

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

AVCILAR İLÇESİ'NİN COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ  
İLE SİSMİK MİKROBÖLGELEMESİ

119649

139649

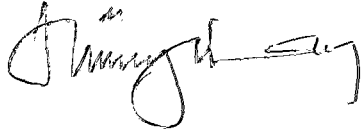
İnşaat Müh. Fazıl BAŞTÜRK

FBE İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Geoteknik Programında  
Hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Prof.Dr. Kutay ÖZAYDIN

Doc. Dr. Başar MÜDÜRİ



Y.Doç.Dr. Mehmet BERİLGİN



İSTANBUL, 2003

YÜKSEK LİSANS TEZİ KURULU  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

# İÇİNDEKİLER

|   | Sayfa |
|---|-------|
| SİMGE LİSTESİ.....  | v     |
| ŞEKİL LİSTESİ.....  | vi    |
| ÇİZELGE LİSTESİ .....   | ix    |
| ÖNSÖZ.....  | x     |
| ÖZET .....  | xi    |
| ABSTRACT.....   | xii   |
| 1. GİRİŞ VE ÇALIŞMANIN AMACI .....  | 1     |
| 1.1 Giriş.....  | 1     |
| 1.2 Çalışmanın Amacı.....   | 2     |
| 2. MİKROBÖLGELEME ÇALIŞMASININ TEMEL PRENSİPLERİ .....  | 5     |
| 2.1 Giriş.....  | 5     |
| 2.2 Zemin Büyütmelerine Göre Mikrobölgeleme Çalışmasının Temel Yaklaşımı .....                                      | 7     |
| 2.3 Zemin Büyütmesine Göre Mikrobölgeleme Yöntemleri .....  | 10    |
| 2.3.1 Birinci Aşama Bölgeleme .....   | 10    |
| 2.3.2 İkinci Aşama Bölgeleme.....   | 18    |
| 2.3.2.1 Geoteknik İncelemeler .....   | 18    |
| 2.3.2.2 Kayma Dalgası Hızı İle Zemin Büyütmelerinin Belirlenmesi.....   | 22    |
| 2.3.2.3 Mikrotremor Ölçümleri İle Zemin Büyütmelerinin Belirlenmesi.....  | 24    |
| 2.3.3 Üçüncü Aşama Bölgeleme.....   | 25    |
| 2.3.3.1 EERA Programının Özellikleri .....  | 26    |
| 2.4 İstanbul İlinde Son Yıllarda Yapılan Mikrobölgeleme Çalışmaları .....   | 28    |
| 2.5 Sonuçlar .....  | 36    |
| 3. COĞRAFİK BİLGİ SİSTEMLERİ (GIS) HAKKINDA GENEL BİLGİ .....   | 37    |
| 3.1 Giriş.....  | 37    |
| 3.2 GIS'in Tanımı .....   | 37    |
| 3.3 GIS Çeşitleri.....  | 39    |
| 4. BİRİNCİ AŞAMA MİKROBÖLGELEME YÖNTEMLERİ KAPSAMINDA<br>AVCILAR İLÇESİ'NİN SİSMİK ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ..... | 43    |
| 4.1 Giriş.....  | 43    |
| 4.2 Avcılar Bölgesinin Jeolojisi .....  | 45    |
| 4.2.1 Genel Jeoloji .....   | 45    |
| 4.2.2 İnceleme Alanı Jeolojisi.....   | 46    |
| 4.2.2.1 Kırklareli Formasyonu .....   | 50    |
| 4.2.2.2 Gürpınar Formasyonu .....   | 51    |
| 4.2.2.3 Çukurçeşme Formasyonu.....  | 52    |

|         |   |     |
|---------|---|-----|
| 4.2.2.4 | Güngören Formasyonu.....  | 53  |
| 4.2.2.5 | Bakırköy Formasyonu.....  | 54  |
| 4.2.2.6 | Alüvyon.....  | 55  |
| 4.3     | İnceleme Alanı ve Civarının Tektonik Yapısı .....   | 55  |
| 4.4     | İnceleme Alanı ve Civarının Sismolojik Özellikleri.....   | 57  |
| 4.5     | 17 Ağustos 1999 Marmara Depremi ve İvme Kayıtları.....  | 58  |
| 4.6     | Sonuçlar .....  | 60  |
| 5.      | İKİNCİ VE ÜÇÜNCÜ AŞAMA MİKROBÖLGELEME KAPSAMINDA YAPILAN ÇALIŞMALAR .....   | 61  |
| 5.1     | Giriş.....  | 61  |
| 5.2     | İkinci Aşama Mikrobölgeleme Çalışmalarında Kullanılan Arazi Geoteknik Deneyleri .....   | 65  |
| 5.2.1   | Standart Penetrasyon Deneyleri (SPT) .....  | 65  |
| 5.2.2   | PS Logging Deneyleri .....  | 65  |
| 5.3     | Yerel Zemin Sınıflarının Bulunması.....   | 66  |
| 5.3.1   | Türkiye Deprem Yönetmeliği'ne (TDY) Göre Zemin Sınıflandırma Sistemleri ..  | 66  |
| 5.3.2   | NEHRP (ABD) Deprem Yönetmeliği .....  | 68  |
| 5.3.3   | NEHRP' e Göre Davranış Spektrumlarının Belirlenmesi .....   | 68  |
| 5.3.4   | NEHRP'de Zemin Sınıflandırma Sistemi .....  | 69  |
| 5.3.5   | NEHRP' de kullanılan Arazi Katsayıları ve Öngörülen Maksimum Deprem için Düzeltmiş Spektral İvme Parametreleri .....  | 71  |
| 5.3.6   | Tasarım Spektral İvme Parametreleri ve Deprem Davranış Spektrumlarının Oluşturulması .....  | 72  |
| 5.4     | Avcılar İlçesi'ndeki Zeminlerin Dinamik Davranış Analizi.....   | 76  |
| 5.4.1   | Zemin Profillerinin Oluşturulması .....   | 77  |
| 5.4.1.1 | Zeminlerin Kayma Dalgası Hızının Belirlenmesi.....  | 77  |
| 5.4.1.2 | Analizde Kullanılan Diğer Dinamik Özelliklerinin Belirlenmesi.....  | 88  |
| 5.4.2   | Deprem Analizi .....  | 89  |
| 5.4.2.1 | Senaryo Deprem, Fay Modelleri ve Azalım İlişkileri.....   | 89  |
| 5.4.2.2 | Deprem Kaydı Seçimi.....  | 90  |
| 5.4.3   | Normalize Edilmiş Spektral İvme Değerleri ve Zemin Hakim Peryotlarının Belirlenmesi .....   | 92  |
| 5.5     | Sonuçlar .....  | 101 |
| 6.      | AVCILAR İLÇESİ'NİN TASARIM DAVRANIŞ SPEKTRUM EĞRİLERİNİN BELİRLENMESİ VE DEĞERLENDİRİLMESİ.....   | 102 |
| 6.1     | Giriş.....  | 102 |
| 6.2     | Yerel Zemin Koşullarının Türkiye Deprem Yönetmeliği'ne (TDY) ve NEHRP'ye Göre Belirlenmesi .....  | 102 |
| 6.3     | Avcılar İlçesi'nin Tasarım Davranış Spektrumlarının Türkiye Deprem Yönetmeliğine ve NEHRP'ye Göre Belirlenmesi .....  | 105 |
| 6.4     | Türkiye Deprem Yönetmeliği'ne ve NEHRP'ye Göre Elde Edilen Spektral Davranış Eğrileri İle Dinamik Davranış Analizi Sonucu Elde Edilen Eğrilerin Karşılaştırılması ve Değerlendirilmesi..... | 107 |
| 6.5     | Sonuçlar .....  | 112 |
| 7.      | AVCILAR İLÇESİ'NİN SİSMİK ZEMİN DAVRANIŞI AÇISINDAN COĞRAFİK BİLGİ SİSTEMLERİ (GIS) İLE MİKROBÖLGELENMESİ .....   | 113 |
| 7.1     | Giriş.....  | 113 |

|     |  |      |
|-----|--|------|
| 7.2 | Eşdeğer Kayma Dalgası Hızına Göre Mikrobölgeleme.....  | 114  |
| 7.3 | En Büyük Yüzey İvmelerine Göre Mikrobölgeleme .....  | 115  |
| 7.4 | Spektral İvmelere Göre Mikrobölgeleme .....  | 116  |
| 7.5 | Normalize Edilmiş Spektral İvme Değerlerine Göre Mikrobölgeleme .....  | 118  |
| 7.6 | Zemin Büyütmelerine Göre Mikrobölgeleme.....   | 122  |
| 7.7 | Sonuçlar .....   | 123  |
| 8.  | 17 AĞUSTOS 1999 KOCAELİ DEPREMİ SONRASINDA AVCILAR'DA<br>MEYDANA GELEN HASARIN MİKROBÖLGELEME HARİTALARI İLE<br>KARŞILAŞTIRILMASI..... | 125  |
| 8.1 | Giriş.....   | 125  |
| 8.2 | Avcılar İlçesi'nde ki Hasar Dağılımının Tesbiti .....  | 125  |
| 8.3 | Yerel Zemin Sınıfları İle Hasarın Karşılaştırılması .....  | 128  |
| 8.4 | Eşdeğer Kayma Dalgası İle Hasarın Karşılaştırılması .....  | 130  |
| 8.5 | En Büyük Yüzey İvmeleri İle Hasarın Karşılaştırılması .....  | 131  |
| 8.6 | Spektral İvmelerle Hasarın Karşılaştırılması .....   | 132  |
| 8.7 | Normalize Edilmiş Spektral İvmeler İle Hasarın Karşılaştırılması .....   | 141  |
| 8.8 | Zemin Büyütmeleri İle Hasarın Karşılaştırılması .....  | 143  |
| 8.9 | Sonuçlar .....   | 144  |
| 9.  | SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....  | 146  |
|     | KAYNAKLAR .....  | 149  |
|     | EKLER.....   | 152  |
|     | Ek 1 Avcılar İlçesi'ne ait jeolojik kesitler .....   | 153  |
|     | Ek 2 Avcılar Bölgesinde analiz çalışmalarında kullanılan sondajlara ait zemin kesitleri .....  | 163  |
|     | Ek 3 PS Loging deney sonuçları.....  | 167  |
|     | ÖZGEÇMİŞ .....   | 17.3 |

## SİMGE LİSTESİ

|              |                               |
|--------------|-------------------------------|
| $D$          | Sönüm oranı                   |
| $G_{max}$    | Maksimum kayma modülü         |
| $\sigma_B$   | Tek eksenli basınç dirençleri |
| $I_p$        | Plastisite indeksi            |
| $n$          | Porozite                      |
| SPT          | Standart penetrasyon deneyi   |
| $n$          | Porozite                      |
| $\gamma_n$   | Tabii birim hacim ağırlık     |
| $\gamma_s$   | Dane birim hacim ağırlık      |
| $(\gamma_k)$ | Kuru birim hacim ağırlık      |
| $q_u$        | Serbest basınç dayanımı       |
| $V_S$        | Kayma dalgası hızı            |
| $w_n$        | Doğal su muhtevası            |
| $w_L$        | Likit limit                   |
| $w_P$        | Plastik limit                 |



## ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

|   |    |
|---|----|
| Şekil 2.1 Deprem dalgalarının yayınının şematik olarak gösterimi .....  | 8  |
| Şekil 2.2 Sismik mikrobölgeleme çalışmasında izlenmesi gereken yol .....  | 9  |
| Şekil 2.3 Kayada ve yerel zemin koşullarında maksimum ivmeler arasındaki yaklaşık<br>bağıntılar (Seed ve Idriss,1983) .....   | 16 |
| Şekil 2.4 Kaya zeminlere göre yumuşak zeminlerdeki ivmelerin değişimi (Idriss,1990).....  | 16 |
| Şekil 2.5 Farklı plastisite indisine sahip zeminler için kayma modülü azalım eğrileri .....   | 17 |
| Şekil 2.6 18 Mayıs 1940 El Centro-California depremi ivme kaydı ve tek serbestlik dereceli<br>sistemlerde yol açtığı ivmeler. ....  | 17 |
| Şekil 2.7 Çeşitli yerel zemin koşullarının frekans içeriğine etkisi (Seed ve diğ.,1976) .....   | 17 |
| Şekil 2.8 Normal ve aşırı konsolide zeminlerde kayma modülü ve sönüm oranının, kayma<br>deformasyonu seviyesine göre değişimi üzerinde plastisite indisinin etkisi<br>(Vucetic ve Dobry, 1991)..... | 20 |
| Şekil 2.9 Kayma modülü parametresinin kayma deformasyonu ile değişimini gösteren bazı<br>çalışmalar .....   | 21 |
| Şekil 2.10 Hesaplanan zemin büyütme ile anakayadaki kayma dalgası hızının yüzeydeki<br>kayma dalgası hızına oranı arasında ilişki.....  | 22 |
| Şekil 2.11 Büyütme (relatif amplifikasyon) ile kayma dalgası hızı arasındaki ilişkiler.....   | 23 |
| Şekil 2.12 Senaryo depremler (JICA, 2002).....  | 30 |
| Şekil 2.13 En büyük yüzey ivmesi dağılımı (JICA, 2002) .....  | 31 |
| Şekil 2.14 Yüzeydeki kayma dalgası hızı dağılımı (JICA, 2002) .....   | 32 |
| Şekil 2.15 Spektral ivme dağılımı, T= 0.2 sn (JICA,2002) .....  | 32 |
| Şekil 2.16 Spektral ivme dağılımı, T=1.0sn (JICA, 2002) .....   | 33 |
| Şekil 2.17 Kandillinin çalışmasında, senaryo depreminde kullanılan ana fay hattı. (B.Ü<br>Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, 2002).....  | 34 |
| Şekil 2.18 Zemine bağlı deterministik şiddet dağılımı (B.Ü Kandilli Rasathanesi ve Deprem<br>Araştırma Enstitüsü, 2002).....  | 35 |
| Şekil 2.19 İstanbul İli'nin deprem haritası (Afet İşler Genel Müdürlüğü, 1996) .....  | 35 |
| Şekil 3.1 GIS'in temele bileşenleri .....   | 38 |
| Şekil 3.2 Nokta veri .....  | 39 |
| Şekil 3.3 Çizgi veri .....  | 40 |
| Şekil 3.4 Alan verisi.....  | 40 |
| Şekil 3.5 Vektör veri yapısının gösterimi .....   | 40 |
| Şekil 3.6 Raster veri yapısının gösterimi .....   | 41 |
| Şekil 3.7 Vektör ve Raster veri yapısının karşılaştırılması.....  | 42 |
| Şekil 4.1 Jeolojik kesitlerin güzergahları.....   | 44 |
| Şekil 4.2 İstanbul ve çevresinin genel jeoloji haritası (Yıldırım., 2002) .....   | 47 |
| Şekil 4.3 İstanbul ve yakın çevresi Tersiyer çökelmelerinin stratigrafik sütun kesiti (Yıldırım.,<br>2002).....   | 48 |
| Şekil 4.4 Jeoloji haritası.....   | 49 |
| Şekil 4.5 KAF Zonu'nun oluşumu.....   | 56 |
| Şekil 4.6 Türkiye diri fay haritası .....   | 57 |
| Şekil 4.7 Tarihsel depremler (M >5.9).(Ambraseys and Finkel, 1991).....   | 57 |
| Şekil 4.8 Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası .....   | 58 |
| Şekil 4.9 Marmara Depremi Episantırı (Deprem Araştırma Dairesi, NEIC, Kandilli ve<br>Harvard verileri).....   | 59 |
| Şekil 4.10 İstanbulda ki Yer hareketi Kayıt Ağlarının Dağılımı .....  | 59 |
| Şekil 5.1 Değerlendirmede kullanılan sondajların Avcılar İlçesi'nde ki dağılımı.....  | 63 |
| Şekil 5.2 Avcılar İlçesi'nde analiz için belirlenen 63 adet noktanın kesitler ile birlikte<br>gösterimi.....  | 64 |

|   |     |
|---|-----|
| Şekil 5.3 NEHRP 'de tasarım spektral ivme parametrelerinin spektrum eğrisi üzerinde gösterimi.....  | 73  |
| Şekil 5.4 JICA A1 sondajında yerinde ölçüm kayma dalgası hızları ile SPT(N) den elde edilen kayma dalgası hızlarının karşılaştırılması.....         | 79  |
| Şekil 5.4 JICA A11 sondajında yerinde ölçüm kayma dalgası hızları ile SPT(N) den elde edilen kayma dalgası hızlarının karşılaştırılması .....       | 80  |
| Şekil 5.4 JICA B2 sondajında yerinde ölçüm kayma dalgası hızları ile SPT(N) den elde edilen kayma dalgası hızlarının karşılaştırılması.(Devam)..... | 82  |
| Şekil 5.5 A11 sondajın da en uygun üç bağıntı ile yapılan SPT(N) – $V_s$ dönüşümü. ....   | 85  |
| Şekil 5.6 Ohda ve Toriuma bağıntısı ile SPT (N) – $V_s$ dönüşümü. ....  | 85  |
| Şekil 5.7 Formasyonlar bazında kayma dalgası hızının derinlik ile değişimi. ....  | 86  |
| Şekil 5.7 Formasyonlar bazında kayma dalgası hızının derinlik ile değişimi.(Devam) .....  | 87  |
| Şekil 5.8 Senaryo deprem fayı (Model B) (JICA, 2002) .....  | 89  |
| Şekil 5.9 Avcılar İlçesi'nde faya olan uzaklıklara göre belirlenen 7 bölge ve analiz noktalarının gösterimi. ....                                   | 91  |
| Şekil 6.1 Türkiye Deprem Yönetmeliği yerel zemin sınıflarına göre Avcılar İlçesi'nde yapılan bölgeleme .....  | 103 |
| Şekil 6.2 A.B.D Yönetmeliği (NEHRP) yerel zemin sınıflarına göre Avcılar İlçesi'nde yapılan bölgeleme .....   | 104 |
| Şekil 6.3 Tasarım davranış spektrumlarının belirlenmesinde kullanılan alanlar.....  | 106 |
| Şekil 6.4 1.Alan Z3-D zemin sınıfı için spektral davranış eğrileri .....  | 108 |
| Şekil 6.5 1.Alan Z4-E zemin sınıfı için spektral davranış eğrileri.....   | 108 |
| Şekil 6.6 2.Alan Z2-C zemin sınıfı için spektral davranış eğrileri .....  | 109 |
| Şekil 6.7 2.Alan Z2-D zemin sınıfı için spektral davranış eğrileri .....  | 109 |
| Şekil 6.8 2.Alan Z3-D zemin sınıfı için spektral davranış eğrileri .....  | 110 |
| Şekil 6.9 3.Alan Z2-C zemin sınıfı için spektral davranış eğrileri .....  | 110 |
| Şekil 6.10 3.Alan Z3-D zemin sınıfı için spektral davranış eğrileri.....  | 111 |
| Şekil 7.1 Eşdeğer kayma dalgası hızlarının bölgedeki değişimi .....   | 114 |
| Şekil 7.2 Yüzeysel ivmelerinin inceleme alanında değişimi.....  | 116 |
| Şekil 7.3 0.2 s peryot değeri için spektral ivmelerin inceleme alanında dağılımı .....  | 117 |
| Şekil 7.4 1.0 s peryot değeri için spektral ivmelerin inceleme alanında dağılımı .....  | 118 |
| Şekil 7.5 Normalize edilmiş spektral ivmelerin inceleme alanında dağılımı .....   | 119 |
| Şekil 7.6 0.2 s peryot değeri için normalize edilmiş spektral ivmelerin dağılımı .....  | 120 |
| Şekil 7.7 1.0 s peryot değeri için normalize edilmiş spektral ivmelerin dağılımı .....  | 121 |
| Şekil 7.8 Dinamik analizlerle hesaplanan zemin büyütmelerinin bölgedeki dağılımı.....   | 122 |
| Şekil 8.1 Avcılar İlçesi'nde ki hasar dağılımı.....   | 126 |
| Şekil 8.2 Sadeleştirilmiş hasar haritası .....  | 127 |
| Şekil 8.3 TDY'ye göre belirlenen yerel zemin sınıfları ile hasarın karşılaştırılması .....  | 128 |
| Şekil 8.4 NEHRP'ye göre belirlenen yerel zemin sınıfları ile hasarın karşılaştırılması.....   | 129 |
| Şekil 8.5 Eşdeğer kayma dalgası hızları ile hasarın karşılaştırılması .....   | 130 |
| Şekil 8.6 En büyük yüzey ivmeleri ile hasarın karşılaştırılması.....  | 131 |
| Şekil 8.7 0.2 s peryot değeri için spektral ivme değerleri ile hasarın karşılaştırılması.....   | 133 |
| Şekil 8.8 0.3 s peryot değeri için spektral ivme değerleri ile hasarın karşılaştırılması.....   | 134 |
| Şekil 8.9 0.4 s peryot değeri için spektral ivme değerleri ile hasarın karşılaştırılması.....   | 135 |
| Şekil 8.10 0.5 s peryot değeri için spektral ivme değerleri ile hasarın karşılaştırılması.....  | 136 |
| Şekil 8.11 0.6 s peryot değeri için spektral ivme değerleri ile hasarın karşılaştırılması.....  | 137 |
| Şekil 8.12 0.7 s peryot değeri için spektral ivme değerleri ile hasarın karşılaştırılması.....  | 138 |
| Şekil 8.13 0.8 s peryot değeri için spektral ivme değerleri ile hasarın karşılaştırılması.....  | 139 |
| Şekil 8.14 1.0 s peryot değeri için spektral ivme değerleri ile hasarın karşılaştırılması.....  | 140 |
| Şekil 8.15 0.2s peryot değeri için normalize edilmiş spektral ivme değerleri ile hasarın karşılaştırılması .....                                    | 141 |

|  |     |
|--|-----|
| Şekil 8.16 1.0s peryot değeri için normalize edilmiş spektral ivme değerleri ile hasarın karşılaştırılması ..... | 142 |
| Şekil 8.17 Zemin büyütmesi ile hasarın karşılaştırılması .....   | 143 |





## ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

|   |     |
|---|-----|
| Çizelge 2.1 Mikrobölgeleme çalışmalarının aşamaları ve her aşamada yapılması gereken çalışmalar. (TC4 –ISSMFE, 1993, “Manual for zonation on seismic geotechnical hazards”) ..... | 7   |
| Çizelge 2.2 Jeolojik birimler ile zemin büyütmesi arasındaki ilişki .....   | 13  |
| Çizelge 2.3 Jeolojik birimler ile sismik şiddet artımı arasındaki ilişki.....   | 14  |
| Çizelge 2.4 Kvarterner sedimentler için Lajoie ve Helley (1975) tarafından önerilen kayma dalgası hızı değerleri .....  | 15  |
| Çizelge 2.5 Zemin büyütmesi sınıflandırması (Finn, 1993) .....  | 15  |
| Çizelge 2.6 Kayma dalgası hızının tespiti için penetrasyon deney verilerinin kullanıldığı bazı eşitlikler.....  | 21  |
| Çizelge 2.7 Zemin büyütmesi faktörleri ile ortalama kayma dalgası hızı arasındaki ampirik korelasyonlar .....   | 23  |
| Çizelge 2.8 Fay Modeli Parametreleri .....  | 31  |
| Çizelge 4.1 Gürpınar formasyonu'nun indeks özellikleri (Yıldırım, 2002) .....   | 52  |
| Çizelge 4.2 Çukurçeşme formasyonu'nun indeks özellikleri (M, Yıldırım, 2002) .....  | 53  |
| Çizelge 4.3 Güngören formasyonu'nun indeks özellikleri (Yıldırım, 2002).....  | 54  |
| Çizelge 5.1 Spektrum karakteristik periyotları .....  | 68  |
| Çizelge 5.2 NEHRP'e Göre Zemin Sınıfları .....  | 70  |
| Çizelge 5.3 Öngörülen maksimum deprem için kısa periyotlarda spektral ivme değerinin ve zemin sınıfının bir fonksiyonu olarak $F_a$ değerleri.....                                | 72  |
| Çizelge 5.4 Öngörülen maksimum deprem için 1 sn'lik periyotta spektral ivme değerinin ve zemin sınıfının bir fonksiyonu olarak $F_v$ değerleri.....                               | 72  |
| Çizelge 5.5 Avcılar İlçesindeki Yerel Zemin Sınıfları .....   | 74  |
| Çizelge 5.6 Kayma dalgasının hesaplanmasında göz önüne alınan bağıntılar. ....  | 78  |
| Çizelge 5.7 Jeolojik formasyonların derinlik ile kayma dalgası hızı değişimi. ....  | 87  |
| Çizelge 5.8 Avcılar'da ki formasyonların plastisite indisi değerleri (M.Yıldırım, 2002). ....   | 89  |
| Çizelge 5.9 Avcılarda ki 7 ayrı bölgenin anakayadaki ivme değerleri .....   | 90  |
| Çizelge 5.10 Avcılar zemini için, EERA programı ile elde edilen değerler. ....  | 93  |
| Çizelge 6.1 Avcılar İlçesi için probabilistik ve deterministik $S_5$ ve $S_1$ değerleri .....   | 107 |
| Çizelge 6.2 NEHRP'ye göre tasarım davranış spektrum parametreleri .....   | 107 |
| Çizelge 8.1 Avcılar İlçesi' nin iki farklı kurumu göre hasar verisi .....   | 126 |

## ÖNSÖZ

Bu çalışmanın gerçekleşmesinde bilgi ve tecrübesinden yararlandığım tez danışmanım Sayın Prof.Dr.Kutay ÖZAYDIN'a teşekkürü bir borç bilirim. Tez çalışması boyunca yardımlarını hiç bir zaman esirgemeyen Sayın Prof.Dr. Mustafa YILDIRIM' a şükranlarımı sunarım.

Ayrıca bu çalışma sırasında yardımlarından yararlandığım Sayın Yrd.Doç.Dr Mehmet BERİLGİN'e, Sayın Yrd.Doç.Dr Türkay GÖKGÖZ'e ve Sayın Dr. Havvanur Kılıç'a teşekkür ederim. İnş.Yük.Müh. Şenol ADATEPE'ye ve İnş.Müh Serdar ÇİFTÇİ'ye gösterdikleri yakın ilgi ve yardımlardan dolayı teşekkürü bir borç bilirim.

Eylül, 2003

İnş. Müh Fazıl BAŞTÜRK



## ÖZET

Bu çalışmanın amacı dinamik davranış analizi yöntemleri ile belirlenen sismik parametrelere göre mikrobölgeleme çalışması yapmak ve yapılan bu çalışmalar neticesinde elde edilen haritaları coğrafik bilgi sistemi methodunu kullanarak hasar dağılımı ile karşılaştırmaktır. Ayrıca, tek boyutlu dinamik davranış analizleri neticesinde belirlenen spektral davranış eğrilerini Türkiye Deprem Yönetmeliği (TDY)'ne ve A.B.D Yönetmeliği (NEHRP)'ne göre belirlenen yerel zemin sınıflarına ait spektral davranış eğrileri ile karşılaştırıp inceleme alanına ait tasarım davranış spektrumu üzerinde değerlendirmeler yapmaktır. Bu kapsamda, yakın bir zamanda 17 Ağustos 1999 Kocaeli depremine maruz kalan Avcılar İlçesi üzerinde bir çalışma yapılmıştır.

Avcılar İlçesi'nde yapılan çalışma kapsamında bölgede yapılan bütün arazi deney verileri ilgili kurumlardan alınarak derlenmiştir. İBB Zemin Deprem Müdürlüğü'nden alınan o bölgede yapılmış sondaj logları ve SPT(N) deney verileri ile JICA'nın "Türkiye Cumhuriyeti İstanbul İli Afet Önleme / Azaltma Temel Planı Çalışması " kapsamında bölgede yapmış olduğu arazi geoteknik deney verileri bu çalışmanın temelini oluşturmaktadır. JICA'dan elde edilen veriler 5 adet sondaj kuyusunda yapılan SPT deney verisi ve yine bu sondaj kuyularında yapılan PSLogging deney sonuçlarıdır. Derinlikleri 106 ile 206 metre arasında değişen bu sondajlar inceleme alanında anakaya derinliğinin hesaplanmasında faydalı olmuştur. Bütün bu deney verileri toplandıktan sonra mikrobölgeleme çalışması yapabilmek için aşağıdaki yol izlenmiştir.

1. Bölge jeolojisini daha iyi tanımlayabilmek ve anakaya derinliğini doğru tesbit edebilmek için 9 adet jeolojik kesit çıkartılmıştır.
2. Bu kesitler üzerinde dinamik analiz için 500 metre ara ile 61 adet nokta belirlenmiştir. Bu noktalar kesit üzerindeki sondajlardan seçilmeye çalışılmıştır. Ayrıca kesitlerin bulunmadığı bölgeden iki adet nokta daha belirlenmiştir.
3. Bu noktalarda idealize zemin profillerini belirleyebilmek için SPT(N) deneyinden literatürdeki uygun bir bağıntı ( $V_s = 85.3 N^{0.31}$ , Ohda ve Toriuma (1972) kullanılarak derinlik boyunca kayma dalgası hızı hesaplanmıştır.
4. SPT(N) verisi olmayan noktaları modelleyebilmek için JICA'nın 5 adet PS Logging deneyleri kullanılarak formasyon bazında kayma dalgası hızı değişim tesbit edilmiştir.
5. Dinamik analizlerde kullanılmak amacı ile senaryo deprem modeli JICA'nın "Türkiye Cumhuriyeti İstanbul İli Afet Önleme / Azaltma Temel Planı Çalışması "'ndan faydalanarak seçilmiştir.
6. 17 Ağustos 1999 Kocaeli depremine ait ivme kayıtlarından, anakaya kaydı olan Maslak (MSK), Yapı Kredi (YKP) ve Balmumcu (İST) kayıtları seçilmiştir.

Bu çalışmaların ardından 63 noktada oluşturulan idealize zemin profilleri kullanılarak, EERA programıyla zeminlerin dinamik davranış analizi yapılmış ve elde edilen sismik zemin parametreleri GIS ortamında sunulmuştur. Daha sonra bu parametreler 17 Ağustos 1999 Kocaeli depremi hasarı ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca, dinamik davranış analizleri neticesinde elde edilen spektral davranış eğrileri TDY'ye ve NEHRP'ye göre eşdeğer kayma dalgası hızı kullanılarak belirlenen yerel zemin sınıflarına ait eğrilerle kıyaslanmıştır ve Avcılar için daha gerçekçi tasarım davranış spektrum eğrisi belirlenmeye çalışılmıştır.

**Anahtar Kelimeler :** Mikrobölgeleme, sismik zemin parametresi, dinamik analiz, davranış spektrumu, pslogging.

## ABSTRACT

The purpose of this study is to conduct microzonation models with respect to seismic parameters which are evaluated by site response analysis and to compare structural damages, due to an earthquake which affected the investigation area, with the microzonation maps. In addition to first purpose, trying to make an argument about the design response spectra of investigation area is the second purpose of this study. In this respect, a case study was conducted in Avcılar province which is exposed to August 17, 1999 Kocaeli Earthquake.

In this study all field test results are obtained from IMM, the Directorate of Soil and Earthquake Research and JICA. The study of JICA which is named "The Study on A Disaster Prevention / Mitigation Basic Plan in İstanbul including Seismic Microzonation" is included deep boring surveys, in-situ penetration test (SPT) and PS Logging tests. For the purpose of this study 5 boring's SPT(N) test and 5 PS Logging test results in the same holes are used. The test results of JICA were essential to define the depth of bedrock in investigation area.

After compiling all datum, the way below is followed to study on microzonation:

1. In order to describe the geology of Avcılar province and to identify the depth of bedrock, nine geological cross sections are compiled.
2. In these geological cross sections, for the purpose of making site response analysis, 61 points are determined in every 500 meters. These 61 points are tried to determine from the boring holes which are closed to geological cross sections. In addition to 61 points, 2 points are determined from the boring holes where there are not geological cross sections.
3. To determine the geotechnically prepared idealized subsurface soil profiles, shear wave velocity along the depth of borings were calculated by using the correlation,  $V_s = 85.3 N^{0.31}$ , suggested for all soils by Ohda ve Toriuma (1972).
4. Shear wave velocity of Geological Formations is defined to study in the points which have not any field test result.
5. Scenario fault model is determined from the study of JICA, "The Study on A Disaster Prevention / Mitigation Basic Plan in İstanbul including Seismic Microzonation", in order to make site response analysis.
6. The earthquake motion of August 17, 1999 Kocaeli Earthquake at strong sites are chosen from the stations in bedrock. Maslak (MSK), Yapı Kredi (YKP) and Balmumcu (IST) stations are chosen for the purpose of site response analysis.

After these 6 steps, one dimensional site response analysis was conducted in 63 points to present the dynamics behavior, soils under earthquake motion within the province of Avcılar. EERA, one dimensional site response analysis method was used for analysing the geotechnically prepared idealized subsurface soil profiles. The seismic parameters which are evaluated by site response analysis are demonstrated in the frame of microzonation concept and compared with the damage map of August 17, 1999 Kocaeli Earthquake. Additionally, the spectral accelerations determined from one dimensional site response analysis in the investigation area are compared with the spectral accelerations determined from TDY and NEHRP and tried to calculate the most realistic design response spectra.

**Keywords:** Microzonation, seismic soil parameters, site response analysis, response spectra, pslogging

## 1. GİRİŞ VE ÇALIŞMANIN AMACI

### 1.1 Giriş

Son 5 yıl içerisinde Türkiye’de meydana gelen iki büyük deprem; Kocaeli ve Düzce depremlerinden sonra Türkiye’de deprem konusunda bir duyarlılık oluşmaya başladı. Ülkemizin geçmişte de bir çok büyük depremlere maruz kalmasına rağmen, bu iki büyük depremin Türkiye’nin bir çok açıdan kalbi olarak nitelendirilebilecek Marmara Bölgesi’ni ve İstanbul’u etkilemiş olması merkezi ve yerel yöneticiler ile medyanın bu konuya daha hassas yaklaşmasına neden oldu. Bu hassasiyette özellikle İstanbul İli üzerinde bazı çalışmalar yapılmasına ve yakın bir gelecekte İstanbul’u etkilemesi beklenen deprem senaryolarından yola çıkılarak İstanbul için sismik risk değerlendirmeleri yapılmasına neden olmuştur.

Sismik riskin değerlendirilmesi esnasında iki önemli nokta üzerinde durulmaktadır. Bunlar, bir deprem sırasında yapılara gelecek deprem kuvvetlerinin etkilendiği iki ana faktör olan deprem özellikleri ve yerel zemin koşullarıdır. Deprem özelliklerinin önemi; deprem dalgaları zemin içinden geçerken zemin tabakalarının özelliklerini değiştirebilmekte ve bu durumda zemin yapı etkileşiminde farklı sonuçlara neden olabilmektedir. Yerel zemin koşullarının önemi ise yerel zeminlerin dinamik özelliklerinin zeminlerin deprem hareketi altındaki davranışını belirlemesi ve dolayısıyla hasar üzerinde önemli bir rol oynamasıdır. Bu yüzden özellikle sismik tehlikenin yüksek olduğu bölgelerde, deprem tasarım parametreleri belirlenmeye çalışılırken, hem deprem özelliklerinin hem de yerel zeminlerin dinamik özelliklerinin göz önüne alınması ve bölgedeki değişiminin değerlendirilmesi bir depremde oluşabilecek hasarın en aza indirgenmesi açısından oldukça önem arz etmektedir.

Yerel zeminlerin dinamik özelliklerinin değişimi göz önüne alınarak yapılar için gerekli deprem tasarım parametrelerinin belirlenmesi için en uygun yöntemlerden biri mikrobölgeleme çalışmasıdır. Mikrobölgelemeyi kısaca tanımlamak gerekirse; özellikle sismik açıdan tehlikeli bölgeler için yapı hasarını azaltmak amacı ile sismik zemin parametrelerine göre bölgenin anlamlı ölçeklerde alt bölgelere ayrılıp, yapılar için gerekli deprem tasarım parametrelerin belirlenmesidir. Geoteknik mühendisliğinde zemin büyütmelerine, sıvılaşmaya ve şev stabilitesine göre üç tür mikrobölgeleme çalışması mevcuttur. Bu mikrobölgeleme çalışmalarında genelden detaya doğru giden üç aşamalı bir yol uygulanmaktadır. Bu aşamaları kısaca tarif etmek gerekirse; birinci aşamada inceleme alanının sismolojik, tektonik ve jeolojik yapısı belirlenmeye çalışılır. Bu amaçla o bölgeye ait tektonik ve jeolojik haritalar derlenmeye çalışılır, ayrıca o bölgedeki tarihi depremler üzerinde

bir çalışma yürütülür ve mümkünse bölgede daha önce meydana gelen depremleri yaşayan insanlar ile mülakat yapılır. İkinci aşamada ise; bölgede yapılmış bütün arazi ve laboratuvar deney verileri toplanır, bu verilere ilave olarak detaylı geoteknik deneyler yapılır ve mikrotremor ölçümleri alınır. Üçüncü derece mikrobölgelemede ise önceki yöntemler ile mühendislik özellikleri belirlenen zeminlerin deprem yükleri altındaki dinamik davranışı 1, 2 ve 3 boyutlu analizlerle belirlenmeye çalışılır. Bu analizler sonucunda elde edilen sismik zemin parametreleri ise bölgede daha önce meydana gelmiş depremlerin hasar verileri ile karşılaştırılmaya çalışılır. Bu çalışma mikrobölgeleme çalışmasının doğruluğu açısından gereklidir. Bundan dolayıdırki, bir mikrobölgeleme çalışması yürütülürken, inceleme alanına ait hasar verilerinin elde edilip, mümkün olduğu kadar detaylı olarak derlenmesi gerekmektedir.

Yerel zemin koşullarının ve hasarın bölgedeki değişiminin mikrobölgeleme amaçları için değerlendirilmesinde ve sunumunda klasik haritalama yöntemleri de kullanılmakla beraber, GIS (Coğrafik Bilgi Sistemleri) kullanılarak yapılan bölgeleme çalışmaları son yıllarda hızla artan bir teknik olarak karşımıza çıkmaktadır. Coğrafik Bilgi Sistemleri (GIS), coğrafik bazlı verilerin veri tabanı operasyonlarını yöneten, istenilen parametrelere göre oluşturulan modellerin görsel olarak sunumunu sağlayan sayısal bilgi sistemleri olup, içerdikleri matematiksel, istatistiksel ve coğrafik 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 tez kapsamında yapılan çalışmalarda sismik zemin parametreleri ile hasarın karşılaştırılmalı olarak sunumunda GIS kullanılmıştır.

## 1.2 Çalışmanın Amacı

Bu çalışmanın amacı, Avcılar İlçesi'nde bu bölgeyi etkileyebilecek deprem özellikleri göz önüne alınarak dinamik davranış analizi yöntemleri ile hesaplanan sismik zemin parametrelerinin inceleme bölgesindeki değişiminin GIS ortamında sunulması ve bu sismik zemin parametreleri ile 17 Ağustos 1999 Kocaeli Depremi sonucunda bölgede meydana gelen hasar ile karşılaştırılmasıdır. Ayrıca, Avcılar Bölgesi'nin yerel zemin koşullarının değerlendirilmesi sonucunda elde edilmiş yerel zemin sınıfları kullanılarak Türkiye Deprem Yönetmeliği'ne göre ve A.B.D Yönetmeliği (NEHRP)' ne göre tasarım davranış spektrumlarını belirleyip, bu tasarım davranış spektrumlarını dinamik davranış analizleri neticesinde elde edilen spektral davranış eğrileri ile karşılaştırıp Avcılar İlçesi için daha

gerçekci tasarım davranış spektrum eğrilerinin belirlenmesidir.

Bu amaçla bölgede yapılan bütün arazi deney verileri ilgili kurumlardan alınarak derlenmiştir. İBB Zemin Deprem Müdürlüğü'nden alınan o bölgede yapılmış sondaj logları ve SPT(N) deney verileri ile JICA'nın " Türkiye Cumhuriyeti İstanbul İli Afet Önleme / Azaltma Temel Planı Çalışması " kapsamında bölgede yapmış olduğu arazi geoteknik deney verileri bu çalışmanın temelini oluşturmaktadır. JICA'nın çalışmasından elde edilen veriler 5 adet sondaj kuyusunda yapılan SPT deney verisi ve yine bu sondaj kuyularında yapılan PSLogging deney sonuçlarıdır. JICA'nın sondajlarının diğer sondajlardan en büyük farkı derin sondajlar olmasıdır. Derinlikleri 106 ile 206 metre arasında değişen bu 5 adet sondaj Avcılar İlçesi'nde anakaya derinliğinin hesaplanmasında çok faydalı olmuştur.

Bütün bu verilerin derlenmesinden sonra, ilk olarak bölge jeolojisini daha iyi tanımlayabilmek ve anakaya derinliğini doğru tesbit edebilmek amacı ile 9 adet jeolojik kesit çıkartılmıştır. Bu kesitlerden, anakaya derinliğini tesbit etmenin yanında, yeterli deney verilerinin olmadığı bölgeleri modellemek amacı ile de faydalanılmıştır. Bölge jeolojisi üzerinde yapılan bu çalışmanın ardından, elde edilen kesitlerin üzerinde 500 metre ara ile 61 adet nokta belirlenmiştir. Bundan sonra yapılan bütün çalışmalar kesitler üzerinde belirlenen bu 61 adet nokta ve kesitlerin bulunmadığı Avcılar'ın kuzeyinde belirlenen sondaj verisinin olduğu iki nokta üzerinde yürütülmüştür. Bu noktalar belirlendikten sonra bölgenin yerel zemin sınıflarına göre mikrobölgelemesini yapabilmek amacı ile SPT(N)'den kayma dalgası hızına geçişte kullanılacak en uygun bağıntı (Ohda ve Toriuma, 1972) ile SPT deney verileri olan noktalarda kayma dalgası hızı hesaplanmış, deney verileri olmayan bölgeler için ise JICA'nın 5 adet PS Logging deney verileri kullanarak formasyon ile kayma dalgası hızı değişimi tesbit edilerek kayma dalgası hızları belirlenmiş ve tabaka kalınlıklarına göre ağırlıklı ortalamaları alınarak eşdeğer kayma dalgası hızları hesaplanmıştır. Eşdeğer kayma dalgası hızları kullanılarak bölgenin Türkiye Deprem Yönetmeliği ve A.B.D Yönetmeliği'ne göre yerel zemin sınıfları belirlenmiştir. Yerel zemin sınıflarının belirlenmesinin ana amacı Avcılar İlçesi'nde ki yerel zemin sınıflarının spektral davranış eğrilerinin iki farklı yönetmeliğe göre belirlenip üçüncü aşama bölgeleme çalışmaları kapsamında yapılacak dinamik davranış analizleri neticesinde elde edilen spektral davranış eğrileri ile karşılaştırılma yapılabilmesi ve bu karşılaştırma neticesinde Avcılar İlçesi için tasarım davranış spektrum eğrilerinin belirlenmesi ve değerlendirilmesidir. Yerel zemin sınıflarının belirlenmesinin ardından belirlenen bu 63 nokta üzerinde EERA programı ile dinamik davranış analizi yapılmıştır. Dinamik davranış analizleri yapılırken Avcılar İlçesini etkileyen senaryo deprem modelinin

ortaya konulması gerekmektedir. Bu aşamada JICA'nın "İstanbul İli Sismik Mikrobölgeleme Dahil Afet Önleme / Azaltma Temel Planı Çalışması"adlı çalışmasından faydalanılmış ve JICA'nın inceleme alanı için göz önüne aldığı 4 farklı fay modelinden biri senaryo deprem olarak seçilmiştir. Senaryo depremin magnitüdü 7.4, kırılması beklenen fay ise yanal atımlı ve 108 km uzunluğundadır. Ayrıca, dinamik analizlerde kullanılmak üzere 17 Ağustos ve 12 Kasım depremlerine ait ivme kayıtlarından, anakaya üzerinde olan üç tanesi olan Maslak (MSK), Yapı Kredi (YKP) ve Balmumcu (İST) kayıtları seçilmiştir.

Yapılan bu dinamik davranış analizleri neticesinde elde edilen sismik zemin parametreleri GIS ortamında sunulmuştur. Sismik zemin parametrelerin belirlenmesinin ardından Avcılar İlçesi'nde 17 Ağustos 1999 Kocaeli depreminden sonra meydana gelen hasara ait veriler toplanmış ve toplanan bu veriler GIS ortamında sismik zemin parametreleri ile karşılaştırılıp mikrobölgelemenin doğruluğu araştırılmaya çalışılmıştır.





## 2. MİKROBÖLGELEME ÇALIŞMASININ TEMEL PRENSİPLERİ

### 2.1 Giriş

Bir deprem sırasında yapılara gelecek olan deprem kuvvetlerinin temelde iki ana faktörden etkilendiği söylenebilir. Bu faktörlerden birincisi deprem özellikleri, ikincisi de yerel zemin koşullarıdır. Deprem sırasında meydana gelen deprem dalgaları zemin tabakaları içerisinde geçerken, yerel zemin koşullarına bağlı olarak özellikleri değişebilmekte ve yüzeyde yer alan yapılara gelen deprem kuvvetleri artabilmektedir. Aynı şekilde zemin tabakalarının özellikleri de içerisinde geçen deprem dalgalarının özelliklerine bağlı olarak değişebilmektedir. Dolayısıyla deprem özellikleri ve yerel zemin koşullarının göz önüne alınması, deprem sırasında yapı davranışının doğru tahmin edilebilmesi ve depremde oluşabilecek hasarın en aza indirgenmesi açısından oldukça önem arz etmektedir. Deprem özelliklerinin tahmin edilmesi üzerine bu tez kapsamında ayrıntılı bir çalışma yapılmamıştır ve ilgili bölümde de belirtildiği gibi JICA'nın " İstanbul İli Sismik Mikrobölgeleme Dahil Afet Önleme ve Azaltma Temel Planı Çalışması " kapsamında değerlendirmeye aldığı deprem özellikleri bu tez kapsamındaki çalışmalarda kullanılmıştır. Yerel zemin koşullarının etkisinin bölgedeki değişiminin göz önüne alınması ise bu tez kapsamında ayrıntılı olarak incelenmiş ve mikrobölgeleme çalışmaları ile ortaya konmuştur.

Mikrobölgelemeyi kısaca tanımlamak gerekirse; özellikle sismik açıdan tehlikeli bir bölgede, deprem özellikleri de göz önüne alınarak, sismik zemin parametrelerine göre bölgenin anlamlı ölçeklerde alt bölgelere ayrılarak yapılar için gerekli deprem tasarım parametrelerinin belirlenmesidir. Mikrobölgelemeyi kısa ve öz olarak ifade eden bu tanım yanı sıra, çeşitli araştırmacılar tarafından yapılmış çok sayıda tanımda mevcuttur. Bunlardan bir kaçını da mikrobölgeleme çalışmasını daha anlaşılır kılabilmek için şu şekilde özetlemek mümkündür: Mikrobölgeleme, dinamik yükler altında zeminin gösterdiği davranışa veya oluşan göçmelere göre bir coğrafi bölgenin daha küçük bölgelere ayrılmasıdır (Hays, 1980). Mikrobölgeleme, depremden sonra oluşabilecek hasarın en aza indirgenebilmesi için sismik riski fazla olan bölgelerin daha küçük bölgelere ayrılmasıdır (Nigg, 1982). Sherif (1982) tarafından söylenen ve mikrobölgeleme ile ilgili olarak yapılan ilk ve en kapsamlı açıklamalardan biri olan tanım ise şu şekildedir; " Mikrobölgeleme deprem hasarlarını azaltmak için düzenli arazi kullanımını amaçlayan bir işlemdir. Arazilerin bir plan içerisinde düzenli olarak kullanımını gerçekleştirmek için, mikrobölgeleme deprem etkisi karşısında jeolojik, sismolojik ve geoteknik faktörleri birleştirerek ekonomik, sosyal ve politik açıdan uyumlu ve kullanılabilir

bölgelerin oluşturulması ile ilgilenir ve böylelikle depremlere karşı hasarın en az olabileceği alanlarda yapı tasarım ve inşasına ışık tutar. Mikrobölgeleme sadece yeni binaların inşası için arazinin planlı kullanımını amacını gütmeyi aynı zamanda, mevcut binalarda da hasara karşı korunma tedbirlerinin alınması için gerekli çalışmaları yapmayı amaçlar. Bundan dolayı mikrobölgeleme çalışması bir bölgedeki mevcut binalardaki hasar potansiyelini değerlendirebilmek için yeterli bilgiler ile desteklenmiş olmalıdır". Geoteknik mühendisliğinde üç farklı duruma göre mikrobölgeleme çalışması yapılmaktadır. Bunlar; zemin büyütmesi, sıvılaşma ve şev stabilitesidir. Bu üç farklı duruma göre mikrobölgeleme çalışmaları yapılırken, genelden detaya doğru giden ve zemin davranışının modellenmesini de içeren üç aşamalı bir yol izlenmektedir. İlk aşamada genel anlamda bölgenin jeolojik, jeofizik, tektonik, sismolojik ve geoteknik özelliklerini gösteren mevcut haritaları ve bilgiler toplanır. İkinci aşamada ise bölgede geoteknik incelemeler ve mikrotremor ölçümleri yapılarak yerel zemin koşulları hakkında detaylı bilgi edinilmeye çalışılır. Son aşamada ise, birinci ve ikinci aşamada yapılan çalışmalar neticesinde, mühendislik özellikleri ayrıntılı bir şekilde belirlenen zemin tabakalarının deprem hareketi altındaki davranışı 1, 2 ve 3 boyutlu analizlerle modellenmeye çalışılır. Çizelge 2.1 sırasıyla zemin büyütmesi, şev stabilitesi ve sıvılaşmaya göre yapılan mikrobölgeleme çalışmalarının aşamaları ve her aşamada yapılması gereken çalışmalar gösterilmektedir.

Bu tez kapsamında yapılan çalışmalar zemin büyütmelemlerine göre bölgelemeyi içerdiği için, bu bölümde zemin büyütmelemlerine göre mikrobölgeleme çalışmasının temel prensiplerine değinilmiştir, diğer iki geoteknik olay için yapılan bölgeleme çalışmalarından bahsedilmemiştir. Bu amaçlada ilk olarak zemin büyütmelemlerine göre mikrobölgeleme çalışmasının temel yaklaşımları daha sonrada üç aşamadan oluşan bölgeleme yöntemleri sırasıyla anlatılmıştır. Son olarak da, özellikle yakın zamanda inceleme alanını sınırları içerisine alan İstanbul İli'nde yapılan bölgeleme çalışmalarına değinilmiştir. Bu kapsamda öncelikle JICA'nın "İstanbul İli Sismik Mikrobölgeleme Dahil Afet Önleme ve Azaltma Temel Planı Çalışması" adı altında yaptığı çalışmalardan detaylı olarak bahsedilmiştir.

Mikrobölgeleme çalışmaları neticesinde elde edilen sonuçların görsel olarak sunumu, klasik haritalama teknikleri kullanılarak el ile yapılabileceği gibi son yıllarda geniş bir uygulama alanı bulan GIS (Coğrafi Bilgi Sistemleri) ile de yapılmaktadır. Bu tez kapsamındaki çalışmada arazi penetrasyon deneyleri ve yerinde ölçüm sismik deneyler içeren ikinci aşama yöntemler ile zemin tabakalarının dinamik davranış analizini içeren üçüncü aşama mikrobölgeleme yöntemleri kullanılmış ve bu yöntemler neticesinde elde edilen parametreler

coğrafi bilgi sisteminde değerlendirilerek mikrobölgeleme yapılmıştır.

Çizelge 2.1 Mikrobölgeleme çalışmalarının aşamaları ve her aşamada yapılması gereken çalışmalar. (TC4 –ISSMFE, 1993, “Manual for zonation on seismic geotechnical hazards”)

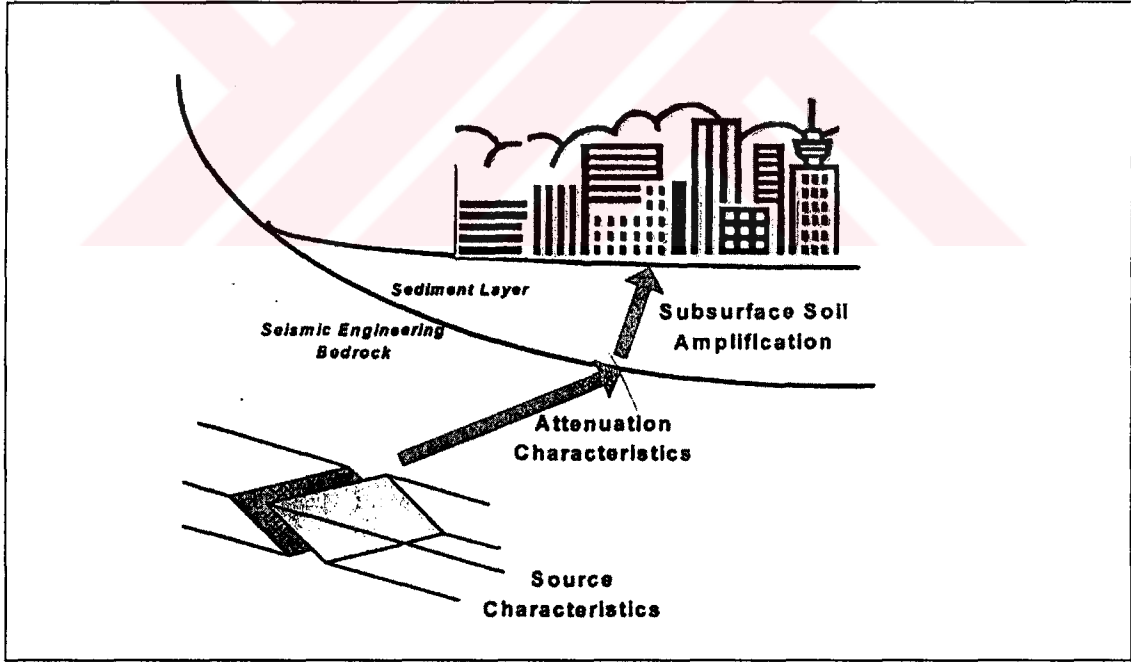
|                 | 1.Aşama Bölgeleme (Genel Bölgeleme)  | 2.Aşama Bölgeleme (Ayrıntılı Bölgeleme)  | 3.Aşama Bölgeleme (Daha Ayrıntılı Bölgeleme)  |
|-----------------|--|--|---|
| Zemin Büyütmesi | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tarihi depremler</li> <li>• Bölgenin jeolojik ve tektonik haritaları</li> <li>• Yerel halka yapılan görüşmeler</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mikrotremor ölçümleri</li> <li>• Geoteknik incelemeler</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Detaylı geoteknik incelemeler</li> <li>• Zemin davranış analizi</li> <li>• Zemin tabakalarının 1 ve 2 boyutlu analizi</li> </ul> |
| Şev Stabilitesi | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tarihi depremler</li> <li>• Bölgenin jeolojik ve tektonik haritaları</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Hava fotoğrafları ve uzaktan algılama</li> <li>• Arazi çalışmaları</li> <li>• Bitki örtüsü ve yağış bilgisi</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Detaylı geoteknik incelemeler</li> <li>• Şev stabilitesi analizleri</li> </ul>   |
| Sıvılaşma       | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tarihi depremler</li> <li>• Bölgenin jeolojik ve tektonik haritaları</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Hava fotoğrafları ve uzaktan algılama</li> <li>• Arazi çalışmaları</li> <li>• Yerel halka yapılan görüşmeler</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Detaylı geoteknik incelemeler</li> <li>• Sıvılaşma analizleri</li> </ul>   |
| Harita Ölçeği   | 1/1000000-1/50000  | 1/100000-1/10000   | 1/25000-1/5000  |

## 2.2 Zemin Büyütmelerine Göre Mikrobölgeleme Çalışmasının Temel Yaklaşımı

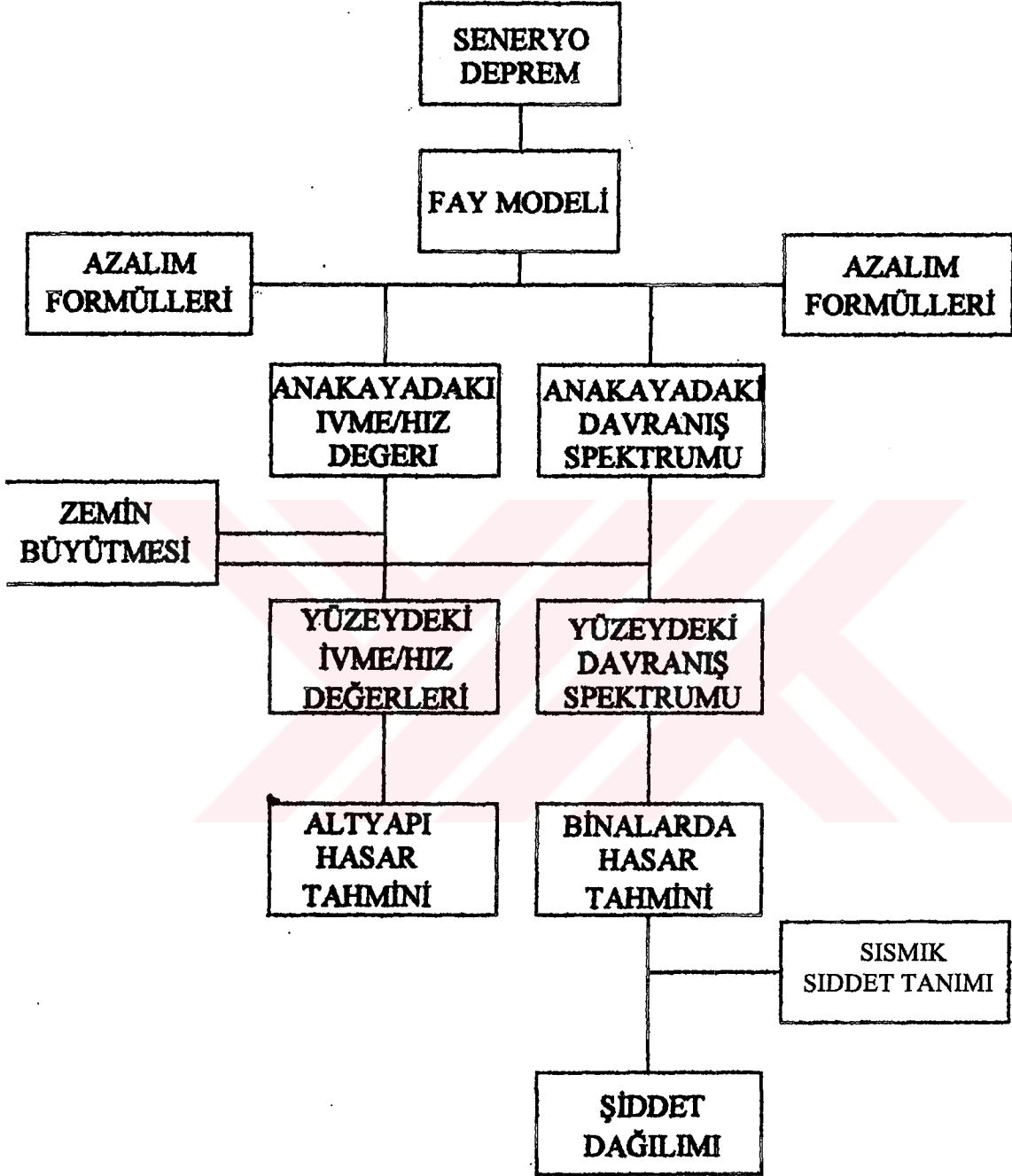
Yerel zemin koşullarının kuvvetli deprem yer hareketlerini önemli ölçüde etkilediği, son zamanlarda meydana gelmiş yıkıcı depremlerde gözlenen yapısal hasar ve aletsel ölçümlerle açıkça ortaya konmuştur. Depremler sırasında oluşan yer hareketleri yapıları etkileyen sismik kuvvetleri doğrudan etkilediği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

Herhangi bir bölgede depremler sırasında oluşan yer hareketleri kaynak, izlenen yol ve yerel zemin koşulları olmak üzere üç ana faktörden etkilenmektedir. Bu nedenle oluşacak yer hareketlerinin değerlendirmesi için bölgesel sismisite (kaynak özellikleri), yer hareketlerinin

sönümlenmesi (azalım ilişkileri-attenuation) ve yerel zemin koşulları (zemin tabakalarının büyütme etkisi) gibi faktörlerin dikkate alınması gerekmektedir. Şekil 2.1’de bu üç temel faktörün etkisi şematik olarak gösterilmiştir. Şekil 2.2’de ise zemin büyütmelerine göre mikrobölgeleme çalışması yapılırken izlenebilecek yöntemi özetleyen bir akış diyagramı gösterilmiştir. Zemin büyütmelerine göre mikrobölgeleme çalışması yapılırken dikkat edilmesi gereken en önemli nokta; bu üç faktörün gerçeğe en yakın şekilde tespit edilmesidir. Bu tez kapsamında yapılan mikrobölgeleme çalışması senaryo deprem üzerine yapılan bir çalışma olmasından dolayı, depremin kaynak özelliklerinin tespiti diğer özelliklerinin yanında daha fazla önem kazanmaktadır. Fakat bu tez kapsamında yapılan çalışmada bu konuda detaylı bir çalışma yapılmamış olup, yerel zemin koşullarının etkisi detaylı olarak incelenmiştir ve ilgili bölümde de belirtildiği gibi kaynak özellikleri olarak JICA’nın fay modeli değerlendirmeye alınmıştır. Yerel zemin koşullarının büyütme etkisi göz önüne alınırken ise anakaya üzerindeki zemin istifinin tamamı değerlendirmeye alınarak bir çalışma yapılmıştır. Bu üç faktörün çalışmalarda nasıl ve ne şekilde değerlendirmeye alındığı ileriki bölümlerde daha detaylı olarak anlatılmıştır.



Şekil 2.1 Deprem dalgalarının yayılımının şematik olarak gösterimi



Şekil 2.2 Sismik mikrobölgeleme çalışmasında izlenmesi gereken yol

### 2.3 Zemin Büyütmesine Göre Mikrobölgeleme Yöntemleri

Zemin büyütmesi; deprem dalgalarının anakaya üzerindeki zemin istifinden geçerken genliklerinin değişmesi ve bunun neticesinde de zemin yüzeyinde yer alan yapılara gelen deprem kuvvetlerinin artması olayıdır. Bu tez kapsamında yapılan zemin büyütme çalışmalarına göre mikrobölgeleme çalışmasında, 1993 yılında ISSMFE üyeleri tarafından başlıca üç temel geoteknik olay olan zemin büyütmesi, şev stabilitesi ve sıvılaşmaya göre mikrobölgeleme prensiplerinin anlatıldığı “Manual for Zonation on Seismic Geotechnical Hazards, December 1993 ” adlı el kitabı referans alınmıştır.

#### 2.3.1 Birinci Aşama Bölgeleme

Birinci aşama mikrobölgeleme çalışmasının temel unsuru bölgenin sismik özelliklerinin tespit edilmesidir. Bu doğrultuda yapılan çalışmalarda sırasıyla bölgenin sismolojik, tektonik ve jeolojik verileri toplanır. Sismolojik özellikleri tespit etmek amacıyla toplanan veriler, tarihi depremlerden ve inceleme alanı ve civarında mevcut olan yer hareketi kayıt ağlarından elde edilen deprem kayıtları verileridir. Tektonik ve jeolojik veriler ise bölgeye ait fay alanlarını gösteren haritalardan ve bölgenin formasyonunu gösteren jeoloji haritalarından toplanır. Bölgeye ait sismolojik ve tektonik veriler toplandıktan sonra Şekil 2.2 deki akış diyagramında da gözüktüğü gibi, mikrobölgeleme çalışmasına başlarken tahmin edilmesi gereken ilk veri olan senaryo deprem tahmini yapılmaya çalışılır. Bu tahmin neticesinde en büyük ivme, hakim periyot ve etkime süresi gibi deprem özellikleri, beklenebilecek en büyük deprem manyetüdü, inceleme alanının aktif fay hatlarına uzaklığı ve faylanma mekanizmasını dikkate alan ampirik bağıntı ve grafiklerden yararlanılarak seçilebilmektedir. Bu tahminler yapılırken unutulmaması gereken en önemli faktör, bölgede gelecekte meydana gelecek bir depremin büyüklüğü, geçmişte aynı bölgede meydana gelen depremlerin büyüklüğüne eşit veya daha fazla olabilir.

Mikrobölgeleme çalışmalarında, tasarım için sismik tehlikeyi belirleme açısından dikkate alınması gereken en önemli unsur yerel zemin koşullarıdır. Bu bağlamda yerel zemin koşullarını ortaya koyan geoteknik verilerin derlenmesine birinci aşama bölgeleme kapsamında devam edilir. Bu amaçla bölgeye ait jeoloji haritaları ,genel arazi incelemelerini içeren raporlar ve sondaj logları elde edilir. Bunların yanı sıra bölge topoğrafyasını gösteren haritalarda toplanır. Bölgenin topoğrafik özellikleri de göz önüne alınması gereken önemli özelliklerdir. Kalın ve zayıf zemin formasyonlarının ve arazi topoğrafik konumunun deprem yer hareketini gerek zaman gerekse frekans alanında etkiledikleri bir çok araştırmacı tarafından gösterilmiştir. Birinci aşama mikrobölgeleme çalışmaları kapsamında elde edilen

jeolojik veriler yardımıyla, literatürde bulunan ve yüzeye yakın jeolojik birimler ile sarsıntı arasında korelasyonlar kurmaya yönelik çalışmalar kullanılarak zemin büyütmeleri hakkında değerlendirmeler yapılabilir. Bu amaçla Çizelge 2.2' de bazı araştırmacılar tarafından farklı jeolojik birimlerde ve zemin çökellerinde meydana gelmesi beklenebilecek zemin büyütmesi (relatif amplifikasyon) değerleri için önerilen değerler verilmektedir. Bu tabloda zemin büyütmesi faktörü 1.0 olarak kabul edilen jeolojik birimde meydana gelecek yer hareketi referans yer hareketi olarak kabul edilmektedir. Çizelge 2.3'de ise Ortadoğu, Kaliforniya, Japonya ve Şili'de meydana gelmiş depremlerde yapılan gözlemlere göre, yüzeye yakın farklı jeolojik birimler ile sismik şiddet artımı arasındaki ilişki hakkında değişik araştırmacıların önerileri verilmektedir. Elde edilen jeolojik verilerin değerlendirmesinde bir başka yaklaşımda San Fransisco Bay bölgesindeki farklı kuvaterner sedimentler için Lajoie ve Helly (1975) tarafından kayma dalgası hızı için önerilen ve Çizelge 2.4'de gösterilen değerlerdir. Birinci derece mikrobölgeleme çalışmasında Finn (1993)' e göre Çizelge 2.5' de verilen ve zeminlerin büyütme özelliklerine göre sınıflandırmasını içeren çalışmanın kullanılması da toplanan mevcut bilgilerin ile zemin büyütmesi üzerindeki etkisinin incelenmesinde faydalı olabilir.

Literatürde mevcut olan bu çalışmalara ek olarak Şekil 2.3'de Seed ve Idriss (1983) tarafından geliştirilen ve yerel zemin koşullarının zemin büyütmeleri üzerindeki etkisinin gösterildiği eğrilerde mevcuttur. Bu eğrilerin incelenmesi neticesinde kaya zeminde ölçülen ivme değeri ile zemin yüzünde ölçülen değerlerin, ivme değerinin 0.1g'den küçük değerleri için birbirine çok yakın olduğu, dolayısıyla da düşük seviyedeki ivme değerlerinde taban kayası üzerindeki zeminde fazla bir büyütme etkisinin ortaya çıkmadığı söylenebilir. Bununla birlikte, 0.3g seviyesinden büyük ivme değerlerinde gözlenen deamplifikasyon da bu eğrilerin yorumlanmasında dikkat edilmesi gereken önemli bir husustur. Zemin büyütmeleri üzerindeki değerlendirmelerde bulunurken, Idriss (1990) tarafından geliştirilen Şekil 2.4'de verilen ve 1985 Mexico City ile 1989 Loma Prieta depremlerinde gözlenen davranışların gösterildiği eğrilerden de yararlanılabilir. Şekil 2.4'deki değişim incelendiğinde kaydaki en büyük ivme değerinin 0.4g'ye kadar olduğu değerlerde yumuşak zeminlerde gözlenen ivme değerleri artmaktadır. Kayadaki ivme değerinin 0.4 g'den büyük olduğu durumlarda ise yumuşak zeminlerde gözlenen ivme değerlerinde azalma olmaktadır. Bu durum Şekil 2.3 de verilen eğrilerle çelişki içermektedir. Daha önce yapılan çalışmalarda yumuşak zeminlerde bu denli yüksek büyütme değerlerinin meydana gelebileceği tahmin edilmemişti. Şekil 2.3 ile Şekil 2.4 arasındaki çelişkili durumun açıklanmasında killerin dinamik özelliklerin göz önüne alınması

gerekmektedir. Özellikle yüksek plastisiteli killerde, çok büyük şekil değiştirme seviyelerine kadar kayma modüllerinde herhangi bir azalma meydana gelmemekte (Şekil 2.5), histeretik sönümlenme düşük kalmakta elastik davranış aralığı büyükmektedir. Mexico City kili yüksek plastisiteli bir kil olduğundan deprem esnasında elastik davranış göstermiş olup, histeretik sönümlenme çok sınırlı kalmış ve bunun sonucunda büyük amplifikasyon faktörleri oluşmuştur.

Birinci aşama mikrobölgeleme çalışmaları neticesinde inceleme alanı ile ilgili derlenen bilgiler yardımı ile, yerel zemin koşullarının, meydana gelecek yer hareketinin frekans özelliklerine ve dolayısıyla da davranış spektrumuna olan etkisi, literatürde yapılmış olan çalışmalar yardımıyla incelenebilir. Davranış spektrumunu kısaca tanımlamak gerekirse; yer ivmesinin genliğinin, frekans özelliklerinin ve süresinin değişik yapılar üzerindeki ortak etkisinin en uygun biçimde gösteriliş şeklidir. Bu gösterimde yer hareketlerinin tek serbestlik dereceli ve değişik hakim periyotlu fakat aynı içsel sönüm özellikleri olan osilatörlerde yol açtığı maksimum davranışı gösteren şekiller kullanılmaktadır. Basit bir örnek vermek gerekirse 1940 El Centro depreminin hakim periyotları 0.3, 0.5, 1.0 saniye ve sönüm oranı 0.05 olan üç basit yapı üzerinde yol açtığı maksimum ivmeler 0.75 g, 1.02 g ve 0.48 g olacaktır (Şekil 2.6). Bu örnekten de yola çıkarak, aynı deprem sırasında, deprem merkez üssünden yaklaşık aynı uzaklıkta olan fakat birbirinden çok farklı zemin özelliklerine sahip kayıt istasyonlarda çok değişik davranış spektrumları veren yer hareketlerinin ölçüldüğü belirlenmiştir. Bu ölçümlerin değerlendirmesinde temel zemini katı-sert kıvamda ve kalın olmayan bölgelerde spektrum eğrisinin en büyük değerini düşük hakim periyot değerlerinde (0.4-0.5 sn) aldığı, temel zemini yumuşak ve çok kalın olan bölgelerde ise spektrum eğrisinin en büyük değerinin yüksek hakim periyot (1.5-2.5 sn) değerlerinde aldığı gözlenmiştir. Bu durumdan hareketle, katı-sert zemin tabakalarında yer alan yapılarda en büyük ivme değerlerinin 5-6 katlı rijit yapılarda meydana geleceği, kalın ve yumuşak zemin tabakalarında ise en büyük ivme değerlerinin 20-30 katlı esnek yapılarda gözleneceği söylenebilir.

Literatürde yapılmış olan çalışmalar incelendiğinde, Şekil 2.7'de gösterilen Seed ve diğ. (1976) tarafından özellikleri bilinen zemin koşullarında alınmış 104 deprem kaydı değerlendirilerek yapılan çalışma neticesinde çeşitli zemin koşulları için elde edilen ortalama ivme spektrumları, yapı davranışının yerel zemin koşulları tarafından büyük ölçüde etkilenebileceğini göstermektedir. Şekil 2.7'de 4 farklı zemin grubu için ivme spektrumları verilmiştir. Bu spektrumlar incelendiğinde görülmektedir ki, katı-sert kıvamdaki zeminler



düşük periyotlarda, yumuşak kıvamdaki zeminler ise yüksek periyotlarda salınmaktadır. Bu durumda, daha öncede belirtilen sert zeminlerde alçak katlı, yumuşak zeminlerde ise yüksek katlı bina inşasının zemin yapı etkileşiminde rezonansa neden olup, risk arz ettiği tezinin bir başka göstergesidir.

Birinci aşama mikrobölgeleme çalışması kaba ölçeklerle yapılan bir çalışma olduğu için, özellikle yüksek sismik risk içeren bölgelerde tek başına yeterli olmamaktadır. Daha detaylı geoteknik araştırmaların yapıldığı ikinci aşama mikrobölgeleme çalışmaları ile, elde edilen detaylı geoteknik bilgileri kullanarak inceleme alanındaki zeminlerin deprem hareketi altındaki davranışının dinamik analizlerle modellendiği üçüncü aşama mikrobölgeleme çalışmaları, sismik riski yüksek olan bölgelerde tercih edilmelidir.

