

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ADAPAZARI OVASINDAKİ ZEMİNLERİN GENEL
DAĞILIMI VE UYGUN ZEMİN İYİLEŞTİRME
YÖNTEMLERİNİN BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş.Müh. Ertuğrul ÖZTÜRK

Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
Enstitü Bilim Dalı : GEOTEKNİK
Tez Danışmanı : Prof. Dr. Hasan ARMAN

Haziran 2006

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ADAPAZARI OVASINDAKİ ZEMİNLERİN GENEL
DAĞILIMI VE UYGUN ZEMİN İYİLEŞTİRME
YÖNTEMLERİNİN BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş.Müh. Ertuğrul ÖZTÜRK

Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜH.

Enstitü Bilim Dalı : GEOTEKNİK

Bu tez 14 / 06 /2006 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Hasan ARMAN
Jüri Başkanı

Doç. Dr. Zeki GÜNDÜZ
Üye

Yrd. Doç.Dr. Şefik Ramazanoğlu
Üye

ÖNSÖZ

Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Geoteknik Bilim Dalı'nda yüksek lisans tezi olarak hazırlanan bu çalışmada; pilot bölge olarak seçilen ve Adapazarı kentinin merkezini oluşturan mahallelerin zemin yapısını belirleyerek literatürdeki zemin iyileştirme metotlarını bu bölgelere uygulayabilmektir.

Günümüzde gelişen teknoloji ile Amerika, Avrupa ve Türkiye'de zemin iyileştirme metotları başarıyla uygulanmaktadır. Bu metotlar sayesinde zaman ve ekonomi açısından büyük faydalar sağlanmaktadır ve depreme dayanıklı yapılar tasarlanabilmektedir.

Yaptığım çalışmalar süresince desteğini benden esirgemeyen ve öğrencisi olmakla gurur duyduğum danışman hocam Prof. Dr. Hasan Arman'a teşekkür ederim.

Tezin hazırlanmasında desteğini gördüğüm ve benden yardımlarını esirgemeyen Jeoloji Mühendisi Nigar Coşar' a, Jeofizik Mühendisi Nükhet Pelit Tanrıkulu' ya, Jeoloji Mühendisi Yasemin Düzgün'e ve Jeoloji Mühendisi Kenan Çolak' a teşekkür ederim.

Bu çalışmanın başından sonuna bana her zaman destek olan ve yardım eden nişanlım Çevre Yüksek Mühendisi Aslıhan Aras' a teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	viii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	ix
TABLolar LİSTESİ.....	xii
RESİMLER.....	xiv
ÖZET.....	xvi
SUMMARY.....	xvii

BÖLÜM 1.

GİRİŞ.....	1
1.1. Sakarya ve Adapazarı Genel.....	1
1.2. Çalışma Alanı.....	2
1.3. Araştırmanın Amacı.....	4
1.4. Çalışma Yöntemi.....	5

BÖLÜM 2.

SAKARYA İLİNE GENEL BİR BAKIŞ.....	6
2.1. İlin Adının Kaynağı.....	6
2.2. Coğrafyası.....	6
2.2.1. İl topraklarının dağılımı.....	7
2.2.2. Dağları.....	8
2.2.3. Platoları.....	8
2.2.4. Vadileri.....	9
2.2.5. Akarsuları.....	9
2.2.5.1. Sakarya Nehri.....	9
2.2.5.2. Çark Suyu.....	11

2.2.5.3. Dinsiz Çayı.....	11
2.2.5.4. Mudurnu Çayı.....	11
2.2.5.5. Darıçayır Deresi.....	11
2.2.5.6. Maden Deresi.....	11
2.2.5.7. Melen Deresi.....	12
2.2.6 . Gölleri.....	12
2.2.6.1. Sapanca Gölü.....	12
2.2.6.2. Gökçeören Gölü.....	14
2.2.6.3. Poyrazlar Gölü.....	15
2.2.6.4. Taşkısık Gölü.....	15
2.2.7. Ovaları.....	15
2.2.7.1. Akova (Adapazarı) Ovası.....	15
2.2.7.2. Pamukova.....	16
2.2.7.3. Söğütlü Ovası.....	16
2.2.8. İklim.....	17
2.2.9. Bitki örtüsü.....	17

BÖLÜM 3.

ADAPAZARI VE YAKIN ÇEVRESİNİN JEOLJİK VE JEOMORFOLOJİK ÖZELLİKLERİ.....

3.1. Doğu Marmara Bölgesinin Jeolojik Evrimi.....	18
3.2. Sakarya İlinin Jeolojisi.....	19
3.3. Adapazarı Ovası (Akova).....	21
3.4. Akovanın Oluşumu Hakkında Görüşler.....	22
3.5. Adapazarı Jeomorfolojisi ve Jeolojisi.....	28

BÖLÜM 4.

ADAPAZARI' NIN DEPREMSELLİĞİ VE 17 AĞUSTOS DEPREMİ.....

4.1. Kuzey Anadolu Fayı (KAF).....	31
4.2. Deprem Bölgesinin Jeolojik, Morfolojik ve Depremsellik Özellikleri.....	32
4.3. Marmara Bölgesi' nin Tektoniği.....	37

4.4. 17 Ağustos 1999 Depreminin Özellikleri.....	39
4.5. Adapazarı' nın Depremselliği.....	41
4.6. Zemin ve Temel Mühendisliği Değerlendirmeleri.....	45
BÖLÜM 5.	
SIVILAŞMA VE ZEMİN SIVILAŞMASININ 17 AĞUSTOS DEPREMİNE	
ETKİSİ.....	46
5.1. Sıvılaşma Nedir?.....	46
5.2. Sıvılaşma Mekanizması.....	47
5.3. Adapazarı Sıvılaşma Potansiyeli ve Sıvılaşma Ortamları.....	48
5.4. Sıvılaşmaya Uygun Zeminlerde Hasarın Azaltılması.....	55
BÖLÜM 6.	
ADAPAZARI ZEMİNLERİNİN ÖZELLİKLERİ.....	
6.1. Adapazarı Zeminlerine Genel Bir Bakış.....	57
6.2. Adapazarı Yer Altı Suyu.....	65
6.3. Pilot Bölge Seçilen Mahallerin Zemin Yapısı.....	67
BÖLÜM 7.	
PROBLEMLİ ZEMİNLERDE UYGUN ÇÖZÜMLER.....	
7.1. Zemin İyileştirme Kavramı ve Tarihte Zemin İyileştirmeleri...	72
7.2. Zemin İyileştirme Nedenleri ve Zemin İyileştirme	
Yöntemlerine Etkileyen Faktörler.....	73
7.2.1. Sıvılaşma Potansiyelinin Zemin İyileştirme Yöntemlerine	
Etkisi.....	75
7.3. Zemin İyileştirme Metotları.....	76
7.3.1. Sıkıştırma Yöntemleri.....	76
7.3.1.1. Vibrokompaksiyon.....	77
7.3.1.2. Kum sıkıştırma kazıkları	
(Titreşimli boru ve çubuklar).....	80
7.3.1.3. Kompaksiyon kazıkları.....	81
7.3.1.4. Dinamik kompaksiyon (Ağırlık düşürme).....	82

7.3.1.5. Patlatma.....	86
7.3.2. Ön yükleme metodu ve düşey drenler.....	88
7.3.3. Isıl işlemler.....	92
7.3.3.1. Isıtarak iyileştirme.....	92
7.3.3.2. Soğutarak iyileştirme.....	93
7.3.4. Geotekstilller (Geosentetikler).....	94
7.3.5. Donatılarak iyileştirme.....	101
7.3.5.1. Mini kazıklar.....	101
7.3.5.2. Fore kazıklar.....	103
7.3.5.3. Zemin çivileri.....	107
7.3.5.4. Donatılı zemin (toprakarme).....	109
7.3.6. Derin karıştırma.....	110
7.3.7. Taş kolonlar.....	111
7.3.8. Enjeksiyon yöntemi.....	115
7.3.8.1. Permeasyon (Sızdırma-emdirme) enjeksiyonu...	118
7.3.8.2. Çatlatma enjeksiyonu.....	122
7.3.8.3. Kompaksiyon enjeksiyonu.....	123
7.3.8.4. Jet enjeksiyonu (jet-grout).....	126
7.3.9. Zemin cinsine göre iyileştirme metotlarının uygulanabilirliği.....	131
7.3.10. Zemin iyileştirme metotlarının kontrolü.....	133
7.3.10.1. Laboratuvar deney teknikleri.....	133
7.3.10.2. Arazi deney teknikleri.....	133
7.3.10.3. Jeofizik deney teknikleri.....	134

BÖLÜM 8.

ZEMİN İYİLEŞTİRME METOTLARININ ADAPAZARINDA

UYGULANABİLİRLİĞİ VE BUGÜNE KADAR YAPILAN İYİLEŞTİRME

YÖNTEMLERİNDEN BAZI ÖRNEKLER.....	135
8.1. Adapazarı'nda Yapılmış İyileştirme Metotlarından Örnekler...	137
8.1.1. Kum dren uygulaması.....	137
8.1.2. Çimento enjeksiyonu uygulaması.....	140
8.1.3. Mini kazık uygulaması.....	141

8.1.4. Taş kolon uygulaması.....	143
8.2. Zemin İyileştirme Metotlarının Adapazarı' nda Uygulanabilirliği.....	145
BÖLÜM 9. SONUÇLAR.....	150
BÖLÜM 10. TARTIŞMA VE ÖNERİLER.....	153
KAYNAKLAR.....	155
EKLER.....	163
ÖZGEÇMİŞ.....	178

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

CPT	:Koni Penetrasyon Deneyi
DMT	:Dilatometre Deneyi
KAF	:Kuzey Anadolu Fayı
KAFZ	:Kuzey Anadolu Fay Zonu
KTa	:Akveren Formasyonu
Ms	:Yüzey Dalgası Büyüklüğü
Mw	:Moment Büyüklüğü
Pç	:Portland Çimento
PMT	:Prisiyometri Deneyi
SPT	:Standart Penetrasyon Deneyi
YASS	:Yer Altı Su Seviyesi

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Sakarya İli ve komşu iller.....	1
Şekil 1.2. Çalışma alanının yer bulduru haritası.....	4
Şekil 2.1. Sakarya fiziki haritası.....	7
Şekil 2.2. Sakarya Nehri havzası.....	10
Şekil 3.1. Adapazarı ve çevresinin jeomorfolojik yapısı.....	20
Şekil 3.2. Adapazarı Ovası ve yakın çevresinin sayısal yükselti haritası.....	21
Şekil 3.3. Adapazarı' nın KD' den GB' ye doğru morfolojik görünümü.....	30
Şekil 3.4. Adapazarı merkez jeoloji haritası.....	30
Şekil 4.1. Kuzey Anadolu Fayı.....	32
Şekil 4.2a. İzmit Körfezi' nin batıdan doğuya doğru üç boyutlu uydu görüntüsü.....	33
Şekil 4.2b. İzmit Körfezi' nin batıdan doğuya doğru üç boyutlu uydu görüntüsü.....	33
Şekil 4.2c. Akyazı-İzmit Körfezi arasının üç boyutlu uydu görüntüsü.....	34
Şekil 4.2d. Akyazı-İzmit Körfezi arasının üç boyutlu uydu görüntüsü.....	34
Şekil 4.2e. Gölyaka-Mudurnu vadisi civarının üç boyutlu uydu görüntüsü.....	35
Şekil 4.2f. Gölyaka-Mudurnu vadisi civarının üç boyutlu uydu görüntüsü.....	35
Şekil 4.3. Deprem bölgesinin kabartma haritası.....	36
Şekil 4.4a. Aletsel döneme ait deprem etkinliği.....	37
Şekil 4.4b. 17-31 Ağustos arasındaki artçı şok dağılımı.....	37
Şekil 4.4c. 1-17 Eylül arasındaki artçı şok dağılımı.....	37
Şekil 4.5. Çınarcık, Karamürsel, İzmit Baseni ve Sapanca Gölü Segmenti...	38
Şekil 4.6. 17 Ağustos depremi hasar dağılım haritası.....	42
Şekil 4.7. Afet bölgesi ve yakın çevresinin aktif fay haritası.....	43
Şekil 4.8. Sakarya İli deprem haritası.....	44

Şekil 5.1. Sıvılaştırmanın meydana gelmesi ve tanelerin hareketi.....	47
Şekil 5.2. Depremin etkilediği bölgede değişik lokasyonlarda sıvılaştırılan zeminlere ait dane boyu dağılımı eğrileri ve sıvılaştırma sınırları...	54
Şekil 6.1. Adapazarı ilçesinde açılan bazı sondaj yerleri.....	58
Şekil 6.2. Adapazarı'nın ilk on beş metredeki zemin tabakaları.....	59
Şekil 6.3. Adapazarı şehrinin tipik kesidi.....	60
Şekil 6.4. Adapazarı'nda ağır hasar alan bölgeden zemin kesidi.....	60
Şekil 6.5. Adapazarı sayısal haritası.....	61
Şekil 6.6. Belli derinliklerde Adapazarı zemin haritası.....	62
Şekil 6.7. Adapazarı YASS seviyeleri.....	66
Şekil 6.8. Pilot bölgelerin sayısal haritası.....	67
Şekil 7.1. İnceler yüzdesine ve vibrokompaksiyona bağlı penetrasyon direnci artışı.....	77
Şekil 7.2. Vibrokompaksiyon yöntemi.....	78
Şekil 7.3. Vibrokompaksiyon ile sıkıştırmaya elverişli zeminlerin dane dağılımı.....	79
Şekil 7.4. Kum kazıkları oluşturma safhaları.....	80
Şekil 7.5. Sıkıştırma kazıkları ile iyileştirme.....	81
Şekil 7.6. Kompaksiyon kazıklarının uygulanması.....	82
Şekil 7.7. Yapı ve ek dolgu ile killi zeminin oturma ve zaman grafiği.....	90
Şekil 7.8. Düşey dren şematik gösterimi.....	91
Şekil 7.9. Temel kazısında soğutma işlemi.....	94
Şekil 7.10. Geotekstil uygulaması ile alt temel durumu.....	95
Şekil 7.11. Geotekstil ile üniform yük dağılımı.....	96
Şekil 7.12. Yamaç stabilitesinde mini kazık uygulaması.....	102
Şekil 7.13. Zemin çivili duvar inşaatı.....	108
Şekil 7.14. Donatılı zemin duvar kesiti.....	109
Şekil 7.15. Derin karıştırma metodu ile zemin iyileştirilmesi.....	111
Şekil 7.16. Gevşek zeminlerde vibrokompaksiyon ile taş kolon yapımı.....	112
Şekil 7.17. Enjeksiyon teknikleri.....	117
Şekil 7.18. Kademeli enjeksiyon yöntemi.....	120
Şekil 7.19. Tube a'Manchette sisteminin detayı.....	121
Şekil 7.20. Düşey yönde çatlakların oluşumu ve yatay sıkıştırma.....	123

Şekil 7.21. Kompaksiyon enjeksiyonunun şematik gösterimi.....	123
Şekil 7.22. Kompaksiyon enjeksiyonu karışımındaki kum için öngörülen dane çapı dağılım aralığı.....	125
Şekil 7.23. Jet enjeksiyonu ile zemin iyileştirilmesi.....	126
Şekil 7.24. Jet enjeksiyonu şematik gösterimi.....	126
Şekil 7.25. Jet 1 yöntemi ile jet enjeksiyonu.....	127
Şekil 7.26. Jet 2 yöntemi ile jet enjeksiyonu.....	128
Şekil 7.27. Jet 3 yöntemi ile jet enjeksiyonu.....	128
Şekil 7.28. Süper jet ile jet enjeksiyonu.....	129
Şekil 8.1. Adapazarı zeminlerine uygulanan taş kolon kesiti.....	145

TABLolar LİSTESİ

Tablo 1.1. Pilot bölge için seçilen mahalleler.....	3
Tablo 3.1. Jeolojik zaman cetvelinin bir bölümü.....	19
Tablo 4.1. 17 Ağustos 1999 Depremi' nden etkilenen binaların Adapazarı, İzmit ve Yalova şehirlerine ait hasar sonuçları.....	43
Tablo 5.1. Adapazarı ve çevresindeki hasarlı mahalle ve semtlerin dağılışı.....	55
Tablo 6.1. Mahalle kısaltmaları.....	67
Tablo 6.2. Tez kapsamında kullanılan zemin etüt sayısı.....	68
Tablo 6.3. Ortalama zemin emniyet gerilmesi ve YASS seviyesi değerleri..	68
Tablo 6.4. TS 1500/2000 hükümlerine göre pilot bölgelerdeki mevcut zemin sınıfları.....	69
Tablo 6.5. Sıvılaşma potansiyeli gözlenen zemine ait geoteknik değerler...	70
Tablo 7.1. Zemin iyileştirme teknikleri ve kullanılma amaçları.....	75
Tablo 7.2. Vibrokompaksiyon metodunun zemin cinslerine göre etkinlik derecesi.....	79
Tablo 7.3. Zemin tipine bağlı "n" katsayısı.....	85
Tablo 7.4. Geosentetiklerin kullanım amaçları.....	94
Tablo 7.5. Geotekstillerin kullanım amaçları.....	95
Tablo 7.6. Enjeksiyon malzemelerinin sınıflandırılması.....	119
Tablo 7.7. Zemin cinsine göre iyileştirme yöntemi.....	131
Tablo 8.1. Adapazarı' nda yapılan iyileştirme şekilleri ve sayıları.....	135
Tablo 8.2. Tığcılar mahallesinde uygulanan taş kolon yöntemleri hakkında genel bilgi.....	136
Tablo 8.3. Adapazarı' nda yapılan iyileştirmeler.....	136
Tablo 8.4. Etüt sonuçlarına göre zemin durumu.....	137
Tablo 8.5. Yapılan kum drenler hakkında detaylı bilgi.....	140
Tablo 8.6. Taş kolon uygulaması yapılan zeminin yapısı.....	143

Tablo 8.7. Taş kolon uygulaması için genel özellikler.....	144
Tablo 8.8. Dane çaplarına göre zemin iyileştirme metotları.....	146
Tablo 8.9. Adapazarı' nda zemin iyileştirme metotlarının uygulanabilirliği.....	147
Tablo 8.10. Pilot bölgelerde uygulanabilecek iyileştirme metotları.....	148

RESİMLER LİSTESİ

Resim 1.1. Adapazarı Merkez Belediyesi önünden bir görünüş.....	2
Resim 2.1. Sakarya Nehri ve Gökçekaya Barajı.....	10
Resim 2.2a. Sapanca Gölü' nden bir görünüş.....	13
Resim 2.2b. Sapanca Gölü' nden bir görünüş.....	13
Resim 4.1. Arazide görülen yüzey kırıkları ve yüzey kırığı üzerinde gözlenen yaklaşık 3 metrelik yerdeğiştirme.....	40
Resim 4.2. Arifiye demiryolunda meydana gelen 2.7 metrelik yanıl Yer değiştirmeler.....	40
Resim 5.1. Adapazarı' nda sıvılaşma sonucu devrilmiş(a), geriye yatmış(b) zemine oturmuş-gömülmüş(c).....	50
Resim 5.2. Adapazarı' nda sıvılaşmaya bağlı tipik kum kaynamaları.....	51
Resim 5.3. Sıvılaşma nedeniyle yükselen kaldırım.....	52
Resim 5.4. Adapazarı' nda hasarsız binalara örnek.....	53
Resim 7.1. Dinamik kompaksiyon yöntemi.....	83
Resim 7.2. Patlatma ile zemin iyileştirilmesi.....	87
Resim 7.3. İzmit Otoyolunda düşey dren uygulaması.....	89
Resim 7.4. Düşey dren uygulamasından sonra zemin suyu tahliyesi için bırakılan düşey dren kanal çıkışı.....	90
Resim 7.5. Zemine uygulanmış prefabrike dren.....	92
Resim 7.6. Örgüsüz geotekstil rülosu.....	96
Resim 7.7. Koruma amaçlı geotekstil uygulaması.....	97
Resim 7.8. Ayırma amaçlı geotekstil uygulaması.....	97
Resim 7.9. Filtrasyon amaçlı geotekstil uygulaması.....	98
Resim 7.10. Drenaj amaçlı geotekstil uygulaması.....	98
Resim 7.11a. Asfalt geotekstil uygulaması-takviye geotekstilleri.....	99
Resim 7.11b. Asfalt geotekstil uygulaması-takviye geotekstilleri.....	99
Resim 7.12. Geomembran tünel uygulaması.....	100

Resim 7.13. Geomembran temel uygulaması.....	100
Resim 7.14. Geomembran uygulaması.....	101
Resim 7.15. Bina temelinde mini kazık uygulaması.....	102
Resim 7.16. Fore kazık delgisi.....	104
Resim 7.17. Foraj sırasında dışarı atılan zemin.....	105
Resim 7.18. Donatı kafesinin zemine indirilmesi.....	106
Resim 7.19. Beton dökümü.....	106
Resim 7.20. Muhafaza borusunun zemine çakılması.....	113
Resim 7.21. Muhafaza borusunun içine çakıl dökülmesi.....	114
Resim 7.22. Muhafaza borusunun vibrasyonla geri çekilmesi.....	114
Resim 7.23. Süper jet uygulaması ile büyük çaplı kolonların oluşturulması.....	129

ÖZET

Anahtar Kelimeler: Sakarya, Adapazarı, Sıvılaşma, Jeomorfoloji, 17 Ağustos 1999 Depremi, Zemin İyileştirmeleri

Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanan bu çalışmada; pilot bölge olarak seçilen ve Adapazarı kentinin merkezini oluşturan mahallelerin zemin yapısı, yapılan zemin etütlerinin bir bölümü incelenerek belirlenmiş ve literatürdeki zemin iyileştirme metotlarının bu bölgelere uygulanabilirliği araştırılmıştır.

Öncelikle Sakarya ili coğrafyası, Adapazarı ve yakın çevresinin jeolojik ve jeomorfolojik özellikleri açıklanmış ve Akova'nın oluşumu hakkında bilgisi verilmiştir.

17 Ağustos 1999 Marmara depreminden, depreme neden olduğu Kuzey Anadolu Fayından ve Adapazarı'nın depremselliğinden bahsedilerek bu depremin neden olduğu sıvılaşma ve Adapazarı sıvılaşma potansiyeline kısaca değinilmiştir.

Seçilen bölgelerin TS 1500/2000 hükümlerine göre, ilk 10 metreye kadar sınıflandırılması yapılmıştır. Zemin etütlerindeki datalar yardımıyla pilot bölgelerin ortalama yer altı su seviyesi ve taşıma gücü hakkında bilgi verilmiştir.

Sonuç bölümünde; zemin iyileştirmeleri hakkında detaylı bilgi verildikten sonra bu metotlardan uygun olanlarının seçilen bölgelere uygulanabilirliği irdelenmiş ve tartışılmıştır.

THE GENERAL DISPERSION OF GROUNDS IN THE VALLEY OF ADAPAZARI AND THE DETERMINATION OF THE COMMON METHODS OF GROUND IMPROVEMENTS

SUMMARY

Key words: Sakarya, Adapazari, Liquefaction, Geomorphology, 17 August 1999 Earthquake, Ground Improvement.

In this master's thesis, the aim has been, by examining a number of soil evaluation studies, to determine the texture of the ground for the chosen pilot districts constituting the downtown area of Adapazari and the applicability in these areas the ground improvement methods present in the literature.

Within the scope of this thesis, the geological and geomorphological characteristics of Adapazari and its environs have been prominently explained and some information regarding the Akova formation has been provided.

By discussing the properties of 17 August Marmara Earthquake and the North Anatolian Fault Line causing this earthquake, the risk of the earthquakes and liquefaction created by the same earthquake in Adapazari and its vicinity have been shortly examined. The common methods of ground improvement have particularly been investigated and the applicability of this methods in pilot areas has been adverted.

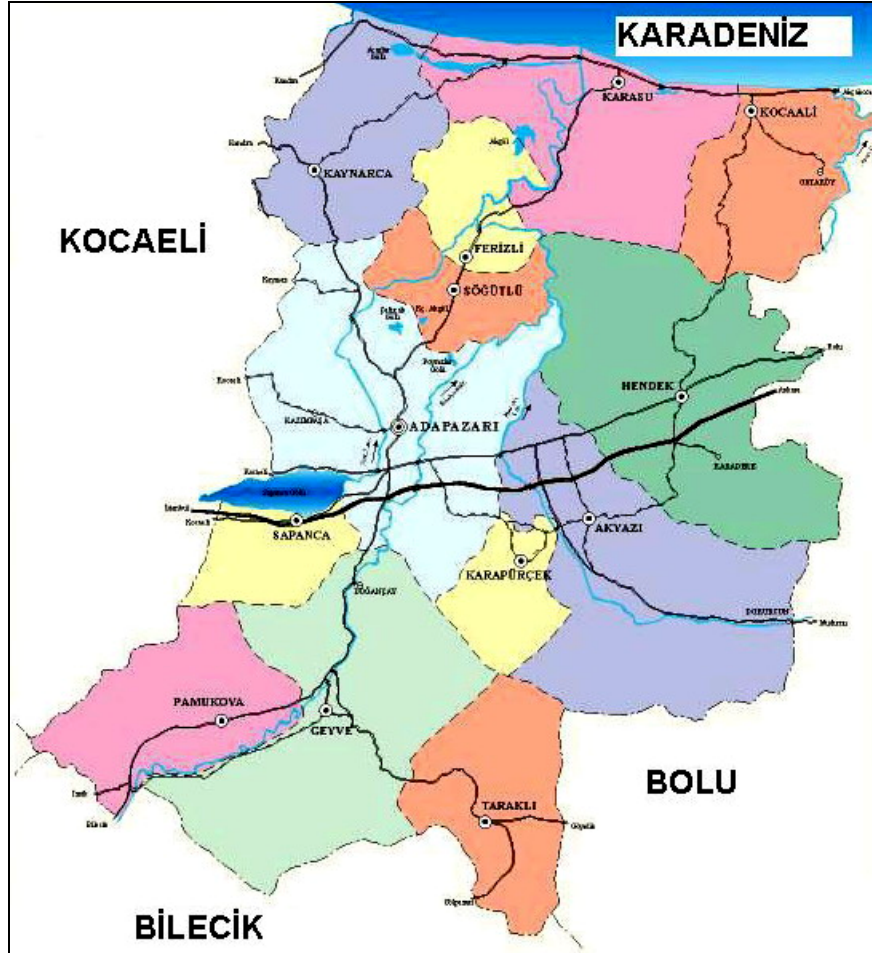
In accordance with the provisions of TS 1500/2000, the classification of the area up to the first 10 metres has been made and, with the help of data obtained from soil evaluation studies, information has been supplied concerning the average level of underground waters and their carriage capacity in the pilot districts.

In the conclusion chapter, after having supplied detailed information with regard to ground improvements, the applicability of the appropriate methods to the selected districts has been investigated and discussed.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

1.1. Sakarya ve Adapazarı Genel

Sakarya İli' nin toprakları güneyden kuzeye doğru bir dikdörtgene benzer. Karadeniz' e kıyısı olan il doğudan Bolu, Batıdan Kocaeli ve Geyve İlçesine komşu olan Bursa ve Batıdan Kocaeli ile sınırlıdır (Şekil 1.1). Sakarya Nehri ile hayat bulan il verimli topraklara sahiptir. Sakarya ili topraklarının izdüşüm alanı 4.821 km², gerçek alanı ise 5.015 km²'dir.



Şekil 1.1. Sakarya İli ve komşu iller [90]

İl merkezi olan Adapazarı İstanbul' a göre 1° 25' doğudadır. Denizden yüksekliği 30-31 m' dir. Büyük bir bölümü alüvyon karakterli olan ova, Sakarya İli' nin en gözde ilçesidir. Adının son bölümünden de anlaşılacağı gibi bir pazar yeri olarak kurulmuştur. Adının ilk bölümüyle de söz konusu pazarın kuruluş yerini belirtir. 19. yüzyılda hızla gelişerek önce büyükçe bir yerleşim merkezi haline gelen bu pazar yeri, Cumhuriyet döneminde hızla büyüyerek bir sanayi ve ticaret merkezine dönüşmüştür (Resim 1.1).



Resim 1.1. Adapazarı Merkez Belediyesi önünden bir görünüş [61]

1.1. Çalışma Alanı

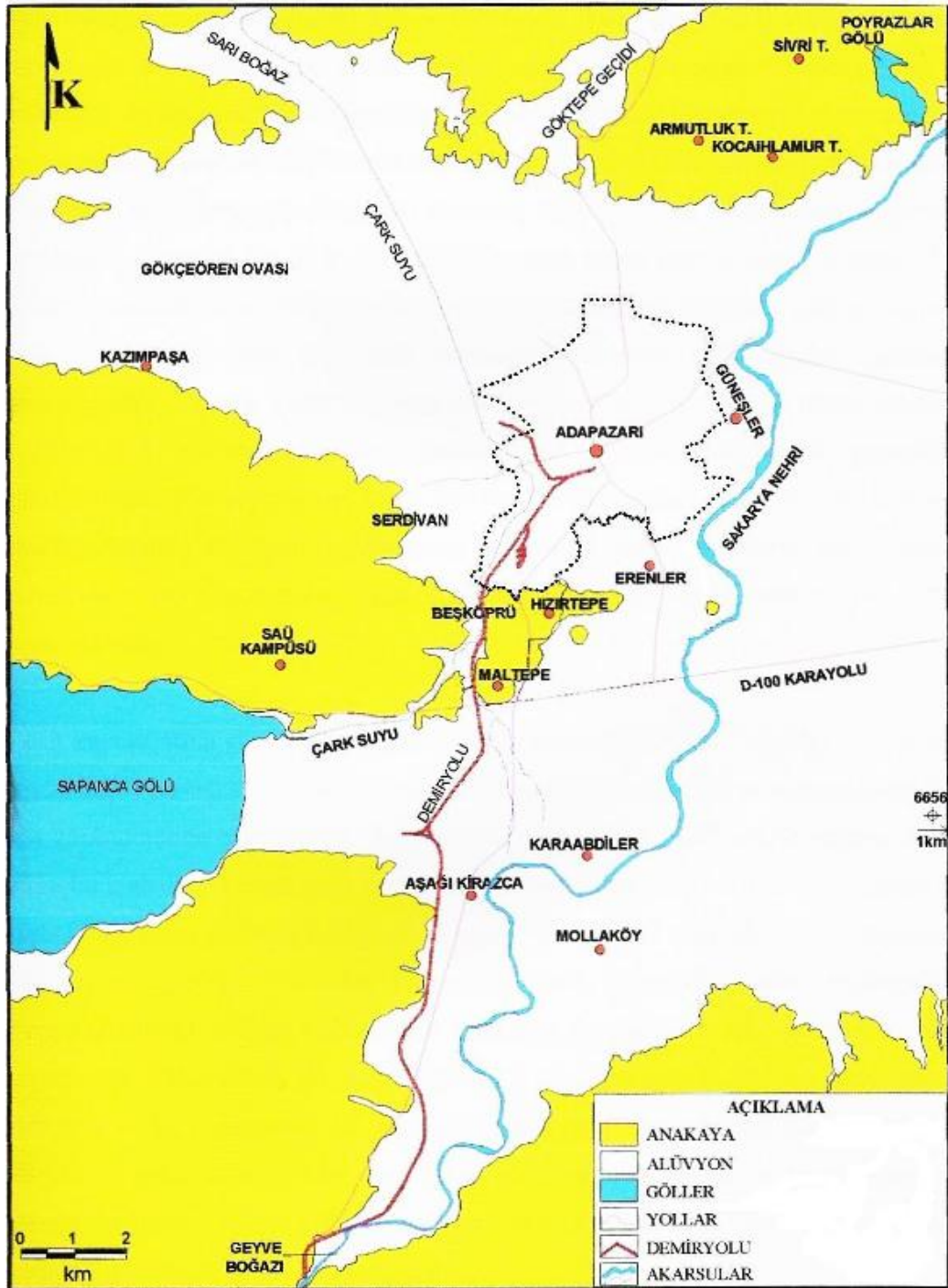
Çalışma alanı olarak Adapazarı ilçe merkezinde bulunan ve pilot bölge olarak 10 mahalle seçilmiştir. Bu 10 mahalle konum gereği ilçenin merkezini oluşturmaktadır. Çark Caddesi, Sedat Kirtetepe Caddesi, Adnan Menderes Caddesi, Bosna Caddesi gibi yıkımların en çok karşılaşıldığı caddeler bu bölgede yer almaktadır. Bu caddelerle ilgili deprem resimleri EK 1' de yer almaktadır. Bu mahalleler Tablo 1.1' de görülmektedir.

Tablo 1.1. Pilot Bölge için seçilen mahalleler

1. Kurtuluş Mah.
2. Orta Mah.
3. Yahyalar Mah.
4. Cumhuriyet Mah.
5. Tığcılar Mah.
6. Semerciler Mah.
7. Yenidoğan Mah.
8. Papuçcular Mah.
9. Yenicami Mah.
10. Yenigün Mah.

Şekil 1.2' den görüldüğü üzere kesikli çizgi ile gösterilen alanın ana birimi alüvyon o ve güneybatı kesimleri ise ana kayadır.

Ovaya çevredeki dağlardan sırtlar sokulmakta, bazı alanlarda tepecikler oluşturmaktadır. Bunlardan bazıları ilçe merkezinin güneyinde Erenler Tepesi, Alibey Tepesi ve Güney doğusundaki Tersiyeye Tepesi' dir. Çalışma alanı ilçenin merkezi; alış-veriş ve ticaretin yapıldığı en yoğun yerleşim bölgesidir.



Şekil 1.2. Çalışma alanının yer bulduru haritası ve fiziki özellikleri [10]

1.3. Araştırmanın Amacı

Adapazarı kurulduğu günden bugüne hızla gelişen bir kent merkezidir. Fakat taşıma gücü zayıf, yeterli sıklığa ulaşmamış zeminler üzerine kurulmuştur. Zemin yapısı bakımından nadir özellikler gösteren bir zemine sahiptir. 17 Ağustos 1999

Depremde zemin özelliklerinin olumsuz etkisiyle bir çok bina yıkılmış bir çoğu kullanılamaz hale gelmiştir. Bir çok bölgede de taşıma gücünün aşıldığı ve sıvılaşma görülmüştür. Zemin özellikleri bu depremin yıkıcı etkisini arttırmıştır. Dolayısıyla yapıları daha sağlam zeminler üzerine yada zemin özelliklerini iyileştirerek yapı inşasına uygun hale getirmek kaçınılmaz hale gelmiştir.

Bu çalışmanın amacı, mevcut bulguları değerlendirerek, zemin özelliklerine bağlı olarak uygun iyileştirme metotlarını Adapazarı Ovası' na dar ve/veya geniş kapsamda uygulayabilmektir. Bilindiği gibi zayıf zemin özelliklerine bağlı olarak yapıları projelendirmek ve derin temel sistemlerini kullanmak zaman ve ekonomi açısından çoğu zaman uygun çözümler değildir.

1.4. Çalışma Yöntemi

17 Ağustos 1999 Depremi' nden sonra Adapazarı' nda zemin etütleri önem kazanmıştır. Parsel bazında gerçekleştirilen etütler sonucunda Adapazarı zemin özellikleri ve YASS seviyesi hakkında önemli bilgiler elde edilmiştir. Adapazarı zeminleri ve bu zeminlerin sıvılaşma potansiyeli depremden sonra bir çok yerli ve yabancı araştırmacıya konu olmuştur. Bu bölgeyle ilgili bir çok makale yazılmış, sempozyumlar yapılmış, raporlar düzenlenmiştir.

Bu bilgiler ışığında, hazırlanmış zemin etütleri sonuçlarına ve literatür çalışmalarına göre pilot bölgenin zemin yapısı hakkında genel bir bilgi elde edildikten sonra mevcut zemin iyileştirme yöntemlerini bu zeminler üzerine dar ve/veya geniş kapsamda uygulayabilmektir.

BÖLÜM 2. SAKARYA İLINE GENEL BİR BAKIŞ

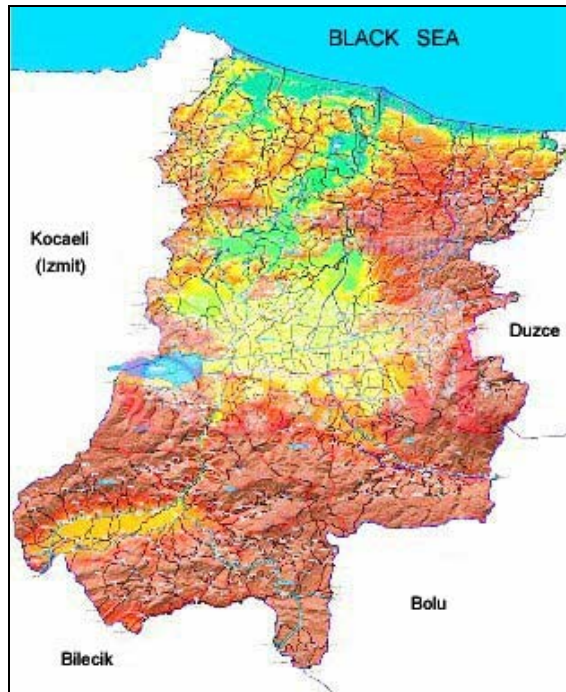
2.1. İlin Adının Kaynağı

Sakarya İlinin adını nereden aldığına ilişkin bilgiler Frigler dönemine değin uzanmaktadır. İle adını veren ırmak, O dönemde en önemli Frig tanrılarında olan Sangari'nin adını taşıyordu. Bu ad, Helenistik çağda Sangarios biçimine dönüştü ve uzun yıllar bu şekilde kullanıldı. Ayrıca eski Yunanlıların Sakarya Irmağı'na "Saldırgan" anlamına gelen Zakharion adını verdikleri de bilinmektedir. Bu ad daha sonraki yıllarda dönüşüme uğrayarak Sakarya biçimini almıştır. İl merkezi olan Adapazarı ise daha yakın bir tarihte kuruldu. Kentin ilk olarak 14 ncü yüzyılın başlarında Orhan Gazi'nin komutanlarından Konuralp tarafından Tığcılar adıyla kurulduğu bilinmektedir. Tığcıları içine alan toprak parçası Sakarya'nın iki kolu arasında sıkışmış bir ada görünümünde olduğundan, daha sonraki yıllarda bu yerler ADA adıyla anılır oldu. Giderek bir alış veriş merkezi özelliği kazanmaya başlayan yerleşim merkezi Ada Karyesi ve Adapazarı adını aldı. II. Mahmut zamanında (1837) Adapazarı kaza haline gelmiştir. 19. asrın sonlarına doğru İzmit Sancağı'nın kazası olmuştur. 22 Haziran 1954 tarihinde 6419 Sayılı Kanunla İl olmuş ve Sakarya adını almıştır. Adapazarı ve civarının ilk Türk sakinleri, göçebeliği terk ederek yerleşik düzene geçen Türkmen aşiretlerinden yörüklerdir. Bugün Adapazarı mahallelerinin adları Türk oymaklarının adları ile anılır. (Tığcılar, Hasırcılar, Semerciler, Papuçcular, Çıracılar, Yağcılar gibi) [62].

