İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

17 AĞUSTOS 1999 KOCAELİ DEPREMİ'NDE ADAPAZARI'NDA GÖZLENEN YAPISAL HASAR ÜZERİNDE ZEMİN KOŞULLARININ ETKİSİ

126628

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnşaat Müh. Recep OKAN

(501001140)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 2 Ocak 2002

Tezin Savunulduğu Tarih : 16 Ocak 2002

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Ayfer ERKEN (İ.T.Ü.)

Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Atilla ANSAL (İ.T.Ü.)

Prof. Dr. Erol GÜLER (B.Ü.)

126628

OCAK 2002

ÖNSÖZ

Her geçen yıl teknoloji ve teknik açıdan çok daha gelişmiş bir dünyada yaşama fırsatına kavuşuyoruz. Elbetteki böylesine gelişime, bilgiye, teknolojiye ve insan kaynaklarına önem verilen bir yüzyılda bireylerin de bu duruma ayak uydurması ve de daha önemli olduğuna inandığım şekliyle, hep bir adım önden gitmesi gerekmektedir. Bu nedenle lisans öğrenimimden sonra hemen yüksek lisans öğrenimime başladım. Bu yazıyı okuduğunuz yüksek lisans tezimin kabülü sonrasında da azimli ve yoğun bir çalışma sonucunda alacağım yüksek mühendis ünvanı ile de daha donanımlı bir şekilde iş hayatına başlayıp hem edinimlerimi kullanmak hem de birçok yeni bilgiyi edinmek arzusundayım. Elbetteki bu yıllara gelmemde bana her zaman madden ve manen destek olan, bana hep iyi ve ileri ufuklarda hedef gösteren ailemin katkısı çok ama çok büyüktür. Bu nedenle bu tez önsözünde bulduğum teşekkür etme fırsatı ile de babam Yaşar Okan'a, annem Elmas Okan'a ve de İstanbul'a geldiğim ilk günden itibaren bana ikinci bir anne ve babalık yapan ablam Dr. Aslıhan Okan'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez çalışmasının hazırlanması esnasında bana sağlamış olduğu destekten ötürü Türkiye Deprem Vakfı Başkanı Prof. Dr. Rıfat Yarar'a şükranlarımı sunarım. İnşaat Mühendisliği Bölümü'ndeki öğrenimime başladığım ilk günden itibaren ismini hep başarılarla sıkça duyduğum ve kendime örnek aldığım böylesine değerli bir hocamın desteğiyle bu çalışmayı hazırlamak bana ayrı bir mutluluk ve kıvanç kaynağı olmuştur. Ayrıca hocamın başkanlığını yürüttüğü Türkiye Deprem Vakfı'na ve değerli çalışanlarına çok teşekkür ederim.

Lisans bitirme ödevimde olduğu gibi yüksek lisans tezimde de danışman hocalığımı yapan ve tez çalışmam esnasında yardımlarını esirgemeyen Doç. Dr. Ayfer Erken'e çok teşekkür ederim.

Gerek yüksek lisans ders seçimlerinde ve gerekse de yüksek lisans tezimin tesliminden önceki aşamalarda sorun yaşamamak için uymam gereken kuralları bana ayrıntılı olarak açıklayarak yardımcı olan İ.T.Ü. İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı sekreteri Müh. Gülçin Güley'e çok teşekkür ederim.

Ayrıca, bu tezde kullanmış olduğum sıvılaşma analiz yöntemlerinden Japan Road Association, 1996 yöntemininin uygulanmasını açıklayarak benden yardımını esirgemeyen Tokyo Denki Üniversitesi Doktora Öğrencisi Tsunehiro İrisawa'ya çok teşekkür ederim.

Aralık 2001 Recep OKAN

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR vi
TABLO LİSTESİ vii
ŞEKİL LİSTESİ ix
SEMBOL LİSTESİ xv
ÖZET xvii
SUMMARY xix

1. GİRİŞ 1

2. 17 AĞUSTOS 1999 KOCAELİ DEPREMİ VE DEPREMDE MEYDANA GELEN HASARLAR 8
2.1. 17 Ağustos 1999 Kocaeli Depremi Genel Özellikleri 8
2.2. Deprem Bölgesinin Genel Jeolojik Durumu 13
2.3. Deprem Bölgesinin Depremselliği 18
2.3.1. Başlıca tarihsel ve aletsel dönem depremleri 18
2.3.2. Kuzey Anadolu Fayı ve depremlerin doğudan batıya göçü 23
2.3.3. Deprem bölgesinin genel tektonik özellikleri 26
2.3.4. Depremin oluşturduğu yüzeysel deformasyonlar ve yapılmış olan arazi gözlemleri 29
2.3.4.1. Deprem yüzey kırığı 33
2.4. Kocaeli Depremi'nde Meydana Gelen Yapı Hasarları 35
2.4.1. Betonarme binalardaki genel hasar durumları 37
2.4.2. Prefabrik betonarme binalarda meydana gelen hasarlar 51
2.4.3. Camilerde meydana gelen hasarlar 54
2.4.4. Karayolları ve demiryollarında meydana gelen hasarlar 57
2.4.5. Viyadük, üstgeçit ve köprülerde meydana gelen hasarlar 59
2.4.6. Endüstriyel tesislerde meydana gelen hasarlar 62
2.5. Kocaeli Depremi'nin Şiddeti ve Eşşiddet Haritası 70

3. ADAPAZARI'NDA YEREL ZEMİN KOŞULLARI 74
3.1. Giriş 74
3.2. Adapazarı'nda Ağır Hasarın Oluştuğu Bölgedeki Yerel Zemin Koşulları 81
3.2.1. A Bölgesi mahallelerinin yerel zemin koşulları 82
3.2.1.1. Akıncılar mahallesi 82
3.2.1.2. Cumhuriyet mahallesi 84
3.2.1.3. Çukurahmediye mahallesi 87
3.2.1.4. İstiklal mahallesi 89
3.2.1.5. Karaosman mahallesi 92
3.2.1.6. Kurtuluş mahallesi 95
3.2.1.7. Orta mahalle 98
3.2.1.8. Papuççular mahallesi 100
3.2.1.9. Semerciler mahallesi 102

3.2.1.10. Tığcılar mahallesi 105
3.2.1.11. Yağcılar mahallesi 108
3.2.1.12. Yahyalar mahallesi 111
3.2.1.13. Yenicami mahallesi 114
3.2.1.14. Yenidoğan mahallesi 116
3.2.1.15. Yenigün mahallesi 120
3.2.2. Erenler ilçesinin yerel zemin koşulları 122
3.2.3. Serdivan ilçesinin yerel zemin koşulları 124

4. ADAPAZARI'NDA BAZI ZEMİN KESİTLERİ İÇİN SIVILAŞMA ANALİZİ 126
4.1. Giriş 126
4.2. Sıvılaşma 131
4.2.1. Sıvılaşmanın tanımı 131
4.2.2. Sıvılaşmaya etki eden faktörler 131
4.2.3. Sıvılaşma analizinde kullanılan yöntemler 135
4.2.3.1. Yöntem 1 (Seed ve diğ., 2001) 138
4.2.3.2. Yöntem 2 (Japon Yol Kurumu, 1996) 144
4.2.4. Sıvılaşma analizi sonuçları 148
4.2.4.1. Sondaj S-1 için sıvılaşma hesabı 150
4.2.4.2. Sondaj S-2 için sıvılaşma hesabı 151
4.2.4.3. Sondaj S-3 için sıvılaşma hesabı 152
4.2.4.4. Sondaj S-4 için sıvılaşma hesabı 153
4.2.4.5. Sondaj S-5 için sıvılaşma hesabı 154
4.2.4.6. Sondaj S-6 için sıvılaşma hesabı 155
4.2.4.7. Sondaj S-7 için sıvılaşma hesabı 156
4.2.4.8. Sondaj S-8 için sıvılaşma hesabı 157
4.2.4.9. Sondaj S-9 için sıvılaşma hesabı 158
4.2.4.10. Sondaj SK-1 için sıvılaşma hesabı 159
4.2.4.11. Sondaj SK-2 için sıvılaşma hesabı 160
4.2.4.12. Sondaj SK-3 için sıvılaşma hesabı 161
4.2.4.13. Sondaj SK-4 için sıvılaşma hesabı 162
4.2.4.14. Sondaj SK-5 için sıvılaşma hesabı 163
4.2.4.15. Sondaj SK-6 için sıvılaşma hesabı 164
4.2.4.16. Sondaj SK-7 için sıvılaşma hesabı 165
4.2.4.17. Sondaj SK-8 için sıvılaşma hesabı 166
4.2.4.18. Sondaj SK-9 için sıvılaşma hesabı 167
4.2.4.19. Sondaj SK-10 için sıvılaşma hesabı 168
4.2.4.20. Sondaj SK-11 için sıvılaşma hesabı 169
4.2.4.21. Sondaj SK-12 için sıvılaşma hesabı 170
4.2.4.22. Sondaj SK-13 için sıvılaşma hesabı 171
4.2.4.23. Sondaj SK-14 için sıvılaşma hesabı 172
4.2.4.24. Sondaj SK-15 için sıvılaşma hesabı 173
4.2.4.25. Sondaj SK-16 için sıvılaşma hesabı 174
4.2.4.26. Sondaj SK-17 için sıvılaşma hesabı 175
4.3. Sonuç 176

5. VAKA ANALİZİ 177
5.1. Vaka'nın Tanımlanması 177
5.2. Taşıma Gücü Hesabı 182

5.2.1. Taşıma gücünün her sondaj kesiti için hesabı 184
5.2.1.1. Sondaj S-1 için taşıma gücünün hesabı 185
5.2.1.2. Sondaj S-2 için taşıma gücünün hesabı 188
5.2.1.3. Sondaj S-3 için taşıma gücünün hesabı 190
5.3. Sıvılaşma Analizi 192
5.4. Sonuç 194

6. SONUÇLAR 195

KAYNAKLAR 198

ÖZGEÇMİŞ 207

KISALTMALAR

A.B.Y.Y.H.Y.	: Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkındaki Yönetmelik
AKO	: Aşırı Konsolidasyon Oranı
ASCE	: American Society of Civil Engineers
ASTM	: American Society for Testing and Materials
B	: Batı
Cad.	: Cadde
D	: Doğu
DAD	: Deprem Araştırma Dairesi
DAF	: Doğu Anadolu Fayı
DDY	: Devlet Demir Yolları
DİE	: Devlet İstatistik Enstitüsü
DKGO	: Dinamik Kayma Gerilmesi Oranı
G	: Güney
GB	: Güney-Batı
GD	: Güney-Doğu
GMT	: Greenwich Main Time
İD	: İnce Dane
İDO	: İnce Dane Oranı
İTÜ	: İstanbul Teknik Üniversitesi
JRA	: Japan Road Association
JSCE	: Japanese Society of Civil Engineers
K	: Kuzey
KAF	: Kuzey Anadolu Fayı
KB	: Kuzey-Batı
KD	: Kuzey-Doğu
KGO	: Kayma Gerilmesi Oranı
Mah.	: Mahalle
MDF	: Magnitüd Düzeltme Faktörü
MÖ	: Milattan Önce
MS	: Milattan Sonra
MSK	: Medvedev-Sponhever-Karnik
NP	: Non Plastic
Sok.	: Sokak
SPT	: Standart Penetrasyon Testi
TCDD	: Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demir Yolları
TEM	: Trans European Motorway
USD	: United State's Dollar
USGS	: United States Geological Survey
UU	: Undrained Unconsolidated
YASS	: Yer Altı Su Seviyesi
YS	: Yerel Saat
Zem.	: Zemin

TABLO LİSTESİ

		Sayfa No
Tablo 1.1	: Deprem bölgelerinin kapladığı alan ve buralarda yaşayan tahmini nüfus	5
Tablo 2.1	: 17 Ağustos 1999 Kocaeli Depremi'nin değişik kurumlarca hesaplanmış parametreleri	9
Tablo 2.2	: Depremden etkilenmiş illerin 1997 yılı itibariyle nüfus durumları	11
Tablo 2.3	: Kocaeli Depremi'nde illere göre ölü ve yaralı sayıları	12
Tablo 2.4	: Kocaeli Depremi sonucunda oluşan il il hasar durumları	13
Tablo 2.5a	: Bölgede 1912 – 1999 yılları arasında hasar yapan depremlerin parametreleri	22
Tablo 2.5b	: Bölgede 1912 – 1999 yılları arasında hasar yapan depremlerin yapısal hasarları ile yaralanmalar ve can kayıpları	23
Tablo 2.6a	: Endüstriyel tesislerin hasar durumları	62
Tablo 2.6b	: Endüstriyel tesislerin hasar durumları (devamı)	63
Tablo 2.7	: Depremde belli şiddetlerdeki bölgelerde bulunan insan ve konut sayıları	72
Tablo 2.8	: Çeşitli şiddetlere göre konutların hasar durumları	72
Tablo 2.9	: DAD tarfından işletilen kuvvetli yer hareketi istasyonlarından elde edilen ivme değerleri ve bu istasyonların yerleri	73
Tablo 3.1	: Akıncılar mahallesi sokak isimleri	82
Tablo 3.2	: SK-1 sondajından elde edilen veriler	83
Tablo 3.3	: Cumhuriyet mahallesi sokak isimleri	85
Tablo 3.4	: SK-2 sondajından elde edilen veriler	85
Tablo 3.5	: Çukurahmediye mahallesi sokak isimleri	87
Tablo 3.6	: SK-3 sondajından elde edilen veriler	88
Tablo 3.7	: İstiklal mahallesi sokak isimleri	89
Tablo 3.8	: SK-4 sondajından elde edilen veriler	90
Tablo 3.9	: Karaosman mahallesi sokak isimleri	92
Tablo 3.10	: SK-5 sondajından elde edilen veriler	93
Tablo 3.11	: Kurtuluş mahallesi sokak isimleri	95
Tablo 3.12	: SK-6 sondajından elde edilen veriler	96
Tablo 3.13	: Orta mahalle sokak isimleri	98
Tablo 3.14	: SK-7 sondajından elde edilen veriler	99
Tablo 3.15	: Papuççular mahallesi sokak isimleri	100
Tablo 3.16	: SK-8 sondajından elde edilen veriler	101
Tablo 3.17	: Semerciler mahallesi sokak isimleri	102
Tablo 3.18	: SK-9 sondajından elde edilen veriler	103
Tablo 3.19	: Tığcılar mahallesi sokak isimleri	105
Tablo 3.20	: SK-10 sondajından elde edilen veriler	106

Tablo 3.21a : Yağcılar mahallesi sokak isimleri 108
Tablo 3.21b : Yağcılar mahallesi sokak isimleri (devamı) 109
Tablo 3.22 : SK-11 sondajından elde edilen veriler 109
Tablo 3.23 : Yahyalar mahallesi sokak isimleri 111
Tablo 3.24 : SK-12 sondajından elde edilen veriler 112
Tablo 3.25 : Yenicami mahallesi sokak isimleri 114
Tablo 3.26 : SK-13 sondajından elde edilen veriler 115
Tablo 3.27 : SK-14 sondajından elde edilen veriler 115
Tablo 3.28 : Yenidoğan mahallesi sokak isimleri 117
Tablo 3.29 : SK-15 sondajından elde edilen veriler 117
Tablo 3.30 : Yenigün mahallesi sokak isimleri 120
Tablo 3.31 : SK-16 sondajından elde edilen veriler 121
Tablo 3.32 : SK-17 sondajından elde edilen veriler 121
Tablo 3.33 : Erenler Belediyesi revize imar projesi SK-64 sondaj kesiti 123
Tablo 3.34 : Serdivan Belediyesi revize imar projesi SK-27 sondaj kesiti .. 125
Tablo 4.1 : Adapazarı'nda deprem kaydının alındığı istasyonun zemin kesiti 126
Tablo 4.2 : Çeşitli ivme azalım bağıntılarıyla Adapazarı için bulunan maksimum yatay yer ivmesi değerleri 137
Tablo 4.3 : Derinliğe göre C_R değerleri 142
Tablo 4.4 : Numune türüne göre C_B değerleri 142
Tablo 4.5 : Deprem tipine göre Cw değerleri 145
Tablo 4.6 : Japon Yol Kurumu'nun zemin sınıfları özellikleri 147
Tablo 4.7 : Sondaj yerleri 149
Tablo 5.1 : K_1 ve K_2 değerleri 182
Tablo 5.2 : Terzaghi taşıma gücü katsayıları 182
Tablo 5.3 : SPT değerlerine karşılık gelen serbest basınç mukavemeti değerleri 184
Tablo 5.4 : SPT değerlerine karşılık gelen serbest relatif sıkılık ve kayma mukavemeti açıları 184

ŞEKİL LİSTESİ

		Sayfa No
Şekil 1.1	: Türkiye Diri Fay Haritası	3
Şekil 1.2	: Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası	4
Şekil 2.1	: Çeşitli kaynaklara göre Kocaeli Depremi'nin yeri	10
Şekil 2.2	: İnceleme alanına ait uydu görüntüleri	15
Şekil 2.3	: İnceleme alanının 1/250.000 ölçekli topoğrafik haritalardan elde edilmiş kabartma ve eğim haritası (ölçeksiz)	17
Şekil 2.4	: Deprem bölgesinin jeolojik durumu	17
Şekil 2.5	: İzmit Körfezi ve Marmara Denizi boyunca olmuş tarihsel büyük depremler	18
Şekil 2.6	: KAF ve Türkiye fay haritası	24
Şekil 2.7	: Türkiyede'ki diri faylar, büyüklüğü 6,7 ve üzerinde olan depremlerden kaynaklanan sağ atımlı kaymaların toplam uzunluklarının grafiği, KAF üzerindeki depremler ve bunların kırdığı fay kısımları	25
Şekil 2.8	: KAF üzerinde oluşan bazı depremlerin zaman içerisindeki ilerleme doğrultuları	26
Şekil 2.9	: Bolu ili-Akyazı ilçesi arasındaki bölgenin sismotektonik özellikleri, ölçeksiz	27
Şekil 2.10	: Akyazı ilçesi ile İzmit ili arasının sismotektonik haritası, ölçeksiz	28
Şekil 2.11	: İzmit ili ile Bolu illeri arasında kalan bölgenin tektonik haritası, ölçeksiz	28
Şekil 2.12	: Kocaeli Depremi'ne neden olan fay segmentleri ve ölçüm lokasyonları, ölçeksiz	29
Şekil 2.13	: Kocaeli Depremi'ne ait yüzey kırıkları (Gölcük, Kullar köyü)	30
Şekil 2.14	: Kocaeli Depremi'ne ait yüzey kırıkları (Arifiye civarı, Sakarya kent merkezi	32
Şekil 2.15	: Değirmentepe köyü civarında gözlenen yüzey kırığı, Değirmentepe köyündeki 5 ton'luk kayacın makaslama kuvveti etkisiyle rotasyona uğraması	33
Şekil 2.16	: Adapazarı'nda aktif hale geçerek belli bir hat dahilinde büyük hasara yol açtığı düşünülen normal atımlı fay segmenti	35
Şekil 2.17	: Sıvılaşma sonucu Tığcılar'da hasar görmüş iki bina	38
Şekil 2.18a	: Tığcılar'da sıvılaşma sonucunda devrilen bir bina	39
Şekil 2.18b	: Tığcılar'da sıvılaşma sonucu devrilen binanın temeline yakından bakış	39
Şekil 2.19a	: Sapanca Gölü kıyısında göl sularına batan otel (ön cephe)	40
Şekil 2.19b	: Sapanca Gölü kıyısında göl sularına batan otel (arka cephe)	40
Şekil 2.20	: Sahil şeridindeki betonarme binaların yatay öteleme ve batma sonucu uğradıkları hasar	41

Şekil 2.21 : Sahil şeridindeki betonarme binaların yatay öteleme ve batma sonucu uğradıkları hasar 41
Şekil 2.22a : Kullar köyünde fay hattı üzerinde yıkılmış apartman blokları... 42
Şekil 2.22b : Kullar köyünde fay hattı üzerinde yıkılmış apartman blokları... 43
Şekil 2.23 : Fay hattı üzerinde bulunup da göçmeyen bir bina 43
Şekil 2.24 : Sarılma bölgesinde etriyeler sıklaştırılmamış 44
Şekil 2.25 : Çok kötü bir şekilde inşaa edilmiş kolon – kiriş birleşimi 44
Şekil 2.26 : Kısa kolon etkisinin yaratıldığı yanlış bir uygulama 45
Şekil 2.27 : Yetersiz bir kolonda gözlenen hasar 46
Şekil 2.28 : İlk katta yeterli ve simetrik olarak sağlanamayan yanal rijitlik . 46
Şekil 2.29 : Boşluklu, kırılgan ve yetersiz dayanımlı malzemeyle inşaa edilmiş duvar 47
Şekil 2.30 : Kirişte oluşan moment çatlağı 48
Şekil 2.31 : Güçlü kolon-zayıf kiriş kriterine ters bir uygulama sonucu oluşan hasar 48
Şekil 2.32 : Zemin katta yanlış uygulamadan dolayı oluşan hasar 49
Şekil 2.33 : Yumuşak kat oluşturulmasıyla meydana gelen hasar 49
Şekil 2.34 : Binalar arasında yeteri kadar mesafe bırakılmamış 50
Şekil 2.35 : Korozyona uğramış bir bir kolon donatısı 51
Şekil 2.36 : İnşaası tamamlanmamış bir prefabrik yapıda gözlenen hasar ... 52
Şekil 2.37 : İnşaası tamamlanmamış bir prefabrik yapıda gözlenen hasar ... 53
Şekil 2.38 : Çatısı göçen, prefabrik elemanlarla yapılmış bir sanayi tesisi .. 53
Şekil 2.39a : Etrafındaki binalardaki ağır hasara rağmen hasarsız ayakta kalan bir cami (Gölcük) 54
Şekil 2.39b : Etrafındaki binalardaki ağır hasara (yıkıma) rağmen hasarsız ayakta kalan caminin diğer bir açıdan görünüşü (Gölcük) 55
Şekil 2.40 : Sadece minaresi yıkılan bir cami 55
Şekil 2.41 : Gölcük'ün Kavaklı mevkiindenormal fay sonucu göçen cami . 56
Şekil 2.42 : Sadece şerefesi düşen bir cami 56
Şekil 2.43 : Arifiye yakınlarında otoyol kaplaması üzerindeki fayın bükme hasarı 57
Şekil 2.44 : Arifiye yakınlarında otoyolu fayın kesmesi sonucu oluşan hasar 58
Şekil 2.45 : Tepetarla köyü yakınında demiryolunda oluşan büyük miktarda bükülme 59
Şekil 2.46 : Sakarya viyadüğünde görülen kiriş kaymaları 59
Şekil 2.47 : Fay etkisi sonucunda göçen Selerek köprüsü 60
Şekil 2.48a : Arifiye mevkiinde otoyol üstüne göçen üst geçit 61
Şekil 2.48b : Arifiye mevkiinde otoyol üstüne göçen üst geçit (yakın görünüm) 61
Şekil 2.49 : ToyotaSA tesisleri ve ana fay hattı 64
Şekil 2.50 : Ford Otosan tesisleri yakınından geçen fay hattı 65
Şekil 2.51 : Ford Otosan tesislerine ait elektrik dağıtım direğinin fay etkisi dolayısıyla oluşan yeni durumu 65
Şekil 2.52 : Ford Otosan'da fabrika içinde hasara uğramış bir kolon 66
Şekil 2.53 : TÜPRAŞ tanklarında yangın 67
Şekil 2.54 : TÜPRAŞ'da günlerce yanan tanklar tekrar kullanılamayacak hale gelmiştir 68
Şekil 2.55 : HABAŞ'da tankların temel kolonları yıkılmış ve bu hale gelmişlerdir 68

Şekil 2.56 : Petkim'de meydana gelen hasardan görünüm 69
Şekil 2.57 : Pirelli'de meydana gelen hasardan görünüm 69
Şekil 2.58 : Seka'nın liman işletmesinde meydana gelen hasardan görünüm 70
Şekil 2.59 : Kocaeli Depremi'nin eşşiddet haritası 71
Şekil 3.1 : Adapazarı şehir plânı 75
Şekil 3.2 : Adapazarı'nda açılan bazı sondajların yerleri 76
Şekil 3.3 : Adapazarı şehrinin ilk 15 m derinlikteki yüzey tabakaları 77
Şekil 3.4 : Adapazarı şehrinde ağır hasara uğrayan bölgeden zemin kesiti (I-5) 78
Şekil 3.5 : Adapazarı şehrinde ağır hasara uğrayan bölgeden zemin kesiti (I-19) 79
Şekil 3.6 : Adapazarı şehrinin tipik zemin kesiti (B-6) 80
Şekil 3.7 : Adapazarı'nda en çok hasara uğrayan A bölgesi mahalleleri ... 81
Şekil 3.8 : Akıncılar mahallesi 82
Şekil 3.9 : Akıncılar mahallesinde açılan sondajlardan silt-kum zeminlerde yapılan elek analizlerinden elde edilen dane çapı dağılımı 84
Şekil 3.10 : Cumhuriyet mahallesi 84
Şekil 3.11 : Cumhuriyet mahallesinde açılan sondajlardan silt-kum zeminlerde yapılan elek analizlerinden elde edilen dane çapı dağılımı 86
Şekil 3.12 : Çukurahmediye mahallesi 87
Şekil 3.13 : Çukurahmediye mahallesinde açılan sondajlardan silt-kum zeminlerde yapılan elek analizlerinden elde edilen dane çapı dağılımı 88
Şekil 3.14 : İstiklal mahallesi 89
Şekil 3.15 : İstiklal mahallesinde açılan sondajlardan silt-kum zeminlerde yapılan elek analizlerinden elde edilen dane çapı dağılımı 91
Şekil 3.16 : Karaosman mahallesi 92
Şekil 3.17 : Karaosman mahallesinde açılan sondajlardan silt-kum zeminlerde yapılan elek analizlerinden elde edilen dane çapı dağılımı 94
Şekil 3.18 : Kurtuluş mahallesi 95
Şekil 3.19 : Kurtuluş mahallesinde açılan sondajlardan silt-kum zeminlerde yapılan elek analizlerinden elde edilen dane çapı dağılımı 97
Şekil 3.20 : Orta mahalle 98
Şekil 3.21 : Orta mahallesinde açılan sondajlardan silt-kum zeminlerde yapılan elek analizlerinden elde edilen dane çapı dağılımı 99
Şekil 3.22 : Papuççular mahallesi 100
Şekil 3.23 : Papuççular mahallesinde açılan sondajlardan silt-kum zeminlerde yapılan elek analizlerinden elde edilen dane çapı dağılımı 101
Şekil 3.24 : Semerciler mahallesi 102
Şekil 3.25 : Semerciler mahallesinde açılan sondajlardan silt-kum zeminlerde yapılan elek analizlerinden elde edilen dane çapı dağılımı 104
Şekil 3.26 : Tığcılar mahallesi 105
Şekil 3.27 : Tığcılar mahallesinde açılan sondajlardan silt-kum zeminlerde yapılan elek analizlerinden elde edilen dane çapı dağılımı 107
Şekil 3.28 : Yağcılar mahallesi 108

Şekil 3.29 : Yağcılar mahallesinde açılan sondajlardan silt-kum zeminlerde yapılan elek analizlerinden elde edilen dane çapı dağılımı 110
Şekil 3.30 : Yahyalar mahallesi 111
Şekil 3.31 : Yahyalar mahallesinde açılan sondajlardan silt-kum zeminlerde yapılan elek analizlerinden elde edilen dane çapı dağılımı 113
Şekil 3.32 : Yenicami mahallesi 114
Şekil 3.33 : Yenicami mahallesinde açılan sondajlardan silt-kum zeminlerde yapılan elek analizlerinden elde edilen dane çapı dağılımı 116
Şekil 3.34 : Yenidoğan mahallesi 116
Şekil 3.35 : Yenidoğan mahallesinde açılan sondajlardan silt-kum zeminlerde yapılan elek analizlerinden elde edilen dane çapı dağılımı 119
Şekil 3.36 : Yenigün mahallesi 120
Şekil 3.37 : Yenigün mahallesinde açılan sondajlardan silt-kum zeminlerde yapılan elek analizlerinden elde edilen dane çapı dağılımı 122
Şekil 3.38 : Erenler'de yapılan SPT'lerden bulunan düzeltilmiş SPT değerleri $(N_1)_{60}$ ve derinlik ilişkisi 123
Şekil 3.39 : Serdivan'da B4 nolu sondajın SPT'lerinden hesaplanan düzeltilmiş SPT değerleri $(N_1)_{60}$ ile derinlik ilişkisi 125
Şekil 4.1 : Adapazarı'nda Bayındırlık ve İskan Müdürlüğü'nde bulunan sismograftan elde edilen 17 Ağustos 1999 Kocaeli Depremi ana şok kaydı 127
Şekil 4.2a : 13 Eylül 1999'da meydana gelen artçı depremde Adapazarı'nda alüvyon zeminde ölçülen depremin D-B bileşeni 128
Şekil 4.2b : 13 Eylül 1999'da meydana gelen artçı depremde Adapazarı'nda kayalık zeminde ölçülen depremin D-B bileşeni 128
Şekil 4.3 : Adapazarı ilinin deprem bölgelemesi 129
Şekil 4.4 : Erenler'de 18/09/1999 tarihinde gözlenmiş kum volkanı 130
Şekil 4.5 : Dane boyutu dağılımına göre sıvılaşma potansiyelinin belirlenmesi 134
Şekil 4.6 : Düzeltilmiş SPT değerlerinden (N_{60}) yararlanılarak DKGO değerlerinin 7,5 büyüklüğündeki bir deprem için, deneysel sıvılaşma verileri yardımıyla bulunması 139
Şekil 4.7 : Çeşitli araştırmacılar tarafından elde edilen MDF değerleri 140
Şekil 4.8 : Seed ve De Alba (1986)'ya göre DKGO ile N_{60} ilişkisi, sıvılaşma ve de sıvılaşmama sınır çizgileriyle beraber gösterim.. 141
Şekil 4.9 : Düzeltilmiş SPT değerlerine göre $M_w = 7,5$ ve $\sigma_v' = 1,0$ atm (kg/cm^2) durumu için sıvılaşma tetikleme DKGO değerleri 143
Şekil 4.10 : Adapazarı şehrinde sıvılaşan ve (Yasuda ve diğ., 2001)'e göre üzerinde araştırma yapılmış olan alanlar 148
Şekil 4.11a : Sondaj S-1'e ait zemin kesiti, N_{30} değerleri ve bazı deney sonuçları 150
Şekil 4.11b : Sondaj S-1 için sıvılaşma güvenlik sayıları 150
Şekil 4.12a : Sondaj S-2'ye ait zemin kesiti, N_{30} değerleri ve bazı deney sonuçları 151
Şekil 4.12b : Sondaj S-2 için sıvılaşma güvenlik sayıları 151
Şekil 4.13a : Sondaj S-3'e ait zemin kesiti, N_{30} değerleri ve bazı deney sonuçları 152
Şekil 4.13b : Sondaj S-3 için sıvılaşma güvenlik sayıları 152

Şekil 4.14a : Sondaj S-4'e ait zemin kesiti, N_{30} değerleri ve bazı deney sonuçları 153
Şekil 4.14b : Sondaj S-4 için sıvılaşma güvenlik sayıları 153
Şekil 4.15a : Sondaj S-5'e ait zemin kesiti, N_{30} değerleri ve bazı deney sonuçları 154
Şekil 4.15b : Sondaj S-5 için sıvılaşma güvenlik sayıları 154
Şekil 4.16a : Sondaj S-6'ya ait zemin kesiti, N_{30} değerleri ve bazı deney sonuçları 155
Şekil 4.16b : Sondaj S-6 için sıvılaşma güvenlik sayıları 155
Şekil 4.17a : Sondaj S-7'ye ait zemin kesiti, N_{30} değerleri ve bazı deney sonuçları 156
Şekil 4.17b : Sondaj S-7 için sıvılaşma güvenlik sayıları 156
Şekil 4.18a : Sondaj S-8'e ait zemin kesiti, N_{30} değerleri ve bazı deney sonuçları 157
Şekil 4.18b : Sondaj S-8 için sıvılaşma güvenlik sayıları 157
Şekil 4.19a : Sondaj S-9'a ait zemin kesiti, N_{30} değerleri ve bazı deney sonuçları 158
Şekil 4.19b : Sondaj S-9 için sıvılaşma güvenlik sayıları 158
Şekil 4.20a : Sondaj SK-1'e ait zemin kesiti, N_{30} değerleri ve bazı deney sonuçları 159
Şekil 4.20b : Sondaj SK-1 için sıvılaşma güvenlik sayıları 159
Şekil 4.21a : Sondaj SK-2'ye ait zemin kesiti, N_{30} değerleri ve bazı deney sonuçları 160
Şekil 4.21b : Sondaj SK-2 için sıvılaşma güvenlik sayıları 160
Şekil 4.22a : Sondaj SK-3'e ait zemin kesiti, N_{30} değerleri ve bazı deney sonuçları 161
Şekil 4.22b : Sondaj SK-3 için sıvılaşma güvenlik sayıları 161
Şekil 4.23a : Sondaj SK-4'e ait zemin kesiti, N_{30} değerleri ve bazı deney sonuçları 162
Şekil 4.23b : Sondaj SK-4 için sıvılaşma güvenlik sayıları 162
Şekil 4.24a : Sondaj SK-5'e ait zemin kesiti, N_{30} değerleri ve bazı deney sonuçları 163
Şekil 4.24b : Sondaj SK-5 için sıvılaşma güvenlik sayıları 163
Şekil 4.25a : Sondaj SK-6'ya ait zemin kesiti, N_{30} değerleri ve bazı deney sonuçları 164
Şekil 4.25b : Sondaj SK-6 için sıvılaşma güvenlik sayıları 164
Şekil 4.26a : Sondaj SK-7'ye ait zemin kesiti, N_{30} değerleri ve bazı deney sonuçları 165
Şekil 4.26b : Sondaj SK-7 için sıvılaşma güvenlik sayıları 165
Şekil 4.27a : Sondaj SK-8'e ait zemin kesiti, N_{30} değerleri ve bazı deney sonuçları 166
Şekil 4.27b : Sondaj SK-8 için sıvılaşma güvenlik sayıları 166
Şekil 4.28a : Sondaj SK-9'a ait zemin kesiti, N_{30} değerleri ve bazı deney sonuçları 167
Şekil 4.28b : Sondaj SK-9 için sıvılaşma güvenlik sayıları 167
Şekil 4.29a : Sondaj SK-10'a ait zemin kesiti, N_{30} değerleri ve bazı deney sonuçları 168
Şekil 4.29b : Sondaj SK-10 için sıvılaşma güvenlik sayıları 168
Şekil 4.30a : Sondaj SK-11'e ait zemin kesiti, N_{30} değerleri ve bazı deney sonuçları 169

Şekil 4.30b : Sondaj SK-11 için sıvılaşma güvenlik sayıları 169
Şekil 4.31a : Sondaj SK-12'ye ait zemin kesiti, N_{30} değerleri ve bazı deney sonuçları 170
Şekil 4.31b : Sondaj SK-12 için sıvılaşma güvenlik sayıları 170
Şekil 4.32a : Sondaj SK-13'e ait zemin kesiti, N_{30} değerleri ve bazı deney sonuçları 171
Şekil 4.32b : Sondaj SK-13 için sıvılaşma güvenlik sayıları 171
Şekil 4.33a : Sondaj SK-14'e ait zemin kesiti, N_{30} değerleri ve bazı deney sonuçları 172
Şekil 4.33b : Sondaj SK-14 için sıvılaşma güvenlik sayıları 172
Şekil 4.34a : Sondaj SK-15'e ait zemin kesiti, N_{30} değerleri ve bazı deney sonuçları 173
Şekil 4.34b : Sondaj SK-15 için sıvılaşma güvenlik sayıları 173
Şekil 4.35a : Sondaj SK-16'ya ait zemin kesiti, N_{30} değerleri ve bazı deney sonuçları 174
Şekil 4.35b : Sondaj SK-16 için sıvılaşma güvenlik sayıları 174
Şekil 4.36a : Sondaj SK-17'ye ait zemin kesiti, N_{30} değerleri ve bazı deney sonuçları 175
Şekil 4.36b : Sondaj SK-17 için sıvılaşma güvenlik sayıları 175
Şekil 4.37 : Adapazarı'nda ağır hasar ile A bölgesi şeklinde ifade edilmiş olan silt zeminin durumu 176
Şekil 5.1 : Yürüt Apartmanı sondaj vaziyet planı 178
Şekil 5.2 : Sondaj S1'in SPT değerlerinin ve zemin tabakalarının derinlikle değişimi 178
Şekil 5.3 : Sondaj S2'nin SPT değerlerinin ve zemin tabakalarının derinlikle değişimi 179
Şekil 5.4 : Sondaj S3'ün SPT değerlerinin ve zemin tabakalarının derinlikle değişimi 179
Şekil 5.5 : Yürüt Apartmanı'nda deprem sonucu oluşan sıvılaşma ve taşıma gücü kaybı 181
Şekil 5.6 : Temel zemininin demrem öncesi ve sonrası durumu 181
Şekil 5.7 : Yürüt Apartmanı temel boyutları 183
Şekil 5.8 : Yürüt Apartmanı sondajlarının sıvılaşma analizi 192
Şekil 5.9 : Yürüt Apartmanı sondajlarından elde edilen zemin numuneleri için DKGO – $(N_1)_{60}$ ilişkisi 193

SEMBOL LİSTESİ

A	: Maksimum yatay yer ivmesi
a_h	: Maksimum yatay yer ivmesi
a_{maks}	: Maksimum yatay yer ivmesi
a_y	: Maksimum yatay yer ivmesi
B	: Temel genişliği
c	: Kohezyon
CH	: Yüksek plastisiteli inorganik kil, yağlı killer
CL	: Düşük plastisiteli inorganik kil, yağsız killer
C_B	: Sondaj borusu çapını düzeltme katsayısı
C_E	: SPT tokmağı enerji verimlilik düzeltme katsayısı
C_N	: Düşey efektif gerilmeye göre SPT düzeltme katsayısı
C_R	: Kısa sondaj borusu uzunluk düzeltme katsayısı
C_S	: Standartlara uymayan numune alıcılarının düzeltme katsayısı
d	: Derinlik
D	: Deprem kaynağına olan uzaklık
D_{10}	: Efektif dane çapı
D_{50}	: Ortalama dane çapı
D_f	: Temel derinliği
D_r	: Relatif sıkılık
E_r	: SPT deneyi tokmağında Türkiye'de kullanılan enerji verimliliği
ER	: SPT deneyi tokmağında Türkiye'de kullanılan enerji verimliliği
E_{rb}	: SPT deneyi tokmağında kullanılan standart enerji verimliliği
ϕ	: Kayma mukavemeti açısı
F_L	: Sıvılaşma güvenlik sayısı (JRA, 1996)
F_s	: Sıvılaşma güvenlik sayısı (Seed ve diğ., 2001)
g	: Yerçekimi ivmesi
γ_1	: Temel tabanı üzerindeki zeminin birim hacim ağırlığı
γ_2	: Temel tabanı altındaki zeminin birim hacim ağırlığı
γ_d	: Suya doygun birim hacim ağırlığı
γ_k	: Kuru birim hacim ağırlığı
γ_n	: Doğal birim hacim ağırlığı
G_s	: Güvenlik sayısı
GC	: Killi çakıllar, kötü derecelenmiş çakıl-kum-kil karışımları
GM	: Siltli çakıllar, kötü derecelenmiş çakıl-kum-silt karışımları
GP	: Kötü derecelenmiş çakıl, çakıl-kum karışımları
GW	: İyi derecelenmiş çakıl, çakıl-kum karışımları
h	: Odak derinliği
I_0	: Deprem şiddeti
I_c	: Kıvam indisi
I_p	: Plastisite indisi
K_0	: Yatay toprak basıncı katsayısı
K_1 ve K_2	: Temel tabanı şekline bağlı katsayılar

L	: Temel uzunluğu
L	: JRA (1996) yönteminde deprem durumu için hesaplanan DKGO
M_d	: Süre magnitüdü
MH	: Yüksek plastisiteli inorganik silt ve çok ince kumlar
ML	: Düşük plastisiteli inorganik silt ve çok ince kumlar
Ms	: Yüzey dalgası magnitüdü
M_w	: Moment magnitüdü
N	: Düzeltilmemiş SPT değeri
N_1	: 1 kg/cm^2 atmosfer basıncına göre düzeltilmiş SPT değeri
N_{30}	: Düzeltilmemiş SPT değeri
$(N_1)_{60}$	: Düzeltilmiş SPT değeri
N_a	: Örtü etkisine ve ince dane miktarına göre düzeltilmiş SPT değeri
N_c, N_q, N_γ	: Taşıma gücü faktörleri
N_{JP}	: Japonya'da ölçülen SPT değeri
N_{TR}	: Türkiye'de ölçülen SPT değeri
OH	: Ortadan yükseğe plastisiteli organik killer
OL	: Organik siltler ve düşük plastisiteli organik silt-kil karışımları
q_d	: Taşıma gücü
q_d'	: Net taşıma gücü
q_s	: Emniyetli taşıma gücü
q_u	: Serbest basınç mukavemeti
R	: Fay kırığına en yakın mesafe
R	: JRA (1996) yönteminde sıvılaşmanın oluştuğu durumlar için DKGO
r_d	: Zemin kolonu için gerilme azaltma faktörü
r_{MDF}	: Magnitüd düzeltme faktörü
σ	: Toplam gerilme
σ'	: Efektif gerilme
σ_v	: Düşey toplam gerilme
σ_v'	: Düşey efektif gerilme
SC	: Killi kumlar, kötü derecelenmiş kum-kil karışımları
SM	: Siltli kumlar, kötü derecelenmiş kum-silt karışımları
SP	: Kötü derecelenmiş kumlar ve çakıllı kumlar
SW	: İyi derecelenmiş kumlar ve çakıllı kumlar
τ_{av}	: Ortalama kayma gerilmesi oranı
U	: Üniformluk katsayısı
w_L	: Likit limit
w_n	: Su muhtevası
w_p	: Plastik limit
# +4	: ASTM'nin 4 nolu eleği (4,76 mm) üzerinde kalan miktar
# -200	: ASTM'nin 200 nolu eleği (0,074 mm) altına geçen miktar
z	: Zemin yüzeyinden itibaren ölçülen derinlik

17 AĞUSTOS 1999 KOCAELİ DEPREMİ'NDE ADAPAZARI'NDA GÖZLENEN YAPISAL HASAR ÜZERİNDE ZEMİN KOŞULLARININ ETKİSİ

ÖZET

Bu tez çalışmasında 17 Ağustos 1999 Kocaeli Depremi sonucunda büyük hasara uğrayan bölgenin yerel zemin koşulları ile olan ilişkisi incelenmiştir. Bu bölge Adapazarı şehir merkezinde yer almakta olup, bölgenin yerel zemin koşulları depremden sonra hasara uğrayan binaların onarım ve takviyesi için çeşitli kişi ve kurumlarca yaptırılmış olan sondajlardan alınan numunelere ait laboratuvar deney sonuçları kullanılarak belirlenmiştir ve sıvılaşma potansiyelleri yönünden analizleri yapılmıştır. Sıvılaşma hesabında Seed ve diğ. (2001) ve Japon Yol Kurumu (1996) yöntemleri kullanılmış ve bunların sonuçları birlikte karşılaştırılmalı olarak değerlendirilmiştir.

17 Ağustos 1999 Kocaeli Depremi gerek verdiği büyük can kayıpları ve yaralanmalar, gerek oluşan büyük maddi ve manevi kayıplar ve gerekse de deprem sonucunda karşılaşılan durumlar açısından çok önemi ve büyük bir depremdir. Bu önem dolayısıyla deprem özellikleri, depremden etkilenen bölgelerin jeolojik yapıları, sismik özellikleri, bölgeyi etkisi altında bulunduran fay kırıkları, depremden sonra oluşan yüzey kırıkları, yapısal hasarlar ve hasarların nedenleri ayrıntılı olarak yine tez kapsamında açıklanmıştır.

Adapazarı'nda hasarın en yoğun olarak gözlendiği ve tez içerisinde A bölgesi olarak adlandırılan 15 adet mahallede depremden sonra yapıların onarım ve güçlendirilmesi için değişik kişi ve kurumlarca açtırılmış olan 700'ün üzerindeki sondajdan elde edilen verilere göre A bölgesinin yerel zemin koşullarının belirlenmesi ve sıvılaşma analizleri yapıldığında bölgede oluşan ağır hasar ile yerel zemin koşullarının çok yakın bir ilişki içerisinde olduğu görülmüştür. A bölgesi genellikle plastisite indisi düşük plastisiteden plastik olmayana kadar birçok değişik değer alan silt yüzey tabakasından oluşmaktadır. Bu yüzey tabakası yaklaşık olarak yüzeyden 15,0 m derinliğe kadar devam etmektedir.

Bu bölge içerisinde yaptırılmış olan sondajlardan elde edilen zemin kesitlerinin iki farklı yöntem ile yapılmış sıvılaşma analizlerinin, sondajlardan elde edilen numunelerle yapılmış laboratuvar deney sonuçlarına göre değerlendirilmesi neticesinde plastik olmayan veya düşük plastisiteli siltlerin ve ince dane oranları düşük kumların sıvılaşma eğiliminde oldukları anlaşılmıştır. Ayrıca killerde ve plastik siltlerde kimi yerde taşıma gücü kaybı olduğu anlaşılmıştır.

Adapazarı'nda yer altı su seviyesi çok yüksektir. Ortalama olarak yer altı su seviyesi 0,5-3,0 m aralığında mevsimsel yağış miktarlarına bağlı olarak değişik değerler almaktadır.

Vaka çalışması olarak, Adapazarı'nda Tığcılar Mahallesi'nde yer alan bir binada Kocaeli Depremi'nde oluşan hasarın yerel zemin koşullarına göre analizi yapılmıştır.

Bina 1 zemin ve 4 normal kattan ibarettir. Kocaeli Depremi'nin ardından binada en büyüğü 20 cm olan bir batma ve Doğu yönüne doğru % 1,5'luk bir eğilme tespit edilmiştir. Ayrıca birinci katın duvar ve sıvalarında çatlaklar oluşmuş ve çatı kaymıştır. Bütün bunlara rağmen bina taşıyıcı sistemi depremden önceki durumuna göre yapısal güvenliğini kaybetmemiştir.

Apartman bloklarının zemin durumlarının incelenmesi amacıyla 3 adet sondaj bina sahiplerince yaptırılmıştır.

S1 ve S3 sondajlarında sıvılaşma potansiyelinin olduğu sıvılaşma hesabının ardından anlaşılmıştır. S1 ve S3'de yüzeye yakın tabakaların ince dane miktarı düşük kum tabakalarından meydana gelmesi, sıvılaşma neticesinin zemin yüzeyinde rahatlıkla görülmesini sağlamıştır.

S2 sondajına ait sıvılaşma analiz sonucunda ise bu sondajda sıvılaşmanın 7,5 m derinlikteki ince bir kum tabakası dışında ön görülmediği anlaşılmıştır. 7,5 m'de bulunan ve yaklaşık 3,0 m kalınlığındaki bu tabakada sıvılaşma olması durumunda bile tabakanın üstünde bulunan katı-çok katı kıvamlı ve 24-34 aralığında plastisiteye sahip kalın kil tabakası nedeniyle yapı için bir sorun yaratılmayacağı düşünülmektedir.

Her üç sondaj için yapılan statik yüklere göre taşıma gücü hesabında taşıma gücü açısından bir problemin olmadığı anlaşılmıştır. Ama deprem yükleri nedeniyle siltli kumlarda ve plastik olmayan veya düşük plastisiteli siltlerde sıvılaşma, killerde ise taşıma gücü kaybı oluşmuştur.

Bu sonuçlar neticesinde, statik yüklemelere göre yapılan hesap dinamik yüklemeler halinde yeterli olamamaktadır.

Yapı radye temel olarak projelendirilmiş ve böylece yapı yükü tekil temellere nazaran çok daha geniş bir alana yayılabilmiştir. Sıvılaşma ve neticesinde meydana gelen batma bu temel sistemi sayesinde sorunsuz bir şekilde karşılanmıştır.

Bütün bunlar ışığında sıvılaşma potansiyeli olan zeminlerde sıvılaşmaya karşı temel zemininde önlem alarak gerekli taşıma gücü ve oturma tahkikleri de yapılmak kaydıyla, uygun temel sistemi seçilmesi ve mevcut yönetmeliklere uyulması halinde zeminden yapıya çok da olumsuz bir durum etki etmeyecektir.

EFFECTS OF THE SOIL CHARACTERISTICS ON THE OBSERVED STRUCTURAL DAMAGE DURING THE AUGUST 17, 1999 KOCAELI EARTHQUAKE IN ADAPAZARI

SUMMARY

In my thesis study, at the first stage the relation of the heavily damaged region and soil characteristics of this region has been investigated. More than 700 boring data have been used for the learning of the soil characteristics of Adapazarı. These borings were drilled for the projects of repairing and strengthening of structures. More than 500 technical reports were provided by the Adapazarı section of the Chamber of Civil Engineers. The other data were provided by universities and geotechnical research companies.

In this thesis, geotechnical reports especially used for the heavily damaged region in Adapazarı. In this thesis the liquefaction analysis results of 26 bore hole data are given. Seed et al. (2001) and Japan Road Association (1996) methods have been used for liquefaction evaluation of the stratums.

August 17, 1999 Kocaeli Earthquake caused thousands of deaths, more than this amount injured and very bad economic impact for the developing Turkish economy. For this importance in this thesis earthquake's properties, geology of affected regions from the earthquake, seismicity, faults and observed damages were explained.

Adapazarı city is located on Sakarya Basin. Some part of the city is on the hillside but the main part is extended through Sakarya Basin. Alluvial soil in the basin was carried by Sakarya River and Cark stream. The thickness of silty or clayey surface layer starts from 3.0 m and exceeds 15.0 m in some districts in the city. In this thesis, heavily damaged region in Adapazarı city was investigated. For this region given name is "A site". A site is located in the center of the city. The main soil property of this region is non-plastic or low plastic silt statues. Sand contents increases up 50 % in silt in some places.

In A site, after laboratory tests and liquefaction evaluation analysis was understood that non-plastic or low plastic silt and sand which have very low fines contents have a very big liquefaction potential. In addition, in some places clayey and plastic silty soils have bearing capacity problems.

In Adapazarı ground water level is very high. Approximately ground water level is in between 0.5 and 3.0 m. Furthermore ground water level changes according to seasonal rains.

At the second stage as a case study, the relation of structural damage and soil condition of foundation has been studied. This building is in Tigcilar District in the city of Adapazarı in A site.

Building has 1 ground and 4 normal storey. During the Kocaeli Earthquake the building settled around 20 cm and tilted. The inclination of the building in the east direction was about 1.5 % due to the differential settlement. In the first story there

were some wall and plaster cracks. But there was no problem in the supporting systems in the building after the earthquake.

To study for soil condition of the foundation, 3 bore holes were drilled in the site.

The liquefaction potential is very high for S1 and S3 borings according to the liquefaction analysis methods. Surface layer is sand and includes low plastic fines. So after earthquake sand volcanos were observed in the site.

After the liquefaction evaluation analysis for S2 boring, it has been understood that liquefaction is possible only in thin sandy layer lying 7.5 m in depth. Thickness of this layer is 3.0 m. But there was no problem for the structure because of present thick clayey top layer.

In this borings, there were not any problem for the bearing capacity for using static loads. But dynamic loads caused liquefaction in silty sand and non-plastic or low plastic silt and caused bearing capacity problem in clay. After all this results, it has been understood that static load's formulas are not enough for evaluation of bearing capacity for dynamic impact.

Raft foundation system of this structure decreased the damage.

Constructions of structures by using the earthquake code and good construction materials and to take advantage of expert engineers, structural damage decreases during earthquakes.

But this kind of foundation construction is not enough by itself. Depth of foundation is very important. For example in Adapazarı observed a lot of tilted buildings because of low foundation depth. Very high ground water level caused this kind of applications.

1. GİRİŞ

17 Ağustos 1999 ve 12 Kasım 1999 tarihlerinde meydana gelen Kocaeli ve Düzce Depremleri can kayıpları, yaralanmalar, verdikleri maddi ve manevi kayıplar açısından bütün toplumu şok edici ve uzun yıllar boyunca etkisinden kurtulunamıyacak sonuçlar doğurmuştur.

Depremlerin Türkiye coğrafyasının bir gerçeği olduğu hiçbir zaman unutulmamalıdır. Yaşanan bu depremler tesadüfen olmuş ya da başka bir ifadeyle bir daha olması düşünülmeyen olaylar değildir.

Türkiye, Dünya'daki önemli deprem kuşaklarından biri olan ve Azor Adaları'ndan başlayıp Güneydoğu Asya'ya kadar uzanan Alp – Himalaya deprem kuşağında yer almaktadır. Yerkürenin tektonik açıdan en karmaşık bölgelerinden biri olan ve yüksek depremselliği ile dikkatleri üzerine çeken Türkiye güneyde kuzey ve kuzey-batıya hareket eden Afrika ve Arap plakaları ile kuzeydeki Avrasya plakaları arasında yer almaktadır. Bu plakaların sıkıştırması nedeni ile batıya doğru hareket etmeye zorlanan Anadolu plakasının hareketi, batıda Ege plakasınca durdurulmaya çalışıldığından bölgede kuzey-güney yönlü genişlemeler, Ege Grabenleri, meydana gelmiştir. Türkiye'de oluşan depremlerin çok büyük bir kısmı Anadolu plakasının çevresindeki plakalarla olan sınır zonlarında meydana gelmektedir. Bu zonlar Kuzey Anadolu Fayı (KAF), Doğu Anadolu Fayı (DAF), Güneydoğu Anadolu Bindirme Kuşağı ve Ege Graben sistemidir (Özmen, 2000).

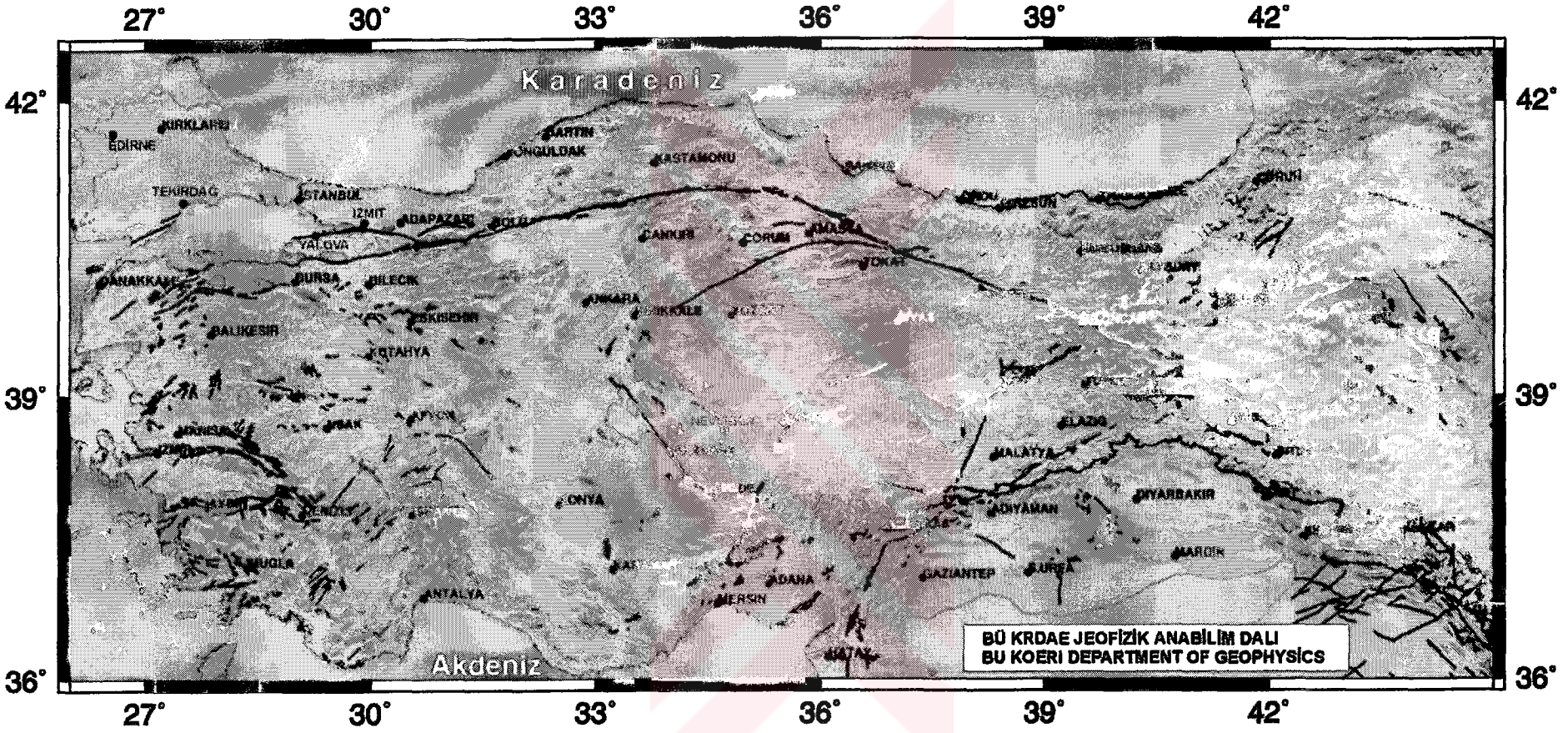
Elbetteki Türkiye'de oluşan bütün depremler sadece bu kaynaklar nedeniyle olmamaktadır. 1996 Deprem bölgeleri haritasının oluşturulmasında da bunlarla beraber Türkiye'de deprem oluşturan toplam 17 kaynak bölge göz önüne alınmıştır. Bunlar;

1. Kuzey Anadolu Fay Hattı
2. Doğu Anadolu Fay Hattı
3. Bitlis – Kenet Fay Kuşağı
4. Kuzeydoğu Anadolu Fay Kuşağı
5. Çaldıran – Balıklıgöl Fay Kuşağı
6. Batı Anadolu Hors – Graben Sistemi
7. Helen Yitim Kuşağı (Rodos Bölgesi)
8. Adana Havzası
9. Ecemiş Fay Kuşağı
10. Tuz Gölü Fayı
11. Bartın Fay Seti
12. Akçakale – Suruç Hors – Graben Sistemi (Karacadağ Yöresi)
13. Ovacık – Malatya Fay Kuşağı
14. Kırşehir – Salanda Fay Seti
15. İnegöl – Eskişehir Fay Kuşağı
16. Antalya Havzası – Kovada – Kırkavaklar Fay Kuşağı
17. Akşehir Fay Seti

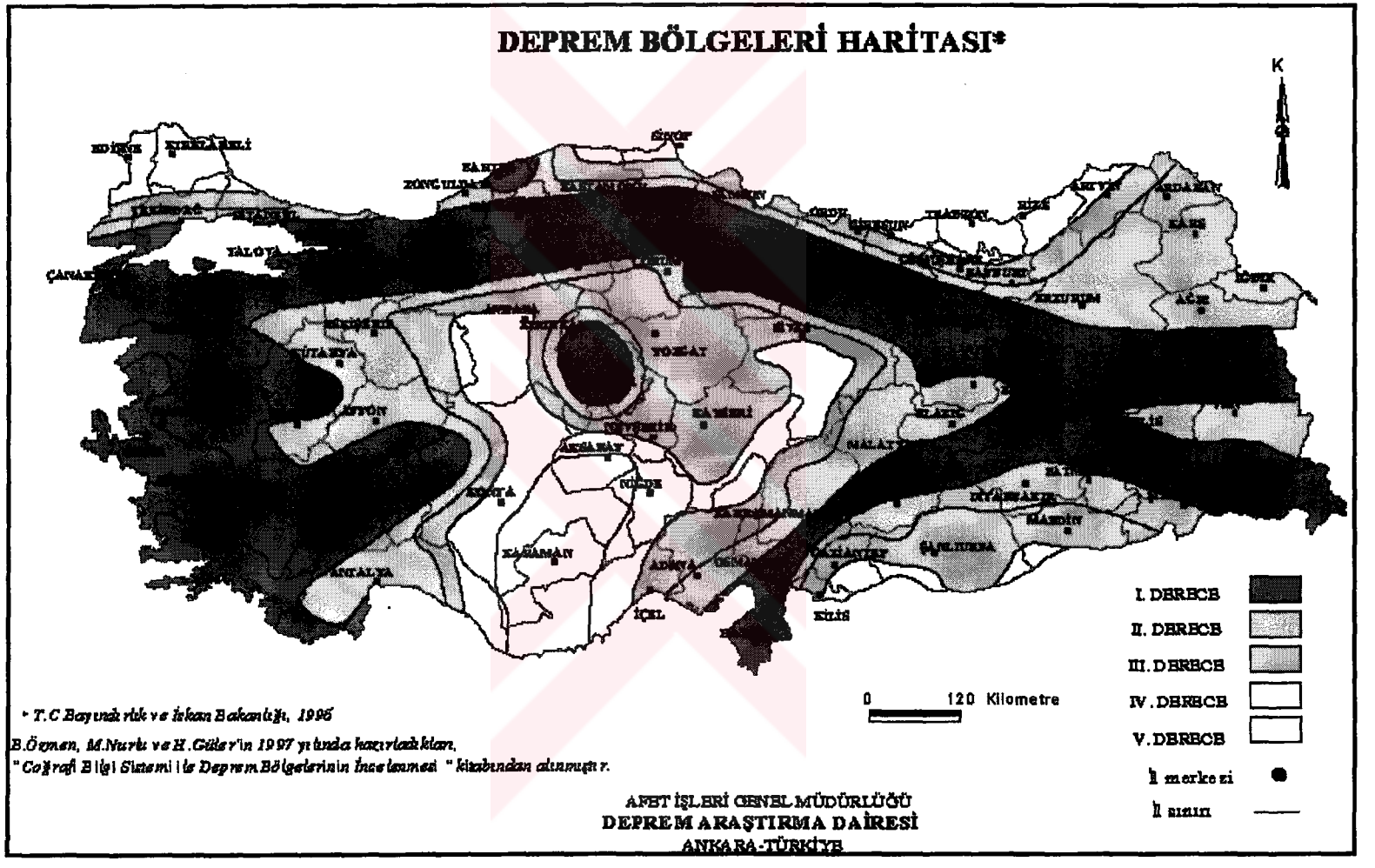
Şekil 1.1'de Boğaziçi Üniversitesi Jeofizik Anabilim Dalı tarafından hazırlanan, yukarıda bahsedilen deprem kaynak bölgelerini oluşturan aktif faylar Türkiye haritası üzerinde gösterilmiştir.

Bayındırlık ve İskan Bakanlığı 1972 yılından beri yürürlükte olan Deprem Bölgeleri Haritası'nı, yapılan araştırmaların sonucunda ulaşılan yeni bilgiler ve yukarıda da bahsedilen ve bu haritada olmayan yeni kaynak bölgeleri nedeniyle 1996 yılında yeni bir harita yayınlamak suretiyle revize etmiştir. Şekil 1.2'de verilen bu haritaya göre Türkiye 5 bölgeye ayrılmıştır. Yer ivmesinin 0,4 g ve daha büyük olması beklenen bölgeler I, 0,3 – 0,4 g arasında olması beklenen bölgeler II, 0,2 – 0,3 g arasında olması beklenen bölgeler III, 0,1 – 0,2 g arasında olması beklenen bölgeler IV ve 0,1 g'den küçük olması beklenen bölgeler V'inci deprem bölgesi olarak belirlenmiştir.

Şekil 1.1 ve Şekil 1.2 incelendiğinde haritalar arasında deprem bölgelerinin oluşturulmasında beklenen uyumun olduğu açıkça görülmektedir.



Şekil 1.1 Türkiye Diri Fay Haritası.



Şekil 1.2 Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası.

Aşağıda Tablo 1.1'de Türkiye deprem bölgeleri haritasında hangi dereceli deprem bölgesinin ne kadar alan kapladığı ve 1997 yılı itibariyle tahmini olarak bu bölgelerde ne kadar insan yaşadığı gösterilmektedir.

Tablo 1.1 Deprem bölgelerinin kapladığı alan ve buralarda yaşayan tahmini nüfus (Özmen ve diğ., 1997).

Deprem Bölgeleri	Yüzölçümü (km^2)	(%)	Nüfus (1990)	(%)	Tahmini Nüfus (1997)	(%)
I. Derece	328.995	42	25.052.683	44	28.498.740	45
II. Derece	186.411	24	14.642.950	26	16.674.656	26
III. Derece	139.594	18	8.257.582	15	9.334.138	15
IV. Derece	97.894	12	7.534.083	13	8.129.711	13
V. Derece	32.051	4	985.737	2	1.107.757	2
Toplam	784.945		56.473.035		63.745.000	

Tablo 1.1'den de açıkça görüleceği gibi Türkiye'nin üçte ikisi I. ve II. derece deprem bölgesinde yaşamaktadır. Nüfus dağılımına bakıldığında; Türkiye nüfusunun hemen hemen yarısına yakını I. derece deprem bölgesinde yaşamakta ve I. derece deprem bölgesinde yaşayanların sayısı artmaktadır.

Bu yüksek lisan tezi kapsamında Türkiye'yi gerek büyük can kayıpları, gerekse de büyük maddi kayıplar açısından oldukça derinden etkileyen 17 Ağustos 1999 Kocaeli Depremi ve depremde Adapazarı'nda meydana gelen yapı hasarlarına yerel zemin koşullarının etkisi üzerinde durulmuştur.

Bölüm 1'de genel bir giriş yapılmakta olup Türkiye deprem bölgeleri haritasının oluşumu ve deprem bölgelerinin yüzölçüm ve nüfus (tahmini) büyüklükleri yine bu bölümde verilmiştir.

Bölüm 2'de ise 17 Ağustos 1999 Kocaeli Depremi'nin özellikleri ve etkileri üzerinde durulmuştur. Deprem özellikleri kapsamında olmak üzere depremin aletsel büyüklükleri, meydana gelen can kayıpları, yaralanmalar, maddi kayıplar, deprem bölgesinin jeolojik durumu, deprem bölgesinin depremselliği (tarihsel ve aletsel dönemdeki önemli depremler), deprem bölgesinin genel tektonik özellikleri, depremin oluşturduğu yüzeysel deformasyonlar ve arazi gözlemleri, deprem yüzey

kırıkları, depremde meydana gelen yapı hasarları ve Kocaeli Depremi'nin şiddeti ve eşşiddet haritası bu bölümde işlenen başlıca konulardır. Ayrıca yapı hasarları başlığı altında ayrıntılı olarak betonarme binalarda, prefabrik betonarme yapılarda, camilerde, karayolları ve demiryollarında, viyadük, üstgeçit ve köprülerde ve de endüstriyel tesislerde meydana hasarlar fotoğraflar eşliğinde belirtilmiştir.

Bölüm 3'de zemin etkileri dolayısıyla en çok hasarın gözlendiği Adapazarı'nda yerel zemin koşulları genel bir tanımlamanın ardından Adapazarı içerisinde en çok hasarın gözlendiği bölgedeki 15 adet mahallenin yerel zemin koşulları teker teker belirtilmiştir. Ayrıca Erenler ve Serdivan'ın da yerel zemin koşulları bu bölümde işlenen konular arasındadır. Bu bölümün sonunda Adapazarı'nda en ağır hasarın olduğu bölge ile bu bölgenin yerel zemin koşulları arasındaki hasara sebebiyet yönünden olan yakın ilişki şekil üzerinde gösterilmiştir.

Bölüm 4'de, bu bölümdeki sıvılaşma analizlerine geçilmeden önce 17 Ağustos 1999 Kocaeli Depremi'nde Adapazarı'nda ölçülen ivme kaydı verilmiş ve zemin türünün deprem dalgalarına etkisi 13 Eylül 1999 artçı depreminde Adapazarı'nda alüvyon ve kayalık zeminde alınmış iki deprem kaydıyla gösterilmiştir. İstanbul Teknik Üniversitesi'nin yürüttüğü araştırma kapsamında Adapazarı'nda açtırılmış olan 9 adet sondajın yapılmış laboratuvar deney sonuçlarından yararlanılarak oluşturulan zemin kesitlerinin belirtilmesinin ardından sıvılaşma analizleri yapılmış ve sıvılaşan zemin tabakaları her bir analiz grafiği altında belirtilmiştir. Ayrıca Bölüm 3'de Adapazarı'nda en çok hasarın gözlendiği bölgedeki yerel zemin koşullarının açıklanması esnasında örnek teşkil etmesi amacıyla kullanılan 17 adet sondajın da zemin kesitlerinin şekilleri oluşturulmuş ve sıvılaşma analizleri yapılmıştır. Sıvılaşan kısımlar her bir sondaj kesiti için açıklanmıştır.

Bölüm 4'de sıvılaşma analizlerinde iki farklı yöntem kullanılarak sıvılaşma potansiyelinin tespitinde mümkün olduğu kadar güvenli kısımda kalınmaya çalışılmıştır. Sıvılaşma analizinde kullanılan yöntemler Seed ve diğ. (2001) yöntemi ve Japon Yol Kurumu (1996)'nun yöntemidir. Analizlere geçilmeden önce bu yöntemlerin sıvılaşmayı ön görü şekilleri de belirtilmiştir.

Bölüm 5'de ise vaka analizi yapılmıştır.

Bu bölümde hesaba konu olan yapı Sakarya'da Tığcılar Mahallesi'nde Çetin Sokak'da yer alan Yürüt Apartmanı'dır. 1 zemin + 4 normal kat olan binada deprem sonrasında yaklaşık 20 cm'lik batma tespit edilmiştir. Binanın yaklaşık Doğu yönüne doğru %1,5 eğik olduğu da görülmüştür. Ancak binanın taşıyıcı sistemi, depremden sonra oluşan bu durumuyla depremden önceki durumuna göre yapısal güvenliğini kaybetmemiştir. İki blok şeklinde inşaa edilen yapının bir kenarında sıvılaşma, diğer üç kenarında ise taşıma gücü kaybı gözlenmiştir. Bu yapının zemin koşullarının

tespiti amacıyla apartman sahibinin isteği doğrultusunda açtırılmış 3 adet sondaja göre zemin özellikleri de yine bu bölümde belirtilmiştir. Ayrıca bu 3 sondajdan elde edilen zemin kesitlerine göre zeminin taşıma gücü tahkiki ve sıvılaşma analizleri yapılmıştır. Statik yüklemelere göre yapılan taşıma gücü hesabının dinamik etki altındaki durumu da yine bu bölümün sonuç kısmında belirtilmiştir.

Bölüm 6'da ise bütün bu çalışmalar, arazi gözlemleri ve yapılan analizler sonucunda elde edilen genel sonuçlar özetlenmiştir.

2. 17 AĞUSTOS 1999 KOCAELİ DEPREMİ VE DEPREMDE MEYDANA GELEN HASARLAR

2.1 17 Ağustos 1999 Kocaeli Depremi Genel Özellikleri

17 Ağustos 1999 tarihinde Türkiye yerel saati ile 03:02'de İzmit (Kocaeli) il merkezinin 2 km güneydoğusunda Kuzey Anadolu Fay Zonu üzerinde süre magnitüdü (M_d) cinsinden 6,7 ve moment magnitüdü (M_w) cinsinden 7,4 büyüklüğünde olan bir deprem meydana gelmiştir. Bu depremin dış merkezinin 40,70 K ve 29,91 D koordinatlarında bulunduğu ve de derinliğinin 15,9 km olduğu Deprem Araştırma Dairesi (DAD) tarafından belirlenmiştir. Yine aynı çalışma kapsamında depremin en büyük şiddeti Medvedev – Sponhever – Karnik (MSK) 12 dereceli şiddet cetveline göre X olarak saptanmıştır.

Deprem merkez üssüne en yakın ivme kaydı, İzmit Meteoroloji İstasyonu'ndan alınmıştır. Buna göre, maksimum ivme Kuzey-Güney doğrultusunda 163 mG, Doğu-Batı doğrultusunda 220 mG ve düşey doğrultuda 123 mG dir. Görüldüğü gibi, üç bileşen de birbirleri ile kıyaslanabilir büyüklüktedir (Kocaeli Depremi İTÜ Ön Raporu, 1999).

17 Ağustos 1999 Kocaeli Depremi sonrasında değişik kurumlar tarafından yayımlanan deprem parametreleri başlangıçta bazı karışıklıklara yol açsa bile, daha sonra ayrıntılı olarak bu parametrelerin hesap yöntemleri açıklandığında ortada yanlış bir durumun olmadığı anlaşılmıştır. Yani tek başına magnitüd kelimesinin magnitüdün türü (moment magnitüdü, süre magnitüdü, yüzey dalgası magnitüdü, cisim dalgası magnitüdü vs.) belirtilmediği zaman karışıklığa yol açması doğaldır.

Kocaeli Depremi'nin değişik kurumlarca hesaplanmış parametreleri Tablo 2.1'de verilmiştir.

Tablo 2.1 17 Ağustos 1999 Kocaeli Depremi'nin değişik kurumlarca hesaplanmış parametreleri (Demirtaş ve diğ., 2000).

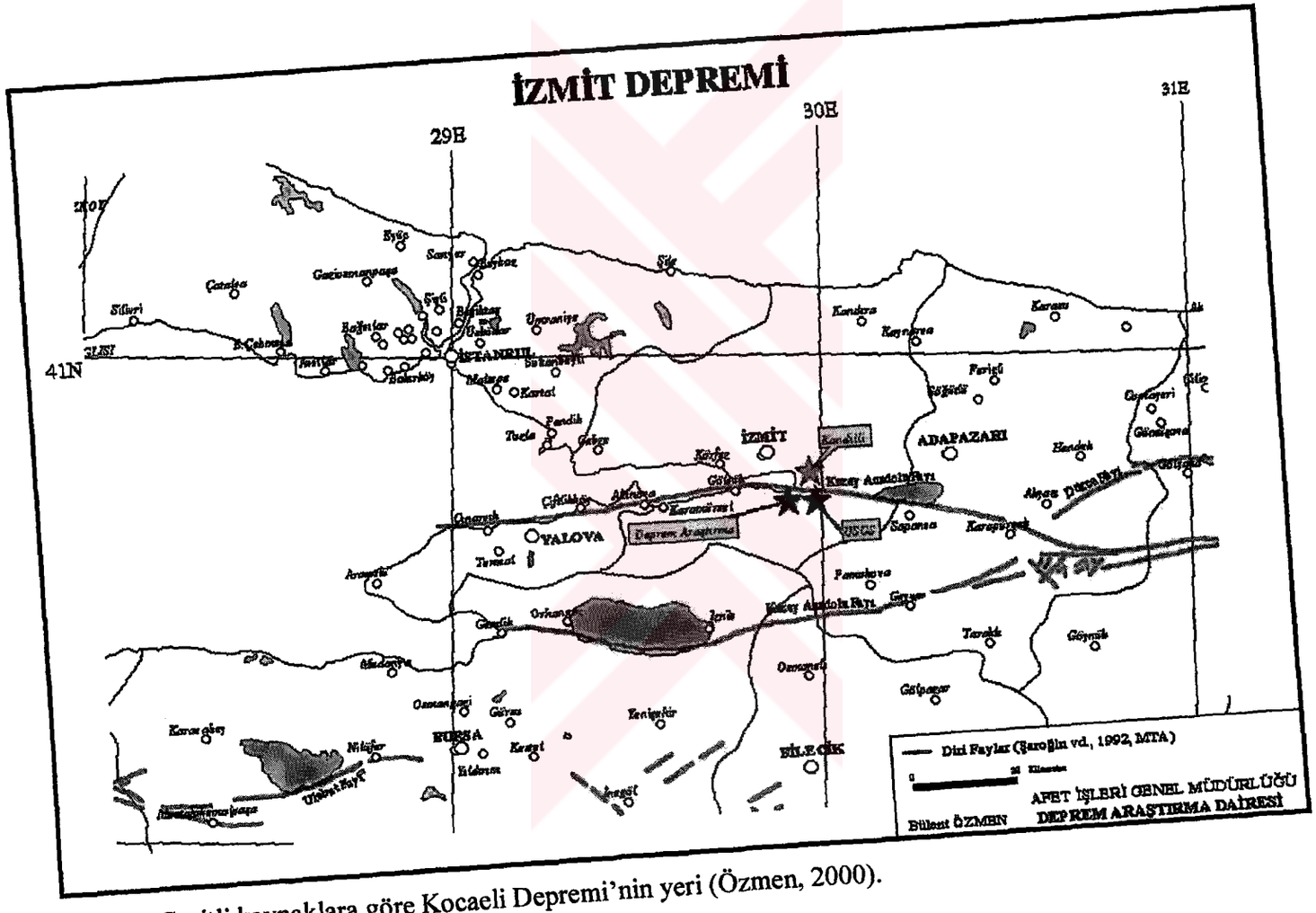
KURUM	Tarih	Enlem (°)	Boylam (°)	Derinlik	M_w	M_d
Afet İşleri Genel Müdürlüğü Deprem Araştırma Dairesi	17/08/1999 00:01:39.07 (GMT)	40,70	29,91	15,9 km	7,4	6,7
Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi	17/08/1999 03:01:37.06 (YS)	40,76	29,97	18 km		7,4
USGS (U.S. Geological Survey)	17/08/1999 00:01:39.80 (GMT)	40,702	29,987	17 km	7,4	

Kocaeli Depremi'nin değişik kurumlarca hesaplanmış parametrelerine dayanılarak oluşturulan dış merkez yerleri de Şekil 2.1'de verilmiştir.

Depremden etkilenen illerin il merkezlerinin deprem merkezine olan uzaklıkları belli bir tolerans dahilinde İzmit 12 km, Adapazarı 39 km, Yalova 59 km, Bilecik 61 km, İstanbul 85 km, Bursa 94 km, Eskişehir 113 km, Bolu 142 km, Zonguldak 180 km ve Tekirdağ 210 km olarak hesaplanmıştır (Demirtaş ve diğ., 2000).

Depremden İstanbul, Kocaeli, Sakarya, Bolu, Bursa, Zonguldak, Eskişehir ve Yalova şehirleri önemli derecede etkilenmiştir. Bu şehirlerde ağır yapısal hasarlar, can kayıpları, yaralanmalar ve büyük maddi kayıplar meydana gelmiştir. Depremin meydana geldiği bölgenin Türkiye ekonomisi açısından önemi çok büyüktür. Sanayi kuruluşlarının bahsi geçen bölgede büyük yatırımlar yapıp fabrikalar kurması dolayısıyla şehirleşme ve nüfus yoğunluğu da bunlarla bağlantılı olarak düzensiz bir şekilde gelişmiştir. Böylesine büyük nüfus yoğunluğuna sahip bir bölgede meydana gelen deprem, yanlış yapılaşmadan dolayı can ve mal kayıplarının da çok olmasına sebep olmuştur. En fazla can ve mal kaybı da Kocaeli, Sakarya ve Yalova illerinde meydana gelmiştir.

Depremden etkilenen illerin 1997 nüfus sayımına göre nüfusları Tablo 2.2'de verilmiştir.



Şekil 2.1 Çeşitli kaynaklara göre Kocaeli Depremi'nin yeri (Özmen, 2000).

Tablo 2.2 Depremden etkilenmiş illerin 1997 yılı itibariyle nüfus durumları (Demirtaş ve diğ., 2000).

İl Adı	Toplam Nüfus	Şehir Nüfusu	%	Köy Nüfusu	%	Yüzölçümü (km^2)	Nüfus Yoğunluğu
Bilecik	192.060	116.004	60	76.056	40	4.302	45
Bolu	553.022	265.052	48	287.970	52	10.887	51
Bursa	1.958.529	1.484.838	76	473.691	24	10.422	188
Eskişehir	660.843	518.643	78	142.200	22	13.841	48
İstanbul	9.198.809	8.506.026	92	692.783	8	5.196	1.770
Kocaeli	1.177.379	629.333	53	548.046	47	3.612	326
Sakarya	731.800	331.431	45	400.369	55	4.838	151
Tekirdağ	567.396	358.878	63	208.518	37	6.313	90
Yalova	163.916	110.106	67	53.810	33	848	193
Zonguldak	612.722	239.186	39	373.536	61	3.304	185
TOPLAM	15.816.476	12.559.497		3.256.979		64.365	

Yukarıda verilen Tablo 2.2'ye göre depremden 1997 nüfus sayımları sonuçlarına göre yaklaşık onaltı milyon kişi değişik oranlarda etkilenmiştir. Depremden değişik şekillerde etkilenen bu nüfusun Türkiye nüfusunun takriben dörtte birine eşit olması depremin etkisinin ne kadar da büyük olduğunu göstermektedir. Deprem bölgesinde yaşayan insanların büyük bir çoğunluğu (%80'i) şehir merkezlerinde, geriye kalan kısmı da (%20'si) köylerde yaşamaktadır.

Ne yazık ki böylesine büyük etkileri olan bir depremden dolayı birçok insan ölmüş ve birçok insan da yaralanmıştır. Başbakanlık kriz merkezinden elde edilmiş bilgilere göre ölü ve yaralı sayıları Tablo 2.3'de verilmiştir.

Tablo 2.3 Kocaeli Depremi'nde illere göre ölü ve yaralı sayıları.

İL ADI	ÖLÜ SAYISI	YARALI SAYISI
KOCAELİ	9.476	19.447
SAKARYA	3.890	7.284
YALOVA	2.504	6.042
İSTANBUL	981	7.204
BOLU	271	1.165
BURSA	268	2.375
ESKİŞEHİR	86	375
ZONGULDAK	3	26
TEKİRDAĞ	-	35
TOPLAM	17.479	43.953

Bursa ilinde ölen kişilerin 258 tanesi, İstanbul ilinde ölen kişilerin 527 tanesi, Eskişehir ilinde ölenlerin 53 tanesi yaralı olarak diğer bölgelerden gelmiş ve tedavi olurken bu illerde ölmüştür. Yani aslında deprem nedeniyle Bursa ilinde 10 kişi, İstanbul ilinde 454 kişi, Eskişehir ilinde de 33 kişi ölmüştür (Özmen, 2000).

Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü Kriz Yönetim Merkezi verilerinden oluşturulmuş olan bilgilere göre bu deprem nedeniyle 66.441 konut ve 10.901 işyeri ağır hasara, 67.242 konut ve 9.927 işyeri orta hasara, 80.160 konut ve 9.712 işyeri de hafif hasara uğramıştır (Özmen, 2000). Toplam miktarlar şeklinde verilmiş olan bu hasar durumu Tablo 2.4'de il bazında verilmiştir.

Tablo 2.4 Kocaeli Depremi sonucunda oluşan il il hasar durumları.

	HASAR DURUMU					
	AĞIR		ORTA		HAFİF	
ŞEHİR	EV	İŞYERİ	EV	İŞYERİ	EV	İŞYERİ
BOLU	3.095	649	4.180	1.015	3.303	482
BURSA	63	5	434	19	940	68
ESKİŞEHİR	80	19	96	8	314	22
İSTANBUL	3.073	532	13.339	1.999	12.455	1.239
KOCAELİ	19.315	3.031	21.287	3.001	22.452	3.227
GÖLCÜK	12.310	1.870	7.789	886	9.299	1.118
SAKARYA	19.043	4.068	12.200	1.963	18.712	1.675
YALOVA	9.462	727	7.917	1.036	12.685	1.881
TOPLAM	66.441	10.901	67.242	9.927	80.160	9.712

Kocaeli Depremi, yukarıda verilen tablolardan da görüleceği üzere sanayileşme sonucunda oluşan nüfus yoğunluğundan dolayı çok büyük can ve mal kayıplarına yol açmıştır.

