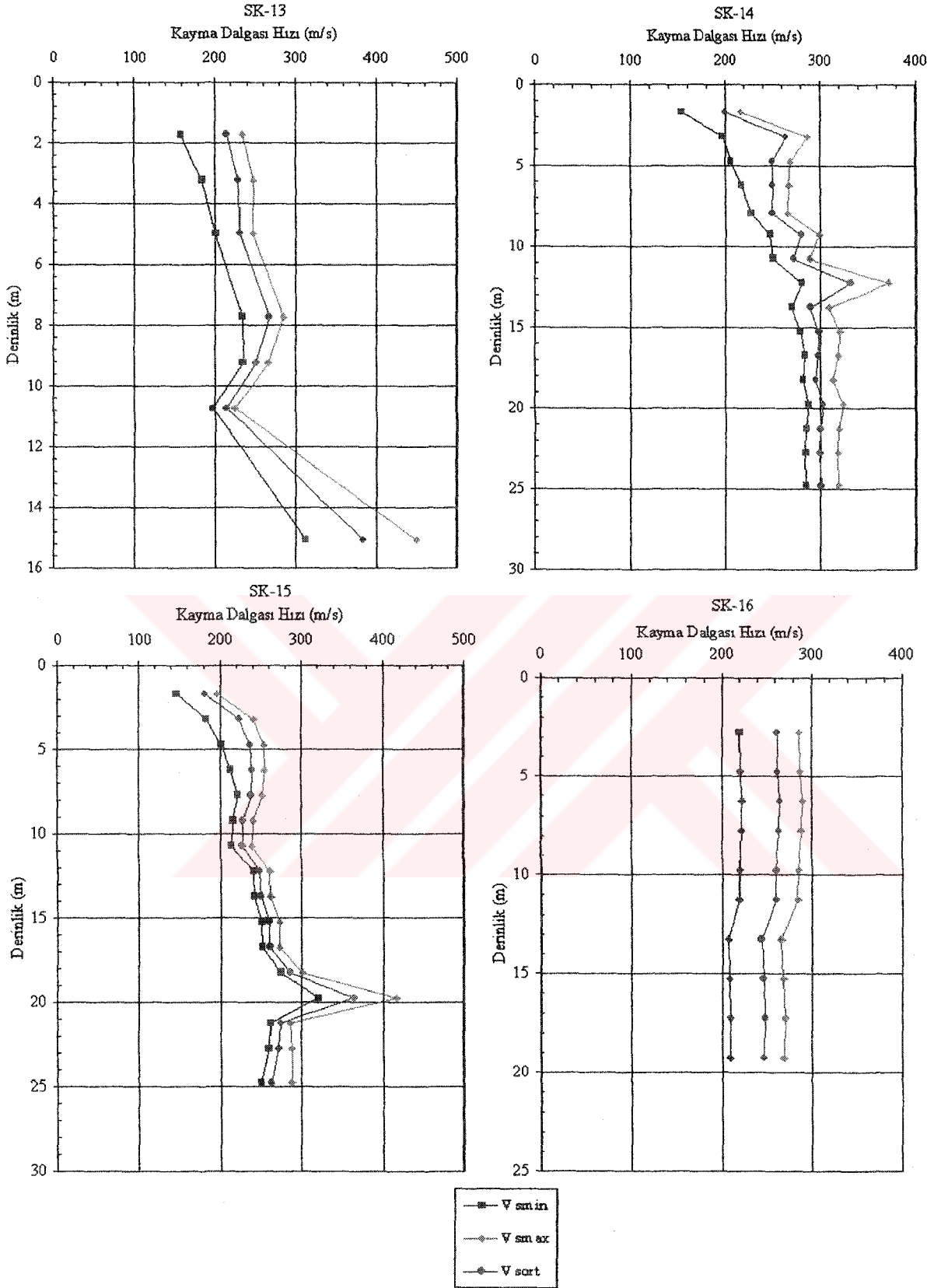
Şekil 5.3 Sondaj kesitlerinde kayma dalgası hızlarının derinlikle değişimi



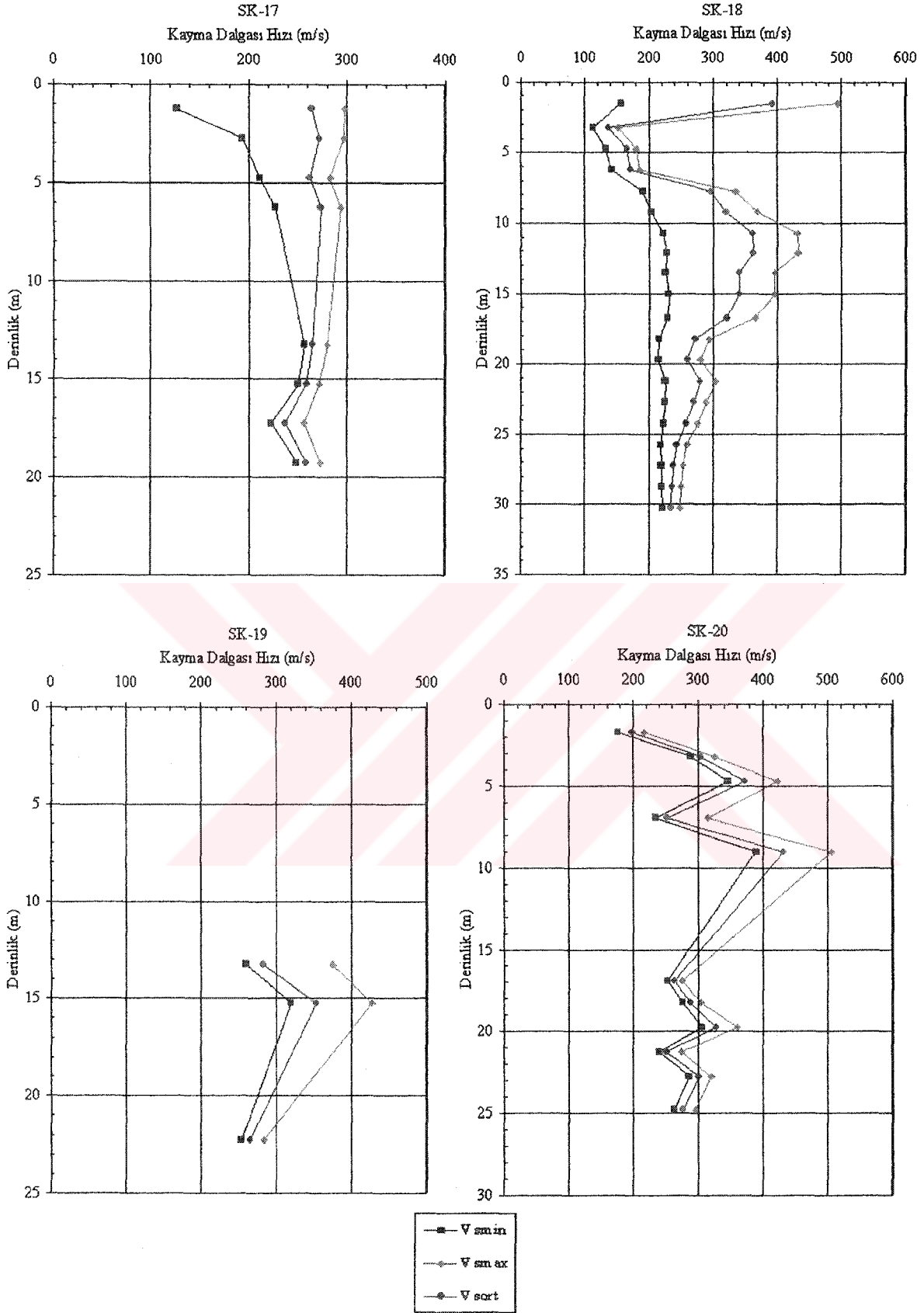
Şekil 5.3 Sondaj kesitlerinde kayma dalgası hızlarının derinlikle değişimi (Devam)



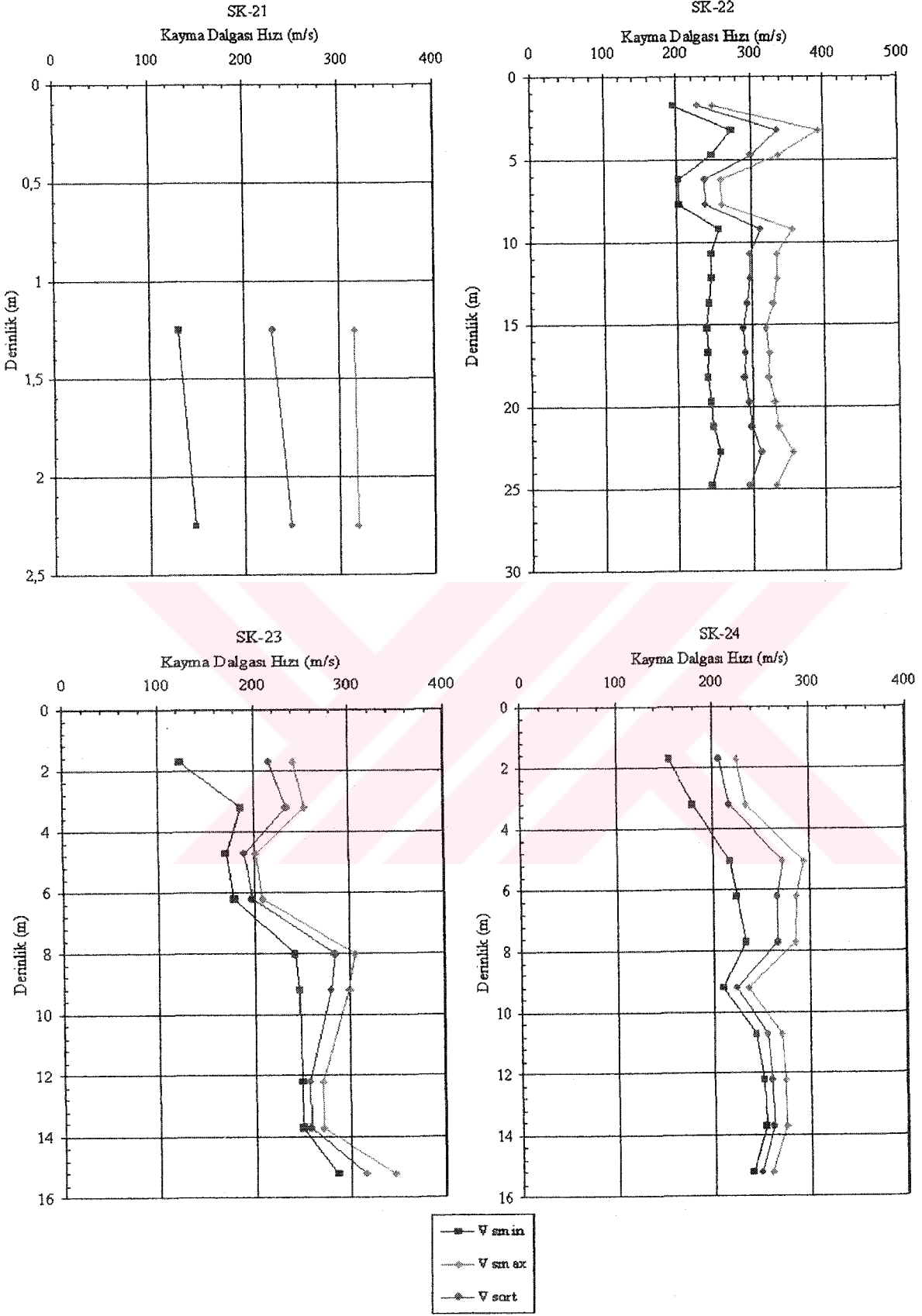
Şekil 5.3 Sondaj kesitlerinde kayma dalgası hızlarının derinlikle değişimi (Devam)



Şekil 5.3 Sondaj kesitlerinde kayma dalgası hızlarının derinlikle değişimi (Devam)

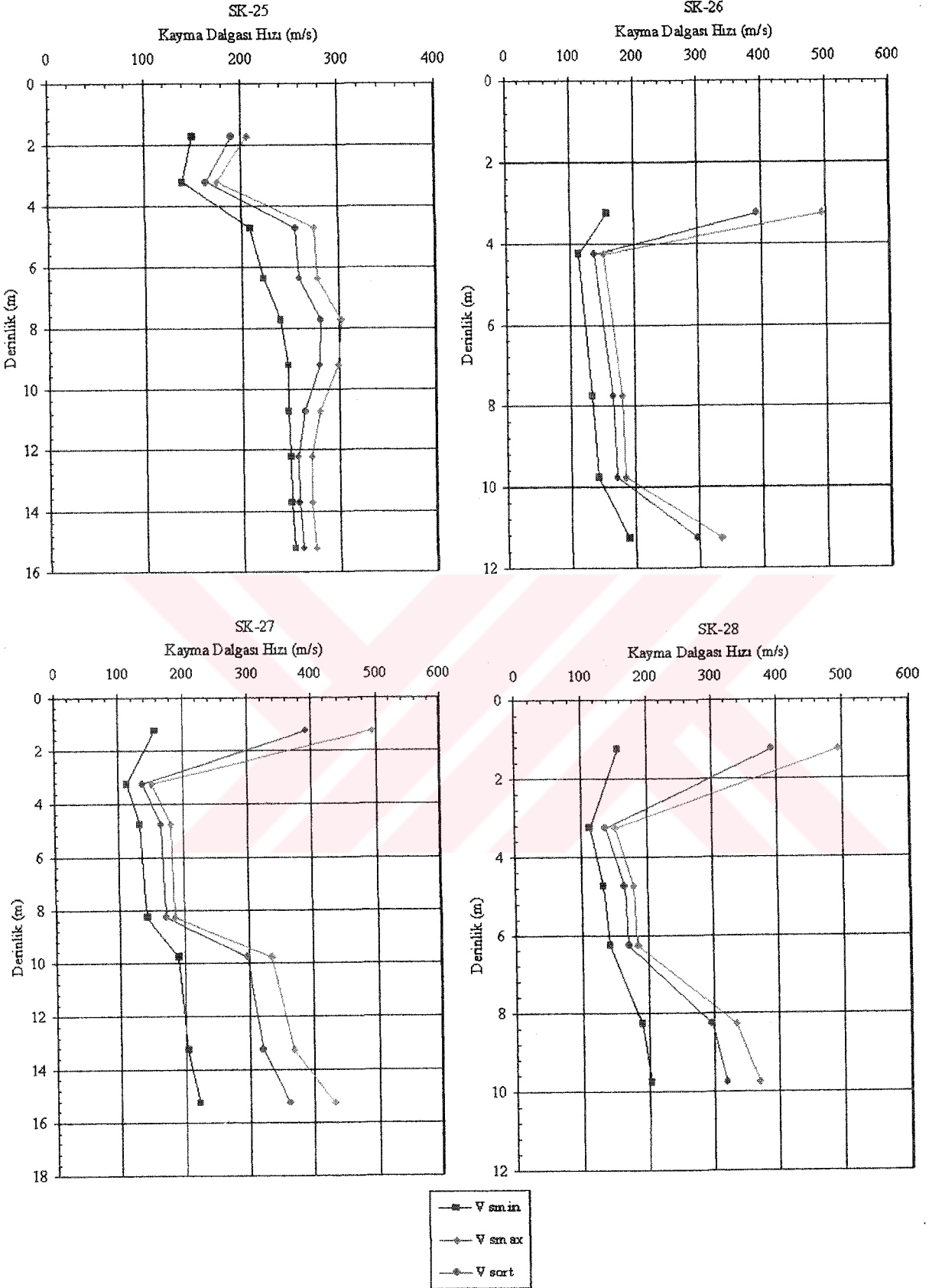


Şekil 5.3 Sondaj kesitlerinde kayma dalgası hızlarının derinlikle değişimi (Devam)

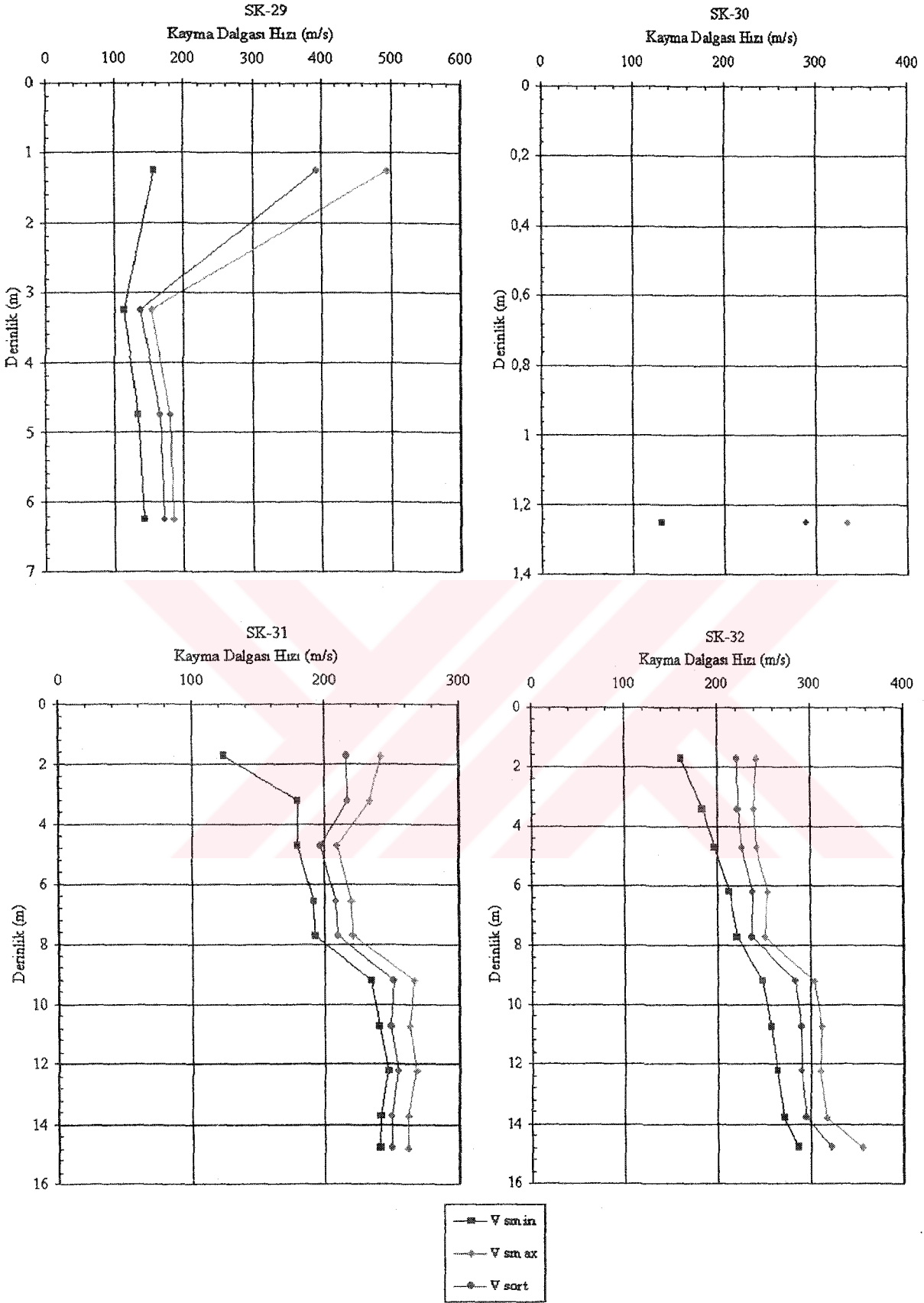


Şekil 5.3 Sondaj kesitlerinde kayma dalgası hızlarının derinlikle değişimi (Devam)