2.2. Coğrafyası

Sakarya il topraklarının % 34'ü dağlardan, % 44'ü platolardan ve % 22'si ovalardan ibârettir. Güneyden kuzeye doğru uzanarak Karadeniz'e açılan il alanı jeolojik üçüncü zaman sonları ile dördüncü zaman başlarında son şeklini almıştır. Bu jeolojik

devirlerde meydana gelen büyük kıvrılma ve kırılma hareketleriyle Trakya'nın güneye, Kocaeli Yarımadasının kuzeye doğru farklı yönlerde çarpılmasına sebep olmuştur. Bu çarpılma sonucu biri Karadeniz'e öteki Marmara Denizi'ne açılan iki vadinin çökmesiyle İstanbul Boğazı meydana gelerek, Akdeniz'le Karadeniz'in birleştiği tahmin edilmektedir. Çarpılmanın etkisi Sakarya İli'nde daha güçlü olmuş ve il alanı Karadeniz'e doğru eğim kazanmıştır. Sakarya Nehri, İç Batı Anadolu platolarından taşıdığı toprağı bu bölgeye yığarak Alüvyonlu (alüvyal) ve killi (kolüvyal) ovaları meydana getirmiştir. Aşağıda Sakarya İli'nin fiziki haritası görülmektedir (Şekil 2.1).



Şekil 2.1. Sakarya fiziki haritası [89]

2.2.1. İl topraklarının dağılımı

İl toprakları coğrafi değerler bakımından, 29 derece, 57 dakika-30 derece, 53 dakika doğu boylamları ile 40 derece 17 dakika- 41 derece, 13 dakika kuzey enlemleri arasında yer almaktadır. İl merkezi olan Adapazarı, İstanbul'a göre 1 derece, 25 dakika doğudadır. İl topraklarının şekli, güneyden kuzeye doğru bir dikdörtgene benzemektedir.

Yönetmelik açıdan doğudan Bolu'nun; Göynük, Mudurnu, Düzce ve Akçakoca ilçeleri, güneyden Bilecik'in Gölpaazarı ve Osmaneli ilçeleri, batıdan Kocaeli'nin; Kandıra, merkez ve Gölcük ilçeleri, kuzeyden ise Karadeniz ile çevrilidir.

İlin merkezi olan Adapazarı, Akova adı ile anılan düzlükte, Sakarya havzasının aşağı kısmındadır. Doğudan Çam dağı, güney ve güneydoğudan Samanlı dağları, kuzeyden Karadeniz ile sınırlanan Sakarya ilinin batıdan belirgin bir doğal sınırı yoktur. Sakarya vadisinin Kocaeli platosu ve İzmit Körfezi'nin doğusunda da süren çöküntü alanı, ilin bu bölümüne girer.

2.2.2. Dağları

Sakarya ilinde yüksek dağlar yoktur. Yüksek ve sarp olan tepeler güneydedir. Orta ve kuzeydeki yüksekliklerse Kocaeli Platosunun uzantısı durumundadır. Yer yer rastlanan ve yüksek olmayan tepeler dışında genellikle düz ve alçak bir yapıdadır. En önemli yükseklikler güneyde yer alan Saman Dağları' dır. Akyazı'dan Sapanca Gölü' ne kadar uzanan bu sıradağların en yüksek yerleri Keremali Dağı (1543 m), Karadağ (1467 m) ve Dikmentepe (1387 m)' dir. Doğudaki ovalık bölgede en yüksek tepe Çamdağ Tepesi (1880 m) ' dir. Dağlar il alanının % 34' ünü oluşturmaktadır.

2.2.3. Platoları

Sakarya'da yeryüzü şekillerinin dağılımında platolar önemli bir yer kaplar. İl alanının % 44' ünü oluşturan platolar yer yer ormanlarla kaplıdır. İlin en önemli platosu batıdan il topraklarına girerek Sakarya Vadisine kadar sokulan Kocaeli Platosu' dur.

Kocaeli Platosu, 3. zamanın sonlarıyla 4. zamanın başlarında oluşmuştur. Bu jeolojik zamanlarda ortaya çıkan tektonik hareketler, kıvrılma ve kırılmalara neden olmuş ve yarımada kuzeye doğru çarpılmıştır. Bu yapı nedeniyle plato, sularını daha çok Karadeniz 'e boşaltır.

Sakarya'da Kocaeli platosu dışında kalan platolar genellikle Samanlı Dağlarıyla Çamdağı kütesinin Hendek, Akyazı, Sapanca'ya doğru uzanan kesimlerinde dizilmiş durumdadır. Başlıcaları; Hendek-Akyazı arasında Çiğdem, Turnalı ve Gındıra

Platoları, Keremali Platosu, Akyazı'nın kuzeyinde Acelle ve Karagöl, Geyve yöresinde Katırözü, Soğucak, Çataldağ, Çataltepe ve Ziyarettepe Platoları' dır.

2.2.4. Vadileri

İl alanının aşağı Sakarya Havzasında kalan vadiler, önemli yeryüzü şekilleridir. 3. zamanda ortaya çıkan yoğun yükselme, kırılma ve kıvrılmalarla il topraklarındaki akarsular çöküntü alanları arasındaki eşiklerde derin vadiler açmış, vadi tabanlarında da geniş ve verimli ovalar oluşmuştur. Vadi tabanlarının yükselteleri genellikle düşük olduğundan akarsuların akış hızı azalmakta bu nedenle de taşıdıkları maddeler vadi tabanına yığılmaktadır. İldeki en önemli vadi, Sakarya Vadisi' dir. İç Batı Anadolu Platoları üzerinde yükselen Emir ve Türkmen Dağlarından başlayan ve çeşitli kollardan oluşan Sakarya Vadisi, bölgede doğudan batıya geniş bir yay çizer. Bu arada Porsuk ve Ankara Çayı Vadileri ile birleşir. Cambaz Boğazı'ndan sonra genişlemeye başlayan vadinin tabanında Pamukova oluşmuştur. Pamukova'dan sonra vadi yeniden daralır ve Geyve Boğazı adıyla anılan yerde, uzun ve derin bir oluğa dönüşür. Birden genişleyerek ilin en geniş ovası olan Akova' yı oluşturur. Daha sonra Karadeniz'e doğru yönelen Sakarya Vadisi, batıdan ve doğudan çok sayıda yan vadilerle birleşerek Karasu yakınlarında Karadeniz'e açılır.

2.2.5. Akarsuları

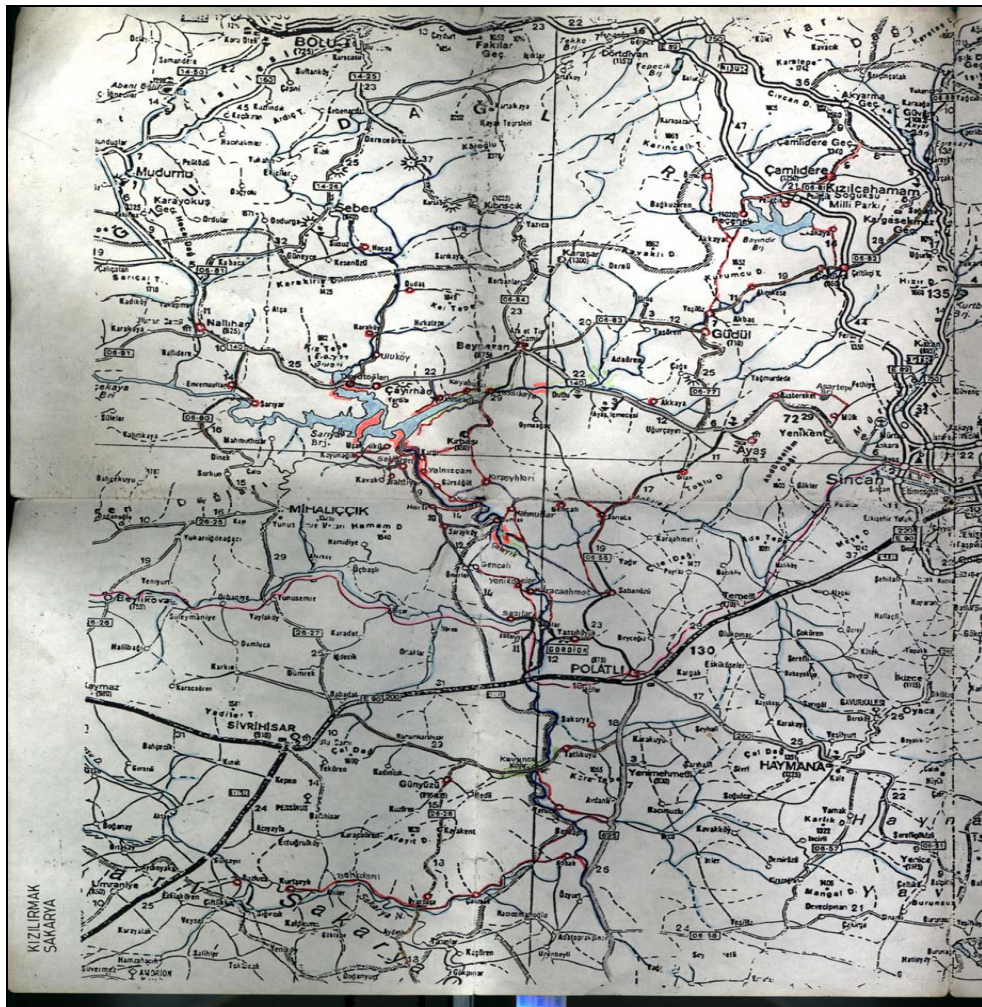
2.2.5.1. Sakarya Nehri

Eskişehir'in Çifteler ilçesi yakınlarından doğan Sakarya ırmağının kolları ile birlikte toplam uzunluğu 824 km.'dir. Ancak başlangıcında yer alan bazı kaynaklarının kurduğu gözönüne alınırsa ırmağın uzunluğu 720 km kabul edilir. İlimiz sınırları içindeki uzunluğu 159,5 km.dir. Nehir, Osmaneli'ni geçince İnegöl ve Yenişehir ovalarını sulayan Göksu kolunu alır. Osmaneli'ne varmadan aşağıdan Göynük Çayını da alarak Pamukova'ya ulaşır. Geyve ile Doğançay arasında dik yamaçlı ve dar Geyve Boğazı' ndan akarak Adapazarı Ovasına (Akova) ulaşır. Burada vadi tabanı 35 metrenin altına iner ve tam bir ova akarsuyu halini alır. Adapazarı şehir merkezinin 4 km. doğusundan geçen Sakarya Irmağı, ovanın kuzey kesiminde sağdan Mudurnu Çayını, daha ilerde, tepelik bir alanda soldan, Sapanca Gölü'nün fazla suyunu boşaltan Çark Suyun' u alır ve Karasu ilçe merkezi Yenimahalle

semtinde Karadeniz'e dökülür. Sakarya'nın Deltası, Kızılırmak ve Yeşilirmak Deltası gibi denize doğru belirli bir çıkıntı meydana getirmez. Tarih devirlerinde Sakarya'nın, Adapazarı Ovasında birkaç defa yatak değiştirdiği sanılmaktadır (Şekil 2.2.). Sakarya nehri üzerinde Sarıyer ve Gökçekaya Barajları bulunmaktadır (Resim 2.1).



Resim 2.1. Sakarya Nehri ve Gökçekaya Barajı [72]



Şekil 2.2. Sakarya Nehri Havzası [63]

2.2.5.2. Çark suyu

Sapanca Gölü'nün ayağı olan Çark suyu, Sakarya Irmağı'na boşalır. Uzunluğu 45 km. olan akarsu, Sapanca Gölü' nün doğusundan çıkar ve batıdan Elmalı Deresi, Kocadere ve Söğüt Deresini alarak kuzeydoğuya yönelir. Seyifler Köyü yakınında Sakarya Nehrine katılır. Adapazarı'nın içme kullanma suyu, uzun yıllar Çark suyundan sağlanmıştır.

2.2.5.3. Dinsiz çayı

Uzunluğu 34 km.dir. Mudurnu çayının bir kolu olan Dinsiz Çayı, Hendek sınırı yakınında Şark Beynevit Köyü civarında doğar, daha sonra doğudan Fabrika Dere ve Balıklı Dereyi, güneyden Bıçkı ve Gürcü Derelerini alır. Akyazı, Hendek ve merkez ilçe sınırlarının birleştiği yerde Mudurnu Çayına katılır.

2.2.5.4. Mudurnu çayı

Uzunluğu 65 km.dir. Dokurcun yakınlarında il topraklarına girer, Hendek İlçesinin kuzeybatısında Sakarya'ya karışır. Akyazı ilçesinin Taşburun Köyü civarında taşkınlar yapan ve bataklıklar oluşturan çay, yapılan ıslah çalışmalarıyla zararsız hale getirilmiştir.

2.2.5.5. Darıçayır deresi

Uzunluğu 33 km. dir. Karasu'nun güneyinde Kocatöngel Deresi adıyla kuzeye doğru akan bu dere, doğudan ve batıdan küçük yan dereciklerle birleştikten sonra Tuzla yakınında Sakarya Nehrine katılır.

2.2.5.6. Maden deresi

Uzunluğu 30 km. olan Maden deresi, Hendek yakınında Çataltepe' den doğar. Önce Kabalak Deresi adıyla kuzeye akar. Yayla Deresi ile birleştikten sonra Karasu adını alır ve Karasu ilçesinin doğusundan Karadeniz'e dökülür.

2.2.5.7. Melen deresi

Uzunluğu 30 km.dir. Kocaeli ilçesinin doğusunda Akçakoca sınırında bulunan Melenağzı mevkiinde Karadeniz'e dökülür.

2.2.6. Gölleri

Sakarya İl alanında pek çok sayıda göl vardır. Üçüncü zamanın sonları ile dördüncü zamanın başlarında yoğun tektonik oluşumlar geçiren il alanı yer yer çökmüş, yer yer de yükselmiştir. Kırılma ve kıvrılmalar sonucu il alanı Karadeniz'e doğru kuzey yönünde çarpılmıştır. Çarpılmadan sonra Marmara Denizi ile arada bir set ortaya çıkmıştır. Marmara Denizi ile su bölüm çizgisini oluşturan bu setin Karadeniz'e eğimli olan kesimlerindeki çöküntü alanlarının dolması ile göller oluşmuştur. Bu tektonik kökenli göller dışında, Sakarya Irmağı tarafından taşınan alüvyonların yığılması ile oluşmuş göller de vardır.

Bu göllerin yükseltileri ile derinlikleri pek fazla değildir. Yağırlı kuşakta yer aldıklarından bol sulu akarsularca beslenmekte ve fazla suları çeşitli ayaklarla boşalmaktadır. İldeki göllerin suları genellikle tatlıdır.

2.2.6.1. Sapanca Gölü

Marmara Bölgesi'nin doğu kesiminde, Adapazarı Ovasını İzmit Körfezi oluşuna birleştiren uzun bir çukurun doğu yarısında yer alan tatlı su gölüdür.

Sapanca'nın kıyıları, doğuda Sakarya ili, batı ucunda Kocaeli İlinde kalır. Havzası 252 km²'dir.Yüz ölçümü 47 km²'dir. Doğu-batı uzunluğu 17 km'dir. Kuzey-güney genişliği 5 km olup yüzeyin denizden yüksekliği 31 m'dir. En derin yeri (Prof. S. ERİNÇ'in ölçmelerine göre) 61 m.dir.

Göl, adını güney kıyısında kurulmuş olan ilçeden alır. Özellikle güneyindeki dağlardan inen sellerle iyi beslenen göl, fazla suyunu, doğu ucundan Çark suyu aracılığı ile Sakarya Irmağına boşaltır (Resim 2.2).



Resim 2.2a. Sapanca Gölünden Bir Görünüş [73]



Resim 2.2b. Sapanca Gölünden Bir Görünüş [73]

Sapanca'yı Evliya Çelebi şöyle anlatır: "Sapanca Gölünün çevresi 24 mil'dir. Dört çevresinde kasaba gibi yetmiş altı köy vardır. Cümle halkı bu halicin suyundan içtiklerinden yüzlerinin rengi kırmızıdır. Ürünleri çok ise de, bağları yoktur. Bahçeleri hadden aşkındır. Bu gölün kenarında bir tür kavun ve karpuz olur ki, ancak ikisini bir eşek çekebilir. Bu göl içinde seksen pare (parça) kayık ve çırnaklar (tahıl kayığı) vardır ki, köyden adam ve kereste ve eşya götürürler. Bu gölde bulunan yetmiş, seksen çeşit balıktan avlayıp kar ederler. Alabalığı, sazan balığı, turna balığı gibi tatlı su balıkları gayet lezzetli olur. Gölün derinliği ekseri yerlerinde yirmi kulaçtır. Suyu gayet saf ve berraktır. Kıyısında olan köylerin kadınları elbise yıkadıklarında asla sabun sürmezler. Bu gölün doğusunda iki saat uzaklıktan Sakarya Nehri geçer. Kocaeli'nde İrva Kasabası kenarında Karadeniz'e dökülür. Sakarya azıcık bir himmet ile bu göle akıtılabilir. Bu göl, İzmit Körfezi'ne üç saat kadar yakın olduğundan ayağı İzmit Tuzlası önünde deryaya karışır. Hatta bir asırda bu gölü İzmit Körfezi'ne katmak için yüz binlerce kazma ve çapalı ırgat toplattırılmış ise de, İzmit halkının buna birçok hazineler ve Nuh ömrü gerektirir diye gevşeklik göstermesi işin tamamlanmasına engel olmuş. Ama Sakarya nehri bu göle, bu gölde İzmit Körfezi'ne karıştırılsa Bolu'ya kadar beş konaklık yer mamür olurdu. İstanbul gemileri ta Bolu'ya yetişir ve İstanbul'da bir tahta üç akçeye, bir kantar odun beş akçeye olup hayratı büyük olurdu".

2.2.6.2. Gökçeören Gölü

İl merkezinin 7-8 km kuzeybatısındadır. Basık sırtlarla çevrelenen gölün yüzölçümü 25 hektardır. Gökçeören Gölüne, yakınındaki yerleşmelerin adlarıyla, Aralık Gölü ve Meşeli Gölü de denmektedir. Gölün kuzeyinde alçak sırtlarla ayrılmış yaklaşık 15 hektar genişlikte küçük bir göl daha vardır. Dipsiz göl adıyla anılan bu göl Gökçeören çukurluğunun devamı niteliğindedir. Göl çevresindeki hafif eğimli alanlarda yoğun tarım yapılır. Pek derin olmayan göl, yağmur ve kaynak sularıyla beslenmekte, kışın ve baharda yağışlarla genişleyip yazın çekilmektedir. Suların çekilmesiyle ortaya çıkan alanda, mısır, kavun, karpuz ve fasulye ekilir.

2.2.6.3. Poyrazlar Gölü

Adapazarı'nın 7-8 km kuzeydoğusunda, Sakarya Irmağının yakınındaki 60 hektarlık göle, doğusundaki Poyrazlar Köyü nedeniyle, Poyrazlar Gölü denir. Gölün bir başka adı da Teke Gölüdür. Sakarya Irmağının eski yatağında oluşan Poyrazlar Gölü, iki sırt arasında uzanmaktadır. Sakarya Irmağı taşıdığı zamanlar, fazla suları Kapaklı Barajı'ndan göle boşalmaktadır. Ayrıca, sızıntı yoluyla da gölü beslemektedir. Poyrazlar Gölü, oldukça derindir. Yalnızca güney kıyıları sığ ve sazlıktır. Kuzey ucundan bir ayakla Sakarya Irmağı'na boşalır. Bu gölde başta sazan olmak üzere kimi tatlı su balıkları yaşamaktadır.

2.2.6.4. Taşkısık Gölü

Poyrazlar Gölü'nün 15 km kadar kuzeybatısında, Göktepe'nin kuzeyinde, 3 km aralıkla iki küçük göl vardır. Bunlardan batıdakine Taşkısık Gölü ya da Çaltıcak Gölü denir. Göl dipten kaynayan sularla beslenir, kışın genişleyip yazın çekilmektedir. Yüzölçümü 90 hektar kadardır. Güney kesimi daha derin olan gölün kuzey kıyıları sazlık ve bataklıktır. Tatlı olan gölün suyunda sazan ve tatlı su balıkları yaşamaktadır.

2.2.7. Ovaları

Ovalar ise şehrin % 22' sini oluşturmaktadır. Sakarya ili tarım bakımından çok verimli topraklara sahiptir.

2.2.7.1. Akova (Adapazarı) Ovası

İlin en büyük ovasıdır. Bir adı da Adapazarı Ovasıdır. Aşağı Sakarya vadisinde Sapanca Gölü ile Adapazarı'nın doğusunda yer alır. Doğuda Keremali Dağının eteklerine dek uzanan Akova, Marmara Bölgesi'nin en büyük ovalarından birisidir.

Sakarya Irmağının taşıdığı kalın bir alüvyon tabakasıyla kaplı olduğundan çok verimlidir. Yükseltisi yaklaşık 30 m. olan ovaya çevredeki dağlardan sırtlar sokulmakta ve bazı alanlarda tepelikler oluşturmaktadır.

Bunların başlıcaları; Adapazarı kentinin güneyindeki Erenler tepesi ile Alibey Tepesi ve güneydoğudaki Tersiyeye Tepesidir.

Ovayı güneyden kuzeye doğru akan Sakarya Irmağı ve doğudan güneye doğru akan Mudurnu Çayı sulamaktadır.

Sakarya Irmağı, ovada bir çok kıvrımlar yaparak akmakta, sağanak yağışların olduğu ve karların eridiği Mart ve Nisan aylarında taşarak ovayı basmaktadır. Ovada taban suyu yüksek olduğundan taşan sular çekildikten sonra su birikintileri ve bataklıklar uzun zaman kalmaktadır.

2.2.7.2. Pamukova

Aşağı Sakarya Vadisi' nin Akova'dan sonra ikinci büyük tarım alanı, Pamukova'dır. İl topraklarında hızla genişleyen Sakarya vadisinde alüvyonların birikmesiyle oluşmuş verimli bir ovadır.

Pamukova, Adapazarı Ovasına göre daha yüksek olduğundan, Sakarya ırmağı, burada daha hızlı akar.

Irmağın derinden aktığı için yatağı değişmemektedir. Taban su Akova'ya göre daha düşüktür.

Yüzölçümü 170 km², uzunluğu 28 km, genişliği 6 km'dir.

2.2.7.3. Söğütlü Ovası

Akova'nın kuzeyinde yer alan Söğütlü ovası, ilin en çukur tarım alanıdır. Taban suyunun yer yer yüzeye çıkması ve Sakarya taşkınlarıyla ovanın bazı kısımları sazlık ve bataklık durumundadır. Söğütlü Ovasında toprakların tarıma elverişli duruma getirilmesi amacıyla yoğun drenaj çalışmaları yapılmıştır.

Bu çalışmalarla ovanın kimi yerinde taban suyunun düzeyi düşürülmüş, bataklıkların bir bölümü kurutulmuştur. Sakarya ilinde bu büyük ovalardan başka Sakarya Vadisi ile bu vadinin kollarının tabanlarında kimi küçük büyüklü tarım alanları vardır. Bu alanlar alüvyal toprakla kaplı olduklarından verimleri yüksektir.

2.2.8. İklim

Sakarya'nın iklimi hem Marmara Bölgesi iklimi hem de Karadeniz iklimi özelliklerini taşır. Sakarya rutubetli bir havaya sahiptir. Kışlar bol yağışlı ve az soğuk, yazlar ise sıcak geçer. Adapazarı merkezinde yıllık ortalama sıcaklık 14.1 derecedir. Bugüne kadar ölçülen en düşük sıcaklık -14.5 derece, en yüksek sıcaklık 41.8 derece olmuştur. Yıllık ortalama nem oranı %71.7'dir. Bahar aylarında bol yağış alan Sakarya ilinde yağışlı gün sayısı ortalama 116.2 gündür (1997). Yıllık yağış miktarı 813 mm'dir. Yağışın mevsimlere dağılışı ortalama olarak ilkbaharda 177.6 mm, yazın 161 mm, sonbaharda 211 mm ve kışın 263.4 mm.dir.

Merkezde ortalama kar yağışlı gün sayısı 7.7 dir. Kar ile örtülü gün sayısı 9-10 ve en yüksek kar kalınlığı 48cm. (1991) olmuştur.

Rüzgarlar genel olarak kuzeydoğudan poyraz, kuzeybatıdan da karayel olarak eser. Zaman zaman güneyden esen lodos, özellikle Adapazarı ovasında sıcaklığın artmasına yol açar.

2.2.9. Bitki örtüsü

Sakarya İli doğal bitki örtüsü bakımından oldukça zengindir. Kuzey Anadolu kıyı dağlarının uzantısı olan dağlar gür ormanlarla kaplıdır. Hemen hemen her yerde kayın başta olmak üzere gürgen, kavak, kestane, ıhlamur, çınar, akça ağaç ve meşe başlıca ağaç türlerini oluşturur. 700 m. yükselti kuşağından sonra iğne yapraklı ağaçlar yer almaya başlar. Adapazarı'nın doğusunda bol dişbudak ormanlarına rastlanır. Aynı şekilde Karasu'nun batısında Acarlar Gölü çevresinde de dişbudak ormanları vardır. Burada dişbudak ağaçlarının arasına karaağaç ve kızılbaşlar karışmıştır. Ovalık kesimlerde Aşağı Sakarya Vadisi çevresinde bitki örtüsü zayıftır.

Çayırlar ve dağ otlakları dışında dağların etekleri ile platolarda başlıca bitki türleri böğürtlen, kocayemiş ve kermes meşesi olan çeşitli maki alanları görülür.

BÖLÜM 3. ADAPAZARI ve YAKIN ÇEVRESİNİN JEOLJİK VE JEOMORFOLOJİK ÖZELLİKLERİ

3.1. Doğu Marmara Bölgesinin Jeolojik Evrimi

Doğu Marmara bölgesinin Neojen-Kuvaternerdeki morfotektonik evriminde; 1) Erken-Orta Miyosen, 2) Geç Miyosen-Pliyosen, 3) En Geç Pliyosen-Günümüz olmak üzere üç ana şekillenme dönemi ayırt edilmiştir. Bu dönemlerde birbiriyle açılal uyumsuz üç çökel istifi oluşmuştur. Erken-Orta Miyosen karasal kıvrıntılı, Geç Miyosen-Pliyosen karasaldan denizele geçişli, en Geç Pliyosen-Günümüz ise karasal-denizel çökellerle temsil edilmektedir. Bölge Oligosen sonunda Intra-Pontid okyanusunun kapanması sonucu karasal aşınım alanı haline dönüşmüş ve Erken-Orta Miyosen boyunca paleotektonik dönem olaylarının etkisinde kalmıştır. Orta Miyosen sonlarına kadar süren bu aşınım dönemi sonunda geniş alanlara yayılan bir peneplen morfolojisi gelişmiş ve karasal kıvrıntılılar çökelmiştir. Günümüz jeolojisinin belirlemiş olan neotektonizma Geç Miyosen başlarında başlamış ve birbirinden farklı stildeki iki evrede gelişmiştir. Geç Miyosen-Pliyosen'i kapsayan neotektonizmanın ilk evresinde bölgede K-G yönlü sıkışma rejimi egemen olmuş, bunun sonucunda gelişen D-B yönlü kıvrımlar ile KD-GB ve KB-GD uzanımlı doğrultu atımlı faylarla bölge morfolojik olarak tümünden yükselime uğramıştır. Bu süreç içerisinde başlangıçta, altta akarsu çökelleri ile başlayan ve üste doğru gölsel ve denizele geçişli olan Geç Miyosen-Erken Pliyosen istifi çökelmiş, dönem sonunda ise bu çökellerin geliştiği havzalar parçalanarak Geç Pliyosen'de bölge yüksek aşınım alanı şeklini kazanmıştır. Neotektonik dönemin ikinci evresi ise en Geç Pliyosen'de Kuzey Anadolu Fayının ortaya çıkışı ile başlamıştır ve günümüze kadar olan süreyi kapsar [14].

Doğu Marmara'nın günümüzdeki morfolojisi ve aktif tektonik çatısı Kuzey Anadolu Fayının transform hareketleri ile tanınan bu evrede gelişmiştir. Günümüz Marmara

Denizi havzasının da yapısal gelişimi Kuzey Anadolu Fayına bağlı olarak en Genç Pliyosen'de başlamıştır. Tablo 3.1' de Jeolojik cetvelin bir bölümü görülmektedir.

Tablo 3.1. Jeolojik zaman cetvelinin bir bölüm [76]

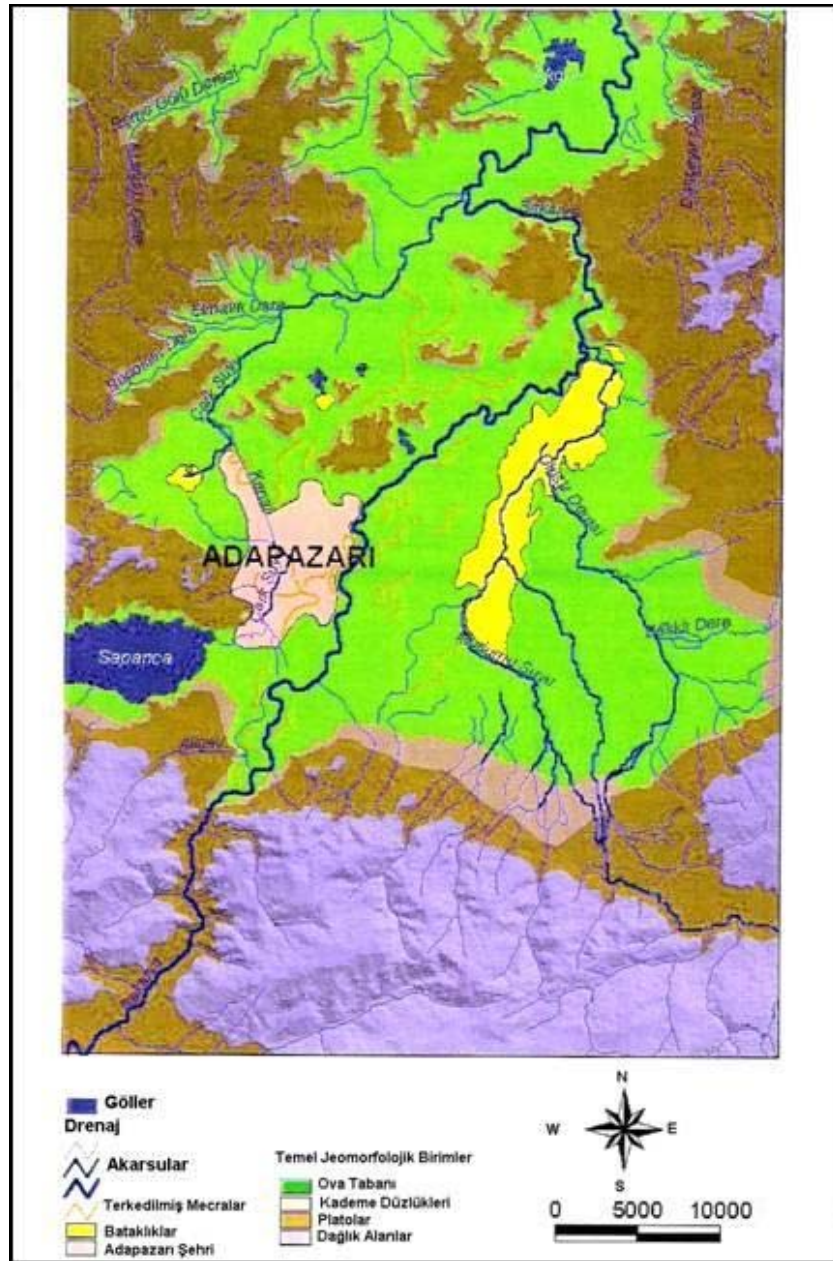
ZAMAN	DEVİR	DEVRE	MİLYON YIL	
SENOZOYİK	KUVATERNER	HOLOSEN	0.8	
		PLEYİSTOSEN	1.8	
	TERSİYER	NEOJEN	PLİYOSEN	5
			MİYOSEN	25
			OLİGOSEN	40
		PALEOJEN	EOSEN	55
			PALEOSEN	65

3.2. Sakarya İlinin Jeolojisi

Şehir tamamen nehir çökelleri üzerindedir. İzmit Körfezi'nden itibaren Adapazarı'na ve buradan da Hendek'e kadar uzanan bir çöküntü havzası içinde bulunmaktadır. Adapazarı Ova' sı derelerin getirip biriktirdiği kalın alüvyondan ibarettir. Şehrin güneyinde Kretase yaşlı flişler yer almaktadır. Batıda ise bu formasyonlar üzerine Eosen yaşlı kireçtaşlarının geldiği görülmektedir. Ovanın kuzeyindeki tepeler Devoniyen yaşlı, kırmızı renkli, killi şist ve kumtaşlarından oluşmaktadır. Daha yukarılarda bu tabakalar Üst Kretase yaşlı kireçtaşları ile örtülmektedir. Yeraltı suyu alüvyon içinde çok yüksek seviyede, bazı kısımlarda ise bataklık durumundadır.

Adapazarı eski bir göl yatağı olan sedimanter bir basen kenarında kuruludur. Şehrin güney bölümü sıg ve sert zeminler üzerinde yer alırken kuzeyde yer alan daha büyük ve nispeten Sakarya Nehri ve kolları tarafından taşınarak derin göl çökelleri üzerine istiflenmiş olan kuvarterner alüvyon zeminler üzerine oturmaktadır. Ana kaya formasyonu sedimenter zeminler altında kuzey istikametinde alçalarak kent sınırları

içerisinde 200 metre civarındaki derinliklere ulaşmaktadır. Kentin derin alüvyonlar üzerinde yer alan kesiminde yüzeyden itibaren yaklaşık 15 metre derinlik içerisinde yer alan zeminler, genel olarak yer yer kil ve çakıl bantları içeren ince kum, silt ve kilin farklı oranlarından oluşmaktadır. Kentin alüvyon zeminler üzerindeki kesiminde YASS seviyesi yüksek olup 0,2–3 m arasındaki derinliklerde seyretmektedir. Daha aşağıda ise göl çökellerinin oluşturduğu kalın kil tabakaları yer almaktadır (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Adapazarı ve çevresinin jeomorfolojik yapısı [58]

Marmara Bölgesi' nin en büyük ovalarından olan ve diğer bir adı da Akova olan bu verimli topraklar Keremali Dağlarının eteklerine kadar uzanır. Yüzölçümü 620 km²' dir. Yükseltisi yaklaşık 30 metre olan ovaya çevredeki dağlardan sırtlar sokulmakta ve bazı alanlarda tepecikler oluşturmaktadır (Şekil 3.2). Ovayı esas olarak güneyden kuzeye doğru akan Sakarya Nehri ve güneydoğudan kuzeybatıya doğru akan Mudurnu çayı sulamaktadır. Sakarya nehrine setler ve barajlar (Sarıyer ve Gökçekaya) yapılmadan önce yoğun yağışlar olduğu zaman ve karlar eridiği zaman nehir sık sık taşmakta ve ovayı basmaktaydı. YASS seviyesi yüksek olduğundan taşkın suları çekildikten sonra yer altı suyunun yer yer yüzeye çıktığı alanlar vardır.

3.4. Akova' nın Oluşumu Hakkında Görüşler

Gezgin tarih yazarı C. Texier (1862), Beşköprü'den bahsederken; "Köprüyü geçtikten sonra kuzey doğuya gidilirse Adapazarı adında küçük bir köye gelinir. Bunun böyle adlandırılmasına neden Sakarya'nın iki kolu arasında oluşan bir adacıktan dolayıdır."demektedir. Günümüzde Sakarya böyle bir adacık yapmıyorsa da şehrin Tavuklar Köprüsü'ne giden şose üzerinde Adapazarı'nın bittiği yerde Sakarya yatağının izleri görülmektedir [53].

Tchihatcheff (1867-1869), yıllarında Düzce ile Adapazarı arasındaki Hendek oluşunu ele almış bu kısmı eski bir vadi tabanı olarak açıklamış ve buradan çakıllı depoların Kuvaterner taş olduğunu ileri sürmüştür. Sapanca'dan çıkıp Beşköprü vadisini takip eden Çark Suyu'nun vadi ile ilgili problemlerine de değinmiş ve eski tarihçilerin bilgilerini nakletmiştir [51].

X. Dybowski 10 Temmuz 1884 İstanbul Depremi Raporu'nda deprem hakkında tuttuğu notlarda bu depremden fazlasıyla etkilenen Adapazarı kenti için şunlardan bahsetmektedir, "Kentin genel görünümü hazin; topraklı, kışın çamurlu, yazın tozludur. Yolları yoktur. Kışın evler batakla çevrilidir. Sıcak mevsimlerde bu durgun sular ateşli hastalıklara neden olur. Ülkenin arz ettiği tüm dezavantajlara karşın Avrupa şirketlerine şunu öneriyorum: Zirai veya endüstriyel projelerinizden vazgeçmeyiniz. Toprak gerçekten şaşırtıcı verimlilikte , nemli iklim, bitki örtüsü son derece uygun....."