Nasıl ki can kayıplarını, yaralanmaları ve hasar durumlarını gösteren bütün veriler yaklaşık tahminlere dayanılarak oluşturulduysa depremin ekonomik etkisi de tam olarak bilinememektedir. Ancak tahminler üretilebilmektedir. Çeşitli kaynaklar çok farklı rakamlar ortaya koymaktadır. Kesin olmamakla birlikte ekonomik kayıpların sosyo-ekonomik kayıplar, 5 milyar Amerikan Doları (USD) tutarında binalarda meydana gelen fiziksel hasarlar, 2 milyar USD tutarındaki bölgedeki her türlü sanayinin uğradığı kayıplar, demiryolu, liman işletmeleri, alt yapı tesisatları ve otoyol/yol ulaşım sistemlerinin uğradığı hasarlar da göz önüne alınarak 16 milyar USD olduğu zannedilmektedir (EDM Raporu). Tabi ki bu rakam çok yaklaşık hesaplarla bulunmuş bir miktardır.

2.2 Deprem Bölgesinin Genel Jeolojik Durumu

17 Ağustos 1999 Kocaeli Depremi kırığının geliştiği bölge, doğrultu atım ve çekme tektoniğinin egemen olduğu aktif bir çöküntü içerisinde yer almaktadır. Bölgenin jeolojisi ve paleotektonik ve neotektonik gelişimi ile depremselliği hakkında çeşitli araştırmalar gerçekleştirilmiştir (Ketin, 1966; Şengör, 1979; Toksöz ve diğ., 1979;

Şengör ve Yılmaz, 1981; Kato, 1988; Barka ve Cadinsky-Cade, 1988; Koçyiğit, 1993; Demirtaş, 1994, 1995, 1996; Bargu, 1993,1997; Hoşgören, 1995; Demirtaş ve Yılmaz, 1996; Seymen, 1995; Üçer ve diğ., 1997; Stein ve diğ., 1997; Barka, 1997; Okay, 1999).

Kocaeli Depremi kırığının uzandığı bölge Armutlu ve Almacık bloklarının kuzey kesimlerini oluşturmaktadır. Armutlu Yarımadası K – G ve KD – GB eksenli büyük bir antiklinoryum tarafından denetlenmektedir (Kato, 1988). Bölgenin taban kayacını prekambriyen-alt paleozoyik yaşlı Pamukova metamorfitleri ile karbonifer-permiyen yaşlı serpantin, şist, gnays ve granitik kayaçlardan ibaret olistolitler ile türbiditik ve volkanoklastik kayaçlar oluşturmaktadır.

Eosen yaşlı mağmatik ve volkanik kayaçlar bölgede geniş bir alanda yayılım göstermektedir. Miyosen yaşlı sedimanter kayaçlar, eosen yaşlı birimleri açılı uyumsuz örterken, pliyosen yaşlı birimler tarafından açılı uyumsuz örtülürler. Pliyosen ve kuvaterner yaşlı birimler karasal ortamda depolanmış çökellerden oluşmaktadır.

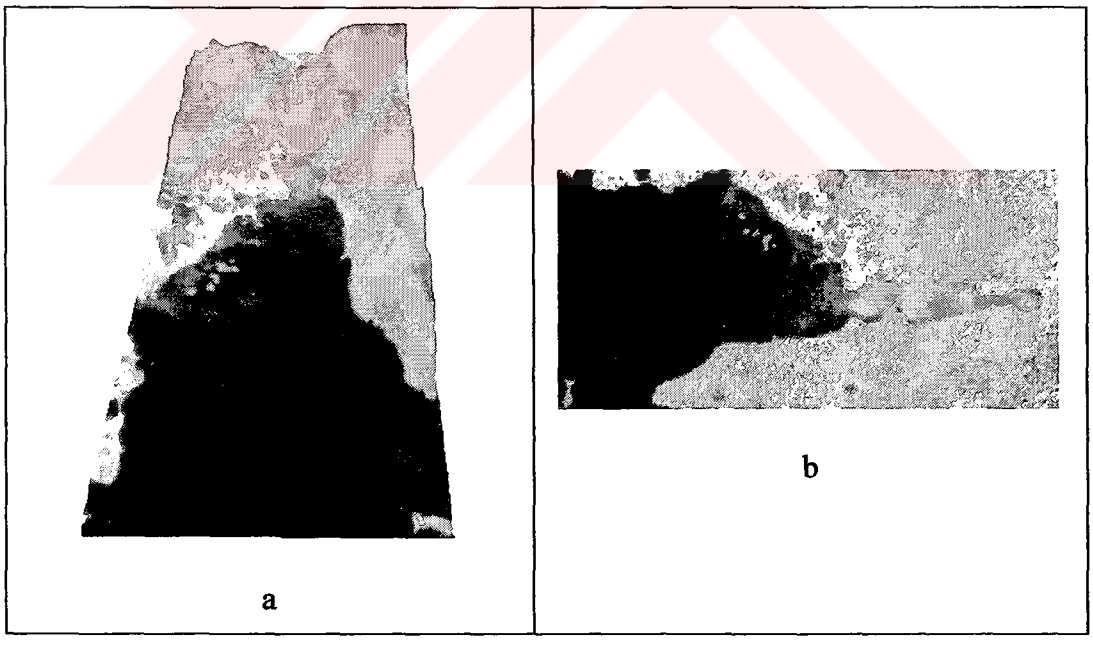
Pliyosen yaşlı akarsu-gölsel istif, KAF boyunca, Sapanca Gölü güneybatısında, Feyziye, Yuvacık, Gölcük güneyi, Bahçecik kuzeyini kapsayan Sapanca Gölü – İzmit Körfezi arasında dağ eteklerinde yüzeylenmektedir. Bu birimler, kumtaşı, silttaşı ve çakıltaşı ardası halinde akarsu çökelleri ile temsil edilmektedir. Feyziye'de pliyosen birimlerin kalınlığı, 50 – 75 metreye kadar ulaşmaktadır. Çakıllar, genellikle eosen yaşlı andezit ve neojen yaşlı tüflerden oluşmaktadır. Kullar beldesi, Rahmiye Köyü civarında açılmış araştırma hendeğinde, yüzeyin 5 m altında körfez çamurları ve akarsu çökelleri gözlenmiştir.

İzmit körfezi güneyi boyunca, pliyosen yaşlı birimler, silt, tüf ve kum ardalanmasıyla temsil edilmektedir. Çınarcık – Karamürsel arasında, bu birimler kıyı boyunca yer almaktadır. Yalova güneyi ve Karamürsel güneybatısında pliyosen birimleri silttaşı ve kumtaşlarından oluşmaktadır. Yalova yakınlarında Hersek deltası ve Altınova'da çakıl, kum, silt ve kil tabakalarından ibaret gevşek ve suya doygun alüvyonlar yer almaktadır.

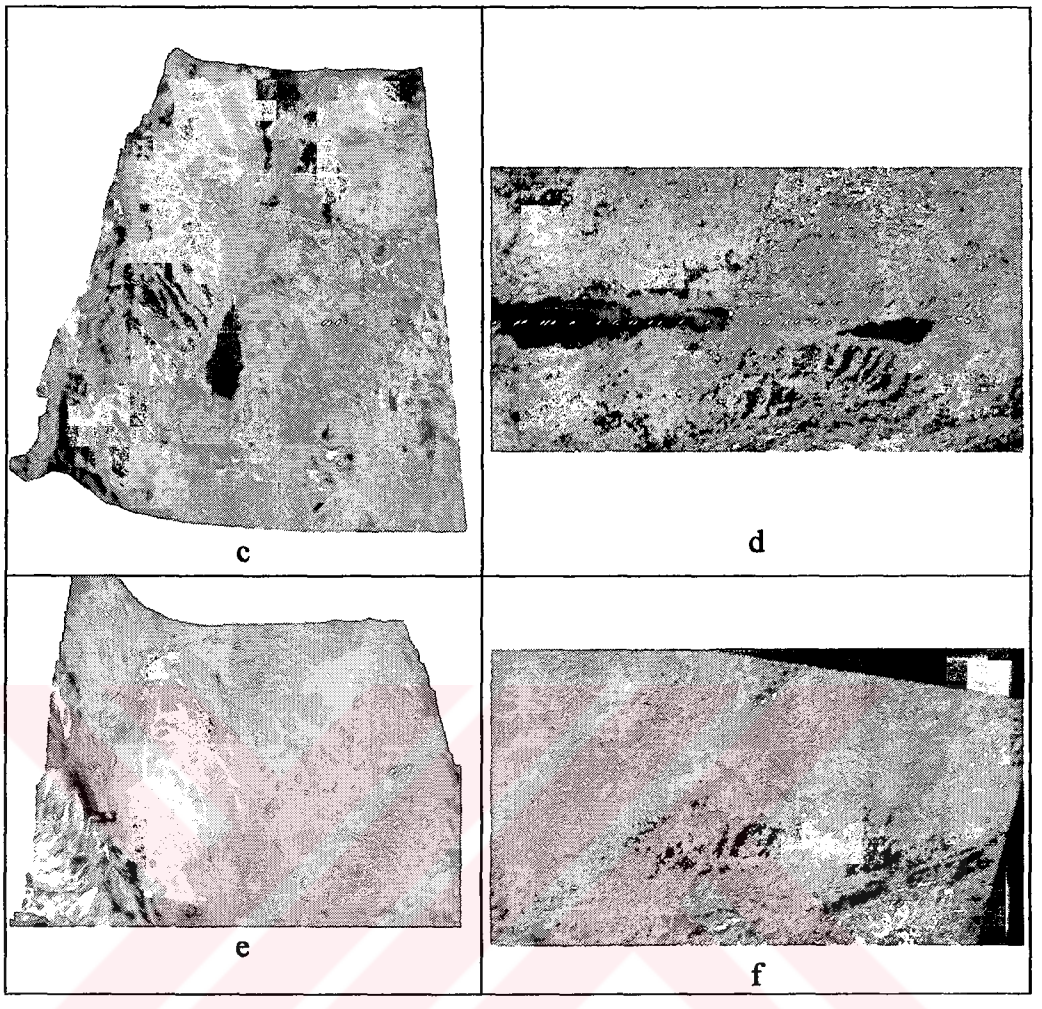
Sapanca Gölü – Akyazı arasında alt ordovisiyen yaşlı kumtaşı ve şeyl ardalanmasından ibaret filiş birimleri yer alır. Sakarya kuzeyinde orta devoniyen – alt karbonifer yaşlı sığ denizel rekristalize ve dolomitik kireçtaşları bulunur. Sapanca Gölü – Akyazı arasında permiyen-triyas yaşlı çakıltaşı, kumtaşı ve çamurtaşı ardalanmasından oluşan çökeller gözlenmektedir. Akyazı güneyinde ve güneydoğusunda alt-orta eosen yaşlı andezit ve bazaltlardan ibaret volkanik bir istif yer alır. Bu bölümde, pliyosen yaşlı çakıltaşı-kumtaşı ve kiltaşlarından ibaret akarsu-gölsel çökeller, genellikle KAF boyunca gözlenir. Akyazı, Adapazarı ve Hendek

ovalarında 300 metre kalınlığa erişen kalın, gevşek ve suya doygun alüvyonlar dağılım gösterir. Düzce Ovası'nın temelini ise paleozoyik yaşlı kumtaşı, silttaşı ve şeyllerden oluşan bir istif oluşturmaktadır. Bu birimlerin üzerine kretase yaşlı kayaçlar uyumsuz gelmektedir. Kretase yaşlı kayaçların üzerine tersiyer yaşlı pekişmemiş çökeller yer almaktadır. Düzce Ovası'nın en üst seviyesinde genç gölsel-akarsu çökelleri dağılım göstermektedir (Demirtaş, 2000).

Bölgenin jeolojik durumu kısaca şu şekilde özetlenebilir: Depremin etkilediği bölge jeolojik açıdan Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun batı kesiminde yer almaktadır. 1/500.000 ölçekli Türkiye jeoloji haritası baz alındığında bölgenin paleozoyik, mesosoyik ve senozoyik yaşlı çok çeşitli litolojik birimlerden oluştuğu görülmektedir. Özellikle senozoyik döneme ait birimlerden pliyosen ve kuvaterner yaşlı oluşumlar üzerinde depremin hasar açısından daha etkili olduğu gözlenmiştir. Jeolojik açıdan bir diğer önemli husus da; depremin etkilediği afet bölgesindeki basenlerin varlığıdır. Kuvaterner yaşlı bu basenler İzmit-Sapanca Gölü arasında, Adapazarı Baseni, Düzce Baseni, Bolu Baseni olarak KAF zonunun batı kesiminde bir sıra boyunca dizilmişlerdir. Çoğunlukla bu basenlerin sınırları tektonik yapılarla sınırlandırılmıştır. Şekil 2.2'de uydu görüntüleri üzerinde bu basenlerin dağılımı net olarak görülmektedir (Nurlu ve diğ., 2000).



Şekil 2.2 İnceleme alanına ait uydu görüntüleri (a-b: İzmit Körfezi'nin batıdan doğuya doğru 3 boyutlu uydu görüntüsü, ölçeksiz) (Nurlu ve diğ., 2000).

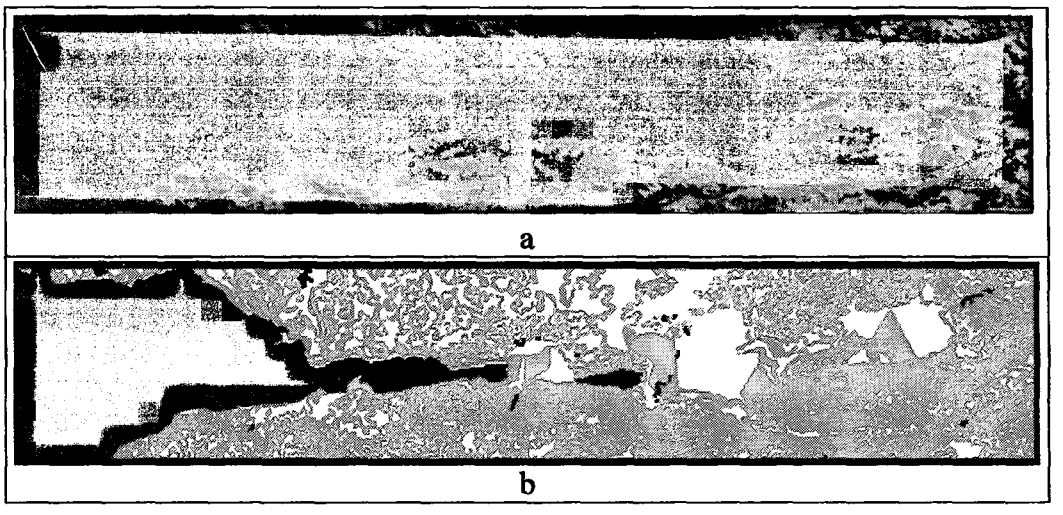


Şekil 2.2 İnceleme alanına ait uydu görüntüleri (c-d: Akyazı'dan İzmit Körfezi arasının 3 boyutlu uydu görüntüsü, bakış doğudan batıya; e-f: Gölyaka-Mudurnu Vadisi civarının 3 boyutlu uydu görüntüsü, bakış doğudan batıya doğru, ölçeksiz) (Nurlu ve diğ., 2000).

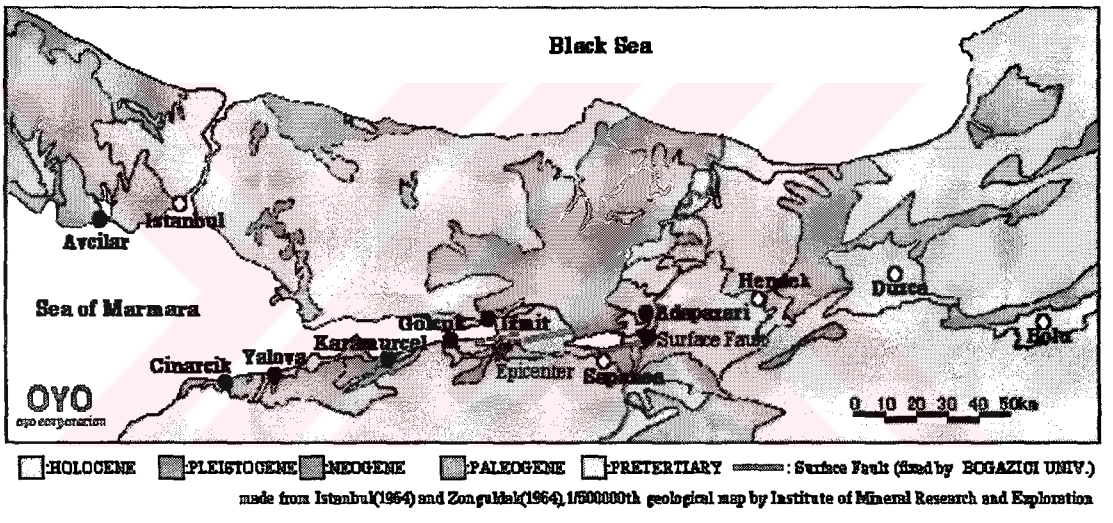
Morfolojik açıdan deprem bölgesine bakıldığında (Şekil 2.3), bölgenin güney ve kuzeyindeki yükseltiler arasında göllerin de içinde bulunduğu basenler boyunca doğu-batı uzanımlı topoğrafik olarak düşük eğimlere sahip düzlükler yer almaktadır. Şekil 2.3'de görüldüğü gibi Yalova-Bolu arasında düşük eğime (0°-10°) sahip bölgeler afet bölgesinin % 34' nü oluşturmaktadır (Nurlu ve diğ., 2000).

Ayrıca bölgenin jeolojik yapısı Şekil 2.4'de verilmiştir.

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ



Şekil 2.3 İnceleme alanının 1/250.000 ölçekli topoğrafik haritalardan elde edilmiş a) kabartma ve b) eğim haritası (ölçeksiz) (Nurlu ve diğ., 2000).

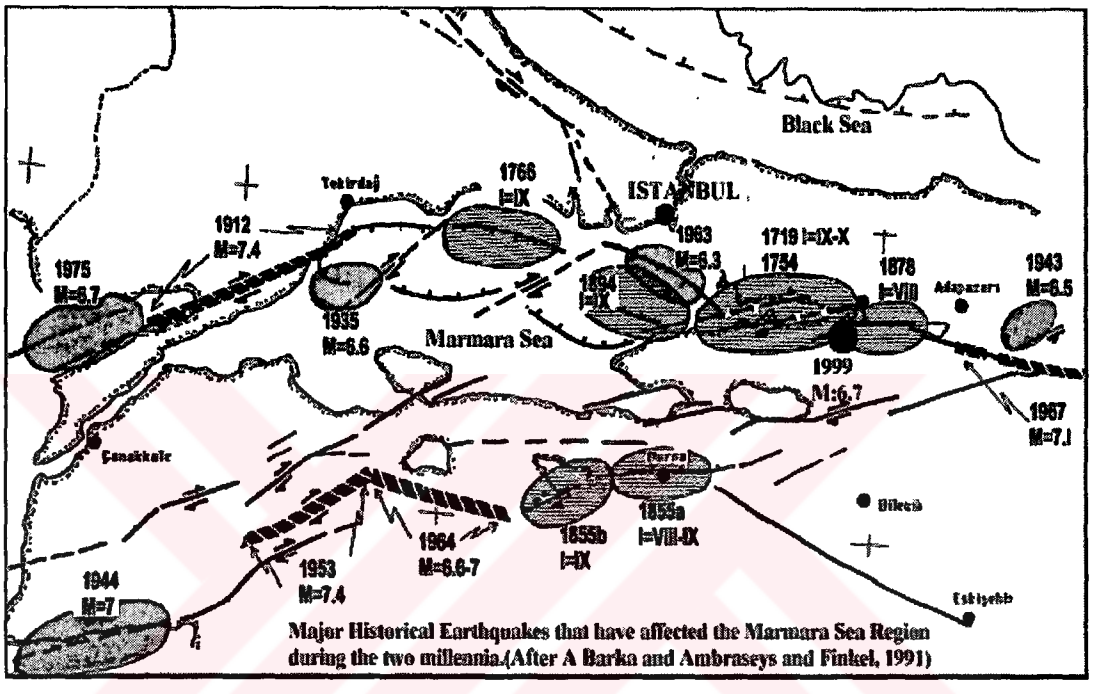


Şekil 2.4 Deprem bölgesinin jeolojik durumu (OYO Corporation, 2000).

2.3 Deprem Bölgesinin Depremselliği

2.3.1 Başlıca Tarihsel ve Aletsel Dönem Depremleri

Geçmiş iki bin yıl süresince İzmit Körfezi ve Marmara Denizi boyunca birçok deprem olmuştur. Bunlardan tarihsel arşivler ve aletsel dönemde elde edilmiş deprem kayıtları sonucunda ulaşılan en başlıcaları aşağıda belirtilmiştir. Ayrıca Şekil 2.5'de en önemlileri verilmiştir.



Şekil 2.5 İzmit Körfezi ve Marmara Denizi boyunca olmuş tarihsel büyük depremler (Barka ve diğ., 1991).

Barka ve diğ. (1991) ve Demirtaş (2000)'e göre bahsi geçen depremler;

24 Kasım 29 Depremi, deprem sonucunda İzmit hasara uğramıştır.

69 yılı Depremi, Nicomedia (İzmit) bir deprem sonucunda yıkıma uğramıştır.

121 yılı Depremi, Nicomedia (İzmit) bir deprem sonucunda tamamen yıkıma uğramıştır.

128 yılı Depremi, Nicomedia (İzmit) bir deprem sonucunda yıkıma uğramıştır.

269 yılı Depremi, Nicomedia (İzmit) ve Daciviza (Gebze)'ye kadar olan bölge bir deprem sonucunda harap olmuştur.

2 Aralık 362 Depremi, Nicomedia (İzmit) bir deprem sonucunda tamamen yıkıma uğramıştır.

26 Ocak 446 Depremi, İzmit Körfezi'nde hasar yapıcı bir deprem olmuştur.

25 Eylül 478 Depremi, Helenopolis (Karamürsel) ve Nicomedia (İzmit) çok büyük can kayıplarıyla beraber tamamen yıkıma uğramıştır.

16 Ağustos 554 Depremi, yıkıcı bir deprem neticesinde Nicomedia (İzmit)'in en gelişmiş kısımları çöküntüye uğramıştır.

26 Ekim 740 Depremi, Nicomedia (İzmit), Praenetos (Karamürsel) ve Nicaea (İznik) bir deprem neticesinde hasara uğramıştır.

25 Ekim 989 Depremi, Marmara Denizi'nin doğu kısmında olan bir deprem Nicomedia (İzmit)'de ağır hasara neden olmuştur.

23 Eylül 1064 Depremi, İstanbul ve İzmit arasında kalan bölge, bir deprem nedeniyle hasara uğramıştır.

1509 İstanbul Depremi (Küçük Kıyamet), değişik kaynaklara göre İstanbul'da 5.000 ile 13.000 arasında can kaybına neden olmuştur. Depremde İstanbul'da 109 cami, 1070 ev ve İzmit'de 5 cami ve 300 ev tamamen yıkılmıştır. Deprem batıda Gelibolu'dan, doğuda Çorum'a kadar geniş bir alanda hissedilmiştir. Deprem, tsunami oluşturmuş ve Aksaray'ın su altında kalmasına neden olmuştur. Yenikapı'da dalgalar duvarları aşmıştır. Artçı depremlerin, ana şoktan sonra 45 gün devam ettiği rapor edilmiştir. VII şiddet bölgesi 200 km uzunlukta, Silivri'den İzmit'e kadar olan bir bölge için belirlenmiştir. Hasar dağılımı ve sönümlenme ilişkileri depremin en büyük şiddetinin XI ve büyüklüğünün ise 7,7 civarında olduğunu göstermektedir (Demirtaş, 2000).

1 Ekim 1567 Depremi, Sapanca merkezli bir deprem İstanbul ve İzmit arasında hasara neden olmuştur.

25 Mayıs 1672 Depremi, deprem neticesinde İzmit hasara uğramıştır.

24 Mayıs 1719 Depremi, özellikle İzmit'te ağır hasar yapmış ve 4000 kişinin ölmesine neden olmuştur. Bu ölenlerden 600 kişi 6 caminin enkazı altında kalarak ölmüştür. Ayrıca Yalova'nın yarısı önemli hasara sahne olmuş ve Sapanca ve Düzce'de yaşayan halk depremden çok etkilenmiştir. Marmara Denizi'nin doğu kenarı, özellikle İzmit Körfezi boyunca geniş bir alanda sıvılaşma olmuştur. İzmit'deki hasar ile karşılaştırıldığında İstanbul'da daha hafif hasar olmuştur. Hasar raporları, ana şokun iç merkezinin Sapanca Gölü ile Karamürsel arasında, muhtemelen İzmit civarında merkezlendiğini göstermektedir. En büyük hasar alanı, Yalova ile Düzce arasında 150 km uzunlukta dar bir bölgede yoğunlaşmıştır. Bu alan için şiddet değeri VII – VIII olarak tayin edilmiştir. Hasar dağılımının büyüklüğü, depremin en büyük şiddetinin XI ve büyüklüğünün 7,7 olduğunu göstermektedir. Diğer yandan Yalova ile Düzce arasındaki 75 km uzunluktaki bölge için şiddet değeri VII olarak varsayılırsa, depremin en büyük şiddeti X ve büyüklüğü 7,25

olarak belirlenebilir. Hasar raporları, depremin İzmit Körfezi güneyi boyunca uzanan fay segmentini kırdığına işaret etmektedir (Demirtaş,2000).

2 Eylül 1754 Depremi, İzmit Körfezi'nde önemli bir deprem meydana gelmiştir. Köyler tamamen yıkıma uğrayıp yaklaşık 2000 insan ölmüştür. Demirtaş (2000)'e göre depremin 1963 Çınarcık depreminin yırttığı fay segmentini kırmış olduğu düşünülmektedir.

22 Mayıs 1766 Depremi, Büyük ve Küçük Çekmece ile Burgaz Adası'nda oldukça ağır hasara neden olmuştur. İstanbul'daki camiler önemli hasar görmüşlerdir. Buna karşıt, İzmit'teki hasar 1719'dakinden daha hafif olmuştur. Depremin Marmara Denizi içinde, Silivri'nin güneyinde bir yerde olduğu tahmin edilmektedir. Deprem, İzmit Körfezi boyunca sıvılaşmalara neden olmuştur. Buna karşılık, sıvılaşmalar daha küçük şiddetlerde gelişmiştir. Değişik deprem raporları, bu depremin 1509 depreminden sonra olmuş en şiddetli deprem olduğunu göstermektedir (Demirtaş, 2000).

19 Nisan 1878 Depremi, deprem İzmit'de hasara neden olmuştur.

Soysal ve diğ. (1981) tarafından hazırlanan ve Milattan Önce (M.Ö.) 2100 – Milattan Sonra (M.S.) 1900 yıllarını kapsayan tarihsel deprem kataloğuna göre 27D – 32D boylamları ve 39K – 42K enlemleri arasında 212 tane deprem olmuştur (Özmen, 2000).

10 Temmuz 1894 Depremi, 363 kişinin ölmesine ve 300 kişinin yaralanmasına neden olmuştur. Bu kişilerden 280'i İstanbul'da ölmüştür. Deprem İstanbul'dan Adapazarı'na kadar uzanan geniş bir alanda hasar yapmıştır. Eginitis, en ağır hasarın Prenses Adaları'nda olduğunu rapor etmiştir. Adapazarı'nda birkaç can kaybı ve hasar olmuş, buna karşılık İzmit'te hasar çok hafif olmuştur. Kınalıada'da ve Heybeliada'da KB – GD doğrultulu 200 m uzunlukta yarıklar ve Ambarlı'da D – B yönlü 3 km uzunlukta yarıklar oluşmuştur. Marmara Denizi'nin kuzey sahil kesiminde, Küçük Çekmece – Kartal arasında ve Prenses Adaları'nda tsunami meydana gelmiştir. Tsunami dalgalarının yüksekliğinin 6 metreye kadar ulaştığından bahsedilmektedir. Hasar dağılımı ve tsunami dalgaları, 1894 depreminin en büyük şiddetinin X ya da XI ve büyüklüğünün 7,5 civarında olabileceğini göstermektedir (Demirtaş, 2000).

1 Şubat 1944 Depremi, Bolu – Gerede'de 7,2 büyüklüğünde bir deprem olmuştur.

26 Mayıs 1957 Depremi, Abant Depremi olarak bilinen bu depremin büyüklüğü Ms =7,0'dir. Bu depremin makrosismik dış merkezi 40,57 K – 31,00 D şeklindedir. 40 km fay kırığı şeklinde kendini gösteren depremde en büyük ve ortalama yer değiştirmeler aynı sırada olmak üzere 165 cm ve 55 cm'dir. Deprem Abant Gölü

(doğu) ve Dokurcun (batı) arasında 40 km'lik uzun ve dar bir vadide büyük tahribata neden olmuş ve şiddetinin X olduğu Ambraseys (1988) tarafından ifade edilmiştir.

22 Temmuz 1967 Mudurnu Depremi, Ms = 7,1 büyüklüğünde ve dış merkezi 40,60K – 30,80D şeklinde, 1957 Depremi'ni oluşturan fayın batı kesimindeki uzantısının bir etkisi olarak meydana gelmiştir. Deprem 80 km uzunluğundaki bir fay segmentinde meydana gelmiştir. En büyük ve ortalama yer değiştirmeler sırasıyla 260 cm ve 90 cm'dir. Deprem Mudurnu vadisinde en büyüğü X şiddetinde olmak üzere ve nehir alüvyonlarının fay kırığından 25 km mesafede bulunup geniş alanların sıvılaşmaya maruz kalmasından dolayı ağır hasara neden olmuştur (Ambraseys, 1988).

Kocaeli Depremi'nin etki alanını içeren inceleme alanı içinde 1900 – 1999 tarihleri arasında 22 tane hasar yapan deprem olmuştur. Bu depremler Bağcı ve diğ. (2000)'in hazırladığı kataloglardan yararlanılarak Tablo 2.5'de verilmiştir.

Tablo 2.5a Bölgede 1912 – 1999 yılları arasında hasar yapan depremlerin parametreleri (Özmen, 2000).

Yer	Tarih	Enlem (°)	Boylam (°)	Derinlik (km)	Ms	I_0
Mürefte	09/08/1912	40,60	27,20	16	7,3	
Erdek	04/01/1935	40,40	27,49	30	6,7	IX
Bigadiç-Sındırgı	15/11/1942	39,55	28,55	10	6,1	VIII
Adapazarı-Hendek	20/06/1943	40,85	30,51	10	6,6	IX
Mudurnu	05/04/1944	40,84	31,12	10	5,6	
Harmancık	05/02/1949	39,89	29,35	40	5,2	
Yenice-Gönen	18/03/1953	39,99	27,36	10	7,4	IX
Eskişehir	20/02/1956	39,89	30,49	40	6,4	VIII
Bolu-Abant	26/05/1957	40,67	31,00	10	7,1	IX
Çınarcık-Yalova	18/09/1963	40,77	29,12	40	6,3	VII
Manyas	06/10/1964	40,30	28,23	24	7,0	IX
Adapazarı	22/07/1967	40,67	30,69	33	7,2	IX
Akyazı	30/07/1967	40,70	30,40	18	6,0	
Gönen	03/03/1969	40,08	27,50	6	5,7	
Demirci	23/03/1969	39,10	28,40	9	6,1	VII
Demirci	25/03/1969	39,25	28,44	37	6,0	
Gediz	28/03/1970	39,21	29,51	18	7,2	IX
Çavdarhisar	19/04/1970	39,10	29,70	18	5,9	
Demirci	23/04/1970	39,10	28,70	28	5,7	
Biga	05/07/1983	40,33	27,21	7	4,9	
Kocaeli	17/08/1999	40,70	29,91	15,9	7,4	X
Kocaeli	13/09/1999	40,80	30,03	4,3	5,7	
Düzce-Bolu	12/11/1999	40,79	31,21	11	7,2	

Tablo 2.5b Bölgede 1912 – 1999 yılları arasında hasar yapan depremlerin yapısal hasarları ile yaralanmalar ve can kayıpları (Özmen, 2000).

Yer	Tarih	Ağır Hasar	Orta Hasar	Hafif Hasar	Ölü	Yaralı
Mürefte	09/08/1912	5.540			216	466
Erdek	04/01/1935	600			5	30
Bigadiç-Sındırgı	15/11/1942	1.262			7	
Adapazarı-Hendek	20/06/1943	2.240			336	
Mudurnu	05/04/1944	900			30	
Harmancık	05/02/1949	150				
Yenice-Gönen	18/03/1953	9.670			265	336
Eskişehir	20/02/1956	1.219	2.281	9.862	2	
Bolu-Abant	26/05/1957	4.201			52	100
Çınarcık-Yalova	18/09/1963	230	852	2.560	1	26
Manyas	06/10/1964	5.398	3.280	2.200	23	130
Adapazarı	22/07/1967	5.569	5.110	3.210	89	235
Akyazı	30/07/1967				2	40
Gönen	03/03/1969	20			1	
Demirci	23/03/1969	1.100				
Demirci	25/03/1969	1.826				
Gediz	28/03/1970	9.452	9.840	7.737	1.086	1.260
Çavdarhisar	19/04/1970	41				2
Demirci	23/04/1970	150				43
Biga	05/07/1983	85			3	
Kocaeli	17/08/1999	66.448	66.756	79.576	17.997	42.442
Kocaeli	13/09/1999					
Düzce-Bolu	12/11/1999				769	

2.3.2 Kuzey Anadolu Fayı ve Depremlerin Doğudan Batıya Göçü

Faylar, yerkabuğundaki 10-15 km'ye kadar inebilen kırıklardır. Büyük plaka hareketleri sonucu, faylar sürekli basınç altında kalırlar ve uzun vadede iki yanları farklı yönlerde hareket eder. Bu hareket yaklaşık 10 km derinlikten başlar ve aşağılarda hemen hemen sabit hızlı ve kesintisizdir. Sert olan dış yüzeyde ise, hareket, ancak fay üzerinde oluşan depremlerle ve kesintili olarak gerçekleşebilir. Depremler arasında geçen zaman dilimlerinde, derinlerdeki yavaş hareketler sonucu faylar bir yay gibi gerilirler. Fayın iki yanağını bir arada tutan, sürtünmenin yüksek olduğu kısımlarda gerilme özellikle yüksektir.

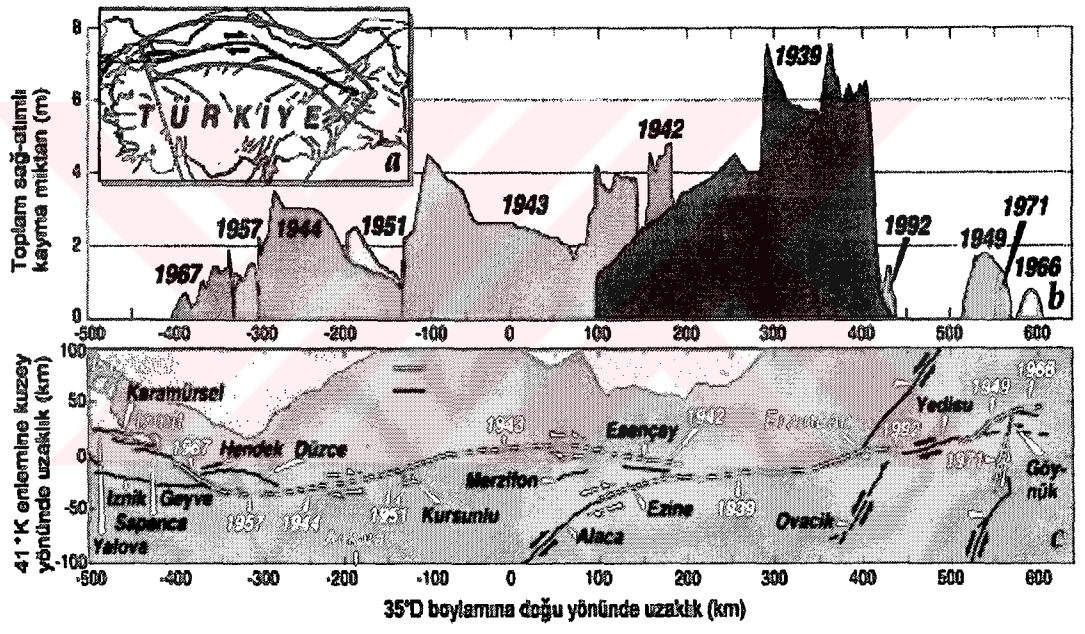
Fay boyunca ilerleyen depremlerin açıklanabilmesinde, bir sonraki depremin (henüz zamanının değilse de) yer ve büyüklüğünün kestirilmesinde, geçerliliği gösterilmiş olan gerilme aktarımı çözümlemesi yöntemi sıkça kullanılan bir yöntemdir. Yöntem, plaka hareketleri sonucu fay hattında biriken gerilmenin, yoğunlaştığı fay parçasının depremle kırılması sonucu, fay çizgisi üzerinde bir sonraki elverişli parçaya taşınacağı temeline dayanmaktadır. Depremle birlikte enerji olarak salıverilen bölümünden artan gerilme başka bir bölüme aktarılmış olur (Kurtuluş, 1999).

Çok sayıda araştırıcı (Ketin, 1948; Tokay, 1973; Tatar, 1975; Sipahioğlu, 1984; Şengör ve diğ., 1985; Barka ve Gülen, 1987; Şaroğlu, 1988; Nurlu ve diğ., 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'ın ilksel konumuna parelel olarak gelişen bir çok fay segmentinden oluşan kırıklar topluluğu da bu fay zonunu oluşturmuşlardır. Genel fay karakteristiği açısından sağ yönlü doğrultu atımlı fayı gösteren KAF hattı doğuda Varto yakınlarından başlayarak batıda Saroz Körfezi'ne kadar uzanmaktadır. Şekil 2.6'da KAF gösterilmiştir. Neotektonik dönem ve sonrası hareketlerle açıklanmakta olan KAF hattı , çok geniş bir deformasyon hattına sahip olup bu deformasyon hattının genişliği doğuda 25 km civarındayken batıda 80 km'ye kadar çıkmaktadır. KAF hattının genel morfolojik özelliklerine bakıldığında; hattın kuzeyinde kalan bölgelerin güneye oranla topoğrafik açıdan daha yüksekte kaldığı, doğrultu atımlı fay bölgelerinin karakteristik özelliklerinden olan 'S' biçimli dere yataklarının oluştuğu derelerin ötelendiği, çok sayıda kütlesel hareketlerin ve su kaynaklarının ortaya çıktığı gözlenmektedir. Bu fay hattı üzerinde çok sayıda sedimanter basenlerin varlığı bilinmektedir (Nurlu ve diğ., 2000).

Şekil 2.6 KAF ve Türkiye fay haritası (Nurlu, 2000).

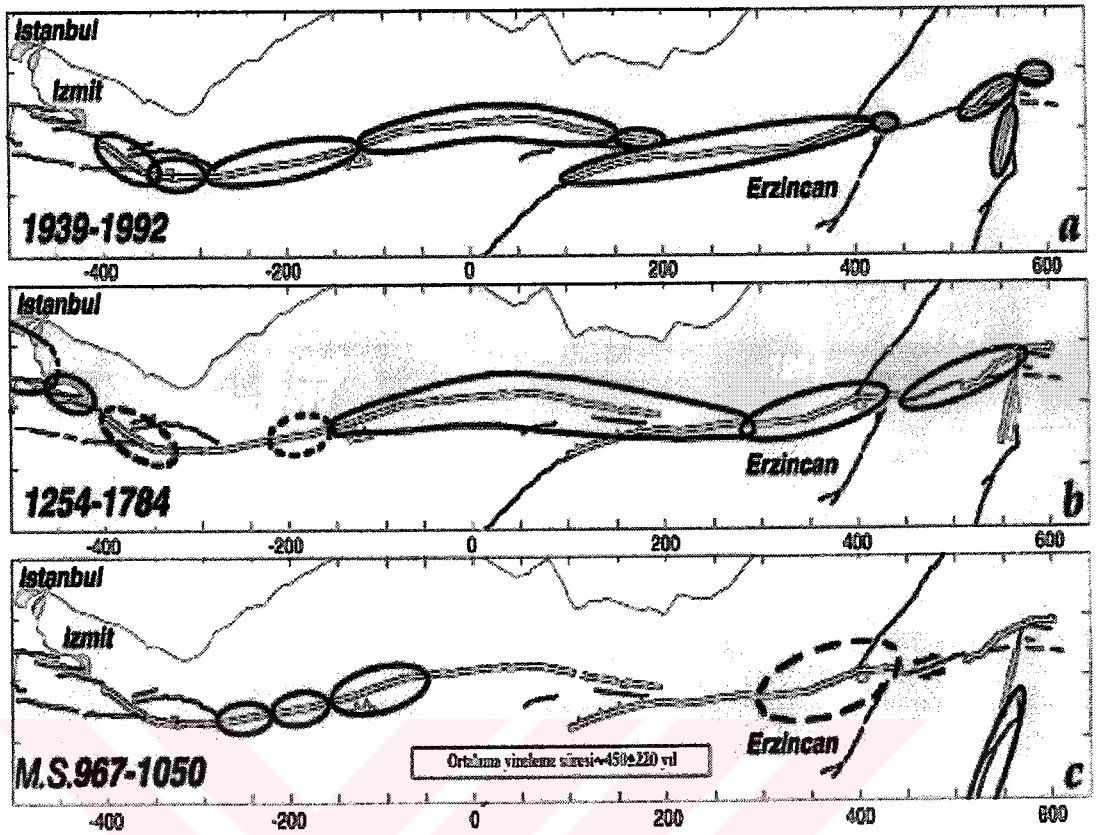
KAF'taki doğudan batıya doğru depremlerin göçü, domino taşlarının belli aralıklarla dizilip birinin hareketiyle başlayan hareketler silsilesinin tarifiyle basitçe ifade edilebilir. Stein ve diğ. (1997)'nin oluşturduğu grafikte (Şekil 2.7) bu hareket KAF üzerinde gösterilmiştir. Bu hareketin nedeni olarak da gerilme aktarımı gösterilmiştir.

KAF'ta depremlerin fay üzerinde belli gerilmeler aktarımı şeklinde zaman içinde belli bir yöne doğru ilerlemesi Türkiye için belki de bir şanstır. Çünkü Dünya üzerinde olmakta olan depremlerin genel karakteri Kurtuluş (1999)'a göre hiç de bu denli belli ve anlaşılır değildir. Ayrıca aynı kaynakta İ.T.Ü. Maden Fakültesi öğretim üyelerinden Prof. Dr. Aykut BARKA'ya atıfta bulunularak "Dünya'da, 1999 Kocaeli depremi ile birlikte, 7 büyük depremin belli bir yöne göç etmesinin bir başka örneğinin bilinmediği ve bunun bir doğa harikası olarak nitelendirildiği" belirtilmektedir.



Şekil 2.7 a) KAF kalın çizgilerle gösterilmiş olarak, Türkiye'deki diri faylar. b) Büyüklüğü 6,7 ve üzerinde olan depremlerden kaynaklanan sağ atımlı kaymaların toplam uzunluklarının grafiği. c) KAF üzerindeki depremler ve bunların kırdığı fay kısımları.

Ayrıca Şekil 2.8'de Stein ve diğ. (1997)'den alınan (Ambraseys ve Finkel, 1988; Ambraseys ve Finkel, 1995; Barka, 1992; Ikeda ve diğ., 1991)'ye dayanılarak oluşturulmuş olan Kuzey ve Doğu Anadolu Fayları'nda oluşan başlıca depremler gösterilmiştir. 1939 yılından önceki depremlerin belli bir yaklaşıklıkla şekilleştirildiği de ayrıca belirtilmiştir. Deprem ilerleme doğrultuları oklarla gösterilmiş olup, belli tarih aralıkları için üç ayrı şekil üzerinde gösterilen depremlerin farklı doğrultularda ve oranlarda olduğu da bu kaynakta açıklanmıştır.



Şekil 2.8 KAF üzerinde oluşan bazı depremlerin zaman içerisindeki ilerleme doğrultuları (Stein ve diğ., 1997).

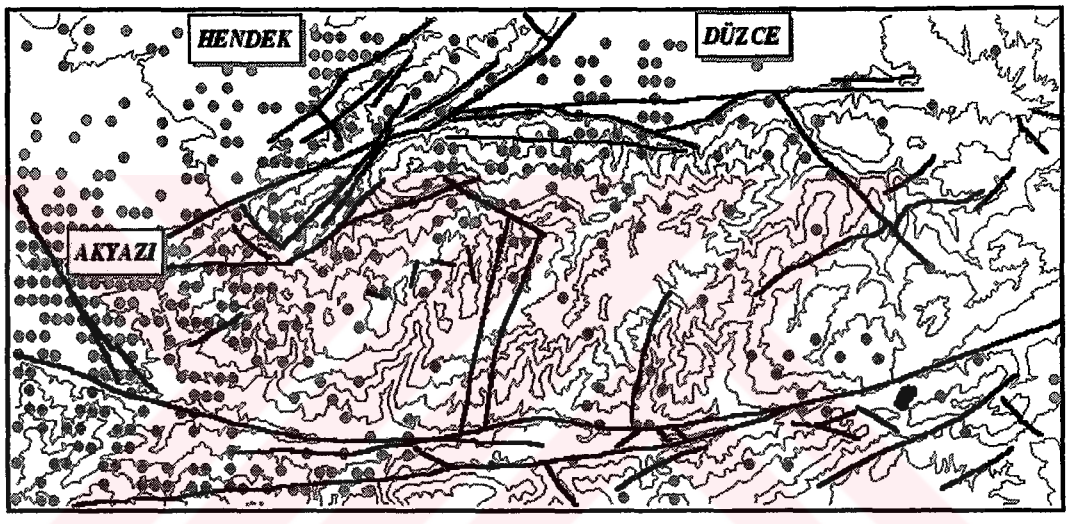
Görüldüğü üzere KAF, 1999 Kocaeli Depremi'nde olduğu gibi çoğu zaman büyük depremler oluşturmaya nasıl neden olduysa bundan sonra da olmaya devam edecektir. Ancak belki de şans olarak nitelendirilebilecek bir konu fayın mekanizmasının ekseriyetle belli bir düzene dayanması ve son zamanlarda konunun uzmanları tarafından uygulaması geliştirilen Coulomb gerilme değişimleri metoduna iyi cevap vermesidir. Bir başka iyi taraf ise KAF'ın Amerika Birleşik Devletleri'nde Kaliforniya'da bulunan San Andreas Fayı ile benzer özellikleri göstermesi nedeniyle teknoloji ve alınmış kayıtlar açısından Türkiye'den ileri ve iyi şartlarda bulunan araştırmacıların ilgisi kolaylıkla buraya çekilebilmektedir.

2.3.3 Deprem Bölgesinin Genel Tektonik Özellikleri

Deprem bölgesi, KAF hattının batı kesimi olarak tanımlanan bölge içinde yer almaktadır. Uydu görüntüleri dikkatle incelendiğinde (Şekil 2.2) KAF hattının geçtiği alanlar bariz kırık hatları olarak gözlenmektedir.

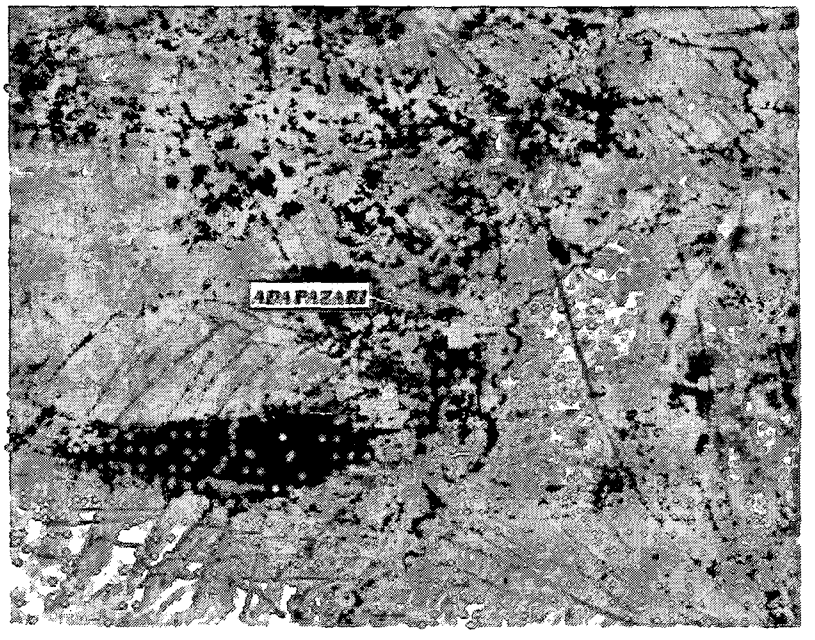
Depremin etkilediği afet bölgesinde KAF hattının Mudurnu Vadisi'ndeki genel doğrultusu DB olarak gözlenmekte, Mudurnu Vadisi'nden sonraki doğrultular ise K75B ve K80D şeklinde değişmektedir. KAF hattının bu kesimindeki deformasyon bölgesinin genişliği yer yer 30 km'ye ulaşmaktadır.

Bolu il merkezi ve Akyazı ilçesi arasındaki tektonik aktivite incelendiğinde (Nurlu, 1999; Şekil 2.9), yaklaşık DB doğrultulu sağ yönlü doğrultu atımlı fay karakterindeki KAF hattının bir bölümü (bu fay hattında 1957 Abant ve 1967 Adapazarı depremleri meydana gelmiştir) görülmektedir. Vadinin kuzeyinde kalan, Almacık dağının kuzey kenarlarını çevreleyen Akyazı - Kaynaşlı fayı da (literatürde Düzce fayı olarak da bilinmektedir) genellikle sağ yönlü doğrultu atımlı faylardan oluşmuş bir bölge olarak karşımıza çıkmaktadır. Gölcük depreminde de bu fay hattı üzerinde çeşitli miktarlarda atımlar gözlenmiştir. Bu faylar arasında ikincil fay sistemleri de gelişmiştir. Bu alanın sismotektonik haritasına bakıldığında 1900-1998 tarihleri arasındaki deprem aktivitesinin batı yönünde yoğunlaştığı gözlenmektedir (Nurlu, 1999).



Şekil 2.9 Bolu ili-Akyazı ilçesi arasındaki bölgenin sismotektonik özellikleri, ölçeksiz (Nurlu ve diğ., 2000).

Aynı şekilde Akyazı ilçesi ile İzmit ili arasındaki tektonik aktivite de (Şekil 2.10) buradaki fay hattının genişliğinden dolayı çeşitlilik göstermektedir. Genellikle sağ yönlü doğrultu atımlı fayların egemen olduğu bölgede Sakarya il merkezinin güneybatısında, Sapanca Gölü'nün kuzeyindeki tepelerde gözlenen blok hareketleri de buradaki aktivitenin yüksek olduğunu göstermektedir (Cerit ve diğ., 1994). İzmit ili ve batısının da tektonik açıdan aktif olduğu çeşitli araştırıcılar tarafından belirlenmiştir (Nurlu ve diğ., 2000).



Şekil 2.10 Akyazı ilçesi ile İzmit ili arasının sismotektonik haritası, ölçeksiz (Cerit ve diğ., 1994).

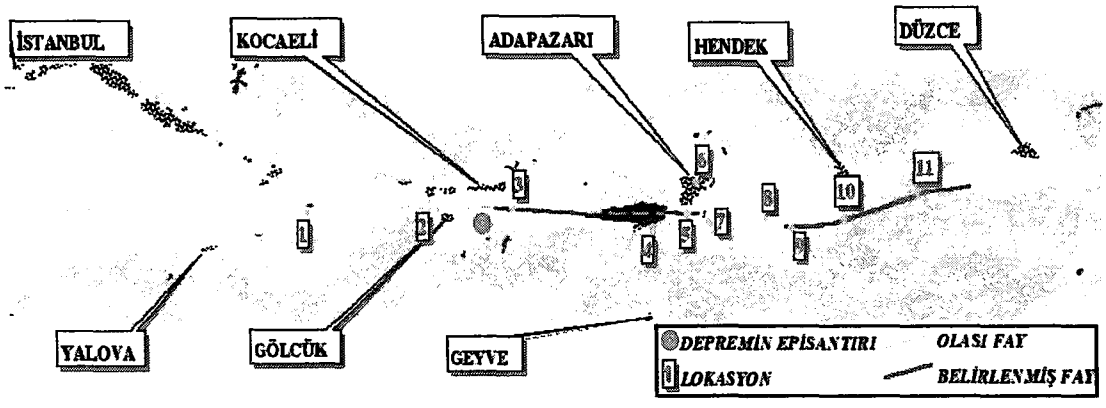
İzmit ili ile Bolu illeri arasındaki bölgenin tektonik yapıları incelendiğinde (Şekil 2.11), ana fay hatlarının yanında farklı konumlarda ve değişik türde fayların da mevcut olduğu belirlenmiştir. Ancak genellikle doğrultu atımlı sağ yönlü fayların egemen olduğu gözlenmektedir (Nurlu ve diğ., 2000).

Şekil 2.11 İzmit ili ile Bolu illeri arasında kalan bölgenin tektonik haritası, ölçeksiz (Nurlu ve diğ., 2000).

2.3.4 Depremin Oluşturduğu Yüzeysel Deformasyonlar ve Yapılmış Olan Arazi Gözlemleri

17 Ağustos 1999 tarihinde saat 03:02'de meydana gelen ve doğuda Karlıova'dan batıda Marmara Denizi içinden geçerek Saros Körfezi'ne uzanan KAF'ın Bolu'dan Çınarcık'a kadar uzanan kesiminde meydana gelen deprem 220 km uzunluğundaki segmenti kırmıştır. Meydana gelen kırığın başlangıç noktası Düzce ilçesinin 10 km güneyinden doğuya çekilen bir çizginin üzerinde bulunmaktadır ve Bolu ovasına doğru uzanırken belirsiz hale gelmektedir. Bu nedenle segmentin başlangıcı Bolu ovası kuzeyini kontrol eden kırık sistemleri ile birleşebileceği gibi ovanın batı ucunda da olabilir. 1944 Bolu-Gerede ve 1957 Abant Depremi kırık hattı ile ilgili görülmemektedir. Segmentin batı ucunda ise kırık ancak Gölcük ile Yalova – Çınarcık arasındaki 55 km'lik kısımda önceki kırık hattını yeniden çalıştırmıştır. Gölcük'ten doğuda Düzce'ye kadar olan kısımda meydana gelen kırılma, bu depremle ortaya çıkan yeni bir kırık hattı meydana getirdiği için KAF kırık sistemine eklenen yeni bir segment olarak değerlendirilebilir (Gökten ve diğ., 1999).

Nurlu ve diğ. (2000) tarafından depremden sonra yapılan arazi gözlemleri sonucunda, depremin etkisiyle yüzeysel deformasyonların çok geniş alanlara yayıldığı saptanmıştır. Özellikle tektonik kuvvetler etkisiyle, yarık ve çatlaklar, sıvılaşmalar, çökme ve kabarma yapıları, küçük çaplı heyelanlar meydana gelmiştir. İnceleme alanında depreme neden olan fay hattı üzerinde detay çalışmalar yapılan lokasyonlar Şekil 2.12'de gösterilmiş ve açıklamaları da adı belirtilen kaynakta geçtiği gibi aşağıda verilmiştir.

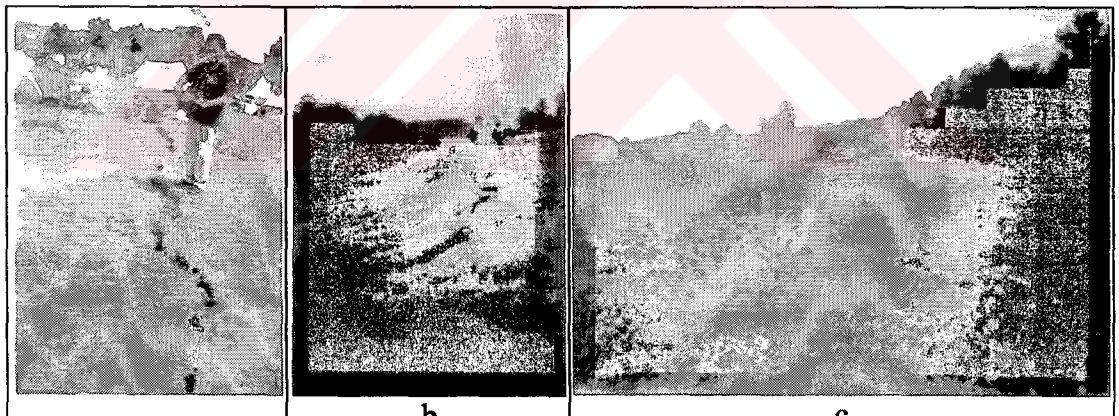


Şekil 2.12 Kocaeli Depremi'ne neden olan fay segmentleri ve ölçüm lokasyonları, ölçeksiz (Nurlu ve diğ., 2000).

Lokasyon 1: Depreme neden olan fay zonunun batı kesiminde, Hersek kasabasında birbirine parelel olarak gelişmiş 4 büyük çatlak saptanmıştır. Bu çatlak sistemlerinin devamındaki cami de harekete bağlı olarak hasar görmüştür. Çatlak açıklıklarının 1-5 cm arasında gözlendiği açılma çatlakları K35B doğrultusunda uzanmaktadır. Bu açılma çatlakları dışında Hersek deltasında depreme neden olan faylanmaya ait bir yüzey kırığı gözlenmemiştir.

Lokasyon 2: Gölcük ilçesi içinde yapılan gözlemlerde K75D doğrultulu sağ yanal hareketi gösteren 5-10 cm açıklı yarıklar gözlenmiştir. Bu yarıklar, bu yörede gözlenen karasal alçalmaya (denize doğru çökme) bağlı açılma çatlakları olarak gelişmişlerdir. Ayrıca, bu yörede K57D, K54D doğrultulu makaslama çatlakları saptanmıştır (Şekil 2.13a).

Lokasyon 3: Fay kırığının en güzel gözlendiği yerlerden biri olan Kullar köyü (İzmit Körfezi doğusu) civarında devamlılığı yaklaşık 5 km olan DB doğrultulu sağ yönlü doğrultu atımlı fay bariz olarak izlenmektedir (Şekil 2.13b,c). Bu fay kırığı zonu boyunca sağ yönlü hareketin yanı sıra sıkıştırma kuvvetinin egemen olmasından dolayı yer yer kuzey kesimlerde kabarma, güney kesimlerde ise çökme gelişmiştir. Kuzeye doğru sıkışma ve gelişen kısmi akma nedeniyle fayın devamındaki caminin minaresi kuzeye doğru eğim kazanmıştır.



Şekil 2.13 Kocaeli Depremi'ne ait yüzey kırıkları (a: Gölcük, b-c: Kullar köyü) (Nurlu ve diğ., 2000).

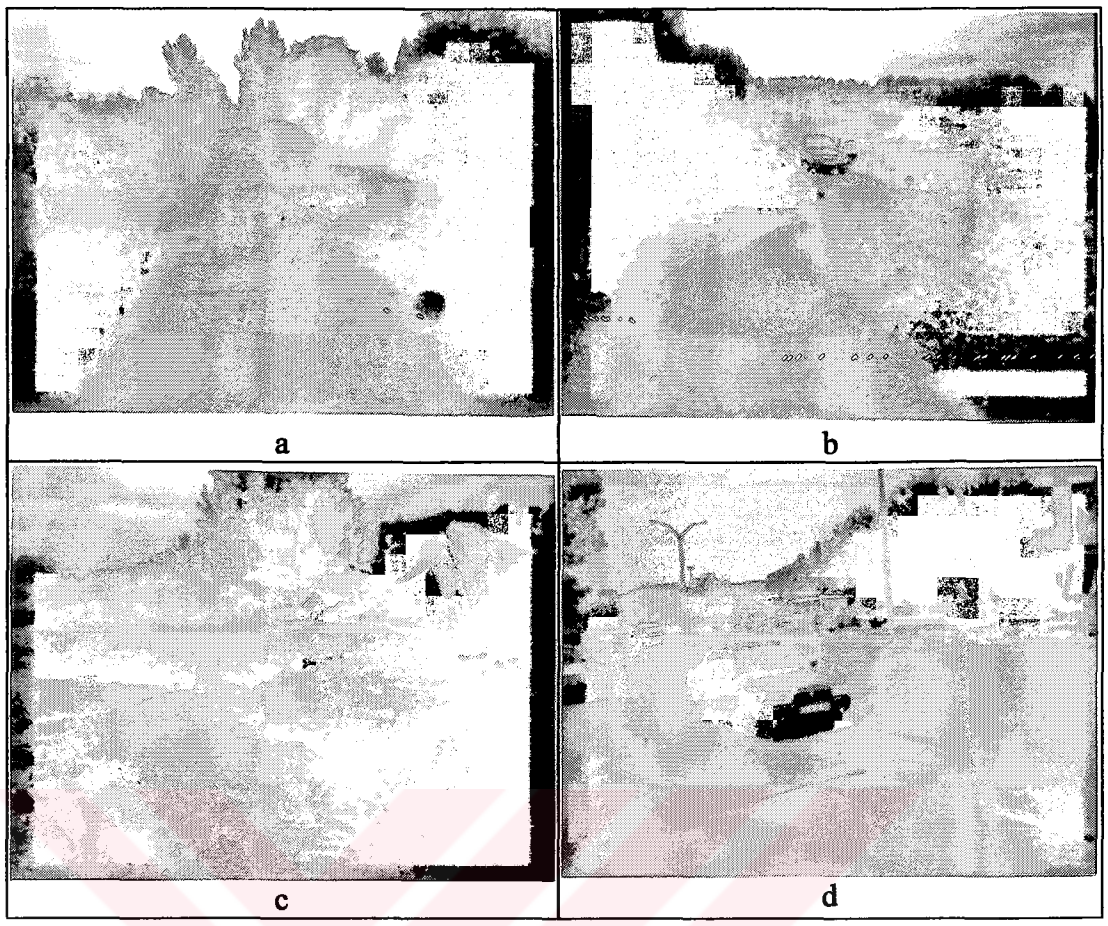
Lokasyon 4: Sapanca ilçesi ve güneyinde yapılan gözlemler, buralarda 5-15 cm eğim bileşenine sahip sağ yönlü doğrultu atımlı faylardan oluşan oblik kırıkların geliştiğini göstermektedir. Genel doğrultuları K35D, K43D, K20D, K10D olan bu kırıkların KB kesimlerinin düştüğü gözlenmiştir. Yanal atımlar genellikle 1-5 cm mertebesindedir.

Lokasyon 5: Depreme neden olan fayın yüzey kırığının arazi gözlemleri esnasında en belirgin (atım miktarı ve fayın türü) gözlendiği yer Arifiye köyünün (Sapanca Gölü'nün doğusu) 2 km güneyindedir. Doğrultusu DB olan sağ yönlü doğrultu atımlı bu fayda net atım miktarı yerinde 4,6 m olarak ölçülmüştür (Şekil 2.14 a,b,c). Fayın hemen yakınındaki direkler ve depo binası da aynı şekilde sağ yönlü bir harekete maruz kalıp ötelenmişlerdir. Fayın devamlılığı yaklaşık 4 km civarında olup Arifiye ovası içinde ana yolun yakınındaki kavaklıklarda da gözlenmektedir. Burada fayın doğrultusu K87D, net atım miktarı 3,5 m olarak ölçülmüştür. Arifiye civarında ayrıca bu ana fayı kesen normal faylar da gözlenmiş olup bunların doğrultuları K60B'dır. Bu fayların güneybatı blokları yaklaşık 17 cm düşmüştür.

Lokasyon 6: Sakarya kenti içinde yapılan gözlemler genellikle makaslama çatlaklarının egemen olduğunu göstermektedir. K70D, K67D ve K74D doğrultularında oluşan çatlaklara paralel gelişmiş kabarmalar da gözlenmiştir (Şekil 2.14 d). Bu depresyon alanları ayrı bir segment olarak değerlendirilmiştir. Ayrıca K15B ve K20B doğrultularında gelişmiş çatlaklar da mevcuttur.

Lokasyon 7: Batak mahallesi (Sapanca Gölü'nün yaklaşık 10 km güneydoğusu) civarında yapılan gözlemlerde; K50B doğrultulu birbirine parelel olarak sıralanmış 8 adet açılma çatlağı, yine civarda yaklaşık 20 cm aralıklı ve 10 cm açıklıklı 17 adet K30B doğrultulu açılma çatlakları gözlenmiştir. Bu civarda bol miktarda sıvılaşmaya da rastlanmıştır.

Lokasyon 8: Kazancı köyü (Akyazı'nın 12 km kuzeybatısı) civarında ise K30B ve K70B doğrultulu açılma çatlakları saptanmıştır. Çatlakların genelde açıklıkları 2-10 cm arasında değiştiği bu bölgede yine çok sayıda sıvılaşmalara rastlanılmıştır.

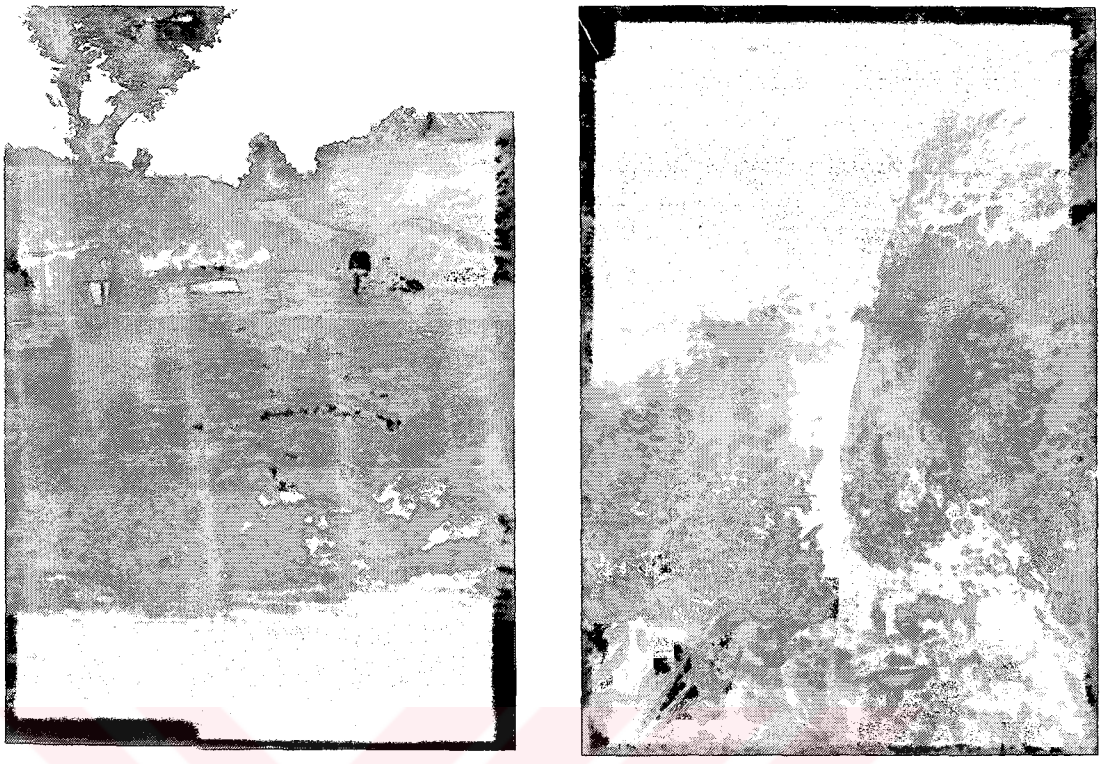


Şekil 2.14 Kocaeli Depremi'ne ait yüzey kırıkları (a-b-c: Net atımın 4,6 m olarak en iyi gözlendiği Arifiye civarı, d: Sakarya kent merkezi), (Nurlu ve diğ., 2000).

Lokasyon 9: Akyazı ilçesinin hemen girişinde Cumhuriyet mahallesi civarında, sağ yönlü doğrultu atımlı K80D doğrultusundaki ana faya parelel olarak K25B ve K30B doğrultularında 5-10 cm aralıklı makaslama çatlaklarının geliştiği gözlenmiştir.

Lokasyon 10: Akyazı – Kaynaşlı fayı üzerinde Çarığıkuru köyü civarında yapılan incelemelerde yaklaşık K75D doğrultulu sağ yönlü doğrultu atımlı yüzey kırığı saptanmıştır. Bu kırığı kesen DB uzanımlı çatlaklar da mevcuttur. Bu kırık boyunca 1 m'ye varan düşmeler görülmüştür (5 km civarında devamlılığı izlenebiliyor).

Lokasyon 11: Depreme neden olan fayın yüzey kırığının gözlendiği yerlerden biri olan Değirmentepe köyü (Gölyaka'nın batısı) içinde K80D doğrultusunda yaklaşık 2 km devamlılığı olan 1,5 m genişliğinde, yaklaşık 1,2 m atıma sahip sağ yönlü doğrultu atımlı fay kırığı gözlenmiştir (Şekil 2.15a). Bu hat içinde sağ yanal hareket nedeniyle yaklaşık 5 ton ağırlığındaki bir kaya parçasının da saat yönünde yaklaşık 15 derece civarında rotasyona uğradığı saptanmıştır (Şekil 2.15b).



a b

Şekil 2.15 a: Değirmentepe köyü (Gölyaka batısı) civarında gözlenen yüzey kırığı, bakış batıdan doğuya; b: Değirmentepe köyündeki 5 tonluk kayacın makaslama kuvveti etkisiyle rotasyona uğraması (Nurlu ve diğ., 2000).

2.3.4.1 Deprem Yüzey Kırığı

Nurlu ve diğ. (2000)'e göre çalışılan bölgede, yüzeyde gözlenen ve sağ yanal hareketi belirgin fay kırığının tüm hat boyunca yer yer kesilmelere uğradığı ve uzanımının genellikle DB olmakla birlikte, bazen K70D ve DB doğrultuları arasında da değişim gösterdiği belirtilmiştir. Arazi gözlemleri ve hasar dağılımları dikkate alındığında, meydana gelen deprem sonucu oluşan fay sistemleri dört ana segment üzerinde belirlenmiş ve Şekil 2.12'de gösterilmiştir. Bu segmentler;

Segment 1 (Hersek-Yalova kuzeybatısı - Marmara Denizi içi segmenti): Arazi gözlemleri sonucu pek fazla veri elde edilemeyen ancak gerek hasar dağılımları gerekse birbirini takip eden fay segmentlerinin konumu itibariyle bu segment adlandırılmıştır. Tahmini uzunluğu 20 km olan bu segmente ait veriler Marmara Denizi içinde yapılacak sığ sismik çalışmalarla ortaya çıkacaktır.

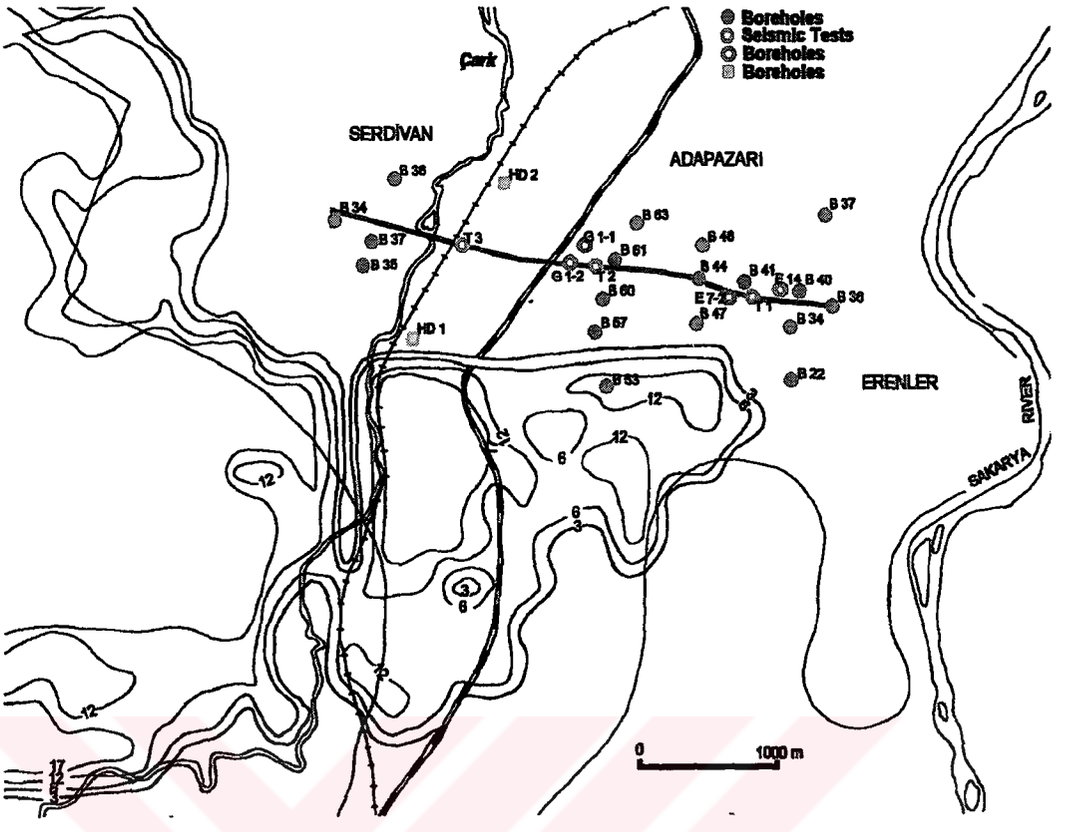
Segment 2 (Hersek-Kullar-Arifiye-Kazancı segmenti): Depreme neden olan faydaki en iyi şekilde atımların ve yüzey kırıklarının gözlendiği bu segmentin toplam uzunluğu yaklaşık olarak 85 km'dir. Genellikle DB doğrultulu sağ yönlü doğrultu atımlı faylardan oluşan bu segmentte 4,6 m'lik en büyük sağ yönlü atım saptanmıştır. Sapanca Gölü'nün batı kesiminde yer alan fay hatlarında sağ yanal hareketin

yanısıra, yer yer güney bloğun kuzey blok üzerine K, KKD ve KD doğrultularında değişim göstererek 80 cm'ye kadar ilerlediği belirlenmiştir. Arazi gözlemleri sırasında bu segment üzerindeki deformasyon bölgesinin genişliğinin 20 cm'den 4 m'ye kadar değiştiği de belirlenmiştir. Bu segmentin doğu uzanımı Kazancı köyü civarında KB doğrultulu faylarla kesilmiştir.

Segment 3 (Akyazı-Gölyaka segmenti): Hersek-Kullar-Arifiye-Kazancı segmentinin Kazancı köyündeki faylarla kesilmesinden sonra fayın devamı DB doğrultusundan saparak Akyazı ilçesinin kuzey girişinden itibaren yaklaşık K75D doğrultusunda Aksu dere boyunca Karadere, Değirmentepe köyleri üzerinden Gölyaka ilçesine kadar devam etmektedir. Yaklaşık uzunluğu 30 km olan bu segment üzerinde sağ yönlü doğrultu atımlı faylarda 1,2 m'ye varan atım miktarları ölçülmüştür. Özellikle Aksu dere boyunca deprem esnasında geniş ölçekte heyelanların meydana geldiği gözlenmiştir.

Segment 4 (Sapanca-Serdivan-Adapazarı segmenti): Yapılan çalışma sırasında en ilginç olaylardan biri de Adapazarı'ndaki hasar dağılımlarının yüksek çıkmasının nedenlerinin bulunmasının olduğu ifade edilmektedir. Ana şok sonucunda meydana gelen sağ yönlü doğrultu atımlı fayın Adapazarı kent merkezine uzaklığı yaklaşık olarak 10 km civarında olduğu ve kentin zemininin büyük depremler karşısında sıvılaşmaya meyilli olduğu tespit edilmiştir. Buna rağmen bu kadar büyük hasarın özellikle de bir hat boyunca (Serdivan – Vagon Tamir Fabrikası – Çark Caddesi – Hükümet Konağı Civarı – Güneşler Mahallesi (Cezaevi)) gözlenmesinin, doğrudan zemin özelliklerine bağlanamayacağı ifade edilmektedir. Yapılan arazi gözlemleri ve önceki çalışmalardan (Cerit ve diğ., 1994, Özsaraç, 1997) hareketle sağ yönlü doğrultu atımlı bir fay hattının (Serdivan fay hattı) yaklaşık K74D doğrultusunda Sapanca Gölü'nün kuzeyinden başlayarak yukarıda belirtilen hatlar boyunca etkili olduğu saptanmıştır. Bu etki kent merkezi içinde genelde bir çöküntü bölgesi halinde gözlenmesine rağmen Güneşler mahallesi civarında küçük miktarlarda atımlara rastlanılmıştır. Kent merkezi içinde çöküntü bölgesinin genişliği 40 cm'den 20 m'ye kadar değişip yaklaşık 50 cm derinliğe sahiptir. Adapazarı'nda meydana gelen hasarda zeminin etkisiyle birlikte deprem sonucunda aktivite kazanan bu fay hattının da etkisi büyüktür (Nurlu ve diğ., 2000).

Depremde aktif hale geçtiği düşünülen, normal atımlı bu fay segmenti Erken (2001)'de ortaya konduğu gibi Şekil 2.16'da gösterilmiştir.



Şekil 2.16 Adapazarı'nda aktif hale geçerek belli bir hat dahilinde büyük hasara yol açtığı düşünülen normal atımlı fay segmenti (Erken, 2001).

2.4 Kocaeli Depremi'nde Meydana Gelen Yapı Hasarları

Daha önceki bölümlerde belirtildiği gibi 17 Ağustos 1999 Kocaeli Depremi gerek can kayıpları, gerekse de maddi kayıplar (yapı hasarları, iş gücü kayıpları vs.) yönünden etkileri çok büyük olan bir depremdir. Tablo 2.3'de resmi kaynaklara dayandırılarak belirtildiği üzere depremde 17.479 kişi ölmüş, 43.953 kişi ise çeşitli biçimlerde yaralanmıştır. Ayrıca Tablo 2.4'de belirtildiği üzere depremde 77.342 bina ağır, 77.169 bina orta ve 89.872 bina ise hafif hasar görmüştür. Depremde meydana gelen bu hasarlar tüm deprem bölgesi için elbette tek bir sebebe bağlanamaz. Kimi kısımlarda yapı kalitesinin kötü olması, yapıların yeterli mühendislik hizmetlerinden yararlandırılmaması ve yürürlükte olan deprem yönetmeliklerinin gerek proje gerekse de uygulama sırasında gözardı edilmesi gibi sebeplerin böyle ağır hasarlara neden olduğu söylenebileceği gibi kimi kısımlarda da zeminin hasarlarda çok önemli rol aldığı büyük bir netlikle söylenebilir.

Alüvyon zeminler üzerine inşaa edilen binaların ve yapıların çok büyük hasar gördüğü ve hatta yıkıldığı gözlendiği gibi iyi niteliklere sahip zeminler veya kaya zeminler üzerine inşaa edilmişlerin ise neredeyse hiç hasar görmediği de gözlenmiştir (Aydan ve diğ., 2000). İşte bu durum deprem hasarlarının

değerlendirilmesinde zeminin de büyük bir dikkatle göz önüne alınması gerçeğini ortaya koymaktadır.

Aydan ve diğ. (2000)'de belirtilen arazi gözlemlerine göre yumuşak zeminler üzerine inşaa edilmiş, özellikle 4 veya daha çok katlı betonarme binaların depremde en çok hasar gördüğü ifade edilmektedir. İkinci sırada en çok hasar gören veya yıkılan yapı türü ise prefabrik betonarme yapılardır.

Arifiye'de TEM (Trans European Motorway) otoyolu üzerinde yer alan fay hattının çok yakınında bulunan bir üst geçit çökmüş ve o anda yoldan geçen bir yolcu otobüsünde can kaybına ve yaralanmalara yol açmıştır. Ancak bu örnek dışında otoyol geçitlerinde ve diğer köprülerde bir hasar gözlenmemiştir. Bunda bu tip yapıların gördüğü mühendislik hizmetlerinin iyi olmasının, temel zemininde olması muhtemel kötü zeminlerin kaliteli dolgularla değiştirilmesinin veya yerinde zemin iyileştirilmesi yapılmasının, deprem bloklarının ve mesnet araçlarının ön görülen görevlerini yeterince yapmasının etkili olduğu söylenebilir.

Aydan ve diğ. (2000)'de de belirtildiği üzere camilerin oldukça büyük bir kısmının alüvyon zeminler üzerine inşaa edilmiş olmalarına rağmen ya hiç hasar görmemişler veya çok az hasara uğramışlardır. Ama bu durum cami minareleri için söz konusu değildir. Deprem anında birçok cami minarelerini kaybetmiştir. Ayrıca fay hattından uzak alüvyon zemin üzerindeki camilerde minareleri haricinde pek hasar olmamasına rağmen fay hattına yakın olanlarda oldukça ağır hasarlar gözlenmiştir.

Elektrik nakil hatları çelik direklerinde neredeyse hiç hasar gözlenmemiştir. Ancak yine fay hattına yakın olma durumuna göre, fay hattının her iki tarafının birbirine göre göreceli hareketi sonucunda bazı yerlerde bu çelik direklerin hasara uğradığı da yine aynı kaynakta ifade edilmektedir. Ayrıca Yalova ili doğal gaz boru hattında, fayın bu boru hattını kesmesinden dolayı doğal gaz sızıntısı olmuştur. Deprem bölgesinde sıvılaşan zeminlerin taşıma güçlerini kaybedip bir sıvı gibi hareket etme istemleri ve yine fay kesmelerinden dolayı içme suyu hatlarında ve atık su sistemlerinde hasarlar gözlenmiştir.

Deprem bölgesinde böylesine büyük can kayıplarının ve maddi kayıpların meydana gelmesinde İzmit Körfezi'nin Türkiye'nin en büyük sanayi bölgesi olması dolayısıyla oluşturduğu nüfus yoğunluğunun büyüklüğünün önemli rol oynadığı daha önceki bölümlerde de belirtilmiştir. İşte böylesine sanayileşmiş bir bölgede birçok sanayi tesisinde ve fabrikada temel sistemlerine de bağlı olarak birçok hasar gözlemlenmiştir. Bu hasarlı yapılar içerisinde prefabrik betonarme çerçeve sistemlilerin bir miktar daha çok olduğu da yine aynı yazarlar tarafından belirtilmektedir.