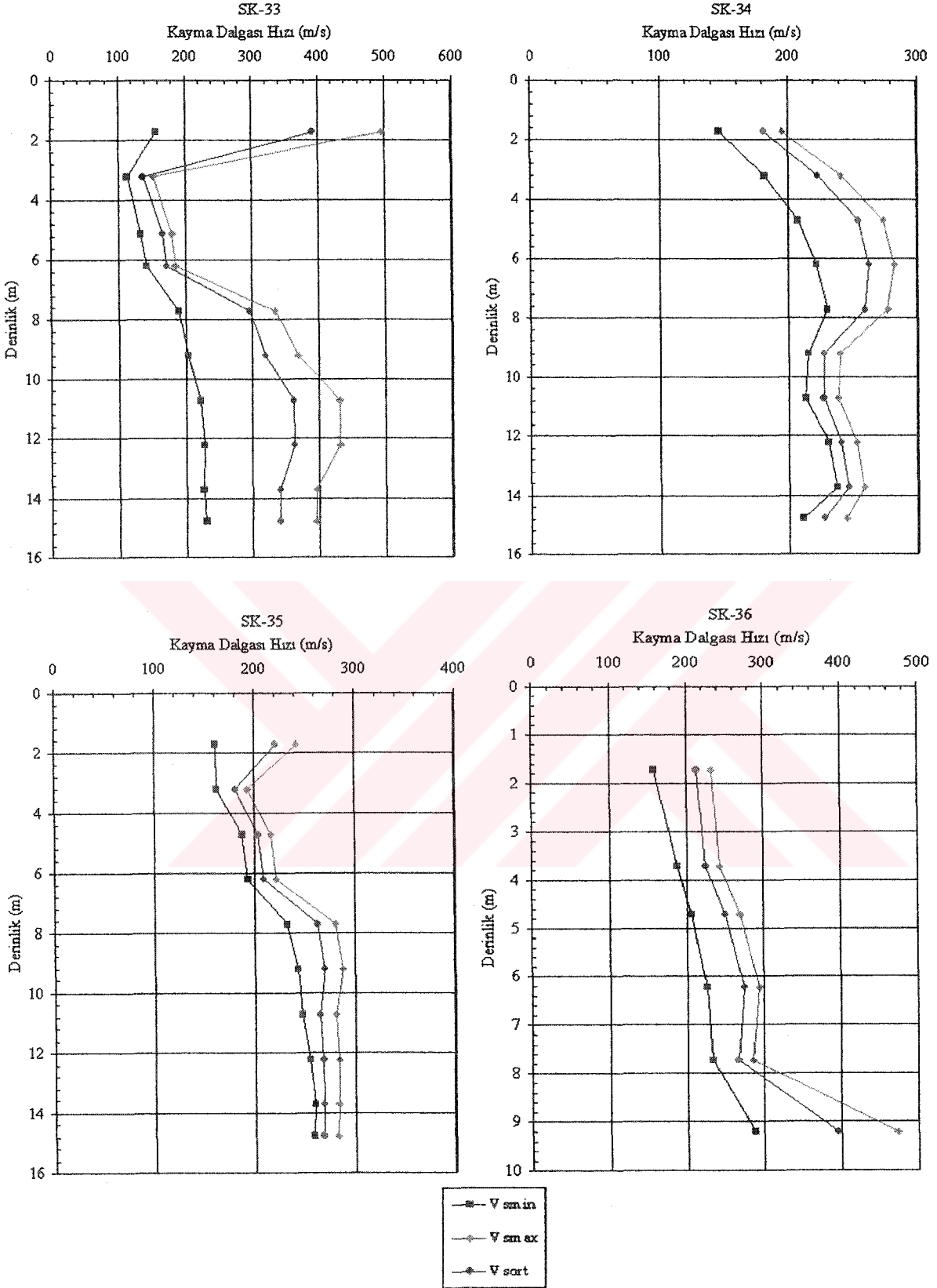




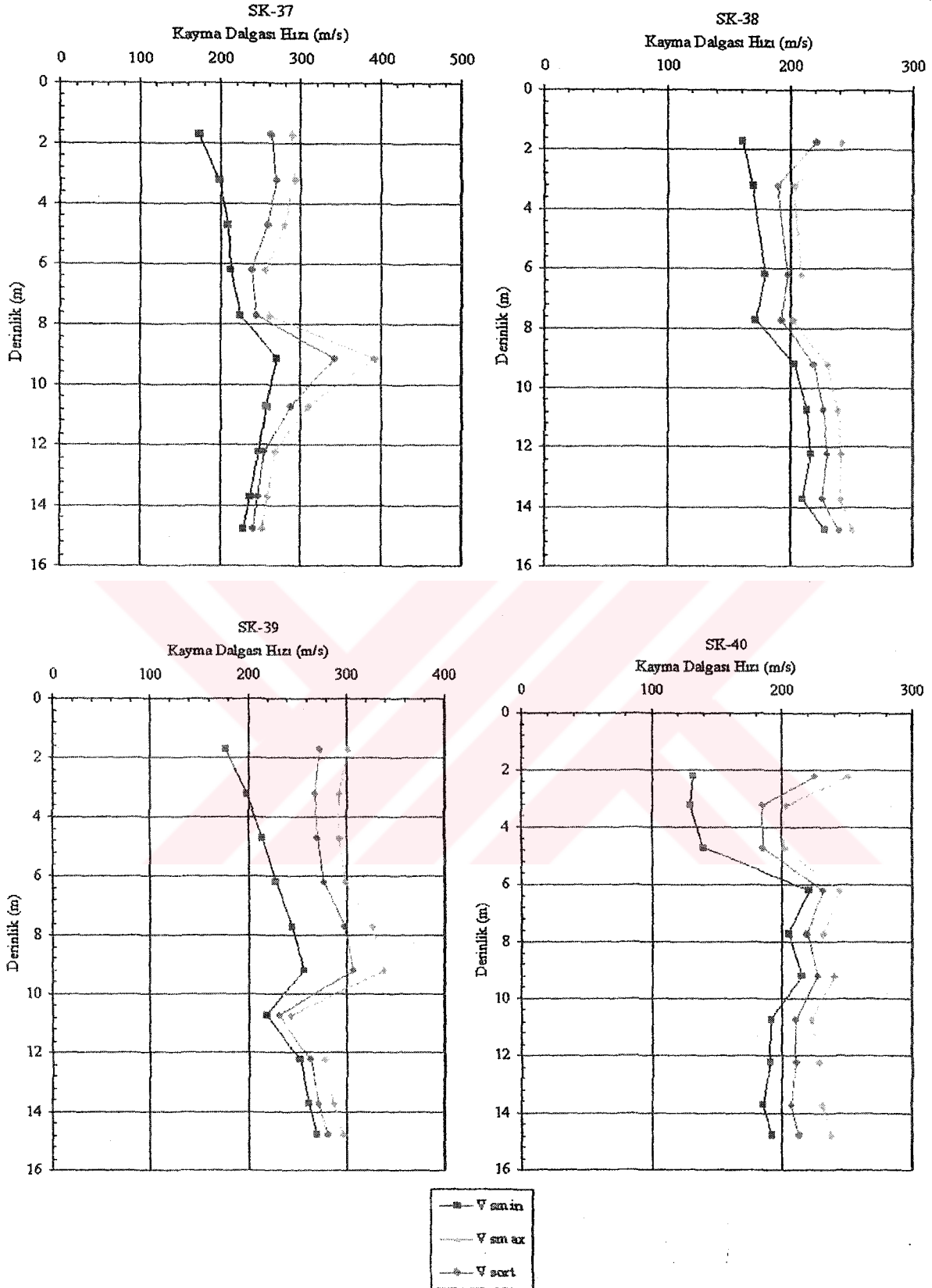
Şekil 5.3 Sondaj kesitlerinde kayma dalgası hızlarının derinlikle değişimi (Devam)



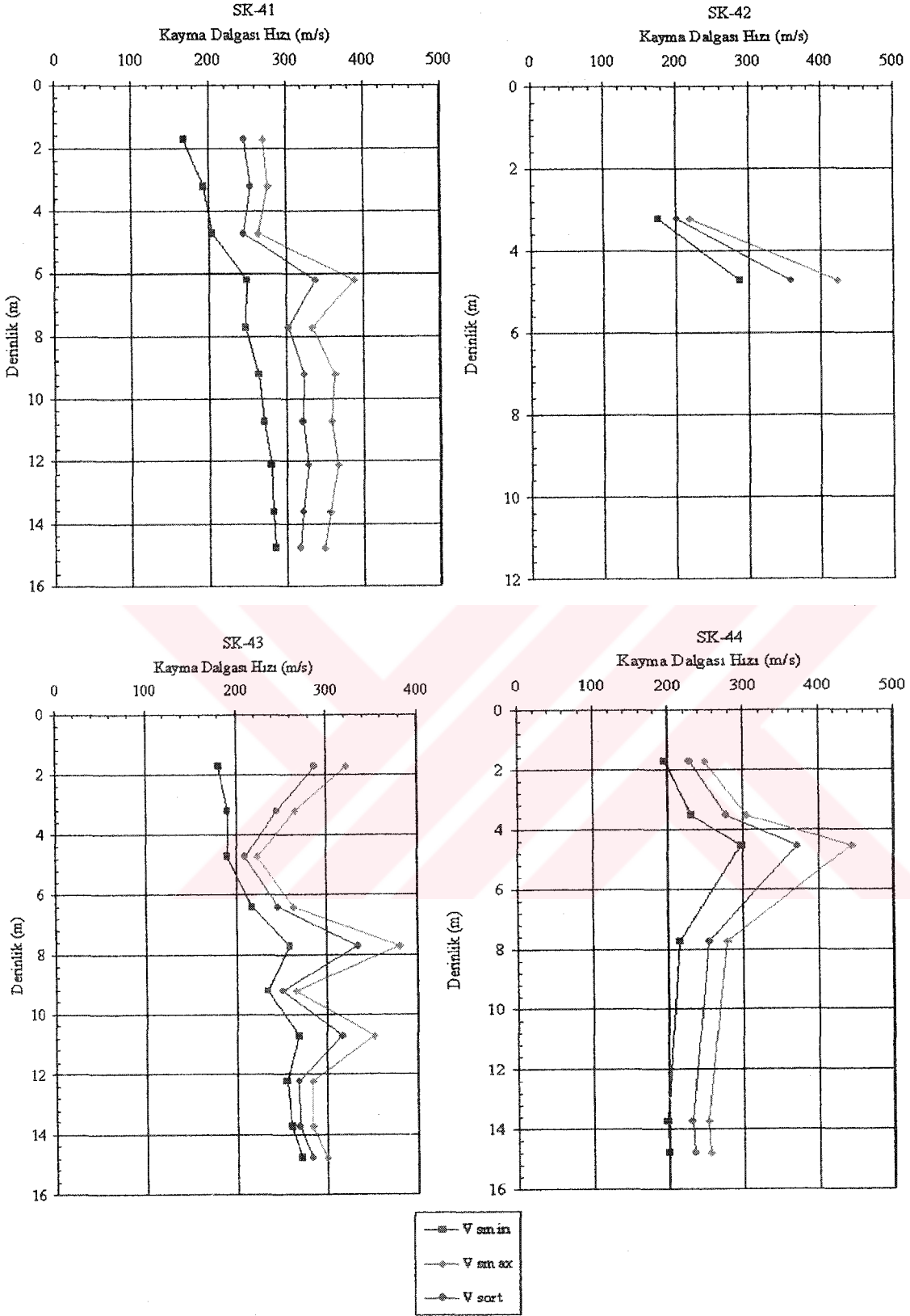
Şekil 5.3 Sondaj kesitlerinde kayma dalgası hızlarının derinlikle değişimi (Devam)



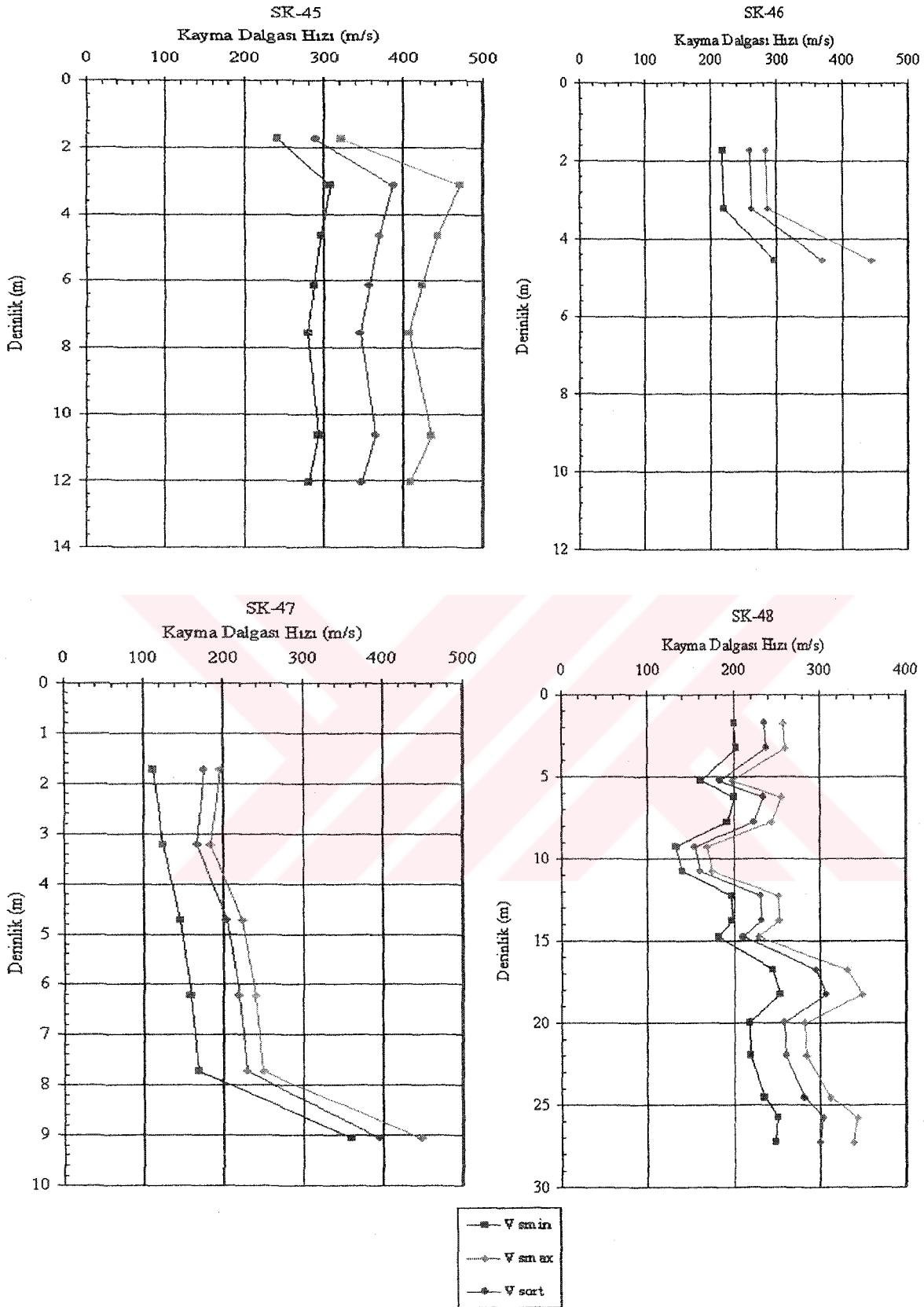
Şekil 5.3 Sondaj kesitlerinde kayma dalgası hızlarının derinlikle değişimi (Devam)



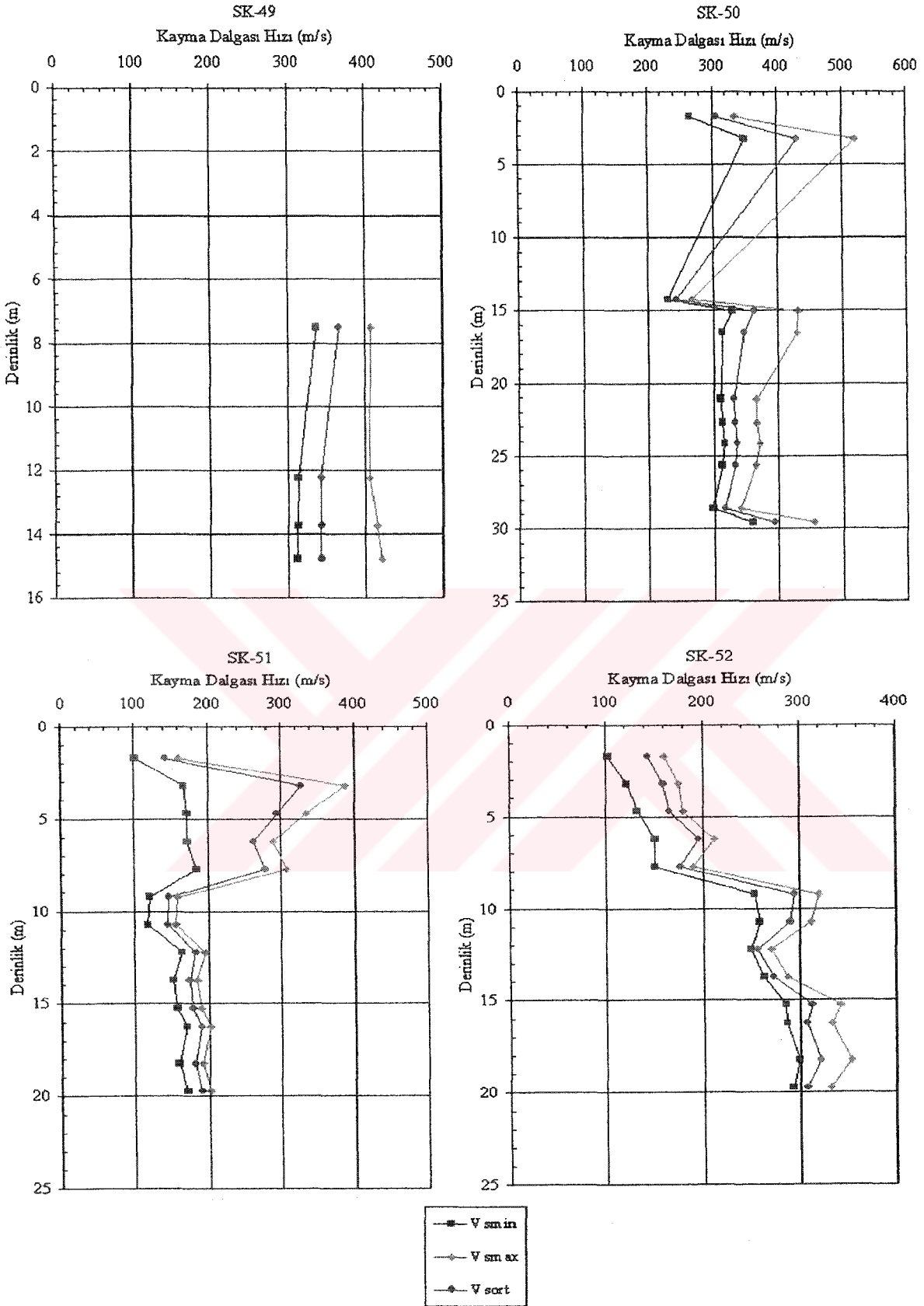
Şekil 5.3 Sondaj kesitlerinde kayma dalgası hızlarının derinlikle değişimi (Devam)