1890 yılında N.Andrussow tarafından ileri sürülen Karadeniz'in Pleyistosen devrini farklı dönemlerinde "İzmit Kanalı" olarak adlandırılan su yolu ile Aşağı Sakarya Vadisi –Sapanca Gölü- İzmit Körfezi boyunca Marmara Denizine bağlı olduğu görüşü, 1990-1995 yılları arasında yapımı planlanan İzmit köprüsü nedeniyle deniz ve karada yapılan sondajdan derlenen verilerin incelenmesiyle destek kazanmıştır [32].

Rish (1909), ise Sapanca Gölü'nün vaktiyle burada E-W uzanımlı bir graben içinde İzmit Körfezi'nin devamı olarak Adapazarı havzasına kadar sokulan bir körfez halinde Marmara'nın devamı olduğunu ve Sakarya'nın önceleri bu körfeze doğrudan döküldüğünü daha sonra körfezden ayrılan ve tatlılaşan Sapanca Gölü'ne ve o yol ile İzmit körfezine aktığını daha sonra ise eski bir vadiyi kullanarak Karadeniz'e bağlandığını söylemiştir [41].

W.Peck (1918), Sapanca İzmit oluşuna temas etmekte ve burada yerli kayanın yükselmesiyle meydana gelmiş bir eşikin Sapanca Gölünü İzmit Körfezi'nden ayırdığını söylemektedir. Peck'de bu eşikin Kuvaterner de oluştuğunu ileri sürmektedir [39].

Pfannenstiel (1944), İzmit körfezi ile Karadeniz arasında uzanan Sapanca Oluğu- Adapazarı havzası-Aşağı Sakarya vadisini takip ederek alçak bir bağlantı sahasının Kobelt (1898) tarafından tespit edildiğini ileri sürmüştür. Buna göre Sapanca Oluğu ve Adapazarı depresyonu hatta eşik sahasındaki ovalar muhtemelen çeşitli faylardan oluşan kenarlarla sınırlanmış çöküntü sahası durumundaydı. Daha sonra üst Diluvium (pleistosen) da bu sahalarda boyunca bağlantı kesilmiş ve Sapanca Gölü kalıntı bir deniz parçası halinde oluşmuştur. Yöredeki Kuvaterner, Holosen ve Pleyistosen' i içermekte ancak bunlar karşılıklı olarak Aluvium ve Diluvium olarak adlandırılmıştır [40].

Lahn (1948), Rish (1909) 'in önerisini benimsemektedir. Ona göre Sapanca Gölü, Neojen sonlarına doğru veya Kuvaterner başlarında oluşmakta olan çökmelerle ilgili olarak doğuya doğru uzanan deniz kolunun, kuzey ve güneydeki yüksek sahalardan

gelen akarsuların alüvyonları ile bölünmesi sonucu oluşmuş bir baraj gölüdür. Gölün bulunduğu alan bir graben sahasıdır [31].

Bu araştırmacıya göre bölgeye giren deniz kolu muhtemelen Adapazarı Ovası'nı da kapsamaktaydı. Böylece Sakarya Nehri İzmit körfezine akıyordu. Sapanca Gölü'nün körfezden ayrılmasından sonra da Sakarya'nın buraya aktığını daha sonrada Sapanca doğusunun alüvyonla dolması ve Karadeniz'in Adapazarı havzasını kapması sonucu Sakarya'nın Karadeniz'e kadar uzandığı sonucuna varmıştır. Sapanca Gölü'nden çıkan Çark Suyu Sakarya'nın alüvyonları sebebiyle ancak 3 km. sonra kuzeyde bu nehirle birleşmektedir.

Erinç (1949), Sapanca Gölü'nün derinlik haritasını ilk defa yapmış ve morfometrik özelliklerini ortaya çıkarmıştır. Buna göre yüzölçümü 46,9 km² olan Sapanca Gölü'nün en fazla derinliği 61 metredir. Göl tabanı, kuzeydoğu ve özellikle batıda eş derinlik izobatlarının gidişinde girinti çıkıntı bulunmasıyla burada sular altında kalmış bir vadi görünümündedir [16].

İnandık (1952-1953)'a göre Adapazarı Ovası ve Sapanca Gölü'ne karşılık gelen sahalarda bölgenin en alçak kısımlarını teşkil ediyordu. Bu çukur alanlarda çevredeki yüksek alanlardan gelen materyallerin biriktiği sığ tatlı su gölleri bulunuyordu. Daha önceleri batıya akmakta olan Sakarya Nehri'nin yatağı sonradan alüvyonlarla dolmuştur. Sakarya Nehri de bu alüvyonların akışı önlemesi nedeniyle kuzeydeki bir vadiden istifade ederek Karadeniz'e yönelmiştir [24].

Bilgin(1984)' e göre Adapazarı ovasından geçen Sakarya nehrinin Geyve boğazından çıktıktan sonra esas uzanışı kuzey doğu olan 1.5 km ye yaklaşan bir menderes kuşağına sahip olduğunu belirtmiş aynı zamanda Sakarya'nın özellikle menderesler oluşturduğu kısımlarda yakın zamanlarda meydana gelen yatak değişiklikleri göstermiştir. Sakarya'nın bugünkü ova kısmını oluştururken değişken kısımlarda aktığını belirlemiştir. Sakarya ovada bazen menderesler yaparak bazen de çapı 500 m ye varan bükülmeler çizerek kuzeye akmaktadır. Nehrin yüksek boşalimli olmasından dolayı ve sellenmeyi önleyecek az miktarda bitki örtüsü bulunması sebebiyle ova aşırı hacimde çökelle doludur. Araştırmacı ayrıca Sakarya nehrinin

Geyve Boğazı'ndan ani olarak çıkışından sonra düz olan Adapazarı ovasına ulaşarak hızını kaybettiğini ve bu esnada çakıl, kum, kil ve silt malzemelerini ovaya bıraktığını daha sonra yatağın gittikçe dolması sonucu azalan akım hızının ise kil ve silt istiflerini birikmesine yol açtığını belirtmiştir [9].

Gökçen (1990), Bilgin (1984), 'in görüşünü destekler. Eski çağlarda ovanın insansız olduğu birçok araştırmacı tarafından yinelenmektedir. Bunun sebebi olarak Sakarya Nehri'nin ilkbaharda karların erimesi ve yağmur sularının fazlaşması üzerine kabarıp 1965' e kadar ovayı basması gösterilmektedir. Mart ve Nisan aylarında ovadaki taban suyunun da yüksek olması nedeniyle taşkın sularının çekilmesinden sonra bölgede uzun süre su birikintileri ve bataklıklar bulunmaktaydı. Kente günümüzde bile kış ve ilkbahar aylarında yeraltı su seviyesi yer yer yüzeye çıkabilmektedir. Balcıoğlu ayrıca suların bol olduğu mevsimde Karasu ile Adapazarı arasında nehir yoluyla taşımacılık yapıldığı ve bunun 1960'lara kadar sürdüğünü bildirmiştir. Gökçekaya ve Sarıyer barajlarının kurulması ve ovada Sakarya nehrinin her iki tarafına setler yapılması nehri kontrol altına almış ve ovada alüvyon birikimi durmuştur [22].

14/8/1991 tarihinde başlayan ve 18/10/1991 tarihinde tamamlanan Adapazarı kenti kanalizasyon projesi inşaatının ana kolektör güzergahının ve temel özellikleri irdelenmek üzere yapılan çalışmalar sonucunda Adapazarı zemin özellikleri ortaya çıkarılmıştır. Çalışma süresi içinde İller Bankası Genel Müdürlüğü tarafından 24 adet 9 metre derinliğinde sondajlar açılmış, sondajlarda SPT yapılmış ve UD numuneleri alınmıştır. Deney sonuçlarına göre proje sahası zemin özellikleri çıkarılmıştır. Ayrıca İTÜ "İller Bankası 1.Bölge Müd. Adapazarı Kanalizasyonu İnşaatı Hakkında Geoteknik Rapor, İTÜ İnşaat Fakültesi, Şubat 1991" ve ODTÜ "Adapazarı Kanalizasyon İnşaatı Geoteknik Raporu, Ocak 1991" çalışmalarının sonuçları da yorumlanmıştır.

" İnceleme alanının %90 ı alüvyonlarla kaplıdır. Kaya zeminlerin alüvyon örtüsü altından çıkarak yüzeylendiği bölüm inceleme alanının güney doğu kesiminde Beşköprü batısı, Maltepe ve Hızırtepe semtlerinin yüksek kesimleridir. Kanal güzergahları zemini kil, silt ve kum seviyeleri veya bunların karışımından oluşan

seviyelerdir. Yer altı su seviyeleri 0,60-3,95 m arasında değişmektedir. Yeraltı suyu Sakarya Nehri'ne ve Çark Deresi'ne doğru akım göstermektedir. Dolayısıyla Çark Deresi ve Sakarya Nehri seviyeleri yeraltı su seviyesini değiştirmektedir. ”

Bol (2003), doktora tezinde Aydın (2002) ve Sofuoğlu (1998) ile yaptığı kişisel söyleşiler sonucunda Adapazarı'nın yeraltı ve yerüstü özellikleri hakkında bilgiler elde edilmiştir. Bu bilgilere göre Yahyalar ve Yağcılar mahalleleri bataklık ve sazlıktır, bu bölgelere kör Sakarya denir. Eski garajlar mevkiinde yaz kış kurumayan yaklaşık 3 dönüm bataklık ve sazlık arazi vardır. Bu söyleşilerde yakın geçmişte tatlı su gölü olan bölgelerde ayırtlanmıştır. Adapazarı ovasında tarla ve bahçelerin boyutları küçük olsa bile etrafları en az 1 m derinliğinde ve genişlikleri 50-60 cm olan kanallarla çevriliydi. Kanallar birbirlerine sistem içinde bağlı idiler. Belediye bazı bölgelerde bunları ıslah ederek kanalizasyon haline getirmiştir. Sofuoğlu yaptığı inşaatların temel kazılarında çakıl, temiz kumların muhtelif yerlerde açığa çıktığını, çakıllar vasıtasıyla büyük debilerde yeraltı sularının iletildiğini ve bunların muhtemelen eski bir nehir yatağının kalıntıları olduğunu vurgulamıştır.

1999 Marmara Depremi sonrasında yapılan ayrıntılı çalışmalar sonucunda Erken (2001), yapılan sondaj sonuçlarından genel bir zemin haritası çıkarmıştır [17].

Erken ve diğ. (2003), 17 Ağustos 1999 Kocaeli Depremi'nde Adapazarı'nda oluşan ağır hasar ile bölgenin yerel zemin koşulları arasında olan ilişki incelemiştir. Adapazarı'nda hasarın en yoğun olarak gözleendiği bölgede temel zeminini düşük plastisiteli veya plastik olmayan siltli zemin tabakalarıdır. Düşük plastisiteli silt tabakasının kalınlığı genel olarak 3,0 m ile 15,0 m arasında değişmekle birlikte yer yer 15.0 m'yi aşmaktadır. Bu tabakanın bazı yerlerinde kum içeriği %50'ye kadar ulaşmaktadır. Laboratuar deney sonuçlarının ve sıvılaşma analizlerinin birlikte değerlendirilmesi sonucunda plastik olmayan veya düşük plastisiteli siltlerin ve ince dane oranları düşük kumların sıvılaşma eğiliminde oldukları ve ayrıca yer yer killerde ve plastik siltlerde taşıma gücü kaybının olduğu anlaşılmıştır.

Tsukamoto ve diğ. (2001), deprem sırasında bazı binalarda eğilme oturma sebeplerini incelemek için deneyler yapmışlardır. Adapazarı zeminlerinin genel olarak silt ve kumlardan oluştuğunu belirtmişlerdir [56].

Kiku ve diğ. (2001), yaptıkları araştırmalar sonucunda Adapazarı kent merkezinin etrafının önceleri bataklıkla çevrili bir ada olduğunu ve çevresine oranla daha yaşlı çökellerden oluştuğu kanısına varmışlardır [29].

Sakarya nehri, Geyve boğazından çıktıktan sonra, Adapazarı ovasına girdiği alanda vadi tabanını ve güncel taraçaları sınırlayan 100-150 metre seviyelerindeki (Türbe tepe 109 m. – Mezarlık tepe 124 m. gibi) çakıl, kum karışımı depo karakterli seviyeler ile çevrilmiştir. Bu depolar bir fandelta karakterindedir. Orta Pleistosen’de İzmit körfezi ile bağlantılı olan Adapazarı ovası, daha sonra İzmit körfezinin batıya çekilmesi ile Sakarya ve diğer akarsular tarafından doldurulmuş ve ovanın drenajı Karadeniz’e bağlanmıştır.

Bu fikrin en önemli kanıtı ise Adapazarı ovasında yapılan C14 mutlak yaş tayinleri ve Sakarya nehrinin Geyve boğazından çıkıp ovaya girdiği sahada oluşturmuş olduğu fandeltadır. Orta Pleistosen’de Sakarya nehri ile bağlantılı olan İzmit Körfezi’nin Genç Holosen’ de batıya çekildiği saptanmıştır. İzmit Körfezi ile bağlantısı kopan Sakarya bu defa kuzeye doğru hareket ederek Karadeniz’e akmaya başlamıştır. İzmit Körfezinin batıya çekilmesi ve Sakarya nehrinin Karadeniz’e yönelmesinden günümüze kadar Sakarya nehri, Mudurnu çayı ve diğer küçük dereler Adapazarı ovasının drenaj sistemini oluşturmaya çalışmışlardır. Adapazarı Ovasına güneyden giren Sakarya nehri ve Mudurnu çayı, ovaya girişte oluşturdukları çakıl depoları ve bu çakıl depolarından Sakarya nehri yatağında olan üzerinde yapılan çakıl analizlerinde ortamın denizel karakterli olduğu ortaya konmuştur.

Sonuç olarak, Sakarya nehri Karadeniz’e ulaşmadan önce, Adapazarı havzasına boşalmakta olup, Geyve boğazı ağız kısmında Fandeltta karakterinde bir kıyı deltası oluşturabilecek kadar uzun bir süre bu havzaya akmıştır. Adapazarı Ovasında meydana gelen çökmeler bağlı olarak Sakarya nehri oluşturduğu bu fandeltayı dönemler halinde yarararak yatağını derinleştirmiştir.

Geyve Boğazı kuzey çıkışında oluşan fandelmanın tamamıyla bir delta karakteri göstermemesi ve depolar üzerinde yapılan çakıl analizlerinden malzemenin çok uzaklardan getirilmemiş olması sonucu, bize bu fandelmayı oluşturan akarsuyun şimdiki Sakarya'dan daha kısa boylu bir akarsu tarafından oluşturulmuş olabileceği düşüncesini doğurmaktadır.

Ülkemizin, ekonomik ve sosyal açıdan önemli bir bölümünü oluşturan Adapazarı ovası ve çevresi, Kuaterner jeomorfolojisi ve doğal çevre değişimleri açısından oldukça ilginç bir alan olması nedeniyle ileride daha da ayrıntılı çalışılması gereken problemleri sahalardan birisi olduğunu söylemektedir.

3.5. Adapazarı Jeomorfolojisi ve Jeolojisi

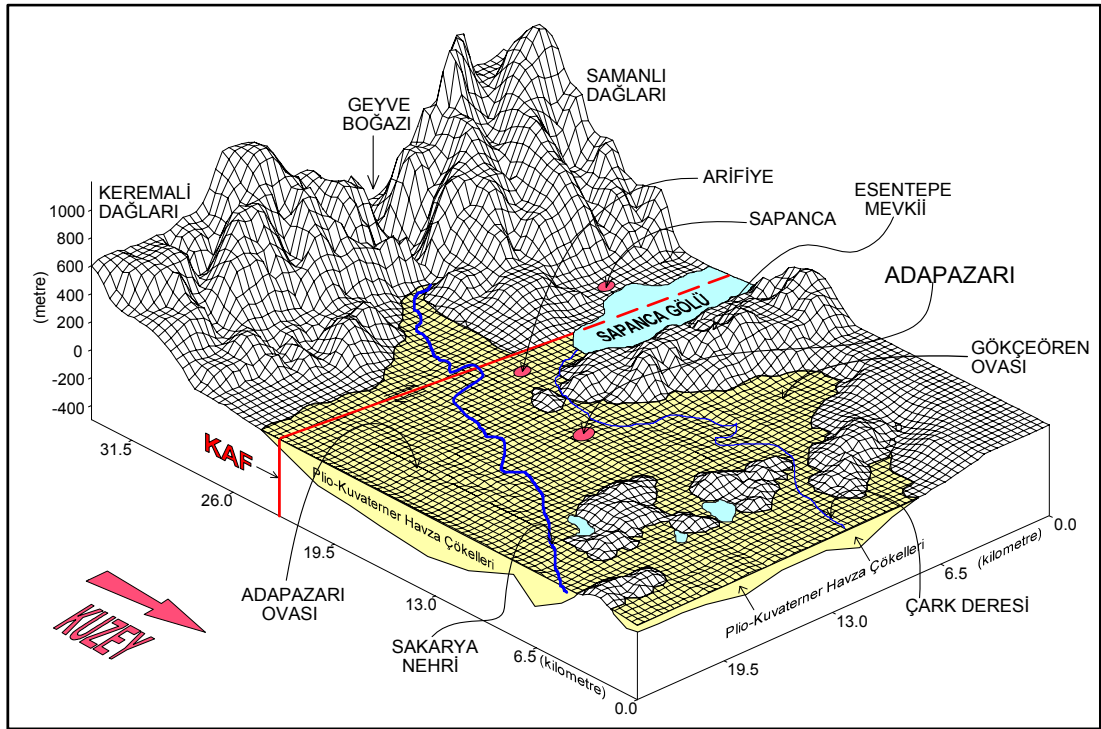
Adapazarı kenti Kuvaterner, geniş alana yayılmış olan alüvyon ile temsil edilir. Adapazarı Hendek ve Akyazı ovaları tutturulmamış kum, kil, silt ve çakıldan oluşur. Alüvyonu oluşturan gereçler Sakarya Nehri, Çark Suyu ve Mudurnu Çayı tarafından Kuzey Anadolu Fay Zonu ve güneyindeki kayalardan taşınmıştır.

MTA (1998), yaptığı çalışmalarda ova kenarlarında düşük olan alüvyon kalınlığının ova ortalarında 150 metre kalınlığa ulaştığını bildirmiştir. DSİ'nin katkılarıyla Adapazarı Yenigün Mahallesiinde yaptırılan 200 metrelik sondaj sonucunda alüvyon içinde kalınmıştır. Bu kadar büyük bir alüviyal dolgunun hangi bölgelerden taşındığının bilinmesi için Sakarya havzasından bahsetmek gerekir. Sakarya havzası 58.000 km² lik su toplama alanıyla ve 4 milyar m³ üzerinde yıllık ortalama su hacmi ile Türkiye'nin büyük havzalarından biridir. Bolu, Ankara, Konya, Afyonkarahisar, Kütahya ve Bursa arasında 2.075.000 hektar ovalık alan vardır [33].

Sakarya Nehri ilin içinde uzunluğu 159.5 km'dir. Pamukova'nın güneyinde il topraklarına girer. Geyve Boğaz'ına girmeden önce Karaçay'ın suyunu alır. Doğudan Mudurnu Çayını da (65 km.) aldıktan sonra kuzeye yönelir. Sapanca Gölünün fazla suyunu boşaltan Çark Suyu (45 km.) kuzeyde Sakarya ile birleşir. Vadinin batısında 1000 metreye ulaşan dağlar yükselir. Sapanca'dan sonra düze yakın alanda akmaya başlar, kuzeydeki plato alanından yer alan boğazı geçer ve kıyı ovasına ulaşır. Karasu

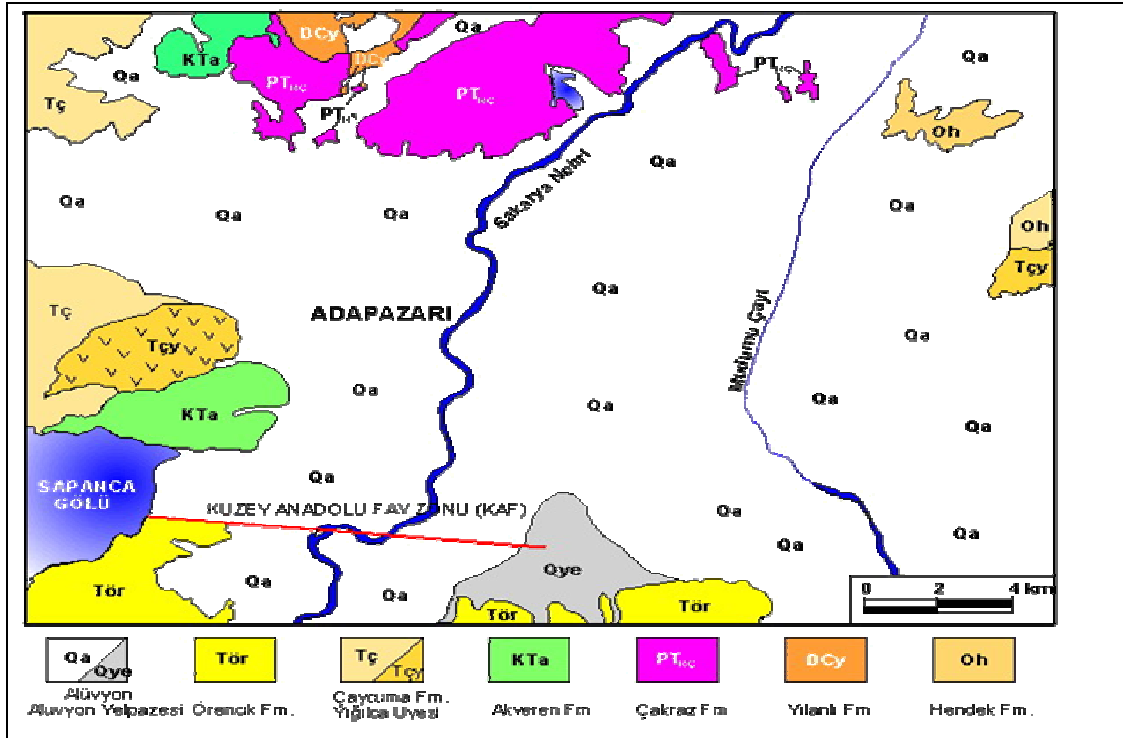
ilçesinde Karadeniz'e dökülür. Nehrin ovanın değişken kısımlarında aktığına menderesler oluşturduğuna dair bulgular vardır. Nehrin yüksek boşalımlı olmasından dolayı ve sellenmeyi önleyecek az miktarda bitki örtüsü bulunması sebebiyle ova aşırı hacimde çökelle doludur. Ayrıca Geyve boğazı'ndan ani çıkışı ardından düz Adapazarı ovasında hızını kaybettiğinden çakıl, kum, kil ve silt malzemeleri ovaya bırakmış ve yatağın gittikçe dolması sonucu azalan akım hızı ile kil ve silt istiflenmesine yol açmıştır [9].

Şekil 3.3 ' de görüldüğü gibi Adapazarı havzasını güneyden sınırlayan yüksek kısımlar daha ziyade E-W uzanımlı olup bu uzanımın batı kısmını Samanlı Dağları, doğu kısmını ise Karadağ-Keremali Dağları oluşturur. Bu yüksekliğin nispeten alçaldığı kesiminde Geyve Boğazı olarak bilinen derin vadi Sakarya nehri tarafından katedilir. Adapazarı'nın güney batısında bulunan Sapanca Gölü'nün kuzey ve güney kısımları yüksek tepeliklerle kısıtlanır. Sapanca Gölü'nün doğu kısmı düz bir saha teşkil eder. Kentin kuzey kısımları (Karakamış, Dağdibi kuzey kenarları) 150-200 m civarında tepelik bir saha ile sınırlanır. Adapazarı şehrinin kurulmuş olduğu saha genelde düz bir görünüm ihtiva etmekte olup şehir merkezinin deniz seviyesine göre yüksekliği genelde 31m. civarındadır. Bu yükseklik NE istikametinde %0.5, NW istikametinde %2' lik bir eğimle azalma gösterir. Kentleşme sınırlarındaki bu düzlüğü batıda Serdivan ve güneybatıda Erenler mevkiileri kısmen bozmaktadır.



Şekil 3.3. Adapazari'nin KD'dan GB'ye doğru morfolojik görünümü [33]

Bölgede yüzeylenen birimlerin 1/100.000 ölçekli jeoloji haritası MTA (1998) tarafından yapılmış olup bu birimler Şekil 3.4. görülmektedir.



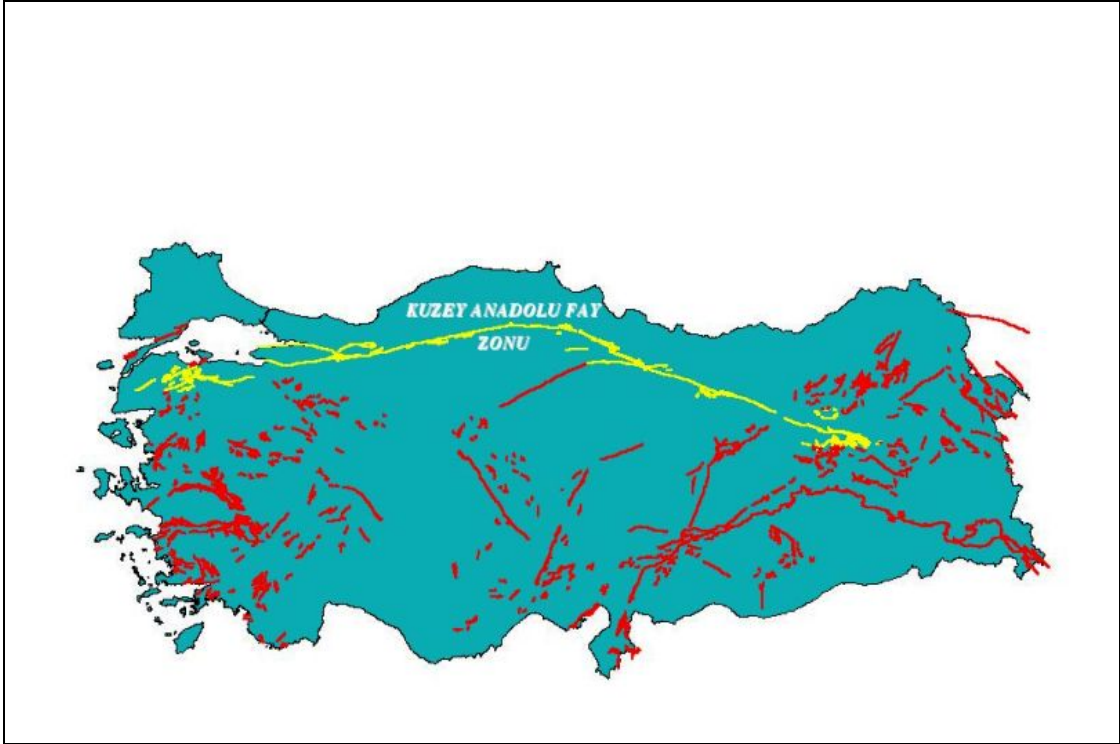
Şekil 3.4. Adapazari Merkez Jeoloji Haritası [33]

BÖLÜM 4 ADAPAZARININ DEPREMSELLİĞİ ve 17 AĞUSTOS 1999 DEPREMİ

4.1. Kuzey Anadolu Fayı (KAF)

Çok sayıda araştırmacı ([28]; [54]; [45]; [50]; [46]; [52]; [4]; [48]; [35]) tarafından incelenen Kuzey Anadolu Fayı (KAF), Türkiye'nin en önemli tektonik yapıları arasında yer almaktadır. Türkiye'de meydana gelen önemli oranda can ve mal kaybına neden olan depremlerin büyük bir kısmının bu faya bağlı olarak geliştiği gözlenmiştir. KAF ilksel olarak Paleotektonik dönemde Anadolu ve Arap plakalarının sıkışması sonucunda ortaya çıkmıştır. Neotektonik dönem ve sonrasındaki hareketlerle ortaya çıkan ve KAF'nın ilksel konumuna paralel olarak gelişen bir çok fay segmentinden oluşan kırıklar topluluğunda bu fay zonunu oluşturmuşlardır. Genel fay karakteristiği açısından sağ yönlü doğrultu atımlı fayı gösteren KAF zonu doğuda Varto yakınlarından başlayarak batıda Saroz Körfezine kadar uzanmaktadır (Şekil 4.1).

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



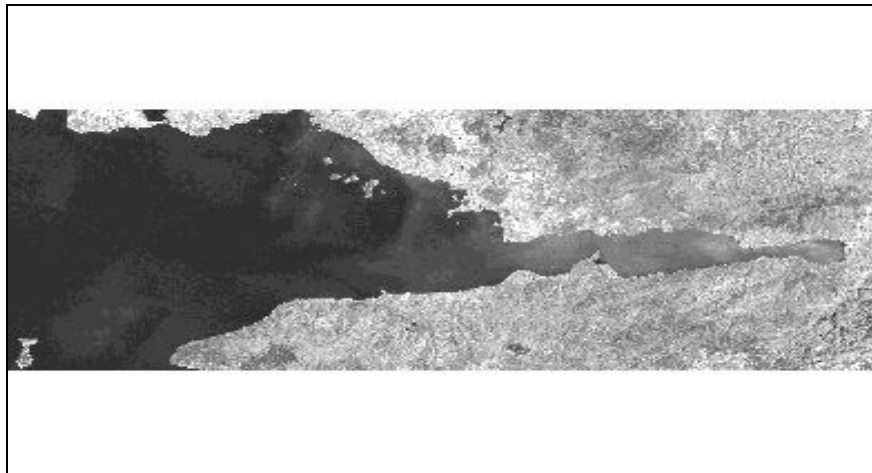
Şekil 4.1. Kuzey Anadolu Fayı [70]

4.2 Deprem Bölgesinin Jeolojik, Morfolojik ve Depremsellik Özellikleri

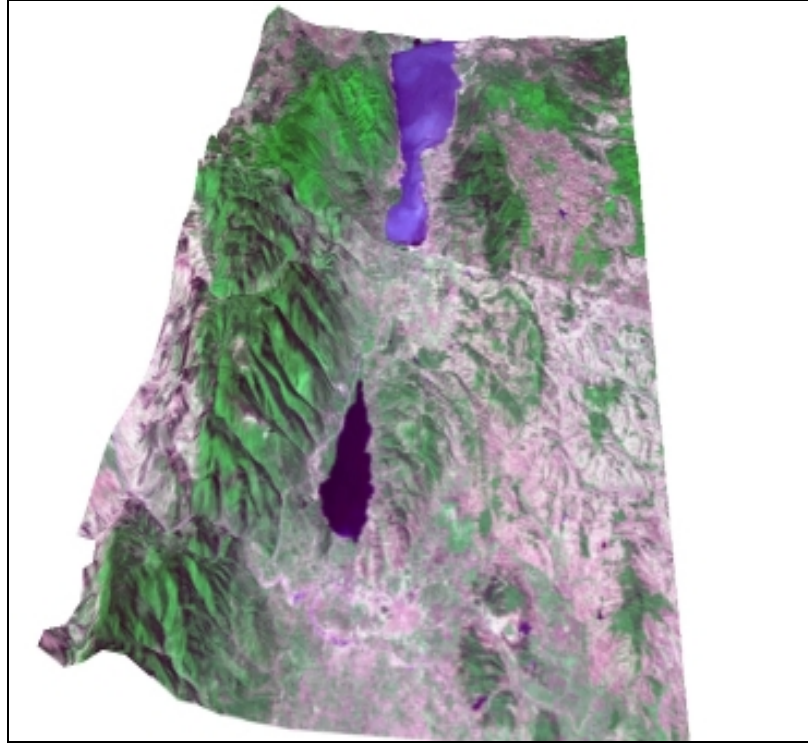
Depremin etkilediği bölge jeolojik açıdan Kuzey Anadolu Fay Zonunun batı kesiminde yer almaktadır. 1/500.000 ölçekli Türkiye jeoloji haritası baz alındığında bölgenin Paleozoyik, Mesosoyik ve Senozoyik yaşlı çok çeşitli litolojik birimlerden oluştuğu görülmektedir.(Bknz. Tablo 2.1) Özellikle Senozoyik döneme ait birimlerden Pliyosen ve Kuvaterner yaşlı oluşumlar üzerinde depremin hasar açısından daha etkili olduğu gözlenmiştir. Jeolojik açıdan bir diğer önemli hususta; 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. Uydu görüntüleri üzerinde bu basenlerin dağılımı görülmektedir (Şekil 4.2) [36].



Şekil 4.2a. İzmit Körfezinin batıdan doğuya doğru 3 boyutlu uydu görüntüsü (ölçeksiz) [71]



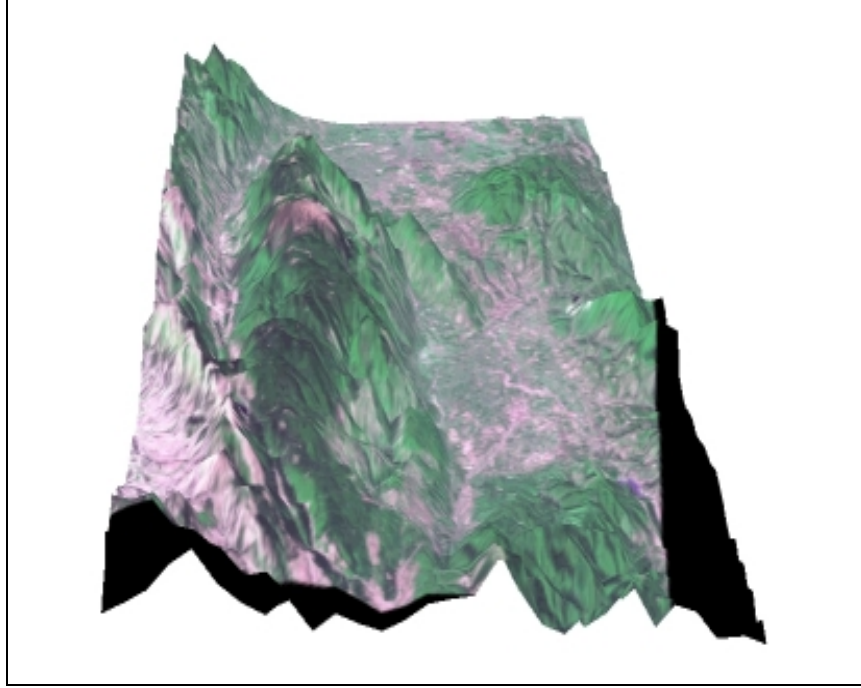
Şekil 4.2b. İzmit Körfezinin batıdan doğuya doğru 3 boyutlu uydu görüntüsü (ölçeksiz) [71]



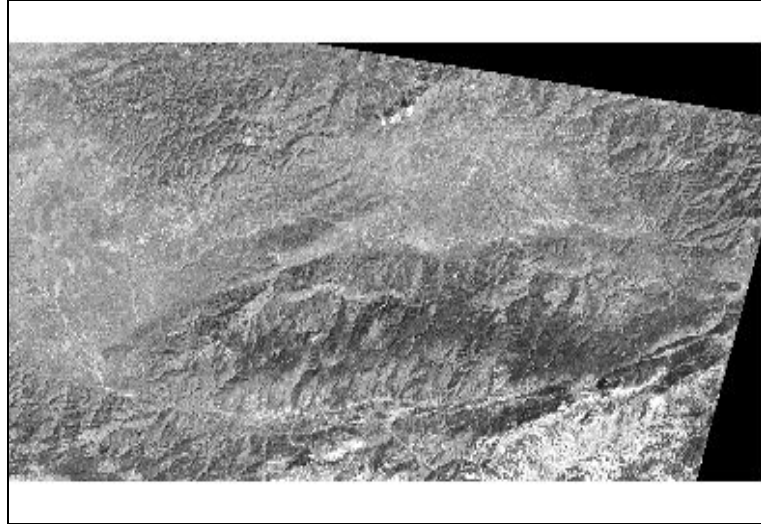
Şekil 4.2c. Akyazı İzmit Körfezi arasını 3 boyutlu uydu görüntüsü, bakış doğudan batıya,(Ölçeksiz)
[71]



Şekil 4.2d. Akyazı İzmit Körfezi arasını 3 boyutlu uydu görüntüsü, bakış doğudan batıya,(Ölçeksiz)
[71]

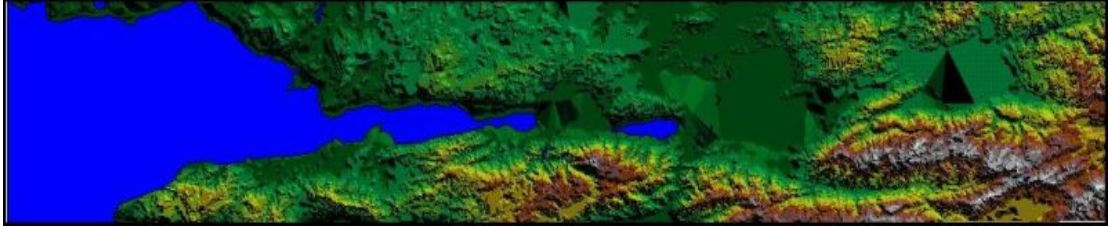


Şekil 4.2e. Gölyaka – Mudurnu Vadisi civarının 3 boyutlu uydu görüntüsü, bakış doğudan batıya doğru (ölçeksiz) [71]



Şekil 4.2f. Gölyaka – Mudurnu Vadisi civarının 3 boyutlu uydu görüntüsü, Bakış doğudan batıya doğru (ölçeksiz) [71]

Morfolojik açıdan deprem bölgesine bakıldığında (Şekil 4.3), bölgenin güney ve kuzeyindeki yükseltiler arasında göllerinde içinde bulunduğu basenler boyunca Doğu-Batı uzanımlı topoğrafik olarak düşük eğimlere sahip düzlükler yer almaktadır. Şekilde görüldüğü gibi Yalova-Bolu arasında düşük eğime (0° - 10°) sahip bölgeler afet bölgesinin % 34' nü oluşturmaktadır.