2.4.1 Betonarme Binalardaki Genel Hasar Durumları

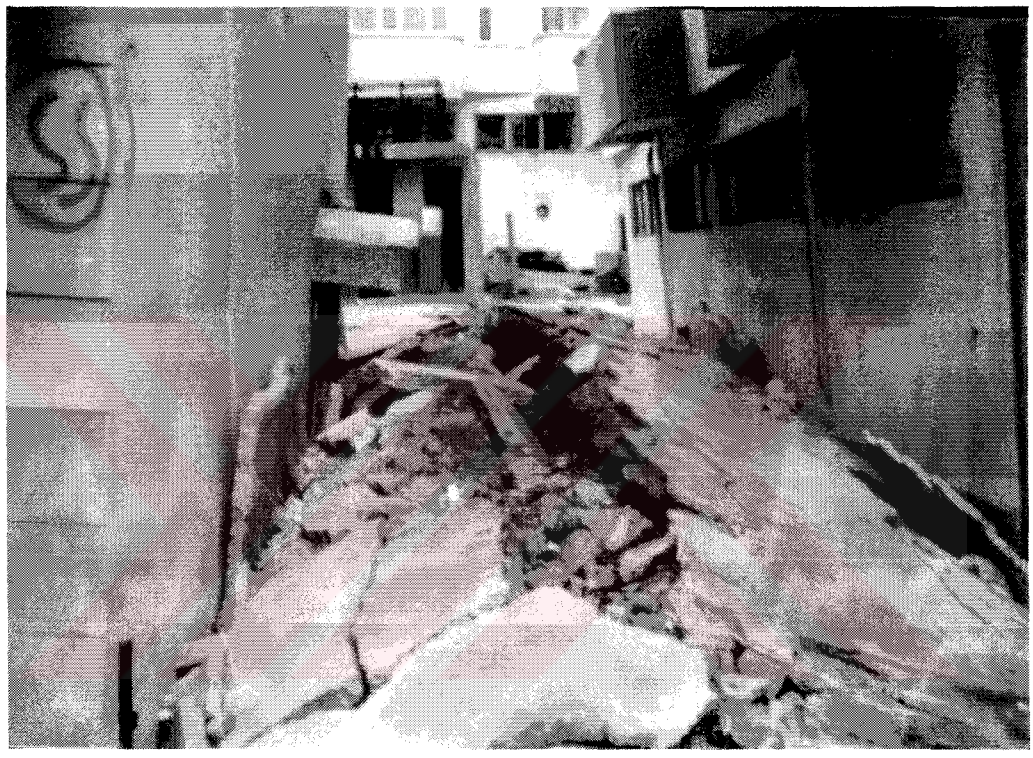
Tablo 2.3'de depremde meydana gelen can kayıpları ve yaralanmalar ve Tablo 2.4'de de ağır, orta ve hafif hasara uğramış binaların il bazında dağılımı daha önce verildiğine göre 1939 Erzincan Depremi'nden sonra Kocaeli Depremi'nin Türkiye'nin yaşadığı en büyük deprem olduğu anlaşılmaktadır. Ayrıca verdiği ekonomik zarar da göz önüne alındığında bu yüz yılda Dünya üzerinde meydana gelen depremler içerisinde de oldukça önemli bir yer tuttuğu da hemen görülmektedir.

Ancak daha önceki bölümlerde bölgenin tarihsel süreç içerisinde yaşadığı depremler ve sahip olduğu sismisite belirtilirken değinildiği gibi bu bölge deprem açısından çok büyük bir potansiyele sahiptir. Nasıl geçmişte buralarda deprem olduysa bundan sonrada olması kuvvetle muhtemeldir.

Kocaeli depreminde yıkılmış ya da ağır hasar görmüş yapıların ne sebepten bu hale geldiği ana hatlarıyla Aydan ve diğ. (2000), Özmen (2000) ve Demirtaş ve diğ. (2000)'den yararlanılarak aşağıdaki gibi sıralanmıştır:

a. Zemin sıvılaşması ve zemin taşıma gücü yetersizliği,
b. Büyük miktarda zemin hareketleri ve kıyı kesimlerde gözlenen batma olayları,
c. Binaları fayların kesmesi veya binalara fayın hareket tesirleri,
d. Kırılgan, narin yapı duvarları ve yanal rijitlik yetersizlikleri,
e. Kötü beton kaliteleri ve kötü beton işçilikleri,
f. Kiriş – kolon birleşim bölgelerinde yaratılan plastik mafsallar,
g. Kayma gerilmelerine karşı yeteri mukavemete sahip olunmaması,
h. Yumuşak katlar,
i. Kısa kolon etkileri,
j. Taşıyıcı sistemlerde gözlenen ezilme ve bükülmeler,
k. Deniz kumu gibi korozyona neden olan malzemelerin kullanılması,
l. Zemin hareketi etkileri (birbirini takip eden veya aynı anda birçok deprem şokunun olması, deprem süresi vs.).

a, b ve c şıklarında verildiği üzere hasarlarda zemin etkisi ve lokal zemin durumu yer yer çok önemli etken olmuştur. Bu yüksek lisans tezi kapsamında da inceleme konusu olduğu üzere Adapazarı'nda Aydan ve diğ. (2000)'e göre binaların yaklaşık % 30 - 40 kadarı zemin sıvılaşması ve yanal zemin yayılması sonucunda zemine batmış veya dönmüştür. Sıvılaşan bölgelerde yer altı suyu seviyesinin (YASS) çok yüksek olması ve sıvılaşma eğilimli zemin profiline sahip olmaları ilk olarak söylenecek konulardır. Şekil 2.17 ve Şekil 2.18'de sıvılaşma gözlenen Adapazarı'ndan sıvılaşma hasarına yönelik olarak iki örnek verilmiştir.



Şekil 2.17 Sıvılaşma sonucu Tığcılar'da hasar görmüş iki bina.

Şekil 2.18a Tığcılar'da sıvılaşma sonucunda devrilen bir bina.

Şekil 2.18b Tığcılar'da sıvılaşma sonucu devrilen binanın temeline yakından bakış.

Şekil 2.18b'den de görüleceği üzere yer altı su seviyesinin yüksek olması dolayısıyla temel derinliğinin yetersiz uygulandığı görülmektedir.

Sahil kenarlarında bir şekilde ıslah edilip doldurulan alanlar depremden oldukça çok etkilenmişlerdir. Sapanca Gölü'nün mesire yeri olarak kullanılan güney kıyısında düşey deplasmanlar ve yanal ötelenmeler sebebiyle bir otel göl sularına batmış ve hasar görmüştür. Şekil 2.19'da bu batmaya ilişkin olay görülmektedir.

Şekil 2.19a Sapanca Gölü kıyısında göl sularına batan otel (ön cephe).

Şekil 2.19b Sapanca Gölü kıyısında göl sularına batan otel (arka cephe).

Kavaklı, Değirmendere, Halıdere, Ulaşlı ve Karamürsel gibi sahil şeritlerinde yer alan bazı binalar da sıvılaşmanın ortaya çıkardığı yanal ötelenmeler, denize kayma ve normal faylar sonucu hasara uğramıştır. Şekil 2.20 ve Şekil 2.21'de sahil şeridi boyunca oluşan bu hasarlar görülmektedir.

Şekil 2.20 Sahil şeridindeki betonarme binaların yatay öteleme ve batma sonucu uğradıkları hasar.

Şekil 2.21 Sahil şeridindeki betonarme binaların yatay öteleme ve batma sonucu uğradıkları hasar.

Şekil 2.22a ve Şekil 2.22b'de Kullar köyünde 8'er katlı 8 adet binadan oluşan ve fay hattının içinden geçtiği bir siteden görüntü sunulmuştur. Tam fay hattı üzerinde bulunan bina, 240 cm yanal ötelemeye ve kuzey tarafın aşağı çökmesi şeklinde de 20-25 cm düşey ötelemeye maruz kalmıştır. Fay hattının güney tarafında bulunan (şekilde fay hattının alt kısmı) binalar titreşimin etki yönüne bağlı olarak, temel sistemlerinin de bu olayı karşılamaya yeterli olmamasından dolayı doğu yönüne doğru yıkılmışlardır (Aydan ve diğ., 2000). Aynı şekilde üst kısımda bulunan faya yakın bina da bu titreşimde benzer karakter gösterip yıkılmıştır. Ama ilginçtir ki şekilde en üstte gözüken bina yıkılmamıştır. Bu olay zemin etkisinin önemini ve faydan 5 – 6 m bile uzakta yapılaşmanın ne kadar önemli olduğunu göstermektedir. Bu kanıya varmada binaların site olarak inşaa edilmelerinden dolayı tek tip projeye sahip olmaları ve aynı şekilde inşaa edilmeleri dayanak oluşturmaktadır.

Şekil 2.22a Kullar köyünde fay hattı üzerinde yıkılmış apartman blokları.

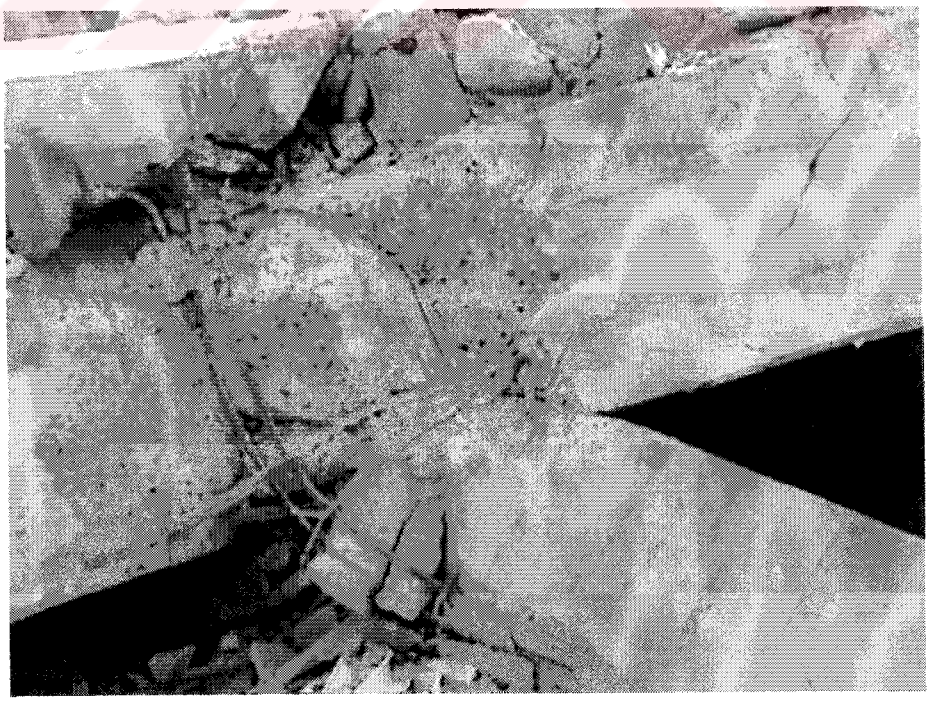
Şekil 2.22b Kullar köyünde fay hattı üzerinde yıkılmış apartman blokları.

Bazı yerlerde de gözlendiği gibi tam fay hattı üzerinde bulunan binalar gerek temel sistemleri, gerekse de deprem davranışına uygun inşaa edilmelerinden dolayı ağır hasar görmelerine rağmen yıkılmamış, içinde barındırdıkları insanların can kayıplarının azaltılmasını sağlamışlardır. Buna örnek olarak Şekil 2.23'de Gölcük'te fay üzerinde bulunan bir bina örnek verilmiştir.

Şekil 2.23 Fay hattı üzerinde bulunup da göçmeyen bir bina.

Kötü inşaat kalitesi, yapı dizayn problemleri deprem bölgesi geneli için rahatça söylenebileceği üzere hasarın bu denli çok olmasında bunlar çok önemli bir yer tutmaktadır. Şekil 2.24 ve Şekil 2.25'de kolon – kiriş birleşim bölgesinde taşıyıcı sistemin geleceği için çok önemli bir konu olan etriyelerin konulmadığı, sarılma bölgesinde etriyelerin sıklaştırılmadığı ve uygulamada çok kötü bir işçilik uygulandığı açıkça görülmektedir.

Şekil 2.24 Sarılma bölgesinde etriyeler sıklaştırılmamış.



Şekil 2.25 Çok kötü bir şekilde inşaa edilmiş kolon – kiriş birleşimi.

Şekil 2.24 ve Şekil 2.25'den de görüldüğü üzere etriye aralıkları çok geniş tutularak kayma direnci ve betonun donatıyı sarmalayıp deprem anında çalışması sağlanamamıştır. Ayrıca deprem yönetmeliğine göre etriyelerin 135° kıvrılması gerekirken 90° kıvrılmasıyla deprem etkisi altında kolayca bu etriyeler açılarak ön görülen direnci sağlayamamaktadır. Ayrıca birleşme bölgesi dışında bile etriyelerin çok geniş aralıklarla yerleştirildiği ve işlevlerinden tamamen alıkonuldukları görülmektedir.

Birçok apartman binasında ve sanayi yapılarında aydınlatma sağlanması amacıyla dar bir şerit halinde pencere yapılmıştır. Bu uygulama neticesinde de kısa kolon etkisi deprem sonucunda birçok yapıda gözlenmiştir. Şekil 2.26'da kısa kolon etkisine ait bir örnek verilmiştir.

Şekil 2.26 Kısa kolon etkisinin yaratıldığı yanlış bir uygulama.

Çöken birçok binada da yapı elemanlarının yanal rijitliklerinin yeterli olmadığı gözlenmiştir. Şekil 2.27'de tipik bir kolon yetersizliği görülmektedir. Ayrıca çöken birçok binada da gözlendiği üzere ilk katta uygulanmayan duvarlar sonucunda yeterli eksenel rijitliğin sağlanamadığı görülmüştür. Şekil 2.28'de bu hasar tipine örnek hatalı bir inşaat türü görülmektedir.

Şekil 2.27 Yetersiz bir kolonda gözlenen hasar.

Şekil 2.28 İlk katta yeterli ve simetrik olarak sağlanamayan yanal rijitlik.

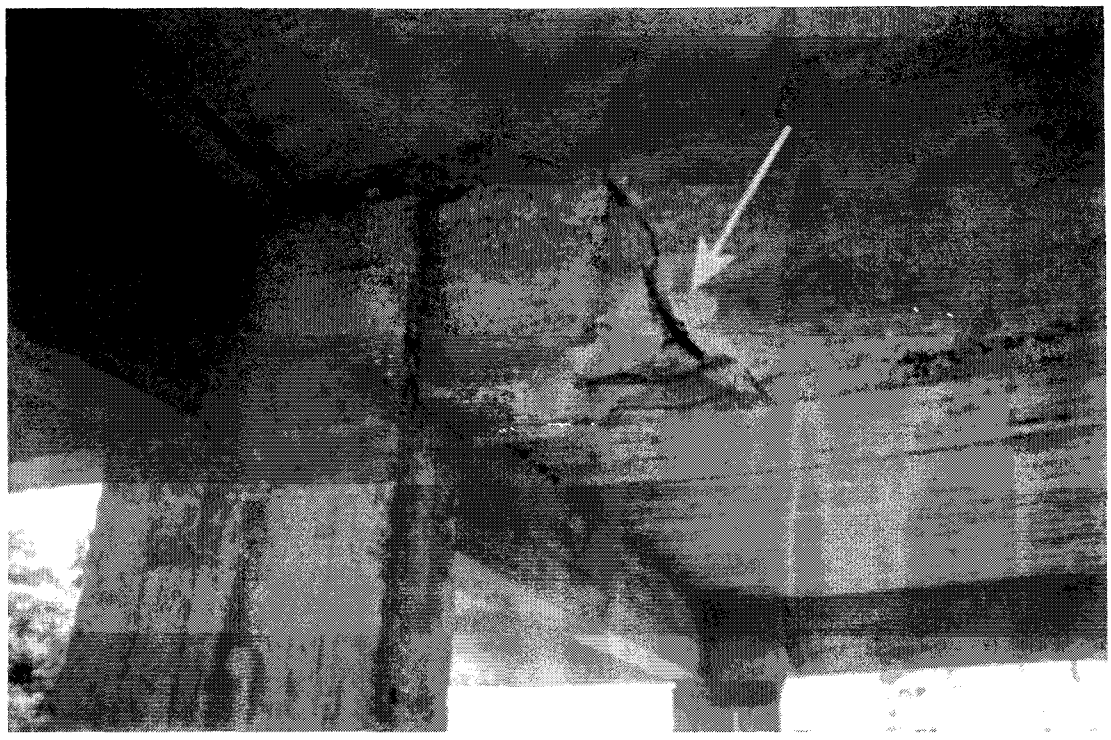
Gözlenen hasarlarda yapı duvarlarında kullanılan boşluklu ve genellikle pişirilmiş kil gibi zemin malzemesi orijinli duvar malzemelerinin hasarı arttırdığı gözlenen diğer bir konudur. Bu tip malzemelerin yanal sürüklenme dirençleri yok denecek kadar azdır. Bu nedenle deprem etkisi altında çok rahat bir şekilde kırılgan özelliklerini

sergilemektedirler. Şekil 2.29'da böyle bir malzemeyle inşaa edilen yapı duvarındaki hasar açıkça görülmektedir.

Şekil 2.29 Boşluklu, kırılgan ve yetersiz dayanımlı malzemeyle inşaa edilmiş duvar.

Buna karşılık yeterli mukavemete sahip malzemeyle inşaa edilmiş binalarda diğer yapı kusurları da etkin değilse hasar gözlenmemiştir.

Depremde gözlenen betonarme binaların hasarlarında kolon-kiriş birleşim bölgelerindeki hatalar çok önemli bir yer tutmaktadır. Kolon-kiriş birleşim bölgeleri taşıyıcı sistemin işlevi açısından çok önemli bir görev üstlenmektedir. Böylesine önem arz etmesine rağmen kolon-kiriş birleşimleri kayma kuvvetlerini aktaracak şekilde yapılmamış ve deprem anında büyük zorlamalara uğrayan bu bölgede etriye sıklaştırılması yapılmamıştır. Şekil 2.30'da da görüldüğü üzere bu birleşimlerde yanlış uygulama neticesinde plastik mafsallaşma yaratılmıştır. Ayrıca deprem yönetmeliğinde belirtilen güçlü kolon-zayıf kiriş kriteri tam tersi olarak birçok binada uygulanmıştır. Bunun sonucunda da yapısal hasarlar birçok yerde gözlenmiştir. Şekil 2.31'de güçlü kolon-zayıf kiriş kriterine ters bir durum sonucunda oluşan hasar görülmektedir.



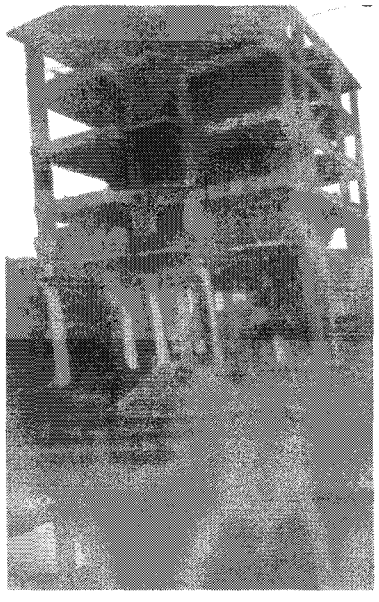
Şekil 2.30 Kirişte oluşan moment çatlağı.

Şekil 2.31 Güçlü kolon-zayıf kiriş kriterine ters bir uygulama sonucu oluşan hasar.

Türkiye'de inşaa edilen birçok binada ilk katı dükkan ve mağaza olarak kullanmak için üst katlardan farklı bir yapı oluşturulmaktadır. Bunu sağlamak için de kimi yerlerde deprem anında oluşan kayma etkilerine karşı koymada önemli bir rol oynayan duvarlar inşaa edilmemekte ve hatta ilk kat yüksekliği üst katlara nazaran

daha yüksek tutulmaktadır. Şekil 2.32'de görüldüğü üzere ilk katta duvar oluşturulmama veya uygun şekilde oluşturmamadan dolayı depremde en çok deprem kuvvetine maruz kalan ilk katın göçmesine neden olunmuştur. Ayrıca duvar uygulamalarında gözlenen diğer büyük bir hata da kötü yapı malzemesiyle duvar oluşturulması ve inşaa edilen duvarların kolon ve kirişlerle yeterli ilişkilerinin sağlanamamasıdır. Bu bağlantı deprem anında çok önem kazanmaktadır. Eğer kolon ve kirişle uygun ilişkilendirilmemişlerse deprem anında hiçbir faydaları olmamaktadır. Şekil 2.33'de de görüldüğü gibi farklı kat yüksekliği ile yumuşak kat oluşturulmuş ve yapı hasara uğramıştır.

Şekil 2.32 Zemin katta yanlış uygulamadan dolayı oluşan hasar.



Şekil 2.33 Yumuşak kat oluşturulmasıyla meydana gelen hasar.

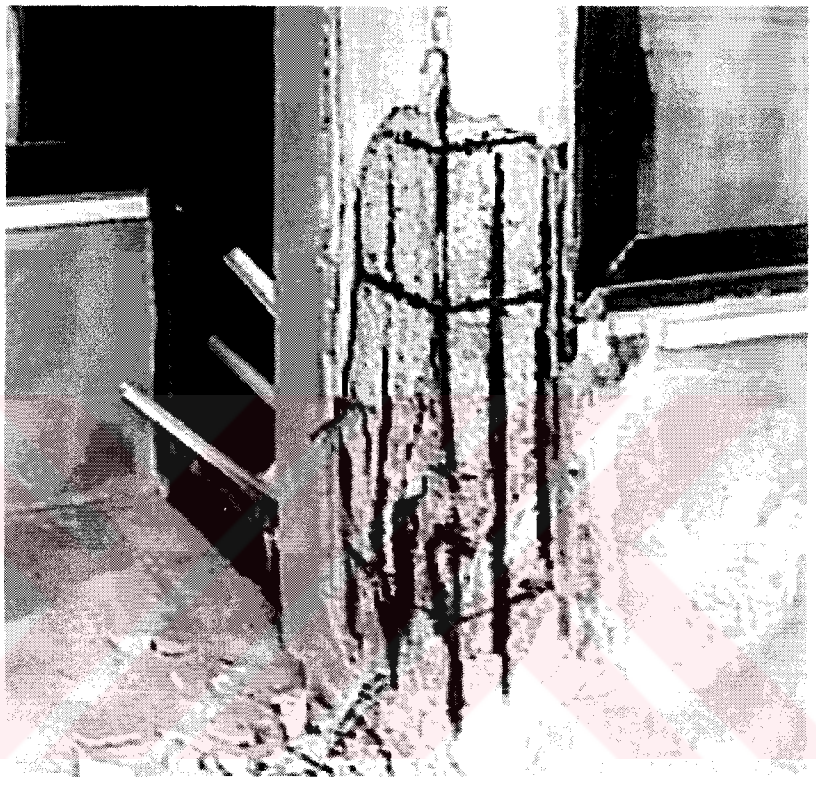
Kocaeli Depremi sonucunda betonarme binalarda meydana gelen hasarlarda, bitişik nizamda inşaa edilen farklı boyutlardaki ve farklı rijitlikteki binaların titreşim esnasında çarpışmaları da önemli bir rol oynamıştır. Binalar arasında yeteri kadar mesafe bulunmadığı gözlenmiştir. Bu sorun Türkiye'nin birçok şehrinde karşılaşılan çok önemli bir problemdir. Şekil 2.34'de bu duruma ait bir hasar örneği görülmektedir. Domino taşları gibi binalar birbirlerine çarpmışlardır.

Şekil 2.34 Binalar arasında yeteri kadar mesafe bırakılmamış.

Diğer bir hasara yol açan hatalı uygulama ise betonarme elemanda donatının yeterli pas payı ile korunmamasıdır. Korozyon sonucunda donatı, özelliklerini kaybetmeye başlamasından dolayı istenen görevini yapamamaktadır. Hatta İstanbul, İzmit, Gölcük ve Yalova'da birçok örneği görüldüğü üzere betonarme yapı inşaatında yıkanmamış deniz kumu kullanılması sonucunda korozyona adeta davetiye çıkarılmıştır. Korozyon neticesinde donatı ile beton arasındaki bağlantı azalmakta, kuvvetlere karşı birlikte direnç işlevi sekteye uğramaktadır. Ayrıca deniz kumu içerisinde bulunan deniz ürünlerine ait kavkılar ve ağaç parçaları gibi yabancı maddeler dolayısıyla betonda yeteri yoğunluk sağlanamamaktadır. Zaten Türkiye genelinde olduğu gibi bu bölgede de betonun yeterli sıkılıkta yerleştirilmesi için vibratör kullanımı ya da çubuklarla da olsa bir sıkıştırma işlemi yapılmadığından beton donatıyı kimi yerde yeteri kadar sarmamaktadır. Kalıp çıkarıldığında ortaya çıkan bu durum adeta bir kolaycılıkla sıva ile gizlenmeye çalışılmaktadır. Ama bu gizleme, kuvvetlere karşı yeterli bir dayanım kesiti oluşturmaya yardımcı bir yöntem

kesinlikle değildir. Üstelik sıva deniz kumu ile yapıldığında da donatı direkt deniz tuzu nedeniyle korozyona başlamaktadır.

Şekil 2.35'de kolon donatısındaki korozyon açıkça görülmektedir. Kolon donatısı yeterli pas payı ile korunmamış, sıva ile kötü inşaat izleri gizlenmeye çalışılmıştır. Pas payının korozyondan donatıyı korumanın yanısıra yangın anında da donatıyı yüksek ısılardan belli bir süre koruma gibi önemli bir işlevi vardır. Bu sayede donatı yük taşıyabilirliğini bir süre daha koruyabilmektedir.



Şekil 2.35 Korozyona uğramış bir kolon donatısı.

2.4.2 Prefabrik Betonarme Binalarda Meydana Gelen Hasarlar

Kocaeli Depremi'nin etkilediği deprem bölgesinde özellikle İzmit ve Sakarya illeri sanayileşme açısından büyük bir yoğunluğa sahip olup, birçok büyük fabrika buralarda kurulmuştur. Bir sanayi tesisini kurmak isteyen müteşebbis doğal olarak inşaatın kısa bir süre içerisinde bitmesini ve bir an önce üretime geçmeyi ister. Bu nedenle prefabrik betonarme yapı elemanları sanayi tesislerinde çok tercih edilen bir yapılaşma türü olmuştur.

Ancak depremde görüldüğü üzere özellikle bu yapıların birleşim detaylarında ve çatı kısımlarında birçok hasar meydana gelmiştir. Ayrıca bu yapıların yanal rijitliklerinin olmaması depreme karşı dirençde zaaflarını oluşturmaktadır. Ayrıca deprem sonunda birçok yerde gözlendiği üzere daha yapım aşamasında olup, bağlantıları henüz tamamlanamayan prefabrik betonarme elemanlı inşaatlarda hasar kaçınılmaz

olmuştur. Çünkü sistem tam kurulamadığında yapı çok gelişigüzel davranma eğiliminde olmaktadır. Aydan ve diğ. (2000)'de belirtildiği üzere bu tip yapıların çatı aksamlarının çelik elemanlardan oluşturulması hem hafif bir çatı, hem de geniş açıklıkları rahatça geçme imkanı vermektedir. Aynı yazarlara göre Türkiye'de uygulanan prefabrik betonarme yapı tasarım detaylarının, bunları daha önce uygulamış olan ülkelerden bunların depremsellik koşulları incelenmeden oluşturulduğuna inanılmaktadır. Bu nedenle acil bir şekilde ülke şartlarına ve depremsellik koşullarına uygun olarak revize edilmelerinin gerekli olduğu belirtilmektedir. Bu durum göze alınmadığı için Adapazarı'ndaki vagon fabrikasının ağır hasara uğradığı da belirtilmektedir.

Şekil 2.36 ve 2.37'de inşaası tamamlanmamış bir prefabrik betonarme yapıda meydana gelen hasarlar görülmektedir.

Şekil 2.36 İnşaası tamamlanmamış bir prefabrik yapıda gözlenen hasar.

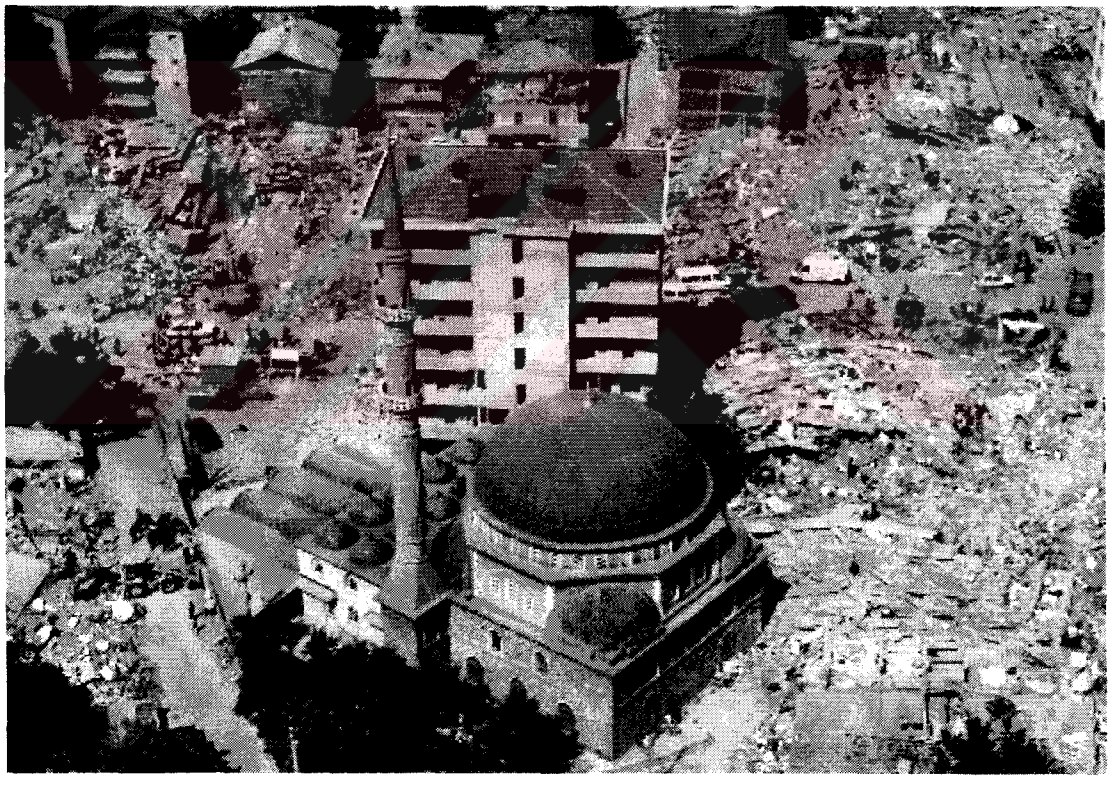
Şekil 2.37 İnşaası tamamlanmamış bir prefabrik yapıda gözlenen hasar.

Şekil 2.38'de ise inşaası tamamen bitmiş olmasına rağmen yukarıda belirtildiği üzere çatıda yaşanan sorunlardan dolayı çatısı göçen, prefabrik betonarme elemanlarla inşaa edilmiş bir sanayi tesisi görülmektedir.

Şekil 2.38 Çatısı göçen, prefabrik elemanlarla yapılmış bir sanayi tesisi.

2.4.3 Camilerde Meydana Gelen Hasarlar

Depremden etkilenen bölgelere bakıldığında camilerin büyük kısmının sağlam kaldığı veya çok az hasarla depremi atlattığı anlaşılmaktadır. Şekil 2.39 ve Şekil 2.40'dan bu durum açıkça görülmektedir. Şekil 2.39'da Gölcük'te, etrafındaki binalarda gözlenen ağır hasarlara, toptan göçmelere rağmen hasar görmeyen bir cami görülmektedir. Şekil 2.40'da ise sadece minaresinin yıkıldığı görülen bir cami verilmiştir. Genel olarak camilerin mimarisini tek büyük kubbeler veya yarı küre biçimli yapı elemanları oluşturmakta ve sistem simetrik bir biçimde teşkil edilmektedir. Bu düzgün yapı tekniğinden dolayı camilerin ana yapıları genelde hasarsız bir şeklide veya çok az hasarlı olarak depremi atlatmaktadır. Ancak Şekil 2.41'de de görüldüğü gibi fay hattı eğer caminin altından geçiyorsa, yapı fayın hareketinden dolayı depremde başarısız olmaktadır (Aydan ve diğ., 2000). Şekil 2.41'de Gölcük'ün Kavaklı mevkiinde bulunan ve altından geçen normal fay sonucu göçen bir cami görülmektedir.



Şekil 2.39a Etrafındaki binalardaki ağır hasara rağmen hasarsız ayakta kalan bir cami (Gölcük).

Şekil 2.39b Etrafındaki binalardaki ağır hasara (yıkıma) rağmen hasarsız ayakta kalan caminin diğer bir açıdan görünüşü (Gölcük).

Şekil 2.40 Sadece minaresi yıkılan bir cami.

Bölgedeki cami minareleri, genellikle 20-25 m yüksekliğinde ve genellikle betonarme olarak inşaa edilmiştir. Minarelerde gözlenen hasarların ana nedenini en kesitlerde oluşturulan değişim oluşturmaktadır. Şekil 2.40'da da görüldüğü üzere altta bulunan karesel en kesitten silindirik en kesite geçiş yapılmıştır. Minarelerin devrilme yönü belli bir yaklaşıklıkla fayın ilerleme doğrultusuna paralel olmaktadır. Minarenin yıkılmadığı çoğu camide ise şerefenin minareyle olan kaymaya karşı direnç farklılığından dolayı düştüğü yine Aydan ve diğ. (2000)'e göre açıklanmaktadır. Şekil 2.42'de sadece şerefesi düşen bir cami görülmektedir.

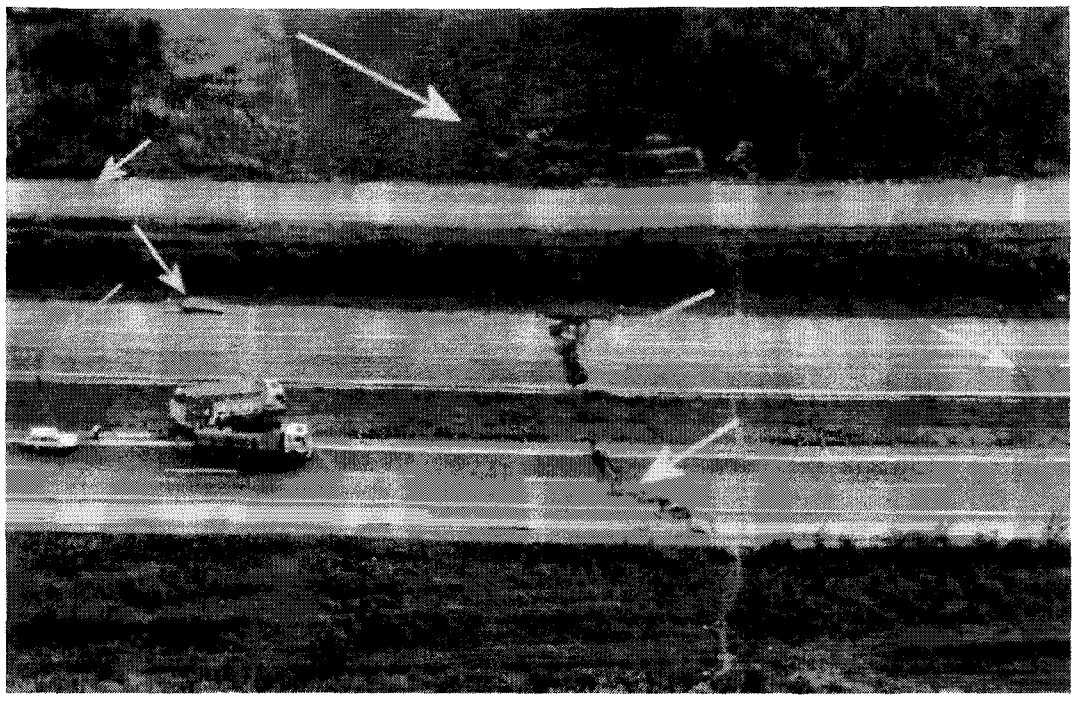
Şekil 2.41 Gölcük'ün Kavaklı mevkiinde normal fay sonucu göçen cami.

Şekil 2.42 Sadece şerefesi düşen bir cami.

2.4.4 Karayolları ve Demiryollarında Meydana Gelen Hasarlar

Depremin etkilediği bölge ülke ekonomisindeki büyük rolüne paralel olarak çok kapsamlı bir karayolu ve demiryolu ulaşım ağına sahiptir. Deprem sonrasında arazi gözlemleri sonucunda görüldüğü üzere İstanbul, İzmit ve Sakarya illerinden geçen TEM (Trans European Motorway) otoyolunda fayın üzerinden geçtiği kısımları dışında görülür bir hasar tespit edilmemiştir. Ancak otoyolun Arifiye mevkiindeki kısmında yolu yarıp geçen fayın ötelemesinin 260 cm ve hatta daha da büyük olması sonucunda bu kısımda hasarlar oluşmuştur. Otoyol ana ilke olarak, kaya temeller üzerinde ve yer yer de yüksek viyadükler üzerinden geçecek şekilde teşkil edilmiştir. Otoyolun üzerinden geçtiği hiçbir viyadük hasar görmemiştir. Otoyol, tektonik açıdan aktif bir yerden geçtiği için doğru bir tasarım öngörüsü sonucu yumuşak zeminin bulunduğu kısımlarda dolgu yapılmamış ve doğrudan zemin üzerine inşaa edilmiştir. Fayın hareketi nedeniyle oluşturduğu deformasyon sonucu otoyolun değişik kısımlarında otoyol kaplaması (asfalt) hasar görmüştür. Otoyol güzergahı ile fay hattının arasındaki açının küçük olduğu otoyol kesimlerinde hasar otoyolu kesme ve bükme şeklinde kendini göstermiştir. Ayrıca bazı köprü dolgularında gözlenen yanal yayılma ve çökme sonucu otoyolda batma da kısmen gözlenmiştir (Aydan ve diğ., 2000). Şekil 2.43 ve Şekil 2.44'de sırasıyla bükülme ve fayın yolu kesmesi sonucu otoyolda oluşan hasarlar görülmektedir.

Şekil 2.43 Arifiye yakınlarında otoyol kaplaması üzerindeki fayın bükme hasarı.



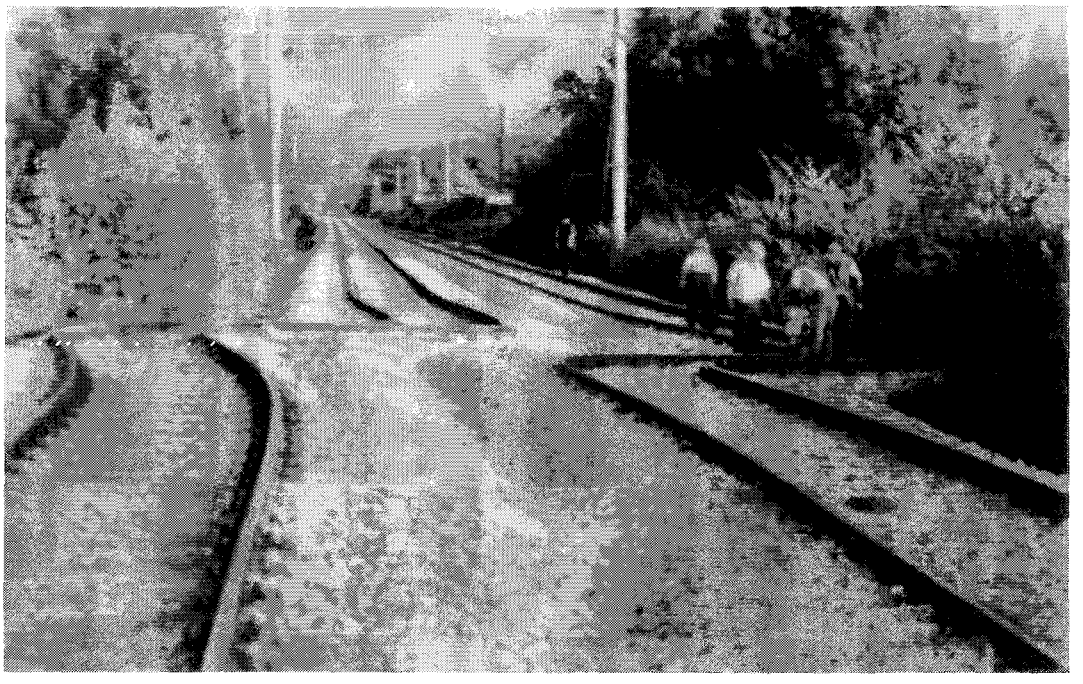
Şekil 2.44 Arifiye yakınlarında otoyolu fayın kesmesi sonucu oluşan hasar.

TEM otoyolu dışındaki diğer karayollarında da (D-100, D-80 karayolları ve diğer ara bağlantılarda vb.) TEM'de oluşan hasarların tipine benzer hasarlar olmuşur. Fayın bu yolları kesmesi sonucu hasarlar gözlenmiştir. Sapanca Gölü'nün kuzey kıyılarından geçen D-100 karayolunda, İzmit ve Sakarya il sınırları arasında bulunan fay kırığının normal fay hareketi sonucu oluşturduğu yanal kayma hareketinden dolayı hasar oluşmuştur. Deprem hasarından sonra uzun süren çalışma saatlerinden sonra D-100 karayolu kullanıma hazır hale getirilmiştir. Ancak otoyolun kullanıma hazır hale getirilmesi yaklaşık olarak depremden 3 gün sonra olabilmiştir (Aydan ve diğ., 2000).

Devlet Demir Yolları'nın (DDY) İstanbul'u diğer illere bağlayan demiryolu, İzmit ve Sakarya illerinden de geçmektedir. Demiryolu birçok bölümünden fayın etkisi sonucu hasara uğramıştır. Hattın en çok bükülme ile kendini gösteren hasarı Tepetarla köyü yakınında olmuştur. Şekil 2.45'de bu hasar açıkça görülmektedir. Demiryolunda hem büyük bir bükülme hem de yan yana devam etmekte olan hatlarda seviye farkı oluşmuştur.

Diğer bir dikkate değer bükülme hasarı da Sapanca istasyonu yakınında gözlenmiştir.

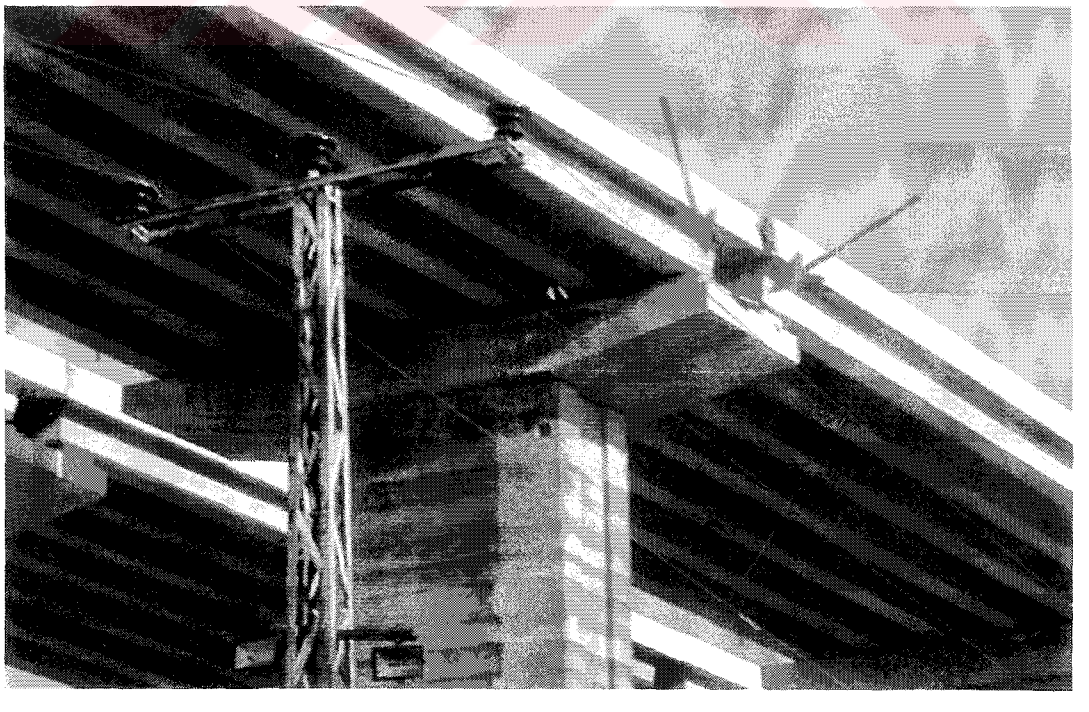
Demiryollarının asgari şartlarda kullanıma açılabilmesi depremden 3 gün sonra ancak sağlanabilmiştir. Ancak demiryolunun bütün bağlantılarının tamir edilmesi ve güzergahında oluşan sapmaların tam olarak düzeltilmesi depremden sonra yaklaşık olarak 20 günde tamamlanabilmiştir (Aydan ve diğ., 2000).



Şekil 2.45 Tepetarla köyü yakınında demiryolunda oluşan büyük miktarda bükülme.

2.4.5 Viyadük, Üstgeçit ve Köprülerde Meydana Gelen Hasarlar

Aydan ve diğ. (2000)'e göre depremden etkilenen bölgeden geçmekte olan otoyolun geneline bakıldığı vakit viyadüklerin hasarsız olarak depremi atlattıkları görülmüştür. Ancak Sakarya viyadüğünde kiriş mesnetlerinde hafif hasar olması sonucunda kalıcı deformasyonların meydana geldiği, ama bu durumun viyadüğün yapısal işlevini etkilemediği belirtilmektedir. Bu durum Şekil 2.46'da görülmektedir.



Şekil 2.46 Sakarya viyadüğünde görülen kiriş kaymaları.

Sakarya Nehri üzerinden geçmekte olan otoyol, karayolu ve demiryolu köprüleri genellikle depremi ayakta kalarak atlatmış ve dikkate değer hasarlar oluşmamıştır. Oluşan hasarları köprü uçlarındaki beton plak kaplamalardaki dökülmeler oluşturmaktadır. Tamamiyle göçen bir karayolu köprüsü Selerek yakınında görülmüştür. Şekil 2.47'de göçen bu köprü görülmektedir.

Şekil 2.47 Fay etkisi sonucunda göçen Selerek köprüsü.

Arifiye mevkiinde bulunan otoyol üstgeçitinde büyük hasar olmuştur. Otoyoldan geçmekte olan bir yolcu otobüsünün üzerine üstgeçit kirişleri düşerek 10'dan fazla insanın ölmesine sebep olmuştur. Fay hattının otoyol güzergahına paralel olması burada bulunan üstgeçitin depremde böylesine kötü davranış sergilemesinin nedeni olmuştur. Şekil 2.48'de göçen bu üstgeçitden görüntüler görülmektedir.

Aynı yazarlara göre bu üst geçit ayakları ve kirişler arasında yaklaşık olarak 260 cm'den daha fazla göreceli yer değiştirme meydana gelmiştir. Eğer böylesine basitçe mesnetlenmiş bir yapı yerine mesnetlere depremler düşünülerek yeteri çoklukta hareket serbestisi tanınsa idi sistemin göçmesinden kurtulunabileceği düşünülmektedir. Kocaeli Depremi'nden de görüldüğü üzere tektonik açıdan aktif bölgelerde basitçe mesnetlenmiş yapılardan mümkün olduğunca kaçınılması önemle tavsiye edilen bir konudur.

Şekil 2.48a Arifiye mevkiinde otoyol üstüne göçen üstgeçit.

Şekil 2.48b Arifiye mevkiinde otoyol üstüne göçen üstgeçit (yakın görünüm).

2.4.6 Endüstriyel Tesislerde Meydana Gelen Hasarlar

Depremin özellikle merkez üssüne yakın bölgeden başlayıp dışa doğru yayılan bir bölgede Türkiye için oldukça önem arzeden birçok sanayi tesisi bulunmaktadır. Bu tesisler içerisinde petrokimyasal ürünler üreten tesisler, otomobil fabrikaları, otomobil lastiği fabrikaları, kağıt üretim fabrikaları, çelik fabrikasyon üretim tesisleri, çimento fabrikaları, ilaç üretim tesisleri ve daha birçok endüstri tesisi çok önemli yer tutmaktadır. Anlaşılacağı üzere bahse konu olan bölge oldukça sanayileşmiş bir bölgedir. Aydan ve diğ. (2000), birçok enstitünün hazırladığı ön raporlara, gazete haberlerine ve kendi araştırmalarına dayanarak bölgedeki sanayi tesisleri içerisinde TÜPRAŞ, Pirelli ve Brisa Lastik Fabrikaları, TCDD Vagon Fabrikası, Adapazarı Traktör Fabrikası, Fürsan ve Şişecam'ın en ağır hasara uğrayan tesisler olduğunu belirtmektedir. Mannesman, KordSA, Petkim ve Aksa tesislerinin ise kısmen hasara uğradığı belirtilmektedir. Diğer tesislerdeki hasarın ya çok az olduğu ya da hiç olmadığı gözlenmiştir. Hiç hasara uğramayan tesislerin ise büyük çoğunlukla kayalık arazi üzerine kurulduğu belirtilmektedir. Aydan ve diğ. (2000)'e göre deprem bölgesi içerisinde hasara uğrayan belli başlı sanayi tesislerinin hasar durumları, yeterli bilgiye ulaşılmış olan tesislerin deprem dış merkezinden olan uzaklığı ve inşaa edildiği arazinin özelliği Tablo 2.6'da verilmiştir.

Tablo 2.6a Endüstriyel tesislerin hasar durumları (Aydan ve diğ., 2000).

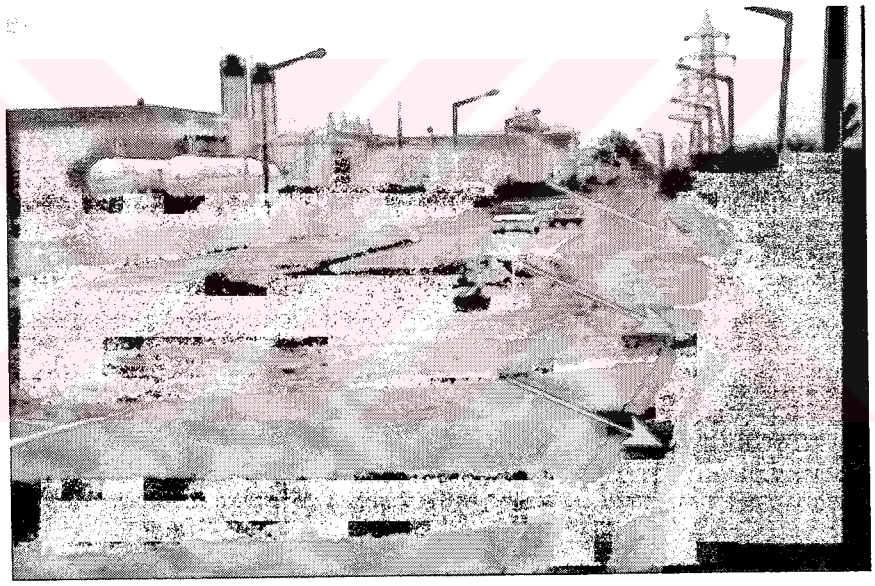
Fabrika veya Tesis İsmi	Hasar Durumu	Deprem Dış Merkezine Olan Uzaklık (Km)	İnşaa Edilen Arazi Tipi
ToyotaSA	Yok	41	Zemin
Arçelik	Yok	46	Kaya
Botaş (Yalova)	Yok	60	Kaya
Bolu Çimento	Yok	125	Kaya
Aygaz	Hafif (İdare Binası)	4	Zemin
Merko Gıda	Hafif (Depo)	48	Zemin
ÇBS Boya	Hafif (Laboratuvar ve İdare Binası	6	Kaya
Otokar Araç	Hafif (İdare binalarının iç kısımları ve sosyal tesisler)	42	Zemin
İzocam	Hafif (Üretim bir gün aradan sonra başlamıştır)	125	?
Borusan	Hafif (İdare binası)	46	Kaya

Tablo 2.6b Endüstriyel tesislerin hasar durumları (devamı) (Aydan ve diğ., 2000).

Fabrika veya Tesis İsmi	Hasar Durumu	Deprem Dış Merkezine Olan Uzaklık (Km)	İnşaa Edilen Arazi Tipi
Ford-Otosan	Hafif	3	Zemin
Proctor&Gamble	Hafif	?	?
Kartonsan	Hafif (Depo ve makinalar)	10	Zemin
Eminiş Paketleme	Hafif (İdare binaları)	?	?
Ak-Al Tekstil	Hafif (Depo); Çatlaklar onarılmıştır	?	?
Alarko Carrier	Hafif	?	?
Gölcük Tersanesi	Hafif (Çelik hangarlarda çapa vidalarında germe ve küçük çapta bükülmeler)	4	Zemin
Aksa Akrilik	Orta (Tanklarda yırtılma)	31	Zemin
Petkim	Orta (Depolar, 2 soğutma kulesi ve rıhtımda)	5	Zemin
Gima	Depolama binalarında	?	?
Seka	Orta (Dalgakıran ve boru sistemlerinde)	6	Zemin
KordSA	Orta (Depolarda)	6	Zemin
Mannesman	Orta (İdare binaları, bir vinç devrilmiş)	5	Zemin
BriSA	Orta (Depolarda)	6	Zemin
Penguen Gıda	Göçmüş	?	?
Pirelli Lastik	Ağır (1 ölü, 20 yaralı)	6	Zemin
Şişe Cam	Ağır (Düzcam şişe tesisleri göçmüş, Çayırova tesisleri, depolarda hasar)	125	Zemin
TÜPRAŞ	Betonarme baca yıkılmış, petrol tanklarında yangın, boru sistemlerinde kırık	5	Zemin
TCDD Vagon	Fabrika yıkılmış ve vinçler devrilmiş	42	Zemin
Sakarya Traktör	Fabrika yıkılmış	43	Zemin
HABAŞ	Tankların temel kolonları yıkılmış	6	Zemin
FÜRSAN	Yıkılmış	4	Zemin

Sanayi tesislerinde meydana gelen hasarlar genellikle fabrika binalarının göçmesi ve/veya tabana iyice sabitlenmemiş olan makinaların devrilmesi sonucunda meydana gelmiştir. ToyotaSA tesislerinin, bir köşesinden ana fay geçmesine rağmen neredeyse hiç hasar görmemesi depreme dayanıklı yapılaşmaya güzel bir örnek olmuştur. Bu tesisin inşaasında göz önüne alınan kriterler, ileride böylesine tektonik açıdan aktif bölgelerde inşaa edilecek veya onarım yapılarak güçlendirilecek tesisler için iyi bir referans olacaktır.

Şekil 2.49'da ToyotaSA tesislerinin yakınından geçen fay kırıkları görülmektedir. Aynı kaynağa göre depremden sonra yapılan gözlemlerde çelik yapıların, deplasman kabiliyetleri sınırlı betonarme çerçevelere göre iyi davranış sergilediği gözlenmiştir. Bunun dışında deprem dalgası karakteristiklerinin ve titreşimin süresinin depremde hasara uğramış sanayi tesislerinin hasar nedenlerinin araştırılmasında mutlaka dikkate alınması tavsiye edilmektedir.



Şekil 2.49 ToyotaSA tesisleri ve ana fay hattı.

Oldukça büyük bir tesis olan Ford Otosan'ın 50.000 m^2'lik binasının bir köşesinin 240 cm içerisinden yapıyı kesecek şekilde normal fay geçmesine rağmen yapı neredeyse hiç hasara uğramamıştır. Şekil 2.50'de Ford Otosan yakınlarından geçen fay kırığı ve Şekil 2.51'de ise hemen tesis yakınında bulunan elektrik direğinin fay hareketi sonucunda ne kadarlık bir etki altında kaldığı görülmektedir.

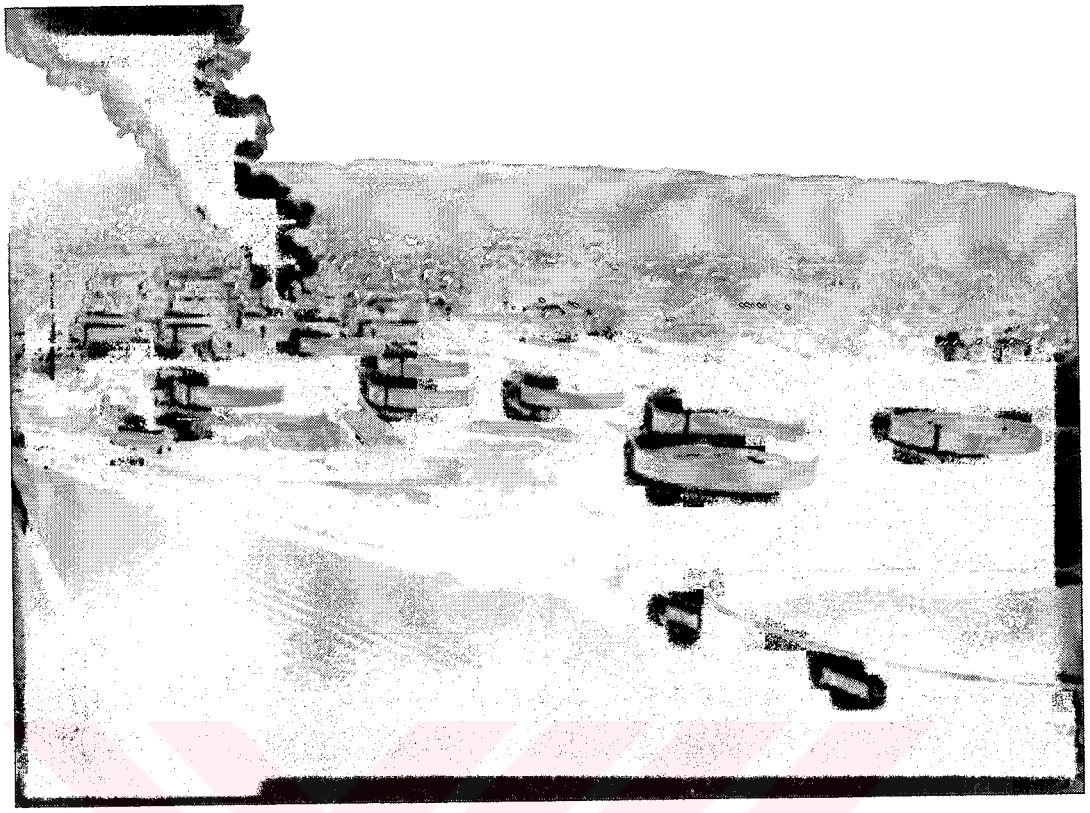
Şekil 2.50 Ford Otosan tesisleri yakınından geçen fay hattı.

Şekil 2.51 Ford Otosan tesislerine ait elektrik dağıtım direğinin fay etkisi dolayısıyla oluşan yeni durumu.

Tesis içinden de geçen fay sonucu, betonarme kolonlar üzerinde çelik uzay kafes sistem şeklinde teşkil edilen fabrika binasında kolonların 10'larca cm'lik ötelemeye neden olacak çekme kuvvetleri etkisinde kaldığı yine aynı kaynakta belirtilmektedir. Fabrika içinden bir kolona ait zorlanma sonucu oluşan hasar Şekil 2.52'de görülmektedir.

Şekil 2.52 Ford Otosan'da fabrika içinde hasara uğramış bir kolon.

Yarımca'da bulunan TÜPRAŞ rafinerisi depremde oldukça büyük hasar görmüştür. Türkiye'nin kullandığı petrol ürünlerinin yaklaşık 1/3'ünü TÜPRAŞ üretmekte olup bölgedeki sanayi tesislerinin ihtiyaçlarının giderilmesinde ana kaynak durumundadır. Böylesine büyük bir tesisin ağır hasara uğraması doğal olarak birçok televizyon kanalında ve gazetede bol bol üzerinde durulan bir konu olmuştur. Tesis devlete aittir. Tanklarda başlayan yangın günlerce kontrol altına alınamamış olduğundan tesis yakınlarında yaşayan insanlar, yaklaşık 5 km'lik bir yarıçap dahilinde bölgeden başka yerlere tahliye edilmişlerdir. Tanklardaki yangınlarda birçok patlama da meydana geldiğinden, tesis yakınlarında kurulmuş olan petrol ürünleri işleyen, tüp ve benzeri kimyasal maddeler üreten tesislere sıçrama ihtimali büyük korkuya neden olmuştur. Şekil 2.53'de TÜPRAŞ'da olan yangından bir görüntü görülmektedir.

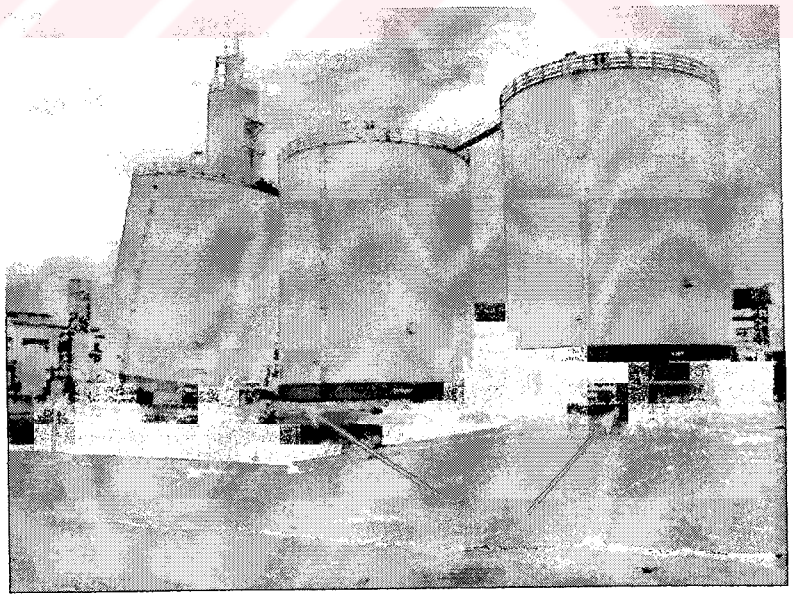


Şekil 2.53 TÜPRAŞ tanklarında yangın.

Yangın sonucunda 10 tank tamamen yanıp tekrar kullanılamaz hale gelmiştir. Yangın ancak depremden 4 gün sonra söndürülebilmiştir. Petrokimyasal ürünler işleyen böyle tesislerin kendi yangın sistemleri olması gerekmektedir. Böylesine ürünleri klasik yangın söndürme teknikleriyle söndürmenin mümkün olmadığı ne yazık ki burada test de edilmiştir. Aslında TÜPRAŞ'ın da kendi özel yangın kontrol sistemleri vardır. Ancak deprem anında bu tesisatlar zarar görüp kullanılamaz hale gelmişlerdir. Ayrıca böylesine tektonik açıdan aktif bölge içerisinde bulunan tesise azami özen, yapımdan önce sağlanmış olmalıydı. Çünkü Japonya'da 1964 yılında meydana gelen depremde böylesi bir petrokimyasal tesis tanklarıyla, üretim yapılarıyla hiçbir hasara uğramamıştır. Şekil 2.54'de yangın sonrası günlerce yanan tankların durumu görülmektedir.

Şekil 2.54 TÜPRAŞ'da günlerce yanan tanklar tekrar kullanılamayacak hale gelmiştir.

Aşağıda verilen Şekil 2.55'te HABAŞ'ta, Şekil 2.56'da Petkim'de, Şekil 2.57'de Pirelli'de ve Şekil 2.58'de de Seka'nın liman işletmesinde meydana gelen hasar görülmektedir.



Şekil 2.55 HABAŞ'ta tankların temel kolonları yıkılmış ve bu hale gelmiştir.

Şekil 2.56 Petkim'de meydana gelen hasardan görünüm.

Şekil 2.57 Pirelli'de meydana gelen hasardan görünüm.

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

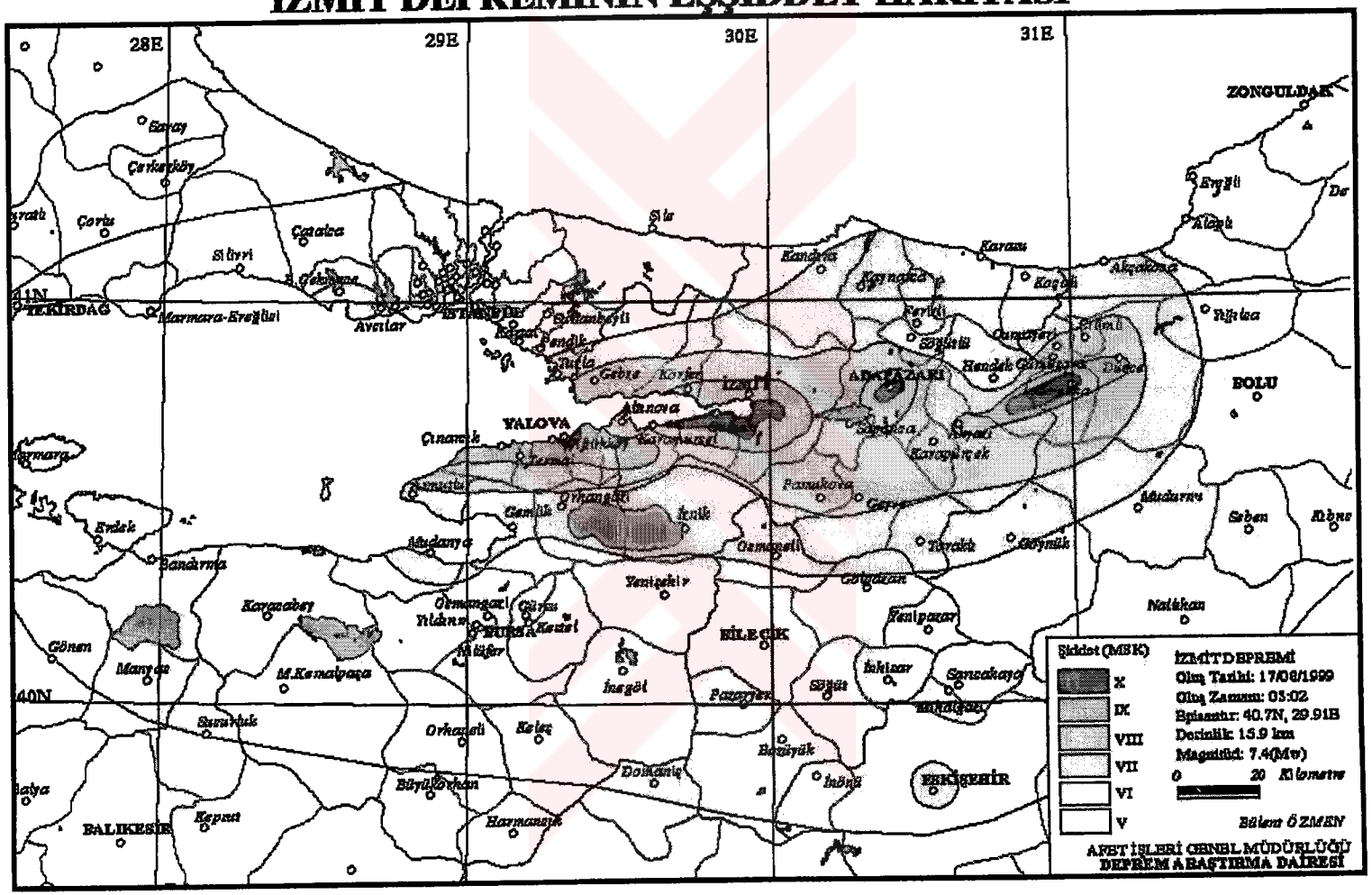
Şekil 2.58 Seka'nın liman işletmesinde meydana gelen hasardan görünüm.

2.5 Kocaeli Depremi'nin Şiddeti ve Eşşiddet Haritası

Bir depremin şiddeti; onun yapılar, doğa ve insanlar üzerindeki etkilerine bağlı olarak belirlenir. Bu etki, depremin büyüklüğü, odak derinliği, uzaklığı, yapıların depreme karşı gösterdiği dayanıklılık, yerel zemin yapısı ve jeolojiye bağlı olarak değişmektedir. Yani bir bölgenin hasarının dolayısıyla burada gerçekleşen deprem şiddetinin belirlenebilmesi için burada yapılaşmanın olması gereklidir.

Kocaeli Depremi'nin eşşiddet haritası arazi gözlemleri, hasar tespitleri ve ivme kayıtları baz alınarak MSK şiddet cetveline göre hazırlanmıştır. Özmen (2000)'de verilmiş olan bu eşşiddet haritası aşağıda Şekil 2.59'da görülmektedir. Aynı şiddet eğrisi içerisinde kalan yerleşim birimlerinde farklı hasar dağılımlarına rastlanılması, yerleşim yerlerinde yer alan yapı tiplerinin nitelik ve niceliklerindeki farklılıklardan kaynaklanmaktadır.

MSK şiddet cetveline göre çizilen eşşiddet haritasına göre 17/08/1999 tarihinde meydana gelen Kocaeli Depremi'nden 11.807.738 kişi VI şiddetinde, 1.521.558 kişi VII şiddetinde, 666.936 kişi VIII şiddetinde, 676.122 kişi IX şiddetinde ve 419.699 kişi de X şiddetinde etkilenmiştir (Özmen, 2000).



Şekil 2.59 Kocaeli Depremi'nin eşşiddet haritası (Özmen, 2000).

Aşağıda Tablo 2.7'de hangi sayıda insan ve konutun depremden hangi şiddette etkilendiği ve bu şiddetin kaç km^2 alanda etkili olduğu tablo halinde gösterilmiştir.

Tablo 2.7 Depremde belli şiddetlerdeki bölgelerde bulunan insan ve konut sayıları (Özmen, 2000a).

Şiddet	Yüzölçümü (km^2)	Nüfus (1997)	Konut Sayısı
VI	35.200	11.807.738	2.762.044
VII	7.955	1.521.558	355.920
VIII	4.396	666.936	156.008
IX	1.216	676.122	158.157
X	294	419.699	98.175
Toplam	49.061	15.090.056	3.530.304

Tablodaki konut sayılarının aynı kaynakta, Devlet İstatistik Enstitüsü (DİE) verileri kullanılarak, depremden etkilenen illerin hane halkı büyüklüklerinin nüfus sayısına bölünmesi ile elde edildiği belirtilmektedir.

Aşağıda Tablo 2.8'de depremden değişik şiddetlerde etkilenen konutların kaç tanesinin ve yüzde kaçının ağır, orta ve hafif hasara uğradığı gösterilmiştir.

Tablo 2.8 Çeşitli şiddetlere göre konutların hasar durumları (Özmen, 2000a).

	HASAR DURUMLARI					
ŞİDDET	AĞIR	%	ORTA	%	AZ	%
VI	1.111	0,04	6.023	0,22	6.496	0,24
VII	3.241	0,91	9.514	2,67	9.232	2,59
VIII	4.398	2,82	6.883	4,41	8.289	5,31
IX	24.824	15,70	28.726	18,16	35.977	22,75
X	32.458	33,06	15.009	15,29	18.786	19,14
TOPLAM	66.032		66.155		78.780	

Bu tablodan da açıkça görüldüğü gibi depremden X şiddetinde etkilenen konutların %33'ü, IX şiddetinde etkilenen konutların %16'sı, VIII şiddetinde etkilenen konutların %2,82'si, VII şiddetinde etkilenen konutların %0,91'i ve VI şiddetinde etkilenen konutların da %0,04'ü ağır hasara uğramıştır (Özmen, 2000a).

Eşşidet haritası içine düşen ve Deprem Araştırma Dairesi (DAD) tarafından işletilen kuvvetli yer hareketi istasyonlarının koordinatları ve Kocaeli depreminde elde edilen ivme değerleri aşağıda Tablo 2.9'da verilmiştir.

Tablo 2.9 DAD tarfından işletilen kuvvetli yer hareketi istasyonlarından elde edilen ivme değerleri ve bu istasyonların yerleri (Özmen, 2000a).

Şiddet	Bulunduğu Yer	Enlem	Boylam	K-G (mG)	D-B (mG)	Düşey (mG)
VI	Bursa Sivil Savunma Müd.	40,184	29,131	54,32	45,81	25,73
VI	Ereğli Kaymakamlık Binası	40,980	27,790	90,36	101,36	56,98
VI	İstanbul Bay. İsk. Müd.	41,080	29,090	60,67	42,66	36,22
VI	Tekirdağ Bay. İsk. Müd.	40,979	27,515	32,17	33,45	10,16
VII	Çekmece Nükleer Santrali	40,970	28,700	118,03	89,61	49,80
VII	Göynük Devlet Hastanesi	40,396	30,783	137,69	117,90	129,90
VII	İznik Karayolları Şefliği	40,440	29,750	91,89	123,32	82,31
VIII	Gebze Tübitak Mar. Arş.	40,820	29,440	264,82	141,45	198,49
IX	Düzce Meteoroloji Müd.	40,844	31,149	314,88	373,76	479,94
IX	İzmit Meteoroloji Müd.	40,790	29,960	171,17	224,91	146,39
X	Sakarya Bay. İsk. Müd.	40,737	30,384	0,21	407,04	259,00

VI şiddetinde etkilenen Bursa, Marmara-Ereğlisi, İstanbul ve Tekirdağ ivme kayıt istasyonlarından alınan en büyük yatay ivme değerleri 32 – 101 mG arasında değişmekte, VII şiddetinde etkilenen Çekmece (İstanbul) ve Göynük (Bolu) ivme kayıt istasyonlarından alınan en büyük yatay ivme değerleri 118 – 138 mG arasında değişmekte, VIII şiddetinde etkilenen Gebze ivme kayıt istasyonundan alınan en büyük yatay ivme değeri 265 mG, IX şiddetinde etkilenen Düzce ve İzmit ivme kayıt istasyonlarından alınan en büyük yatay ivme değerleri 225 – 374 mG arasında değişmekte ve X şiddetinde etkilenen Adapazarı ivme kayıt istasyonundan alınan en büyük yatay ivme değeri 407 mG'dir.

Arazi gözlemleri, hasar tespitleri ve ivme kayıtları baz alınarak çizilen eşşiddet haritasına göre; depremde Çiftlikköy, Gölcük, Adapazarı ve Gölyaka ilçelerini X şiddetinde etkilemiştir. 420.000 kişinin yaşadığı ve 98.175 konutun bulunduğu bu bölgede konutların % 33'ü ağır hasara, % 15'i de orta hasara uğramıştır.

Kocaeli Depremi MSK şiddet cetveline göre hazırlanan eşşiddet haritasına göre 15.000.000 kişinin yaşadığı bölgede VI – X şiddetinde hissedilmiştir.

1996 yılında Bayındırlık ve İskan Bakanlığı tarafından yayınlanan deprem bölgeleri haritasına göre; depremden en fazla etkilenen Kocaeli, Sakarya ve Yalova il sınırları içindeki bölgenin hemen hemen hepsi I. derece deprem bölgesindedir. Yani bu bölgelerde yer ivmesinin 0,4 g veya daha büyük olması beklenmektedir. Bölgede kaydedilen en yüksek yatay ivme kaydı 407 mG ile Adapazarı'ndan alınan kayıttır (Özmen, 2000a).

3. ADAPAZARI'NDA YEREL ZEMİN KOŞULLARI

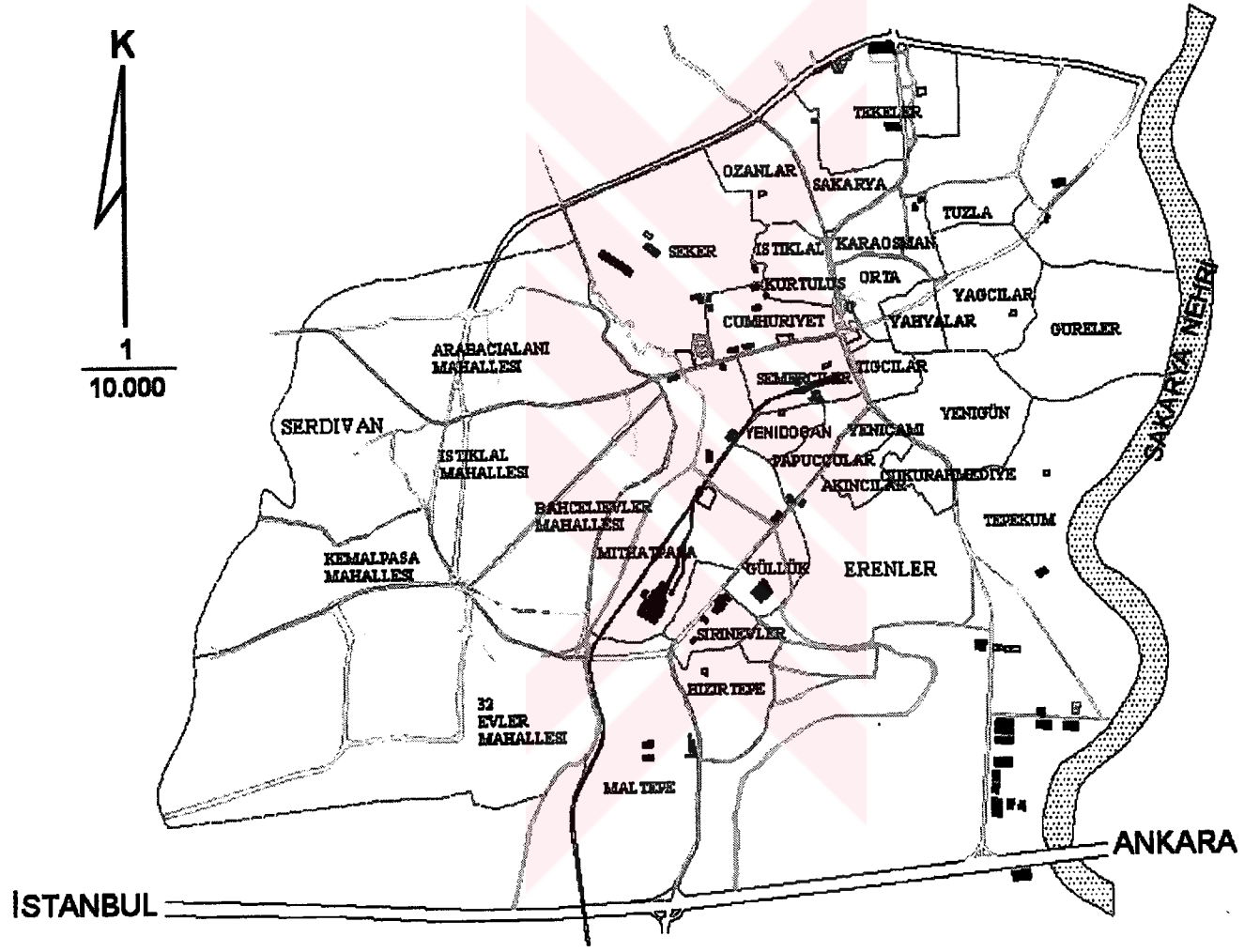
3.1 Giriş

17 Ağustos 1999 Kocaeli Depremi'nde oluşan hasarlara bakıldığında meydana gelen hasarlarda değişik ana nedenlerin etkin rol aldığı görülmektedir. Kimi yerde fay hattının doğrudan yapılara etkisi, kimi yerde büyük yapı kusurları, kimi yerde yerel zemin koşulları ve deprem özellikleri gibi birçok neden yapısal hasar üzerinde etkili olmuştur.

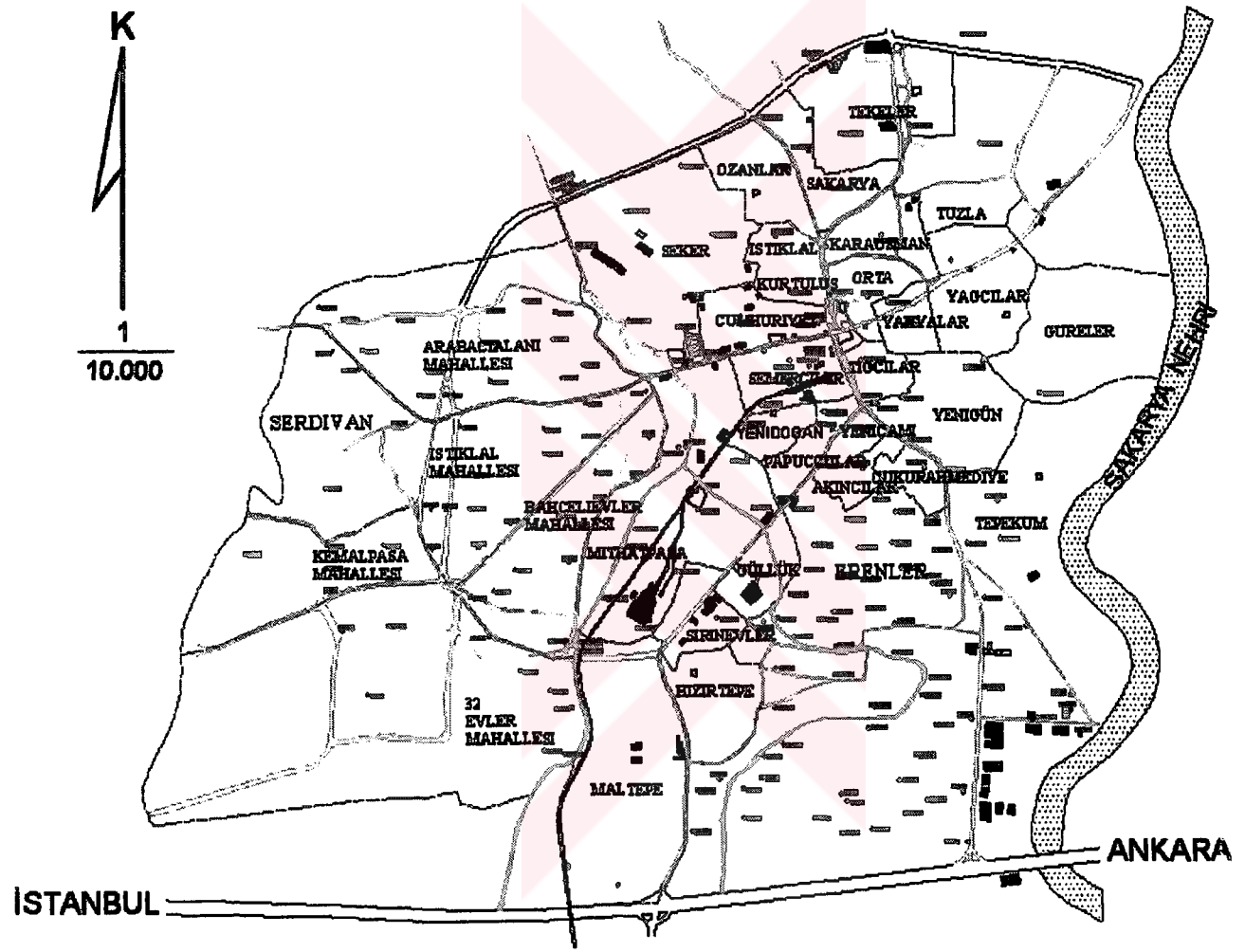
Depremde en çok hasara uğrayan yerleşim birimlerinden biri Adapazarı'dır. Adapazarı'nda meydana gelen hasarlarda yerel zemin koşulları önemli yer tutmaktadır. Sıvılaşma sonucunda yapılarda büyük hasarlar oluşmuştur. Sıvılaşmaya neden olan zeminler sayesinde yapılarda batma, öteleme ve dönme hareketleri meydana gelmiştir. Bahsedilen bu olaylar özellikle siltli zemin tabakalarının hakim olduğu şehir merkezinde çok yaygın bir şekilde görülmüştür. Sıvılaşma çatlakları, zemin batmaları ve kum volkanları birçok yerde gözlenmiştir. Sıvılaşmanın en kötü etkileri Adapazarı'nda meydana gelmiştir. Şehrin birçok bölgesinde sıvılaşma sonucunda zemine gömülmeler ve taşıma gücü kayıpları oluşmuştur. Gözlenen zemine gömülme miktarları bazı yapılarda 2 m'ye kadar yükselmektedir. Siltli ve killi zeminlerin deprem titreşimleri sonucunda yumuşamaları sonucunda taşıma gücü kayıpları meydana gelmiştir. Sıvılaşma etkisiyle taşıma gücü kayıpları sonucunda cadde ve yollar boyunca zemine gömülü olarak devam eden kanalizasyon boruları zemin yüzeyine doğru harekete zorlanmışlardır. Aynı zamanda binalar kanalizasyon boşluklarına doğru hareket etmiştir (Erken, 2001b).