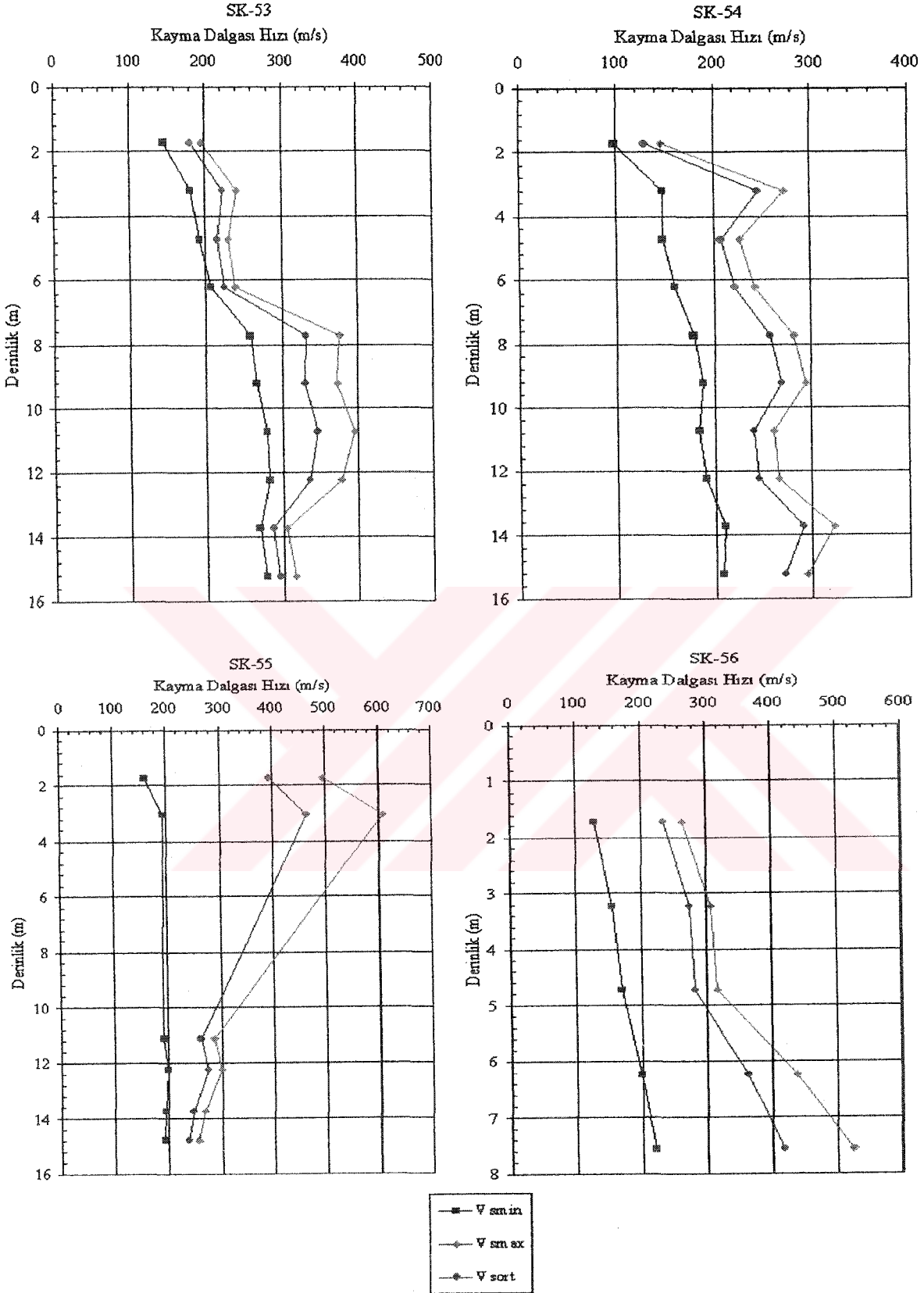
Şekil 5.3 Sondaj kesitlerinde kayma dalgası hızlarının derinlikle değişimi (Devam)



Şekil 5.3 Sondaj kesitlerinde kayma dalgası hızlarının derinlikle değişimi (Devam)

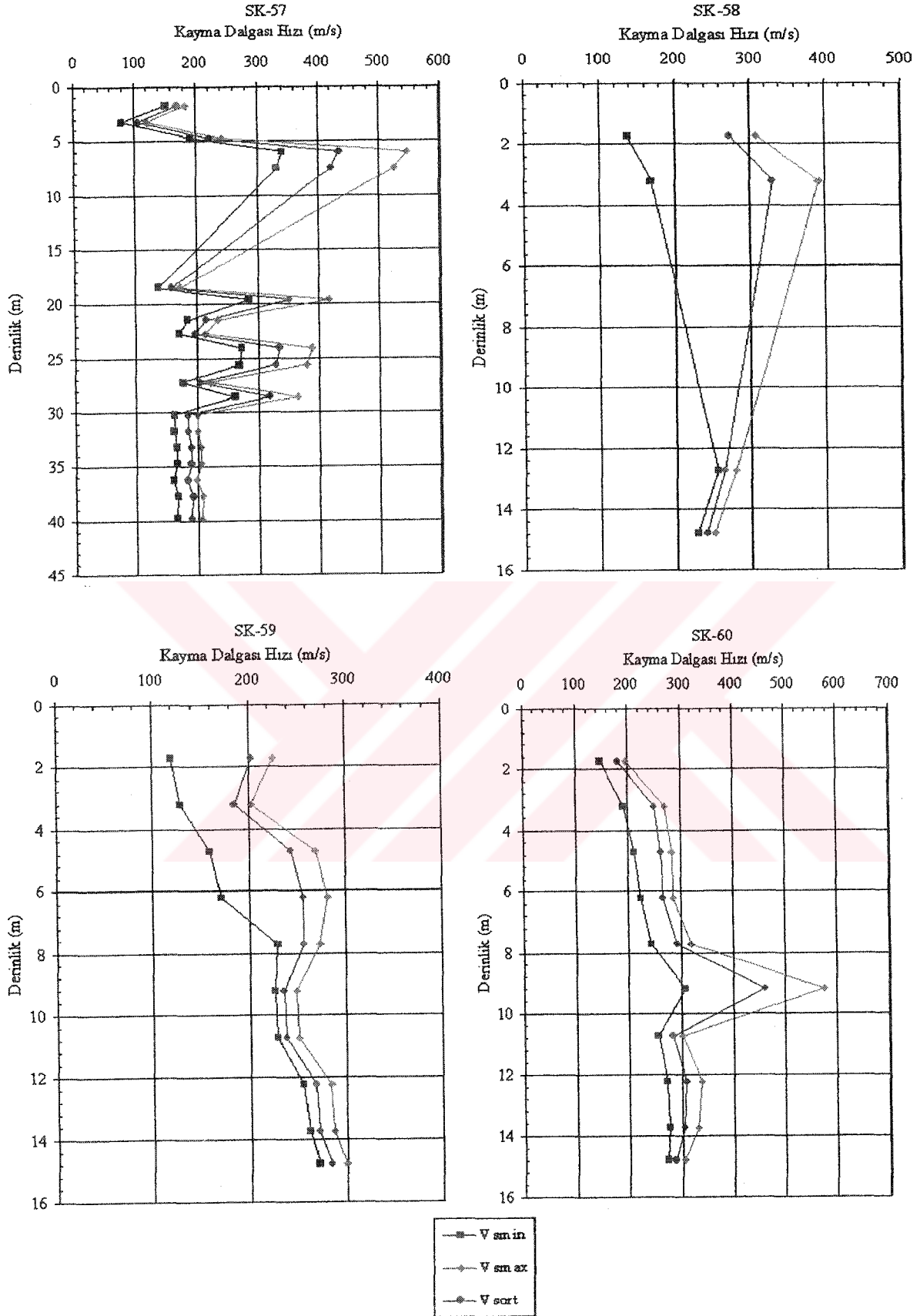


Şekil 5.3 Sondaj kesitlerinde kayma dalgası hızlarının derinlikle değişimi (Devam)

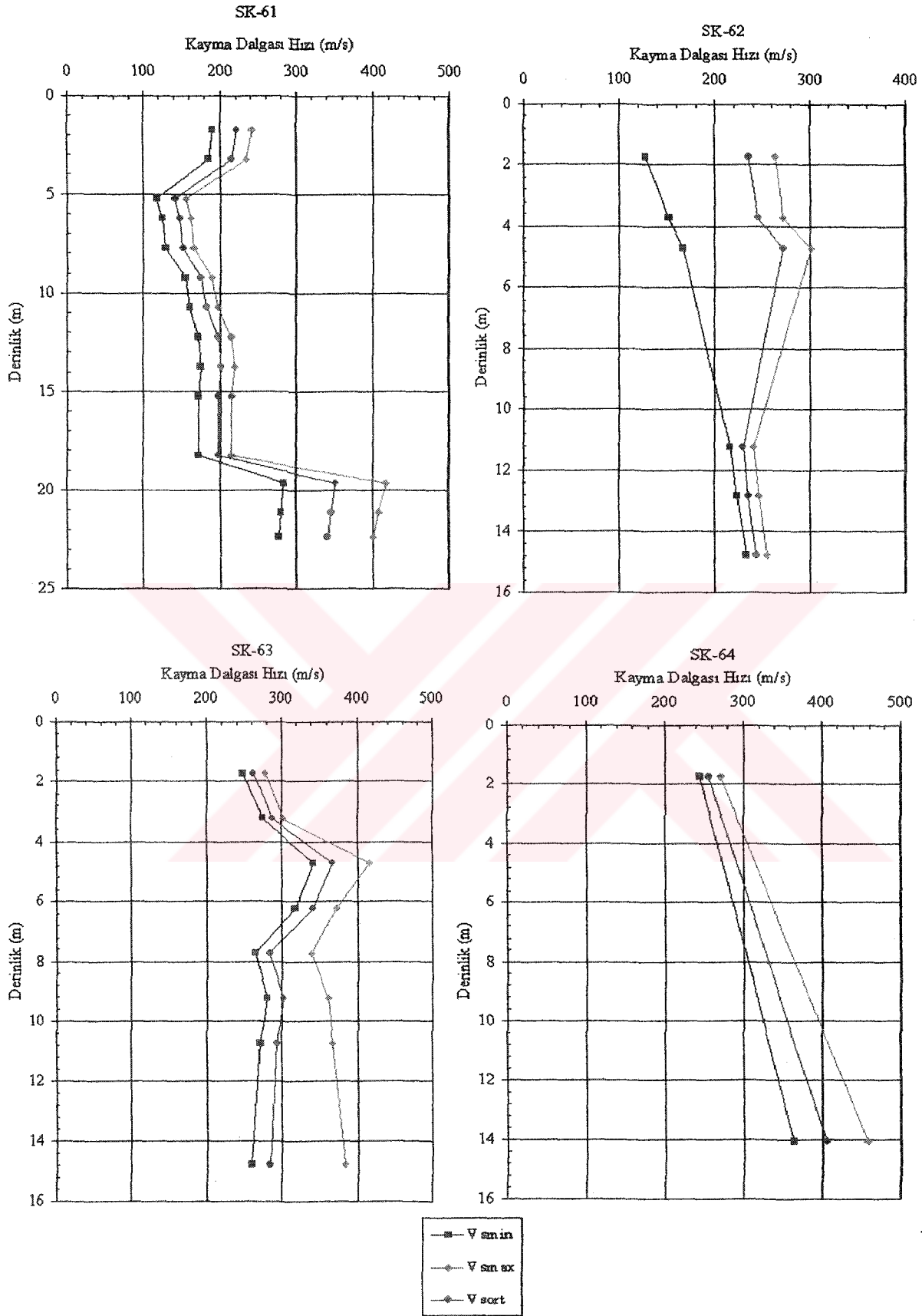


Şekil 5.3 Sondaj kesitlerinde kayma dalgası hızlarının derinlikle değişimi (Devam)

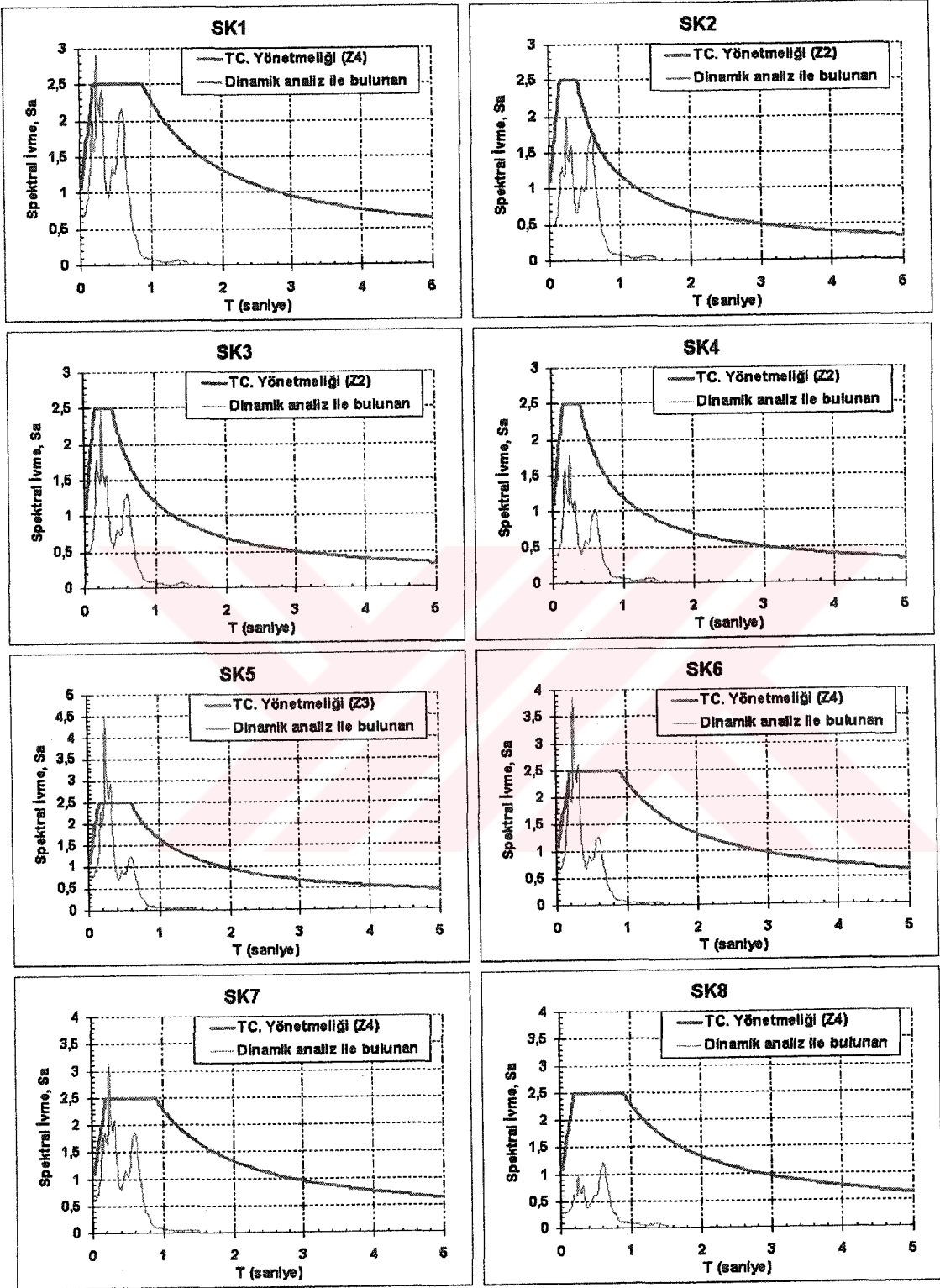




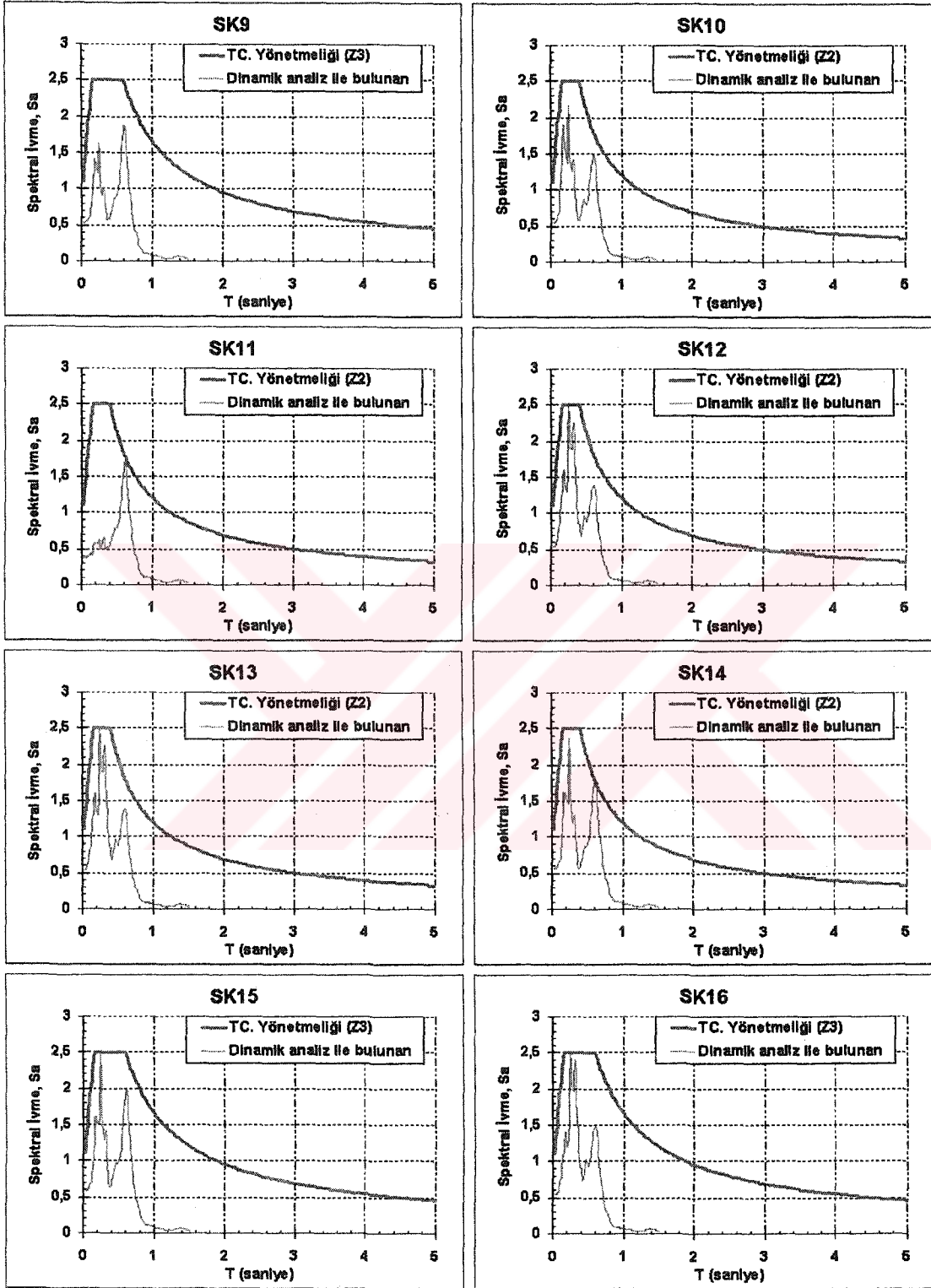
Şekil 5.3 Sondaj kesitlerinde kayma dalgası hızlarının derinlikle değişimi (Devam)