Çizelge 2.2 Jeolojik birimler ile zemin büyütmesi arasındaki ilişki

| Jeolojik Birim              | Zemin Büyütmesi Faktörü |
|-----------------------------|-------------------------|
| Borchert ve Gibbs (1976)    |                         |
| Körfez Çamuru               | 11.2                    |
| Alüvyon                     | 3.9                     |
| Santa Clara Formasyonu      | 2.7                     |
| Great Valley Katmanları     | 2.3                     |
| Francisca Formasyonu        | 1.6                     |
| Granit                      | 1.0                     |
| Shima (1978)                |                         |
| Turba                       | 1.6                     |
| Humuslu Toprak              | 1.4                     |
| Kil                         | 1.3                     |
| Loam                        | 1.0                     |
| Kum                         | 0.9                     |
| Midorikawa (1987)           |                         |
| Halosen                     | 3.0                     |
| Pleistosen                  | 2.1                     |
| Kuvaterner Volkanik Kayalar | 1.6                     |
| Miyosen                     | 1.5                     |
| Tersiyer Öncesi             | 1.0                     |

Çizelge 2.3 Jeolojik birimler ile sismik şiddet artımı arasındaki ilişki

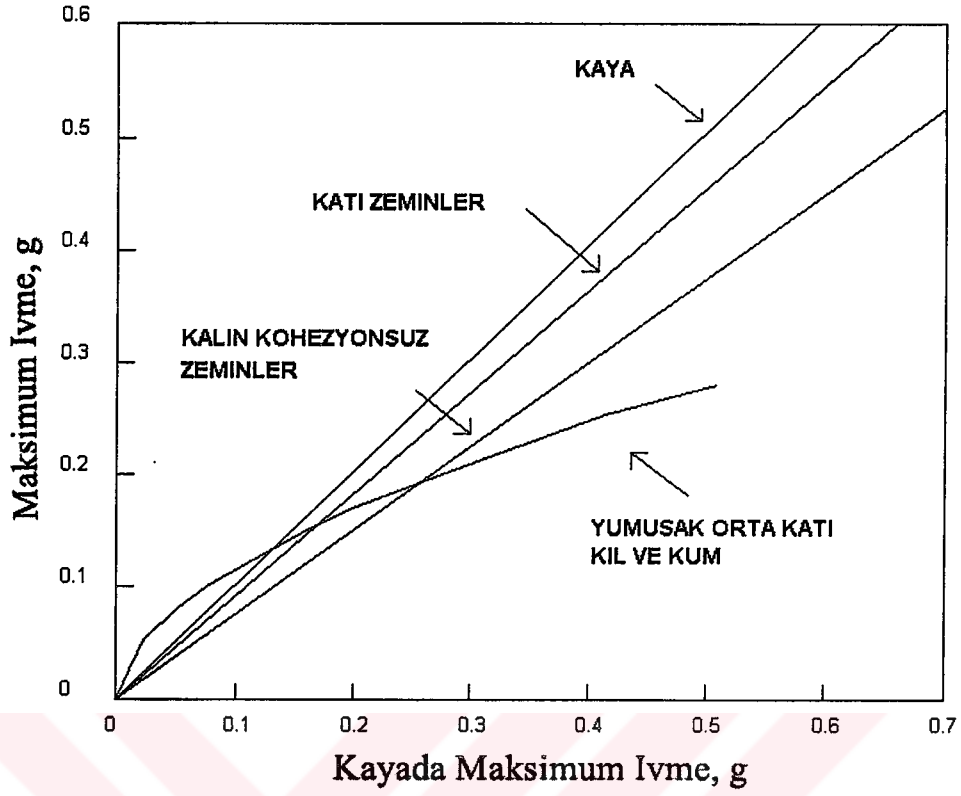
| Jeolojik Birim                   | Şiddet Artımı |
|----------------------------------|---------------|
| Medvedev (1962)                  | M.S.K Ölçeği  |
| Kireçtaşı, Kumtaşı, Şeyl         | 0.2 – 1.3.    |
| Jips, Marn                       | 0.6 – 1.4     |
| Kaba Daneli Zeminler             | 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     |
| Evernden ve Thompson (1985)      | M.M Ölçeği    |
| Paleozoik Kayalar                | 0.4           |
| Erken Mezozoik Kayalar           | 0.8           |
| Kraterler ve Eosen Kayalar       | 1.2           |
| Kırıksız Tersiyer Kayalar        | 1.3           |
| Oligosen ve Pliosen Kayalar      | 2.0           |
| Pliosen – Pleistosen             | 2.0           |
| Tersiyer Volkanik Kayalar        | 0.3           |
| Kuvaterner Volkanik Kayalar      | 0.3           |
| Alüvyon (Su seviyesi < 9m)       | 3.0           |
| (9m<Su seviyesi<30m)             | 2.0           |
| 30m<Su seviyesi                  | 1.4           |
| Kagami ve diğ. (1988)            | J.M.A Ölçeği  |
| 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           |
| Astroza ve Monge (1991)          | M.S.K Ölçeği  |
| Granitik Kaya                    | 0             |
| Volkanik Pumisitik Küller        | 1.5 -2.5      |
| Çakıl                            | 0.5 – 1.0     |
| Kolluvyon                        | 1.0 – 2.0     |
| Lakustrin Birikintileri          | 2.0 -2.5      |

Çizelge 2.4 Kvarterner sedimentler için Lajoie ve Helley (1975) tarafından önerilen kayma dalgası hızı değerleri

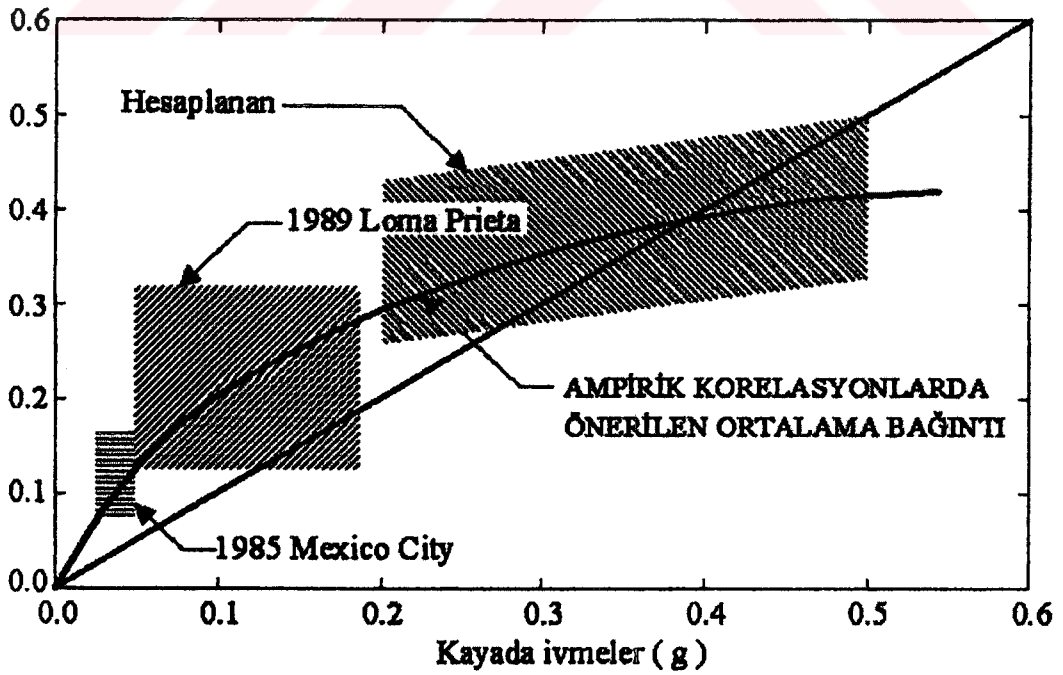
| Jeolojik Formasyon | Dane Çapı | Kayma Dalgası Hızı, $V_s$ (m/s) |               |
|--------------------|-----------|---------------------------------|---------------|
|                    |           | Ortalama Değer                  | Standart Hata |
| Holosen            | İnce      | 200                             | 20            |
|                    | Orta      | 230                             | 30            |
|                    | Kaba      | 320                             | 25            |
|                    | Daha Kaba | 365                             | 20            |
| Pleyistosen        | İnce      | 305                             | 50            |
|                    | Orta      | 430                             | 115           |
|                    | Kaba      | 495                             | 85            |
|                    | Daha Kaba | 650                             | 155           |

Çizelge 2.5 Zemin büyütmesi sınıflandırması (Finn, 1993)

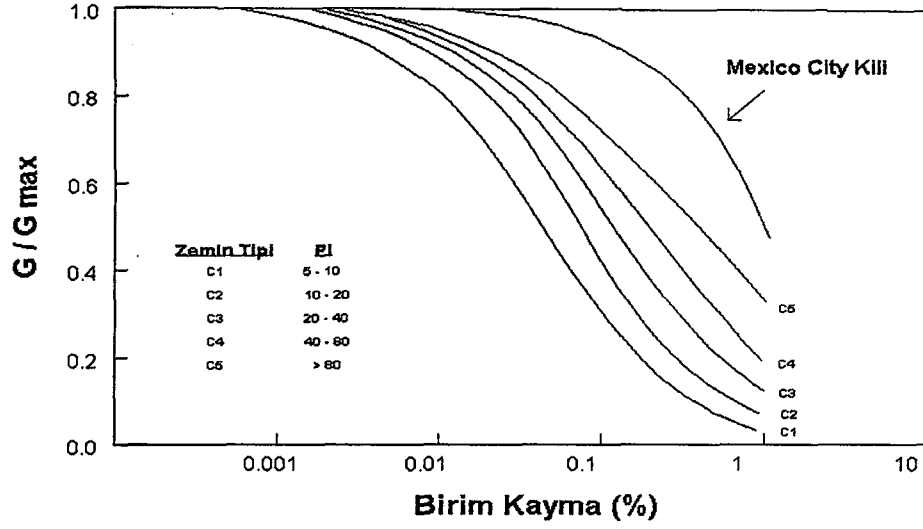
| Zemin Kategorisi | Genel Tanım   | Ortalama Kayma dalgası Hızı ile, $V_{ort}$ (m/s)              | Büyütmeye Karşı Zemin Davranışı |
|------------------|---|---|---------------------------------|
| A                | Kaya  | $V_{ort} > 750$   | -                               |
| B                | 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 katı 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  |   | Çok Yüksek                      |
| E <sub>3</sub>   | Çok kalın ( $H_c$ ) yumuşak veya orta katı kil içeren tabakalar                                   | $H_c > 35 \text{ m}$  | Çok Yüksek                      |



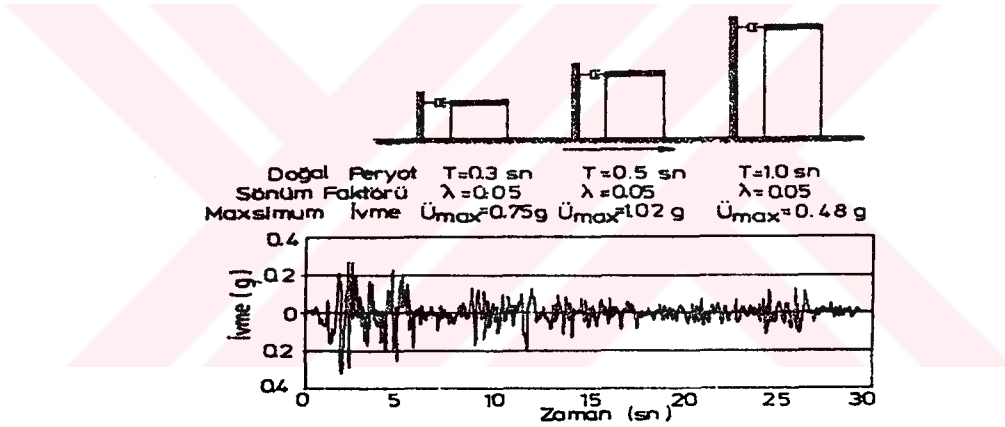
Şekil 2.3 Kayada ve yerel zemin koşullarında maksimum ivmeler arasındaki yaklaşık bağıntılar (Seed ve Idriss,1983)



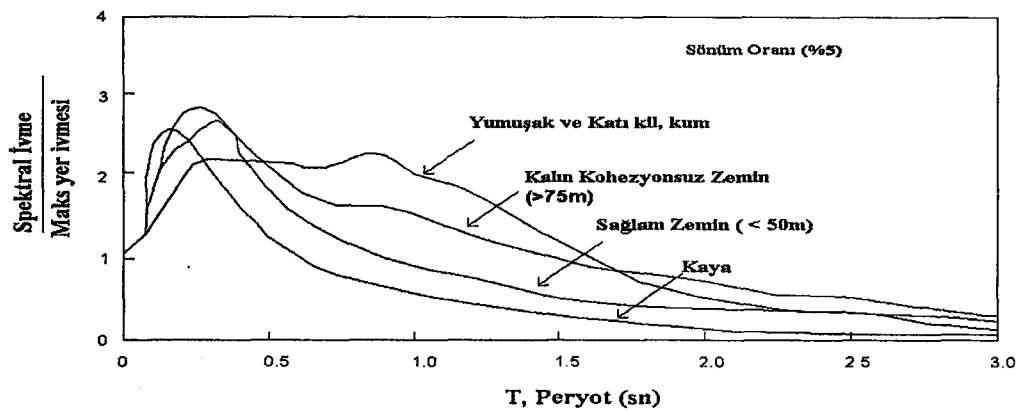
Şekil 2.4 Kaya zeminlere göre yumuşak zeminlerdeki ivmelerin değişimi (Idriss,1990)



Şekil 2.5 Farklı plastisite indisine sahip zeminler için kayma modülü azalım eğrileri



Şekil 2.6 18 Mayıs 1940 El Centro-California depremi ivme kaydı ve tek serbestlik dereceli sistemlerde yol açtığı ivmeler.



Şekil 2.7 Çeşitli yerel zemin koşullarının frekans içeriğine etkisi (Seed ve diğ.,1976)

### 2.3.2 İkinci Aşama Bölgeleme

Birinci aşama mikrobölgeleme çalışmaları kapsamında yapılan araştırmaların tek başına bölgeleme çalışmalarında kullanması fazla güvenilir olmamaktadır. Bunun en önemli sebebi de yüzey jeolojisi ile zeminlerin geoteknik özellikleri arasında sağlıklı, tekil bir ilişki olmamasıdır. Dolayısıyla sadece yüzey jeolojisinden yola çıkılarak yapılan bölgeleme çalışmaları yüksek sismik risk içeren bölgelerin olabilecek deprem hareketi altındaki davranışını modellemede eksik kalacağı aşikardır. Bu durumdan hareketle daha ayrıntılı geoteknik incelemeler yapılması, sağlıklı bir bölgeleme çalışması yapabilmek için şarttır. İkinci aşama mikrobölgeleme çalışmaları kapsamında penetrasyon deneyleri, jeofizik deneyler ve sondaj kuyularından alınan numuneler üzerinde yapılan laboratuvar deneyleri bu amaca dönük olarak yapılan çalışmalardır. Bütün bu çalışmalar neticesinde toplanan geoteknik veriler derlenerek üçüncü aşama bölgeleme çalışmaları kapsamında yapılan dinamik analiz çalışmalarında kullanılır. İkinci aşama bölgelemede yapılan ayrıntılı geoteknik çalışmalarının daha fazla emek, zaman ve mali imkanlar istediği açıktır. Bundan dolayıdır ki, maliyetleri en aza indirmek ve zaman kazanmak için inceleme alanında değişik kurumlar tarafından yapılmış her türlü arazi ve laboratuvar geoteknik deney verilerine ulaşılmaya çalışılmalı ve bunlar derlenerek yapılacak olan bölgeleme çalışmasına dahil edilmelidir.

#### 2.3.2.1 Geoteknik İncelemeler

İkinci aşama mikrobölgeleme çalışmaları kapsamında yapılan geoteknik deneylerin anakaya derinliğine veya anakaya olarak kabul edilebilecek, yüksek kayma dalgası hızına ( $>700\text{m/s}$ ) sahip zemin tabakalarına kadar yapılması, özellikle dinamik analiz çalışmalarında doğru modelleme yapabilmek açısından oldukça önemlidir. Anakaya derinliğine kadar deney yapmanın zorluğundan dolayı, çeşitli araştırmacılar tarafından belirtilen ve bir çok çalışmada da doğruluğu ispatlanan, zemin büyütmelerinde etkin ilk 30 metre kavramı bölgeleme çalışmalarında daha çok kullanılmaktadır.

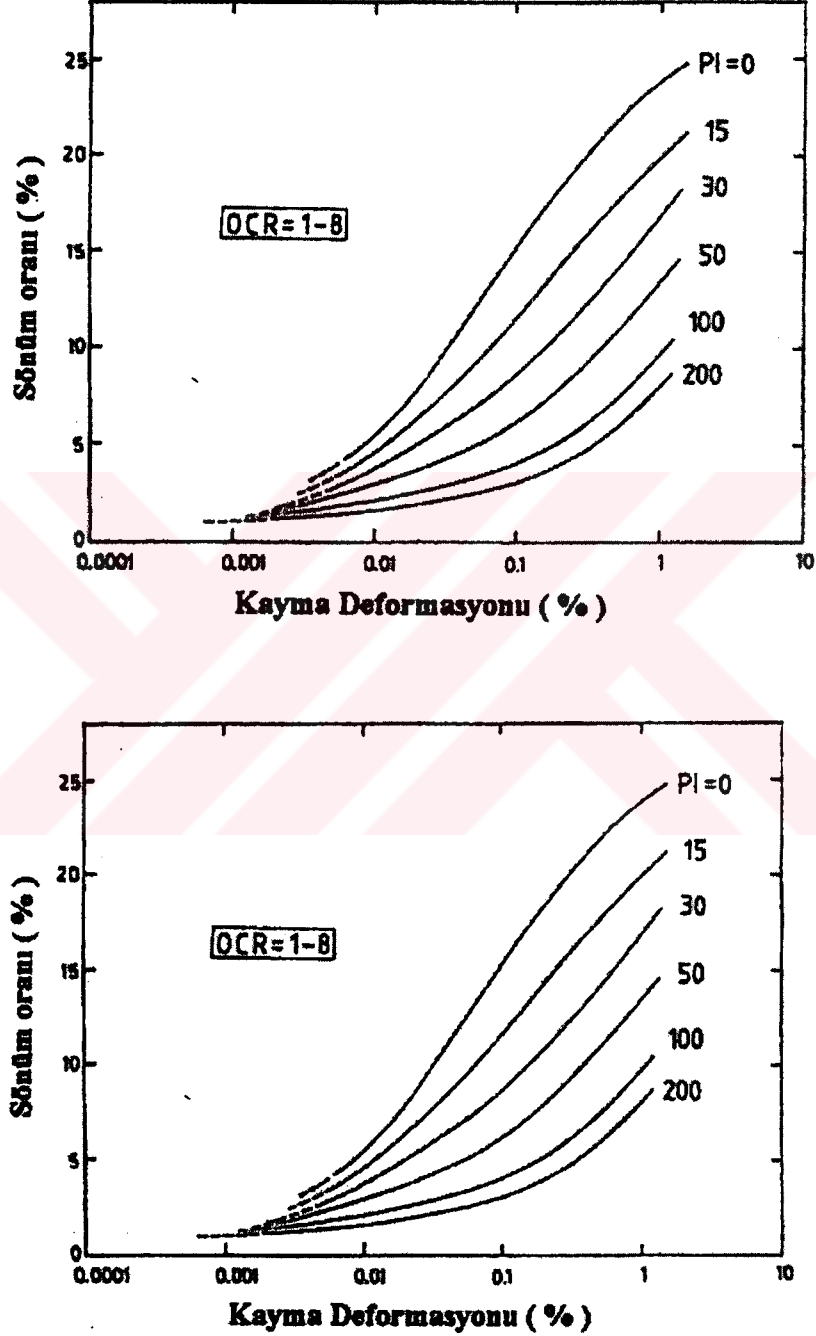
Geoteknik incelemeler kapsamında yapılan deneyleri arazi ve laboratuvar deneyleri olarak temelde ikiye ayırmak mümkündür. Laboratuvar deneyleri neticesinde zeminlerin indeks özellikleri, statik ve dinamik kayma mukavemeti parametreleri ile rijitlik ve sönüm özellikleri bulunur. Mikrobölgeleme çalışması kapsamında zeminlerin deprem hareketi altındaki davranışı incelendiğinden zeminlerin dinamik özellikleri daha fazla önem arz etmektedir. Zeminlerin en önemli iki dinamik özelliği kayma modülü ( $G_{\max}$ ) ile sönüm oranı (D) dir. Bu özelliklerin belirlenmesinde plastisite indisinin etkisini göz önüne almak gerekmektedir. Bu konuda en önemli çalışmalardan biri Vucetic ve Dobry (1991)'ye ait olan çalışmadır. Bu

çalışma Şekil 2.8’de (Vucetic ve Dobry,1991) normal ve aşırı konsolide zeminlerde dinamik özelliklerin, kayma deformasyonuna göre davranışının plastisite etkisi ile beraber gösterildiği eğrilerde mevcuttur. Şekil 2.9’da da kumların ve killerin kayma modülü parametresinin kayma deformasyonu ile değişimini gösteren farklı araştırmacılara ait eğriler gösterilmektedir.

Bölüm 2.3.1’de Mexico City depremi örneğinde de belirtildiği gibi killerin plastisitesi dinamik özellikler üzerinde önemli bir rol oynamaktadır ve dinamik özelliklerde deprem hareketi altındaki zemin davranışını belirlemede önemli bir etkiye sahiptir. Mexico City depreminde oluşan büyük amplifikasyonun (zemin büyütmesinin) Mexico City kilinin yüksek plastisiteli bir kil olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu güne kadar bu konuda yapılmış bütün bu çalışmalar ışığında şunu belirtmek gerekir ki ; ikinci aşama bölgeleme çalışmaları kapsamında yapılan geoteknik deneylerin en önemli amaçlarından biride, yerel zeminlerin dinamik özelliklerini doğru tespit etmek olmalıdır. Bu tez kapsamında yapılan çalışmalarda zeminlerin dinamik davranışının tespitinde Vucetic ve Dobry (1991) eğrileri kullanılmış ve plastisite indisi değerleri laboratuvar deney sonuçlarına ilaveten İstanbul Formasyonları üzerinde yapılan çalışmalardan faydalanarak tespit edilmiştir. Bu konuda ayrıntılı bilgiler ileride, ilgili bölümde verilmiştir.

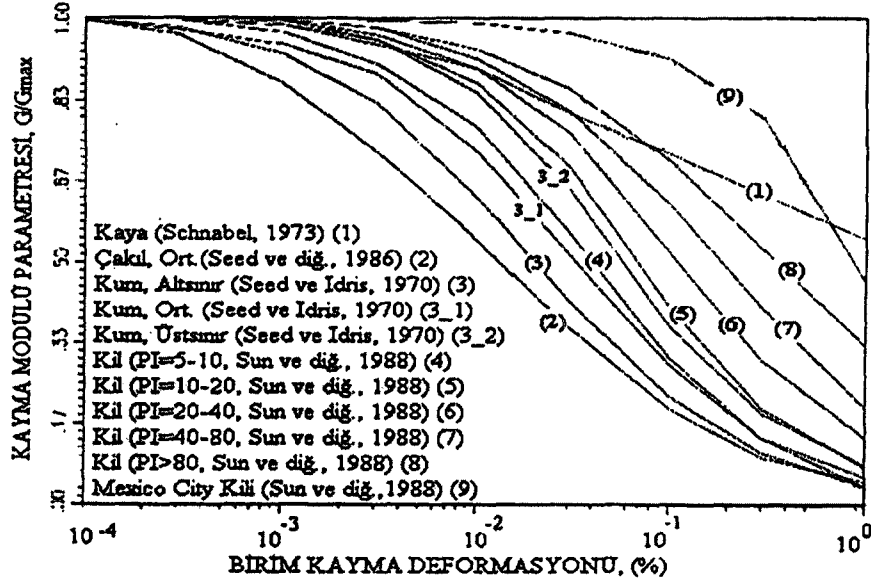
İkinci aşama mikrobölgeleme çalışmalarında yerel zemin koşullarının tespiti için kullanılan arazi deneylerini şu şekilde sıralayabiliriz; kohezyonsuz zeminlerde ve katı kohezyonlu zeminlerde Standart Penetrasyon Deneyi (SPT), yumuşak zeminlerde Koni Penetrasyon Deneyi (CPT), kayma dalgası hızının yerinde ölçüldüğü sismik deneyler ve mikrotremor deneyleri. SPT deneyi, sınıflandırma için numune alınması ve zeminin sıklık derecesinin belirlenmesi için bilgiler vermesi yanında, darbe sayısı (N) ile kayma dalgası hızı ( $V_s$ ) arasında kurulan korelasyonlar açısından yararlı olmaktadır. CPT deneyinde de zemin cinsi ve sıklık derecesi zemin profili derinliği boyunca sürekli olarak belirlenebilmekte, CPT koni direnci ile SPT darbe sayısı arasındaki korelasyonlardan kayma dalgası hızına geçilebilmektedir. Kayma dalgası hızının yerinde ölçümü ise, arazide açılan sondaj kuyularında yapılan kuyu içi sismik deneyler ile gerçekleştirilir. Bu deneyler sırasıyla, yukarı kuyu, aşağı kuyu, karşıt kuyu ve asılı (suspension) PS logging deneyleridir. Bu tez kapsamında yapılan çalışmalarda arazi deney verisi olarak Standart Penetrasyon Deneyi ile birlikte 5 farklı noktada yapılan PS Logging deney verileri kullanılmıştır. Kayma dalgası hızının tespiti üçüncü aşama bölgeleme çalışmaları sırasında zemin profilinin oluşturulmasında büyük önem arz ettiği ve zeminlerin rijitliği hakkında doğrudan bilgi verdiği için zemin davranışının belirlenmesinde en önemli dinamik zemin parametresi olarak

karşımıza çıkmaktadır. Kayma dalgası hızının yerinde tespit edilmesi her zaman mümkün olmadığından genellikle yukarıda da belirtildiği gibi arazi penetrasyon deneyleri ile kayma dalgası hızı arasındaki korelasyonlardan faydalanılır. Çeşitli araştırmacılar tarafından geliştirilen bu korelasyonlar Çizelge 2.6' da verilmektedir.



Şekil 2.8 Normal ve aşırı konsolide zeminlerde kayma modülü ve sönüm oranının, kayma deformasyonu seviyesine göre değişimi üzerinde plastisite indisinin etkisi (Vucetic ve Dobry, 1991)





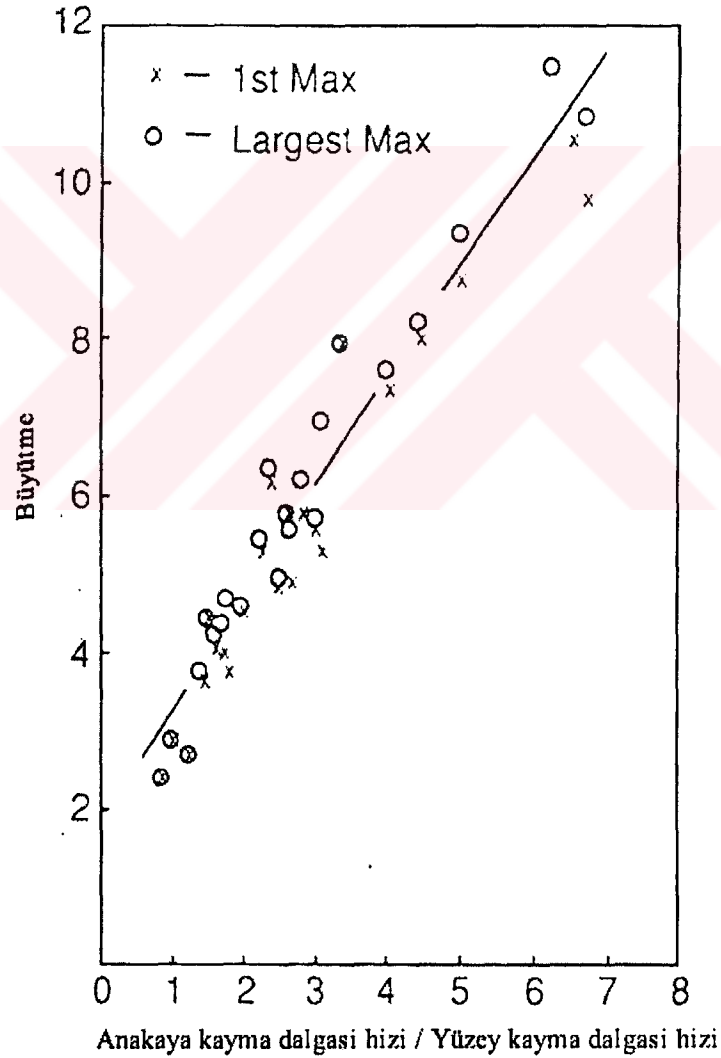
Şekil 2.9 Kayma modülü parametresinin kayma deformasyonu ile değişimini gösteren bazı çalışmalar

Çizelge 2.6 Kayma dalgası hızının tespiti için penetrasyon deney verilerinin kullanıldığı bazı eşitlikler.

| Araştırmacı              | Bağıntı, $V_s$ (m/s)                               | Zemin Cinsi |
|--------------------------|--|-------------|
| Kanai ve diğ.(1966)      | $V_s = 19 N^{0.60}$                                | Tüm         |
| Ohsaki ve İwasaki (1972) | $V_s = 81.4 N^{0.39}$                              | Tüm         |
| Ohba ve Toriuma (1972)   | $V_s = 85.3 N^{0.31}$                              | Tüm         |
| Imai ve Yoshimura (1976) | $V_s = 92 N^{0.329}$                               | Tüm         |
| Imai (1977)              | $V_s = 91 N^{0.337}$                               | Tüm         |
|                          | $V_s = 102 N^{0.292}$                              | Kil         |
|                          | $V_s = 80.6 N^{0.331}$                             | Kum         |
| Seed ve Idriss (1982)    | $V_s = 56.4 N^{0.5}$                               | Tüm         |
| Lin ve diğ. (1990)       | $V_s = 65.58 N_1^{0.502}$                          | Tüm         |
| İyisan (1996)            | $V_s = 51.5 N^{0.516}$                             | Tüm         |
|                          | $V_s = 55.3 q_c^{0.377} q_c$ (kg/cm <sup>2</sup> ) | Tüm         |

### 2.3.2.2 Kayma Dalgası Hızı İle Zemin Büyütmelerinin Belirlenmesi

Yüzeye yakın zemin tabakalarının kayma dalgası hızı, zemin büyütmelerini kestirmek için kullanılabilen yararlı bir endeks olarak kabul edilmektedir. Şekil 2.10'da hesaplanan zemin büyütmeleri ile anakayadaki kayma dalgası hızının yüzeydeki kayma dalgası hızına oranı arasında lineer bir ilişki olduğu gösterilmektedir (Shima 1978). Yer hareketlerinin gözlenmesine ve analizine dayanan araştırmalar neticesinde, yüzeye yakın tabakaların ortalama kayma dalgası hızı ile zemin büyütmeleri arasında korelasyonlar mevcuttur (Midorikawa, 1987; Joyner ve Fumal, 1988; Borchardt ve diğ., 1991). Bu korelasyonlar Çizelge 2.7 ile Şekil 2.11'de gösterilmektedir.



Şekil 2.10 Hesaplanan zemin büyütmeleri ile anakayadaki kayma dalgası hızının yüzeydeki kayma dalgası hızına oranı arasında ilişki

Çizelge 2.7 Zemin büyütmesi faktörleri ile ortalama kayma dalgası hızı arasındaki ampirik korelasyonlar

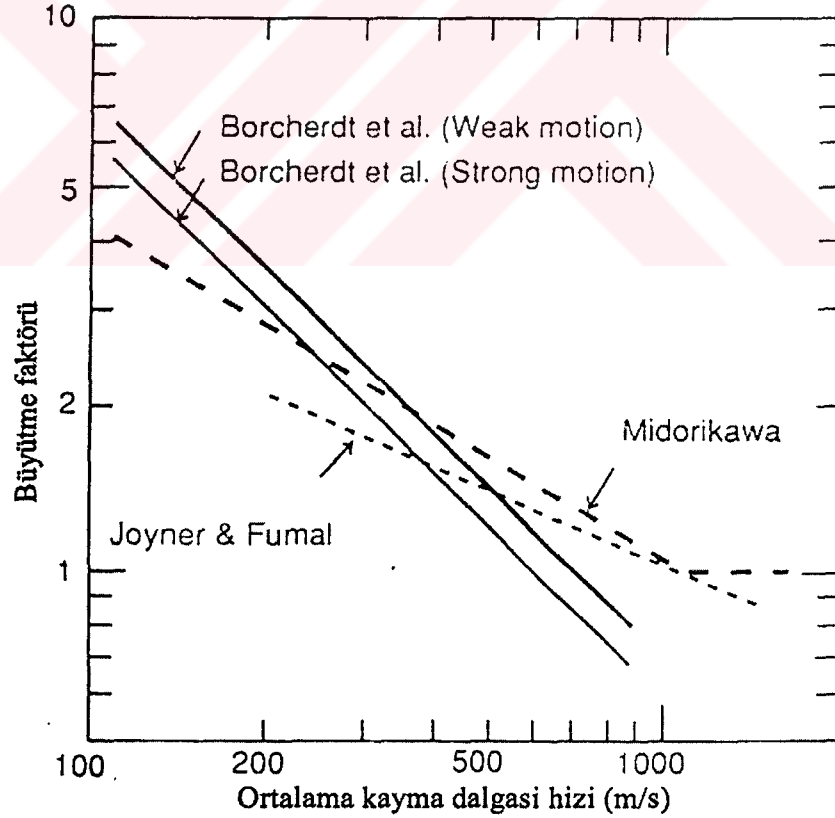
| Araştırmacılar         | Eşitlik  |
|------------------------|--|
| Midorikawa (1987)      | $A = 68 V_1^{-0.6}$ ( $V_1 < 1100$ m/s)<br>= 1.0 ( $V_1 > 1100$ m/s)                   |
| Joyner ve Fumal (1984) | $A = 23 V_2^{-0.45}$   |
| Borcherdt (1991)       | AHSA = $700 / V_1$ (zayıf hareketler için)<br>= $600 / V_1$ (kuvvetli hareketler için) |

A : Maksimum yer hızı için zemin büyütmesi faktörü.

AHSA : 0.4 ile 2.0 saniye periyodundaki ortalama yatay spektral büyütme

$V_1$  : 30 metre derinliğe kadar ortalama kayma dalgası hızı (m/s)

$V_2$  : Bir saniye periyodlu dalga için  $1/4$  dalga boyu derinliğe kadar ortalama kayma dalgası hızı (m/s)



Şekil 2.11 Büyütme (relatif amplifikasyon) ile kayma dalgası hızı arasındaki ilişkiler

### 2.3.2.3 Mikrotremor Ölçümleri İle Zemin Büyütmelerinin Belirlenmesi

İkinci aşama mikrobölgeleme çalışmaları kapsamında zemin büyütmelerinin belirlenmesinde kullanılan yöntemlerden biri de mikrotremor yöntemidir. Mikrotremor'un kısaca tanımı okyanus dalgaları, rüzgar, trafik ve makine gürültüleri gibi doğal ya da suni kaynaklar sonucu oluşan, 1/1000-1/ 100mm genlikli, 1-20 saniye periyotlu alan titreşimleri olarak ifade edilebilir (Ishiyama, 1982). Bu titreşimlerin algılanabilmesi için çok hassas sismometrelere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu sismometrelere kaydedilen veriler yardımıyla kuvvetli yer hareketleri altında, yapı veya zeminlerin davranışları önceden tahmin edilmesi amaçlanmaktadır.

Mikrotremorlar salınım özelliklerine göre kısa periyotlu ve uzun periyotlu olmak üzere iki kısma ayrılır. Kısa periyotlu mikrotremorlar 1s veya daha küçük periyotlu olup 10 metre veya birkaç kat daha fazla yüzeysel tabakaların büyütmeye ve periyot özelliklerinin belirlenmesinde kullanılmaktadır. Trafik ve endüstriyel gürültüler gibi yapay nedenler bu mikrotremorların kaynağını oluşturmaktadır (Kanai ve Tanaka, 1961). Bu tür mikrotremorların hem cisim (S) hem de yüzey dalgası (Rayleigh) olarak yayıldığı kabul edilir. Uzun periyotlu mikrotremor ölçümlerinden elde edilen genlikler ile karşılaştırıldığında, kısa periyotlular kaynak şartlarına bağlı olarak gün içinde önemli ölçüde değişen sonuçlar verebilirler (Seo ve diğ., 1990). Kısa periyotlu mikrotremor ölçümlerinin yüzeye yakın zeminlerin hakim periyotları ve genlikleri hakkında kararlı ve sabit özellikler içerdiği düşünülmektedir. Uzun periyotlu mikrotremorlar ise salınımı 1s'den büyük olup ana kayaya kadar olan derin tabakalardaki genlik ve periyot hakkında bilgi verdiği düşünülen ölçümlerdir. Bunların kaynağı ise kıyılarına vuran okyanus dalgaları ve okyanustaki atmosfer değişimleri sonucu oluşan rüzgar hareketleri olup Rayleigh ve Love dalgası olarak yayıldıkları kabul edilir. Ancak bunların hava şartları sebebi ile kararlı olmayan, değişen hakim periyot ve genlik özellikleri içerdiği belirtilmiştir (Seo ve diğ.,1990).

Mikrotremor sonuçlarının analizinde Fourier genlikleri, referans istasyon yöntemi ve Nakamura yöntemi olmak üzere üç yöntem kullanılmaktadır. Kullanılan bu üç yöntemin ortak özelliği, yerel zemin koşullarının büyütmeye üzerindeki etkisinin, elastik yarı sonsuz bir ortam üzerinde yer alan, tek bir zemin tabakasından kaynaklandığı kabulünü yapmalarıdır. Bu durumda 2 ve 3 boyutlu zemin etkileri ihmal edilip, yumuşak zemin tabakası ile yarı sonsuz ortam arasındaki büyütmeye seviyesi ve hakim periyoda göre yerel zemin koşullarının etkisi belirlenmiş olur. Bu tez kapsamında yapılan mikrobölgeleme çalışmalarında mikrotremor yöntemleri kullanılmadığından, tezin içeriğinde mikrotremor ölçümlerine kısa ve öz olarak değinmek tercih edilmiştir.

### 2.3.3 Üçüncü Aşama Bölgeleme

Yerel zemin şartlarının yer sarsıntıları üzerindeki etkilerinin değerlendirmeye alındığı arazi davranış analizlerinde, genellikle anakaya olarak nitelendirilen formasyondan yukarı doğru hareket ettiği varsayılan kayma dalgaları yayılımı analiz edilmektedir. Bu kavram esas alınarak geliştirilen 1 boyutlu ve 2 boyutlu analiz yöntemleri sayesinde zemin tabakalarının lineer ve non-lineer özelliklerinin dinamik yükler altındaki değişimi modellenmektedir. Analiz çalışmaları sırasında kullanılan parametreler, ikinci aşama bölgeleme çalışmaları kapsamında yapılan arazi ve laboratuvar deneyleri yardımıyla elde edilir.

Üçüncü aşama mikrobölgeleme çalışmaları kapsamında, inceleme alanındaki zeminlerin deprem hareketi altındaki lineer ve non-lineer davranışının modellenmesi sırasında izlenmesi gereken yol şöyledir:

1. İnceleme alanında anakaya seviyesinde oluşan yer hareketinin özelliklerinin belirlenmesi ve bu bağlamda analiz çalışmalarında kullanılmak üzere ivme kaydının seçilmesi.
  - Anakayadaki maksimum ivme ve hız değerleri azalım ilişkilerinin kullanıldığı grafiklerin yardımı ile seçilir.
2. Zemin tabakalarının özelliklerinin belirlenmesi ve belirlenen özellikler yardımıyla idealize zemin profillerinin oluşturulması.
  - Başlıca belirlenmesi gereken zemin özellikleri tabaka kalınlığı, birim hacim ağırlığı ve zeminlerin dinamik özellikleridir. Dinamik özelliklerden kayma modülü ve sönüm oranlarının kayma şekil değiştirmesi seviyesi ile değişiminin belirlenmesinde plastisite indisi göz önüne alınarak çeşitli araştırmacılar tarafından ortaya konulan ilişkilerden uygun olanları kullanılabilir. Kayma dalgası hızı yerinde ölçüm arazi deneyleri ile tespit edilebildiği gibi, SPT-N darbe sayısı veya koni uç mukavemetine bağlı olarak geliştirilen bağıntılardan dönüştürülerek belirlenebilir ve kayma modülünün maksimum değerinin tesbitinde kullanılabilir.
3. Uygun bir analiz yöntemi ile anakayada oluşan yer hareketinin etkisi altındaki zemin tabakalarının davranışının analiz edilmesi.

Zeminlerin dinamik davranış analizi yapılırken dikkat edilmesi gereken önemli hususlardan biri de değerlendirmelerde kullanılan ivme kaydının anakaya ivme kaydı olmasıdır. Tabii ki

her zaman anakaya seviyesinde gerçek kayıt alınmayabilir, bu gibi durumlarda yüzey kayıtlarının anakayaya taşınması gerekmektedir. Bu durumda anakaya olarak tanımlanan tabakanın doğru tespit edilmesi ihtiyacını doğurmaktadır. Literatürde iki tür anakaya terimi mevcuttur. Bunlardan ilki Kobayashi ve Nagashi (1976) tarafından tanımlanan “sismolojik” anakaya terimi, ikincisi de Ohsaki (1979) tarafından tanımlanan mühendislik anakaya kaya terimi olmaktadır. Kobayashi ve Nagashi (1976) kayma dalgası hızının 3000 m/s den büyük olduğu tabakaya sismolojik, Ohsaki (1979) ise kayma dalgası hızının 500 m/s den ve SPT-N darbe sayısının 50 den büyük olduğu tabakayı mühendislik açısından anakaya olarak tanımlamıştır. Bu tez kapsamında yapılan çalışmalarda mühendislik açısından anakaya olarak kabul edilen tabakalarda kayma dalgası hızı “Manual for Zonation on Seismic Geotechnical Hazards, 1993” el kitabı referans alınarak 700 m/s olarak alınmıştır.

Zeminlerin dinamik yükler altında davranışlarının 1, 2 ve 3 boyutlu analizi için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Her biri farklı yaklaşımlara sahip olan bu yöntemlerden bir tanesi olan ve bu konuda en yaygın olarak kullanılan SHAKE programının varsayımlarına dayalı olarak geliştirilen EERA programı, Avcılar İlçesi'nin zemininin dinamik davranışının analizinde ve yüzey ivmeleri, spektral ivmeler ve büyütmelerin bulunmasında kullanılmıştır. Bu programın özelliklerinden bir sonraki bölümde kısaca bahsedilmiştir.

### 2.3.3.1 EERA Programının Özellikleri

Geçmişte meydana gelen büyük depremlerde, zemin yüzeyinde bulunan yapılarda meydana gelen yer hareketinin, kaya mostralarının üzerinde veya yakınında bulunan yapılarda meydana gelen hareketten genelde daha büyük olduğu gözlenmiştir (Seed ve Idriss, 1968). Yer hareketinde meydana gelen bu büyütme için kullanılan ilk program Schnabel ve diğ. Tarafından 1972 yılında geliştirilen SHAKE adlı programdır. Bu program eşdeğer lineer analiz metoduna göre geliştirilmiş olup bu metodun en temel kabulü ise, zeminin non-lineer davranışının, sönmümlendirilmiş lineer elastik model ile yaklaşık olarak temsil edilebileceğidir.

EERA (Equivalent Linear Earthquake Response Analysis) programı da SHAKE programının temel yaklaşımlarından yola çıkılarak, 1998 yılında geliştirilmiştir. Fortran 90 kullanılarak geliştirilen bu programın Excel ortamında kullanılıyor olması büyük bir avantaj sağlamaktadır. Programda tanımlanan zeminlerin gerilme şekil değiştirme özellikleri, deformasyon seviyesine bağlı olarak değişen kayma modülü ve eşdeğer sönmüm oranları ile tanımlanmaktadır. Programın temel varsayımları ise; zeminin yatay yönde sonsuza uzanan

üniform özelliklere sahip tabakalardan oluşan bir sistem olarak kabul edilmesi ve her tabakanın kayma modülü, kritik sönüm oranı, yoğunluk ve kalınlık ile tam olarak tanımlanmasıdır. Buna ilaveten davranışın sadece anakayadan yüzeye doğru yayılan kayma dalgalarından etkilendiği kabulü de yapılmaktadır. Programın varsayımlarına kısaca değindikten sonra, kullanılması esnasında izlenmesi gereken yolu maddeler halinde sıralarsak;

- İvme kaydı seçilir ve eşit zaman aralıkları (0.02 sn) ile düzenlenip programa dahil edilir.
- Analiz yapılacak bölgedeki zeminlerin dinamik özellikleri, plastisite etkisi ile beraber kayma deformasyonuna göre değişiminin gösterildiği eğriler yardımıyla tanımlanmalıdır. Programda kil, kum ve kaya için tanımlanan eğriler mevcut olmakla birlikte analiz çalışmalarında mümkünse inceleme alanındaki zeminden alınan numuneler üzerinde yapılan laboratuvar deney sonuçlarından elde edilen değerlere göre tanımlanan eğriler kullanılmalıdır.
- Zemin profili anakaya derinliğine kadar oluşturulur ve her tabakanın kalınlığı, birim hacim ağırlığı, kayma dalgası hızı ve malzeme özellikleri ayrı olarak girilir.
- Programın yapacağı iterasyon değeri girilerek çözüm yapılır.

EERA programının en büyük avantajı değerlerin Excel ortamında grafikleri çizilmiş olarak verilmesi, programın çıktısı olmayan grafiklerin ise çalışma ortamının Excel olmasından dolayı rahatlıkla çizilebilmesidir. Bununla birlikte analiz çalışmalarında çok fazla veriye ihtiyaç duymaması ve literatürdeki çalışmalar yardımı ile zemin özellikleri için analizlerde kullanılan parametrelerin kolaylıkla elde edilmeside kolaylık sağlamaktadır. Bütün bu avantajların yanı sıra programın eşdeğer lineer analiz yöntemini kullanıyor olması ve bu analiz yönteminin toplam gerilmelere dayalı olması, boşluk suyu basınçlarının mukavemet ve rijitlik üzerindeki etkisinin dikkate alınamamasına yol açmaktadır. Ayrıca analiz elastik olduğundan dolayı kalıcı şekil değiştirmeleri doğrudan hesaplamak mümkün değildir. Bununla birlikte, anakaya derinliğinin çok fazla olması durumunda program zaman ve iterasyon da yaklaşım açısından sıkıntıya girmektedir. Bu gibi durumlarda zemin büyütmelerinde etkili olduğu varsayılan ilk 30-40 metrenin altındaki zemin tabakalarının daha kaba tanımlanmasında fayda vardır. İlk 30-40 metrelik tabaka içerisinde programın 2 metre aralıklarla analiz yapması istenirken, 40 metreden sonra bu aralık orantılı bir şekilde artırılarak 150-200 metre civarında 10 metreye kadar çıkartılabilir. Bu tez kapsamında

incelenen Avcılar İlçesin de anakaya derinliği çok fazla olmasından dolayı, bu yöneme başvurulmuştur ve sağlıklı sonuçlar alınmıştır.

#### 2.4 İstanbul İlinde Son Yıllarda Yapılan Mikrobölgeleme Çalışmaları

Ülkemizin bir deprem ülkesi olmasına ve son 10 yılda beş büyük deprem meydana gelmesine rağmen, 17 Ağustos 1999 Kocaeli depremine kadar toplum, medya, merkezi ve yerel yönetimler deprem gerçeğini hep göz ardı ettiler ve gereken hassasiyeti göstermediler. 17 Ağustos 1999 Kocaeli ve 12 Kasım 1999 Düzce depremlerinin ülke nüfusunun, ekonomiye girdi sağlayan büyük tesislerin ve medyanın geniş bir kısmının yer aldığı Marmara Bölgesini etkilemiş olması depreme karşı olan duyarlılığın artmasına ve dikkatlerin Marmara'yı ve İstanbul'u tehdit eden ikinci bir deprem üzerinde odaklanmasına neden oldu. Bu bağlamda İstanbul İli'nin deprem risk analizlerinin mikrobölgeleme çalışmaları yardımıyla yapılmasına yönelik projelere hız kazandırılmış ve bunların bir kısmı neticeye vardiirılmıştır. Bu bölümde de, Japan International Cooperation Agency (JICA) tarafından 2001 – 2003 yılları arasında "Türkiye Cumhuriyeti İstanbul İli Sismik Mikrobölgeleme Dahil Afet Önleme / Azaltma Temel Planı Çalışması" adı altında yürütülen ve bu tez kapsamında yapılan analizlerde de yararlanılan çalışma ile Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü tarafından hazırlanan "Earthquake Risk Assessment for Istanbul Metropolitan Area, 2002" adlı çalışmasından kısaca bahis edilecektir.

17 Ağustos 1999 Kocaeli depreminden sonra Türkiye Cumhuriyeti Hükümetinin, Japon Hükümeti'nden talebi üzerine, Japon Uluslararası İşbirliği Ajansı (JICA) tarafından, Marmara Denizi'nde meydana gelebilecek büyük bir depremde, İstanbul İlin de oluşabilecek hasar dağılımını tahmin etmek ve bu hasarlar sonucunda olabilecek can kayıplarını önceden alınan önlemler ile en aza indirmek amacıyla bir çalışma yürütülmüştür. JICA tarafından yürütülen bu çalışma 7 aşamadan oluşmaktadır. Bu aşamalar, yapılacak kapsamlı bölgeleme çalışmalarına referans olması için, çok fazla detaya girilmeden aşağıda sıralanmıştır:

1. Değerlendirme ve analiz çalışmaları için data toplanması (çeşitli kurumların önceden yaptığı deneyler..vs).
2. Arazi incelemesi (yerel zemin koşulları, nüfus, bina durumları incelemesi)
3. GIS veri tabanı geliştirilmesi.
4. Deprem hareketi analizi.

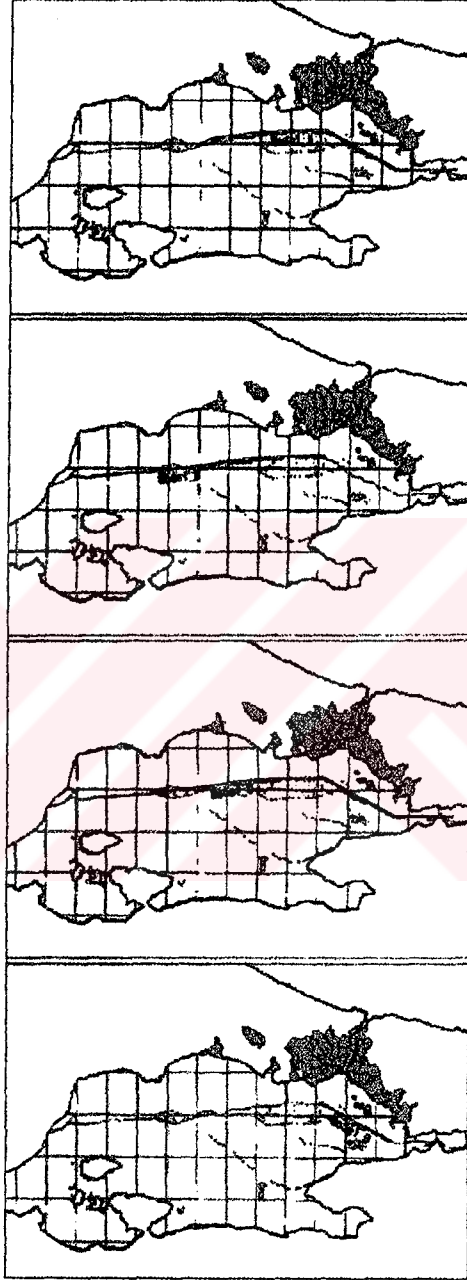


5. Sismik risk ve hasar tahmini.
6. Sismik risk haritaları ile sismik mikrobölgeleme haritalarının derlenmesi.
7. Kentsel afet önleme ve azaltma planı üzerinde detaylı çalışma.

JICA'nın yürüttüğü bu projede, analiz çalışmalarında kullanılmak üzere İ.B.B Zemin Deprem Müdürlüğü'nün derlediği geoteknik deney verilerine ilave olarak, derinlikleri 30 ila 206 metre arasında değişen, İstanbul'un farklı noktalarında 48 adet sondaj yapılmıştır. Toplam uzunluğu 2826.85 metre olan bu sondaj çalışmalarında, zeminde 1.5 metre aralıklarla SPT deneyide yapılmıştır. SPT deneyine ilave olarak sondaj çalışmaları sırasında alınan örselenmiş ve örselenmemiş numunelerde laboratuvar deneyleri yapılmıştır. Bu deneyler; su muhtevası, Atteberg limitleri, birim hacim ağırlık ve dane boyutu deneyleridir. Bu deneylerden, özellikle zeminlerin dinamik özelliklerinin belirlenmesinde faydalanılmaktadır. Bu deneylere ilave olarak kayma dalgası hızının yerinde tespiti için 39 noktada toplam 2200 metre PS logging deneyi ile 40 noktada mikrotremor deneyi yapılmıştır. Yapılan bütün bu deneyler ve bu deneylere ilave olarak İ.B.B Zemin Deprem Müdürlüğü'nden elde edilen geoteknik deney verileri kullanılarak, JICA tarafından deprem analizi yapılmıştır. Deprem analizi yapılmadan önce senaryo deprem seçilmiştir. Senaryo depremin Kuzey Anadolu Fayının Marmara Denizi içerisinde kalan kısmında oluşacağı kabul edilmiştir. Ancak bu fayın tek parça olarak değil de, 4 farklı modelde kırılabileceği tahmini yapılmış ve bu 4 farklı model için deprem özellikleri ayrı ayrı belirlenmiştir. Şekil 2.12 de JICA'nın öngördüğü bu 4 fay modeli, Çizelge 2.8 de ise bu fay modellerinin parametreleri gösterilmektedir. Bu 4 farklı fay modelinden bir tanesi de bu tez kapsamında yapılan çalışmalarda senaryo deprem olarak alınmıştır. Bu konu hakkında detaylı bilgi ileriki bölümlerde mevcuttur.

Sismik mikrobölgeleme için seçilen bu 4 farklı tasarım depremi büyüklüğü ve bu depremin sismik bölgelemenin yapılacağı İstanbul'a olan uzaklığı belirlendikten sonra bölgesel jeolojik ve tektonik koşullara uyumlu bir azalım ilişkisi JICA tarafından kullanılmıştır. Senaryo depremin ve azalım ilişkilerinin belirlenmesinden sonra, JICA tarafından 4 farklı fay modelinde yapılan analiz çalışmaları neticesinde, sismik riskin belirlemede kullanılmak üzere en büyük yüzey ivmesi, spektral ivme ve kayma dalgası hızı gibi parametrelerin kullanıldığı bölgeleme haritaları yapılmıştır. Şekil 2.13, 2.14, 2.15 ve 2.16 da, 4 fay modelinden biri olan Model B'ye göre yapılan bölgeleme çalışmaları neticesinde, en büyük yüzey ivmesi, spektral ivme ve kayma dalgası hızı dağılımının gösterildiği haritalar mevcuttur.

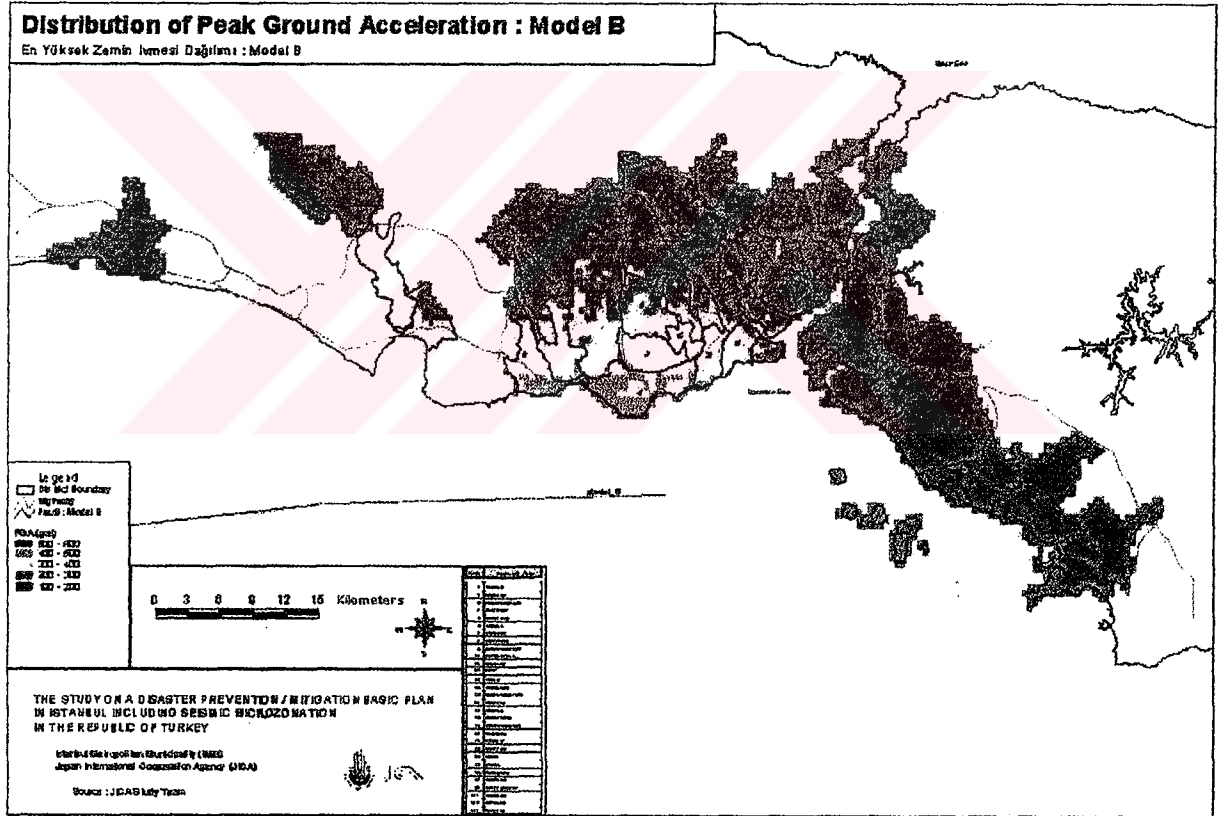
Bu haritalar incelendiğinde dikkat edilmesi gereken en önemli husus sismik riskin Marmara Denizi kıyı çizgisine paralel olarak değiştiğidir.



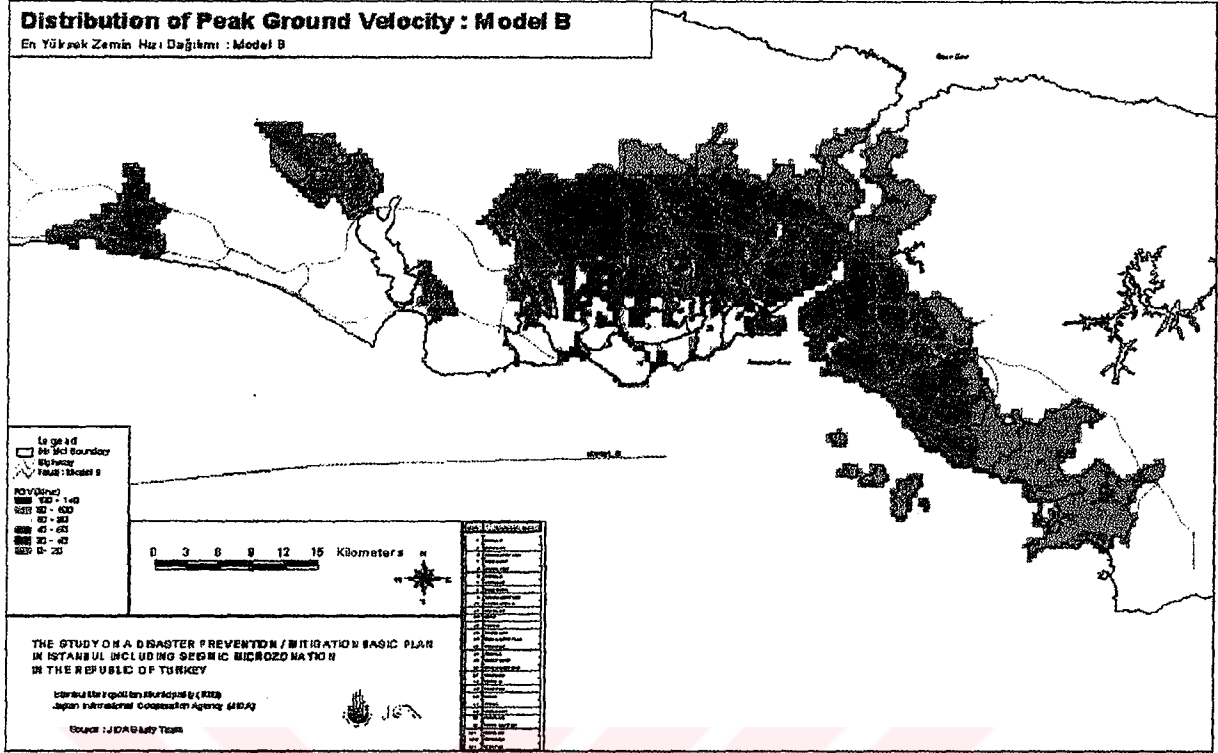
şekil 2.12 Senaryo depremler (JICA, 2002)

Çizelge 2.8 Fay Modeli Parametreleri

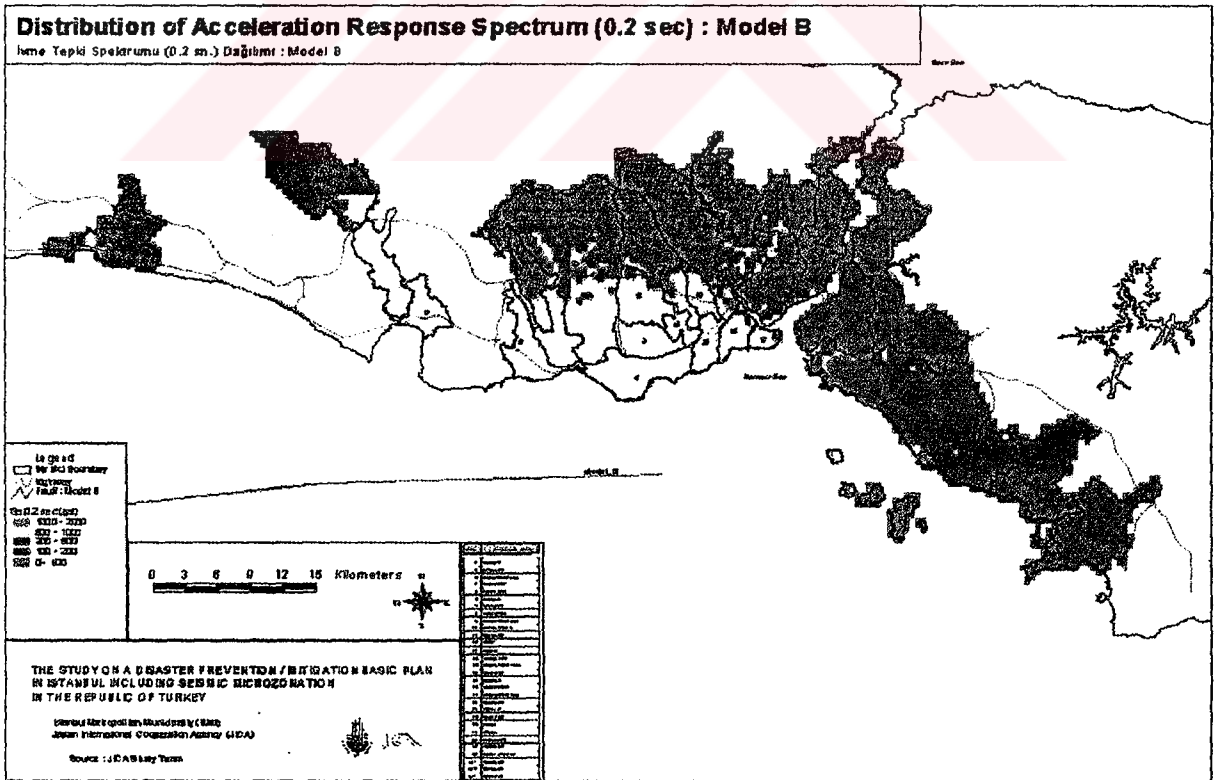
|                       | Model A         | Model B         | Model C         | Model D    |
|-----------------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------|
| Uzunluk (km)          | 119             | 108             | 174             | 37         |
| Moment Büyüklüğü (Mw) | 7.5             | 7.4             | 7.7             | 6.9        |
| Dalış Açısı (derece)  | 90              | 90              | 90              | 90         |
| Fay tipi              | Doğrultu atımlı | Doğrultu atımlı | Doğrultu atımlı | Normal fay |



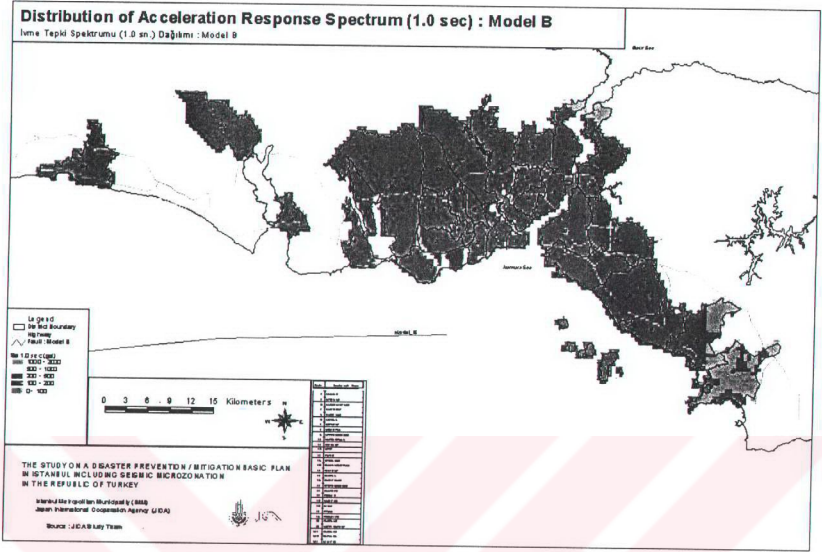
Şekil 2.13 En büyük yüzey ivmesi dağılımı (JICA, 2002)



Şekil 2.14 Maksimum zemin hızı dağılımı (JICA, 2002)



Şekil 2.15 Spektral ivme dağılımı, T= 0.2 sn (JICA,2002)



Şekil 2.16 Spektral ivme dağılımı, T=1.0sn (JICA, 2002)

Bu bölümde incelenen ikinci çalışmada, Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsünün, İstanbul İli'nin deprem risk analizini yaptığı ve "İstanbul Metropolitan Alanının Deprem Risk Analizi" adı altında rapor halinde yayınladığı çalışmadır. Bu raporda da belirtildiği gibi çalışmanın amacı, İstanbul İlini etkileyecek bir senaryo deprem sonucunda meydana gelebilecek insani ve sosyal kayıpların tahminidir. Bu amaçla çalışmada ilk önce İstanbul İli için deprem tehlikesi saptanmaya çalışılmış ve senaryo depremin Şekil 2.17'de gösterilen Kuzey Anadolu Fayının Marmara Denizi içindeki kısmında oluşacağı kabul edilmiştir. Bu tez kapsamında yapılan çalışmalarda faydalı olabilecek ve JICA'nın yayınladığı raporla da mukayese yapma şansını doğuran, senaryo deprem sonucu İstanbul'da beklenen şiddet dağılımı bu raporda sunulmaktadır (Şekil 2.18). Avrupa Makrosismik Ölçeği'nin (EMS-1998) hasar tanımlamaları kullanılarak, bu şiddet seviyelerinde meydana gelecek hasarın tanımı yapılabilir. Buna göre İstanbul'da çok katlı betonarme bina stoğu için aşağıdaki hasar tanımlamaları verilebilir:

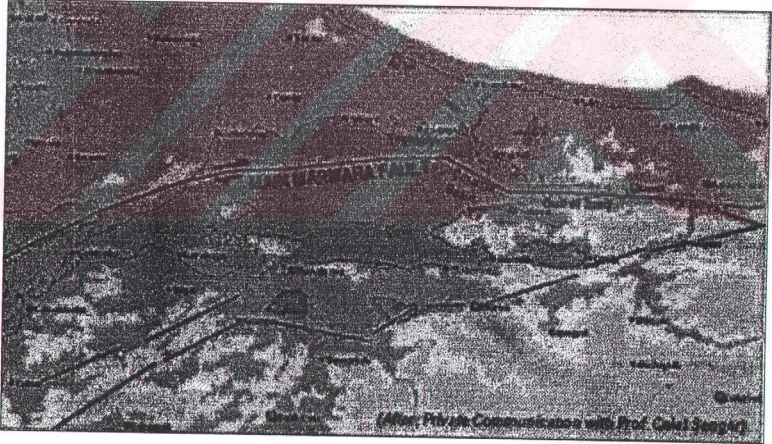
Şiddet VII: Az sayıda binada orta hasar.

Şiddet VIII: Bir çok binada orta hasar; az sayıda binada ağır hasar.

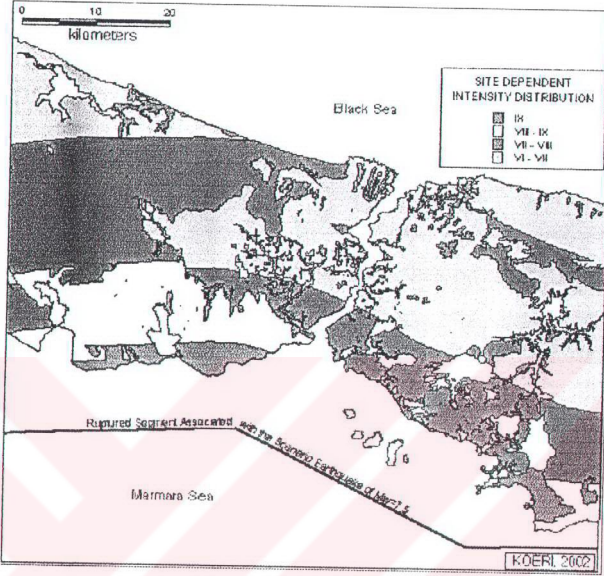
Şiddet IX: Bir çok binada ağır hasar; az sayıda binada çok ağır hasar.

Yukarıda verilen tanımlarda “az sayıda bina” binaların %20’sini, “birçok bina” ise binaların %20 ila %60’ını ifade etmektedir (“İstanbul Metropolitan Alanının Deprem Risk Analizi, Mayıs 2002”).

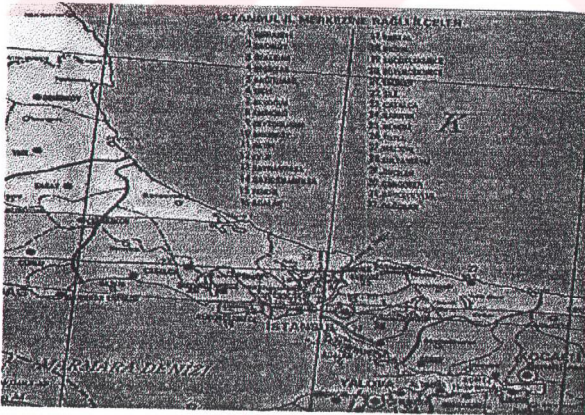
Şiddet dağılımının verildiği harita incelendiğinde, aynı JICA tarafından yayımlanan, en büyük yüzey ivmeleri ile spektral ivmelerin dağılımının gösterildiği haritalarda olduğu gibi, sismik risk değişiminin kıyıya paralel şekilde olduğu gözlenmektedir. Bu durum Şekil 2.19 de yayımlanan, 1/1.800.000 ölçeğinde hazırlanmış olan deprem bölgeleri haritası ile tezat teşkil etmektedir. Bu haritada genel eğilim, kıyıya paralel olarak bir bölgeleme yapmak yerinde Marmara Denizin de olduğu varsayılan fay hattına paralel bir bölgeleme yapmaktır. Yakın zaman içerisinde yapılan bu iki çalışma göstermektedir ki, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı’nın 1996 tarihinde yayınladığı bu deprem haritasının yeniden gözden geçirilmesi ve revize edilmesi şarttır.



Şekil 2.17 Kandillinin çalışmasında, senaryo depreminde kullanılan ana fay hattı. (B.Ü Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, 2002)



Şekil 2.18 Zemine bağlı deterministik şiddet dağılımı (B.Ü Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, 2002)



Şekil 2.19 İstanbul İli'nin deprem haritası (Afet İşler Genel Müdürlüğü, 1996)

## 2.5 Sonuçlar

Yerel zemin koşullarının deprem hareketi altındaki davranışının modellenmesi ve bu modelleme sonucunda elde edilen parametrelerin alt b6lgeler bazında ortaya konulması, mikrob6lgeleme çalışmaları ile m6mk6n olmaktadır. Geoteknik m6hendisliğinde mikrob6lgeleme çalışmaları 6 olay için yapılmaktadır. Bunlar; sismik zemin b6y6tmesi, şev stabilitesi ve sıvılaşma potansiyeline g6re yapılan mikrob6lgeleme çalışmalarıdır. Her 6 çalışmada da izlenen yol genelden detaya doğru giden 6 aşamalı bir yoldur. Sismik b6y6tme çalışmalarında birinci aşamada, ilk olarak b6lgenin sismik 6zelliklerini g6steren haritalar toplanır (jeoloji haritası, fay haritası.vs), bu haritalara ilave olarak, incelenecek b6lgede farklı kurumlar tarafından, daha 6nceden yapılmış sondaj çalışmaları verilerine ulaşılmaya çalışılır. İkinici aşamada ise, yerel zemin koşullarını daha detaylı tanımlayabilmek amacı ile ayrıntılı geoteknik incelemeler yapılır. Laboratuvar ve arazi deneyleri ile zeminlerin dinamik 6zelliklerinin belirlenmesi amaçlanır. Arazi deneyleri kapsamında yapılan çalışmalar, arazi penetrasyon deneyleri, kuyu içi sismik deneyler ve mikrotremor deneyleridir. Bu deneylerin en 6nemli amacı ise zemin tabakalarının kayma dalgası hızını doğru tespit edebilmektir. Dinamik analiz çalışmalarında zemin profillerinin tanımlanmasında kullanılan kayma dalgası hızı, kuyu içi sismik deneyler yardımı ile yerinde 6l6lebileceği gibi, penetrasyon deneylerinden korelasyonlar yardımı ile de bulunabilir. Mikrotremor 6l6mleri ise zeminlerin periyot ve b6y6tme 6zelliklerinin b6lgedeki değişiminin belirlenmesi için kullanılıp, 6l6m sonuçlarının değerlendirilmesi genellikle Nakamura (1989) metodu ile yapılır. 66nc6 aşamada yapılan çalışmaların amacı ise, ikinci aşama çalışmalarında belirlenen zeminlerin dinamik 6zelliklerini kullanarak, zeminlerin dinamik davranışının 1, 2 ve 3 boyutlu olarak analiz edilmesine olanak sağlar. Dinamik davranış analizi için bir çok program mevcut olup bu programlardan eşdeğer lineer analiz y6ntemini kullanıp, bir boyutlu analiz yapan programlar daha çok kullanılmaktadır. Bu programların en 6nemlileri SHAKE programı ve bu programdan geliştirilerek Excel ortamında alışan EERA programıdır.