Şekil 3.1'de Adapazarı şehir planı verilmiştir. Adapazarı şehri Sakarya havzası içerisinde bulunmaktadır. Şehrin bazı kısımları tepelik şeklinde olsa da genelini Sakarya havzası oluşturmaktadır. Havzadaki alüvyon zeminler Sakarya nehri ve Çark deresi tarafından taşınmıştır. Siltli veya killi yüzey tabakalarının kalınlığı yaklaşık olarak 3 m'den başlayıp şehrin kimi yerlerinde 15 m'ye kadar ulaşmaktadır (Erken, 2001b).

Adapazarı şehrinde meydana gelen zemin etkilerini ve sıvılaşma olayını yakından anlamak için, depremden sonra bina bazında zorunlu hale getirilen, çeşitli kişi ve kurumlar tarafından yaptırılan 700'ün üzerinde zemin sondajından ve bunların deney sonuçlarından faydalanılmıştır. Bazı sondajların yerleri Şekil 3.2'de verildiği gibidir.

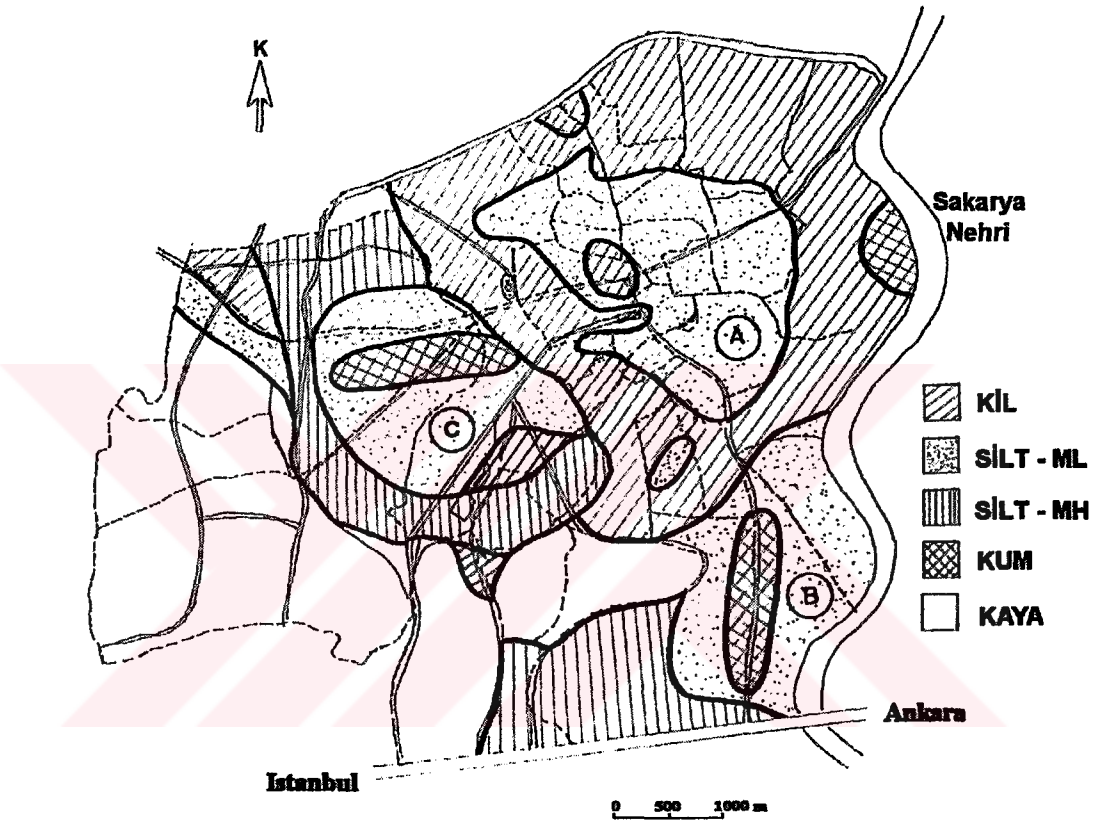


Şekil 3.1 Adapazarı şehir plânı.



Şekil 3.2 Adapazarı'nda açılan bazı sondajların yerleri.

Şekil 3.3'de Erken (2001b)'ye göre zemin verilerine dayanılarak oluşturulan Adapazarı şehrinin yüzeyden yaklaşık 15 m derinliğe kadar olan yüzey tabakalarının ayırımı görülmektedir. Plastik olmayan veya düşük plastik özelliği olan silt tabakaları şehrin merkezinde yer almaktadır. Bu tabakalaşma A bölgesi olarak şekil üzerinde belirtilmiştir. Bu bölge içerisinde silt içerisinde kum yoğunluğu bazı yerlerde % 50 mertebesine kadar çıkmaktadır. Hasarın yoğun olarak gözlendiği bu bölgenin yerel zemin koşulları bu tez konusu kapsamında yer almaktadır.

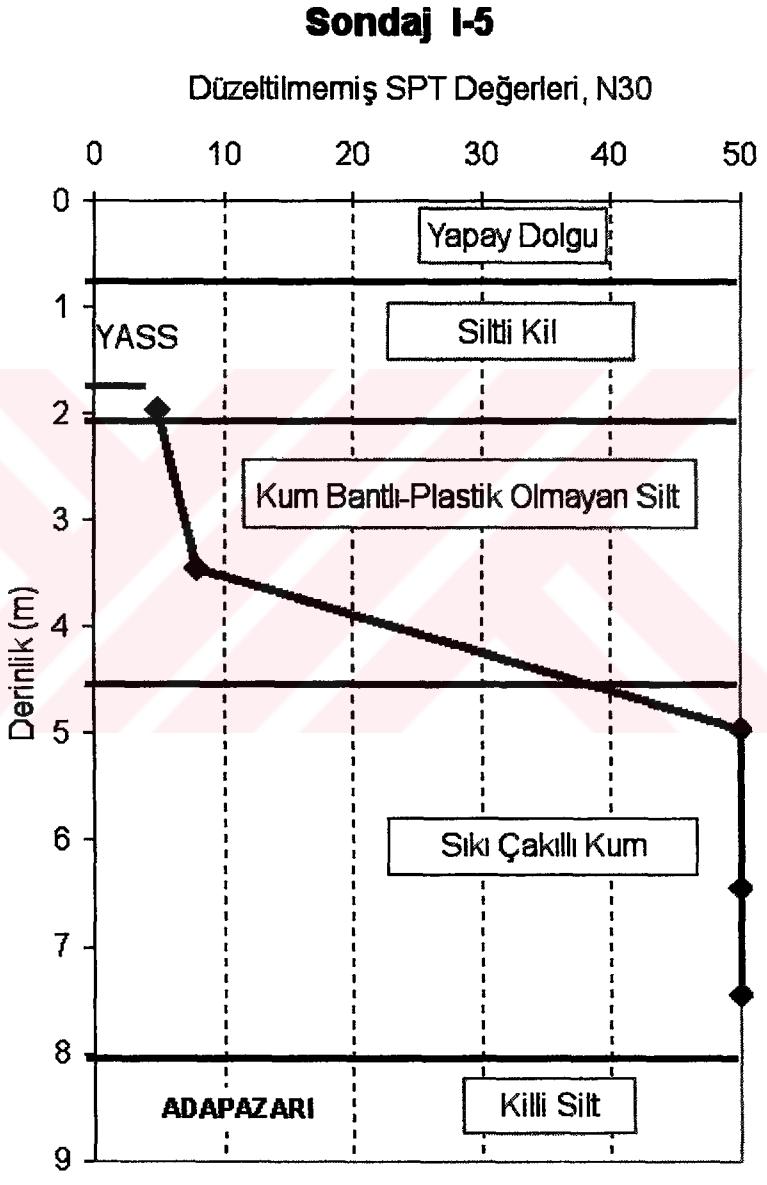


Şekil 3.3 Adapazarı şehrinin ilk 15 m derinlikteki yüzey tabakaları (Erken, 2001b).

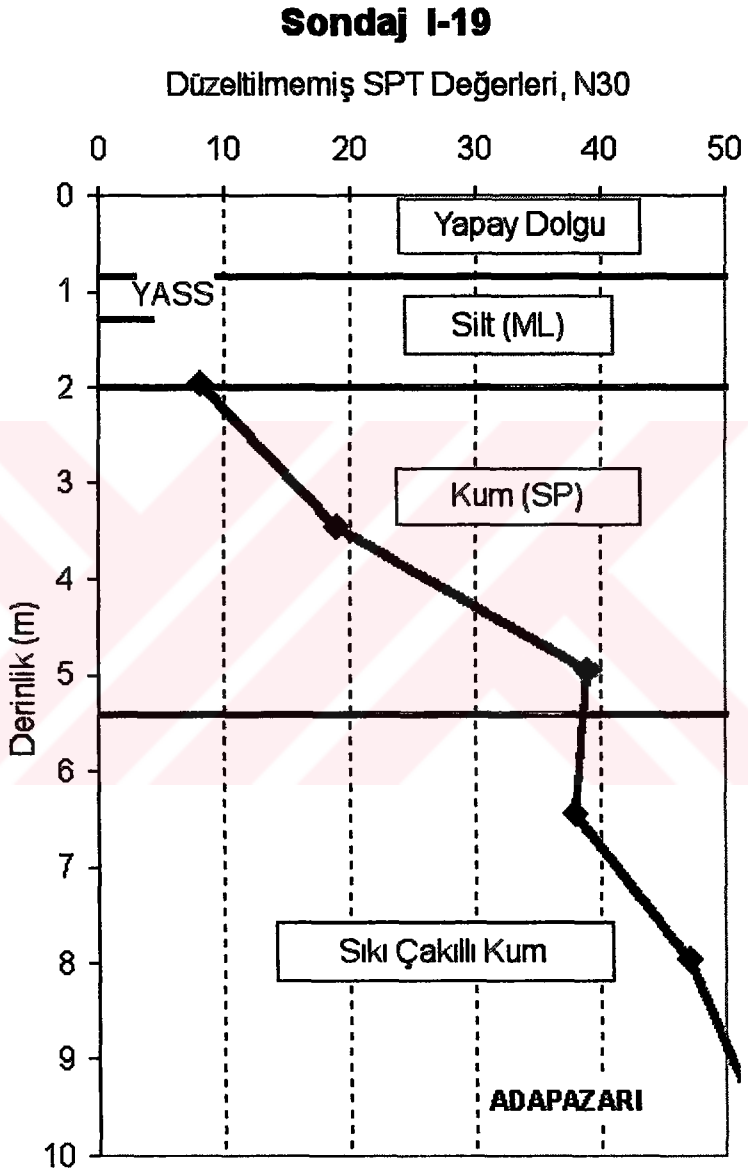
Hasarın yoğunlaştığı A bölgesi içerisinde yer alan Çark Caddesi'nde Adapazarı şehrinin kanalizasyon boru hattı projesi kapsamında açılan sondajlardan ikisi I-5 ve I-19 aşağıda verilmiştir. Şekil 3.4'de I-5 sondaj kesiti görülmektedir. Kum bantlı plastik olmayan silt tabakası, yapay dolgu ve siltli kil tabakaları altında yer almaktadır. SPT darbe sayıları, ASTM standartlarına uyularak yapılan deney sonucunda 4 m'ye kadar 10'dan küçüktür. Çakıllı kum tabakası sıkı durumda olup killi silt tabakasının üzerinde yer almaktadır. I-19 sondaj kuyusu, hafif hasar gören belediye binasına yakın yerde açılmıştır. I-19 sondaj kesiti Şekil 3.5'de verilmiştir. Şekle göre gevşek kum tabakası yapay dolgu ve silt tabakası altında olmak üzere 5 m derinliğe kadar devam etmektedir. Bu noktada sıkı çakıllı kum tabakası gevşek kum tabakası altında baskın halde bulunmaktadır. Şekil 3.6'da verilen Sanayi Merkezi

projesi kapsamında açılan B6 sondaj kesitine göre yumuşak silt, kum tabakaları 14 m derinliğe kadar uzanmaktadır. Şekil 3.6'da verilen sondaj kesiti şehirde ağır hasar gören bölgelerin baskın zemin durumlarını ortaya koymaktadır.

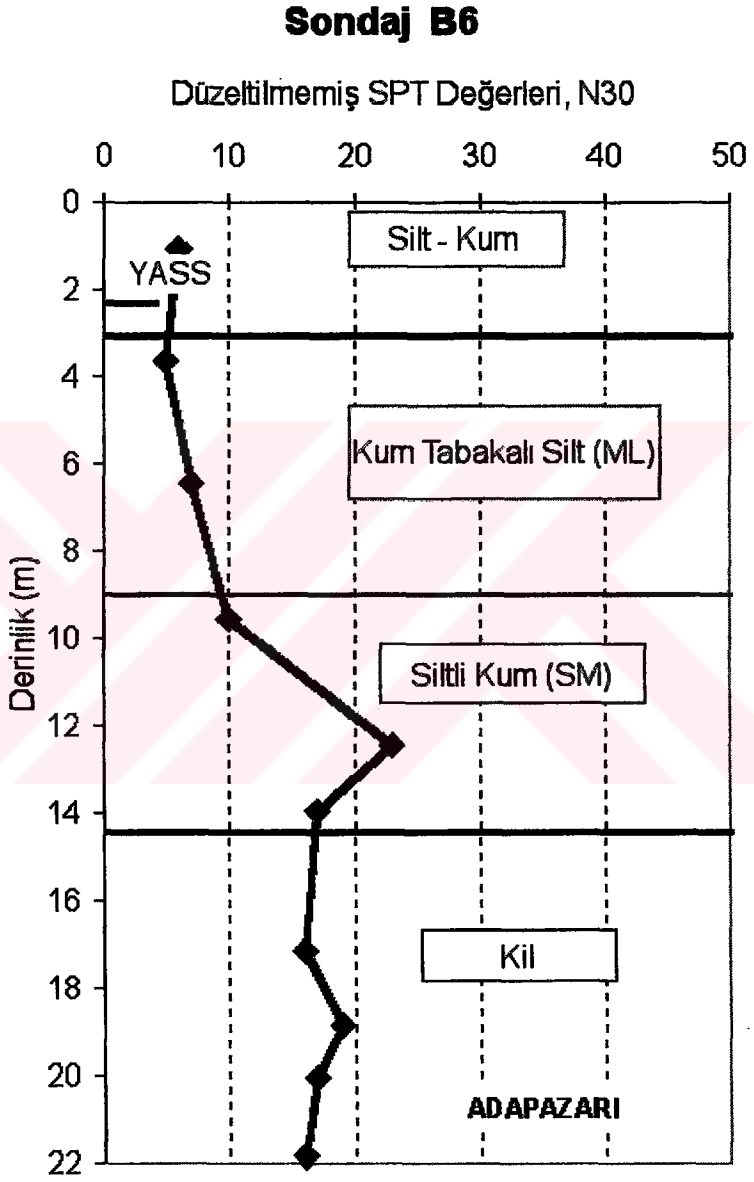
Adapazarı'nda yer altı su seviyesi çok yüksekte olup yaklaşık 1m ile 3 m arasında değerler almaktadır. Yer altı suyu seviyesinin oluşumunu şehirden geçen iki akarsu, Sapanca Gölü ve tabiki doğal olarak mevsimsel yağış durumu etkilemektedir.



Şekil 3.4 Adapazarı şehrinde ağır hasara uğrayan bölgeden zemin kesiti (I-5).



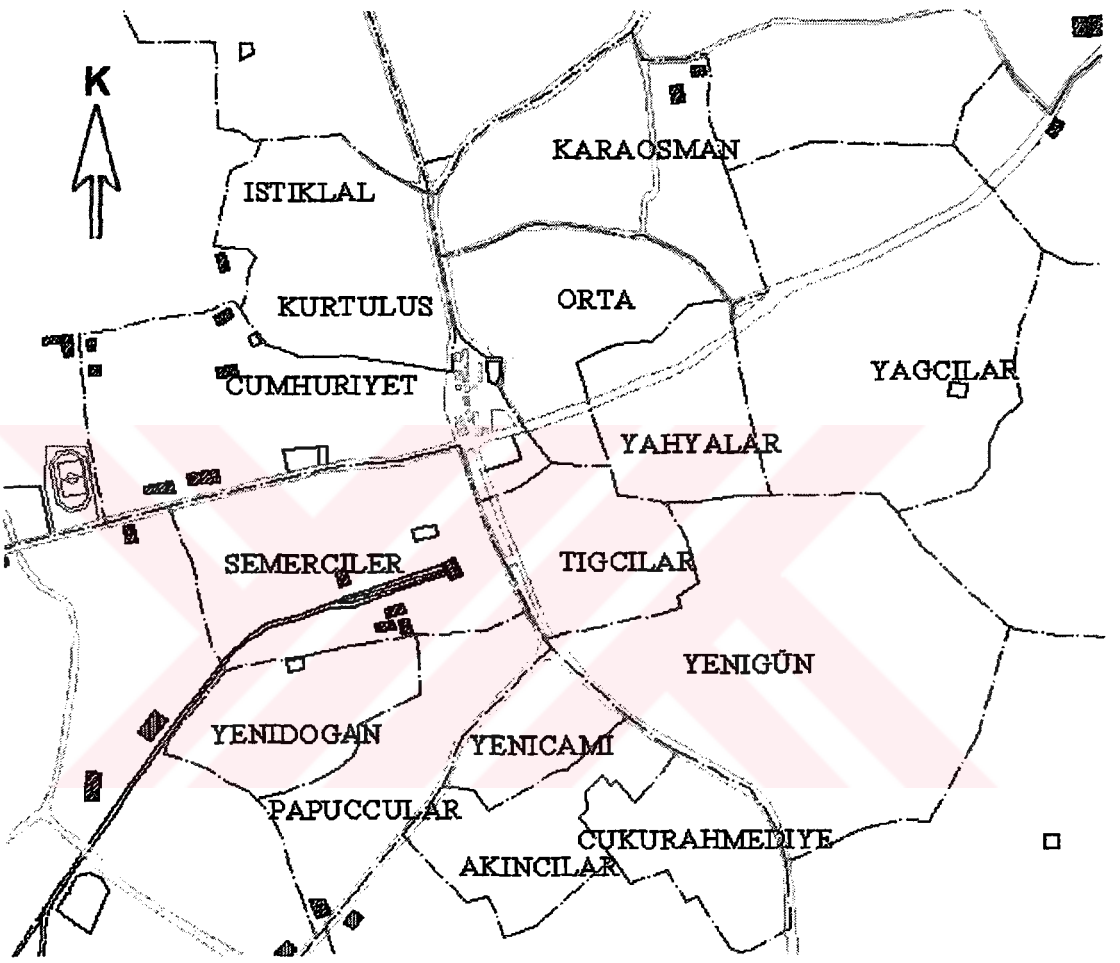
Şekil 3.5 Adapazarı şehrinde ağır hasara uğrayan bölgeden zemin kesiti (I-19).



Şekil 3.6 Adapazarı şehrinin tipik zemin kesiti (B-6).

3.2 Adapazarı'nda Ağır Hasarın Oluştuğu Bölgedeki Yerel Zemin Koşulları

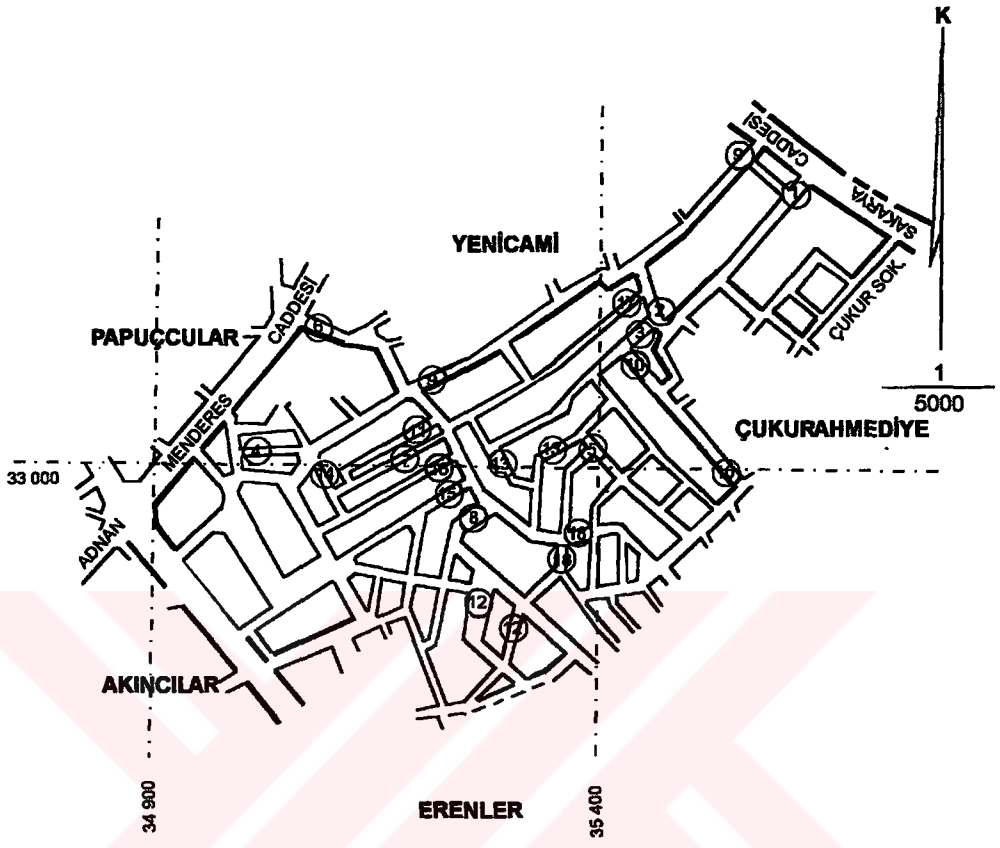
Daha önce de belirtildiği gibi bu tez kapsamında Adapazarı'nda en çok hasara uğrayan, Şekil 3.3'de verilen A bölgesindeki mahallelerin ve Erenler ile Serdivan ilçelerinin yerel zemin koşulları üzerinde durulacaktır. A bölgesi olarak belirtilmiş olan kısımda 15 mahalle yer almaktadır. Bunların yerleşimi Şekil 3.7'de verilmiştir.



Şekil 3.7 Adapazarı'nda en çok hasara uğrayan A bölgesi mahalleleri.

3.2.1 A Bölgesi Mahallelerinin Yerel Zemin Koşulları

3.2.1.1 Akıncılar Mahallesi



Şekil 3.8 Akıncılar mahallesi.

Tablo 3.1 Akıncılar mahallesi sokak isimleri.

No	Sokak İsmi	No	Sokak İsmi
1	Akıncılar	10	Ekici
2	Ara	11	Elif
3	Bahçe	12	Horozlu
4	Berber	13	Kamer
5	Bereket	14	Komşu
6	Büyük Geçit	15	Kuş
7	Çeker	16	Tatlı
8	Çilek	17	Yeşil
9	Değirmenciler	18	1 Nolu

Bu mahallede yerel zemin durumu ekseriyetle, üst kısımlarda düşük plastisiteli silt ve/veya plastik olmayan siltden ve bu tabakanın altında da siltli kum ve/veya kötü derecelenmiş kumdan oluşmaktadır. Bu mahallede yapılan sondajlardan Değirmenciler sokakda açılan sondajdan elde edilen zemin verileri aşağıda Tablo 3.2'de görülmektedir.

Tablo 3.2 SK-1 sondajından elde edilen veriler.

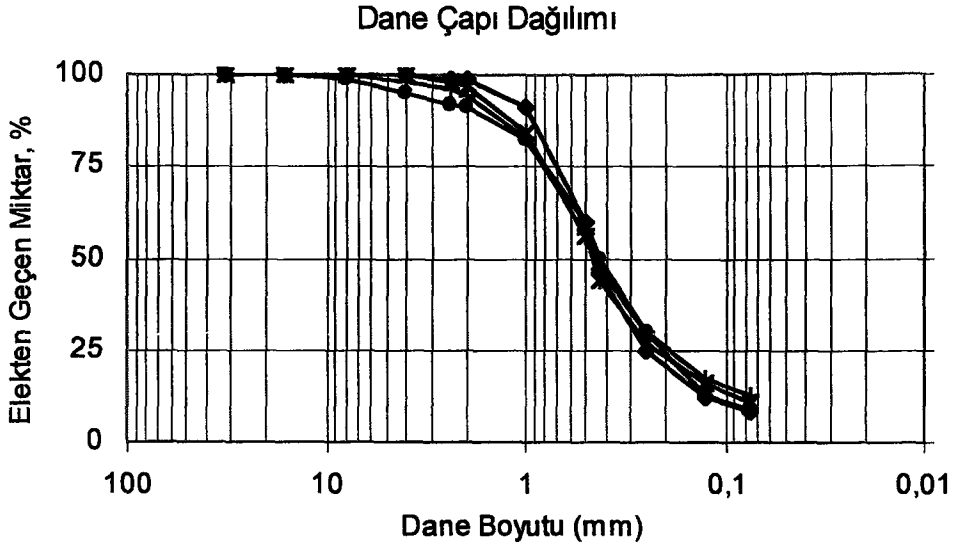
Sondaj No	Derinlik m	Sınıfı	N_{30}	w_n %	w_L %	w_p %	I_p %	I_c	Kıvam	# +4 %	# -200 %
SK1/SPT-1	1,95	ML	9	36	38	26	12	0,1667	Plastik		95
SK1/UD-1	3,5	ML		38	40	28	12	0,1667	Plastik		98
SK1/SPT-2	3,95	ML	17	36		NP	-				85
SK1/SPT-3	5,45	ML	18	28		NP	-				70
SK1/SPT-4	6,95	ML	21	35		NP	-				60
SK1/SPT-5	8,45	SM-SP	31	16		NP	-			0	11
SK1/SPT-6	9,95	SM-SP	30	18		NP	-			5	9
SK1/SPT-7	10,95	SM	41	19		NP	-			2	13
SK1/SPT-8	14,95	SM-SP	46	20		NP	-			0	8

3,5 m'den alınan örselenmemiş numuneyle yapılan UU deneyinde kohezyon değeri (c) 0,25 kg/cm^2 ve kayma mukavemeti açısı da (ϕ) 4° olarak bulunmuştur. Ayrıca sondaj numunelerinden zeminin doğal birim hacim ağırlığının (γ_n) 1,72 gr/cm^3 olduğu anlaşılmaktadır.

Diğer sondajlardan da genellikle üstte yer alan silt tabakalarının ya plastik değil yada plastisite indislerinin (I_p) %6-10 aralığında değişik değerler aldığı görülmektedir. Kimi yerde zemin kesitini üstte yaklaşık 4 m'ye kadar silt (I_p= %6-10), bunun altında yaklaşık 8 m'ye kadar kil (I_p= %22-27) ve bunun da altında I_p'si %7-8 olan silt oluşturmaktadır. Siltli kumlarda ince dane oranları %8-43 aralığında değişik değerler almaktadır.

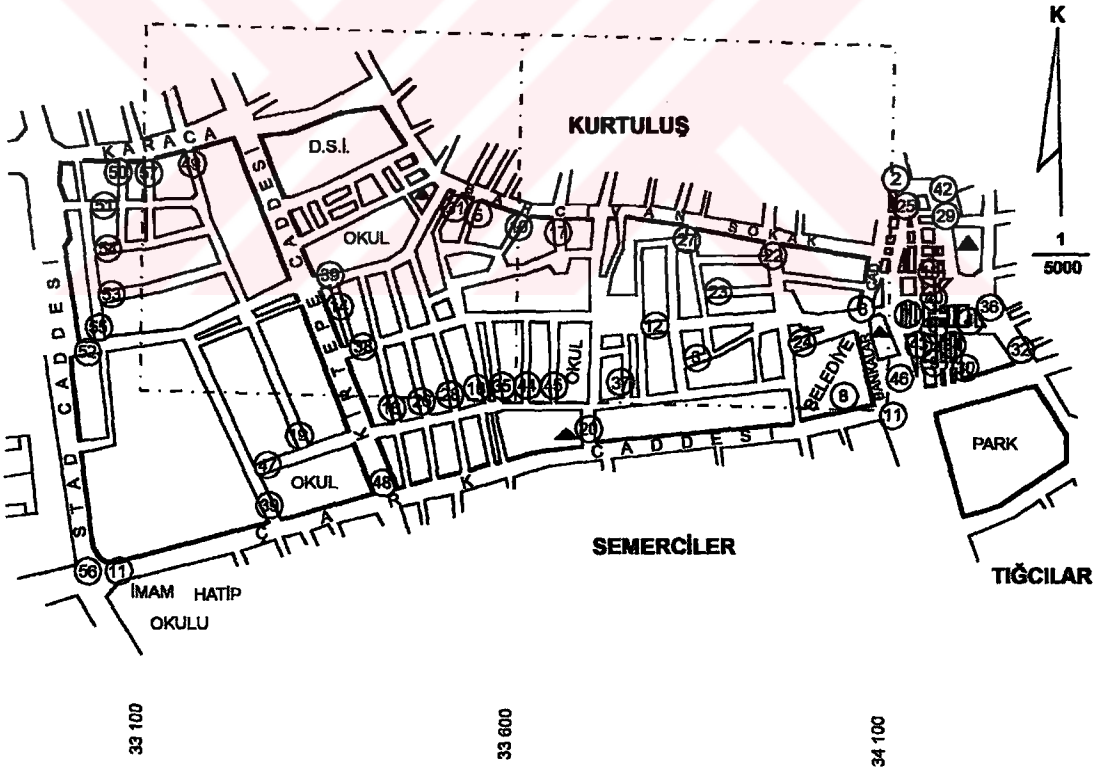
Yeraltı su seviyesi mevsimsel olarak yağış miktarına göre değişim göstermekte olup yaklaşık olarak yer altı su seviyesi (YASS) 1,0 m dolayındadır.

Akıncılar mahallesinde yapılan sondajlardan elde edilen numunelerden siltli ve/veya kumlu zeminler üzerinde yapılan elek analizinden elde edilen dane çapı dağılımı aşağıda Şekil 3.9'da verilmiştir.



Şekil 3.9 Akıncılar mahallesinde açılan sondajlardan silt-kum zeminlerde yapılan elek analizlerinden elde edilen dane çapı dağılımı.

3.2.1.2 Cumhuriyet Mahallesi



Şekil 3.10 Cumhuriyet mahallesi.

Tablo 3.3 Cumhuriyet mahallesi sokak isimleri.

No	Sokak İsmi	No	Sokak İsmi	No	Sokak İsmi
1	Arabacılar Çarş.	20	Kanarya Sokak	39	Tümen
2	Ağa Cami	21	Kasaplar Çarş.	40	3. Geçit
3	Annem Sokak	22	Kayı	41	Usta
4	Aynalı Kavak	23	Kiraz	42	Unkapanı Çarş.
5	Basık Sokak	24	Kolağası	43	Uzun Çarş.
6	Bankalar Cad.	25	Kuyumcular Çarş.	44	Yakın Sokak
7	Bakırcılar Çarş.	26	Menekşe Sokak	45	Yalı
8	Belediye Meydanı	27	Onat	46	Yazan Çarş.
9	1. Geçit	28	Papatya	47	Yasemin Sokak
10	Çalım Sokak	29	Pirinç Pazarı	48	Sedat Kirtetepe
11	Çark Cad.	30	Sebzeciler Çarş.	49	Bal Sokak
12	Dr. Kamil Sokak	31	Serpil Sokak	50	Bilen
13	4. Geçit	32	Soğan Pazarı	51	Birlik Sokak
14	Fikret Sokak	33	Şal Sokak	52	Değerli
15	Fulya	34	Tenekeciler Çarş.	53	Nadir
16	Gökalp	35	Telli Sokak	54	Pancar
17	Hatip	36	Ticaret Sarayı	55	Sefa
18	Hüseyin Rahmi	37	Toplu Sokak	56	Stad
19	2. Geçit	38	Tül	57	Yel Sokak

Bu mahallede yerel zemin durumu ekseriyetle, üst kısımlarda düşük plastisiteli silt ve/veya plastik olmayan siltden ve bu tabakanın altında da siltli kumdan oluşmaktadır. Ancak bazı kesimlerde üstte yaklaşık 3-3,5 m'ye kadar kil, bunun altında silt veya kum yer almakta olup kil, silt ve kumun ardalı olarak tabakalar halinde bulunduğu birçok kesit söz konusudur. Bu mahallede yapılan sondajlardan Menekşe sokakda açılan sondajdan elde edilen zemin verileri aşağıda Tablo 3.4'de görülmektedir.

Tablo 3.4 SK-2 sondajından elde edilen veriler.

Sondaj No	Derinlik m	Sınıfı	N_{30}	w_n %	w_L %	w_p %	I_p %	I_c	Kıvam	# +4 %	# -200 %
SK2/SPT-1	1,95	ML	6	29	29	23	6	0,0	Viskoz Sıvı		90
SK2/UD-1	3,5	ML		32		NP	-				64
SK2/SPT-2	3,95	ML	14	30	26	22	4	-1,0	Viskoz Sıvı		89
SK2/SPT-3	5,45	ML	20	29	27	22	5	-0,4	Viskoz Sıvı		95
SK2/SPT-4	6,95	SM	22	17		NP	-				12
SK2/SPT-5	9,45	SM	26	17		NP	-				13
SK2/SPT-6	10,95	SM	25	16		NP	-				13
SK2/SPT-7	14,95	SM	34	17		NP	-			7	10

Sondaj numunelerinden zeminin γ_n'inin 1,79 gr/cm^3 olduğu anlaşılmaktadır.

Diğer sondajlardan da genellikle üstte yer alan silt tabakalarının ya plastik değil yada I_p'sinin %3-8 aralığında değişik değerler aldığı görülmektedir. Kimi yerde zemin

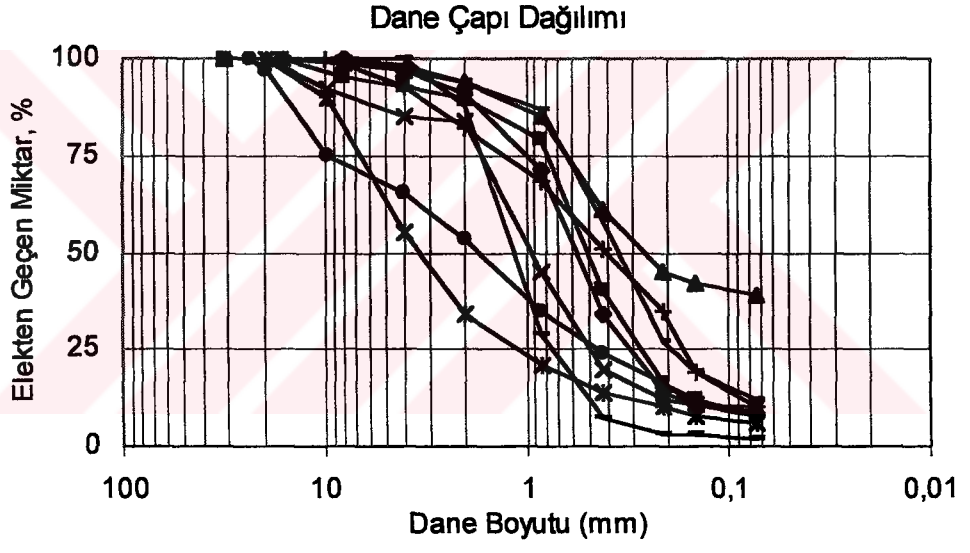
kesitini, üstte yaklaşık 3,5 m'ye kadar kil (I_p= %8-28), bunun altında silt (I_p= %0-8) ve/veya kum, en alt kısımda da ekseriyetle ince dane miktarı (İ.D.O.) %7-39 olan kum oluşturmaktadır.

YASS mevsimsel olarak yağış miktarına göre değişim göstermekte olup yaklaşık olarak 1,0 m dolayındadır. Likit limit değerleri ekseriyetle su muhtevalarına ya çok yakın ya da kimi kısımlarda az miktarlarda da olsa onlardan büyük veya küçüktür.

Zeminin γ_n'i 1,75-1,98 gr/cm^3 aralığında değişmektedir.

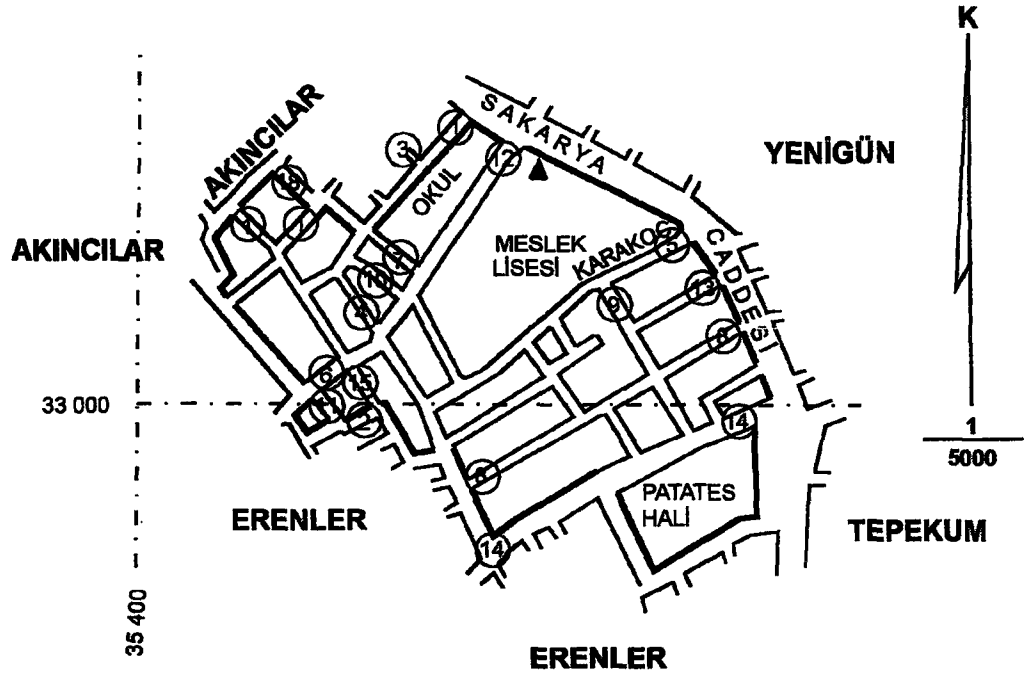
Suya doygun kumlar için kayma mukavemeti açısı (ϕ) 22° olarak, suya doygun killer için ise kohezyon değeri (c) 47-66 kN/m^2 aralığında bulunmuştur.

Cumhuriyet mahallesinde yapılan sondajlardan elde edilen numunelerden siltli ve/veya kumlu zeminler üzerinde yapılan elek analizinden elde edilen dane çapı dağılımı aşağıda Şekil 3.11'de verilmiştir.



Şekil 3.11 Cumhuriyet mahallesinde açılan sondajlardan silt-kum zeminlerde yapılan elek analizlerinden elde edilen dane çapı dağılımı.

3.2.1.3 Çukurahmediye Mahallesi



Şekil 3.12 Çukurahmediye mahallesi.

Tablo 3.5 Çukurahmediye mahallesi sokak isimleri.

No	Sokak İsmi	No	Sokak İsmi
1	Akay Sokak	9	Düz
2	Akbay	10	Eren
3	Bala	11	Kırım
4	Cantek	12	Meydan
5	Çayır	13	Orta
6	Çile	14	Oğul
7	Çukur	15	Yumak
8	Demirci	16	Ada Sokak

Bu mahallede yerel zemin durumu ekseriyetle, üst kısımlarda düşük plastisiteli silt ve/veya plastik olmayan siltden ve bu tabakanın altında da siltli kumdan oluşmaktadır. Ancak bazı kesimlerde üstte yaklaşık 3 m'ye kadar kil, bunun altında silt veya kum yer almakta olup silt ve kumun ardalı olarak tabakalar halinde bulunduğu birçok kesit söz konusudur. Bu mahallede yapılan sondajlardan Çayır sokakda bodrum + 4 kat şeklindeki binanın onarım ve takviyesi için açılan sondajdan elde edilen zemin verileri aşağıda Tablo 3.6'da görülmektedir.

Tablo 3.6 SK-3 sondajından elde edilen veriler.

Sondaj No	Derinlik m	Sınıfı	N_{30}	w_n %	w_L %	w_p %	I_p %	I_c	Kıvam	# +4 %	# -200 %
SK3/SPT-1	1,95	ML	6	28	34	26	8	0,7500	Plastik		93
SK3/UD-1	3,5	ML		27	33	24	9	0,6667	Plastik		96
SK3/SPT-2	4,45	SM	20	15		NP	-				15
SK3/SPT-3	7,95	SM	30	13		NP	-				12
SK3/SPT-4	10,95	SM	36	15		NP	-				14
SK3/SPT-5	14,95	SM	53	13		NP	-				12

Sondaj numunelerinden zeminin doğal birim hacim ağırlığının (γ_n) 1,76 gr/cm^3 olduğu anlaşılmaktadır.

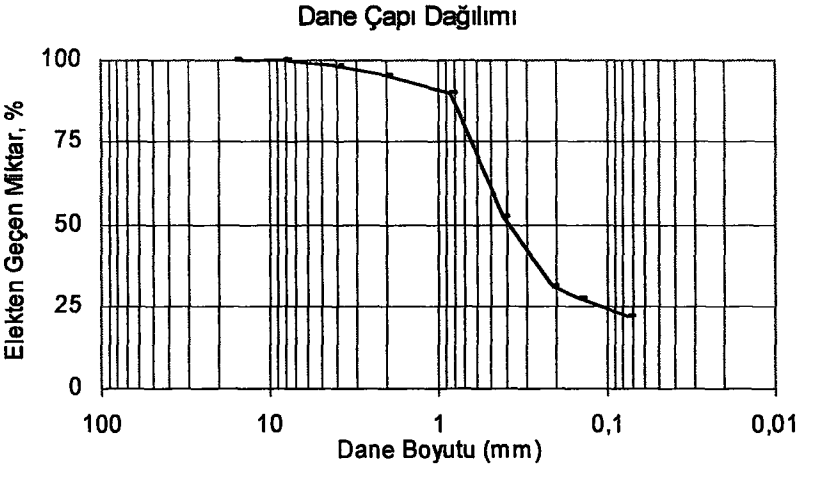
Diğer sondajlardan da genellikle üstte yer alan silt tabakalarının I_p'sinin %8-11 aralığında değişik değerler aldığı görülmektedir. Kimi yerde zemin kesitinde üstte yaklaşık 3,0 m'ye kadar kil (I_p= %22) bulunmaktadır. Zemin kesitlerinde silt (I_p= %0-11) ve kum (İ.D.O. = %12-50) ardalı olarak bulunduğu gibi kum tabakası üstünde silt tabakası şeklinde de bulunabilmektedir.

YASS mevsimsel olarak yağış miktarına göre değişim göstermekte olup yaklaşık olarak 1,25-2,0 m dolayındadır. Likit limit değerleri ekseriyetle su muhtevalarından büyüktür.

Zeminin genel olarak birim hacim ağırlığı (γ_n) 1,76 gr/cm^3 dolayındadır.

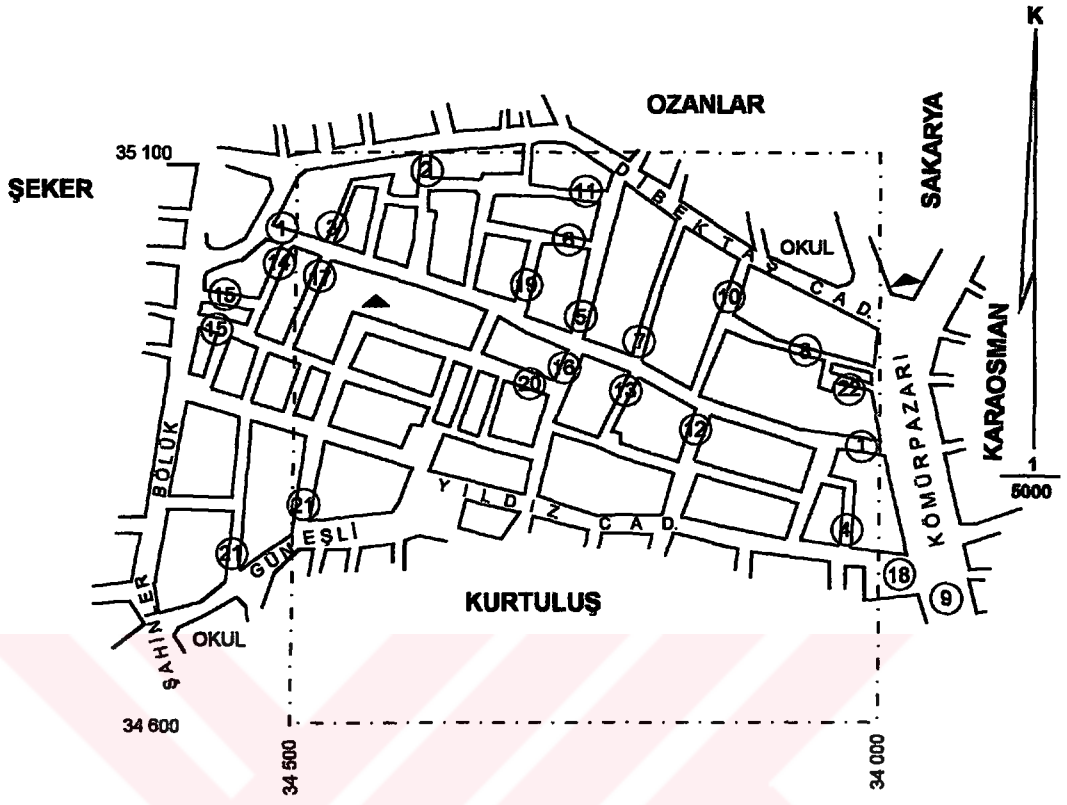
Bazı kesitlerde profilin en üstünde yer alan suya doygun killer için kohezyon 42 kN/m^2 şeklinde bulunmuştur.

Çukurahmediye mahallesinde yapılan sondajlardan elde edilen numunelerden siltli ve/veya kumlu zeminler üzerinde yapılan elek analizinden elde edilen dane çapı dağılımı aşağıda Şekil 3.13'de verilmiştir.



Şekil 3.13 Çukurahmediye mahallesinde açılan sondajlardan silt-kum zeminlerde yapılan elek analizlerinden elde edilen dane çapı dağılımı.

3.2.1.4 İstiklal Mahallesi



Şekil 3.14 İstiklal mahallesi.

Tablo 3.7 İstiklal mahallesi sokak isimleri.

No	Sokak İsmi	No	Sokak İsmi	No	Sokak İsmi
1	Aydın Sokak	9	Kömürpazarı Cad.	17	Yay
2	Bağ	10	Melik Sokak	18	Yıldız Cad.
3	Çerez	11	Melal	19	Yonca Sokak
4	Çeşme	12	Pilavcı	20	Zembil
5	Çimen	13	Sağlam	21	Kartal
6	Biçer	14	Sırım	22	Bayram
7	Derin	15	Şeref		
8	Karanfil	16	Tüten		

Bu mahallede yerel zemin durumu ekseriyetle, üst kısımlarda düşük plastisiteli silt ve/veya plastik olmayan siltden ve bu tabakanın altında da siltli kumdan oluşmaktadır. Ancak bazı kesimlerde üstte yaklaşık 4 m'ye kadar kil, bunun altında silt veya kum yer almakta olup silt ve kumun ardalı olarak tabakalar halinde bulunduğu birçok profil söz konusudur. Bu mahallede yapılan sondajlardan Karanfil sokakda açılan sondajdan elde edilen zemin verileri aşağıda Tablo 3.8'de görülmektedir.

Tablo 3.8 SK-4 sondajından elde edilen veriler.

Sondaj No	Derinlik m	Sınıfı	N_{30}	w_n %	w_L %	w_p %	I_p %	I_c	Kıvam	# +4 %	# -200 %
SK4/SPT-1	1,95	ML	9	29	39	26	13	0,769	Plastik		88
SK4/UD-1	3,50	ML		29	36	26	10	0,700	Plastik		96
SK4/SPT-2	3,95	ML	12	28	35	26	9	0,778	Plastik		88
SK4/SPT-3	6,95	SM	17	14		N.P.	-			19	6
SK4/SPT-4	9,95	SM	16	13		N.P.	-			21	5
SK4/SPT-5	12,95	SM	16	13		N.P.	-			19	6
SK4/SPT-6	14,95	SM	18	11		N.P.	-			20	5

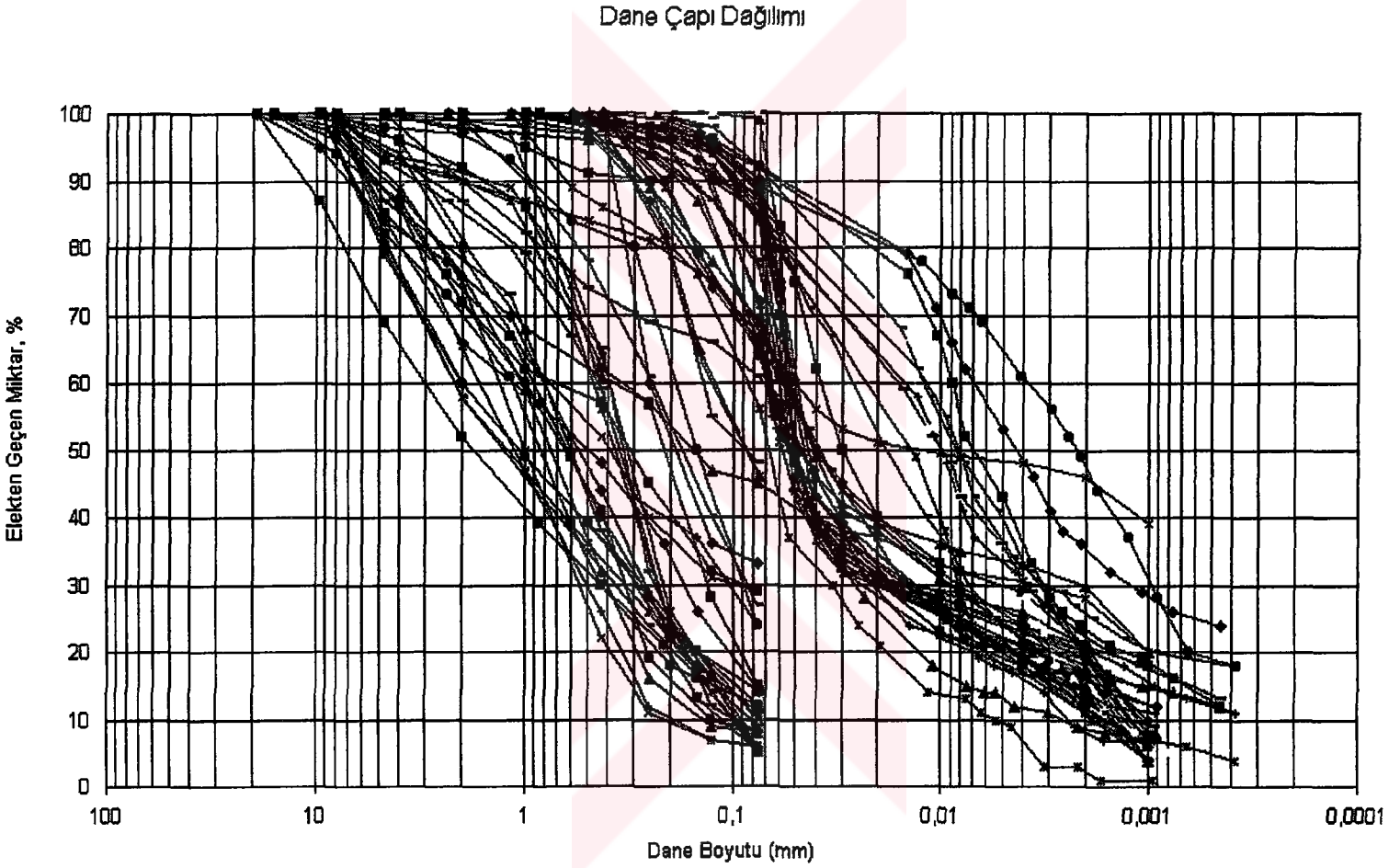
Diğer sondajlardan da genellikle üstte yer alan silt tabakalarının I_p'sinin %0-14 aralığında değişik değerler aldığı görülmektedir. Kimi yerlerde zemin kesitinin üstte yaklaşık 4,0 m'ye kadar kil (I_p= %12-20) bulunmaktadır. Zemin kesitlerinde silt (I_p= %0-14) ve kum (İ.D.O. = %5-46) ardalı olarak bulunduğu gibi silt tabakası üstünde kum tabakası şeklinde, sadece silt tabakası şeklinde veya sadece kil tabakası şeklinde de bulunabilmektedir.

YASS mevsimsel olarak yağış miktarına göre değişim göstermekte olup yaklaşık olarak 0,70-2,92 m dolayındadır. Likit limit değerleri ekseriyetle su muhtevalarından büyüktür.

Zeminin genel olarak γ_n'i 1,74-2,10 gr/cm^3 aralığı dolayındadır.

Suya doygun siltler için kayma mukavemeti değerleri (ϕ) 4-15° şeklinde bulunmuştur.

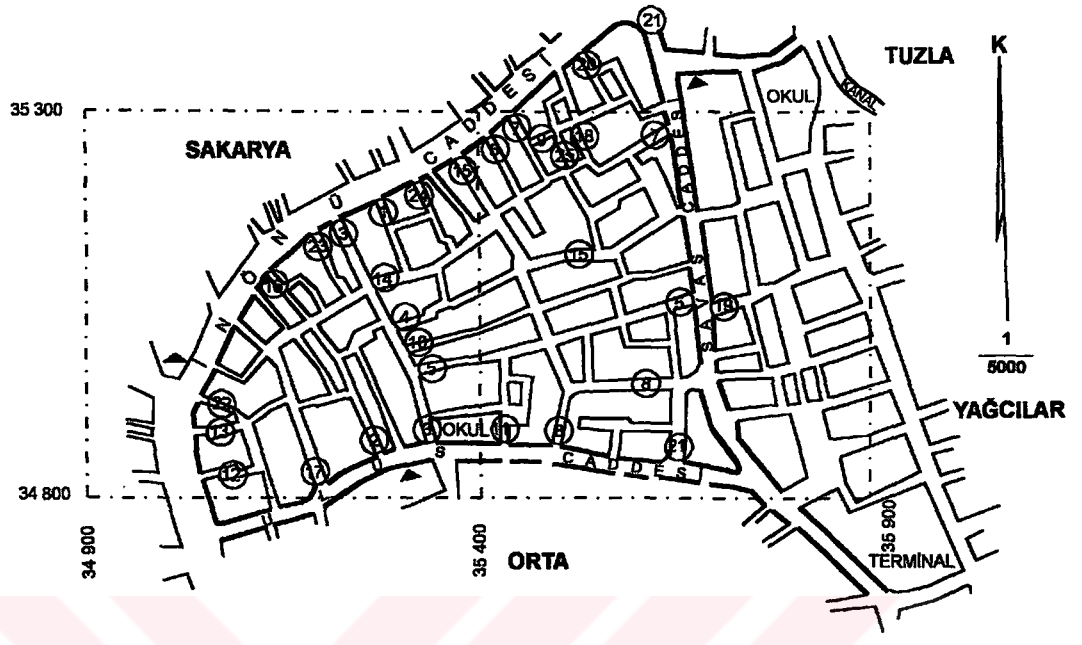
İstiklal mahallesinde yapılan sondajlardan elde edilen numunelerden siltli ve/veya kumlu zeminler üzerinde yapılan elek analizinden elde edilen dane çapı dağılımı aşağıda Şekil 3.15'de verilmiştir.



Şekil 3.15 İstiklal mahallesinde açılan sondajlardan silt-kum zeminlerde yapılan elek analizlerinden elde edilen dane çapı dağılımı.

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

3.2.1.5 Karaosman Mahallesi



Şekil 3.16 Karaosman mahallesi.

Tablo 3.9 Karaosman mahallesi sokak isimleri.

No	Sokak İsmi	No	Sokak İsmi	No	Sokak İsmi
1	Ayhan Sokak	10	Dutlu	19	Pınar
2	Başkan	11	Eski	20	Saka Sokak
3	Bayraklı	12	Ender	21	Barış Cad.
4	Beşik	13	Gül	22	Yaprak Sokak
5	Bezirci	14	Kavşak	23	Şehitler
6	Ceylan	15	Kader	24	Yavru
7	Çıkırıkçı	16	Köroğlu	25	Zemin
8	Çövenci	17	Mestçi		
9	Duman	18	Mert		

Bu mahallede yerel zemin durumu ekseriyetle, üst kısımlarda düşük plastisiteli silt ve/veya plastik olmayan siltden ve bu tabakanın altında da siltli kumdan veya kötü derecelenmiş kumdan oluşmaktadır. Ancak bazı kesimlerde üstte yaklaşık 3,5 m'ye kadar kil, bunun altında silt veya kum yer almakta olup silt ve kumun ardalı olarak tabakalar halinde bulunduğu birçok profil söz konusudur. Bu mahallede yapılan sondajlardan Yaprak sokakda 2 katlı bir binanın onarım projesi kapsamında açılan sondajdan elde edilen zemin verileri aşağıda Tablo 3.10'da görülmektedir.

Tablo 3.10 SK-5 sondajından elde edilen veriler.

Sondaj No	Derinlik m	Sınıfı	N_{30}	w_n %	w_L %	w_p %	I_p %	I_c	Kıvam	# +4 %	# -200 %
SK5/UD-1	3,50	ML		30	35	26	9	0,556	Plastik	0	65
SK5/SPT-2	3,95	SM	14	19		N.P.	-			0	24
SK5/SPT-3	5,45	SM	33	20		N.P.	-			0	29
SK5/SPT-4	6,95	SM	31	19		N.P.	-			0	23
SK5/SPT-5	9,45	SM	36	19		N.P.	-			0	24
SK5/SPT-6	10,95	SM	34	20		N.P.	-			0	24
SK5/SPT-7	14,95	SM	41	19		N.P.	-			0	26

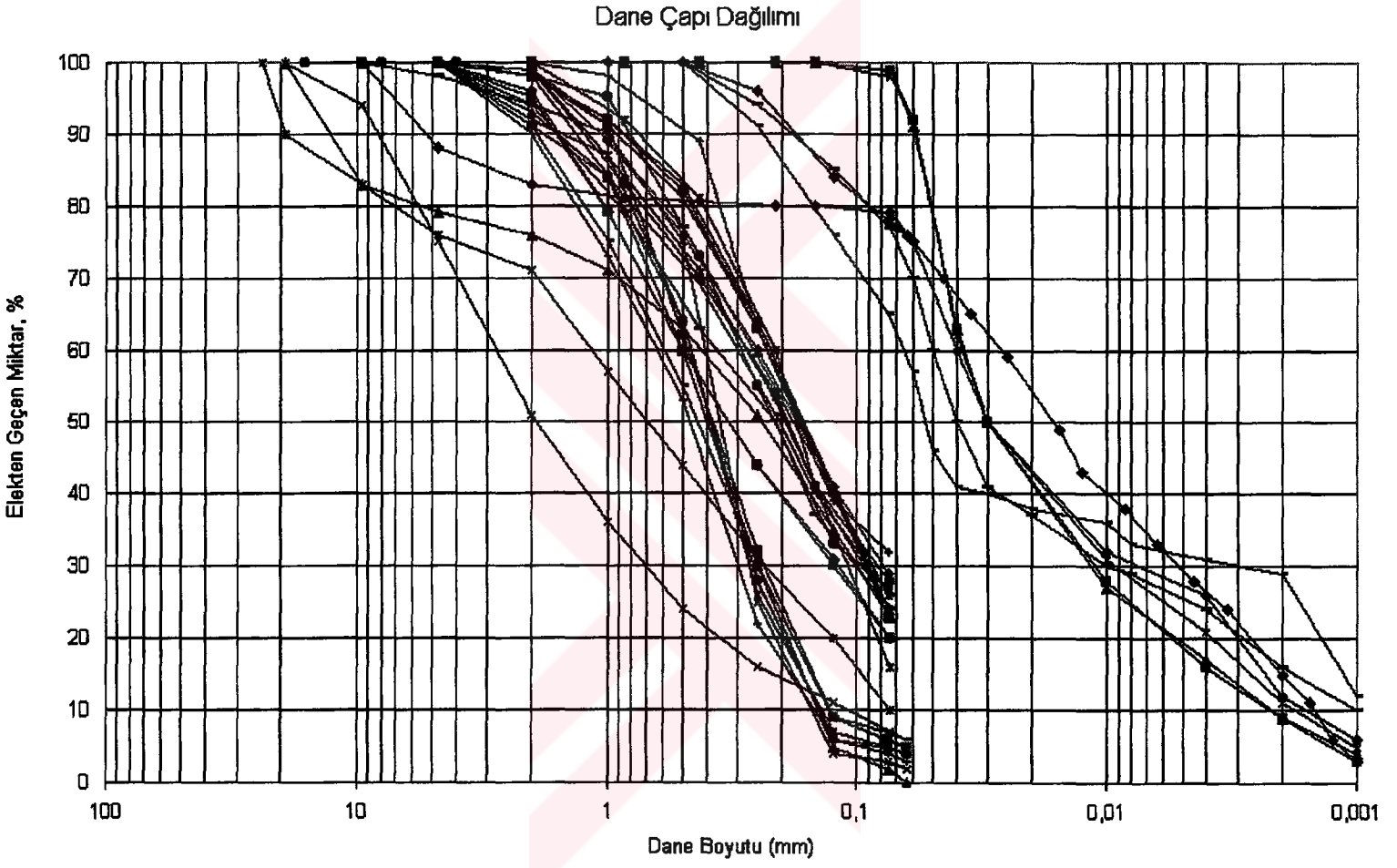
Diğer sondajlardan da genellikle üstte yer alan silt tabakalarının I_p'sinin %0-26 aralığında değişik değerler aldığı görülmektedir. Kimi yerde zemin kesitinin üstte yaklaşık 3,5 m'sine kadar kil (I_p= %11-24) bulunmaktadır. Zemin kesitlerinde silt (I_p= %0-26) ve kum (İ.D.O. = %2-32) ardalı olarak bulunduğu gibi kum tabakası (SM, SP) üstünde silt tabakası (ML, MH) şeklinde de bulunabilmektedir.

YASS mevsimsel olarak yağış miktarına göre değişim göstermekte olup yaklaşık olarak 0,60-2,55 m dolayındadır. Likit limit değerleri ekseriyetle su muhtevalarından büyüktür.

Zeminin genel olarak doğal birim hacim ağırlığı 1,75-1,88 gr/cm^3 aralığı dolayındadır.

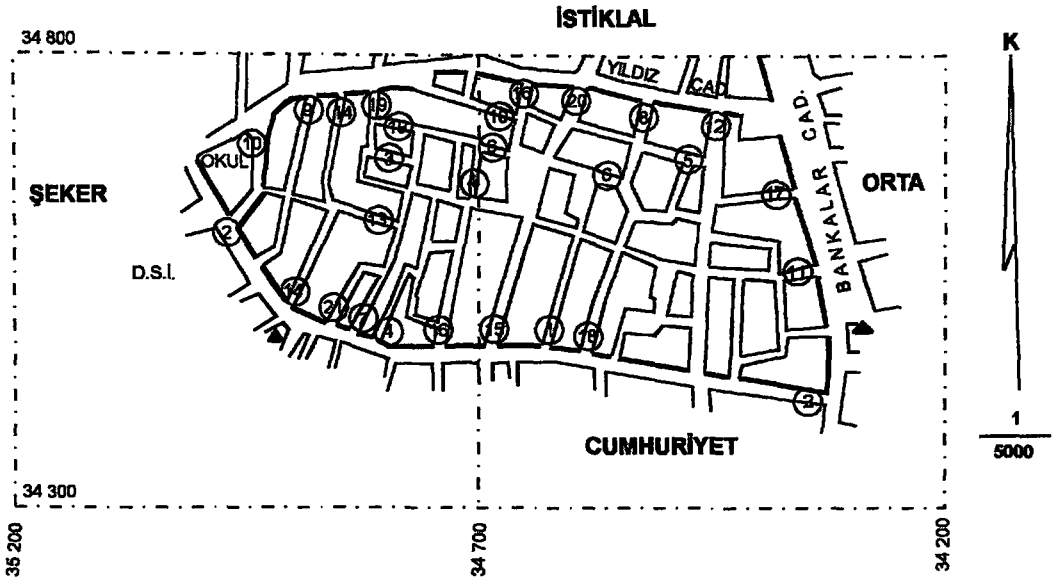
Suya doygun siltler için kayma mukavemeti değerleri 2-9° olarak, kötü derecelenmiş kum için ise 16° olarak bulunmuştur.

Karaosman mahallesinde yapılan sondajlardan elde edilen numunelerden siltli ve/veya kumlu zeminler üzerinde yapılan elek analizinden elde edilen dane çapı dağılımı aşağıda Şekil 3.17'de verilmiştir.



Şekil 3.17 Karaosman mahallesinde açılan sondajlardan silt-kum zeminlerde yapılan elek analizlerinden elde edilen dane çapı dağılımı.

3.2.1.6 Kurtuluş Mahallesi



Şekil 3.18 Kurtuluş mahallesi.

Tablo 3.11 Kurtuluş mahallesi sokak isimleri.

No	Sokak İsmi	No	Sokak İsmi	No	Sokak İsmi
1	Atik Sokak	8	Eyüp	15	Subaşı
2	Bahçivan	9	Garip	16	Tarla
3	Bil	10	Güneşli	17	Uçak
4	Çapa	11	Hamitbey Çık.	18	Uzun
5	Girne	12	Işık Sokak	19	Zühal
6	Depo	13	Mil	20	Huzur
7	Dilber	14	Ovalı	21	Şanlı

Bu mahallede yerel zemin durumu ekseriyetle, üst kısımlarda düşük plastisiteli silt ve/veya plastik olmayan siltden ve bu tabakanın altında da siltli kumdan oluşmaktadır. Ancak bazı kesimlerde üstte yaklaşık 6,0 m'ye kadar kil, bunun altında silt veya kum yer almakta olup silt ve kum ardalı olarak tabakalar halinde bulunmaktadır. Bu mahallede yapılan sondajlardan Bahçıvan sokakda bodrum + 4 katlı bir binanın onarım projesi kapsamında açılan sondajdan elde edilen zemin verileri aşağıda Tablo 3.12'de görülmektedir.

Tablo 3.12 SK-6 sondajından elde edilen veriler.

Sondaj No	Derinlik m	Sınıfı	N_{30}	w_n %	w_L %	w_p %	I_p %	I_c	Kıvam	# +4 %	# -200 %
SK6/SPT-1	1,95	ML	9	36	37	27	10	0,10	Plastik	0	91
SK6/UD-1	3,50	ML		32	35	26	9	0,33	Plastik	0	91
SK6/SPT-2	3,95	ML	9	36	34	27	7	-0,29	Viskoz Sıvı	0	91
SK6/SPT-3	5,45	ML	15	36	36	27	9	0,00	Viskoz Sıvı	0	91
SK6/UD-2	6,50	ML		33	35	26	9	0,22	Plastik		93
SK6/SPT-4	6,95	ML	28	36	33	26	7	-0,43	Viskoz Sıvı		91
SK6/SPT-5	9,45	ML	31	36	30	23	7	-0,86	Viskoz Sıvı		56
SK6/SPT-6	10,95	SM	32	18		NP	-			0	11
SK6/SPT-7	14,95	SM	42	18		NP	-			0	12

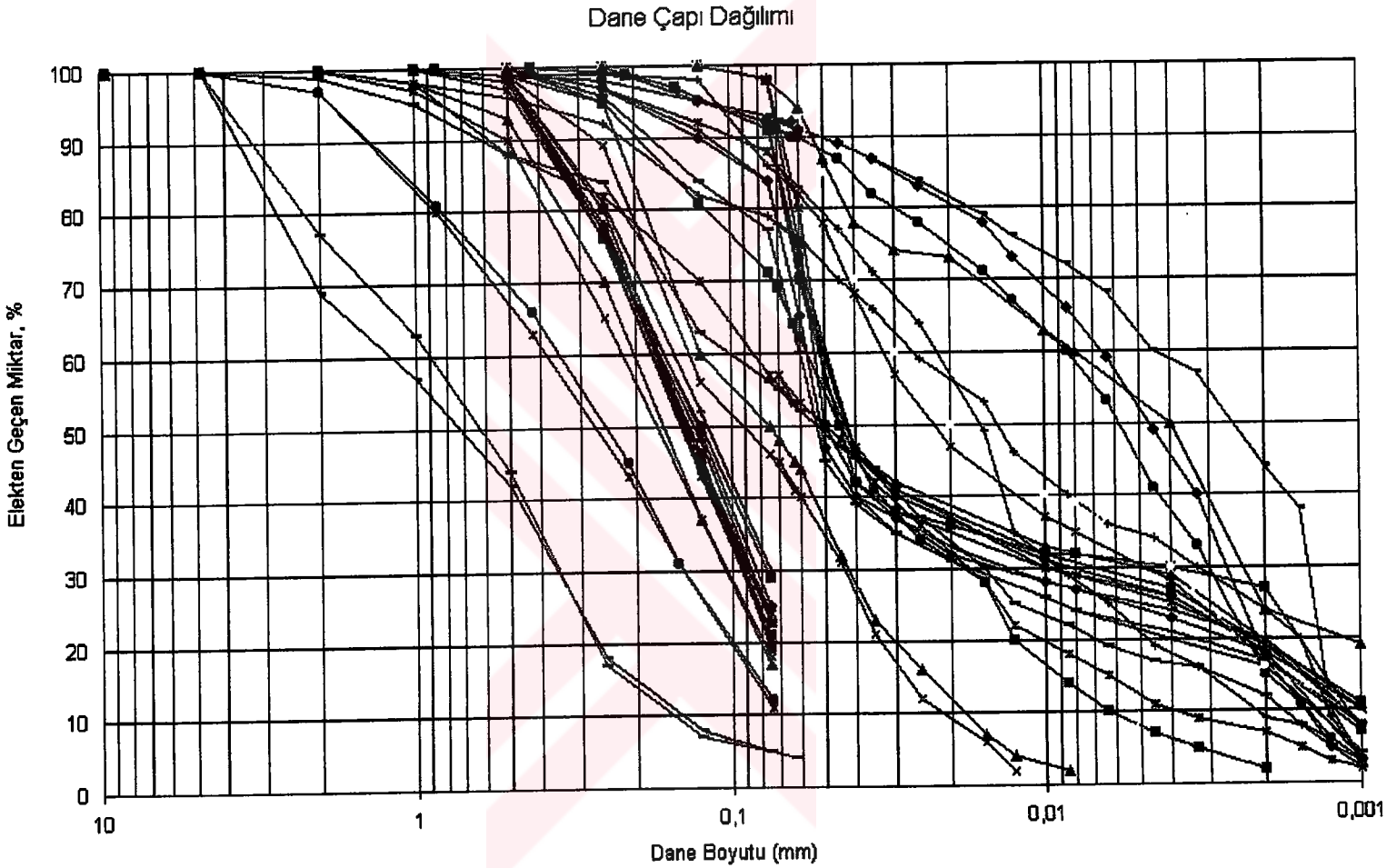
Diğer sondajlardan da genellikle üstte yer alan silt tabakalarının I_p'sinin %0-10 aralığında değişik değerler aldığı görülmektedir. Kimi yerde zemin kesitinde üstte yaklaşık 6,0 m'ye kadar kil (I_p= %12-28) bulunmaktadır. Zemin kesitlerinde silt (I_p= %0-19) ve kum (İ.D.O. = %5-50) ardalı olarak bulunduğu gibi kum tabakası (SM) üstünde silt tabakası (ML) şeklinde de bulunabilmektedir.

YASS mevsimsel olarak yağış miktarına göre değişim göstermekte olup yaklaşık olarak 2,00-2,18 m dolayındadır. Likit limit değerleri ekseriyetle su muhtevalarından büyük veya çok az küçüktür.

Zeminin genel olarak γ_n'i 1,76-1,90 gr/cm^3 aralığı dolayındadır.

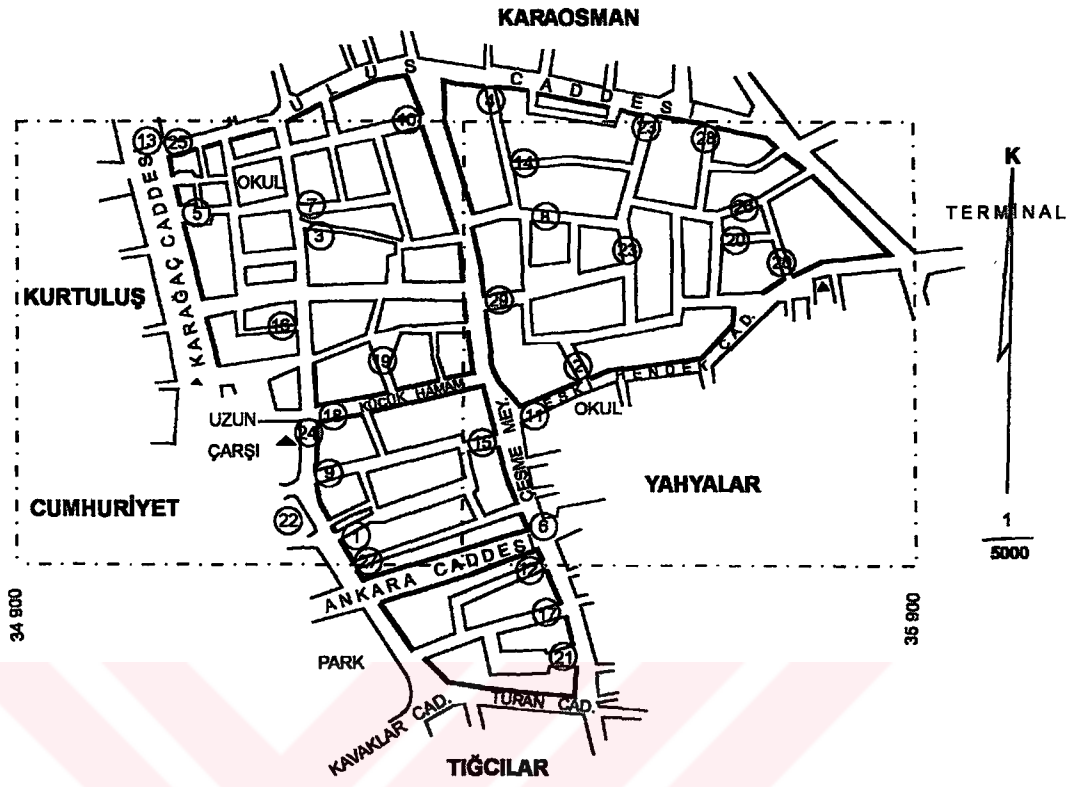
Suya doygun siltler için kayma mukavemeti değerleri 4-18° şeklinde bulunmuştur.

Kurtuluş mahallesinde yapılan sondajlardan elde edilen numunelerden siltli ve/veya kumlu zeminler üzerinde yapılan elek analizinden elde edilen dane çapı dağılımı aşağıda Şekil 3.19'da verilmiştir.



Şekil 3.19 Kurtuluş mahallesinde açılan sondajlardan silt-kum zeminlerde yapılan elek analizlerinden elde edilen dane çapı dağılımı.

3.2.1.7 Orta Mahalle



Şekil 3.20 Orta mahalle.

Tablo 3.13 Orta mahalle sokak isimleri.

No	Sokak İsmi	No	Sokak İsmi	No	Sokak İsmi
1	Acun Sokak	11	Eski Hendek Cad.	21	Yonca
2	Adaş	12	İpçi Sokak	22	Mutaflar Çarşısı
3	Avcılar	13	Karağaç Cad.	23	Teğmen
4	Boyacı	14	Katip Sokak	24	Tozlu Camii Çarşısı
5	Can	15	Keçeci	25	Ulus Caddesi
6	Çeşme Meydanı Cad.	16	Kökçü	26	Nazlı Sokak
7	Çil Sokak	17	Kuzu	27	Pazar Geçidi
8	Demirkapı	18	Küçükhamam Cad.	28	1 Nolu
9	Altan Kutluata	19	Küçükhamam Çıkmazı	29	Duran
10	Doğu	20	Lale Sokak		

Bu mahallede yerel zemin durumu ekseriyetle, üst kısımlarda düşük plastisiteli silt ve/veya plastik olmayan siltden ve bu tabakanın altında da siltli kumdan oluşmaktadır. Ancak bazı kesimlerde üstte yaklaşık 3,5 m'ye kadar kil, bunun altında silt veya kum yer almakta olup silt ve kum ardalı olarak tabakalar halinde bulunmaktadır. Bu mahallede yapılan sondajlardan Çeşme Meydanı Cad. Kaymakam sokakda bodrum + 5 katlı bir binanın onarım projesi kapsamında açılan sondajdan elde edilen zemin verileri aşağıda Tablo 3.14'de görülmektedir.

Tablo 3.14 SK-7 sondajından elde edilen veriler.

Sondaj No	Derinlik m	Sınıfı	N_{30}	w_n %	w_L %	w_p %	I_p %	I_c	Kıvam	# +4 %	# -200 %
SK7/SPT-1	1,95	ML	6	35	31	23	8	-0,50	Viskoz Sıvı	0	88
SK7/UD-1	3,50	ML		24	32	24	8	1,00	Katı	1	95
SK7/SPT-2	4,45	ML	9	24	34	25	9	1,11	Katı	0	96
SK7/SPT-4	7,95	SM	31	15		N.P.	-			0	13
SK7/SPT-5	10,95	SM	21	16		N.P.	-			0	15
SK7/SPT-7	14,95	SM	45	15		N.P.	-			0	14

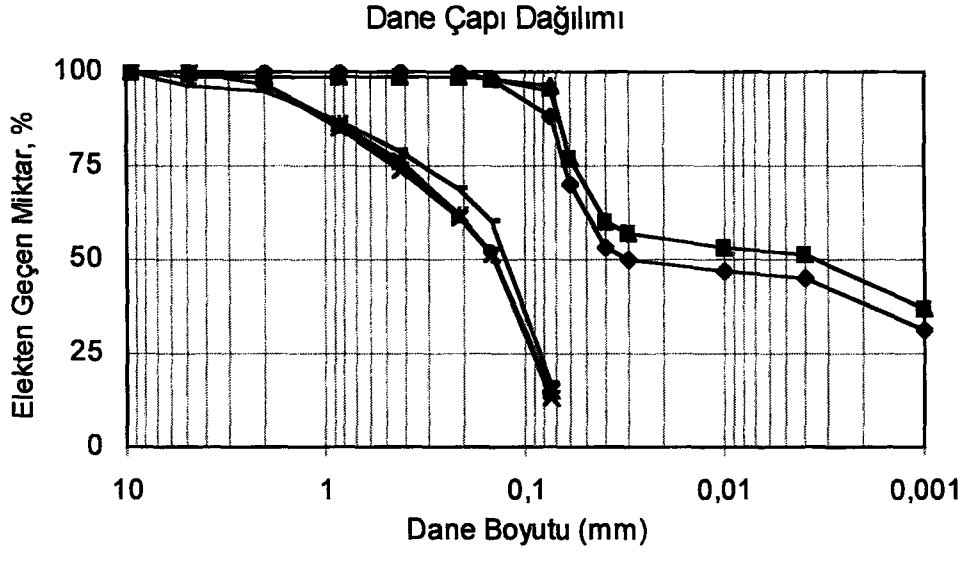
Diğer sondajlardan da genellikle üstte yer alan silt tabakalarının I_p'sinin %3-13 aralığında değişik değerler aldığı görülmektedir. Kimi yerde zemin kesitinde üstte yaklaşık 6,0 m'ye kadar kil (I_p= %19-23) bulunmaktadır. Zemin kesitlerinde silt (I_p= %0-13) ve kum (İ.D.O. = %13-17) ardalı olarak bulunduğu gibi kum tabakası (SM) üstünde silt tabakası (ML) şeklinde de bulunabilmektedir.

YASS mevsimsel olarak yağış miktarına göre değişim göstermektedir. Likit limit değerleri ekseriyetle su muhtevalarından büyüktür.

Zeminin genel olarak γ_n'i 1,76-1,83 gr/cm^3 aralığı dolayındadır.

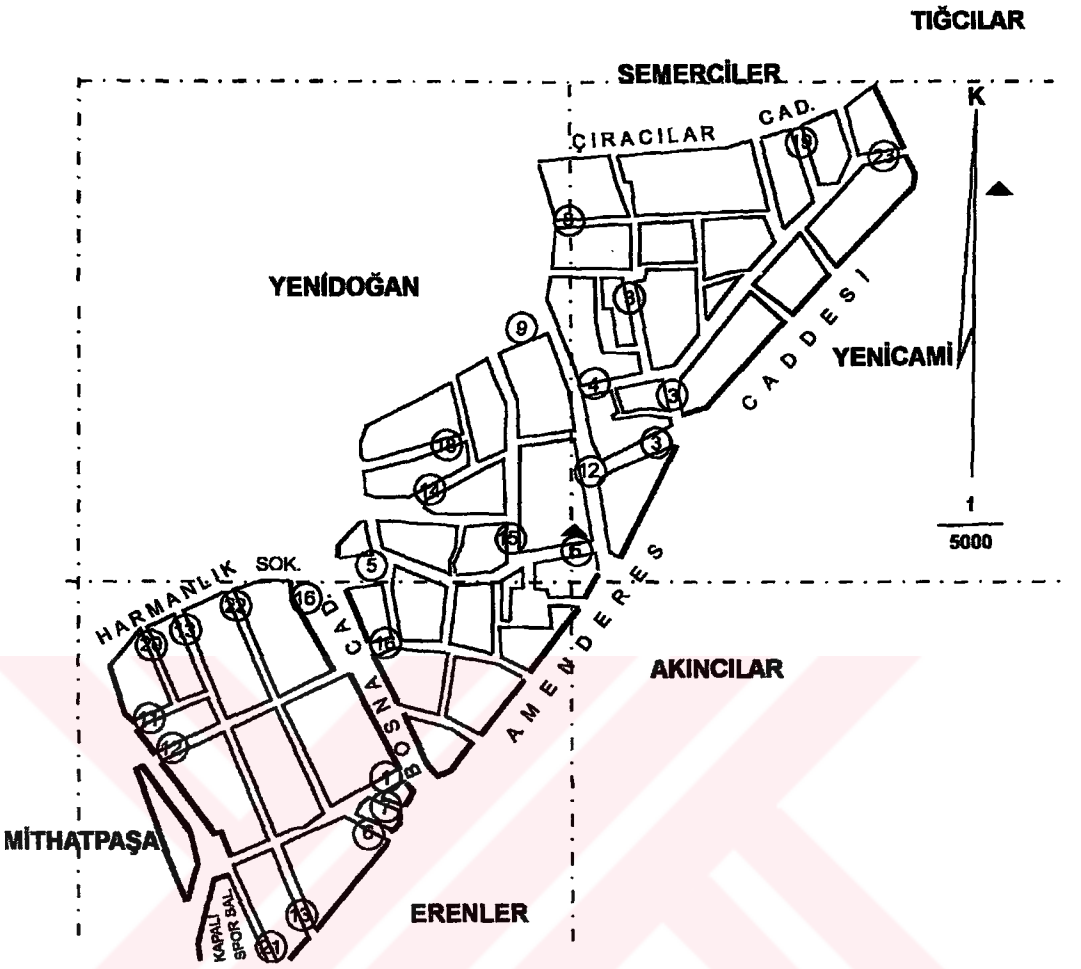
Suya doygun 10,0 m derinlikteki silt için kayma mukavemeti değeri 11°, 1,20 m derinlikteki kil (CL) için kohezyon değeri 33 kg/cm^2 şeklinde bulunmuştur.