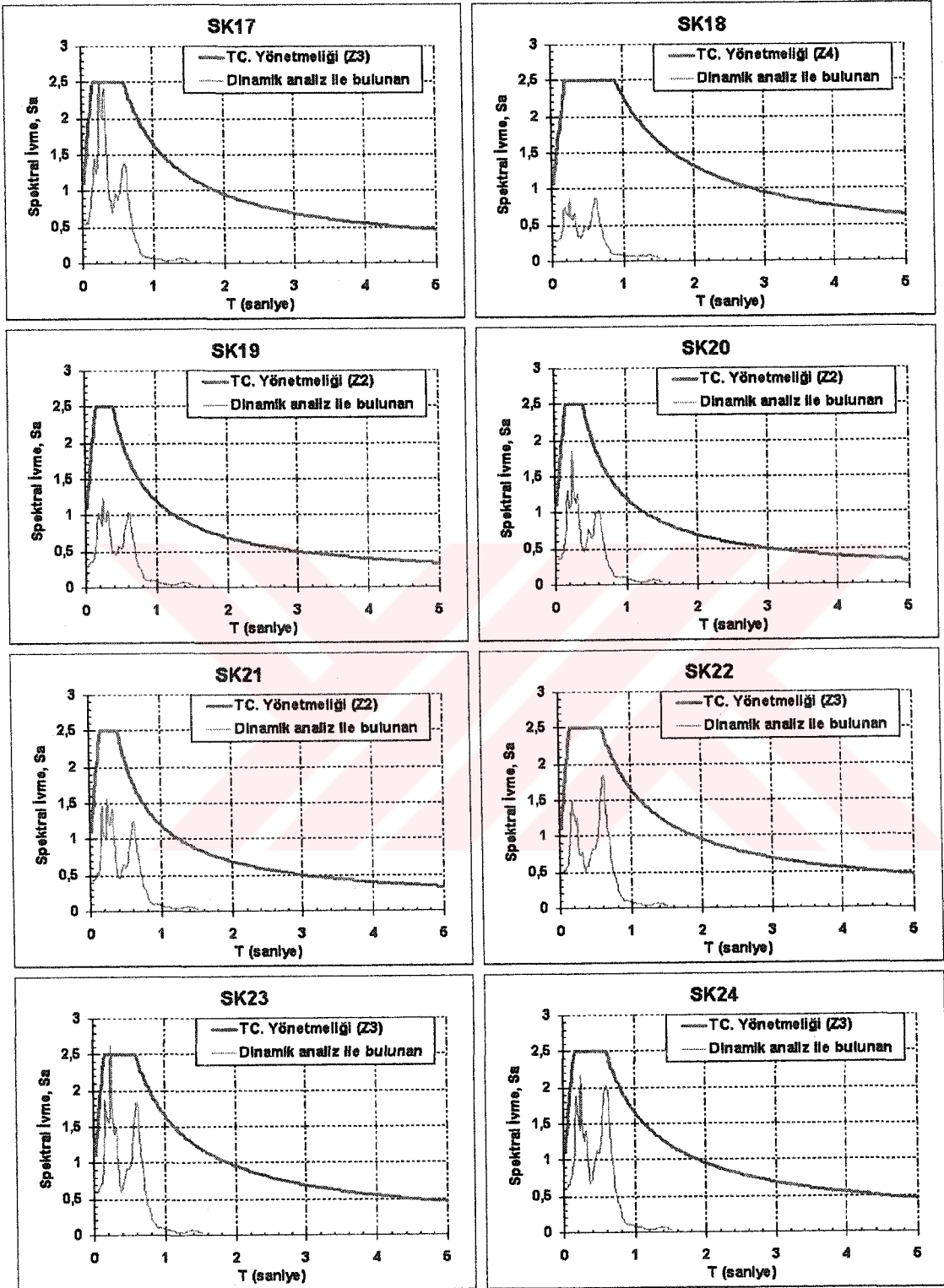
Şekil 5.3 Sondaj kesitlerinde kayma dalgası hızlarının derinlikle değişimi (Devam)



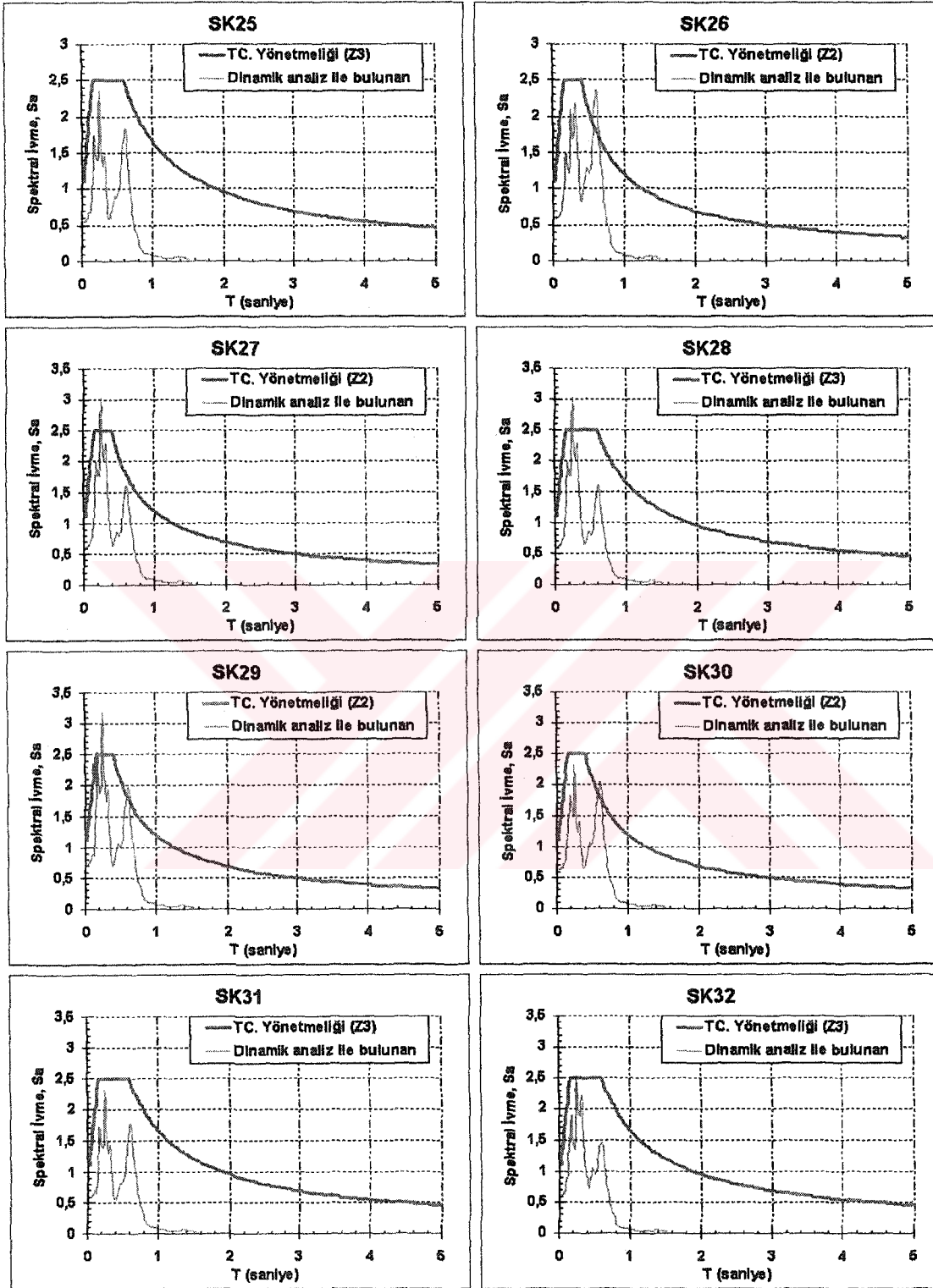
Şekil 5.4 Dinamik analiz sonucu bulunan spektral ivmelerin yerel zemin sınıfına ait tasarım ivme spektrumuyla karşılaştırılması



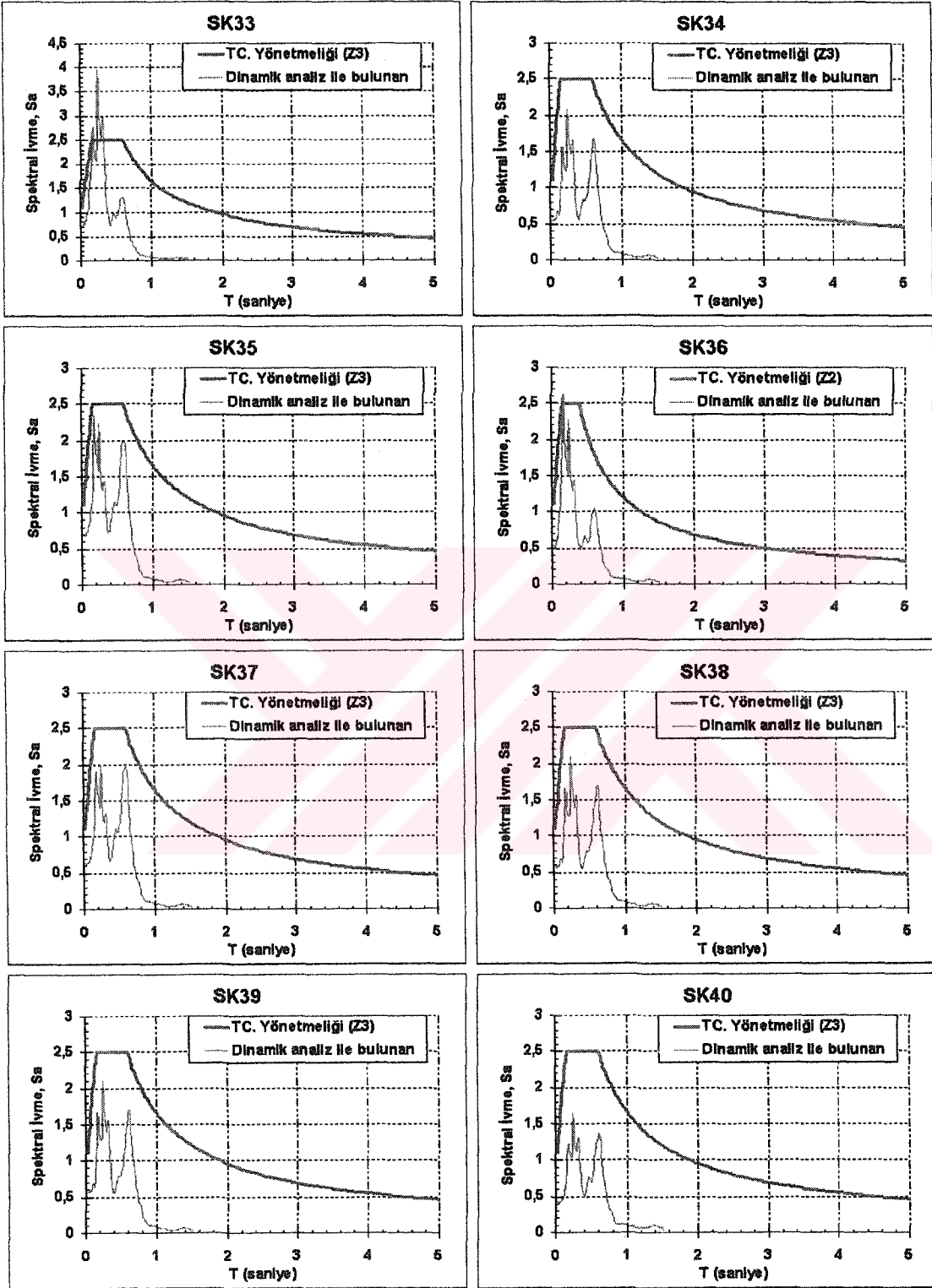
Şekil 5.4 Dinamik analiz sonucu bulunan spektral ivmelerin yerel zemin sınıfına ait tasarım ivme spektrumuyla karşılaştırılması (Devam)



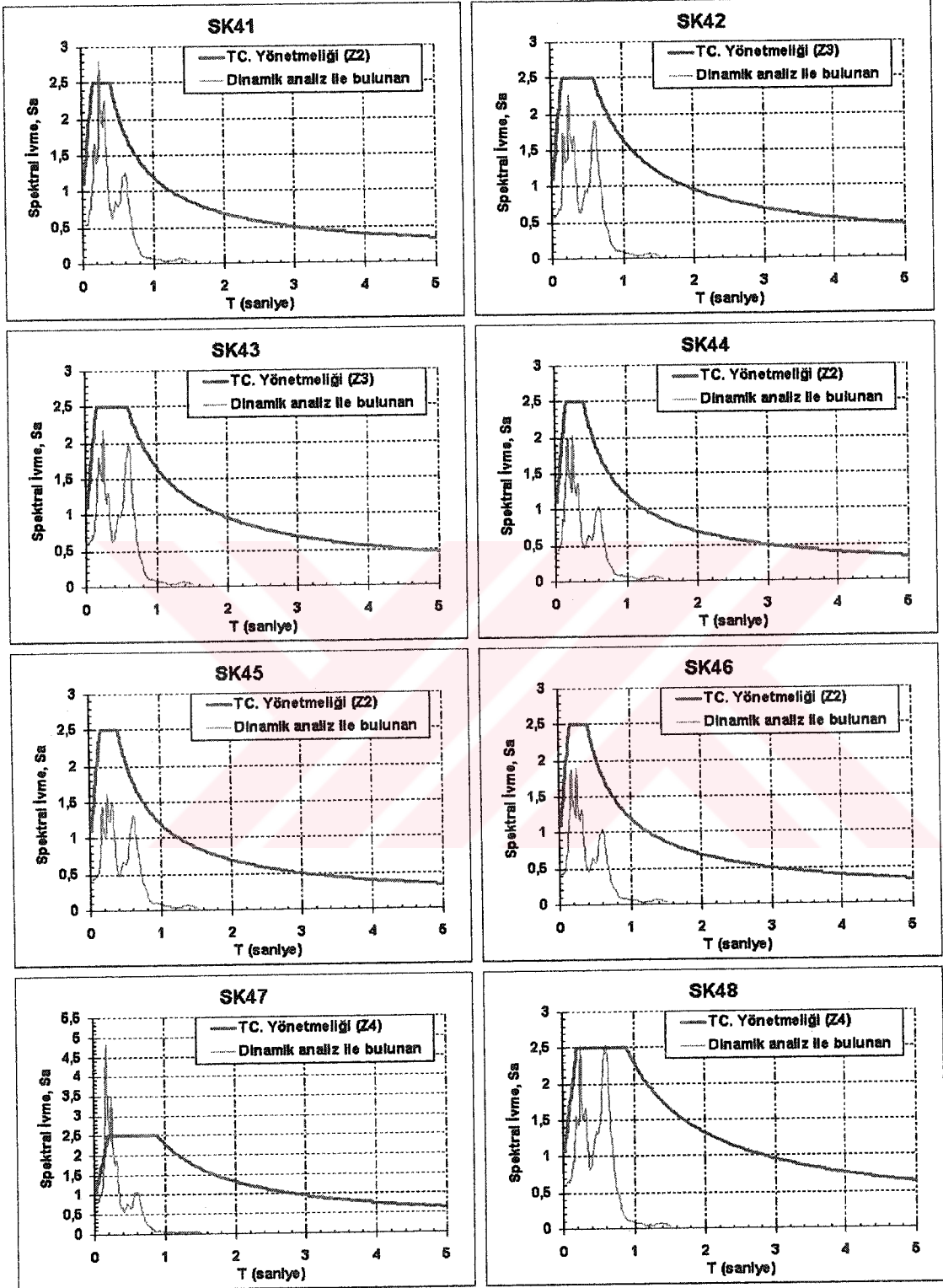
Şekil 5.4 Dinamik analiz sonucu bulunan spektral ivmelerin yerel zemin sınıfına ait tasarım ivme spektrumuyla karşılaştırılması (Devam)



Şekil 5.4 Dinamik analiz sonucu bulunan spektral ivmelerin yerel zemin sınıfına ait tasarım ivme spektrumuyla karşılaştırılması (Devam)

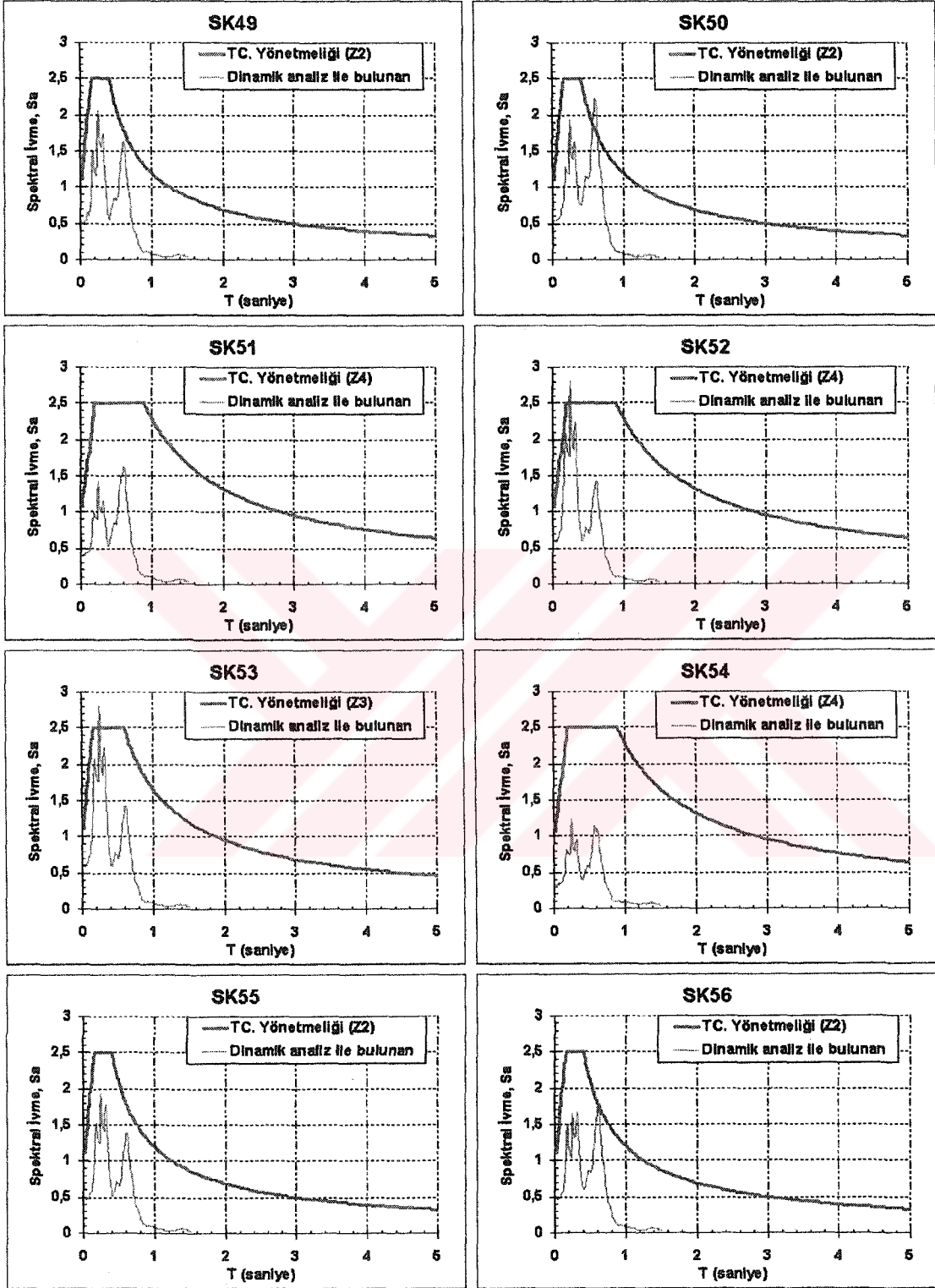


Şekil 5.4 Dinamik analiz sonucu bulunan spektral ivmelerin yerel zemin sınıfına ait tasarım ivme spektrumuyla karşılaştırılması (Devam)