6 aşama halinde y6r6t6len bu mikrob6lgeleme çalışmalarının değerlendirmesinde, bir çok teknik kullanılmakla beraber, son yıllarda GIS (Coğrafik Bilgi Sistemleri) kullanılarak yapılan değerlendirmeler 6n plana çıkmaktadır. Coğrafik bilgi sistemleri coğrafik bazlı verinin modellenmesinde, sorgulanmasında ve sunumunda diğerlerine g6re çok 6st6n yeteneklere sahiptir. Bundan dolayı da bir sonraki b6l6mde GIS tekniği hakkında bilgiler verilecektir.



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

#### 3.1 Giriş

Bir mikrobölgeleme çalışması sonucunda bölgenin yerel zemin koşullarını ifade eden çeşitli parametreler elde edilmektedir. Bu parametrelerin bölgedeki değişiminin gösterilmesi ve bu parametrelere göre elde edilen veri tabakalarının birleştirilerek aralarındaki ilişkilerin anlaşılabilmesi için Coğrafik Bilgi Sistemleri-CBS (Geographical Information System, GIS ) kullanılmaktadır.

Coğrafik Bilgi Sistemleri (GIS)'nin genel bir tanımını yapmak gerekirse; dünya üzerinde var olan nesnelere ve olayları, analiz, işleme ve haritalama için kullanılan bilgisayar tabanlı bir sistemdir. GIS teknolojisi, haritalama sayesinde insanlık yararına sorgulama amaçlı veri tabanlarını ve istatistiksel analizi kullanarak, bilginin tasnifini sağlar. GIS, nesnelere ve olayları anlatmakta, sonuçları tahmin etmekte ve stratejik planlamada öne çıkmaktadır. Bu özellikleri sayesinde diğer enformasyon sistemlerinin önüne geçerek önemini, ihtiyacını ve değerini göstermiştir.

#### 3.2 GIS'in Tanımı

Coğrafi bilgi sistemleri (CBS, GIS), uzaysal verilerin toplandığı, istenen bilgiye ulaşılabilen, uzaysal bilgiyi görüntüleyebilen, grafik ve nitelik bilgileri beraberce ve eş zamanlı ilişkisel olarak kullanan, farklı bilgi kaynaklarından gelen verileri entegre ederek yönetim, planlama ve analiz problemlerinin çözümüne katkıda bulunan, bilgi alış verişinde standardizasyonu, harita ve tabloların kombinasyonunu sağlayan bilgisayar destekli sistemlerdir. GIS'in en temel bileşenleri, donanım, yazılım, ve organizasyon-personeldir. Şekil 3.1 de, GIS'i oluşturan unsurların şematize edilmiş durumu görülmektedir. Bilgisayar destekli tasarım ve veri tabanı sistemlerinin giderek daha fazla kullanılmaya başlanması, kullanıcıların kendisini iki değişik konuda geliştirmesini zorunlu kılmıştır. Kullanıcılar, giderek büyüyen veri tabanlarını nasıl idare edecektir ve çizim, plan, harita, tablo, uydu görüntüsü, ölçüm-araştırma sonuçları ve istatistiksel bilgi gibi verileri iş akışına nasıl uygulayacaktır. Bu durum bilgi yönetimi olarak tanımlanmaktadır ve bu tür gereksinimler üzerinde odaklanmış ayrı bir altyapı gereklidir. Sorunun bir bölümü veri tabanı yönetimi için özel tasarlanmış yazılımlar aracılığı ile çözümlenebilmektedir. Sorunun tamamının çözümlenmesinde kullanılan aletler arasında mevcut kullanıcı verilerini girdi olarak kabul eden ve bu verileri işleyip ihtiyaç duyulan harita, grafik ve tablo gibi sonuçlar üreten, karar vermede etkin olan donanım ve

yazılımlara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu araç, Coğrafi Bilgi Sistemleri'dir.



Şekil 3.1 GIS'in temel bileşenleri

Teknoloji Coğrafi Bilgi Sistemlerinin (GIS) bir yandan teknik olarak gelişmesine diğer yandan da değişik disiplinlerde kullanımının yaygınlaşmasına neden olmaktadır. GIS tanımında genel olarak iki yaklaşım vardır: Teknolojik açıdan GIS tanımı, gerçek dünya konumsal verisini toplayan, depolayan, işleyen, dönüştüren ve gösteren oldukça güçlü araçlar bütünü olarak yapılmaktadır. Kuramsal/Kurumsal açıdan ise GIS, konumsal verinin etkileşimi ile karar destekleme sistemidir. Her iki tanımın birleştirilmesinden elde edilen GIS tanımı ise, bağlı bulunduğu kurumun ihtiyaçlarına göre konumsal verinin toplanması, depolanması, işlenmesi ve gösterimini yapan, karar destekleme işlevi olan, sayısal bir bilgi sistemi biçiminde yapılabilir. Her bir kurum kendi işlevlerine bağlı olarak bir GIS organizasyonu yapar. Amacı ne olursa olsun GIS'de;

- veri girişi ve kodlama (sayısallaştırma, veri uygunluğu ve veri yapısı),
- veri işleme (veri yapısı ve geometrik dönüşümler, geliştirme ve sınıflandırma)
- verinin yeniden işlenmesi (seçim, konumsal ve istatistiksel analiz)
- verinin sunumu (genellikle grafik sunum),
- bütünleştirilmiş verinin yönetimi

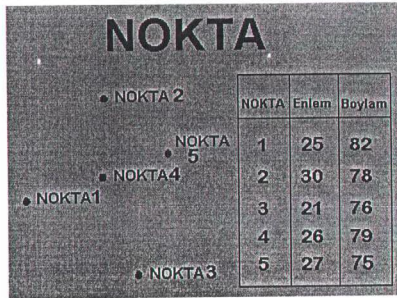
işlemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Konumla ilişkili veri geometrik karakterlidir. GIS veya sayısal görüntü işleme sistemlerinin ana çıkış biçimleri ekran haritaları veya basılı (analog) haritalardır. Görsel olarak desteklenen bir sistem ile isteyen herkes harita yapma konusunda özgürdür. Ancak, GIS projelerinin çoğunluğu veri girişi aşamasında iyi planlanmış ve doğru haritalara ihtiyaç duyarlar. Sonuçlarının sunumunda ise iyi tasarlanmış haritalar önem kazanır.

### 3.3 GIS Çeşitleri

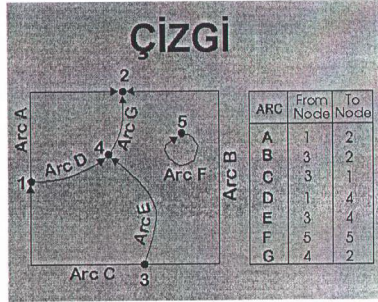
GIS'leri sahip oldukları etkin veri tabanlarına ve yapılarına göre iki ana grupta altında değerlendirilir. Bu gruplar;

1. Vektör tabanlı GIS'ler,
2. Raster tabanlı GIS'ler.

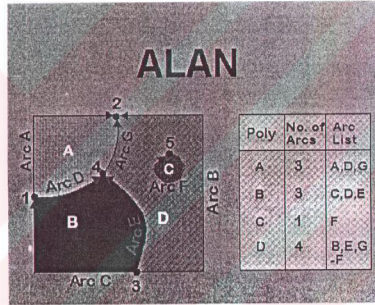
Vektör Tabanlı GIS'ler; GIS'lerde vektör olarak tanımlanan veri, herhangi bir koordinat sisteminde nokta, çizgi ve alanlardan oluşan veridir (Şekil 3.2, 3.3 ve 3.4.). Vektör olarak ele alınan gösterimde ve depolamada başlangıç ve bitiş noktaları ile tanımlı olan ve devamlılık gösteren çizgiler kullanılır (Şekil 3.5). Vektörler, çalışma ortamını nokta, çizgi ve alan gibi topolojik özellikler takımına böler. Çizgilerin başlangıç ve bitiş noktalarının konumu, verinin topolojisini gösteren vektörleri tanımlar. Vektör GIS'ler verilerin yapısının gösterimini gerçeğe en yakın yapar, veri yapısı komplekstir, grafik yapısı hassas ve doğrudur, grafik ve niteliklerin güncellenmesi ve bilgiye erişimi oldukça kolaydır. Diğer taraftan veri yapısının karmaşık olması, vektör poligonları ile raster poligonların karşılaştırılmasında güçlüklerin çıkması, renkli tarama ve çizim işlemleriyle özel yazılım ve donanım gerektirdiğinden teknolojisinin pahalı olması dezavantaj oluşturmaktadır.



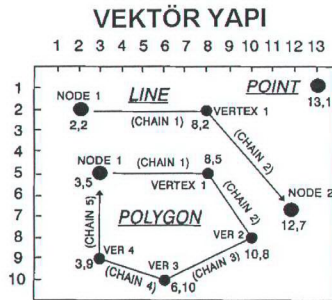
Şekil 3.2 Nokta veri



Şekil 3.3 Çizgi veri



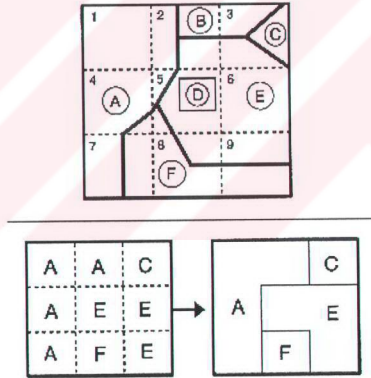
Şekil 3.4 Alan verisi



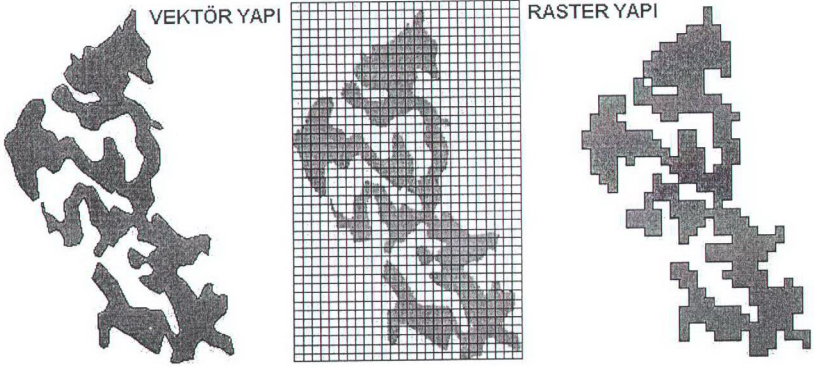
Şekil 3.5 Vektör veri yapısının gösterimi

Raster Tabanlı GIS'ler: GIS'lerde raster olarak tanımlanan veri, belirli sayısal, harf veya renk olarak değerleri olan hücrelerin (piksel) bir araya gelmesiyle oluşan görsel bilgiyi kapsamaktadır (Şekil 3.6). Hücre, noktalandırılır. Hücre içinde kalan her noktanın kod değeri aynıdır. Rasterde çalışma alanı sıralı olarak tanımlanmış düzenli hücreler takımına bölünür. Her türlü topoloji bu hücrelerle tanımlanır. Vektöre nazaran veri yapısı basittir, haritalanmış veri ile uzaktan algılama ile elde edilen verinin çıkarılması kolaydır. Boyutsal analiz imkanı daha fazladır ve teknolojisini ucuzdur. Diğer taraftan, veri yapısı çok hacimlidir. Veri hacmini küçültmek için büyük hücre kullanımı (çözünürlüğün düşürülmesi) bilgi kayıplarına neden olur. Harita olarak gösterimi hoş değildir. Projeksiyon dönüşümü güçtür. Her ne kadar Şekil 3.7 de gözüktüğü gibi, GIS raster ve vektör olarak ayrılırsa da, bu durum hakim özellikler olarak ortaya çıkar. Oysa raster bazlı GIS'de birçok vektör çalışması yapılırken, vektör bazlı, GIS'de de raster verilerin işlenmesi mümkündür.

### RASTER YAPI



Şekil 3.6 Raster veri yapısının gösterimi



Şekil 3.7 Vektör ve Raster veri yapısının karşılaştırılması

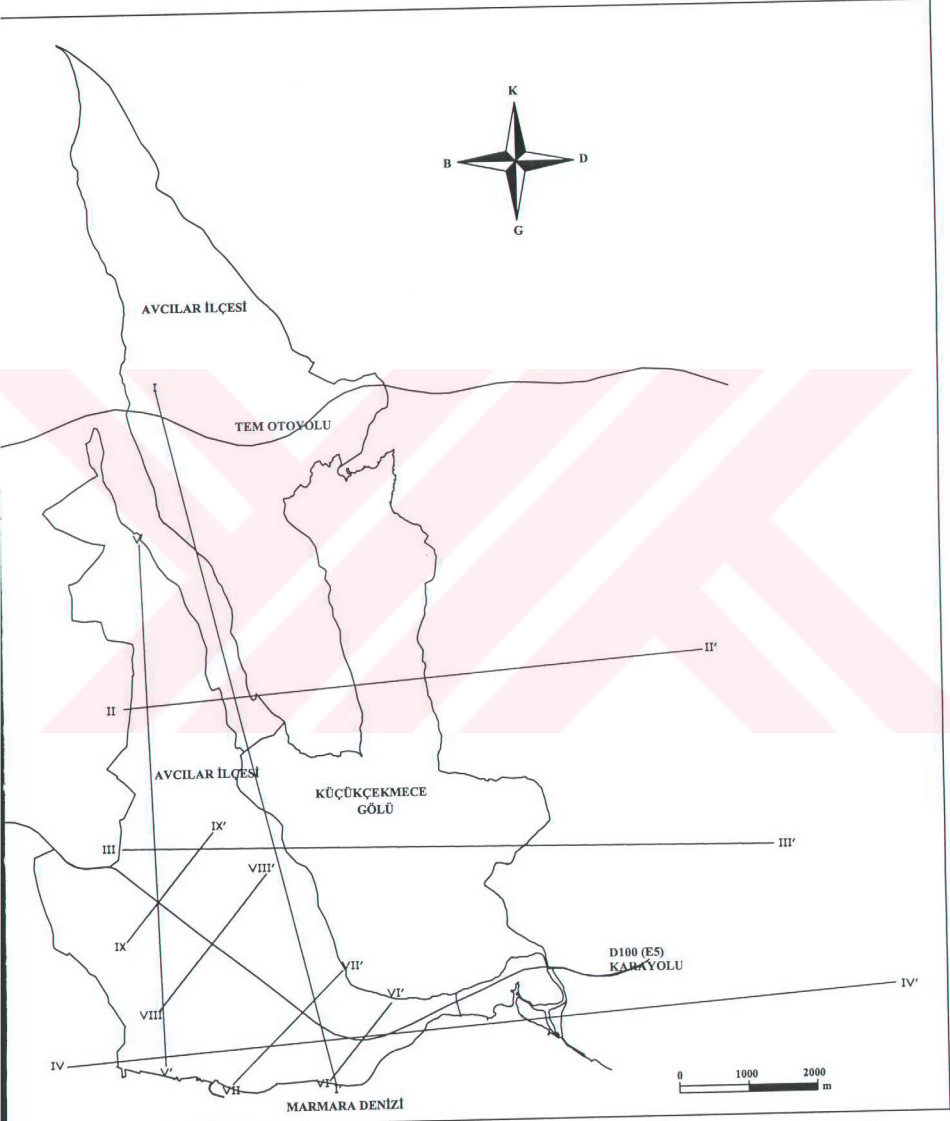
GIS'in sahip olduğu üstün özellikler, bu tez kapsamında yapılan mikrobölgeleme çalışmalarında bu tekniğin seçilmesine neden olmuştur. Bu çalışmada, GIS'in sahip olduğu matematiksel, istatistiksel ve coğrafik araçlar kullanılarak, yerel zemin koşullarına ait parametrelerin bölgedeki değişiminin uygun bir yüzey modeli ile gösterilmesi amaçlanmaktadır.

## 4. BİRİNCİ AŞAMA MİKROBÖLGELEME YÖNTEMLERİ KAPSAMINDA AVCIAR İLÇESİ'NİN SİSMİK ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

### 4.1 Giriş

Birinci aşama bölgeleme çalışması, inceleme alanının sismik özelliklerini belirlenmesi ile başlamaktadır. Sismik özelliklerin belirlenmesi kapsamında yapılan çalışmalar ise bölgenin mevcut tektonik, sismolojik ve jeolojik özelliklerinin araştırılmasıdır. Her ne kadar bu tez kapsamında yapılan mikrobölgeleme çalışmasında ikinci ve üçüncü aşama bölgeleme yöntemleri kullanılsa da, 17 Ağustos 1999 depreminde, merkez üssünden uzak olmasına rağmen Avcılar İlçesi'nde can ve mal kaybına yol açan şiddetli yer hareketlerinin kaydedilmesi, birinci aşama bölgeleme çalışmaları kapsamında özellikle Avcılar İlçesi'nin jeolojisi üzerinde daha detaylı bir çalışma yapılması gereğini ortaya koymuştur.

Zeminlerin mühendislik amaçlı olarak yerindeki özellikleri arazi deneyleri ile araştırılırken Borchert ve diğ.(1991), Power (1986), Finn (1991), Ansal ve diğ. (1994) ve Anderson ve diğ.(1996) tarafından vurgulanan, deprem hareketi altında ilk 25-30 m içindeki zeminlerin mühendislik özelliklerinin yapı davranışını daha baskın olarak kontrol ettiği'dir. Bu tez kapsamında incelenen Avcılar İlçesinde dinamik analizler yapılırken bu durum göz önüne alınmakla birlikte, Avcılar İlçesi'nde tahmin edilen anakaya derinliğinin çok fazla olması, bir başka deyişle anakaya üzerindeki zemin istifin kalınlığının fazlalığı da üçüncü aşama bölgeleme çalışmaları kapsamında yapılan dinamik analizlerde, değerlendirilmesi gereken önemli bir faktör olduğu düşünülmüştür ve bundan dolayı jeoloji üzerinde daha detaylı çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalar neticesinde de Avcılar İlçesini temsil eden dokuz adet kesit çıkartılmıştır (Ek1). Çıkartılan bu kesitlerin güzergahları Şekil 4.1'de gösterilmektedir. Anakaya derinliğinin tespit edilmesinin yanında bu kesitlerden özellikle yeterli arazi deneylerinin olmadığı bölgelerin modellenmesinde faydalanılmıştır. Bu doğrultuda yapılan çalışmalara, ikinci ve üçüncü aşama bölgeleme yöntemleri kapsamında ileriki bölümde daha detaylı olarak değinilmiştir.



Şekil 4.1 Jeolojik kesitlerin güzergahları



## 4.2 Avcılar Bölgesinin Jeolojisi

Bilindiği gibi,17 Ağustos 1999 depremi sonrasında standart dışı yapılaşma yanında, zemin koşullarının da deprem hasarları açısından önemli bir faktör olduğu bir kez daha ortaya çıkmış, İstanbul'un tüm ilçelerinde imar planlarının revizyonuna esas jeolojik ve jeoteknik inceleme çalışmaları başlatılmıştır. Bu arada 1/5000 ve 1/1000 jeoloji ve mühendislik jeolojisi haritaları hazırlanmaktadır. Bu çalışmalar sırasında,literatürde kabul görmüş stratigrafik istife bağlı kalınarak yapılan haritalama çalışmalarında sıkıntılar yaşanmaktadır.Tepe düzlüklerinde sıkça mostra veren ve kil bantlı kireçtaşı-marn niteliğindeki Bakırköy formasyonunun altında yer alan yeşil killer Güngören formasyonu olarak haritalanmakta, ancak bu killerin hem fiziksel, hem de mühendislik özellikleri açısından başka yerlerdeki Gürpınar killeri ile çok benzer olabildiği görülmektedir. Öte yandan, koyu gri-siyah, çok yüksek plastisiteli killere rastlandığında bunlar da Güngören formasyonu içinde farklı özellikte bir üye olarak haritalanmak zorunda kalınmaktadır. Aynı şekilde, kireçtaşlarının altındaki yeşil killer Güngören formasyonuna ait olarak tanımlanınca, bu killerin içinde rastlanan bir kum ara tabakasını Çukurçeşme formasyonu, altındaki yeşil killeri ise Gürpınar formasyonu olarak haritalama eğilimi doğmaktadır. Benzeri korelasyon güçlükleri ve tutarsızlıkları İstanbul'un Tersiyer çökellerinin yaygın olduğu batı ve güneybatı kesiminde ve bu tez kapsamında incelenen Avcılar İlçesi'nde de rastlanmaktadır (Yıldırım, M.,2002). Avcılar İlçesi'nde çeşitli kurumlar tarafında yapılan çalışmalarda stratigrafik istife bağlı kalma zorunluluğu hissedilerek, Avcılar İlçesi'nde hasarın yoğun olarak gözleendiği E-5 karayolu civarında ve güneyinde hakim litolojilerin Bakırköy, Güngören ve Çukurçeşme formasyonları olduğu belirtilmiştir. Ancak JICA'nın " İstanbul İli Sismik Mikro-Bölgeleme Dahil Afet Önleme/Azaltma Temel Planı Çalışması " kapsamında Avcılar'da yaptırdığı 5 adet derin sondajın ve İBB Zemin Deprem Müdürlüğü'nün JICA' nın çalışması kapsamında derlediği çeşitli kuruluşlar tarafından yapılan 87 adet sığ sondajın verilerinin incelenmesi ve bu veriler ışığında çizilen dokuz adet kesitin incelenmesi neticesinde, Avcılar İlçesi'nde hasarın yoğun olarak gözleendiği güney kesimine Bakırköy ve Gürpınar formasyonlarının hakim olduğu görülmüştür. Güngören ve Çukurçeşme formasyonlarının ise genel kanaatin aksine çok dar bir alanda yüzleendiği görülmektedir.

### 4.2.1 Genel Jeoloji

İstanbul bölgesi ve çevresinde görünür temelinde Paleozoyik yaşlı formasyonlar yer almaktadır.Bu Paleozoyik yaşlı formasyonlar yakından incelendiklerinde, bunların kumtaşı, silttaşı ve kilaşlarından oluştuıkları gözlenmektedir. Bu litolojiler çoğunlukla İstanbul

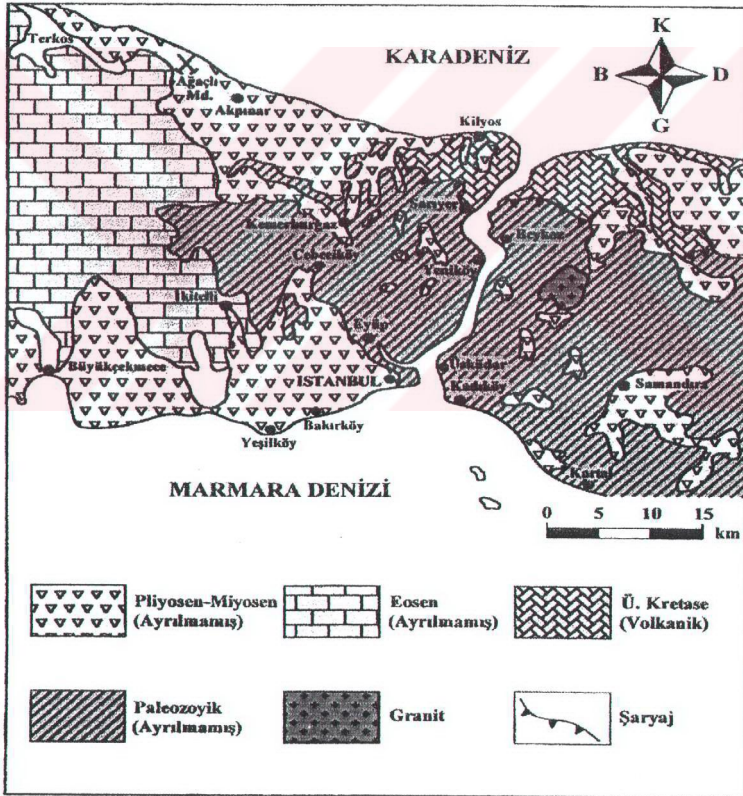
Boğazı'nın doğusunu oluşturan Kocaeli Yarımadası'nın büyük bir kısmında mostra vermektedir. İstanbul Kocaeli Yarımadası'ndaki Paleozoyik, Ordoviziyen dönemiyle başlamakta ve "Arkoz Serisi" olarak adlandırılan kırıntılı kayalardan oluşmaktadır. İstif üstü doğru Silüryen yaşlı alacalı şeyl ve grovaklardan; Devoniyen, Kireçtaşı ve şeylerden; Karbonifer dönemi ise çörtlerden, grovaklardan ve silttaşlarından (Trakya Formasyonu) meydana gelmişlerdir. Arkoz Serisi, İstanbul Boğazı Anadolu Yakası'nda yer yer granit-granodiyoritik kayalar tarafından kesilmektedir.

İstanbul'un doğusuna, İzmit'e doğru, Paleozoyik istifini, kırmızı renkli bir konglomera-kumtaşı serisiyle başlayan Triyas yaşlı formasyonlar diskordan örtmektedir. Triyas üzerine ise Üst Kretase yaşlı açılı uyumsuzlukla transgresif olarak konglomera ve kireçtaşları yada volkanitleri gelmektedir. 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 oluşmuşlar ve bu bölgede geniş mostra yayımlıdır. Edirne -İstanbul arasında yer alan bu sedimentlerin Trakya Orta Bölgesi'nde giderek derinleşen ortamda çökemiş fliş niteliğindeki eşdeğer litolojilerinin kalınlıkları 4000 metreyi aşmaktadır. Trakya Havzası'nın Orta Eosen döneminde çökelmeye başlayan sedimentleri birbirini izleyen dönemlerde transgresyon ile oluşmuş ve regresyonla sonlanarak gelişmişlerdir. Çökelleme, önce sığ deniz tortularıyla başlamış, bunu derinleşen deniz tortuları izlemiş daha sonra tekrar sığ deniz ve karasal tortularla sonuçlanmıştır. Bunun sonucu, ya kireçtaşı ve sığ deniz kırıntıları, ya da mikalı kum ve killerden oluşan tortular çökemişlerdir. Oligo-Miyosen dönemi yeni transgresif çökelleri ise, Eosen yaşlı formasyonlar üzerinde diskordan olarak gelişen ve üstü doğru karasal-gösel ortamı temsil eden, şelf ortamında çökemiş oluşuklardır. Pliyosen dönemi ise, daha yaşlı çökelleri örten akarsu çökelleriyle temsil edilmektedir. Tüm bu formasyonlar dere yataklarında güncel alüvyal çökeller tarafından diskordan olarak örtülmektedir. İstanbul ve çevresinin genel jeoloji haritası ve Tersiyer çökellerinin stratigrafik sütun kesiti sırasıyla Şekil 4.2 ve 4.3'de gösterilmiştir (Yıldırım, M.,2002)

#### 4.2.2 İnceleme Alanı Jeolojisi

İnceleme alanında yüzeylenen en yaşlı litostrigrafik birim Eosen yaşlı Kırklareli Formasyonudur. Trakya Formasyonu üzerinde diskordan duran Kırklareli Formasyonu kireçtaşı ve killi kireçtaşlarından oluşmaktadır ve inceleme alanının kuzeyinde mostra vermektedir. Eosen yaşlı Kırklareli Formasyonunu Kçt) üzerinde ise, Oligo-Miyosen yaşlı

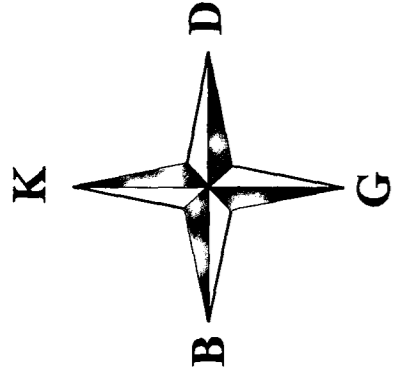
Gürpınar formasyonu mevcuttur. Yeşil renkli, ince-orta ve yataya yakın katmanlı aşırı konsolide killerden oluşan Gürpınar formasyonunun üst seviyeleri ise hakim litolojisi kum olan Çukurçeşme formasyonu çökellerine normal geçiş gösterir. Gri renkli ve sıkı tutturulmuş bu çökeller yer yer çakıl cepleri ile gri renkli kil ara bantlarında içermektedir. Çukurçeşme formasyonunun üzerinde ise sırası ile orta katı - katı kıvamda aşırı konsolide killerden oluşan Güngören formasyonu ve kil-kum ara bantlı, maktra'lı killi kireçtaşı-marn ardalanmalarından oluşan Bakırköy Formasyonu mevcuttur. Bu birimler ise özellikle akarsu yataklarını şekillendiren ve diskordansla tüm yaşlı birimleri üstleyen en genç jeolojik birim görünümündeki Kuvaterner yaşlı alüvyon ve güncel dolgu malzemesi tarafından örtülmüştür. İnceleme alanının jeoloji haritası Şekil 4.4'de verilmiştir.



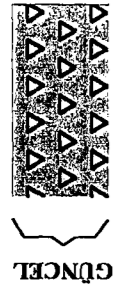
Şekil 4.2 İstanbul ve çevresinin genel jeoloji haritası (Yıldırım., 2002)

| S E N O Z O Y İ K |            | ÜST SİSTEM                | S İ S T E M   |  | LİTOLOJİ  | AÇIKLAMALAR   |
|-------------------|------------|---------------------------|---|--|---|---|
| PALEZOYİK         | KARBONİFER | KUVA-<br>TERNER           | HOLOSEN   | SERİ   |   |   |
| T E R S İ Y E R   |            | P L İ Y O S E N           |   | FORMASYON  | 5 - 20  | ÇAKIL, KUM, SİLT, KİL (ALÜVYON)<br>— Uyumsuzluk —   |
|                   |            | S A M A N D İ R A         |   | KALINLIK (m)   | 10 - 50   | SİLT Lİ KİL : Kızıl renkli, kumlu, yuvarlak - yarı yuvarlak kuvarsit çakıllı, çok katı - sert, gevşek tutturulmuş<br>— Uyumsuzluk — |
| E O S E N         |            | O L İ G O - M İ Y O S E N |   | G Ü R P İ N A R G R U B U<br>ÇUKUR: GÜN-<br>GÖRME<br>GÖREN<br>BAKIRKÖY | 20 - 30   | KİREÇTAŞI - MARN : Beyaz krem renkli, tebeşirimsi, poroz, ince - orta katmanlı, Maktra'lı, kil / kum arakatmanlı                    |
|                   |            | 10 - 30                   | KİL: Koyu gri - boz renkli, karbonatsız veya az karbonatlı, siltli, bitki artıklı, yüksek plastisiteli orta kat - katı, merceksiz   |  |   |   |
|                   |            | 20 - 30                   | KUM: Sarımsı gri, açık kahverengi, çakıllı ve siltli, kil arakatmanlı, tutturulmamış veya çok gevşek tutturulmuş, çapraz katmanlı   |  |   |   |
|                   |            | > 200                     | KİL / KİLTAŞI - KUM ARDALANMASI :<br>Kil : Grimsi yeşil, aşırı konsolide, tüf seviyeli, fissürlü yer yer karbonatlı / kireçtaşı bantlı, kömür katkılı<br>Kiltası : Gri - yeşil, ince - orta katmanlı<br>Kum : Açık gri - sarımsı krem renkli, kuvars-kireçtaşı çakıl ve bloklu<br>ÇAKILTAŞI : Grimsi kahverengi, kumlu, killi, kireçtaşı çakıllı, kömür arakatmanlı<br>— Uyumsuzluk — |  |   |   |
| KIRKLARELİ        |            | > 250                     |   |  | MARN - KİREÇTAŞI: Beyaz - sarımsı bej - gri renkli, orta-kalın katmanlı, karbonatlı kil arakatmanlı, fosilli                                      |   |
|                   |            |                           |   |  | KARBONATLI KUMTAŞI : Krem renkli, ince taneli, sert, som yapılı<br>RESİFAL KİREÇTAŞI : Beyaz - bej renkli, sert, som yapılı, karstik, bol fosilli |   |
| T R A K Y A       |            | > 1000                    |   |  | ÇAKILTAŞI - MARN : Grimsi bej renkli, bol grovak çakıllı, kum - silt - kil ve kömür arakatmanlı<br>— Uyumsuzluk —                                 |   |
|                   |            |                           |   |  | KUMTAŞI (Grovak) - SİLT TAŞI - KİL TAŞI:<br>Mavimsi gri - kahverengi, kireçtaşı mercekli<br>( Ölçeksiz )  |   |

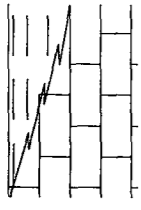
Şekil 4.3 İstanbul ve yakın çevresi Tersiyer çökellerinin stratigrafik sütun kesiti (Yıldırım., 2002)



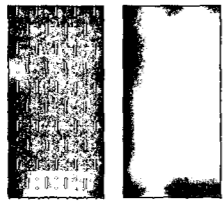
### LEJAND



ALÜVYON

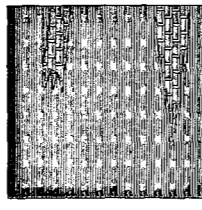


BAKIRKÖY  
FORMASYONU  
(KIREÇTAŞI-MARN)

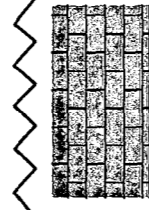


GÜNGÖREN  
FORMASYONU  
(KİL)

ÇUKURÇEŞME  
FORMASYONU  
(KUM)



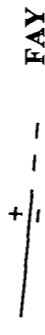
GÜRPINAR  
FORMASYONU  
(KİL-KUM)



Diskordans Hattı  
KIRKLARELİ  
FORMASYONU  
(KIREÇTAŞI)



ENİNE KESİT  
DOĞRULTUSU



FAY



(YILDIRIM, 2003)

MARMARA DENİZİ



Şekil 4.4 İnceleme Alanı (Avcılar İlçesi) mühendislik jeolojisi haritası

#### 4.2.2.1 Kırklareli Formasyonu

İnceleme alanında görünür temelde yüzeyleyen en yaşlı birim Kırklareli Formasyonu kireçtaşlarıdır. İnceleme alanının kuzeyinde Tahtakale mahallesinde yüzeylenen Kırklareli Formasyonun istifi, üste doğru kirli beyaz – krem renkli, karstik, yatay – yataya yakın ince – orta katmanlı, sert, orta – yüksek dayanımlı karbonatlı kumtaşı, kavkılı killi kireçtaşı ve resifal kireçtaşı ile devam etmekte, en üst seviyelerde ise oldukça düşük dayanımlı, kil – killi kum ara tabakalı, beyaz – krem killi kireçtaşı ve marn ardalanması ile son bulmaktadır. İstifin kalınlığı inceleme alanında yer yer 50m’yi aşmakta, batıya doğru da giderek artmaktadır. İncelemelere ve fosil bulgularına göre, Kırklareli formasyonu, Orta Eosen’den (Dizer, 1951) başlayıp, en üst seviyelerde marnlı düzeylerde yer yer *Congeria* ve balıklı seviyeleri içererek (Sönmez, 1964), Alt Oligosen dönemi sonunda da gölsel-karasal ortama geçen, genellikle sığ ortamda çökelmiş bir resif-killi kireçtaşı istifidir.

Kırklareli formasyonunun jeomekanik özelliklerine kısaca değinmek gerekirse; formasyonu oluşturan kireçtaşlarından değişik derinliklerden alınan (Bahçeşehir) 150 adet karot numunesi üzerinde (YTÜ-Geoteknik ABD Laboratuvarı) yapılan deney sonuçlarına göre taşların tabii birim hacim ağırlığı,  $\gamma_n = 1.90 - 2.50 \text{ gr/cm}^3$  arasında, dane birim hacim ağırlığı,  $\gamma_s = 2.45 - 2.75 \text{ gr/cm}^3$  arasında değişmektedir. La Chatelier Flask ile belirlenen dane birim hacim ağırlığı ortalaması,  $\gamma_s = 2.50 \text{ gr/cm}^3$  tür (Fevziye v.d., 1994). Bu kayaların porozitesi yaklaşık,  $n = \% 20$  dir. Killi numunelerde yapılan aşınma deneyinde (Los Angeles) ise (Çatalca-Sazlıbosna) 100 tur sonraki ağırlık kaybı  $\% 16.6$ , 500 tur sonraki ağırlık kaybı  $\% 57.4$  tür (Erdoğan, 1993). Agrega olarak kullanılan resifal kireçtaşlarında ise 100 tur sonraki ağırlık kaybı  $\% 7.36$ , 500 tur sonraki ağırlık kaybı  $\% 37.95$  tir. Nokta Yükleme Deneyi ile tahmin edilen Serbest Basınç Dirençleri killi numunelerde azalarak  $10 \text{ kg/cm}^2$  ye kadar düşerken, kil içermeyen resifal kireçtaşlarında ise (monolit)  $600 \text{ kg/cm}^2$  gibi değerler aldığı gözlenmiştir. Genel olarak ortalama değerleri ise, formasyonun üst seviyelerini oluşturan killi kireçtaşı düzeylerinde tek eksenli basınç dirençleri  $\sigma_B = 25-100 \text{ kg/cm}^2$ , alt seviyelerinde kil oranı içermeyen düzeyler,  $\sigma_B = 100-250 \text{ kg/cm}^2$ , resifal kireçtaşı düzeyleri için  $\sigma_{Bort} = 350 \text{ kg/cm}^2$  civarında olup, “düşük-orta dirençli kaya” grubuna girmektedir. Kırklareli formasyonu kireçtaşlarından alınan karotlarda, toplam karot yüzdesinin (TCR) ve kaya kalite oranının (RQD) değişim aralıkları ve ortalama değerlerinin  $\text{TCR} = \%17-\%100$ ,  $(\text{TCR})_{ort.} = \%58$ ,  $\text{RQD} = 0-\%80$ ,  $(\text{RQD})_{ort.} = \% 24$  olduğu gözlenmektedir. Yapılan suya dayanıklılık deneylerinde (Slake Durability Test) Slake Durability Index,  $I_s = \% 48.9$  bulunmuştur (Yıldırım, 2000).

#### 4.2.2.2 Gürpınar Formasyonu

Eosen yaşlı Kırklareli Formasyonu'nun üzerinde uyumsuz olarak oturan Oligo – Miyosen yaşlı Gürpınar Formasyonu, inceleme alanının'da E5 Karayolu ile Marmara Denizi arasında kalan Ambarlı, Denizköşkler ve Gümüşpala mahalleleri ile Küçükçekme Gölü'nün kuzey doğusun'da yer alan Firüzköy mahallesinde yoğun olarak gözlenmektedir.

Gürpınar formasyonunun 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 dağılan kıltaşı ve silttaşları yer almaktadır. İstif daha üstte ise aşırı konsolide yeşil, kahverengi, kahverengimsi yeşil renkli kolay dağılan laminalı, ince orta tabakalı, fissürlü killerden oluşup, arada silt, çapraz tabakalı mercekli kum ve yer yer ince marn kömür bantları içerir. İnceleme alanı içinde yer yer 200 m kalınlığa ulaşan Gürpınar formasyonu kahve - yeşil renkli aşırı konsolide kil özelliğinde olup, plastik – yarı plastik özellik taşımaktadır.

İndeks özellikleri Çizelge 4.1'de verilen Gürpınar formasyonu Casagrande sınıflamasına göre çoğunlukla yüksek plastisiteli kil (CH) sınıfına girmektedir. Aşırı konsolide kil özelliği taşıdığı bilinen Gürpınar formasyonu, SPT darbe sayılarına göre "Katı-Çok Katı-Sert" bir zemin niteliğindedir. İçinde kalınlığı yer yer 20m'yi aşan merccekler halinde bulunan kum ve çakıl seviyelerinin SPT darbe sayısı  $N= 45$  civarındadır. 20m derinlikten sonraki killi seviyelerin çok sert kıvamda ve  $N>50$  olduğu görülmüştür. Bu değer, yüzeye yakın seviyelerde ise  $N= 30$  civarındadır. Ödometre deneyi ile elde edilen sıkışma indeksi  $C_c$  değerinin  $C_c = 0.15$  mertebesinde olduğu görülmüştür. Bu killerde tesbit edilen serbest şişme= $\%2.83$ - $\%5.66$ , şişme basıncı  $2.80 - 4.30 \text{ kg/cm}^2$  arasındadır. İstif kum merccekleri haricinde yeraltı suyu içermeyip, permeabilite katsayısı ortalama  $k= 1 \times 10^{-7}$  ile  $k= 1 \times 10^{-8} \text{ cm/sn}$  arasında değişmektedir. Serbest basınç dayanımı genellikle  $q_u= 1.7 - 4.00 \text{ kg/cm}^2$  değerleri arasındadır. Kil-kum araldanmaları, zaman zaman değişik yörelerde kıltaşı-kumtaşı gibi zayıf kaya niteliğine dönüşebilmektedir (Yıldırım, 2000).

Çizelge 4.1 Gürpınar formasyonu'nun indeks özellikleri (Yıldırım, 2002)

| İndeks Özellikleri (Kil)                  |                                |
|---|--------------------------------|
| Doğal Birim Hacim Ağırlığı ( $\gamma_n$ ) | 1.95 - 2.05 gr/cm <sup>3</sup> |
| Dane Birim Hacim Ağırlığı( $\gamma_s$ )   | 2.62 - 2.72 gr/cm <sup>3</sup> |
| Kuru Birim Hacim Ağırlığı( $\gamma_k$ )   | 1.50 - 1.70 gr/cm <sup>3</sup> |
| Doğal Su Muhtevası( $w_n$ )               | % 15 - 40                      |
| Likit Limit( $w_L$ )                      | % 40 - 100                     |
| Plastik Limit( $w_P$ )                    | % 20 - 40                      |
| Plastisite İndeksi( $I_p$ )               | % 20 - 60                      |

#### 4.2.2.3 Çukurçeşme Formasyonu

İnceleme alanında dar bir bölgede mostra veren Çukurçeşme formasyon'unun hakim litolojisi açık gri, kirli beyaz, krem renkli kumdur. Genellikle Gürpınar formasyonu üzerinde uyumlu olarak ince bantlar halinde yer alan bu formasyon, diğer Üst – Miyosen yaşlı formasyonlar olan Güngören ve Bakırköy formasyonları ile yanıl ve düşey yönde aşamalı geçiş göstermesinden dolayı birbirleri ile olan dokunakları kesin olmayıp, belli bir zon içinde değişmektedir. Bazen Çukurçeşme formasyonu litolojileri, karbonat oranı artarak doğrudan en üst seviyede yer alan Bakırköy formasyonu kireçtaşlarına geçiş gösterebilmektedir.

İndeks özellikleri Çizelge 4.22 de verilen Çukurçeşme formasyonu "Kötü derecelenmiş, siltli, killi kumlar (SM, SC) ve killi çakıl (GC)" sınıfına girmektedir. Kil-kum-çakıl oranlarına göre SPT değerleri N=20-50 arasında değişmektedir Eroskay ve Kale, 1986).

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



Çizelge 4.2 Çukurçeşme formasyonu'nun indeks özellikleri (M, Yıldırım., 2002)

| İndeks özellikleri (Kum)                  |                                |
|---|--------------------------------|
| Doğal Birim Hacim Ağırlığı ( $\gamma_n$ ) | 1.90 - 2.00 gr/cm <sup>3</sup> |
| Dane Birim Hacim Ağırlığı ( $\gamma_s$ )  | 2.63 - 2.65 gr/cm <sup>3</sup> |
| Kuru Birim Hacim Ağırlığı ( $\gamma_k$ )  | 1.50 - 1.75 gr/cm <sup>3</sup> |
| Doğal Su Muhtevası ( $w_n$ )              | % 15 - 30                      |

#### 4.2.2.4 Güngören Formasyonu

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

İstanbul ve civarının yaklaşık 50 yıldır kabul edilegelmiş stratigrafik kesiti göz önünde tutularak yapılan haritalamalarda, yanal sürekliliği varsayılan bu formasyon aranmış, dolayısıyla da, hemen her zaman, Bakırköy formasyonu kireçtaşları altında gözlemlenen ve Gürpınar formasyonuna ait olan yeşil killer, Güngören formasyonu olarak tanımlanmıştır. Son zamanlarda İstanbul'da yapılan bir çok zemin etüdü raporunda verilen genelleştirilmiş stratigrafik kesitlerde, stratigrafi değiştirilmektense, Güngören formasyonunun kalınlığının 175m'ye kadar arttırıldığı dikkat çekmektedir (Yıldırım.,2002)

Güngören formasyonu killerinin indeks özellikleri Çizelge 4.3'de verilmiştir. SPT darbe sayısı  $N= 25-30$  arasında değişen, yüksek plastisiteli ve çoğunlukla organik içerikli bu killer, su ile temasları halinde önemli şişme özelliği göstermektedirler. Ödometre deneyi ile elde edilen sıkışma indeksi  $C_c = 0.19$  olarak bulunmuştur. Tipik Güngören formasyonu (Süleymaniye formasyonu) killeri üzerinde Yıldız Teknik Üniversitesi Geoteknik Anabilim Dalı'nda yapılan laboratuvar deneylerinde de bu killerin indeks özellikleri genel olarak, doğal su muhtevası  $w_n = \% 45-60$ , likit limit  $w_L = \% 102-110$ , plastik limit  $w_p = \% 39-50$  ve plastisite indeksi  $I_p = \% 60-64$  civarındadır. Alınan numuneler üzerinde uygulanan Standart Kompaksiyon deneyi ile optimum su muhtevaları  $\% 21$  civarında tesbit edilmiştir. ASTM (1986)'ye uygun şekilde optimum su muhtevasında Standart Proktor enerjisi ile hazırlanan

numunelerde şişme basıncı  $0.8 \text{ kg/cm}^2$ ,  $0.07 \text{ kg/cm}^2$  sürşarj yükü altındaki şişme yüzdeleri ise %6 mertebelerinde ölçülmüştür. Numunelerin 200 No'lu elekten geçen kısımları (dane çapı  $<0.075 \text{ mm}$ ) %90 olarak belirlenmiştir. Genel olarak şişme özelliği gösteren bataklık ortamı ürünü Güngören formasyonu killerin bu ortalama değerleri, bu tür killerin içerdiği organik katkıların miktarına göre oldukça değişkenlik gösterebilmektedir. Yumuşamış killerde drenajsız kayma mukavemeti  $0.4 \text{ kg/cm}^2$  civarındaki bu zemin için zemin emniyet gerilmesi  $0.7 \text{ kg/cm}^2$  mertebesinde tahmin edilebilecektir.

Çizelge 4.3 Güngören formasyonu'nun indeks özellikleri (Yıldırım, 2002)

| İndeks özellikleri                       |                              |
|--|------------------------------|
| Doğal Birim Hacim Ağırlığı( $\gamma_n$ ) | 1.70 - 2.00 $\text{gr/cm}^3$ |
| Dane Birim Hacim Ağırlığı( $\gamma_s$ )  | 2.40 - 2.62 $\text{gr/cm}^3$ |
| Kuru Birim Hacim Ağırlığı( $\gamma_k$ )  | 1.20 - 1.65 $\text{gr/cm}^3$ |
| Doğal Su Muhtevası( $w_n$ )              | % 45 - 60                    |
| Likit Limit( $w_L$ )                     | % 102 - 110                  |
| Plastik Limit( $w_P$ )                   | % 39 - 50                    |
| Plastisite İndeksi( $I_p$ )              | % 60 - 64                    |

#### 4.2.2.5 Bakırköy Formasyonu

İnceleme alanının merkezi kesimindeki geniş bir bölgeyi ve Avcılar – Esenyurt arasındaki sırtı şekillendiren bu formasyon, özellikle Bakırköy ve dolayındaki tipik mostraları nedeniyle Bakırköy formasyonu olarak adlandırılmıştır. Gürpınar formasyonu üzerine geçişli olarak gelen Üst Miyosen yaşlı Bakırköy formasyonu, bölgesel olarak daha genç çökeller tarafından uyumsuzlukla örtülmekte ve en fazla 30 m kalınlık göstermektedir.

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

ardalanmalı olabilmektedir. Bu duruma, Avcılar Bölgesi'ndeki E5 Karayolu ile Marmara Denizi arasındaki yamaç, örnek olarak gösterilebilir. Daha ayrıntılı bir anlatımla, E5 Karayolu'nun katettiği tepe düzlüğünde görülen kireçtaşları, Merkez Mahallesi, Marmara Caddesi altında tekrar gözlenmektedir. Adliye binasının kuzeybatısındaki kireçtaşları da yanal olarak killere geçmektedir. Yörede aşınmaya dayanımı daha fazla olması nedeniyle yayvan tepeler oluşturan Bakirköy formasyonu'nun yanal ve düşey olarak aşırı konsolide killere geçtiği Küçükçekmece ve Cennet Mahallesi'nde de gözlemlenmiştir

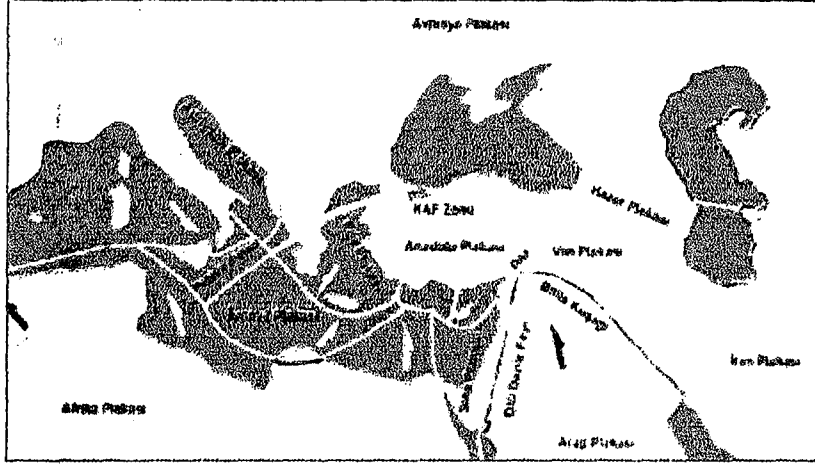
Beyazımsı krem renkli, boşluklu, kil ara katmanlı, ince-orta tabakalı bol Maktra'lı killi kireçtaşlarından oluşan istifin değişik düzeylerinden alınan kireçtaşı örneklerinde, ortalama olarak doğal birim hacim ağırlığı,  $\gamma_n = 2.00-2.40 \text{ gr/cm}^3$  ; dane birim hacim ağırlığı,  $\gamma_s =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

#### 4.2.2.6 Alüvyon

İnceleme alanı içerisinde Haramidere Vadisi ve Küçükçekmece kıyıları boyunca göle birleşen dere ağızları çevresinde ve Marmara Denizi sahil kesiminde görülmektedir. Çevre kayaların değişik boyutlardaki çakıl, kum, silt ve kil gibi ayrık malzemesinden oluşan alüvyonun kalınlığı Küçükçekmece Gölü'nün Marmara Denizi ile birleştiği deniz seviyesi kotlarına yakın kesimlerde en yüksek değerlerine (40m) ulaşmaktadır. Tüm yaşlı birimleri açılı uyumsuzlukla üstleyen Kuvaterner yaşlı bu litolojik birim sadece bitkisel toprak tarafından örtülmektedir.

### 4.3 İnceleme Alanı ve Civarının Tektonik Yapısı

Türkiye'nin tektonik yapısı üç büyük levhanın etkisi altındadır. Bunlar; Avrasya, Afrika ve Arap levhalarıdır. Anadolu'nun büyük bir kısmının yer aldığı Anadolu Levhası ise Avrasya Levhası'nın küçük bir bölümüdür. Bu levhalardan Afrika Levhası kuzeye doğru hareket eder (10mm/yıl) ve Akdeniz de Kıbrıs Yayı denilen bölgede Anadolu Levhasının altına dalar. Arap levhası ise Kızıldeniz'deki açılma nedeniyle kuzeye doğru hareket eder (25mm/yıl) ve Anadolu Levhasını sıkıştırır. Bu sıkıştırma sonucunda Bitlis Bindirme Zonu oluşmuştur. Sıkıştırma halen sürdüğü için Anadolu Levhası kuzey ve güneydeki fay hatları boyunca batıya doğru hareket eder. Anadolu Levhası'nın güney sınırını Doğu Anadolu Fayı, kuzey sınırını ise 17 Ağustos 1999 depreminin olduğu, aynı zamanda inceleme alanı ve civarının deprem tehlikesini belirleyen Kuzey Anadolu Fayı (KAF) oluşturmaktadır (Şekil 4.5).

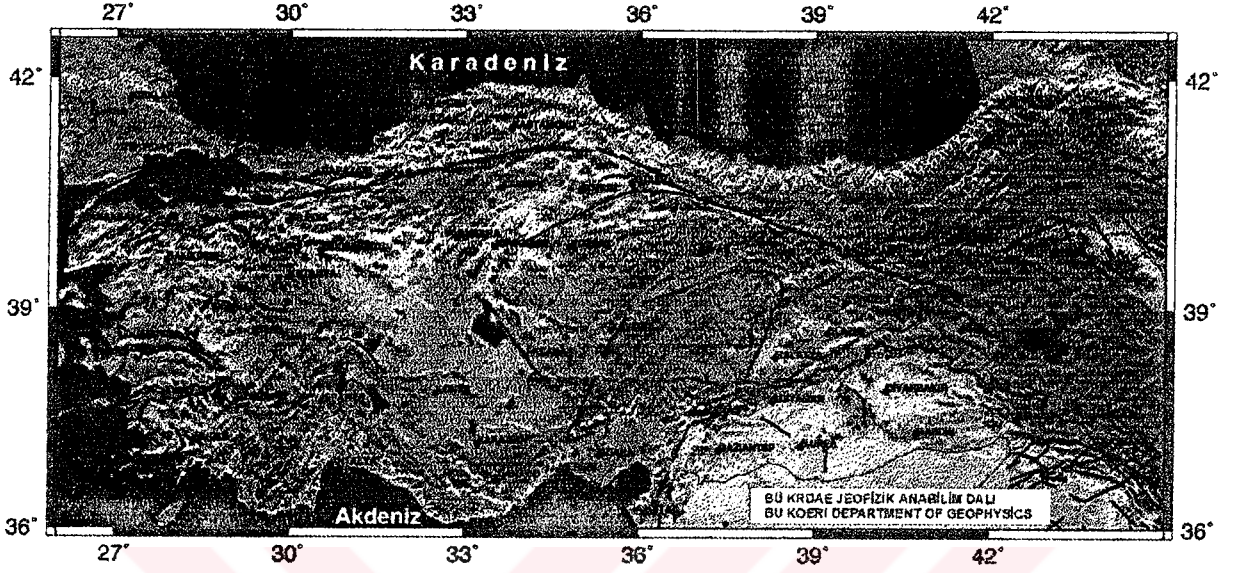


Şekil 4.5 KAF Zonu'nun oluşumu

Çok sayıda araştırmacı (Ketin, 1948; Tokay, 1973; Tatar, 1975; Sipahioğlu, 1984; Şengör et al., 1985; Barka and Gülen, 1987; Şaroğlu, 1988; Nurlu et al., 1995) tarafından incelenen Kuzey Anadolu Fayı (KAF), Türkiye'nin en önemli tektonik yapıları arasında yer almaktadır. Türkiye'de meydana gelen önemli oranda can ve mal kaybına neden olan depremlerin büyük bir kısmının bu faya bağlı olarak geliştiği gözlenmiştir. KAF ilksel olarak Paleotektonik dönemde Anadolu ve Arap plakalarının sıkışması sonucunda ortaya çıkmıştır. Neotektonik dönem ve sonrasındaki hareketlerle ortaya çıkan ve KAF'nın ilksel konumuna paralel olarak gelişen bir çok fay segmentinden oluşan kırıklar topluluğunda bu fay zonunu oluşturmuşlardır. Genel fay karakteristiği açısından sağ yönlü doğrultu atımlı fayı gösteren KAF zonu doğuda Varto yakınlarından başlayarak batıda Saroz Körfezi'ne kadar uzanmaktadır (Şekil 4.6). Neotektonik dönem ve sonrası hareketlerle açıkladığımız KAF zonu, çok geniş bir deformasyon zonuna sahip olup bu deformasyon zonunun genişliği doğuda 25 km. civarındayken batıda 80 km. ye kadar çıkmaktadır. KAF zonunun genel morfolojik özelliklerine bakıldığında; zonun kuzeyinde kalan bölgelerin güneye oranla topoğrafik açıdan daha yüksekte kaldığı, doğrultu atımlı fay zonlarının karakteristik özelliklerinden olan 'S' biçimli dere yataklarının oluştuğu derelerin ötelendiği, çok sayıda kütleli hareketlerin ve su kaynaklarının ortaya çıktığı gözlenmektedir. Bu fay zonu üzerinde çok sayıda sedimanter basenlerin varlığı bilinmektedir.

Kuzey Anadolu Fayı (KAF)'nın Marmara Denizi içinde çok parçalı faylanma sistemine dönüştüğü bilinmekle birlikte, Marmara Denizi içindeki tektonik yapısı halen araştırılmaktadır. Bu tez kapsamında yapılan mikrobölgeleme çalışmalarında Kuzey Anadolu

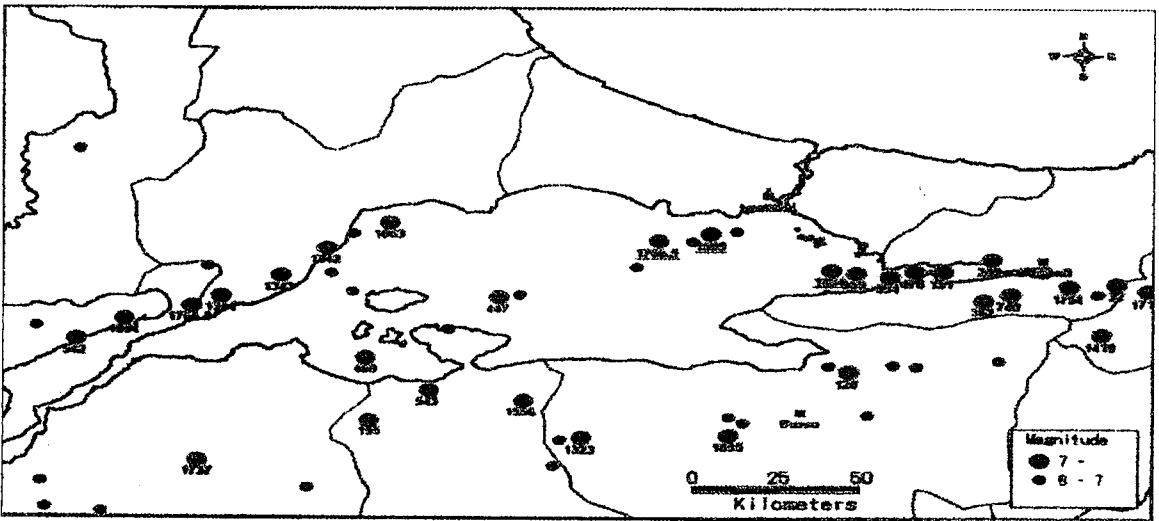
Fayı (KAF)'nın Marmara Denizi içindeki tektonik yapısı ( kırılma şekli ve oluşacak depremin büyüklüğü ), JICA'nın " İstanbul İli Sismik Mikro-Bölgeleme Dahil Afet Önleme/Azaltma Temel Planı Çalışması " kapsamında yayınlanan ara rapor referans alınarak tespit edilmiştir



Şekil 4.6 Türkiye diri fay haritası

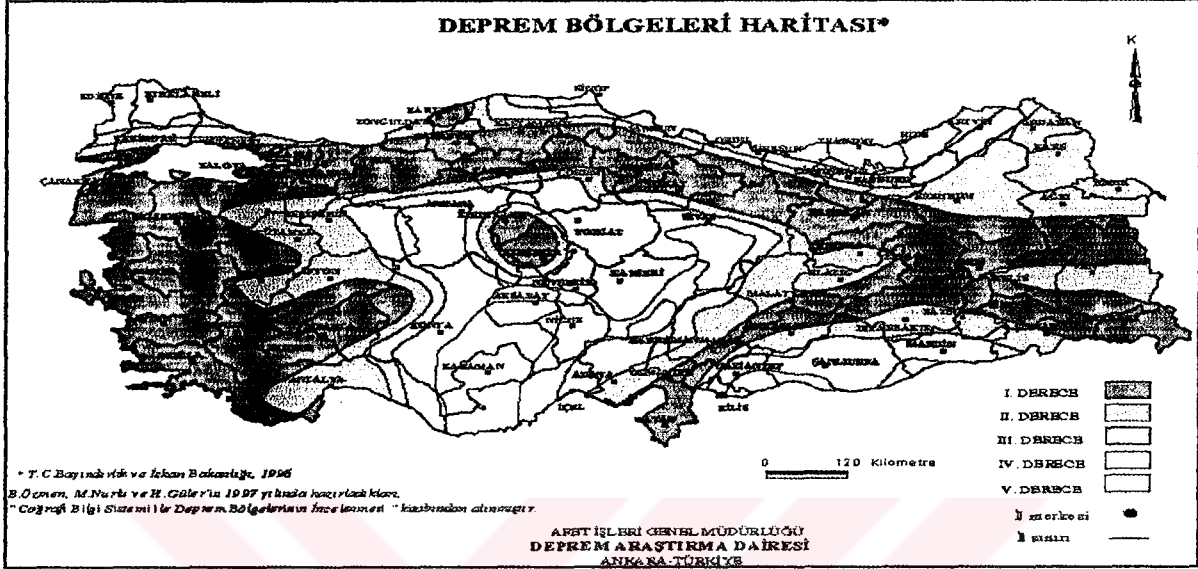
#### 4.4 İnceleme Alanı ve Civarının Sismolojik Özellikleri

Marmara Bölgesi ve özelde inceleme alanı tarih boyunca bir çok yıkıcı depreme maruz kalmıştır. Bu bölge 4. ve 19. yüzyıllar arasında 32 adet depremden etkilenmiştir, bu durum ortalama her 50 yılda bir orta şiddette depreme tekabül etmektedir. Yaklaşık her 300 yılda bir ise bölge çok şiddetli depreme maruz kalmaktadır (Şekil 4.7).



Şekil 4.7 Tarihsel depremler (M > 5.9). (Ambraseys and Finkel, 1991)

Bu tez kapsamında incelenen Avcılar İlçesi, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı'nın 1996 tarihinde yayınladığı " Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası"nda (Şekil 4.8) 1.derece deprem bölgesi olarak belirtilmiştir. Kaldı ki, sadece tarihsel depremler göz önüne alınsa bile inceleme alanının depremsellik açısından ne kadar riskli bir bölge olduğu ortaya çıkmaktadır.



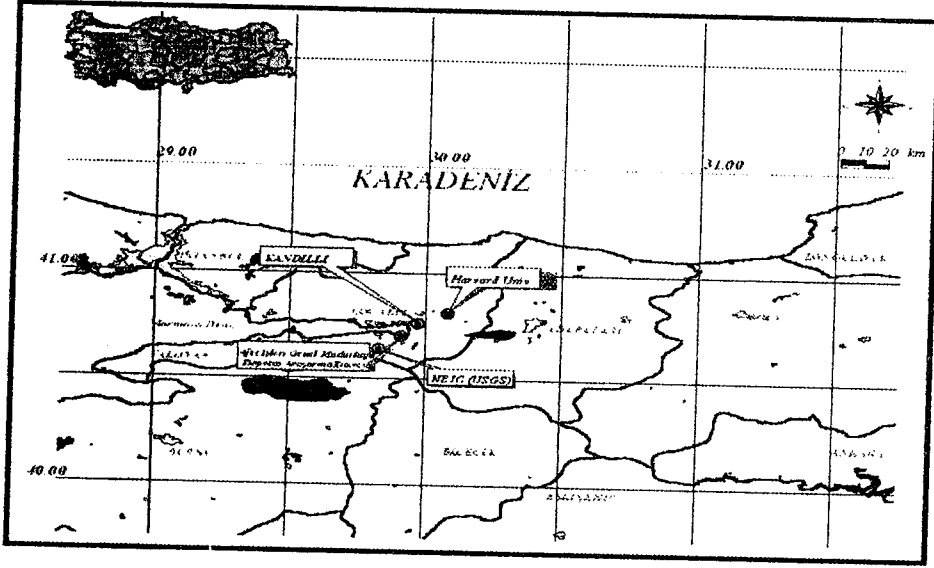
Şekil 4.8 Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası

#### 4.5 17 Ağustos 1999 Marmara Depremi ve İvme Kayıtları

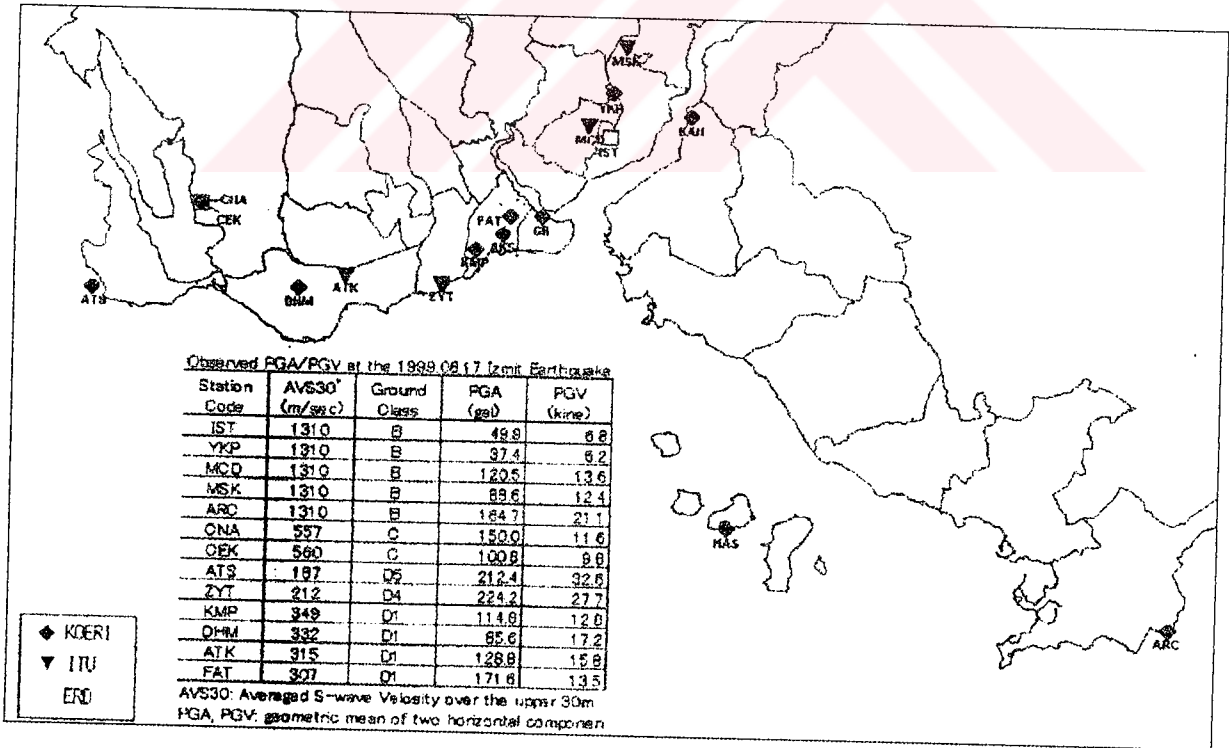
17.08.1999 tarihinde Güneydoğu Marmara Bölgesinde yerel saat ile sabaha karşı 3.02' de  $M_w=7.4$ ,  $M_d=6.7$  (Deprem Araştırma Dairesi verilerine göre) olan büyük bir deprem meydana gelmiştir. Depremi merkez üssü Türkiye'nin kuzeybatısında Kocaeli kent merkezinin yaklaşık 12 km güneydoğusunda Gölcük ilçesi civarındadır (Şekil 4.9). Aletsel koordinat olarak 40.70 N - 29.91 E ölçülmüş olan bu büyük deprem sonucunda resmi rakamlara göre ölü sayısı 15466'dır. 17 Ağustos sabah saat 3.02 de meydana gelen deprem, karada İzmit körfezi ile Düzce güneybatısı arasında yaklaşık 120 km uzunluğunda bir yüzey kırığı meydana getirmiş olup bu kırık üzerinde 4.2 m' ye varan sağ-yanal yerdeğiştirmeler meydana gelmiştir.

17 Ağustos 1999 da meydana gelen bu yıkıcı depremin İstanbul'da alınan ivme kayıtları, ileride İstanbul'u ve inceleme alanını etkilemesi beklenen depremin yaratacağı hasarın tahmin edilmesinde önemli bir rol oynamaktadır. İstanbul'da üç farklı kuruluşa ait (Kandilli, İTÜ ve Afet İşleri Genel Müdürlüğü Deprem Araştırma Dairesi) 13 adet yer hareketi kayıt ağı bulunmaktadır (Şekil 4.10). Bu kayıtların bir kısmından, üçüncü aşama bölgeleme çalışmaları

kapsamında yapılan dinamik analizlerde faydalanılmıştır.



Şekil 4.9 Marmara Depremi Episantrı (Deprem Araştırma Dairesi, NEIC, Kandilli ve Harvard verileri)



Şekil 4.10 İstanbul'da ki Yer hareketi Kayıt Ağlarının Dağılımı

#### 4.6 Sonuçlar

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

Bu çalışmada, üçüncü aşama yöntemler ile yapılacak bölgelemeye yardımcı olması açısından inceleme alanının tektoniği, sismolojisi ve jeolojisi araştırılmıştır. 17 Ağustos 1999 Kocaeli depreminde Avcılar İlçesi'nde çok büyük yer hareketlerinin kayıt edilmiş olması, bu bölgenin jeolojisi üzerinde daha detaylı durulması gereğini ortaya çıkarmıştır. Bölgenin jeoloji üzerinde yapılan bu kapsamlı çalışmalar neticesinde ortaya çıkan ve üçüncü aşama bölgeleme çalışmaları kapsamında yapılan 1 boyutlu (1D) analiz çalışmalarında değerlendirmeye alınan en önemli nokta anakaya (Eosen kireçtaşı) derinliğinin fazlalığıdır. Bu durum göz önüne alınarak 1 boyutlu dinamik analiz çalışmaları yapılmıştır.

Bir sonraki bölümde çeşitli kurumlardan elde edilen arazi geoteknik verileri dinamik analiz çalışmalarında kullanılabilir hale getirilmiş ve Avcılar İlçesi'nin bu verilerden yola çıkarak yerel zemin sınıfları Türkiye Deprem Yönetmeliği ve A.B.D Deprem Yönetmeliği zemin sınıflarına göre belirlenmiştir.



## 5. İKİNCİ VE ÜÇÜNCÜ AŞAMA MİKROBÖLGELEME KAPSAMINDA YAPILAN ÇALIŞMALAR

### 5.1 Giriş

Bir mikrobölgeleme çalışmasının temel unsuru, inceleme alanındaki yerel zemin koşullarının ve onunla ilişkili olarak da yerel zeminlerin dinamik davranışlarını modellemede kullanılacak parametrelerin bölgedeki değişiminin doğru tespit edilmesidir. Bu amaca yönelik olarak, ikinci aşama bölgeleme kapsamında arazi geoteknik deneyleri, geoteknik sismik deneyler ve mikrotremor deneyleri yapılmaktadır. Bu deneyler neticesinde elde edilen veriler yardımıyla, üçüncü aşama mikrobölgeleme kapsamında inceleme alanının deprem hareketi altında gösterdiği davranış sayısal olarak incelenmektedir. Bu bölümde Avcılar bölgesinde ikinci ve üçüncü aşama yöntemler ile yapılan mikrobölgeleme çalışmasında kullanılan deneysel ve analitik çalışmalar ile inceleme alanının büyütme özelliklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu doğrultuda JICA'nın " Türkiye Cumhuriyeti İstanbul İli Afet Önleme / Azaltma Temel Planı Çalışması " kapsamında bölgede yapmış olduğu geoteknik incelemeler ile İ.B.B Zemin Deprem Müdürlüğü'nün bölgeye ait arazi geoteknik deneyleri verilerinden faydalanılmıştır. Bu iki kurumdan elde edilen verilerin derlenmesi neticesinde, Avcılar bölgesinde yapılmış 87 adet sondaj verisine ulaşılmıştır. Bu sondajların A1, A11, B1, B2 ve B3 olarak adlandırılan 5 tanesi, JICA tarafından yapılan derin sondajlardır ve bu sondajlar Avcılar İlçesi'nin ikinci aşama bölgeleme çalışmaları kapsamında yerel zemin özelliklerinin belirlenmesinde önemli rol oynamıştır. Değerlendirmede kullanılan bütün bu sondajların yerleşim yerleri Şekil 5.1'deki Avcılar İlçesine ait haritada gösterilmiştir. Bu sondaj verilerine ek olarak, yine JICA tarafından bu derin sondajlarda yaptırılmış olan PS Logging deney verileri de elde edilmiştir.