Orta mahallesinde yapılan sondajlardan elde edilen numunelerden siltli ve/veya kumlu zeminler üzerinde yapılan elek analizinden elde edilen dane çapı dağılımı aşağıda Şekil 3.21'de verilmiştir.



Şekil 3.21 Orta mahallesinde açılan sondajlardan silt-kum zeminlerde yapılan elek analizlerinden elde edilen dane çapı dağılımı.

3.2.1.8 Papuççular Mahallesi



Şekil 3.22 Papuççular mahallesi.

Tablo 3.15 Papuççular mahallesi sokak isimleri.

No	Sokak İsmi	No	Sokak İsmi	No	Sokak İsmi
1	Açıl Sokak	9	Hayırlı	17	Tan
2	Akkadın	10	A. Menderes Caddesi	18	Tütüncü
3	Arka	11	Mis Sokak	19	Yargıç Sokak
4	Arı	12	Papuççular Caddesi	20	Zafer
5	Ay	13	Salkım Sokak	21	Güllük
6	Bezen	14	Sarı	22	Royal
7	Bizim	15	Sakin	23	Değirmenhan
8	Bostancı	16	Şenlik		

Bu mahallede yerel zemin durumu ekseriyetle, üst kısımlarda düşük plastisiteli kil (CL) ve bu tabakanın altında da düşük plastisiteli silt (ML) veya siltli kumdan (SM) oluşmaktadır. Zemin kesitlerinde CL, ML ve SM tabakaları genellikle değişik kombinasyonlarda ardalı olarak yer almaktadır. Bu mahallede yapılan sondajlardan Ay sokakda açılan sondajdan elde edilen zemin verileri aşağıda Tablo 3.16'da görülmektedir.

Tablo 3.16 SK-8 sondajından elde edilen veriler.

Sondaj No	Derinlik m	Sınıfı	N_{30}	w_n %	w_L %	w_p %	I_p %	I_c	Kıvam	# +4 %	# -200 %
SK8/SPT-1	1,95	CL	3	35	45	26	19	0,53	Plastik		88
SK8/UD-1	3,50	CL		35	46	25	21	0,52	Plastik		98
SK8/SPT-2	3,95	CL	8	36	45	24	21	0,43	Plastik		99
SK8/UD-2	6,50	ML		36	42	28	14	0,43	Plastik		99
SK8/SPT-3	6,95	ML	14	35	41	29	12	0,50	Plastik		98
SK8/SPT-4	9,95	ML	11	35		N.P.	-				51
SK8/SPT-5	12,95	CL	12	36	45	24	21	0,43	Plastik		98
SK8/SPT-6	14,95	SM	17	26		N.P.	-				36

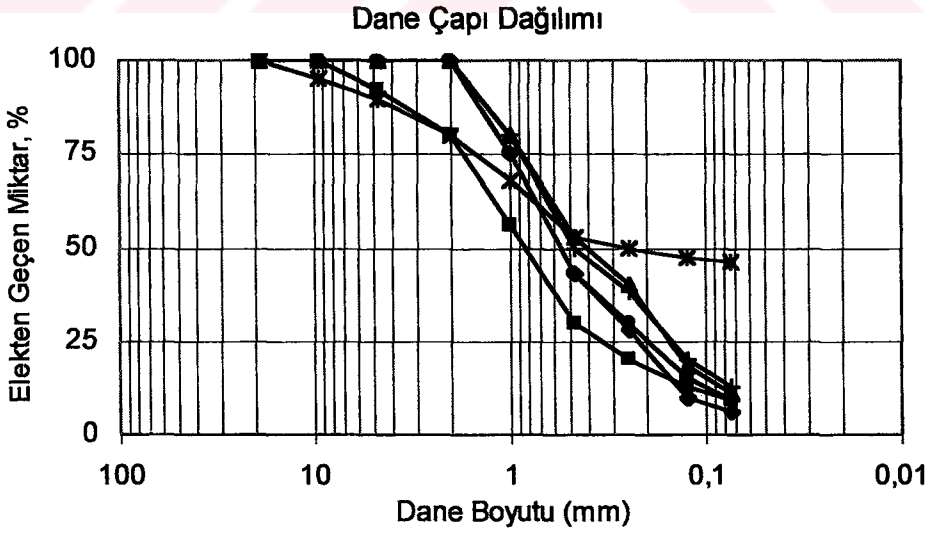
Diğer sondajlardan da genellikle üstte yer alan kil tabakalarının I_p'sinin %15-30 aralığında değişik değerler aldığı görülmektedir. Zemin kesitlerinde silt (I_p= %0-29) ve kum (İ.D.O. = %9-46) CL ile beraber ardalı olarak bulunmaktadır.

YASS mevsimsel olarak yağış miktarına göre değişim göstermektedir. Likit limit değerleri ekseriyetle su muhtevalarından büyüktür.

Zeminin genel olarak γ_n'i 1,76-1,89 gr/cm^3 aralığı dolayındadır.

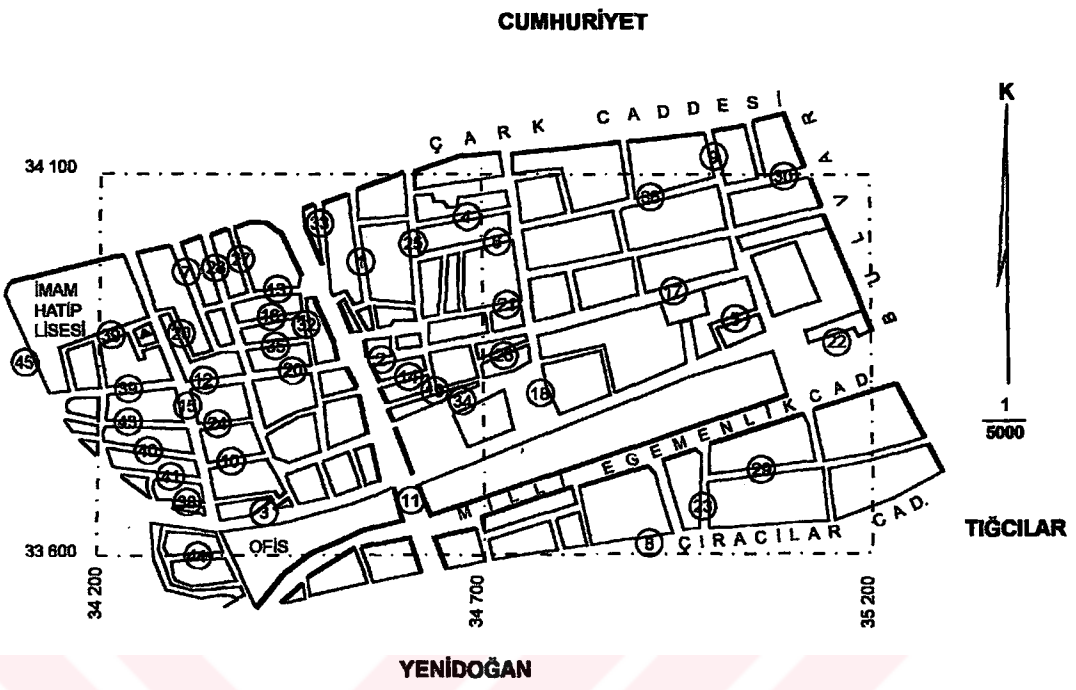
Suya doygun 2,5 m derinlikteki kil (CL) için kohezyon değeri 55 kg/cm^2 şeklinde bulunmuştur.

Papuççular mahallesinde yapılan sondajlardan elde edilen numunelerden siltli ve/veya kumlu zeminler üzerinde yapılan elek analizinden elde edilen dane çapı dağılımı aşağıda Şekil 3.23'de verilmiştir.



Şekil 3.23 Papuççular mahallesinde açılan sondajlardan silt-kum zeminlerde yapılan elek analizlerinden elde edilen dane çapı dağılımı.

3.2.1.9 Semerciler Mahallesi



Şekil 3.24 Semerciler mahallesi.

Tablo 3.17 Semerciler mahallesi sokak isimleri.

No	Sokak İsmi	No	Sokak İsmi	No	Sokak İsmi
1	Anbarlı Sokak	16	Gömeç	31	Saraçlar
2	Alev	17	Hal	32	Şen
3	Badem	18	İtfaiye	33	Yavuz
4	Boncuk	19	Kadı	34	Yamanlar
5	Bozkurt	20	Kanca	35	Yörük
6	Çakır	21	Karşı	36	Yuvam
7	Çınar	22	Kerem	37	Milli Egemenlik Cad.
8	Çıracılar Caddesi	23	Küçük	38	Çevik Sokak
9	Dr. Nuri Bayar Cad.	24	Latif	39	Çiğdem
10	Dallı	25	Lüleci	40	Kardeş
11	Demiryolu Geçidi	26	Mine	41	Kıyı
12	Deri Sokak	27	Önder	42	Pelin
13	Emeci	28	Parlak	43	Poyraz
14	Fener	29	Sait Faik Sokak	44	Yalım
15	Gökçe	30	Postane Sokak	45	A. Necdet Güven Cad.

Bu mahallede yerel zemin durumu ekseriyetle, üst kısımlarda düşük plastisiteli silt ve/veya plastik olmayan siltden ve bu tabakanın altında da siltli kumdan oluşmaktadır. Ancak bazı kesimlerde üstte kil, bunun altında silt veya kum yer almakta olup silt ve kum ardalı olarak tabakalar halinde bulunmaktadır. Bu mahallede yapılan sondajlardan Yalım sokakda açılan sondajdan elde edilen zemin verileri aşağıda Tablo 3.18'de görülmektedir.

Tablo 3.18 SK-9 sondajından elde edilen veriler.

Sondaj No	Derinlik m	Sınıfı	N_{30}	w_n %	w_L %	w_p %	I_p %	I_c	Kıvam	# +4 %	# -200 %
SK9/SPT-1	1,95	ML	13	28							98
SK9/SPT-2	3,45	ML	13	28							99
SK9/UD-1	4,00	SM		18						0	31
SK9/SPT-3	5,45	ML	14	24							62
SK9/UD-2	6,50	ML		39	37	25	12	-0,17	Viskoz Sıvı		99
SK9/SPT-4	6,95	ML	15	25							97
SK9/SPT-5	8,95	ML	14	29							97
SK9/SPT-6	11,95	SM	16	12						7	9
SK9/SPT-7	15,15	SM	16	13						5	9

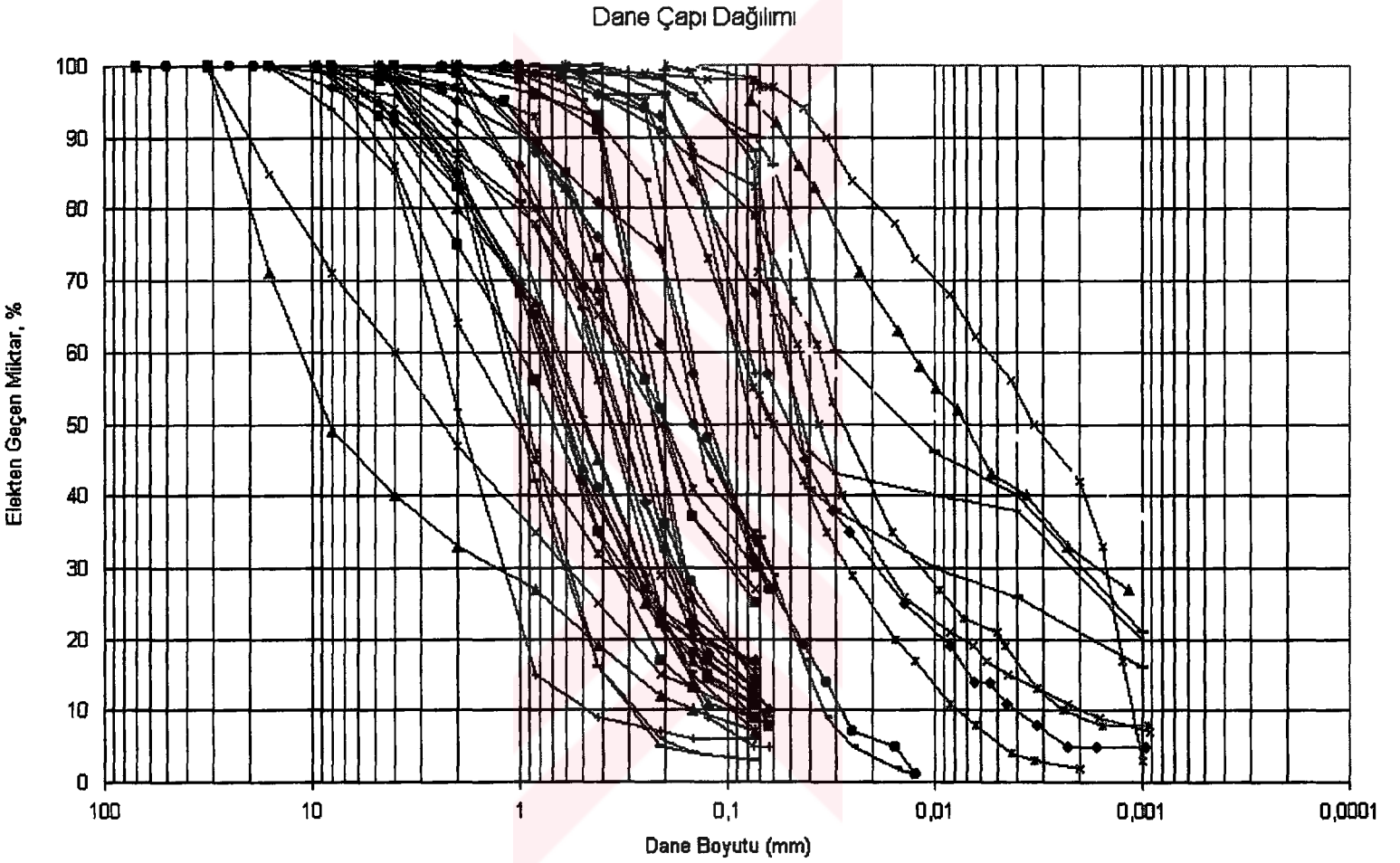
Diğer sondajlardan da genellikle üstte yer alan silt tabakalarının I_p'sinin %0-15 aralığında değişik değerler aldığı görülmektedir. Kimi yerde zemin kesitinde üstte yaklaşık 5,0 m - 6,0 m'ye kadar kil (I_p= %7-36) bulunmaktadır. Zemin kesitlerinde silt (I_p= %0-15) ve kum (İ.D.O. = %6-48) ardalı olarak bulunduğu gibi kum tabakası üstünde silt tabakası şeklinde de bulunabilmektedir.

YASS mevsimsel olarak yağış miktarına göre değişim göstermekte olup yaklaşık olarak 0,40-3,00 m aralığı dolayındadır. Likit limit değerleri ekseriyetle su muhtevalarından büyüktür.

Zeminin genel olarak γ_n'i 1,77-2,08 gr/cm^3 aralığı dolayındadır.

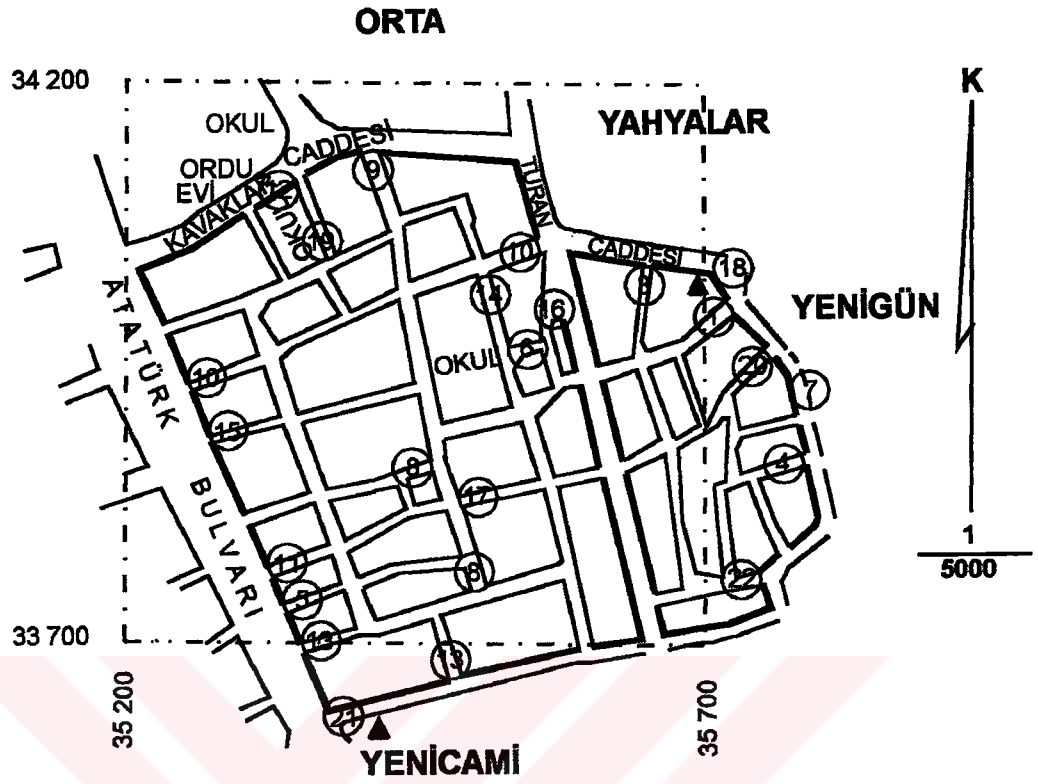
Suya doygun 3,0 m derinlikteki kil (CH) için kohezyon değeri 78 kg/cm^2, suya doygun 3,5 m derinlikteki kil (CH) için kohezyon değeri 38 kg/cm^2 ve suya doygun 3,0 m derinlikteki kil (CL) için kohezyon değeri 52 kg/cm^2 şeklinde bulunmuştur.

Semerciler mahallesinde yapılan sondajlardan elde edilen numunelerden siltli ve/veya kumlu zeminler üzerinde yapılan elek analizinden elde edilen dane çapı dağılımı aşağıda Şekil 3.25'de verilmiştir.



Şekil 3.25 Semerciler mahallesinde açılan sondajlardan silt-kum zeminlerde yapılan elek analizlerinden elde edilen dane çapı dağılımı.

3.2.1.10 Tığcılar Mahallesi



Şekil 3.26 Tığcılar mahallesi.

Tablo 3.19 Tığcılar mahallesi sokak isimleri.

No	Sokak İsmi	No	Sokak İsmi	No	Sokak İsmi
1	Akça Sokak	9	İpek	17	Pamuklar
2	Atatürk Bulvarı	10	Karaosman	18	Turan Caddesi
3	Çetin Sokak	11	Kadir Hoca	19	Tekin Sokak
4	Diken	12	Kavaklar Caddesi	20	Yağcıoğlu
5	Döner Geçit	13	Kesçi Sokak	21	Yenicami
6	Duyar	14	Kol	22	Yunusağa
7	Hasırcılar	15	Küçükosman		
8	İnce	16	Müftü		

Bu mahallede yerel zemin durumu ekseriyetle, üst kısımlarda düşük plastisiteli silt ve/veya plastik olmayan siltden ve/veya siltli kumdan, bu tabakanın altında da siltli kumdan veya düşük plastisiteli kilden (CL) oluşmaktadır. Ancak bazı kesimlerde üstte kil, bunun altında silt veya kum yer almakta olup silt ve kum ardalı olarak tabakalar halinde bulunmaktadır. Bu mahallede yapılan sondajlardan Dönergeçit sokakda açılan sondajdan elde edilen zemin verileri aşağıda Tablo 3.20'de görülmektedir.

Tablo 3.20 SK-10 sondajından elde edilen veriler.

Sondaj No	Derinlik m	Sınıfı	N_{30}	w_n %	w_L %	w_p %	I_p %	I_c	Kıvam	# +4 %	# -200 %
SK10/SPT-1	1,95	ML	5	28	40	28	12	1,00	Katı		60
SK10/SPT-2	4,45	ML	6	30	42	27	15	0,80	Plastik		79
SK10/SPT-3	6,45	SM	10	22		N.P.	-				16
SK10/SPT-4	7,95	SM	18	23		N.P.	-				19
SK10/SPT-5	9,95	SM	18	24		N.P.	-				19
SK10/SPT-6	12,45	SM	17	23		N.P.	-				18
SK10/SPT-7	14,95	SM	16	22		N.P.	-				18

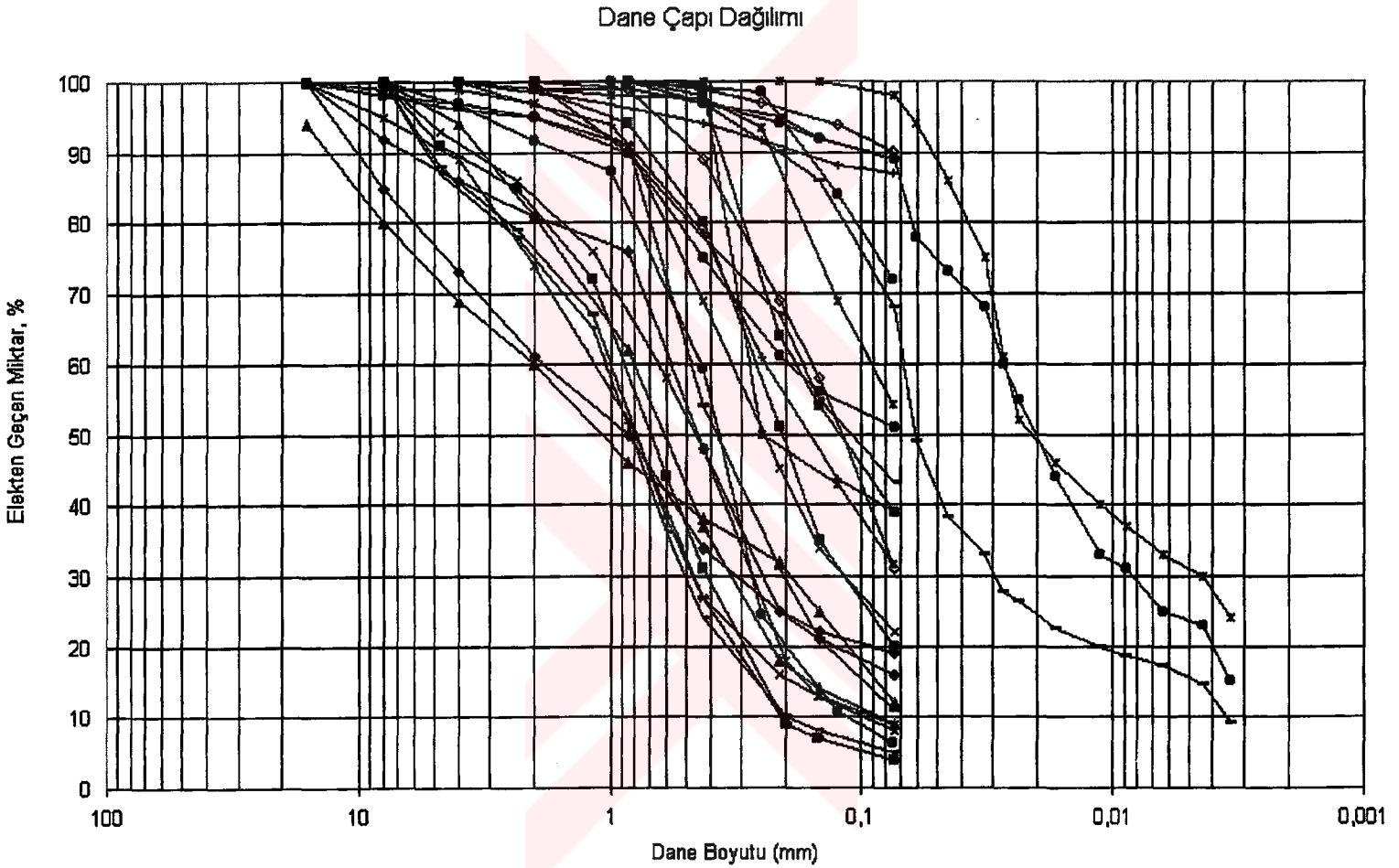
Diğer sondajlardan da genellikle üstte yer alan silt tabakalarının I_p'sinin %0-12 aralığında değişik değerler aldığı görülmektedir. Plastik olmayan ML en çok görülen üst tabakalardandır. Kimi yerde zemin kesitinde üstte yaklaşık 5,0 m - 6,0 m'ye kadar kil (CL) (I_p= %9-26) bulunmaktadır. Zemin kesitlerinde silt (I_p= %0-15) ve kum (İ.D.O. = %4-44) ardalı olarak bulunduğu gibi kum tabakası üstünde silt tabakası şeklinde de bulunabilmektedir.

YASS mevsimsel olarak yağış miktarına göre değişim göstermekte olup yaklaşık olarak 0,70-2,70 m aralığı dolayındadır. Likit limit değerleri su muhtevalarından büyük olabildiği gibi yüzey tabakalarında likit limitden küçük olduğu da yaygın olarak görülen bir durumdur.

Zeminin genel olarak γ_n'i 1,70-2,00 gr/cm^3 aralığı dolayındadır.

Suya doygun kil (CL) için kohezyon değeri 19 - 47 kg/cm^2 aralığında, suya doygun silt (ML) için kayma mukavemeti değeri 11° ve kohezyon değeri de 3 kg/cm^2 olarak bulunmuştur.

Tığcılar mahallesinde yapılan sondajlardan elde edilen numunelerden siltli ve/veya kumlu zeminler üzerinde yapılan elek analizinden elde edilen dane çapı dağılımı aşağıda Şekil 3.27'de verilmiştir.



Şekil 3.27 Tığcılar mahallesinde açılan sondajlardan silt-kum zeminlerde yapılan elek analizlerinden elde edilen dane çapı dağılımı.

3.2.1.11 Yağcılar Mahallesi

Şekil 3.28 Yağcılar mahallesi.

Tablo 3.21a Yağcılar mahallesi sokak isimleri.

No	Sokak İsmi	No	Sokak İsmi	No	Sokak İsmi
1	Açık Sokak	32	Şebboy	63	10 Nolu Sokak
2	Adaşlar	33	Pak	64	11 Nolu Sokak
3	Araç	34	Pul	65	12 Nolu Sokak
4	Arar	35	Uygun	66	13 Nolu Sokak
5	Arifağa	36	Uzay	67	14 Nolu Sokak
6	Atar	37	Yağcılar Cad.	68	15 Nolu Sokak
7	Besler	38	Yeni Çarşı Sokak	69	16 Nolu Sokak
8	Boylu	39	Yıldırım	70	17 Nolu Sokak
9	Cem	40	Yuvalı	71	18 Nolu Sokak
10	Çiçekli	41	Gonca	72	Kıbrıs
11	Çörek	42	Hayat	73	Kemer
12	Daraba	43	Ihlamur	74	Tuna
13	Dayı	44	Kerim	75	Kınalı
14	Diler	45	Oruc	76	Emir

Tablo 3.21b Yağcılar mahallesi sokak isimleri (tablonun devamı).

No	Sokak İsmi	No	Sokak İsmi	No	Sokak İsmi
15	Düzgün	46	Gürz	77	Nilüfer
16	Er	47	Barış	78	Merve
17	Gazeller	48	Bakır	79	Burcu
18	Güler	49	Millet	80	Güneş
19	Güzeller	50	Binnur	81	Gülhan
20	Göl	51	Destan	82	Berna
21	Halı	52	Derya	83	Fatih
22	Has	53	Endamlı	84	Kaptan
23	Hilal	54	1 Nolu Sokak	85	Mercan
24	Kanal	55	2 Nolu Sokak	86	Ş.H.T. İsmail Şeremet
25	Kovan	56	3 Nolu Sokak	87	Kumköy Yolu
26	Levent	57	4 Nolu Sokak	88	E. Hendek Cad.
27	Mesudiye	58	5 Nolu Sokak	89	Yeğenler Cad.
28	Nar	59	6 Nolu Sokak	90	Turan Cad.
29	Sadet	60	7 Nolu Sokak	91	Ankara
30	Seçkin	61	8 Nolu Sokak	92	Devoğlu
31	Sümbül Sokak	62	9 Nolu Sokak	93	SED Arkası Sokak

Bu mahallede yerel zemin durumu genellikle, üst kısımlarda düşük plastisiteli silt ve/veya plastik olmayan siltden, siltli kumdan veya düşük plastisiteli kilden, bu yüzey tabakasının altında da siltli kumdan (SM) veya düşük plastisiteli kilden (CL) oluşmaktadır. silt, kil ve kum ardalı olarak tabakalar halinde bulunmaktadır. Bu mahallede yapılan sondajlardan Besler sokakda açılan sondajdan elde edilen zemin verileri aşağıda Tablo 3.22'de görülmektedir.

Tablo 3.22 SK-11 sondajından elde edilen veriler.

Sondaj No	Derinlik m	Sınıfı	N_{30}	w_n %	w_L %	w_p %	I_p %	I_c	Kıvam	# +4 %	# - 200 %
SK11/SPT-1	1,95	SM	5	31						0	47
SK11/UD-1	3,50	ML		39	35	NP	-			0	59
SK11/SPT-2	4,95	SM	5	34						0	44
SK11/SPT-3	6,45	ML	7	31	32	NP	-			0	60
SK11/SPT-4	7,95	SM	5	33						0	40
SK11/SPT-5	10,95	ML	15	30	33	NP	-			0	85
SK11/SPT-6	14,95	ML	14	34	34	NP	-				71

Diğer sondajlardan da genellikle üstte yer alan silt tabakalarının I_p'sinin %0-7 aralığında değişik değerler aldığı görülmektedir. Kimi yerde zemin kesitinde üstte yaklaşık 5,0-6,0 m'ye kadar kil (CL) (I_p= %8-17) bulunmaktadır. Zemin kesitlerinde silt (I_p= %0-7) aralığında değişik değerler almasına rağmen genellikle plastik

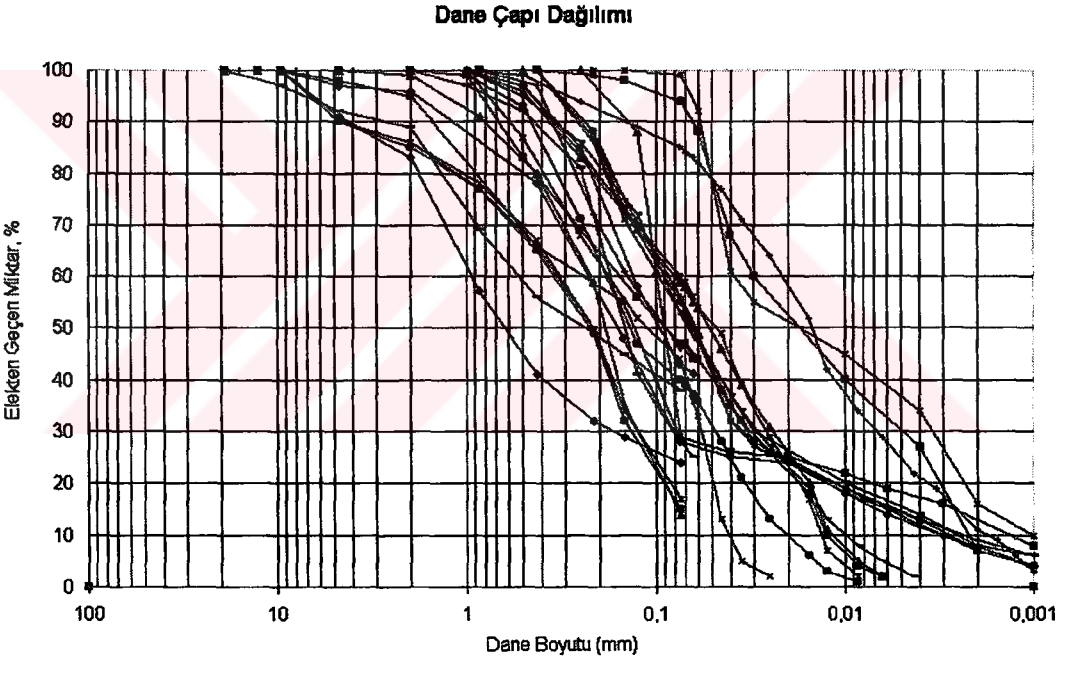
olmayan silt hakim durumdadır. Silt ve kum (İ.D.O. = %14-47) ardalı olarak bulunduğu gibi kum tabakası üstünde silt tabakası şeklinde de bulunabilmektedir.

YASS mevsimsel olarak yağış miktarına göre değişim göstermekte olup yaklaşık olarak 0,40-2,74 m aralığı dolayındadır. Likit limit değerleri su muhtevalarından büyük olabildiği gibi yüzey tabakalarında likit limitden küçük olduğu da yaygın olarak görülen bir durumdur.

Zeminin genel olarak γ_n'i 1,67-1,87 gr/cm^3 aralığı dolayındadır.

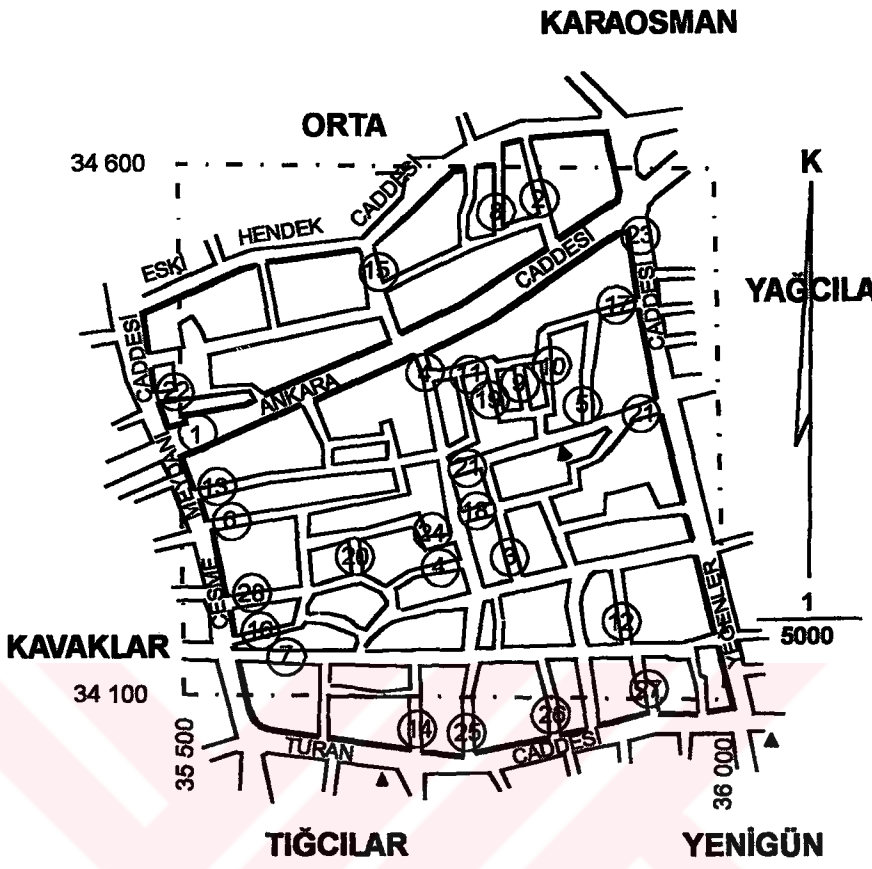
Suya doygun kil (CL) için kohezyon değeri 0,15-0,69 kg/cm^2 aralığında bulunmaktadır.

Yağcılar mahallesinde yapılan sondajlardan elde edilen numunelerden siltli ve/veya kumlu zeminler üzerinde yapılan elek analizinden elde edilen dane çapı dağılımı aşağıda Şekil 3.29'da verilmiştir.



Şekil 3.29 Yağcılar mahallesinde açılan sondajlardan silt-kum zeminlerde yapılan elek analizlerinden elde edilen dane çapı dağılımı.

3.2.1.12 Yahyalar Mahallesi



Şekil 3.30 Yahyalar mahallesi.

Tablo 3.23 Yahyalar mahallesi sokak isimleri.

No	Sokak İsmi	No	Sokak İsmi	No	Sokak İsmi
1	Ankara Caddesi	11	Konca Sokak	21	Teşvikiye Sokak
2	Anar Sokak	12	Kuru	22	Yoğurtçu
3	Arı	13	Leylak	23	Yeğenler Caddesi
4	Bahar	14	Manavlar	24	Zambak Sokak
5	Bülbül	15	Muallim Naci	25	Kutlu
6	Cevher	16	Mumcu	26	Mutlu
7	Emekçi	17	Narin	27	Nurlu
8	Han	18	Ortanca	28	Gülser
9	Itır	19	Pirinç		
10	Keten	20	Sevil		

Bu mahallede yerel zemin durumu genellikle, üst kısımlarda düşük plastisiteli silt ve/veya plastik olmayan siltden veya düşük plastisiteli kilden, bu yüzey tabakasının altında da siltli kumdan (SM) veya düşük plastisiteli kilden (CL) oluşmaktadır. Silt, kil ve kum ardalı olarak tabakalar halinde bulunmaktadır. Ancak sadece kilden veya sadece siltden oluşan zemin kesitleri de sondajlar sonucunda görülmüş olan bir

durumdur. Bu mahallede yapılan sondajlardan Pirinç sokakda açılan sondajdan elde edilen zemin verileri aşağıda Tablo 3.24'de görülmektedir.

Tablo 3.24 SK-12 sondajından elde edilen veriler.

Sondaj No	Derinlik m	Sınıfı	N_{30}	w_n %	w_L %	w_p %	I_p %	I_c	Kıvam	# +4 %	# -200 %
SK12/SPT-1	1,95	ML	10	36	36	29	7	0,00	Viskoz Sıvı	0	80
SK12/UD-1	3,50	ML		47	47	34	13	0,00	Viskoz Sıvı	1	92
SK12/SPT-2	3,95	ML	13	35	32	24	8	-0,38	Viskoz Sıvı	0	78
SK12/SPT-3	5,45	ML	14	38	36	26	10	-0,20	Viskoz Sıvı	0	78
SK12/SPT-4	6,95	SM	17	18						2	27
SK12/SPT-5	8,45	SM	24	19						2	30
SK12/SPT-6	9,95	SM	23	17						2	26
SK12/SPT-7	10,95	SM	22	18						3	24
SK12/SPT-8	15,45	SM	30	17						3	22

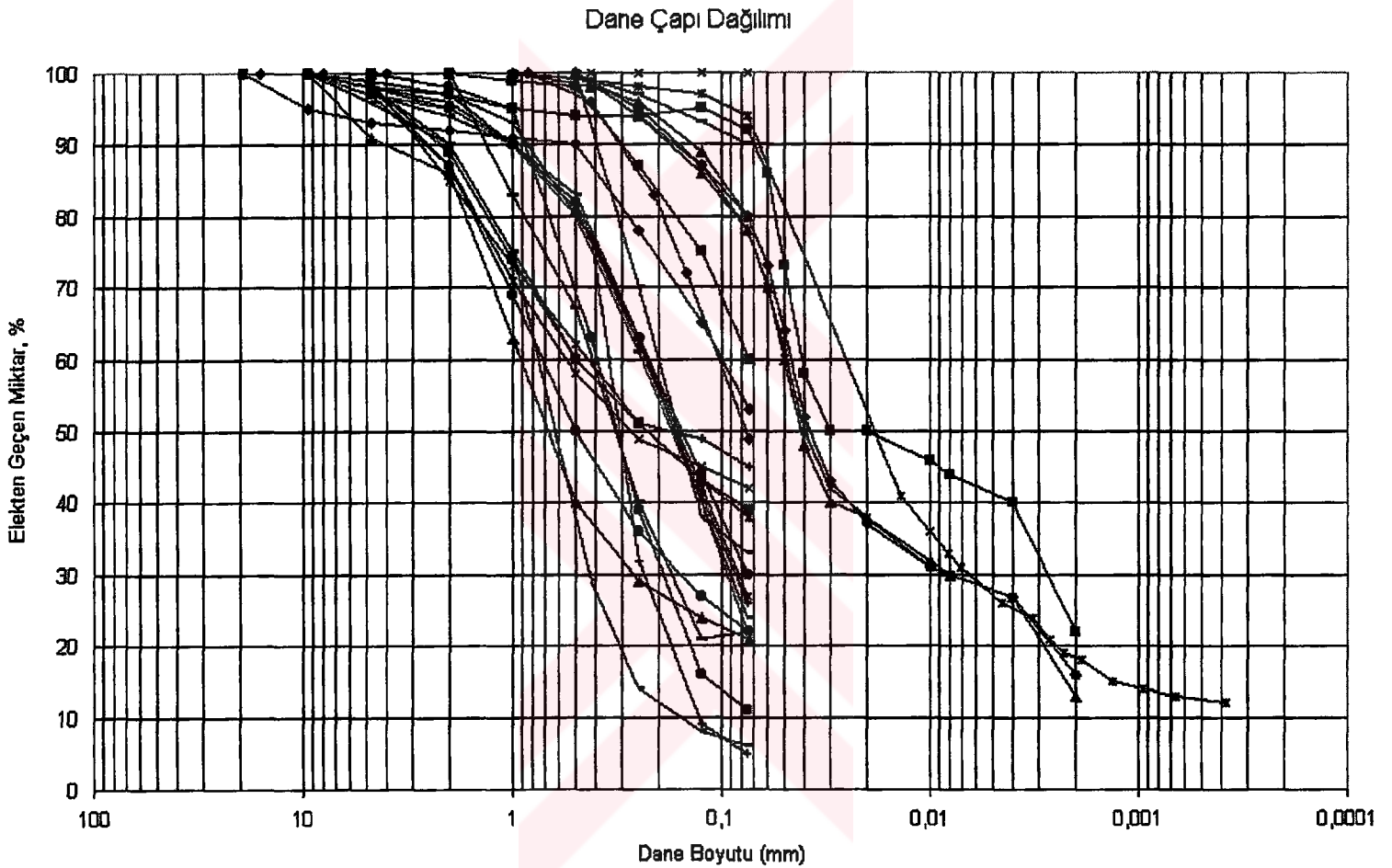
Diğer sondajlardan da genellikle üstte yer alan silt tabakalarının I_p'sinin %0-16 aralığında değişik değerler aldığı görülmektedir. Kimi yerde zemin kesitinde üstte yaklaşık 4,0 - 5,5 m'ye kadar kil (CL-CH) (I_p= %10-44) bulunmaktadır. Zemin kesitlerinde silt (I_p= %0-21) aralığında değişik değerler almasına rağmen genellikle plastik olmayan veya düşük plastisiteli silt hakim durumdadır. Silt, kil ve kum (İ.D.O. = %11-49) ardalı olarak bulunduğu gibi kum tabakası üstünde silt tabakası şeklinde de yaygın olarak bulunmaktadır.

YASS mevsimsel olarak yağış miktarına göre değişim göstermekte olup yaklaşık olarak 0,40-1,00 m aralığı dolayındadır. Likit limit değerleri kumlu tabakalar hariç su muhtevalarından büyük olabildiği gibi yüzey tabakalarında likit limite çok yakın değerler de almaktadır.

Zeminin genel olarak γ_n'i 1,75-1,95 gr/cm^3 aralığı dolayındadır.

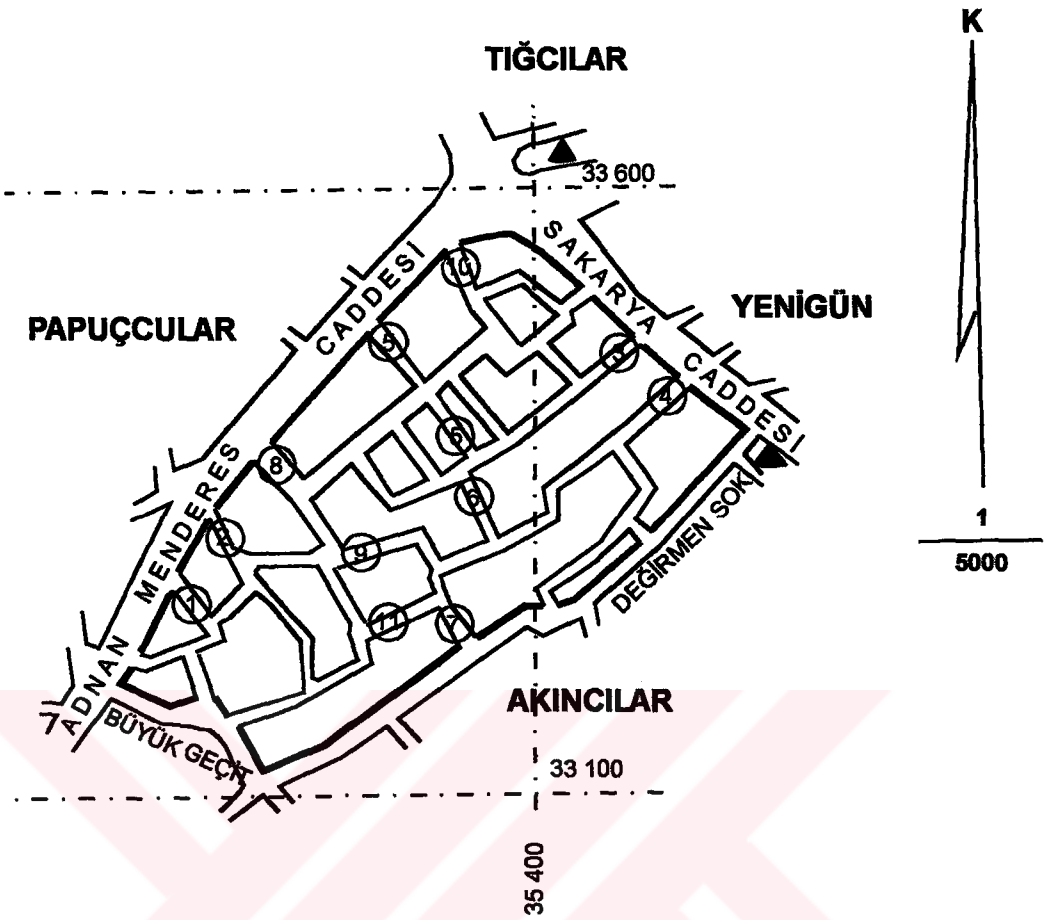
Suya doygun düşük plastisiteli kil (CL) için kohezyon değeri 25-106 kg/cm^2 aralığında bulunmaktadır. Suya doygun yüksek plastisiteli kil (CH) için kohezyon değeri 35 kg/cm^2, suya doygun silt (ML) için kohezyon değeri 0,16-30 kg/cm^2 aralığında ve kayma mukavemeti değeri de 2-12° aralığında bulunmaktadır.

Yahyalar mahallesinde yapılan sondajlardan elde edilen numunelerden siltli ve/veya kumlu zeminler üzerinde yapılan elek analizinden elde edilen dane çapı dağılımı aşağıda Şekil 3.31'de verilmiştir.



Şekil 3.31 Yahyalar mahallesinde açılan sondajlardan silt-kum zeminlerde yapılan elek analizlerinden elde edilen dane çapı dağılımı.

3.2.1.13 Yenicami Mahallesi



Şekil 3.32 Yenicami mahallesi.

Tablo 3.25 Yenicami mahallesi sokak isimleri.

No	Sokak İsmi	No	Sokak İsmi
1	Düzen Sokak	7	Örgü
2	Eğri	8	Refik
3	Gün	9	Serap
4	Hacı Hamza	10	Yeni
5	İmren	11	Uğurlu Sokak
6	Kınalı		

Bu mahallede yerel zemin koşullarını belirlemek amacıyla yapılan sondajlardan 2 tanesinden elde edilen zemin profilleri aşağıda verilmektedir. Sondajlardan 1.'si Serap sokakda, 2.'si ise Sakarya cadddesinde yapılmıştır. Tablo 3.26'da Serap sokakda açılan sondaj verileri ve Tablo 3.27'de de Sakarya caddesinde açılan sondaj verileri görülmektedir.

Tablo 3.26 SK-13 sondajından elde edilen veriler.

Sondaj No	Derinlik m	Sınıfı	N_{30}	w_n %	w_L %	w_p %	I_p %	I_c	Kıvam	# +4 %	# -200 %
SK13/SPT-1	1,95	CL	3	34	44	23	21	0,48	Plastik		97
SK13/SPT-2	3,45	CL	5	39	39	23	16	0,00	Viskoz Sıvı		99
SK13/SPT-3	4,95	SM	41	24		NP	-			0	18
SK13/SPT-4	6,45	SP-SM	50	18		NP	-			2	11
SK13/SPT-5	7,95	GW-GM	50	8		NP	-			53	6
SK13/SPT-6	9,45	CL	42	29	37	23	14	0,57	Plastik		82
SK13/UD-2	10,50	CH		40	74	28	46	0,74	Plastik		87
SK13/SPT-7	10,95	CL	29	27	30	21	9	0,33	Plastik		75

10,50 m derinlikten alınan örselenmemiş, suya doygun kil (CH) için kohezyon değeri üç eksenli drenajsız ve konsolidasyonsuz deney sonucunda 75 kg/cm^2 olarak belirlenmiştir.

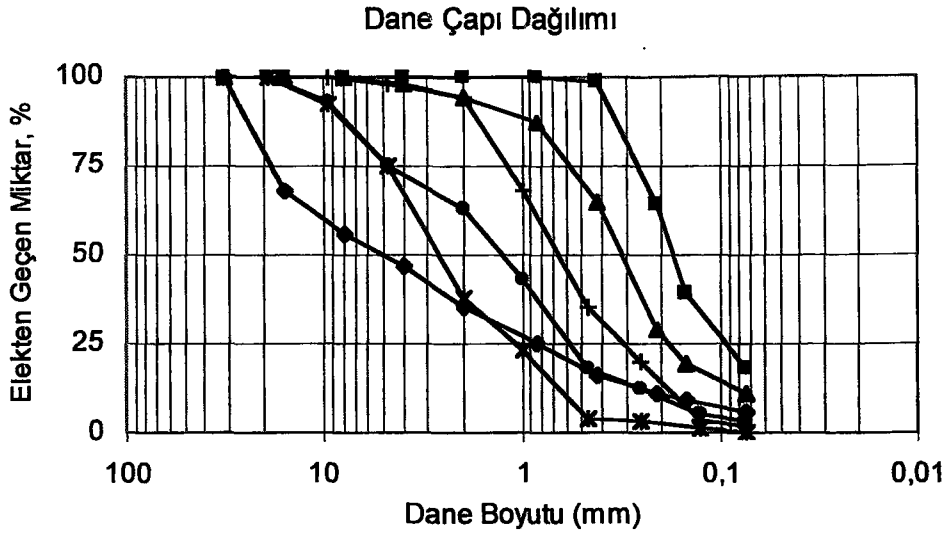
Tablo 3.27 SK-14 sondajından elde edilen veriler.

Sondaj No	Derinlik m	Sınıfı	N_{30}	w_n %	w_L %	w_p %	I_p %	I_c	Kıvam	# +4 %	# -200 %
SK14/UD-1	3,30	SW		7		NP	-			25	0,05
SK14/SPT-4	6,45	SW	33	16		NP	-			25	3
SK14/SPT-6	9,45	SW	30	22		NP	-			2	2

Zeminin genel olarak γ_n'i 1,90 gr/cm^3 olarak bulunmuştur. 3,30 m derinlikten alınan örselenmemiş, suya doygun iyi derecelenmiş kum (SW) için kayma mukavemeti değeri 35° olarak belirlenmiştir.

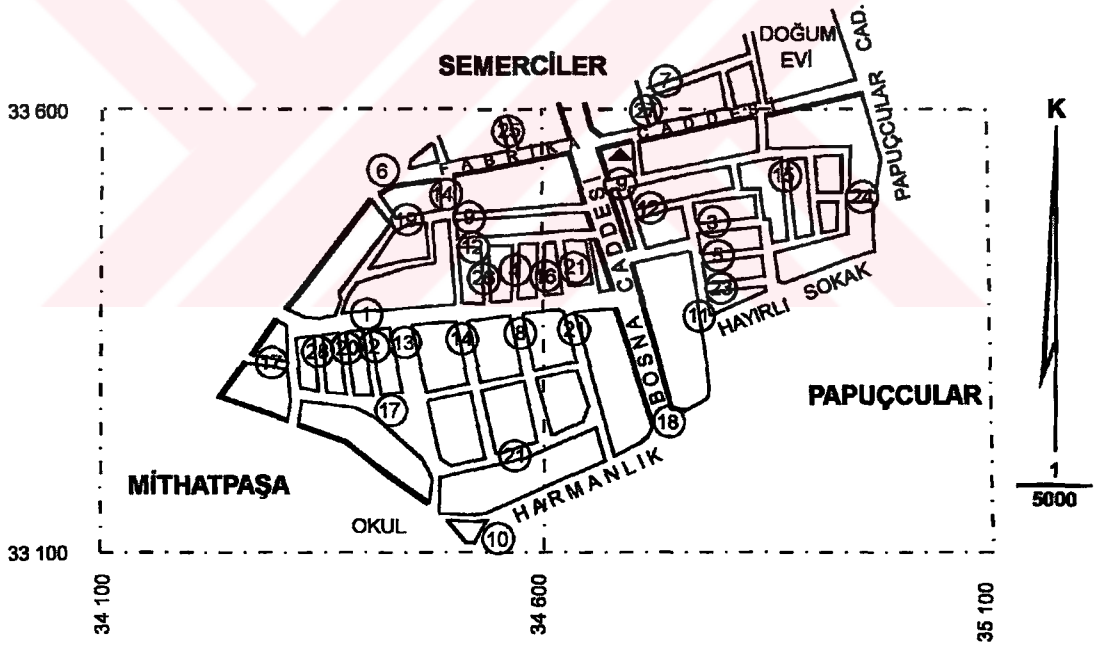
YASS mevsimsel olarak yağış miktarına göre değişim göstermekte olup yaklaşık olarak 1,0 m dolayındadır.

Yenicami mahallesinde yapılan sondajlardan elde edilen numunelerden siltli ve/veya kumlu zeminler üzerinde yapılan elek analizinden elde edilen dane çapı dağılımı aşağıda Şekil 3.33'de verilmiştir.



Şekil 3.33 Yenicami mahallesinde açılan sondajlardan silt-kum zeminlerde yapılan elek analizlerinden elde edilen dane çapı dağılımı.

3.2.1.14 Yenidoğan Mahallesi



Şekil 3.34 Yenidoğan mahallesi.

Tablo 3.28 Yenidoğan mahallesi sokak isimleri.

No	Sokak İsmi	No	Sokak İsmi	No	Sokak İsmi
1	Ana Sokak	11	Hacer	21	Pembe Sokak
2	Canan	12	Kar	22	Saydam
3	Danış	13	Keklik	23	Savul
4	Elmalı	14	Konuk	24	Tor
5	Emir	15	Mete	25	Tunç
6	Fabrika Caddesi	16	Mermer	26	Vazlık
7	Fidanlık Sokak	17	Mercan	27	Yaz
8	Geyik	18	NATO Cad. (Bosna)	28	Çakır
9	Güz	19	Nemli Sokak		
10	Harmanlık	20	Özen		

Bu mahallede yerel zemin durumu genellikle, üst kısımlarda düşük plastisiteli silt ve/veya plastik olmayan siltden, düşük plastisiteli kilden veya siltli kumdan, bu yüzey tabakasının altında da siltli kumdan (SM), düşük veya yüksek plastisiteli siltden (ML-MH) veya da düşük plastisiteli kilden (CL) oluşmaktadır. Silt, kil ve kum ardalı olarak tabakalar halinde bulunmaktadır. Bu mahallede yapılan sondajlardan Güz sokakda açılan sondajdan elde edilen zemin verileri aşağıda Tablo 3.29'da görülmektedir.

Tablo 3.29 SK-15 sondajından elde edilen veriler.

Sondaj No	Derinlik m	Sınıfı	N_{30}	w_n %	w_L %	w_p %	I_p %	I_c	Kıvam	# +4 %	# -200 %
SK15/SPT-1	1,95	ML	11	37	31	23	8	-0,75	Viskoz Sıvı	0	97
SK15/UD-1	3,50	ML		36	33	24	9	-0,33	Viskoz Sıvı	0	98
SK15/SPT-2	3,95	ML	10	37	34	24	10	-0,30	Viskoz Sıvı	0	98
SK15/SPT-3	6,45	CH	7	30	50	28	22	0,91	Plastik	0	99
SK15/UD-2	7,50	ML		37	32	24	8	-0,63	Viskoz Sıvı	14	84
SK15/SPT-4	9,45	SM	50	69		N.P.	-			0	30
SK15/SPT-5	12,45	SM	50	63		N.P.	-			10	12
SK15/SPT-6	15,45	ML	23	38	34	25	9	-0,44	Viskoz Sıvı	0	97

Diğer sondajlardan da genellikle üstte yer alan silt (ML) tabakalarının plastisite I_p'sinin %0-10 aralığında değişik değerler aldığı görülmektedir. Kimi yerde zemin kesitinde üstte yaklaşık 4,0 - 5,0 m'ye kadar kil (CL-CH) (I_p= %20-36) bulunmaktadır. Zemin kesitlerinde, ML'nin I_p'sinin %0-11 aralığında ve MH'nın da I_p'sinin %22-30 aralığında değişik değerler almasına rağmen genellikle plastik olmayan veya düşük plastisiteli silt hakim durumdadır. Silt, kil ve kumun (İ.D.O. = %12-49) tekrarlı olarak zemin kesitlerinde bulunması yaygın biçimde gözlenen bir durumdur.

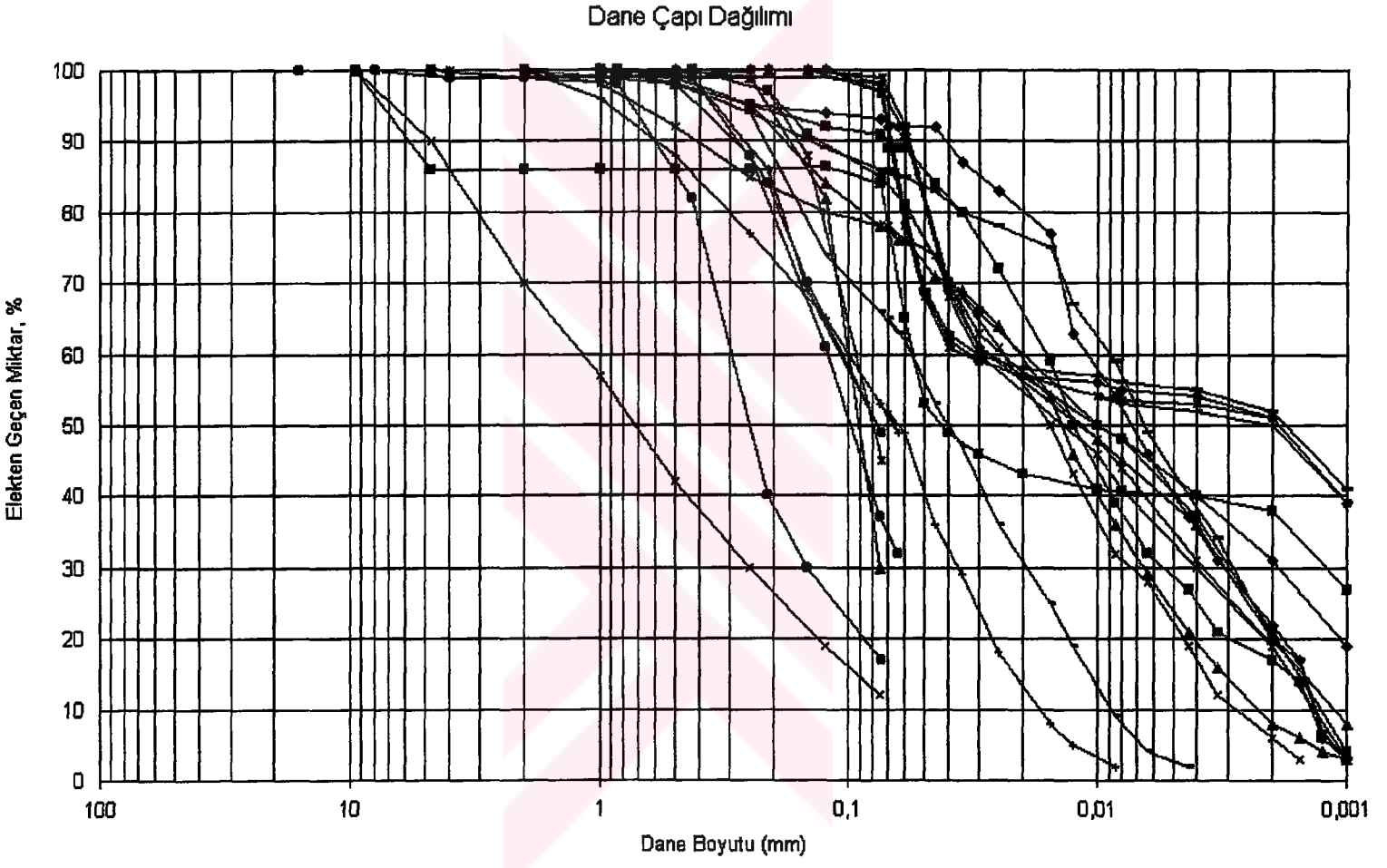
YASS mevsimsel olarak yağış miktarına göre değişim göstermekte olup yaklaşık olarak 0,60-2,65 m aralığı dolayındadır. Likit limit değerleri genellikle su muhtevalarından büyük olarak gözlenmiştir.

Zeminin genel olarak γ_n'i 1,71-1,89 gr/cm^3 aralığı dolayındadır.

3,5 m derinlikte bulunan, suya doygun bir kil (CL) numunesi için UU deneyi sonucunda kohezyon değeri 0,18 kg/cm^2 ve kayma mukavemeti değeri de 1,63° olarak bulunmuştur.

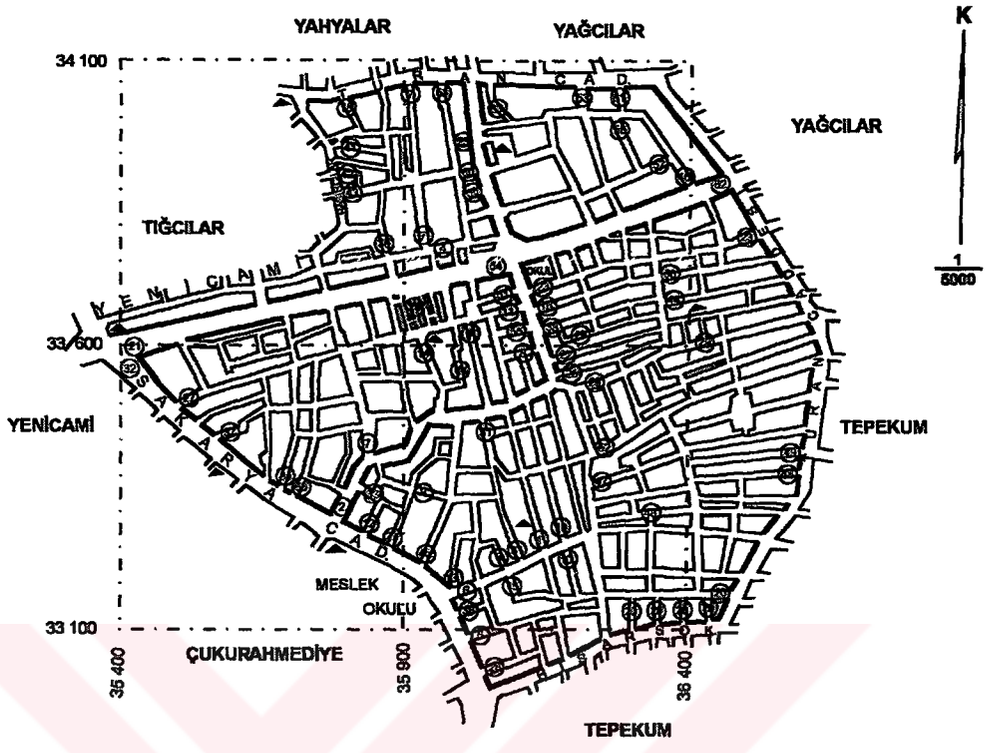
3,5 m derinlikte bulunan, suya doygun bir silt (ML) numunesi için ise UU deneyi sonucunda kohezyon değeri 0,10 kg/cm^2 ve kayma mukavemeti değeri de 13° olarak bulunmuştur.

Yenidoğan mahallesinde yapılan sondajlardan elde edilen numunelerden siltli ve/veya kumlu zeminler üzerinde yapılan elek analizinden elde edilen dane çapı dağılımı aşağıda Şekil 3.35'de verilmiştir.



Şekil 3.35 Yenidoğan mahallesinde açılan sondajlardan silt-kum zeminlerde yapılan elek analizlerinden elde edilen dane çapı dağılımı.

3.2.1.15 Yenigün Mahallesi



Şekil 3.36 Yenigün mahallesi.

Tablo 3.30 Yenigün mahallesi sokak isimleri.

No	Sokak İsmi	No	Sokak İsmi	No	Sokak İsmi
1	Bağışlar Sokak	22	Metin	43	Yassı
2	Başlar	23	Eser	44	Zeybek
3	Babalık	24	Mehtap	45	Zümrüt
4	Bebek	25	Kare	46	Yağmur
5	Büyük Çıkmaz	26	Nal Sokak	47	Gemi
6	Çakmak Sokak	27	Ömer	48	Esen
7	Çırak	28	Özal	49	Başak
8	Danış	29	Özbek	50	Gönül
9	Dilim	30	Paralı	51	Kılıç Sokak
10	Doğan	31	Recep	52	Barçın
11	Can	32	Sakarya Caddesi	53	Beyler
12	Eliboş	33	Somun Sokak	54	Serap
13	Erişen	34	Sönmez	55	Arda
14	Engin	35	Tekerci	56	Gültekin
15	Emin	36	Terzioğlu	57	Aytekin
16	Gülsen	37	Tepeli	58	Emektar
17	Hacı Sadık	38	Ünlü	59	Gül
18	Heybetli	39	Yazar	60	Alemdar
19	Kesik	40	Yağız	61	Gün
20	Kır	41	Yavaş	62	Yenigün Caddesi
21	Kurbanlar	42	Yamuk	63	Şener Sokak

Bu mahallede yerel zemin koşullarını belirlemek amacıyla yapılan sondajlardan 2 tanesinden elde edilen zemin verileri aşağıda verilmektedir. Sondajlardan 1.'si Tekerci sokakda, 2.'si ise Zümrüt sokakda yapılmıştır. Tablo 3.31'de Tekerci sokakda açılan sondaj verileri ve Tablo 3.32'de de Zümrüt sokakda açılan sondaj verileri görülmektedir.

Tablo 3.31 SK-16 sondajından elde edilen veriler.

Sondaj No	Derinlik m	Sınıfı	N_{30}	w_n %	w_L %	w_p %	I_p %	I_c	Kıvam	# +4 %	# -200 %
SK16/SPT-1	3,45	SP	26	16		NP	-				6
SK16/SPT-2	4,95	SP	38	11		NP	-				9
SK16/SPT-3	6,45	SW	33	15		NP	-				7
SK16/SPT-4	10,95	SW	41	17		NP	-				6
SK16/SPT-5	14,95	SW	45	12		NP	-				8

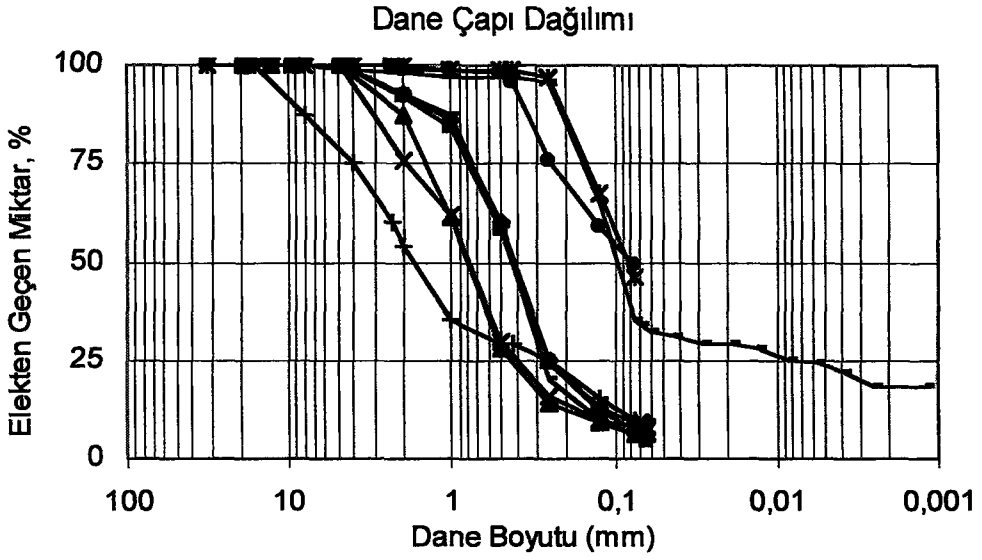
Tablo 3.32 SK-17 sondajından elde edilen veriler.

Sondaj No	Derinlik m	Sınıfı	N_{30}	w_n %	w_L %	w_p %	I_p %	I_c	Kıvam	# +4 %	# -200 %
SK17/SPT-1	1,95	SM	10	28		NP	-			0	46
SK17/UD-1	3,50	SM		27		NP	-			0	49
SK17/SPT-2	3,95	GC	10	11		NP	-			25	10
SK17/SPT-3	5,45	ML	16	33	25	19	6	-1,33	Viskoz Sıvı		73
SK17/SPT-4	6,95	SM	20	28		NP	-			1	35
SK17/SPT-5	8,45	ML	19	43	39	23	16	-0,25	Viskoz Sıvı		91
SK17/SPT-6	9,95	ML	23	42		NP	-				94
SK17/SPT-7	10,95	ML	28	39		NP	-				90
SK17/SPT-8	14,95	ML	34	39		NP	-				89

SM için genel olarak γ_n 1,84 gr/cm^3 ve ML için ise 1,80 gr/cm^3 olarak bulunmuştur.

YASS mevsimsel olarak yağış miktarına göre değişim göstermekte olup yaklaşık 1,0 m dolayındadır.

Yenigün mahallesinde yapılan sondajlardan elde edilen numunelerden siltli ve/veya kumlu zeminler üzerinde yapılan elek analizinden elde edilen dane çapı dağılımı aşağıda Şekil 3.37'de verilmiştir.



Şekil 3.37 Yenigün mahallesinde açılan sondajlardan silt-kum zeminlerde yapılan elek analizlerinden elde edilen dane çapı dağılımı.

3.2.2 Erenler İlçesinin Yerel Zemin Koşulları

Erenler ilçesinin yerel zemin koşullarının belirlenebilmesi amacıyla Erenler Belediyesi'nin revize imar projesi kapsamında yaptırdığı zemin etüd sonuçları ve 17 Ağustos 1999 Kocaeli Depremi'nden sonra artık bir zorunluluk haline gelen, bina bazında onarım veya yeni inşaat için yaptırılmış olan birçok zemin sondaj verileri kullanılmıştır.

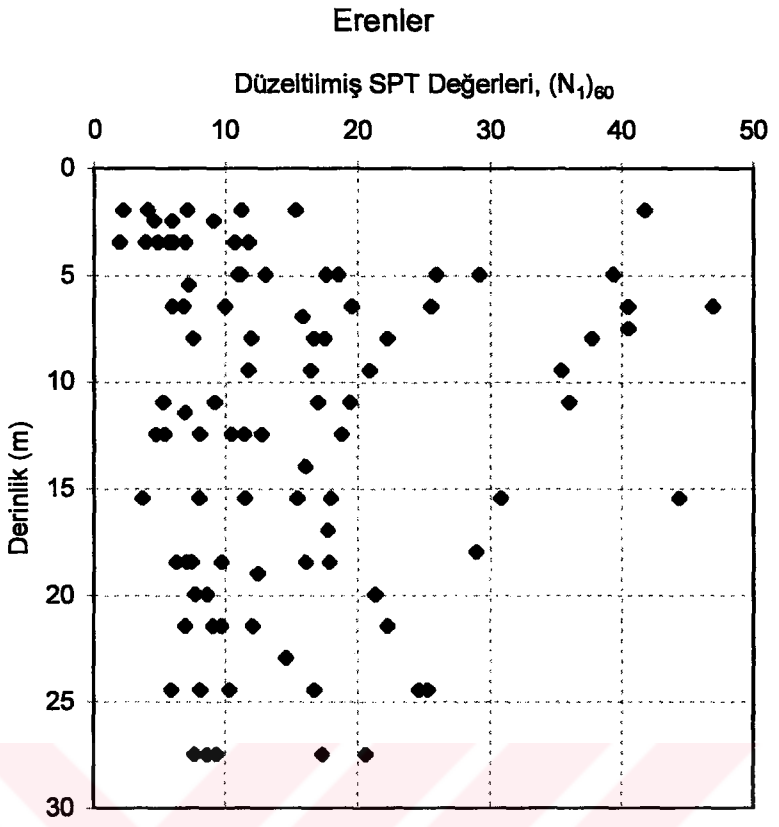
Erenler'de YASS mevsimsel yağış miktarına bağlı olarak çok değişkenlik göstermektedir. Ancak genel bir tanımlama yapılması gerekirse ortalama olarak YASS zemin yüzeyinden 3,0 m derinliktedir.

İlk 5,0 - 6,0 m'ler göz önüne alınmak şartıyla Erenler'de yüzey zemin cinsi düşük plastisiteli silt (ML)'dir.

İncelenen sondajlar sonucunda silt tabakalarının kalınlığı 4,0 m ile 12,0 m arasında değişkenlik göstermekte olup, silt, kum ve kil tabakaları değişik kombinasyonlarda ardalanmaktadır.

Siltlerin (ML) I_p'si %0-17 arasında değişik değerlere sahiptir.

Aşağıda Şekil 3.38'de Erenler'de yapılan sondajlardan elde edilen SPT sonuçlarının zemin tabakalarının derinlik, yeraltı su seviyesi kotu, SPT deney parametreleri vs. göz önüne alınarak düzeltilmiş değerleri $(N_1)_{60}$ derinlik kıstasına göre verilmiştir. Şekilden açıkça görüleceği üzere zemin tabakalarının $(N_1)_{60}$ değerleri 0-20 aralığında yoğunlaşmaktadır.



Şekil 3.38 Erenler'de yapılan SPT'lerden bulunan düzeltilmiş SPT değerleri $(N_1)_{60}$ ve derinlik ilişkisi.

Zemin kesitleri yukarıda daha önce değinildiği gibi silt, kum ve kil özellikli zeminlerin değişik kombinasyonlarda ardalanması şeklinde oluşmakta olup, Erenler Belediyesi'nin revize imar projesi sondajlarından elde edilen bir zemin kesiti aşağıda Tablo 3.33'de verilmiştir.

Tablo 3.33 Erenler Belediyesi revize imar projesi SK-64 sondaj kesiti.

Numune No	Derinlik m	Sınıfı	N_{30}	$(N_1)_{60}$
SPT-1	1,95	SİLT	8	11
SPT-2	3,45	Killi SİLT	5	6
SPT-3	5,45		6	6
SPT-4	6,45		8	9
SPT-5	7,95	KUM	28	24
SPT-6	9,45		15	12
SPT-7	10,95	KİL	20	15
SPT-8	12,45	SİLT (İnce Daneli İnce Kum Bantlı)	20	15
SPT-9	15,45		28	19
SPT-10	18,45		21	13
SPT-11	21,45		20	12
SPT-12	24,45		39	21
SPT-13	27,45	KUM	50	24
SPT-14	30,45		50	23

SK-64 sondajında YASS 0,80 m olarak ölçülmüştür. Zemin kesitine bakıldığında yüzey tabakasını silt oluşturmaktadır. Daha sonra ise sırasıyla kum, kil, silt ve kum tabakaları yer almaktadır.

3.2.3 Serdivan İlçesinin Yerel Zemin Koşulları

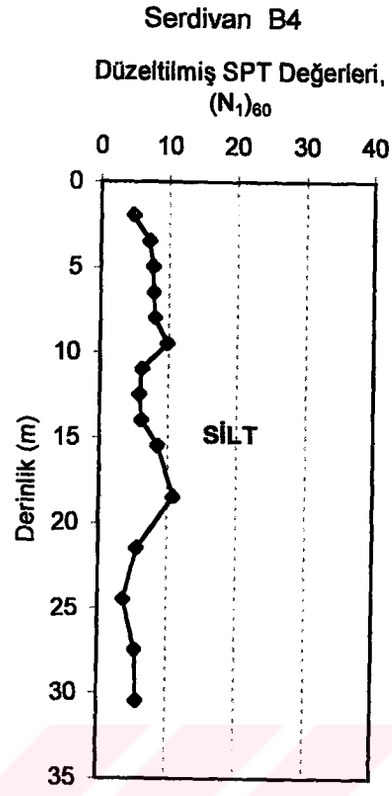
Serdivan ilçesinin yerel zemin koşullarının belirlenebilmesi amacıyla Serdivan Belediyesi'nin revize imar projesi kapsamında yaptırdığı zemin etüd sonuçları ve 17 Ağustos 1999 Kocaeli Depremi'nden sonra artık bir zorunluluk haline gelen, bina bazında onarım veya yeni inşaat için yaptırılmış olan birçok zemin sondaj verileri kullanılmıştır.

Serdivan'da YASS mevsimsel yağış miktarına bağlı olarak çok değişkenlik göstermektedir. Ancak genel bir tanımlama yapılması gerekirse ortalama olarak YASS zemin yüzeyinden itibaren 0,40 - 3,80 m aralığında değişmektedir.

En azından ilk 5,0 - 6,0m'ler göz önüne alınmak koşuluyla Serdivan'da yüzey zemin cinsi siltli kildir.

İncelenen sondajlar sonucunda kil tabakalarının kalınlığı 4,0 m ile 15,0 m arasında değişkenlik göstermekte olup, silt, kum ve kil tabakaları değişik kombinasyonlarda ardalanmaktadır.

Aşağıda Şekil 3.39'da Serdivan'da yapılmış olan B4 nolu sondajdan elde edilen SPT değerlerinin derinlik, YASS, SPT deney parametreleri vs. bağlı olarak düzeltilmiş değerleri $(N_1)_{60}$, derinlik ilişkisine göre verilmiştir. Şekilden açıkça görüleceği üzere $(N_1)_{60}$ değerleri 0-10 aralığında yer almaktadır. Zemin kesitini ise silt oluşturmaktadır.



Şekil 3.39 Serdivan'da B4 nolu sondajın SPT'lerinden hesaplanan düzeltilmiş SPT değerleri $(N_1)_{60}$ ile derinlik ilişkisi.

Zemin kesitleri, yukarıda daha önce değinildiği gibi silt, kum ve kil özellikli zeminlerin değişik kombinasyonlarda ardalanması şeklinde oluşmakta olup, Serdivan Belediyesi'nin revize imar projesi sondajlarından elde edilen ve de YASS'ın 0,75 m olarak ölçüldüğü bir zemin profili (SK-27) aşağıda Tablo 3.34'de verilmiştir.

Tablo 3.34 Serdivan Belediyesi revize imar projesi SK-27 sondaj kesiti.

Numune No	Derinlik m	Sınıfı	N_{30}	$(N_1)_{60}$
SPT-1	1,95	KİL	8	9
SPT-2	3,95	Siltli KİL	6	5
SPT-3	4,95		6	6
SPT-4	6,45	KUM	40	38
SPT-5	7,95	Killi SİLT	13	13
SPT-6	9,45		9	8
SPT-7	12,45		9	8
SPT-8	15,45		20	14
SPT-9	18,45		21	13
SPT-10	21,45		10	7
SPT-11	24,45		19	10
SPT-12	27,45	Siltli KİL	8	4
SPT-13	30,45		12	6
SPT-14	33,45	Siltli KUM	25	11
SPT-15	36,45		33	14

4. ADAPAZARI'NDA BAZI ZEMİN KESİTLERİ İÇİN SIVILAŞMA ANALİZİ

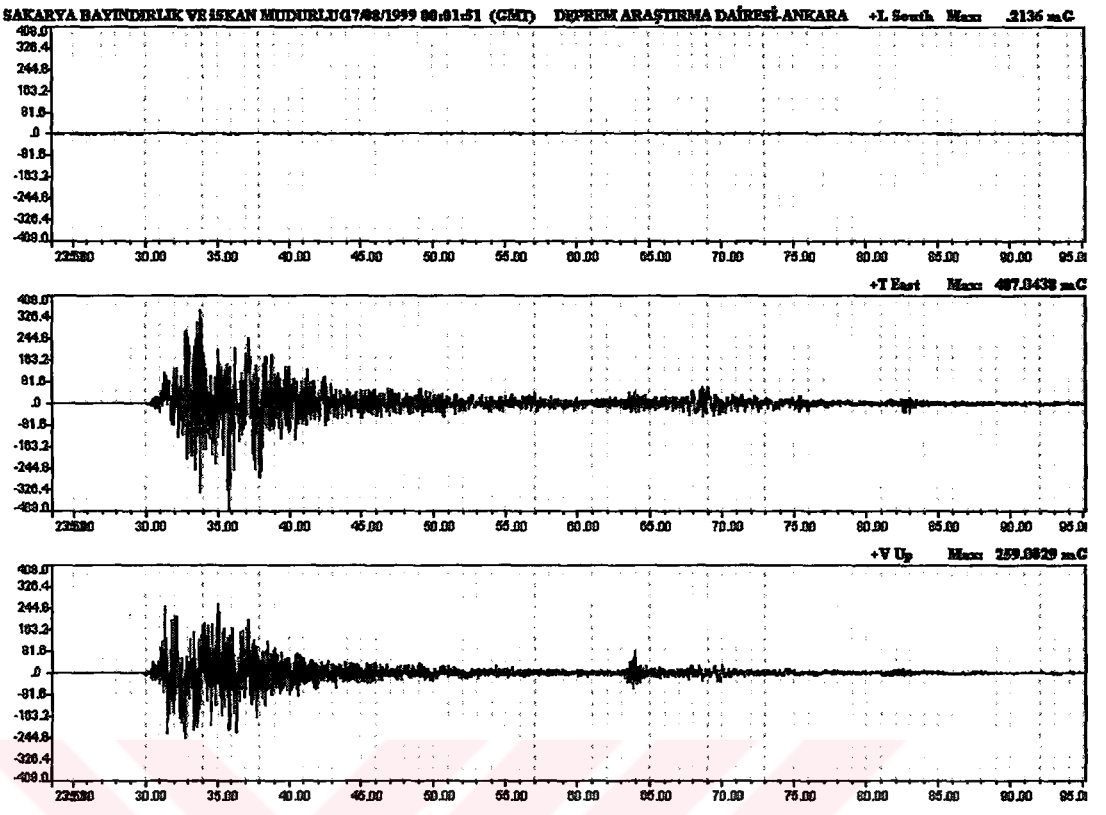
4.1 Giriş

Deprem bölgesinde kuvvetli yer hareketleri birçok istasyonda kaydedilmiştir. Ancak Adapazarı'nda sismograf istasyonundan sadece bir adet kayıt alınabilmiştir. Bu sismograf istasyonu Adapazarı'nda, Bayındırlık ve İskan Müdürlüğü (40,7369 K ve 30,3787 B) binasında bulunmaktadır. İstasyon kayalık bir lokasyon üzerinde yer almaktadır. Tablo 4.1'de İ.T.Ü. tarafından yürütülen araştırma kapsamında açılan sondajdan elde edilen, bu kayıt istasyonunun üzerinde bulunduğu zemin kesiti görülmektedir.