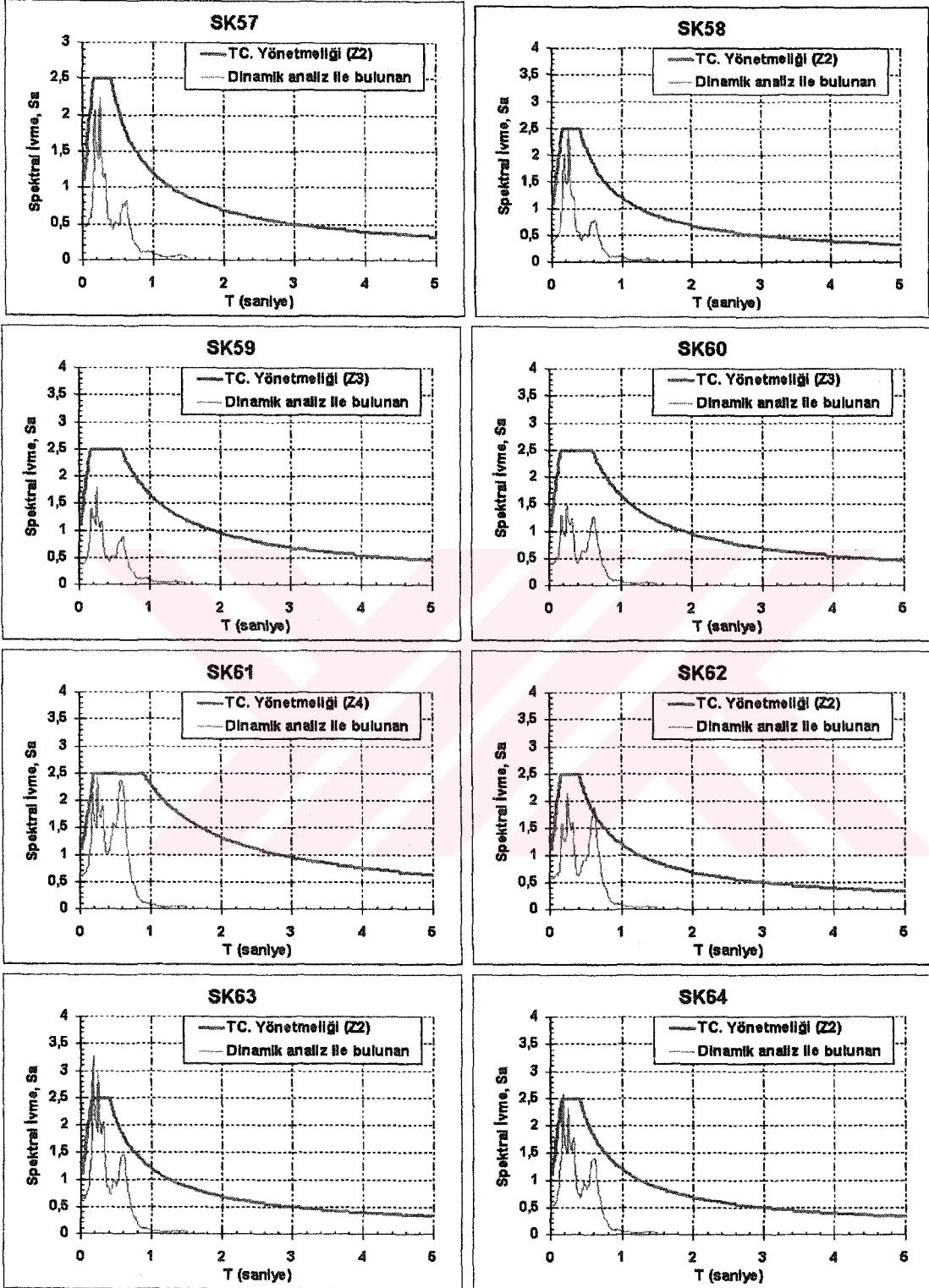


Şekil 5.4 Dinamik analiz sonucu bulunan spektral ivmelerin yerel zemin sınıfına ait tasarım ivme spektrumuyla karşılaştırılması (Devam)





Şekil 5.4 Dinamik analiz sonucu bulunan spektral ivmelerin yerel zemin sınıfına ait tasarım ivme spektrumuyla karşılaştırılması (Devam)



Şekil 5.4 Dinamik analiz sonucu bulunan spektral ivmelerin yerel zemin sınıfına ait tasarım ivme spektrumuyla karşılaştırılması (Devam)

## 6. KÜÇÜKÇEKMECE BÖLGESİNDE, DEPREM SONUCU OLUŞAN YAPI HASARLARININ BELİRLENMESİ

### 6.1 Giriş

Bir bölgedeki bina kalitesinin ve deprem kaynak özelliklerinin aynı olduğu varsayılırsa, depremden sonra oluşan hasar, yerel zemin koşullarının yapı üzerindeki etkisinin en önemli göstergesidir. Bu nedenle hem yapılan mikrobölgeleme çalışmasının güvenilirliğinin denetlenmesinde hem de yerel zemin koşulları ile yapı hasarları arasındaki ilişkilerin belirlenmesinde, sağlıklı gözlemlere dayanan bir hasar çalışmasının büyük önemi vardır. Bu nedenle bu çalışmada, inceleme alanında orta ve ağır hasar gören binaların yerleri GIS'e işlenerek konumları Şekil 6.1'de verilen 15 mahalle için hasar dağılımları belirlenmiştir.

İnceleme alanında orta ve ağır hasar gören 78 adet binanın tamamı betonarme olup yapı kalitelerinin aynı olduğu varsayılmış ve kat sayıları belirlenemediğinden tüm binalar için bölgeleme yapılmıştır.

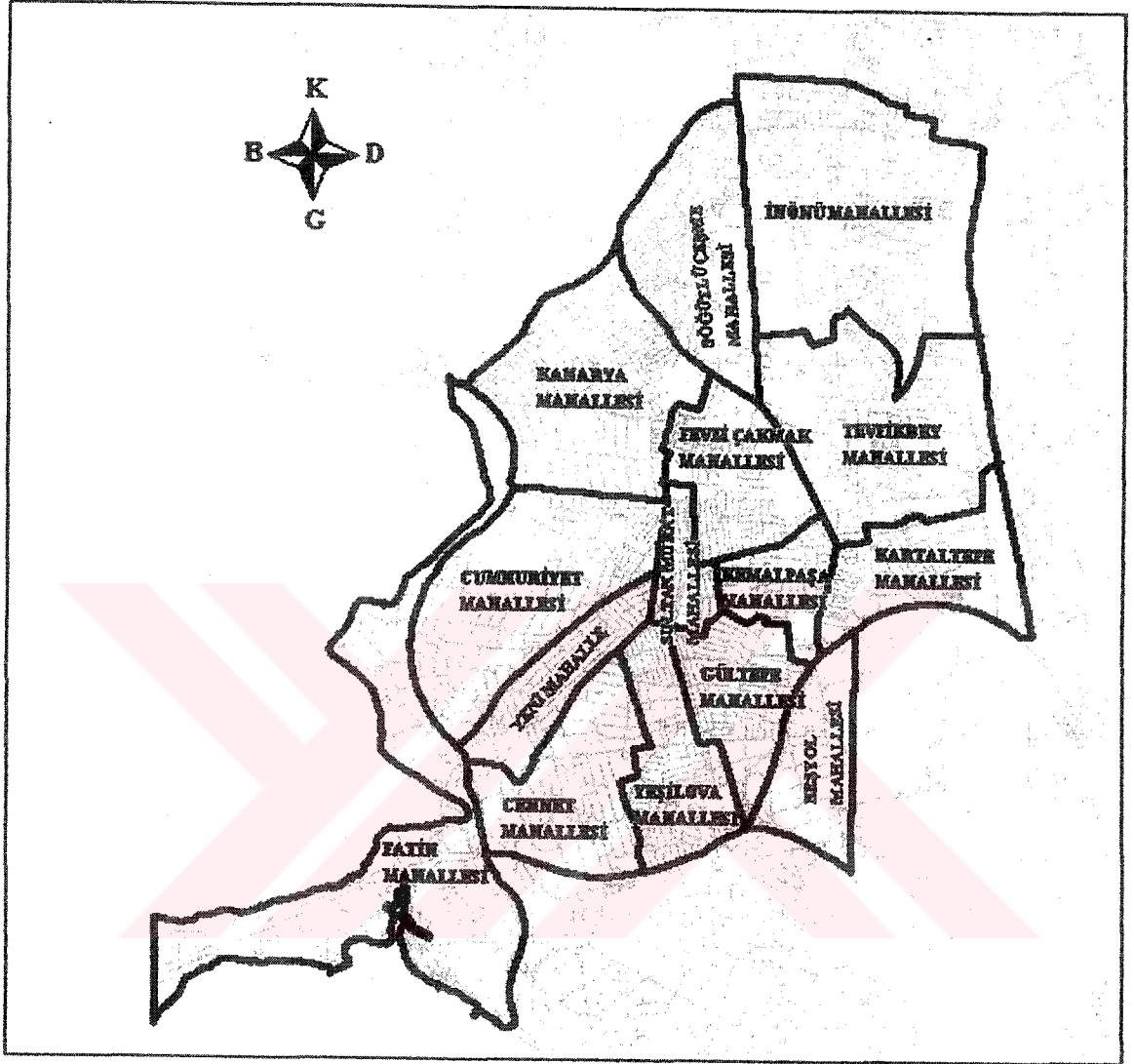
### 6.2 Hasar Verilerinin Değerlendirilmesi

İnceleme alanında 17 Ağustos depreminden sonra 78 adet binada orta ve ağır hasar meydana gelmiştir. Bu binaların adresleri ve oluşan hasar derecesi Çizelge 6.2'de verilmiştir. Bu çalışmada, binalara oluşan hasar derecesine göre puan verilerek, mahalle bazında ağırlıklı hasar yüzdeleri belirlenmiştir (Çizelge 6.3). Son olarak elde edilen bu veriler GIS ortamına aktarılarak hem mahalle bazında oluşan hasara göre hem de bina koordinatlarına göre bölgeleme yapılmıştır.

Mahalle bazında oluşan ağırlıklı hasarın belirlenmesi sırasında, hasar gören binalara oluşan hasar derecesine göre puan verilmiştir. Bu puanlama sırasında kullanılan ölçek Çizelge 6.1'de verilmiştir.

Çizelge 6.1 Ağırlıklı hasar hesabında kullanılan puanlama ölçeği

Hasar Seviyesi	Hasarsız	Az	Orta	Ağır	Yıkık
Puan	0	1	2	3	4



Şekil 6.1 İnceleme alanının mahalle bazında yerleşim planı

Çizelge 6.2 İnceleme alanında hasar gören binaların konumları ve hasar seviyeleri

MAHALLE	ADRES	HASAR DERECESESİ	PUAN
Cennet	Alparslan Cad. No:8	Orta	2
Cennet	Alparslan Cad. No:14	Orta	2
Cennet	Alparslan Cad. No:33	Orta	2
Cennet	Alparslan Cad. No:44	Orta	2
Cennet	Alparslan Cad. No:47	Yıkık	4
Cennet	Alparslan Cad. No:64	Orta	2
Cennet	Barbaros Cad. No:18	Ağır	3
Cennet	Barbaros Cad. No:27	Ağır	3
Cennet	Barbaros Cad. No:32	Orta	2
Cennet	Barbaros Cad. No:33	Ağır	3
Cennet	Hürriyet Cad. No:31	Orta	2
Cennet	Hürriyet Cad. No:34	Orta	2
Cennet	Hürriyet Cad. No:38-A	Orta	2
Cennet	Hürriyet Cad. No:38-B	Orta	2
Cennet	Hürriyet Cad. No:53	Orta	2
Cennet	Hürriyet Cad. No:88	Orta	2
Cennet	Mehtap Sok No:2	Orta	2
Cennet	Yahya Kemal Beyathı cad. No:4	Orta	2
Cennet	Yavuz Selim Cad. No:49	Orta	2
Cumhuriyet	Aşık Veysel Cad. No:9	Orta	2
Cumhuriyet	Aşık Veysel Cad. No:15	Orta	2
Cumhuriyet	Aşık Veysel Cad. No:57	Orta	2
Cumhuriyet	Begonya Sok. No: 26	Ağır	3
Cumhuriyet	Dr. Sadık Ahmet Cad. No: 45	Orta	2
Cumhuriyet	İnönü Cad. No:33	Orta	2
Cumhuriyet	Yıldız cad. No:1	Orta	2
Fatih	Dalyan Sok. No:26-A,B	Orta	2
Fatih	İçkumsal mevkii, Ettot tesisleri	Orta	2
Fevzi Çakmak	Çakar Sok. No:4	Orta	2
Fevzi Çakmak	Çakar Sok. No:5	Orta	2
Fevzi Çakmak	Gülhan Sok. No:21	Orta	2
Fevzi Çakmak	Türkeli Sok. No:12	Orta	2
Fevzi Çakmak	Türkeli Sok. No: 20	Orta	2
Fevzi Çakmak	Türkeli Sok. No:22	Orta	2
Gültepe	Belli Sok. No:20	Orta	2
Gültepe	İkbal Sok. No:4	Orta	2
Gültepe	İlknur Sok. No:8	Orta	2
Gültepe	Şehit Özcan Sok. No:13	Orta	2
İnönü	Beyazel sok. No:3	Ağır	3
İnönü	Erguvan Sok. No: 36B	Orta	2
İnönü	Karacaoğlu Sok. No:37	Orta	2

Çizelge 6.2 İnceleme alanında hasar gören binaların konumları ve hasar seviyeleri (Devam)

MAHALLE	ADRES	HASAR DERECESESİ	PUAN
İnönü	Kocatepe Sok. No:19	Orta	2
İnönü	Maslak Çeşme Cad. No:B1	Orta	2
İnönü	Nurten Sok. No:21	Orta	2
İnönü	Ömrüm Sok. No:18	Orta	2
İnönü	Süleyman Efendi Sok. No:18	Orta	2
Kanarya	Çil Sok. No:1	Ağır	3
Kanarya	Çil Sok. No:2	Orta	2
Kanarya	Çil Sok. No:4	Orta	2
Kanarya	Çil Sok. No:6	Orta	2
Kanarya	İskete Sok. No:31	Ağır	3
Kanarya	Kırlangıç Sok. No:17	Orta	2
Kanarya	Leylek Sok. No:31	Ağır	3
Kanarya	Pelikan Sok. No:11	Orta	2
Kanarya	Pelikan Sok. No:30	Orta	2
Kanarya	Pelikan Sok. No:32	Orta	2
Kanarya	Şahin Cad. No:2	Orta	2
Kanarya	Toy Sok. No:31	Ağır	3
Kartaltepe	Hisar Sok. No:42B	Orta	2
Kartaltepe	Tekinalp Sok. No:40	Orta	2
Kemalpaşa	Ersöz Sok. No:4	Orta	2
Söğütlüçeşme	Barbaros Sok. No:43	Orta	2
Söğütlüçeşme	Barbaros Sok. No:45	Orta	2
Söğütlüçeşme	Cami Altı Sok. No:20	Orta	2
Söğütlüçeşme	Ertuğrul Sok. No:21	Orta	2
Söğütlüçeşme	Kartal Sok. No:20A	Orta	2
Söğütlüçeşme	Kartal Sok. No:25	Orta	2
Söğütlüçeşme	Kartal Sok. No:30	Orta	2
Söğütlüçeşme	Kayın Çıkmazı No:6	Orta	2
Söğütlüçeşme	Kırmızıgül Sok. No:14	Ağır	3
Söğütlüçeşme	Tellikavak Sok. No:42	Ağır	3
Söğütlüçeşme	Yıldırım Sok. No:10	Orta	2
Tevfikbey	Beşir Kemal Cad. No:20	Orta	2
Tevfikbey	Muammer Aksoy Cad. No:25	Orta	2
Tevfikbey	Şehit Recep Sok. No:24	Yıkık	4
Yenimahalle	İmaret Sok. No:19	Orta	2
Yenimahalle	Küme Sok. No:2	Orta	2
Yeşilova	Maden Sok. no:2	Orta	2

Çizelge 6.3 Mahalle bazında ağırlıklı hasar dağılımı

MAHALLE	HASARLI BİNA SAYISI	PUAN	TOPLAM PUAN	AĞIRLIKLI HASAR (%)
Cennet	19	43	171	25.1
Kanarya	12	28	171	16.3
Söğütliçeşme	11	24	171	14
İnönü	8	17	171	9.8
Cumhuriyet	7	15	171	8.8
Fevzi Çakmak	6	12	171	7
Gültepe	4	8	171	4.7
Tevfikbey	3	8	171	4.7
Fatih	2	4	171	2.4
Kartalpe	2	4	171	2.4
Yenimahalle	2	4	171	2.4
Kemalpaşa	1	2	171	1.2
Yeşilova	1	2	171	1.2
Beşyol	0	0	171	0
Sultan Murat	0	0	171	0

Çizelge 6.2'de verilen hasarlı binaların koordinatları belirlenerek GIS ortamına aktarılmış ve oluşan hasarın bölgedeki dağılımı belirlenmeye çalışılmıştır. Ayrıca Çizelge 6.3 kullanılarak mahalle bazında hasar haritası GIS ortamında oluşturulmuştur. Oluşturulan bu haritalar, yerel zemin koşullarını gösteren haritalarla karşılaştırılarak, hasarla yerel zemin koşulları arasındaki ilişki belirlenmeye çalışılmıştır.

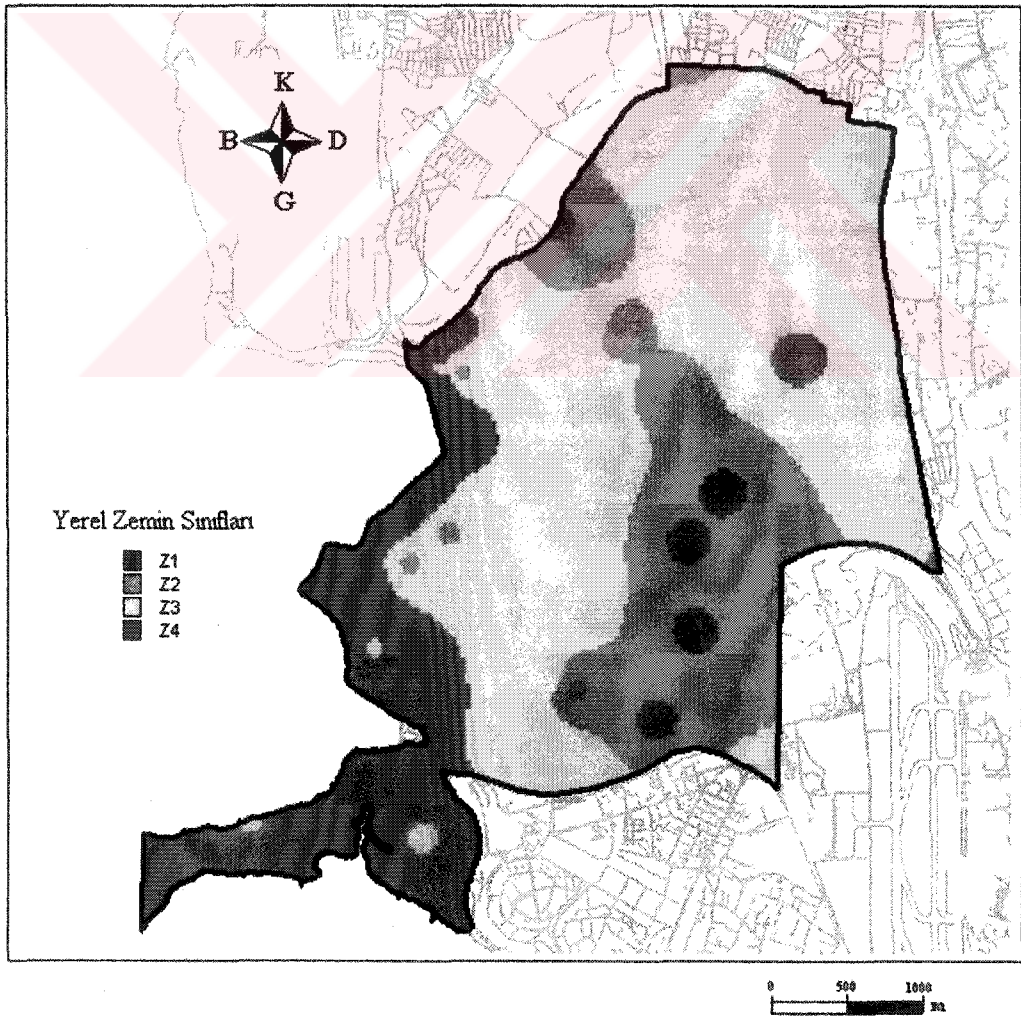
## 7. GIS İLE MİKROBÖLGELEME

### 7.1 Giriş

Bu çalışma kapsamında deneysel ve analitik olarak belirlenen tüm değerler GIS ortamına aktarılarak Küçükçekmece Bölgesinin değişik parametrelere göre mikrobölgelemesi yapılmıştır.

### 7.2 Sismik Kırılma Ölçümlerinden Elde Edilen Sonuçlara Göre Yerel Zemin Sınıflarının Belirlenmesi

Konumları Şekil 2.4'te verilen 30 noktada yapılan sismik kırılma deneylerinden elde edilen sonuçlar GIS'e aktarılarak yerel zemin sınıflarına göre bölgeleme yapılmıştır. Sonuçlar Şekil 7.1'de verilmiştir.