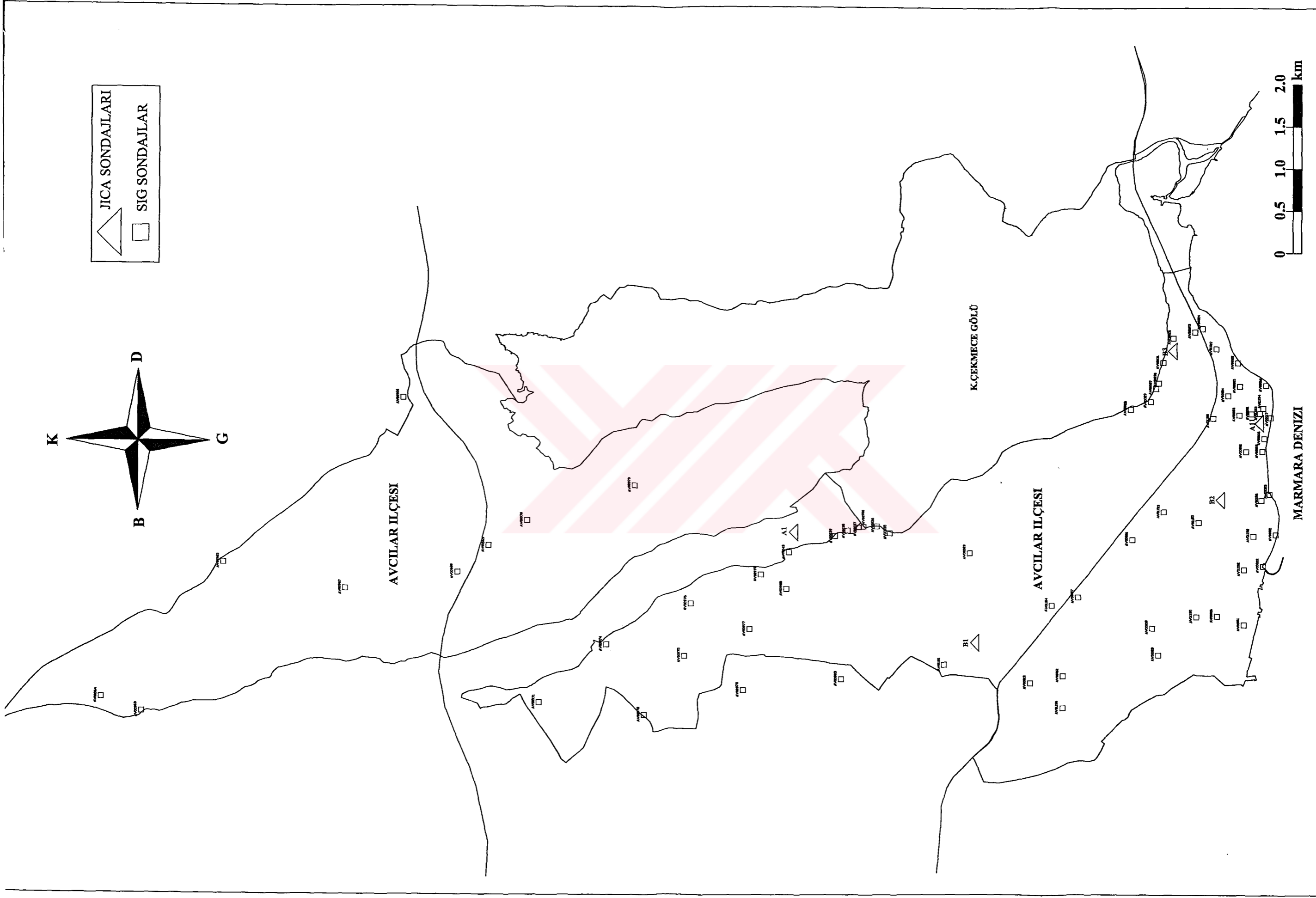
Elde edilen bu sondaj verilerinin Avcılar İlçesine homojen dağılmamış olması ve JICA'nın yapmış olduğu 5 adet sondaj dışındaki diğer sondajların sığ sondaj olması, bir önceki bölümde de belirtildiği gibi jeolojik kesit çıkarma ve onun üzerinden çalışma yürütme gereğini doğurmuştur. Bilindiği gibi, bu jeolojik kesitlerin amacı hem anakaya derinliğini tespit etmek hem de sondaj verisinin olmadığı yerleri modellemektir.

Bu amaçla ilk önce, birinci aşama mikrobölgeleme kapsamında elde edilen, bölgenin topografik ve jeolojik yapısını gösteren haritalar ve ikinci aşama bölgeleme kapsamında derlenen arazi geoteknik deneyleri yardımıyla Avcılar İlçesini temsil eden ve özellikle hasarın fazla olduğu E5(D100) karayolunun daha detaylı olarak incelendiği 9 adet jeolojik kesit çıkartılmıştır (Ek1). Bu kesitler çıkartılırken dikkat edilen en önemli husus; kesitlerin

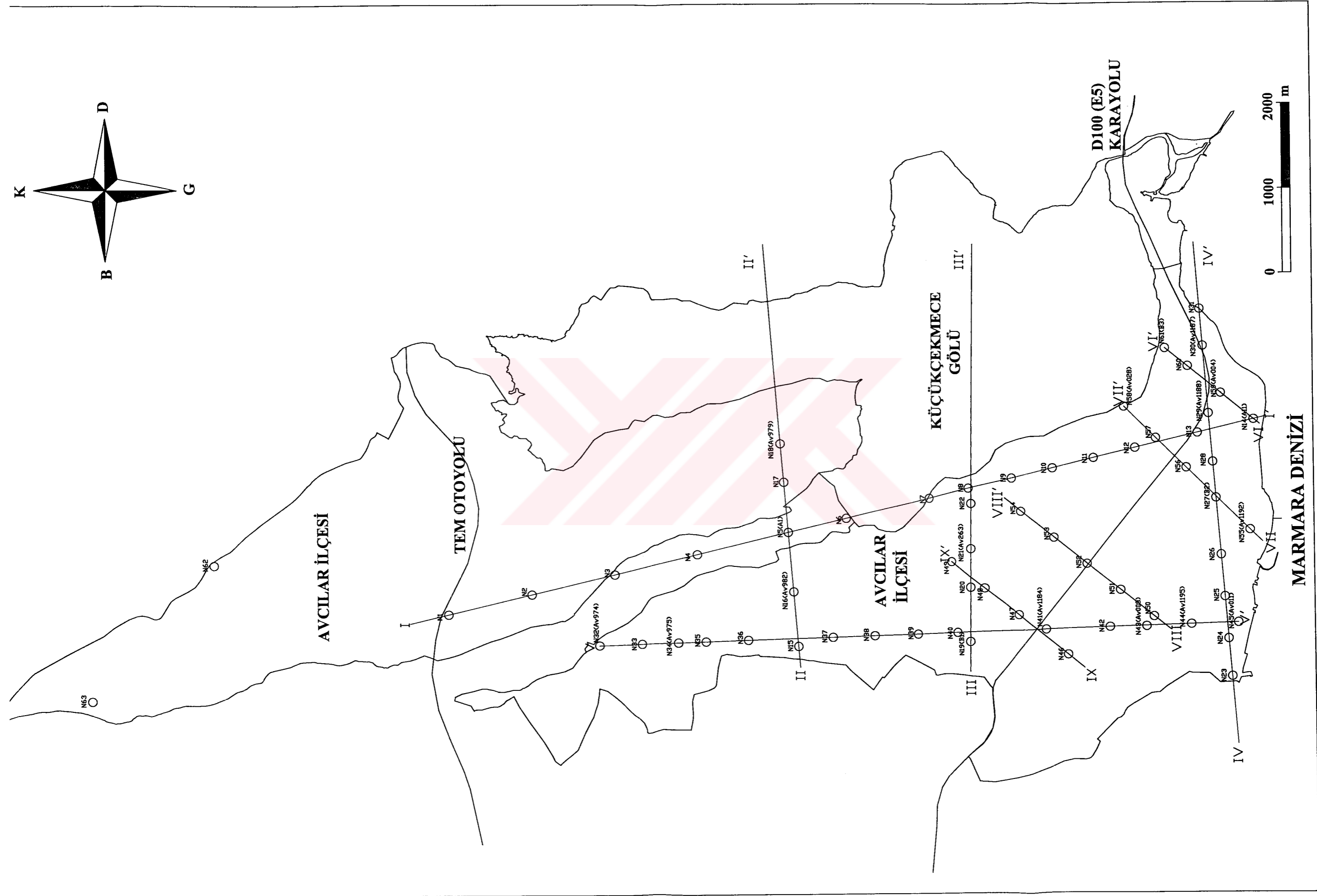
mümkün olduğu kadar bölgeyi homojen bir şekilde temsil etmesi ve verileri mevcut olan 87 adet sondajın üzerinden veya yakınından geçmesidir. Şekil 4.1’de bu kesitlerin güzergahları gösterilmiştir. Bu kesitlerden doğu-batı doğrultusunda olan üç tanesi, bölge jeolojisinin daha iyi tanımlanabilmesi için Avcılar İlçesi’nin dışarısına, Küçükçekmece Gölü’nün doğusuna doğru uzanmaktadır.

Bölge jeolojisinin daha iyi tanımlanması ve anakaya derinliklerinin doğru tespit edilmesi amacıyla jeolojik kesitler çizildikten sonra, bu kesitler üzerinde, bölgeleme çalışması yapabilmek için yaklaşık 500 metre arayla 61 adet nokta belirlenmiştir. Bu 61 noktaya ilave olarak jeolojik kesitlerin olmadığı inceleme alanının kuzeyini daha doğru modelleyebilmek amacı ile sondaj verisi olan iki nokta daha belirlenmiştir ve dolayısıyla değerlendirmeler 63 nokta üzerinde yapılmıştır. Belirlenen bu noktalar, zemin profillerinin geoteknik veriler yardımıyla sağlıklı olarak oluşturulabilmesi için, elde verileri mevcut olan 87 adet sondajdan jeolojik kesit üzerine denk gelenleri arasından seçilmeye çalışılmıştır. Şekil 5.2’ de Avcılar İlçesi’nde analiz için belirlenen 63 adet nokta kesitler ile birlikte gösterilmiştir. Kesitler üzerinde analiz yapılacak noktalar seçildikten sonra bu noktaların zemin profillerinin geoteknik özellikleri değerlendirilerek, Türkiye Deprem Yönetmeliği(TDY)’ne ve NEHRP (National Earthquake Hazard Reduction Program)’e göre Avcılar İlçesi’nde ki yerel zemin sınıfları belirlenmiştir.

Birinci aşama yöntemler kapsamında çizilen bu kesitlerden sonra ikinci aşama yöntemler kapsamında bölgede yapılmış arazi geoteknik ve sismik deney verileri elde edilmiş ve derlenmiştir. Bu veriler kullanılarak ise, üçüncü aşama yöntemler kapsamında, EERA programı ile kesitler üzerinde belirlenen 63 noktada Avcılar zemininin deprem hareketi altındaki dinamik davranışı incelenmiştir. Yapılan dinamik analizler ile ilk önce en büyük yüzey ivmeleri daha sonrada ivme spektrumu eğrileri bulunmuştur. Bulunan ivme spektrumları en büyük yüzey ivmelerine göre normalize edilerek normalize spektral ivme spektrumları elde edilmiş, elde edilen spektrumlardan da normalize spektral ivme değerleri ve zemin hakim periyotları sayısal olarak belirlenmiştir. Bu işlemler her bir kesit üzerinde belirlenen noktalarda ayrı ayrı yapılmıştır.



Şekil 5.1 Değerlendirmede kullanılan sondajların Avcılar İlçesi'nde ki dağılımı



Şekil 5.2 Avcılar İlçesi'nde analiz için belirlenen 63 adet noktanın kesitler ile birlikte gösterimi

## 5.2 İkinci Aşama Mikrobölgeleme Çalışmalarında Kullanılan Arazi Geoteknik Deneyleri

İkinci aşama mikrobölgeleme çalışmaları kapsamında yerel zemin sınıflarının TDY'ye ve NEHRP'ye göre belirlenmesinde ve üçüncü aşama mikrobölgeleme çalışmalarında zemin profillerinin tanımlanmasında SPT ve PS Logging deney verileri kullanılmıştır. İlgili bölümde de belirtildiği gibi bu deney verileri İBB Zemin Deprem Müdürlüğünden ve JICA'dan elde edilmiştir. Dinamik analiz çalışmalarında bu verilerden nasıl yararlandırıldığı ayrıntılı olarak anlatılmıştır.

### 5.2.1 Standart Penetrasyon Deneyleri (SPT)

Yerel zeminlerin geoteknik özelliklerinin belirlenmesinde arazide en fazla kullanılan deneylerden biri olan SPT, dinamik olarak belli yükseklikten bir ağırlığı standart uca düşürerek zemine son 30 cm girmesi için gerekli darbe sayısının bulunması şeklinde uygulanmaktadır. İdeal olarak 1.5 m aralıklarla yapılan bu deney neticesinde kaba daneli zeminlerin sıklıkları, ince daneli zeminlerin ise kıvamları belirlenebilmektedir. Ayrıca SPT (N) sayıları yardımıyla, çeşitli bağıntılar kullanılarak zeminlerin statik ve dinamik parametreleri de bulunabilmektedir.

SPT deneylerinden elde edilen SPT (N) sayısı mikrobölgeleme amaçları için, literatürdeki uygun bir bağıntı yardımı ile kayma dalgası hızının hesaplanmasında kullanılmıştır. Bu hesaplamalara Bölüm 5.5.1.1 de geniş olarak yer verilmiştir. Elde verileri mevcut olan 87 adet sondajdan sadece jeolojik kesitlerin yakınında ve üzerinde olanlardan üçüncü aşama bölgeleme çalışmaları kapsamında faydalanılmıştır ve kullanılan bu sondajlardan PS Logging deney verisi olmayanların SPT (N) sayılarının derinlikle değişimi zemin cinsleri-formasyonlar ile birlikte Ek 2' de verilmiştir.

Avcılar İlçesindeki sondajlarda yapılan Standart Penetrasyon Deneyleri'nin farklı kurumlar ve kişiler tarafından yapılmış olması veriler hakkında şüphe uyandırmakla birlikte, İBB Zemin Deprem Müdürlüğü'nün bu sondaj verilerini, JICA'nın çalışması kapsamında detaylı bir inceleme neticesinde derlemiş olması ve bu verilerin tamamının JICA ekibi tarafından kullanılmış olması, verilerin güvenilirliğini arttırmaktadır.

### 5.2.2 PS Logging Deneyleri

PS Logging deneyi, zeminlerin en önemli dinamik özelliklerinden biri olan kayma dalgası hızını yerinde doğrudan tespit edilmesini sağlayan arazi sismik deneylerinden biridir. Diğer arazi sismik deneylerine alternatif olarak Japonya'da geliştirilen bu deney Türkiye'de İyisan

ve Ansal (1995) tarafından uygulanmıştır. JICA tarafından Avcılar İlçesi'nde yaptırılan ve bu tez kapsamında incelenen, PS Logging deneyleri de İyisan ve Ansal (2001) tarafından yapılmıştır. Bu deneyler, JICA tarafından Avcılar İlçesi'nde yaptırılan derin sondajlarda yapılmıştır .

Bu deneyin özelliklerini kısaca şu şekilde sıralayabiliriz :

- Dalga üreten kaynak ve alıcılar aynı birimde yer almaktadır ve deneyler daha kısa sürede tamamlanabilmektedir.
- Kuyu duvarına temas yok, sistem su içinde askıda.
- Kaplamalı ve kaplamasız kuyularda uygulanabilir, dolayısıyla 300 m derinliğe kadar deney yapılabilir.
- Bir profil boyunca sürekli ölçme imkanı sağlandığından çok ince tabakaların özellikleri de belirlenebilmektedir.

Bu çalışmada PS Logging deney verilerinden, üçüncü aşama bölgeleme kapsamında, EERA ile yapılan dinamik analizlerde, anakayanın üzerindeki zemin istifinin tanımlanmasında yerinde ölçülen kayma dalgası hızını kullanmak, ayrıca kayma dalgası hızının derinlikle değişimini formasyon bazında tespit edebilmek, bunu da çıkartılan jeolojik kesitler üzerinde herhangi bir arazi geoteknik deney verisi olmayan yerlerde kullanabilmek ve son olarak da kayma dalgası hızının SPT (N) değerinden hesaplanmasında kullanılan, Avcılar İlçesi'nin zeminini en iyi temsil eden bağıntıyı bulabilmek amacıyla faydalanılmıştır. Bu çalışmalara ileriki bölümlerde ayrıntılı olarak değinilmiştir.

Bu çalışma kapsamında kullanılan PS Logging deney verileri Ek 3'de verilmiştir.

### **5.3 Yerel Zemin Sınıflarının Bulunması**

Avcılar İlçesindeki analiz için seçilen noktalarda, Türkiye Deprem Yönetmeliğine ve NEHRP'ye göre yerel zemin sınıfları , noktalarda mevcut olan sondajlardan ve jeolojik kesitlerden faydalanılarak belirlenmiştir.

#### **5.3.1 Türkiye Deprem Yönetmeliği'ne (TDY) Göre Zemin Sınıflandırma Sistemleri**

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

yönetmelikte verilen ve yerel zemin sınıflarının belirlenmesinde etkili olan dört farklı zemin grubuna göre ve en üst zemin tabakası kalınlığına göre belirlenmektedir.

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

Yukarıda bahsedilen yerel zemin sınıfları dikkate alınarak ve deprem yüklerinin belirlenmesi için esas alınacak olan ve tanım olarak %5 sönüm oranı için elastik tasarım ivme spektrumunun yerçekimi ivmesi  $g$  'ye bölünmesine karşılık gelen spektral ivme katsayısı,  $A(T)$  aşağıdaki gibi belirlenmektedir.

$$A(T)=A_0 \cdot I \cdot S(T) \quad (5.1)$$

Burada;

$A_0$ = Etkin yer ivmesi katsayısı,

$I$ = Bina önem katsayısı,

$S(T)$ =Spektrum katsayısı olarak tanımlanmaktadır.

(1) no'lu ifadede geçen etkin yer ivmesi katsayısı  $A_0$ , ve bina önem katsayısı  $I$ , yönetmelikte yer alan ilgili tablolardan alınacak katsayılardır.

Yukarıdaki ifadede yer alan spektrum katsayısı  $S(T)$ , ise yerel zemin koşullarına ve bina doğal periyoduna ( $T$ ) bağlı olarak verilen aşağıdaki denklemlerden yararlanılarak hesaplanmaktadır.

$$S(T)=1+1.5(T/T_A) \quad (0<T<T_A) \quad (5.2a)$$

$$S(T)=2.5 \quad (T_A<T<T_B) \quad (5.2b)$$

$$S(T)=2.5(T_B/T)^{0.8} \quad (T>T_B) \quad (5.2c)$$

Bu denklemlerde yer alan spektrum karakteristik periyotları olan  $T_A$  ve  $T_B$  'nin değerleri yerel zemin sınıflarına bağlı olarak aşağıdaki çizelgede belirtilmiştir.

Çizelge 5.1 Spektrum karakteristik periyotları

| Yerel Zemin | $T_A$ (sn) | $T_B$ (sn) |
|-------------|------------|------------|
| Z1          | 0.10       | 0.30       |
| Z2          | 0.15       | 0.40       |
| Z3          | 0.15       | 0.60       |
| Z4          | 0.20       | 0.90       |

İnceleme alanı içerisinde belirlenen 63 noktanın, eldeki mevcut zemin verileri ışığında Türkiye Deprem Yönetmeliğine göre zemin sınıfları belirlenmiştir. Çizelge 5.5'de NEHRP yerel zemin sınıfları ile birlikte verilen değerlendirmelerden görüldüğü gibi, TDY'ye göre 6 noktada Z4, 44 noktada Z3, 10 noktada Z2 ve 3 noktada Z1 zeminler görülüp bölgede daha çok Z3 sınıfı zeminlerin hakim olduğu anlaşılmaktadır.

### 5.3.2 NEHRP (ABD) Deprem Yönetmeliği

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

### 5.3.3 NEHRP' e Göre Davranış Spektrumlarının Belirlenmesi

Depreme karşı güvenli bir yapı tasarımı için gerekli olan spektral ivme değerlerinin belirlenebilmesi için kullanılan davranış spektrumlarının oluşturulabilmesi amacı ile Türkiye Deprem Yönetmeliği'nde benimsenen yaklaşımda olduğu gibi önce o bölgedeki zemin sınıflarının belirlenmesi gerekmektedir. Bölgedeki zemin sınıflarının elde edilmesinden sonra



ise NEHRP tarafından o bölgenin depremselliğine göre hazırlanmış olan spektral ivme haritalarından o bölge için geçerli olan kısa periyotlarda öngörülen maksimum anakaya spektral ivme değeri ( $S_s$ ) ve 1 saniyelik periyotta öngörülen maksimum anakaya spektral ivme değeri ( $S_1$ ) elde edilmelidir. ( $S_s$ ) ve ( $S_1$ ) deprem spektral ivme değerleri deterministik veya 50 yıllık bir periyotta %2 aşılma olasılığı göz önüne alınarak olasılıksal bir yaklaşımla elde edilmiş değerlerdir.

#### 5.3.4 NEHRP'de Zemin Sınıflandırma Sistemi

NEHRP tarafından hazırlanan yönetmelikte daha önceki yıllarda üç olan zemin sınıfı sayısı, 1985 Mexico City Depremi'nden sonra yerel zemin koşullarının etkisinin daha iyi anlaşılması ile birlikte dört'e çıkarılmıştır. Daha sonra meydana gelen Loma Prieta Depremi'nden elde edilen ölçümler ve yapılan çalışmalardan sonra ise yerel zemin koşullarının deprem davranışı üzerindeki etkisini göz önüne alabilmek için A'dan F'e kadar değişen altı zemin sınıfının gerekliliğine karar verilmiştir. Bu zemin sınıfları Çizelge 5.2'de verilmiştir.

Çizelge 5.2'deki zemin sınıfı tanımları, zemin profilinin ilk 30 m'lik derinliği için geçerli olmaktadır. Bu derinlik içerisinde birbirinden kesin olarak ayrılan zemin tabakaları varsa, bunların her biri için zemin parametreleri dikkate alınarak ortalama değerler hesaplanmaktadır. Çizelge 5.2'de verilen zemin sınıfı tanımlamaları için kullanılan ve zemin özelliklerini yansıtan kayma dalgası hızı,  $V_s$ , standart penetrasyon darbe sayısı  $N$ , ve drenajsız kayma mukavemeti  $S_u$  parametrelerinin ağırlıklı ortalamaları aşağıdaki şekilde hesaplanarak sınıflandırma yapılmaktadır.

$$V_s = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{V_{si}}} \quad (5.3)$$

$$N = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{N_i}} \quad (5.4)$$

Yukarıdaki ifadelerde  $d_i$  zemin yüzeyinden itibaren 30 m içerisindeki herhangi bir tabaka kalınlığı,  $V_{si}$  her bir tabakada ölçülen kayma dalgası hızı,  $N_i$  ise 100 darbe/ft değerini aşmamak üzere her bir kohezyonsuz tabakada ölçülen standart penetrasyon direncidir.

Kohezyonlu zemin tabakalarının sınıflandırılmasında ise plastisite indeksine (PI) göre bir

değerlendirme yapılarak  $PI < 20$  olan kohezyonlu zeminlerde ortalama  $N_{ch}$  değeri ve  $PI > 20$  olan kohezyonlu zeminlerde ise  $S_u$  hesaplanabilmektedir. Buna göre  $PI < 20$  olan kohezyonlu zeminlerde ilk 30 m içerisinde  $N_{ch}$  aşağıdaki şekilde verilmektedir.

Çizelge 5.2 NEHRP'e Göre Zemin Sınıfları

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

$$N_{ch} = \frac{d_s}{\sum_{i=1}^m \frac{d_i}{N_i}} \quad \sum_{i=1}^m d_i = d_s \quad (5.5)$$

Yukarıdaki ifadede  $N_{ch}$ , kohezyonlu zemin tabakalarının Standart Pentasyon Darbe Sayısının ağırlıklı ortalaması,  $d_s$  ise zemin yüzeyinden itibaren 30 m içerisindeki toplam kohezyonsuz zemin tabakası kalınlığıdır.  $PI > 20$  olan kohezyonlu zemin tabakalarının sınıflandırılmasında ise ortalama drenajsız kayma mukavemeti değeri göz önüne alınmakta ve aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$S_u = \frac{d_c}{\sum_{i=1}^k \frac{d_i}{s_{ui}}} \quad \sum_{i=1}^k d_i = d_c \quad (5.6)$$

Burada,  $S_{ui}$  250 kPa'ı aşmamak üzere o tabakaya ait drenajsız kayma mukavemeti değeri,  $d_c$  ise zemin yüzeyinden itibaren 30 m içerisindeki toplam kohezyonlu zemin tabakası kalınlığıdır.

### 5.3.5 NEHRP' de kullanılan Arazi Katsayıları ve Öngörülen Maksimum Deprem için Düzeltilmiş Spektral İvme Parametreleri

FEMA için hazırlanan NEHRP, tasarım davranış spektral ivme değerlerini elde edebilmek için farklı geoteknik özelliklere sahip bölgeler için maksimum deprem spektral ivme ( $S_s$  ve  $S_1$ ) değerlerinde yerel arazi koşullarını dikkate alacak şekilde bir düzeltme yapılmasını önermektedir. Bu düzeltme ise sismik arazi katsayıları olarak adlandırılan  $F_a$  ve  $F_v$  katsayıları kullanılarak yapılmaktadır. Böylece, arazi zemin sınıflarına göre düzeltilmiş, kısa periyotlar ve 1 sn'lik periyotlarda öngörülen maksimum deprem spektral ivme ( $S_{MS}$  ve  $S_{M1}$ ) değerleri aşağıdaki eşitlikler ile bulunur.

$$S_{MS} = F_a \times S_s \quad (5.7a)$$

$$S_{M1} = F_v \times S_1 \quad (5.7b)$$

$F_a$  ve  $F_v$  sismik arazi katsayıları A, B, C, D zeminleri için  $S_s$  ve  $S_1$ ' e bağlı olarak Çizelge 5.3 ve Çizelge 5.4'de belirtilmiştir. Diğer taraftan Çizelge 5.3 ve Çizelge 5.4'de de görüleceği gibi F zemin sınıfı için tasarım davranış spektrumlarının oluşturulması için bu

katsayılar verilmemekte ve sahaya özel dinamik davranış analizinin yapılması önerilmektedir

Çizelge 5.3 Öngörülen maksimum deprem için kısa periyotlarda spektral ivme değerinin ve zemin sınıfının bir fonksiyonu olarak  $F_a$  değerleri

| Zemin sınıfı | Kısa periyotlarda öngörülen maksimum deprem spektral ivmeleri |              |              |              |                 |
|--------------|---|--------------|--------------|--------------|-----------------|
|              | $S_s \leq 0.25$   | $S_s = 0.50$ | $S_s = 0.75$ | $S_s = 1.00$ | $S_s \geq 1.25$ |
| A            | 0.8   | 0.8          | 0.8          | 0.8          | 0.8             |
| B            | 1.0   | 1.0          | 1.0          | 1.0          | 1.0             |
| C            | 1.2   | 1.2          | 1.1          | 1.0          | 1.0             |
| D            | 1.6   | 1.4          | 1.2          | 1.1          | 1.0             |
| E            | 2.5   | 1.7          | 1.2          | 0.9          | 0.9             |
| F            | a   | a            | a            | a            | a               |

Çizelge 5.4 Öngörülen maksimum deprem için 1 sn'lik periyotta spektral ivme değerinin ve zemin sınıfının bir fonksiyonu olarak  $F_v$  değerleri

| Zemin Sınıfı | 1 sn'lik periyotlarda öngörülen maksimum deprem spektral ivmeleri |             |             |             |                |
|--------------|---|-------------|-------------|-------------|----------------|
|              | $S_T \leq 0.1$  | $S_T = 0.2$ | $S_T = 0.3$ | $S_T = 0.4$ | $S_T \geq 0.5$ |
| A            | 0.8   | 0.8         | 0.8         | 0.8         | 0.8            |
| B            | 1.0   | 1.0         | 1.0         | 1.0         | 1.0            |
| C            | 1.7   | 1.6         | 1.5         | 1.4         | 1:3            |
| D            | 2.4   | 2.0         | 1.8         | 1.6         | 1,5            |
| E            | 3.5   | 3.2         | 2.8         | 2.4         | 2.4            |
| F            | a   | a           | a           | a           | a              |

a: sahaya özel dinamik davranış analizlerinden belirlenmelidir.

### 5.3.6 Tasarım Spektral İvme Parametreleri ve Deprem Davranış Spektrumlarının Oluşturulması

NEHRP 'de deneyimler ışığında, tasarım spektral ivme parametrelerinin arazi katsayılarına göre düzeltilmiş maksimum deprem spektral ivme değerinin 2/3 ile çarpılması ile elde edilmesi öngörülmüştür. Buna göre kısa periyotlar için tasarım deprem spektral ivmesi ( $S_{DS}$ )

ve 1sn'lik periyot için tasarım deprem spektral ivmesi  $S_{D1}$  aşağıdaki denklemlerle tanımlanmıştır.

$$S_{DS} = \frac{2}{3} \times S_{MS} \quad (5.8a)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} \times S_{M1} \quad (5.8b)$$

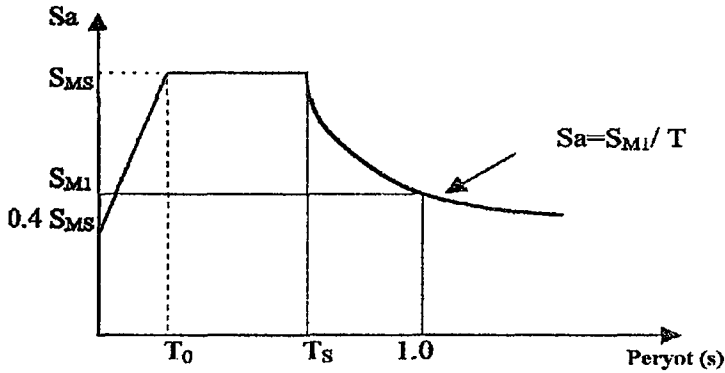
Kısa periyotlar ve 1saniyelik periyotlar için tasarım deprem spektral ivme değerlerinin belirlenmesinden sonra deprem davranış spektrum eğrileri (Şekil 5.3) oluşturulması için aşağıdaki eşitliklerden yararlanılmaktadır.

$$S_a = 0,6 \times \frac{S_{DS}}{T_0} \times T + 0,4 \times S_{DS} \quad (0 < T < T_0) \quad (5.9a)$$

$$S_a = S_{DS} \quad (T_0 < T < T_s) \quad (5.9b)$$

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \quad (T > T_s) \quad (5.9c)$$

Burada,  $T_0$  ve  $T_s$  periyot değerleri  $T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$ ,  $T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$  şeklinde verilmiştir.  $S_{DS}$ ; kısa periyotlar için tasarım spektral ivmesi,  $S_{D1}$ ; 1 sn'lik periyot için tasarım spektral ivmesi ve  $T$  ise yapının periyodudur.



Şekil 5.3 NEHRP 'de tasarım spektral ivme parametrelerinin spektrum eğrisi üzerinde gösterimi

NEHRP'e göre inceleme alanı içerisindeki 63 noktada yerel zemin sınıfları incelendiğinde Çizelge 5.5 'de de gözüktü gibi B, C, D ve E sınıfı zeminlerin mevcut olduğunu ve araziye hakim olan zemin sınıfının D sınıfı olduğu gözükmektedir.

Çizelge 5.5 Avcılar İlçesindeki Yerel Zemin Sınıfları

| Nokta No | Sondaj No | Sondaj Derinliği (m) | Yerel Zemin Sınıfı |       |
|----------|-----------|----------------------|--------------------|-------|
|          |           |                      | TDY                | NEHRP |
| N1       |           |                      | Z1                 | B     |
| N2       |           |                      | Z3                 | D     |
| N3       |           |                      | Z4                 | E     |
| N4       |           |                      | Z4                 | E     |
| N5       | A1        | 106.45               | Z4                 | E     |
| N6       |           |                      | Z4                 | E     |
| N7       |           |                      | Z3                 | D     |
| N8       |           |                      | Z3                 | C     |
| N9       |           |                      | Z3                 | D     |
| N10      |           |                      | Z3                 | C     |
| N11      |           |                      | Z3                 | D     |
| N12      |           |                      | Z3                 | D     |
| N13      |           |                      | Z3                 | D     |
| N14      | A11       | 206                  | Z4                 | E     |
| N15      |           |                      | Z2                 | D     |
| N16      | Av982     | 24                   | Z2                 | D     |
| N17      |           |                      | Z2                 | C     |
| N18      | Av979     | 28                   | Z2                 | C     |
| N19      | B1        | 56.05                | Z3                 | D     |
| N20      |           |                      | Z3                 | D     |
| N21      | Av263     | 24                   | Z2                 | C     |
| N22      |           |                      | Z2                 | C     |

|     |        |       |    |   |
|-----|--------|-------|----|---|
| N23 |        |       | Z3 | D |
| N24 |        |       | Z3 | C |
| N25 |        |       | Z2 | D |
| N26 |        |       | Z3 | D |
| N27 | B2     | 56.4  | Z3 | D |
| N28 |        |       | Z3 | D |
| N29 | Av1188 | 60    | Z3 | D |
| N30 | Av1187 | 44.7  | Z3 | D |
| N31 |        |       | Z4 | E |
| N32 | Av974  | 18.50 | Z3 | D |
| N33 |        |       | Z2 | C |
| N34 | Av975  | 20    | Z2 | C |
| N35 |        |       | Z2 | C |
| N36 | Av977  | 20    | Z2 | C |
| N37 |        |       | Z3 | D |
| N38 |        |       | Z3 | D |
| N39 |        |       | Z3 | D |
| N40 |        |       | Z3 | D |
| N41 | Av1184 | 70    | Z2 | C |
| N42 |        |       | Z3 | D |
| N43 | Av008  | 26    | Z3 | D |
| N44 | Av1195 | 20    | Z3 | D |
| N45 | Av011  | 15    | Z3 | D |
| N46 | Av004  | 24.45 | Z3 | D |

|     |        |       |    |   |
|-----|--------|-------|----|---|
| N47 |        |       | Z3 | D |
| N48 | B3     | 106   | Z3 | D |
| N49 | AV1192 | 24.95 | Z3 | D |
| N50 |        |       | Z3 | D |
| N51 |        |       | Z3 | D |
| N52 | Av028  | 14.4  | Z3 | D |
| N53 |        |       | Z3 | D |
| N54 |        |       | Z3 | D |
| N55 |        |       | Z3 | D |
| N56 |        |       | Z3 | D |
| N57 |        |       | Z3 | D |
| N58 |        |       | Z3 | D |
| N59 |        |       | Z3 | D |
| N60 |        |       | Z3 | D |
| N61 |        |       | Z3 | D |
| N62 | Av965  | 20    | Z1 | B |
| N63 | Av964  | 20    | Z1 | B |

#### 5.4 Avcılar İlçesi'ndeki Zeminlerin Dinamik Davranış Analizi

Zemin büyütmesine göre mikrobölgeleme çalışmasının üçüncü ve son aşaması, birinci ve ikinci aşama yöntemler ile elde edilen zemine ait geoteknik özellikler kullanılarak, zeminlerin deprem hareketi altındaki davranışlarının sayısal metotlar ile analiz edilmesidir. Bu tez kapsamında yapılan dinamik analizlerde kullanılan zemin profillerinin oluşturulmasında, Avcılar İlçesi'nde 87 adet sondaj kuyusunda elde edilen zemine ait geoteknik veriler ve bu verilerin olmadığı yerlerde, PS Logging deneyi ile yerinde ölçülen kayma dalgası hızları ile modellenen formasyonlar bazında derinlik-kayma dalgası hızı değişimi kullanılacaktır. Bu konu ayrıntılı olarak Bölüm 5.4.1.1 de anlatılmaktadır. Dinamik analiz çalışmalarında izlenen yolu maddeler halinde sıralamak gerekirse :



- 1) Çıkarılan jeolojik kesitler üzerinde çalışma yapılacak noktaların belirlenmesi (Bu noktalar belirlenirken özellikle sondajların olduğu yerler seçilmeye çalışılmıştır).
- 2) Belirlenen noktaların zemin profillerinin anakayaya kadar oluşturulması.
  - Profiller oluşturulurken kayma dalgası hızının tespit edilmesi (Bölüm 5.4.1.1).
  - Zeminlerin dinamik özelliklerinin belirlenmesi (Bölüm 5.4.1.2).
- 3) Senaryo depremin belirlenmesi ve azalım ilişkileri yardımıyla analiz yapılacak noktada anakayadaki ivme değerinin bulunması (Bölüm 5.4.2.1).
- 4) Analizde kullanılacak ivme kaydının belirlenmesi ve analiz yapılması (Bölüm 5.4.2.2).

Yukarıda, aşamaları kısaca maddeler halinde anlatılan dinamik analiz çalışmalarında, ayrıntıları ilgili bölümde belirtilen EERA programı kullanılmaktadır. Bu programda kullanılan metodun varsayımlarına ve yaklaşım prensiplerine kısaca değinmek gerekirse, ortamın geometrisinin yatay tabakalardan oluştuğu, deprem hareketinden kaynaklanan kayma dalgalarının düşey doğrultuda yayıldığı kabullerine sahiptir.

#### **5.4.1 Zemin Profillerinin Oluşturulması**

##### **5.4.1.1 Zeminlerin Kayma Dalgası Hızının Belirlenmesi**

Avcılar İlçesi'ndeki dinamik davranışının analitik olarak incelenmesi sırasında, birinci ve ikinci aşama bölgeleme çalışmaları kapsamında çizilen jeolojik kesitlerden faydalanılacağına ilgili bölümlerde değinilmişti. Bu kesitler üzerinde dinamik analiz yapılmasında ve bu dinamik analizler için idealize zemin profilleri oluşturulurken kayma dalgası hızının tanımlanmasında üç tür yaklaşım söz konusudur. Bunlar sırasıyla :

- 1) JICA'nın "Türkiye Cumhuriyeti İstanbul İli Afet Önleme / Azaltma Temel Planı Çalışması " kapsamında yaptığı derin sondajlarda analiz yapılması ve zemin profillerinin yerinde ölçülen kayma dalgası hızları (PS Logging) ile oluşturulması.
- 2) Derin sondajlar dışında kalan 82 adet sondajdan jeolojik kesitlerin yakınında veya üzerinde olanlarda çalışma yapılması ve bu sondajlardaki SPT (N) sayılarının literatürdeki Avcılar İlçesi'nin zeminini en iyi temsil eden uygun bir bağıntı ile kayma dalgası hızına dönüştürülerek zemin profillerinin oluşturulması.
- 3) Kesit üzerinde herhangi bir arazi geoteknik verisinin olmadığı bölgede, PS Logging deney verileri kullanılarak modellenen, formasyonlar bazında derinlik-kayma dalgası hızı değişimi yardımıyla zemin profillerinin oluşturulması.

Eğer birinci yaklaşımda yerinde ölçülen kayma dalgası hızı anakaya derinliğine kadar bilgi vermiyorsa, anakayaya kadar kalan zemin kısmı üçüncü yaklaşımda olduğu gibi idealize edilmiştir. Aynı durum ikinci yaklaşım için de geçerlidir. Bu yaklaşım çerçevesinde değerlendirilen sondajların azami derinliği 35-40 metre civarındadır, dolayısıyla bu 35-40

metrelik kısım dışında SPT (N) verisi mevcut değildir. Zemin yüzeyinden bu 35-40 metrelik kısım dışarısında kalan zemin profili de üçüncü yaklaşımda olduğu gibi idealize edilmiştir. Dinamik analizlerin tamamında zemin profilleri anakayaya kadar bu üç yaklaşım çerçevesinde tanımlanmış olup anakaya derinliğinde kayma dalgası hızı tabaka rijitliğine uygun olarak 700 m/s olarak alınmıştır. İkinci ve üçüncü yaklaşım kapsamında belirtilen, SPT (N) den  $V_s$ -kayma dalgası hızına geçilmesinde uygun bir bağıntı tespit edilmesi ve formasyonlar bazında derinlik ile kayma dalgası hızı değişiminin belirlenmesi işlemine bu bölüm içerisinde sırasıyla değinilmiştir.

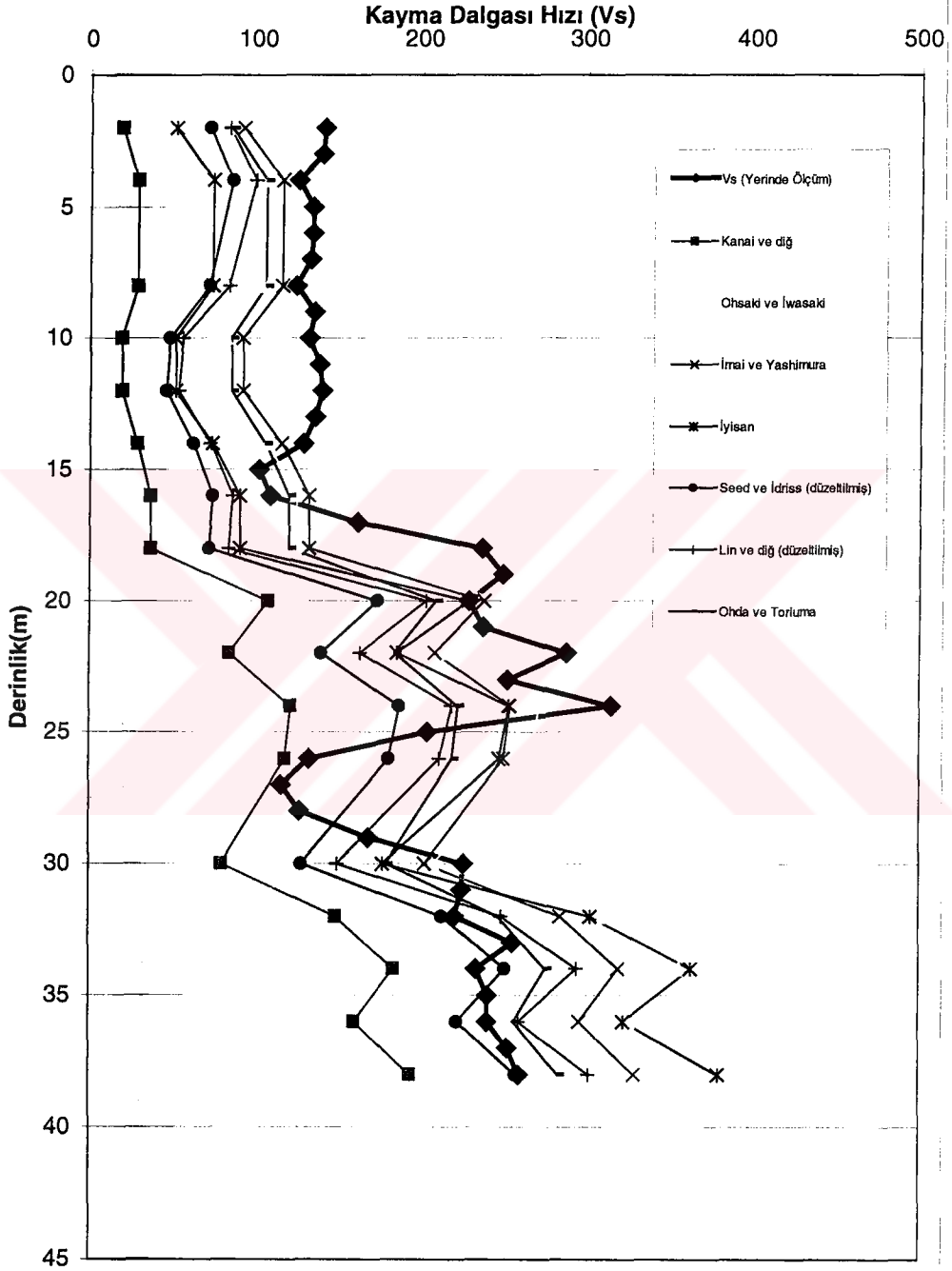
İkinci yaklaşımda da belirtildiği gibi SPT (N) sayılarının uygun bir bağıntı ile kayma dalgası hızlarına dönüştürülmesi gerekmektedir. Bu bağıntının tespit edilebilmesi için Avcılar İlçesine ait ayrı bir çalışma yapılmıştır. Çizelge 2.6 da verilen bağıntılardan, Çizelge 5.6' da verilen 7 tanesi kullanılarak, JICA'nın Avcılar İlçesi'nde yaptığı 5 adet derin sondaja ait SPT(N) verileri kayma dalgası hızına dönüştürülmüş ve elde edilen bu kayma dalgası hızı profili aynı sondajlarda yapılan PS Logging deneyleriyle elde edilen yerinde ölçülmüş kayma dalgası hızlarıyla karşılaştırılmıştır (Şekil 5.4). Bu işlem zemin yüzeyinden itibaren ilk 50 metre içinde yapılmıştır, bunun sebebi de bu derinliğin (özellikle ilk 30 metrenin) zemin büyütmelerinde önem arz etmesi ve bundan dolayı da uygun bağıntının özellikle zemin profili içerisindeki ilk 30-50 metreyi doğru temsil edebilmesinin sağlanmasıdır.

Çizelge 5.6 Kayma dalgasının hesaplanmasında göz önüne alınan bağıntılar.

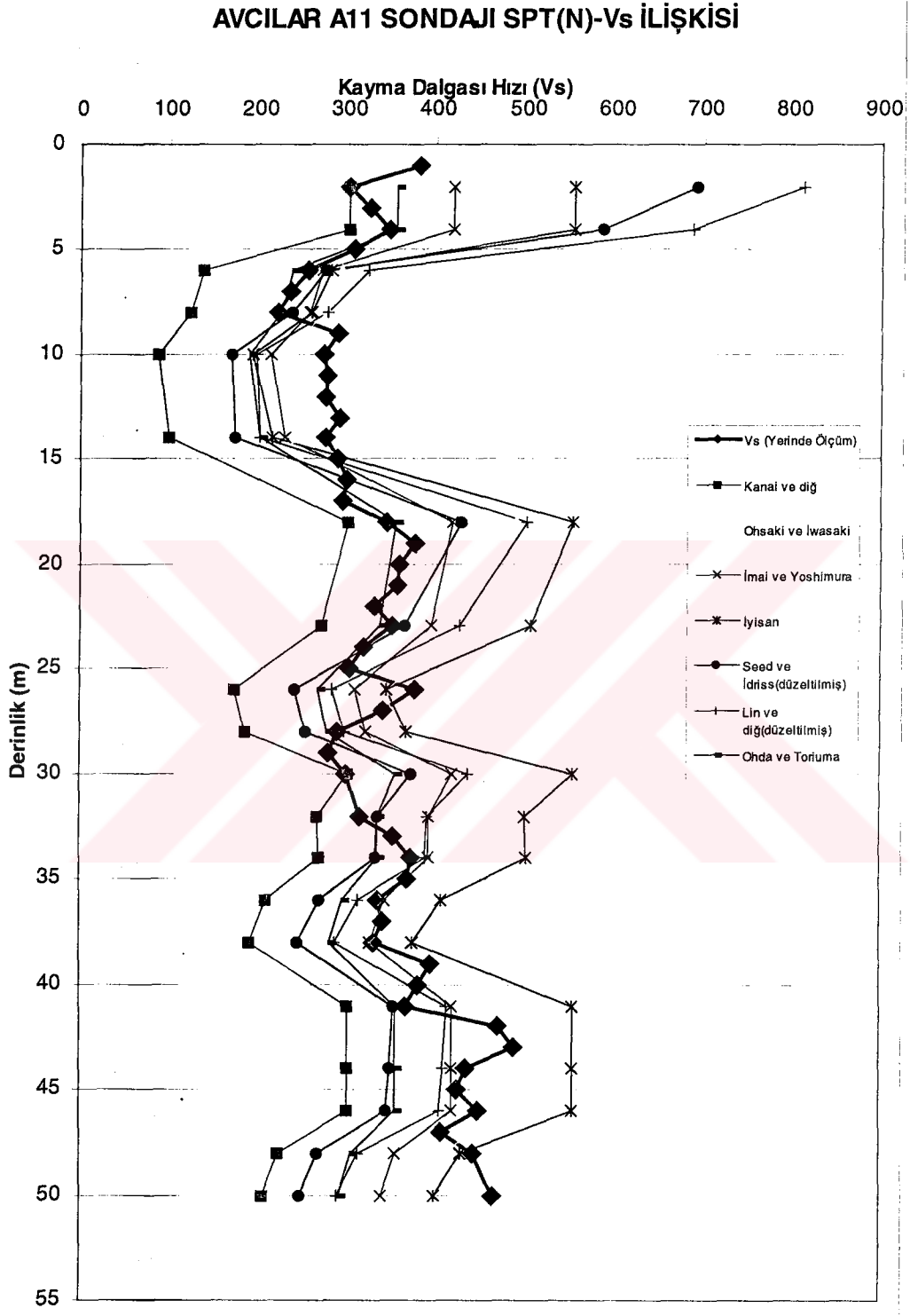
| Araştırmacı              | Bağıntı                   | Zemin Cinsi |
|--------------------------|---------------------------|-------------|
| Kanai ve diğ.(1966)      | $V_s = 19 N^{0.60}$       | Tüm         |
| Ohsaki ve İwasaki (1972) | $V_s = 81.4 N^{0.39}$     | Tüm         |
| Imai ve Yoshimura (1976) | $V_s = 92 N^{0.329}$      | Tüm         |
| İyisan (1996)            | $V_s = 51.5 N^{0.516}$    | Tüm         |
| Seed ve Idriss (1982)    | $V_s = 56.4 N_1^{0.5}$    | Tüm         |
| Lin ve diğ. (1990)       | $V_s = 65.58 N_1^{0.502}$ | Tüm         |
| Ohda ve Toriuma (1972)   | $V_s = 85.3 N^{0.31}$     | Tüm         |

$N_1$  : derinlik düzeltmesi yapılmış SPT-N sayısıdır

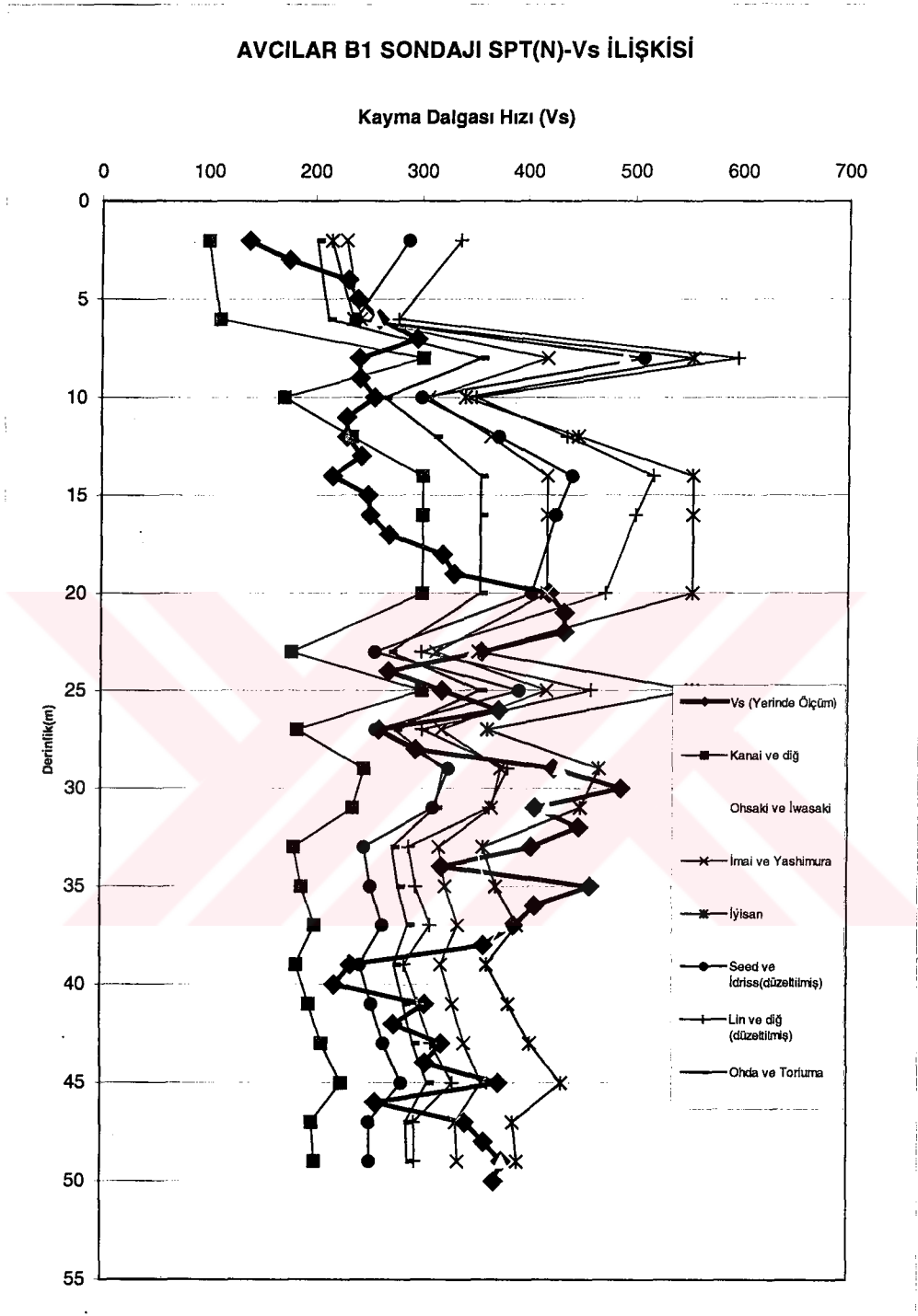
### AVCILAR A1 SONDAJİ SPT(N)-Vs İLİŞKİSİ



Şekil 5.4 JICA A1 sondajında yerinde ölçüm kayma dalgası hızları ile SPT(N) den elde edilen kayma dalgası hızlarının karşılaştırılması

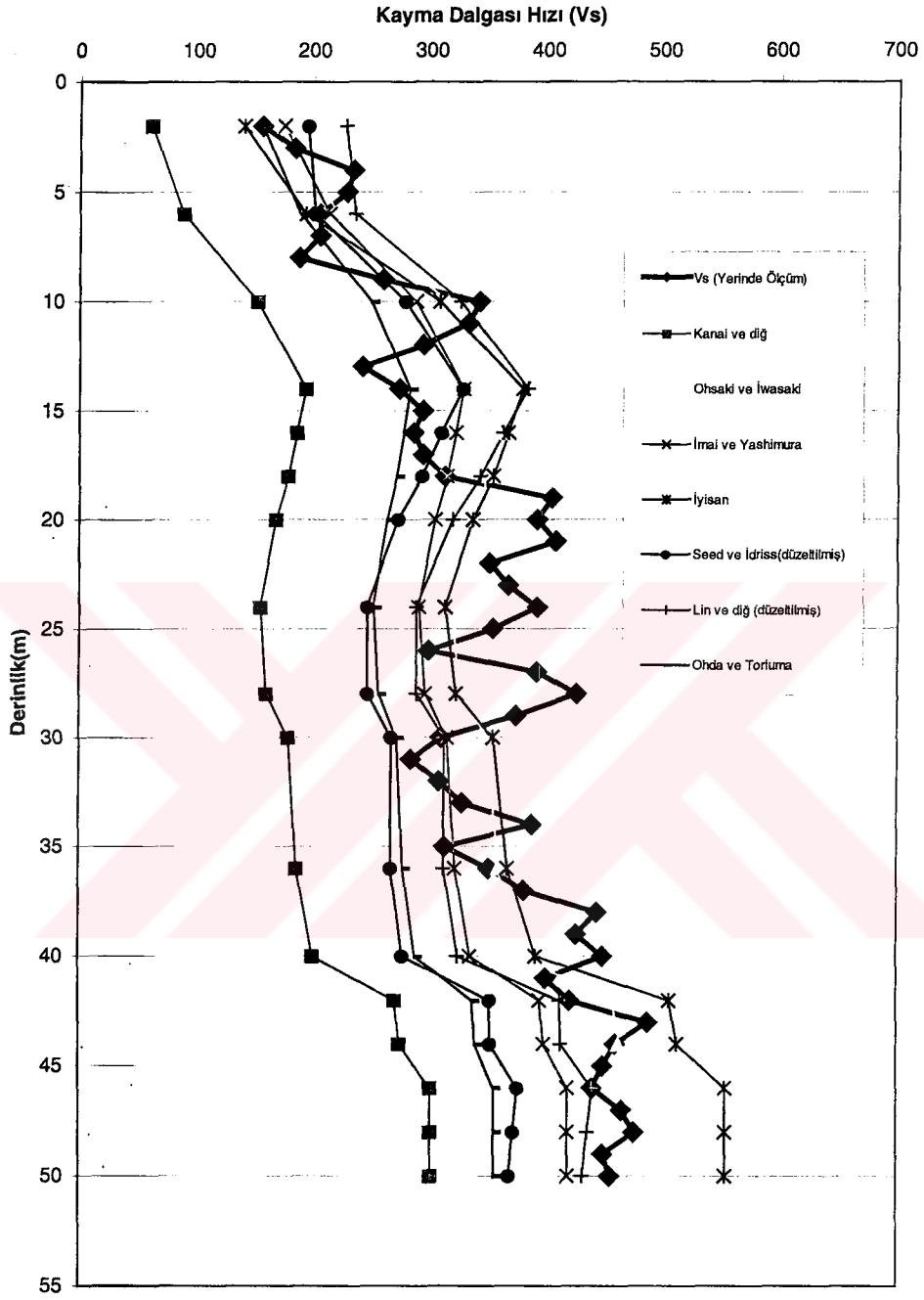


Şekil 5.4 JICA A11 sondajında yerinde ölçüm kayma dalgası hızları ile SPT(N) den elde edilen kayma dalgası hızlarının karşılaştırılması

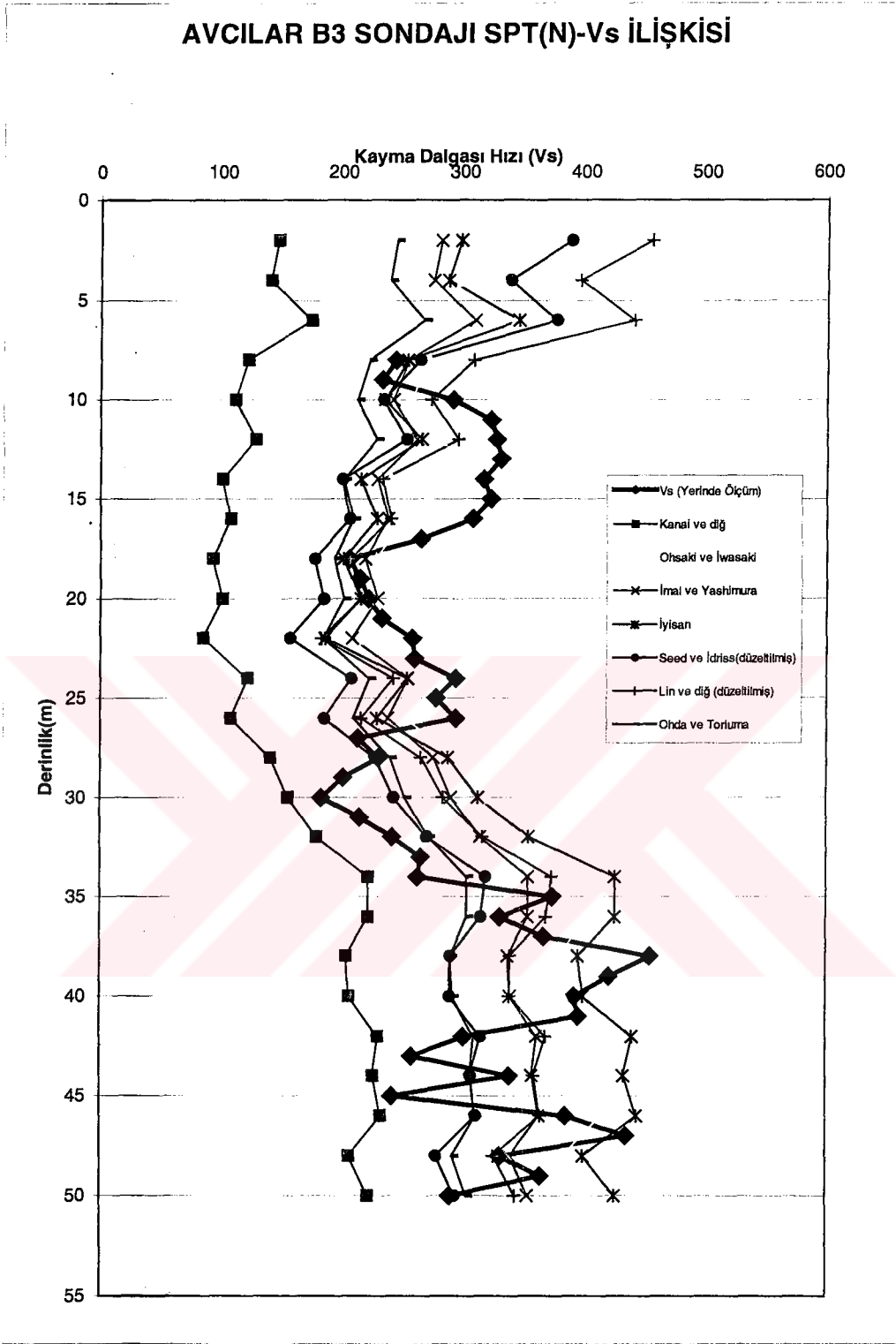


Şekil 5.4 JICA B1 sondajında yerinde ölçüm kayma dalgası hızları ile SPT(N) den elde edilen kayma dalgası hızlarının karşılaştırılması.(Devam)

## AVCILAR B2 SONDAJI SPT(N)-Vs İLİŞKİSİ



Şekil 5.4 JICA B2 sondajında yerinde ölçüm kayma dalgası hızları ile SPT(N) den elde edilen kayma dalgası hızlarının karşılaştırılması.(Devam)



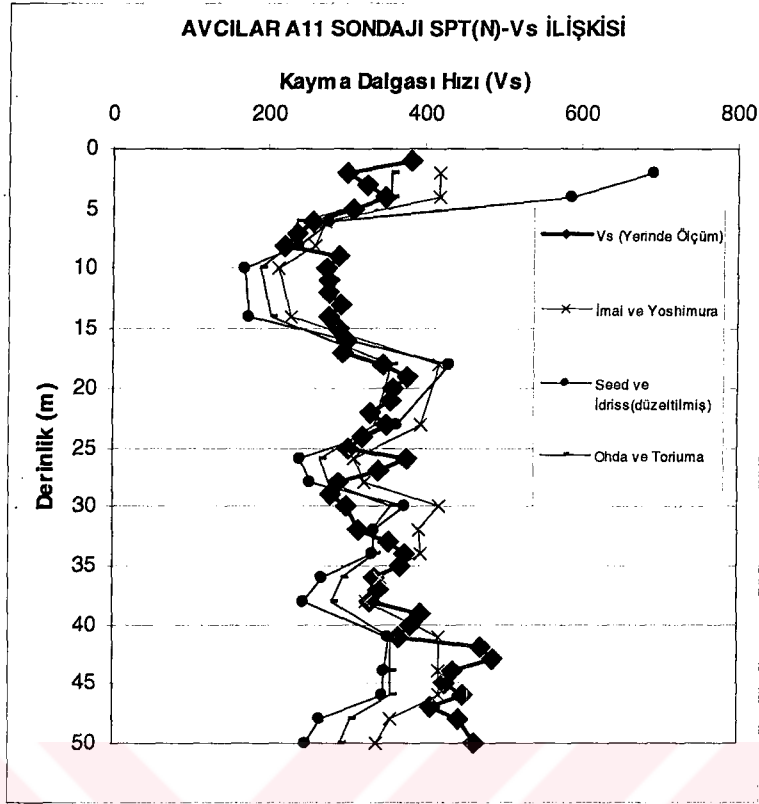
Şekil 5.4 JICA B3 sondajında yerinde ölçüm kayma dalgası hızları ile SPT(N) den elde edilen kayma dalgası hızlarının karşılaştırılması.(Devam)

Yapılan bu karşılaştırmalar neticesinde 3 bağıntının, İmai ve Yoshimura (1976), Seed ve İdriss (1982) ve Ohda ve Toriuma (1972)'nin bağıntılarının yerinde ölçüm kayma dalgası hızlarına yakın sonuçlar verdiği görülmektedir. JICA'nın A11 sondajında bu durum açık bir şekilde gözükmemektedir (Şekil 5.5). Bu üç bağıntı arasında yapılan değerlendirme neticesinde de Ohda ve Toriuma (1972)'nin bağıntısının Avcılar İlçesi zemini için en uygun bağıntı olduğuna karar verilmiştir (Şekil 5.6). Bu durum neticesinde ikinci yaklaşımla zemin profillerinin oluşturulmasında SPT(N) – Vs dönüşümünde bu bağıntı kullanılmıştır.

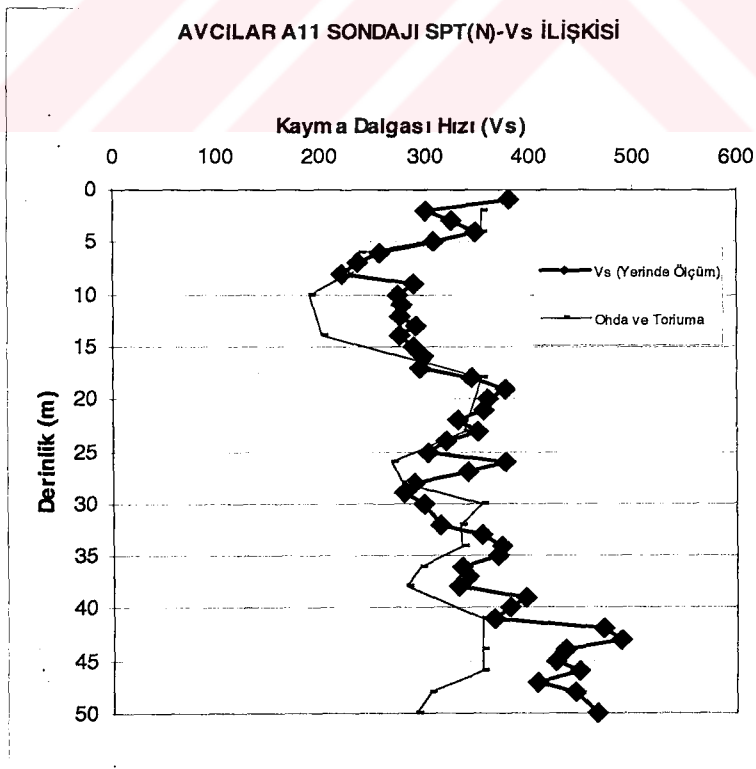
Zemin profilleri oluşturulurken kullanılan üçüncü yaklaşımda, zeminlerin formasyon bazında, derinlik ile kayma dalgası hızı değişiminin tespit edilmesi gerekmektedir. İlgili bölümde de belirtildiği üzere, Avcılar İlçesine genelde iki formasyon hakimdir, bunlar Bakırköy ve Gürpınar formasyonlarıdır. Bu iki formasyonun üzerinde ise özellikle sahil kesiminde ve Küçükçekmece Gölü kıyılarında görülen Alüvyon mevcuttur. Gürpınar formasyonu kalın bir kil tabakasından, Bakırköy formasyonu ise kil ana tabakalı ve Avcılar'ın bazı kesimlerinde mostra veren kireçtaşlarından oluşmaktadır. Derinlik ile kayma dalgası hızı değişiminin tespit edilmesi işleminin formasyonlar bazında değil de, bahis edilen bu malzemeler bazında, yani kil, kum ve kireçtaşlarında yapılması daha sağlıklı olur gibi gözükmemektedir. Ancak JICA'nın Avcılar İlçesi'nde yaptığı mevcut 5 adet PS Logging-yerinde ölçüm verileri olması, sınırlı sayıda veri ile zemin cinslerine göre ayırım yapılması işlemini imkansız kılmıştır. Bundan dolayı da derinlik-kayma dalgası hız değişimi formasyonlar bazında yapılmıştır. Bu işlem yapılırken Avcılar genelinde çok dar bir alanda rastlanan Güngören ve Çukurçeşme formasyonları ihmal edilmiştir.

Derinlik ile kayma dalgası hızı değişiminin tespit edilmesinde, JICA'nın Avcılar İlçesi'nde 5 noktada yaptırdığı PS Logging deney verileri kullanılmıştır. İlk önce deneylerin yapıldığı sondaj kuyularındaki zemin profilleri formasyonlara göre ayrılmıştır. Bu işlem bütün sondajlarda yapıldıktan sonra her formasyona ait sondajlardan alınan kayma dalgası hızlarının derinlik ile değişimi ayrı ayrı istiflenmiştir. Bütün bu işlemler sonucunda 5 sondajdan elde edilen veriler her bir formasyon için ayrı bir grafik üzerinde toplanmış ve bu grafik üzerinden formasyonu en iyi temsil eden ideal bir eğri geçirilmiştir (Şekil 5.7). Gürpınar ve Bakırköy formasyonu ile Alüvyon zemin için yapılan bu işlem sonucunda geçirilen eğrilerin değerleri Çizelge 5.7 de gösterilmektedir.

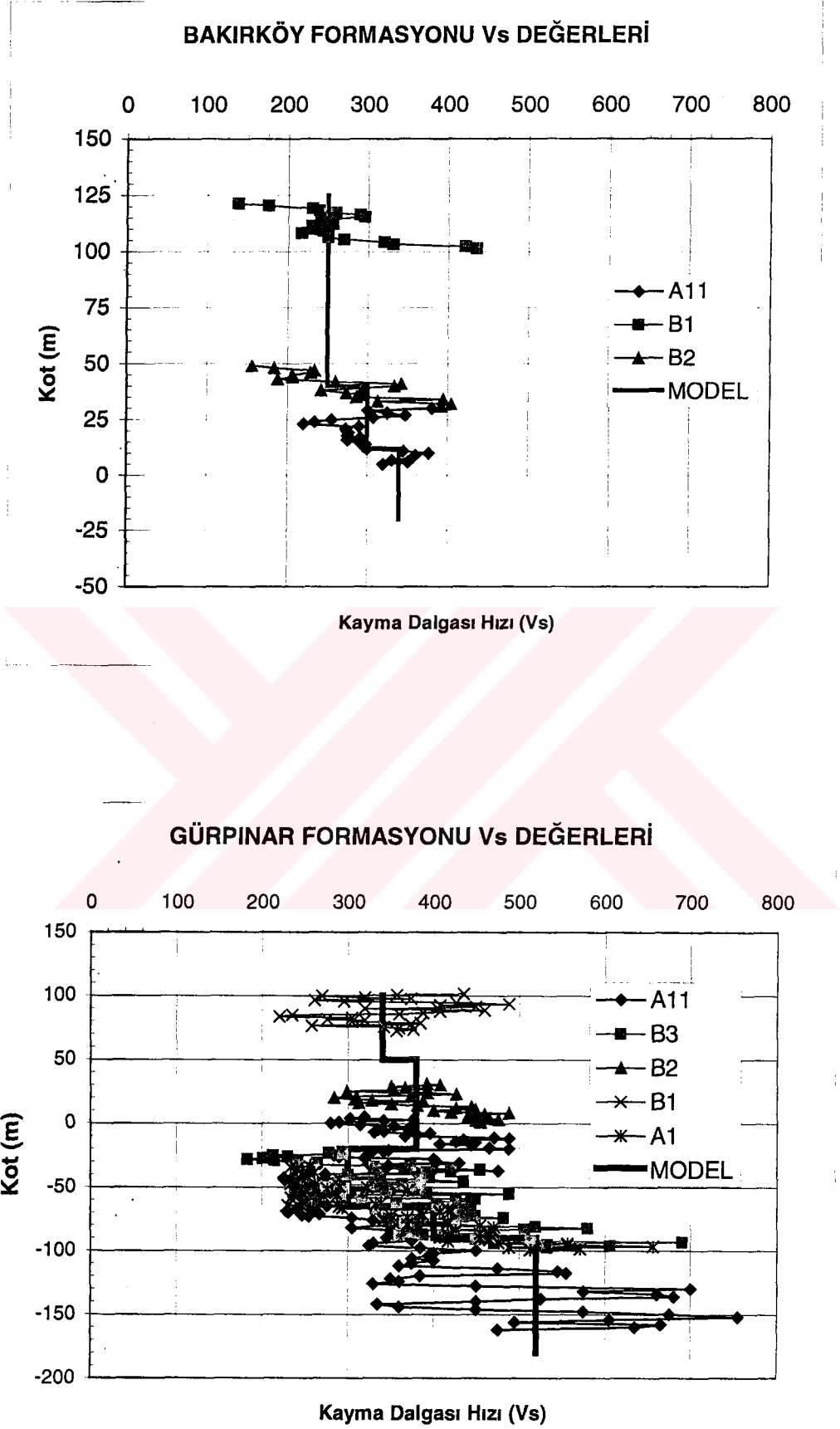




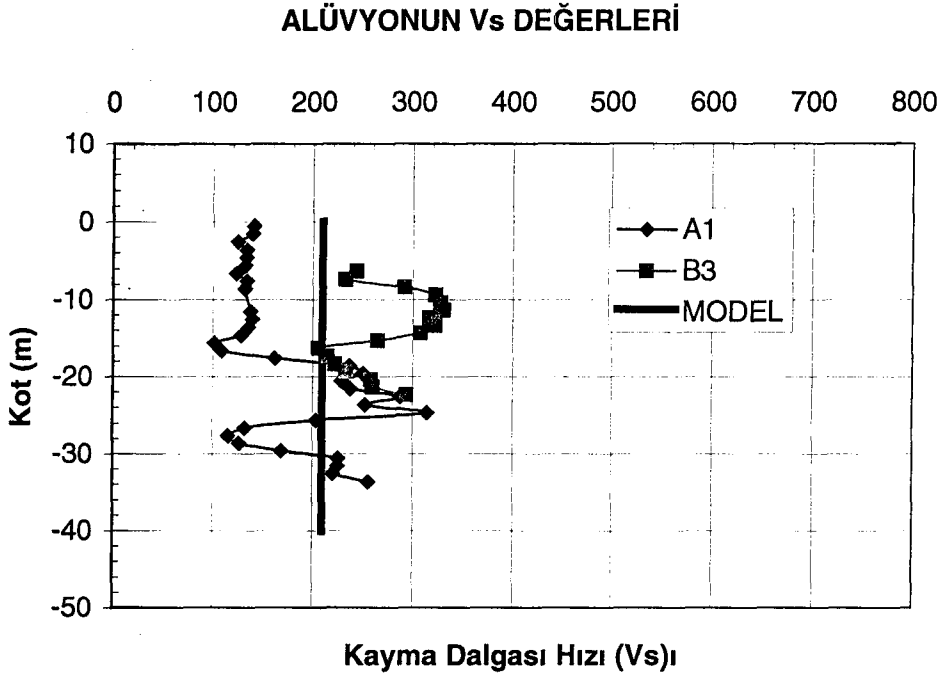
Şekil 5.5 A11 sondajın da en uygun üç bağıntı ile yapılan SPT(N) –  $V_s$  dönüşümü.