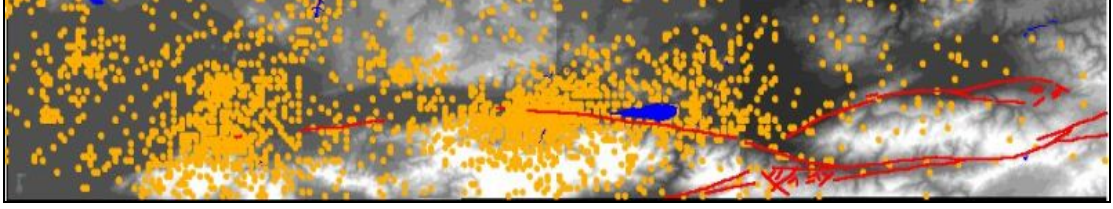
Şekil 4.3. Deprem bölgesinin kabartma haritası [41]

Kuzey Anadolu fay (KAF) zonunun batı kesimi deprem dağılımları açısından oldukça aktiftir. En son olarak Mudurnu vadisi içinde 10 yıl arayla KAF zonuna bağlı olarak 1957 Abant depremi ($M_s=7.0$) ve 1967 Mudurnu vadisi depremleri ($M_s=7.1$) gözlenmiştir.

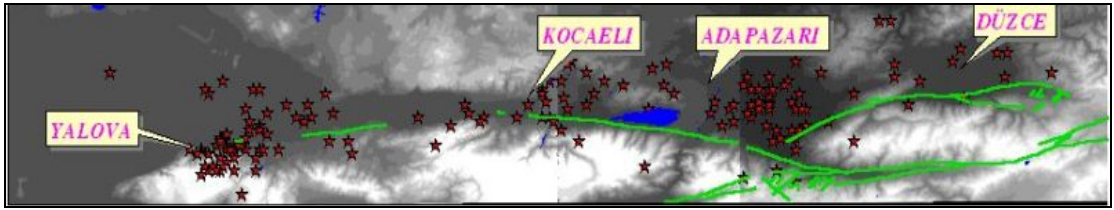
Öcal (1957)' a göre, 1957 Abant depremi sonucunda arazide iki yüzey kırığı oluşmuştur. Bunlardan ana fay olarak kabul edilen kırık Abant'dan İğneciler, Mudurnu vadisini takip ederek Dokurcun'a kadar uzanmaktadır. Yazara göre toplam kırık uzunluğu 40 km. olup odak mekanizması çözümü de sağ yönlü doğrultu atımı vermektedir. Ambraseys vd. (1969) yılında Mudurnu vadisi depremi ile ilgili yaptıkları gözlemlerde yüzey kırığının İğneciler köyünden başlayarak Mudurnu vadisi boyunca yaklaşık EW doğrultusunda Sapanca gölünün güneyine kadar uzandığını saptamışlardır. Toplam fay uzunluğunu 80 km. olarak veren araştırmacılar fay boyunca 190 cm kadar da sağ yanal atım belirlemişlerdir [71].

Bu yıllardan sonra inceleme alanının büyük depremler açısından sakin bir döneme girdiği saptanmıştır. İnceleme alanının aletsel döneme ait deprem kayıtlarına bakıldığında (Şekil 4.4, a) İzmit körfezi ile Sapanca gölü arasındaki kesimde ve Yalova civarında ana yoğunlaşmaların meydana geldiği görülmektedir. Aynı şekilde, deprem olayından sonraki 30 günlük zaman dilimi içindeki artçı depremlerin

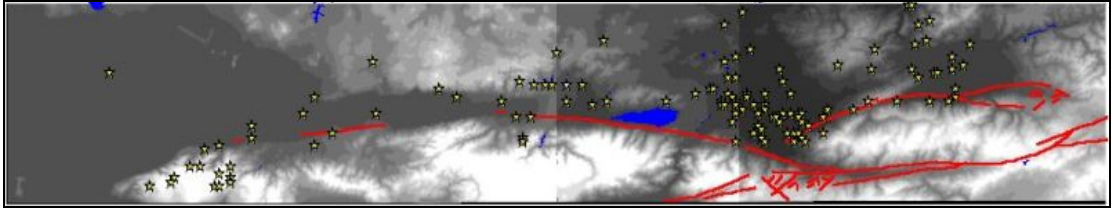
dağılımı da (Şekil 4.4, b-c) aletsel dönemdeki yoğunlaşmalara ilaveten Adapazarı ovasında da üçüncü bir yoğunlaşmanın olduğunu göstermektedir.)



Şekil 4.4a. Aletsel döneme ait deprem etkinliği [71]



Şekil 4.4b. 17-31 Ağustos arasındaki artçı şok dağılımı [71]



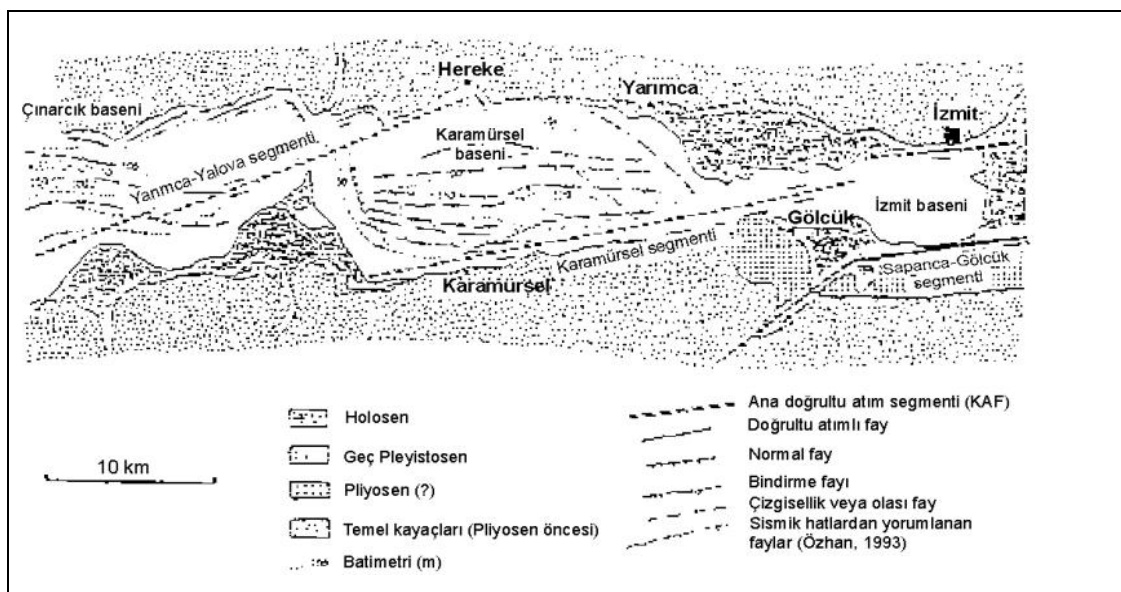
Şekil 4.4c. 1-17 Eylül Arasındaki artçı şok dağılımı [71]

4.3. Marmara Bölgesinin Tektoniği

Başta İzmit Körfezi olmak üzere, Marmara Bölgesinin tektoniğinin araştırılmasına yönelik bugüne değin çok sayıda çalışma yapılmıştır (örneğin son on yılda; [5]; [44]; [3]; [30]; [6]; [7] ; [38] bunlardan bazılarıdır). Bölgenin tektonizmasıyla ilgili pek çok husus açıklığa kavuşturulmuş olmakla birlikte, halen tartışmaya açık olan konular bulunmaktadır. Marmara Bölgesi'nin güncel tektoniğini incelediği çalışmasında Barka (1997), bölgeye ait önceki araştırmaları özetleyerek, Kuzey

Anadolu Fayı'nın Mudurnu Vadisi civarında üç kola ayrıldığını belirtmektedir. Bu kollar; İzmit'ten geçip Marmara Denizi ve Saroz Körfezi boyunca Yunanistan'a kadar uzanan kuzey kol, Geyve, İzmit, Mudanya, Bandırma ve Biga'yı izleyen bir hat boyunca merkezi kol ve Bursa, Manyas Gölü, Balıkesir üzerinden Edremit Körfezi'ne kadar uzanan güney koldur. Marmara Denizindeki çukurluklar ile Sapanca, İzmit ve Manyas gölleri, KAFZ'na ait kolların doğrultu atımlı hareketiyle ilişkili olan çek-ayır (pull-apart) mekanizmasının ürünleri olarak değerlendirilmektedir. Kuzey Anadolu Fay Zonu, çok sayıda segment ile bu segmentleri oluşturan kademeli ve sağ yanal atımlı faylar tarafından temsil edilmektedir. KAFZ'nun Doğu Marmara Depremi'nde rol oynayan kuzey kolu, biri Sapanca-Gölcük segmenti, diğeri ise Karamürsel segmenti veya fayı olmak üzere iki segmentten oluşmaktadır [30], [7].

Sapanca-Gölcük segmenti, Sapanca Gölü ile İzmit Körfezi arasında yaklaşık D-B doğrultusunda uzanırken, İzmit Körfezinden itibaren Gölcük civarında GB'ya doğru yön değiştirmektedir. Hava fotoğraflarından yapılan değerlendirmeler ve Gölcük ile Hersek deltası arasında kalan kıyı çizgisinin çok düzgün olması KD-GB doğrultulu Karamürsel segmentinin Gölcük'ten itibaren kıyının çok yakınından geçtiği, ancak Hersek deltasının batısına kadar devam etmediği şeklinde değerlendirilmektedir (Şekil 4.5).



Şekil 4.5. Çınarcık, Karamürsel, İzmit Beseni ve Sapanca Gölcük Segmenti [7]

4.4. 17 Ağustos 1999 Depreminin Özellikleri

Deprem, 17.08.1999 de saat 3.02 de 40.70 kuzey enlemi ile 29.91 doğu boylamının tarif ettiği bölgede, İzmit'in 11 km güney-doğusunda meydana gelmiştir. Depremin büyüklüğü çeşitli kuruluşlar tarafından değişik değerlerde bildirilmiş ise de, moment büyüklüğü $M_w = 7.4$ ve yüzey dalgası büyüklüğü $M_s = 7.8$ değerleri civarında değişmektedir. Depremin odak derinliğinin 10-15 km olduğu ve sağ atımlı 120 km civarında bir fay hareketi ortaya çıktığı yapılan incelemelerle belirlenmiştir. Ana deprem dalgasının ardından büyüklüğü 4.0- 5.0 değerlerinde olan çok sayıda artçı depremler meydana gelmiştir. 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 birleşende birbirleri ile kıyaslanabilir büyüklüktedir.

17 Ağustos sabah saat 3.02 de meydana gelen deprem, karada İzmit körfezi ile Düzce güneybatısı arasında yaklaşık 120 km uzunluğunda bir yüzey kırığı meydana getirmiş olup bu kırık üzerinde 4.2 m' ye varan sağ-yanal yer değiştirmeler meydana gelmiştir. Yapılan arazi gözlemlerine göre, faylanma genelde 4 segmentten oluşmaktadır ve İzmit körfezi ile Akyazı arasında kalan segmenti ana kırığı oluşturmaktadır. Kırığın üzerinde yer alan TEM otoyolu en az üç yerde kırık tarafından kesilerek yolun yer yer 200 m uzunluğundaki bölümünü deforme etmiş olup üst geçitlerin yıkılmasına veya kullanılamaz hale gelmesine sebep olmuştur. Yer yüzeyinde meydana gelen maksimum yatay atım(yer değiştirme) Arifiye yakınlarında Sapanca'nın doğusunda kaydedilmiştir. Maksimum yatay yer değiştirme bir yol da görüntülenmiş ve yaklaşık 5 m olarak ölçülmüştür(Resim 4.1). Diğer önemli bir yer değiştirmede Arifiye'deki demir yolunda meydana gelmiş ve burada da yatayda 2.7 m ve düşeyde de yaklaşık 1 m olarak ölçülmüştür (Resim 4.2).



Resim 4.1. Arazide görülen yüzey kırıkları ve yüzey kırığı üzerinde gözlenen yaklaşık 3 m lik sağ yanal yer değiştirme [42]



Resim 4.2. Arifiye demiryolunda meydana gelen 2.7 metrelik yanal yer değiştirme [42]

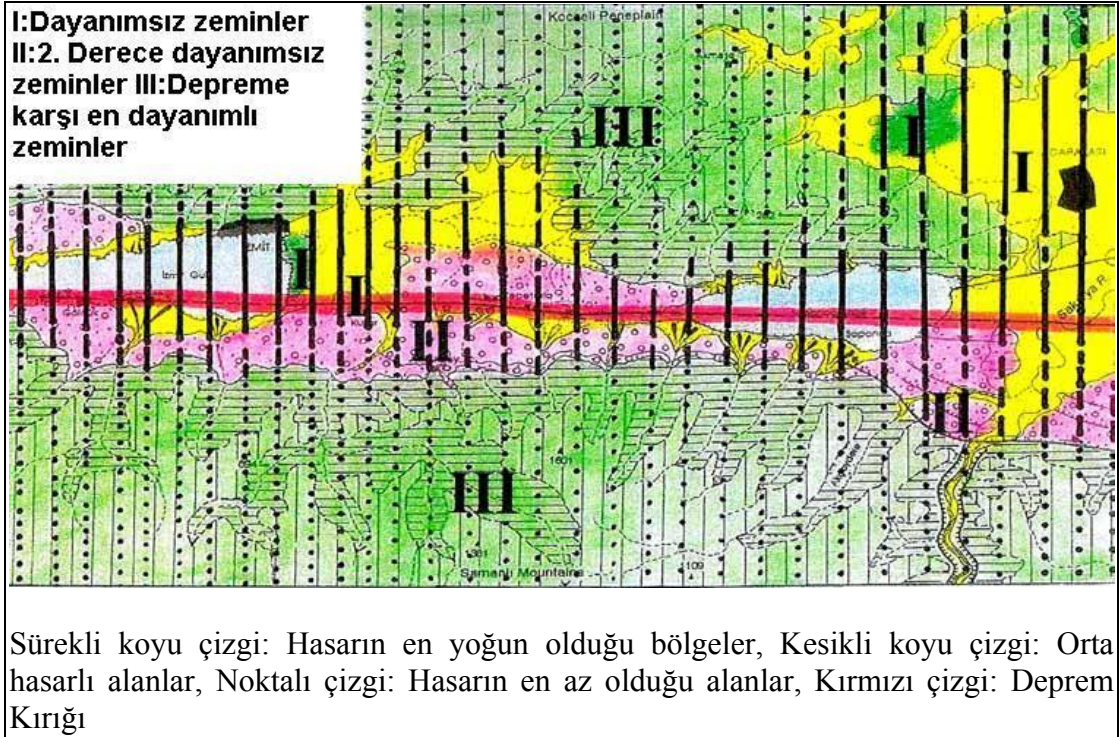
17 Ağustos 1999 İzmit depreminin büyüklüğü hakkında da farklı görüşler bulunmaktadır. Amerikan kaynakları ilk verilerde depremi $M_s=7.8$ olarak vermişler, Kandilli Rasathanesi ise $M_s=6.7$ ve daha sonra 7.4 olarak değerlendirmiştir. Arazide yapılan makro sismik ilk gözlemler değerlendirildiğinde depremin 1999 yılında, $M_s= 7.4$ civarında olması gerektiği düşünülmüştür. Bu değer arazi çalışmaları tamamlandıktan sonra 0.1 büyüyebileceği kanaatine varılmıştır.

Bu Deprem sonrasında fayın batıya uzantısı olan Karamürsel - Yalova segmenti ve Çınarcık çukurluğunda kırılmamış ise ki bu konuda çalışmalar devam etmektedir, Deprem riski eskiye nazaran yükselmiş bulunmaktadır. Ancak bunun zamanı hakkında kesin bir şey söylemek bugün için bilimsel olarak mümkün değildir.

Kesin olan İzmit körfezi ve Çınarcık çukurluğundaki segmentlerin üzerinde var olan deprem riskinin bu deprem sonrasında daha da arttığıdır. Aktivitenin önümüzdeki en fazla 30 yıl içinde batıya, komşu segmentlere sıçrayıp benzer büyüklükte deprem meydana getirmesi mümkündür.

4.5. Adapazarı'nın Depremselliği

Saha gözlemleri, yapı hasarlarında jeolojik zemin özelliklerinin belirleyici olduğunu ortaya koymaktadır. Ölümle sonuçlanan hasarlar fay boyunca 20-200 m. genişliğindeki fiziksel deformasyon zonu (yüzey kırığı) ile bataklık ve dayanımsız zeminler olan pekişmemiş çakıl-kum-milden oluşan yeni alüvyon zeminler üzerinde gerçekleşmiştir (Şekil 4.6).



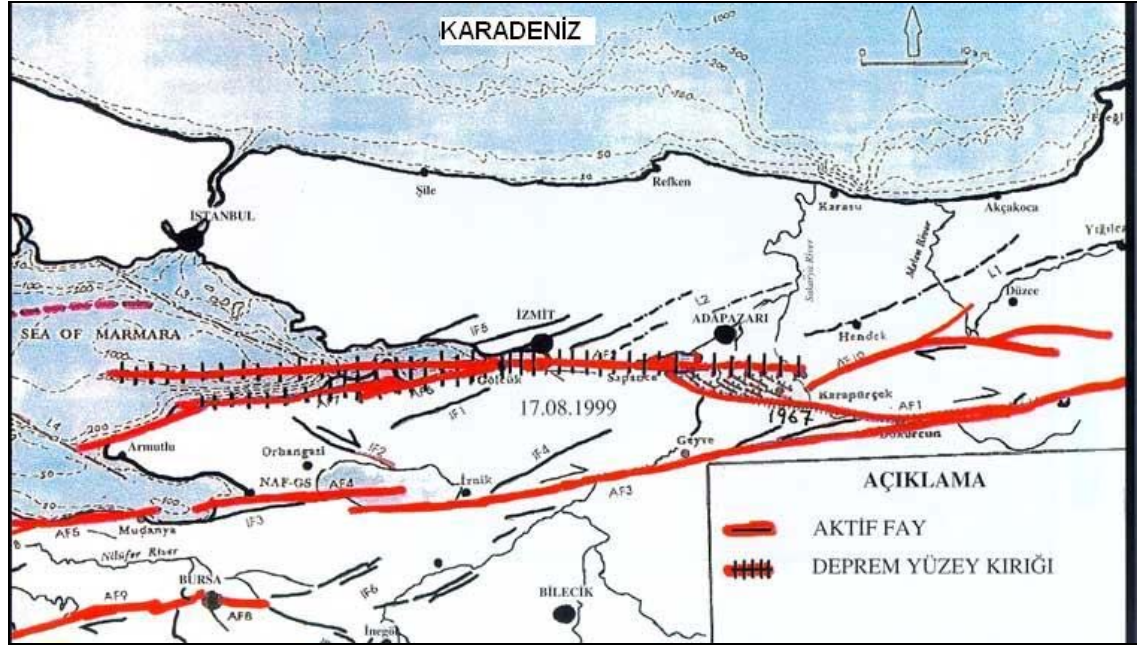
Şekil 4.6. 17 Ağustos Depremi Hasar dağılım Haritası [87]

Fayın yüzey kırığına çok yakın mesafede, hatta doğrudan fay kırığı üzerinde bulunmasına rağmen deprem sarsıntılarında daha az etkilenen sağlam zeminlerdeki yapıların çoğunda ölümcül hasarların olmadığı görülmüştür. Buna karşın, depremin merkez üssü ve fay kırığından uzakta olmasına rağmen jeolojik anlamda depreme karşı dayanımsız olan zeminlerin çoğunda toplu ölümle sonuçlanan yıkıntıların meydana geldiği izlenmiştir. Bu durumun en iyi örneği Adapazarı şehridir. Burada doğal olarak fay kırığı yakın çevresinde maksimum hasar beklenmesine rağmen, hasar esas olarak şehrin faya uzak merkez bölgelerinde etkili olmuştur. Bu hasar dağılımı tamamen kent yerleşmesinin yerel zemin özelliklerinin sonucudur. Afet bölgesinde incelenen alan içinde kalan Gölcük-İzmit-Sapanca-Adapazarı-Akyazı gibi büyük yerleşimlerde ölümle sonuçlanan hasarın aynı sebebe dayandığı görülmüştür. Dolayısıyla, depremde meydana gelen can kaybı ve hasarın esas nedeni, bölgedeki yapılaşmanın yoğun olarak depreme karşı çok zayıf jeolojik zeminde olması ile ilgilidir [85].

Bina tabanındaki zeminin jeolojik yapısı ve özellikleri, deprem esnasında bina yıkılmalarında önemli bir rol oynamaktadır. Deprem sırasında deprem dalgalarının sert ve kaya zeminlerden geçişiyle gevşek zeminlerden geçişi ve yıkım etkisi çok

farklıdır. Deprem sırasında gevşek ve sıkışmamış zeminler, zemin hakim titreşim periyodunu büyütürken depremin yıkıcı etkisini arttırmaktadır.

Şekil 4.7’de MTA Genel Müdürlüğü uzmanlarının afet bölgesinde, depremden iki yıl önce konu ile ilgili olarak gerçekleştirdikleri araştırmalara göre belirlenen aktif faylar gösterilmektedir.



Şekil 4.7 Afet bölgesi ve yakın çevresinin aktif fay haritası [83]

Bayındırlık ve İskân Bakanlığı ve Valilikler tarafından depremde zarar gören binalar tespit edilmiştir. Bu depremden yıkılan ve ağır hasar gören bina açısından Adapazarı en çok etkilenen şehirdir (Tablo 4.1).

Tablo 4.1. 17 Ağustos 1999 depreminden etkilenen binaların Adapazarı, İzmit ve Yalova şehirlerine ait hasar sonuçları [26]

Şehir	Ağır Hasarlı ve Yıkılan Bina Sayısı	Orta Hasarlı Bina Sayısı	Hafif Hasarlı Bina Sayısı
Sakarya (Adapazarı)	11373	5813	8763
İzmit (Kocaeli)	3614	12944	13335
Yalova	9637	8988	12677

4.6. Zemin ve Temel Mühendisliği Değerlendirmeleri

İzmit Körfezi, İzmit Kuzey Anadolu fayının kuzey kolu üzerinde yer almaktadır ve bu yapı bir seri basenlerden oluşmaktadır. İzmit Körfezi'ne boşalan nehirler jeolojik süreç içerisinde Gölcük, Hersek, Kavaklı deltalarını ve Sapanca Gölü ile İzmit Körfezi arasındaki geniş ve uzun alüvyon düzlüğünü oluşturmuştur. Bu alanlarda, zemin profili genelde çok kalın, yumuşak-orta katı kil veya gevşek kum tabakalarından oluşmaktadır. Diğer bir deyişle, Kuzey Anadolu Fay Hattı'nın Marmara Denizi'nin güneyi boyunca uzandığı bölgede hem sismik aktivite çok yüksek ve hem de zemin koşulları son derece elverişsizdir. Çeşitli projelerle ilgili olarak bölgede yapılan zemin araştırmaları, zemin tabakalarının sıkışabilme özelliğinin çok yüksek olduğunu ve ayrıca bazı bölgelerdeki zeminlerin sıvalaşma potansiyeli gösterdiğini ortaya koymuştur. Nitekim, depremi takiben İTÜ Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği öğretim üyelerinin yerinde yaptığı incelemelerde özellikle Adapazarı, Gölcük ve Yalova'da meydana gelen hasarların başlıca sebebinin zemin problemlerinden kaynaklandığı belirlenmiştir. Buna karşılık, ciddi ve bilimsel zemin araştırmalarına dayanan temel mühendisliği çözümlerinin uygulandığı projelerde örneğin, yumuşak zemin koşullarında kazıklı temel sistemlerine taşıtılan binalarda ve sanayi tesislerinde, fay hattına çok yakın olsa bile herhangi bir hasar meydana gelmemiştir. Adapazarı örneğinde olduğu gibi, zemin koşulları elverişsiz ve yeraltı su seviyesi çok yüksek olduğu halde ağır yapıların bile tekil veya sürekli temellere taşıtıldığı yerlerde ise binaların farklı oturma yaptığı, devrildiği, yana yattığı veya zemin katların bodrum kata dönüştüğü tespit edilmiştir. İlk defa bu depremde elverişsiz zemin koşulları, deprem hasarının büyük olması üzerinde bu derece etkili olmuştur [42].

BÖLÜM 5. SIVILAŞMA ve ZEMİN SIVILAŞMASININ 17 AĞUSTOS 1999 DEPREMİNE ETKİSİ

5.1. Sıvılaşma Nedir?

Genellikle suya doymun gevşek kumlu yani kohezyonsuz zeminlerde dinamik etki ile zemindeki efektif gerilmeler hemen hemen sıfır düzeyine iner. Buna bağılı olarak zeminin kayma mukavemeti de sıfırlanır ve zemin sıvı gibi davranmaya başlar. Yani alüvyon bir zeminde yüzeye yakın kum tabakalarına ani sismik kuvvet (örn. deprem şoku) uygulandığı zaman, kum tanecikleri arasındaki denge bozulur ve tabaka içinde bulunan su kum ile birlikte yüzeye doğru hareket ederek zemin yüzeyine çıkmaya başlar [1].

Bir deprem hiçbir zaman tek bir hareketle sınırlı kalmamaktadır. Ana şok öncesinde ve sonrasında bir dizi tekrarlanan öncü ve artçı şoklar geliştiğı için deprem gibi tekrarlanan dinamik etkilerle efektif gerilmeleri sıfırlanmış olan zeminde bulunan taneler dengeye gelebilmek için yeniden düzenlenmeye çalışılır. Taneler arasındaki boşluklarda bulunan su ise buna karşı koymaya çalışır ve sonunda boşluk suyu basıncı toplam gerilime eşit duruma gelir. Bu an zeminin artık katı değıl bir sıvı gibi davrandığını andır ve bu olaya zemin sıvılaşması adı verilir. Buna bağılı olarak sıvılaşmış zemin üzerinde bulunan binalarda (depreme dayanıklı olarak yapılsa bile) yana yatmalar ve devrilmeler olur. Sıvılaşma sonucu kanalizasyon, içme, doğal gaz boru hatları ve iletişim kabloları parçalanır ve kırılırlar [1].

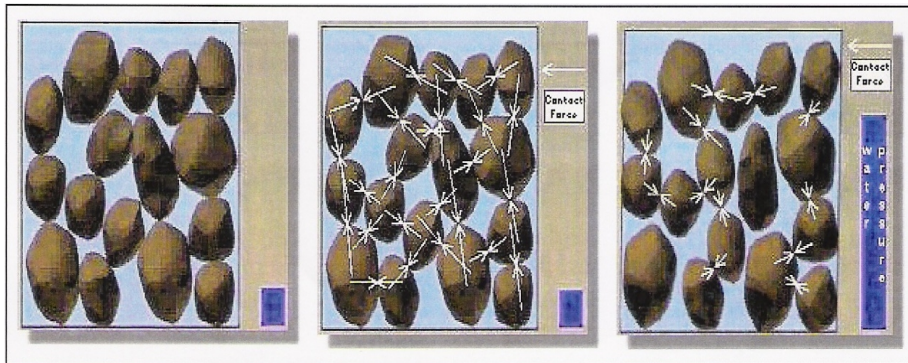
Sıvılaşma 1953 yılında Mogami ve Kabo tarafından suya doymun kohezyonsuz zeminlerde örselenmeden kaynaklanan zemin davranışları için tanımlanmıştır. Sıvılaşmanın 1957 Hyogo-Ken-Nanbu depremine kadar sadece kum ve siltli kum zeminlerde geliştiğı düşünülürken bu depremden sonra killi ve çakıllı zeminlerde de ortaya çıkabileceğı görülmüştür. Ancak sıvılaşma 1964 yılında Nigaata'da meydana gelen 7.5 şiddetindeki depreme dikkati çekmiştir. Nigaata depreminde çok büyük

oturma, yanal yayılma ve kaldırma olayları ile kendini gösteren sıvılaşma ile yapılarda şiddetli hasarlar gelişmiştir.

5.2 Sıvılaşma Mekanizması

Suya doymun kohezyonsuz zeminlerde; taneler ve tanelerin arasını dolduran su ile bir miktar hava bulunmaktadır. Depremin iç-merkezinde (odak noktası) faylanma sonucu sert kayaçlar kırılarak yırtılmaya başlar ve sismik dalgalar yayılmaya başlar. Sismik dalgalar, yeryüzüne ulaştıkları zaman, gevşek ve suya doymun zeminlerde soğurularak oldukça karmaşık kırılma, yansıma ve karışıma uğrarlar. Sismik dalgaların hareketleri, yeryüzüne yakın tabakaların bileşimi ve fiziksel özelliklerine bağlı olarak değişir. Genellikle yüzeye yakın tabakalar ne kadar yumuşak ve kalın olursa, sismik hareketler de o kadar büyük ve hareket süresi de o kadar fazla olur. Bu nedenle bu tür zeminlerde kuvvetli yer hareketi birkaç kat büyütülür, deprem titreşimleri altında sıkışarak oturur ve hasar oldukça ağır olarak sonuçlanır [1].

Suya doymun taneli dolgu zeminlerde, taneler arasındaki boşluklar su içerir. Normal şartlarda taneler birkaç noktadan birbiri ile temas içinde olup dayanıklılıkları ve taşıma gücü yüksektir. Tanelerin ve dolayısıyla zeminin taşıma gücü, tanelerin birbirleriyle temas ettikleri noktaların fazlalığıyla doğru orantılıdır. Özellikle deprem gibi sismik olaylar sonucu taneler arasındaki boşluk suyu basıncını artırır ve taneler arasındaki temas kuvveti zayıflar ve basınç altındaki su, birbirinden ayrılan taneler arasından yüzeye doğru yükselir (Şekil 5.1). Taneler arasındaki temasın azalması zemininde taşıma kapasitesinin de azalmasına neden olur. Böylece; yapıların gömülmesi, yan yatması, yıkılması, çökmesi ve kütle hareketleri meydana gelir.



Şekil 5.1. Sıvılaşmanın meydana gelmesi ve tanelerin hareketi

Bir başka deyişle; deprem gibi dinamik etkilerle yer altı su tablası altındaki doygun ve gevşek zeminde bulunan taneler yerlerini değiştirirler. Yer değiştiren tanelerin gerilimi taneler arasındaki suya aktarılır ve boşluk suyunun basıncı artar. Böylece taneler birbirinden uzaklaşır ve zemin sıvı gibi davranmaya başlar (Bknz. Şekil 5.1). Deprem öncesi katı bir zemin şeklinde davranan malzeme su ile birlikte toprak zemin içerisindeki çatlaklardan yüzeye doğru hareket eder. Deprem öncesi daha geniş bir hacim kaplayan zeminde taneler arasındaki boşlukların şekli değiştiği için genellikle deprem sonrasında daha az hacim kaplamaktadır.

5.3. Adapazarı Sıvılaşma Potansiyeli ve Sıvılaşma Ortamları

Sıvılaşma her zemin ve her ortamda meydana gelen bir davranış değildir. Özellikle kum ve siltli, gevşek ve jeolojik olarak genç çökellerin bulunduğu ve yer altı suyunun sığ olduğu zeminlerde gelişmektedir. Güncel kumlar ve siltler (genellikle az tutturulmuş veya tutturulmamış, gevşek ve 10000 yıldan daha genç delta, nehir, taşkın ovası, taraça ve kıyı çökelleri), insan yapımı sonradan ıslah edilmiş göl, akarsu ve deniz kenarları, gevşek maden atıkları ve yeraltı suyunun sığ olduğu (20 m ye kadar) zeminler de yaygın olarak gözlenir.

Sıvılaşma zemini oluşturan tanelerin şekline, boyutlarına ve zemin türüne bağlı olarak değişmektedir. Eğer zemin yuvarlak tanelerden oluşuyorsa sıvılaşma potansiyeli daha yüksektir. İyi derecelenmiş zeminlerde iri tanelerin arasındaki boşluklar ince tanelerle dolgulandığı için sıvılaşma potansiyeli daha azdır. Bütün bunların yanı sıra sıvılaşmaya en uygun zeminler; yuvarlak, iri silt ve ince kum boyutundaki (0.1 -1 mm) tanelerden oluşan zeminlerdir. Killi ve kohezyonlu zeminler sıvılaşmaya çok duyarlı olmasalar da deprem sırasında önemli düzeyde dayanımlarını yitirmektedirler.

Elverişli koşullarda sıvılaşma sonucu zemin yarı-sıvı gibi davranmaya başlar ve zemin üzerinde bulunan nesnelere zeminin içine gömülür, binalar belirgin şekilde bir tarafa doğru yatar ve hatta devrilir. Hatta eğim çok düşük olsa bile geniş bir alan akmaya başlar. Dağlık yada tepelik alanlarda zemin hareketi büyütülmemektedir. Bu nedenle hasar daha az olmaktadır. Deprem merkezinden çok uzaklarda alüvyon zemin üzerinde inşa edilmiş yüksek katlı binalarda zemin hareketi büyür ve hasar

meydana gelebilmektedir. Akarsu taşkın ovası, göl ya da deniz kıyılarında depolanmış alüvyon zeminler, deprem şiddetini kat kat arttırırlar ve çok ağır hasara neden olabilirler. Bu nedenle bu tür araziler kesinlikle imara açılmamalıdır.

Örneğin; 17 Ağustos 1999 depreminde, gevşek ve suya doygun oldukça kalın genç çökeller üzerinde bulunan Adapazarı, Düzce, Akyazı ve Gölyaka gibi yerleşim yerlerinde, yer hareketinin kuvveti 4 kat büyütülmüş ve hasar ağır olmuştur. Adapazarı kent merkezinde bulunan kuvvetli yer hareketi kayıt istasyonunda en büyük ivme 0.4 g olarak kaydedilmiştir. Sıvılaşma sonucu kent merkezinde; Kuzeyde Tığcılar Mahallesi, Çark Caddesi' nin geçtiği Cumhuriyet Mahallesi, Kavaklar Caddesi, Sakarya Caddesi ve İzmit Caddesi boyunca kaldırımlar 1 m civarında yukarı kalkmış ve binaların zemin katları ise zemin içine gömülmüşlerdir. Bu semtlerde sıvılaşma nedeniyle ağır betonarme yapıların önemli bir bölümü; yana, öne veya geriye yatarak, devrilerek, oturmaya maruz kalarak ve zeminin içine çökerek hasara uğramış veya yıkılmıştır. Binalar temellerinden sökülerek devrilmiş ve komşu binaların üzerine doğru yan yatmışlardır, farklı yönlere doğru yan yatma ve devrilmeler, bazı binaların ayakta kalmasını sağlamıştır. 1964 Nigaata (Japonya), 1967 Mudurnu Vadisi, 1970 Gediz, 1989 Loma Prieta (Kaliforniya), 1995 Kobe (Japonya), 1998 Ceyhan-Misis ve 1999 İzmit Körfezi depremleri sıvılaşmanın olduğu en çarpıcı örneklerdir (Resim5.1).



Resim 5.1. Adapazarında sivilaşma sonucu devrilmiş (a), geriye yatmış (b), zemine oturmuş – gömülmüş binalar (c) [25]

Sivilaşma, yapılarda neden olduğu deformasyonun yanı sıra, yapıların ve yolların kenarlarında, bahçelerde ve açık alanlarda gözlenen kum kaynamaları şeklinde kendisini göstermiştir (Resim 5.2).



Resim 5.2. Adapazarında sıvılaşmaya bağlı tipik kum kaynamaları. (a) Adapazarı – Tığcılar mahallesinde yeni bir yapı (b) Adapazarı – Başak Traktör Fabrikası' nın bahçesi [25]

Binaların zemine batması nedeniyle sıkışan temel zemini malzemesi yanlara doğru harekete geçerek bina kenarlarındaki kaldırım ve yollarda kabarmalara neden olmuştur (Resim 5.3).



Resim 5.3. Adapazarı – Bulvar. Sıvılaşma nedeniyle yükselen kaldırım

Yol, kaldırım ve yapılaşma nedeniyle yerleşim birimlerinde zemin profilinin görülmesi her yerde mümkün olamamaktadır. Dolayısıyla bu durum sıvılaşmanın her yerde belirgin şekilde görülmesini engellemektedir. Bununla birlikte, Adapazarı'nda kum fışkırımlarının ve konilerinin gözlenemediği, ancak yana yatmış veya gömülmüş çok sayıdaki binanın zemininde de sıvılaşmanın etkin olduğu söylenebilir. Bununla birlikte, çok yakınında sıvılaşmadan önemli ölçüde etkilenen ve tekil veya sürekli temellerle taşınan binaların bulunmasına rağmen, kazık temel sistemleri üzerine inşa edilmiş olmaları nedeniyle bazı yapılarda (Vakıfbank, Ziraat Bankası, Toyota Fabrikası gibi) ise, herhangi bir deformasyon veya hasar gözlenmemiştir (Resim 5.4).