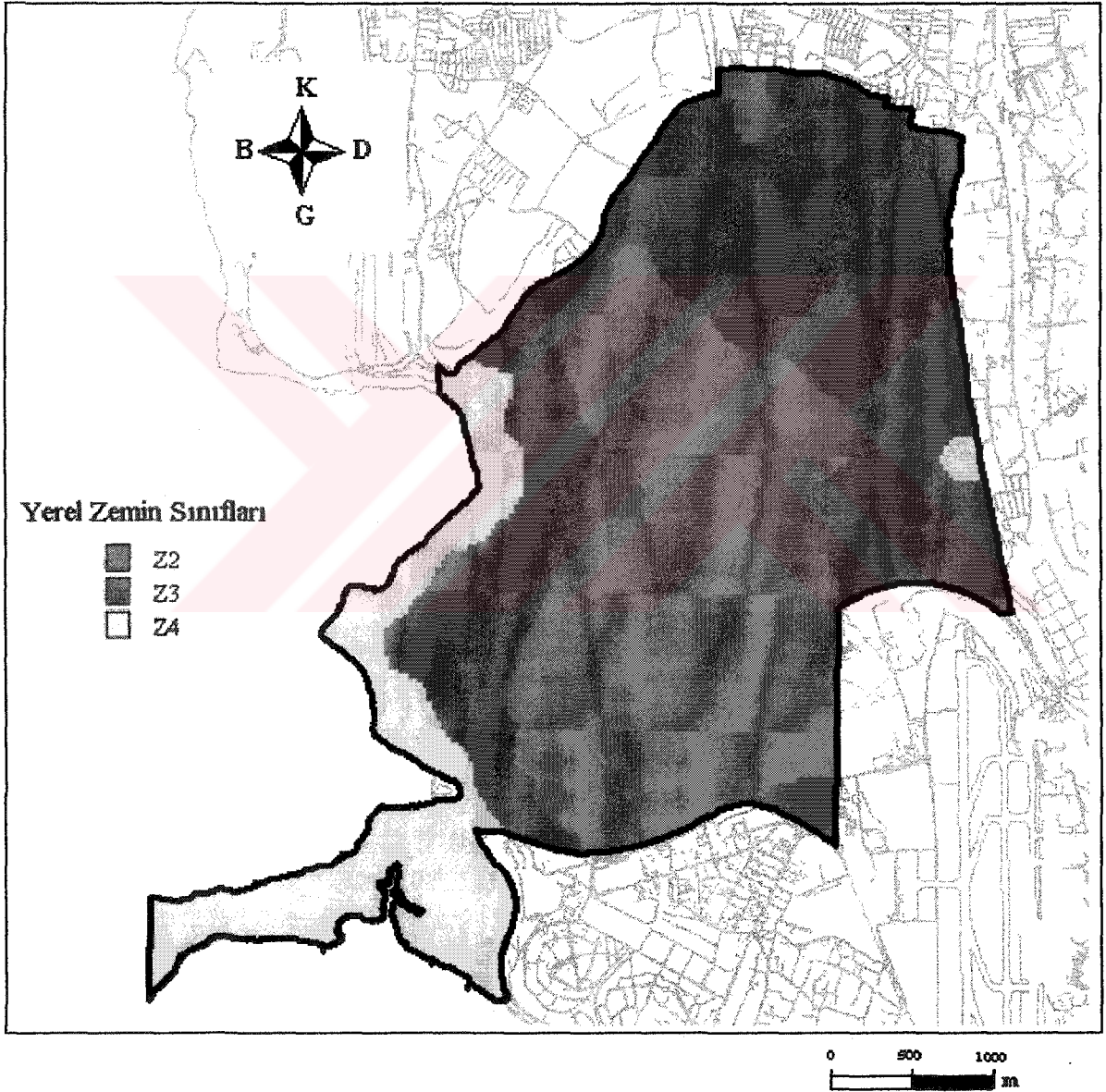


Şekil 7.1 Sismik kırılma deneyi sonuçlarına göre yerel zemin sınıfları



### 7.3 Sondaj Kesitleri İncelenerek Yerel Zemin Sınıflarının Belirlenmesi

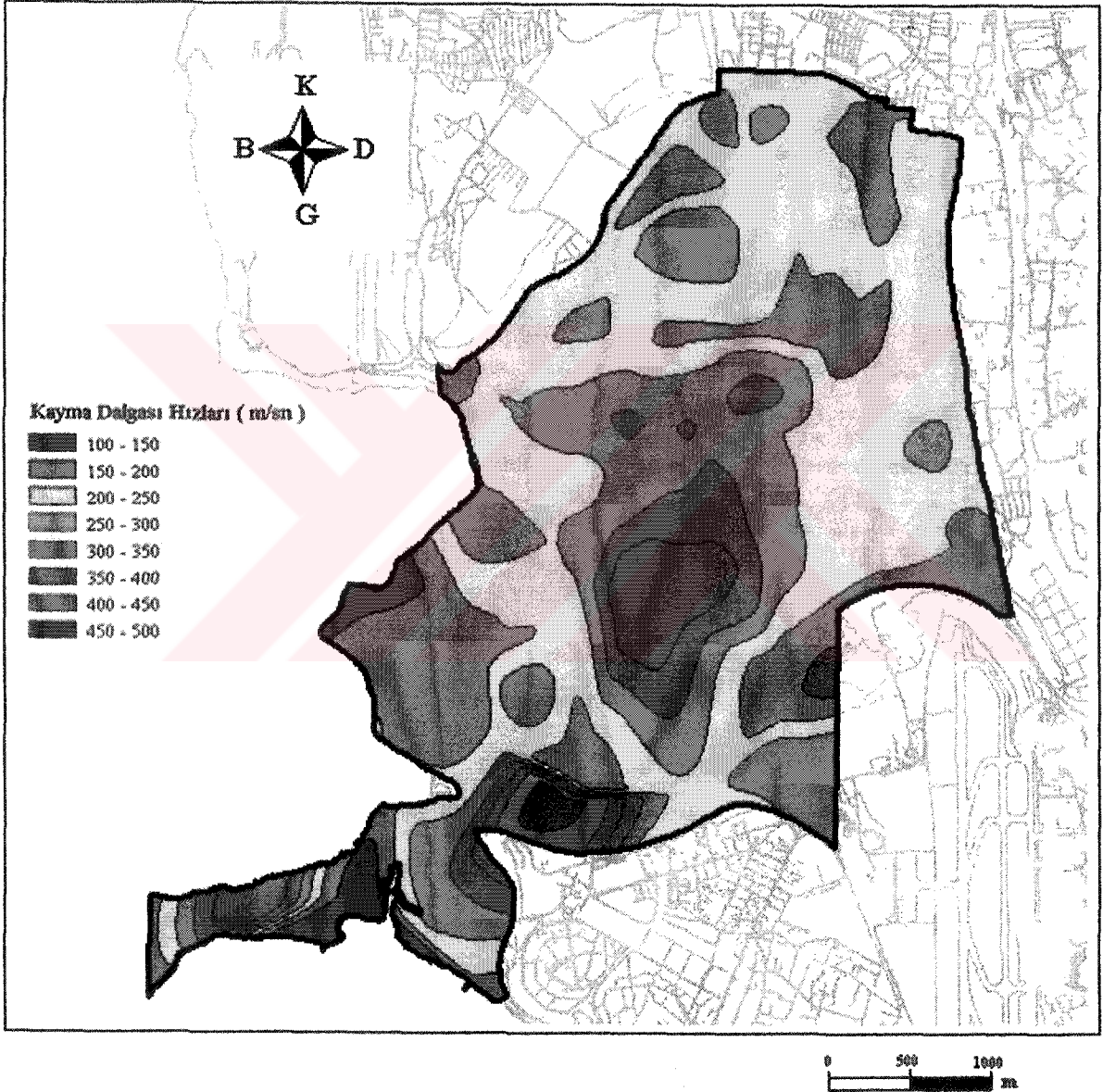
Konumları Şekil 5.1’de, zemin kesitleri ise Şekil 5.2’de verilen 64 adet sondaj kuyusundan elde edilen veriler, Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik çerçevesinde değerlendirilerek, sondaj kesitlerinde ilk 30 m için yerel zemin sınıfları belirlenmiştir. Sonuçlar GIS ortamına aktarılarak mikrobölgeleme yapılmıştır. Elde edilen bölgeleme haritası Şekil 7.2’de sunulmuştur.



Şekil 7.2 Sondaj verileri değerlendirilerek elde edilen yerel zemin sınıfları

#### 7.4 Kayma Dalgası Hızının Bölgedeki Değişiminin Belirlenmesi

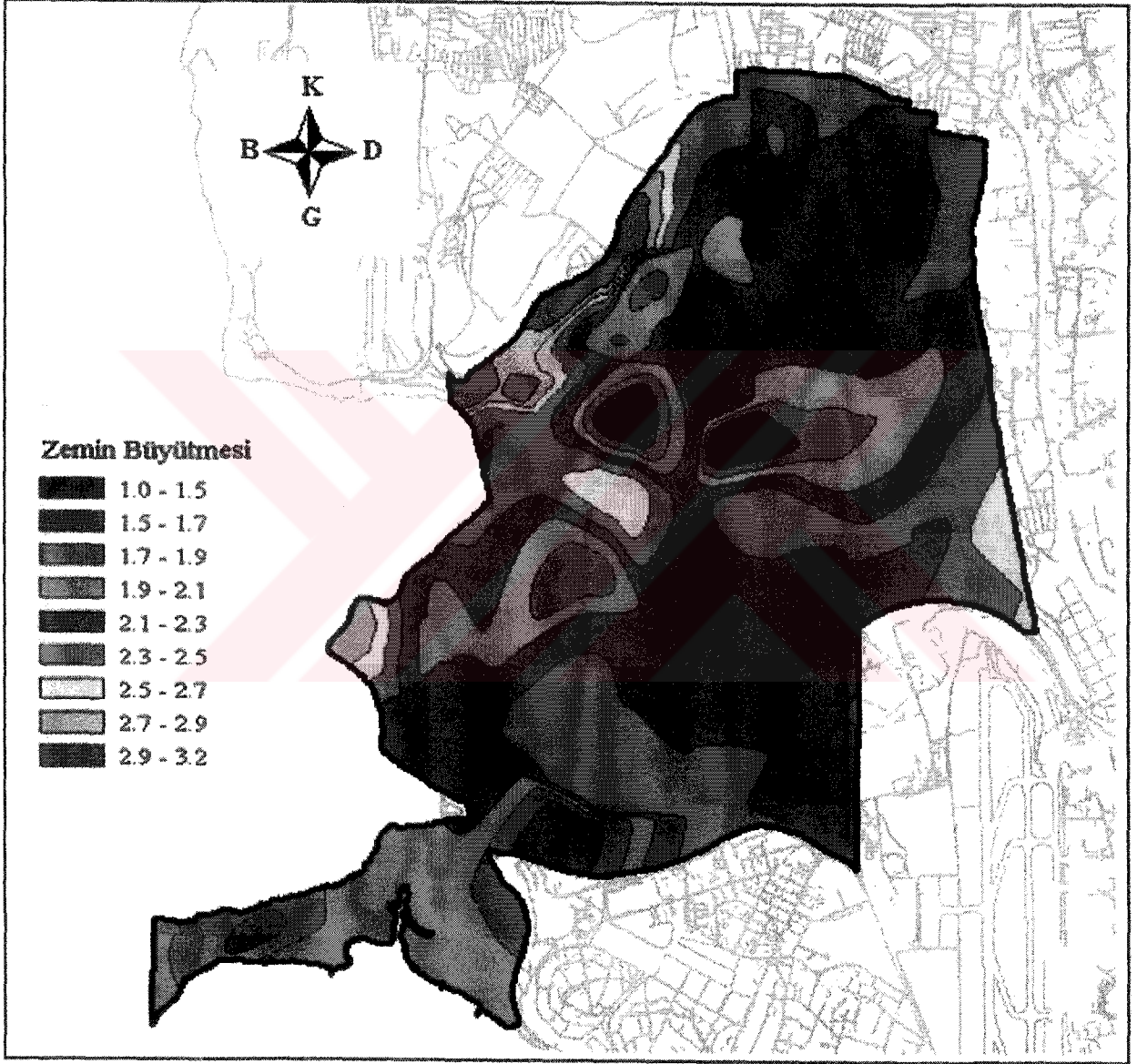
Şekil 5.3'te her sondaj kesiti için, SPT (N) değerlerini kullanarak, uygun bağıntılar yardımıyla hesaplanan kayma dalgası hızlarının derinlikle değişimi verilmiştir. Bu bölümde yüzeyde hesaplanan ortalama kayma dalgası hızına göre mikrobölgeleme yapılmıştır. Elde edilen bölgeleme haritası Şekil 7.3'te sunulmuştur.



Şekil 7.3 Kayma dalgası hızının bölgedeki değişimi

### 7.5 Dinamik Analiz Sonucu Bulunan Zemin Büyütmelerinin Bölgedeki Değişiminin Belirlenmesi

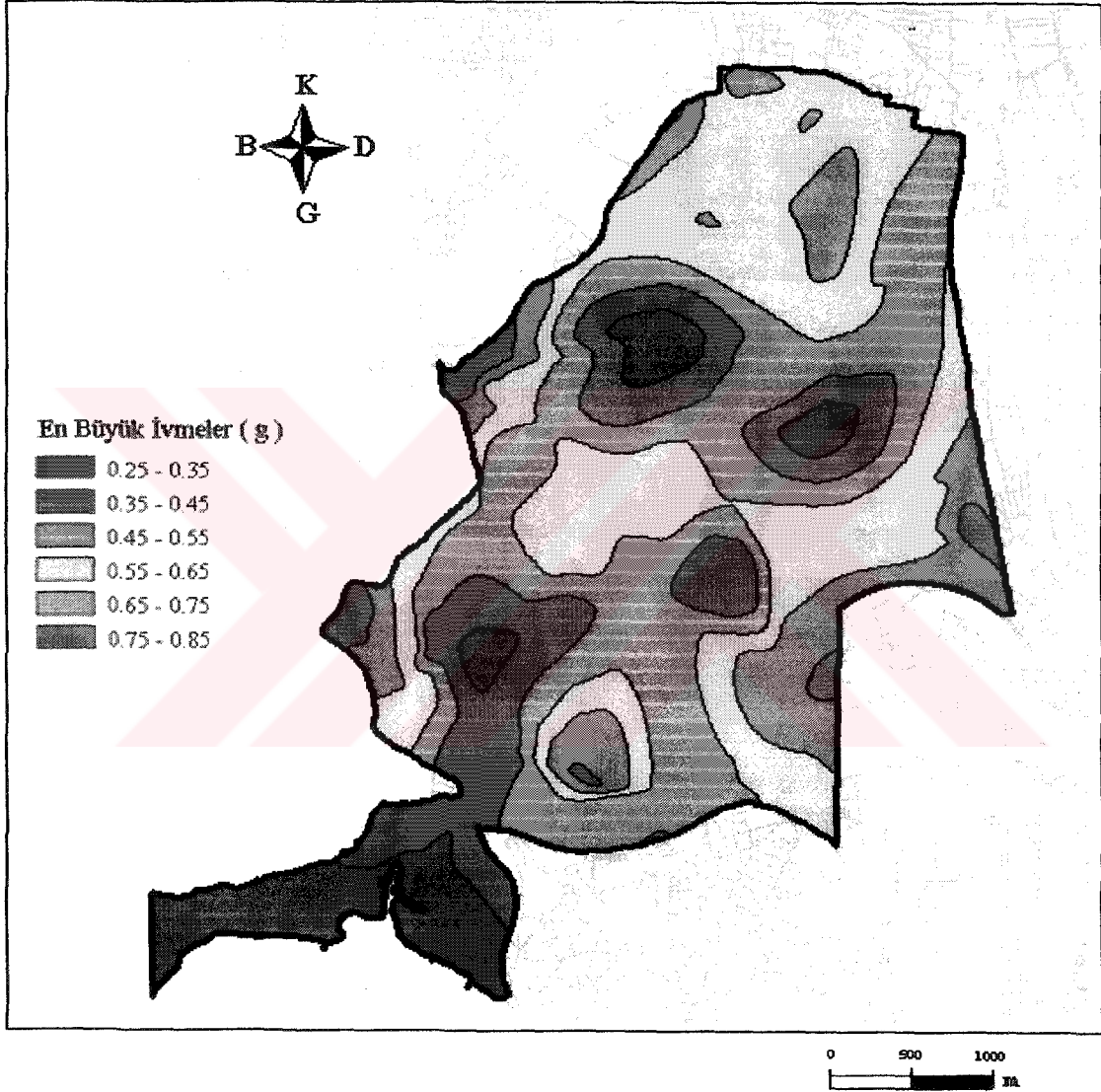
EERA programı kullanılarak her sondaj kesiti için zemin büyütmeye değerleri hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar GIS ortamına aktarılmış ve zemin büyütmeye göre mikrobölgeleme yapılmıştır. Elde edilen bölgeleme haritası Şekil 7.4'te sunulmuştur.



Şekil 7.4 Dinamik analizlerle hesaplanan zemin büyütmelerinin bölgedeki değişimi

### 7.6 Dinamik Analiz Sonucu Bulunan En Büyük İvmelerin Bölgedeki Değişiminin Belirlenmesi

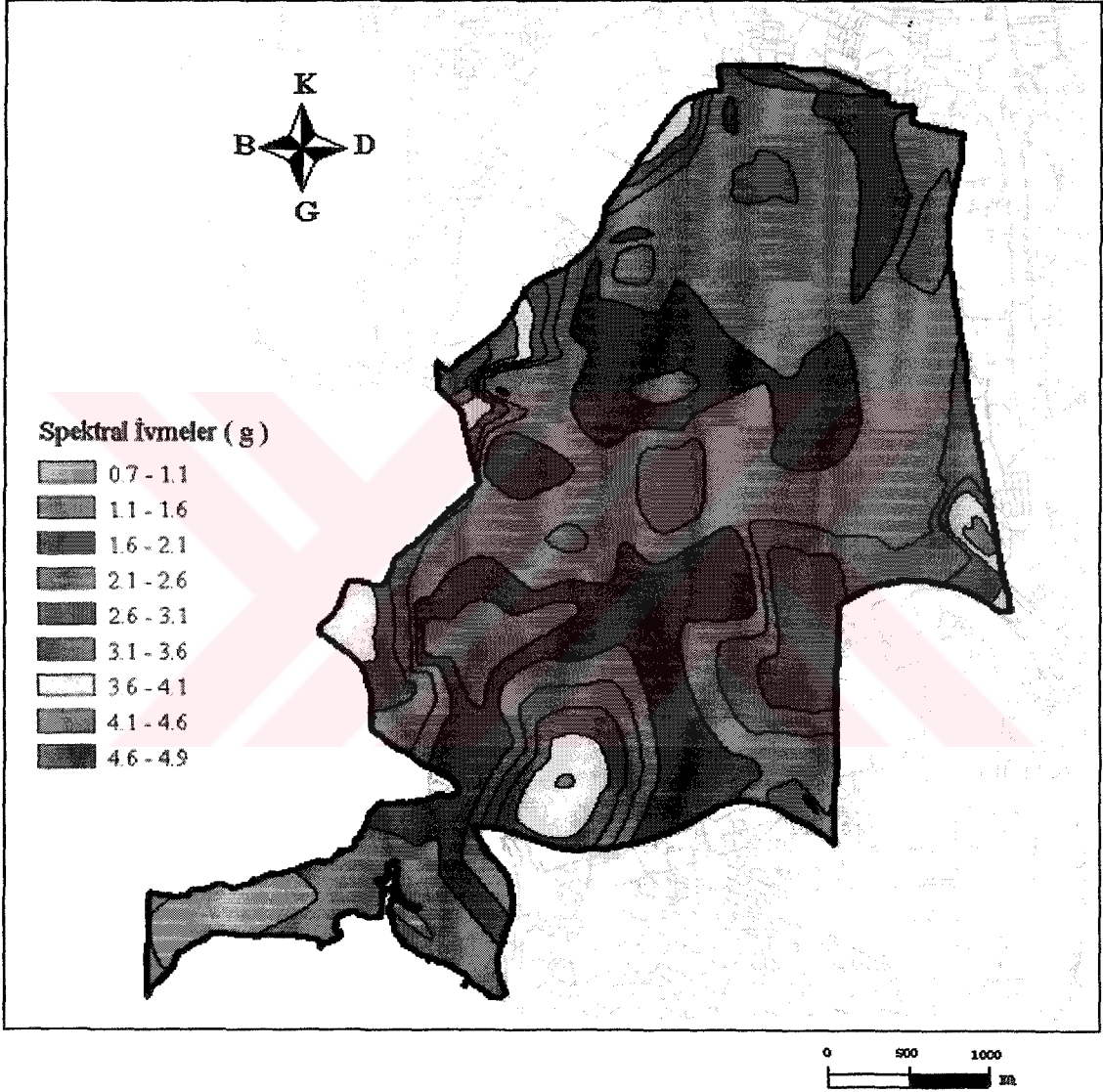
EERA programı kullanılarak, her sondaj kesitinde en üst tabaka için en büyük ivmeler belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar GIS ortamına aktarılarak en büyük ivmelerin bölgedeki değişimi haritalanmıştır. Elde edilen harita Şekil 7.5’de sunulmuştur.