Şekil 5.6 Ohda ve Toriuma bağıntısı ile SPT (N) –  $V_s$  dönüşümü.



Şekil 5.7 Formasyonlar bazında kayma dalgası hızının derinlik ile değişimi.



Şekil 5.7 Formasyonlar bazında kayma dalgası hızının derinlik ile değişimi.(Devam)

Çizelge 5.7 Jeolojik formasyonların derinlik ile kayma dalgası hızı değişimi.

| Jeolojik Formasyon                  |                        | Kayma dalgası hızı<br>(m/sn) |
|-------------------------------------|------------------------|------------------------------|
| Alüvyon                             |                        | 210                          |
| Baf                                 | 40m <Yükseklik         | 250                          |
|                                     | 12m <Yükseklik < 40m   | 300                          |
|                                     | Yükseklik < 12m        | 340                          |
| Güf                                 | 50m <Yükseklik         | 340                          |
|                                     | -20m <Yükseklik < 50m  | 380                          |
|                                     | -65m <Yükseklik < -20m | 300                          |
|                                     | -90m <Yükseklik < -65m | 400                          |
|                                     | Yükseklik < -90m       | 520                          |
| Ceylan-Soğucak-Kırklareli Fm(Eosen) |                        | 700                          |

#### 5.4.1.2 Analizde Kullanılan Diğer Dinamik Özelliklerinin Belirlenmesi

Avcılar İlçesi'ndeki zeminlerin, üçüncü aşama bölgeleme kapsamında, deprem hareketi altındaki davranışın incelenmesi sırasında oluşturulan idealize zemin profillerinde, kayma dalgası hızı ile beraber, zeminlerin en önemli iki dinamik özelliği olan kayma modülü ( $G$ ) ve sönüm oranı ( $D$ ) değerlerinin kayma deformasyonuna göre değişiminin doğru tespit edilmesi gerekmektedir. Çok küçük şekil değiştirme seviyelerindeki kayma modülü değeri

$$G = \rho V_s^2 \quad (5.10)$$

bağıntısından elde edilmektedir. İlgili bölümde belirtildiği gibi bu iki önemli dinamik özelliğin kayma şekil değiştirme seviyesi ile değişiminin belirlenmesi için bir çok araştırmacı tarafından çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalar arasında Vucetic ve Dobry (1991) tarafından plastisite indisinin etkisinin gösterildiği araştırma, bu tez kapsamında yapılan çalışmalarda killi zeminler için kullanılmıştır. Diğer araştırmacıların çalışmalarının da (Seed ve Idriss (1970), Ishihara ve Ansal (1982), Seed ve diğ.(1986), Sun ve diğ. (1988) ) zemin cinsine göre uygun olanları kullanılmıştır.

Vucetic ve Dobry (1991)'nin, tabakaların kayma modülü ve sönüm oranlarının kayma deformasyonuna göre değişimini gösteren ilişkilerinden faydalanabilmek için, ilk önce tabakaların plastisite indislerinin tespit edilmesi gerekmektedir. Bu amaçla mevcut 87 adet sondajda yapılmış laboratuvar çalışmaları incelenmiş ve plastisite indisinin malzeme bazında derinlikle değişimi tespit edilmeye çalışılmış, fakat eldeki mevcut verilerden Avcılar İlçe'sindeki zemin cinslerinin plastisite indisi değerlerinin derinlikle değişimini gösteren sağlıklı bir ilişki kurulamamıştır. Bu durumdan hareketle Avcılar İlçesindeki formasyonların plastisite indisi değerlerinin değişim aralığı belirlenmeye çalışılmış ve bu konuda da M.Yıldırım (2002)'in "İstanbul Tersiyer Çökellerinin Stratigrafisi ve Mühendislik Özellikleri" adlı makalesinden faydalanılmıştır. Bu makalede İstanbul formasyonlarının indeks özelliklerinin hangi aralıklar arasında değiştiği belirtilmektedir. Bu tez kapsamında incelenen Avcılar İlçesindeki formasyonların plastisite indisi değerlerinin değişim aralığı Çizelge 5.8 de gösterilmektedir. Üçüncü aşama bölgeleme kapsamında yapılan dinamik analizlerde zemin profillerinin oluşturulmasında plastisite indisi değeri Bakırköy formasyonu için %35, Gürpınar Formasyonu için ise ortalama değer olan %40 değeri alınmıştır.

Tabakaların birim hacim ağırlıkları ise laboratuvar deneylerinden elde edilen sonuçların yanı sıra, Bowles (1982) tarafından SPT (N) sayılarına bağlı olarak verilen  $\rho = 1587 N^{0.085}$  (mks birim cinsinden) bağıntısından faydalanılarak belirlenmiştir.

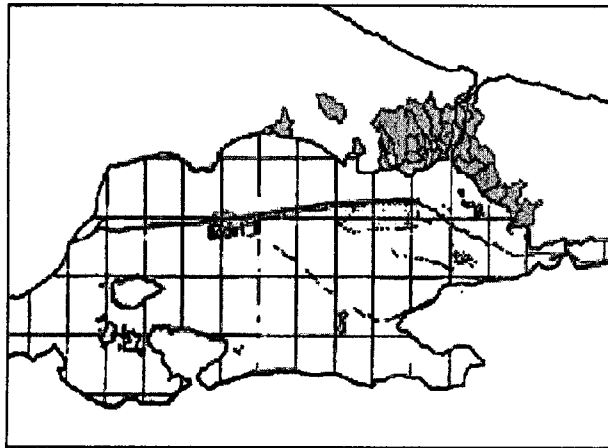
Çizelge 5.8 Avcılar'da ki formasyonların plastisite indisi değerleri (M.Yıldırım, 2002).

| Jeolojik Formasyon        | Plastisite İndisi ( $I_p$ ) |
|---------------------------|-----------------------------|
| Bakırköy Formasyonu (Baf) | % 35                        |
| Gürpınar Formasyonu       | % 20 - % 60                 |

## 5.4.2 Deprem Analizi

### 5.4.2.1 Senaryo Deprem, Fay Modelleri ve Azalım İlişkileri

İlgili bölümlerde de belirtildiği gibi İstanbul İli ve özelde de bu çalışma kapsamında incelenen Avcılar İlçesi tarih boyunca bir çok defa büyük depremlere maruz kalmıştır ve yakın gelecekte de büyük bir deprem beklenmektedir. Üçüncü aşama bölgeleme çalışmaları kapsamında yapılan dinamik analizler için, Avcılar İlçesini etkileyen senaryo deprem modelinin ortaya konulması gerekmektedir. Bu aşamada JICA'nın "İstanbul İli Sismik Mikrobölgeleme Dahil Afet Önleme / Azaltma Temel Planı Çalışması"adlı çalışmasından faydalanılmıştır. JICA'nın bu raporunda, inceleme alanı için göz önüne alınacak depremin, Kuzey Anadolu Fayı'nın doğuda İzmit Körfezinin ağzında başlayıp, batıda Ganos Fayı ile birleşen, Marmara Denizi içindeki kısmında olacağı belirtilmiştir. Bu fayın kırılması durumu için ise 4 farklı model ortaya konulmuştur. Bu modellerden bir tanesi olan Model B bu çalışma için senaryo deprem olarak seçilmiştir. Senaryo depremin magnitüdü 7.4, kırılması beklenen fay ise yanal atımlı ve 108 km uzunluğundadır. Model olarak alınan fay Bakırköy'ün güneyinde, Marmara Denizi içinde yer alan çukurlukların kuzey yamacından başlayarak yaklaşık doğu-batı doğrultusunda Şarköy-Mürefte sahiline kadar uzanmaktadır. Şekil 5.8' de Senaryo deprem fayı ve konumu gösterilmiştir.



Şekil 5.8 Senaryo deprem fayı (Model B) (JICA, 2002)

Dinamik analiz çalışmaları kapsamında senaryo deprem ve fay modeli belirlendikten sonra anakayadaki ivme değerini tespit edebilmek için azalım ilişkileri üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalar neticesinde Campell (1997) ın azalım ilişkileri, anakayadaki ivme değerini bulmak için seçilmiştir.

Anakayadaki ivme değerini, azalım ilişkileri ile doğru tespit edebilmek için Avcılar İlçesi faya olan uzaklıklarına göre 7 ayrı bölgeye ayrılmıştır (Şekil 5.9). Senaryo deprem fayının inceleme bölgesinde sahile dik uzaklığı 9.5 km dir. İnceleme bölgesi ise sahilten itibaren 13 km uzunluğundadır. Bu bölge 7 ayrı parçaya ayrılarak her bir parçanın faya olan ortalama dik uzaklığı göz önüne alınarak, ana kayadaki ivme değerleri azalım ilişkilerinden faydalanılarak bulunmuştur. Bu bölgelerin her biri için anakayadaki ivme değeri Çizelge 5.9’ da gösterilmektedir. Herbir bölge içindeki noktalarda analiz yapılırken bu anakaya ivme değerleri göz önüne alınmıştır.

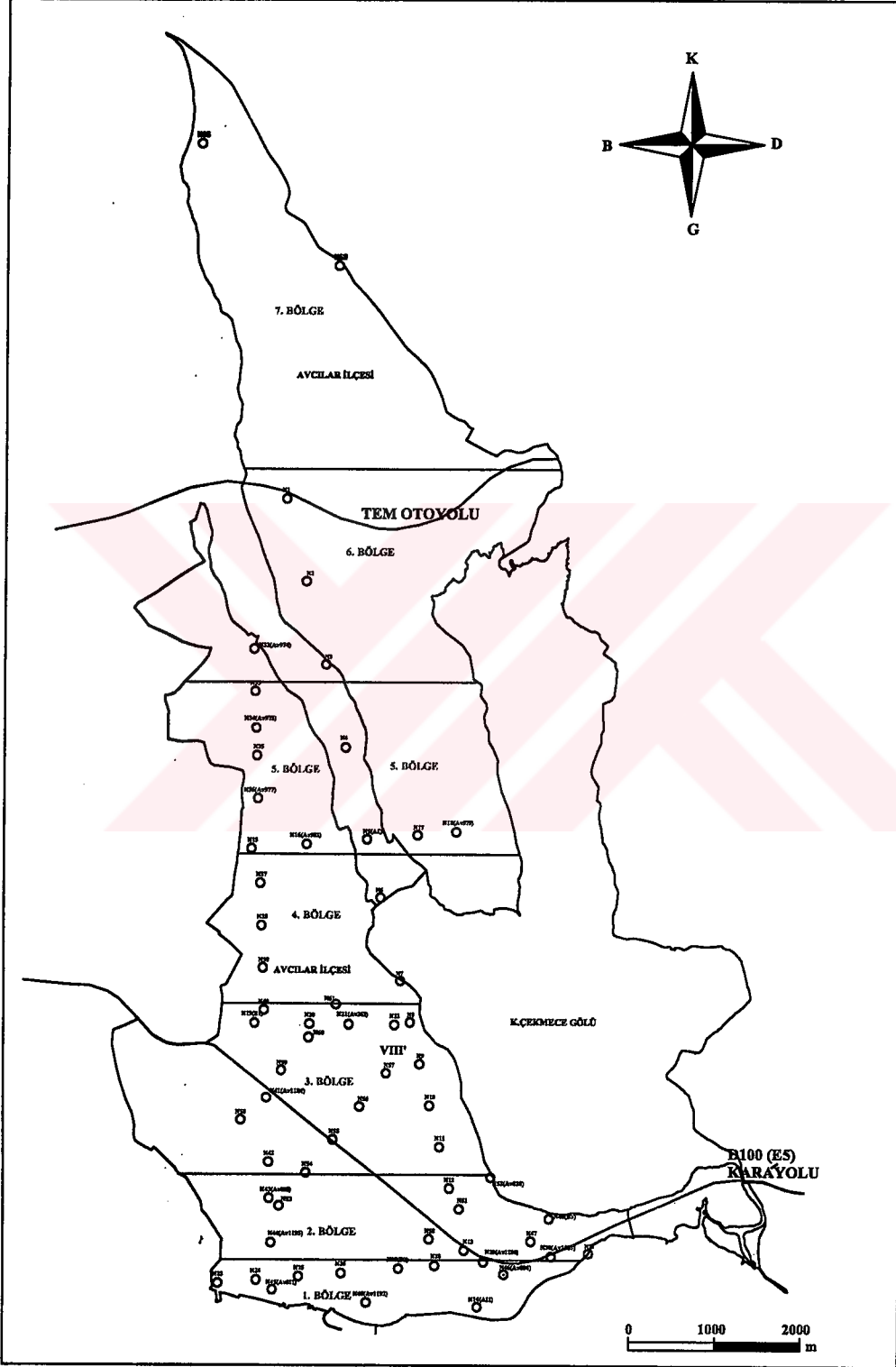
Çizelge 5.9 Avcılarda ki 7 ayrı bölgenin anakayadaki ivme değerleri

| Bölge No | Faya Uzaklık (km) | İvme değeri (gal) |
|----------|-------------------|-------------------|
| 1. Bölge | 10                | 467               |
| 2. Bölge | 11                | 434               |
| 3. Bölge | 12                | 413               |
| 4. Bölge | 14                | 375               |
| 5. Bölge | 16                | 341               |
| 6. Bölge | 19                | 296               |
| 7. Bölge | 23                | 247               |

#### 5.4.2.2 Deprem Kaydı Seçimi

İlgili bölümde de belirtildiği gibi İstanbul’ da üç farklı kuruluşa ait 13 adet yer hareketi kayıt ağı bulunmaktadır. Bu kayıt ağları tarafından tutulan, 17 Ağustos ve 12 Kasım 1999 depremlerine ait ivme kayıtlarından, anakaya üzerinde olan üç tanesi seçilmiş ve deprem hareketi altında Avcılar zemininin davranışının EERA programı ile modellenmesi sırasında, anakayada senaryo depreminin ivme kaydı olarak kullanılmıştır. Bu kayıtlardaki maksimum ivme değeri, azalım ilişkileri neticesinde belirlenen analiz yapılan bölgede anakayada oluşacak maksimum ivme değerine dönüştürülmüş ve kayıtlar analize o şekilde dahil

edilmiştir. Bu 13 kayıt arasından kaya kaydı olduğu bilinen Maslak (MSK), Yapı Kredi (YKP) ve Balmumcu (İST) kayıtları dinamik analizlerde kullanılmıştır.



Şekil 5.9 Avcılar İlçesi'nde faya olan uzaklıklara göre belirlenen 7 bölge ve analiz noktalarının gösterimi.

### 5.4.3 Normalize Edilmiş Spektral İvme Değerleri ve Zemin Hakim Peryotlarının Belirlenmesi

Üçüncü aşama mikrobölgeleme çalışmaları kapsamında EERA programı ile yapılan bir boyutlu (1D) analiz neticesinde, 63 farklı noktada üç ayrı anakaya ivme kaydına göre en büyük yüzey ivmeleri, spektral ivmeler, zemin hakim periyodu ve spektral ivmelerin yüzey ivmeleri ile normalize edilmesi sonucunda normalize edilmiş spektral ivme değerleri bulunmuştur. Çizelge 5.10' da bu değerler yerel zemin sınıfları ile birlikte gösterilmektedir. Çizelge 5.10 incelendiğinde en büyük yüzey ivmelerin genelde 0.2g ile 0.6g, zemin hakim periyotlarının 0.15s ile 0.45s, normalize edilmiş spektral ivme değerlerinin ise 3 ile 4.5 değerleri arasında değiştiği görülmektedir. 63 farklı noktada 3 ayrı kayıtle yapılan analizlerin tamamında normalize edilmiş spektral ivme değerlerinin 2.5'dan büyük çıkması ilgi çekici bir durumdur. Burada sadece sonuçlar sunulmuş olup bu sonuçların değerlendirip yorumlanması Avcılar İlçesi'nin tasarım davranış spektrumlarının belirlendiği Bölüm 6'da ve coğrafik bilgi sistemleri ile mikrobölgeleme yöntemlerinin karşılaştırıldığı Bölüm 7'de ayrıntılı olarak değerlendirilmektedir.



Çizelge 5.10 Avcılar zemini için, EERA programı ile elde edilen değerler.

| Analiz Noktası | Kayıt istasyonu | En büyük yüzey ivmesi | En büyük spektral ivme | Normalize edilmiş spektral ivme | Zemin hakim periyodu |
|----------------|-----------------|-----------------------|------------------------|---------------------------------|----------------------|
| N1             | Balmumcu(İST)   | 0,364                 | 1,33                   | 3,67                            | 0,21                 |
|                | Yapı Kredi(YKP) | 0,429                 | 1,92                   | 4,47                            | 0,19                 |
|                | Maslak(MSK)     | 0,394                 | 2,02                   | 5,13                            | 0,18                 |
| N2             | Balmumcu(İST)   | 0,541                 | 2,29                   | 4,22                            | 0,37                 |
|                | Yapı Kredi(YKP) | 0,435                 | 1,92                   | 4,41                            | 0,37                 |
|                | Maslak(MSK)     | 0,401                 | 1,89                   | 4,72                            | 0,28                 |
| N3             | Balmumcu(İST)   | 0,375                 | 1,12                   | 3,00                            | 0,21-0,46            |
|                | Yapı Kredi(YKP) | 0,462                 | 1,60                   | 3,46                            | 0,21                 |
|                | Maslak(MSK)     | 0,360                 | 1,43                   | 3,96                            | 0,18                 |
| N4             | Balmumcu(İST)   | 0,392                 | 1,12                   | 2,87                            | 0,37                 |
|                | Yapı Kredi(YKP) | 0,483                 | 1,36                   | 2,80                            | 0,27                 |
|                | Maslak(MSK)     | 0,345                 | 1,38                   | 3,99                            | 0,15                 |
| N5 (A1)        | Balmumcu(İST)   | 0,360                 | 1,13                   | 3,13                            | 0,37                 |
|                | Yapı Kredi(YKP) | 0,418                 | 1,41                   | 3,38                            | 0,21                 |
|                | Maslak(MSK)     | 0,373                 | 1,13                   | 3,02                            | 0,18                 |
| N6             | Balmumcu(İST)   | 0,411                 | 1,09                   | 2,64                            | 0,37                 |
|                | Yapı Kredi(YKP) | 0,527                 | 1,69                   | 3,20                            | 0,21                 |
|                | Maslak(MSK)     | 0,375                 | 1,45                   | 3,87                            | 0,24                 |
| N7             | Balmumcu(İST)   | 0,207                 | 0,75                   | 3,64                            | 0,37                 |

|          |                 |       |      |      |           |
|----------|-----------------|-------|------|------|-----------|
|          | Yapı Kredi(YKP) | 0,275 | 0,84 | 3,04 | 0,46      |
|          | Maslak(MSK)     | 0,386 | 1,55 | 4,01 | 0,15      |
| N8       | Balmumcu(İST)   | 0,318 | 1,28 | 4,03 | 0,37      |
|          | Yapı Kredi(YKP) | 0,379 | 1,28 | 3,36 | 0,21-0,27 |
|          | Maslak(MSK)     | 0,335 | 1,21 | 3,62 | 0,18-0,24 |
| N9       | Balmumcu(İST)   | 0,267 | 1,06 | 3,98 | 0,37      |
|          | Yapı Kredi(YKP) | 0,317 | 1,13 | 3,55 | 0,45      |
|          | Maslak(MSK)     | 0,293 | 1,02 | 3,48 | 0,18      |
| N10      | Balmumcu(İST)   | 0,211 | 0,64 | 3,02 | 0,37-2,8  |
|          | Yapı Kredi(YKP) | 0,191 | 0,78 | 4,06 | 2,90      |
|          | Maslak(MSK)     | 0,240 | 0,71 | 2,95 | 0,28      |
| N11      | Balmumcu(İST)   | 0,301 | 1,23 | 4,07 | 0,37      |
|          | Yapı Kredi(YKP) | 0,406 | 1,30 | 3,21 | 0,19      |
|          | Maslak(MSK)     | 0,294 | 1,21 | 4,11 | 0,18      |
| N12      | Balmumcu(İST)   | 0,321 | 1,20 | 3,74 | 0,37      |
|          | Yapı Kredi(YKP) | 0,327 | 1,10 | 3,36 | 0,20-0,45 |
|          | Maslak(MSK)     |       |      |      |           |
| N13      | Balmumcu(İST)   | 0,363 | 1,64 | 4,5  | 0,37      |
|          | Yapı Kredi(YKP) | 0,410 | 1,43 | 3,49 | 0,45      |
|          | Maslak(MSK)     | 0,355 | 1,38 | 3,88 | 0,24      |
| N14(A11) | Balmumcu(İST)   | 0,334 | 1,31 | 3,92 | 0,37      |
|          | Yapı Kredi(YKP) | 0,376 | 1,30 | 3,44 | 0,45      |
|          | Maslak(MSK)     | 0,361 | 1,50 | 4,15 | 0,18      |

|         |                 |       |      |      |      |
|---------|-----------------|-------|------|------|------|
| N15     | Balmumcu(İST)   | 0,246 | 1,06 | 4,31 | 0,37 |
|         | Yapı Kredi(YKP) | 0,298 | 1,08 | 3,60 | 0,45 |
|         | Maslak(MSK)     | 0,306 | 1,04 | 3,40 | 0,18 |
| N16     | Balmumcu(İST)   | 0,345 | 1,40 | 4,08 | 0,37 |
|         | Yapı Kredi(YKP) | 0,337 | 1,73 | 5,15 | 0,21 |
|         | Maslak(MSK)     | 0,347 | 1,62 | 4,66 | 0,18 |
| N17     | Balmumcu(İST)   | 0,361 | 1,29 | 3,57 | 0,21 |
|         | Yapı Kredi(YKP) | 0,479 | 1,80 | 3,77 | 0,19 |
|         | Maslak(MSK)     | 0,476 | 2,24 | 4,7  | 0,18 |
| N18     | Balmumcu(İST)   | 0,443 | 1,55 | 3,49 | 0,26 |
|         | Yapı Kredi(YKP) | 0,642 | 2,84 | 4,14 | 0,31 |
|         | Maslak(MSK)     | 0,595 | 2,65 | 4,45 | 0,28 |
| N19(B1) | Balmumcu(İST)   | 0,251 | 0,72 | 2,85 | 0,37 |
|         | Yapı Kredi(YKP) | 0,370 | 1,36 | 3,67 | 0,26 |
|         | Maslak(MSK)     | 0,314 | 1,14 | 3,02 | 0,28 |
| N20     | Balmumcu(İST)   | 0,282 | 0,95 | 3,35 | 0,37 |
|         | Yapı Kredi(YKP) | 0,267 | 1,07 | 4,02 | 0,62 |
|         | Maslak(MSK)     | 0,349 | 1,00 | 2,86 | 0,76 |
| N21     | Balmumcu(İST)   | 0,336 | 1,04 | 3,09 | 0,37 |
|         | Yapı Kredi(YKP) | 0,328 | 1,10 | 3,34 | 0,45 |
|         | Maslak(MSK)     | 0,292 | 0,98 | 3,35 | 0,18 |
| N22     | Balmumcu(İST)   | 0,267 | 1,05 | 3,92 | 0,37 |
|         | Yapı Kredi(YKP) | 0,313 | 1,05 | 3,36 | 0,45 |

|         |                 |       |      |      |      |
|---------|-----------------|-------|------|------|------|
|         | Maslak(MSK)     | 0,279 | 1,03 | 3,69 | 0,18 |
| N23     | Balmumcu(İST)   | 0,397 | 1,35 | 3,40 | 0,37 |
|         | Yapı Kredi(YKP) | 0,559 | 1,82 | 3,25 | 0,45 |
|         | Maslak(MSK)     | 0,372 | 1,24 | 3,33 | 0,24 |
| N24     | Balmumcu(İST)   | 0,317 | 0,99 | 3,11 | 0,37 |
|         | Yapı Kredi(YKP) | 0,331 | 1,15 | 5,47 | 0,21 |
|         | Maslak(MSK)     | 0,318 | 1,02 | 3,20 | 0,24 |
| N25     | Balmumcu(İST)   | 0,42  | 1,32 | 3,87 | 0,37 |
|         | Yapı Kredi(YKP) | 0,384 | 1,44 | 3,73 | 0,27 |
|         | Maslak(MSK)     | 0,363 | 1,29 | 3,55 | 0,25 |
| N26     | Balmumcu(İST)   | 0,367 | 1,15 | 3,13 | 0,37 |
|         | Yapı Kredi(YKP) | 0,341 | 1,36 | 3,98 | 0,19 |
|         | Maslak(MSK)     | 0,345 | 1,38 | 4,01 | 0,18 |
| N27(B2) | Balmumcu(İST)   | 0,446 | 2,07 | 4,64 | 0,37 |
|         | Yapı Kredi(YKP) | 0,468 | 1,90 | 4,05 | 0,21 |
|         | Maslak(MSK)     | 0,390 | 1,47 | 3,76 | 0,24 |
| N28     | Balmumcu(İST)   | 0,376 | 1,28 | 3,42 | 0,37 |
|         | Yapı Kredi(YKP) | 0,411 | 1,27 | 3,09 | 0,45 |
|         | Maslak(MSK)     | 0,302 | 1,48 | 4,90 | 0,66 |
| N29     | Balmumcu(İST)   | 0,452 | 1,68 | 3,70 | 0,37 |
|         | Yapı Kredi(YKP) | 0,608 | 1,90 | 3,12 | 0,21 |
|         | Maslak(MSK)     | 0,495 | 1,75 | 3,52 | 0,18 |
| N30     | Balmumcu(İST)   | 0,432 | 1,63 | 3,77 | 0,37 |

|     |                 |       |      |      |      |
|-----|-----------------|-------|------|------|------|
|     | Yapı Kredi(YKP) | 0,493 | 1,57 | 3,18 | 0,45 |
|     | Maslak(MSK)     | 0,404 | 1,45 | 3,60 | 0,18 |
| N31 | Balmumcu(İST)   | 0,392 | 1,17 | 3,00 | 0,37 |
|     | Yapı Kredi(YKP) | 0,427 | 1,20 | 2,80 | 0,45 |
|     | Maslak(MSK)     | 0,340 | 1,05 | 3,08 | 0,24 |
| N32 | Balmumcu(İST)   | 0,577 | 2,30 | 4,00 | 0,37 |
|     | Yapı Kredi(YKP) | 0,508 | 1,94 | 3,81 | 0,21 |
|     | Maslak(MSK)     | 0,455 | 2,16 | 4,74 | 0,15 |
| N33 | Balmumcu(İST)   | 0,407 | 1,47 | 3,62 | 0,21 |
|     | Yapı Kredi(YKP) | 0,380 | 2,06 | 5,42 | 0,21 |
|     | Maslak(MSK)     | 0,403 | 1,44 | 3,58 | 0,24 |
| N34 | Balmumcu(İST)   | 0,597 | 1,56 | 2,61 | 0,21 |
|     | Yapı Kredi(YKP) | 0,467 | 2,18 | 4,68 | 0,21 |
|     | Maslak(MSK)     | 0,470 | 1,77 | 3,76 | 0,28 |
| N35 | Balmumcu(İST)   | 0,376 | 1,19 | 3,17 | 0,21 |
|     | Yapı Kredi(YKP) | 0,374 | 1,69 | 4,16 | 0,19 |
|     | Maslak(MSK)     | 0,338 | 1,45 | 4,29 | 0,18 |
| N36 | Balmumcu(İST)   | 0,376 | 1,24 | 3,31 | 0,21 |
|     | Yapı Kredi(YKP) | 0,403 | 1,10 | 3,57 | 0,45 |
|     | Maslak(MSK)     | 0,425 | 20,9 | 4,92 | 0,18 |
| N37 | Balmumcu(İST)   | 0,281 | 1,07 | 3,81 | 0,37 |
|     | Yapı Kredi(YKP) | 0,361 | 1,21 | 3,34 | 0,21 |
|     | Maslak(MSK)     | 0,297 | 1,13 | 3,80 | 0,18 |

|     |                 |       |      |      |      |
|-----|-----------------|-------|------|------|------|
| N38 | Balmumcu(İST)   | 0,271 | 0,91 | 3,37 | 0,37 |
|     | Yapı Kredi(YKP) | 0,275 | 1,02 | 3,70 | 0,45 |
|     | Maslak(MSK)     | 0,324 | 0,94 | 2,90 | 0,28 |
| N39 | Balmumcu(İST)   | 0,278 | 0,89 | 3,2  | 0,37 |
|     | Yapı Kredi(YKP) | 0,325 | 1,13 | 3,47 | 0,45 |
|     | Maslak(MSK)     | 0,326 | 1,14 | 3,50 | 0,18 |
| N40 | Balmumcu(İST)   | 0,297 | 0,97 | 3,27 | 0,37 |
|     | Yapı Kredi(YKP) | 0,310 | 1,10 | 3,57 | 0,45 |
|     | Maslak(MSK)     | 0,296 | 1,55 | 5,23 | 0,96 |
| N41 | Balmumcu(İST)   | 0,271 | 0,99 | 3,67 | 0,86 |
|     | Yapı Kredi(YKP) | 0,328 | 1,09 | 3,32 | 0,45 |
|     | Maslak(MSK)     | 0,294 | 0,85 | 2,90 | 0,37 |
| N42 | Balmumcu(İST)   | 0,271 | 0,98 | 3,65 | 0,37 |
|     | Yapı Kredi(YKP) | 0,315 | 1,13 | 3,60 | 0,21 |
|     | Maslak(MSK)     | 0,334 | 1,34 | 4,01 | 0,18 |
| N43 | Balmumcu(İST)   | 0,330 | 1,17 | 3,56 | 0,37 |
|     | Yapı Kredi(YKP) | 0,402 | 1,28 | 3,2  | 0,45 |
|     | Maslak(MSK)     | 0,380 | 1,55 | 4,08 | 0,18 |
| N44 | Balmumcu(İST)   | 0,391 | 1,63 | 4,18 | 0,37 |
|     | Yapı Kredi(YKP) | 0,433 | 2,19 | 5,06 | 0,21 |
|     | Maslak(MSK)     | 0,435 | 1,58 | 3,63 | 0,18 |
| N45 | Balmumcu(İST)   | 0,472 | 1,68 | 3,56 | 0,23 |
|     | Yapı Kredi(YKP) | 0,437 | 2,70 | 6,19 | 0,21 |

|         |                 |       |      |      |      |
|---------|-----------------|-------|------|------|------|
|         | Maslak(MSK)     | 0,575 | 2,55 | 4,43 | 0,24 |
| N46     | Balmumcu(İST)   | 0,460 | 2,06 | 4,48 | 0,23 |
|         | Yapı Kredi(YKP) | 0,483 | 1,76 | 3,64 | 0,45 |
|         | Maslak(MSK)     | 0,574 | 2,57 | 4,48 | 0,15 |
| N47     | Balmumcu(İST)   | 0,379 | 1,33 | 3,52 | 0,37 |
|         | Yapı Kredi(YKP) | 0,410 | 1,49 | 3,63 | 0,19 |
|         | Maslak(MSK)     | 0,384 | 1,51 | 3,93 | 0,24 |
| N48(B3) | Balmumcu(İST)   | 0,374 | 1,15 | 3,08 | 0,37 |
|         | Yapı Kredi(YKP) | 0,460 | 1,35 | 2,94 | 0,45 |
|         | Maslak(MSK)     | 0,323 | 1,00 | 3,09 | 0,18 |
| N49     | Balmumcu(İST)   | 0,394 | 1,41 | 3,58 | 0,37 |
|         | Yapı Kredi(YKP) | 0,396 | 1,37 | 3,46 | 0,45 |
|         | Maslak(MSK)     | 0,389 | 1,61 | 4,14 | 0,15 |
| N50     | Balmumcu(İST)   | 0,320 | 1,17 | 3,66 | 0,37 |
|         | Yapı Kredi(YKP) | 0,383 | 1,37 | 3,57 | 0,45 |
|         | Maslak(MSK)     | 0,330 | 1,14 | 3,47 | 0,24 |
| N51     | Balmumcu(İST)   | 0,346 | 1,35 | 3,91 | 0,37 |
|         | Yapı Kredi(YKP) | 0,420 | 1,45 | 3,45 | 0,45 |
|         | Maslak(MSK)     | 0,606 | 3,70 | 6,12 | 0,23 |
| N52     | Balmumcu(İST)   | 0,525 | 1,87 | 3,57 | 0,37 |
|         | Yapı Kredi(YKP) | 0,526 | 2,61 | 4,97 | 0,21 |
|         | Maslak(MSK)     | 0,537 | 2,54 | 4,72 | 0,24 |
| N53     | Balmumcu(İST)   | 0,277 | 0,86 | 3,1  | 0,37 |

|     |                 |       |      |      |      |
|-----|-----------------|-------|------|------|------|
|     | Yapı Kredi(YKP) | 0,292 | 1,00 | 3,43 | 0,45 |
|     | Maslak(MSK)     | 0,311 | 1,19 | 3,83 | 0,18 |
| N54 | Balmumcu(İST)   | 0,252 | 0,75 | 2,98 | 2,80 |
|     | Yapı Kredi(YKP) | 0,204 | 0,80 | 3,93 | 2,90 |
|     | Maslak(MSK)     |       |      |      |      |
| N55 | Balmumcu(İST)   | 0,445 | 1,74 | 3,91 | 0,37 |
|     | Yapı Kredi(YKP) | 0,716 | 3,20 | 4,47 | 0,19 |
|     | Maslak(MSK)     | 0,751 | 3,51 | 4,67 | 0,18 |
| N56 | Balmumcu(İST)   | 0,552 | 2,50 | 4,53 | 0,37 |
|     | Yapı Kredi(YKP) | 0,523 | 1,92 | 3,66 | 0,45 |
|     | Maslak(MSK)     | 0,468 | 1,33 | 2,84 | 0,37 |
| N57 | Balmumcu(İST)   | 0,286 | 1,17 | 4,11 | 0,37 |
|     | Yapı Kredi(YKP) | 0,322 | 1,24 | 3,83 | 0,21 |
|     | Maslak(MSK)     | 0,409 | 1,75 | 4,27 | 0,18 |
| N58 | Balmumcu(İST)   | 0,290 | 1,07 | 3,69 | 0,37 |
|     | Yapı Kredi(YKP) | 0,266 | 0,95 | 3,57 | 0,46 |
|     | Maslak(MSK)     | 0,299 | 1,11 | 3,71 | 0,18 |
| N59 | Balmumcu(İST)   | 0,324 | 1,05 | 3,22 | 0,37 |
|     | Yapı Kredi(YKP) | 0,316 | 1,07 | 3,38 | 0,45 |
|     | Maslak(MSK)     | 0,352 | 1,36 | 3,86 | 0,18 |
| N60 | Balmumcu(İST)   | 0,336 | 1,17 | 3,47 | 0,37 |
|     | Yapı Kredi(YKP) | 0,347 | 1,26 | 3,64 | 0,45 |
|     | Maslak(MSK)     | 0,365 | 1,08 | 2,95 | 0,18 |



|     |                 |       |      |      |      |
|-----|-----------------|-------|------|------|------|
| N61 | Balmumcu(İST)   | 0,310 | 1,05 | 3,38 | 0,37 |
|     | Yapı Kredi(YKP) | 0,263 | 0,92 | 3,49 | 0,46 |
|     | Maslak(MSK)     | 0,339 | 1,30 | 3,83 | 0,24 |
| N62 | Balmumcu(İST)   | 0,322 | 1,52 | 4,71 | 0,21 |
|     | Yapı Kredi(YKP) | 0,318 | 1,23 | 3,83 | 0,19 |
|     | Maslak(MSK)     | 0,292 | 1,15 | 3,91 | 0,18 |
| N63 | Balmumcu(İST)   | 0,364 | 1,33 | 3,67 | 0,20 |
|     | Yapı Kredi(YKP) | 0,428 | 1,90 | 4,47 | 0,19 |
|     | Maslak(MSK)     | 0,390 | 2,00 | 5,12 | 0,18 |

## 5.5 Sonuçlar

Bu bölümde, Avcılar İlçesi'nin tasarım davranış spektrumlarının belirlenmesi ve 17 Ağustos 1999 Kocaeli Depremi'nde Avcılar İlçesi'nde meydana gelen hasarın coğrafik bilgi sistemi yardımı ile İstanbul'da meydana gelmesi beklenen senaryo deprem sonucunda ortaya çıkacak farklı deprem verileri ile karşılaştırabilmek amacı ile yerel zemin koşulları araştırılmış ve tek boyutlu (1D) analiz yapılmıştır. Bu çalışmalarda ikinci aşama mikrobölgeleme yöntemleri kapsamında Standart Penetrasyon deneyi ve PS-Logging deney verileri kullanılmıştır. Üçüncü aşama yöntemler kapsamında ise EERA ile zeminlerin dinamik davranış analizi yapılmıştır.

Bu çalışmalar neticesinde Avcılar İlçesi'ne genel olarak Z3-D sınıfı zeminin hakim olduğu belirlenmiştir. Dinamik analizler neticesinde ise olası İstanbul depreminde yüzey ivmelerinin 0.2g ile 0.65g arasında, zemin hakim periyotlarının ise 0.15 s ile 0.45 s arasında değişeceği tespit edilmiştir. Normalize edilmiş spektral ivme değerlerinin ise TDY'nin çok üzerinde değerler aldığı ve analizlerin tamamında 2.5 değerinden yüksek olduğu gözlenmiştir.

Bir sonraki bölümde Avcılar İlçesi'nin Türkiye Deprem Yönetmeliği'ne ve NEHRP'ye göre tasarım davranış spektrumları belirlenmiş ve bu davranış spektrumları inceleme alanında yapılan tek boyutlu dinamik davranış analizlerinden belirlenen spektrum değerleri ile karşılaştırılarak Avcılar İlçesi'nin tasarım davranış spektrumu üzerinde değerlendirmeler yapılmıştır.

## 6. AVCILAR İLÇESİ'NİN TASARIM DAVRANIŞ SPEKTRUM EĞRİLERİNİN BELİRLENMESİ VE DEĞERLENDİRİLMESİ

### 6.1 Giriş

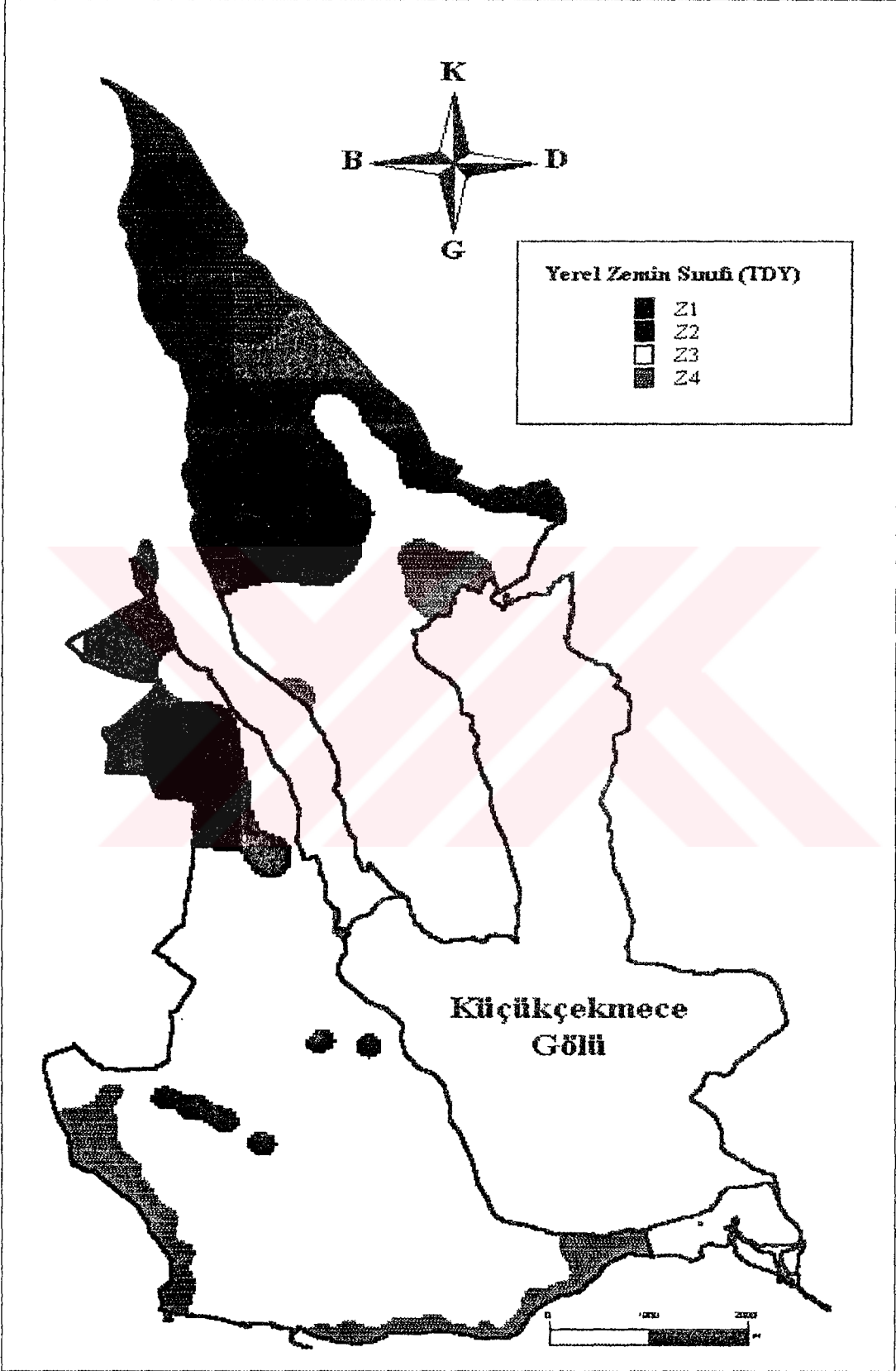
Bu bölümde Avcılar İlçesi'nin yerel zemin sınıfları TDY'ye ve NEHRP'ye göre belirlenmiş ve her iki yöntemle göre tasarım davranış spektrumları tespit edilerek, bunlar inceleme alanında yapılan tek boyutlu dinamik davranış analizlerinden belirlenen spektrum değerleri ile karşılaştırılmıştır.

Avcılar İlçesi'nde TDY'ye ve NEHRP'ye göre yerel zemin sınıflarının belirlenmesi için, birinci ve ikinci aşama mikrobölgeleme çalışmaları kapsamında çizilen 9 adet jeolojik kesitten, inceleme alanında bilgileri derlenen 87 adet sondaj verisinden ve 5 adet PS-Logging deney verisinden yararlanılmıştır. 5. Bölümde, dinamik analiz yapılan 63 noktada her iki zemin sınıflandırma sistemine göre yerel zemin sınıfları belirlenmiştir. Ancak yerel zemin sınıflarının coğrafik bilgi sistemi yardımıyla sunumunda bölgenin daha iyi tanımlanabilmesi amacı ile analiz noktaları dışında, sondaj verileri olan bölgeler de değerlendirmeye alınmıştır.

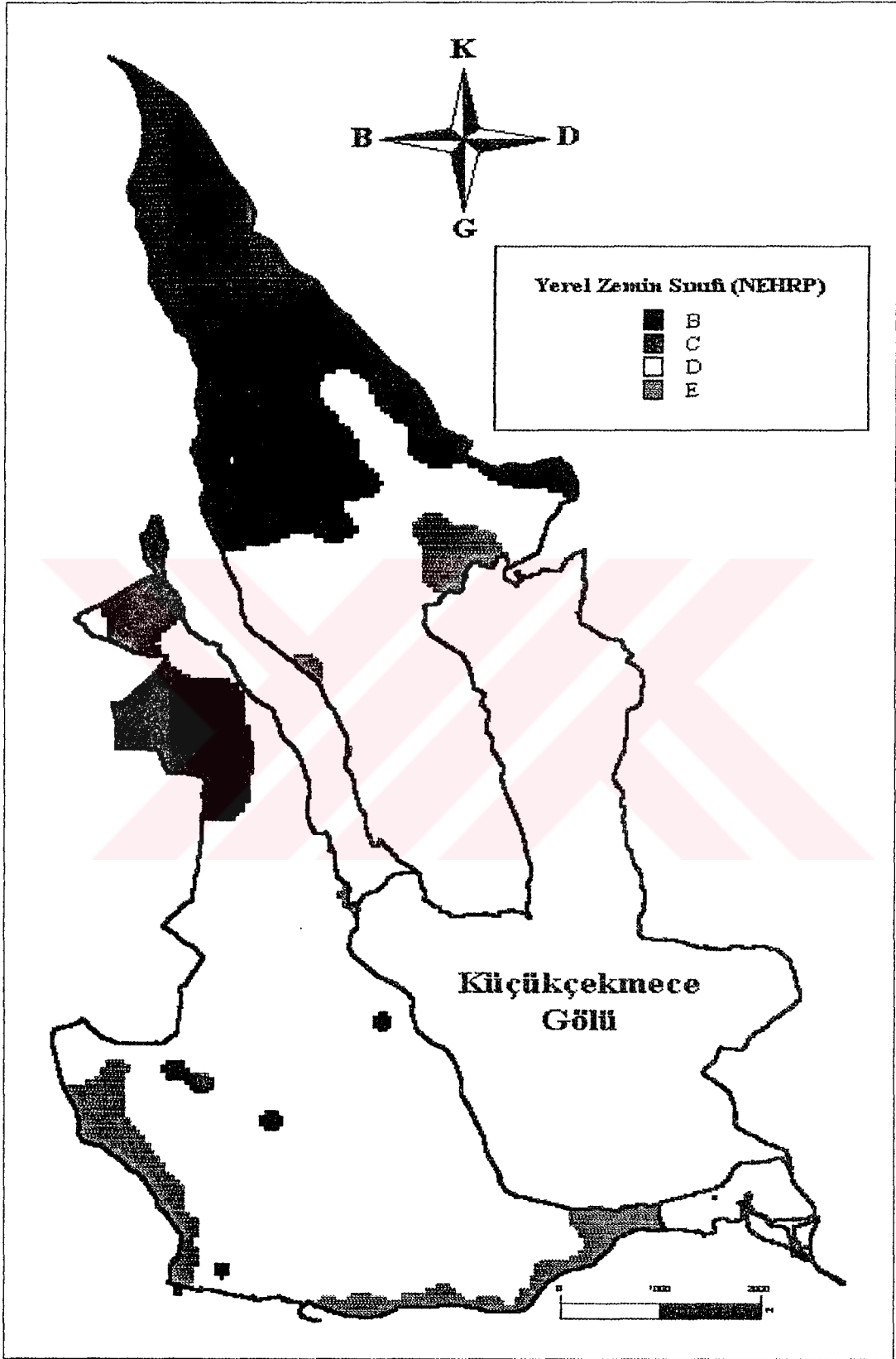
### 6.2 Yerel Zemin Koşullarının Türkiye Deprem Yönetmeliği'ne (TDY) ve NEHRP'ye Göre Belirlenmesi

Türkiye deprem Yönetmeliği'ne göre bölgeleme işlemi yapılırken, elde mevcut olan 87 adet sondajdan elde edilmiş SPT-N darbe sayılarından yararlanılmıştır. Avcılar İlçesi'nin kuzeyi gibi arazi geoteknik verilerinin sınırlı olduğu bölgelerin zemin sınıflandırması yapılırken ise sondaj verilerine ek olarak, dinamik analiz çalışmaları kapsamında PS-Logging deney verileri yardım ile belirlenen kayma dalgası hızının formasyon ile değişimi verilerinden de faydalanılmıştır. Avcılar İlçesi'nde TDY'ye göre yerel zemin sınıflarının Z1, Z2, Z3 ve Z4 olduğu belirlenmiştir. Ancak inceleme alanına hakim olan zemin sınıfı Z3'dür. Bu durum, sadece analiz yapılan 63 noktanın zemin sınıflarının gösterildiği Çizelge 5.5 'de görülmektedir. NEHRP'ye göre yerel zemin sınıfları belirlenirken de SPT-N darbe sayıları ile kayma dalgası hızının formasyon ile değişiminden faydalanılmıştır. NEHRP'ye göre yapılan zemin sınıflandırmasında ise bölgede B, C, D ve E sınıfı zeminlerin mevcut olduğu ancak bölgeye C sınıfı zeminin hakim olduğu belirlenmiştir.

Türkiye Deprem Yönetmeliği'ne ve NEHRP'ye göre belirlenen zemin sınıfları Coğrafik Bilgi Sistemleri (GIS) ile modellenerek Şekil 6.1 ve Şekil 6.2'de sunulmuştur.



Şekil 6.1 Türkiye Deprem Yönetmeliği yerel zemin sınıflarına göre Avcılar İlçesi'nde yapılan bölgeleme



Şekil 6.2 A.B.D Yönetmeliği (NEHRP) yerel zemin sınıflarına göre Avcılar İlçesi'nde yapılan bölgeleme

Yerel zemin sınıflarının gösterildiği haritalar ile Avcılar İlçesi'nin jeoloji haritası karşılaştırıldığında, Avcılar geneline hakim olan Gürpınar formasyonunun genelde Z3-D sınıfı zemin olduğu, Bakırköy formasyonunun Z2-C, Z2-D ve Z3-D sınıfına, Kırklareli Formasyonu (Eosen)'nun ise Z1-B sınıfına girdiği belirlenmiştir. Avcılar ilçesin'de dar bir alanda belirlenen Güngören formasyonu ile Çukurçeşme formasyonunun Z3-D sınıfı, Avcılar İlçesi'nin kıyı şeridinde ve Küçükçekmece Gölü'nün kuzeyinde bulunan Alüvyon zeminin ise Z4-E sınıfı zemin olduğu tesbit edilmiştir.

### 6.3 Avcılar İlçesi'nin Tasarım Davranış Spektrumlarının Türkiye Deprem Yönetmeliğine ve NEHRP'ye Göre Belirlenmesi

Türkiye Deprem Yönetmeliği'ne ve NEHRP'ye göre spektral davranış eğrilerinin belirlenebilmesi için ilk olarak bölgenin yerel zemin sınıfları her iki yönetmeliğe göre de tesbit edilmiştir. Yerel zemin sınıflarının belirlenmesinin ardından, Avcılar İlçesi dinamik analiz çalışmaları için belirlenen anakaya ivme değerleri göz önüne alınarak, 3 farklı alana ayrılmıştır (Şekil6.3). Bu işlemin amacı, dinamik analiz çalışmalarında göz önüne alınan senaryo fay modelinin inceleme alanına olan uzaklığının 10 ile 23 km arasında değişmesinden dolayı, faya yakın bir bölgedeki Z3-D sınıfı zemin ile faya 20 km uzaklıktaki Z3-D sınıfı zemini aynı kategoride değerlendirmemektir.

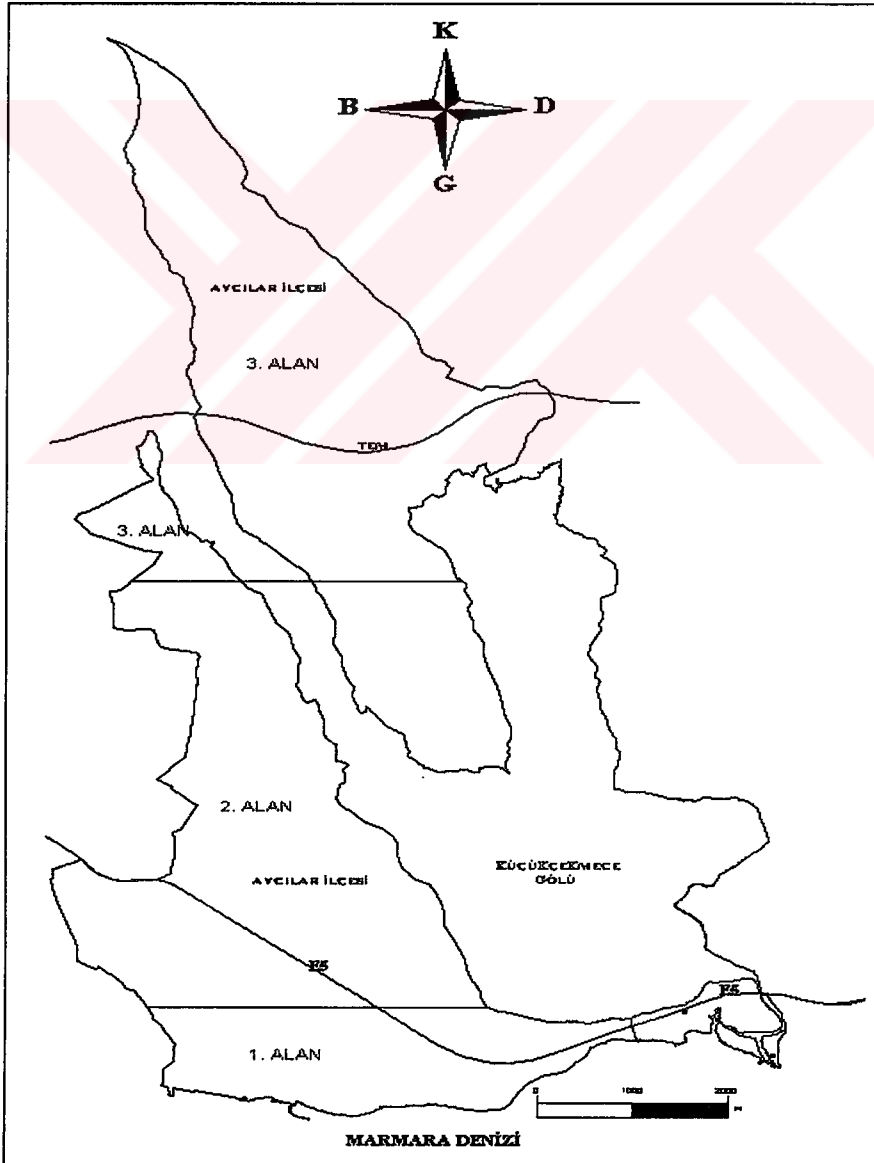
Türkiye Deprem Yönetmeliği'ne göre tasarım davranış spektrumlarını belirleyebilmek için %5 sönüm oranı için elastik Tasarım İvme Spektrum'unun yerçekimi ivmesi  $g$ 'ye bölünmesine karşı gelen Spektral İvme Katsayısı,  $A(T)$  Denklem 6.1'e uygun olarak tesbit edilmiştir.

$$A(T) = A_0 I S(T) \quad (6.1)$$

Şekil 6.3'de gözüken 3 farklı alandan 1. ve 2. Alan Afet İşleri Genel Müdürlüğü'nün deprem haritasına uygun olarak 1.Derece deprem bölgesi, 3. Alan ise 2.Derece deprem bölgesi olarak belirlenmiştir ve buradan yola çıkarak o alanlardaki etkin yer ivmesi ( $A_0$ ) tesbit edilmiştir. Spektrum karakteristik peryotları ( $T_A$ ,  $T_B$ ) ise yerel zemin sınıfına bağlı olarak belirlenmiş ve bina önem katsayısı tüm bölge için  $I=1$  olarak alınmıştır.

NEHRP'ye göre tasarım davranış spektrumlarını belirleyebilmek için inceleme alanında anakayada 0.2 s ve 1.0 s peryot değerlerindeki spektral ivmeler ( $S_S$ ,  $S_1$ ) tesbit edilmiştir. Bunun içinde Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Deprem Araştırma Enstitüsü tarafından hazırlanan "Earthquake Risk Assessment for Istanbul Metropolitan Area, Final Report 2002" de NEHRP B zemin sınıfı (anakaya) için 0.2 s ve 1.0 s de deterministik ve probablistik olarak

belirlenen spektral ivme değerleri kullanılmıştır. Probabilistik yaklaşımla 0.2 s ve 1.0 s için belirlenen spektral ivme değerleri 50 yıllık bir peryotta %2 aşılma olasılığına göre hesaplanmıştır. Avcılar İlçesi'nde NEHRP'ye göre tasarım davranış spektrumlarını belirleyebilmek için kullanılan  $S_S$  ve  $S_1$  değerleri, 3 farklı Alana'a göre izelge 6.1'de verilmiştir.  $S_S$  ve  $S_1$  değerlerinin bulunmasından sonra bu değerler üzerinde yerel zemin koşullarını dikkate alan bir düzeltme yapılmıştır. Bu düzeltme neticesinde yerel zemin sınıflarına göre düzletilmiş, 0.2 s ve 1.0 s'lik peryotlarda öngörülen maksimum deprem spektral ivme ( $S_{MS}$  ve  $S_{M1}$ ) değerleri bulunmuştur. Tasarım spektral ivme parametreleri ( $S_{DS}$ ,  $S_{D1}$ ) ise maksimum deprem spektral ivme değerinin 2/3 ile çarpılması neticesinde bulunmuştur. Çizelge 6.2'de tasarım davranış spektrum parametreleri B, C, D ve E zemin sınıfına göre 3 farklı alan için verilmiştir.



şekil 6.3 Tasarım davranış spektrumlarının belirlenmesinde kullanılan alanlar

Çizelge 6.1 Avcılar İlçesi için probabilistik ve deterministik  $S_s$  ve  $S_1$  değerleri

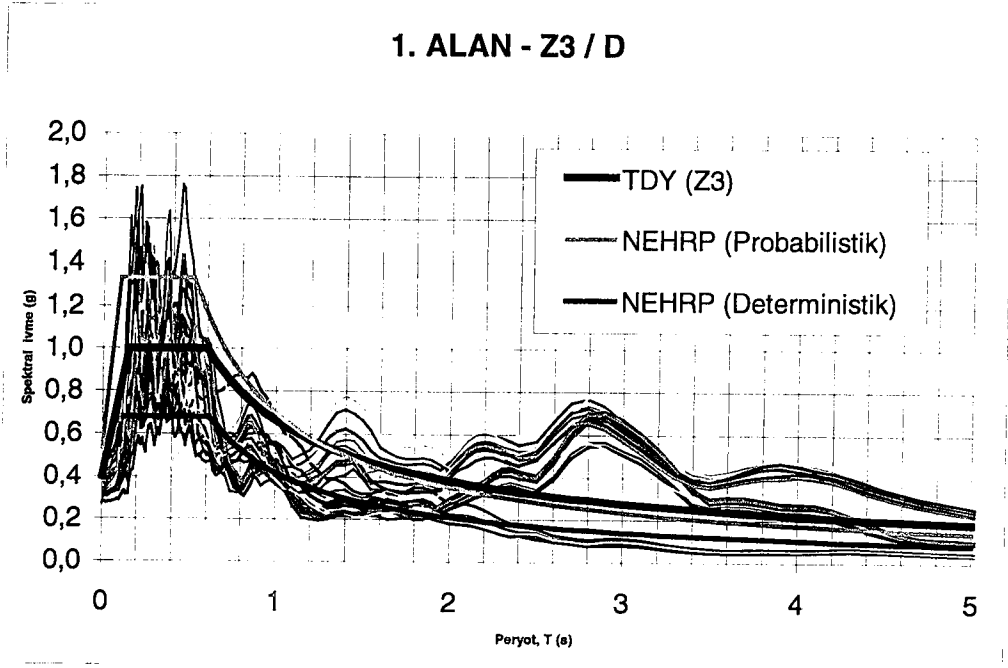
| Alan   | $S_s$         |               | $S_1$         |               |
|--------|---------------|---------------|---------------|---------------|
|        | Probabilistik | Deterministik | Probabilistik | Deterministik |
| 1.Alan | 2.0           | 0.9           | 0.7           | 0.4           |
| 2.Alan | 1.50          | 0.8           | 0.6           | 0.3           |
| 3.Alan | 1.0           | 0.7           | 0.5           | 0.3           |

Çizelge 6.2 NEHRP'ye göre tasarım davranış spektrum parametreleri

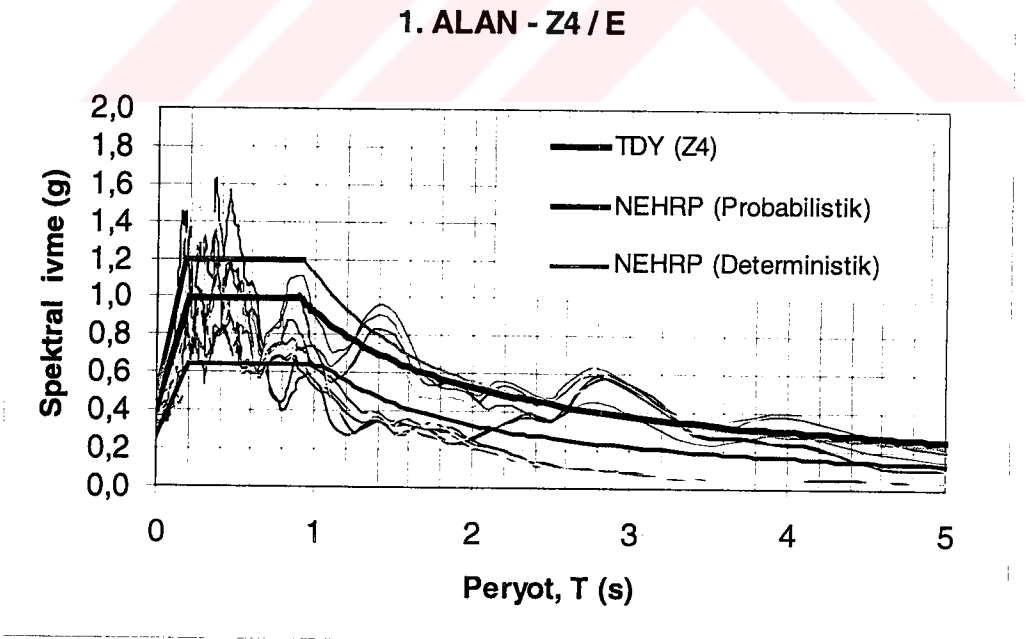
| Alan   | Zemin Sınıfı | Probabilistik |          | Deterministik |          |
|--------|--------------|---------------|----------|---------------|----------|
|        |              | $S_{DS}$      | $S_{D1}$ | $S_{DS}$      | $S_{D1}$ |
| 1.Alan | D            | 1.33          | 0.70     | 0.68          | 0.42     |
|        | E            | 1.20          | 1.12     | 0.65          | 0.64     |
| 2.Alan | C            | 1.00          | 0.52     | 0.57          | 0.30     |
|        | D            | 1.00          | 0.60     | 0.63          | 0.36     |
| 3.Alan | C            | 0.67          | 0.43     | 0.52          | 0.30     |
|        | D            | 0.66          | 0.53     | 0.57          | 0.36     |

#### 6.4 Türkiye Deprem Yönetmeliği'ne ve NEHRP'ye Göre Elde Edilen Spektral Davranış Eğrileri İle Dinamik Davranış Analizi Sonucu Elde Edilen Eğrilerin Karşılaştırılması ve Değerlendirilmesi

EERA programı kullanılarak yapılan dinamik davranış analizleri neticesinde, analizin yapıldığı her noktada spektral davranış eğrileri elde edilmiştir. 63 noktada 3 farklı deprem kaydına göre elde edilen bu eğriler Şekil 6.3'de gösterilen 3 farklı Alan'a ve yerel zemin koşullarına göre ayrılmış ve aynı özelliğe sahip eğriler tek bir grafik üzerinde gösterilmiştir. Dinamik analizler neticesinde elde bu spektral davranış eğrileri, TDY ve NEHRP'den o bölge için belirlenen davranış spektrumları ile karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmalar 1.Alan için; Z3-D ve Z4-E zemin sınıfı, 2.Alan için Z2-C, Z2-D ve Z3-D zemin sınıfı ve 3.Alan içinse Z2-C ve Z3-D zemin sınıfları için yapılmıştır. Bu karşılaştırmalar sırası ile Şekil 6.4, Şekil 6.5, Şekil 6.6, Şekil 6.7, Şekil 6.8, Şekil 6.9 ve Şekil 6.10'da gösterilmiştir.

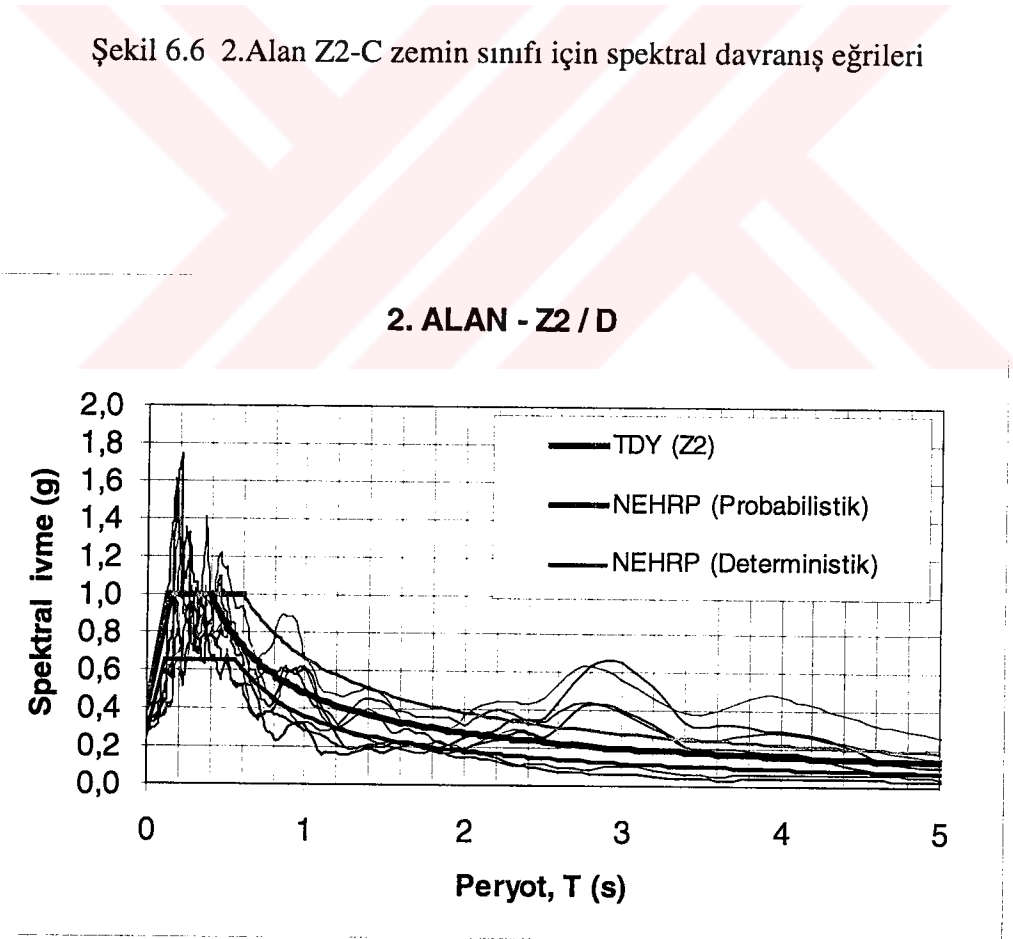
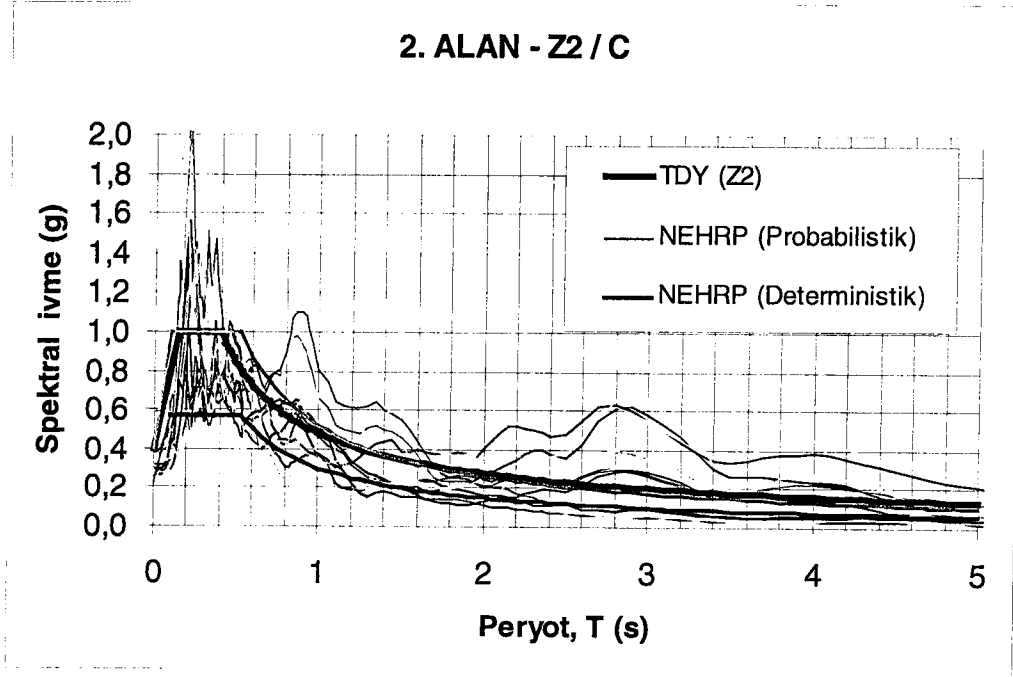


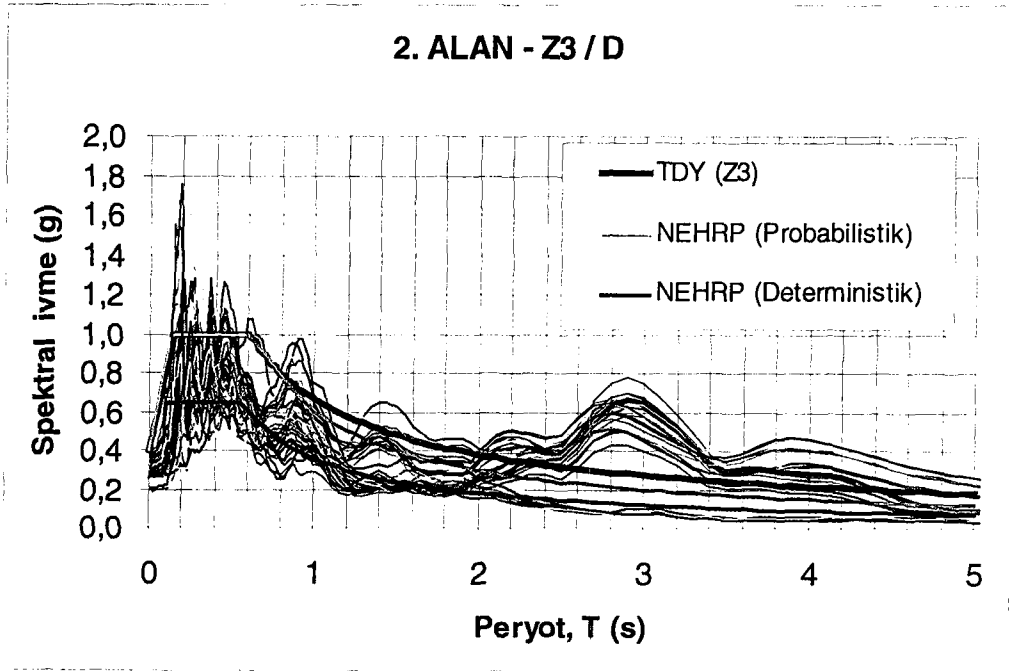
Şekil 6.4 1.Alan Z3-D zemin sınıfı için spektral davranış eğrileri



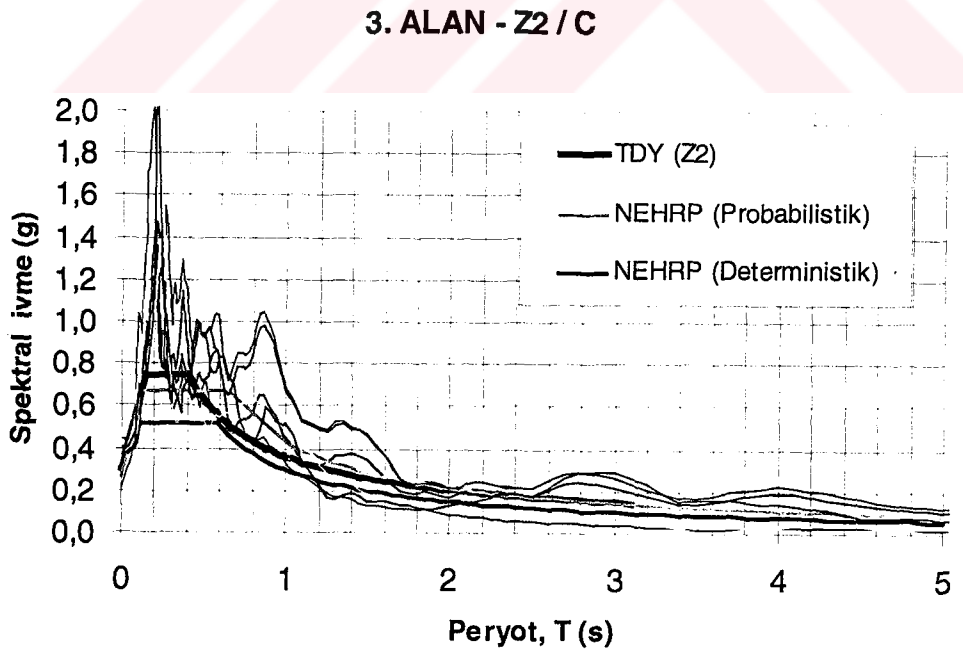
Şekil 6.5 1.Alan Z4-E zemin sınıfı için spektral davranış eğrileri



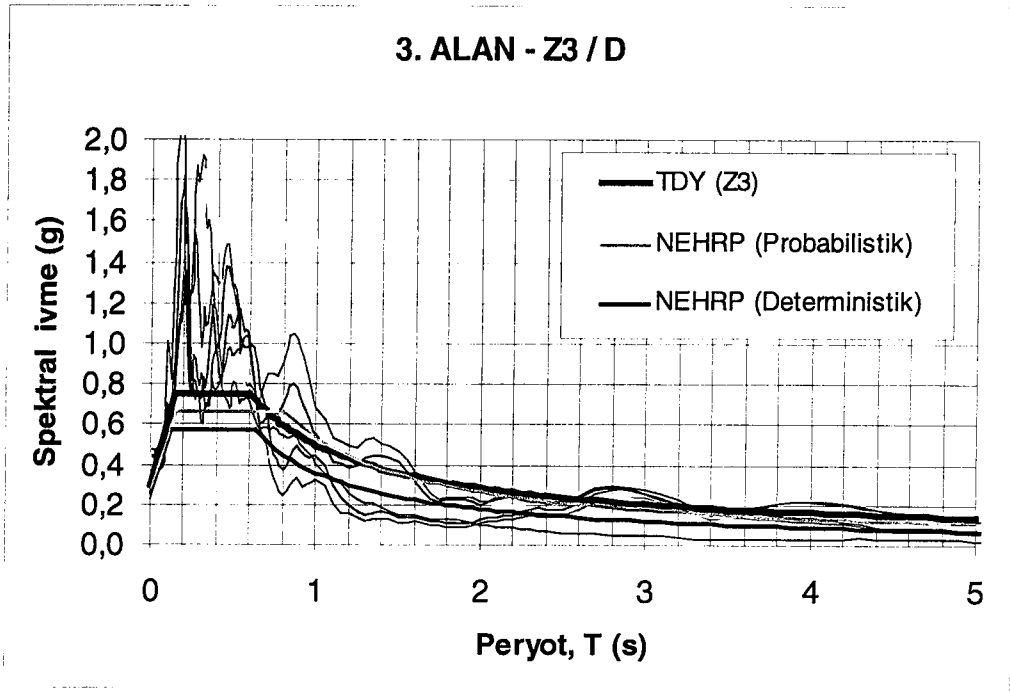




Şekil 6.8 2.Alan Z3-D zemin sınıfı için spektral davranış eğrileri



Şekil 6.9 3.Alan Z2-C zemin sınıfı için spektral davranış eğrileri



Şekil 6.10 3.Alan Z3-D zemin sınıfı için spektral davranış eğrileri

Yukarıda verilen grafikler incelendiğinde, 1.Alan'da Z3-D ve Z4-E zemin sınıfları için NEHRP'ye göre incelenen bölgede probabilistik olarak 50 yılda %2 aşılma olasılığına göre belirlenen spektrum eğrisinin platosunun, Türkiye Deprem Yönetmeliği'ne ve NEHRP'e göre deterministik yaklaşım ile belirlenen spektrum eğrilerinin platosunun yukarısında kaldığı görülmektedir. Ayrıca, 1.Alan için NEHRP'e göre deterministik yaklaşımla belirlenen spektrum eğrilerinin, dinamik analizler neticesinde çizilen spektral eğrilerinin hemen hemen tamamının altında kaldığı gözükmemektedir.