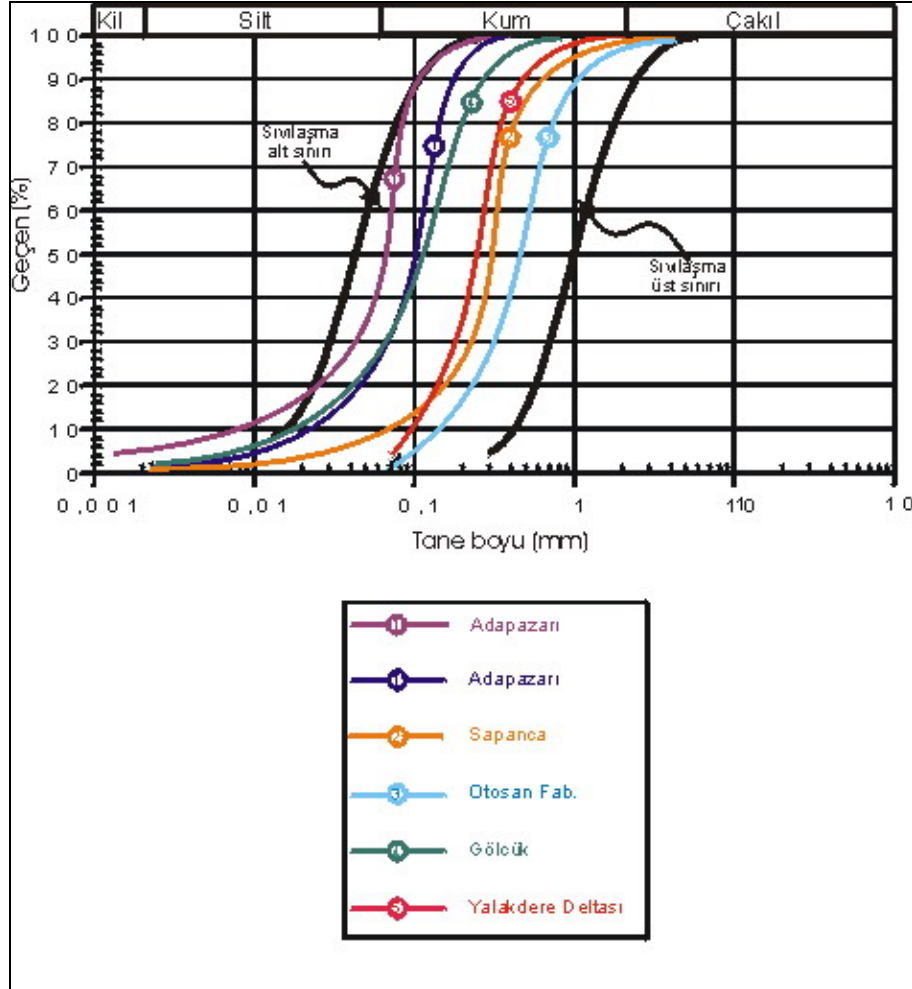


Resim 5.4. Adapazarı'nda hasarsız binalara örnek [25]

Adapazarı'nın batısındaki yüksek kesimlerde ve kaya birimler üzerinde yer alan semtlerdeki yapılarda hasar yoktur. Bu belirleme, yer altı suyu tablasının çok sığ olduğu ve 1967 depreminden sonra da zayıf-gevşek birimler üzerinde gelişimine devam etmiş olan Adapazarı'nda, sıvılaşma ve zemin büyütmesi gibi zeminle ilgili faktörlerin hasarlar üzerinde ne denli etkili olduğunu göstermektedir.

Sıvılaşma lokasyonlarından alınan zemin örnekleri üzerinde yapılan sınıflama deneylerinin sonuçları, bu zeminlerin ağırlıklı olarak kum ve daha az miktarda da silt tane boyutundaki malzemedan meydana geldiğini ve Birleştirilmiş Zemin Sınıflaması'na göre siltli kum ve kötü derecelenmiş kumların yer aldığı SM ve SP

grubu zeminler olduklarını göstermiştir. Ayrıca bu zeminlerin tane boyu dağılımları da sıvılaşmaya eğilimli zeminler için gayet iyi bilinen tane boyu dağılımı aralığının alt ve üst sınırları arasında kalmaktadır. Adapazarı'nı temsilen seçilen bazı örneklerin tane boyu dağılım eğrileri sıvılaşma sınırlarıyla birlikte Şekil 5.2' de verilmiştir.



Şekil 5.2. Deprem etkilediği bölgede değişik lokasyonlarda sıvılaşan zeminlere ait dane boyu dağılımı eğrileri ve sıvılaşma sınırları [25]

!7 Ağustos 1999 Depremi' nden sonra Adapazarı şehrinde yapılan çalışma ile depremden etkilenerek zarar gören hasarlı yapılar; tam hasarlı, yarı hasarlı, az hasarlı ve hasarsız veya çok az hasarlı olmak üzere dört hasar sınıfında listelenmiştir.Yapılan listeleme sonunda meydana gelen toplulaşmaya bağlı olarak mahalle ve semtler aynı hasar tanımlaması ile gruplandırılmıştır. (Tablo 5.1). Yapılan çalışmada hasarlı yapıların, zemin özelliklerine, yapıların mimarileri ve

kullanılan malzeme özelliklerine bağlı olarak, depremin doğrudan vibrasyon etkisi ve dolaylı olarak sıvılaşmaya neden olması ile zarar gördükleri belirlenmiştir [58].

Tablo 5.1. Adapazarı ve çevresindeki hasarlı mahalle ve semtlerin dağılışı

Hasar sınıflaması	Yayılm Alanları
Tam Hasarlı Mah.- Mevkiler	Çark Caddesi, İzmit Caddesi, Yeni Bosna Caddesi Çark Sanayi, Şeker Mah., Atatürk Bulvarı, Otuziki Evler Hacıoğlu Mah., Papuçular, İstiklal Mah., Yenicami, Tığcılar, Yenidoğan, Yenigün, Sedat Kırtetepe Cad., Karaosman Mah.
Yarı Hasarlı Mah.- Mevkiler	Ozanlar, Kuyudibi Mevkii, Sakarya Cad., Yorgalar Semerciler Mah., Güllük Mevkii, Şrinevler, Ankara Cad., Akıncılar Mah., Yahyalar Mah., Mithatpaşa, Cumhuriyet Donatım Mevkii, Gaziler Mah., Çukerahmediye, Tuzla, Orta mah., Ambarlı Cad.
Az Hasarlı Mah.- Mevkiler	Tepekum, Serdivan Kuzeyi, Güneşler Mevkii, Altınova Hızırtepe, Güllük
Hasarsız veya çok az Hasarlı Mah.- Mevkiler	Maltepe, Beşköprü, Serdivan, Şirinevler

Sıvılaşmış zeminlerdeki yapılar suda yüzen gemilere benzemektedir. Sıvılaşma, 1964 Nığaata depreminden sonra dikkatleri çekmiş olmakla birlikte, büyük depremlerde önemli kayıplara neden olduğu tarihsel deprem kayıtlarından bilinmektedir. Akarsuların taşkın ovalarında meydana gelen sıvılaşma olayına en tipik örneklerden biri olan 1998 Ceyhan - Misis depreminde olan sıvılaşma olayları yerleşimin olmadığı tarım arazilerinde geliştiği için afete dönüşmemiştir. Buna karşılık, sıvılaşmaya uygun arazi üzerinde kurulmuş Adapazarı kent merkezinde ise deprem büyük bir afete dönüşmüştür. 17Ağustos 1999 İzmit Körfezi depreminde, Adapazarı kent merkezindeki hasarın büyük olmasının nedenlerinden biride sıvılaşmadan ileri gelmektedir.

5.4 Sıvılaşmaya uygun Zeminlerde Hasarın Azaltılması

Sıvılaşmaya karşı yapılarda meydana gelebilecek hasarları azaltmak için;

- Dinamik sıkıştırma (sıvılaşacak zemine titreşimler verilerek sıkılaştırılması)
- Sıkıştırma enjeksiyonu (Çimento gibi kimyasal madde enjeksiyonu ile zeminin

sağlamlaştırılması).

- Drenaj (Sıvılaşacak zemindeki yer altı suyunun ve zemini suya doymuş hale getirecek su ilavelerinin engellenmesi için zemindeki suyun başka yerlere nakledilmesi) gibi zemin iyileştirme çalışmaları yapılabilmektedir (Arık, 2004). Zemin iyileştirme metotları ileriki bölümlerde detaylı olarak işlenecektir.

Bina temelleri Adapazarı'nda pek çok binada görüldüğü gibi özellikle yana yıkılan binalarda yukarıya çıkmıştır. Bunun nedeni de şudur; çünkü halk 70 cm de olan suyu gördüğü için yapısını 50-60 cm de bırakmaktadır. Yapısını tam bir radye ve tam bir bohçalama tecritle yapma masrafindan kurtulmaktadır. Bir de temel derinliğini biraz daha arttırdığı halde yandaki binanın altındaki hareketten korkmaktadır. Bu nedenle bu olaylar büyük ölçüde meydana gelmiştir. Uygun şekilde yapılmayan bina temelleri yada uygun bir yöntemle iyileştirilmeyen zeminlerde binalar çok büyük deformasyonlara uğramaktadır.

BÖLÜM 6. ADAPAZARI ZEMİNLERİNİN ÖZELLİKLERİ

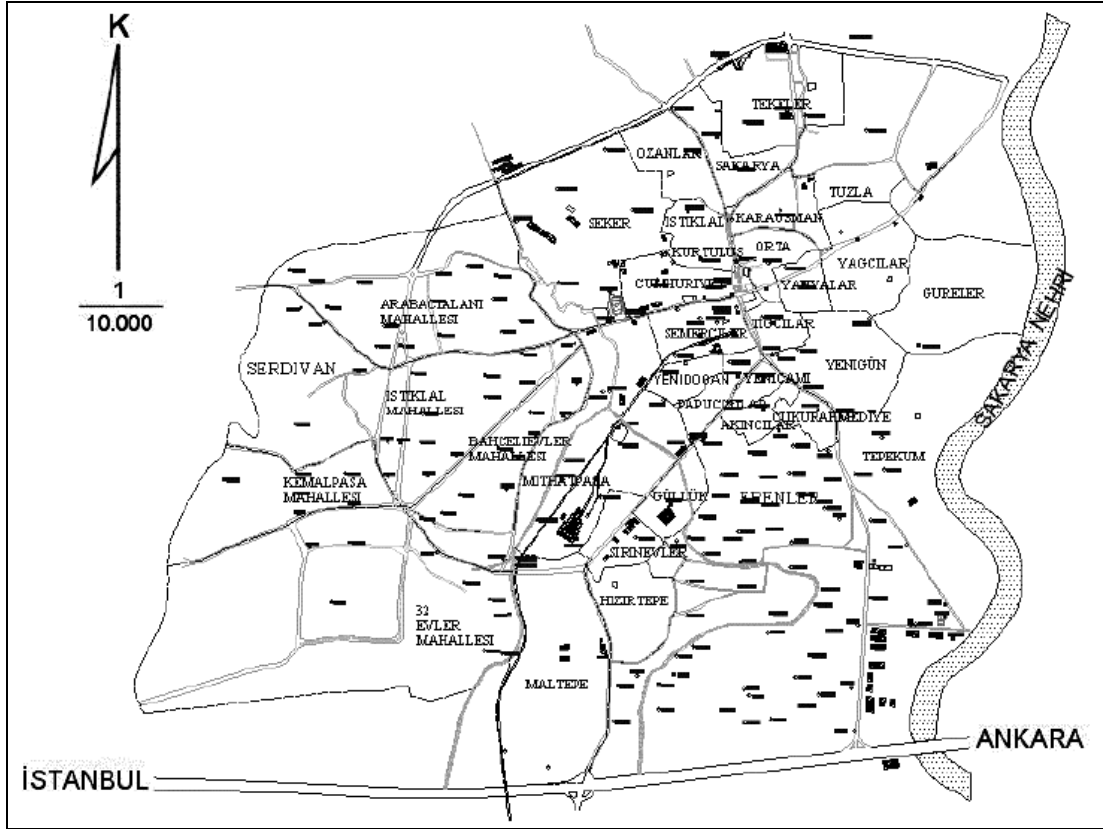
6.1. Adapazarı Zeminlerine Genel Bir Bakış

Adapazarı' nın genç çökeller üzerine kurulu olduğu ve bu çökellerin yeterli sıklığa ulaşmamış olduğu geçen bölümlerde bahsedilmiştir. Genel yapı itibarıyla Adapazarı zeminleri 17 Ağustos 1999 depreminde sıvılaşmış ve taşıma gücü kayıplarına uğramıştır. Sıvılaşma ile yapılarda dönmeler, batmalar ve ötelenmeler meydana gelmiştir. Zayıf zeminler üzerine kurulu olan Adapazarı' nda en büyük hasar ilçe merkezinde meydana gelmiştir. Sıvılaşma potansiyeli yüksek olan, konsolidasyon süreçlerini tamamlamamış ve ince tane oranı yüksek olan Adapazarı zeminleri magnitud olarak 7.4 büyüklüğünde gerçekleşen 17 Ağustos 1999 depremini şiddet olarak büyük değerlerde hissetmiştir. Bu da büyük yıkımlara neden olmuştur.

Adapazarı' na komşu ilçeler Sapanca ve Arifiye KAF' a yakın olmasına rağmen depremden daha az etkilenmiştir. Bunun nedeni bu bölgelerin havza tabanı topoğrafyasının yüksek tepeliklerden olması ve gevşek çökellerin çok ince olmasıdır.

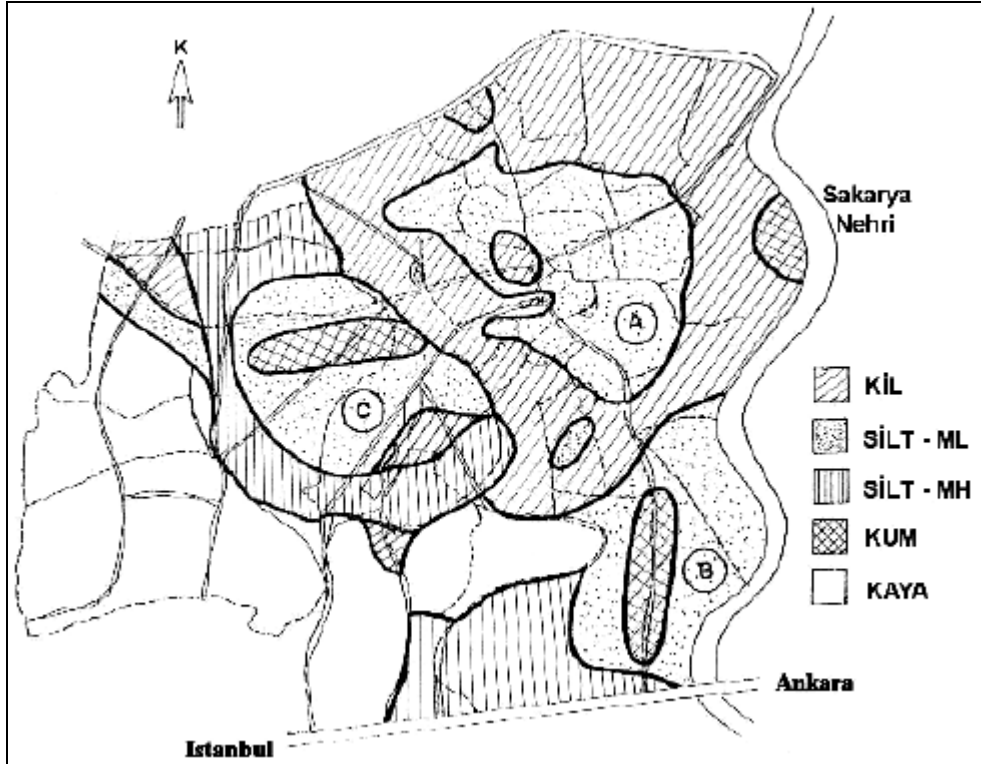
Zemin özelliklerinden dolayı binalarda 2 m ye kadar varan oturmalar gözlenmiştir. Cadde ve sokaklar boyunca gömülü olan kanalizasyon boruları zemin yüzeyine doğru harekete zorlanmıştır. Aynı zamanda da binalar kanalizasyon boşluklarına hareket etmişlerdir [17].

Adapazarı ilçesi Sakarya havzası içerisinde bulunmaktadır. Havzadaki alüvyonlar jeolojik süreç içerisinde Sakarya Nehri ve Çark Suyu tarafından taşınmıştır. Siltli ve killi tabakaların kalınlığı 3 m' den başlayıp ilçenin çeşitli yerlerinde 15 m' yi aşmaktadır. Depremden sonra zorunlu hale getirilen parsel bazında zemin etütlerinin yapılmasıyla ilçenin bir çok bölgesinde sondajlar yapılmıştır (Şekil 6.1).



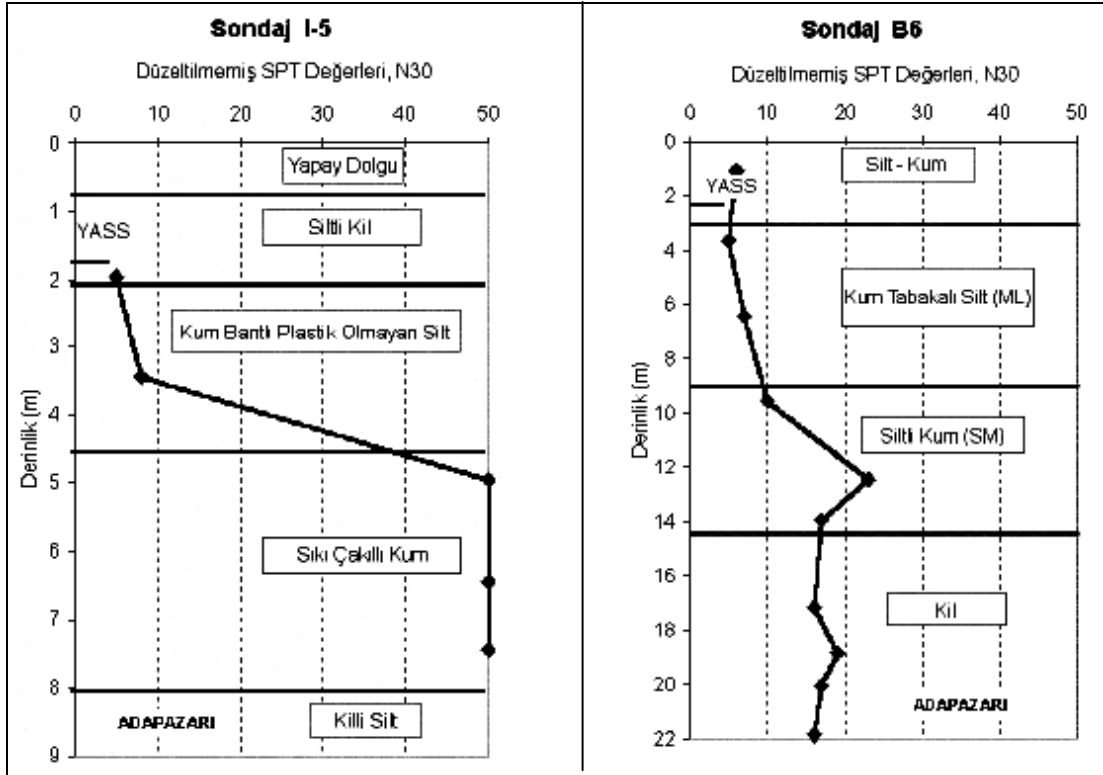
Şekil 6.1. Adapazarı İlçesi' nde açılan bazı sondaj yerleri [17]

Şekil 6.2'de Erken (2001)'e 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 bölgede siltli zemin içerisinde kum oranı bazı yerlerde %50 mertebesine kadar çıkmaktadır.



Şekil 6.2. Adapazarı'nın ilk 15 metredeki zemin tabakaları [17]

Hasarın yoğunlaştığı A bölgesi içerisinde yer alan Çark Caddesi'nde Adapazarı şehrinin kanalizasyon boru hattı projesi kapsamında açılan sondajlardan ikisi I-5 ve B6 aşağıda verilmiştir. Şekil 6.3'de I-5 sondaj kesiti görülmektedir. Kum bantlı plastik olmayan silt tabakası, 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. Şekil 6.4'de verilen B6 sondaj kesiti şehirde ağır hasar gören bölgelerin genel zemin yapısını ortaya koymaktadır. Bu kesite göre yumuşak silt, kum tabakaları 14 m derinliğe kadar uzanmaktadır. 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 doğal olarak mevsimsel yağış durumu etkilemektedir [17].

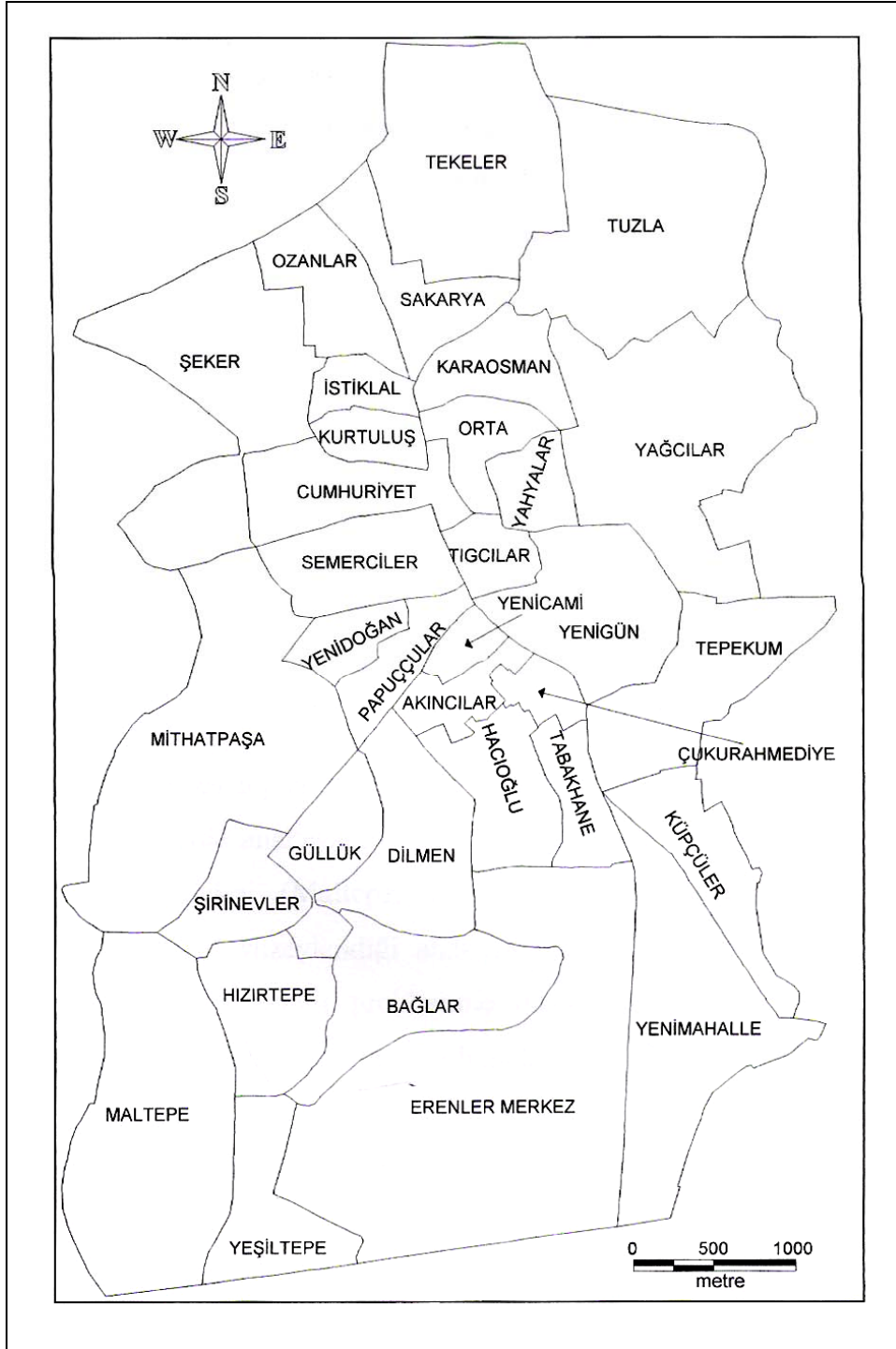


Şekil 6.3. Adapazarı şehrinin tipik kesidi [19]

Şekil 6.4. Adapazarı'nda ağır hasar alan bölgeden zemin kesidi (B6) [19]

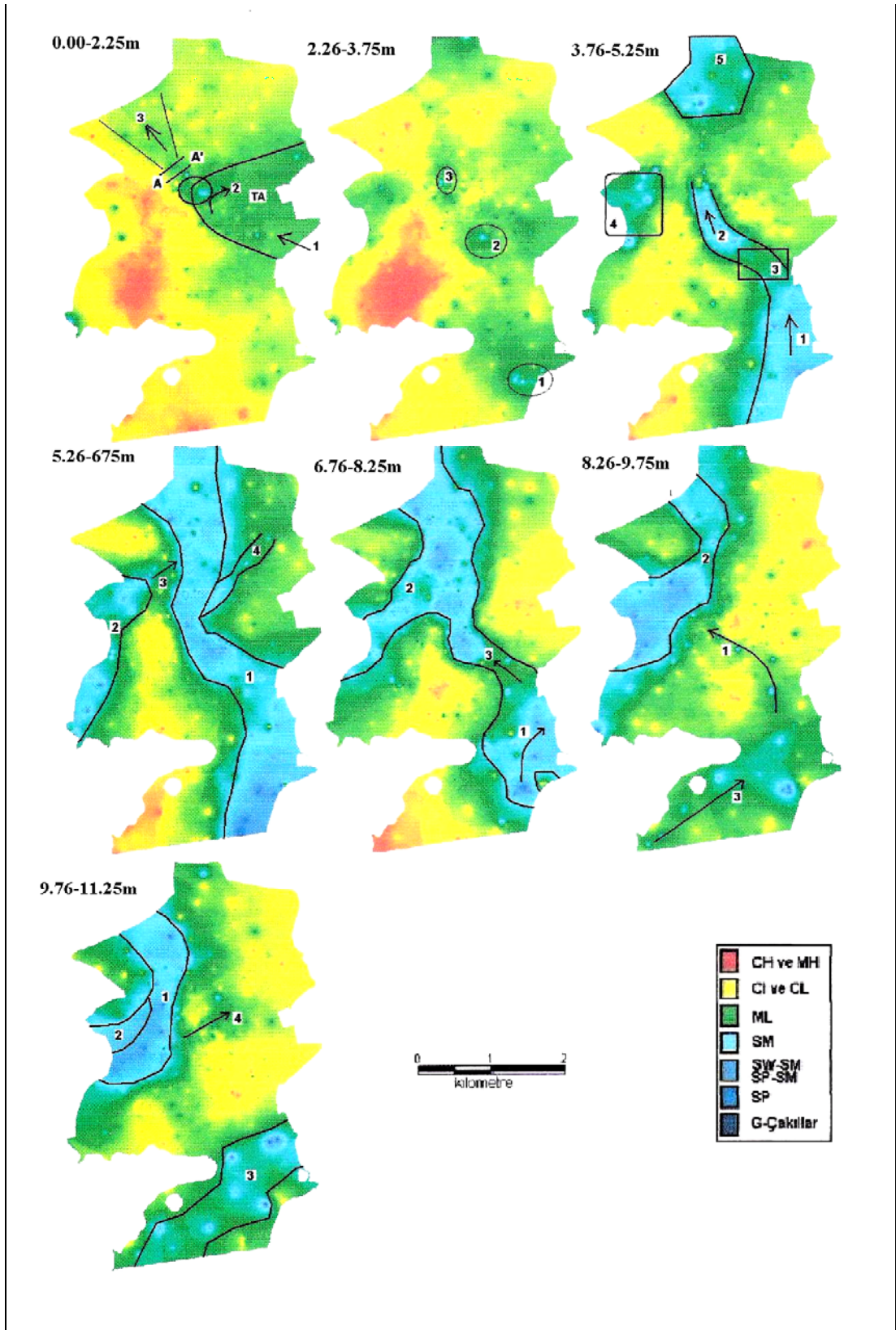
Bol (2003), Adapazarı zeminleriyle ilgili kapsamlı bir araştırma yaparak belli derinliklerde Adapazarı ve Erenler Belediyesini kapsayan 34 mahallede zeminleri TS 1500/2000 hükümlerine göre 15.75 metreye kadar sınıflandırmıştır [10].

Zemin yapısı yorumlanmadan önce, bu 34 mahallenin sınırlarını gösteren bir sayısal haritaya ihtiyaç vardır. Bu haritalarda kullanılan mahallerin 26 tanesi Adapazarı Merkez Belediyyeye, 8 tanesi Erenler belediyesine aittir (Şekil 6.5).



Şekil 6.5. Adapazarı Sayısal Haritası [10]

Sayısal haritada görülen, Kent merkezinin Güney Doğusunda bulunan Maltepe, Yeşiltepe'nin kuzeyi, Hızırtepe, Bağlar ve Güllük Mahallesi'nin güney ucu ana kaya üzerindedir. Aşağıda Bol(2003)'ün yapmış olduğu zemin özelliklerini sınıflandıran harita 11.25 metre derinliğe kadar gösterilmektedir (Şekil 6.6).



Şekil 6.6. Belli derinliklerde Adapazarı zemin haritası [10]

Şekil 6.6' daki haritalar yorumlandığında ilginç sonuçlar ortaya çıkmaktadır. Şöyleki;

Yüzeyden 3.75 metreye kadar olan zemin özellikleri birbirine benzer yapıdadır. Bu tabakalarda kırmızı ile gösterilen CH sınıfı zeminler Adapazarı merkezinde bulunan tepelik sahanın kuzeyinde ve güneyinde ilçe merkezinde büyük bir alana yayılmıştır.

Bu CH sınıfı killer yüzey sularının Adapazarı güneyinin tepelik kısımlarını teşkil eden Akveren formasyonunun (KTa) içerdiği killi kireçtaşı, marn, kil taşı, silt taşı gibi kayaçların ayrışma ürünü olan ince malzemeyi tepelerin eteklerine biriktirmesi şeklinde oluşmuşlardır [10].

Şehrin kuzey ve doğu bölgesinde ML sınıfı killer hakimdir ve kuzey ucunda yer yer CL sınıfında killer göze çarpmaktadır.

Tabaka-1 ve Tabaka-2' de kumlar çok kısıtlı bir alanı kaplamaktadır.

Kumların kapladığı alan Sakarya Nehri' nin bulunduğu bölgeye yakın olmasından dolayı belli dönemlerdeki taşkınlar sebebiyle bu bölgelerde kum birikmeleri oluşmuş olmalıdır [10].

Bol (2003)' e göre taşkın suları kentin içine ok1 yönünde girmekte taşkın debisi çok yüksek olmadığı zamanlarda ok2 ile gösterilen doğrultuda bir menderes yaparak bölgeden uzaklaşmaktadır. Yada A-A' bölgesinde topoğrafik bir engelle karşılaştığından TA bölgesinde birikmekte ve zamanla çekilmekteydi. Taşkın alanı olarak adlandırılan bu alanda yeşil renkle gösterilen ML sınıfı siltlerin egemen olduğu görülmektedir. Kimi zaman ise A-A' engeli aşılmakta ve ok3 yönünde ovanın günümüzde bile diğer yerlere nazaran daha alçak bölgelerine doğru yayılmaktadır.

2.26-3.75 metreleri karakterize eden harita incelendiğinde 1, 2 ve 3 bölgelerinde sellenmeden dolayı kumlanma görülmektedir [10].

3.26-5.25 metre derinlikte Tabaka-1 ve Tabaka-2 deki CH zeminleri yerini CL sınıfı zeminlerine bırakmıştır fakat CH sınıfı zeminler bu bölgede yer yer kendini göstermektedir. Kuzey uçta yoğun bir şekilde kum tabakası belirmiştir. Doğu ve Kuzeydoğu bölgelerinde ML sınıfı zeminler hakimdir. Bu bölgede de CL sınıfı zeminler yer yer bulunmaktadır. Güneydoğu tarafında ve kentin tam ortasında ise kum tabakası belirmiştir.

Bu derinlikte göze çarpan kenti yaklaşık olarak güneydoğu-kuzeybatı doğrultusunda ikiye bölen bir kum tabakasının belirmesidir. Bu kumlar daha alt tabakalarda belirgin bir şekilde ortaya çıkacak olan bir akarsu yatağının üst kısımlarının belirtisidir. Söz konusu bu kanal geçmişte Sakarya Nehri' nin bu güzargahtan akmış olduğunun göstergesidir. Bu tabakada gösterilen 4 ve 5 nolu bölgeler daha alttaki bir nehir kanalı dolgusunun üst kısımlarını işaret etmektedir [10].

5.26-6.75 metre derinlikte bir kanal şeklinde kum tabakası belirlemektedir. Bu da bu bölgede bir nehir yatağının varlığına işaret eder. Bu kum tabakasının bu derinlikte kent merkezinin içinden geçerek güneydoğu – kuzeybatı istikametinde belirmediği söylenebilir. Bu derinlikte de Kuzeydoğu bölgelerinde ML sınıfı zeminler hakimdir ve yer yer CL sınıfı zeminler görülmektedir.

Akarsu bu derinlikte kanal malzemesini teşkil eden kum ve iri kum boyutundaki malzemeyi bu kısma depolamıştır. Aynı zamanda 2 nolu bölge olarak gösterilen kısımda da bir nehir kanalının faaliyeti sonucu yığılmış olduğu kumlar belirmekte, kumların yayılımından bu kısımda etkin olan nehrin güneyden kuzeye doğru akan bir nehir olduğu bununla birlikte 1 nolu kanalla devamlı bir bağlantısı olmadığı söylenebilir. Ancak 2 nolu nehir kolu yüksek debili olduğu zamanlarda ok3 ile gösterilen kısım ile 1 nolu nehir kanalına bağlandığı yorumlanabilir. Bununla birlikte 4 nolu bölgede 1 nolu nehrin küçük bir uzantısının olduğu gözlemlenmiştir [10].

6.76-8.25 metre derinlikte, kuzeydoğu bölgelerinde CL tipi zeminler belirginleşmekte ve yer yer CH tipi zeminler görülmektedir. Bu tabakada kum, kil, silt cinsi zeminler belli bölgelerde yoğun olarak bulunmaktadır.

Bu derinliklerde batıda görülen kanalın sürekliliği göze çarpmaktadır. 1 nolu kanal güneyden gelmekte ve bir menderes büklümü yaparak doğuya doğru yönelmektedir. Taşkın anlarında ise ok3 yönüyle gösterilen kanal yardımıyla fazla sularını 1 nolu kanala aktarmaktadır. Bu şekilde bir diğer özellik olarak 1 ve 2 nolu kanallar arasında kalan bölgenin, 2 nolu bölgenin batıyı çevrelediği düşünülürse CH ve CI killerin egemen olduğu bir ada şeklinde kalmış olması açıklanabilir [10].

8.26-9.75 metre derinliklerde, kuzeydoğu bölgelerinde CL sınıfı zeminler hakimdir. Yer yer CH sınıfı zeminler görülmektedir. Batı bölgelerinde kum tabakası iyice belirginleşmiştir ve bu kum tabakasının doğusunda ML sınıfı zeminler görülmektedir.

Bu derinliklerde yukarıdaki tabakalarda doğuda beliren kanalın ortadan kalktığı ve bu hattın ancak üstteki kanalın alt tabanını temsil eden bölgesel kumlardan ibaret olduğu ortaya çıkmaktadır (ok1). Bununla birlikte bu seviyede kumların ok3 ile gösterilen doğrultuda sıralanmış olması yeni bir kanalı temsil edecek oluşumun ortaya çıktığını işaret etmektedir [10].

9.76-1.25 metre derinlikte ise batıdaki kanal devamlılığını korumaktadır. Doğudaki hakim CL sınıfı zeminlere ML türü zeminler sokulmakta ve CH türü zeminler varlığını kaybetmektedir.

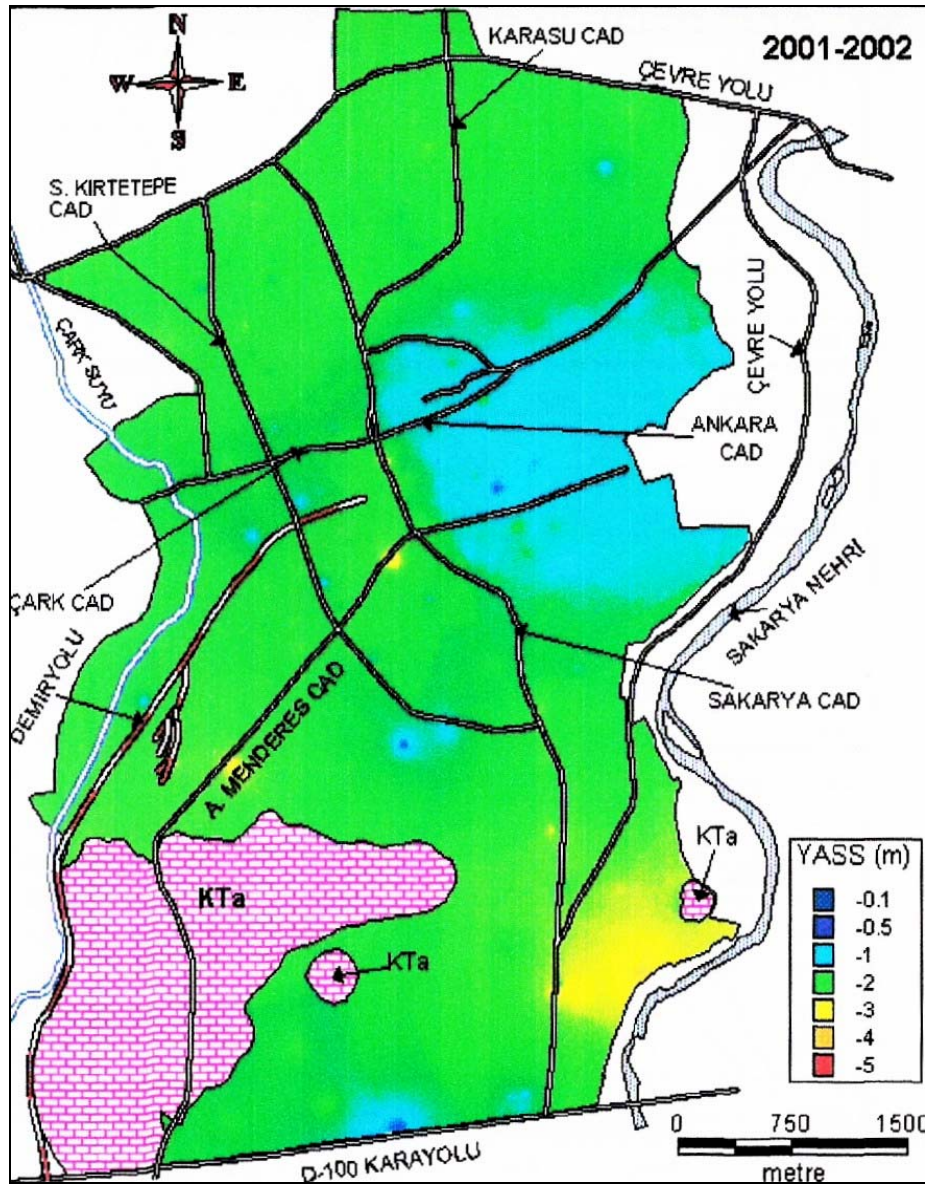
Bu seviyede güneydeki kanal kendini iyice belli etmiş ve kuzeydoğu istikametine yönelmiştir. Bu arada ok4 ile gösterilen doğrultuda killerin arasında bir kanal şeklinde siltler belirmiş, doğuya doğru ise bu silt kanalı genişleyerek sınırları yaklaşık belli olan bir bölge haline gelmiştir [10].