Şekil 7.5 En Büyük İvmelerin Bölgedeki Değişimi

### 7.7 Dinamik Analiz Sonucu Bulunan Spektral İvmelerin Bölgedeki Değişiminin Belirlenmesi

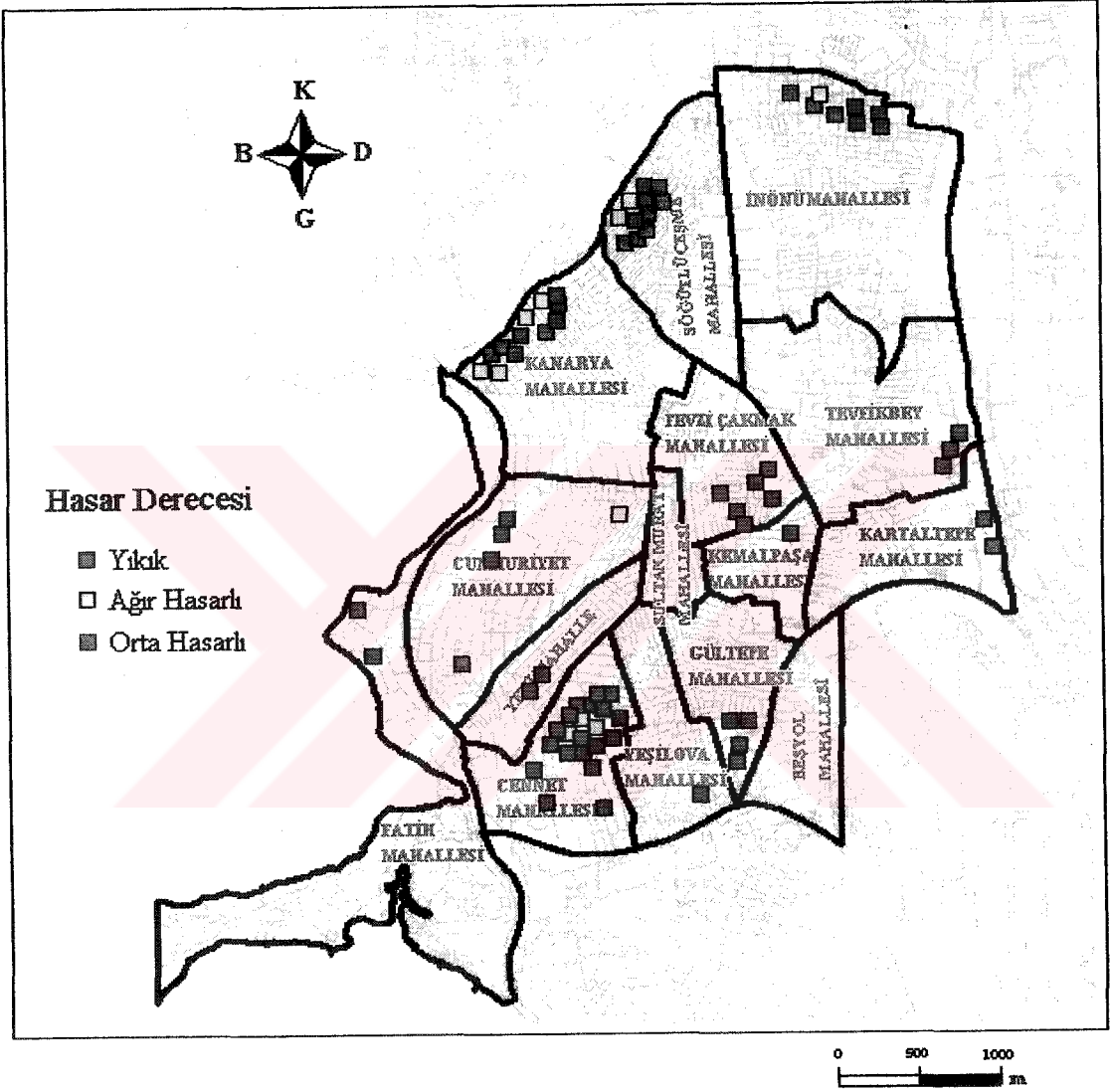
EERA yardımıyla, her sondaj kesitinde spektral ivmeler hesaplanmıştır. Elde edilen veriler GIS ortamına aktarılarak spektral ivmelerin bölgedeki değişimi haritalanmıştır. Elde edilen harita Şekil 7.6'da sunulmuştur.



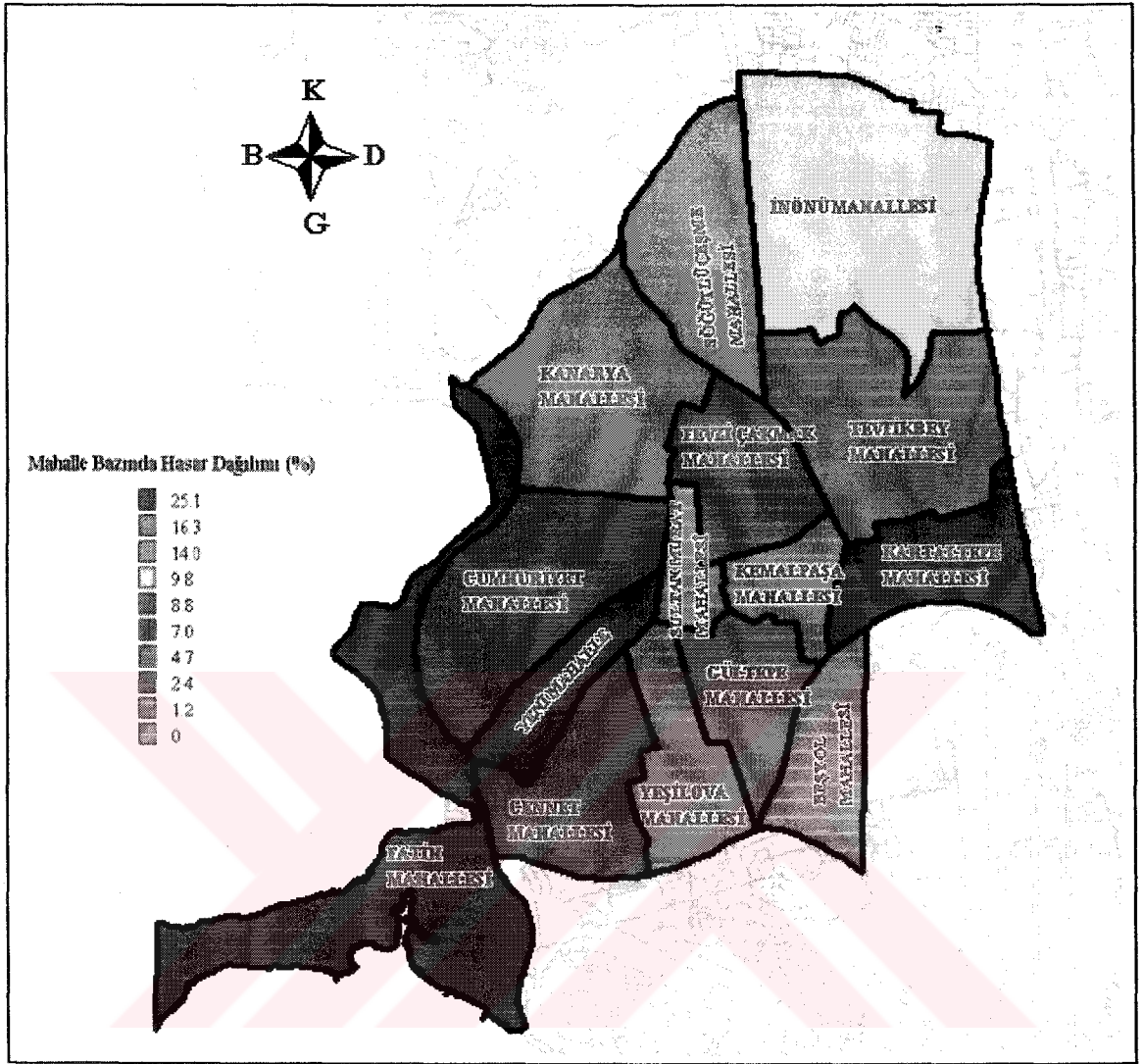
Şekil 7.6 Spektral İvmelerin Bölgedeki Dağılımı

### 7.8 Hasar Dağılımının Belirlenmesi

Çizelge 6.2 ve Çizelge 6.3 kullanılarak hasar gören yapıların koordinatları ve hasar dereceleri GIS ortamına aktarılmış, bina bazında ve mahalle bazında hasar haritaları oluşturulmuştur. Elde edilen hasar haritaları Şekil 7.7 ve Şekil 7.8'de sunulmuştur.



Şekil 7.7 Hasar gören yapıların bölgedeki dağılımı ve hasar dereceleri



Şekil 7.8 Mahalle bazında hasar dağılımı

## 8. YEREL ZEMİN KOŞULLARI İLE HASARIN KARŞILAŞTIRILMASI

### 8.1 Giriş

Bir mikrobölgeleme çalışmasında, yapılan işlemlerin doğruluğunu, oluşan hasarla yerel zemin koşullarının karşılaştırılmasıyla belirlenmektedir. Bu nedenle bu bölümde, daha önce elde edilen, yerel zemin koşullarını ve hasarı gösteren haritalar karşılaştırmalı olarak sunulacaktır.

### 8.2 Yerel Zemin Sınıfları İle Hasarın Karşılaştırılması

Sondaj kesitlerinin incelenmesiyle bulunan yerel zemin sınıfları ile hasar karşılaştırılmıştır. Elde edilen harita Şekil 8.1'de sunulmuştur.

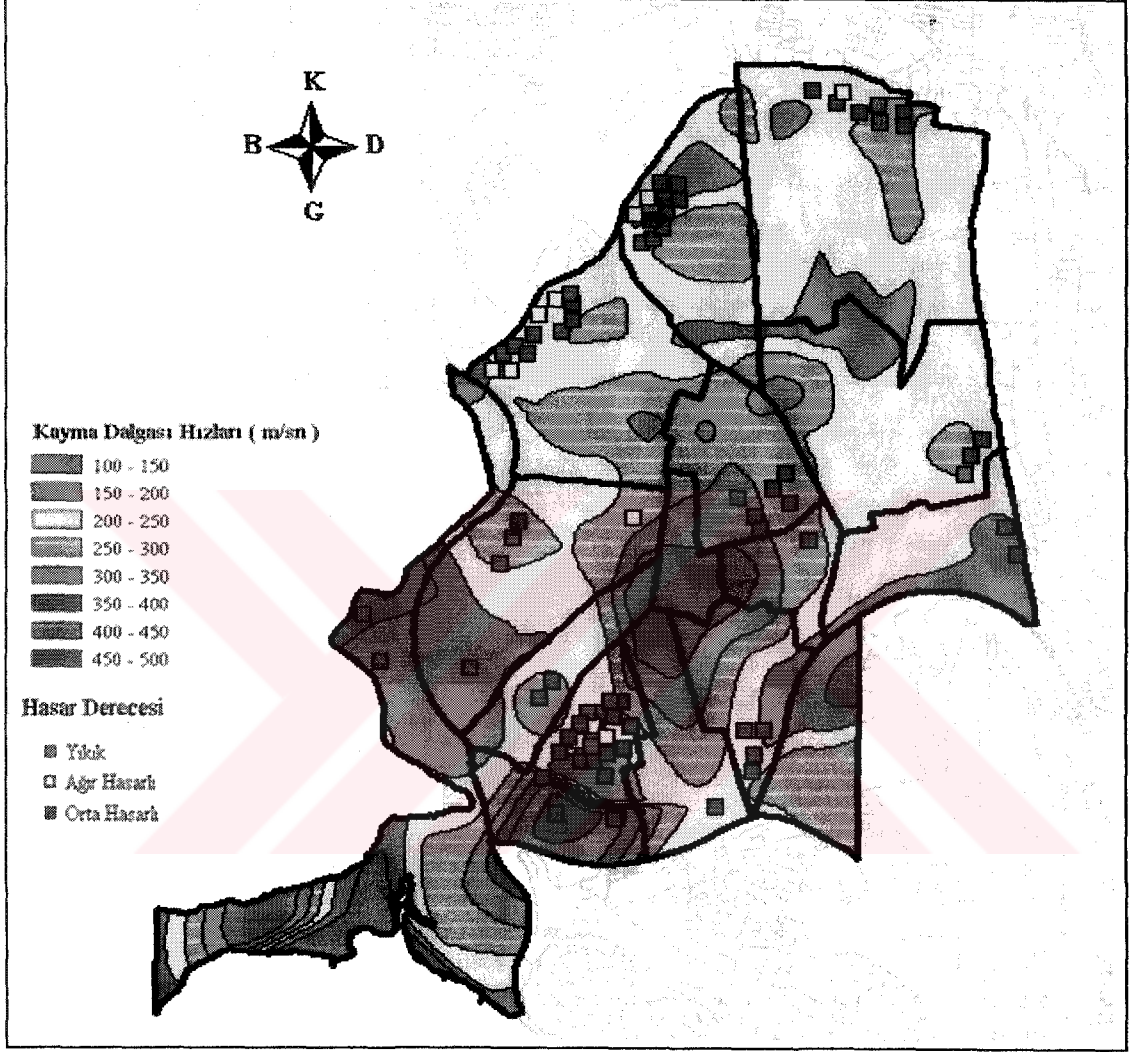


Şekil 8.1 Yerel zemin koşullarıyla oluşan hasarın karşılaştırılması



### 8.3 Kayma Dalgası Hızları İle Hasarın Karşılaştırılması

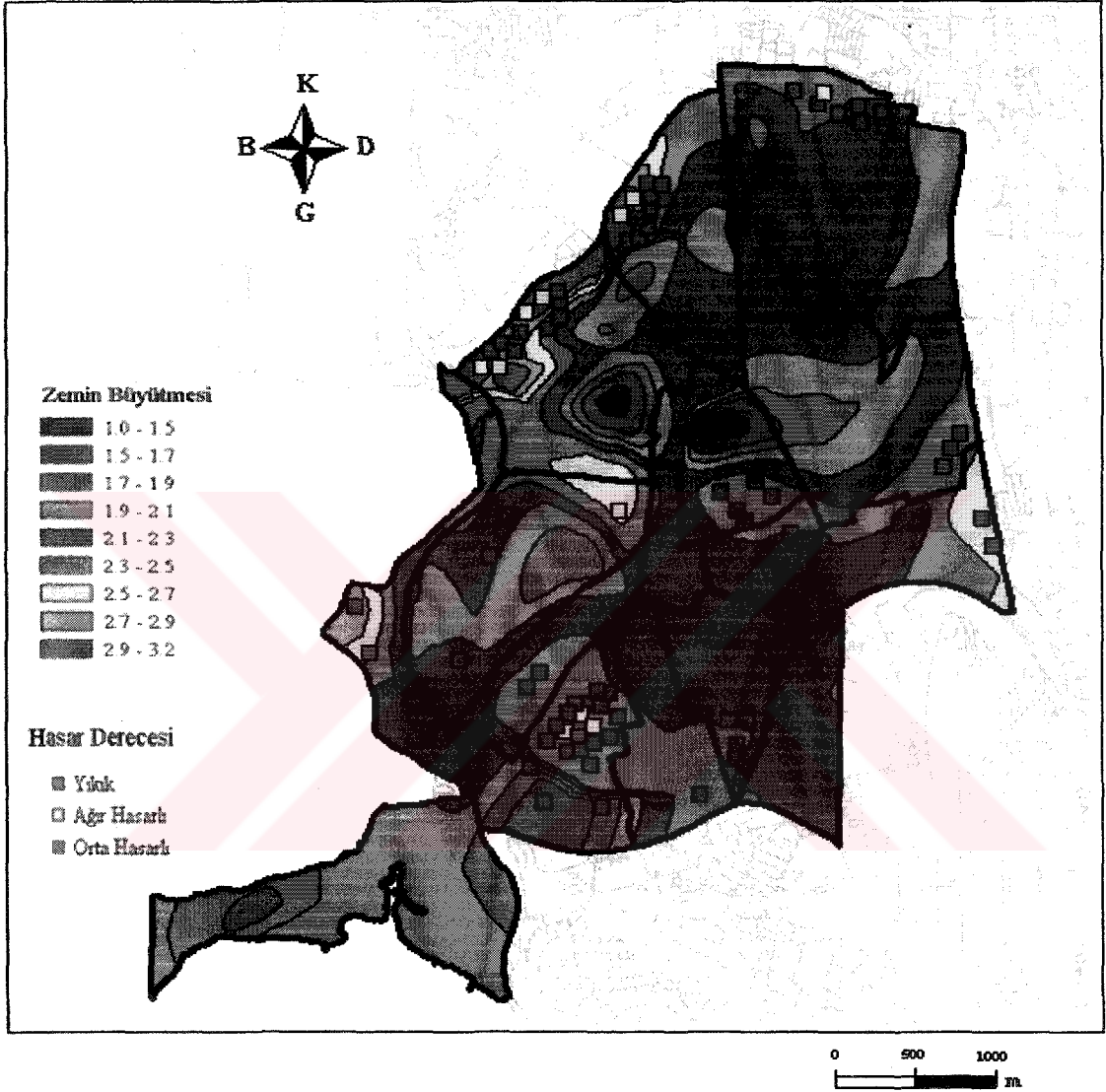
Yüzeyde hesaplanan kayma dalgası hızları ile oluşan hasar karşılaştırılmıştır. Elde edilen harita Şekil 8.2’de sunulmuştur.