2.Alan için çizilen grafikler incelendiğinde, Türkiye Deprem Yönetmeliği'ne göre çizilen spektrum eğrileri ile NEHRP'e göre 50 yılda %2 aşılma olasılığına göre probabilistik yaklaşımla belirlenen spektrum eğrilerinin platolarının çakıştığı görülmektedir. Ancak, Z2-C zemin sınıfı için çizilen bu iki spektrum eğrisinin spektrum karakteristik periyotlarında farklar mevcuttur. 2.Alan'da da 1.Alan'da olduğu gibi NEHRP'e deterministik yaklaşımla belirlenen spektrum eğrileri TDY'ye NEHRP probabilistik yaklaşıma ve dinamik analiz neticelerine göre oldukça aşağıda kalmaktadır.

3.Alana ait grafikler incelendiğinde Türkiye Deprem Yönetmeliği'ne göre çizilen spektrum eğrileri ile NEHRP'e göre probabilistik yaklaşımla çizilen eğrilerin birbirine yakın olduğu ancak TDY'ye göre çizilen eğrilerin daha yukarıda olduğu gözlenmiştir. Ancak bu bölgede

dikkati çeken en önemli nokta dinamik analizler neticesinde çizilen spektral davranış eğrilerinin TDY'ye ve NEHRP'ye göre çizilen eğrilerin çok yukarısında kalmasıdır.

İnceleme bölgesinin kuzeyinde kalan 3.Alan için yapılan değerlendirmelerde, 1. ve 2. Alan'a göre daha çok yanılma payı mevcuttur. Bunun sebebi de bu bölgenin zemin sınıfının iyi olmasından ve 17 Ağustos 1999 Kocaeli depreminde hasar gözlenmemesinden dolayı bölgenin geoteknik incelemeler açısından ihmal edilmesidir. Bu bölge için elde mevcut olan sınırlı sayıda arazi geoteknik deney verileri kullanılarak analizler ve değerlendirmeler yapılmıştır ve bu durumda doğal olarak hata payını arttırmaktadır.

### 6.5 Sonuçlar

Bu bölümde Avcılar İlçesi'nin yerel zemin sınıfları Coğrafik Bilgi Sistemleri yardımı ile sunulmuştur ve belirlenen yerel zemin sınıfları için TDY'ye ve NEHRP'e göre tasarım davranış spektrumları çizilmiştir. Çizilen bu tasarım davranış spektrumları dinamik analizler sonucunda belirlenen spektral ivme değerleri ile karşılaştırılmış ve bu karşılaştırmalar neticesinde Avcılar İlçesi'nin tasarım davranış spektrumu üzerinde değerlendirmeler yapılmıştır. Bu değerlendirmeler sonucunda, NEHRP'e göre deterministik yaklaşım ile belirlenen spektrum davranış eğrilerinin diğer eğrilere göre çok aşağıda kaldığı, 1.Alan için NEHRP'e göre probabilistik yaklaşım ile çizilen spektrum davranış eğrilerinin dinamik analiz sonuçları ile daha iyi çakıştığı, 2.Alan'da TDY'ye göre çizilen eğriler ile NEHRP'e göre probabilistik yaklaşım ile çizilen eğrilerin platoların çakıştığı ve bunların Z2-C zemin sınıfı hariç dinamik analiz sonuçları ile örtüştüğü, 3.Alan'da ise TDY ve NEHRP probabilistik yaklaşımın spektrum eğrilerinin birbirine yakın olduğu ancak her ikisinde dinamik analizler neticesinde çizilen spektral davranış eğrilerinin çok altında kaldığı belirlenmiştir.

## 7. AVCILAR İLÇESİ'NİN SİSMİK ZEMİN DAVRANIŞI AÇISINDAN COĞRAFİK BİLGİ SİSTEMLERİ (GIS) İLE MİKROBÖLGELENMESİ

### 7.1 Giriş

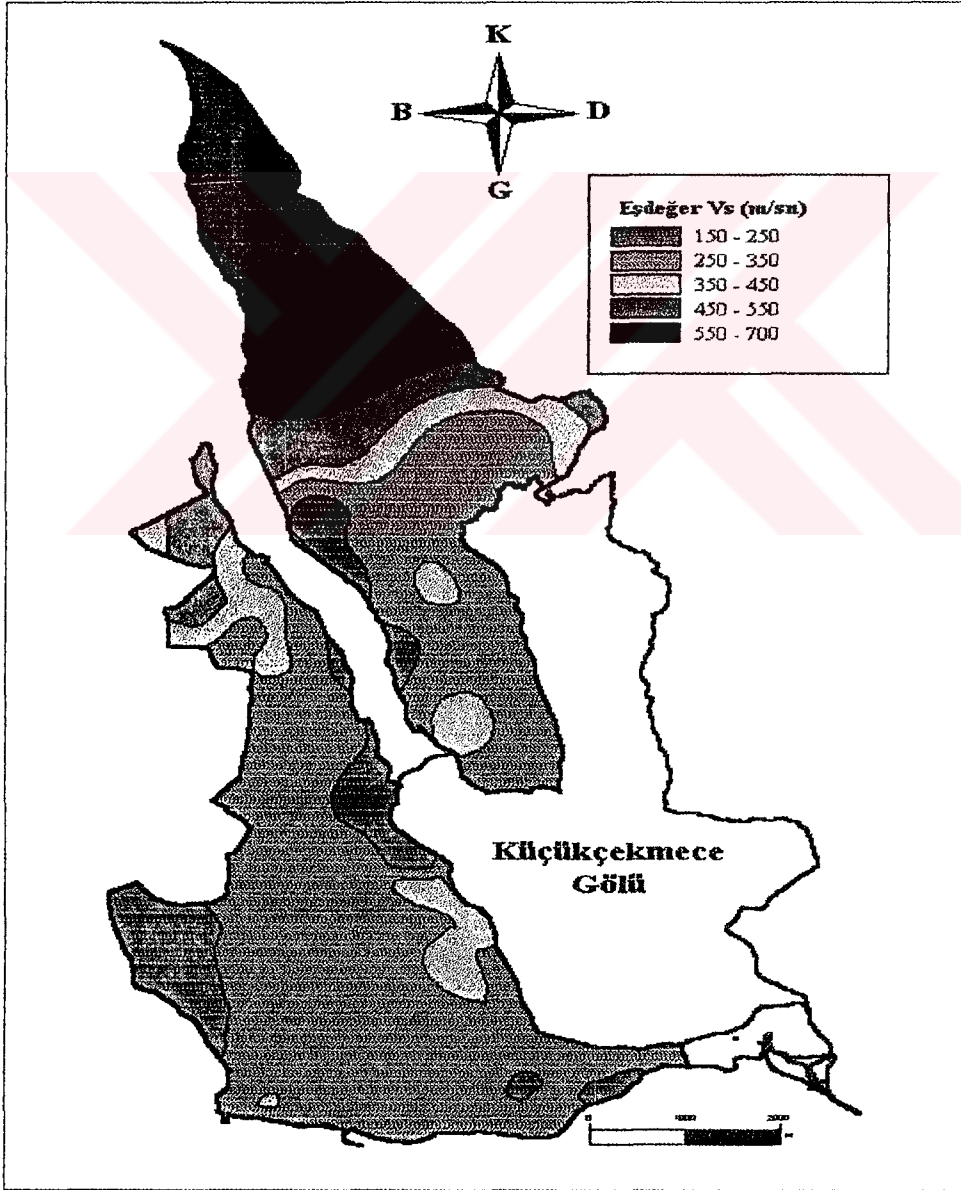
Bir mikrobölgeleme çalışmasının temel amacı; çalışma yapılan bölgede, ileride meydana gelebilecek olası bir depremde ortaya çıkacak yapı hasarını azaltmak için, inceleme alanının sismik zemin parametrelerine göre anlamlı alt bölgelere ayrılması ve yapılar için gerekli deprem tasarım parametrelerinin belirlenmesidir. İnceleme alanında, 17 Ağustos 1999 Kocaeli Depremi'nde öngörülenin çok üstünde yapısal hasarların meydana gelmesi, bu bölgenin zemin parametrelerine göre anlamlı ölçeklerde alt bölgelere ayrılması gereğini doğurmuştur. Ancak, bir mikrobölgeleme çalışması yapılırken kullanılacak zemin parametrelerinin dikkatli seçilmesi gerekmektedir. Zeminlerin indeks özellikleri ve statik mukavemet özellikleri (SPT-N, koni uç mukavemeti, sürtünme açısı v.b) kullanılarak yapılan bir bölgeleme çalışması zeminin rijitliği hakkında yeterli bilgi verirken, deprem yükleri altında zemin davranışını sadece bu bölgeleme çalışmaları ile değerlendirmek oldukça güçtür. Deprem yükleri altında zeminlerin davranışları, anakaya derinliği, tabaka kalınlığı, tabakaların kayma dalgası hızı gibi farklı parametrelerde bağlı olduğu unutulmamalıdır. Netice olarak, zeminlerin deprem yükleri altındaki davranışının yapıya olan etkisinin daha iyi anlaşılabilmesi için, eşdeğer kayma dalgası hızına ve dinamik davranış analizleri neticesinde elde edilen, normalize edilmiş spektral ivmelere, en büyük yüzey ivmelerine, spektral ivmelere ve zemin büyütmesine göre mikrobölgeleme çalışması yapılması daha uygun olacaktır. Zemin yüzeyinde deprem hareketinin özelliklerini yansıtan bu parametreler ile yapılan mikrobölgeleme çalışmasının, o bölgede meydana gelen hasar ile karşılaştırılması daha doğru ve anlamlı olacaktır.

Bu bölümde Avcılar İlçesi GIS yöntemi kullanılarak çeşitli sismik parametrelere göre alt bölgelere ayrılmıştır. Bu parametreler; eşdeğer kayma dalgası hızı, EERA programı kullanılarak yapılan dinamik davranış analizleri neticesinde zemin yüzeylerinde hesaplanan en büyük yüzey ivmesi, spektral ivmenin en büyük yüzey ivmesine bölünmesi neticesinde elde edilen normalize spektral ivme, farklı peryot değerlerinde elde edilen spektral ivme ve zemin büyütmesi değerleridir.

Bir sonraki bölümde ise mikrobölgelemede kullanılan zemin parametreleri, GIS ortamında 17 Ağustos 1999 Kocaeli Depremi'nin Avcılar İlçesi'nde meydana getirdiği hasar ile karşılaştırılmıştır.

## 7.2 Eşdeğer Kayma Dalgası Hızına Göre Mikrobölgeleme

Son yıllarda yapılan araştırmalar zemin tabakasının üst 30 metresi içinde yer alan zemin özelliklerinin zemin büyütmesinde önemli olduğu gösterildiğinden (Borcherdt, 1994) eşdeğer kayma dalgası hızları bu üst 30 metre için ağırlıklı ortalamaları alınarak hesaplanmıştır. Bu hesaplamada inceleme alanı içerisinde kalan 87 adet sondajın verileri kullanılmıştır. Bu sondajların SPT-N değerleri, ilgili bölümde Avcılar İlçesi için en uygun bağıntı olarak kabul edilen Ohda ve Toriuma (1972)'nin bağıntısı ile kayma dalgası hızına çevrilmiştir. Bu verilere ek olarak ilgili bölümde ayrıntılı olarak anlatılan kayma dalgası hızı'nın formasyon bazında değişiminden de faydalanılmıştır. Bütün bu verilerin değerlendirilmesi sonucunda elde edilen bölgeleme haritası Şekil 7.1' de gösterilmiştir.



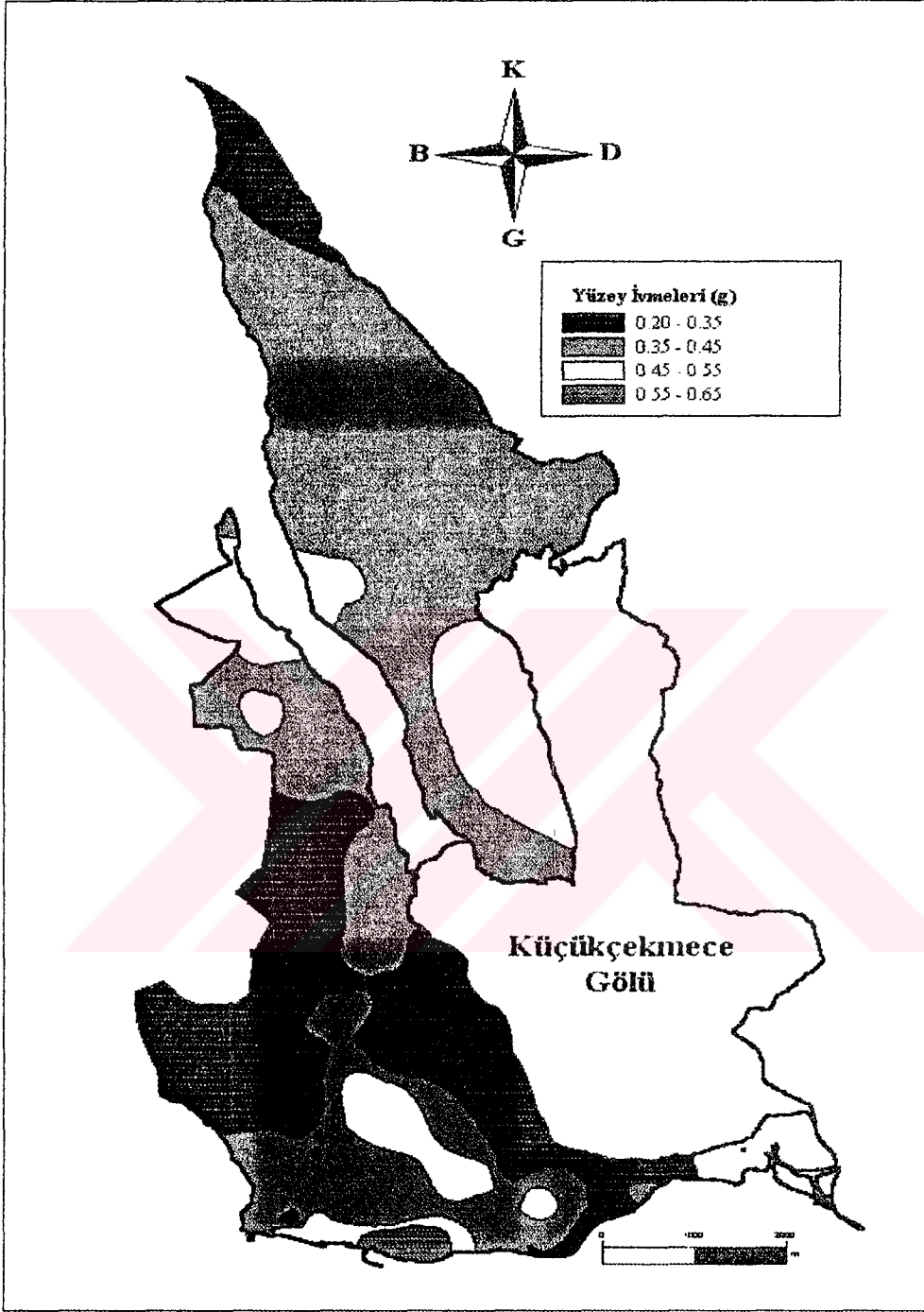
Şekil 7.1 Eşdeğer kayma dalgası hızlarının bölgedeki değişimi

Şekil 7.1’de gösterildiği gibi Avcılar İlçesi’nde eşdeğer kayma dalgası hızları 150 m/sn ile 700 m/sn arasında değişmektedir. İnceleme alanının geneli 250 m/sn ile 350 m/sn arasında eşdeğer kayma dalgası hızına sahiptir. İnceleme alanının kuzeyinde Eosen kireçtaşlarının bulunduğu bölgede eşdeğer kayma dalgası hızları 700 m/sn değerine kadar çıkmaktadır.

### 7.3 En Büyük Yüze İvmelerine Göre Mikrobölgeleme

EERA programı ile inceleme alanı içerisinde seçilen 63 noktada, 3 farklı deprem kaydı ile yapılan dinamik analizler neticesinde, o noktalarda maksimum yüze ivmesi değerleri bulunmuştur. Çizelge 5.10’da gösterilen ve 3 farklı kayıta göre elde edilen bu değerler, ayrı ayrı sunulmak yerine, her bir analiz noktasında bulunan 3 farklı değerlerin ortalaması alınarak GIS ortamında sunum yapılmıştır. İstanbul’u ve inceleme alanını etkilemesi beklenen depremin özelliklerin bu 3 kayıttan hangisi ile benzerlik göstereceğinin tahmin edilememesinden dolayı, bu yolun daha uygun olacağı düşünülmüştür. Şekil 7.2’de bu yolla çizilen ve yüze ivmelerinin bölgedeki dağılımının gösterildiği harita mevcuttur.

Şekil 7.2’de sunulan yüze ivmelerinin dağılımının gösterildiği harita incelendiğinde, ivme değerlerinin 0.20g ile 0.65g arasında değiştiği gözlenmektedir. Avcılar’ın güneyinde Marmara Denizi’ne yakın kesimlerde ivme değerleri 0.45g ile 0.65g arasında değişmektedir. Avcılar’ın kuzeyine doğru ivme değerlerinde bir miktar azalmakla görülmekle birlikte, bazı bölgelerde sahil kesiminde gözlenen ivme değerleriyle aynı değerlerin var olması tutarsızlık olarak göze çarpmaktadır. Bu durumun, özellikle tutarsız ivme değerlerinin gözlendiği kuzey bölgesinde, veri azlığından dolayı sınırlı sayıda analiz yapılmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Ayrıca unutulmaması gereken önemli bir noktada bu bölgeleme çalışmasının maksimum değerlere göre yapılması ve maksimum değerlerinde kayıttın frekans içeriğine bağlı olarak yanıtıcı olabilmesidir.



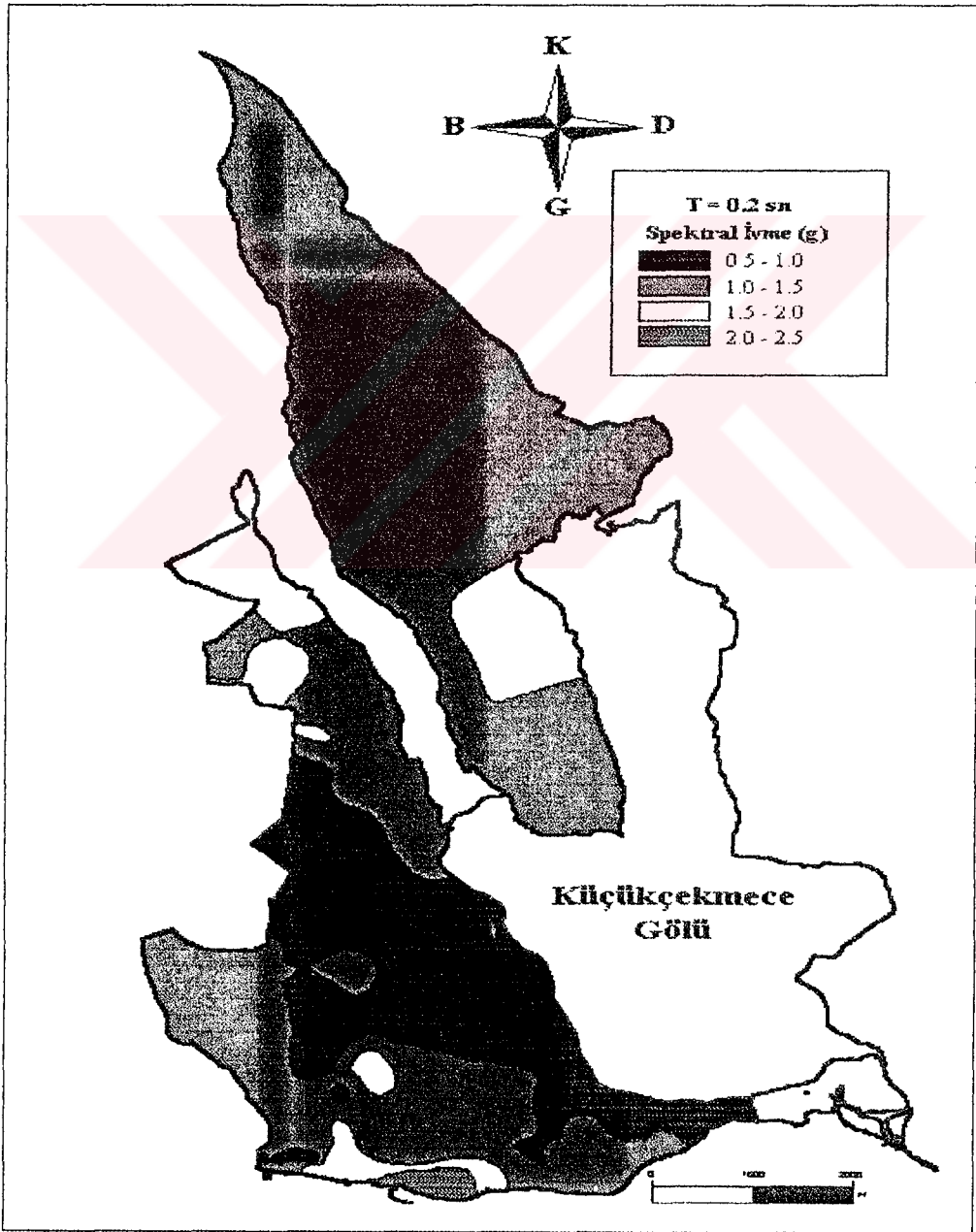
Şekil 7.2 Yüzey ivmelerinin inceleme alanında değişimi

#### 7.4 Spektral İvmelere Göre Mikrobölgeleme

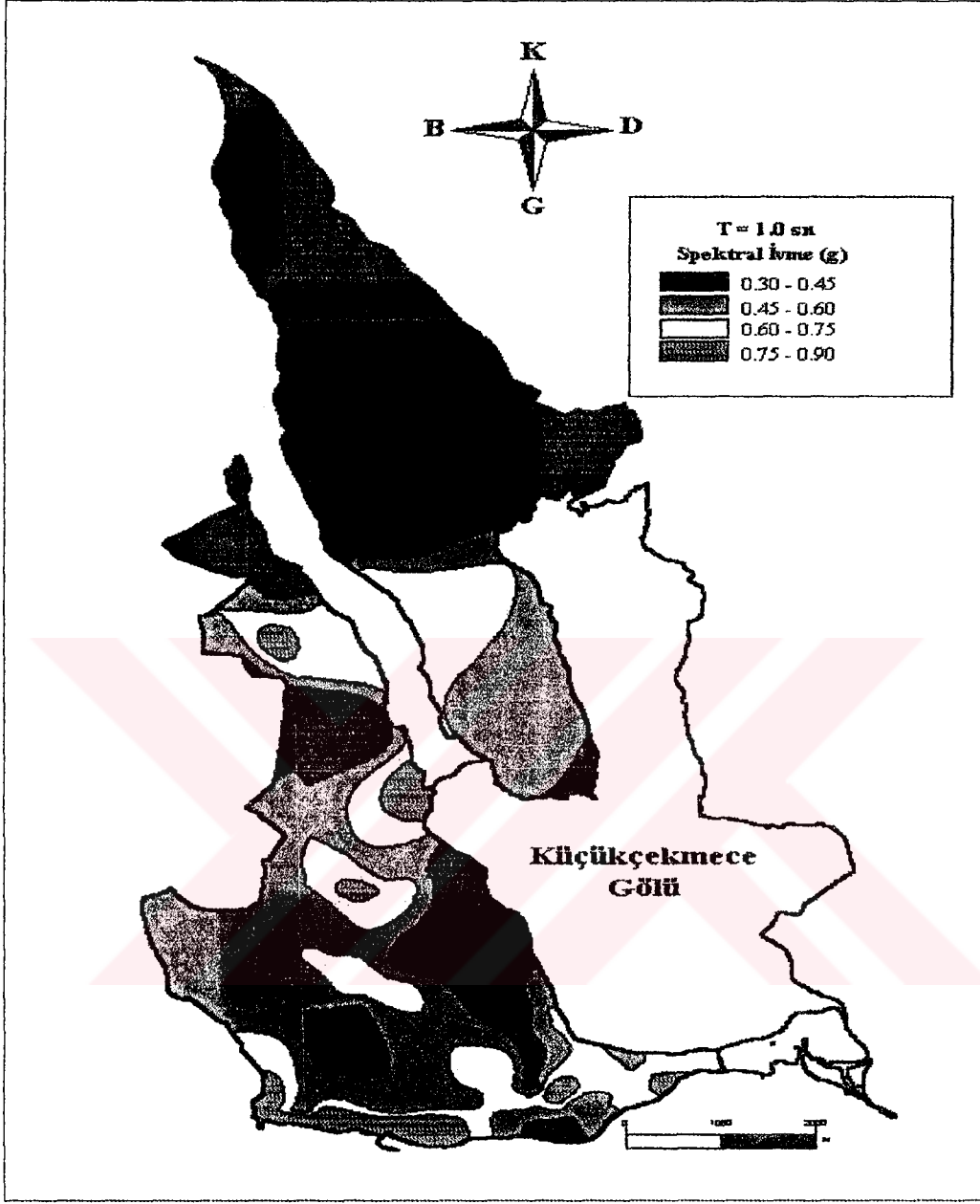
Spektral ivmelere göre mikrobölgeleme çalışmasında EERA ile yapılan dinamik analizler sonucunda elde edilen spektral ivme değerleri kullanılmıştır. Bu çalışmada da, 3 farklı kayıttan elde edilen spektral ivme değerlerinin ortalaması alınarak bölgelendirme yapılmıştır.



Ancak, bölgelendirme çalışması maksimum değerlere göre yapılmamış, onun yerine belli peryotlara karşılık gelen değerler alınarak bölgelendirme yapılmıştır. Maksimum değerler göz önüne alınarak yapılan bölgelendirme çalışmasında, bu değerlerin farklı analizlerde değişik peryot değerlerine karşılık gelmesi anlamlı bir bölgelendirme yapılmasını mümkün kılmamaktadır. Bundan dolayı, maksimum değerler yerine 0.2 s ve 1.0 s peryot değerlerine karşılık gelen spektral ivme değerlerine göre bölgelendirme yapılmıştır. 0.2 s değeri az katlı binaları temsil etmesi, 1.0 s değeri ise çok katlı binaları temsil etmesi nedeniyle seçilmiştir. Şekil 7.3 ve Şekil 7.4, 0.2 s ve 1.0 s peryot değerleri için spektral ivmelerin bölgedeki dağılımını göstermektedir.



Şekil 7.3 0.2 s peryot değeri için spektral ivmelerin inceleme alanında dağılımı



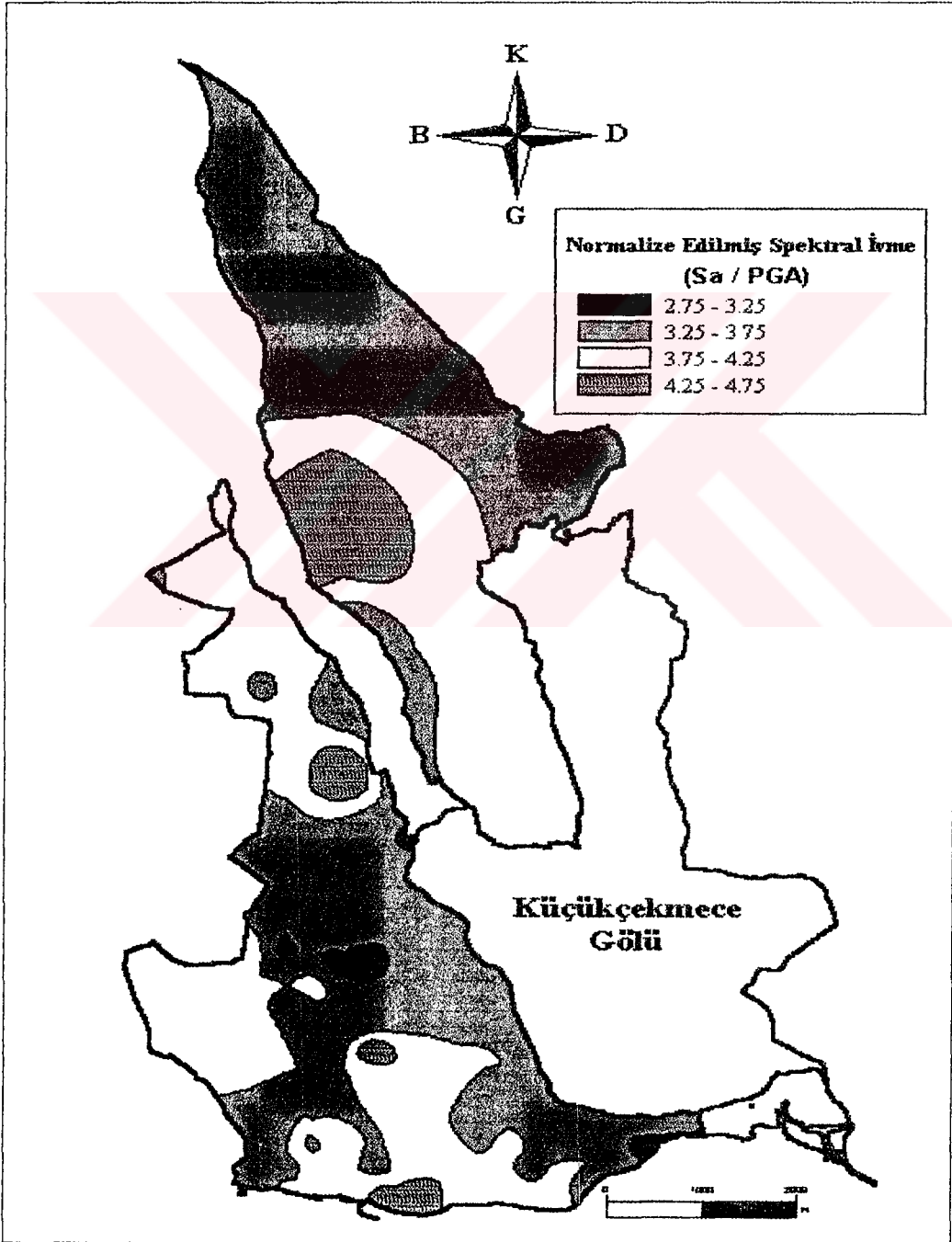
Şekil 7.4 1.0 s peryot değeri için spektral ivmelerin inceleme alanında dağılımı

Bu çalışmanın 0.2 s ve 1.0 s peryot değerlerine ilave olarak, ara değerlerde de yapılmasının daha sağlıklı bir değerlendirme yapılmasına olanak sağlayacağından, bir sonraki bölümde mikrobölgeleme yöntemleri ile hasarın Coğrafik Bilgi Sistemleri kullanılarak karşılaştırılması sırasında, ara peryot değerleri içinde bölgeleme yapılmıştır.

### 7.5 Normalize Edilmiş Spektral İvme Değerlerine Göre Mikrobölgeleme

İnceleme alanı'nda 63 noktada yapılan dinamik analizler sonucunda elde edilen spektral ivme

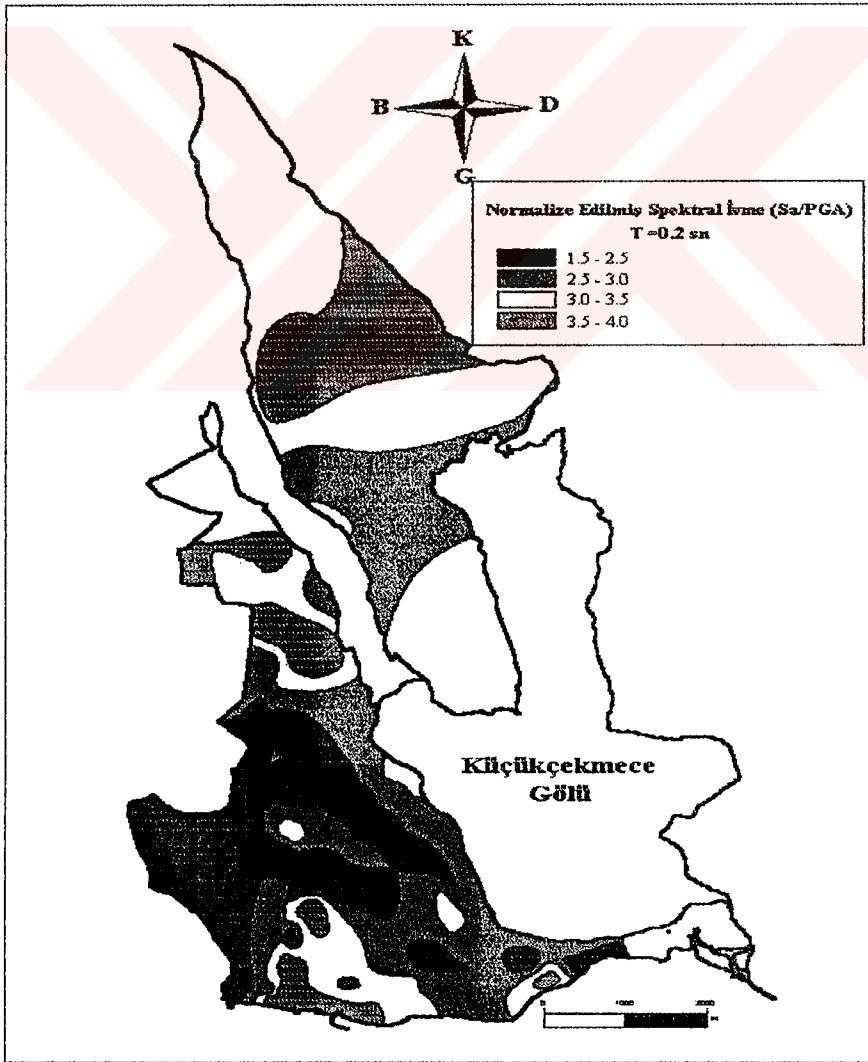
değerleri, en büyük yüzey ivmeleri ile normalize edilmiştir ve elde edilen değerler Çizelge 5.10'da sunulmuştur. Bu bölümde ise elde edilen bu değerler derlenerek GIS yardımıyla sunulmuştur. Bu çalışmada amaç dinamik analiz çalışmaları neticesinde elde edilen sonuçların Türkiye Deprem Şartnamesi ile daha iyi mukayese edilebilmesidir. Türkiye Deprem Şartnamesi'nde normalize edilmiş spektral ivme değerleri yerel zemin sınıfına bağlı olarak değişmekle birlikte en fazla 2.5 değerini almaktadır. Şekil 7.5'de normalize edilmiş maksimum spektral ivme değerlerinin bölgedeki değişimi gösterilmiştir.



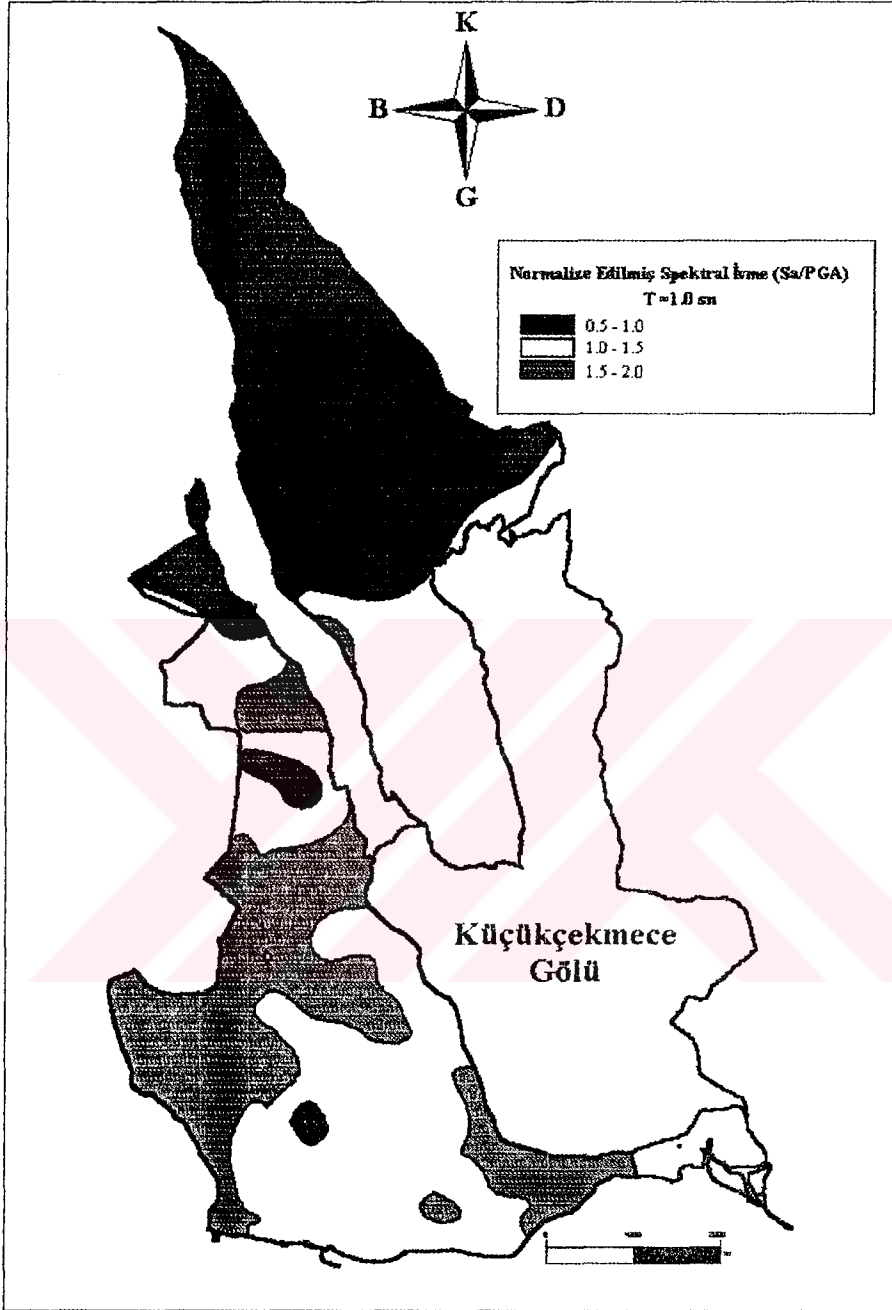
Şekil 7.5 Normalize edilmiş maksimum spektral ivmelerin inceleme alanında dağılımı

Şekil 7.5’de gösterilen normalize edilmiş spektral ivmelerin dağılımı, dinamik analizler sonucunda elde edilen maksimum değerler göz önüne alınarak yapılmıştır. Türkiye Deprem Şartnamesi (TDY)’nde yerel zemin koşullarına bağlı olarak normalize edilmiş spektral ivme değeri en fazla 2.5 olabilmektedir. Ancak Şekil 7.5 incelendiğinde değerlerin 2.75 ile 4.75 arasında değiştiği ve minimum değerlerin bile şartnamenin üzerinde kaldığı gözlenmektedir.

Bu bölümde, maksimum spektral ivme değerlerine göre yapılan bölgelemenin yanısıra, 0.2 s ve 1.0 s peryot değerleri için normalize edilmiş spektral ivmelere göre bölgeleme yapılmıştır. 0.2 s peryot değerinde TDY’de Z1, Z2, Z3 ve Z4 zemin sınıfları için normalize edilmiş spektral ivme değeri 2.5’dir. 0.1 s peryot değerinde ise normalize edilmiş spektral ivme değeri Z1 zemin sınıfı için 0.95, Z2 için 1.20, Z3 için 1.66 ve Z4 için 2.29’ dur. Şekil 7.6 ve Şekil 7.7’de 0.2 s ve 1.0 s peryot değerlerine göre çizilen haritaları bu bilgiler ışığında değerlendirilmesi karşılaştırma yapılabilmesi açısından daha doğru olacaktır.



Şekil 7.6 0.2 s peryot değeri için normalize edilmiş spektral ivmelerin dağılımı

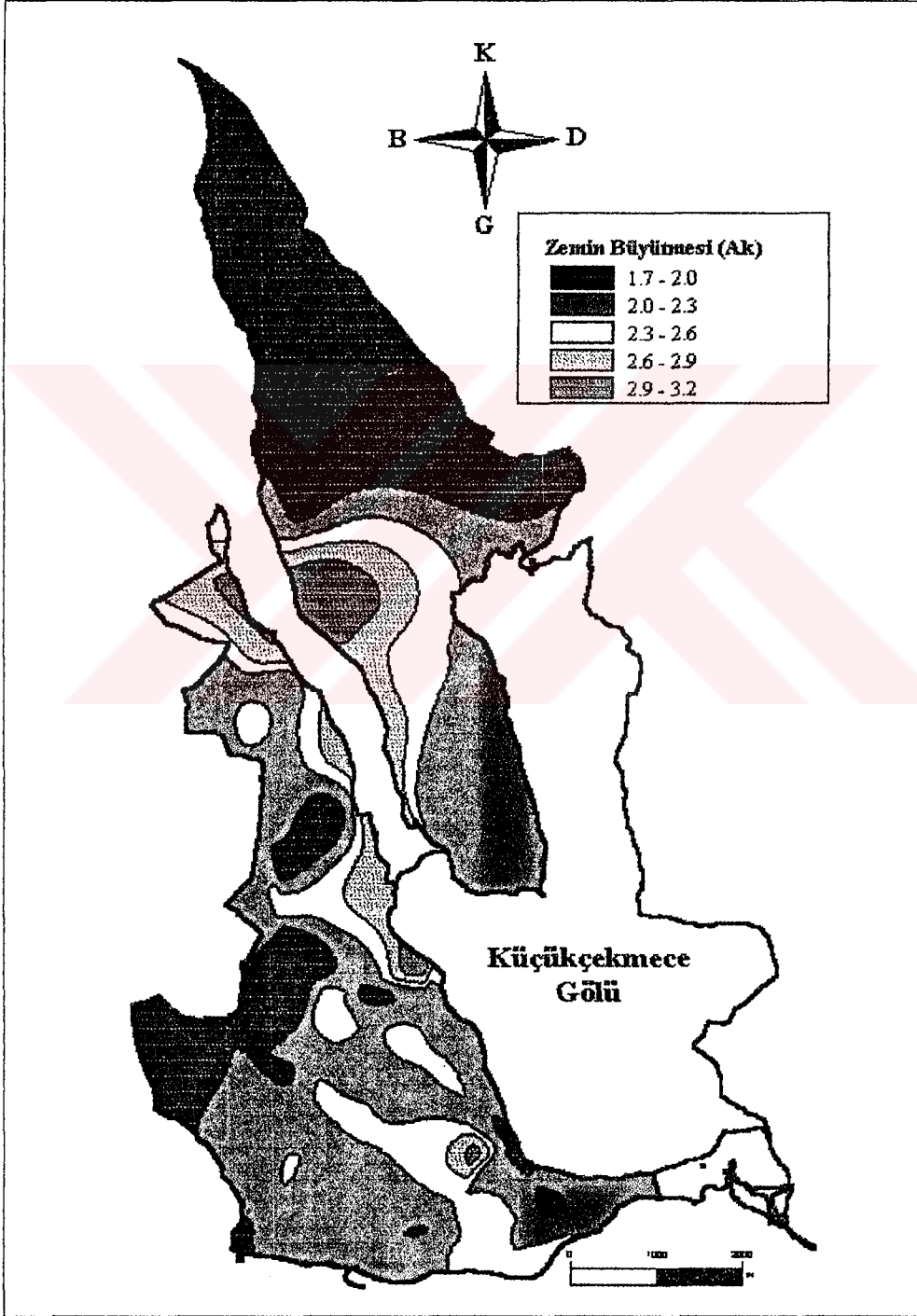


Şekil 7.7 1.0 s peryot değeri için normalize edilmiş spektral ivmelerin dağılımı

Şekil 7.6 ve Şekil 7.7 incelendiğinde, 0.2 s peryot değerinde normalize edilmiş spektral ivmeler TDY'nin üzerinde kaldığı, 1.0 s peryot değerinde ise TDY ile uyum gösterdiği gözlenmektedir.

### 7.6 Zemin Büyütmelerine Göre Mikrobölgeleme

Bu bölümde, EERA programı ile 63 noktada yapılan dinamik davranış analizleri neticesinde, bu program yardımı ile elde edilen ve maksimum yüzey ivmesinin anakaya ivme değerine oranı olan zemin büyütmesi (Ak)'ne göre bir mikrobölgeleme çalışması yapılmıştır. Bu çalışma yapılırken de 3 farklı kayıta elde edilen büyütmelerin ortalaması alınarak sunum yapılmıştır. Şekil 7.8'de zemin büyütmelerine göre mikrobölgeleme haritası gösterilmiştir.



Şekil 7.8 Dinamik analizlerle hesaplanan zemin büyütmelerinin bölgedeki dağılımı

Şekil 7.8 incelendiğinde büyütme değerlerinin 1.7 ile 3.2 arasında değiştiği, sahile yakın kesimlerde büyütme aralığının 2.0 ile 2.6 arasında olduğu ve bölgenin kuzeyine doğru gittikçe büyütme değerlerinin azaldığı ancak Küçükçekmece Gölü'nün kuzeybatısında bazı bölgelerde değerlerinin yüksek olduğu gözlenmektedir.

## 7.7 Sonuçlar

17 Ağustos 1999 Kocaeli Depremi'nin ardından, Avcılar İlçesi'nde yüksek seviyede meydana gelen hasarın yerel zemin koşulları ile olan ilişkisini irdelemek amacı ile bu tez kapsamında bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışma neticesinde, ikinci aşama mikrobölgeleme yöntemleri kapsamında Avcılar İlçesi'nin eşdeğer kayma dalgası hızı dağılımı ile TDY'ye ve NEHRP'ye göre yerel zemin sınıfları belirlenmiştir. Üçüncü aşama mikrobölgeleme yöntemleri kapsamına giren dinamik davranış analizleri ile bölgenin sismik zemin parametreleri üzerinde bir değerlendirme yapılmıştır. EERA programı yardımı ile yapılan dinamik davranış analizleri neticesinde, Avcılar İlçesi'nde tesbit edilen 63 noktada çeşitli sismik zemin parametreleri elde edilmiştir. Bunların başlıcaları olan en büyük yüzey ivmesi ile farklı periyot değerlerindeki spektral ivme değerleri bu bölümde GIS ortamında sunulmuştur.

Avcılar İlçesi için GIS yöntemi ile yapılan mikrobölgeleme çalışmaları incelendiğinde, maksimum yüzey ivmelerinin 0.20g ile 0.65g arasında değiştiği ve Avcılar'ın güneyinde Marmara Denizi'ne yakın kesimlerde ise bu değerlerin 0.45g ile 0.65g arasında olduğu görülmektedir. Spektral ivme değerleri ise  $T = 0.2s$  periyot değerinde inceleme alanının büyük bir bölümünde 1.0 ile 1.5g arasında değiştiği gözlenmektedir.  $T = 1.0s$  periyot değerinde ise spektral ivmeler sahile yakın kesimlerde 0.55 ile 0.75g arasında kuzey kesimlerde ise 0.30 ile 0.45g arasında değişmektedir. Normalize edilmiş spektral ivme değerleri ile çizilen haritalar gözden geçirildiğinde ise dikkate çarpan nokta,  $T = 0.2s$  periyot değerindeki spektral ivmelere göre çizilen haritada, Avcılar İlçesi'nin kuzeyinde elde edilen değerlerin sahile yakın kesimlere göre daha yüksek olduğudur.  $T = 1.0s$  periyot değerine göre çizilen haritalar incelendiğinde ise normalize edilmiş spektral ivme değerlerinin Avcılar ilçesi'nin kuzeyine doğru azaldığı ve sahile yakın kesimlerde daha yüksek değerler aldığı gözlenmektedir. EERA programı ile elde edilen büyütme değerlerinin ise 1.7 ile 3.2 arasında değiştiği ve büyütme açısından en tehlikeli bölgenin Küçükçekmece Gölü'nün kuzeybatısı olduğu gözlenmiştir.

Avcılar İlçesi'nin kuzeyine doğru sismik riskin azaldığı görülmekle birlikte, bazı bölgelerde sahil kesiminde gözlenen ivme değerleriyle aynı değerlerin var olması bir tutarsızlık olarak göze çarpmaktadır. Bu durumun, özellikle tutarsız değerlerinin gözlendiği kuzey bölgesinde,

veri azlığından dolayı sınırlı sayıda analiz yapılmasından kaynaklandığı düşünölmekle birlikte, Küçükçekmece Gölü'nün kuzeybatısının İstanbul'u etkileyecek olası bir depremde, sahile yakın bölgelerle benzer derecede sismik risk içerdiği de söylenebilir.





## **8. 17 AĞUSTOS 1999 KOCAELİ DEPREMİ SONRASINDA AVCILAR'DA MEYDANA GELEN HASARIN MİKROBÖLGELEME HARİTALARI İLE KARŞILAŞTIRILMASI**

### **8.1 Giriş**

17 Ağustos 1999 Kocaeli Depreminde, merkez üssünden uzak olmasına rağmen Avcılar İlçesi'nde can ve mal kaybına yol açan çok şiddetli yer hareketleri kayıt edilmiştir. Resmi rakamlara göre Avcılar İlçesi'nde deprem anında 28 bina yıkılmış ve 246 kişi yaşamını yitirmiştir. İstanbul'da Avcılar dışında hiç bir ilçede bu oranda bir hasarın görülmemesi, dikkatlerin Avcılar İlçesi'ne yönelmesine ve bu bölgenin yerel zemin koşulları ile ilgili çalışmalar yapılmasına neden olmuştur.

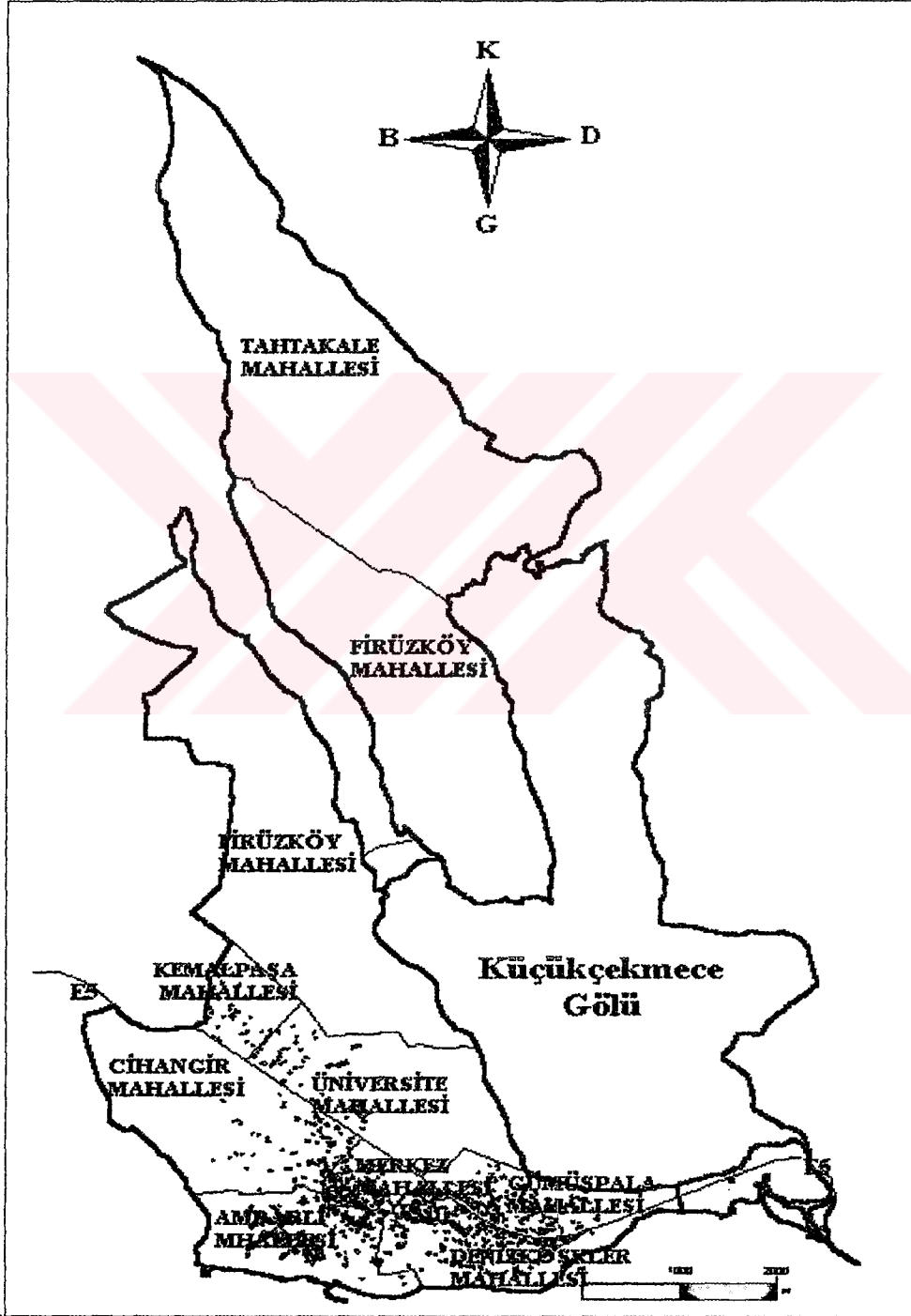
Bu tez kapsamında yapılan çalışmalarda, Avcılar İlçesi'nin yerel zemin koşulları göz önüne alınarak, İstanbul'u yakın bir gelecekte etkilemesi beklenen bir senaryo deprem modelinin zemin yüzeyinde yarattığı sismik etkiler araştırılmıştır. Bu bölümdede elde edilen sismik veriler ile 17 Ağustos Kocaeli Depremi'nin hasar verileri karşılaştırılmıştır. Burada unutulmaması gereken en önemli husus, tez kapsamında çalışılan depremin İstanbul'u etkilemesi beklenen ve Avcılar'ın 10 km uzağından geçtiği varsayılan fayın yarattığı deprem iken, karşılaştırılma yapılan hasar Avcılar'dan oldukça uzak olan Kocaeli Depremi'nin yarattığı hasardır. Bundan dolayıdır ki, sismik mikrobölgeleme haritaları ile 17 Ağustos Kocaeli depreminin hasar verisinin birbiri ile tam anlamda uyum göstermesi beklenmemelidir. Ancak, 17 Ağustos 1999 Kocaeli depreminde Avcılar'da meydana gelen hasarın ne derece yerel zemin koşullarından etkilendiğini görebilmek açısından bu karşılaştırmanın faydalı olacağı düşünülmüştür.

### **8.2 Avcılar İlçesi'nde ki Hasar Dağılımının Tesbiti**

İnceleme alanında 17 Ağustos depreminde, deprem anında 28 bina yıkılmıştır. Ağır, orta ve az hasarlı bina sayısı hakkında ise Çizelge 8.1'de gösterildiği gibi Bayındırlık Bakanlığı ile Avcılar Belediyesi'nin verileri birbirini tutmamaktadır. Avcılar Belediyesi'ne göre ağır hasarlı bina sayısı daha çoktur. Ancak, bu tez kapsamında yapılan çalışmada Bayındırlık Bakanlığı'nın hasar verileri kullanılmıştır ve Şekil 8.1'de Bayındırlık Bakanlığı'nın verilerine göre Avcılar İlçesi'nde ki hasarlı binaların dağılımı kabaca gösterilmektedir.

Çizelge 8.1 Avcılar İlçesi' nin iki farklı kurumu göre hasar verisi

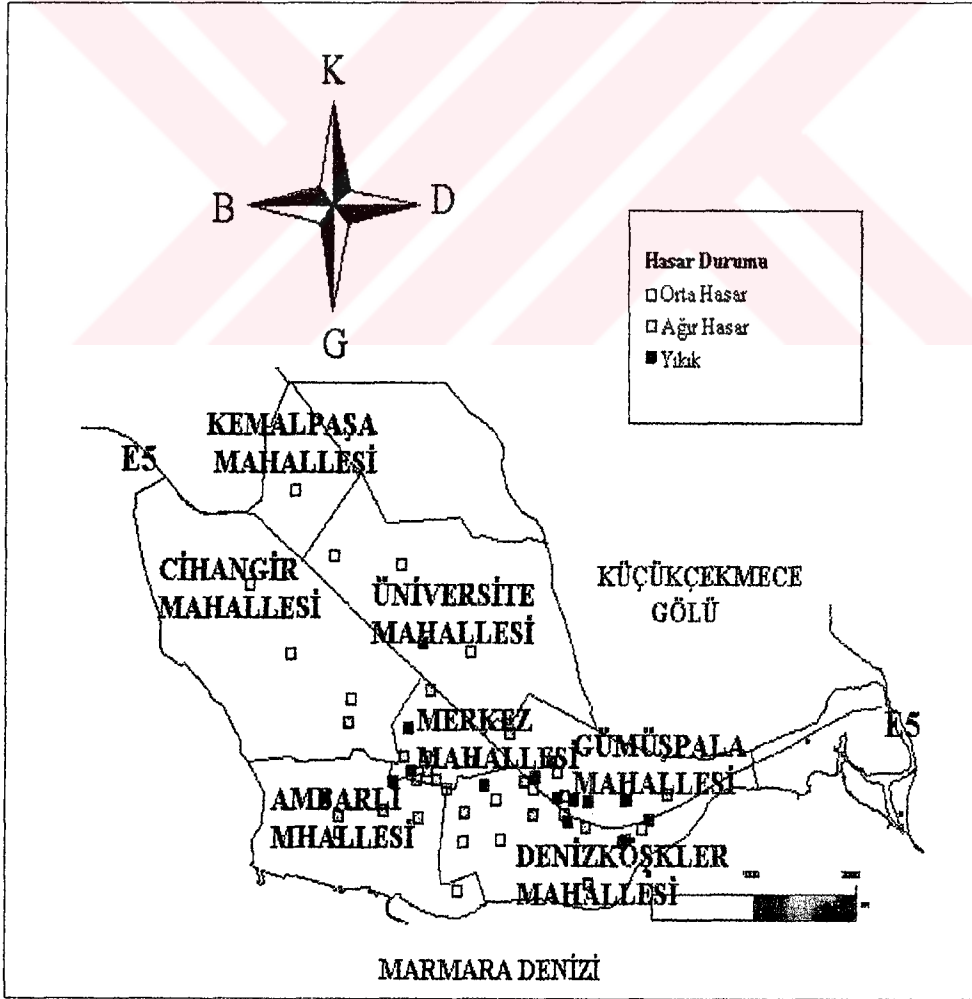
| Hasar Seviyesi | Bayındırlık Bakanlığı | Avcılar Belediyesi |
|----------------|-----------------------|--------------------|
| Az             | 791                   | 455                |
| Orta           | 517                   | 491                |
| Ağır           | 264                   | 1064               |



Şekil 8.1 Avcılar İlçesi'nde ki hasar dağılımı

Şekil 8.1 incelendiğinde, hasarın genelde E5 (D100) Karayolu'nun sağında ve solunda yer alan Gümüşpala, Denizköşkler ve Merkez mahalleleri ile Marmara Deniz'i kıyısındaki Ambarlı mahallesi'nde yoğunlaştığı gözlenmektedir. Bu 4 mahalle dışında Kemalpaşa, Cihangir ve Üniversite mahallelerinde bir miktar hasar gözlenirken, Bayındırlık Bakanlığı verilerine göre Firüzköy ve Tahtakale mahallelerinde hasar gözlenmemiştir.

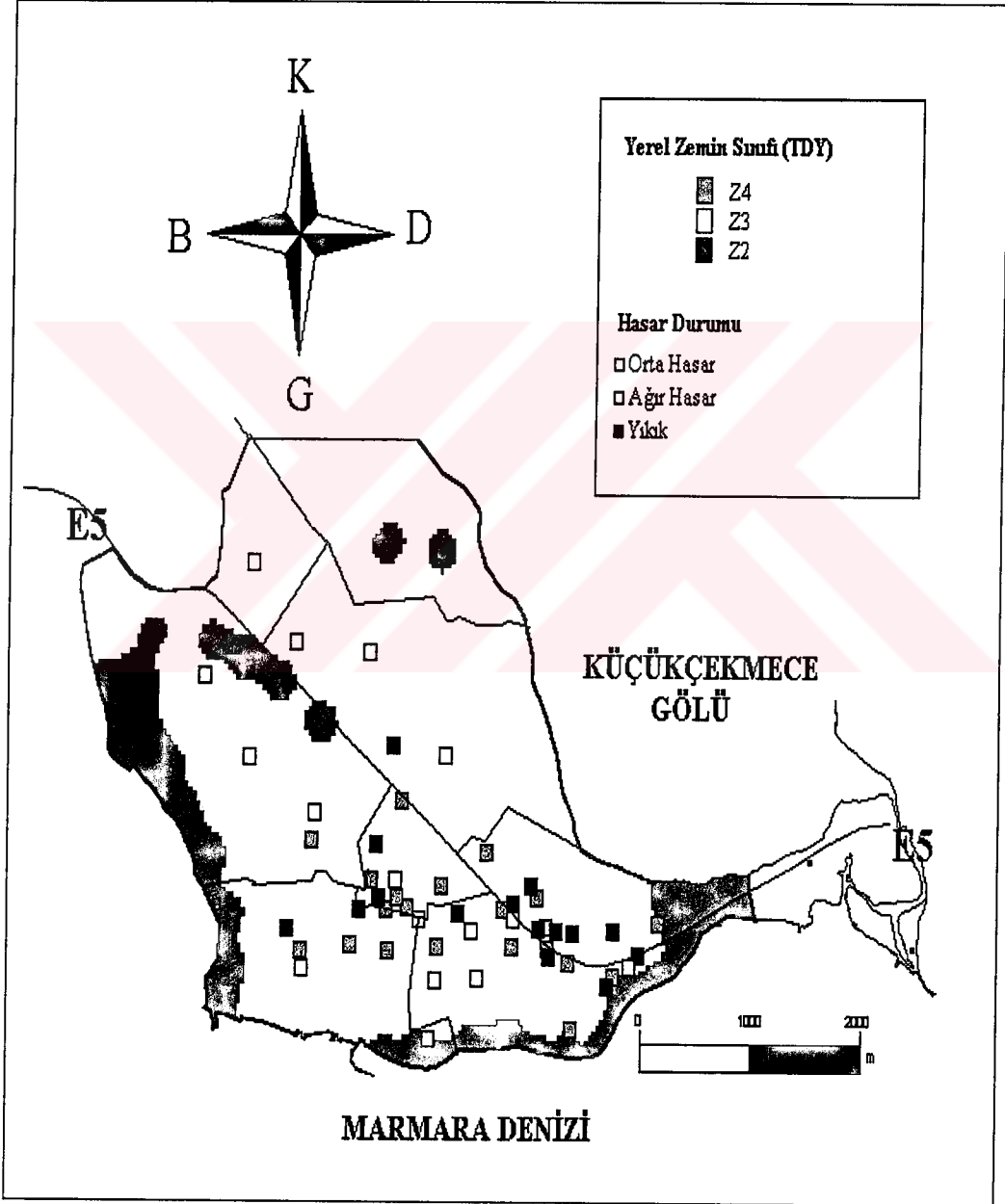
Şekil 8.1 incelendiğinde hasarın belli bir bölgeye yoğunlaşmış olması, hasarlı binaların tamamının anlaşılır bir harita ortamında sunulmasını engellemektedir. Bundan dolayıdır ki, ileriki bölümlerde mikrobölgeleme haritaları ile hasar haritaları karşılaştırılırken, az hasarlı binalar haritadan çıkartılmış, orta ve ağır hasarlı binalar ile yıkık binalar ise hasarın yoğunlaştığı yerlere 1 temsili bina koyularak, sadeleştirilmiş hasar haritası üzerinde gösterilmiştir. Ayrıca, hasarın bulunduğu 7 mahalle dışında kalan Firüzköy ve Tahtakale mahalleleri bu bölümde değerlendirme dışında bırakılmıştır. Şekil 8.2'de sadeleştirilmiş hasar haritası gösterilmektedir.



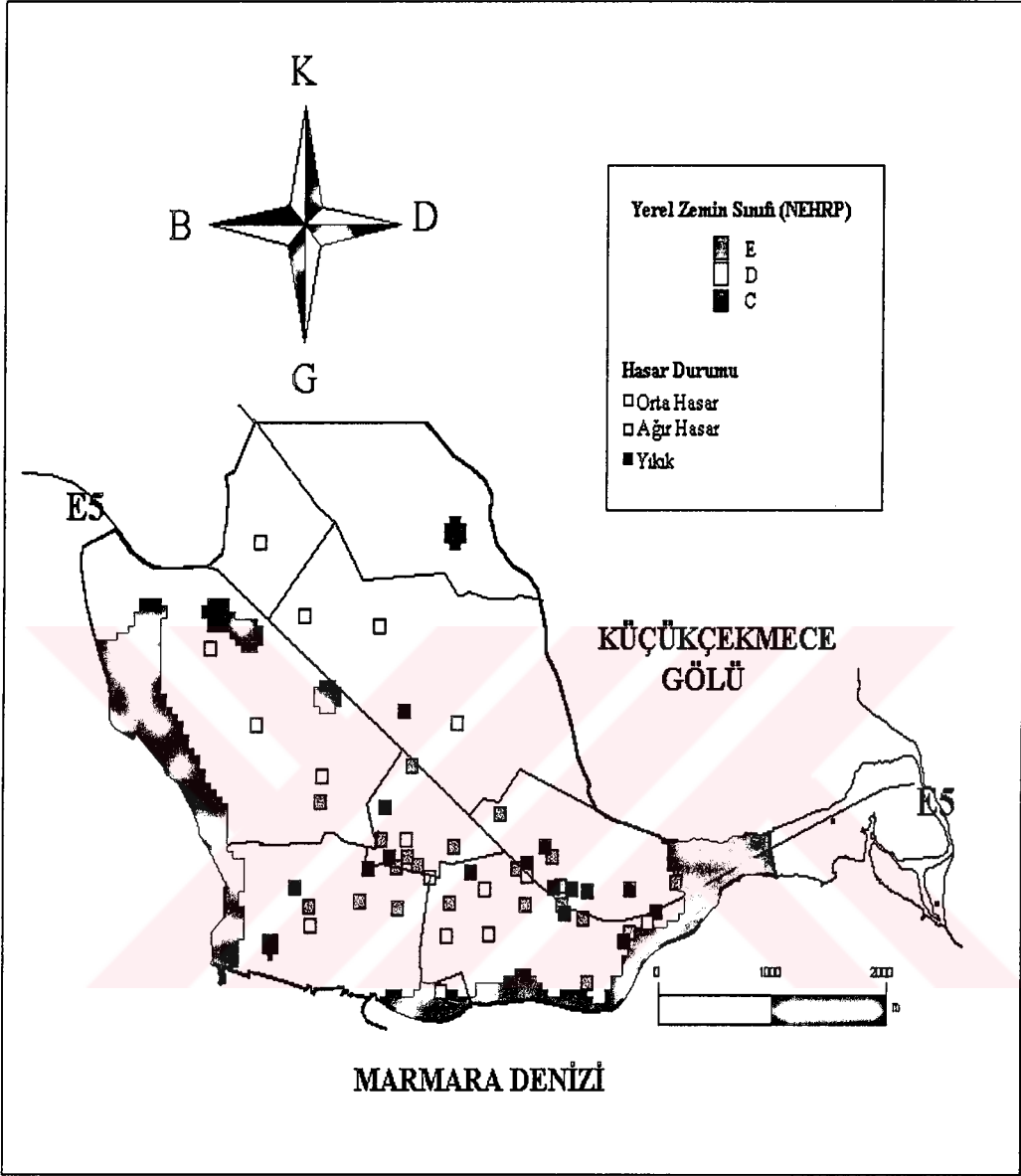
Şekil 8.2 Sadeleştirilmiş hasar haritası

### 8.3 Yerel Zemin Sınıfları İle Hasarın Karşılaştırılması

Türkiye Deprem Şartnamesi'ne ve NEHRP'ye göre yerel zemin sınıflarının dağılımı Bölüm 5'de belirlenmiş ve Bölüm 6'da GIS ortamında hazırlanan haritalarda gösterilmiştir. Bu bölümde ise TDY'ye ve NEHRP'ye göre belirlenen yerel zemin sınıfları ile hasar haritaları karşılaştırılmış ve yerel zemin sınıflarının hasar üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir. Şekil 8.2'de ve Şekil 8.3'de TDY'ye ve NEHRP'ye göre belirlenen yerel zemin sınıfları ile hasarın karşılaştırılması sunulmuştur.