6.2 Adapazarı Yeraltı Suyu

Adapazarı YASS seviyesi yüzeye yakındır. Kimi bölgelerde 1 ile 2 m arasında değişen seviyelerde bulunmaktadır. Aşırı yağış ve mart aylarında eriyen karlar sayesinde YASS seviyesi yüzeye kadar çıkmaktadır. 1999 yılı öncesi için 60 sondajdan ölçülen ortalama YASS seviyesi 1,56 metre iken Temmuz aylarında ise

2,77 metreye kadar düşmektedir.2000 yılında ise 488 sondaj verisinden elde edilen YASS seviyesi ortalaması 1,05' e kadar yükselmiştir. 2000 yılı içinde ortalama su seviyesinin en yüksek olduğu ay 0,48 metre ile Mart ayı, en düşük su seviyesi 1,37 metre ile Eylül ve Aralık ayıdır. 2001 yılında ortalama 1,79 metre ve Ağustos ayında minimum 2,20 metredir. 2002 yılında ise ortalama 1,88 metre ve bu yıla ait minimum seviye 2,62 metre olarak yine Ağustos ayıdır [10].

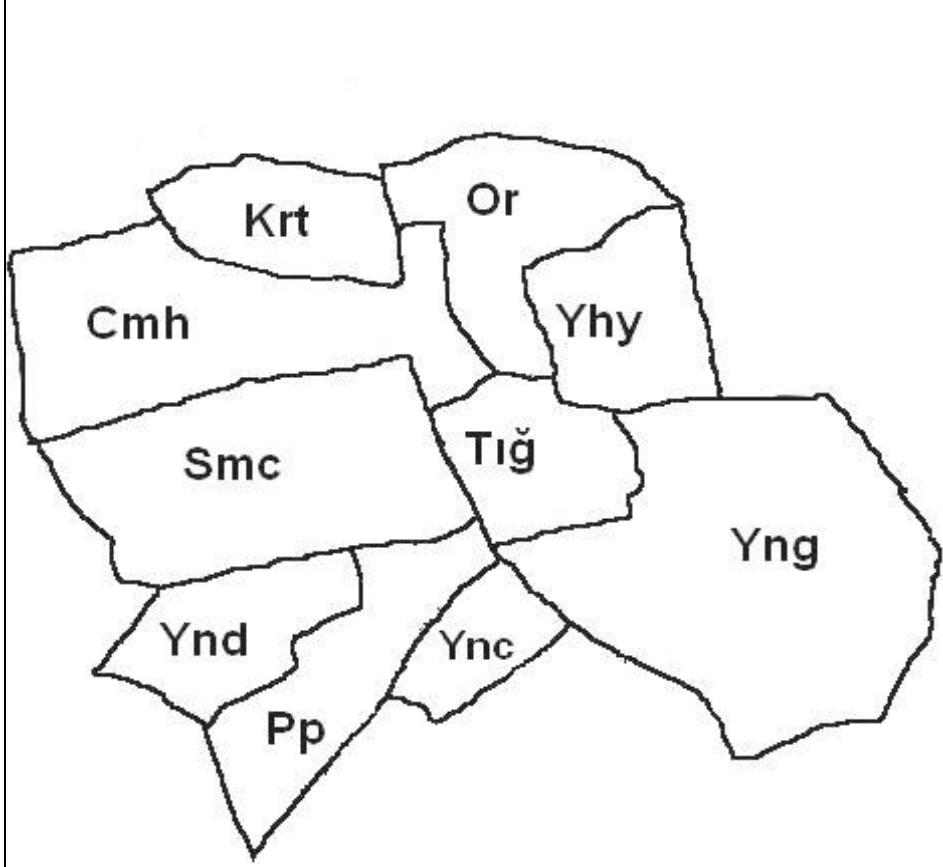
Şekil 6.7' de 2001 – 2002 yıllarına ait yer altı su seviyeleri verilmiştir. Bu haritalarda yeşil kısımlar yaklaşık 2.00 metre derinliği göstermektedir.



Şekil 6.7. Adapazarı YASS seviyeleri [10]

6.3. Pilot Bölge Seçilen Mahallelerin Zemin Yapısı

Zemin yapısını belirlemede 10 mahalle pilot bölge olarak seçilmiştir. Bu mahallelere ait sayısal harita Şekil 6.8’de, mahalle kısaltmaları ise Tablo 6.1’ de görülmektedir.



Şekil 6.8: Pilot bölgelerin sayısal haritası

Tablo 6.1: Mahalle Kısaltmaları

Mahalleler	Kısaltma
1. Kurtuluş Mah.	Krt
2. Orta Mah.	Or
3. Yahyalar Mah.	Yhy
4. Cumhuriyet Mah.	Cmh
5. Tığcılar Mah.	Tığ
6. Semerciler Mah.	Smc
7. Yenidoğan Mah.	Ynd
8. Papuçcular Mah.	Pp
9. Yenicami Mah.	Ync
10. Yenigün Mah.	Yng

Seçilen bu 10 mahalle Adapazarı Kentinin merkezini oluşturmakla beraber nüfusun da en yoğun olduğu bölgelerdir. Bu mahalleler Adapazarı Kentinde yıkımların olduğu caddeleri bünyesinde barındırmaktadır. Bu caddeler Sedat Kirtetepe Caddesi, Bosna Caddesi, Çark Caddesi, Adnan Menderes Caddesi, Yenicami Bulvarı' dır. Bu bölgelerde ve bahsi geçen mahallerde taşıma gücü kayıpları, sıvılaşma gibi geoteknik problemlerle 17 Ağustos 1999 Depreminde sıkça karşılaşmıştır.

Deprem sonrasında parsel bazında zemin etüdü uygulaması başlamıştır ve bu uygulama neticesinde zemin taşıma gücü problemleri, oturma, farklı oturma ve sıvılaşma gibi problemler belirlediği zaman gerekli önlemler alınmadan inşaat ruhsatı verilmemesi yoluna gidilmiştir. Aşağıda bu 10 mahalle ile ilgili son yıllarda yapılmış ve bu tez kapsamında değerlendirmeye alınan etüt sayıları görülmektedir. 2004 ve 2005 yılındaki etüt sayıları 2005 yılı sonunda Adapazarı Büyükşehir Belediyesinden alınan kesin sayılardır (Tablo 6.2).

Tablo 6.2. Tez kapsamında kullanılan Zemin etüt sayıları

2005 yılı	121
2004 yılı	141
2003 yılı ve sonrası	336
Toplam	598

2005, 2004 ve 2003 yılı ve sonrası toplam 598 veriye göre hesaplanan ortalama YASS seviyesi, Bol (2003)' de 2001-2002 yılı YASS seviyesi değerlerine çok yakın çıkmıştır (Bknz. Şekil 6.6). Ayrıca bu veriler ışığında zemin emniyet gerilmesi ve ortalama YASS seviyesi Tablo 6.3' de verilmiştir.

Tablo 6.3. Ortalama zemin emniyet gerilmesi ve YASS seviyesi değerleri

Ortalama Zemin Emniyet Gerilmesi σ (kg/cm ²)	Max σ	Min σ	Ortalama YASS Seviyesi (m)	Max YASS	Min YASS
0.74	1.6	0.33	2,17	6.15	0.9

Pilot bölge seçilen bu 10 mahalle ile ilgili TS 1500/2000 hükümlerine göre zemin sınıfları Tablo 6.4' de verilmiştir. Burada amaç hakim zemin sınıfını bulmaktır. Kırmızıyla gösterilen ilk simgeler o derinlikteki hakim zemin sınıfını göstermektedir. İkinci simgeler, ikinci dereceden hakim zemin sınıfını, toplam şeklinde yazılan

simgeler ise; ilki diğerine göre daha hakim fakat birbirine yakın yoğunluktaki zemin sınıflarını göstermektedir. Çift simgeli, örneğin; SP-SM, SW-SM gibi zeminler mevcut derinliklerde bulunmaktadır fakat yoğunluğu az olduğu için SM zemin sınıfına dahil edilmiştir.

Tablo 6.4. TS 1500/2000 Hükümlerine göre pilot bölgelerdeki mevcut zemin sınıfları

Mahalleler	(TS 1500/2000)				Ortalama YASS (m)	Ortalama σ (kg/cm ²)
	Hakim	Zemin	Sınıfı			
	0.00-2.5 m	2.6-5.0 m	5.1-7.5 m	7.6-10.0 m		
Kurtuluş	ML/CL	ML/CL	SM/(ML+CL)	SM/ML	2.40	0.72
Orta	ML/CL	ML/CL	SM/(ML+CL)	SM/(ML+CL)	2.00	0.72
Yahyalar	ML/CL	ML/CL	SM/ML	SM/ML	1.94	0.65
Cumhuriyet	CL/SM	(ML+CL)/SM	SM/ML	SM/ML	2.02	0.78
Tıgçılar	ML/(SM+CL)	(ML+CL)/SM	SM/(ML+CL)	SM/(CL+ML)	1.95	0.80
Semerciler	(CL+CH)/(ML+MH)	ML/CL	SM/(ML+CL)	SM/ML	2.26	0.78
Yenidoğan	CH	CH/CL	CL/ML	SM/ML	2.19	0.74
Papuçcular	(CH+CL)/ML	MH/(CH+CL)	(CH+CL)/ML	SM/(ML+CL)	2.36	0.80
Yenicami	CL/ML	ML/SM	SM	SM/CL	1.93	0.71
Yenigün	ML/CL/SM	(ML+SM)/CL	SM/ML	SM/(CL+ML)	2.65	0.70

Tabloda da görüldüğü gibi ilk 5 metrede siltli ve killi zeminler hakimdir. 5 -10 metre derinliklerde ise bütün bölgelerde hakim olarak kumlu zeminler belirmiştir. SM simgesiyle gösterilen ve siltli kum olarak adlandırılan zeminlerin varlığı düşük plastisiteli siltlerle (ML) beraber bu derinlikte hakim olarak görülmektedir. Bu tarz zeminlerin varlığı sıvılaşmada önemli rol oynamaktadır.

Zemin etüt raporlarına göre ilk 0.0-4.5 m, 0.0-6.0 m, 0.0-7,5 m ve hatta 12 metreye kadar sıvılaşma görülmüştür. Sıvılaşma potansiyeli sırasıyla Tıgçılar, Semerciler, Papuçcular ve Cumhuriyet mahallerinde yoğun olarak gözlemlenmiştir. Sıvılaşma görülen bölgelerde yoğunlukta zemin yapısı siltli kum, kumlu silt, killi silt şeklindedir. Özellikle Tıgçılar Mahallesinde sıvılaşma potansiyeli gösteren zeminler, siltli kum ve kumlu silt şeklindedir.

Aşağıda sıvılaşma potansiyeli gözlenen zeminle ilgili geoteknik bilgiler verilmiştir. Bu zeminde sıvılaşma ilk 7.5 metrede beklenmektedir (Tablo 6.5).

Tablo 6.5. Sıvılaşma potansiyeli gözlenen zemine ait geoteknik değerler

Derinlik (m)	Num. Der. (m)	Num. No	Num. Türü	SPT	W _n %	LL %	PL %	Elek Analizi		Zemin Tanımlaması
								No:4 Kalan	No:200 Geçen	
1										SİLTİ KİL
	1.5	SP 1	SPT	5	23.9	35	21	4.0	58.0	
2										KİLLİ SİLT
	2.5	UD 1	UD		21.1		NP	0.0	92.0	
3	3	SP 2	SPT	6	23.9		NP	0.0	77.0	SİLTİ KİL
4										
	4.5	SP 3	SPT	7	32	38	22	0.0	94.0	KİLLİ SİLT
5										
6	6	SP 4	SPT	8	22.8		NP	0.0	66.0	SİLTİ KİL
7										
	7.5	SP 5	SPT	42	19.3		NP	0.0	32.0	SİLTİ KİL
8										
	9	SP 6	SPT	42						SİLTİ KİL
		SP 7	SPT							
10										SİLTİ KİL
	10.5									
11										SİLTİ KİL
	12	SP 8	SPT	51						
13										SİLTİ KİL
	13.5	SP 9	SPT	24	35.5	30	29	0.0	93.0	

BÖLÜM 7. PROBLEMLİ ZEMİNLERDE UYGUN ÇÖZÜMLER

- Sorunlu araziden vazgeçilir ve proje şartlarına uygun bir arazi seçilir. Bu amaçla, yapı yapılacak sahanın jeolojik ve hidrolik özelliklerinin belirlenmesi gereklidir. Yapılan araştırmalar sonucunda; belirli teknikler (sondaj, arazi deneyleri v.s.) ve geoteknik biliminin esasları kullanılarak zeminin taşıma gücü ve sıvılaşma potansiyeli araştırılır. Şayet zemin her yönden yapılaşmaya müsaade etmiyorsa yeni inşaat sahaları araştırılır. Günümüzde ülke nüfusunun giderek artması ve buna paralel olarak barınma ihtiyacının artması böyle bir keyfi durumu ortadan kaldırmaktadır.

- Daha iyi zeminlere ulaşabilmek için derin temeller tasarlanabilir. Zayıf zemin tabakası aşılarak sağlam zeminlere kadar ulaşan kazık temeller oluşturmak hem zeminin taşıma kapasitesini arttıracak hem de sıvılaşma esnasında dinamik yükler etkisiyle yatay yönde etkiyen kuvvetlere ve bükülme momentlerine karşı koyacaktır. Fakat Adapazarı zemin şartlarında, kalın alüvyon zemin tabakasını aşarak sağlam zeminlere ulaşan kazık temel uygulamaları imkansızdır.

- Zayıf zemin kaldırılıp yerine proje özelliklerine uygun bir zemin yerleştirilir. Zayıf zemin tahliye edilerek proje özelliklerine uygun zemin yerleştirilmesi kimi zaman bir alternatif olarak gözükse de kaldırılacak zemin hacmi ekonomik ve zaman açısından sorun teşkil edebilmektedir.

- Zayıf zemin üzerindeki yapı bu zeminin özelliklerine ve taşıma kapasitesine göre projelendirilir. Bu yöntemde çoğu zaman ekonomik açıdan sorun teşkil etmektedir. Burada önemli olan sağlam yapı yapmaktan öte zemin özelliklerinin depremde ne gibi sorunlar yaratacağı ve bu sorunların yapı sağlam olsa bile ne kadar etkileneceği önemlidir.

- Zemin iyileştirme metotlarından uygun olanı ile zemin özellikleri iyileştirilebilir. Bilindiği gibi artan teknolojiyle birlikte zemin iyileştirme metotları kötü zeminlerde alternatif çözümler oluşturmaktadır. Şayet uygun şekilde projelendirilmiş iyileştirme metotları zaman ve ekonomiden kazanç sağlamakla birlikte güvenilir yapı inşasına olanak sağlamaktadır. İyileştirme metotlarını yapılacak olan proje şartlarına göre 3 ana grupta toplanılabilir;

1. Zemini geçici olarak iyileştirme yöntemleri (yapılacak olan bir tünel inşasında yer altı suyunu dondurmak).
2. Dışarıdan bir katkı maddesi katmadan zemini kalıcı olarak iyileştirmek. Dinamik etki yaratarak boşluk suyunu uzaklaştırmak (patlatma), geniş bir alanda bulunan gevşek zeminleri uygun bir ekipmanla yüksekten ağırlık düşürerek sıkılaştırmak (dinamik kompaksiyon)
3. Çeşitli maddeler kullanarak zemini iyileştirme yöntemleri. Çimento veya kireç kolonları, dikey veya düşey kolonlar bu grupta yer almaktadır.

7.1. Zemin İyileştirme Kavramı ve Tarihte Zemin İyileştirme Metotları

Mühendislik yapılarında, temel sistemleri, zeminde oturma, taşıma kapasitesinde ve deprem durumunda sınılaşma problemi olmaması durumunda genellikle yüzeysel temeller kullanılarak çözüm aranmaktadır. Oturmalar büyük veya stabilite açısından yeterli güvenlik olmadığı takdirde derin temel tasarımına veya zemin iyileştirmesine başvurulur.

Karşılaşılan zeminler her zaman istenilen özelliklere sahip olmayabilir. Zemin özelliklerinin projeye uygun hale getirmek zemin iyileştirme kavramının ortaya çıkmasına sebep olmuştur. Zemin iyileştirmeleri derin temel sistemlerinden daha ekonomik olması ve istenilen özelliklere sahip olmayan zeminlerin atılarak yerine daha uygun zeminlerin kullanılması ise teknolojik ve ekonomik nedenlerden dolayı çoğu zaman uygun olmaması, problemlili zeminlerde alternatif olarak zemin iyileştirme yöntemlerini gündeme getirmiştir.

Venedik kentinde yapılan yapılar ve İstanbul'daki Haydarpaşa Tren istasyonu ahşap kazıklar üzerine oturtulmuştur. Çin' de M.Ö. 600 yıllarında zemin içine açılan kuyular sönmemiş kireçle doldurarak, eski Roma'da karayolu yapımında killi zeminleri puzzolan ve kireçle stabilize edilerek zemin iyileştirilmiştir.

Günümüzde insan nüfusunun artması ve buna paralel olarak barınma ihtiyacının artması, yapıların büyümesi ve yapı yüklerinin artmasına sebep olmuştur. Bu durumda sadece sağlam zeminler değil problemlili zeminler üzerinde de yapı inşası kaçınılmaz hale gelmiştir. 1970' den beri alternatif olarak uygulanan zemin iyileştirme yöntemleri bu tarz zeminlerin ıslahında çözüm oluşturmuştur. Özellikle son yıllarda gelişen teknolojiyle zeminler iyileştirilerek, zemindeki oturma problemi ortadan kalkmakta, taşıma kapasitesi arttırılmakta ve deprem sırasında sivilaşma potansiyeline sahip zeminler sağlamlaştırılmaktadır.

7.2. Zemin İyileştirme Nedenleri ve Zemin İyileştirme Yöntemlerini Etkileyen Faktörler

Zemin iyileştirmesine ihtiyaç olup olmadığı, zayıf zeminlerin tanımlanması ve özellikleri yapılacak olan yapının tasarım ve gereksinimleriyle birlikte değerlendirilmesiyle belirlenir. Mevcut zeminin geoteknik özellikleri baz alınarak ön tasarım gerçekleştirilir. Zemin özellikleri proje ihtiyaçlarını karşılıyorsa yüzeysel temeller tasarlanır. Şayet bu tasarım sonucunda, yapıdan dolayı bazı problemlerle karşılaşılabilir. Bu problemler aşağıdakilerden herhangi biri olabilir:

- Zeminde sivilaşma potansiyelinin olması,
- Yapım esnasında ve sonrasında oluşabilecek aşırı oturmalar,
- Yetersiz taşıma gücü,
- Yapının eğilmesine, yatmasına sebep olacak farklı oturmalar,
- Temel kazısı ile ilgili problemler,
- Şev duyarsızlığı,
- Kazı sonucu kabarmalar,
- Çökebilien, organik v.s. zeminlerin varlığı.

Her yapının zemin durumu ve problemi kendisine özgüdür. Bu yüzden iyileştirme metodu mevcut zeminin özelliklerine göre seçilmelidir. Örneğin; problemlili kil bir zemin koşulunda aşağıda detaylı olarak incelenecek dinamik kompaksiyon, ağırlık düşürme gibi yöntemler çözüm olmayacaktır. Kum ve çakıldan oluşan problemlili bir zeminde de ön yükleme, taş kolon gibi yöntemler çözüm olmayacaktır. Bu yüzden problemlili zemin iyi incelenmeli, çok sayıda arazi ve laboratuvar deneyi yapılarak zemin iyi etüt edilmelidir. Zemin iyileştirmesi düşünülen bir projede mutlaka CPT (Koni Penetrasyon Deneyi) yapılmalıdır.

Zemin iyileştirme yöntemlerinin seçimini etkileyen faktörler aşağıda sıralanmıştır:

- Zemin veya kaya özellikleri, (ince tane yüzdesi, kıvam, normal yada aşırı konsolide durumu v.s.)
- Sıvılaşma potansiyeli,
- YASS seviyesi,
- Düşünülen iyileştirme sahasının büyüklüğü,
- Çevresel faktörler,
- Maliyet,
- Mevcut yapıların varlığı ve uygulanacak yöntemle etkileşimi,
- Bakım, dayanıklılık ve işletme gereksinimleri,
- İş planı, şantiye sahasına ulaşılabilirlik, ekipman ve insan gücü,
- Yerleşim bölgelerinin iyileştirme sahasına yakın yada uzak oluşu.

Her iyileştirme yöntemi zeminin farklı bir parametresini daha iyi hale getirmek için uygulanmaktadır. Zeminin hangi özellikleri değiştirilecek yada iyileştirilecekse uygulanacak yöntem buna göre seçilmelidir. İyileştirme yöntemlerinin zemin cinsi ve özellikleri ile ilgili olduğu göz önünde tutulmalıdır (Tablo 7.1). Ayrıca iyileştirme metotlarının uygunluğu önceden araştırılmalıdır. Zemin cinsine ve yapılacak yapının zeminde meydana getireceği gerilme artışlarına göre uygun metodun seçimi ekonomi ve zaman açısından önem taşımaktadır.

Tablo 7.1. Zemin iyileştirme teknikleri ve kullanılma amaçları [15]

UYGULANAN YÖNTEM	ZEMİN TÜRÜ		ZEMİN İYİLEŞTİRME AMACI				
	Daneli	Kohezyonlu	Taşıma Gücü	Oturma Kontrolü	Stabilite	Çevresel Sebepler	Sıvılaşma
Vibrokompaksiyon	*		*	*			*
Kum Sık. Kazıkları	*		*	*			*
Komp. Kazıkları	*		*	*			*
Dinamik Komp.	*		*	*		*	*
Patlatma	*		*				*
Ön Yükleme		*	*	*			
Düşey drenler		*	*	*			
Isıtma		*		*			
Soğutma	*	*				*	
Geosentetikler		*	*	*			
Mini Kazıklar	*	*	*	*			
Fore Kazıklar	*	*	*		*		
Zemin Çivileri	*	*			*		
Donatılı Zemin	*					*	
Derin Karıştırma	*	*	*	*	*	*	*
Taş Kolonlar		*	*	*	*		*
Permeasyon Enj.	*		*	*	*	*	
Çatlatma Enj.		*	*	*		*	
Komp. Enj.	*	*	*	*			*
Jet Enj.	*	*	*	*	*	*	*

7.2.1. Sıvılaşma potansiyelinin zemin iyileştirme yöntemlerine etkisi

Deprem esnasında yapıların hasar alması ve yıkılmasında en önemli faktörlerden biride zemin sıvılaşmasıdır. Gevşek ve kohezyonsuz zeminlerin YASS seviyeleri iyi etüt edilmelidir. Bu tarz zeminlerde kuru birim hacim ağırlığı arttırmak en güvenli yoldur. Böyle bir zeminde titreşimli boru ve çubuklar, vibrokompaksiyon, patlatma gibi yöntemler uygulanabilir.

Eğer zeminde incelerin oranı % 20 - % 25 ise kompaksiyon kazıkları, ağırlık düşürme gibi yöntemler kullanılabilir.

Bir başka yöntem olarak bağlayıcı katkı malzemeleri kullanılarak boşluk suyu basıncını izole ederek geçirimsiz zeminler oluşturulabilir. Bu yöntemlerden; derin karıştırma ve jet enjeksiyonu örnek olarak verilebilir.

7.3. Zemin iyileştirme Metotları

Zemin iyileştirme metotlarındaki amaç; taşıma gücünü arttırmak, oturmaları kontrol altına almak, dinamik etkiler altında deformasyonları ve sıvılaşmayı önlemek, geçirimsizliği azaltmaktır.

7.3.1. Sıkıştırma Yöntemleri

Bir zeminin kompozitesi ne kadar yüksekse dayanım veya mukavemeti o kadar fazla olur. Bilindiği üzere zemin hem temel taşıyıcısı olarak hem de yapılarda yapı malzemesi olarak kullanılan çok yönlü bir malzemedir. Her iki koşulda da zeminin boşluksuz olması istenir. Zemin özellikle dinamik yükler ve yapı yükleri altında dayanımlarının yüksek olması istenir. Aşağıda bahsedilen sıkıştırma yöntemleri özellikle kohezyonsuz zeminlerde boşluk oranının azaltılmasına yöneliktir. Yalnız zeminlerin kompaksiyonuna etki eden bir takım zemin özellikleri bulunmaktadır Bunlar:

- Zeminin cinsi,
- Zeminin dane dağılımı,
- D_{max} ,
- Su muhtevası,
- Sıkıştırma sırasında kullanılan enerji miktarı
- Zemindeki bağlayıcı çimento miktarı,
- Sıkıştırma araçlarının cinsi, kapasitesi ve özellikleri.
- Yukarıda bahsedilen bu özellikler sıkışmayı kontrol eden başlıca parametrelerdir.

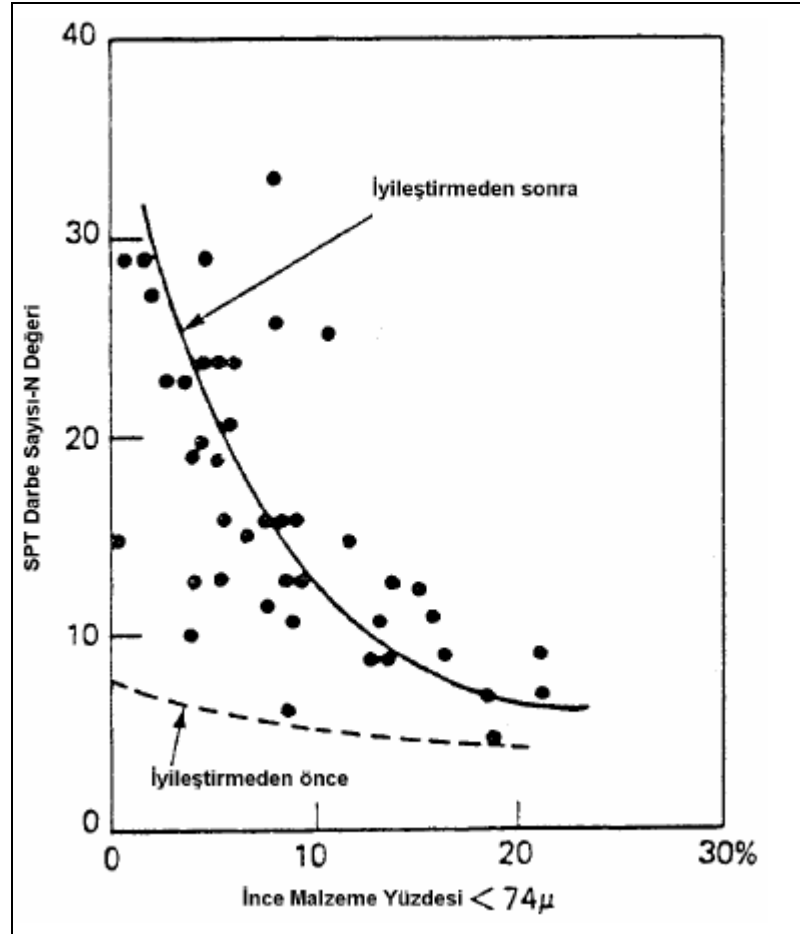
Sıkıştırma tekniklerinin kullanılma amaçları ise;

- Yol, demiryolu, sedde, baraj gibi yüksek performanslı yapılar,
- Sıkıştırılmış zemin üzerinde ekonomik projelendirme,
- Oturmaları sınırlandırmak,

- Barajlarda permeabilitenin azaltılması,
- Sıvılaşma problemlerinin çözümünde.

7.3.1.1. Vibrokompaksiyon (Vibroflotasyon)

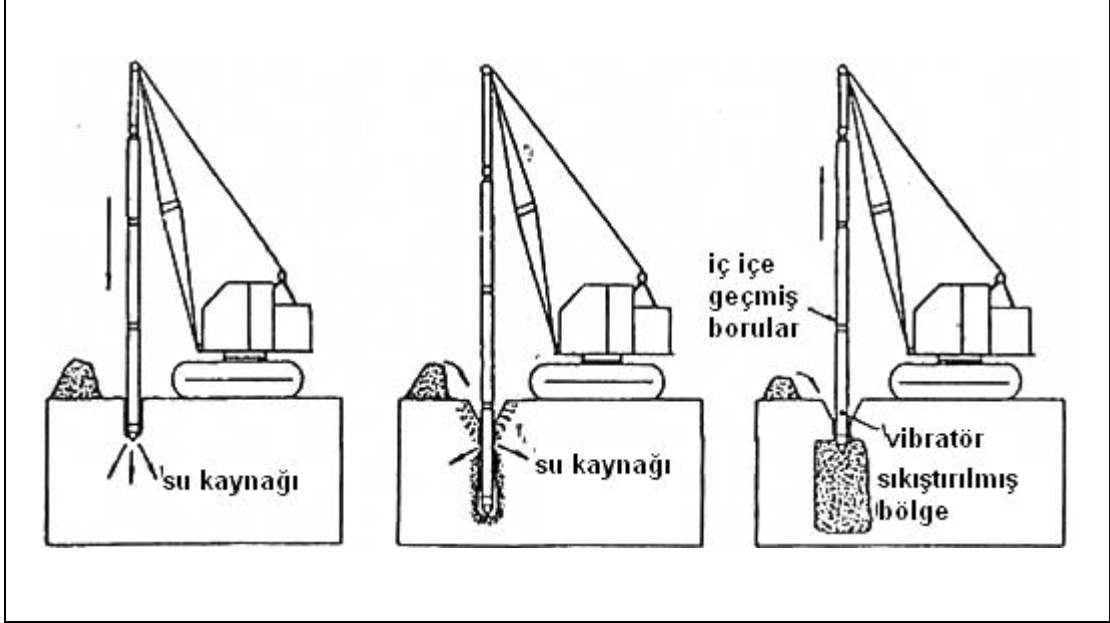
Zemin içerisine yerleştirilen vibratör ve çıkan titreşimler sonucu granüler zeminleri sıkıştırmaya yarayan bir yöntemdir. Böylece bu tarz zeminlerin boşluk oranı ve sıkışabilirlikleri azalmakta, içsel sürtünme açıları, taşıma gücü ve sıvılaşmaya karşı dirençleri artmaktadır (Şekil 7.1).



Şekil 7.1. İncel malzeme yüzdesine ve vibrokompaksiyona bağlı penetrasyon direnci artışı [43]

Vibratör zemin içerisine sokulurken vinç ve uzatma borularından yararlanır. Genellikle vibratörü zemin içerisine sokarken su jeti yada basınçlı hava kullanılır. 3 metre boyunda, 40 cm çapında ve 3 ton ağırlığında bir vibratör orta boy bir ekipman sayılır.

Vibratör proje derinliğine kadar 1 – 2 m/dak hızla ilerler. Böylece titreşen zemin oturur ve vibratörün çevresinde bir çöküntü konisi oluşur. Titreşimli sonda yukarı çekilirken yüzeyden bu çöküntü konisine granüler malzeme doldurulur ve titreşimli sonda zemini sıkıştırarak yukarı çekilir (Şekil 7.2).



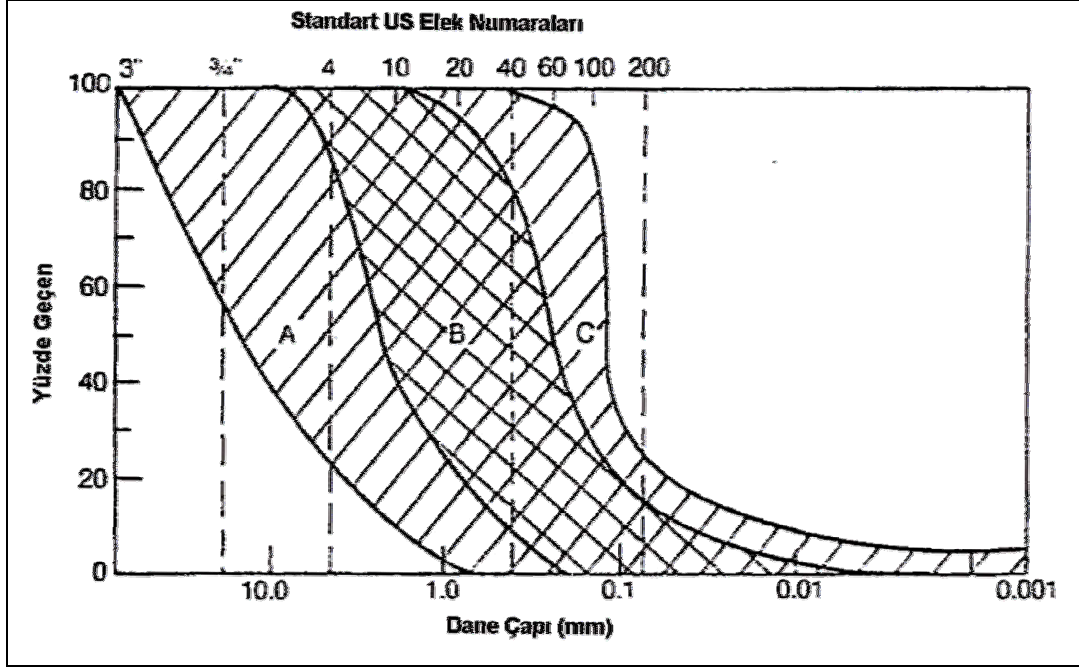
Şekil 7.2. Vibrokompaksiyon yöntemi

Bu yöntem YASS seviyesinin altındaki gevşek zeminlerde etkili olmaktadır. Bu tür zeminlerde 58 metreye kadar sıkıştırma işlemi yapılabilmektedir. Ayrıca bu yöntem ekonomi ve zaman açısından derin temellere göre daha avantajlıdır. Bu yöntemle dinamik kompaksiyonun yapılamadığı yerlerde daha az titreşim oluşturduğu ve mevcut yapılara zarar vermediği için bu yöntem alternatif olarak kullanılabilir.

Bu yöntem yer altı su seviyesi altındaki gevşek zeminlerin sıkıştırılması için etkili bir yoldur. Fakat ince taneli zeminlerin varlığı bu yöntemin verimini düşürmektedir. Bu yüzden granüler malzeme içindeki ince oranı % 20' yi geçmemeli ve bunda % 3' ünden fazlası aktif kil olmamalıdır [8].

Brown (1977), tarafından verilen dane boyu dağılımı aralıklarına göre etkili sonuç için en uygun dane boyu aralığı B bölgesine düşerken, C bölgesi daha zor sıkışmakta,

çakıl gibi iri malzemeler içeren A bölgesi ise ekipman kullanımında zorluk çıkarmaktadır (Şekil 7.3).



Şekil 7.3 Vibrokompaksiyon ile sıkıştırmaya elverişli zeminlerin dane dağılımı [12]

Vibratör (vibroflot) ile sıkıştırılan zeminin çapı 2,4 ila 3 metre arasında değişmektedir. Vibrokompaksiyon ile temellerdeki oturmalar azaltılır, dinamik etkiler altında sıvılaşma etkisi azaltılabilir ve iri taneli gevşek dolgu zeminlerde yapılaşmaya müsaade eder.

Bu yöntemin etki derecesi aşağıdaki tabloda verilmiştir (Tablo 7.2).

Tablo 7.2 Vibrokompaksiyon metodunun zemin cinslerine göre etkinlik derecesi

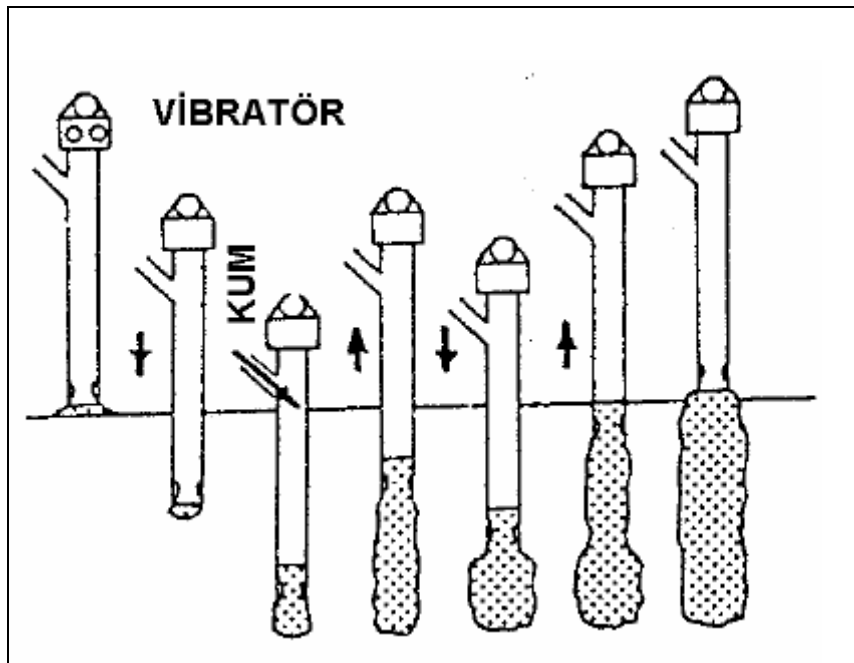
ZEMİN CİNSİ	ETKİNLİK DERECESİ
Kumlar	Mükemmel
Killi Kumlar	İyi
Siltler	Zayıf
Killer	Uygulanamaz

Vibrokompaksiyon metodunun etkinliği SPT (standart penetrasyon deneyi), CPT (Konik penetrasyon deneyi), PMT (prisiyometri deneyi), DMT (Dilatometre deneyi), plaka yükleme deneyleri yapılarak ölçülebilir.

7.3.1.2. Kum sıkıştırma kazkları (Titreşimli boru ve ubuklar)

Bu yöntem yumuşak zeminleri iyileştirmek için ilk olarak Japonya' da uygulanmıştır. Bu yöntem titreşimli borular zemin içerisine sokularak zeminin sıklaşması ve oturması sağlanır. Daha sonra bu borular içerisinden kum dökülerek sık kum kazıklar oluşturulur.