Tablo 4.1 Adapazarı'nda deprem kaydının alındığı istasyonun zemin kesiti.

Sondaj No	YASS (m)	Zemin Durumu	Derinlik (m)	SPT Değeri (N_{30})
S-10	0,00	Dolgu	1,00	14
		Kil – Silt – Çakıl	1,50	>50
		Kumtaşı	12,50	>50
		Kiltaşı	14,00	>50
		Kil	16,00	>50
		Kiltaşı	20,00	>50

Böyle bir zemin kesiti üzerinde yer alan, kuvvetli yer hareketi ölçüm istasyonunda kayıt edilmiş olan deprem kaydı da Şekil 4.1'de verilmektedir. Bu deprem kaydına göre en büyük yatay ivme Doğu-Batı doğrultusunda 407 gal olarak ve en büyük düşey ivme ise 260 gal olarak gerçekleşmiştir. Yatay eksenin diğer kısmına ait Kuzey-Güney bileşeni ise deprem esnasında kayıt edilememiştir. Ana şok esnasında Adapazarı'nda havza üzerinde kayıt almış olan başka bir istasyon bulunmamaktadır.



Şekil 4.1 Adapazarı'nda Bayındırlık ve İskan Müdürlüğü'nde bulunan sismograftan elde edilen 17 Ağustos 1999 Kocaeli Depremi ana şok kaydı (DAD, 1999).

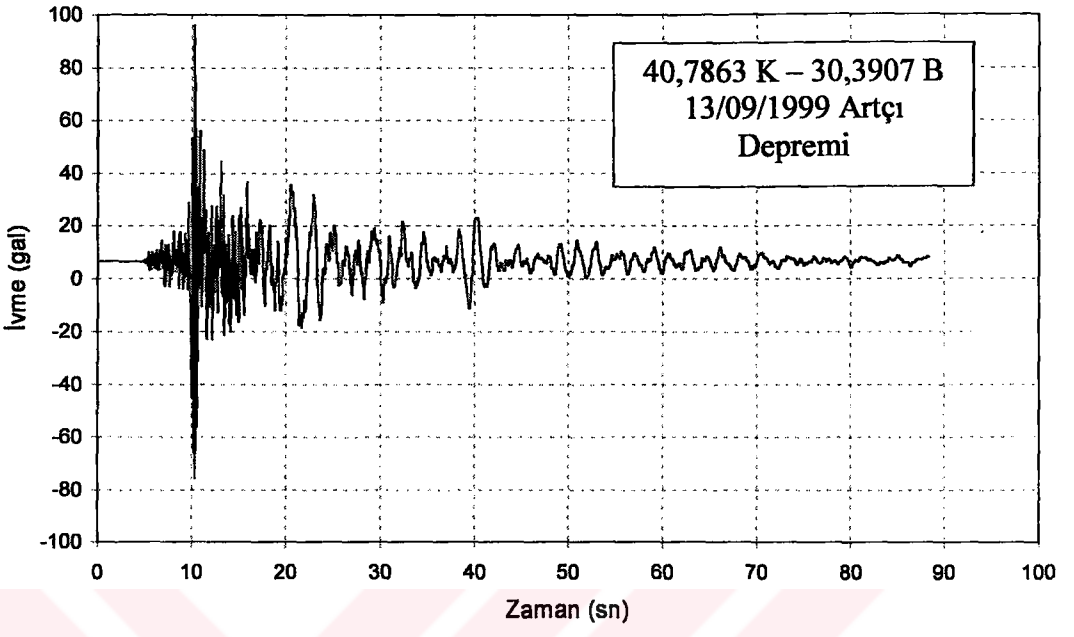
Sadece kayada ölçülmüş olan bu deprem kaydından yararlanılarak diğer zemin kesitleri için de bazı araştırmacılar tarafından deprem kayıtları türetilmiştir. Bu türetme, belli bir zemin kesitindede depremin etkilerini tam olarak anlayabilmek için çok gereklidir. Çünkü farklı türdeki zemin tabakalarının deprem dalgalarına karşı gösterdiği direnç de yine farklıdır.

Bu duruma en iyi örnek olarak 13 Eylül 1999 tarihinde 40,77 K ve 30,10 B dış merkezinde, odak derinliği 19,6 km olan 5,8 büyüklüğünde meydana gelen artçı depremde hem kayada hem de alüvyon bir zemin üzerinde alınan deprem kayıtları gösterilebilir. Bu artçı şoka ait D-B bileşen kayıtları Şekil 4.2'de görülmektedir. Bu iki kayıtdan hareketin süresi, havza üzerinde alınan kayıtda kaya üzerinde alınmış olan kayıtdan daha uzundur.

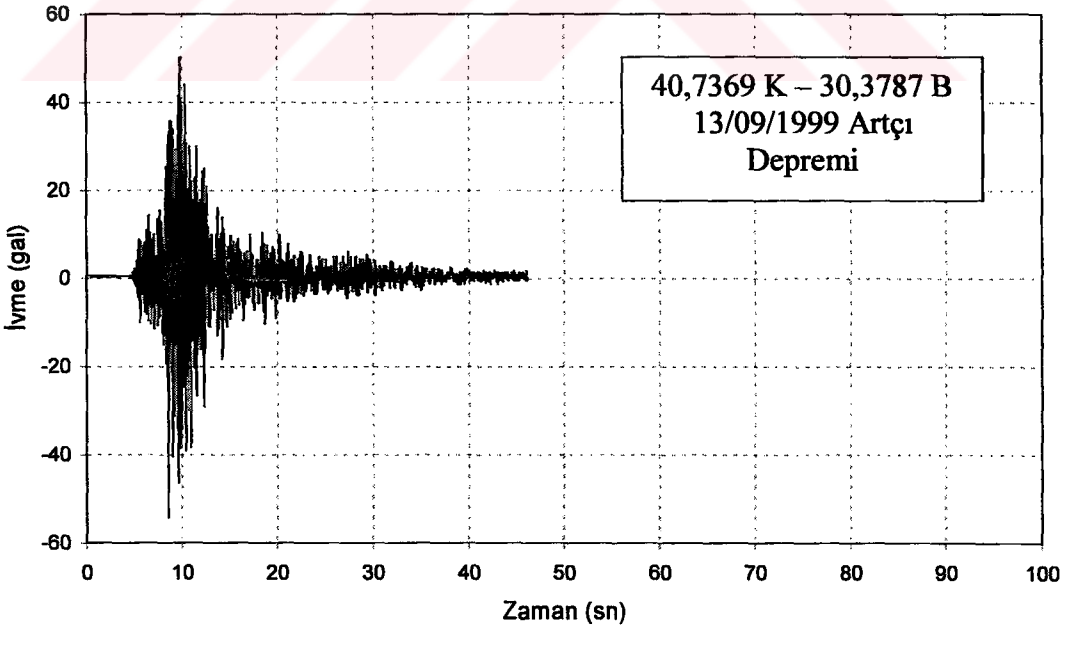
Bu farklılık nedeniyle deprem esnasında, yapım kaliteleri benzer olan binaların neden farklı deprem etkilerine maruz kaldığı açıkça görülmektedir. Adapazarı'nda deprem kaydının kaya üzerinde ölçülmüş olması, Bölüm 3'de ayrıntılı olarak verilmiş olan şehrin yerel zemin koşulları için belli düzeltmeler yapılmadan kullanılamayacağını da ifade etmektedir. Ayrıca Şekil 4.1'de verilen, kaya üzerinde ölçülmüş olan deprem kaydından depremin yaklaşık olarak 45-50 sn sürdüğü anlaşılmaktadır. Ama Şekil 4.2'de de görüldüğü üzere alüvyon zeminlerde bu süre oldukça uzamaktadır. Bu

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

nedenle değişik türde tabakalara sahip zeminlerde inşaa edilmiş yapılar değişik deprem etkilerine maruz kalmışlardır.



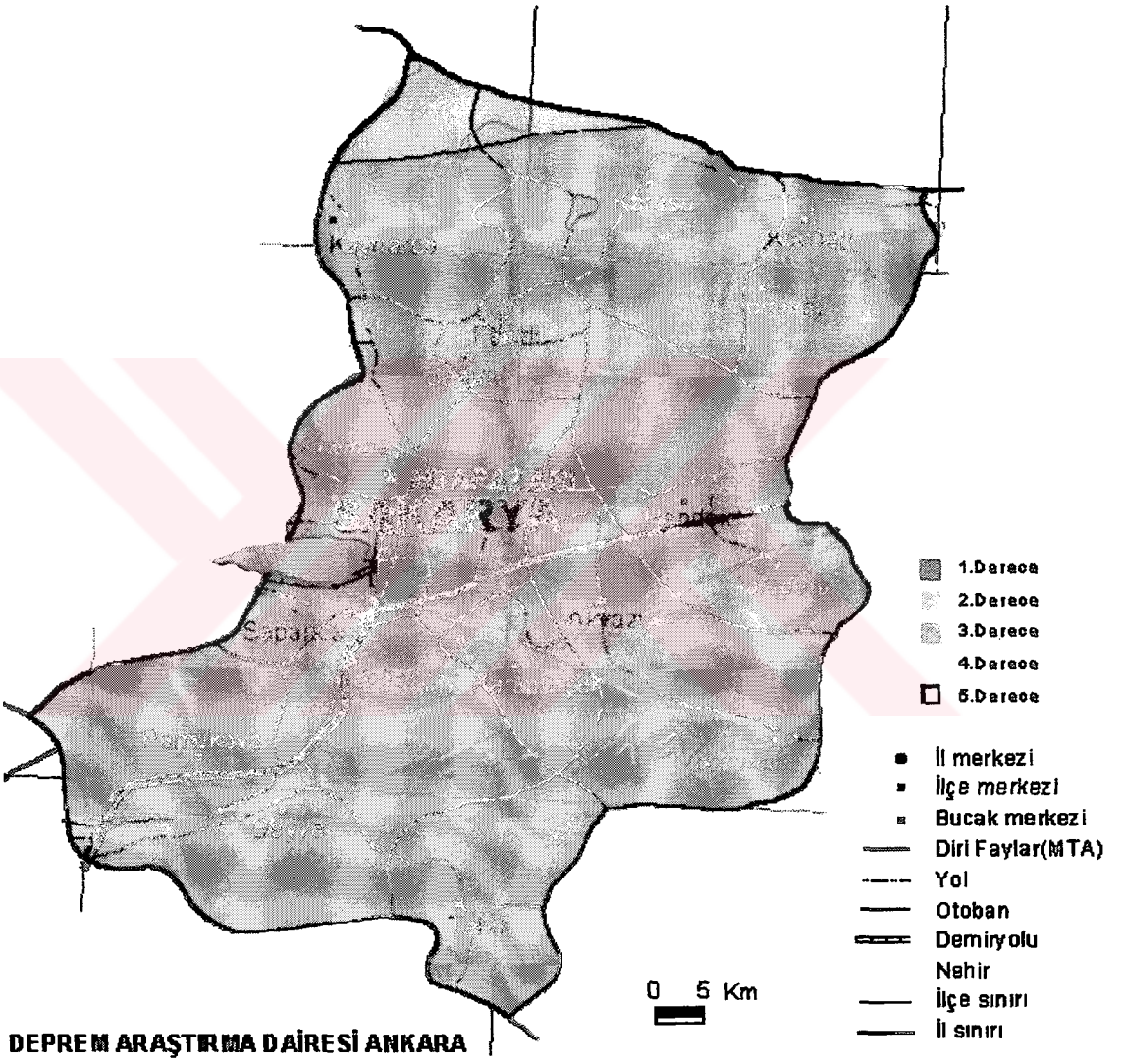
Şekil 4.2a 13 Eylül 1999 tarihinde meydana gelmiş olan artçı depremde Adapazarı'nda alüvyon zemin üzerinde inşaa edilmiş olan A. Babalıoğlu konutunda (40,7863 K ve 30,3907 B, dış merkeze uzaklık 24,5 km) ölçülen depremin D-B bileşeni (Kandilli Rasathanesi, 1999).



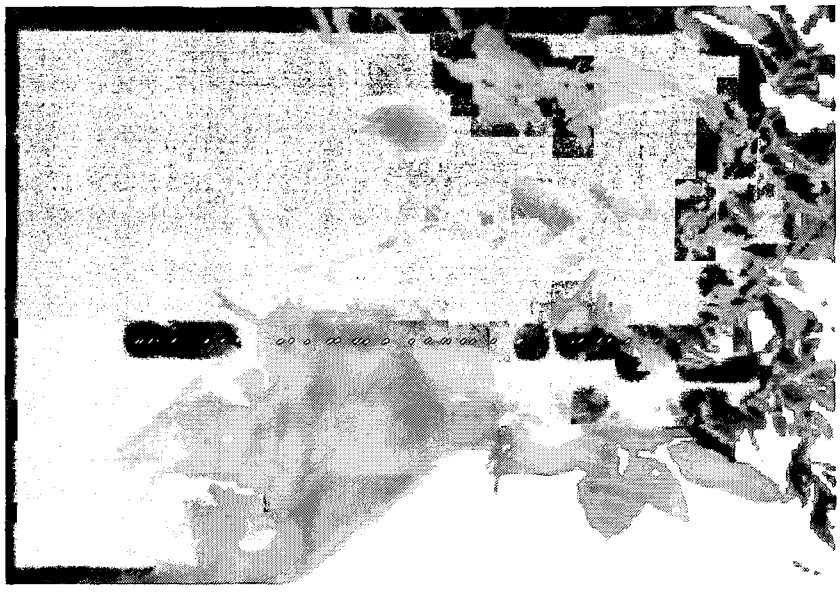
Şekil 4.2b 13 Eylül 1999 tarihinde meydana gelmiş olan artçı depremde Adapazarı'nda kaya üzerinde inşaa edilmiş olan Bayındırlık ve İskan Müdürlüğü binasında (40,7369 K ve 30,3787 B, dış merkeze uzaklık 23,7 km) ölçülen depremin D-B bileşeni (Kandilli Rasathanesi, 1999).

Adapazarı şehri 1. derece deprem bölgesinde yer almaktadır. Şehrin DAD tarafından hazırlanmış olan deprem bölgeleme durumu Şekil 4.3'de verilmektedir.

Sıvılaşma nedeniyle Adapazarı'nda yapılar ağır hasara uğramıştır. Sıvılaşma nedeniyle oluşan yüzey etkileri olarak; yapının zemine batması, yatay ötelemeler yapması ve eğilmesi kastedilmektedir. Sıvılaşma çatlakları, yüzey çökmeleri ve kum volkanları şehirde birçok yerde gözlenmiştir. Şekil 4.4'de 18 Ağustos 1999 tarihinde Erenler'de (Adapazarı) gözlenmiş olan kum volkanı görülmektedir.



Şekil 4.3 Sakarya ilinin deprem bölgelemesi (DAD, 1996).



Şekil 4.4 Erenler'de 18/09/1999 tarihinde gözlenmiş kum volkanı (JSCE, 2001).

17 Ağustos 1999 Kocaeli Depremi'nde sıvılaşma en yaygın olarak Adapazarı'nda görülmüştür. Sıvılaşma nedeniyle deplasmanlar ve taşıma gücü kayıpları şehirde birçok yerde meydana gelmiştir. Tığcılar'da kumların sıvılaşması ve silt ile killerin de yumuşaması sonucunda birçok hasar gözlenmiştir. Birçok bina oturmalar yapmış, eğilmiş ve hatta göçmüştür. Gözlenen oturmalar, değişik yerlerde 2,0 m'ye kadar ulaşmaktadır. Taşıma gücü kayıpları da silt ve killerin yumuşaması sonucunda meydana gelmiştir. Taşıma gücü kayıplarından dolayı birçok cadde ve sokak boyunca uzanmakta olan kanalizasyon boruları yüzeye doğru harekete zorlanmış ve aynı zamanda binalar kanalizasyon boşluklarına doğru hareket etmiştir. Dolayısıyla buralarda hasarlar meydana gelmiştir (Erken, 2001).

4.2 Sıvılaşma

4.2.1 Sıvılaşmanın Tanımı

Sıvılaşma, tekrarlı yükler altında zemin daneleri arasındaki efektif gerilmelerin azalıp sıfır olması sonucunda toplam gerilmelerin sadece boşluk suyu basıncına eşit olmasıyla meydana gelen bir olay olarak çok kısa bir şekilde tanımlanabilir. Bu olay sonucunda zemin, kayma mukavemetini kaybeder ve bir sıvı gibi davranarak büyük şekil değiştirmelerine maruz kalır.

Sıvılaşma kavramı içerisinde yer alan şu tanımlar olayın farklı şekillerde oluşabildiğini ortaya koymaktadır:

a) Ön Sıvılaşma : Tekrarlı yükler altında boşluk suyu basıncının, bir yükleme çevrimi sonunda toplam çevre gerilmesine eşit olmasına ön sıvılaşma denir. Ön sıvılaşmanın meydana gelmesi, zemin elemanında oluşabilecek şekil değiştirmelerin boyutları ile ilgili bir bilgi vermez. Böyle bir tanım yapmaktaki amaç zemin elemanının tekrarlı yükler altında davranışlarının adlandırılması ve ön sıvılaşmadan sonraki davranışının değerlendirilmesine açıklık getirilmesidir.

b) Sıvılaşma : Boşluk suyu basıncının tekrarlı veya statik yükler altında sürekli olarak artması ve bir noktadan sonra sabitleşmesi, efektif çevre gerilmesinin sıfır veya çok küçük bir değere düşmesine neden olur. Bunun sonucunda zemin elemanında sürekli olarak artan şekil değiştirmeler oluşur ve zemin bir sıvı gibi davranır. Bu olaya gerçek sıvılaşma denir.

c) Sınırlı Ön Sıvılaşma : Tekrarlı yükler altında bir yükleme çevrimi sonunda bir ön sıvılaşmanın oluşması ve bunu izleyen yükleme çevrimlerinde zemin elemanında bir artık dayanım bulunmasından veya hacim genişlemesi nedeni ile tekrar bir kayma direnci oluşur. Bunun sonucunda şekil değiştirmeler sınırlı kalır ve zemin elemanı tekrarlı yükler altında duraylı bir konuma gelir. Bu olaya sınırlı ön sıvılaşma denir.

4.2.2 Sıvılaşmaya Etki Eden Faktörler

Sıvılaşma sadece birkaç parametreye bakılarak %100 doğru biçimde ön görülecek kadar basit bir kavram olmaktan çok uzaktır. Değişik depremlerde meydana gelen sıvılaşmalar incelendiğinde her birinin yeni olgular doğurabildiği rahatlıkla söylenebilir. Bu yüksek lisans tezi kapsamında, değişik etmenler göz önüne alınarak oluşturulan belli formülasyonlar ve standartlar yardımıyla ortaya konan iki farklı analiz yöntemi ile çalışma yapılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Sıvılaşmaya etki eden faktörler sırası ile aşağıda verilmektedir:

i. Relatif Sıkılık : Kohezyonsuz zeminlerin, statik yükleme durumunda olduğu gibi, tekrarlı yükler altında da davranışlarını belirleyen en önemli etkenlerden biri zeminin sıkılık oranıdır. Bu oranın sayısal bir şekilde tanımlanması göreceli sıkılığın bilinmesi ile mümkün olduğundan kohezyonsuz zeminlerin yapısal davranışlarını göreceli sıkılığa bağlı olarak açıklamak alışıla gelmiş bir uygulamadır. Sıvılaşma konusunda yapılan deneysel çalışmalar sonucunda, sıvılaşma olasılığının büyük ölçüde relatif sıkılığa bağlı olduğu görülmüştür.

ii. Dane Yapısı : Suya doygun kumların sıvılaşma özelliklerini belirleyen etkenlerden birinin dane yapısı, dane yerleşimi olduğu son yıllarda numune hazırlama yöntemleri üzerine yapılmış araştırmalar sonucu ortaya çıkmıştır (Mulilis, 1976; Ladd, 1977; Mahmood, Mitchell ve Lindblom, 1976). Farklı numune hazırlama yöntemleri kullanılarak aynı relatif sıkılıkta hazırlanmış ve aynı efektif çevre basıncı altında yapılmış sarsma tablası deneylerinde (Mulilis, Chan ve Seed, 1975) belirli bir tekrar sayısında ön sıvılaşma meydana getirecek gerilme oranları arasında % 200'e varan farklar olabilmektedir. Bu farklılığın ayrıca kumun cinsinin relatif sıkılığına ve efektif çevre basıncına bağlı olarak da değişebileceği Castro ve Poulos (1976) tarafından belirtilmiştir.

iii. Gerilme Altında Kalma Süresi : Sıvılaşmaya etki eden faktörlerden biri de zemin tabakalarının jeolojik yük altında kaldıkları süredir. Bu süre tesirinin ölçülebilmesi için benzer şekilde hazırlanmış numuneler 0,01 günden 95 güne kadar değişen zaman dilimleri için belirli bir basınç altında bırakıldıktan sonra sıvılaşma deneyine tabi tutulmuşlardır. Ön sıvılaşmaya yol açabilecek gerilme oranları arasında % 25'e varan farklar bulunmuştur. Daha uzun zaman dilimlerinin etkisini anlamak için araziden alınan örselenmemiş numunelerin davranışı ile aynı tip kum kullanılarak laboratuvarda hazırlanmış numunelerin sıvılaşmaya karşı davranışlarının karşılaştırılması gerekmektedir. Arazide doğal şartlar altında sıvılaşmaya karşı dayanım % 75 oranında artabilmektedir. Buna neden olarak da uzun süre yük altında kalmanın bir sonucu olarak daneler arasında bir kaynamanın ve çimentolaşmanın oluşması gösterilebilir.

iv. Şekil Değiştirme Oranı veya Sismik Geçmiş : Bir kum elemanın sıvılaşabilirliğinin, o kum elemanın daha önce tekrarlı yükler etkisi altında kalmış olmasından etkilendiği birçok araştırmacı tarafından gözlenmiştir (Finn, Bransby ve Pickering, 1970; Bjerrum, 1973; Lee ve Focht, 1975). Bu etkinin ne yönde olacağını ve önemini daha iyi kavramak için, aynı şekilde ve aynı sıkılıkta hazırlanmış numunelerden bir kısmı çok ufak titreşimlere tabi tutulmuştur. Bütün numuneler üzerinde yapılan sıvılaşma deneylerinde titreşim altında kalmış numunelerde ön sıvılaşma için gerekli gerilme oranlarının hiç titreşim altında kalmamış numunelere göre % 50'den daha büyük olduğu gözlenmiştir.

Geçmişte deprem etkisi altında kalmış kum tabakalarının sıvılaşmaya karşı dirençleri artmaktadır. Doğada ise zemin tabakalarının yukarıda sözü edilen deneylerde numunelere uygulanmış olan titreşimlerden çok daha kuvvetli titreşimlerin etkisi altında kaldıkları düşünülürse bu tabakaların sıvılaşmaya karşı dirençlerinin artmış olacağı düşünülebilir. Yalnız burada dikkat edilmesi gereken konu, sıvılaşma direncini daha önceden numuneye uygulanmış titreşimlerin etkisi şeklinde ele almak ve ona göre bir değerlendirme yapabilmektir. Dolayısı ile numuneye uygulanmış titreşimlerin mertebesi önemli olmaktadır. Eğer bu titreşimler küçük kalmış ve bir sıvılaşmaya yol açmamış iseler genel olarak mukavemette bir artış olurken, sıvılaşma olması halinde mukavemette bir azalmaya yol açmaktadırlar. Bu tip davranışa neden olarak da uygulanan titreşimler sonucu meydana gelen değişiklikler gösterilebilir. Daneli bir yapıya sahip olan kumlarda, küçük titreşimler danelerin ve dane yüzeylerindeki pürüzlülüklerin birbirlerine göre daha iyi yerleşmesine ve bundan dolayı da kayma mukavemetini belirleyen iki bileşenden biri olan danelerin kilitlenmesinin büyümesine neden olduğundan sıvılaşmaya karşı dirençte bir artış görülür.

Diğer yandan önceden sıvılaşmış numunelerde ilk duruma göre oluşmuş dane kilitlenmeleri, oluşan çevre basıncına eşit boşluk suyu basıncının daneleri kısa bir an için de olsa birbirlerinden ayırması sonucunda yok olur ve yeniden sıvılaşmaya karşı direnci azaltır. Sıvılaşmaya karşı en büyük direnci gösteren numuneler, yüksek frekanslı titreşim uygulanmış numunelerdir. En zayıf numuneler ise havada ve suda yağmurlama ile hazırlanmış olanlardır.

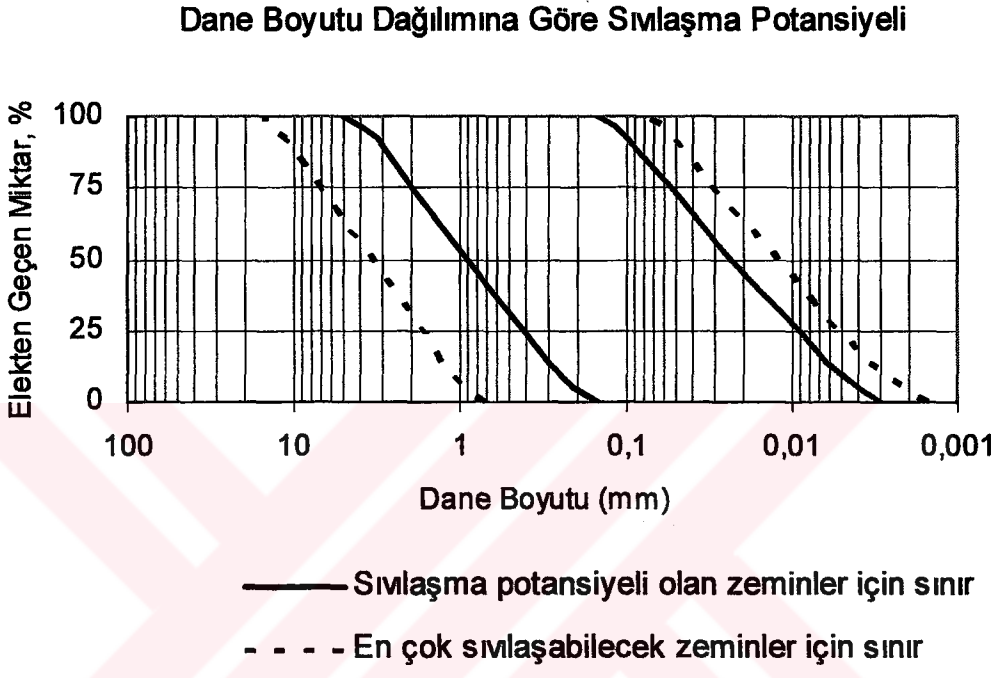
v. Yatay Toprak Basıncı Katsayısı veya Aşırı Yüklenmişlik : Sıvılaşmaya etki eden önemli bir etkenin de yatay toprak basıncı olduğu yapılan araştırmalarda görülmüştür (Seed ve Peacock, 1971). Bu etkenin tesirini yatay toprak basıncı, K_0 ile belirtmek alışıla gelmiş olup K_0'ın artmasıyla ön sıvılaşmaya yol açacak gerilme oranlarında büyük artışların olacağı (Seed, 1998)'de belirtilmektedir.

Aşırı konsolidasyon oranı, A.K.O.'nın artmasıyla sıvılaşmaya karşı direnç artmaktadır. Yatay toprak basıncı katsayısı K_0'ın aşırı yüklenmişlik ile doğrudan ilişkili olduğu hatırlanacak olursa bu etkenin doğada gerçek kum tabakalarının sıvılaşmasına etki eden en önemli faktörlerden biri olduğu ortaya çıkar.

vi. İnce Dane Oranının Etkisi : Sıvılaşma ve sıvılaşmaya etki eden faktörlerin araştırılmasında genel yaklaşım laboratuvarda değişik yöntemlerle hazırlanan üniform temiz kum numunelerin davranış biçimlerini incelemek ve doğal zemin tabakalarının sıvılaşabilirliklerini bu çalışmalara dayanarak belirlemektir. Fakat geçmişteki birçok depremde suya doygun ince dane içeren kumlu zemin tabakalarında sıvılaşma olaylarının gözlenmesi üzerine, arazideki davranış biçimini belirleyebilmek için, doğal zemin tabakaları üzerinde gerek laboratuvar gerek arazi deneyleri ile yapılan

araştırmalar büyük bir ağırlık kazanmaya başlamıştır. Yoğunlaşma ise ince dane boyutları ve ince danelerin endeks özellikleri üzerinde olmuştur.

Sıvılaşan ve sıvılaşma olasılığı olan zeminler için sınır eğrileri Japon Liman ve Barınak Birliği (1989)'e göre üniformluk katsayısı 3,5 ve daha büyük olan zeminler için Şekil 4.5'de verilmiştir. Adapazarı'nda incelenen hemen hemen bütün deney sonuçlarında bu katsayıya uyum sağlandığından bu sınırlar sıkça kullanılmıştır.



Şekil 4.5 Dane boyutu dağılımına göre sıvılaşma potansiyelinin belirlenmesi (Japon Liman ve Barınak Birliği, 1989).

vii. Kumların Fiziksel Karakteristikleri: Fiziksel özellikler olarak dane boyutları, dane şekli ve derecelenme diye üç öğe düşünülebilir. Yapılan tüm araştırmalar ve geçmişte gözlenen depremler, sıvılaşan zeminlerin dane boyutlarının belirli sınırlar içinde kalmayıp geniş bir aralık dahilinde değişebileceğini göstermektedir.

Düşük relatif sıkılıklarda, kötü derecelenmiş kumlar iyi derecelenmiş kumlara oranla daha düşük dinamik mukavemete sahiptirler. Bunun tam tersi olan davranış biçimi yüksek relatif sıkılıklarda gözlenmektedir.

Dane şekli konusundaki genel anlayış ise, daneleri köşeli olan zeminlerin belirli bir konsolidasyon basıncına kadar sıvılaşmaya karşı daha dirençli olacağı yönündedir. Daha büyük basınçlarda ise köşelerin kırılıp ince dane oluşturmaları nedeniyle sıvılaşmayı kolaylaştırıcı yönde bir etki yaptıkları belirtilmektedir.

4.2.3 Sıvılaşma Analizinde Kullanılan Yöntemler

Bu tez kapsamında iki farklı metodla, İ.T.Ü. tarafından Adapazarı'nda yaptırılan sondajlardan elde edilen veriler ve bölüm 3'de yerel zemin koşulları ayrıntılı olarak verilen Adapazarı'nda deprem hasarının yoğunlaştığı A bölgesinde bulunan 15 mahalleye ait sondaj verileri yardımıyla sıvılaşma analizi yapılmıştır. Sıvılaşma analiz sonuçlarına geçilmeden önce bu iki yöntem kısaca aşağıda açıklanmıştır.

Adapazarı'nda ağır hasara uğrayan bölge için yapılacak sıvılaşma analizlerinde kullanılacak maksimum yatay yer ivmesi değeri çeşitli ivme azalım bağıntıları kullanılarak elde edilen sonuçların değerlendirilmesi sonucunda bulunacaktır.

a) Joyner ve Boore (1981),

$$\log A = 0{,}249 * M_w - \log r - 0{,}00255 * r - 1{,}02 \mp 0{,}26 \qquad (4.1)$$

$$r = \sqrt{D^2 + 7{,}3^2} \qquad (4.2)$$

$5{,}0 \leq M_w \leq 7{,}7$ olmalıdır.

D : Fay kırığına en yakın mesafe (km)

A : Maksimum yatay yer ivmesi

M_w : Moment magnitüdü

$D \cong 5$ km

$r = \sqrt{5^2 + 7{,}3^2} = 8{,}85$ km

$M_w = 7{,}4$ (USGS, DAD)

$$\log A = 0{,}249 * 7{,}4 - \log 8{,}85 - 0{,}00255 * 8{,}85 - 1{,}02 \mp 0{,}26$$

$$\log A = -0{,}15 - 0{,}26 = -0{,}41$$

$A = 0{,}39$ g

b) Fukushima ve Tanaka (1990),

$$\log A = 0{,}41 * M_s - \log\left(R + c(M_s)\right) - 0{,}0034 * R - 1{,}69 \mp 0{,}21 \qquad (4.3)$$

$$c(M_s) = 0{,}032 * 10^{0{,}41 * M_s} \qquad (4.4)$$

R : Fay kırığına en yakın mesafe (km)

A : Maksimum yatay yer ivmesi

M_s : Yüzey dalgası magnitüdü

$6,0 \leq M_s \leq 7,9$ olmalıdır.

$M_s = 7,8$ (USGS'den)

$R \cong 5$ km

$$c(7,8) = 0,032 * 10^{0,41*7,8} = 50,48$$

$$\log A = 0,41 * 7,8 - \log(5 + 50,48) - 0,0034 * 5 - 1,69 \mp 0,21$$

$$\log A = -0,25 - 0,21 = -0,46$$

$A = 0,35$ g

c) Ambraseys (1995),

$$\log(a_h) = -0,87 + 0,217 * M_s - 0,00117 * r - \log r \qquad (4.5)$$

$$r = \sqrt{D^2 + h^2} \qquad (4.6)$$

D : Deprem kaynağına olan uzaklık (km)

h : Odak derinliği (km)

a_h : Maksimum yatay yer ivmesi

$D \cong 5$ km

$h \cong 17$ km (USGS'den)

$$r = \sqrt{5^2 + 17^2} = 17,72 \text{ km}$$

$$\log(a_h) = -0,87 + 0,217 * 7,8 - 0,00117 * 17,72 - \log 17,72$$

$$\log(a_h) = -0,45$$

$a_h = 0,36$ g

d) Hu, Liu ve Dang (1996),

$$\ln(a_y / g) = 3,363 + 0,530 * M_w - 2,216 * \ln(R + 25) \qquad (4.7)$$

R : Odak uzaklığı

a_y : Maksimum yatay yer ivmesi

$$R = \sqrt{D^2 + h^2} \qquad (4.8)$$

D : Deprem kaynağına olan uzaklık (km)

h : Odak derinliği (km)

a_h : Maksimum yatay yer ivmesi

D ≅ 5 km

h ≅ 17 km (USGS'den)

$$R = \sqrt{5^2 + 17^2} = 17{,}72 \text{ km}$$

$$\ln(a_y / g) = 3{,}363 + 0{,}530 * 7{,}4 - 2{,}216 * \ln(17{,}72 + 25)$$

$$\ln(a_y / g) = -1{,}035$$

$a_y / g = 0{,}36$

$a_y = 0{,}36$ g

e) Ansal (1999),

$$\log(a_y) = 0{,}33 * M_w - 0{,}00327 * R - 0{,}79 * \log R + 1{,}177 \qquad (4.9)$$

R : Odak uzaklığı

a_y : Maksimum yatay yer ivmesi

$$R = \sqrt{D^2 + h^2}$$

$$R = \sqrt{5^2 + 17^2} = 17{,}72 \text{ km}$$

$$\log(a_y) = 0{,}33 * 7{,}4 - 0{,}00327 * 17{,}72 - 0{,}79 * \log 17{,}72 + 1{,}177$$

$$\log(a_y) = 2{,}575$$

$a_y = 376$ cm/sn^2 = 0,38 g

Tablo 4.2 Çeşitli ivme azalım bağıntılarıyla Adapazarı için bulunan maksimum yatay yer ivmesi değerleri.

İvme Azalım Hesap Yöntemi	Maksimum Yatay Yer İvmesi
Joyner ve Boore (1981)	0,39 g
Fukushima ve Tanaka (1990)	0,35 g
Ambraseys, N.N. (1995)	0,36 g
Hu, Liu ve Dang (1996)	0,36 g
Ansal (1999)	0,38 g

17 Ağustos 1999 Kocaeli Depremi'nde Adapazarı'nda Bayındırlık ve İskân Müdürlüğü'nde kaya üzerinde bulunan sismograftan Doğu-Batı doğrultusu için bulunan maksimum yatay yer ivmesinin 0,41 g olduğu ve de çeşitli ivme azalım bağıntıları kullanılarak bulunan maksimum yatay yer ivmeleri göz önüne alındığında sıvılaşma analizleri için maksimum yatay yer ivmesi değeri yaklaşık olmak üzere 0,39 g olarak kabul edilmiştir.

4.2.3.1 Yöntem 1 (Seed ve diğ., 2001)

Bu yöntemde, zeminde yatay düzlem içerisinde bulunan ve üzerine ön düşey efektif gerilme etkiyen elemanın ortalama "Dinamik Kayma Gerilmesi Oranı (DKGO)" tespit edilmeye çalışılır.

Zeminin penetrasyon direnci ve arazideki DKGO'su arasındaki korelasyonla belli yerel koşullarda bulunan zeminlerin son depremlerde sıvılaşmaya uğrayıp uğramadığının kararına varılır.

Pratikte DKGO, sıvılaşmanın "tetikleme" olayının gerçekleşmesinin tespiti için gerekli olduğundan, sıvılaşma sınır eğrileri yardımıyla bu değer tespit edilebilir. Şekil 4.6'da Seed ve diğ. (1984, 1985) tarafından öne sürülen SPT değerleri yardımıyla sıvılaşma potansiyellerinin değerlendirilmesi yöntemi olan, oldukça kabul gören ve geniş bir kullanım alanı bulan ve de NCEER (1997)'de bazı eklemeler yapılan DKGO ve $(N_1)_{60}$ arasındaki ilişkiyi gösteren grafik görülmektedir.

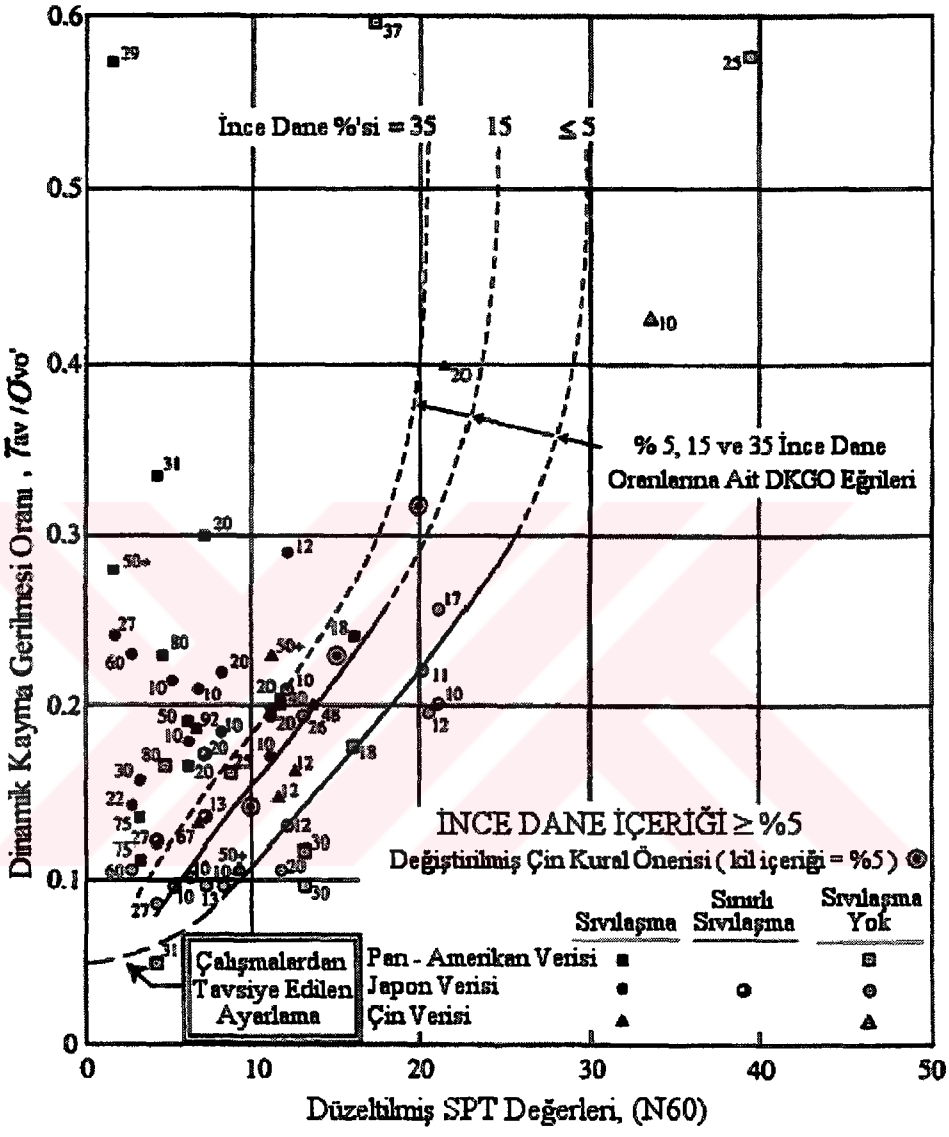
Ancak burada unutulmaması gereken bir nokta, bu şeklin 7,5 büyüklüğündeki bir deprem için hazırlandığıdır.

Ancak diğer magnitüdlerdeki depremler için ise belli bir magnitüd düzeltmesinden sonra Şekil 4.6'daki şekilden yararlanılabilmektedir. Bu düzeltme için ise "Magnitüd Düzeltme Faktörü (MDF)" olarak adlandırılan bir katsayı kullanılmaktadır.

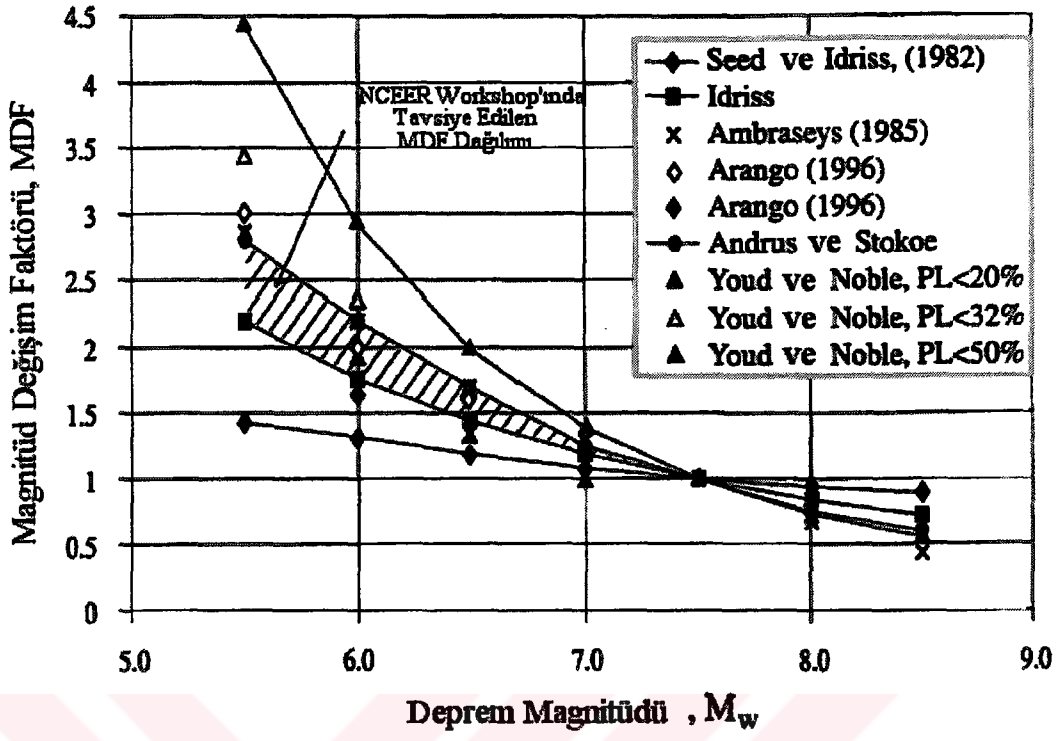
Şekil 4.7'de MDF'nin bulunmasına yönelik olarak deprem magnitüdüne göre oluşturulan şekil görülmektedir.

Grafikten okunan DKGO'nun (4.10) denklemiyle bulunan DKGO'ya oranı şeklinde bir "Sıvılaşma Güvenlik Sayısı (Fs)" bu yöntemde sıvılaşma potansiyelinin tespitinde kullanılmaktadır.

Eğer $Fs \geq 1$ ise sıvılaşma potansiyeli yok, $Fs < 1$ ise de sıvılaşma potansiyeli var şeklinde yorumlanmaktadır.



Şekil 4.6 Düzeltilmiş SPT (N_{60}) değerlerinden yararlanılarak DKGO değerlerinin 7,5 büyüklüğündeki bir deprem için, deneysel sıvılaşma verileri yardımıyla bulunması (NCEER, 1997'den sonra).



Şekil 4.7 Çeşitli araştırmacılar tarafından elde edilen MDF değerleri (NCEER, 1997'den sonra).

Şekil 4.8'de Ansal ve diğ. (1994), Erken ve diğ. (1998), Ülker ve diğ. (1998), Aydan ve Kumsar (1997), Aydan ve diğ. (1998) ve de Aydan ve diğ. (2000)'e göre JSCE (2001)'de Erzincan, Adana-Ceyhan, Dinar ve Adapazarı için oluşturulan DKGO ve N_{60} ilişkisi verilmiştir. Sıvılaşan zeminlere ait veriler genellikle, sıvılaşabilir zemin sınırları içine düşmektedir.

DKGO'nun bir deprem esnasındaki değeri aşağıdaki bağıntıyla verilmektedir:

$$DKGO = \left(\frac{\tau_{av}}{\sigma_v'} \right) = 0{,}65 * \frac{a_{maks}}{g} * \frac{\sigma_v}{\sigma_v'} * r_d * r_{MDF} \qquad (4.10)$$

Bu formülasyonda,

τ_{av} : Ortalama kayma gerilmesi oranı

σ_v : Toplam düşey gerilme

σ_v' : Düşey efektif gerilme

a_{maks} : Maksimum yatay yer ivmesi

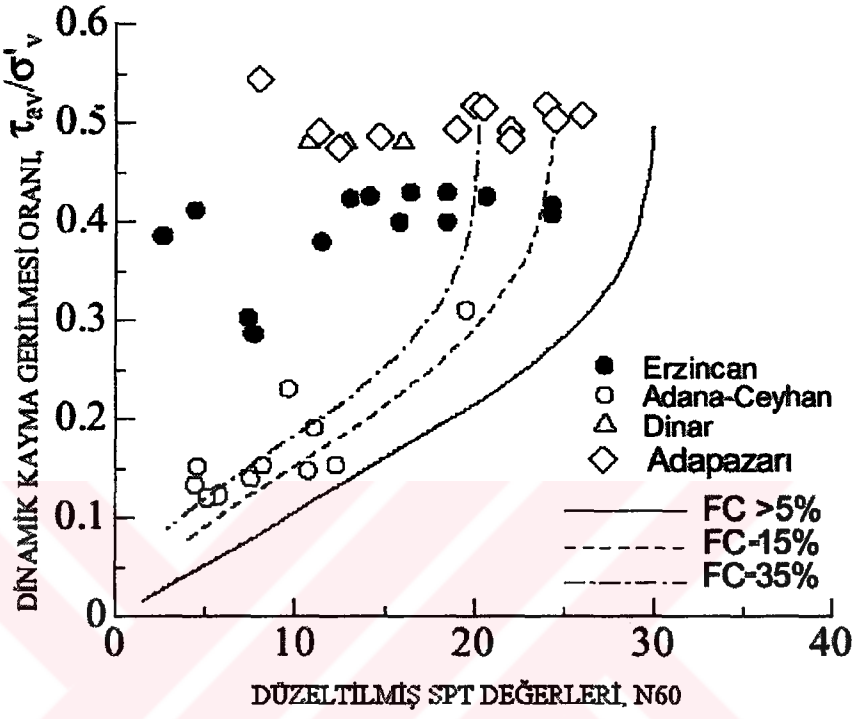
g : Yerçekimi ivmesi (= 981 cm/sn^2)

r_d : Zemin kolonu için gerilme azaltma faktörü

$$r_d = (1 - 0{,}00765 * d) \tag{4.11}$$

d : Derinlik (m)

r_{MDF} : Magnitüd düzeltme faktörü



Şekil 4.8 Seed ve De Alba (1986)'ya göre DKGO ile N_{60} ilişkisi, sıvılaşma ve de sıvılaşmama sınır çizgileriyle beraber gösterim (JSCE, 2001).

Düzeltilmiş SPT değeri de, SPT deneyi sonucunda elde edilen düzeltilmemiş SPT (N_{30}) değerinin aşağıda verilen bağıntılardan bulunan düzeltme katsayıları ile çarpımı sonucunda elde edilir.

Bütün SPT değerleri örtü etkisi nedeniyle 1 atm. = 1 kg/cm^2 atmosfer basıncına göre düzeltilir ve bu düzeltmiş değer N_1 olarak adlandırılır.

$$N_1 = N * C_N \tag{4.12}$$

Burada C_N (Liao ve Whitman, 1986'dan sonra)

$$C_N = \sqrt{\frac{1}{\sigma'_v}} \tag{4.13}$$

olarak tanımlanmıştır.

Bulunan bu N_1 değeri ayrıca uygulanan enerji, kullanılan teçhizat ve SPT değerlerinin bulunmasında uygulanan aşamaların etkileri de göz önüne alınıp tam olarak standart hale getirilir ve bu düzeltilmiş değer de $(N_1)_{60}$ olarak tanımlanır.

$$(N_1)_{60} = N_1 * C_R * C_S * C_B * C_E \tag{4.14}$$

Burada;

* C_R = "Kısa" sondaj borusu uzunluk düzeltme katsayısı

Tablo 4.3 Derinliğe göre C_R değerleri.

Derinlik (m)	C_R
0 – 4	0,75
4 – 6	0,85
6 – 10	0,95
> 10	1,00

* C_S = Standartlara uymayan numune alıcılarının düzeltme katsayısı

$$C_S = 1 + \frac{(N_1)_{60}}{100} \tag{4.15}$$

Bu düzeltmenin özellikle numune alıcılarının içerisinde yer alan kelepçelerin takılmadığı durumlarda numuneyle SPT aletinin arasında yaratılan alan sayesinde kaybedilen sürtünme etkisinin düzeltilmesi amacıyla kullanıldığı belirtilmektedir.

* C_B = Sondaj borusu çapını düzeltme katsayısı

Tablo 4.4 Numune türüne göre C_B değerleri.

Sondaj Borusu Çapı (mm)	C_B
65 - 115	1,00
150	1,05
200	1,15

Kullanılmış olan boru çaplarının 120 mm olması nedeniyle bu katsayı hesaplarda 1,00 olarak alınmıştır.

* C_E = SPT tokmağı enerji verimlilik düzeltme katsayısı

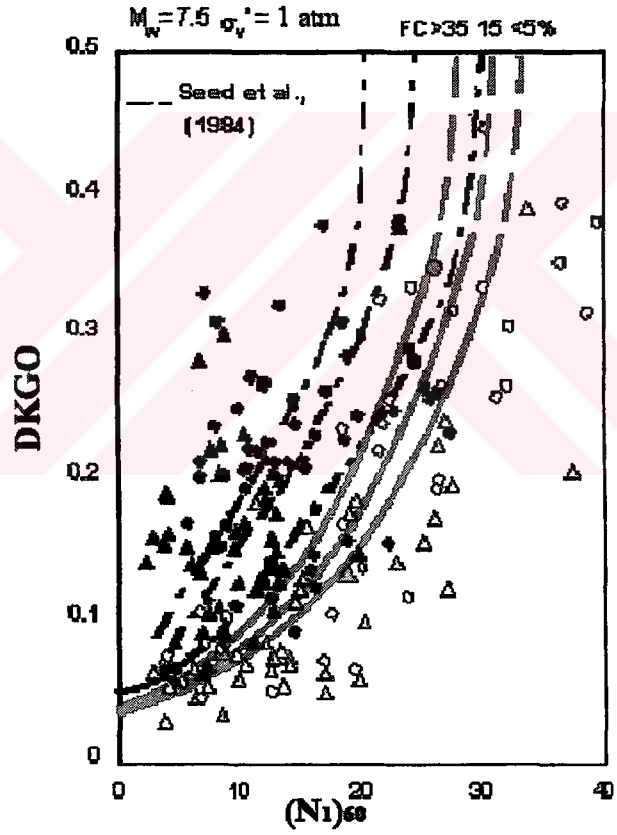
$$C_E = \frac{ER}{\%60} \tag{4.16}$$

Burada ER (Verimlilik oranı) teorik olarak uygulanan SPT tokmağı enerjisinin gerçekte ne kadarlık bir kısmının numune alıcıya iletildiğini ifade etmektedir.

Bu ifadeden anlaşılacağı üzere kullanılan deney yöntemi ve ekipmanların standartlara uygunluğu ve de tipi C_E'nin belirlenmesinde rol oynayacaktır.

Erken (2001a)'ya göre yaklaşık olarak $C_E = 1$ olarak hesaplarda kabul edilmiştir.

Bütün bu düzeltmelerden sonra bulunan $(N_1)_{60}$ değerine karşılık gelen DKGO değeri önceki çalışmalardan yararlanılarak oluşturulmuş sıvılaşma olayının oluştuğu $(N_1)_{60}$ ile DKGO ilişkisi grafiğinden yararlanılarak bulunur. Bu grafik daha önceki sayfalarda verilmiş olan Şekil 4.6'daki grafiğin elde edilen yeni veriler ve yürütülen yeni araştırmalar sayesinde Seed ve diğ. (2001) ve Çetin ve diğ. (2000) tarafından revize edilmiş şekliyle Şekil 4.9'da verilmiştir.



Şekil 4.9 Düzeltilmiş SPT değerlerine göre M_w = 7,5 ve σ_v' = 1,0 atm (kg/cm^2) durumu için sıvılaşma tetikleme DKGO değerleri (Seed ve diğ., 2001, Çetin ve diğ., 2000).

$$Fs = \frac{DKGO_{sll}}{DKGO_{dep}} \tag{4.17}$$

F_s = Sıvılaşma güvenlik sayısı

$DKGO_{sıv}$: Şekil 4.9'da verilen, daha önce oluşan depremlerde meydana gelen sıvılaşma olaylarından yararlanılarak oluşturulan grafikten $(N_1)_{60}$ değerine karşılık olarak ince dane miktarı da göz önünde bulundurularak okunan sıvılaşma tetikleme DKGO'su.

$DKGO_{dep}$: Meydana gelen deprem sonucunda belli bir zemin numunesi için bulunan DKGO.

4.2.3.2 Yöntem 2 (Japon Yol Kurumu, 1996)

Bu yöntemde SPT deneyi sonucunda elde edilen düzeltilmemiş SPT değerleri (N_{30}), YASS, en büyük yatay ivme (a_{maks}), deprem tipi ($a_{maks} < 600$ gal ise tip 1, $a_{maks} \geq 600$ gal ise tip 2), zemin kesitinin oluştuğu zemin tabakalarının sayısı, bunların derinlikleri ve suya doygun birim hacim ağırlıkları (γ_d), N_{30} değerlerinin elde edildiği numunelerin deney sonuçları ayrıntılı olarak (numunelerin alındıkları derinlikler, ince dane oranları, ortalama dane çapları (D_{50} (mm)), efektif dane çapları (D_{10} (mm)), plastisite indisleri) ve zemin tipi (kum özellikli zemin ise tip 1, çakıl özellikli zemin ise 2 şeklinde) göz önüne alınarak sıvılaşma potansiyeli belirlenmektedir.

Bu yöntem ayrıca JRA tarfından bilgisayar programı haline getirilmiş olup bu program Tsunehiro İrisawa ve Recep Okan tarafından Japonca menülerden İngilizce menülere dönüştürülerek hesaplarda kullanımıştır.

Analiz sonucunda "Sıvılaşma Güvenlik Sayısı (F_L)" elde edilerek sıvılaşma potansiyelinin olup olmadığı, sıvılaşma potansiyeli var ise bunun hangi derinlikler arasında olduğu ifade edilmektedir. Eğer $F_L \geq 1$ ise sıvılaşma yok, $F_L < 1$ şeklinde ise sıvılaşma var şeklinde sonuçlar yorumlanmaktadır.

Bu yöntemde aşağıda belirtilen koşulların sağlanmaması durumunda o zemin için sıvılaşma potansiyeli hesabı yapılamamaktadır. Bu koşullar:

i) YASS yüzeyden 10 m derinliğe kadar bir derinlikte olmalıdır.

ii) İ.D. içeriği % 35 den küçük olmalı veya İ.D. miktarının % 35'den büyük olması durumunda $Ip < 15$ olmalıdır.

iii) $D_{50} < 10$ mm ve $D_{10} < 1$ mm olmalıdır.

Bu yöntemde sıvılaşma güvenlik sayısı,

$$F_L = \frac{R}{L} \tag{4.18}$$

şeklinde tanımlanmaktadır.

Burada;

F_L : Sıvılaşma güvenlik sayısı

R : Önceden tespit edilen sıvılaşmanın oluştuğu durumlar göz önünde bulundurularak hesaplanan DKGO

L : Deprem esnasında oluşan DKGO

$$R = C_w * R_L \tag{4.19}$$

C_w depremin oluşturduğu en büyük yatay yer ivmesine göre bulunan deprem tipi katsayısıdır. Tablo 4.5'de C_w'nun aldığı değerler görülmektedir.

Tablo 4.5 Deprem tipine göre C_w değerleri.

Tip 1 (a_{maks} < 600 gal)	Tip 2 (a_{maks} ≥ 600gal)	
1	1,0	($R_L \leq 0,1$)
	$3,3*R_L+0,67$	($0,1 < R_L \leq 0,4$)
	2,0	($0,4 < R_L$)

R_L ise SPT değerinin düşey efektif gerilmeye göre düzeltilmiş değeri ile İ.D. miktarına göre bulunan DKGO'dur.

$$R_L = \begin{cases} 0,0882\sqrt{\dfrac{N_a}{1,7}} & (N_a < 14) \\ 0,0882\sqrt{\dfrac{Na}{1,7}} + 1,6*10^{-6}*(N_a - 14)^{4,5} & (N_a \geq 14) \end{cases} \tag{4.20}$$

Kum zemin durumunda,

$$N_a = C_1 * N_1 + C_2 \tag{4.21}$$

$$N_1 = \frac{1,7 * N}{\sigma_v' + 0,7} \tag{4.22}$$

$$C_1 = \begin{cases} 1 & (\%0 \leq İ.D.O. < \%10) \\ (İ.D.O. + 40)/50 & (\%10 \leq İ.D.O. < \%60) \\ (İ.D.O./20) - 1 & (\%60 \leq İ.D.O.) \end{cases} \tag{4.23}$$

$$C_2 = \begin{cases} 0 & (\%0 \leq İ.D.O. < \%10) \\ (İ.D.O. - 10)/18 & (\%10 \leq İ.D.O.) \end{cases} \tag{4.24}$$

Çakıl zemin durumunda,

$$N_a = \{1 - 0{,}36 * \log_{10}(D_{50} / 2)\} * N_1 \quad (4.25)$$

Verilen bu bağıntılarda,

N : Düzeltilmemiş SPT değeri

N_1 : Örtü etkisi nedeniyle yapılan düzeltme sonucunda bulunan SPT değeri (örtü etkisi nedeniyle 1 atm. = 1 kg/cm^2 atmosfer basıncına göre SPT değerleri düzeltilir).

C_1, C_2 : İ.D.O.'ya göre bulunan katsayılar

N_a : Örtülü zemin nedeniyle ve zemindeki İ.D. miktarına göre bulunan düzeltilmiş SPT değeri

Oluşan veya oluşması tahmin edilen deprem etkisi durumunda DKGO ise,

$$L = r_d * K_{hc} * \frac{\sigma_v}{\sigma_v'} \quad (4.26)$$

bağıntısı yardımıyla hesaplanmaktadır.

Bu bağıntıda,

r_d : Sondaj derinlik düzeltmesi ($r_d = 1 - 0{,}015z$)

z : Zemin yüzeyinden itibaren ölçülen derinlik

K_{hc} = a_{maks} / g (= 390 cm/sn^2 / 981 cm/sn^2 = 0,40)

σ_v : Toplam düşey gerilme

σ_v' : Düşey efektif gerilme

Ancak yukarıda belirtilen ve bu yöntemin uygulanması için gerekli olan bazı veriler bütün numuneler için laboratuvar deneylerinin yapılmadığı durumlarda veya başka bir ifadeyle bilinmediği durumlarda JRA'nın çeşitli zemin sınıfları için oluşturduğu zemin özellikleri tablosundan yararlanılmıştır.

Ayrıca bu yöntemin uygulanması esnasında dikkat edilmesi gereken önemli noktalardan biri de Türkiye'de yapılan SPT'ler sonucunda bulunan düzeltilmemiş SPT değerlerinin doğrudan bu Japon yönteminde kulanılamayacağıdır. Kiku ve diğ. (2001)'e göre Türkiye'de yapılmış olan SPT'lerdeki deney tokmağının enerji absorbesi ile Japonya'da yapılmış olanların absorbesinin farklı olduğu ve de bu oranın yaklaşık olarak % 58 mertebesinde olduğu belirtilmektedir. Bu ilişki (4.27) bağıntısında verilmektedir.

$$\frac{N_{JP}}{N_{TR}} = \frac{\left(\frac{V_s}{80,0}\right)^{1/0,292}}{\left(\frac{V_s}{68,3}\right)^{1/0,292}} = \left(\frac{68,3}{80,0}\right)^{1/0,292} \approx 0,58 \qquad (4.27)$$

(4.27) bağıntısına göre Japonya'da uygulanan SPT yöntemine göre ölçülen SPT değerlerinin Türkiye'de ölçülmüş olanların %58'i büyüklüğünde olduğu anlaşılmaktadır.

Yani bu Japon yönteminin kullanılabilmesi için SPT değerlerinin Japonya ölçüm metodundaki enerji absorbesi miktarlarına göre düzeltilmesi gerekmektedir. Aksi halde büyük SPT değerleri sıvılaşma potansiyelinin tespitinde doğru olmayan sonuçlar verecektir.

Bu nedenle SPT ham değerleri 0,58 katsayısıyla çarpılarak ham SPT değerleri (N) olarak JRA yönteminde kullanılmıştır.

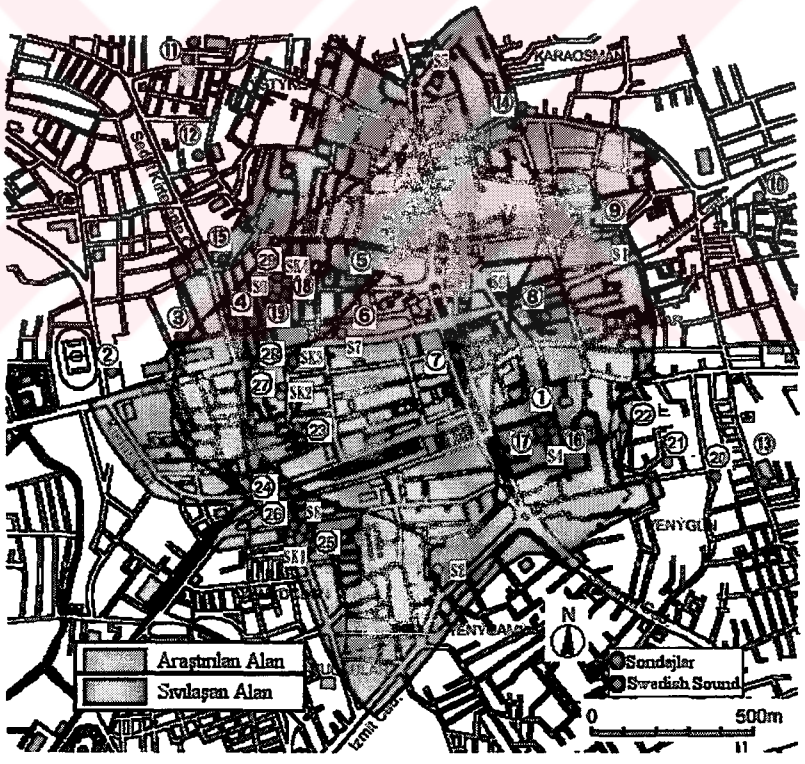
Tablo 4.6 Japon Yol Kurumu'nun zemin sınıfları özellikleri.

	YASS Altındaki Birim Hacim Ağırlığı (γ_d, t/m^3)	YASS Üstündeki Birim Hacim Ağırlığı (γ_k, t/m^3)	D_{50} (mm)	İ.D.O. (%)
Kil	1,50		0,005	100
Yüzey Tabakası	1,70	1,50	0,020	80
Silt	1,75	1,55	0,025	75
Siltli Kum	1,80	1,60	0,040	65
Kumlu Silt	1,80	1,60	0,070	50
Çok İnce Kum	1,85	1,65	0,100	40
İnce Kum	1,95	1,75	0,150	30
Kum	2,00	1,80	0,350	10
Kaba Kum	2,00	1,80	0,600	0
Çakıllı Kum	2,10	1,90	2,000	0

Ayrıca bu yöntemde, D_{10} değerlerinin tespit edilmediği durumlarda bu bilinmeyen D_{10} değerleri için 0 alınması istenmektedir.

4.2.4 Sıvılaşma Analizi Sonuçları

Bu kısımda, Adapazarı'nda İ.T.Ü. tarafından yürütülen araştırma kapsamında, bölüm 3'de yerel zemin koşulları açıklanan ve en çok hasarın yoğunlaştığı A bölgesindeki mahallelerde açılan 9 adet sondaja ait zemin kesitleri, zemin özellikleri ve de yine bu bölgede bulunan ve bölüm 3'de zemin özellikleri verilen, değişik kişilerin yaptırmış olduğu 17 adet sondaj kesitinin önceki sayfalarda açıklanmış olan 2 yönteme göre yapılmış sıvılaşma analizleri verilmektedir. Bahsi geçen sondajların numaraları ve bulundukları mahalle isimleri Tablo 4.7'de verilmiştir. Ayrıca İ.T.Ü. sondajlarının Adapazarı içerisindeki yerleri Şekil 4.10'da, A bölgesi sondajlarının bulundukları mahallelerin yerleşim şekli ise Şekil 3.7'de görülmektedir. Yasuda ve diğ. (2001)'den alınan Şekil 4.10'da, yapılan ön araştırmalar neticesinde Adapazarı içinde sıvılaşmaya maruz kalan kısımlar da gösterilmiştir. Araştırmacılar sondaj kuyularının yanısıra, tamamen insan gücüyle ve de 2 kişiyle çok rahatlıkla yapılabilen Swedish (İsveç) penetrasyon testinden yararlanmışlardır. Bu yöntem ekonomik açıdan çok düşük maliyete sahiptir.



Şekil 4.10 Adapazarı şehrinde sıvılaşan ve üzerinde araştırma yapılmış olan alanlar (Yasuda ve diğ., 2001).

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

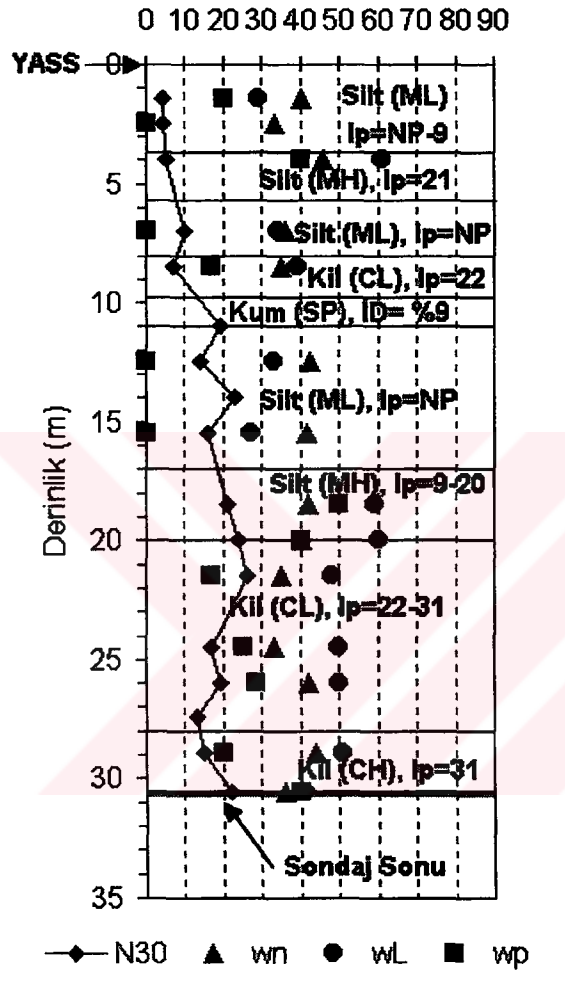
Tablo 4.7 Sondaj yerleri.

Sondaj No	Yeri
S-1	Yenidoğan Mah.
S-2	Papuççular Mah.
S-3	Yenigün Mah.
S-4	Tığcılar Mah.
S-5	Karaosman Mah.
S-6	Cumhuriyet Mah.
S-7	Cumhuriyet Mah.
S-8	Semerciler Mah.
S-9	Orta Mah.
SK-1	Akıncılar Mah.
SK-2	Cumhuriyet Mah.
SK-3	Çukurahmediye Mah.
SK-4	İstiklal Mah.
SK-5	Karaosman Mah.
SK-6	Kurtuluş Mah.
SK-7	Orta Mah.
SK-8	Papuççular Mah.
SK-9	Semerciler Mah.
SK-10	Tığcılar Mah.
SK-11	Yağcılar Mah.
SK-12	Yahyalar Mah.
SK-13	Yenicami Mah
SK-14	Yenicami Mah.
SK-15	Yenidoğan Mah.
SK-16	Yenigün Mah.
SK-17	Yenigün Mah.

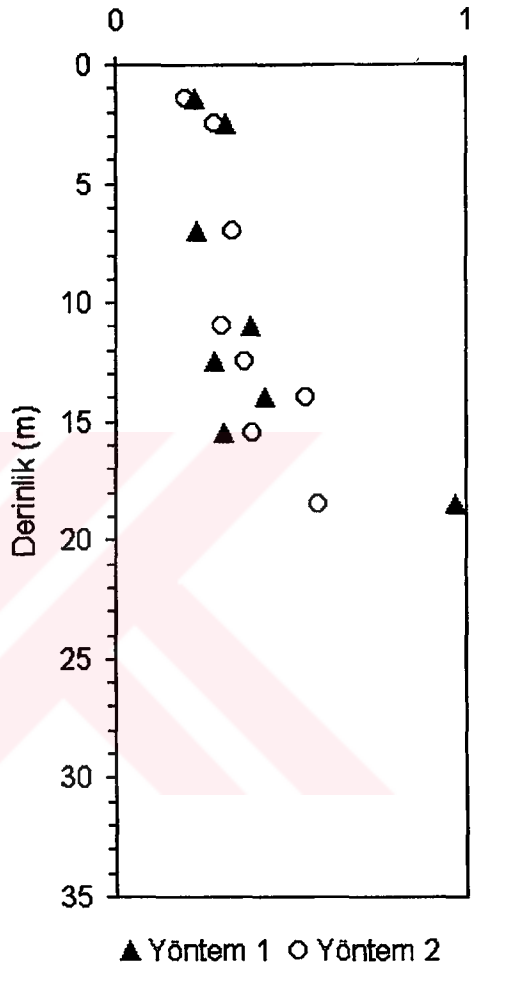
4.2.4.1 Sondaj S-1 İçin Sıvılaşma Hesabı

S-1 sondajına ait zemin kesiti ve özellikleri Şekil 4.11a'da verilmiştir.

Bu zemin kesiti için yapılan sıvılaşma analiz sonuçları ise 2 yöntemle yapılmış olarak Şekil 4.11b'de verilmiştir.



Şekil 4.11a Sondaj S-1'e ait zemin kesiti, N_{30} değerleri ve bazı deney sonuçları.



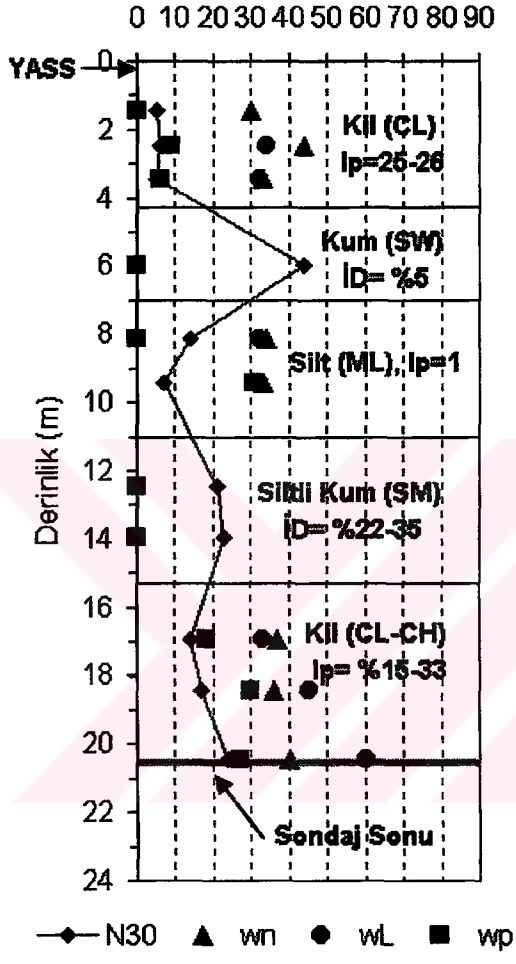
Şekil 4.11b Sondaj S-1 için sıvılaşma güvenlik sayıları.

Şekil 4.11b'de Yöntem 1 ve Yöntem 2'nin birlikte değerlendirilmesi sonucunda 1,45 m, 2,45 m, 6,95 m, 10,95 m, 12,45 m, 13,95 m ve 15,45 m derinlikten alınan zemin numunelerinin sıvılaşma güvenlik sayılarının 1'in altında olması nedeniyle bu derinliklerde sıvılaşma potansiyeli vardır.

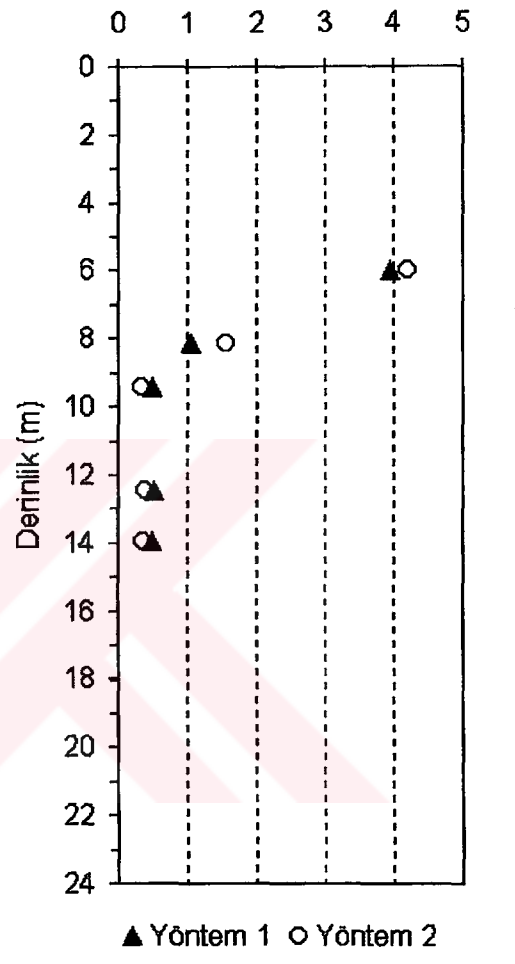
4.2.4.2 Sondaj S-2 İçin Sıvılaşma Hesabı

S-2 sondajına ait zemin kesiti ve özellikleri Şekil 4.12a'da verilmiştir.

Bu zemin kesiti için yapılan sıvılaşma analiz sonuçları ise 2 yöntemle yapılmış olarak Şekil 4.12b'de verilmiştir.



Şekil 4.12a Sondaj S-2'ye ait zemin kesiti, N_{30} değerleri ve bazı deney sonuçları.



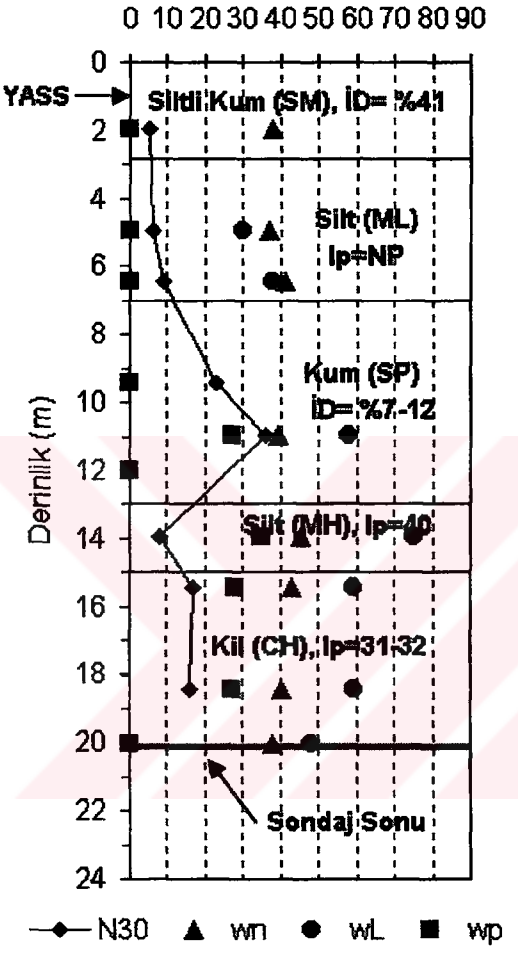
Şekil 4.12b Sondaj S-2 için sıvılaşma güvenlik sayıları.

Şekil 4.12b'de Yöntem 1 ve Yöntem 2'nin birlikte değerlendirilmesi sonucunda 9,45 m, 12,45 m ve 13,95 m derinlikten alınan zemin numunelerinin sıvılaşma güvenlik sayılarının 1'in altında olması nedeniyle bu derinliklerde sıvılaşma potansiyeli vardır.

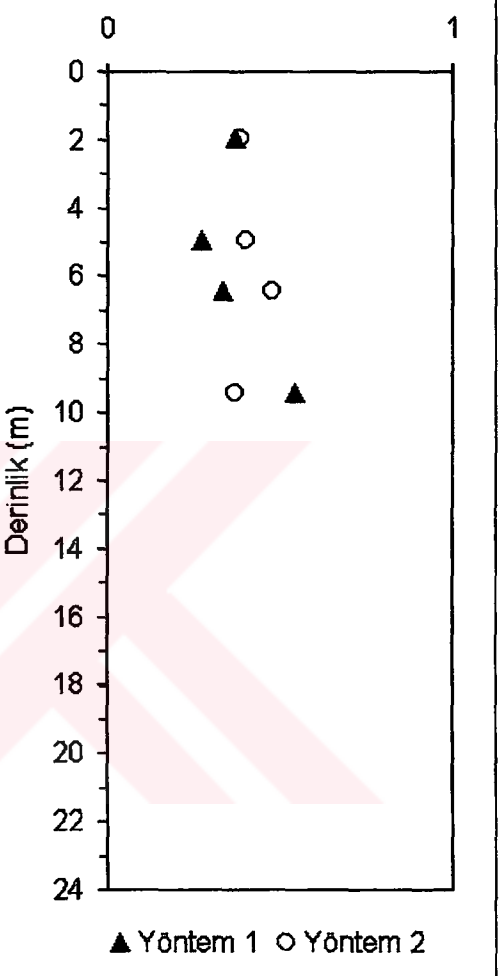
4.2.4.3 Sondaj S-3 İçin Sıvılaşma Hesabı

S-3 sondajına ait zemin kesiti ve özellikleri Şekil 4.13a'da verilmiştir.

Bu zemin kesiti için yapılan sıvılaşma analiz sonuçları ise 2 yöntemle yapılmış olarak Şekil 4.13b'de verilmiştir.



Şekil 4.13a Sondaj S-3'e ait zemin kesiti, N_{30} değerleri ve bazı deney sonuçları.



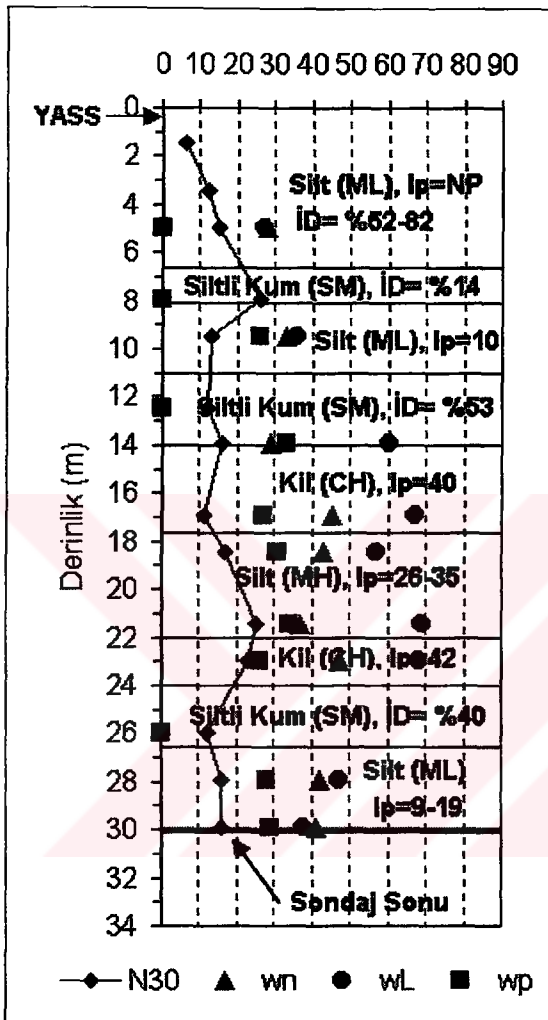
Şekil 4.13b Sondaj S-3 için sıvılaşma güvenlik sayıları.

Şekil 4.13b'de Yöntem 1 ve Yöntem 2'nin birlikte değerlendirilmesi sonucunda 1,95 m, 4,95 m, 6,45 m ve 9,45 m derinlikten alınan zemin numunelerinin sıvılaşma güvenlik sayılarının 1'in altında olması nedeniyle bu derinliklerde sıvılaşma potansiyeli vardır.