Şekil 8.3 TDY'ye göre belirlenen yerel zemin sınıfları ile hasarın karşılaştırılması

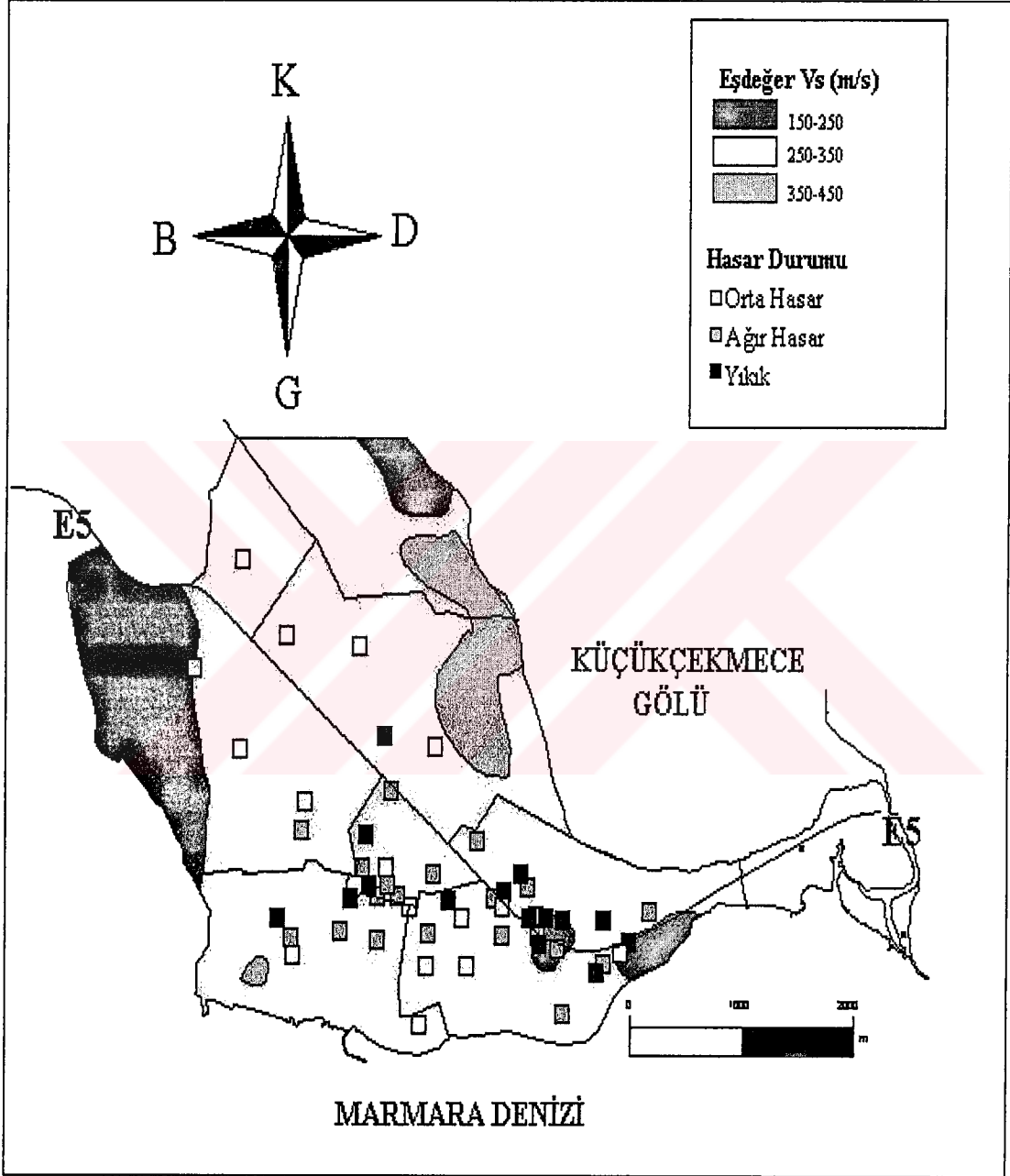


Şekil 8.4 NEHRP'ye göre belirlenen yerel zemin sınıfları ile hasarın karşılaştırılması

Şekil 8.3 ve Şekil 8.4 incelendiğinde hasarın yoğunlaştığı bölgelerin Z3-D zemin sınıfı olduğu görülmektedir. Z4-E zemin sınıfının hakim olduğu Avcılar'ın kıyı şeritinde ve Küçükçekmece Gölü'nün güney kesiminde ise hasarlı bina sayısı oldukça azdır. Bu durum Avcılar İlçesi'nde, 17 Ağustos 1999 Kocaeli Depremi'nin yarattığı hasarın, tek başına yerel zemin koşulları ile açıklanmasını zora sokmaktadır.

#### 8.4 Eşdeğer Kayma Dalgası İle Hasarın Karşılaştırılması

Zemin büyütmelelerinde kritik derinlik olduğu tahmin edilen ilk 30 metre için hesaplanan eşdeğer kayma dalgası hızları ile oluşan hasar karşılaştırılmıştır ve Şekil 8.5’de gösterilmiştir.

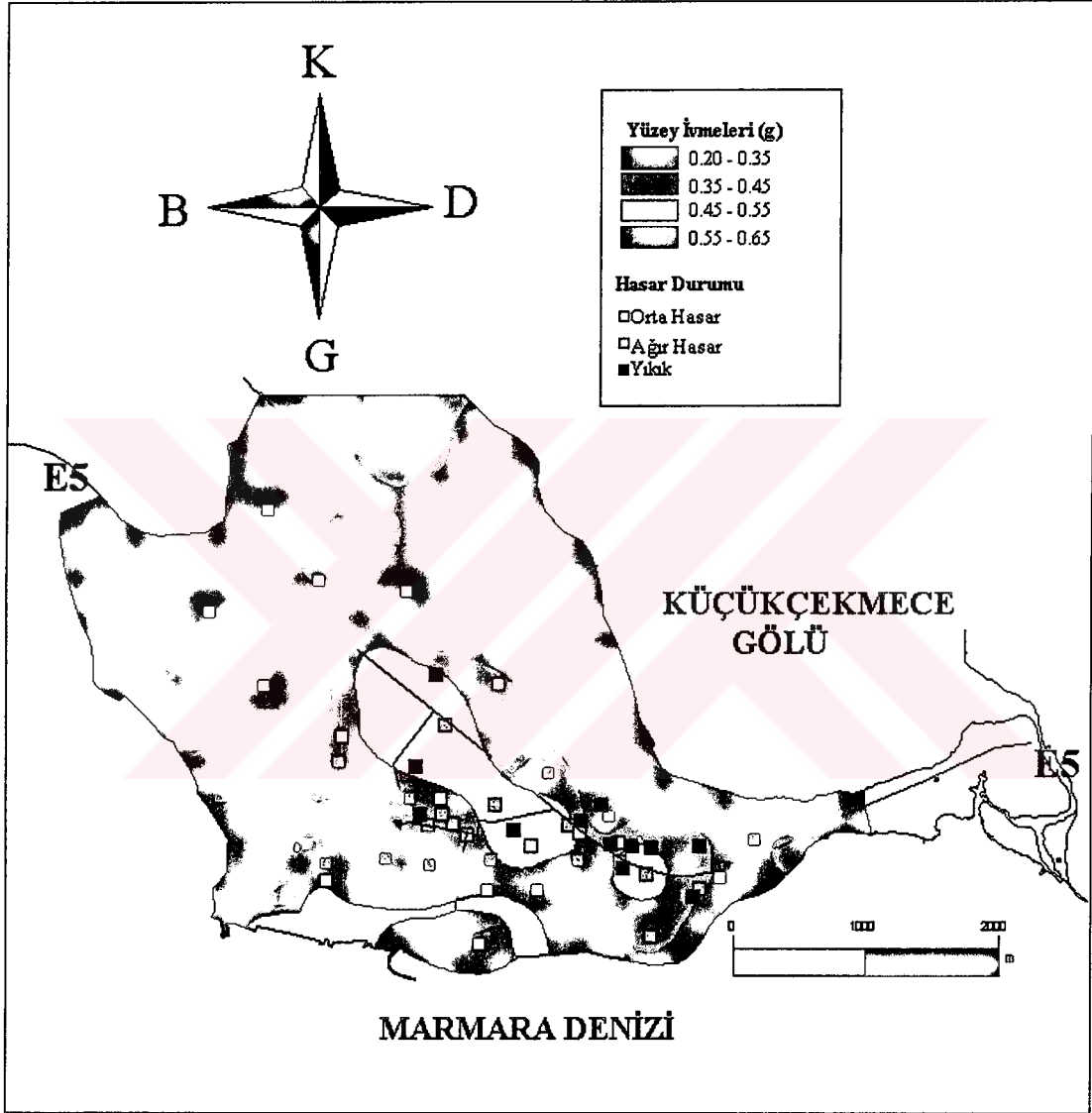


Şekil 8.5 Eşdeğer kayma dalgası hızları ile hasarın karşılaştırılması

Şekil 8.5 incelendiğinde hasarın yoğun olarak gözlemlendiği bölgelerin eşdeğer kayma dalgası hızının 150 (m/sn) ile 350 (m/sn) arasında değiştiği bölgeler olduğu görülmektedir.

### 8.5 En Büyük Yüzey İvmeleri İle Hasarın Karşılaştırılması

EERA programı ile inceleme alanında 63 noktada yapılan dinamik davranış analizleri neticesinde elde edilen en büyük yüzey ivmeleri ile deprem hasarı bu bölümde karşılaştırılmıştır ve elde edilen harita Şekil 8.6'da gösterilmiştir.



Şekil 8.6 En büyük yüzey ivmeleri ile hasarın karşılaştırılması

Şekil 8.6 incelendiğinde hasarın, en büyük yüzey ivmelerinin 0.35g ile 0.55g arasında değiştiği bölgelerde meydana geldiği gözükmemektedir.

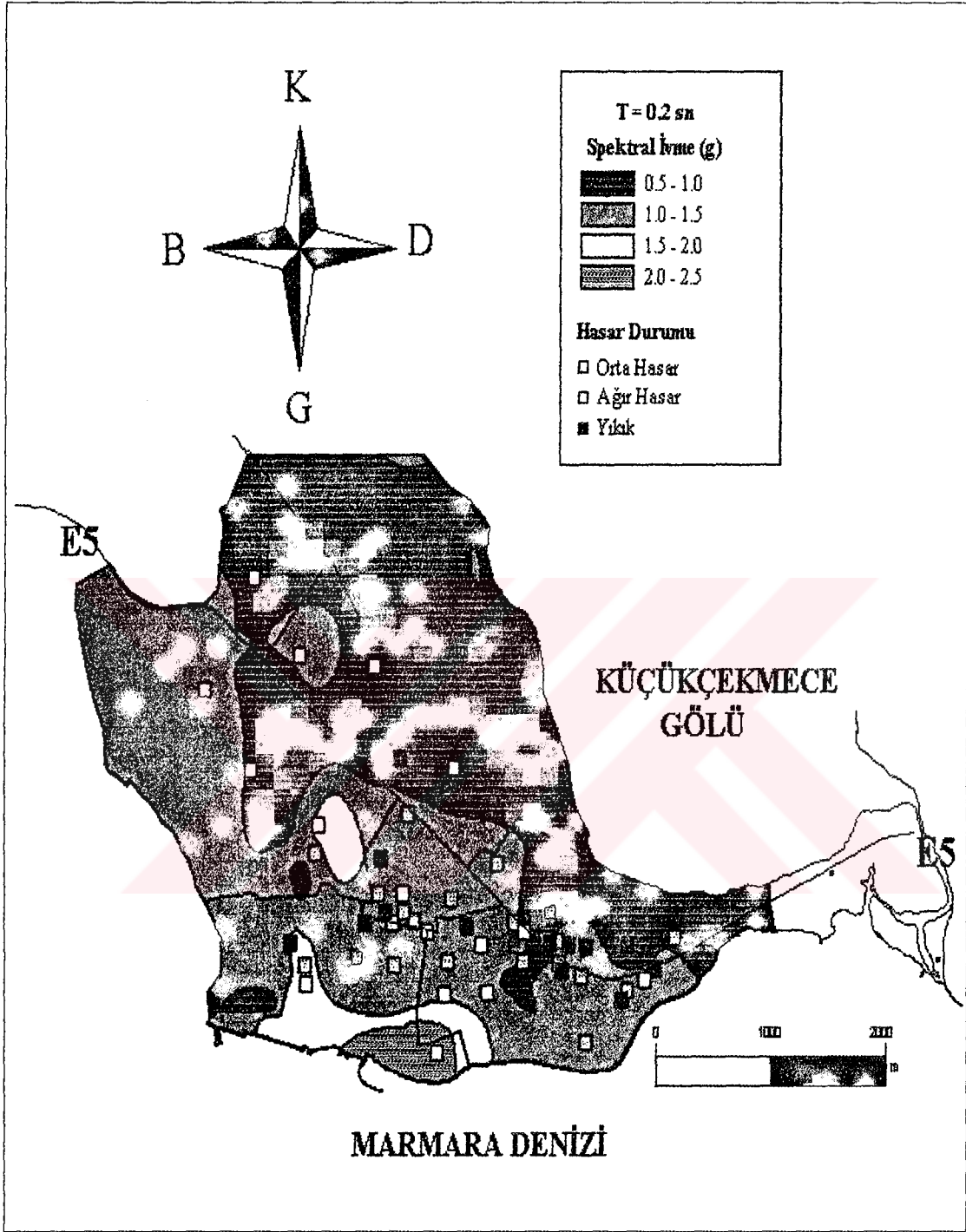
### 8.6 Spektral İvmelerle Hasarın Karşılaştırılması

Bu bölümde EERA programı ile yapılan dinamik davranış analizleri neticesinde elde edilen spektral ivme değerleri ile hasar haritası karşılaştırılmıştır. Spektral ivme değerlerine göre yapılan bir mikrobölgeleme çalışmasının, depremin yapılar üzerindeki etkisini değerlendirmede kullanılacak en önemli faktör olduğu düşünülmüştür ve bundan dolayı spektral ivmeler ile hasarın karşılaştırıldığı bu bölümde daha detaylı haritalama çalışmaları yapılmıştır.

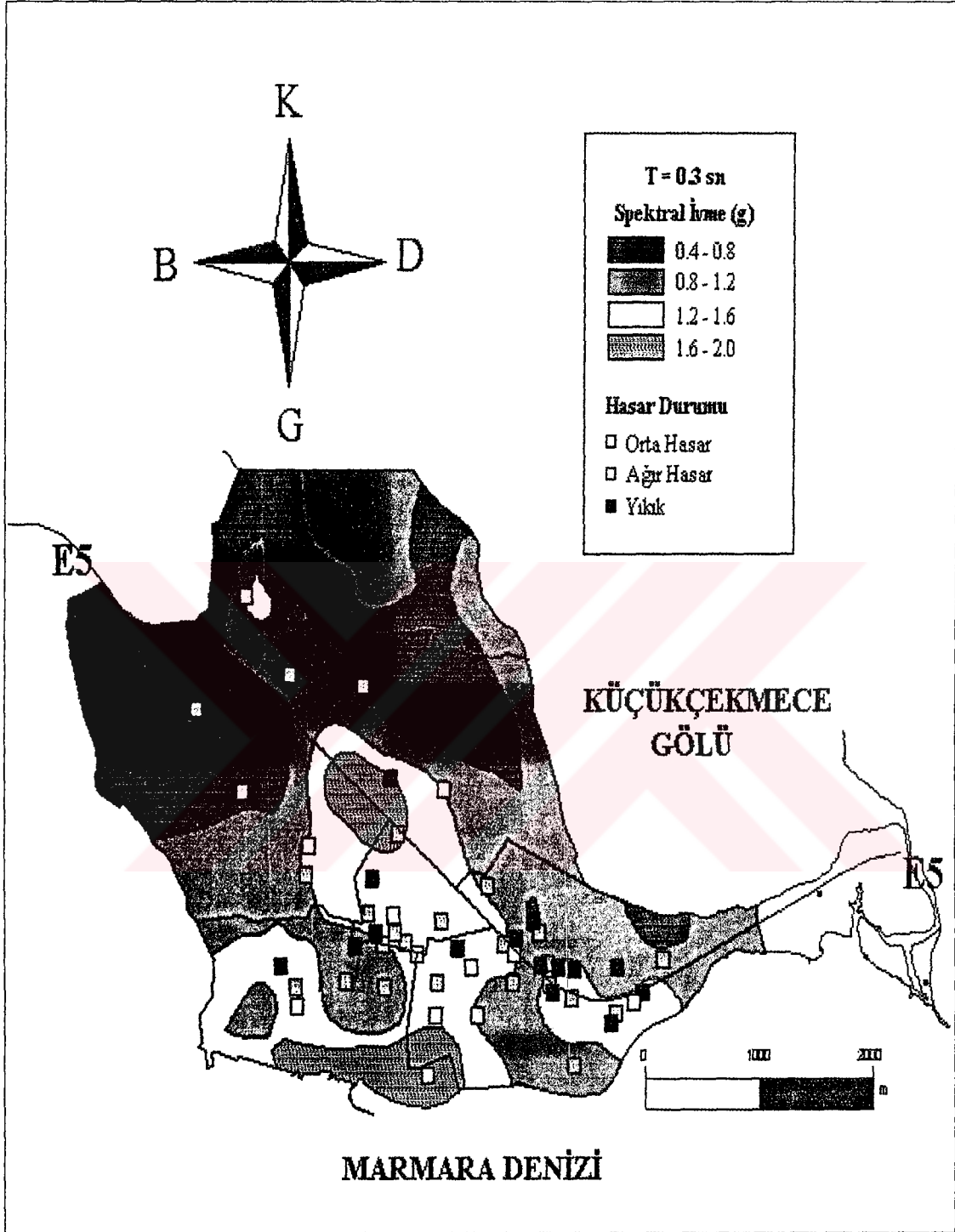
Spektral ivmeler ile hasarın karşılaştırıldığı bu bölümde, spektral ivmelere göre bölgeleme haritaları, 0.2 s ve 1.0 s peryot değerleride dahil olmak üzere bu iki değer arasında kalan bütün değerler için yapılmıştır ve hasar haritası ile karşılaştırılmıştır. Böylelikle hangi bölgelerde kaç katlı binaların daha fazla ivme değeri alacağı tahmin edilmiştir. Şekil 8.7'den Şekil 8.14'e kadar farklı peryot değerleri için spektral ivme değerleri ile hasarın karşılaştırılması gösterilmiştir.



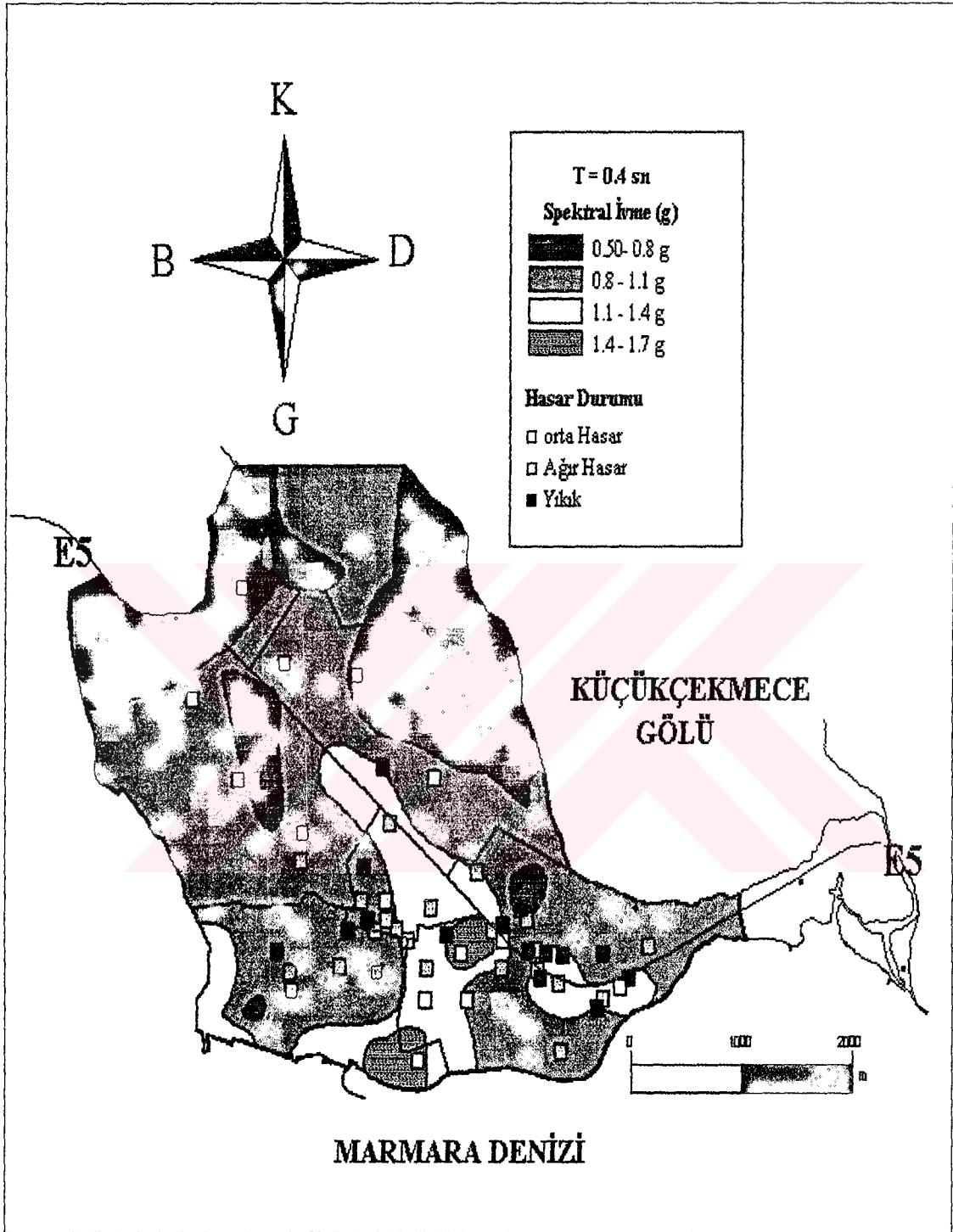




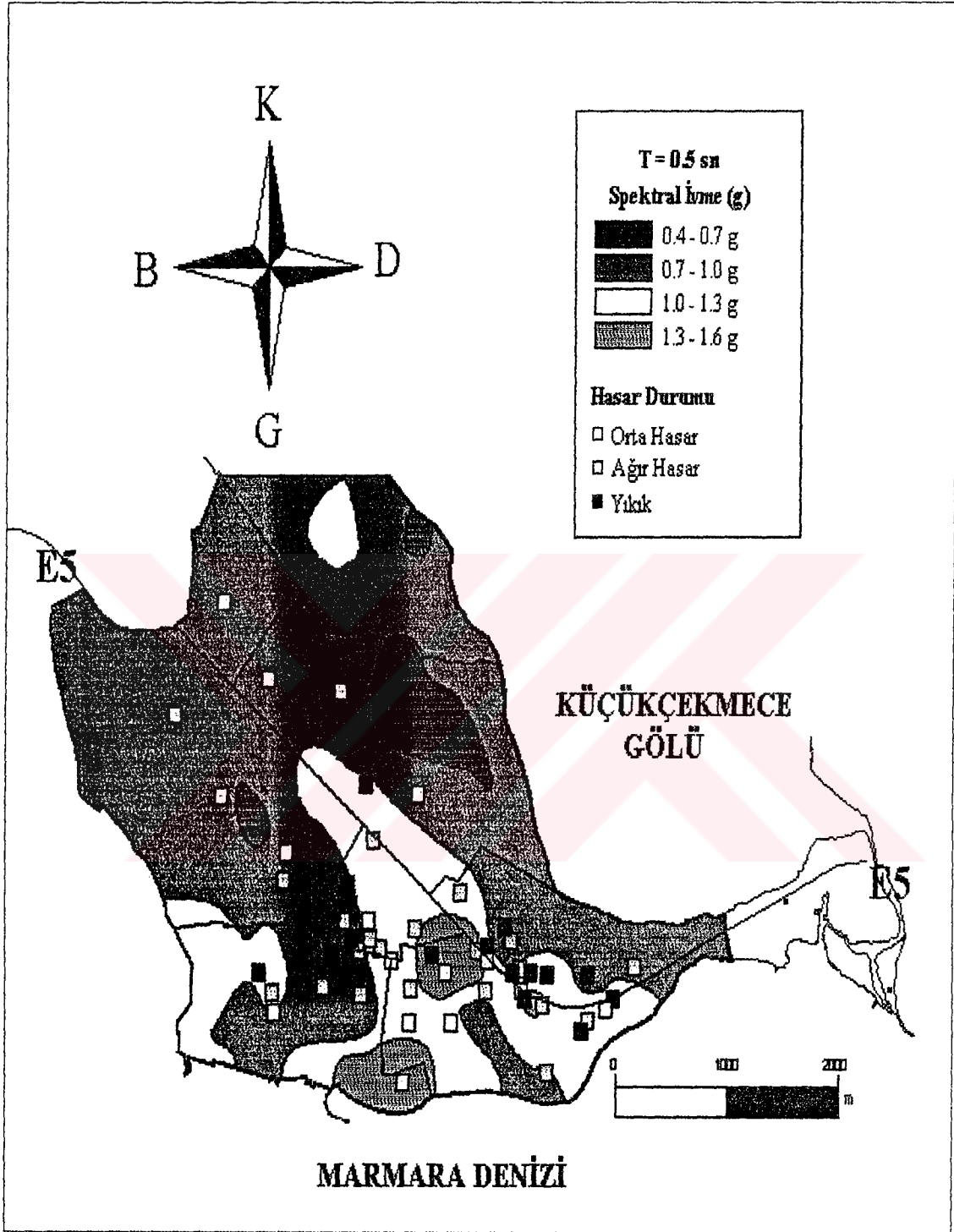
Şekil 8.7 0.2 s periyot değeri için spektral ivme değerleri ile hasarın karşılaştırılması



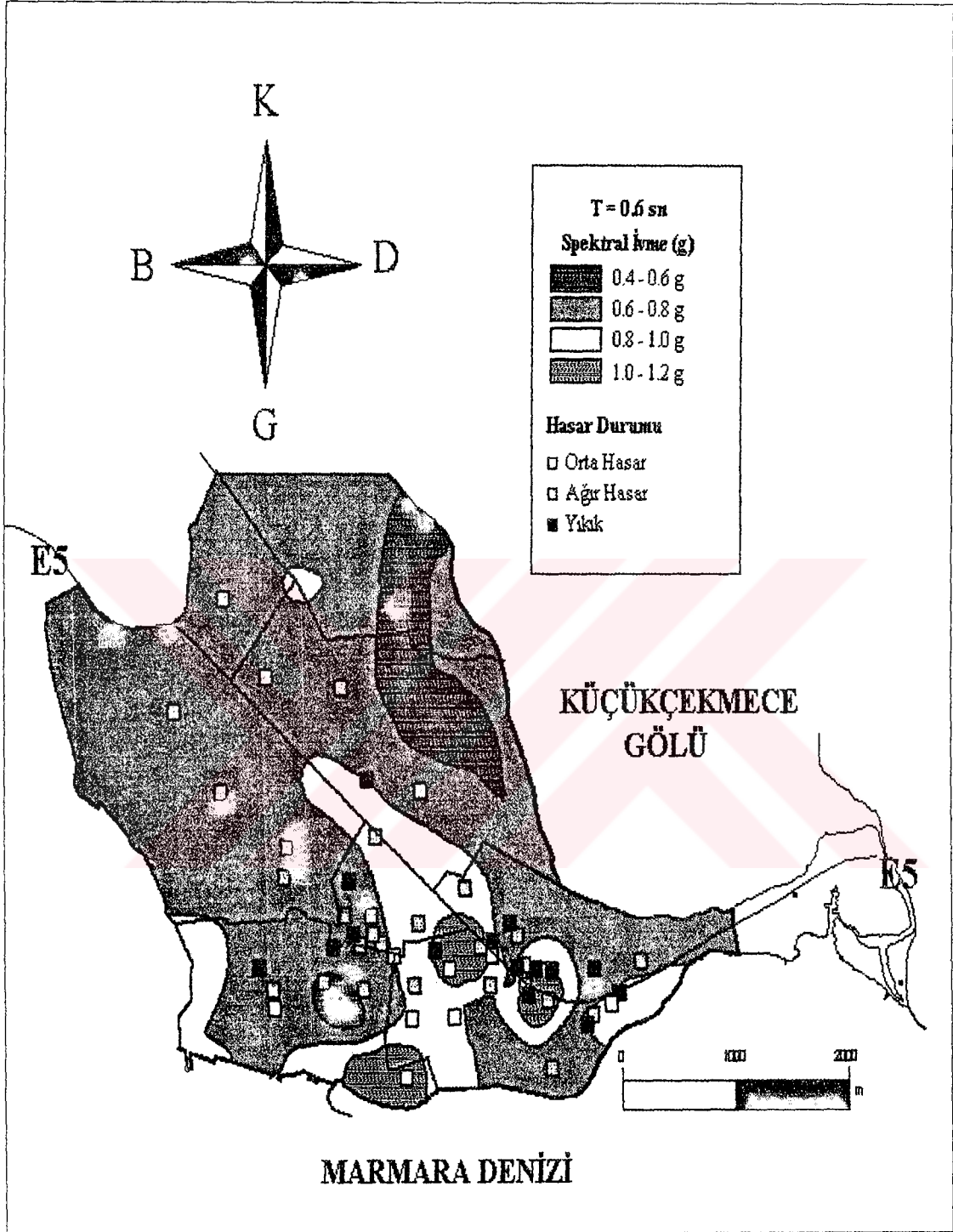
Şekil 8.8 0.3 s periyot değeri için spektral ivme değerleri ile hasarın karşılaştırılması



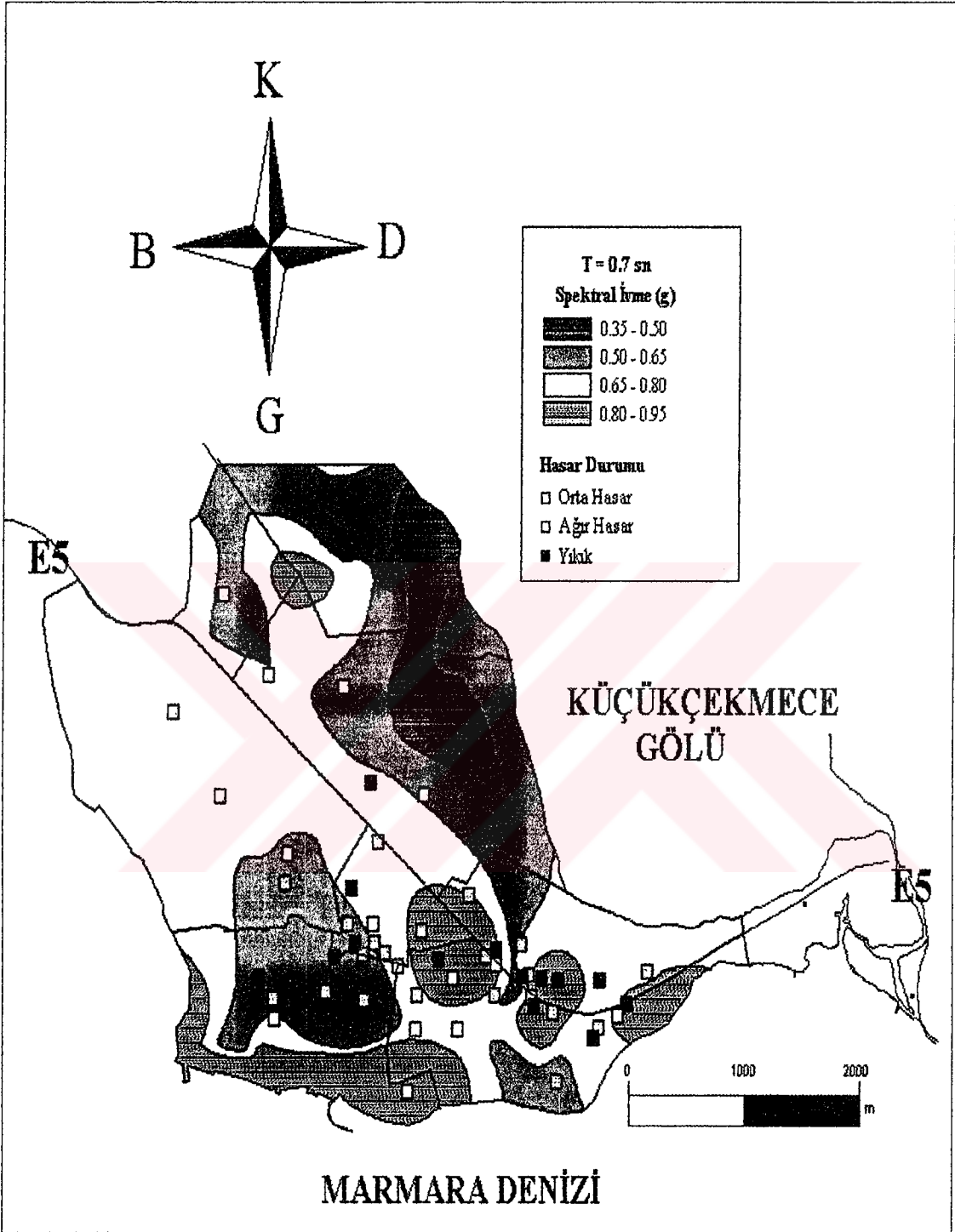
Şekil 8.9 0.4 s periyot değeri için spektral ivme değerleri ile hasarın karşılaştırılması



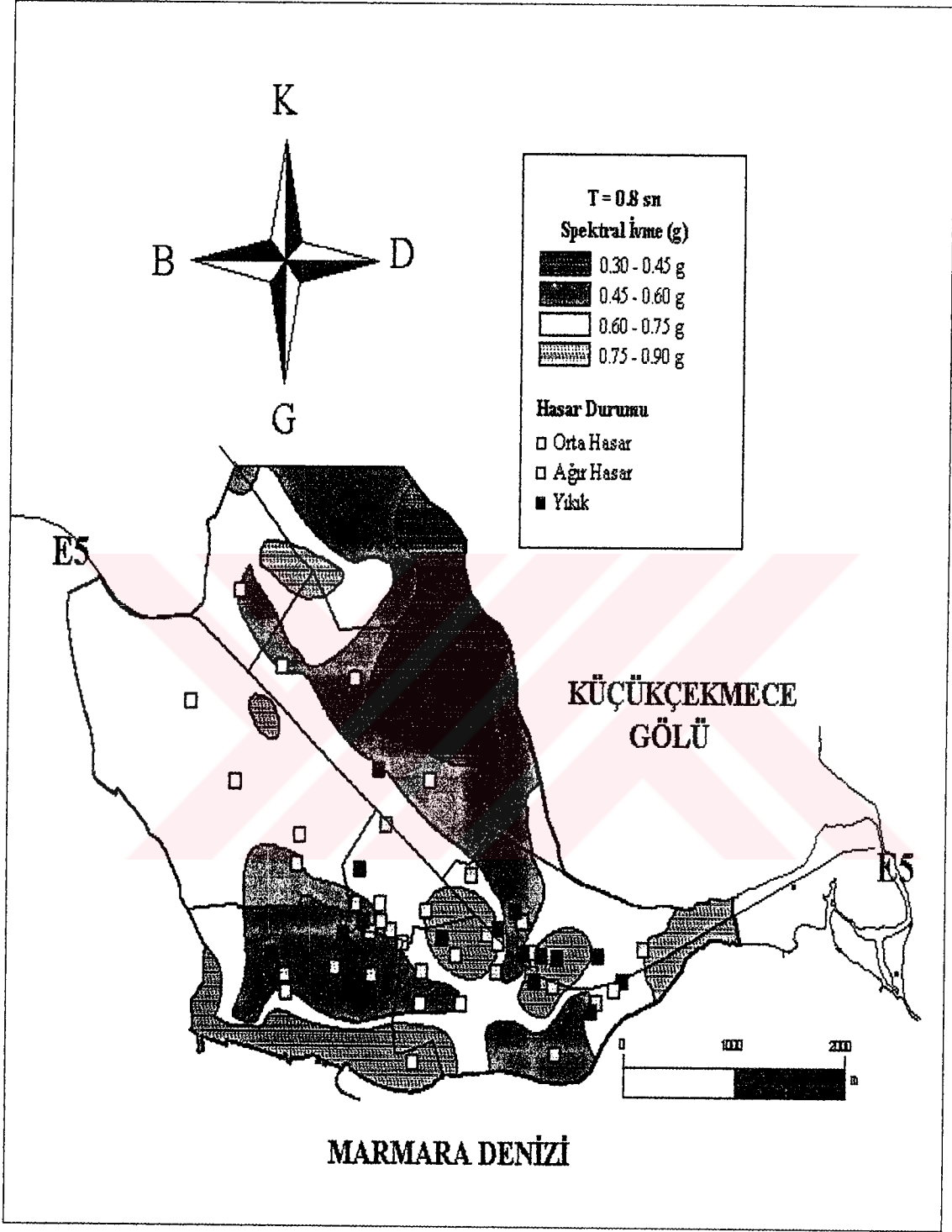
Şekil 8.10 0.5 s periyot değeri için spektral ivme değerleri ile hasarın karşılaştırılması



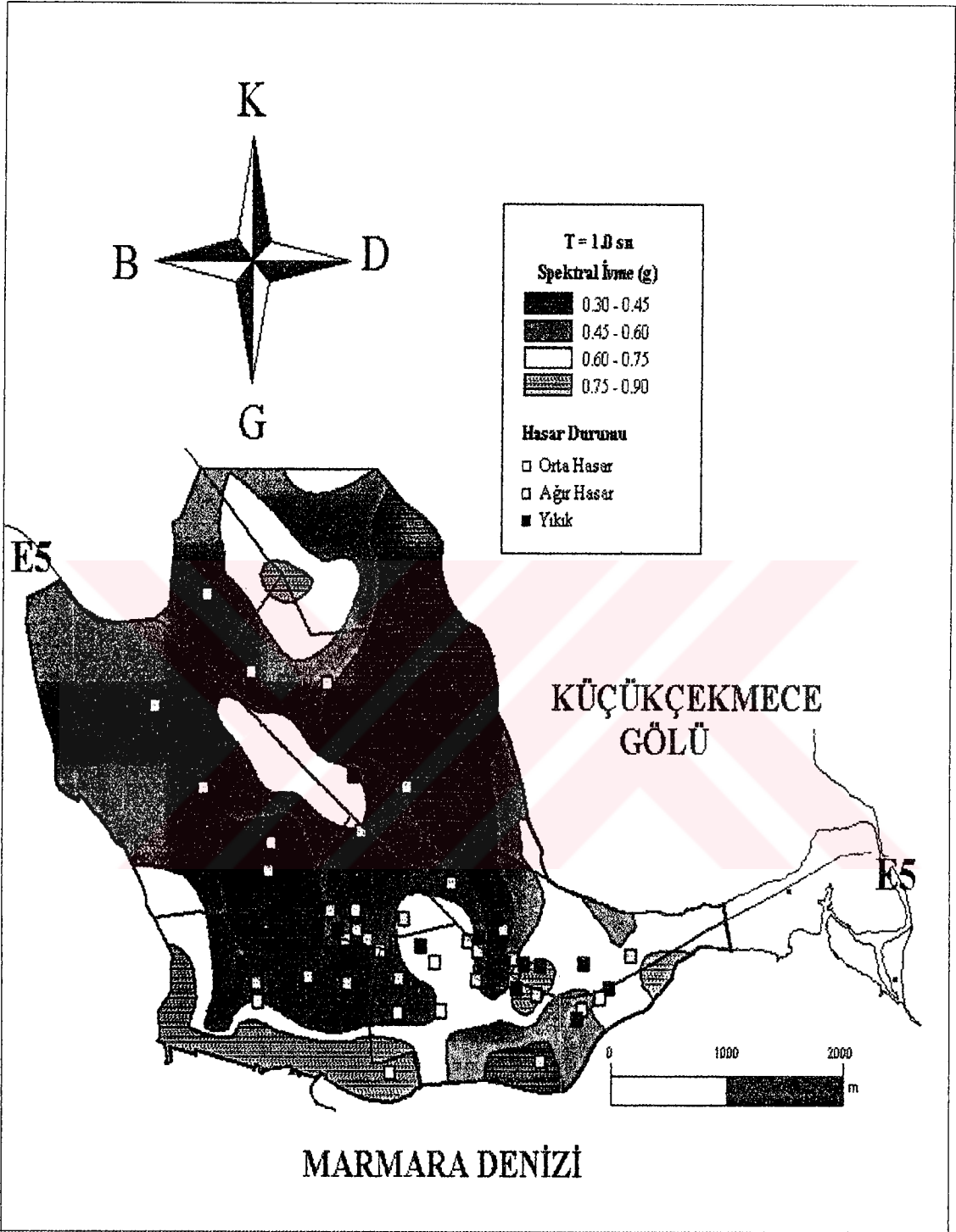
Şekil 8.11 0.6 s periyot değeri için spektral ivme değerleri ile hasarın karşılaştırılması



Şekil 8.12 0.7 s periyot değeri için spektral ivme değerleri ile hasarın karşılaştırılması



Şekil 8.13 0.8 s periyot değeri için spektral ivme değerleri ile hasarın karşılaştırılması

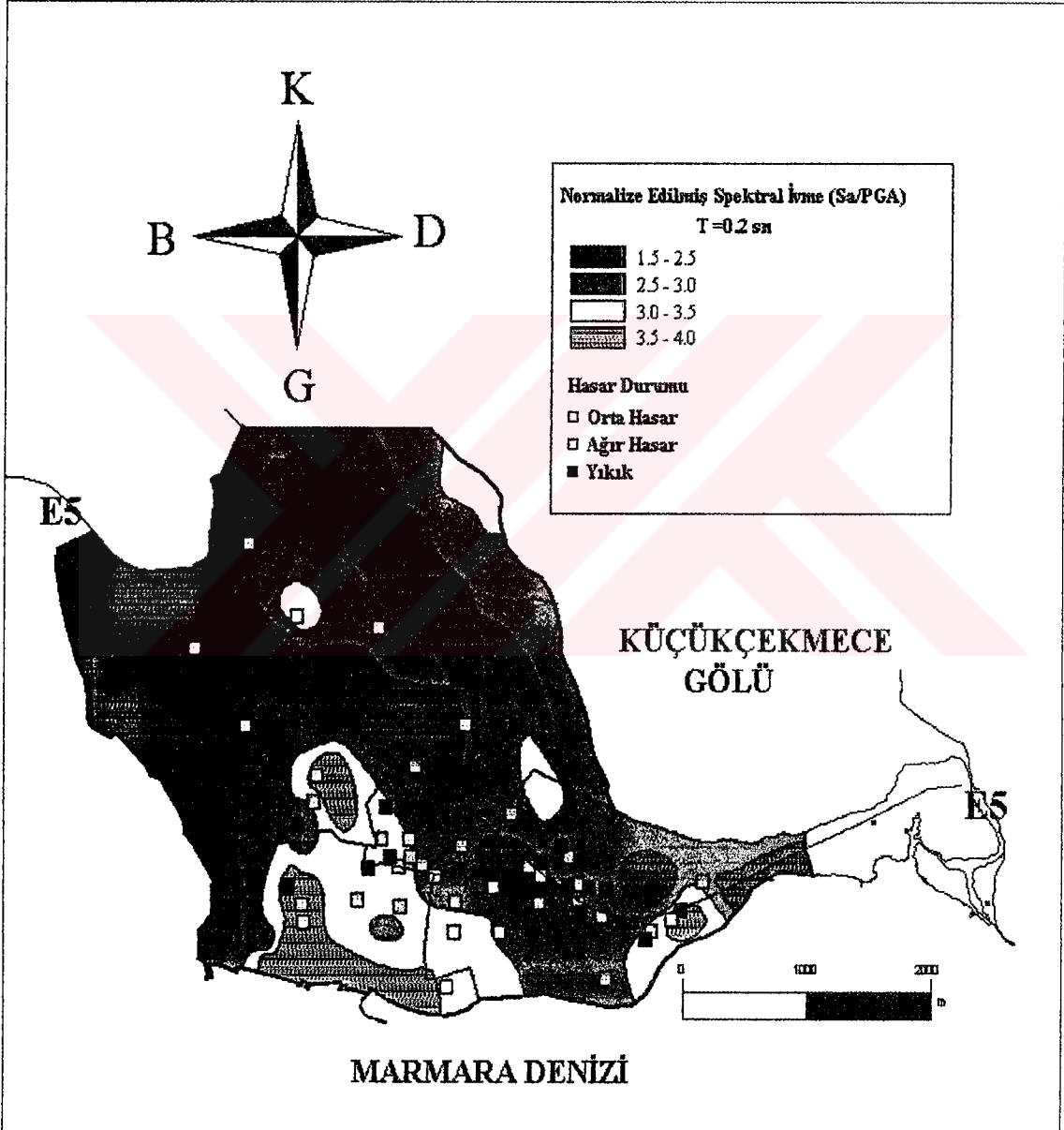


Şekil 8.14 1.0 s periyot değeri için spektral ivme değerleri ile hasarın karşılaştırılması

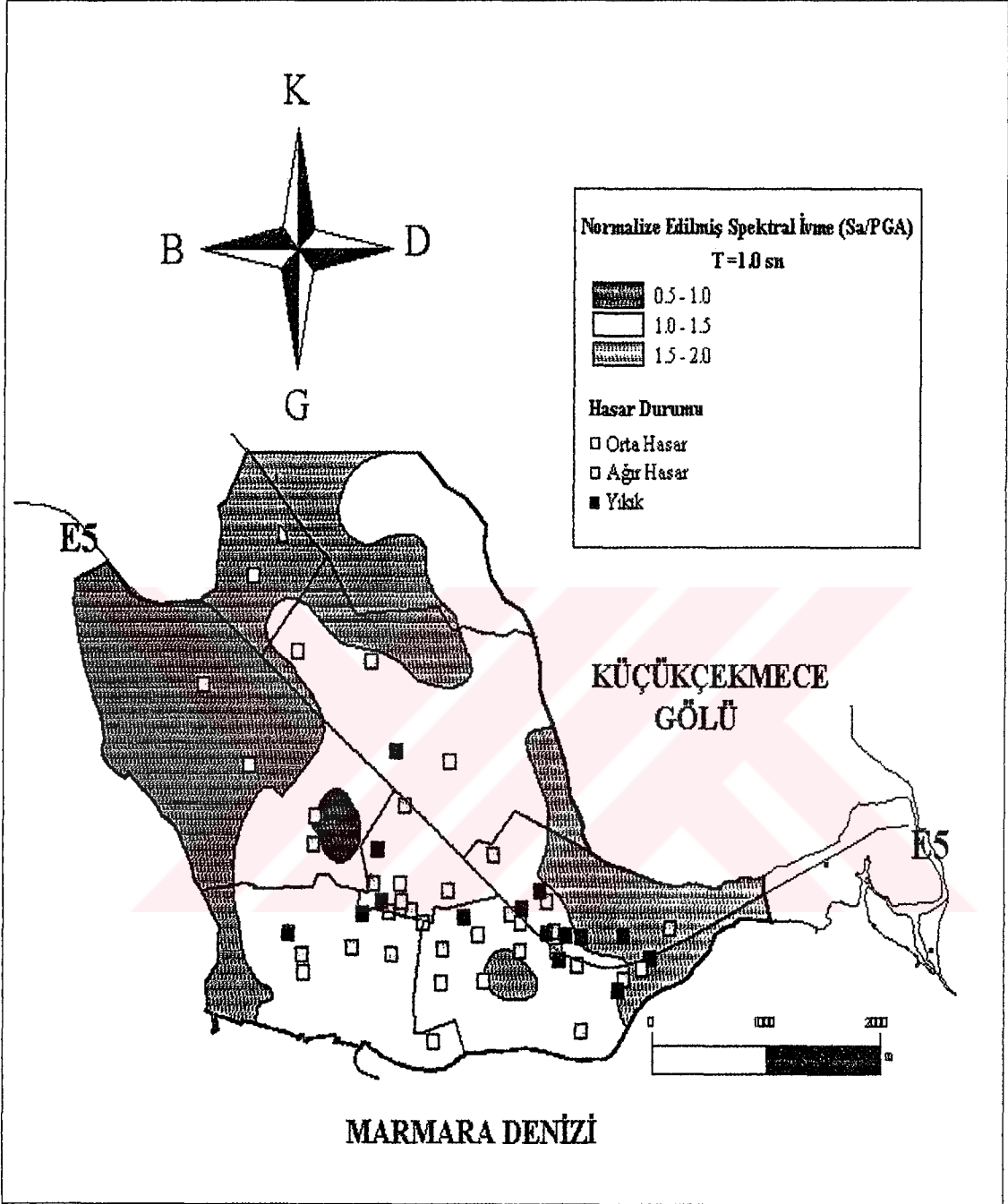


### 8.7 Normalized Spectral Accelerations and Damage Comparison

In the previous section, 63 points were analyzed dynamically in the study area. The resulting spectral acceleration values were normalized by the maximum surface acceleration and presented in a GIS environment. In this section, the normalized spectral acceleration values for 0.2s and 1.0s periods are compared with the damage map. Figure 8.15 and Figure 8.16 show the comparison of normalized spectral acceleration values with the damage map for 0.2s and 1.0s periods, respectively.



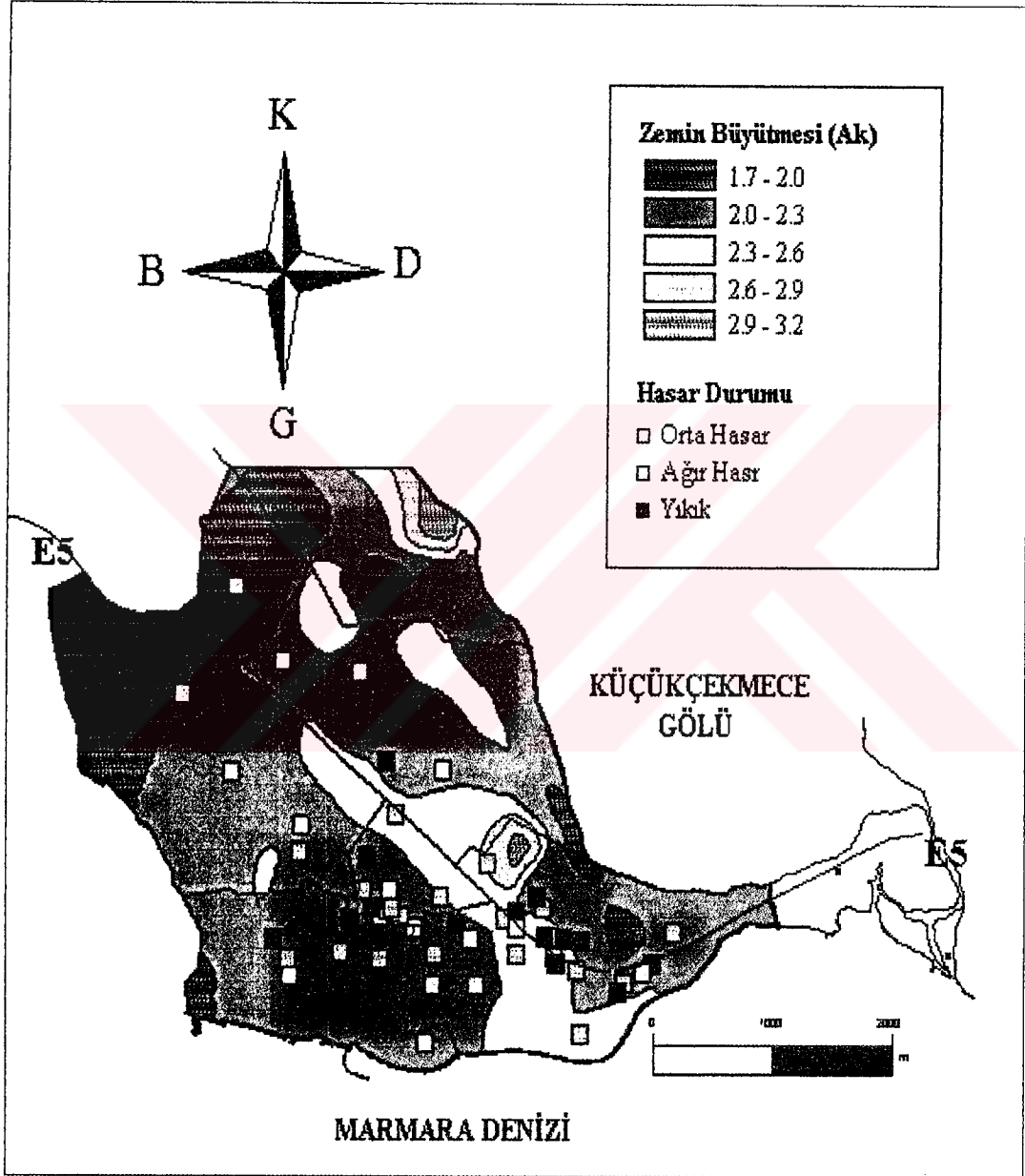
Şekil 8.15 0.2s peryot değeri için normalize edilmiş spektral ivme değerleri ile hasarın karşılaştırılması



Şekil 8.16 1.0s periyot değeri için normalize edilmiş spektral ivme değerleri ile hasarın karşılaştırılması

### 8.8 Zemin Büyütmeleri İle Hasarın Karşılaştırılması

Dinamik davranış analizleri neticesinde elde edilen zemin büyümesi değerleri bir önceki bölümde GIS ortamında sunulmuş ve bu bölümde de hasar haritası ile karşılaştırılmıştır. Şekil 8.17'de zemin büyütmeleri ile hasarın karşılaştırılması gösterilmiştir.



Şekil 8.17 Zemin büyümesi ile hasarın karşılaştırılması

## 8.9 Sonuçlar

Bu b6l6mde, ikinci ve 66nc6 aşama mikrob6lgeleme y6ntemleri kapsamında yapılan çalışmalar neticesinde elde edilen b6lgeleme haritaları ile 17 Ağustos 1999 Kocaeli depreminin Avcılar İlçesi'nde meydana getirdiği hasar karşılaştırılmıştır.

T6rkiye Deprem Y6netmeliği ve A.B.D Y6netmeliği (NEHRP)' ne g6re belirlenen yerel zemin sınıfları ile hasarın karşılaştırılması neticesinde, hasarın genelde Z3-D zemin sınıfının hakim olduğu b6lgelerde meydana geldiği g6r6lm6řt6r. Avcılar İlçesi'nin kuzey doğusunda ve Marmara Denizi kıyısında kalan kesimlerinde daha k6t6 zeminlerin (Z4-E) bulunmasına rağmen buralarda deprem sonrasında kayda değer bir hasara rastlanmamıştır. Buralarda sadece sınırlı sayıda az hasarlı bina mevcuttur fakat az hasarlı binalar sadeleştirilmiş deprem haritasında g6sterilmemiştir.

İlk 30 metre için hesaplanan eşdeğer kayma dalgası hızının hasar haritaları ile karşılaştırılması sonucunda, kayma dalgası hızının 250m/sn – 350m/sn aralığında değiştiği b6lgelerde hasarın yoğun olarak g6zlendiği tesbit edilmiştir. Eşdeğer kayma dalgası hızının daha d6ř6k seviyelerde g6z6kt6đ6 Avcılar İlçesi'nin kuzeybatı kesiminde ise hasar g6zlenmemiştir.

İlgili b6l6mde ayrıntılı olarak belirlenen senaryo deprem modeli kullanılarak, EERA programı ile yapılan dinamik davranış analizleri neticesinde elde maksimum y6zey ivmelerinin hasar ile karşılaştırılması sonucunda, y6zey ivmelerinin en d6ř6k seviyelerde (0.20g – 0.35g) g6zlendiği b6lgelerde hasara rastlanmamakla birlikte, 0.35g – 0.45g ivme aralığında, 0.55g – 0.65g aralığına g6re daha fazla hasarın meydana geldiği g6r6lm6řt6r.

Dinamik davranış analizleri neticesinde belirlenen spektral ivmelerin, hasar haritaları ile karşılaştırılması sırasında, spektral ivme değerlerinin 6styapının maruz kalacağı deprem etkisini değerlendirmek açısından 6nemli bir g6sterge olmasından dolayı daha ayrıntılı çalışmalar yapılmıştır. Spektral ivmelerin b6lgedeki dağılımı 0.2s ve 1.0s peryot değerleride dahil olmak 6zere bu iki değer arasında kalan b6t6n değerler için yapılmıştır. şekil 8.7'den şekil 8.14'e kadar farklı peryot değerleri için elde edilen spektral ivme dağılımı ile hasarın karşılaştırıldığı haritalar g6sterilmektedir. Bu haritalar incelendiğinde d6ř6k peryot değerlerinde (0.2s – 0.4s), spektral ivmelerin y6ksek olduğu b6lgelerle hasarın çakışmadığı, ancak nispeten y6ksek peryot değerlerinde, 6zellikle 0.7s ve 0.8s değerlerinde spektral ivmelerin y6ksek olduğu b6lgelerle hasarın daha iyi çakıştığı g6zlenmektedir. 0.2s ve 1.0s peryot değerlerinde normalize edilmiş spektral ivmeler ile hasar haritası karşılaştırıldığında

ise ortaya net bir tablo çıkmamaktadır. Hasarın normalize edilmiş spektral ivme değerlerinin yüksek olduğu bölgelerde gözlemlendiği gibi normalize ivmelerin düşük olduğu bölgelerde hasar mevcuttur. Bu durum 0.2s ve 1.0s periyot değerleri içinde aynıdır. Zemin büyütmesi ile hasarın karşılaştırıldığı haritalar incelendiğinde ise hasarın zemin büyütmesi değerinin 2 ile 2.6 arasında değiştiği bölgelerde olduğu ve zaten inceleme alanının büyük bir bölümünde bu büyütme aralığında olduğu gözlenmektedir.

İkinci ve üçüncü aşama mikrobölgeleme çalışmaları sonucunda GIS ortamında sunulan mikrobölgeleme haritaları ile hasar haritasının karşılaştırılması neticesinde, bazı bölgeleme haritalarının hasar ile çakıştığı bazılarının ise örtüşmediği görülmüştür. Bu durumun sebeplerinin değerlendirilmesine, sonuçların ve önerilerin sunulduğu bir sonraki bölümde değinilmiştir.



## 9. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Avcılar İlçesi'nde çeşitli kurumlardan derlenen arazi geoteknik deney verileri yardımıyla, EERA programı ile, İstanbulu yakın bir gelecekte etkilemesi beklenen senaryo deprem modeli göz önüne alınarak dinamik davranış analizleri yapılmıştır. Bu analizler neticesinde elde edilen sismik zemin parametreleri kullanılarak Avcılar İlçesi için daha gerçekçi tasarım davranış spektrum eğrileri belirlenmiş, GIS ortamında mikrobölgeleme haritaları hazırlanmış ve hazırlanan bu mikrobölgeleme haritaları ile 17 Ağustos 1999 Kocaeli depreminin Avcılar İlçesi'nde meydana getirdiği hasar karşılaştırılmıştır. Bütün bu çalışmalar neticesinde elde edilen sonuçlar ise aşağıda sıralanmıştır:

1. Avcılar İlçesi'nin tasarım davranış spektrum eğrileri üzerinde yapılan çalışmalar neticesinde, faya olan uzaklığa göre belirlenen 3 alanın tamamında NEHRP'ye göre deterministik yaklaşım ile belirlenen spektral davranış eğrilerinin, NEHRP probabilistik yaklaşım ve TDY'e göre belirlenen eğriler ile dinamik davranış analizleri neticesinde çizilen eğrilere göre çok aşağıda kaldığı belirlenmiştir. 1.Alan'da NEHRP'e göre probabilistik yaklaşım ile çizilen spektrum davranış eğrilerinin dinamik analiz sonuçları ile daha iyi çakıştığı, 2.Alan'da TDY'ye göre çizilen eğriler ile NEHRP'e göre probabilistik yaklaşım ile çizilen eğrilerin platoların çakıştığı ve bunların Z2-C zemin sınıfı hariç dinamik analiz sonuçları ile örtüştüğü, 3.Alan'da ise TDY ve NEHRP probabilistik yaklaşımın spektrum eğrilerinin birbirine yakın olduğu ancak her ikisinde dinamik analizler neticesinde çizilen spektral davranış eğrilerinin çok altında kaldığı gözlenmiştir.
2. Avcılar İlçesi'nde GIS yöntemleri kullanılarak çeşitli sismik zemin parametrelerine göre yapılan mikrobölgeleme çalışmaları sonucunda; inceleme alanında maksimum yüzey ivmelerinin 0.20g ile 0.65g arasında değiştiği ve Avcılar'ın güneyinde Marmara Denizi'ne yakın kesimlerde ise bu değerlerin 0.45g ile 0.65g arasında olduğu gözlenmiştir. Spektral ivme değerleri ise  $T = 0.2s$  peryot değerinde inceleme alanının büyük bir bölümünde 1.0 ile 1.5g arasında değiştiği gözlenmektedir.  $T = 1.0s$  peryot değerinde ise spektral ivmeler sahile yakın kesimlerde 0.55 ile 0.75g arasında kuzey kesimlerde ise 0.30 ile 0.45g arasında değişmektedir.  $T = 0.2s$  peryot değerinde normalize edilmiş spektral ivmelerin, Avcılar İlçesi'nin kuzeyinde sahile yakın kesimlere göre daha yüksek olduğu gözlenmiştir.  $T = 1.0s$  peryot değerine göre çizilen haritalar incelendiğinde ise normalize edilmiş spektral ivme değerlerinin Avcılar İlçesi'nin kuzeyine doğru azaldığı ve sahile yakın kesimlerde daha yüksek değerler

aldığı gözlenmektedir. Büyütme değerlerinin ise 1.7 ile 3.2 arasında değiştiği ve büyütme açısından en tehlikeli bölgenin Küçükçekmece Gölü'nün kuzeybatısı olduğu belirlenmiştir. Bütün bu mikrobölgeleme haritaları incelendiğinde gözlenen önemli bir noktada, Küçükçekmece Gölü'nün kuzeybatısının İstanbul'u etkileyecek olası bir depremde, sahile yakın bölgelerle benzer derecede sismik risk içerdiği görülmüştür.

3. 17 Ağustos 1999 Kocaeli depremi sonucunda meydana gelen hasar ile 2. ve 3. aşama yöntemler kapsamında çizilen mikrobölgeleme haritalarının karşılaştırılması neticesinde, hasarın genelde Z3-D zemin sınıfının hakim olduğu bölgelerde meydana geldiği gözlenmiştir. İlk 30 metre için hesaplanan eşdeğer kayma dalgası hızının hasar haritaları ile karşılaştırılması sonucunda ise kayma dalgası hızının 250m/sn – 350m/sn aralığında değiştiği bölgelerde hasarın yoğun olarak gözlemlendiği belirlenmiştir. Eşdeğer kayma dalgası hızının daha düşük seviyelerde gözlemlendiği Avcılar İlçesi'nin kuzeybatı kesiminde ise hasar gözlenmemiştir. EERA programı ile yapılan dinamik davranış analizleri neticesinde elde maksimum yüzey ivmelerinin hasar ile karşılaştırılması sonucunda ise yüzey ivmelerinin en düşük seviyelerde (0.20g – 0.35g) gözlemlendiği bölgelerde hasara rastlanmamakla birlikte, 0.35g – 0.45g ivme aralığında, 0.55g – 0.65g aralığına göre daha fazla hasarın meydana geldiği görülmüştür. Spektral ivme değerleri ile hasarın karşılaştırılması neticesinde düşük periyot değerlerinde (0.2s – 0.4s), spektral ivmelerin yüksek olduğu bölgelerle hasarın çakışmadığı, ancak nispeten yüksek periyot değerlerinde, özellikle 0.7s ve 0.8s değerlerinde spektral ivmelerin yüksek olduğu bölgelerle hasarın daha iyi çakıştığı belirlenmiştir. Bu durumda, hasarın özellikle 6-7 katlı binalarda görüldüğü E5 karayolu ve civarını nispeten doğru olarak modellemektedir.

İlgili bölümde belirtildiği gibi EERA programı ile yapılan dinamik davranış analizleri neticesinde elde edilen sismik zemin parametreleri ile hasar dağılımı arasında mükemmel bir uyumdan söz etmek mümkün değildir. Bu uyumsuzluğun sebebini şu şekilde sıralayabiliriz:

1. Dinamik davranış analizi çalışmalarında senaryo deprem modeli olarak Avcılar'ın 10 km güneyinden geçen fay göz önüne alınırken, karşılaştırma yapılan hasar Avcılar'a 95 km uzaklıkta meydana gelen Kocaeli depreminin yarattığı hasardır.
2. EERA programının anakaya derinliğinin yüksek olduğu bölgeleri modellemekte zorlanması.
3. Yapılan dinamik analizlerin 1 boyutlu olması ve bundan dolayı da jeoloji haritasında

gözüken, Avcılar İlçesi'nde mevcut olan fayların yarattığı süreksizliklerin göz önüne alınamaması.

Yukarıdaki üç maddenin, mikrobölgeleme haritaları ile hasar arasındaki uyumsuzluk üzerinde bir etkisinin olduğu düşünülmektedir. Ancak, mikrobölgeleme haritalarından yola çıkarak bu noktada varılması gereken asıl sonuç; 17 Ağustos 1999 Kocaeli depremi sonucunda Avcılar İlçesi'nde meydana gelen hasarın tek başına yerel zemin koşulları ile açıklamanın doğru olmadığıdır. Hasar üzerinde Avcılar İlçesi'nin fay hattına göre olan konumu gibi çeşitli faktörlerin etkili olduğu düşünülmektedir. Çeşitli sebeplerden dolayı 17 Ağustos Kocaeli depreminde Avcılar İlçesi'nde anakayadaki ivme değerleri, azalım ilişkilerinden öngörülen ve Çizelge 5.9'da verilen ivme değerlerinin çok üzerinde olabilir. Ayrıca unutulmaması gereken ikinci bir noktada bu tez kapsamında yapılan dinamik analiz çalışmaları tek boyutlu olduğudur. Avcılar İlçesi'nde daha sağlıklı bir değerlendirme yapabilmek için, jeolojik kesitlerde gösterilen süreksizlikleri göz önüne alan iki boyutlu analiz yapılması daha uygun olmaktadır. Ayrıca, hasar verileri daha detaylı olarak, kat sayısına ve yapı türüne göre elde edilirse zemin yapı etkileşimi arasında nispeten daha sağlıklı bir ilişki kurulabilir.



**KAYNAKLAR**

Ambraseys., N.N., Finkel, C.F., (1995), "The Seismicity of Turkey and Adjacent Areas" Muhittin Seren Yayınları, İstanbul.

Ansal, A.M., Lav, M.A., İyisan, R. ve Erken, A., (1994), "Effect of Geotechnical factors in March 13, 1992, Erzincan Earthquake", 13<sup>th</sup> ICSMFE, Performance of Ground and Soil Structure During earthquakes, pp.49-54

Ansal, A.M., İyisan, R. ve Özkan, M., (1997), "A Preliminary microzonation study for town of Dinar" 4<sup>th</sup> International conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering" Hamburg, 6-12 September.

Ansal, A.M., Biro, Y., Erken, A., İyisan, R., Gülerce, Ü ve Özçimen, N (2002), "İstanbul'da Bir Sismik Bölgeleme Uygulaması"

Bardet, J.P., Ichii, K., ve Lin, C. H., (2000), "A Computer Program for Equivalent-linear Earthquake site Response Analyses of Layered Soil Deposits (EERA)", University of Southern California, Los Angeles

Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü, AIGM (1998) "Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, Türkiye Deprem Yönetmeliği (TDY)"

BSSC-Building Seismic Safety Council (2001), "NEHRP (National Earthquake Hazards Reduction Program) Recommended Provisions for Seismic Regulations for New Buildings and Other Structures", 2000 Edition, Part I: Provisions FEMA 302.

Borcherdt, R.D., Wenworth, c.m., Janssen, A., Fumal T., Gibbs, J., (1992), "Methodology for predictive GIS mapping of special study zones for strong ground shaking in the San Francisco Bay region, California" Proceedings of the fourth International Conference on Seismic Zonation, Stanford, California, pp.545-552.

Campbell, K. ve Duke, C., (1976), "Correlations among seismic velocity, depth and geology in the Los Angeles Area" Research report ENG-7662. School of Engineering and Applied Science, University of California Los Angeles.

Campbell, K., (1997), "Empirical Near Source Attenuation Relationships for Horizontal and Vertical Components of Peak Ground Acceleration, Peak Ground Velocity and Acceleration Response Spectra" Seismic Research Letters, Vol.68, No.1, pp.154-179

Chang, K.P., and Chang T.S., (1994), " Liquefaction Induced Earth Movements and Mitigation in an Earthquake-Prone area Developments in Geotechnical Engineering, Balasubramaniam et al. (eds), Balkana, ISBN 905105224, pp.291-299.

Department of Earthquake Engineering Boğaziçi University Kandilli Observatory and Earthquake Research Institute, (2002), " Earthquake Risk Assessment for Istanbul Metropolitan Area", Final Report, İstanbul.

Güllü, H., Ansal, A., İyisan, R., (2002), "Yerel zemin koşullarının zemin büyütmelerine olan etkisi üzerine bir çalışma" Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği 9. Ulusal Kongresi, Eskişehir.

Güllü, H., (2001), "Dinar'ın zemin büyütmelerine göre coğrafik bilgi sistemleri ile mikrobölgelemesi", Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Hays, W.W., (1980), "Procedures for estimating ground motions", U.S.G.S, Professional paper 1114, 77p

Imai, T., (1977), "P and S wave velocities in Japan" Proceedings of the 4<sup>th</sup> Japanese Earthquake Engineering Symposium, pp.86-96

İyisan, R., (1996), "Geoteknik özelliklerin belirlenmesinde sismik ve penetrasyon deneylerinin karşılaştırılması" Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

İyisan, R ve Ansal, A., (1995), "Dinamik zemin özelliklerini belirlemede PS logging yöntemi" 3. Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, İstanbul.

Japan International Cooperation Agency (JICA) and Istanbul Metropolitan Municipality (IMM), (2001), "The Study on A Disaster Prevention/ Mitigation Basic Plan in İstanbul Including Seismic Microzonation in the Republic of Turkey ", Intern Report.

Japan International Cooperation Agency (JICA) and Istanbul Metropolitan Municipality (IMM), (2002), "The Study on A Disaster Prevention/ Mitigation Basic Plan in İstanbul Including Seismic Microzonation in the Republic of Turkey ", Main Report.

Joyner, W.B, ve Fumal T., (1984), "Use of measured shear wave velocity for predictive geological site effects on strong motion", Proc. 8<sup>th</sup> World Conf. On Earthquake Eng., V.2, pp.777-783.

Kramer, S.L., (1996), "Geotechnical Earthquake Engineering" Prentice hall press.

Lajoie, K.R., ve Helley, E.J., (1975), "Differentiation of sedimentary deposits for the purpose of seismic zonation, studies for seismic zonation of the San francisco Bay region. U.S.G.S Prof. Paper 941-A, pp.39.51

Lekkas, E.L., (1996), "Pyrgos earthquake damages (based on E.M.S.1992) in relation with geological and geotechnical conditions" Soil Dynamics and Earthquake Eng. V.15, pp.61-68

Manual for zonation on seismic geotechnical hazards., (1993), TC4 of ISSMFE

Midorikawa, S., (1987), "Prediction of isoseismal map in Kanto Plain due to hypothetical earthquake" Journal of Structural Dynamics V.33B, pp.43-48

Nigg, J., (1982), "Microzonation and public preparedness: A viable approach" Proc. of the 3<sup>th</sup> International 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

Ohsaki, Y., (1979), "Guideline for evaluation of basic design earthquake ground motions" Appendix to regularity guide for aseismic design of nuclear power facilities, Japan.

Ohta, Y., Goto, N., (1978), "Empirical shear wave velocity equations in terms of characteristic soil indexes", Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol6., pp.167-187.