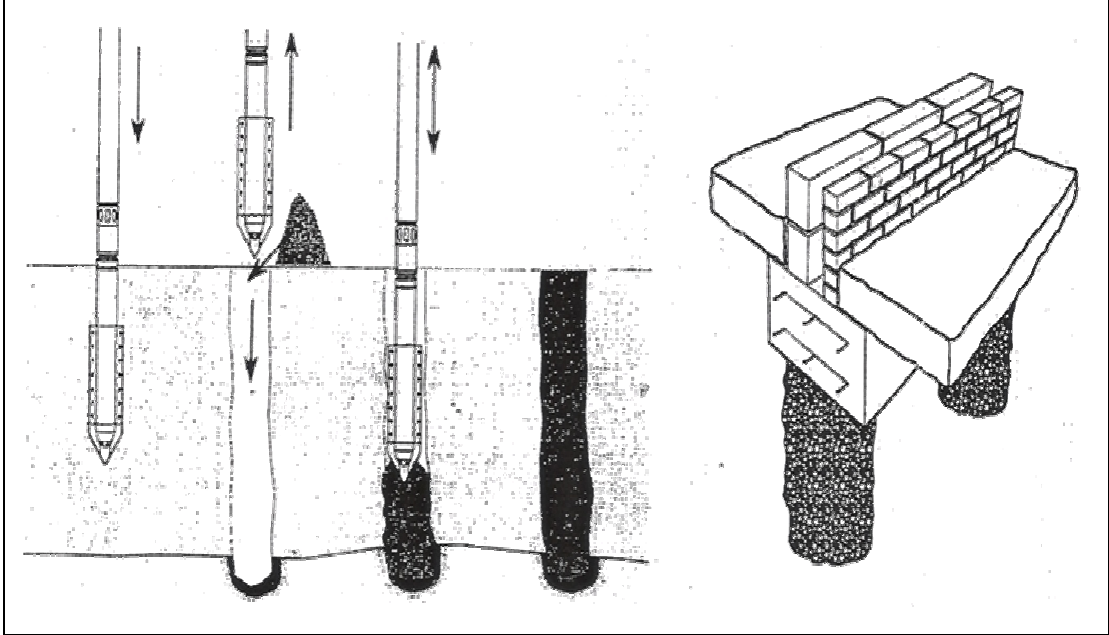
Kum sıkıştırma kazklarında ekipman istenilen derinliğe ulaştıktan sonra gevşek kum ekipmanın mili arasından boşaltılır ve ekipman biraz yukarı çekilir. Daha sonra milin üzerindeki bir vibratör yardımıyla kum sıkştırlır ve çapı arttırılır. Bu işlem tekrarlanarak sıkştırlmş kum kazıklar oluşturulur (şekil 7.4).



şekil 7.4. Kum kazkları oluşturma safhaları [49]

Sıkştırlmş kum kazklarla yapılan iyileştirmede, sık kum ile değiştirilmş gevşek kum ve kil hacmidir. Bu yöntem SPT ve zeminin sklığı göz önüne alınarak yapılır.

sırasında vibrasyondan etkilenerek oturur. 1 – 1.8 metre uygulama mesafeleri kullanılmaktadır. Bu metot ince tane oranına sahip zeminler üzerinde de kullanılmaktadır. Killi ve siltli zeminlerde oturma hızına katkıda bulunabilirler.

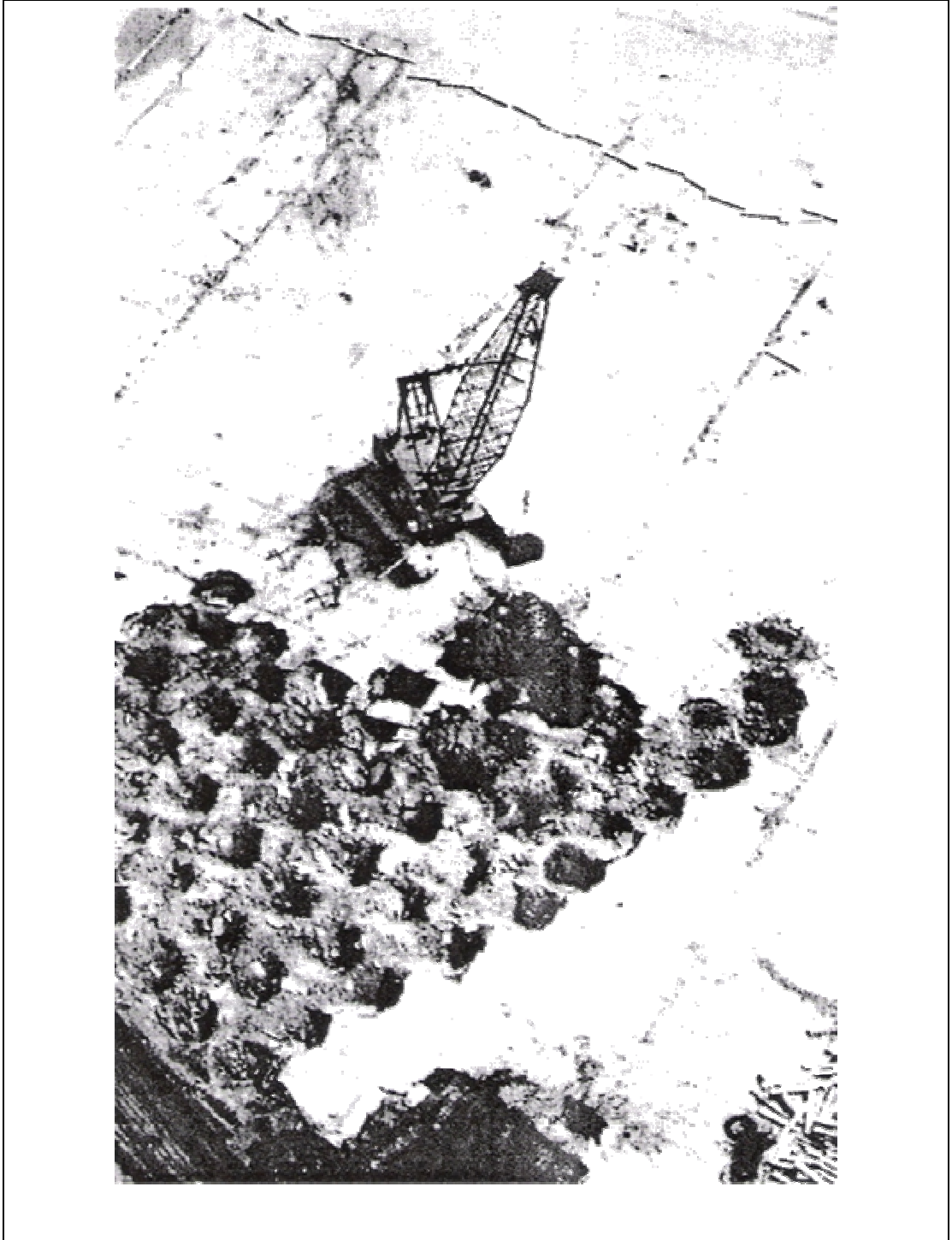


Şekil 7.6. Kompaksiyon kazıklarının uygulanması

7.3.1.4. Dinamik Kompaksiyon (Ağırlık Düşürme)

Dinamik kompaksiyon yöntemi ağır bir yükün belli mesafelerden zemine düşürülmesidir. Genellikle donatılı levhalardan yada çelik levhalardan yapılan bu ağırlık 5 ila 27 ton arasında değişmektedir. Düşürme yüksekliği ise 10 ila 30 metredir. Bazen bu ağırlık 155 tona ve düşü yüksekliği de 40 metreye çıkabilir. Ağırlık aynı yüzeye 3 ila 8 arasında değişen sayılarda düşürülür ve 5 – 10 metre aralıklı düşürme mesafeleri kullanılır.

Elde edilen iyileştirmenin derecesi kullanılan ağırlığa, düşü yüksekliğine ve her noktaya uygulanan düşü sayısına bağlıdır. Hafif ağırlıklarla ve alçak düşü mesafeleriyle 3 ile 4,6 metre sıkıştırma derinlikleri elde edilebilir. Daha ağır tokmaklarla ve daha yüksek mesafelerden yapılan düşülerle ise 6,1 ile 9,1 metre sıkıştırma derinlikleri elde edilebilir. Resim 7.1' de dinamik kompaksiyon işlemi görülmektedir.



Resim 7.1. Dinamik kompaksiyon yöntemi [27]

Dinamik kompaksiyon proje sahasında belli aşamalarla yapılır. En büyük iyileşmeler genellikle etkili nüfuz derinliğinin yaklaşık yarısına eşit olan derinliklerde gözlenmiştir. Enerjiyi daha büyük derinliklere iletmek için geniş aralıklı bir ağda yüksek enerjili düşüş kullanılarak önce en derindeki zemin sıkıştırılır. Meydana

gelen çukurlar iyi derecelenmiş granüler malzeme ile doldurulur. Sonra daha küçük bir ağırlık (tercihen ilk ağırlığın yarısı), daha kısa mesafelerde (genellikle ilk uygulama mesafesinin yarısı) , daha küçük yükseklikten ve daha fazla düşüşler yapılarak orta düzey zeminler sıkıştırılır. Son olarak hafif aralık ve neredeyse sıfır düşüş mesafelerinde zemin düzlenerek yüze yakın zeminler sıkıştırılır. İhtiyaç duyulduğu takdirde geleneksel düzleme makineleri ile ilave düzleştirme işlemleri yapılabilir.

Killi zeminlerde ise uygulamaya başlamadan önce sahaya 1 metre kadar daneli zemin serilmektedir. Ayrıca sömel altlarına lokal olarak bu yöntem uygulanabilir. Plastik ve doygun killer bu yönteme uygun değildir. Yinede kohezyonlu zeminlerde uygulanabilirse de asıl olarak sismik tehlikeleri azaltmada dinamik kompaksiyon sıvılaşma potansiyeli olan zeminlerde başarıyla uygulanabilir. Kompaksiyon işleminden kısa bir süre sonra aşırı boşluk suyu basıncının sönmülmesiyle sıkışma daha da ilerlemektedir.

Bu yöntemin ekonomik olabilmesi için iyileştirilecek alanın kumlu zeminlerde 5000 m²' den, suya doygun olmayan ince taneli zeminlerde 15000 m²' den büyük olması gerekmektedir.

Bu metodun sakıncası oluşturduğu 2 – 20 Hz' lik titreşimler nedeniyle yakındaki yerleşim birimlerinde problemler çıkarmasıdır. Genel olarak; köprü ayaklarına 6 m, petrol tanklarına 10 m, betonarme binalara 15 m, evlere 30 m ve hassas elektronik aletlere 60 m yaklaşıldığı zaman mutlaka özel bir inceleme gerekmektedir.

Gevşek zeminin kalınlığı ve iyileştirme derinliği zemin etütleri yapılarak hesaplanabilir. İyileştirme derinliği ile tokmak ağırlığı ve düşüş yüksekliği arasındaki bağıntı şu şekildedir:

$$D = n (WH)^{0,5}$$

D: Metre cinsinden iyileştirme derinliği

W: Ton cinsinden tokmak ağırlığı

H: Metre cinsinden düşüş yüksekliği

n: 1' den küçük ampirik sayı (0,3 ila 0,8 arasında değişmektedir.)
n katsayısı aşağıdaki kriterlere bağlıdır:

- Vincin düşürme mekanizması verimliliği,
- Uygulanan toplam enerji miktarı,
- Sıkıştırılacak zemin katmanının türü,
- Enerji sönmeyecek tabakaların varlığı,
- Sıkıştırılacak katman üstünde ve altında sert tabakaların varlığı,
- Tokmağın darbe basıncı.

Enerjinin tek bir halatla kaldırılıp düşürülen bir tokmak yardımıyla uygulandığı ve uygulanan enerjinin 1 ile 3 Mj/m olduğu koşullarda, n katsayısının Tablo 7.3'de gösterildiği gibi zemin tipine bağlı olduğu anlaşılmıştır. Bu değerler ilk aşamada iyileştirme derinliğini belirlemek için yukarıdaki formülde kullanılabilir. Birçok proje için de zaten gereken budur.

Tablo 7.3. Zemin tipine bağlı "n" katsayısı değişimi [15]

Zemin Türü	Suya Doğunluk Oranı	Önerilen 'n' değeri
Geçirimli Zeminler – Granüler Zeminler	Yüksek	0.5
	Düşük	0.5-0.6
Yarı geçirimli zeminler – Siltler (plastisite indisi < 8)	Yüksek	0.35-0.4
	Düşük	0.4-0.5
Geçirimsiz Zeminler – Killer (plastisite indisi > 8)	Yüksek	Önerilmemektedir
	Düşük	0.35-0.40 zemin plastik limitinden daha düşük su muhtevasından bulunmalıdır

7.3.1.5. Patlatma

Ülkemizde kullanılmayan bu yöntem kohezyonsuz gevşek zeminleri dinamik olarak sıkıştırmak için kullanılır. Belli derinliklere vibrasyon yada su jeti gibi yöntemlerle ulaşılır ve daha sonra bu derinliklere TNT, dinamit yada amonit gibi patlayıcılar yerleştirilerek zemin dinamik bir etki yardımıyla boşlukları azaltılarak sıkıştırılır.

Proje derinliklerine ulaşıldıktan sonra kullanılacak patlayıcılar bu derinliklere indirilir ve çukur tekrar kapatılır. Patlamanın etkili olabilmesi için iki veya aşamalı patlatma yapılır. Tekrarlı ve gecikmeli patlamalar tek ve büyük bir patlamadan daha etkili olmaktadır. Doygun olmayan katmanların önce doyurulması gerekmektedir. Patlatmanın en etkili olduğu zeminler, % 20 'den az silt ve %5' den az kil içeren gevşek kumlardır. İyileştirilecek zeminin tane çapı vibrokompaksiyon kriterlerine uyum sağlamalıdır.

Suya doymuş gevşek zeminler patlatmadan sonra meydana gelen sismik kuvvetler sonucu sıvılaşır ve zemin taneleri yeniden düzenlenir. Geçici olarak dinamik kuvvet etkisiyle yük boşluk suyuna aktarılmakta ve zemin sıkışmaktadır. Meydana gelen şok dalgalarının etkili olabilmesi açısından yukarıda da bahsedildiği gibi suya doymuşluk önem taşımaktadır. Boşluk suyu taneciklerin yeniden düzenlenmesi için bir yağ gibi davranmaktadır. Zemin içerisindeki boşlukların azalması büyük hacimlerde zemin sıkışmasına neden olmaktadır.

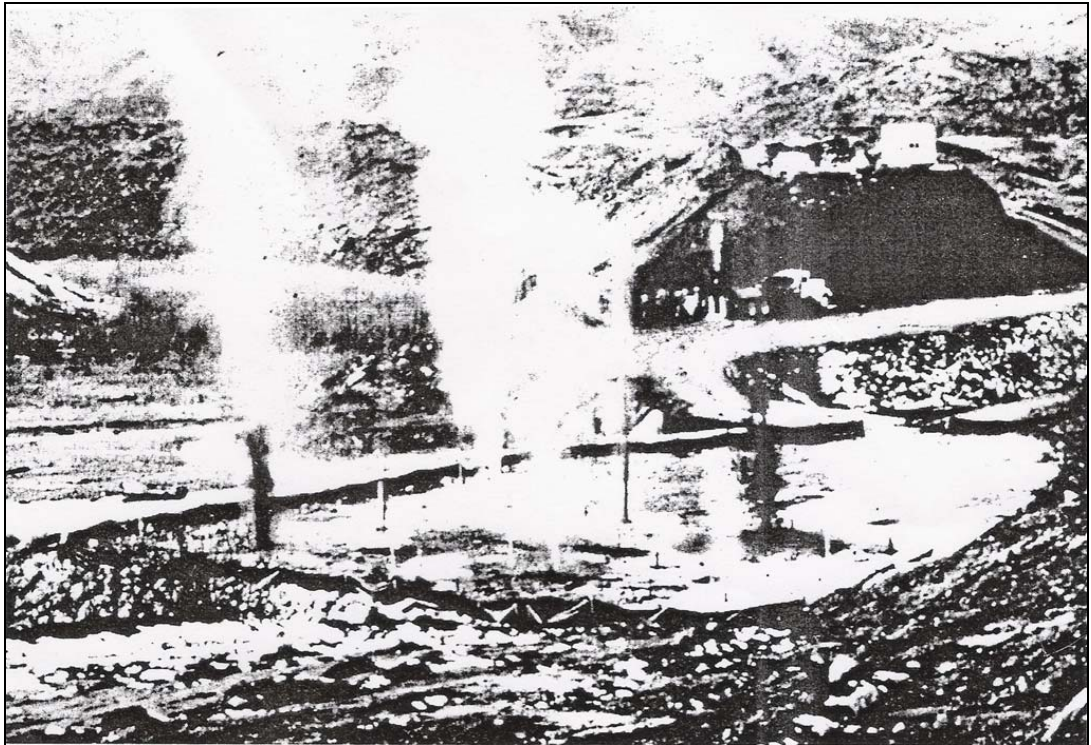
Tipik bir patlatma 2 ila 15 kg patlayıcının 3 ila 15 metre aralıklarla yerleştirilmesi ile olur. Kullanılan patlayıcı miktarı 40 ila 80 gr / m³ tür. 10 metreden daha az kalınlığa sahip zemin tabakaları için patlayıcı maddeler zemin tabakasının yarısı veya dörtte üçü kadar bir derinliğe yerleştirilir. Fakat üçte ikisi kadar bir derinliğe yerleştirmek daha yaygın olarak kullanılmaktadır. Eğer tabaka kalınlığı 10 metreden büyükse her tabaka alt tabakalara bölünerek hesap yapılır.

Patlatma yöntemiyle elde edilecek sıkıştırma miktarını etkileyen birkaç faktörden biri kullanılacak patlayıcının miktarıdır. Optimum bir değer olarak 10 kg TNT olabilir. Yine kullanılan patlayıcı miktarına bağlı olarak yüzeyde krater oluşmasını

engellemek için patlayıcıyı daha derinlere yerleştirmek gerekecektir. Diğer bir faktör ise patlayıcının kuyu içerisine yerleştirilme şeklidir. Patlayıcı ya tek bir noktaya yerleştirilebilir ya da birkaç farklı noktaya dağıtılabilir. Patlatma tekniğinin verimliliğini etkileyen en önemli faktör ise karelaj içerisindeki patlayıcıların patlatılma sırasıdır.

Bu yöntemin üstün olan tarafı diğerlerinde mümkün olmayan derinliklerde etkili olabilmesi ve ekonomik olmasıdır. Fakat yakındaki yerleşim bölgelerinde kuvvetli titreşimler meydana getirmesi ve taşıma, depolama açısından tehlikeli olabilecek patlayıcıların kullanılması bu yöntemin dezavantajlarındandır.

Aşağıda Washington eyaletinde St. Helen's Dağı yakınındaki Coldwater Creek köprüsünün inşasından önce gevşek zeminin patlamayla sıkıştırılması görölmektedir.



Resim 7.2. Patlama ile zemin iyileştirilmesi [27]

7.3.2. Ön yükleme metodu ve düşey drenler

Kil tabakalarıyla karşılaşan projelerde konsolidasyon sorunları ön yükleme ve/veya düşey drenler oluşturularak aşılmaktadır. Düşey drenler drenaj yolunu azaltarak birincil konsolidasyonda etkilidirler.

Ön yükleme metodu, yapı inşasından önce zeminin toprak yada buna benzer bir yük ile yüklenerek sıkıştırılmasıdır. Yapı yapıldıktan sonra gelebilecek yükleri yapı yapılmadan sağlayarak daha sonra oluşabilecek oturmaları engellemektir. Kohezyonlu zeminlerde yapı yükünden oluşacak oturmalar uzun zaman almaktadır. Ön yükleme metoduyla bu oturmaları önceden başlatmak ve hızlandırmak amaçlanmaktadır. Oturmalar kabul edilemeyecek kadar uzun bir süreyi kapsıyorsa ve kalın kil tabakaları mevcutsa ek dolgu ile ön yükleme metodu uygundur. Amaç zeminin taşıma gücünün aşmadan yükleme yapmaktır. Yükleme hızı aşırı boşluk suyu basınçlarının sönmelenmesini sağlayacak şekilde olmalıdır. Ön yükleme ekonomik olmasının yanı sıra uzun süreler gerektirdiği için düşük maliyetli olması göz ardı edilebilmektedir.

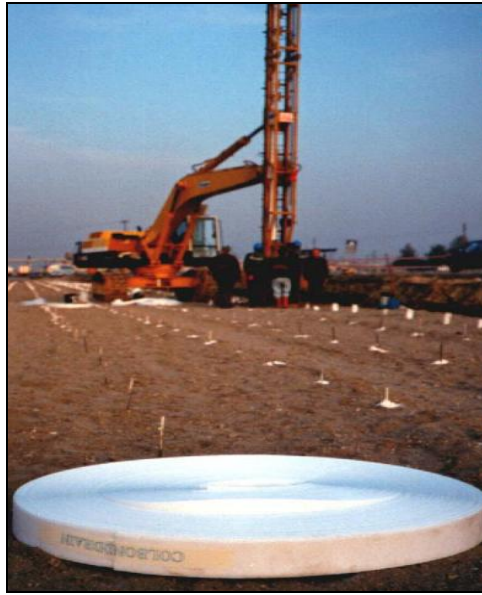
Bu iyileştirme yöntemleri zemin suyunun yapıya zarar vermesini engellemek, ayrıca yapı imalatından sonra zeminde meydana gelecek ani oturmaların giderilmesi ve zeminlerin taşıma gücünün artırılmasına yönelik yöntemlerdir. Bu uygulamalar genel olarak karayolları inşasında, geniş saha inşasında zemin suyunun yüzey kotuna yakın olduğu durumlarda uygulanmaktadır.

Düşey drenler ön yükleme metoduna göre daha kısa sürede sonuçlanmakta ve yapı imalatında zaman konusunda kısalma sağlamaktadır. Konsolidasyon süreci uzun zaman alacak zeminlerde önyüklemeye alternatif olarak uygulama süreci daha kısa olduğundan prefabrike düşey drenler olarak uygulanır.

Ön yüklemede; Uygulama maliyetinin düşük olması yöntem için sayılabilecek önemli avantajlar içerisindedir. Yöntemin sonuca ulaşması uzun zaman alacak olması en önemli dezavantajdır. Ayrıca yöntemin uygulanmasında yükleme miktarlarına dikkat edilmelidir. Gerekli yüklemenin aşılması zeminde distorsiyon (ani) oturma ve

buna bağlı olarak geri dönüşü mümkün olmayan deformasyon meydana getirebilir. Uygulamanın ve sonucun uzun süreçte olması zeminde istenen oturmaların tam olarak gerçekleşmesini sağlayacaktır buna bağlı olarak kesin sonuç alınmaktadır. Bu durumu ayrıca yöntem için bir avantaj olarak düşünülebilir.

Düşey drenlerde; Prefabrike Düşey Drenlerde uygulama kum drenlerine oranla daha kısa sürede tamamlanabilmektedir. Ancak önyükleme konusu ile karşılaştırılması ise zaman bakımından mümkün olmamaktadır. Maliyetinin yüksek olması uygulama için dezavantaj sayılsa da sürenin kısaltılması yönüyle toplam maliyete olumlu etki etmektedir. Maliyet karşılaştırılması düşey dren çeşitleri içerisinde yapılacak olursa kum drenleri ve prefabrike drenlere göre düşük maliyette imal edilmekte ancak uygulama olarak daha az verimli olmaktadır. Resim 7.3 ve 7.4’ de prefabrike dren(bant dren) ve dren rulosu görülmektedir.

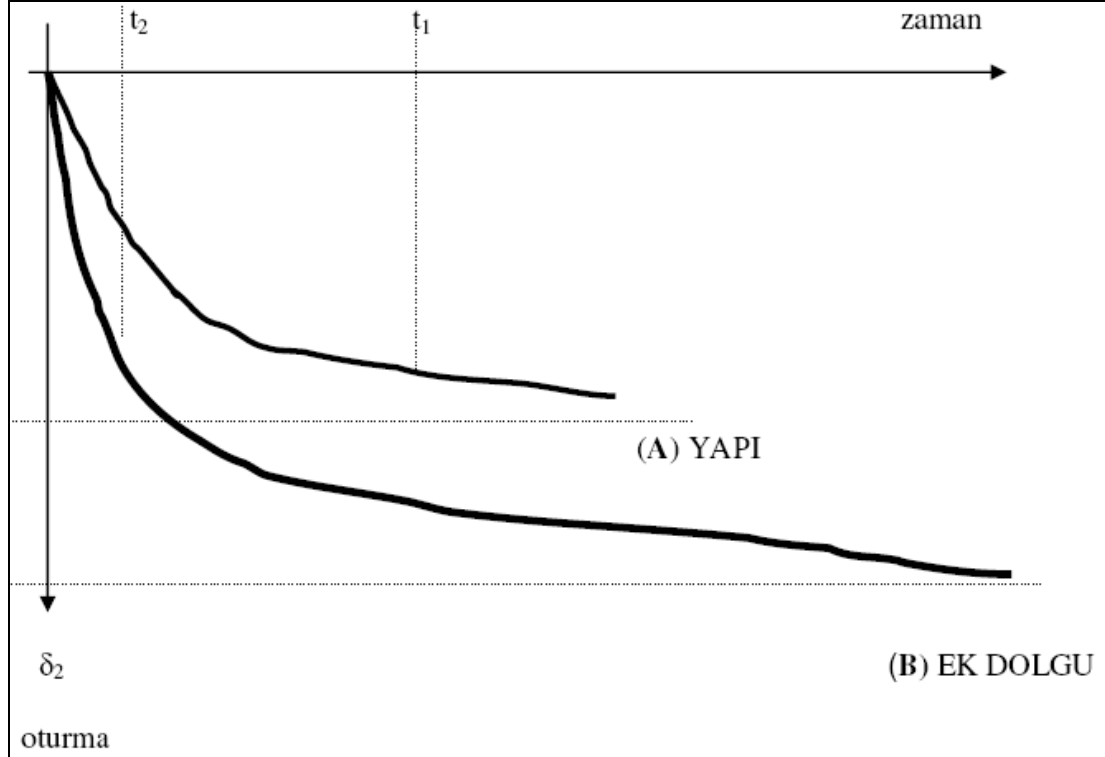


Resim 7.3. İzmit otoyolunda düşey dren uygulaması



Resim 7.4. Düşey dren uygulanmasından sonra zemin suyu tahliyesi için bırakılan düşey dren kanal çıkışı

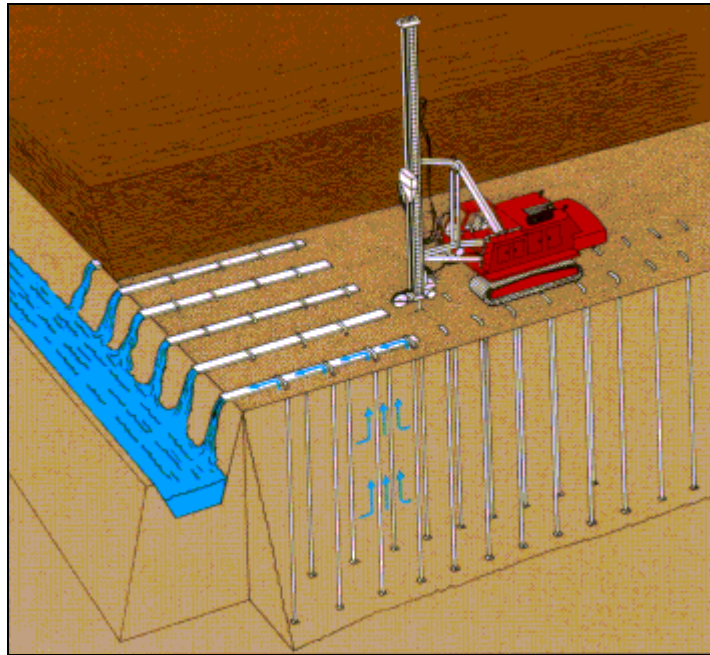
Şekil 7.7' de (A) eğrisi zeminde ($\Delta\sigma$) kadar bir gerilme artışı oluşturan bir yapının oturma-zaman grafiğini göstermektedir. Nihai oturma δ_1 olup konsolidasyonun %90'ı t_1 kadar bir zaman içerisinde gerçekleşecektir. Bir ek dolgu uygulandığında elde edilecek oturma -zaman grafiğinin (eğri B) nihai oturması δ_2 olup δ_1 eğrisinden daha aşağıda olacaktır. Halbuki gerekli oturma miktarı δ_1 olup beklenilmesi gereken zamanı t_2 'ye düşürmüştür.



Şekil 7.7. Yapı ve ek dolgu ile killi zeminin oturma ve zaman grafiği [15]

Konsolidasyonu hızlandırmanın en etkili yolu ön yükleme ile oluşacak boşluk suyu basıncını hem düşey hem de yatay yönde sönmülemektir. Ön yükleme ile düşey ve yatay yöndeki geçirimsizlik katsayıları değişiklik göstermektedir. Belli aralıklarla killi zemine yerleştirilen yüksek geçirimli düşey kolonlar suyun hızlı bir şekilde drene olmasını sağlamaktadır. Böylece zemin çok daha hızlı konsolide olmaktadır.

Düşey drenler 0,3 metre çapında kum kolonlardan yada 0,1 metre suni drenlerin zemin içine sokulmasıyla oluşturulmaktadır. 1925 yılından beri kullanılan kum drenler yumuşak kil zemin içerisinde temiz filtre kumu ile teşkil edilen bir kum kazığından ibarettir. Kum drenin yapımı sırasında kil zeminin yoğrulmamasına ve geçirgenliğinin azalmamasına özen gösterilmelidir. Yüksek geçirgenliğe sahip 10 – 15 cm genişlikte ve 2 – 10 mm kalınlıktaki kağıt veya plastik şeritler bir kılavuz çubukla zemine sokulmaktadır. 20 m uzunlukta olan bir dren yaklaşık 3 dakikada yerine yerleştirilmektedir (Şekil 7.8).



Şekil 7.8. Düşey dren şematik gösterimi [75]

Düşey drenler uzun yıllar kum doldurulmuş düşey kuyular olarak uygulanmıştır. Ancak günümüzde plastik şerit v.b. dren tipleri uygulanmaktadır.

Kum drenler 20 – 60 cm çaplı, 1,5 – 6 m ara mesafeli içi kum dolu düşey drenlerdir. Kum kuyuları açılırken en az örselenme olmalıdır. Bu yüzden burğu ile foraj yöntemi tercih edilmelidir. Plastik veya karton drenler etrafı sarılı geotekstil veya kartondan oluşmaktadır (Resim 7.5).



Resim7.5. Zemine uygulanmış prefabrike dren [77]

7.3.3. Isıl İşlemler

7.3.3.1. Isıtarak iyileştirme

Isıtarak iyileştirme günümüzde uygulansa da henüz araştırma safhasında olup çok az uygulama alanı bulabilmiştir. Kıvamları likit limite yakın olan killi ve siltli zeminler suni olarak ısıtılarak kayma dirençleri arttırılmaktadır. 300 ila 1000 C^o lerde ısıtma uygulamaları bulunmaktadır.

Killer yüksek sıcaklıklarda (900 C^o) klinkere dönüşerek faz değiştirmektedirler. Bu durumda killer bünyesine su almayacak kadar değişmektedirler. Zeminlerin ısı ile iyileştirilmesi özellikle lös zeminlerde uygulanmaktadır.

İyileştirme bölgesine açıklan sondaj deliklerinden basınçlı hava ve yakıt ağızdan kaçırılmayacak şekilde basılır. Böylece delik içerisinde yüksek sıcaklıklar elde edilir. Deliğin çevresinde artan ısı nedeniyle bünyedeki su atılmakta ve zemin iyileşmektedir.

Bu yöntem doğu bloğu ülkelerde sıklıkla uygulanmıştır. Yüksek sıcaklık; elektrotlar kullanılarak elektrik akımı ile yada benzin alevi yardımıyla sağlanır. Isı kayıplarını engellemek için kuyu ağzı kapatılır.

Uygulama; kompresörden 1,5 atm basınçla gelen hava petrol tankına basılır. Yakıt filtreden süzülüp pompa ve giriş borusu ile kuyu içine verilir. Uygulama deliğinde oluşacak sıcaklık hava – yakıt oranına bağlıdır. Hava - yakıt oranı 3,5 olduğunda 800C° , 1,0 olduğunda 2800C° sıcaklık sağlanabilir.Uygulanan basınç 25 – 60 kPa civarındadır. 8 günlük bir ısıtma ile sondaj çapının 10 katı bir alan iyileştirilmektedir. 1 – 2 m çapında bir bölgeyi iyileştirmek için bir haftalık yakım gerekmektedir.

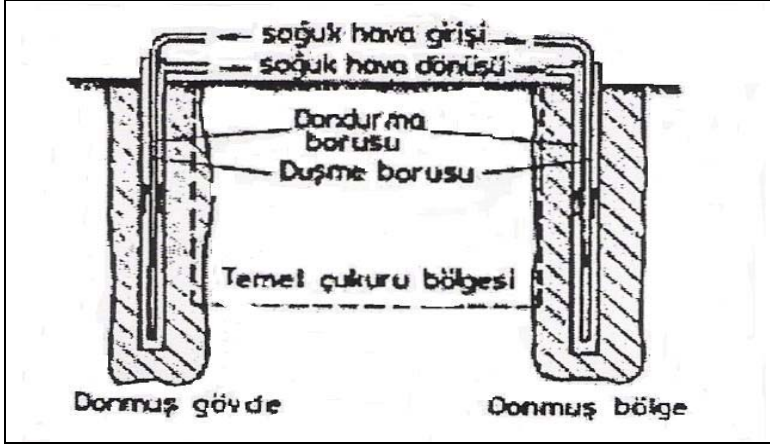
7.3.3.2. Soğutarak iyileştirme

Soğutarak iyileştirmede amaç yeraltı suyu akımını kesmek ve zeminin kayma dayanımını arttırmaktır. Bu yöntem ısıtılarak iyileştirmeden daha yaygın kullanılmaktadır.

Bu yöntem ilk defa yaklaşık 100 sene önce kullanılmıştır. Zemin içindeki su donuncaya kadar soğutulur. Böylece daha büyük dayanıma sahip geçirimsiz bir zemin elde edilir. Donmuş zeminlerin kayma mukavemeti donmamış zeminlere göre daha fazladır.

Kısa süreli zemin iyileştirmeleri gereken yerlerde bu yöntem kullanılabilir. Dolayısıyla kısa süreli şev stabilitesinde temel çukurunun kuruda tutulması durumunda kullanışlı bir yöntemdir. Bu yöntem hemen hemen tüm zemin türleri için kullanılabilir. Kendini kısa süreli durumlarda bile tutamayan zeminlerde açılacak temel yada tünel inşaatlarında boşluk suyu dondurularak kazı anında geçici süreli stabilite sağlanır. Boşluk suyunun donmasıyla oluşan buz parçacıkları zeminin kayma direncini ve rijitliğini artırır. Bu işlem su muhtevası % 50' ye kadar olan zeminlerde uygulanabilir. Fakat oldukça maliyetli olan soğutma işlemi yer altı suyunun hareketli olması durumunda uygulanmaz. Dondurma işlemi zemin içine sokulan borularda soğuk akışkan dolaştırılarak yapılır. İçe içe geçmiş borularda

soğutma maddesi olarak karbondioksit yada nitrojen, soğuk taşıyıcı akışkan olarak da magnezyum veya kalsiyum klorür eriği kullanılır.(Şekil 7.8)



Şekil 7.9. Temel Kazısında Soğutma işlemi

7.3.4. Geotekstiller (Geosentetikler)

Geosentetikler sentetik hammaddelerden üretilen polimer; geçirimli dokuma veya geçirimsiz membran tipli malzemelerdir. Günümüzde, gelişen teknolojiyle oldukça geniş bir uygulama alanına sahip olmuşlardır. Bu malzemeler zemine yerleştirildikten sonra mühendislik performansını artırmakta, maliyetleri düşürmektedir. Geosentetikler bir dizi fonksiyonu yerine getirmektedirler. (Tablo 7.4)

Tablo 7.4. Geosentetiklerin kullanım amaçları

Kullanım Alanı	Sağlanan Öncelikli (Birinci Derece) Fonksiyonlar	Sağlanan İkinci Derece Fonksiyonlar
Yol Yapımı	Ayırma	Filtre-Drenaj-Donatı
Demiryolu Yapımı	Ayırma-Filtre	
Hidrolik Yapımı	Filtre	Ayırma
Drenaj	Filtre	Ayırma -Drenaj
İstinat Duvarı	Donatı	Drenaj
Tüneller	Drenaj – Koruma	
Çöp Atık Depolama Alanları	Koruma	Drenaj - Donatı
Rezervuarlar	Koruma	Drenaj - Donatı
Sıvı Membranlar	İzolasyon	

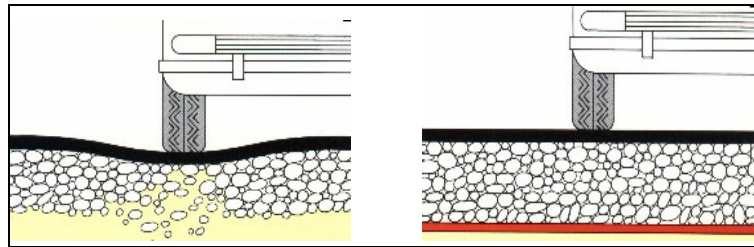
Geotekstiller bir çok kullanım alanına sahiptirler. Yol inşaatlarından çöp ve atık depolama alanlarına kadar bir çok alanda filtre, ayırma, izolasyon gibi işlerde kullanılmaktadırlar (Tablo 7.5).