Şekil 8.2 Kayma dalgası hızları ile oluşan hasarın karşılaştırılması

#### 8.4 Zemin Büyütmeleri İle Hasarın Karşılaştırılması

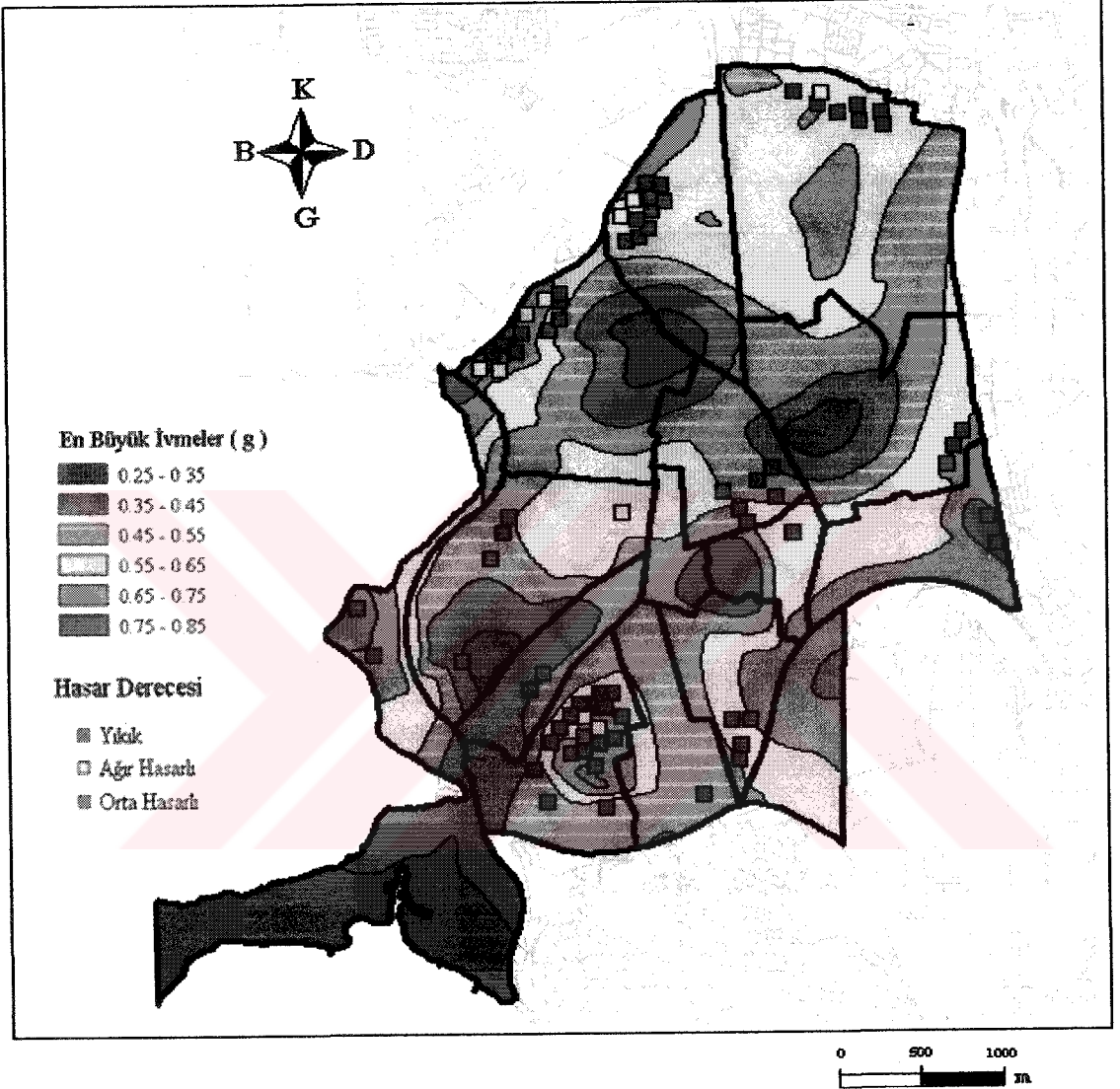
Dinamik analiz sonucu bulunan zemin büyütmesi değerleri ile oluşan hasar karşılaştırılmıştır. Elde edilen harita Şekil 8.3'te sunulmuştur.



Şekil 8.3 Zemin büyütmeleri ile oluşan hasarın karşılaştırılması

### 8.5 En Büyük İvmelerle Hasarın Karşılaştırılması

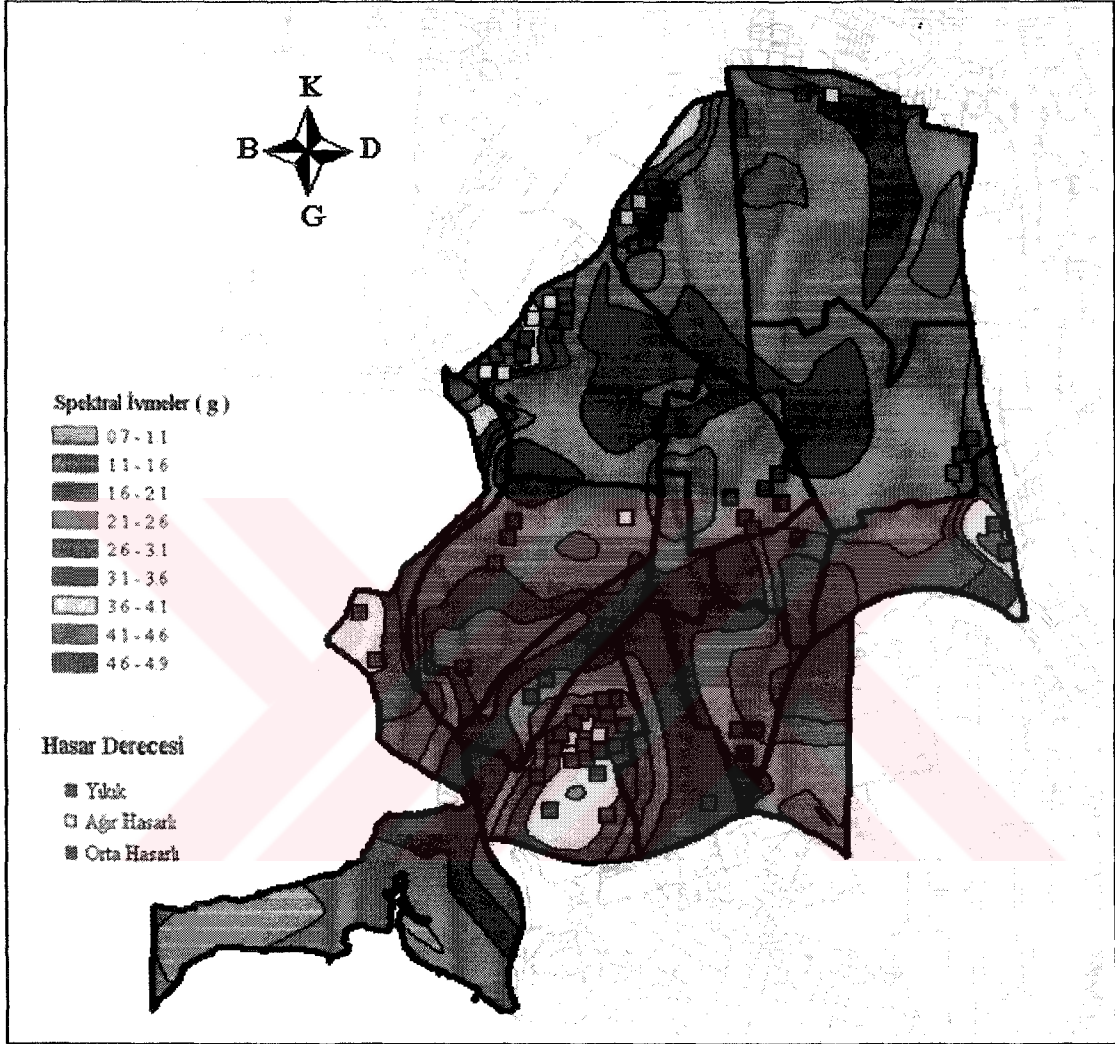
Dinamik analiz sonucu bulunan en büyük ivmelerle oluşan hasar karşılaştırılmıştır. Elde edilen harita Şekil 8.4'te sunulmuştur.



Şekil 8.4 En büyük ivmeler ile oluşan hasarın karşılaştırılması

### 8.6 Spektral İvmelerle Hasarın Karşılaştırılması

Dinamik analizlerle bulunan spektral ivmelerle oluşan hasar karşılaştırılmıştır. Elde edilen harita Şekil 8.5'te sunulmuştur.



Şekil 8.5 Spektral ivmelerle oluşan hasarın karşılaştırılması

## 9. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRMELER

Bu çalışmada, Küçükçekmece-Sefaköy yerleşim bölgelerinde 17 Ağustos 1999 Marmara depreminden sonra oluşan hasarlarla yerel zemin koşulları arasındaki ilişki belirlenmeye çalışılmıştır. Bu amaçla önce arazi çalışmalarıyla bölgenin jeolojik ve tektonik özellikleri belirlenmiş daha sonra arazide yapılan sondajlardan alınan örnekler laboratuvarda incelenerek bölgede yer alan zeminlerin özellikleri belirlenmeye çalışılmıştır. Ayrıca yapılan sismik kırılma deneyleri ve mikrotremor ölçümleriyle de yerel zemin koşulları belirlenmeye çalışılmıştır. Bütün bu çalışmalar sonucunda elde edilen veriler ışığında II. ve III. Derece mikrobölgeleme çalışması yapılmış, elde edilen sonuçlar GIS ortamına aktararak, 1:10000 harita ölçeğinde yerel zemin sınıflarına göre, yüzeyde hesaplanan ortalama kayma dalgası hızına göre, zemin büyütmelerine göre, hesaplanan en büyük ivmelere göre, spektral ivmelere göre ve hasar dağılımlarına göre mikrobölgeleme haritaları üretilmiştir. Bu çalışma sonucunda aşağıdaki yargılara varılmıştır.

Bölgede yapılan sismik kırılma deneylerinden elde edilen sonuçlara göre ve sondaj kesitleri incelenerek yerel zemin sınıfları belirlenmiş, elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında sadece sismik verilerle geoteknik değerlendirme yapmanın sağlıklı olmayacağı görülmüştür.

Bölgedeki hasar dağılımına bakıldığında en çok hasarın sırasıyla Cennet, Kanarya ve Söğütlüçeşme mahallelerinde görüldüğü gözlenmiştir. Kanarya ve Söğütlüçeşme mahallelerinde hasarların görüldüğü bölgeler Z3, Cennet mahallesinde ise Z2 yerel zemin sınıfı içerisinde kalmaktadır. Kayma dalgası hızlarına bakıldığında, hasarların yoğunlaştığı bölgelerde hızların 150-250 m/sn arasında değiştiği, zemin büyütmeleriyle hasar karşılaştırıldığında, hasarın en yoğun olduğu Cennet Mahallesinde büyütme oranları 2.3-2.5, Kanarya ve Söğütlüçeşme Mahallelerinde ise 2.5-3.2 arasında değiştiği, en büyük ivmelerin, Cennet Mahallesinde 0.55-0.75 g , Kanarya mahallesinde 0.55-0.85 g ve Söğütlüçeşme Mahallesinde 0.55-0.65 g arasında değiştiği gözlenmiştir.

Spektral ivmelere bakıldığında ivmelerin, SK 1, 5, 6, 7, 26, 27, 28, 29, 30, 33, 36, 41, 47, 50, 52, 53, 63, 64 sondajlarında, Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik kapsamında verilen tasarım ivme spektrumlarının dışına çıktığı diğer sondajlarda ise yönetmeliğin altında kaldığı gözlenmiştir. Bu sondajların bulunduğu bölgelerde hasar gören yapıların yoğunlaştığı gözlenmiştir. En çok hasarın görüldüğü Cennet Mahallesinde spektral ivmelerin 2.6-4.1 g , Kanarya Mahallesinde 2.6-4.9 g ve Söğütlüçeşme Mahallesinde 2.1-3.6 g arasında değiştiği gözlenmiştir.

Yukarıdaki sonuçlar değerlendirildiğinde, yapılan mikrobölgeleme çalışması ile hasar verilerinin uyumlu çıktığı görülmüştür.

Bu çalışmada dinamik analizler için Küçükçekmece Nükleer istasyonu ana şok kaydı D-B bileşeni kullanılmıştır. Daha sağlıklı bir çalışma için birden fazla kayıt kullanılarak işlemler tekrarlanmalı ve sonuçlar karşılaştırılmalıdır. Ayrıca hasar verileri tüm yapılar için elde edilmeli ve kat sayısı ve yapı türüne göre sorgulamalar yapılmalıdır. Böylece Geoteknik Deprem Mühendisliği açısından, zemin yapı ilişkisi daha sağlıklı bir şekilde belirlenebilir.



**KAYNAKLAR**

- Ansal, A.M., Lav, M.A., İyisan, R., Erken, A.,(1994), “ Effect of Geotechnical factors in March 13, 1992, Erzincan Earthquake”, 13th ICSMFE, Performance of Ground and Soil Structure During Earthquakes, pp.49-54.
- Ansal, A.M., Marcellini, A.,(1998), “Variability of source and site factors in seismic microzonation: State of the art report.”, Proc. Of 11th European Conf. On Earthquake Engineering, Balkema, Rotterdam.
- Barrow, B.L., Stokoe, K.E.II.,(1983), “ Field investigation of liquefaction sites in Northern California”, Geotechnical Engineering Thesis, GT 83-1, Civil Engineering Department, University of Texas At Austin.
- Bellotti, R., Ghionna V., Jamiolkowski, M., Lancellotta, R., Manfredini, G., (1986), “ Deformation Characteristics of cohesionless soils from in-situ tests” . In S.P. Clemence, editor, Use of In-situ Tests in Geotechnical Engineering, ASCE, New York, pp.47-73.
- Borcherdt, R.D.(1970), “ Effects of local geology on ground motion near San Francisco bay, Bull, Seismic Soc. Am., Vol 60, pp.29-61.
- 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 Sna Francisco Bay region, California”, Proc. Of the 4th International Conference on Seismiz Zonation, Stanford, California, pp.545-552.
- Davis B., (1996), “ GIS: A visual approach”, On word press , USA, 376 pp.
- Finn, W.D.Liam (1993), “ Characterization of site effects and soil-structure interaction for seismic design codes”, Seismic Soil/ Structure Interaction Seminear, Vnacouver, British Columbia, May, 29.
- Hays, W.W., (1980), “ Procedures for estimating ground motions”, U.S.G.S, Professional paper 1114, 77p
- Idriss, I.M., (1990), “ Response of soft soils during earthquakes”, H. Bolton Seeed Memorial Symposium Proceedings, Vol.2, May, pp 273-289.
- Imai, T., (1977), “ P and S wave velocities of the ground in Japan”, Proc. Of IX. International Conference on Soil Mechanics and Foundation Enginenrg, Vol.2, pp. 257-260.
- Ishiana Y., (1982), “ Microtremors and related topics”, Proc. of Inter. Seminear on Seismology and Earthquake Engineering, Indonesia, paper no: 7.
- İyisan, R., (1996), “ Geoteknik özelliklerin belirlenmesinde sismik ve penetrasyon deneylerinin karşılaştırılması”, Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Joyner, W.B, and Fumal T., (1984) , “ Use of measured shear wave velocity for predictind geological site effects on strong ground motion”, Proc. 8th World Conf. On Earthquake Engineering, Vol.2, pp. 777-783.
- Kagami,, H., Okada, S., Shiono, K., Oner, M., Dravinski, M., Ml. A.K., (1986), “ Obseravtion of 1 to 5 second microtremors and their application to earthquake engineering, Part III. A two dimensional study of site effects in S. Fernando valley, Bull. Seism. Soc. Am., Vol.76, pp.1801-1812.

Kanai, K., Tanaka, T., (1961), "On Microtremors", Bull, Earthquake Res. Inst., Vol 43, pp.577-583.

Kanai K. Et. Al. (1966), "Observation of microtremors, XI: Matusshiro Earthquake Swarm areas." Bulletin of Earthquake Research Inst., Vol 4., Part 3, University of Tokyo.

Klohn-Cripper Consultants Ltd. (1994), "Preliminary seismic microzonation assesment for British Coulombia. A report for the province of British Columbia published by the resources Inventory Committee.

Kulhawy, F.H., Mayne P.W., (1990), Manual on estimating soil properties for foundation design. Final Report 1493-6, EL-6800, Electric Power Research Institute, Palo. Alto, CA.

Lajoje, K.R., Helley E.J. (1975), "Differentaiton of sedimentary deposits for the purposes of seismic zonation, studies for seismic zonation of the San Francisco Bay Region, U.S.G.S. Prof. Paper 941-A, pp.39-51.

Lee, S.H.H., (1990), "Regression models of shear wave velocities", Journal of the Chinese Institute of Engineers, Vol.13, No.5, pp. 519-532.

Manual for zonation on sesimic geotechnical hazards, 1993, TC4 of ISSMFE.

Medvedev, S.V.(1962)., Engineering Seismology (in Russian), National Publisher of Literatures on Structure, Moscow.

Meyerhof, G.G., (1957), "Discussion of session 1. In Proc. 4th Int. Conf. On Soil Mechanics and Foundation Engineering , Vol. 3, London.

Midorikawa, S.,(1987), "Prediction of isoseismal map in the Kanto plain due to hypothetical earthquake.(In Japanese with English Abstarct) Journal of Structural Engineering. Vol.33b, pp.43-48.

Nikamura, Y., (1989), " A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface. QR of RTRI, Vol.30, No.1, pp.25-33.

Nigg, J., (1982), " Microzonation and public preparedness: A viable approach. Proc. of the 3rd Internatioanl Earthquake Microzonation Conference, Seattle.

Ohsaki, Y., Iwasaki, R.(1973), "On dynamic shear moduli and Poisson's ratio of soil deposits", Soils and Foundations, 13849, pp. 61-73.

Ohta, Y. Goto, N. (1978), " Emprical shear wave velocity equations in terms of characteristic soil indexes", Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 6., pp.167-187.

Olshansky, R.B., Foster, H., Cook, S., (1991), " Microzonation: A planner's perspective. Proceedings of the 4th Int.Conf. on Seismic Zonation , August 25th-29th, Stanford, Vol3, pp.195-202.

Özaydın, İ.K. (2002), "Yerel Zemin Koşullarının Deprem Hasarına Etkisi", İMO İstanbul şubesi eğitim semineri, İstanbul

Power, M.S., Chang, C.Y. Idriss, I.M.,(1986), " Variation of earthquake ground motion with depth. 3th U.S. National Conference on Earthquake Engineering, Charleston, South Carolina, Vol.1, pp. 369-380.

Robertson, P.K., Campenella, R.G., (1983)., " Interpretation of cone paenetration tests- Part I: sand.", Can. Geotech. Journ., 20, pp.718-733.



- Schmertman, J.H., (1975), "Measurement of in-situ shear strength. In Proc. ASCE Spec. Conf. on In-Situ Meas. Soil Prop., Raleigh, Vol.2, pp. 57-138.
- Schnabel, P.b., Lysmer, J., Seed, H.B., (1972), "SHAKE: a computer program for earthquake response analysis of horizontally layered sites", Report No: EERC 72-12, University of California, Berkeley.
- Seed, H.B., Idriss, I.M., "Ground motion and soil liquefaction during earthquakes", Earthquake Engineering Research Institute.
- Seo, K., Smano, Y., Yamanaka, H., Hao., X., Takeuchi, M., (1990), "Comparison of ground vibration characteristics among several districts mainly with microtremor measurement. Proc. of 8th Japan Earthquake Engineering Symposium, pp. 685-690.
- Sherif, M.A., (1982), "Introductory Statement of 3rd International Earthquake Microzonation Proceedings , June 28-July 1, Seattle, USA.
- Shima, E., (1978), " Seismic microzoning map of Tokyo", Proc. 2nd Int. Conference on Microzonation, Vol.1, pp. 433-443.
- Skempton, A.W., (1986), " Standard Penetration Test Procedures and the effects in sands of overburden pressure, relative density, particle size, aging and overconsolidation. Geotechnique, 36(3), pp. 425-447.
- Sykora, D.W, Stokoe , K.H., II (1983), " Correlations of in-situ measurements in sands of shear wave velocity, soil characteristics and site conditions. Report GR 83-33, Civil Engineering Department, University of Texas at Austin, pp.484.
- Tokimatsu, K., Yoshimi Y.,(1983), " Empirical correlation of soil liquefaction based on SPT N value and fines content", Soils and Foundations, 23(4), pp.56-74.
- Vucetic, M., Dobry, R., (1991), " Effect of soil plasticity on cyclic response", American society of Civil Engineering , Journal of Geotechnical Engineering, Vol.117, 1, pp.89-107.
- 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.

**ÖZGEÇMİŞ**

Doğum Tarihi	03.07.1978	
Doğum Yeri	Trabzon	
Lise	1991-1994	Rize-Pazar Lisesi
Lisans	1995-1999	Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	1999-2002	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Müh. Anabilim Dalı, Geoteknik Programı
Çalıştığı Kurum	1999-Devam ediyor	Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Geoteknik AnabilimDalı Araştırma Görevlisi