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

Rassem, M., Heidebrecht, A.C., ve Ghobarah, A., (1995), "A simple engineering model for the seismic site response of alluvial valleys" Soil Dynamics and Earthquake Engineering, V.14, pp.199-210

- Seed, H.B., ve Idriss, I.M., (1982), "Ground motion and soil liquefaction during earthquakes" Earthquake Engineering Research Institute.
- Seed, H.B., ve Schnabel, P.B., (1972) "Soil and geological effects on site response during earthquakes" Proceedings of the International Conference on Microzonation for Safer Construction, Washington, V.1 ,pp.61-85
- Seed, H.B., Whitman, R.V., Dezfulian, H., Dobry, R.and Idriss, I.M.,(1972), " Soil Conditions and Building Damage in Caracas Earthquake", Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division, ASCE, Vol. 98, SM8.
- Seekins, L.C., Wennerberg, L., Margheriti, L., ve Liu, P.S., (1996) "Site amplifications at five locations in San Fransisco, California : A Comparison of S waves, codas and microtremors"
- Sherif, M.A., (1982) "Introductory statement of the 3th International Earthquake Microzonation proceedings. June 28-July 1, Seattle,USA.
- Sipahioğlu, S., (1984), "Kuzey Anadolu Fay Zonu ve evresinin Deprem Etkinliğinin İncelenmesi" Deprem Ara.tırma Enstitüsü Bülteni 11:45
- Tezcan, S., Acar, Y., ve ivi, A., (1991) "İstanbul için deprem risk analizi" İstanbul ve Deprem Sempozyumu" İMO İstanbul Şubesi.pp.7-27
- Vucetic, M., ve Dobry, R., (1991) "Effect of soil plasticity on cyclic response", American Society of Civil 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

**EKLER**

- EK 1 Avcılar İlçesi'ne ait jeolojik kesitler (Yıldırım.,2003)  
EK 2 Avcılar Bölgesinde analiz çalışmalarında kullanılan sondajlara ait zemin kesitleri  
EK 3 PS Logging deney sonuçları



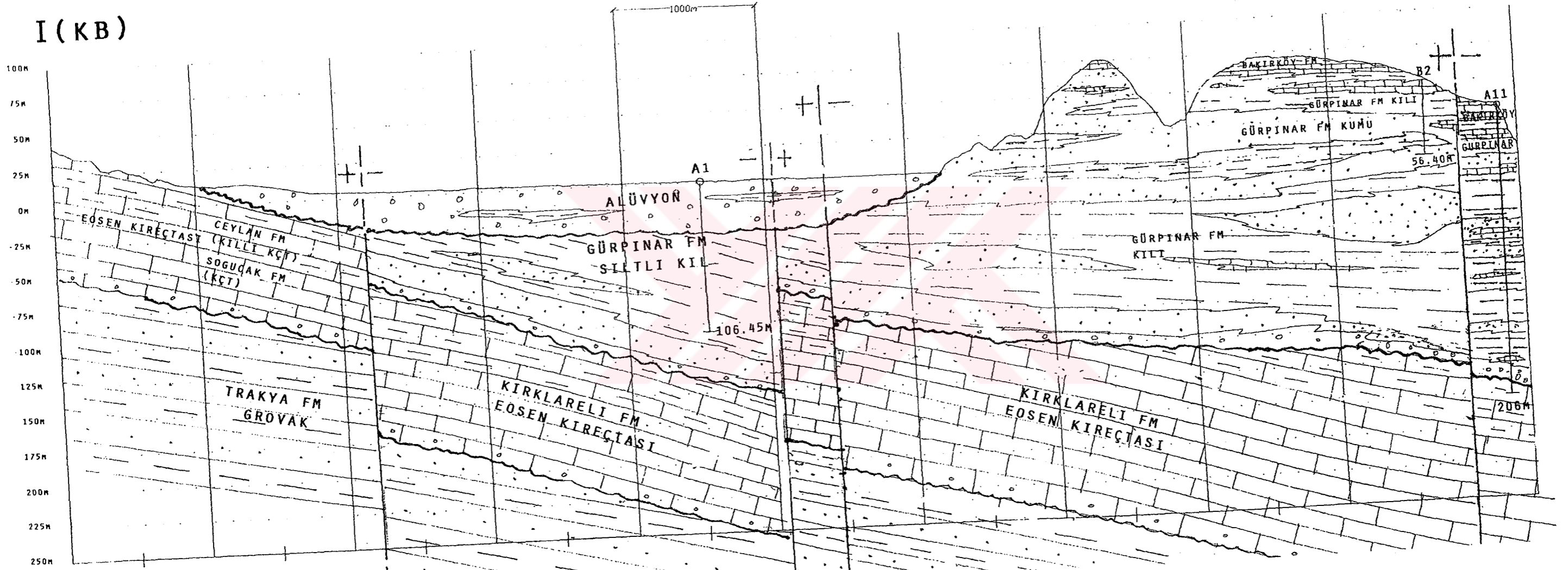
**Ek 1 Avcılar İlçesi'ne ait jeolojik kesitler**

İlgili bölümlerde belirtildiği gibi bölge jeolojisini daha iyi tanımlamak amacı ile Avcılar İlçesi'ne ait 9 adet kesit çıkartılmıştır. Bu 9 adet kesit sırasıyla bu bölümde sunulmuştur.



I (KB)

I' (GD)

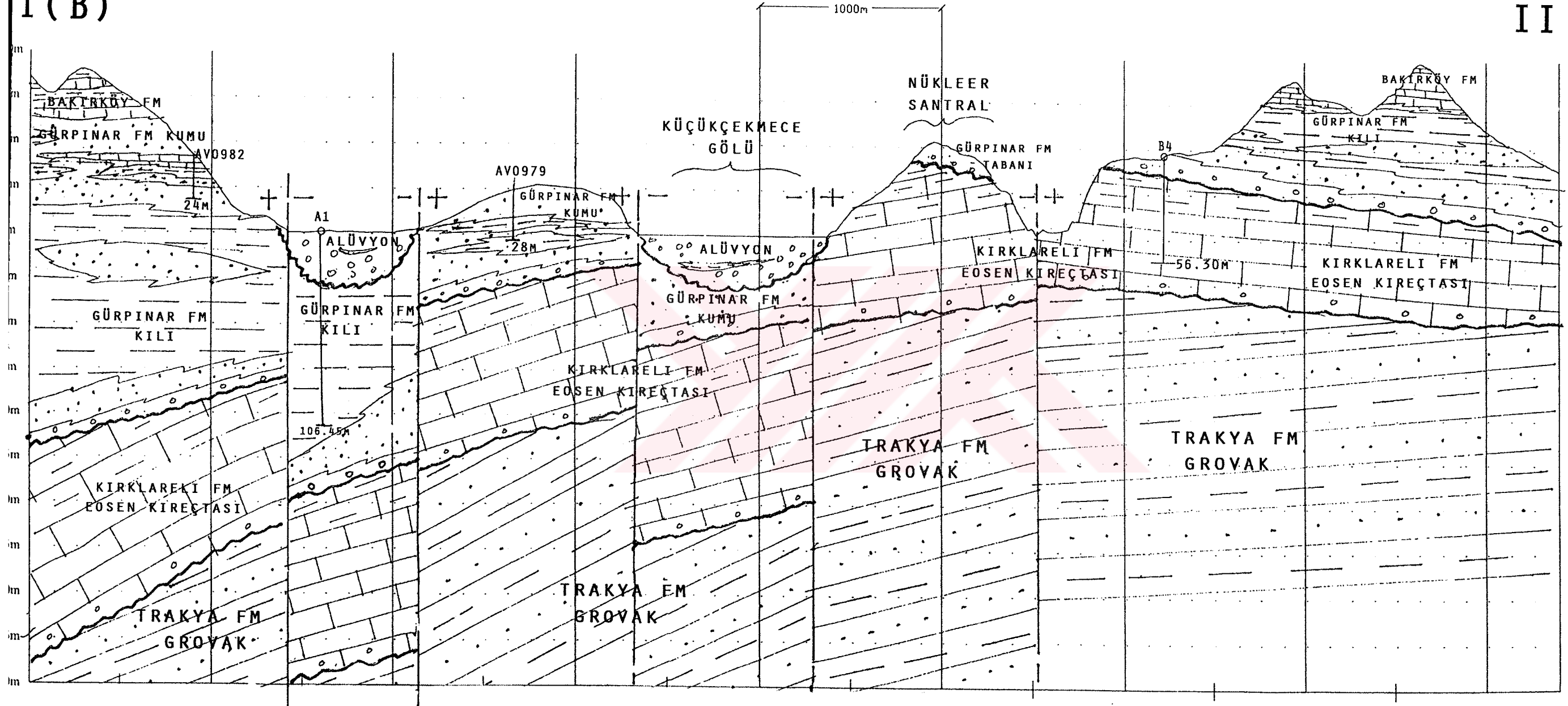


Kesit Uzunluğu = 10303 m

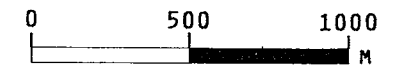
Şekil Ek 1.1 Avcılar İlçesi'ne ait jeolojik kesitler

I (B)

II' (D)



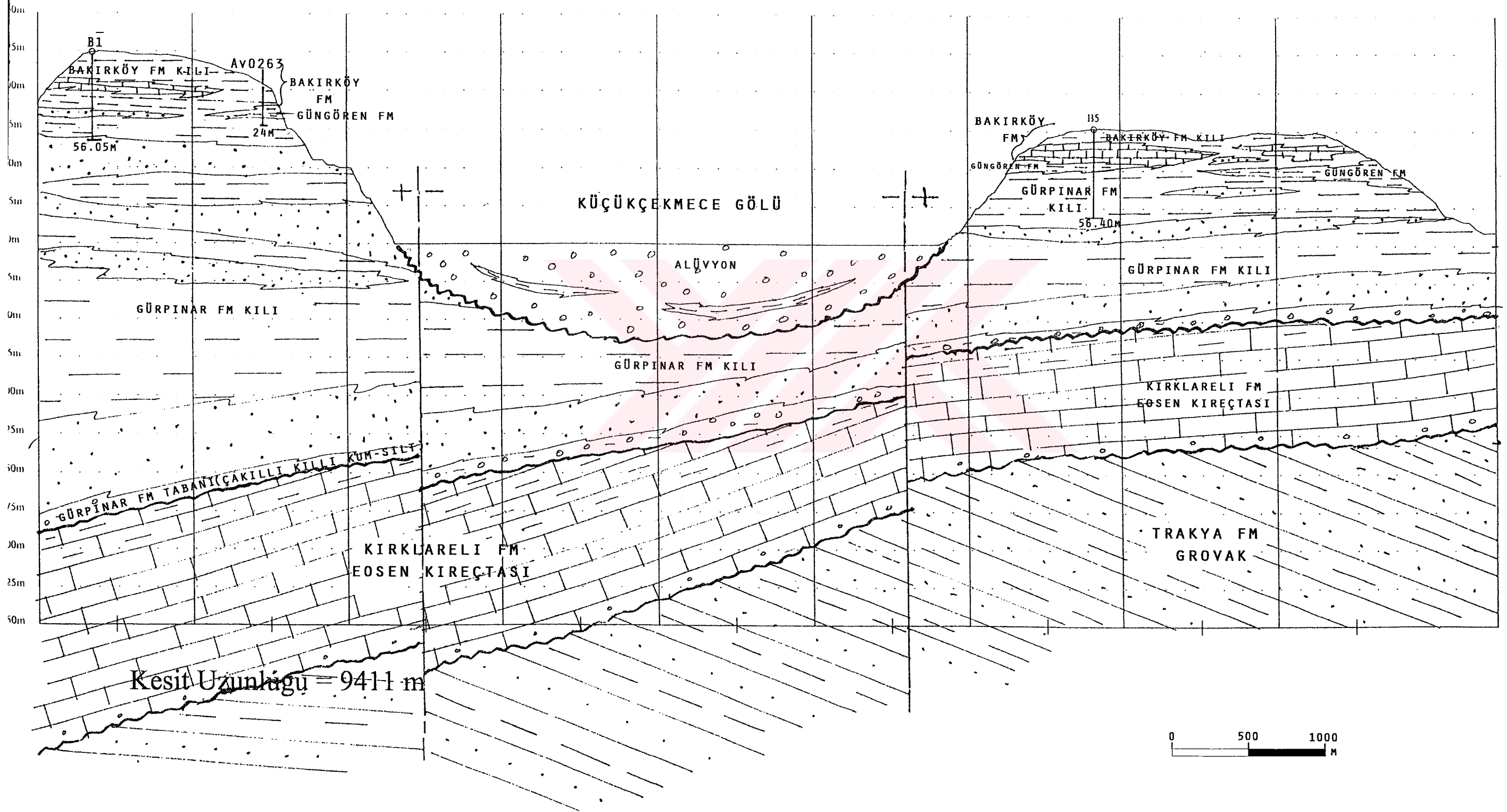
Kesit Uzunluğu = 8400 m



Şekil Ek 1.1 Avcılar İlçesi'ne ait jeolojik kesitler (Devam)

III (B)

III' (D)

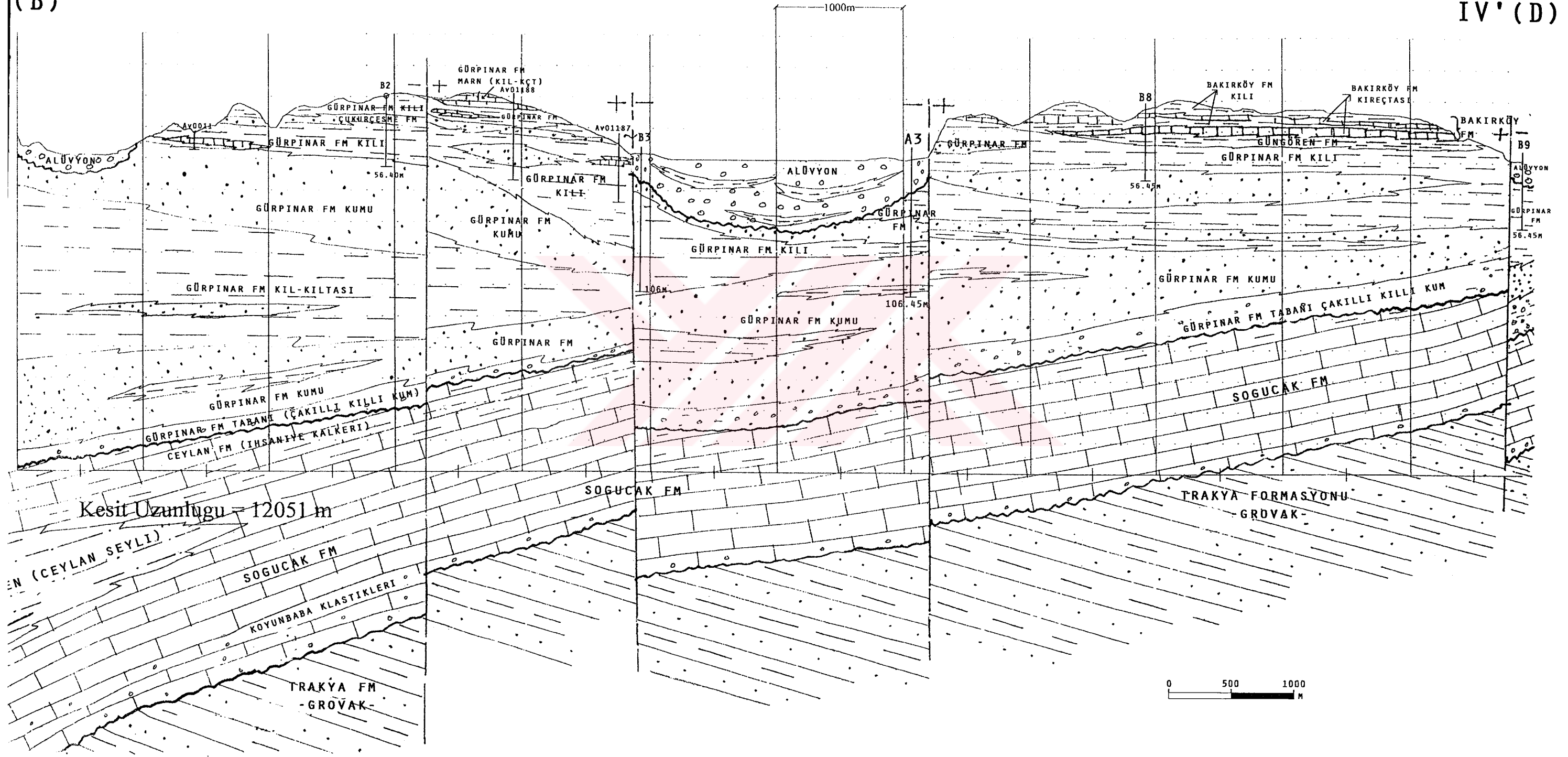


Şekil Ek 1.1 Avcılar İlçesi'ne ait jeolojik kesitler (Devam)



(B)

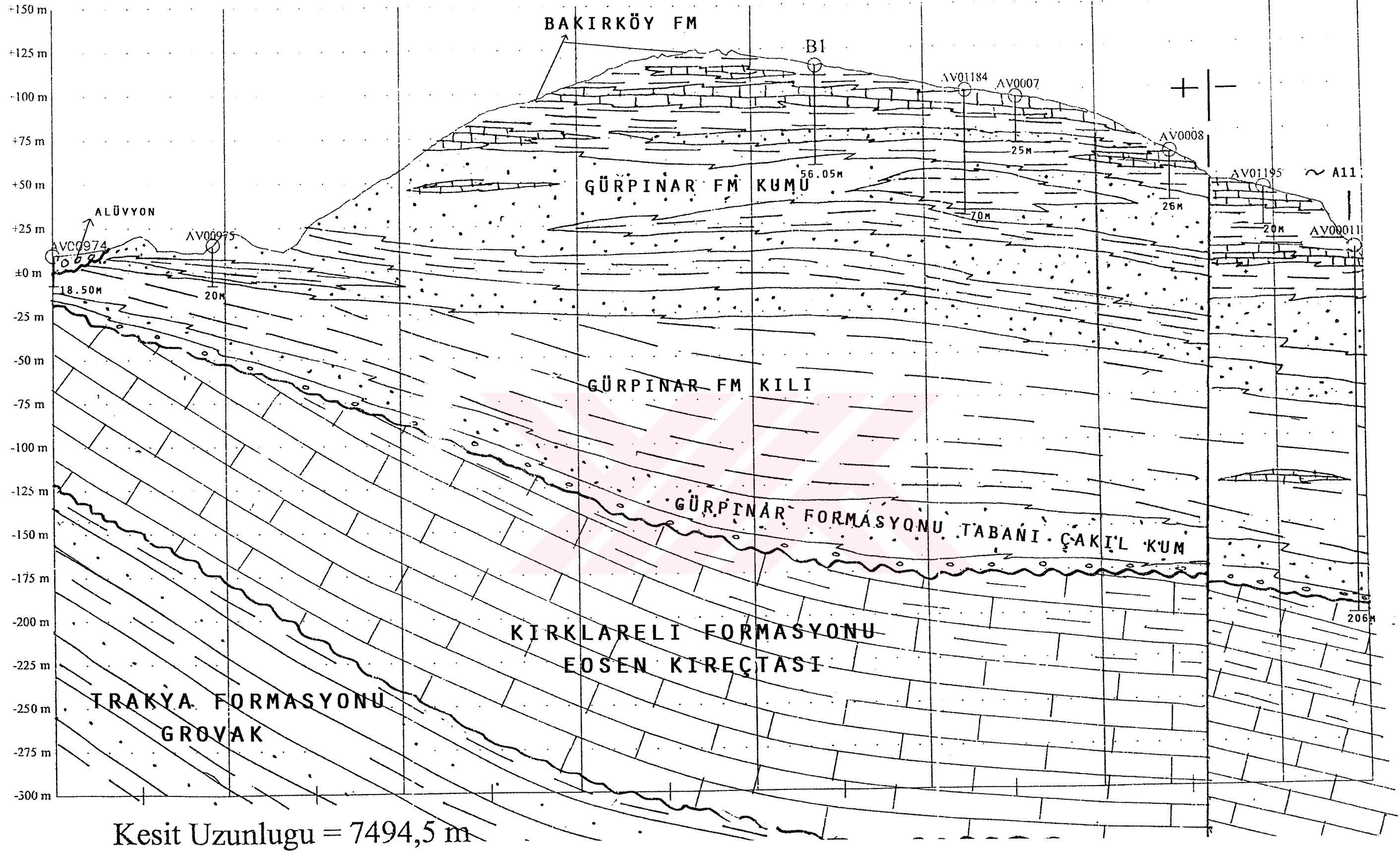
IV' (D)



Şekil Ek 1.1 Avcılar İlçesi'ne ait jeolojik kesitler (Devam)

V (KB)

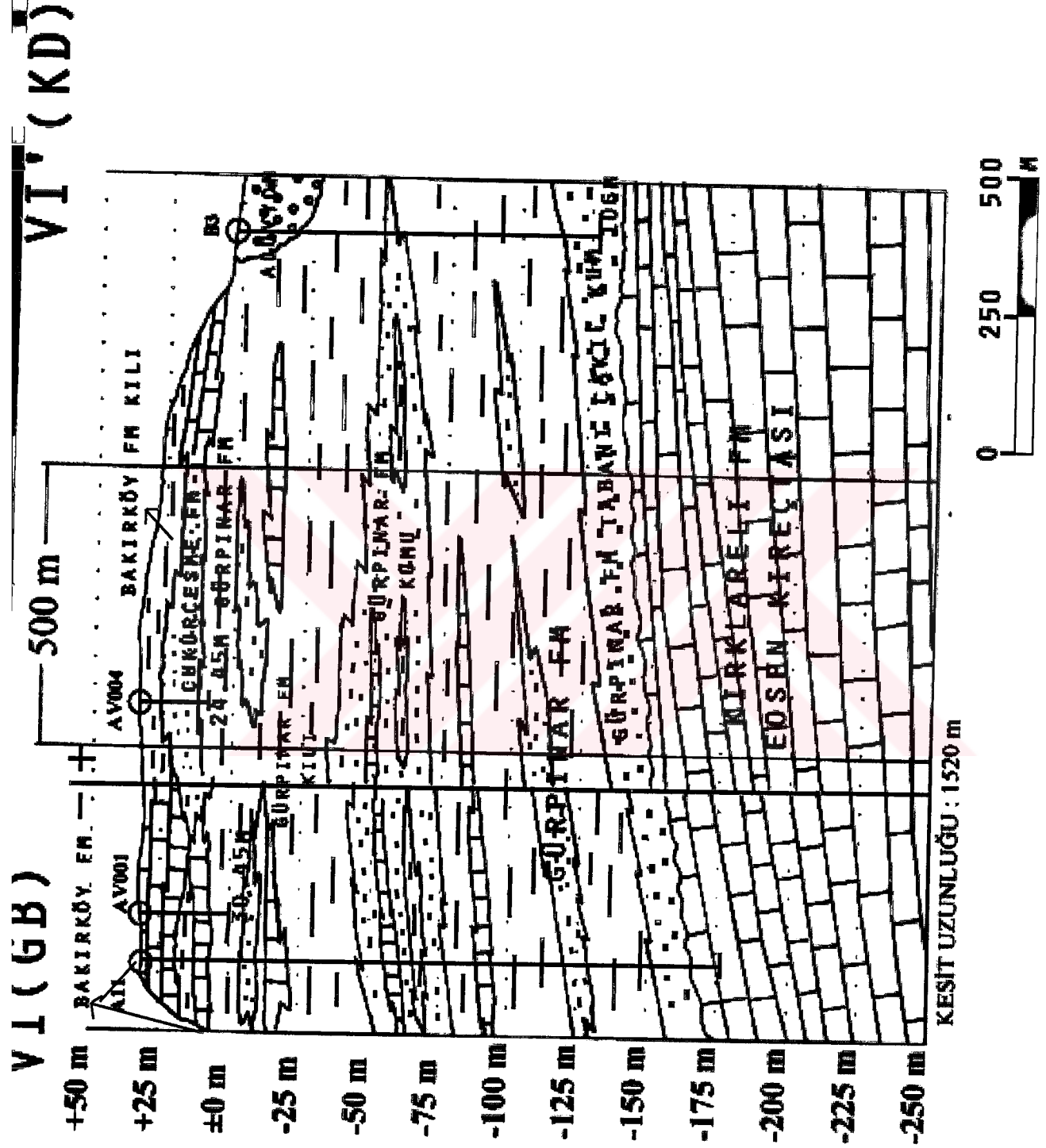
V' (GD)



Kesit Uzunluğu = 7494,5 m

0 500 1000  
M

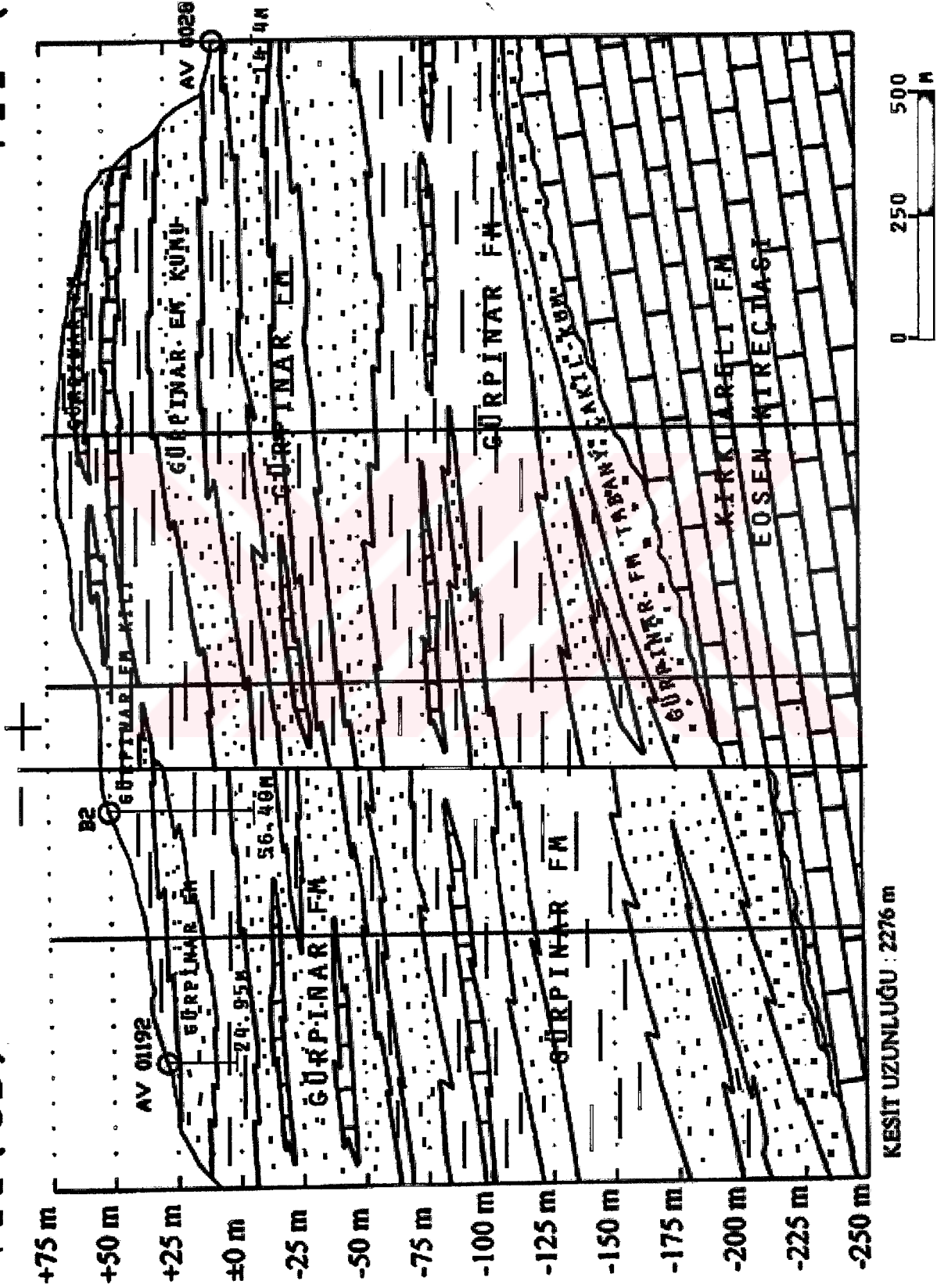
Şekil Ek 1.1 Avcılar İlçesi'ne ait jeolojik kesitler (Devam)



Sekil Fk 1.1 Avcılar İlçesi'ne ait ieoioiik kesitler (Devam)

VII'-(KD)

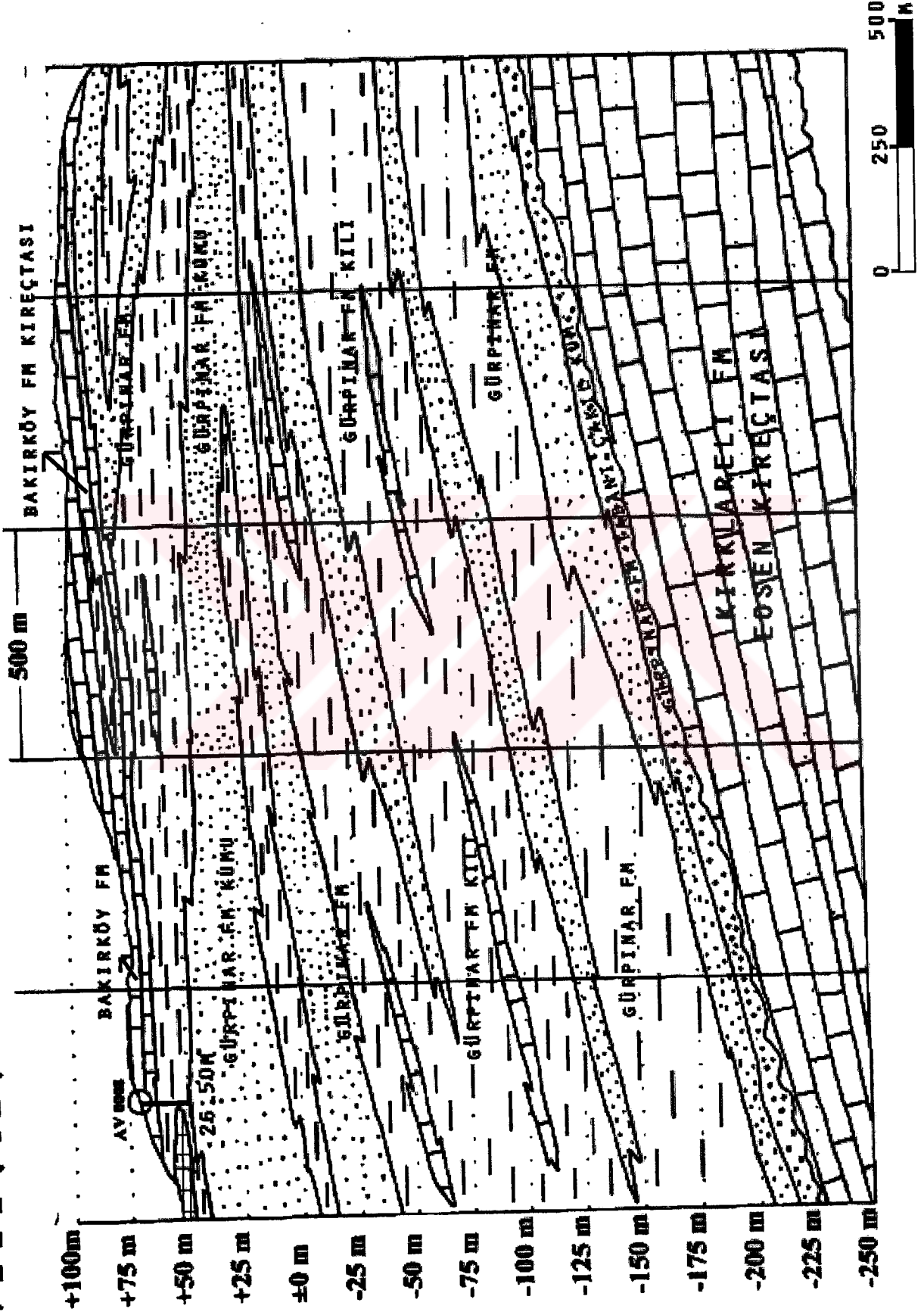
VII (GB)



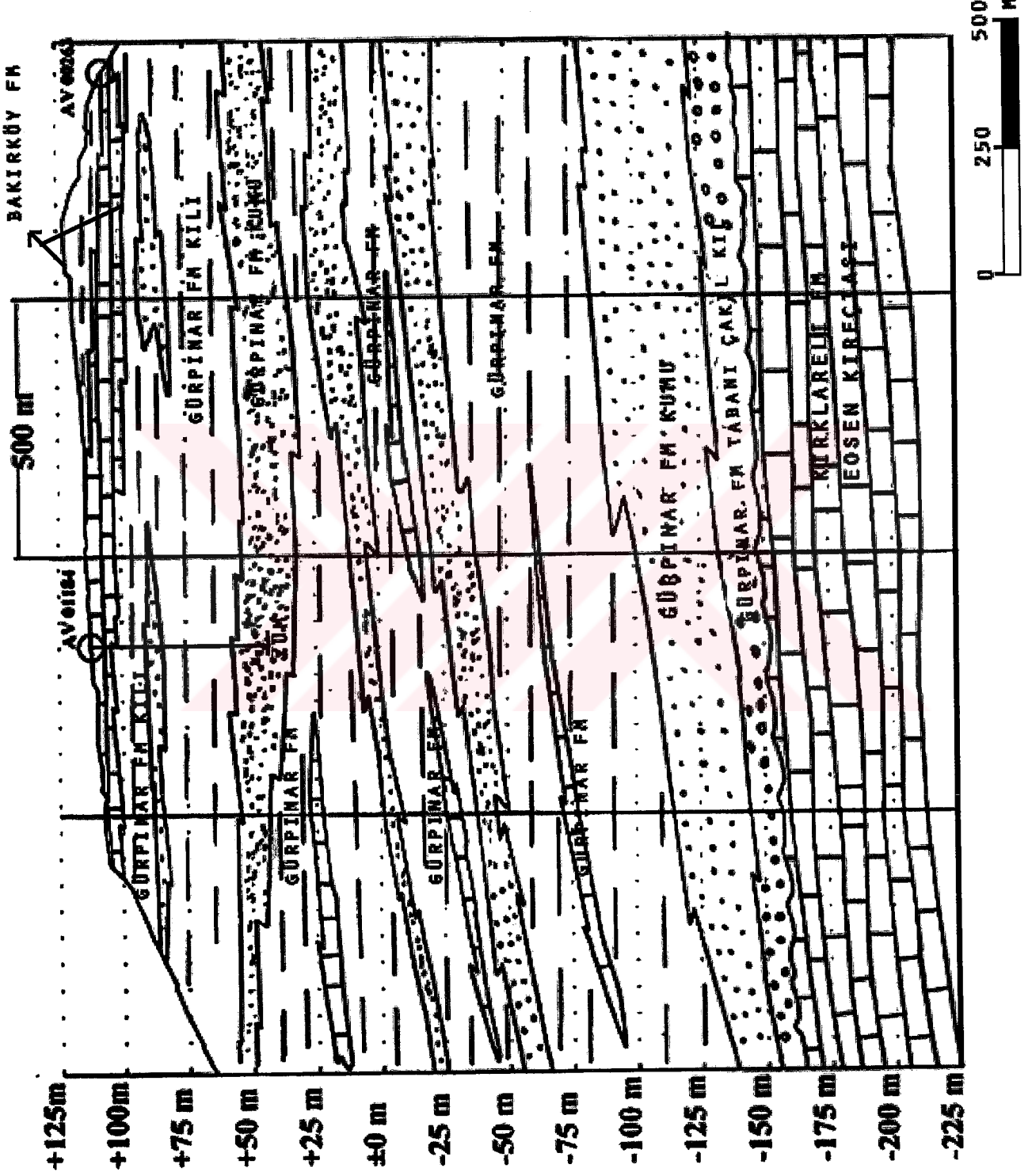
Şekil Ek 1.1 Avcılar İlçesi'ne ait jeolojik kesitler (Devam)

VII (KD)

VIII (GB)

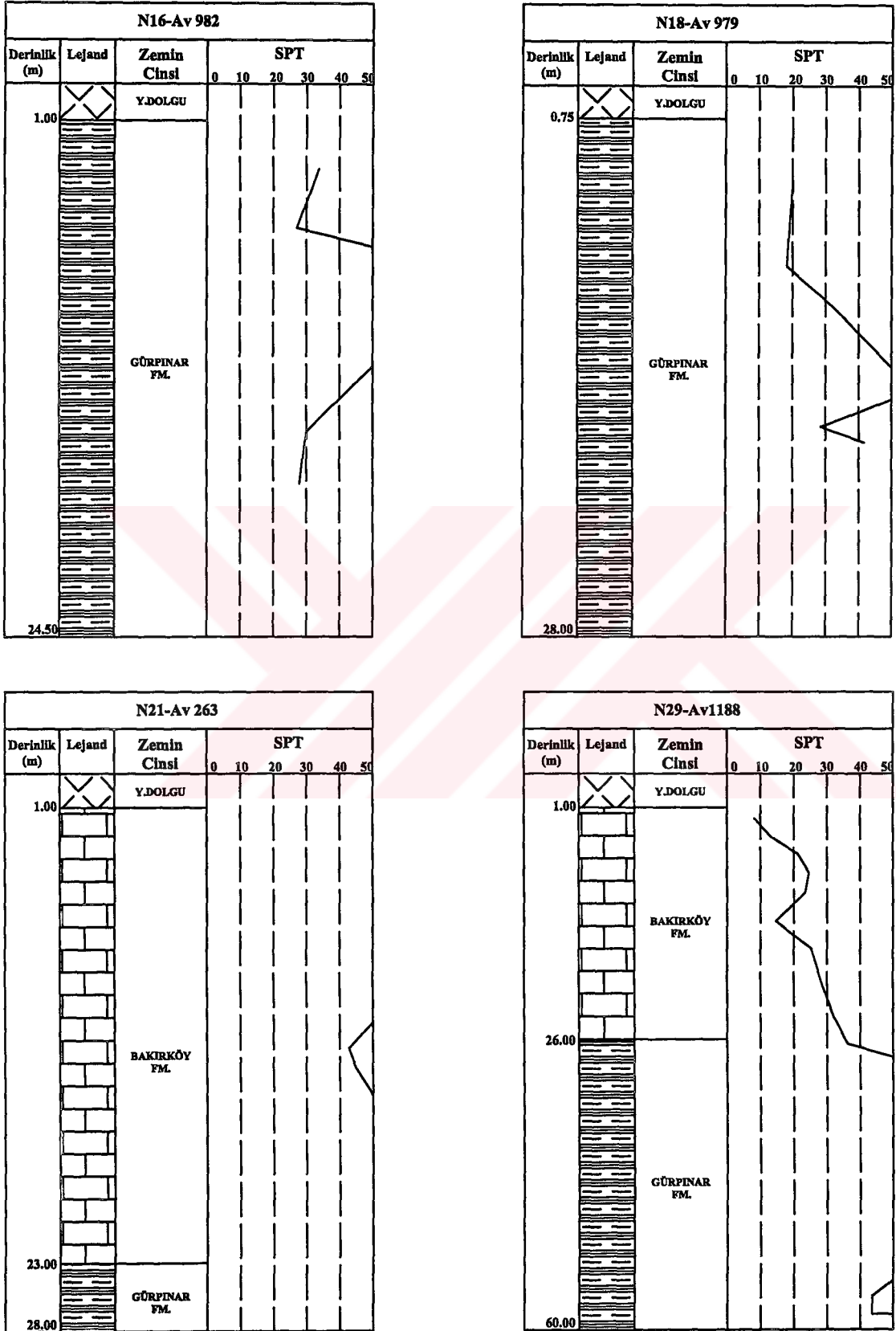


Şekil Ek 1.1 Avcılar İlçesi'ne ait jeolojik kesitler (Devam)

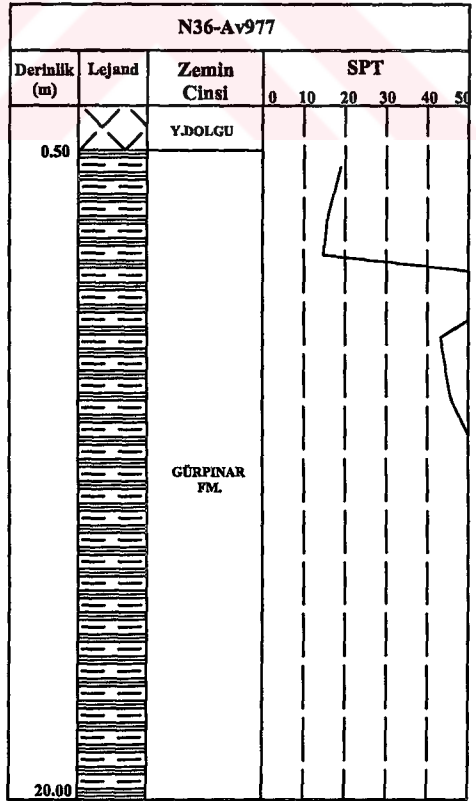
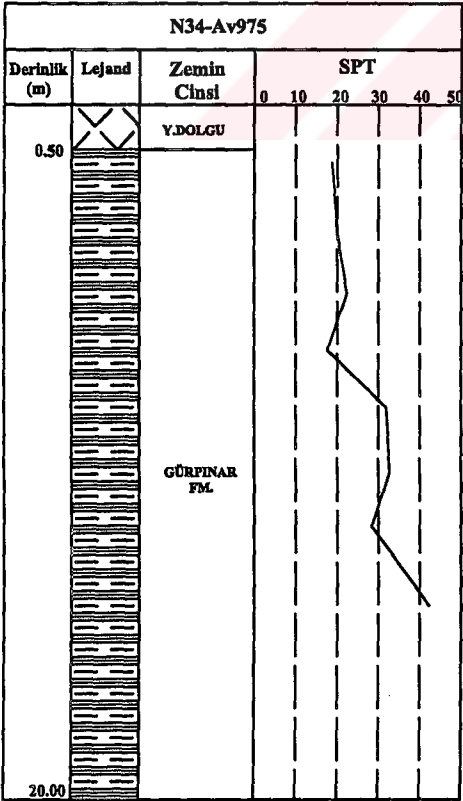
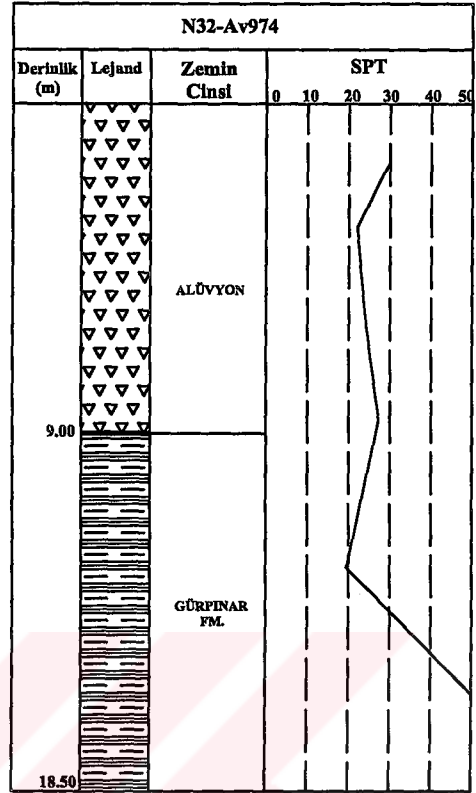
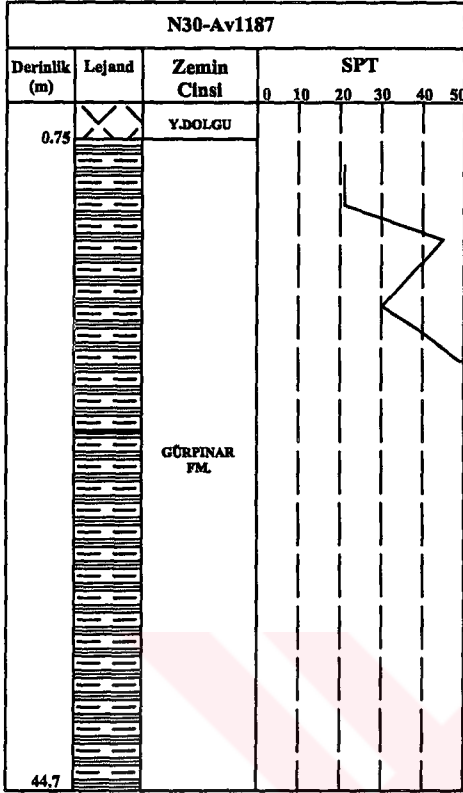


Şekil RL 1 | Avmlar Üstüne ait jeolojik kesitler (Devam)

Ek 2 Avcılar Bölgesinde analiz çalışmalarında kullanılan sondajlara ait zemin kesitleri

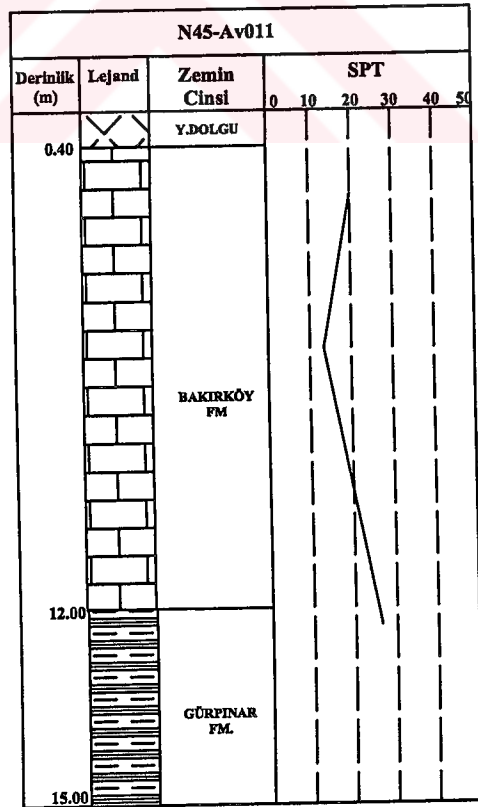
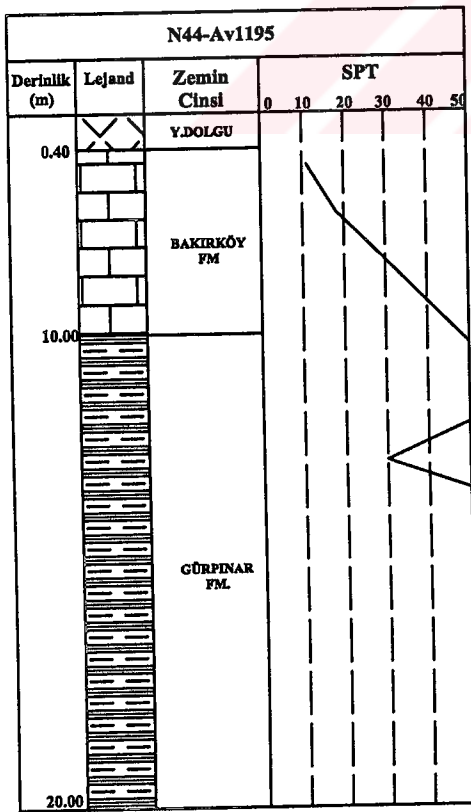
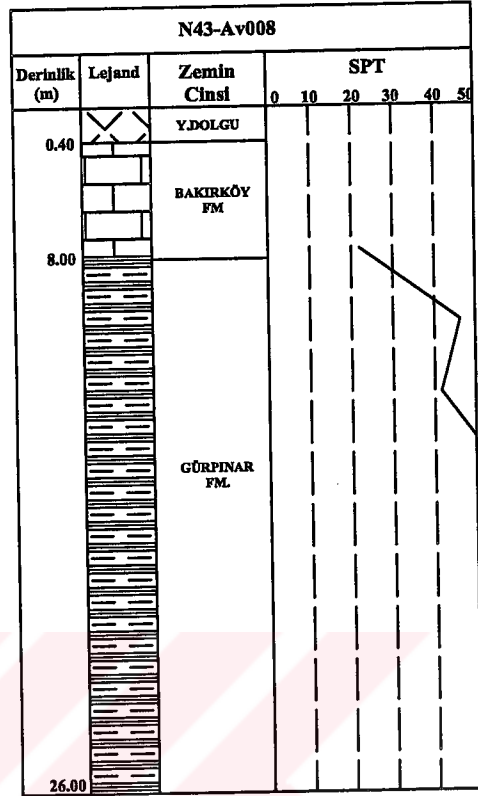
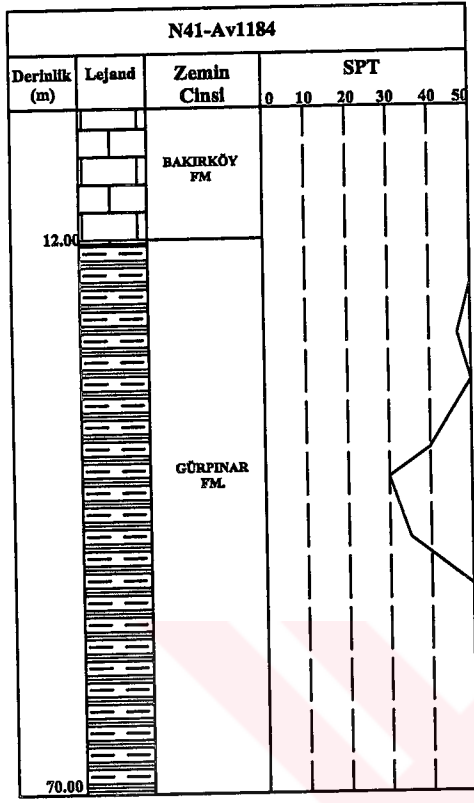


Şekil Ek 2.1 Avcılar İlçesi'ndeki sondajlara ait zemin kesitleri

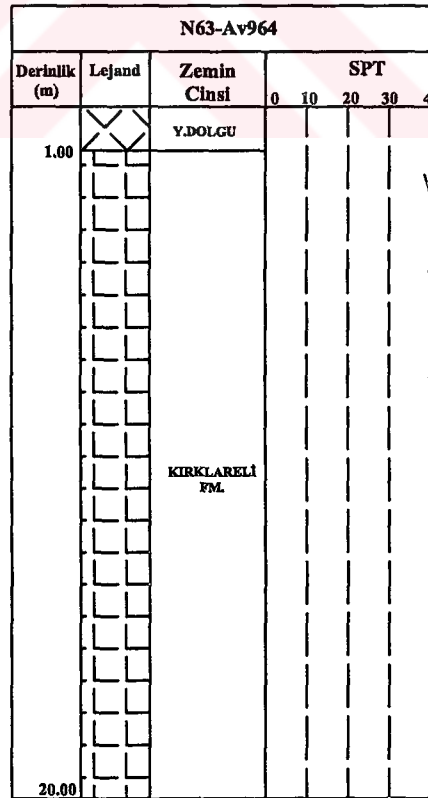
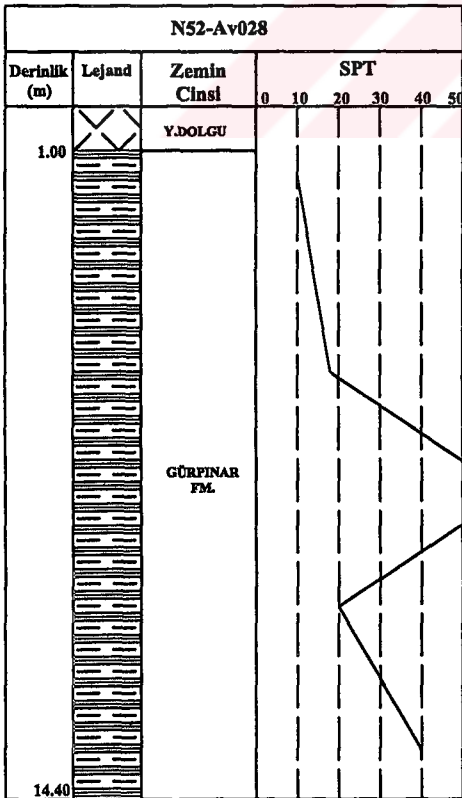
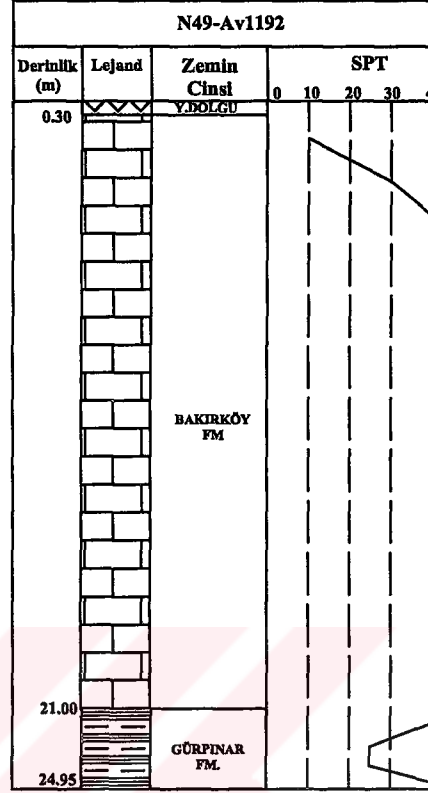
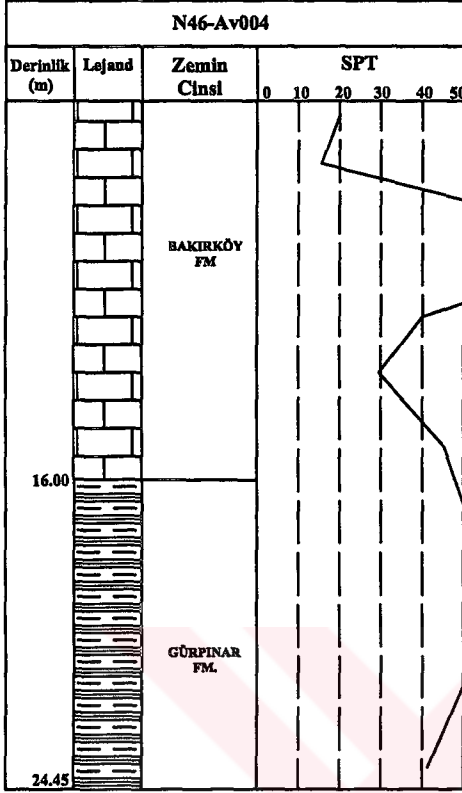


Şekil Ek 2.1 Avcılar İlçesi'ndeki sondajlara ait zemin kesitleri(Devam)

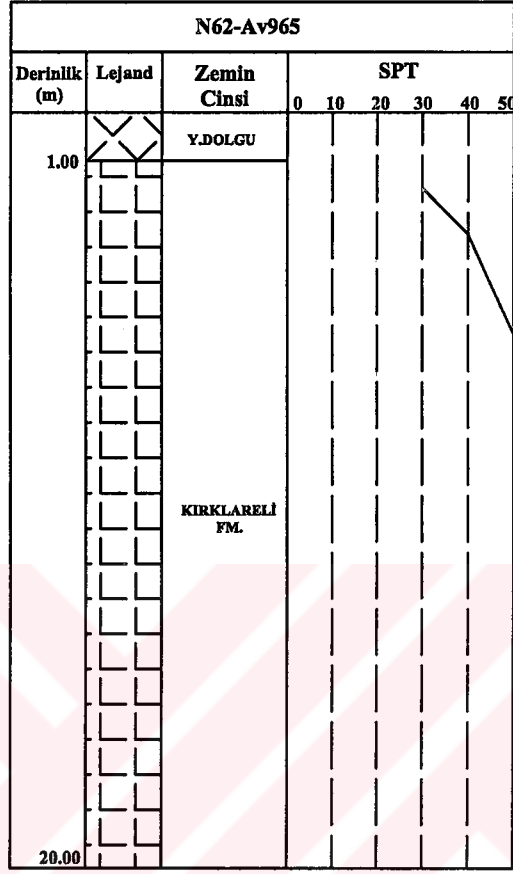




Şekil Ek 2.1 Avcılar İlçesi'ndeki sondajlara ait zemin kesitleri(Devam)

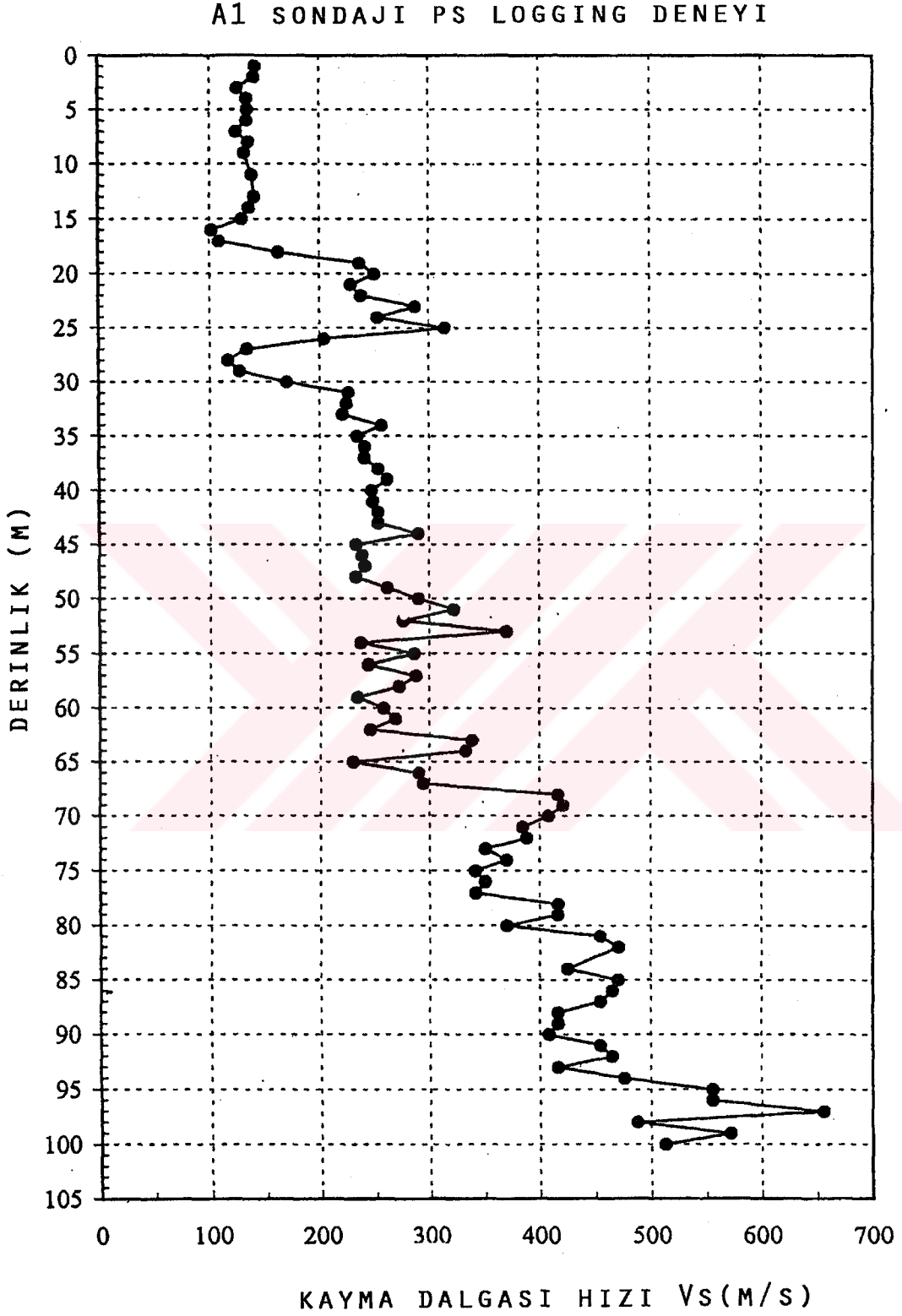


Şekil Ek 2.1 Avcılar İlçesi'ndeki sondajlara ait zemin kesitleri(Devam)



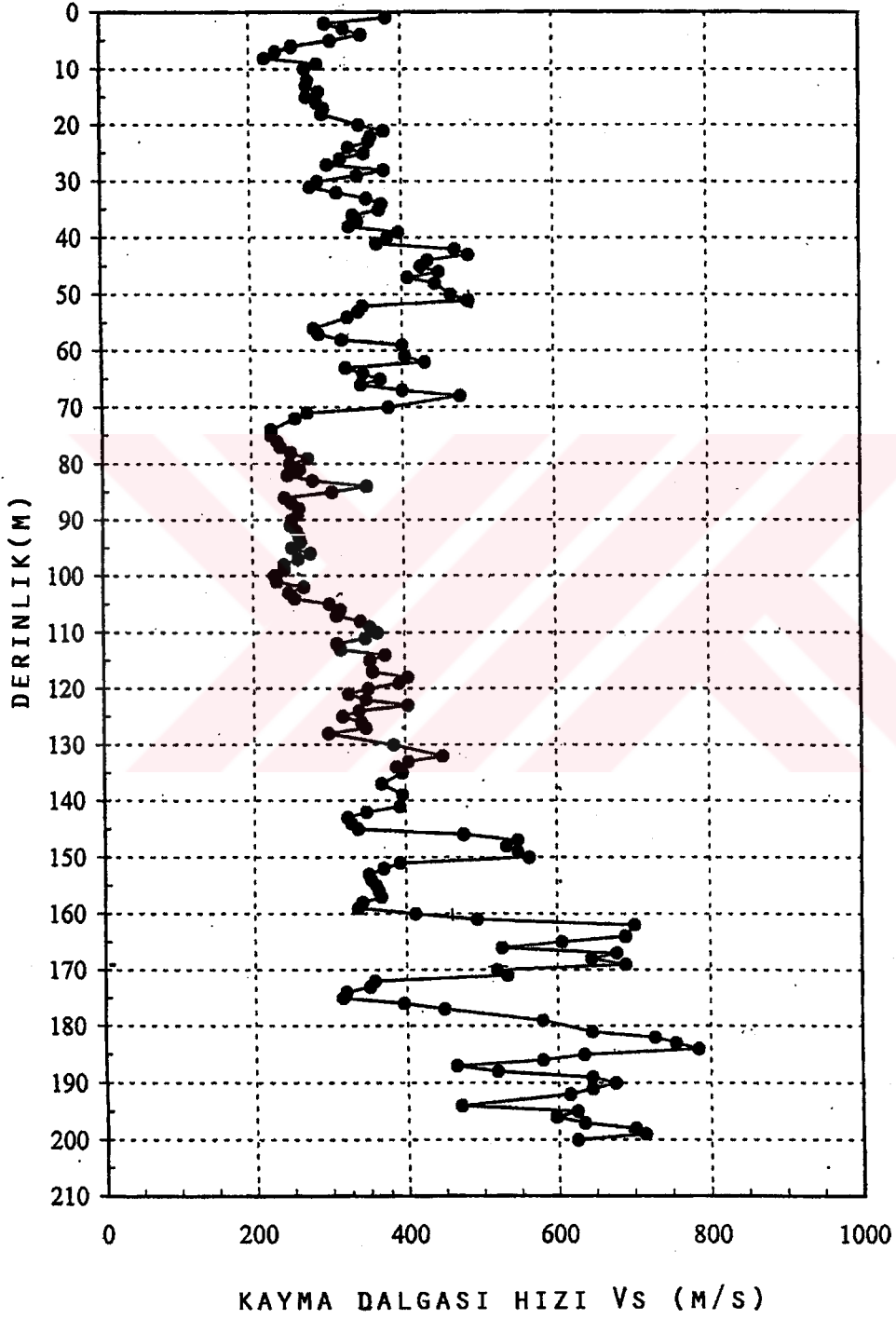
Şekil Ek 2.1 Avcılar İlçesi'ndeki sondajlara ait zemin kesitleri(Devam)

## Ek 3 PS Logging deney sonuçları



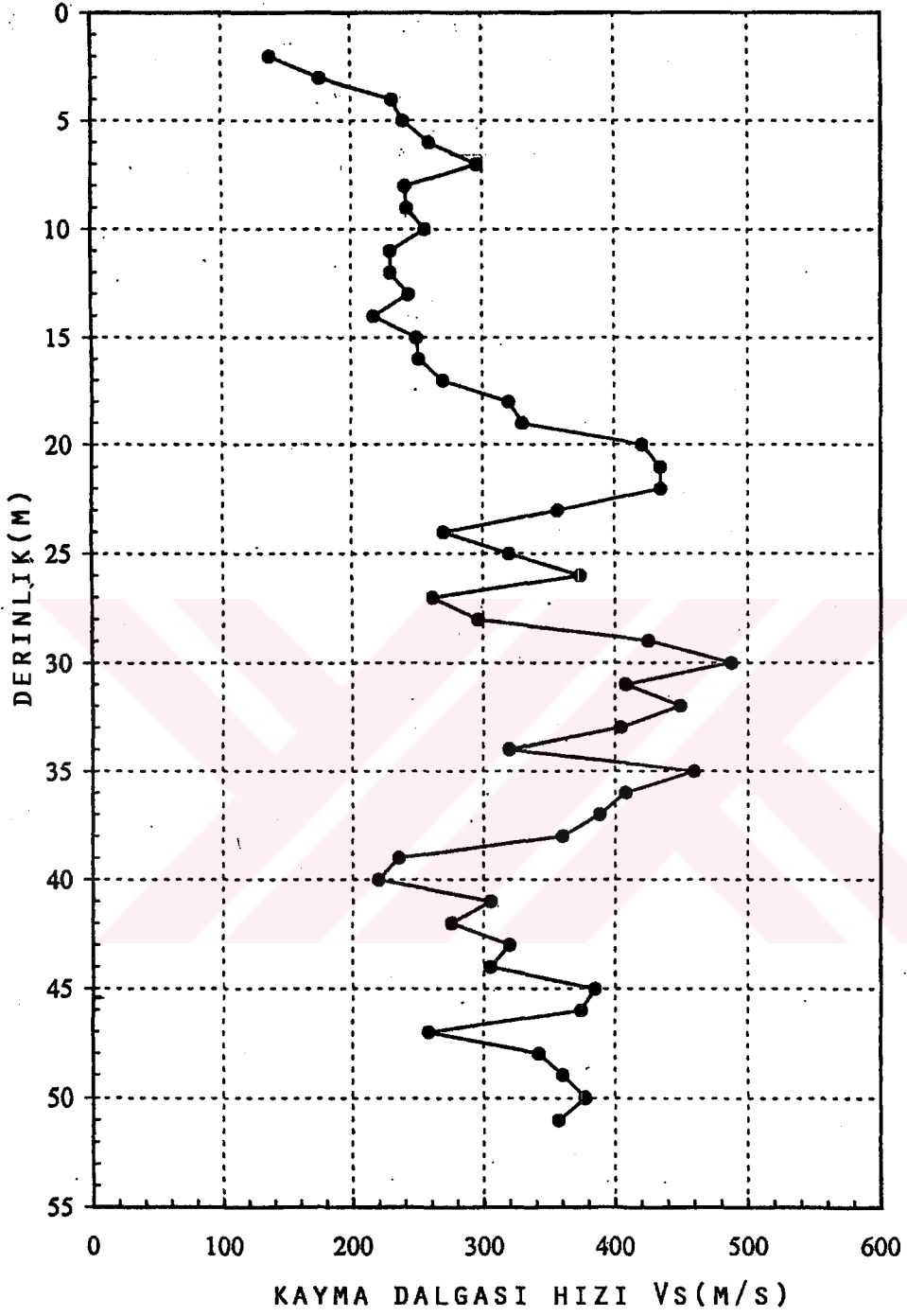
Şekil Ek 3.1 A1 sondajı PS Logging deney sonucu

## A11 SONDAJİ PS LOGGING DENEYİ



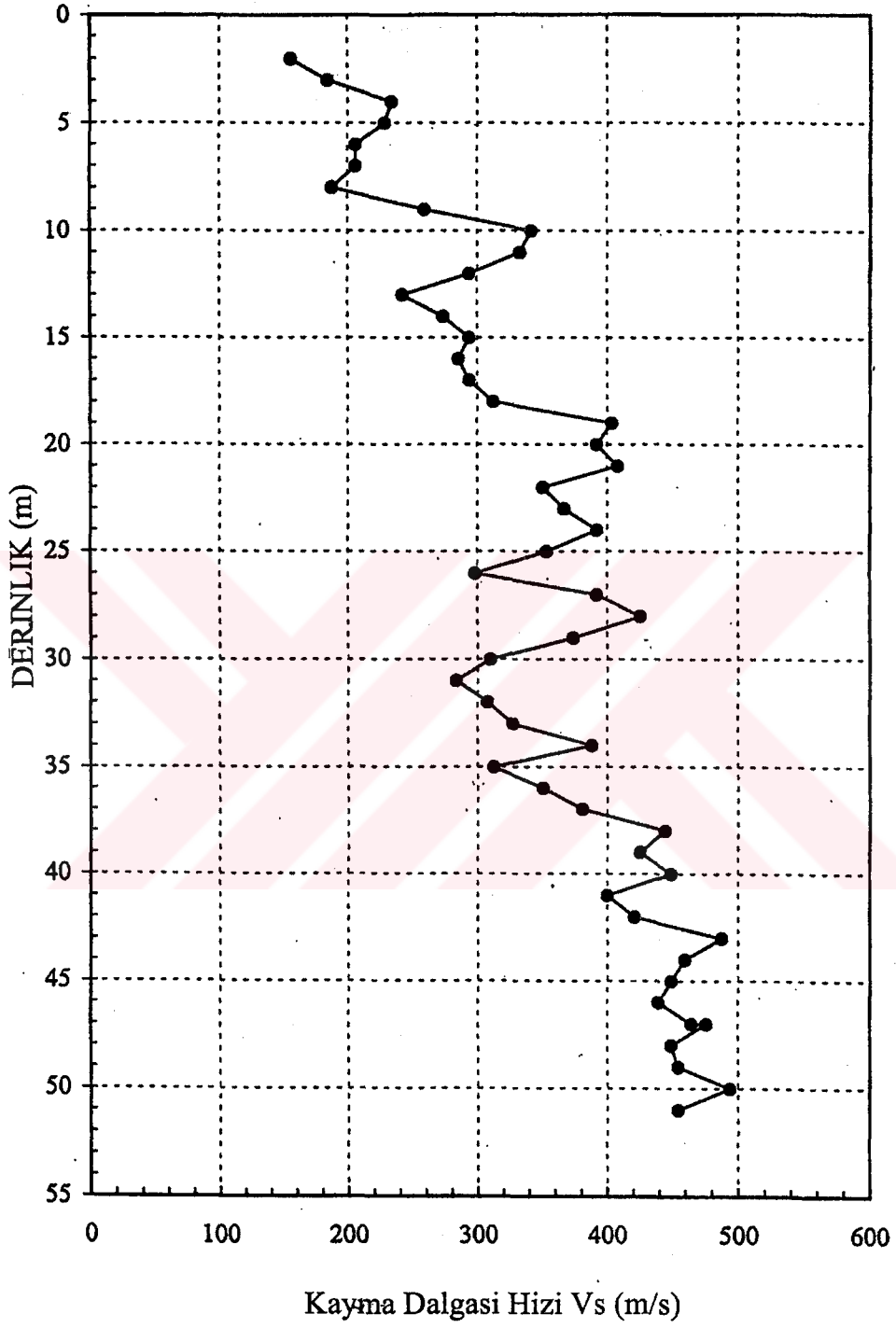
Şekil Ek 3.2 A11 sondajı PS Logging deney sonucu

## B1 SONDAJI PS LOGGING DENEYI



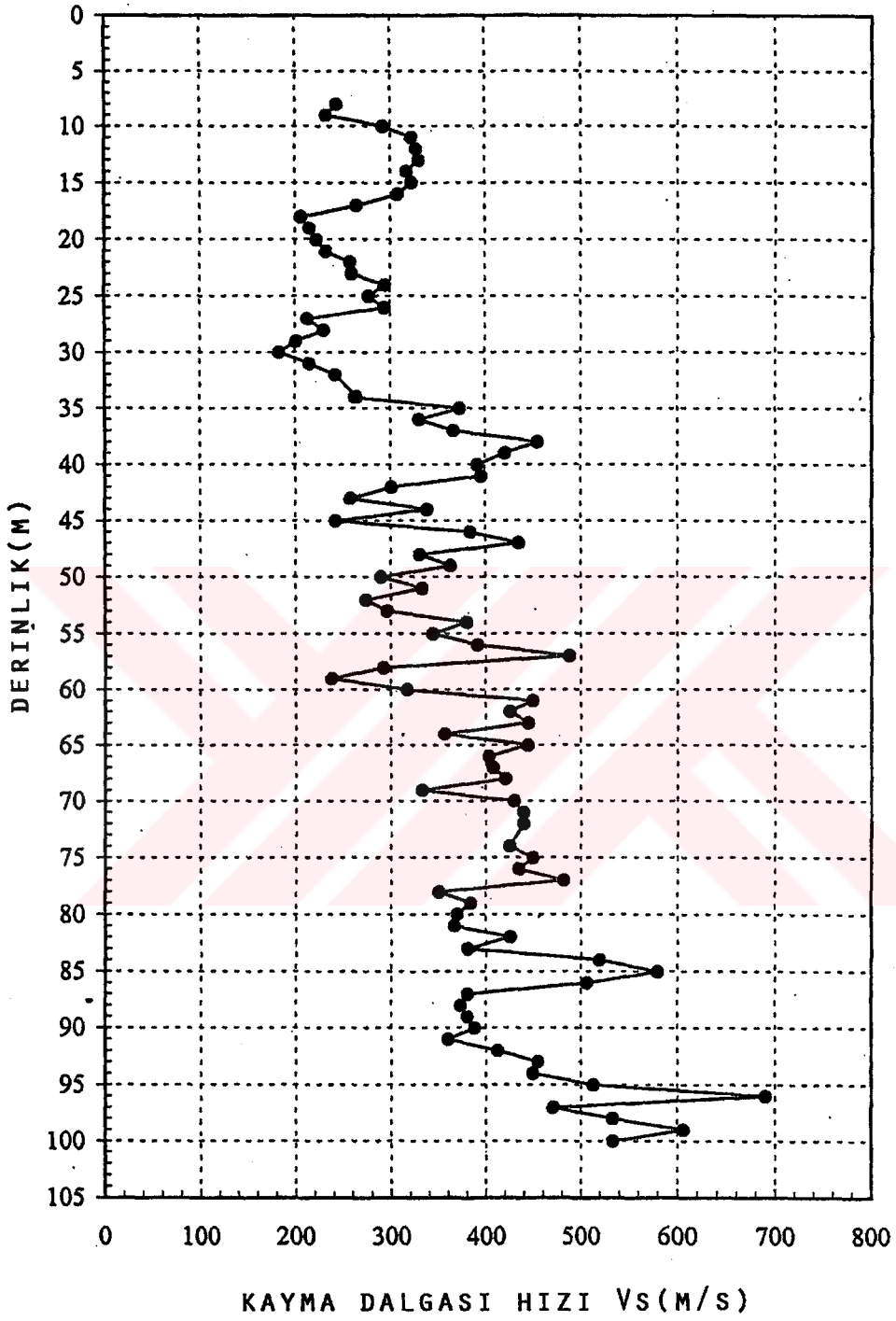
Şekil Ek 3.3 B1 sondajı PS Logging deney sonucu

## B2 SONDAJI PS LOGING DENEYI



Şekil Ek 3.4 B2 sondajı PS Logging deney sonucu

## B3 SONDAJI PS LOGGING DENEYİ



Şekil Ek 3.5 B3 sondajı PS Logging deney sonucu



**ÖZGEÇMİŞ**

|               |            |   |
|---------------|------------|---|
| Doğum tarihi  | 12.10.1978 |   |
| Doğum yeri    | İstanbul   |   |
| Lise          | 1993-1996  | Fatih Koleji  |
| Lisans        | 1996-2000  | İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fak.<br>İnşaat Mühendisliği Bölümü                                |
| Yüksek Lisans | 2000-2003  | Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü<br>İnşaat Müh. Anabilim Dalı, Geoteknik Programı |