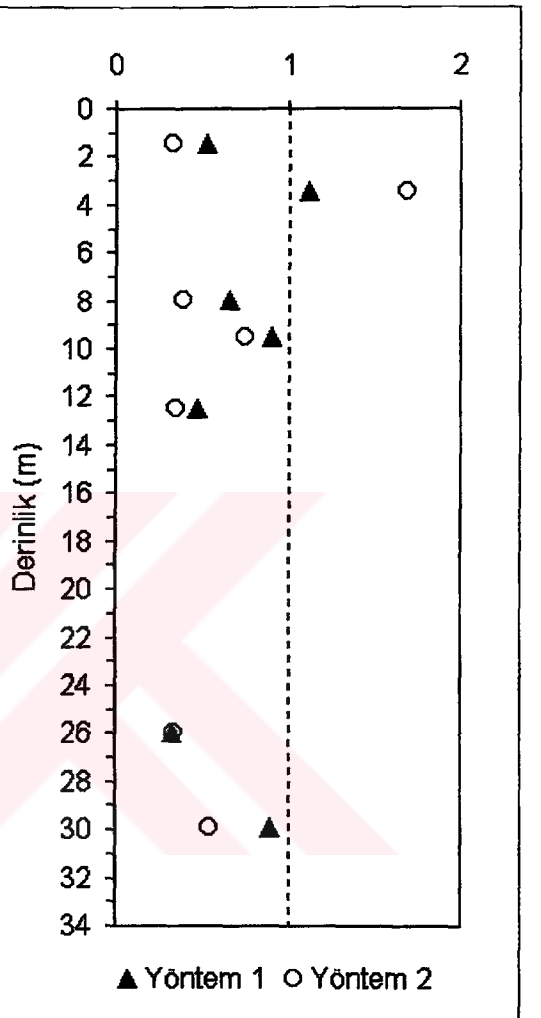
4.2.4.4 Sondaj S-4 İçin Sıvılaşma Hesabı

S-4 sondajına ait zemin kesiti ve özellikleri Şekil 4.14a'da verilmiştir.

Bu zemin kesiti için yapılan sıvılaşma analiz sonuçları ise 2 yöntemle yapılmış olarak Şekil 4.14b'de verilmiştir.



Şekil 4.14a Sondaj S-4'e ait zemin kesiti, N_{30} değerleri ve bazı deney sonuçları.



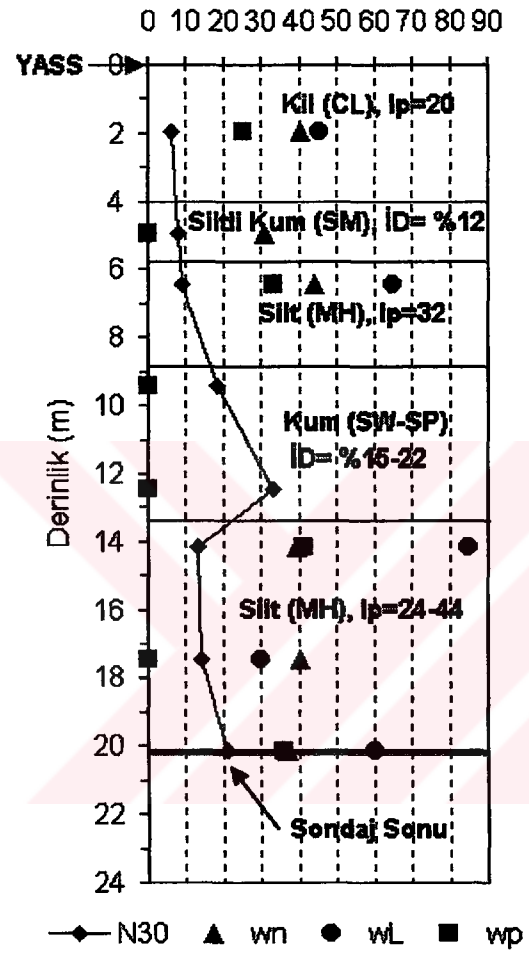
Şekil 4.14b Sondaj S-4 için sıvılaşma güvenlik sayıları.

Şekil 4.14b'de Yöntem 1 ve Yöntem 2'nin birlikte değerlendirilmesi sonucunda 1,45 m, 7,95 m, 9,45 m, 12,45 m, 25,95 m ve 29,95 m derinlikten alınan zemin numunelerinin sıvılaşma güvenlik sayılarının 1'in altında olması nedeniyle bu derinliklerde sıvılaşma potansiyeli vardır.

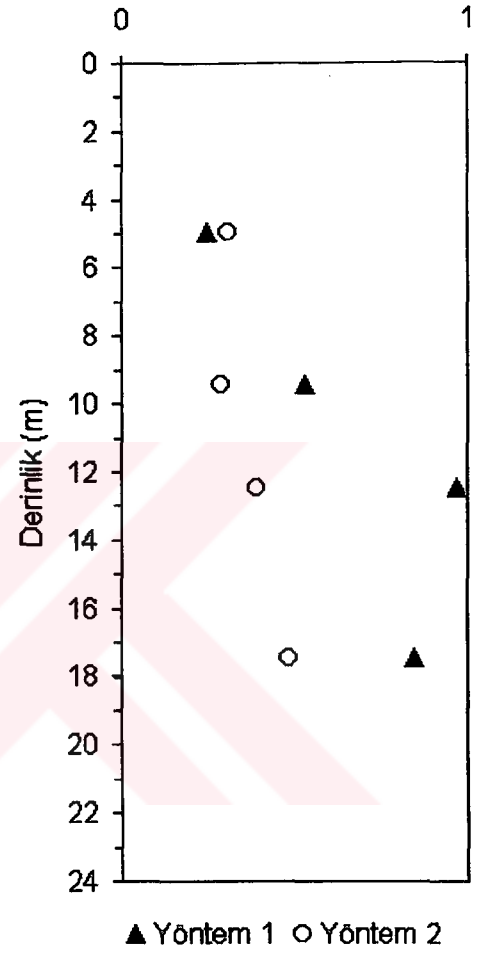
4.2.4.6 Sondaj S-6 İçin Sıvılaşma Hesabı

S-6 sondajına ait zemin kesiti ve özellikleri Şekil 4.16a'da verilmiştir.

Bu zemin kesiti için yapılan sıvılaşma analiz sonuçları ise 2 yöntemle yapılmış olarak Şekil 4.16b'de verilmiştir.



Şekil 4.16a Sondaj S-6'ya ait zemin kesiti, N_{30} değerleri ve bazı deney sonuçları.



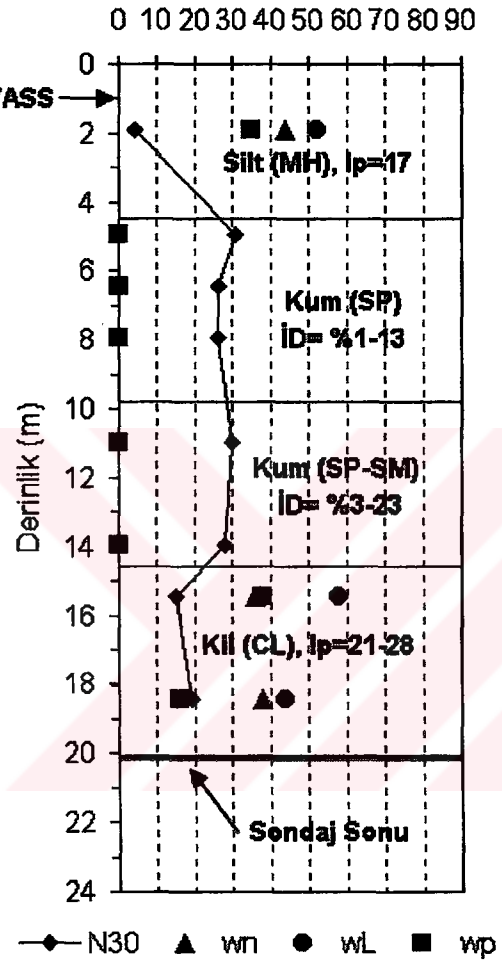
Şekil 4.16b Sondaj S-6 için sıvılaşma güvenlik sayıları.

Şekil 4.16b'de Yöntem 1 ve Yöntem 2'nin birlikte değerlendirilmesi sonucunda 4,95 m, 9,45 m, 12,45 m ve 17,45 m derinlikten alınan zemin numunelerinin sıvılaşma güvenlik sayılarının 1'in altında olması nedeniyle bu derinliklerde sıvılaşma potansiyeli vardır.

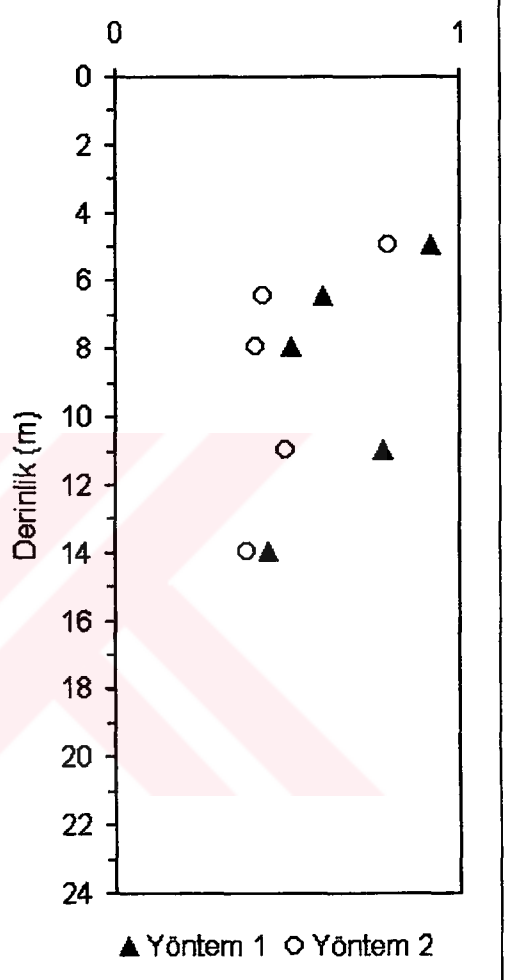
4.2.4.7 Sondaj S-7 İçin Sıvılaşma Hesabı

S-7 sondajına ait zemin kesiti ve özellikleri Şekil 4.17a'da verilmiştir.

Bu zemin kesiti için yapılan sıvılaşma analiz sonuçları ise 2 yöntemle yapılmış olarak Şekil 4.17b'de verilmiştir.



Şekil 4.17a Sondaj S-7'ye ait zemin kesiti, N_{30} değerleri ve bazı deney sonuçları.



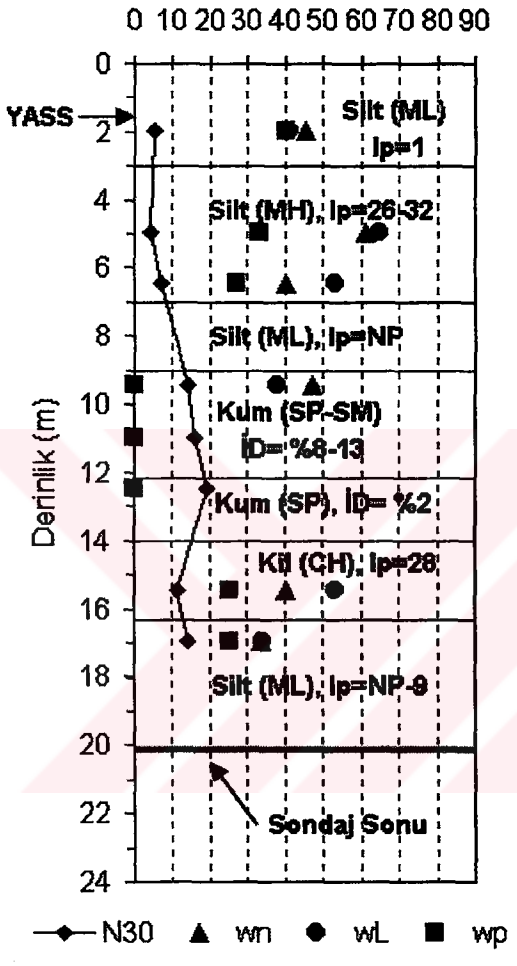
Şekil 4.17b Sondaj S-7 için sıvılaşma güvenlik sayıları.

Şekil 4.17b'de Yöntem 1 ve Yöntem 2'nin birlikte değerlendirilmesi sonucunda 4,95 m, 6,45 m, 7,95 m, 10,95 m ve 13,95 m derinlikten alınan zemin numunelerinin sıvılaşma güvenlik sayılarının 1'in altında olması nedeniyle bu derinliklerde sıvılaşma potansiyeli vardır.

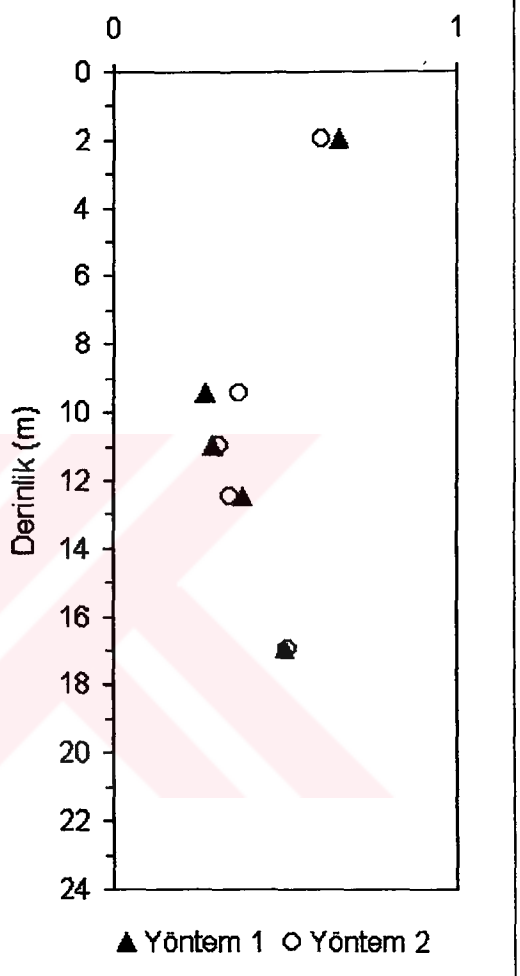
4.2.4.8 Sondaj S-8 İçin Sıvılaşma Hesabı

S-8 sondajına ait zemin kesiti ve özellikleri Şekil 4.18a'da verilmiştir.

Bu zemin kesiti için yapılan sıvılaşma analiz sonuçları ise 2 yöntemle yapılmış olarak Şekil 4.18b'de verilmiştir.



Şekil 4.18a Sondaj S-8'e ait zemin kesiti, N_{30} değerleri ve bazı deney sonuçları.



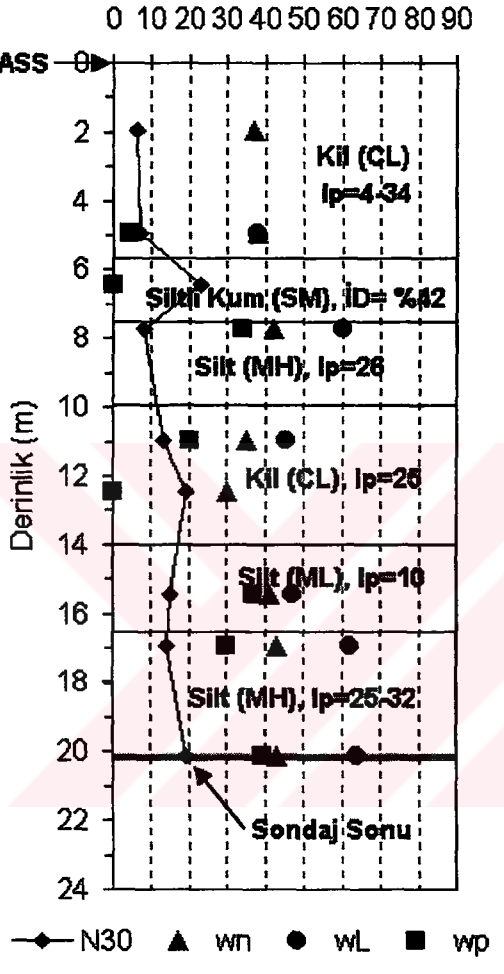
Şekil 4.18b Sondaj S-8 için sıvılaşma güvenlik sayıları.

Şekil 4.18b'de Yöntem 1 ve Yöntem 2'nin birlikte değerlendirilmesi sonucunda 1,95 m, 9,45 m, 10,95 m, 12,45 m ve 16,95 m derinlikten alınan zemin numunelerinin sıvılaşma güvenlik sayılarının 1'in altında olması nedeniyle bu derinliklerde sıvılaşma potansiyeli vardır.

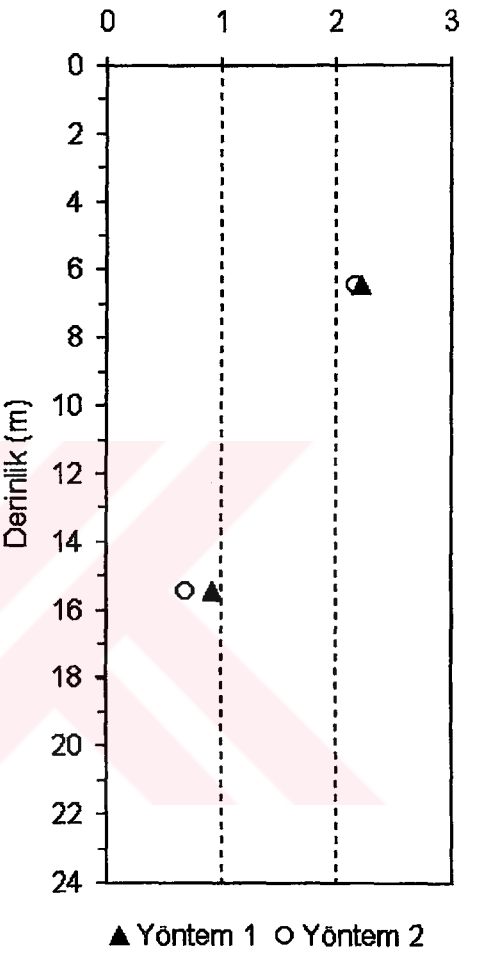
4.2.4.9 Sondaj S-9 İçin Sıvılaşma Hesabı

S-9 sondajına ait zemin kesiti ve özellikleri Şekil 4.19a'da verilmiştir.

Bu zemin kesiti için yapılan sıvılaşma analiz sonuçları ise 2 yöntemle yapılmış olarak Şekil 4.19b'de verilmiştir.



Şekil 4.19a Sondaj S-9'a ait zemin kesiti, N_{30} değerleri ve bazı deney sonuçları.



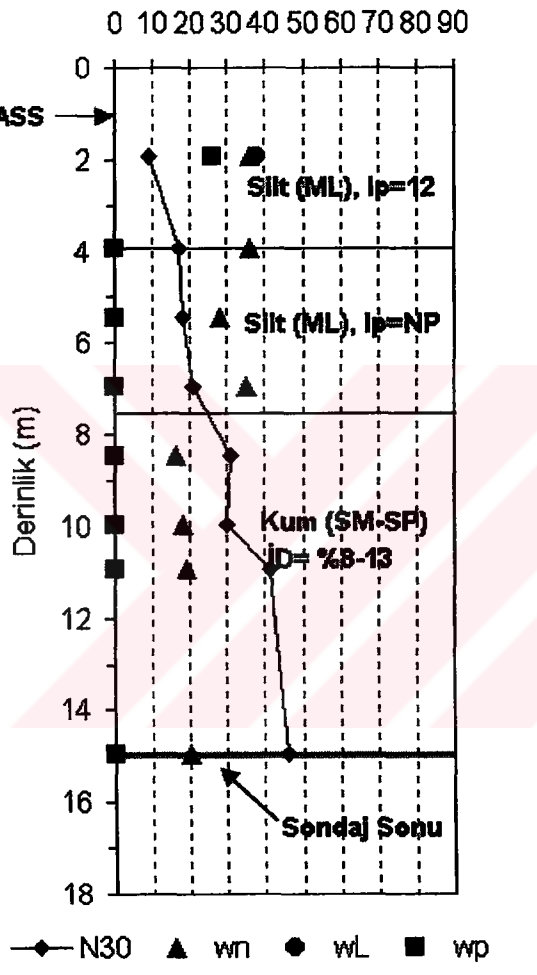
Şekil 4.19b Sondaj S-9 için sıvılaşma güvenlik sayıları.

Şekil 4.19b'de Yöntem 1 ve Yöntem 2'nin birlikte değerlendirilmesi sonucunda 15,45 m derinlikten alınan zemin numunesinin sıvılaşma güvenlik sayısının 1'in altında olması nedeniyle bu derinlikde sıvılaşma potansiyeli vardır. Ancak şekilden de görüldüğü üzere sıvılaşma güvenlik sayısı 1'e yakın değerler almaktadır.

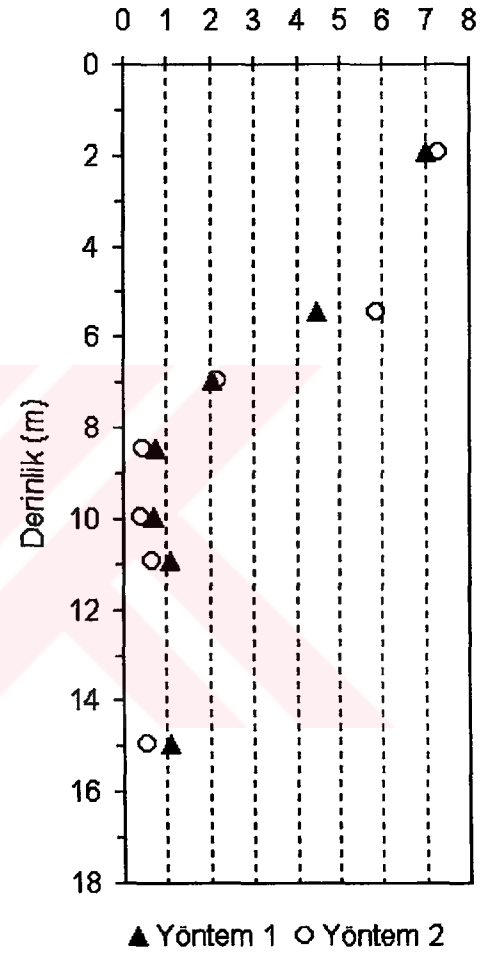
4.2.4.10 Sondaj SK-1 İçin Sıvılaşma Hesabı

SK-1 sondajına ait olan zemin kesiti ve laboratuvar deney sonuçları ayrıntılı olarak Tablo 3.2'de verilmiştir.

SK-1 sondajına ait zemin kesiti ve özellikleri Şekil 4.20a'da, bu zemin kesiti için yapılan sıvılaşma analiz sonuçları ise 2 yöntemle yapılmış olarak Şekil 4.20b'de gösterilmiştir.



Şekil 4.20a Sondaj SK-1'e ait zemin kesiti, N_{30} değerleri ve bazı deney sonuçları.



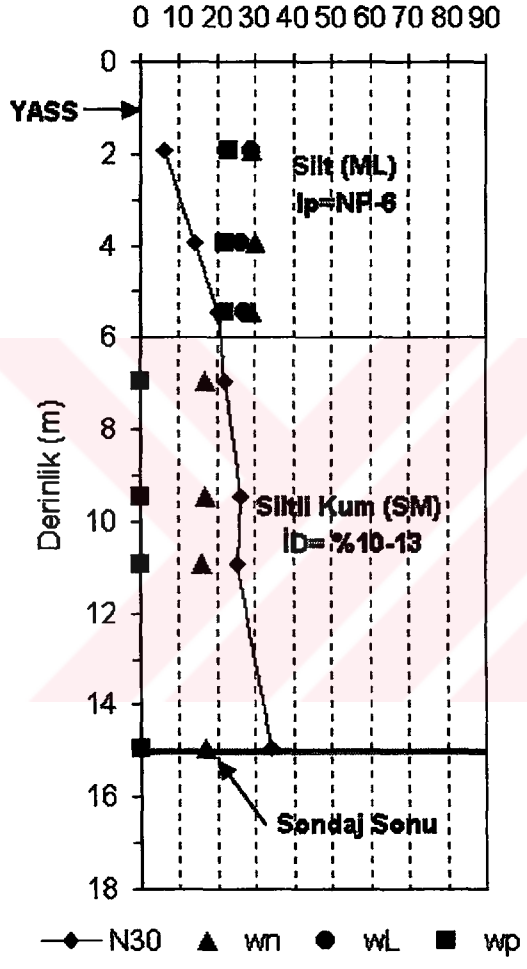
Şekil 4.20b Sondaj SK-1 için sıvılaşma güvenlik sayıları.

Şekil 4.20b'de Yöntem 1 ve Yöntem 2'nin birlikte değerlendirilmesi sonucunda 8,45 m, 9,45 m, 10,95 m ve 14,95 m derinlikten alınan zemin numunelerinin sıvılaşma güvenlik sayılarının 1'in altında olması nedeniyle bu derinliklerde sıvılaşma potansiyeli vardır.

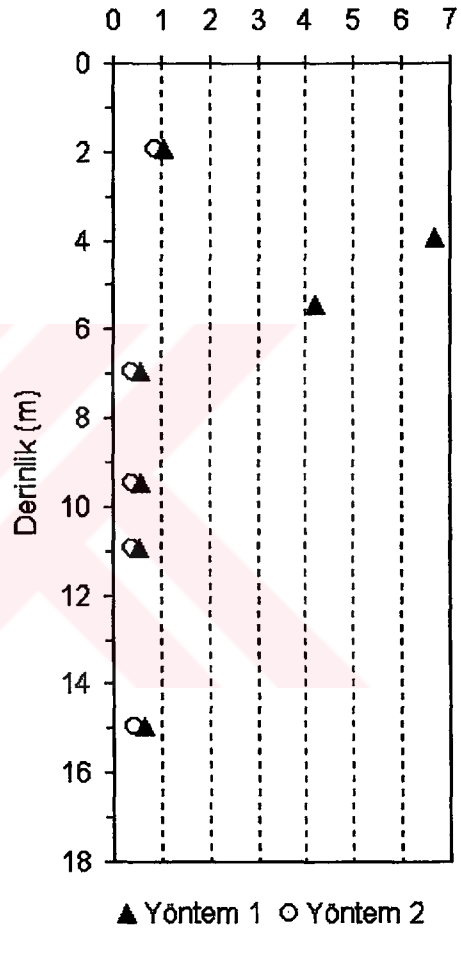
4.2.4.11 Sondaj SK-2 İçin Sıvılaşma Hesabı

SK-2 sondajına ait olan zemin kesiti ve laboratuvar deney sonuçları ayrıntılı olarak Tablo 3.4'de verilmiştir.

SK-2 sondajına ait zemin kesiti ve özellikleri Şekil 4.21a'da, bu zemin kesiti için yapılan sıvılaşma analiz sonuçları ise 2 yöntemle yapılmış olarak Şekil 4.21b'de gösterilmiştir.



Şekil 4.21a Sondaj SK-2'ye ait zemin kesiti, N_{30} değerleri ve bazı deney sonuçları.



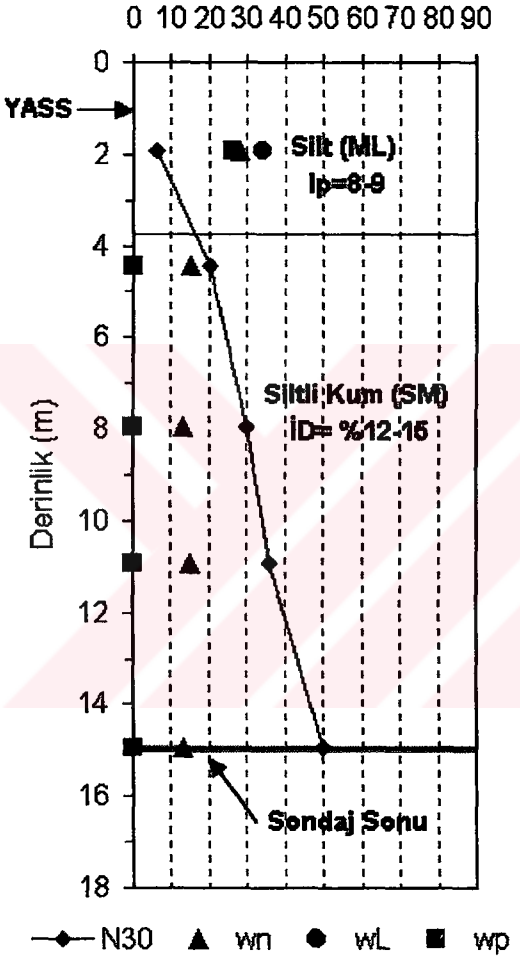
Şekil 4.21b Sondaj SK-2 için sıvılaşma güvenlik sayıları.

Şekil 4.21b'de Yöntem 1 ve Yöntem 2'nin birlikte değerlendirilmesi sonucunda ~1,95 m, 6,95 m, 9,45 m, 10,95 m ve 14,95 m derinlikten alınan zemin numunelerinin sıvılaşma güvenlik sayılarının 1'in altında olması nedeniyle bu derinliklerde sıvılaşma potansiyeli vardır. Ayrıca şekilde 3,95 m ve 5,45 m derinlikler için sıvılaşma güvenlik sayıları 1'den büyük olup Yöntem 2'de Yöntem 1'e göre çok daha büyük sayılara ulaşmaktadır (sırasıyla 17 ve 109).

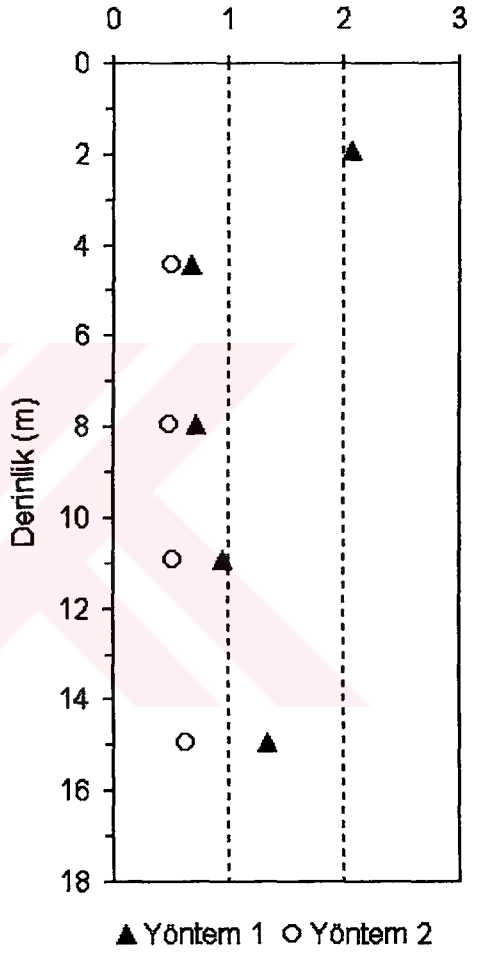
4.2.4.12 Sondaj SK-3 İçin Sıvılaşma Hesabı

SK-3 sondajına ait olan zemin kesiti ve laboratuvar deney sonuçları ayrıntılı olarak Tablo 3.6'da verilmiştir.

SK-3 sondajına ait zemin kesiti ve özellikleri Şekil 4.22a'da, bu zemin kesiti için yapılan sıvılaşma analiz sonuçları ise 2 yöntemle yapılmış olarak Şekil 4.22b'de gösterilmiştir.



Şekil 4.22a Sondaj SK-3'e ait zemin kesiti, N_{30} değerleri ve bazı deney sonuçları.



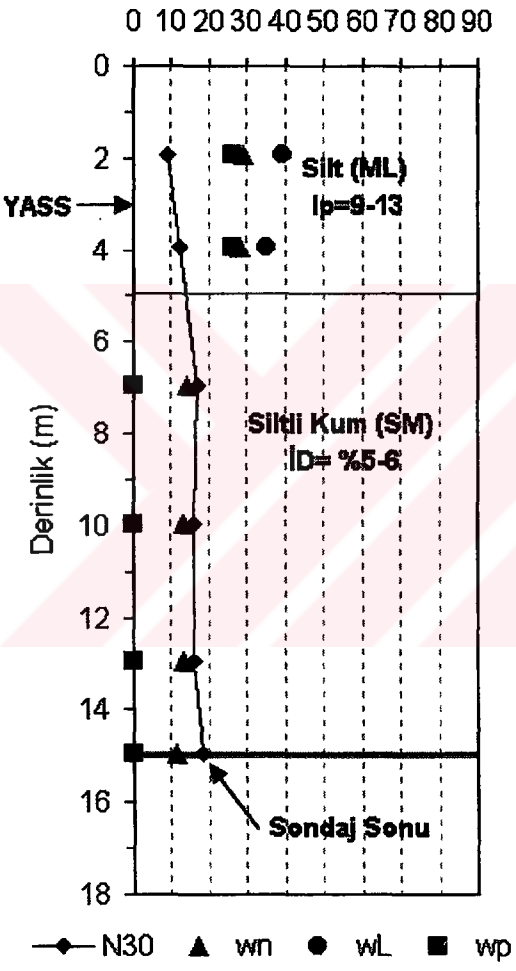
Şekil 4.22b Sondaj SK-3 için sıvılaşma güvenlik sayıları.

Şekil 4.22b'de Yöntem 1 ve Yöntem 2'nin birlikte değerlendirilmesi sonucunda 4,45 m, 7,95 m ve 10,95 m derinlikten alınan zemin numunelerinin sıvılaşma güvenlik sayılarının 1'in altında olması nedeniyle bu derinliklerde sıvılaşma potansiyeli vardır. 14,95 m derinlik için ise SPT değeri 50'dir. Bu nedenle bu derinlik için sıvılaşma pek olası görülmemektedir.

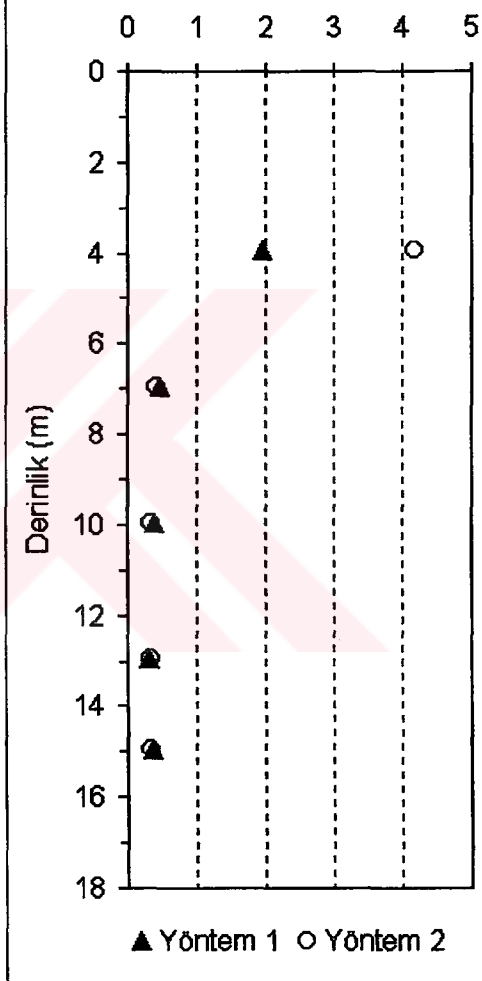
4.2.4.13 Sondaj SK-4 İçin Sıvılaşma Hesabı

SK-4 sondajına ait olan zemin kesiti ve laboratuvar deney sonuçları ayrıntılı olarak Tablo 3.8'de verilmiştir.

SK-4 sondajına ait zemin kesiti ve özellikleri Şekil 4.23a'da, bu zemin kesiti için yapılan sıvılaşma analiz sonuçları ise 2 yöntemle yapılmış olarak Şekil 4.23b'de gösterilmiştir.



Şekil 4.23a Sondaj SK-4'e ait zemin kesiti, N_{30} değerleri ve bazı deney sonuçları.



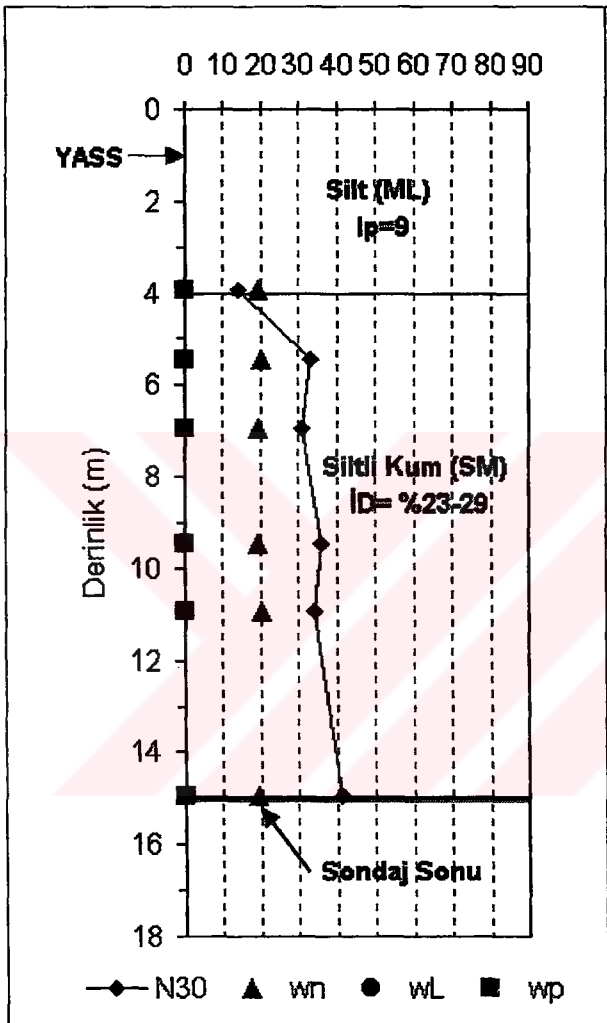
Şekil 4.23b Sondaj SK-4 için sıvılaşma güvenlik sayıları.

Şekil 4.23b'de Yöntem 1 ve Yöntem 2'nin birlikte değerlendirilmesi sonucunda 6,95 m, 9,95 m, 12,95 m ve 14,95 m derinlikten alınan zemin numunelerinin sıvılaşma güvenlik sayılarının 1'in altında olması nedeniyle bu derinliklerde sıvılaşma potansiyeli vardır.

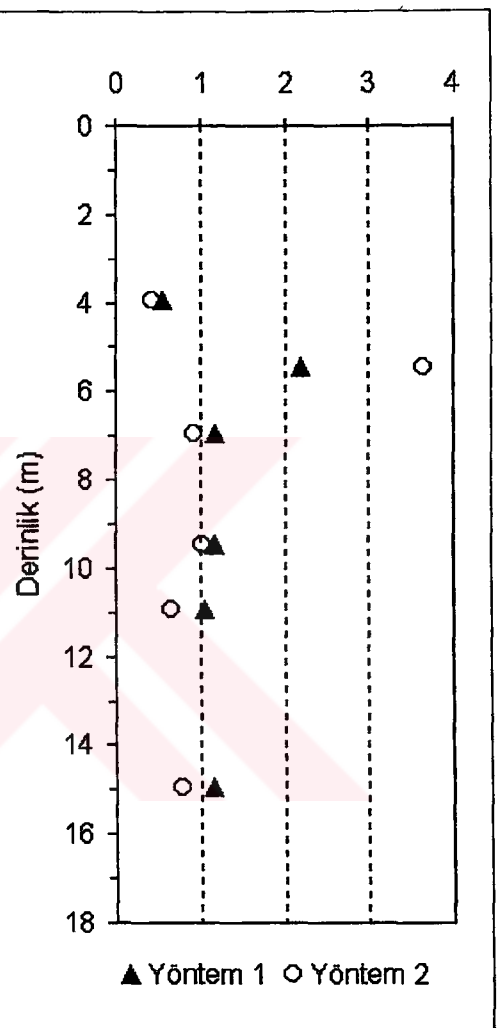
4.2.4.14 Sondaj SK-5 İçin Sıvılaşma Hesabı

SK-5 sondajına ait olan zemin kesiti ve laboratuvar deney sonuçları ayrıntılı olarak Tablo 3.10'da verilmiştir.

SK-5 sondajına ait zemin kesiti ve özellikleri Şekil 4.24a'da, bu zemin kesiti için yapılan sıvılaşma analiz sonuçları ise 2 yöntemle yapılmış olarak Şekil 4.24b'de gösterilmiştir.



Şekil 4.24a Sondaj SK-5'e ait zemin kesiti, N_{30} değerleri ve bazı deney sonuçları.



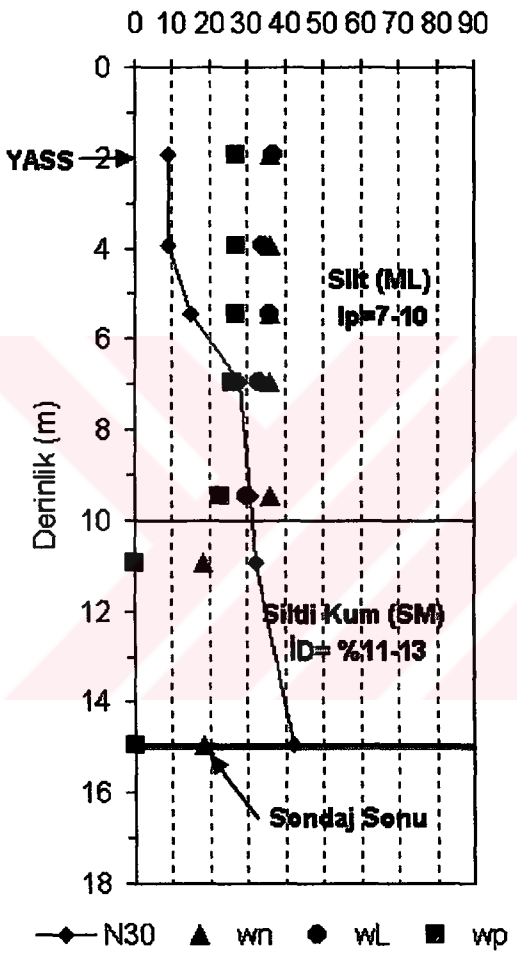
Şekil 4.24b Sondaj SK-5 için sıvılaşma güvenlik sayıları.

Şekil 4.24b'de Yöntem 1 ve Yöntem 2'nin birlikte değerlendirilmesi sonucunda 3,95 m derinlikten alınan zemin numunesinin sıvılaşma güvenlik sayısının 1'in altında olması nedeniyle bu derinlikde sıvılaşma potansiyeli vardır. Ayrıca 6,95 m, 9,45 m, 10,95 m ve 14,95 m derinlikten alınan zemin numunelerinin sıvılaşma güvenlik sayılarının 1'e çok yakın değerler olması bu derinliklerde sıvılaşma potansiyelinin olabileceği şeklinde değerlendirilmiştir.

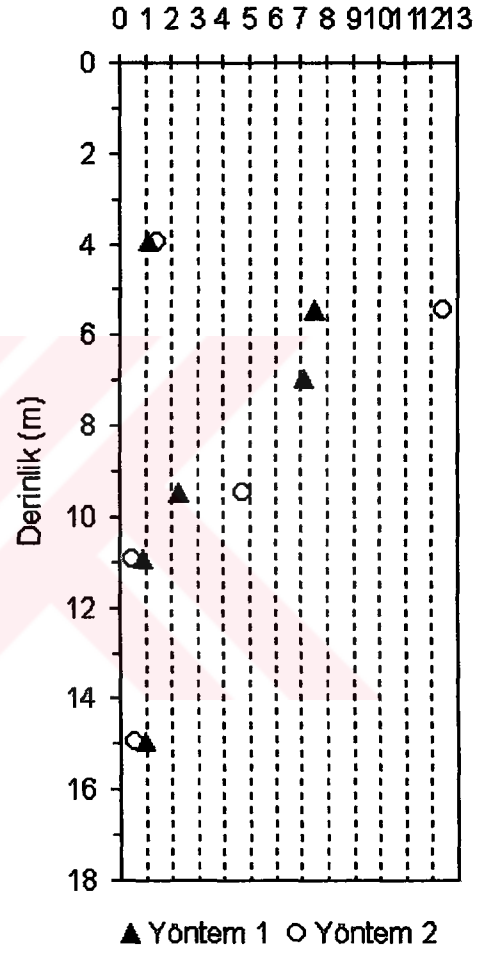
4.2.4.15 Sondaj SK-6 İçin Sıvılaşma Hesabı

SK-6 sondajına ait olan zemin kesiti ve laboratuvar deney sonuçları ayrıntılı olarak Tablo 3.12'de verilmiştir.

SK-6 sondajına ait zemin kesiti ve özellikleri Şekil 4.25a'da, bu zemin kesiti için yapılan sıvılaşma analiz sonuçları ise 2 yöntemle yapılmış olarak Şekil 4.25b'de gösterilmiştir.



Şekil 4.25a Sondaj SK-6'ya ait zemin kesiti, N_{30} değerleri ve bazı deney sonuçları.



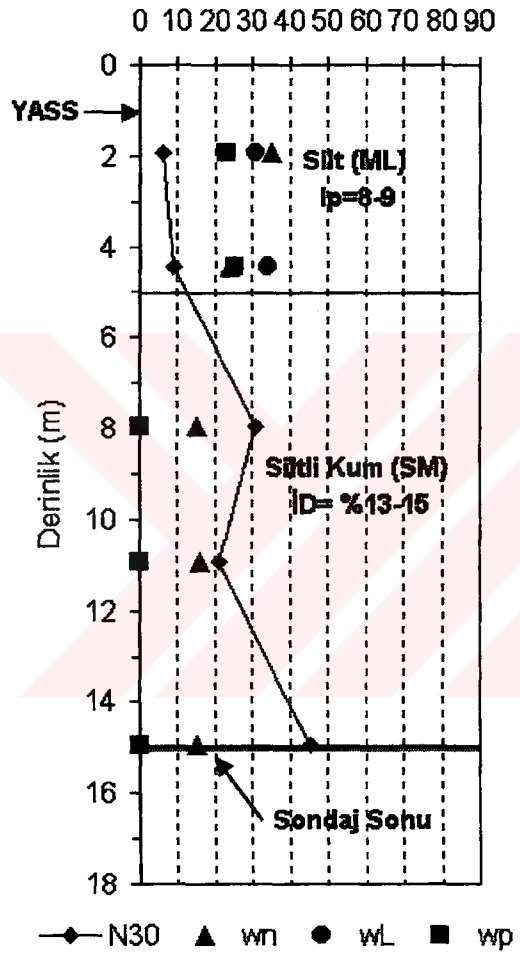
Şekil 4.25b Sondaj SK-6 için sıvılaşma güvenlik sayıları.

Şekil 4.25b'de Yöntem 1 ve Yöntem 2'nin birlikte değerlendirilmesi sonucunda 10,95 m ve 14,95 m derinlikten alınan zemin numunelerinin sıvılaşma güvenlik sayılarının 1'in altında olması nedeniyle bu derinliklerde sıvılaşma potansiyeli vardır.

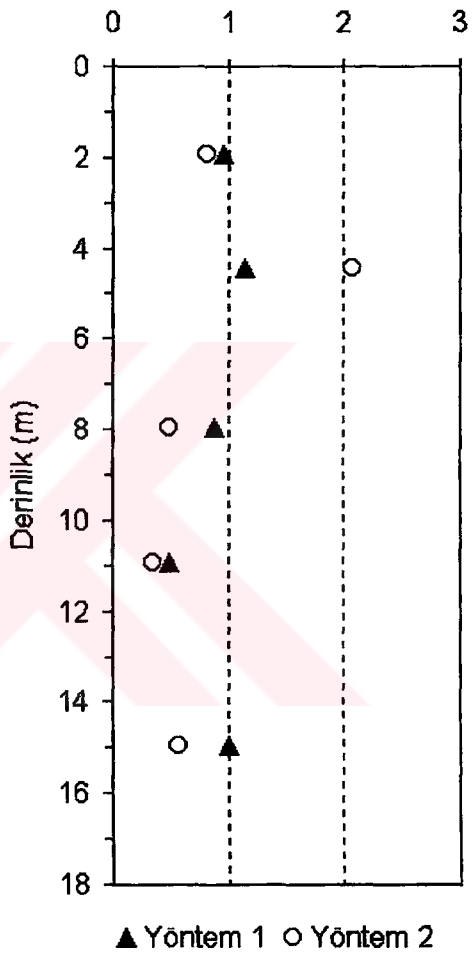
4.2.4.16 Sondaj SK-7 İçin Sıvılaşma Hesabı

SK-7 sondajına ait olan zemin kesiti ve laboratuvar deney sonuçları ayrıntılı olarak Tablo 3.14'de verilmiştir.

SK-7 sondajına ait zemin kesiti ve özellikleri Şekil 4.26a'da, bu zemin kesiti için yapılan sıvılaşma analiz sonuçları ise 2 yöntemle yapılmış olarak Şekil 4.26b'de gösterilmiştir.



Şekil 4.26a Sondaj SK-7'ye ait zemin kesiti, N_{30} değerleri ve bazı deney sonuçları.



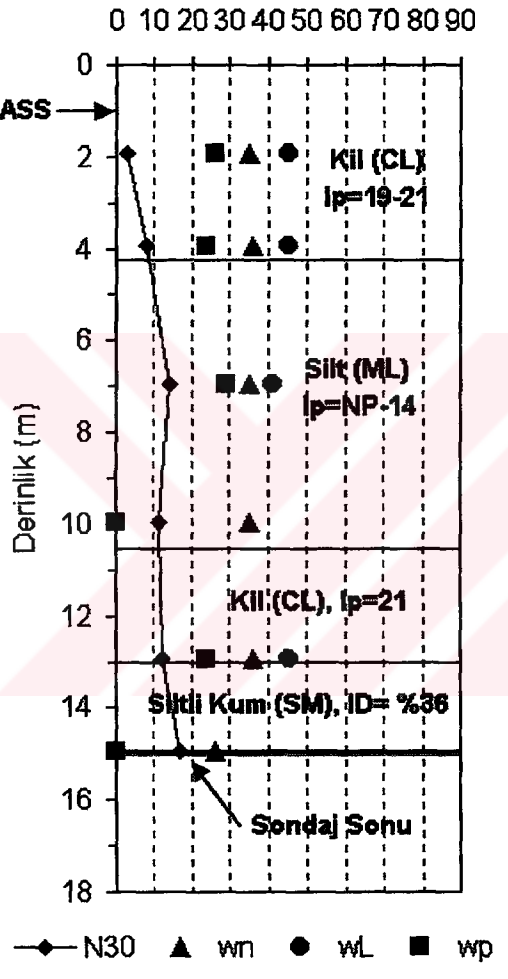
Şekil 4.26b Sondaj SK-7 için sıvılaşma güvenlik sayıları.

Şekil 4.26b'de Yöntem 1 ve Yöntem 2'nin birlikte değerlendirilmesi sonucunda 1,95 m, 7,95 m, 10,95 m ve 14,95 m derinlikten alınan zemin numunelerinin sıvılaşma güvenlik sayılarının 1'in altında olması nedeniyle bu derinliklerde sıvılaşma potansiyeli vardır.

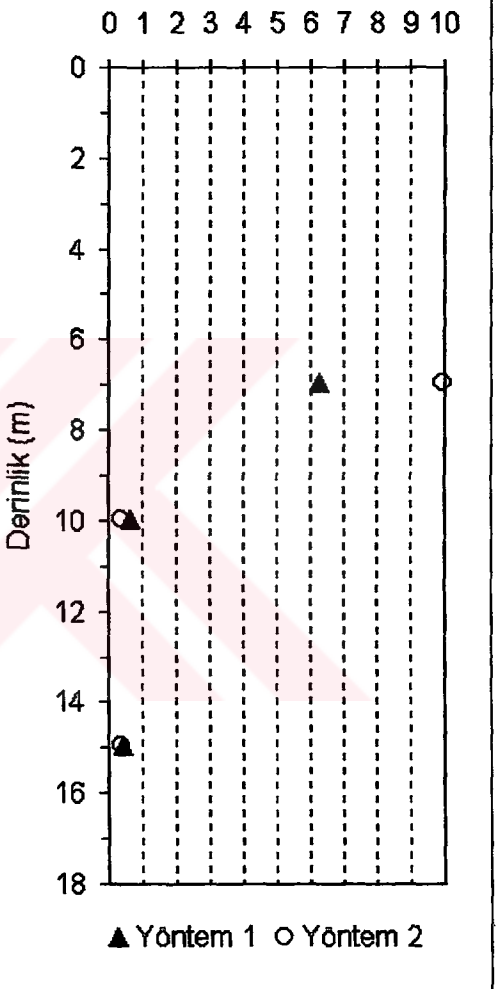
4.2.4.17 Sondaj SK-8 İçin Sıvılaşma Hesabı

SK-8 sondajına ait olan zemin kesiti ve laboratuvar deney sonuçları ayrıntılı olarak Tablo 3.16'da verilmiştir.

SK-8 sondajına ait zemin kesiti ve özellikleri Şekil 4.27a'da, bu zemin kesiti için yapılan sıvılaşma analiz sonuçları ise 2 yöntemle yapılmış olarak Şekil 4.27b'de gösterilmiştir.



Şekil 4.27a Sondaj SK-8'e ait zemin kesiti, N_{30} değerleri ve bazı deney sonuçları.



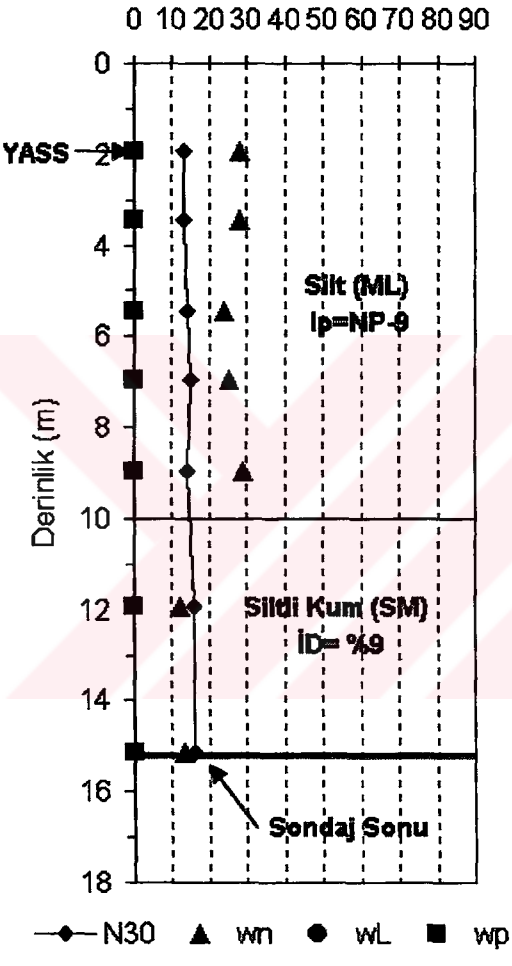
Şekil 4.27b Sondaj SK-8 için sıvılaşma güvenlik sayıları.

Şekil 4.27b'de Yöntem 1 ve Yöntem 2'nin birlikte değerlendirilmesi sonucunda 9,95 m ve 14,95 m derinlikten alınan zemin numunelerinin sıvılaşma güvenlik sayılarının 1'in altında olması nedeniyle bu derinliklerde sıvılaşma potansiyeli vardır.

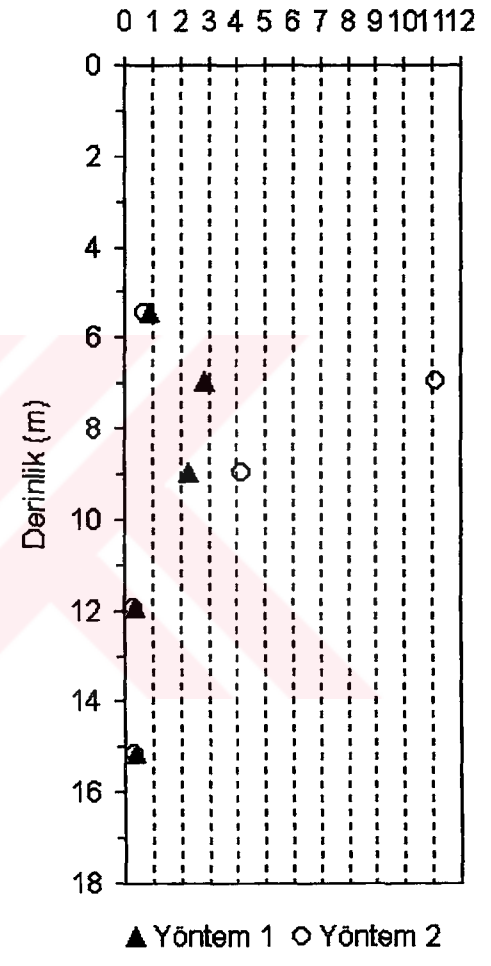
4.2.4.18 Sondaj SK-9 İçin Sıvılaşma Hesabı

SK-9 sondajına ait olan zemin kesiti ve laboratuvar deney sonuçları ayrıntılı olarak Tablo 3.18'de verilmiştir.

SK-9 sondajına ait zemin kesiti ve özellikleri Şekil 4.28a'da, bu zemin kesiti için yapılan sıvılaşma analiz sonuçları ise 2 yöntemle yapılmış olarak Şekil 4.28b'de gösterilmiştir.



Şekil 4.28a Sondaj SK-9'a ait zemin kesiti, N_{30} değerleri ve bazı deney sonuçları.



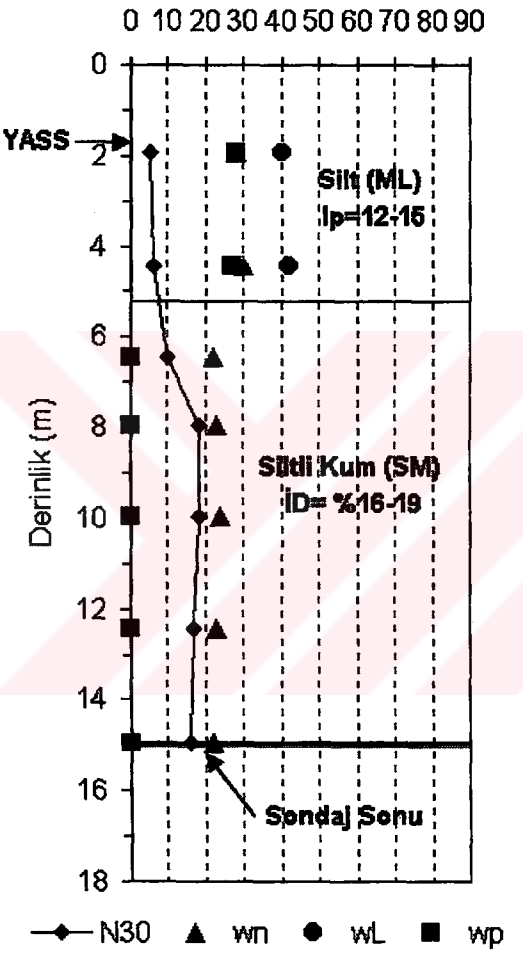
Şekil 4.28b Sondaj SK-9 için sıvılaşma güvenlik sayıları.

Şekil 4.28b'de Yöntem 1 ve Yöntem 2'nin birlikte değerlendirilmesi sonucunda 5,45 m, 11,95 m ve 15,15 m derinlikten alınan zemin numunelerinin sıvılaşma güvenlik sayılarının 1'in altında olması nedeniyle bu derinliklerde sıvılaşma potansiyeli vardır. Ayrıca 3,45 m derinlik için ise sıvılaşma güvenlik sayısı 24 mertebesinde olduğu için şekilde gösterilmemiştir. Bu derinlik için sıvılaşma potansiyeli yoktur.

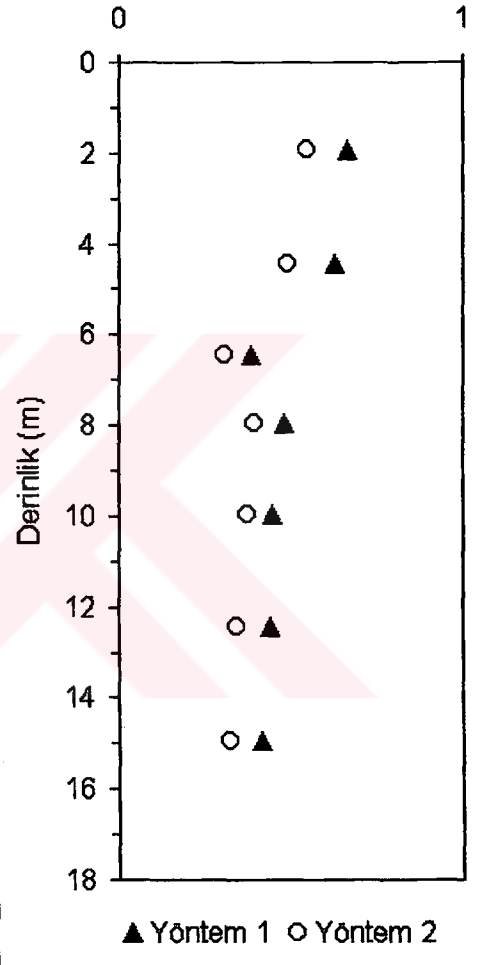
4.2.4.19 Sondaj SK-10 İçin Sıvılaşma Hesabı

SK-10 sondajına ait olan zemin kesiti ve laboratuvar deney sonuçları ayrıntılı olarak Tablo 3.20'de verilmiştir.

SK-10 sondajına ait zemin kesiti ve özellikleri Şekil 4.29a'da, bu zemin kesiti için yapılan sıvılaşma analiz sonuçları ise 2 yöntemle yapılmış olarak Şekil 4.29b'de gösterilmiştir.



Şekil 4.29a Sondaj SK-10'a ait zemin kesiti, N_{30} değerleri ve bazı deney sonuçları



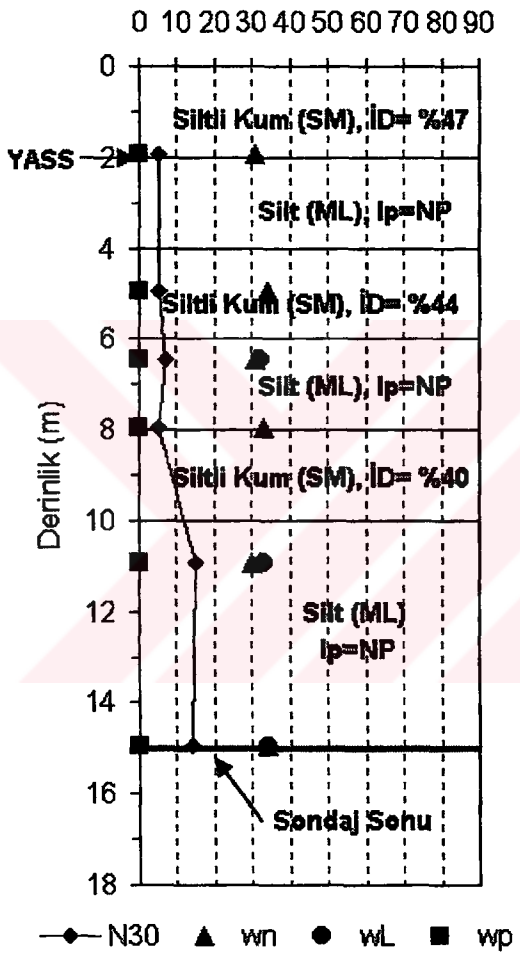
Şekil 4.29b Sondaj SK-10 için sıvılaşma güvenlik sayıları

Şekil 4.29b'de Yöntem 1 ve Yöntem 2'nin birlikte değerlendirilmesi sonucunda 1,95 m, 4,45 m, 6,45 m, 7,95 m, 9,95 m, 12,45 m ve 14,95 m derinlikten alınan zemin numunelerinin sıvılaşma güvenlik sayılarının 1'in altında olması nedeniyle bu derinliklerde sıvılaşma potansiyeli vardır.

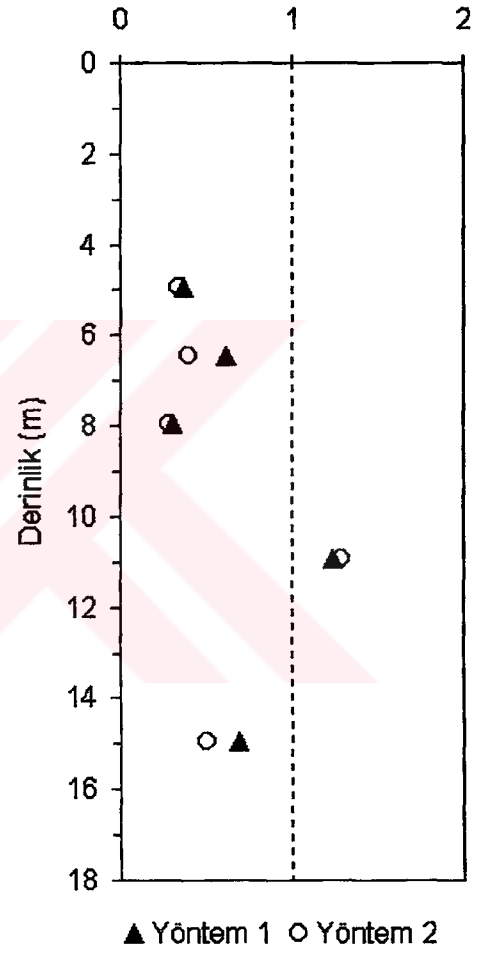
4.2.4.20 Sondaj SK-11 İçin Sıvılaşma Hesabı

SK-11 sondajına ait olan zemin kesiti ve laboratuvar deney sonuçları ayrıntılı olarak Tablo 3.22'de verilmiştir.

SK-11 sondajına ait zemin kesiti ve özellikleri Şekil 4.30a'da, bu zemin kesiti için yapılan sıvılaşma analiz sonuçları ise 2 yöntemle yapılmış olarak Şekil 4.30b'de gösterilmiştir.



Şekil 4.30a Sondaj SK-11'e ait zemin kesiti, N_{30} değerleri ve bazı deney sonuçları.



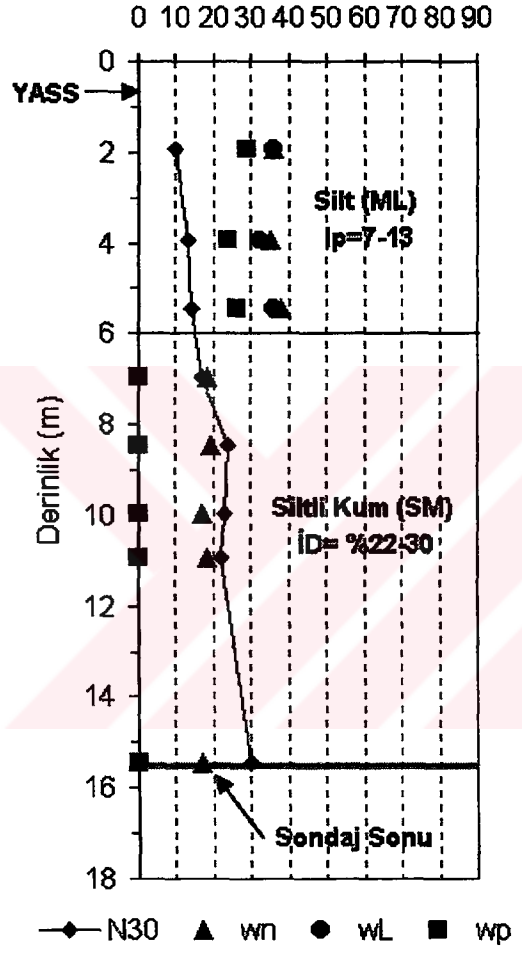
Şekil 4.30b Sondaj SK-11 için sıvılaşma güvenlik sayıları.

Şekil 4.30b'de Yöntem 1 ve Yöntem 2'nin birlikte değerlendirilmesi sonucunda 4,95 m, 6,45 m, 7,95 m ve 14,95 m derinlikten alınan zemin numunelerinin sıvılaşma güvenlik sayılarının 1'in altında olması nedeniyle bu derinliklerde sıvılaşma potansiyeli vardır.

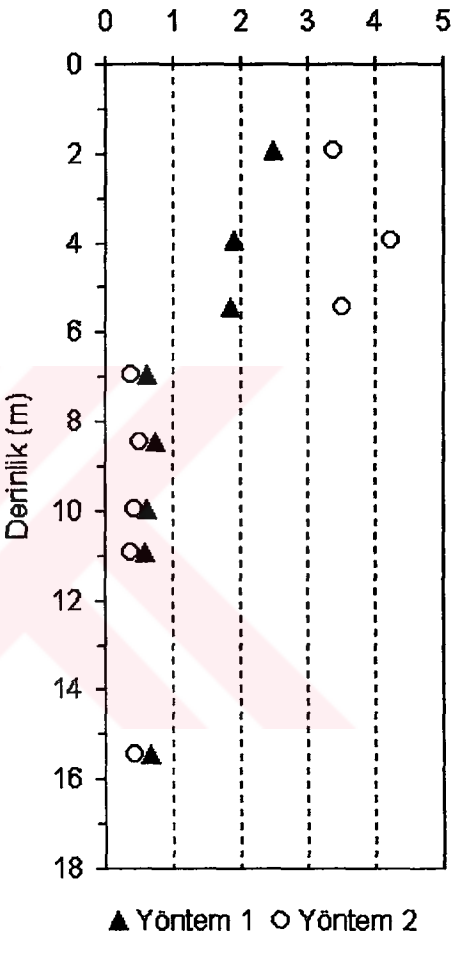
4.2.4.21 Sondaj SK-12 İçin Sıvılaşma Hesabı

SK-12 sondajına ait olan zemin kesiti ve laboratuvar deney sonuçları ayrıntılı olarak Tablo 3.24'de verilmiştir.

SK-12 sondajına ait zemin kesiti ve özellikleri Şekil 4.31a'da, bu zemin kesiti için yapılan sıvılaşma analiz sonuçları ise 2 yöntemle yapılmış olarak Şekil 4.31b'de gösterilmiştir.



Şekil 4.31a Sondaj SK-12'ye ait zemin kesiti, N_{30} değerleri ve bazı deney sonuçları.



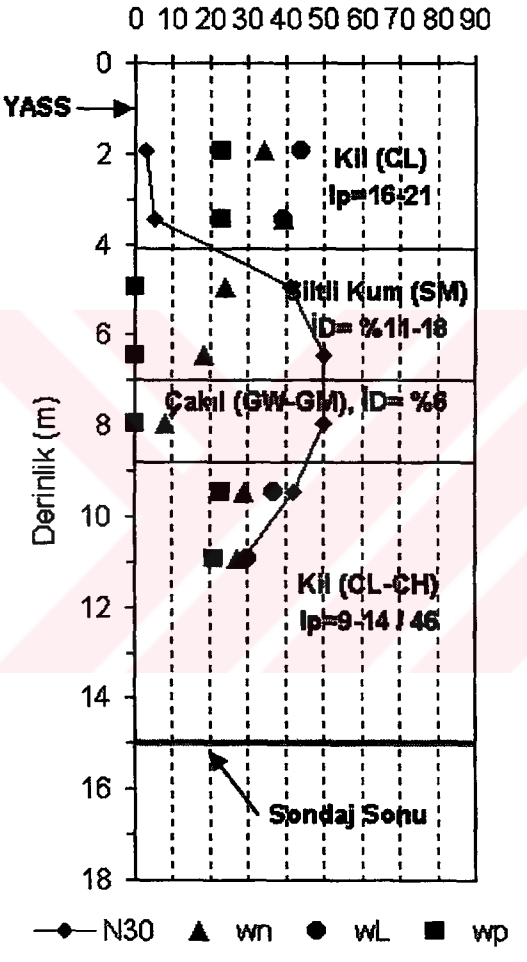
Şekil 4.31b Sondaj SK-12 için sıvılaşma güvenlik sayıları.

Şekil 4.31b'de Yöntem 1 ve Yöntem 2'nin birlikte değerlendirilmesi sonucunda 6,95 m, 8,45 m, 9,95 m, 10,95 m ve 15,45 m derinlikten alınan zemin numunelerinin sıvılaşma güvenlik sayılarının 1'in altında olması nedeniyle bu derinliklerde sıvılaşma potansiyeli vardır.

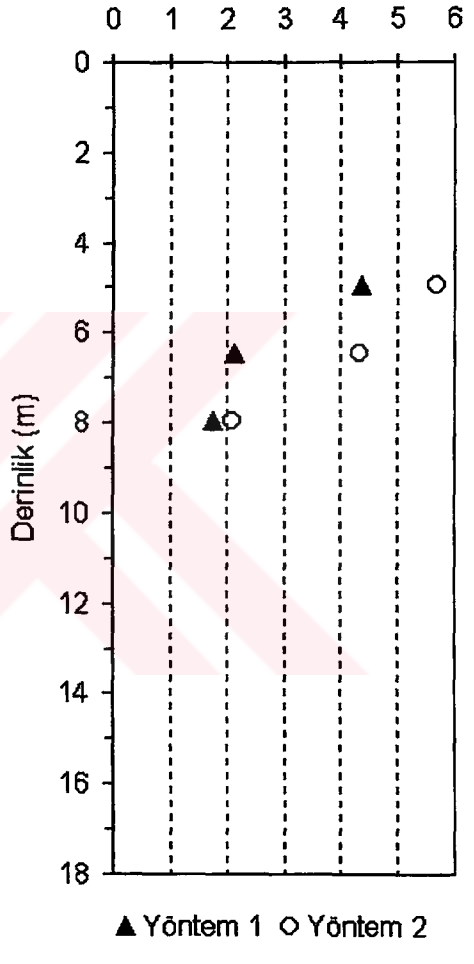
4.2.4.22 Sondaj SK-13 İçin Sıvılaşma Hesabı

SK-13 sondajına ait olan zemin kesiti ve laboratuvar deney sonuçları ayrıntılı olarak Tablo 3.26'da verilmiştir.

SK-13 sondajına ait zemin kesiti ve özellikleri Şekil 4.32a'da, bu zemin kesiti için yapılan sıvılaşma analiz sonuçları ise 2 yöntemle yapılmış olarak Şekil 4.32b'de gösterilmiştir.



Şekil 4.32a Sondaj SK-13'e ait zemin kesiti, N_{30} değerleri ve bazı deney sonuçları.



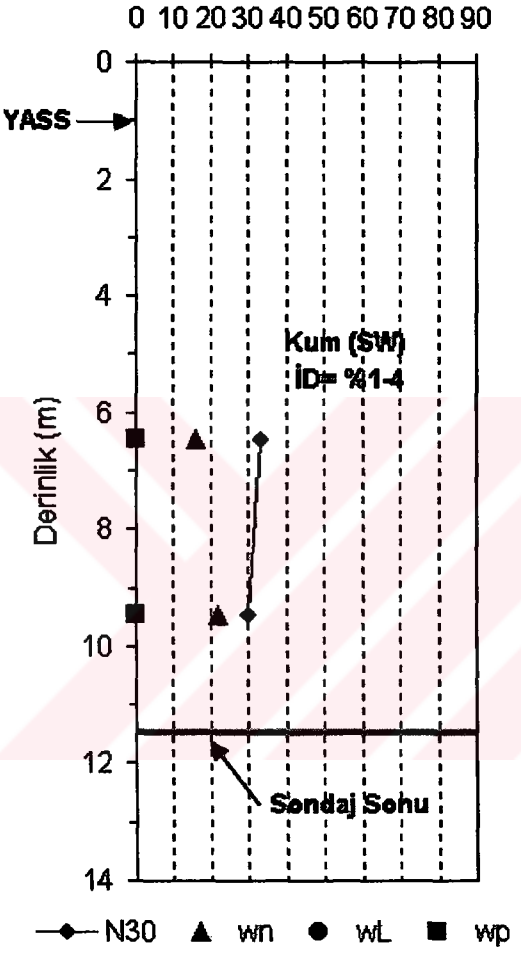
Şekil 4.32b Sondaj SK-13 için sıvılaşma güvenlik sayıları.

Şekil 4.32b'de Yöntem 1 ve Yöntem 2'nin birlikte değerlendirilmesi sonucunda zemin kesiti boyunca hiçbir derinlikte sıvılaşma potansiyeli yoktur.

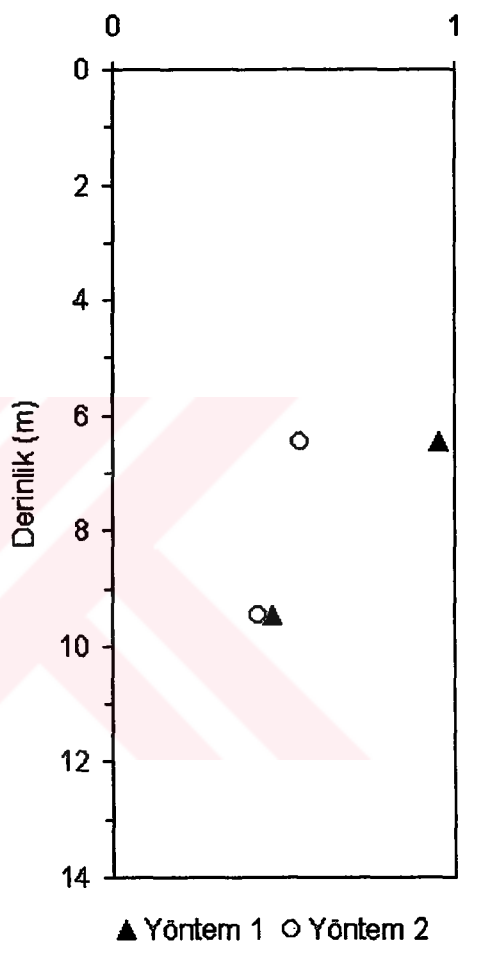
4.2.4.23 Sondaj SK-14 İçin Sıvılaşma Hesabı

SK-14 sondajına ait olan zemin kesiti ve laboratuvar deney sonuçları ayrıntılı olarak Tablo 3.27'de verilmiştir.

SK-14 sondajına ait zemin kesiti ve özellikleri Şekil 4.33a'da, bu zemin kesiti için yapılan sıvılaşma analiz sonuçları ise 2 yöntemle yapılmış olarak Şekil 4.33b'de gösterilmiştir.



Şekil 4.33a Sondaj SK-14'e ait zemin kesiti, N_{30} değerleri ve bazı deney sonuçları.



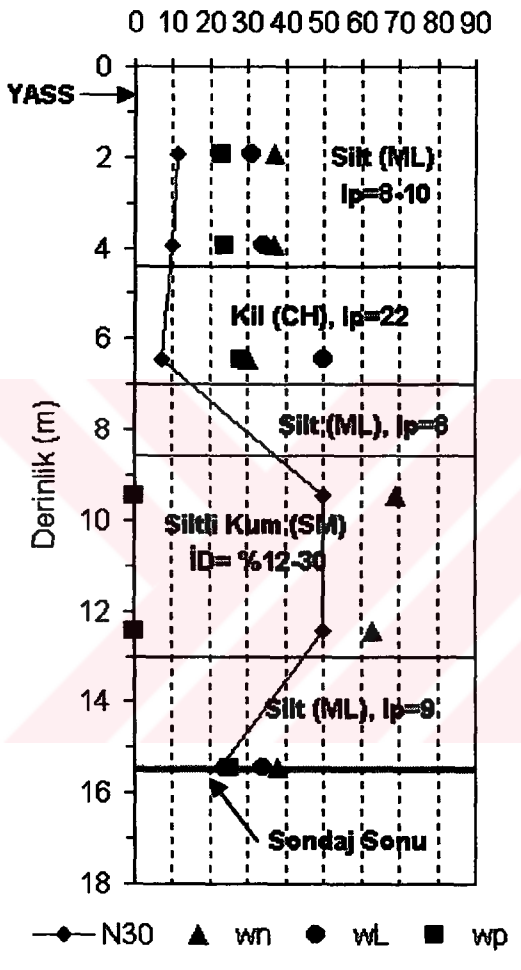
Şekil 4.33b Sondaj SK-14 için sıvılaşma güvenlik sayıları.

Şekil 4.33b'de Yöntem 1 ve Yöntem 2'nin birlikte değerlendirilmesi sonucunda 6,45 m ve 9,45 m derinlikten alınan zemin numunelerinin sıvılaşma güvenlik sayılarının 1'in altında olması nedeniyle bu derinliklerde sıvılaşma potansiyeli vardır.

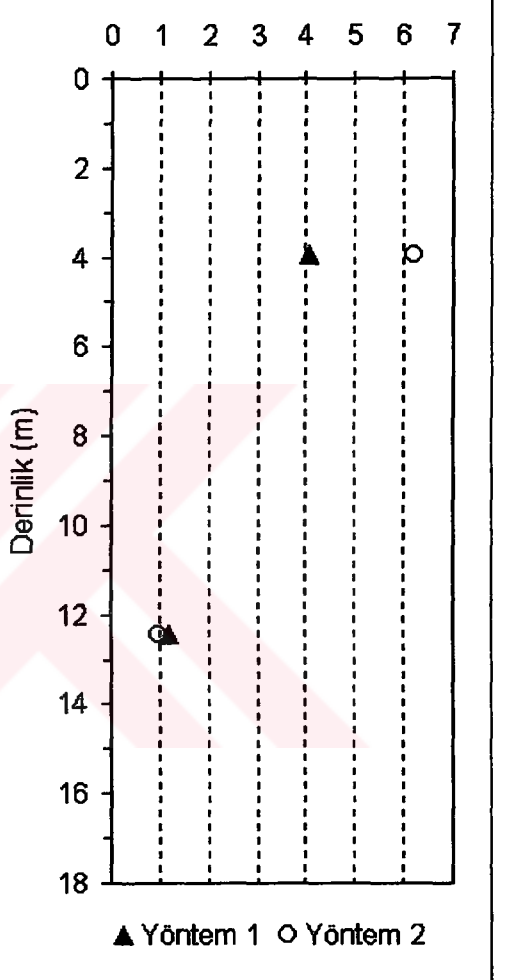
4.2.4.24 Sondaj SK-15 İçin Sıvılaşma Hesabı

SK-15 sondajına ait olan zemin kesiti ve laboratuvar deney sonuçları ayrıntılı olarak Tablo 3.29'da verilmiştir.

SK-15 sondajına ait zemin kesiti ve özellikleri Şekil 4.34a'da, bu zemin kesiti için yapılan sıvılaşma analiz sonuçları ise 2 yöntemle yapılmış olarak Şekil 4.34b'de gösterilmiştir.



Şekil 4.34a Sondaj SK-15'e ait zemin kesiti, N_{30} değerleri ve bazı deney sonuçları.



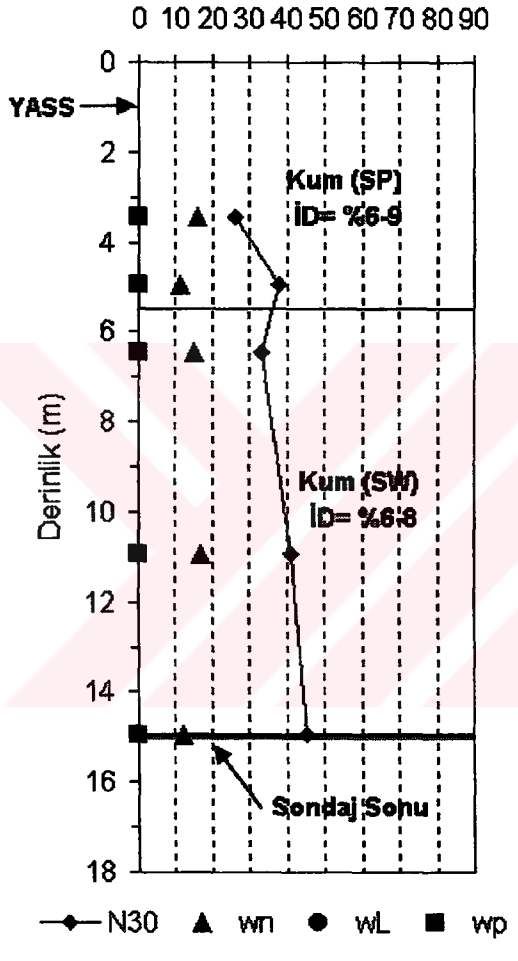
Şekil 4.34b Sondaj SK-15 için sıvılaşma güvenlik sayıları.

Şekil 4.34b'de Yöntem 1 ve Yöntem 2'nin birlikte değerlendirilmesi sonucunda zemin kesiti boyunca hiçbir derinlikte sıvılaşma potansiyeli yoktur (15,45 m derinlik için sıvılaşma güvenlik sayısı Yöntem 2'ye göre 20 olduğundan şekil üzerinde gösterilmemiştir).

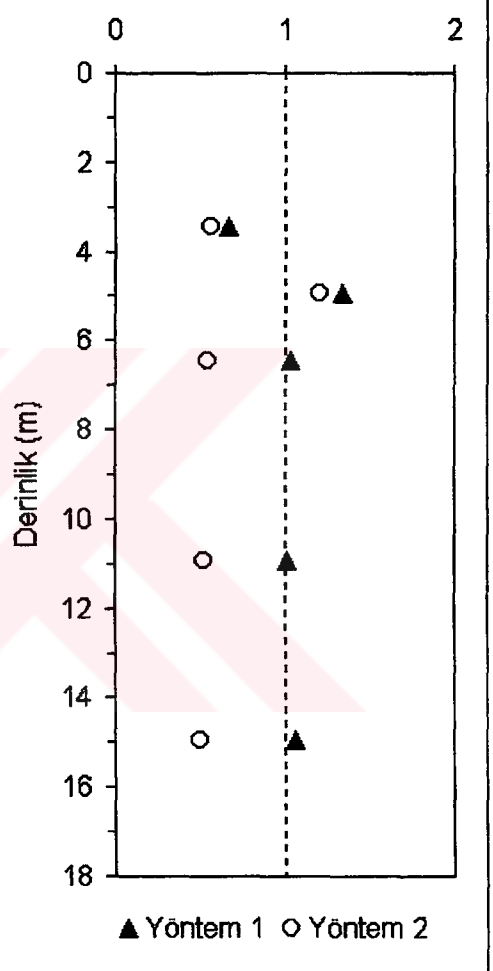
4.2.4.25 Sondaj SK-16 İçin Sıvılaşma Hesabı

SK-16 sondajına ait olan zemin kesiti ve laboratuvar deney sonuçları ayrıntılı olarak Tablo 3.31'de verilmiştir.

SK-16 sondajına ait zemin kesiti ve özellikleri Şekil 4.35a'da, bu zemin kesiti için yapılan sıvılaşma analiz sonuçları ise 2 yöntemle yapılmış olarak Şekil 4.35b'de gösterilmiştir.



Şekil 4.35a Sondaj SK-16'ya ait zemin kesiti, N_{30} değerleri ve bazı deney sonuçları.



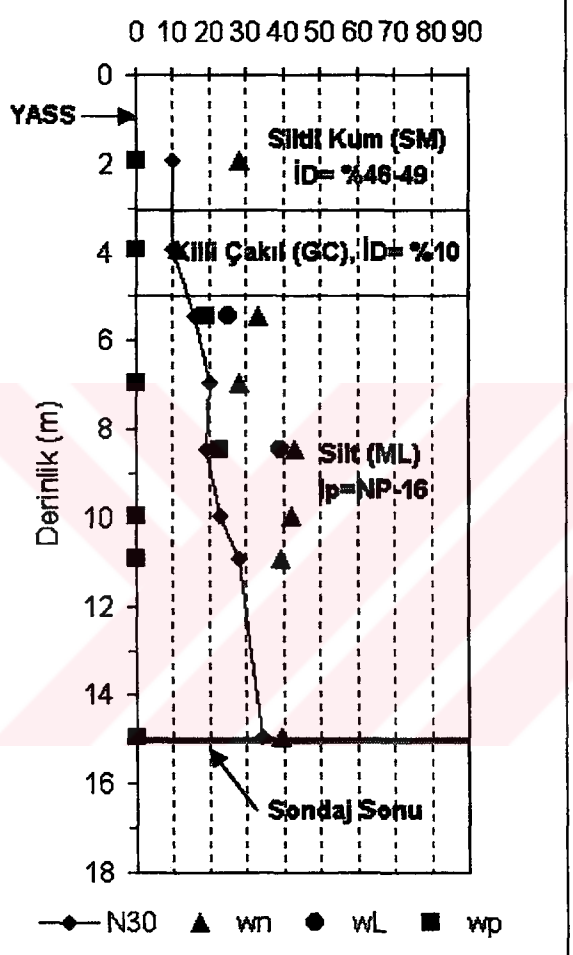
Şekil 4.35b Sondaj SK-16 için sıvılaşma güvenlik sayıları.

Şekil 4.35b'de Yöntem 1 ve Yöntem 2'nin birlikte değerlendirilmesi sonucunda 3,45 m, 6,45 m, 6,95 m, 10,95 m ve 14,95 m derinlikten alınan zemin numunelerinin sıvılaşma güvenlik sayılarının 1'in altında olması nedeniyle bu derinliklerde sıvılaşma potansiyeli vardır.

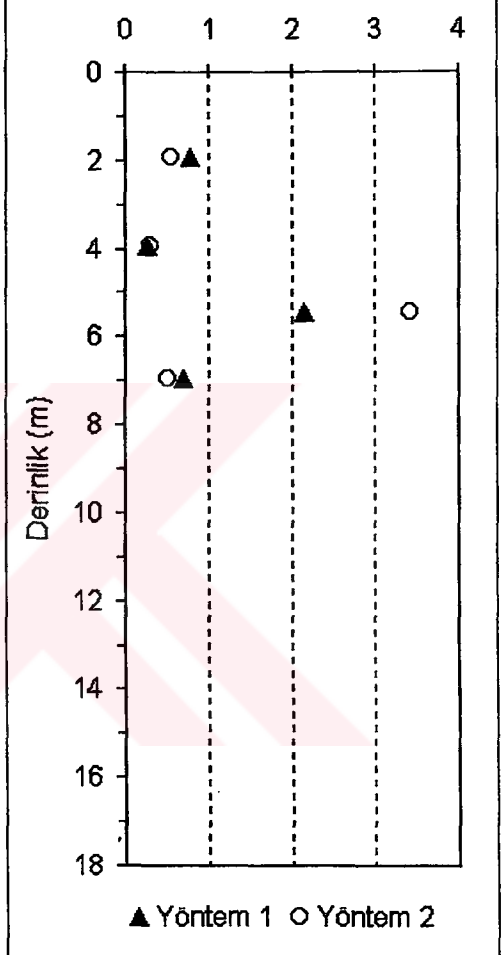
4.2.4.26 Sondaj SK-17 İçin Sıvılaşma Hesabı

SK-17 sondajına ait olan zemin kesiti ve laboratuvar deney sonuçları Tablo 3.32'de verilmiştir.

SK-17 sondajına ait zemin kesiti ve özellikleri Şekil 4.36a'da, bu zemin kesiti için yapılan sıvılaşma analiz sonuçları ise 2 yöntemle yapılmış olarak Şekil 4.36b'de gösterilmiştir.



Şekil 4.36a Sondaj SK-17'ye ait zemin kesiti, N_{30} değerleri ve bazı deney sonuçları.



Şekil 4.36b Sondaj SK-17 için sıvılaşma güvenlik sayıları.

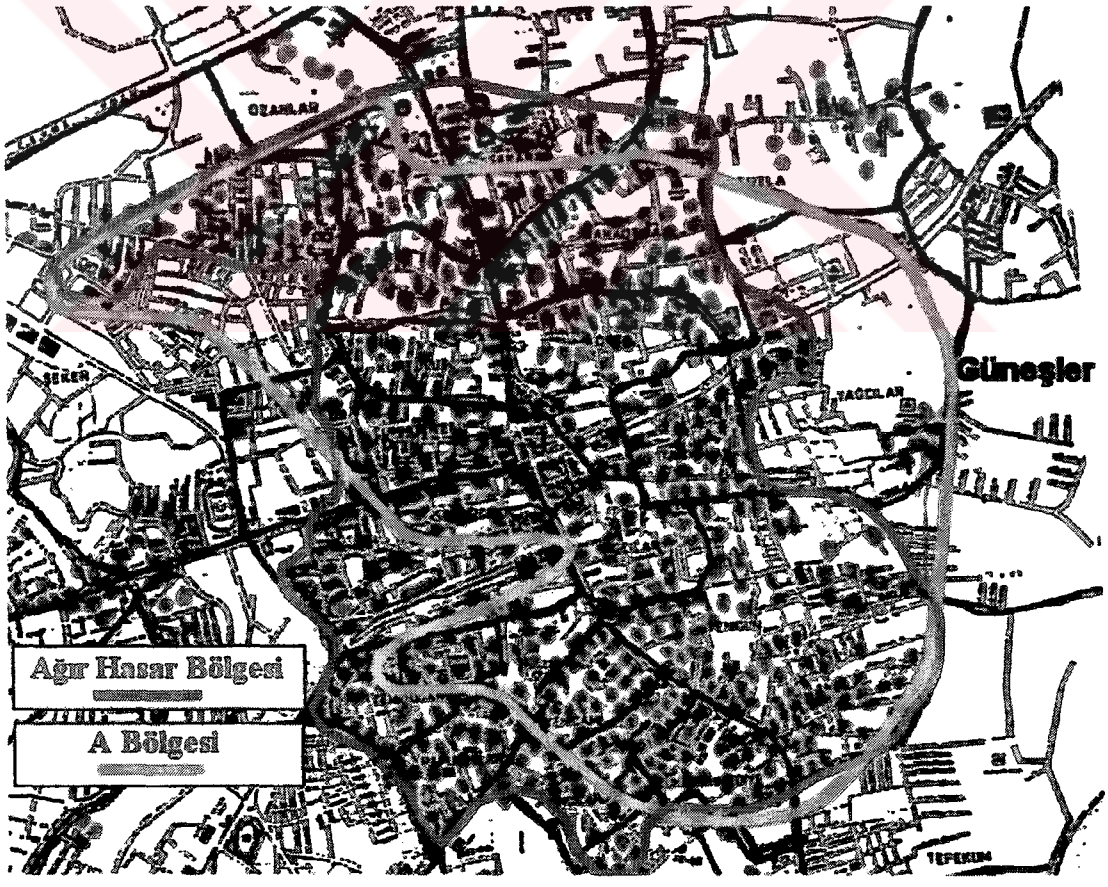
Şekil 4.36b'de Yöntem 1 ve Yöntem 2'nin birlikte değerlendirilmesi sonucunda 1,95 m, 3,95 m ve 6,95 m derinlikten alınan zemin numunelerinin sıvılaşma güvenlik sayılarının 1'in altında olması nedeniyle bu derinliklerde sıvılaşma potansiyeli vardır. Daha derindeki zemin numunelerinin sıvılaşma güvenlik sayılarının 1'den çok büyük (47-84) aralığında olması nedeniyle sıvılaşma potansiyelleri olmayıp şekil üzerinde güvenlik sayıları gösterilmemiştir.

4.3 Sonuç

Sonuçlardan da açıkça görüldüğü üzere büyük bir alanda, belli sayıda sondaj verisine dayanarak tümden sıvılaşma var veya yok şeklinde bir karara varmak pek doğru değildir. Zeminlerin noktadan noktaya farklı özelliklere sahip olması bina bazında yerel zemin koşullarının ayrıntılı bir şekilde incelenmesi gereğini ortaya koymaktadır.

Gerek bu tez kapsamında ayrıntılı olarak özellikleri belirtilen ve sıvılaşma analizleri yapılan 26 adet sondajdan ve gerekse de çeşitli kurum ve kişilerce yaptırılmış olan 700'ün üzerindeki sondajın incelenmesiyle oluşturulan ve Şekil 3.3'de belirtilen A bölgesi ile ağır hasara uğrayan bölgenin büyük bir uyum gösterdiği anlaşılmaktadır. Daha önce de belirtildiği üzere A bölgesi olarak adlandırılan bölge, düşük plastisiteden plastik olmayan özelliğe kadar çeşitli plastisite değerlerine sahip olan ilk 15 m'deki silt zemini ifade etmektedir.

Erken (2001)'de belirtilen hasar durumundan da yararlanılarak, ağır hasar ile düşük plastisiteli veya plastik olmayan silt zeminin uyumu Şekil 4.37'de verilmektedir.



Şekil 4.37 Adapazarı'nda ağır hasar ile A bölgesi şeklinde ifade edilmiş olan düşük plastisiteli veya plastik olmayan silt zeminin durumu.

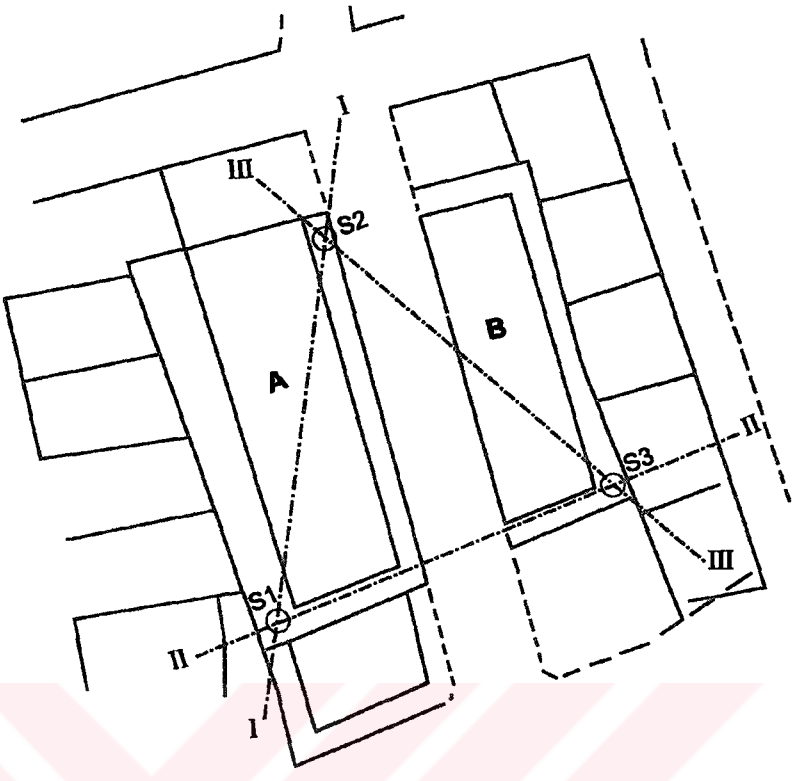
5. VAKA ANALİZİ

5.1 Vaka'nın Tanımlanması

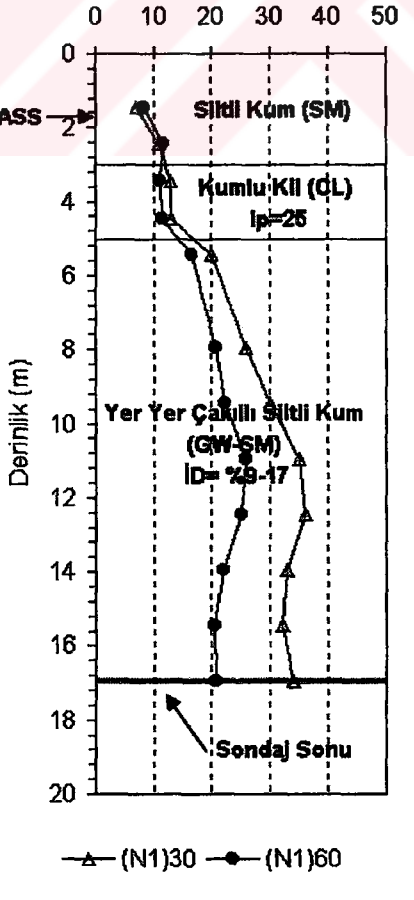
Bu bölümde Sakarya, Tığcılar Mahallesi, Çetin Sokak, Yürüt Apartmanı'nda 17 Ağustos 1999 tarihinde meydana gelen Kocaeli Depremi sonucu oluşan hasarın analizi yapılacaktır.

Yapı 1 zemin ve 4 normal kattan ibarettir. 17 Ağustos 1999 Kocaeli Depremi'nin yapıda meydana getirdiği hasarla ilgili olarak Altındal ve diğ. (1999) tarafından hazırlanan hasar tespit raporunda binada yaklaşık 20 cm'lik bir batma ve Doğu yönüne doğru %1,5'luk bir eğilme tespit edilmiştir. Ayrıca birinci katın duvar ve sıvalarında çatlakların olduğu ve çatının kaydığı belirtilmekte olup, bütün bunlara rağmen binanın taşıyıcı sisteminin depremden önceki durumuna göre yapısal güvenliğini kaybetmediği kaydı bulunmaktadır.

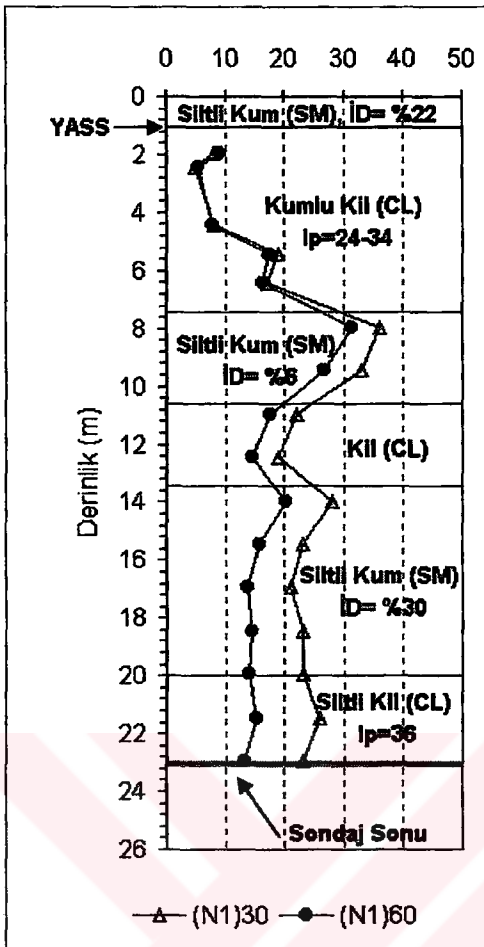
Apartman bloklarının zemin durumlarının incelenmesi amacıyla Şekil 5.1'de verilen vaziyet planına göre boyları 16,95 m ile 22,95 m arasında değişen, toplam 61,3 m boyunda 3 adet sondaj bina sahiplerince yaptırılmıştır. Sondajlar sırasında Standart Penetrasyon Deneyi (SPT) yapılmış olup SPT'lerin düzeltilmemiş ve düzeltilmiş değerlerinin derinlikle değişimi ve zemin profili S1, S2 ve S3 sondajları için yine aynı sırada olmak üzere Şekil 5.2, Şekil 5.3 ve Şekil 5.4'de verilmektedir.



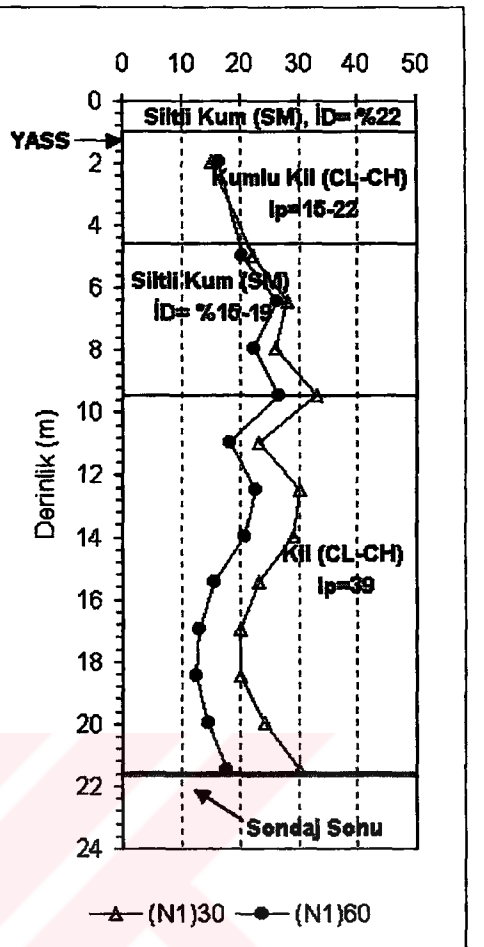
Şekil 5.1 Yürüt apartmanı sondaj vaziyet planı.



Şekil 5.2 Sondaj S1'in SPT değerlerinin ve zemin tabakalarının derinlikle değişimi.



Şekil 5.3 Sondaj S2'nin SPT değerlerinin ve zemin tabakalarının derinlikle değişimi.



Şekil 5.4 Sondaj S3'ün SPT değerlerinin ve zemin tabakalarının derinlikle değişimi.

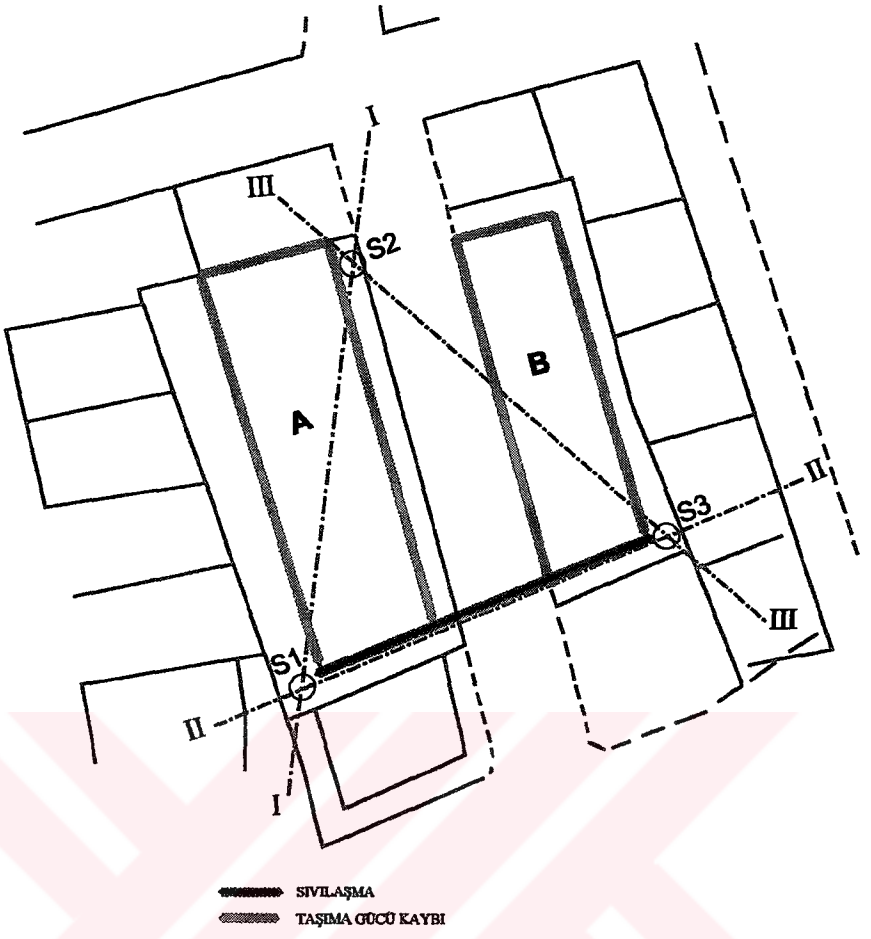
Şekil 5.1'de verilen Yürüt Apartmanı sondaj vaziyet planına göre S1 sondajı A Blok kenarında yapılmıştır. Yüzeyden itibaren 3,0 m derinliğe kadar, dolgu zemin olarak adlandırılan sarı renkli kum, 3,0 m ile 5,0 m'ler arası N_{30} değeri 13-30 arasında değişen katı-çok katı, gri renkli kumlu kil, 5,0 m ile 16,95 m'ler arasında ise N_{30} değerleri 32-36 arasında olan sıkı, yer yer çakıllı sarı-gri renkli siltli kum tabakası yer almaktadır. S1 sondajı bu tabaka içinde sona erdirilmiştir.

S2 sondajı A ve B bloklarının ortasında 22,95 m derinliğinde yapılmıştır. Zemin yüzeyinden olmak üzere 1,0 m derinliğe kadar dolgu zemin, 1,0 m ile 6,0 m'ler arası N_{30} değerleri 5 ile 17 arasında değişen orta katı-katı, sarı-gri renkli az kumlu kil, 6,0 m ile 7,5 m arası N_{30} değeri 36 olan, çok katı, gri renkli yer yer kumlu kil, 7,5 m ile 10,5 m arası N_{30} değerleri 22-35 olan sıkı, gri renkli, az çakıllı kum, 10,5 m ile 13,5 m arası N_{30} değerleri 19-28 arasında değişen çok katı, gri renkli kil ve 13,5 m ile 20,0 m arasında siltli kum, 20,0 m ile sondaj sonu olan 22,95 m derinliğe

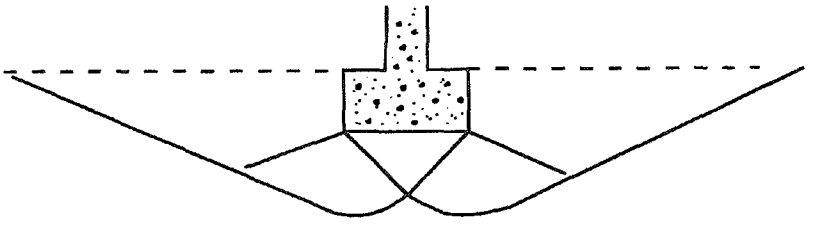
kadar N_{30} değerleri 21-28 arasında olan çok katı, yeşil renkli az kumlu plastik kil tabaka içinde ilerlenmiştir.

S3 sondajı vaziyet planında gösterilen lokasyonda yapılmıştır. Zemin yüzeyinden olmak üzere 1,0 m derinliğe kadar dolgu zemin, 1,0 m ile 4,5 m arası N_{30} değerleri 15-22 arasında olan çok katı, gri renkli, kumlu kil, 4,5 m ile 9,5 m arası N_{30} değeri 26-28 arasında değişen orta sıkı, gri-sarı renkli, ince kum, 9,5 m ile sondaj sonu 21,45 m arası N_{30} değeri 20-30 arası değişen çok katı, gri renkli, ince kumlu plastik kil tabaka yer almaktadır.

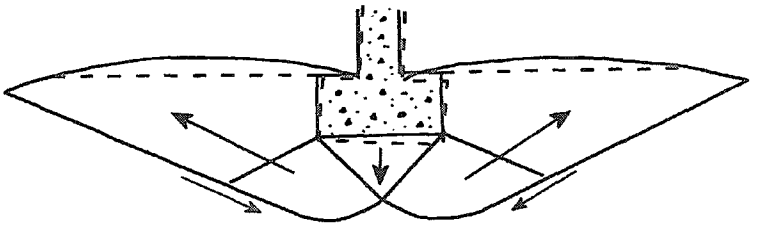
S1 sondajının olduğu kısım hariç yapıların altında genel olarak az kumlu plastik killi zemin hakimdir. S1 sondajının bulunduğu noktada, zemin yüzeyinden olmak üzere 4,0 m kadar sarı renkli kum, S3 sondajında ise üstte 4,5 m kalınlığında siltli kil, bu tabakanın altında ise 4,0 m kalınlığında ince kum yer almaktadır. Deprem sırasında bu tabakalarda boşluk suyu basıncının artması ile sıvılaşma meydana gelmiş ve zemin yüzeyine bir miktar kum yayılmıştır. Suya doygun killi tabakalarda ise deprem sırasında boşluk suyu basıncının artması zeminin yumuşamasına ve kısmen plastik deformasyona uğramasına neden olmuş ve zeminin statik mukavemeti azalmıştır. 17 Ağustos 1999 Kocaeli Depremi'nde, bu bölümde konu olan yapıda oluşan batmalar ve dönmeler statik mukavemetin azalması sonucu taşıma gücü kaybından kaynaklanmaktadır. Şekil 5.5'de Yürüt Apartmanı'nda oluşan sıvılaşma ve meydana gele taşıma gücü kayıplarının vaziyet planı üzerinde dağılımı ve de Şekil 5.6'da da temel zemininin deprem öncesi ve sonrası durumu görülmektedir.



Şekil 5.5 Yürüt Apartmanı'nda deprem sonucu oluşan sıvılaşma ve taşıma gücü kaybı.



Deprem Öncesi



Deprem Sonrası

Şekil 5.6 Temel zemininin deprem öncesi ve sonrası durumu.

5.2 Taşıma Gücü Hesabı

Sığ temellerin ($D_f / B < 1$) taşıma gücünün hesabı için, araştırıcılar tarafından çeşitli formüller verilmektedir. Ancak bugün en çok kullanılanın Terzaghi'nin verdiği formüldür ve de son zamanlarda yapılan araştırmalar, Terzaghi formülündeki katsayıların değerleri üzerinde toplanmıştır.

Terzaghi'nin formülü (Kumbasar ve Kip, 1992) ;

$$q_d = K_1 * c * N_c + \gamma_1 * D_f * N_q + K_2 * N_\gamma * B * \gamma_2 \qquad (5.1)$$

şeklindedir. Formüldeki harflerin anlamları aşağıda verilmiştir.

γ_1 : Temel tabanı üzerindeki zeminin birim hacim ağırlığı

γ_2 : Temel tabanı altındaki zeminin birim hacim ağırlığı

B : Temel genişliği

L : Temel uzunluğu

D_f : Temel derinliği

K_1 ve K_2 : Temel tabanı şekline bağlı katsayılar (Tablo 5.1)

c : Kohezyon

ϕ : Kayma mukavemeti açısı

N_c , N_q, N_γ : Temel seviyesi altındaki zeminin, ϕ kayma direnci açısına bağlı taşıma gücü katsayılarıdır (Tablo 5.2)

Tablo 5.1 K_1 ve K_2 değerleri (Kumbasar ve Kip, 1992).

Temel Tabanı Şekli	Şerit $L = \infty$	Dikdörtgen $B < L$	Kare $B = L$	Daire $L = B = D$
K_1	1	$1+0{,}2*\frac{B}{L}$	1,2	1,2
K_2	0,5	$0{,}5-0{,}1*\frac{B}{L}$	0,4	0,3

Tablo 5.2 Terzaghi taşıma gücü katsayıları (Kumbasar ve Kip, 1992).

ϕ	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
N_c	5,7	7,3	9,6	12,9	17,7	25,1	37,2	58	96	172	348
N_q	1,0	1,6	2,7	4,4	7,4	12,7	22,5	41	81	173	415
N_γ	0,0	0,5	1,2	2,5	5,0	9,7	19,7	42	100	298	1153

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

Zemin özellikleri (c, ϕ, γ_2) temel tabanından ölçülmek üzere B derinliği boyunca ağırlıklı ortalama değeri olarak alınmalıdır.

Temel alanı B*L olan (B<L) dikdörtgen temellerde Skempton net taşıma gücünü, $D_f/B < 2,5$ için,

$$\overline{q}_d = 5*\left(1+0,2\frac{D_f}{B}\right)*\left(1+0,2\frac{B}{L}\right)*c \qquad (5.2)$$

ve $D_f/B \geq 2,5$ için de,

$$\overline{q}_d = 7,5*\left(1+0,2\frac{B}{L}\right)*c \qquad (5.3)$$

formülüyle vermiştir. Maksimum değer B/L = 1 için,

$$\overline{q}_d = 9*c \text{ ve } \overline{q}_d = 9*c+\gamma*D_f \qquad (5.4)$$

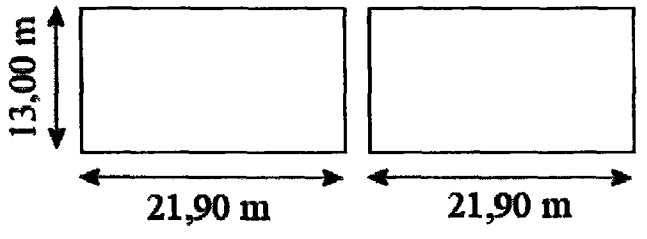
olur.

Kil zemin (ϕ = 0) halinde Skempton formülünün kullanılması tavsiye edilmektedir.

Bu bölümdeki hesapta killer için Terzaghi ve Skempton formülünün her ikisi de, kohezyonsuz (kum-çakıl, plastik olmayan silt) zeminlerde Terzaghi taşıma gücü formülü kullanılacaktır.

Temeller:

- Kirişli radye
- Radye kalınlığı 35 cm
- Kirişler arası doldurulmuş. Dolgu yüksekliği 85 cm.
- Temel derinliği = D_f = 1,20 m
- B = 13,00 m, L = 21,90 m .....B < L
- D_f/B = 1,20 / 13,0 = 0,09 < 1 (Sığ temel)



Şekil 5.7 Yürüt apartmanı temel boyutları.

Yapı Yükü:

İyisan (2000)'den alınan, bina katları için yaklaşık birim hacim ağırlıkları kullanılarak,

Katların ağırlığı = 1,5 t/m^2 * (13 m * 21,90 m) * 4 = 1708,2 t

Bodrum kat ağırlığı = 1,25 t/m^2 * (13 m * 21,90 m) = 355,9 t

Toplam bina ağırlığı = 1708,2 t + 355,9 t = 2064,1 t

olarak alınacaktır.

5.2.1 Taşıma Gücünün Her Sondaj Kesiti İçin Hesabı

SPT deneyi sonucunda bulunan ham SPT değerleri Bölüm 4'de verildiği gibi düzeltilerek, o zemin tabakasında ortalama bir $(N_1)_{60}$'a karşılık gelen serbest basınç mukavemeti değeri bulunur.

Tablo 5.3 SPT değerlerine karşılık gelen serbest basınç mukavemeti değerleri (Kumbasar ve Kip, 1992).

Kıvam	Çok yumuşak	Yumuşak	Orta	Katı	Çok katı	Sert
N	2	4	8	15	30	
q_u (kg/cm^2)	0,25	0,50	1,0	2,0	4,0	

Tablo 5.4 SPT değerlerine karşılık gelen relatif sıkılık ve kayma mukavemeti açıları (Aksoy, İ.H., 2000).

N_{30}	Dr (%)	ϕ
≤ 4	≤ 15	≤ 30
4 – 10	15 – 35	30 – 32
10 – 30	35 – 65	32 – 35
30 – 50	65 – 85	35 – 38
≥ 50	≥ 85	≥ 38

5.2.1.1 Sondaj S-1 İçin Taşıma Gücünün Hesabı

S-1 sondajından elde edilen zemin kesiti ile N_{30} ve $(N_1)_{60}$ değerleri Şekil 5.2'de verilmiştir.

İlk 3,0 m'de yer alan kum tabakası, 5,0 m'den sonra yer alan kum tabakasına göre daha düşük SPT değerlerine sahip olması nedeniyle daha elverişsiz durumda bulunmaktadır. Bu tabaka için,

c = 0 olduğundan (5.1) ifadesi,

$$q_d = \gamma_1 * D_f * N_q + K_2 * N_\gamma * B * \gamma_2 \qquad (5.5)$$

olur.

Tablo 5.5'den $(N_1)_{60}$ =10 değerine tekabül eden kayma mukavemeti açısı

ϕ = 32 ° olarak bulunur.

Bu şartlar altında Tablo 5.2'den,

ϕ =32. için N_c = 45,52 , N_q = 29,9 , N_γ = 28,62

bulunur.

Bu durumda taşıma gücü,

$$q_d = \gamma_1 * D_f * N_q + (0{,}5 - 0{,}1 * \frac{B}{L}) * N_\gamma * B * \gamma_2$$

$$q_d = 1{,}90 * 1{,}20 * 29{,}9 + (0{,}5 - 0{,}1 * \frac{13{,}00}{21{,}90}) * 28{,}62 * 13{,}0 * 0{,}90$$

$$q_d = 215{,}72 \text{ t/m}^2$$

ve net taşıma gücü de,

$$q_d' = q_d - \gamma_1 * D_f \qquad (5.6)$$

$$q_d' = 215{,}72 - 1{,}90 * 1{,}20 = 213{,}44 \text{ t/m}^2$$

olur.

Taşıma gücü q_d nin G_s güvenlik sayısı ile bölünmesinden emniyetli taşıma gücü elde edilir. Bu değer,

$$q_s = \frac{q_d}{G_s} \qquad (5.7)$$

olarak hesaplanır. Oturma miktarının istenilen sınırlar altında kaldığı gerilme, q_a emniyetli gerilmesi (müsade edilen en büyük yük veya müsade edilen en büyük servis yükü gerilmesi) dir.

Taşıma gücü şartının sağlanması için,

$$q_a \leq q_s \tag{5.8}$$

olmalıdır.

$G_s = 3$

$q_d = 215{,}72\ t/m^2$

$$q_s = \frac{q_d}{G_s}$$

$q_s = 215{,}72 / 3 = 71{,}91\ t/m^2$

$$q_a = \frac{2064{,}1 ton}{13{,}0m * 21{,}9m} = 7{,}25\ t/m^2$$

$q_a < q_s$ olmalıydı.

$7{,}25\ t/m^2 < 71{,}91\ t/m^2$ olduğundan üstteki en elverişsiz SPT değerli kum tabakası için taşıma gücü şartı sağlanır.

Kil tabakası için:

Tablo 5.6'dan $(N_1)_{60} = 12$ değerine karşılık gelen serbest basınç mukavemeti değeri,

$q_u = 1{,}50\ kg/cm^2$ olarak bulunur.

Suya doygun killerde ani yükleme halinde, toplam gerilmelere göre,

$$\phi = 0 \longrightarrow \tau_f = c_u = q_u/2 \tag{5.9}$$

$q_u = 1{,}50\ kg/cm^2$ ve dolayısıyla $c_u = 0{,}75\ kg/cm^2 = 7{,}5\ t/m^2$'dir.

Bu şartlar altında,

$\phi = 0$ için $N_c = 5{,}7$, $N_q = 1$, $N_\gamma = 0$

bulunacağından formül, taşıma gücü için ,

$$q_d = K_1 * c * N_c + \gamma_1 * D_f \tag{5.10}$$

$$q_d = (1 + 0{,}2 * B / L) * c * 5{,}7 + \gamma_1 * D_f$$

ve net taşıma gücü için de,

$$q_d' = (1 + 0{,}2 * B / L) * c * 5{,}7 \qquad (5.11)$$

olur.

Gevşek ve yumuşak zeminlerde bölgesel göçmeler meydana gelebileceğinden, taşıma gücü hesabında ;

$$c_1 = \frac{2}{3} * c \quad \text{ve} \quad tg\phi_i = \frac{2}{3} * tg\phi \qquad (5.12)$$

kabul edilir. Bu tip hesaplarda pratik olarak, ϕ_i açısına karşılık N_c, N_q, N_γ değerleri ile c_1 değeri kullanılır.

$q_d' = (1 + 0{,}2 * B / L) * c * 5{,}7 = (1 + 0{,}2 * 13{,}00 / 21{,}90) * 2 / 3 * 7{,}5 * 5{,}7$

$= 31{,}88\ t/m^2$

$q_a \leq q_s$ olmalıdır.

$$q_d = q_d' + \gamma_1 * D_f \qquad (5.13)$$

$q_d = 31{,}88\ t/m^2 + (1{,}2\ m * 1{,}90\ t / m^3)$

$q_d = 34{,}16\ t/m^2$

$$q_s = \frac{q_d}{G_s}$$

$q_s = 34{,}16 / 3 = 11{,}38\ t/m^2$

$$q_a = \frac{2064{,}1 ton}{13{,}0 m * 21{,}9 m} = 7{,}25\ t/m^2$$

$q_a \leq q_s$ olmalıydı.

$7{,}25\ t/m^2 < 11{,}38\ t/m^2$ olduğundan kil tabakası için taşıma gücü şartı sağlanır.

Skempton formülüne göre,

$$\overline{q}_d = 5 * \left(1 + 0{,}2 \frac{D_f}{B}\right) * \left(1 + 0{,}2 \frac{B}{L}\right) * c \qquad (5.14)$$

$$\overline{q}_d = 5 * \left(1 + 0{,}2 \frac{1{,}2}{13{,}0}\right) * \left(1 + 0{,}2 \frac{13{,}0}{21{,}9}\right) * 7{,}5 = 42{,}73\ t/m^2$$

$q_d = 42,73 + 1,2 * 1,9 = 45,01$ t/m^2

$$q_s = \frac{q_d}{G_s}$$

$q_s = 45,01 / 3 = 15,00$ t/m^2

$q_a = 7,25$ t/m^2

$q_a \leq q_s$ olmalıydı.

7,25 t/m^2 < 15,00 t/m^2 olduğundan kil tabakası için taşıma gücü şartı sağlanır.

Bütün bu sonuçlara göre, S-1 sondajından elde edilen zemin kesiti için taşıma gücü problemi yoktur.

5.2.1.2 Sondaj S-2 İçin Taşıma Gücünün Hesabı

S-2 sondajından elde edilen zemin kesiti ile N_{30} ve $(N_1)_{60}$ değerleri Şekil 5.3'de verilmiştir.

Temel altında bulunan en elverişsiz yaklaşık 6,5 m kalınlığındaki kil tabakası için,

Tablo 5.3'den $(N_1)_{60} = 8$ değerine karşılık gelen serbest basınç mukavemeti değeri,

$q_u = 1,00$ kg/cm^2 olarak bulunur.

Suya doygun killerde ani yükleme halinde, toplam gerilmelere göre,

$\phi = 0 \longrightarrow \tau_f = c_u = q_u / 2$

$q_u = 1,00$ kg/cm^2 ve dolayısıyla $c_u = 0,50$ kg/cm^2 = 5,0 t/m^2'dir.

Bu şartlar altında,

$\phi = 0$ için $N_c = 5,7$, $N_q = 1$, $N_\gamma = 0$

$q_d' = (1 + 0,2 * B / L) * c * 5,7 = (1 + 0,2 * 13,00 / 21,90) * 2 / 3 * 5,0 * 5,7$

$= 21,26$ t/m^2

$q_a \leq q_s$ olmalıdır.

$q_d = q_d' + \gamma_1 * D_f$

$q_d = 21,26$ t/m^2 + (1,2 m * 1,80 t / m^3)

$q_d = 23,42$ t/m^2

$$q_s = \frac{q_d}{G_s}$$

$q_s = 23,42 / 3 = 7,81$ t/m^2

$$q_a = \frac{2064,1 ton}{13,0m * 21,9m} = 7,25 \text{ t/m}^2$$

$q_a \leq q_s$ olmalıydı.

7,25 t/m^2 < 7,81 t/m^2 olduğundan kil tabakası için taşıma gücü şartı sağlanır.

Skempton formülüne göre,

$$\bar{q}_d = 5 * \left(1 + 0,2\frac{1,2}{13,0}\right) * \left(1 + 0,2\frac{13,0}{21,9}\right) * 5,0 = 28,48 \text{ t/m}^2$$

$q_d = 28,48 + 1,2 * 1,8 = 30,64$ t/m^2

$$q_s = \frac{q_d}{G_s}$$

$q_s = 30,64 / 3 = 10,21$ t/m^2

$q_a = 7,25$ t/m^2

$q_a \leq q_s$ olmalıydı.

7,25 t/m^2 < 10,21 t/m^2 olduğundan kil tabakası için taşıma gücü şartı sağlanır.

Bütün bu sonuçlara göre, S-2 sondajından elde edilen zemin kesiti için taşıma gücü problemi yoktur.

5.2.1.3 Sondaj S-3 İçin Taşıma Gücünün Hesabı

S-3 sondajından elde edilen zemin kesiti ile N_{30} ve $(N_1)_{60}$ değerleri Şekil 5.3'de verilmiştir.

Temel altında bulunan kil tabakası için,

Tablo 5.6'dan $(N_1)_{60} = 18$ değerine karşılık gelen serbest basınç mukavemeti değeri,

$q_u = 2,25$ kg/cm^2 olarak bulunur.

Suya doygun killerde ani yükleme halinde, toplam gerilmelere göre,

$\phi = 0 \longrightarrow \tau_f = c_u = q_u/2$

$q_u = 2,25$ kg/cm^2 ve dolayısıyla $c_u = 1,125$ kg/cm^2 = 11,25 t/m^2'dir.

Bu şartlar altında,

$\phi = 0$ için $N_c = 5,7$, $N_q = 1$, $N_\gamma = 0$

$q_d' = (1 + 0,2 * B / L) * c * 5,7 = (1 + 0,2 * 13,00 / 21,90) * 2 / 3 * 11,25 * 5,7$

$= 47,83$ t/m^2

$q_a \leq q_s$ olmalıdır.

$q_d = q_d' + \gamma_1 * D_f$

$q_d = 47,83$ t/m^2 + (1,2 m * 1,80 t / m^3)

$q_d = 49,99$ t/m^2

$$q_s = \frac{q_d}{G_s}$$

$q_s = 49,99 / 3 = 16,66$ t/m^2

$$q_a = \frac{2064,1 ton}{13,0m * 21,9m} = 7,25 \text{ t/m}^2$$

$q_a \leq q_s$ olmalıydı.

7,25 t/m^2 < 16,66 t/m^2 olduğundan kil tabakası için taşıma gücü şartı sağlanır.

Skempton formülüne göre,

$$\bar{q}_d = 5 * \left(1 + 0{,}2\frac{1{,}2}{13{,}0}\right) * \left(1 + 0{,}2\frac{13{,}0}{21{,}9}\right) * 11{,}25 = 64{,}09 \text{ t/m}^2$$

$q_d = 64{,}09 + 1{,}2 * 1{,}8 = 66{,}25 \text{ t/m}^2$

$$q_s = \frac{q_d}{G_s}$$

$q_s = 66{,}25 / 3 = 22{,}08 \text{ t/m}^2$

$q_a = 7{,}25 \text{ t/m}^2$

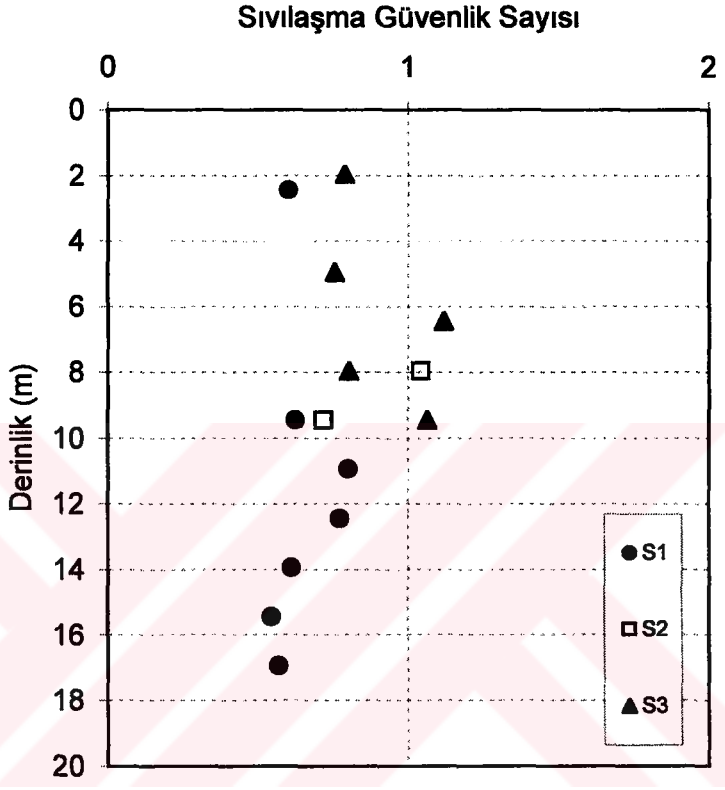
$q_a \leq q_s$ olmalıydı.

$7{,}25 \text{ t/m}^2 < 22{,}08 \text{ t/m}^2$ olduğundan kil tabakası için taşıma gücü şartı sağlanır.

Bütün bu sonuçlara göre, S-3 sondajından elde edilen zemin kesiti için taşıma gücü problemi yoktur.

5.3 Sıvılaşma Analizi

Yürüt Apartmanı'nın yerel zemin koşullarının tespiti amacıyla açılan ve özellikleri daha önceki sayfalarda verilmiş olan 3 adet sondajın Yöntem 1 ve Yöntem 2'ye göre sıvılaşma analizleri yapılmış ve Şekil 5.8'de güvenlik sayılarının zeminde derinlikle değişimi, Şekil 5.9'da da DKGO ile N_{60} ilişkisi verilmiştir.

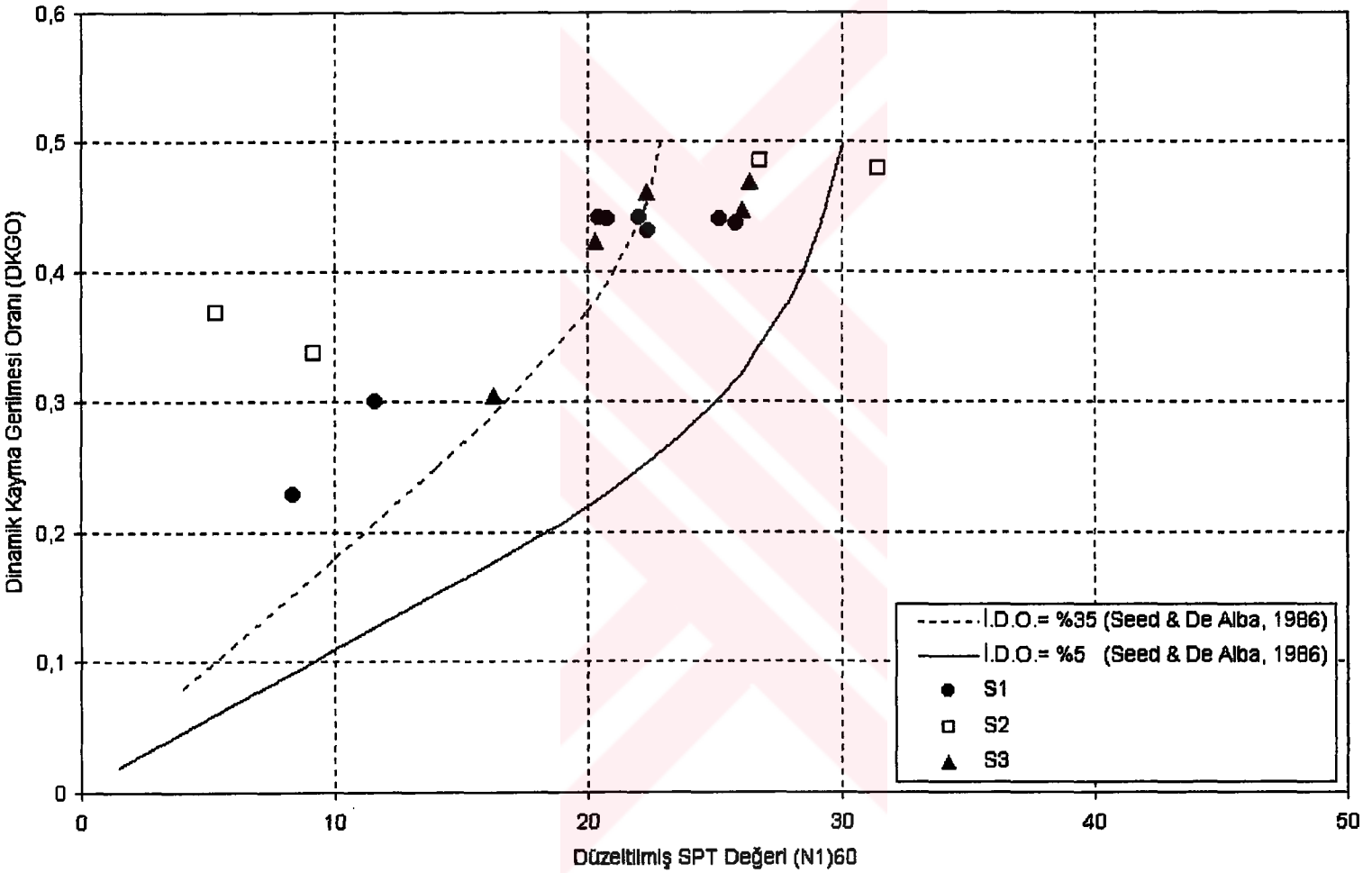


Şekil 5.8 Yürüt Apartmanı sondajlarının sıvılaşma analizi.

Şekil 5.8'den görüldüğü üzere S1 ve S3 sondajlarında sıvılaşma potansiyeli vardır. S1 ve S3'de yüzeye yakın tabakaların, ince dane oranı düşük kum tabakalarından oluşmuş olması, sıvılaşma sonucunun zemin yüzeyinde rahatlıkla görülebilmesini kolaylaştırmıştır.

S2 sondajına ait sıvılaşma analiz sonucunda ise bu sondajda sıvılaşmanın 7,5 m derinlikten alınan numuneyle temsil edilen ince bir kum tabakası dışında ön görülmediği anlaşılmaktadır. 7,5 m'de bulunan ve yaklaşık 3,0 m kalınlığındaki bu tabakada sıvılaşma olması durumunda bile tabakanın üstünde bulunan katı-çok katı kıvamlı ve 24-34 aralığında plastisiteye sahip kalın kil tabakası nedeniyle yapı için bir sorun yaratılmayacağı düşünülmektedir.

Burada bulunan sonuçların Şekil 5.5'de verilen apartman blokları temellerinde gözlenen olaylarla uyumlu olduğuna dikkat edilmelidir.



Şekil 5.9 Yürüt Apartmanı sondajlarından elde edilen zemin numuneleri için DKGO – $(N_1)_{60}$ ilişkisi.

5.4 Sonuç

Vaka analizinde incelendiği üzere 1 zemin ve 4 normal kattan oluşan yapının statik yükler altında taşıma gücü hesaplandığında hiç bir sorun gözükmemektedir. Ancak deprem sonucunda binada yaklaşık 20 cm'lik bir batma ve Doğu yönüne doğru %1,5'luk bir eğilme tespit edilmiştir.

Statik yüklere göre taşıma gücü sağlanmaktadır, ama deprem yükleri nedeniyle siltli kumlarda sıvılaşma, killerde ise taşıma gücü kaybı oluşmuştur.

Bu sonuçlar doğrultusunda, statik yüklemelere göre yapılan taşıma gücü hesabı yeterli olamamaktadır.

6. SONUÇLAR

17 Ağustos 1999 Kocaeli Depremi'nde binlerce insan ölmüş ve bundan çok daha fazlası da yaralanmıştır. Ayrıca Türkiye'nin sanayi açısından en yoğun bölgesinde meydana gelen bu deprem neticesinde oluşan maddi kayıplar, gelişme sürecinde olan Türkiye ekonomisine çok büyük zararlar vermiştir.

Bu yüksek lisans tezi kapsamında depremle ilgili olarak yapılan kaynak taraması ve arazi gözlemleri neticesinde, depremde oluşan yapı hasarlarına birçok faktörün etki ettiği görülmüştür. Örneğin iyi nitelikli olmayan malzeme kullanımı, yapı sisteminin hayati önemdeki elemanlarının teşkilinde özen gösterilmemesi, kötü işçilik, mevcut deprem yönetmeliğine ve yapı inşaa standartlarına uyulmaması ve daha birçok etken rahatlıkla sıralanabilir. Ayrıca mevcut deprem yönetmeliklerine ve yapım esaslarına uyulan ve de uzman kişilerin kontrolünde projesi eksiksiz uygulanan yapılarda çok büyük çoğunlukla, yapıdan beklenen işlev gerçekleşmiştir. Yapı sisteminin geleceği için çok kilit rol oynayan, kolon-kiriş birleşim bölgelerinde etriye sıklaştırılması yapılmaması, etriyelerde 135°'lik kıvırma istenirken işçilik kolaylığı olması için 90°'lik kıvırma yapılması, betonun kalıba yerleştirilmesi esnasında iyi yoğunluklu, donatıyı tam saran bir beton elde etmek için gereken sıkıştırmanın yapılmaması, güçlü kolon-zayıf kiriş ilkesine riayet edilmemesi, yumuşak kat oluşturulması ve kısa kolon yaratılması depremden etkilenen alan içerisinde hasara uğrayan yapılarda en çok karşılaşılan durumlardandır.

Ancak depremde oluşan bütün hasarları sadece yapısal özelliklere bağlamak pek doğru değildir. Tez kapsamında üzerinde durulduğu gibi birçok yerde de yerel zemin koşulları hasarlarda önemli etken olmuştur.

Adapazarı'nda hasarın en yoğun olarak gözlendiği ve tez içerisinde A bölgesi olarak adlandırılan 15 adet mahallede depremden sonra yapıların onarım ve güçlendirilmesi için değişik kişi ve kurumlarca açtırılmış olan 700'ün üzerindeki sondajdan elde edilen verilere göre A bölgesinin yerel zemin koşullarının belirlenmesi ve sıvılaşma analizleri yapıldığında bölgede oluşan ağır hasar ile yerel zemin koşullarının çok yakın bir ilişki içerisinde olduğu görülmüştür. A bölgesi genellikle plastisite indisi düşük plastisiteden plastik olmayana kadar birçok değişik değer alan silt yüzey tabakasından oluşmaktadır. Bu yüzey tabakasının kalınlığı yaklaşık olarak 3,0 m'den başlamak üzere 15,0 m'ye kadar değişik değerler almaktadır.

Ancak zemin olarak tanımladığımız elamanın en önemli özelliklerinden birisi homojen olmama, yani noktadan noktaya değişebilmedir. Bu nedenle az sayıdaki veri ile büyük bir alanın tümünün yerel zemin koşulları hakkında yargıya varılması çoğu zaman mümkün olamamaktadır.

Konu edilen alan için yapılan sıvılaşma analizlerinin, sondajlardan elde edilen numunelerle yapılmış laboratuvar deney sonuçlarına göre değerlendirilmesi neticesinde plastik olmayan veya düşük plastisiteli siltlerin ve ince dane oranları düşük kumların sıvılaşma eğiliminde oldukları anlaşılmaktadır. Ayrıca killerde ve plastik siltlerde kimi yerde taşıma gücü kaybı olduğu anlaşılmaktadır.

Adapazarı'nda YASS çok yüksektir. Ortalama olarak YASS 0,5-3,0 m aralığında mevsimsel yağış miktarlarına bağlı olarak değişik değerler almaktadır.

1998 yılında yürürlüğe giren "Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkındaki Yönetmelik" uyarınca D (Z4) grubu zeminler için YASS'ın 10 m derinlikten daha yukarıda olması durumunda sıvılaşma potansiyelinin incelenmesi istenmektedir. Bu nedenle Adapazarı için bu yönetmelik isteğinin yerine getirilmesi gerekmektedir. Zira Adapazarı'nda incelenen kısımlar için hakim yerel zemin D (Z4) ve C (Z3) grubu zemindir.

Zemin üst tabakasının belirtilen bu kısımlar için, plastik olmayan veya düşük plastik silt ve de siltli kum olması nedeniyle sıvılaşma neticesinde birçok yerde kum volkanları gözlenmiştir.

Tez kapsamında incelenen sondajların çok büyük çoğunluğu yaklaşık olarak 15,0 m derinliğe kadar yapılmış bulunmaktadır.

Vaka analizinde incelenen bina 1983 yılında projelendirilmiş olup, yapı betonarme ve statik proje ve hesaplarında "1975 Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik" esasları iyi bir şekilde uygulanmıştır. Bu kanıya varmada deprem nedeniyle yapı temelinde meydana gelen olaylar etkin olmuştur. Yapının 1 kenarında sıvılaşma, diğer üç kenarında ise taşıma gücü kaybı meydana gelmiş, bu nedenlerle yapı yaklaşık doğu yönüne doğru %1,5 eğik konuma gelip, en büyüğü 20 cm olmak üzere zemine batmıştır. Ancak binanın taşıyıcı sisteminin bu durumuyla depremden önceki durumuna göre yapısal güvenliğini kaybetmediği Altındal ve diğ. (1999)'da ifade edilmektedir.

1975 A.B.Y.Y.H. Yönetmelik ile 1998 A.B.Y.Y.H. Yönetmelik farklılıkları yapının güçlendirilmesi gerekliliği yönünde bir kanı uyandırsa da 1975 Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmeliğin yapı düktilitesini dikkate almadığı, ayrıca üst yapıda deprem sonrası taşıyıcı sistemde hasar oluşmaması nedeniyle de üst yapıda herhangi bir güçlendirmeye gerek duyulmadığı da belirtilmektedir.

Vaka analizinde Yürüt Apartmanı için yapılan sıvılaşma hesabından S1 ve S3 sondajlarından elde edilen zemin kesitlerinde sıvılaşma potansiyelinin yüksek olduğu, S2'de ise sıvılaşma potansiyelinin 7,5 m derinlikten alınan numuneyle temsil edilen ve yaklaşık 3,0 m kalınlığındaki ince kum tabakası dışında olmadığı görülmüştür. Taşıma gücü hesaplarında ise bu yapı için bütün zemin kesitlerinde hiç bir problem olmadığı anlaşılmaktadır. Statik yüklere göre taşıma gücü sağlanmaktadır, ama deprem yükleri karşısında siltli kumlarda sıvılaşma, killerde ise taşıma gücü kaybı oluşmuştur.

Bu sonuçlar doğrultusunda, statik yüklemelere göre yapılan hesap yeterli olamamaktadır.

Yapı radye temel olarak projelendirilmiş ve böylece yapı yükü tekil temellere nazaran çok daha geniş bir alana yayılabilmiştir. Yapıda temel sistemi olarak radye temel seçilmesi oluşabilecek hasarları azaltmıştır.

Ancak radye temel uygulaması tek başına yeterli olamamaktadır. Örneğin Adapazarı'nda birçok yerde gözlendiği üzere YASS'ın yüksek olması nedeniyle temel derinliği çok düşük tutulmuştur. Düşük temel derinliği de, deprem neticesinde sıvılaşma, taşıma gücü kaybı ve oturma sonucunda dönme, ötelenme gibi hasarlarda belirleyici rol oynamıştır.

Bütün bunlar ışığında sıvılaşma potansiyeli olan zeminlerde sıvılaşmaya karşı temel zemininde önlem alarak gerekli taşıma gücü ve oturma tahkikleri de yapılmak kaydıyla, uygun temel sistemi seçilmesi ve mevcut yönetmeliklere uyulması halinde zeminden yapıya çok da olumsuz bir durum etki etmeyecektir.

KAYNAKLAR

Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkındaki Yönetmelik, 1998. İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi, Yayın No: 25, İzmir.

Aksoy, İ.H., 2000. Temel İnşaatı-II Ders Notları, İstanbul.

Alhas, E., 1994. Siltli ve Killi Kumlarda Sıvılaşma, *Yüksek Lisans Tezi,* İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Altındal, A., Kasap, H. ve Özyurt, Z., 2000. *17 Ağustos 1999'da Meydana Gelen Depremin Sakarya, Tığcılar Mahallesi, Çetin Sok., Yürüt Apartmanı'nda Meydana Getirdiği Hasarla İlgili İnceleme ve Tesbit Raporu,* Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Müh. Bölüm Başkanlığı, Sakarya.

Ambraseys, N.N., 1995. The Prediction of Earthquake Peak Ground Acceleration in Europe, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics,* **24,** 467-490.

Ambraseys, N.N., 2000. The Seismicity of the Marmara Sea Area 1800-1899, *Journal of the Earthquake Engineering,* **4-3,** 377-401.

Ambraseys, N.N. and Finkel, C.F., 1991. Long-term Seismicity of Istanbul and Marmara Sea Region , *Terra Nova,* 3, 527-539.

Ankara Üniversitesi, Kocaeli Depremi İnternet Sayfaları, 2001. http://www.ankara.edu.tr/engineering/geological_eng/deprem/kocaeli.html

Ansal, A.., 1999. Geotechnical Factors During 17 August 1999 Kocaeli Earthquake, *Irregular Structures,* I.T.U., İstanbul, **2,** 415-424.

Ansal, A.M., 1999. Strong Motions and Site Amplification, Theme Lecture, *Second International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering,* Lisbon, Portugal, Balkema, Rotterdam, **3,** 879-894.

Ansal, A., Bardet, J.P., Bray, J., Cetin, O., Durgunoglu, T., Erdik, M., Kaya, A., Ural, D., Yilmaz, T. and Youd L., 1999. Initial Geotechnical Observations of the August 17, 1999 Izmit Earthquake, *A Report of the Turkey-US Geotechnical Reconnaissance,* (İnternet Sayfası), http://nisee.berkeley.edu

Arıoğlu, E., ve Yılmaz, A.O., 2000. Çözümlü Problemlerle Yeraltı Mühendislik Yapılarına Depremin Etkileri, TMMOB Maden Mühendisleri Odası, İstanbul.

Aydan, Ö., 1999. A Prelimenary Investigation of Kocaeli Earthquake of August 17, 1999, Türkiye Deprem Vakfi, İstanbul.

Aydan, Ö., Ulusay, R., Hasgür, Z. and Taşkın, B., 2000. A Site Investigation of Kocaeli Earthquake of August 17, 1999, Türkiye Deprem Vakfı, İstanbul.

Aydan, Ö., Ulusay, R., Kumsar, H. and Tuncay, E., 2000. Site Investigation and Engineering Evaluation of The Düzce-Bolu Earthquake of November 12, 1999, Türkiye Deprem Vakfi, İstanbul.

Bağcı, G., 2000. Deprem Öncesi Sismisite-Kuzey Anadolu Fayı'nın Batı Kesiminin Depremselliği (Tarihsel ve Aletsel Dönem) ve Riski, *17 Ağustos 1999 İzmit Körfezi Depremi Raporu,* T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü Deprem Araştırma Dairesi Başkanlığı Yayınları, Ankara.

Barka, A., Akyüz, S., Altunel, E., Sunal, G., Çakır, Z., Dikbaş, A., Yerli, B., Rockwell, T., Dolan, J., Hartleb, R., Dawson, T., Fumal, T., Langridge, R., Stenner, H., Christofferson, S., Tucker, A., Armijo, R., Meyer, B., Chabalier, J.B., Lettis, W., Page, W. and Bachhuber, J., 2000. The August 17, 1999 İzmit Earthquake, M = 7.4, Eastern Marmara Region, Turkey: Study of Surface Rupture and Slip Distribution, *The 1999 İzmit and Düzce Earthquakes: Preliminary Results,* İstanbul Teknik Üniversitesi Yayınları, İstanbul, 15-30.

Barka, A.A. and Kadinsy-Cade, K., 1998. Strike-slip Fault Geometry in Turkey and its Influence on Earthquake Activity, *Journal Tectonics,* **7-3,** 663-684.

Barka, A.A. and Gülen, L., 1987. Age and total displacement of the North Anatolian fault zone and its significance for the better understanding of tectonic history and present day dynamics of the Eastern Mediterranean region, *Abstract book of Melih Tokay Geology Symposium,* **87**, 57-58.

Boğaziçi Üniversitesi Deprem Mühendisliği Bölümü, Kocaeli Depremi İnternet Sayfaları, 2001. http://www.koeri.boun.edu.tr/earthqk/earthqk.html

Bray, J.D., Sancio, R.B., Durgunoglu, H.T., Onalp, A., Seed, R.B., Stewart, J.P., Youd, T.L., Baturay, M.B., Cetin, K.O., Christensen, C., Karadayılar, T. and Emrem, C., 2001. Ground Failure in Adapazari, Turkey, *Proceedings of the XVth International Conference on Soil Mechanics & Geotechnical Engineering, Earthquake Geotechnical Engineering Satellite Conference on Lessons Learned from Recent Strong Earthquakes*, İstanbul, Turkey, August 2001, 19-28.

Celep, Z. ve Kumbasar, N., 2000. Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı, İhlas Matbaacılık Gazetecilik Yayıncılık Sanayi ve Ticaret A.Ş., İstanbul.

Cerit, O., Sezen, F., Nurlu, M., Özsaraç, V., Saraç, N. ve Batman, B., 1994. Adapazarı ve Yakın Yöresinin Neotektonik Özellikleri, *TJK Bildiri Özleri Kitapçığı,* 168 s.

COSMOS Virtual Data Center, İnternet Sayfaları, 2001. http://db.cosmos-eq.org

Çelebi, M., Toprak, S. and Holzer T., 1999. Strong-Motion, Site-Effects and Hazard Issues in Rebuilding Turkey: in Light of the 17 August, 1999 Earthquake and its Aftershocks, *Proceedings ITU-IAHS International Conference on the Kocaeli Earthquake 17 August 1999: A Scientific Assessment and Recommendations for Re-Building,* M. Karaca and D.N. Ural, editors, Istanbul Technical University, İstanbul, 93-110.

Çetin, K.O., Seed, R.B., Der Kiureghian, A., Tokimatsu, K., Harder, L.F. and Kayen R.E., 2000. SPT-Based Probabilistic and Deterministic Assessment of Seismic Soil Liquefaction Initiation Hazard, *Research Report,* **No: 2000/5**, Pasific Earthquake Engineering Research Center.

Demirtaş, R., 2000. Bölgenin Genel Jeolojik Konumu, *17 Ağustos 1999 İzmit Körfezi Depremi Raporu,* T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü Deprem Araştırma Dairesi Başkanlığı Yayınları, Ankara.

Demirtaş, R., 2000. Deprem Öncesi Sismisite-Tarihsel Dönem (1509, 1719, 1754, 1766 ve 1894 Depremleri), *17 Ağustos 1999 İzmit Körfezi Depremi Raporu,* T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü Deprem Araştırma Dairesi Başkanlığı Yayınları, Ankara.

Demirtaş, R., Erkmen, C. ve Yılmaz R., 2000. Yüzey Faylanması, *17 Ağustos 1999 İzmit Körfezi Depremi Raporu,* T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü Deprem Araştırma Dairesi Başkanlığı Yayınları, Ankara.

Deprem Araştırma Dairesi, İnternet Sayfaları, 2001. http://www.deprem.gov.tr

Dr. Orhan Cerit'e ait internet sitesi, İzmit Depremi İnternet Sayfaları, 2001. http://mail.cumhuriyet.edu.tr/~cerit/deprem/izmit/imgindex.htm

EERI (Earthquake Engineering Research Institute), İzmit Depremi İnternet Sayfaları, 2001. http://www.eeri.org/earthquakes/Reconn/Turkey0899/Turkey0899.html

EQE International, İzmit Depremi İnternet Sayfaları, 2001. http://www.eqe.com/revamp/turkey2.htm

Erdik, M. and Durukal, E., 2001. 1999 Kocaeli and Düzce, Turkey Earthquakes: Strong Ground Motion, *Proceedings of the XVth International Conference on Soil Mechanics & Geotechnical Engineering, Earthquake Geotechnical Engineering Satellite Conference on Lessons Learned from Recent Strong Earthquakes*, İstanbul, Turkey, August 2001, 93-112.

Erken, A., 2001. Kişisel görüşme.

Erken, A., 2001. The Role of Geotechnical Factors on Observed Damage in Adapazari, *Proceedings of the XVth International Conference on Soil Mechanics & Geotechnical Engineering, Earthquake Geotechnical Engineering Satellite Conference on Lessons Learned from Recent Strong Earthquakes*, İstanbul, Turkey, August 2001, 29-32.

Erken, A., 1999. The Effect of Soil Condition During Kocaeli Earthquake. http://geophysics.gg.utk.edu/izmit/liq.htm

Erken, A. ve Ansal, A.M., 1994. Liquefaction Characteristics of Undisturbed Sands Performance of Ground and Soil Structure During Earthquakes, *Proceedings of the 13th International Conference on Soil Mechanics & Foundation Engineering*, Napoli, Italy, December 1994, 165-170.

Hasgür, Z., 2000. Mühendislik Sismolojisi Ders Notları, İstanbul.

Hiroshima Üniversitesi, Japonya, İzmit Depremi İnternet Sayfaları, 2001. http://www.home.hiroshima-u.ac.jp/kojiok/anatolia.htm

Hu, Y.X, Liu, S.C. and Dong, W., 1996. Earthquake Engineering, E α FN Spon, London.

IRIS (Incorporated Research Institutions for Seismology), İzmit Depremi İnternet Sayfaları, 2001. http://www.iris.washington.edu/DOCS/turkey.htm

İshihara, K., 1996. Soil Behavior in Earthquake Geotechnics, Clarendon Press, Oxford.

İshihara, K., 1993. Liquefaction and Flow Failure During Earthquakes: Thirty-Third Rankine Lecture, *Geotechnique*, London, **43-3**, 351-415.

İshihara, K., 1985. Stability of Natural Deposits During Earthquakes, *Proceedings of the 11th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, San Francisco, **1**, 321-376.

İstanbul Teknik Üniversitesi, Kocaeli Depremi İnternet Sayfaları, 1999. http://ciragan.cc.itu.edu.tr/deprem/ana.html

İyisan, R., 2000. Temel İnşaatı-II Ders Notları, İstanbul.

Japon İnşaat Mühendisleri Birliği, İzmit Depremi İnternet Sayfaları, 2001. http://www.jsce.or.jp/committee/eec2/report/HP-Turkey/kocaeli_E.html

Ketin, İ., 1948. Uber die Tectonisch-Mechanischen Folgerungen aus den Grossen Anato-Lischen Erdbeben des Letzten Dezenniums, *Geologie Rundsh*, **36**, 77-83.

Kiku, H., Yoshida, N., Yasuda, S., Irisawa, T., Nakazawa, H., Shimizu, Y., Ansal, A. and Erken, E., 2001. In-situ Penetration Tests and Soil Profiling in Adapazari, Turkey, *Proceedings of the XVth International Conference on Soil Mechanics & Geotechnical Engineering, Earthquake Geotechnical Engineering Satellite Conference on Lessons Learned from Recent Strong Earthquakes*, İstanbul, Turkey, August 2001, 259-265.

Kumbasar, V., ve Kip, F., 1992. Zemin Mekaniği Problemleri, Çağlayan Kitabevi, İstanbul.

Kurtuluş, Ö., 1999. Depremin Batıya Göçü, *Bilim ve Teknik Dergisi*, Eylül 1999. http://www.biltek.tubitak.gov.tr/deprem/batiya.html http://www.biltek.tubitak.gov.tr/deprem/batiya1.html

Liao, S.S.C. and Whitman, R.V., 1986. Overburden Correction Factor for SPT in Sand, *Journal of Geotechnical Engineering,* ASCE, **112-3**, 373-377.

MCEER (Multidisciplinary Center for Earthquake Engineering Research), İzmit Depremi İnternet Sayfaları, 2001. http://mceer.buffalo.edu/research/turkeyeq/default.asp

MTA, İnternet Sitesi, 2001. http://www.mta.gov.tr/index.html

NCEER, 1997. Proceedings of the NCEER Workshop on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils, Edited by Youd, T.L., Idriss, I.M., *Technical Report*, **No: NCEER-97-0022**, December.

Nunez, I.L., 2001. Compound Growth or Compound Seismic Risk of Destruction-Some vulnerability lessons from the Izmit, Turkey,Earthquake of 17 August 1999, *Second EuroConference on Global Change and Catastrophe Risk Management: Earthquake Risks in Europe*, Laxenburg, Austria, July 2000, 1-13.

Nurlu, M., 2000. 17 Ağustos 1999 İzmit Körfezi Depreminin Tektonik Özellikleri, *17 Ağustos 1999 İzmit Körfezi Depremi Raporu,* T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü Deprem Araştırma Dairesi Başkanlığı Yayınları, Ankara.

Nurlu, M., 1999. Almacık dağı (Adapazarı) çevresinin deprem risk alanları ile aktif tektoniği, *Doktora Tezi,* Hacettepe Üniversitesi, İstanbul.

Nurlu, M., Cerit, O. ve Sezen, F., 1999. 17 Ağustos 1999 Gölcük ve 12 Kasım 1999 Düzce Depremleri Tektonik İncelemesi, Deprem Araştırma Dairesi, http://www.deprem.gov.tr/rapor/DEPREM-web.htm

Nurlu, M., Batman, B., Chorowicz, J. and Genç, M.A., 1995. A geometrical approach relating to the movement mechanism of North Anatolian Fault Zone, *International Symposium on the Geology of the Black Sea region,* Erler, A., Ercan, T., Ergüzer, B. and Örçen, S. (ed), Ankara, 283-291.

ODTÜ Afet Yönetimi Uygulama ve Araştırma Merkezi, İnternet Sitesi, 2001. http://www.metu.edu.tr/home/wwwdmc/main-t.html

OYO Co., İzmit Depremi İnternet Sayfaları, 2001. www.oyo.co.jp/english/topic_e/turkey_e.html

Özaydın, K., 2000. Zemin Mekaniği, Birsen Yayınevi Ltd. Şti., İstanbul.

Özaydın, K., 1982. Zemin Dinamiği, Deprem Mühendisliği Türk Milli Komitesi Yayınları No: 1, İstanbul.

Özmen, B., 2000. İzmit Körfezi Depremi'nin Hasar Durumu (Rakamsal Verilerle), Türkiye Deprem Vakfı, İstanbul.

Özmen, B., 2000. Eş-Şiddet Haritası, *17 Ağustos 1999 İzmit Körfezi Depremi Raporu,* T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü Deprem Araştırma Dairesi Başkanlığı Yayınları, Ankara.

Özsaraç, V., 1997. Sapanca Gölü Kuzeyinin (Adapazarı-W) Tektonik İncelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi,* Hacettepe Üniversitesi, Ankara.

Özüdoğru, K., Tan, O. ve Aksoy, İ.H., 1996. Çözümlü Problemlerle Zemin Mekaniği, Birsen Yayınevi Ltd. Şti., İstanbul.

Seed, H.B. and Idriss, I.M., 1971. Simplified Procedure for Evaluating Soil Liquefaction Potential, *Journal of the Soil Mechanics and Foundation Div.,* ASCE, **97-SM9**, 1249-1273.

Seed, H.B. and Idriss, I.M., 1982. Ground Motions and Soil Liquefaction During Earthquakes, EERI Monograph, Berkeley, California.

Seed, H.B. and Peacock, W.H., 1971. Test Procedures for Measuring Soil Liquefaction Characteristics, *Journal of the Soil Mechanics and Foundation Div.,* ASCE, **97-8**, 1099-1199.

Seed, H.B., Tokimatsu, K., Harder, L.F. and Chung, R.M., 1985. Influence of SPT Procedures in Soil Liquefaction Resistance Evaluations, *Journal of Geotechnical Engineering,* ASCE, **111-12**, 1425-1445.

Seed, R.B., Chang, S.W., Dickenson, S.E. and Bray, J.D., 1997. Site-Dependent Seismic Response Including Recent Strong Motion Data, *XIV International Conf. On Soil Mechanics and Foundation Engineering,* Hamburg, Germany, A. A. Balkema Publ., Sept. 6-12, 125-134.

Seed, R.B., Çetin, K.O., Moss, R.E.S, Kammerer, A.M., Wu, J., Pestana, J.M. and Reimer, M.F., 2001. Recent Advances in Soil Liquefaction Engineering and Seismic Site Response Evaluation, National Information Service for Earthquake Engineering University of California, Berkeley Web Site. http://nisee.berkeley.edu/library/seed/

Sıvılaşma İle İlgili Bir İnternet Sitesi, 2001. http://www.liquefaction.com

Sipahioğlu, S., 1984. Kuzey Anadolu Fay Zonu ve Çevresinin Deprem Etkinliğinin İncelenmesi, *Deprem Araştırma Bülteni*, Ankara, **45**, 5-138.

Stein, R.S., Barka, A. and Dieterich, J.H., 1997. Progressive Failure on the North Anatolian Fault Since 1939 by Earthquake Stress Triggering, *Geophysical Journal International,* **128**, 594-604.

Şaroğlu, F., 1988. Age and offset of the North Anatolian fault, *METU journal of pure and applied sci.,* **21**, 1-3, 65-79.

Şengör, A.M.C., Görür, N. and Şaroğlu, F., 1985. Strike-Slip Faulting and Related Basin Formation in Zones of Tectonic Escape: Turkey as a Case Study, Strike-Slip Deformation, Basin Formation and Sedimentation, *Biddle, T.R. and Christie-Blick, N. (ed.),Soc. Econ. Paleontol. Mineral., Special publication,* **37**, 227-264.

Tatar, Y., 1975. Tectonic Structures Along North Anatolian Fault Zone, Northeast of Refahiye (Erzincan), *Tectonophysics,* **29**, 401-409.

Technical Committe for Earthquake Geotechnical Engineering, 1999. Manual for Zonation on Seismic Geotechnical Hazards (Revised Version), ISSMGE, TC4.

Tezcan, S. and Leri, L., 2001. Shear Wave Propagation and Liquefaction in Layered Soils, Türkiye Deprem Vakfi, İstanbul.

Tezcan, S. and Özgirgin, F., 2001. Soil Amplification and Case Studies, Türkiye Deprem Vakfi, İstanbul.

Tokay, M., 1973. Kuzey Anadolu Fay Zonunun Gerede ile Ilgaz Arasındaki Kısmında Jeolojik Gözlemler, *Kuzey Anadolu Fayı ve Deprem Kuşağı Sempozyumu,* Ankara, s. 12-29.

Ulusay, R., 1994. Uygulamalı Jeoteknik Bilgiler, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları, Ankara.

USGS (U.S. Geological Survey), Kocaeli Depremi İnternet Sayfaları, 2001. http://quake.wr.usgs.gov/research/geology/turkey/index.html

Ülker, R., 2000. *Sakarya, Tığcılar Mahallesi, Çetin Sok., Yürüt Apartmanı Geoteknik ve Taşıyıcı Sistem Değerlendirme Raporu,* Ülker Mühendislik ve Müşavirlik Bürosu, İstanbul.

Yasuda, S., Yoshida, N. and Irisawa, T., 2001. Settlement of Buildings due to Liquefaction during the 1999 Kocaeli Earthquake, *Proceedings of the XVth International Conference on Soil Mechanics & Geotechnical Engineering, Earthquake Geotechnical Engineering Satellite Conference on Lessons Learned from Recent Strong Earthquakes*, İstanbul, Turkey, August 2001, 77-82.

Youd, T.L. and Noble, S.K., 1997. Liquefaction Criteria Based on Statistical and Probabilistic Analyses, *Proceedings of the NCEER Workshop on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils*, December 1997, 201-205.

Youngs, R.R. Abrahamson, N., Makdisi, F.I. and Sadigh, K., 1995. Magnitude Dependent Variance of Peak Ground Acceleration, *Bulletin of the Seismological Society of America,* **85-4**, 1161-1176.

ÖZGEÇMİŞ

Recep Okan, 1978 yılında İçel'in Tarsus ilçesinde doğdu. İlk öğrenimini Tarsus Kâzım Taşkın İlkokulu'nda, orta öğrenimini Tarsus Cengiz Topel Lisesi'nin Orta Okul kısmında ve lise öğrenimini de Fen Liseleri sınavında başarılı olarak Mersin Fen Lisesi'nde 1995 yılında tamamladı. Aynı yıl üniversite sınavında başarılı olarak İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'ne girmeye hak kazandı. Üniversitedeki ilk öğrenim yılında İ.T.Ü. Yabancı Diller Bölümü'nde kendi isteği ile İngilizce Hazırlık öğrenimine devam etti. İnşaat Mühendisliği Bölümü'nden 2000 yılında mezun oldu. Mezuniyet sonrasında öğrenimine ara vermeden İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı Yapı Mühendisliği (Deprem) Programı'nda yüksek lisans öğrenimine başladı. 2001 yılı Aralık ayında yüksek lisans tezini tamamlayarak Ocak ayının ilk haftası enstitüye teslim etti.

İ.T.Ü. MERKEZ KÜTÜPHANESİ DOKÜMANTASYON MERKEZİ