Tablo 7.5. Geotekstil kullanım alanları

Yol inşaatları Kalıcı yollar Geçici yollar Park alanları Yol genişletme Asfalt yenileme Havaalanları Demiryolları	Bina inşaatları Temeller Taban betonları Ses emme özelliği Teras çatılar Bahçe çatılar	Zemin uygulamaları Borular ve kanalları Depolama alanları Spor sahaları Sevler
Drenaj ve Filtrasyon sistemleri Drenaj boruları Drenaj kanalları Yüzey drenajı Bina drenajları	Hidrolik yapılar Kıyı koruma yapıları Barajlar Liman inşaatları Nehir yataklarının ve kanalların korunması Suni Göletler Su rezervuarları	Çöp ve atık depolama alanları Çöp ve atık depolama alanları Çevresel su arıtma sistemleri

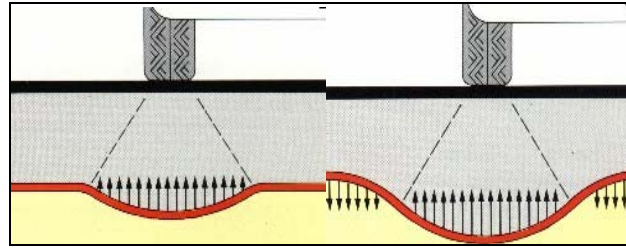
Geotekstiller örgülü ve örgüsüz olmak üzere iki şekilde imal edilmekte ve farklı görevleri yerine getirmektedir.

Örgülü geotekstiller yol yapımında ayırma ve takviye amaçlı kullanılabilirler. Örgülü geotekstil alt temel ile zemin arasında bir ayırım oluşturur ve pahalı olan alt temel malzemesinin trafik yükleri altında zeminle karışmasını önler (Şekil 7.10).



Şekil 7.10. Geotekstil uygulaması ile alt temel durumu

Örgülü geotekstil, yüksek çekme kuvveti altında düşük uzama oluşturması nedeniyle takviye tabakası olarak kullanılabilir. Örgülü geotekstilde betonarme plaka içindeki çeliğinkine benzer bir çekme kuvveti oluşur. Bunun sonucunda iyi bir yük dağılımı, üniform oturma ve tekerleğin yaptığı oyulmaların asgariye indirilmesi sağlanmış olur. Bu da alt temelin büyük bir esneme rijitliği kazandığını gösterir. Bu durumda tekerlek yükü kısmen alt zemin, kısmen örgülü geotekstil tarafından taşınır. Yükün yayılma yüzeyi genişler ve temel altındaki zemin üzerinde basınç azalır. Böylece oturmalar ve oyulmalar minimuma indirilir. Lokal çökmenin belli bir değeri aşması halinde plastik deformasyon oluşur. Örgülü geotekstil tekerlek yükünün bir kısmının hemen absorbe eder ve lokal çökmenin olduğu bölgenin kenarlarında ters yönde kuvvet oluşturarak yoldaki bozulmayı önler. Sonuçta daha az oturma ve oyulmalar ile bir yük dağılımı sağlanır (Şekil 7.11).



Şekil 7.11. Geotekstil ile üniform yük dağılımı

Örgüsüz geotekstillere de yol inşaatları, tüm inşaat yapıları, zemin uygulamaları gibi bir çok alanda kullanılmaktadır (Resim 7.6).



Resim 7.6. Örgüsüz geotekstil rulosu [80]

Mükemmel uzama özelliği sayesinde, geotekstil yüksek bölgesel yüklere olduğu gibi, inşaat safhasında oluşabilecek gerilmelere son derece dayanıklıdır. Geotekstiller hassas malzemelerin zarar görmelerini engeller ve oluşabilecek gerilme çatlaklarına karşı yapıyı takviye ederler (Resim 7.7).



Resim 7.7. Koruma amaçlı geotekstil uygulaması

Geotekstillerin gözenekli yapısına rağmen, bu gözeneklerin boyutları geotekstilin doğal zemin, kum ve çakıl gibi tabakalar arasında etkin olarak ayırma görevini yerine getirebilmesini mümkün kılacak şekilde oluşturulmuştur (Resim 7.8).



Resim 7.8. Ayırma amaçlı geotekstill

Geotekstillerin gözenek yapısı suyun geçişine müsaade ederken silt yada kum gibi ince taneli malzemeleri tutar. Geotekstillerin özel yapısı filtrenin tıkanmasını önlemektedir (Resim 7.9).



Resim 7.9. Filtrasyon amaçlı geotekstill uygulaması

İğneleme işleminden geçirilen geotekstillerin, suyun geotekstillin kendi düzleminde hareketini de temin ederek, tamamen drene edilmesini sağlar (Resim 7.10).



Resim 7.10. Drenaj amaçlı geotekstill uygulaması

Trafik yükleri, zemin hareketleri, iklim koşulları yol yüzeyinde yatay ve düşey olarak deformasyonlara sebebiyet verir. Yıllar içinde, bu yükler kaplamada çatlak oluşmasına yol açar. Eğer böyle bir yüzey üzerine doğrudan (yada kazandıktan sonra) yeni asfalt kaplaması yapılırsa, mevcut eski çatlakların yeni asfalt tabakaya yansması riski vardır. Asfalt takviye geosentetikleri kullanımı bu yansıma çatlaklarını önler.

Takviye geosentetikleri asfalt kaplama tabakası içinde, çatlaklara karşı mukavemeti artırır, kaplama içindeki yatay çekme gerilmesinin önemli bir bölümünü absorbe eder ve düzgün bir şekilde geniş bir alana yayılmasını sağlar. Bu şekilde bölgesel göçmeler önlenmiş olur. Takviye edilmiş olan asfalt tabakaları daha yüksek dinamik taşıma mukavemetine sahip olur. Resim 7.11a ve Resim 7.11b de geotekstillerin bir çeşidi olan fibertex AM2' nin yol inşasında uygulaması görülmektedir.



Resim 7.11a-11b. Asfalt geotekstill uygulaması – takviye geotekstilller

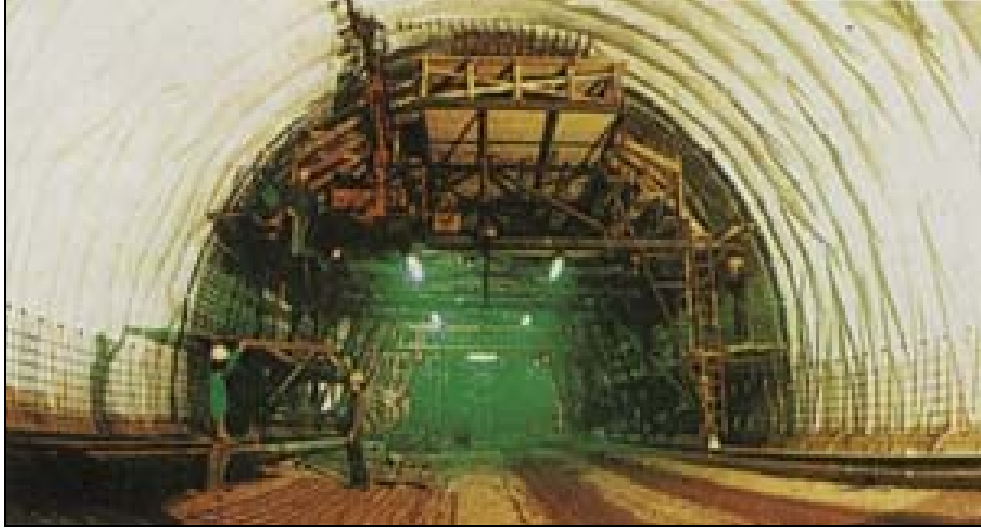
Takviye geotekstillerin kullanım amaçları; mevcut üstyapı üzerine yapılacak yeni asfalt kaplamadaki çatlakları önlemek, aşırı soğuktan dolayı oluşan rötre çatlaklarını önlemek, yol yapısında açılan çeşitli maksatlı kazıların tamiratı, tekerlek izlerinin azaltılması, yol genişlemeleri nedeniyle derz çatlaklarını önlemek amaçlarıyla kullanılmaktadır.

Asfalt geotekstilller yol inşasının ömrünü uzatır, temel tabakalarının yumuşamasını ve oyulmasını engeller. Yerel koşullara bağlı olarak % 20 – 40 tasarruf sağlar.

Geosentetiklerin diğer bir çeşidi olan geomembranlar özellikle su yalıtımı sağlaması için esnek malzemelerden yapılmış, üretim şekillerine göre mukavemetli, dona karşı dayanıklı esnek malzemelerdir. Geomembranlar hammadde tiplerine göre; yumuşak PVC), Yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE High Density Polyethylene), Lineer polietilen (LLDPE Linear Low Density Polyethylene) gibi çeşitlere ayrılırlar.

Geomembranlar; inşaat alanında, su sızmalarına karşı; içme suyu depoları ve tanklarında , likit madde depolarında, yüzme havuzlarında, su kanallarında,

göletlerde, barajlarda, balık çiftliklerinde, rekreasyon alanlarında, yol ve demir yolu tünellerinde, yani sıvıların sızmasını önlemek gereken yerlerde kullanılırlar (Resim 7.12).



Resim 7.12. Geomembran tünel uygulaması

Diğer kullanım alanları ise; binaların temelleri, çatıları, perde duvarları gibi kısımlarında dışarıdan içeriye sızıntıları önlemek için sızdırmazlık tabakası teşkilidir. Genel olarak membranların sızıntılara karşı izolasyon işinde kullanılmaktadır (Resim 7.13).



Resim 7.13. Geomembran temel uygulaması

Başka kullanım sahaları ise; yüzeylerde korozyon ve/veya kimyasal maddelerin atıklarına karşı koruyucu tabaka meydana getiren kaplama işleridir. Bilhassa; atık su sistemleri, deniz iskeleleri gibi inşaatlarda beton yüzeylerin korozyondan korunması için izolasyon ve koruyucu tabaka teşkilinde kullanılırlar. Kimya tesislerinde, petrol tesislerinde, çöp dolum sahalarında, kirletici maddelerin sızıntılarını önlemek üzere çevre mühendisliği alanlarında kullanılmaktadırlar (Resim 7.14).



Resim 7.14. Geomembran uygulaması

7.3.5. Donatılandırarak İyileştirme

7.3.5.1. Mini Kazıklar

Mini kazıklar çeşitli yöntemlerle açılan zemin içerisine, demir donatı koyularak yüksek basınçlarda betonlanmasıdır. Çapları 6 – 30 cm arasında değişen bu kazıklar gerektiğinde 3 ila 50 tona kadar yük taşımaktadırlar. Mini kazıklar her türlü zemin koşulunda ve yatayda değişik açılarda uygulanabilirler. Mevcut temellerin güçlendirilmesi yada şevlerin stabilitesinde mini kazık uygulanmaktadır (Şekil 7.12).

Mini kazık temel içerisinde çeşitli yöntemlerle inşa edilir. Bunlardan birincisi; beton ağırlığıyla yerleşir. Beton enjeksiyonla basılmadığı için kum – çimento yada sadece çimento harcı kullanılır. İkincisi; Beton bir muhafaza borusu yardımıyla; muhafaza borusu geri çekilerek 0.5 – 1.0 Mp basınçla zemine verilir. Bu yöntemle zemin içerisindeki boşluklar da tamamen kapanır.

Mini kazık uygulamalarında genel olarak 0.5 – 2 Mp arasında basınçlar uygulanmaktadır. Mini kazıkların taşıma kapasitesini ölçmenin en iyi yolu yerinde yapılan deneylerdir. Mini kazıklarda çevre sürtünme kapasitesi uç taşıma kapasitesinden daha önemlidir. 10 cm' den daha küçük çaplı kazıklar bir grup şeklinde kullanıldığında zemini bir kütle halinde iyileştirirler.

7.3.5.2. Fore Kazıklar

Fore kazıklar, 40 ila 60 cm çapında ve 6 ila 15 m derinliklere kadar yapılmaktadırlar. Yurdumuzda 150 cm çapında ve 60 m derinlikte uygulama sahası bulmuşlardır. Bu kazıkların yapım yöntemi; ucu açık boru sondaj yoluyla zemine sokulur. İçindeki zemin tamamen temizlendikten sonra çelik kafesler yerleştirilerek beton dökülür. Tek tek uygulandığı gibi grup halinde de uygulanabilirler. Tek kazıklarla veya kazık gurupları ile taşınan emin yüklerin belirlenmesi gereklidir. Taşınacak yük, taşıyacak temel zemini tabakalarının özelliklerine uygun olacak şekilde zemin içinde yayılmalıdır. Kazıkların emin taşıma gücünün belirlenmesinde zemin mekaniği prensipleri uygulamasının büyük önemi olmakla beraber değerlendirmede yükleme deneylerine ve pratik tecrübeye dayanan amprik metotlardan da faydalanılmalıdır.

Sığ temellerde olduğu gibi bu temellerde de iki çeşit göçmeye karşı önlem alınması gereklidir. Bunlar zemin kayma göçmesi ile fazla oturmalarıdır .Bunlardan birincisinde kazıkların taşıma gücünün bilinmesi ve buna yeterli bir güvenlik sayısının uygulanmasına gerek vardır. İkincisinin belirlenmesi ise daha güçtür. Oturmanın hesaplanması için temel altındaki zemin profilinin, zeminin konsolidasyon özelliklerinin ve kazıklardan zemin tabakalarının ne şekilde yük aktarıldığının bilinmesi gereklidir.

Bir kazık gurubunun taşıma gücünün kazıklar arasındaki girişim nedeniyle, kazıkların tek tek taşıma güçleri toplamından genellikle az olduğu çok iyi

bilinmektedir. .Bu duruma bir istisna olarak, bazı hallerde, kohezyonsuz zemin içine çakılan kazıklar gösterilebilir. Kompaksiyonla zemini sıkıştırıldığı bu durumda kazıklar arasındaki girişimin toplam mukavemeti artırması ihtimali vardır.

Fore kazık uygulamasına geçilmeden önce zemin raporları detaylı bir şekilde incelenmeli ve yer altı su seviyesi drene edilmelidir. Bu şekilde yapım sahasının kuru kalması sağlanmalıdır. Bozuk zeminlerde 24 saat geçmeden en az 3 çap çevresinde ikinci bir kazık imalatı yapılmamalıdır. Zemin kendi kendine boru sürebilen hidrolik delgi makineleri ile delinebilir (Resim 7.16).



Resim 7.16. Fore kazık delgisi [101]

Delme işlemi bittikten sonra zemin dışarı alınmalıdır (Resim 7.17). Yer altı su seviyesi altında yapılan kazılarda muhafaza boruları delme ucundan önde gitmelidir. (Her fore kazık uygulamasında muhafaza borusu kullanmak zorunlu değildir) Muhafaza boruları dökülen betonun işlenebilirliğini kaybetmeden çıkarılmalıdır. Muhafaza borusunun betonla sarılma oluşturmaması için muhafaza borusu çekilirken beton dökülmeye devam edilmelidir. Boru içerisinde her zaman 2 m kadar beton olmalıdır.



Resim 7.17. Foraj esnasında dışarı atılan zemin [100]

Daha sonra zemin içine donatı kafesi yerleştirilir (Resim 7.18). Donatı kafesinin korozyona uğramaması için gerekli önlemler alınmalıdır. 12 metreyi geçen kafes imalatlarında bağ teli kullanılmalıdır. Şayet donatı kafesi daha uzunsa bağlantılar kaynak yada klemens gibi bağlantı elemanları ile sağlanmalıdır. Kullanılan kafes gerekli pas payları bırakılarak servis vinci ile dağılmasına imkan verilmeyecek şekilde kuyuya indirilmelidir.



Resim 7.18. Donatı kafesinin zemine indirilmesi [109]

Son olarak kuyuya beton dökümü yapılmaktadır (Resim 7.19). Betonun gerekli standartlara uygunluğu laboratuvar deneyleri ile araştırılmalıdır. Mümkünse aynı gün beton dökümü yapılmalıdır. Aksi takdirde donatılı zemin şişebilir ve tekrar delme ve kuyu temizleme işlemleri tekrarlanabilmektedir.



Resim 7.19. Beton dökümü [99]

7.3.5.3. Zemin Çivileri

Zemin çivileri en basit şekliyle kesme mukavemetini arttırmak ve çekme mukavemetini kazandırmak için zemini donatılandırma tekniğidir. Zemin çivileri doğrudan zemine çakılabilmektedir. Yada zemin delinip içine donatı yerleştirdikten sonra enjeksiyon karışımını basınçsız olarak doldurmak suretiyle de uygulanabilmektedir.

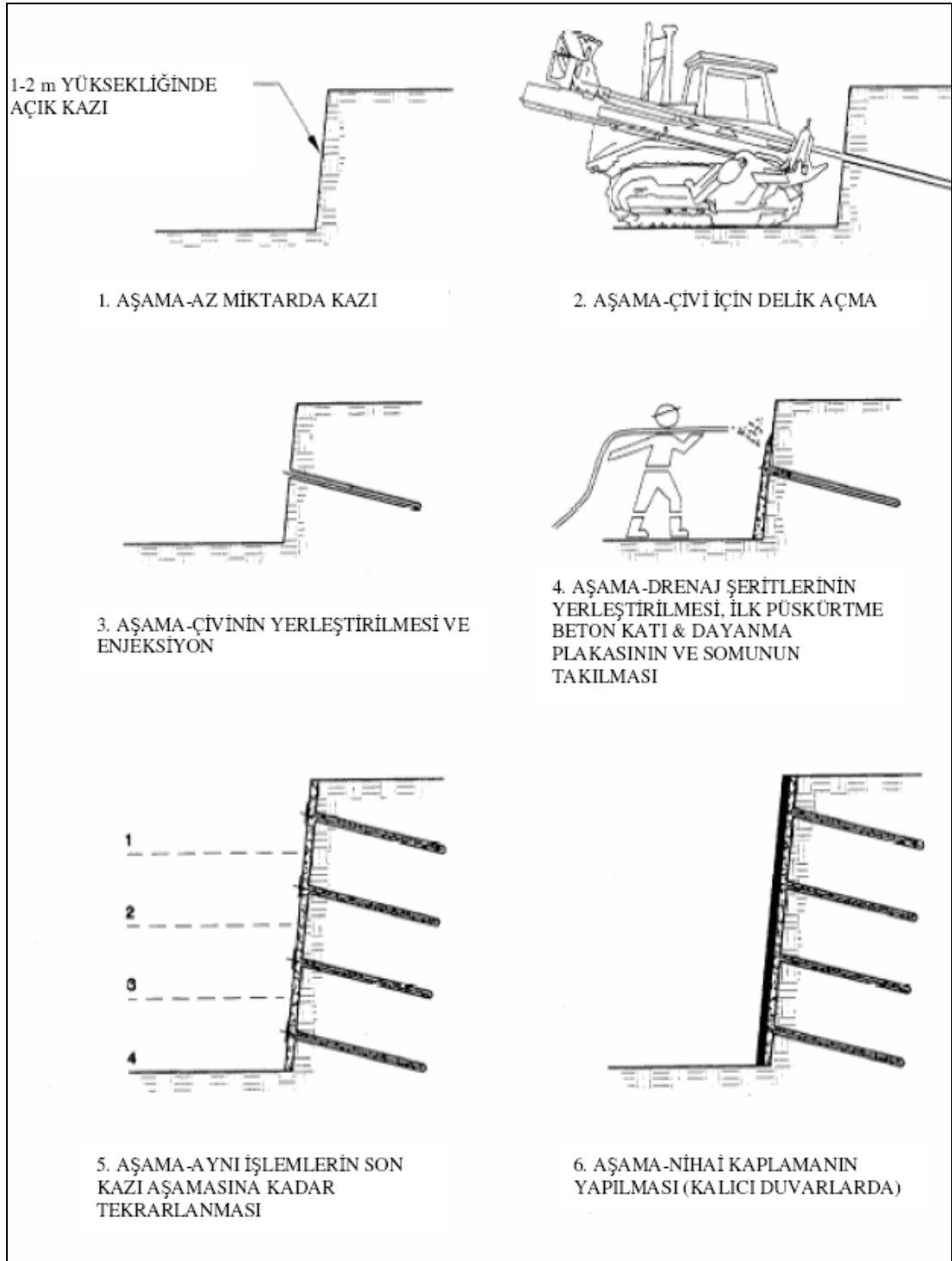
Zemin çekmeye karşı çok zayıf bir özelliğe sahiptir. İnşaat sahasında imalat yukarıdan aşağıya doğru ilerlerken şev veya kazı yüzeyine enjeksiyonlu çelik çubuklar sık aralıklarla monta edilerek zemin güçlendirilmektedir. Devam eden kazıdan dolayı desteğini kaybeden zemin yatay yönde hareketlerde bulunarak zemin çivilerini çekmeye zorlamaktadır. Enjeksiyonla uygulanan çiviler zeminin kesme kuvvetini arttırarak kazı esnasında ve sonrasında deplasmanları sınırlarlar. Uygulamanın yapısal ömrü bakımından açıkta kalan zemin püskürtme beton tekniğiyle kaplanabilir.

Zemin çivileri her türlü zemine uygulanamamaktadır. Kazı esnasında kendini tutamayan ve hareketli yer altı su seviyesine sahip zeminlerde uygulanamaz.

Çivi sıklıkları proje durumuna göre 1 çivi / m² ile 5 çivi/ m² arasında değişmektedir. Kullanılan çivi elemanları Φ 20 ile Φ 30 arasında değişmektedir. Zemin tipine göre 0.5 ila 2.5 m kademeli kazı yükseklikleri uygulanmaktadır.

Zemin çivileri kazı yüzeylerinin tutulması veya şev stabilitesinin sağlanması amacıyla oluşturulan duvar niteliğindeki yapılarda kullanılırlar. Zemin çivilerine ön germe uygulanmaz, dolayısıyla şev hareketi olmadığı sürece çivilere herhangi bir yük gelmemektedir. Ayrıca zemin çivileri derin kazılarda, geçici veya kalıcı iksa yapımında ve dayanma yapılarının desteklenmesinde de kullanılmaktadır.

Çeşitli yöntemlerle zemine açılan deliklerden (burgu, kaya matkabı, üstten vurmali çekiç v.s.) çimento enjeksiyonu (Pç 32,5 yada Pç 42,5 çimento ve su) ile delikler doldurulmaktadır. Daha sonra çelik çubuklar yerlerine yerleştirilir. Çimento enjeksiyonu kullanarak çelik çubukların korozyonu önlenerek, çubukların zemine daha iyi tutunmaları sağlanmaktadır (Şekil 7.13).



Şekil 7.13. Zemin çivili duvar inşaatı [15]

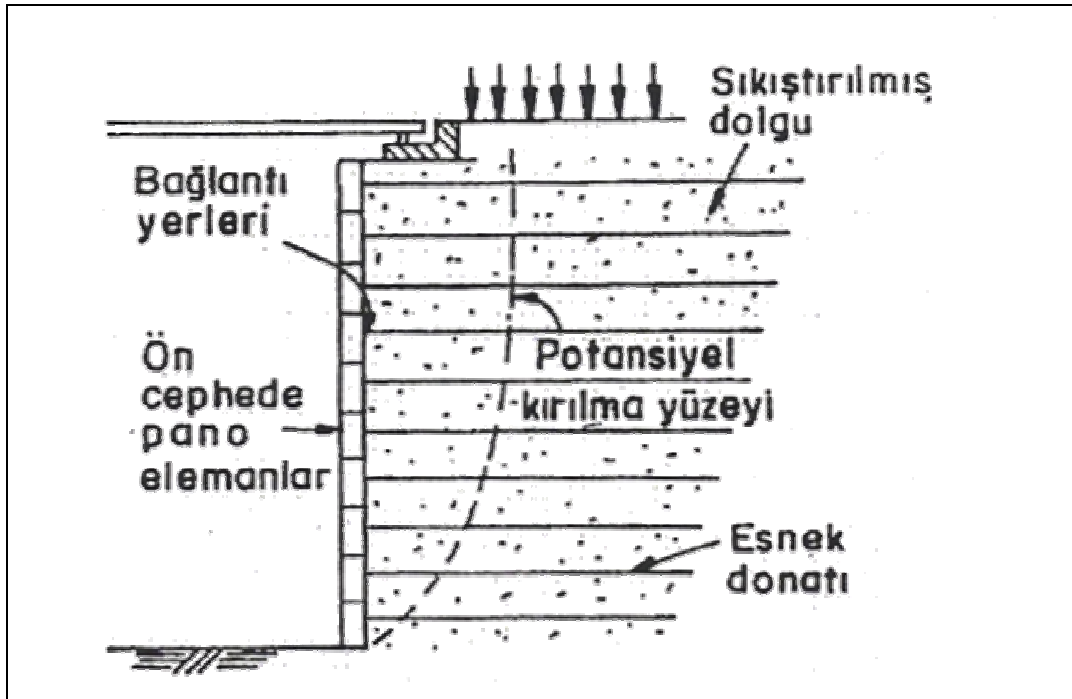
Enjeksiyon işleminden sonra donatı uygulanabildiği gibi önce donatı sonra enjeksiyon yöntemi uygulanabilmektedir.

Bu yöntem için gerekli olan ekipmanların hızlı bir şekilde sağlanması, şantiye ortamına getirilip hızlı bir şekilde kurulması, çevreye en az zarar verecek şekilde uygulanması bu yöntemin en önemli avantajlarıdır.

Uygun şekilde yapılmayan delme işlemleri, yeterli miktarda çivi ankrajı yapılmayan durumlarda, mevcut yeraltı engelleri, gereğinden fazla yapılan kazılar ve kötü enjeksiyon yöntemleri bu metodun performansını düşürmektedir.

7.3.5.4. Donatılı zemin (Toprakarme)

Bu yöntem istinat duvarı yapımında bir devrim niteliğindedir. Bu yöntemle kalıp kullanmadan daha yüksek ve daha hızlı duvarlar inşa etmek mümkündür. Daha önceleri çelik donatılar kullanılırken artık geotekstilden yapılan şerit donatılar kullanılmaktadır. Duvar ve arkasındaki dolgu aynı anda inşa edilebilmektedir. Duvar yapı elemanları olarak değişik geometrilere hazır betonarme yapı elemanları kullanılmaktadır. Bu yapı elemanlarına gelen toprak itkileri donatı elemanları sayesinde arkada oluşturulan dolgu içerisine aktarılmaktadır (Şekil 7.14).



Şekil 7.14. Donatılı zemin duvarı kesiti

7.3.6. Derin karıştırma

Yumuşak ve ince taneli zeminlerde kireç veya çimentonun ortası delik burgular yada kanatlı karıştırıcılar ile zeminle karıştırılıp kolonlar veya duvarlar oluşturulması derin karıştırma yönteminin esasını oluşturmaktadır. Diğer bir uygulama şekli ise kireç kolonlardır.

Kireç kolonlar kireç veya çimento – kirecin aynı anda kullanıldığı bir çeşit derin karıştırma yöntemidir. Bu uygulama yöntemi derin yumuşak kil tabakalarının stabilizasyonunda oldukça iyi sonuç vermektedir. Kireç ile kil mineralleri arasında kil minerallerinin plastisitesinin azalmasına neden olacak puzolan bir reaksiyon gerçekleşir. Kirecin hidrotasyonu ile çıkan ısı, kil minerallerinin su muhtevasını düşürerek konsolidasyonun hızlanmasına ve mukavemet kazanılmasına yol açmaktadır. Kireç kolonlar yük desteğinde ve şevlerin stabilizasyonunda kullanılabilirler.

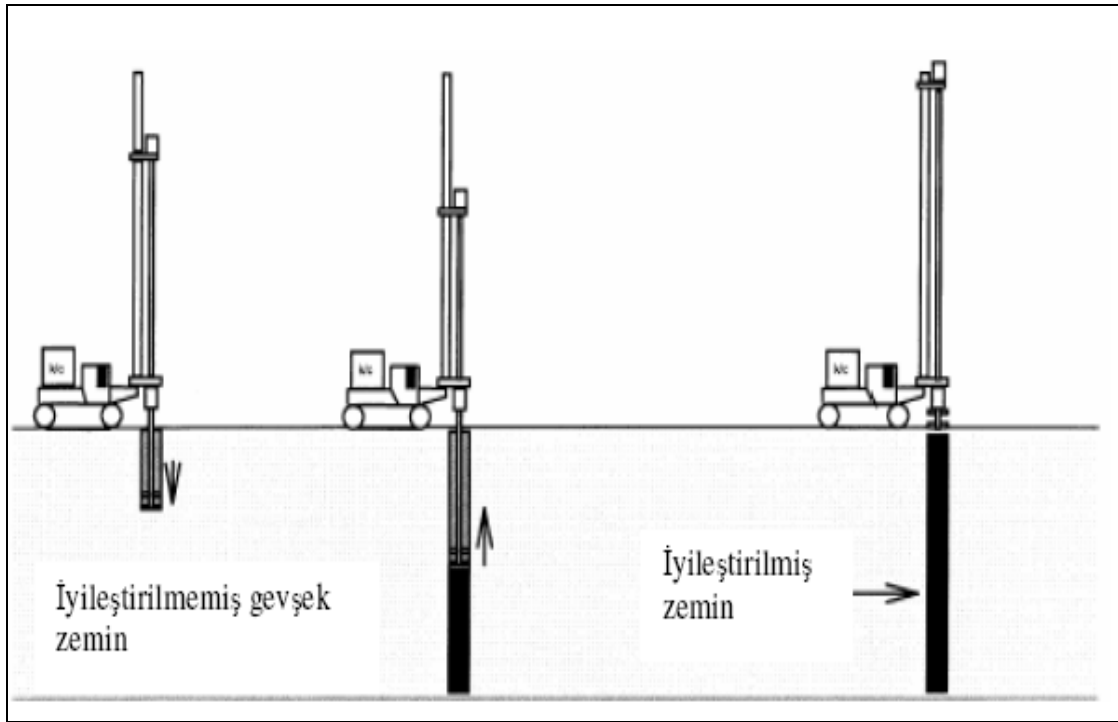
Düşük – orta plastisiteli killi zeminler için uygulanacak kil miktarı zeminin kuru birim hacim ağırlığının %6 – 8 arasındadır. Yüksek plastisiteli zeminlerde ise bu miktar %10 – 12 arasındadır.

Yüksek su muhtevasına sahip zeminlerin iyileştirilmesinde sönmemiş kireç ve alçı kullanılabilirken düşük plastisiteli killerde puzolan reaksiyonunu artırmak için uçucu kil veya fırın cürufu kullanılabilir.

Bu yöntemde kireç sönmüş yada sönmemiş olarak kullanılmaktadır. Uygulamada dikkat edilmesi gereken husus zeminle kireç bantlarının iyi bir şekilde karışmasıdır. Aksi takdirde kireç kolonu deformasyona uğrayabilmektedir.

Diğer bir çeşit derin karıştırma metodu ise çimentonun suyla karıştırılıp çamur haline getirildikten sonra zemine enjekte edilerek karıştırılmasıdır. Zeminle birlikte karıştırılan malzemenin aktif olarak iyileştirmeye katkıda bulunacaksa kolon kesitinde düzgün olarak dağıtılmalıdır (Şekil 7.15).

Derin karıştırma yöntemi İskandinav uygulamasında 0.5 m çap ve 10 – 15 m derinlik şeklinde uygulanırken Japonya da çap 1.80 metrelere kadar büyürken derinlik 60 metreye kadar inmektedir.



Şekil 7.15. Derin karıştırma metodu ile zemin iyileştirilmesi [15]

Yol iyileştirilmelerinde de kireç ve çimento katkısı kullanılabilir. Yol stabilizasyonuna uygun karışım oranı %3 – 8 kireç, %3 – 10 çimentodur.

Bu yöntem için en uygun zemin türleri en fazla % 25 ince kumlu kil ve silt karışımı bulunan zeminlerdir. Sıvılaşma potansiyeli gözlenen zeminlerde uygulanabilir.

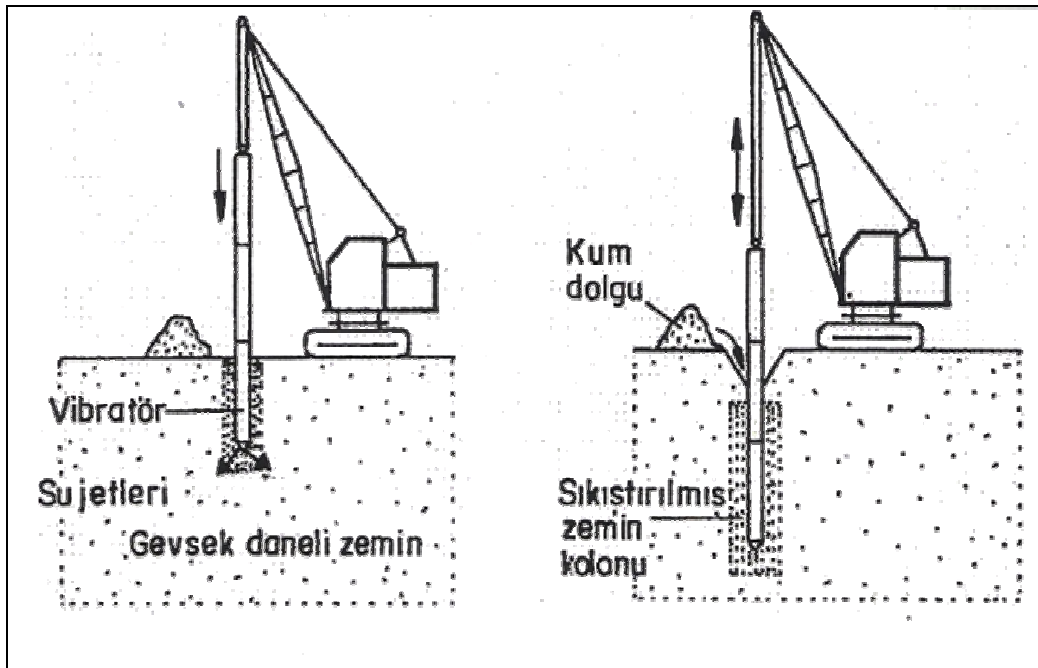
7.3.7. Taş kolonlar

Taş kolonlar vibrokompaksiyona benzer şekilde inşa edilirler. Yurt dışında oldukça fazla uygulama alanı bulan taş kolonlar ülkemizde de özellikle sıvılaşmanın önüne geçmek için uygulanmaktadır.

Taş kolonlar taşıma gücünün yetersiz olduğu durumlarda zeminin taşıma gücünü arttırmak ve zeminde düşey dren vazifesi görmesi için teşkil edilirler. Yumuşak killi zeminler ve gevşek kumlu zeminlerde taş kolon uygulanabilmektedir.

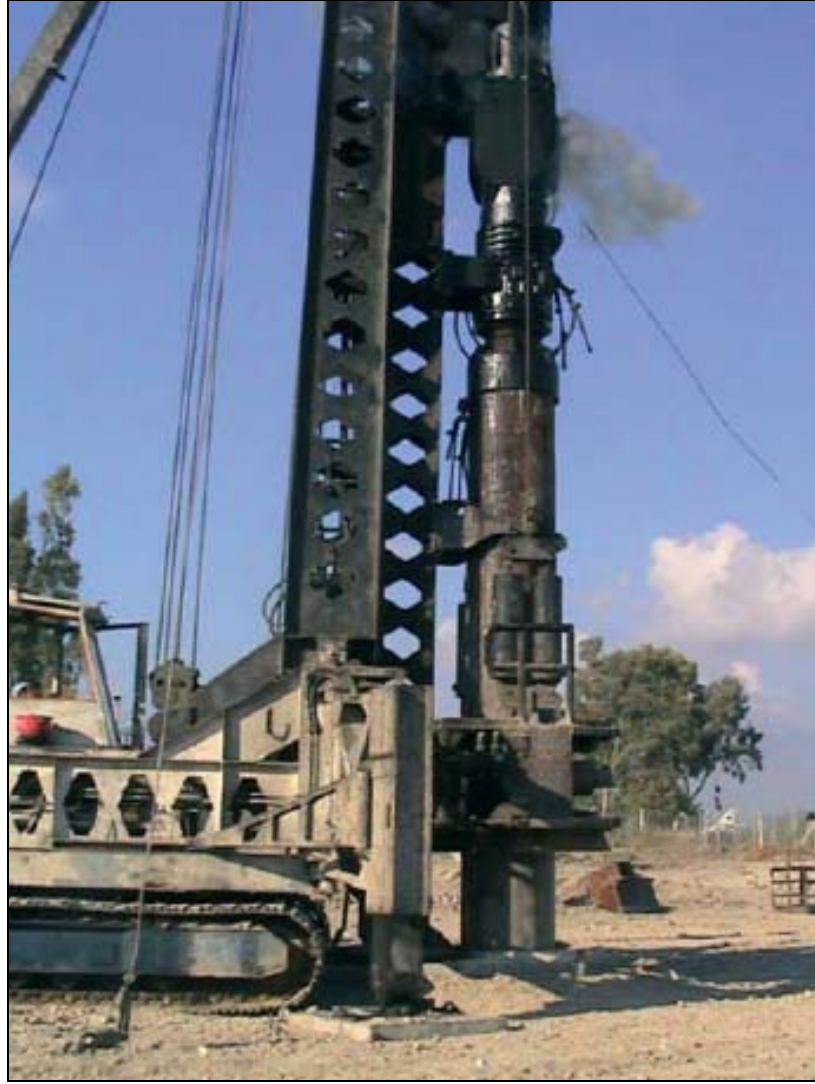
Yumuşak killi zeminlerde yapılan taş kolonlar zemin üzerine gelen yükleri zeminle birlikte ortaklaşa taşırlar. Böyle bir uygulamada taş kolonlar hem taşıma gücüne katkıda bulunurken oturmaların azalmasına ve aynı zamanda düşey dren gibi çalışıp oturma hızlarını arttırmırlar. Kohezyonu az ince taneli zeminlerde dinamik etki ile oluşan boşluk suyu basınçlarının artmasını sınırlamakta ve zemin sıvılaşmasını önleyebilmektedirler.

Taş kolon imalatında vibrokompaksiyon teçhizatı veya konvensiyonel delme yöntemleri ile delerek doldurulup sıkıştırma yöntemi gevşek taneli zeminlerde sıkça uygulanmaktadır (Şekil 7.16).



Şekil 7.16. Gevşek zeminlerde vibrokompaksiyon ile taş kolon yapımı

Taş kolon uygulamasında bir diğer yöntem ise muhafaza borularının uygun bir teçhizatla zemine çakılması ve geri doldurulması yöntemidir (Resim 7.20).



Resim 7.20. Muhafaza borusunun zemine çakılması [34]

Muhafaza borusu zemine çakıldıktan sonra uygun bir ekipmanla daha önceden sahaya getirilmiş çakıl muhafaza borusunun içine dökülür (Resim 7.21).



Resim 7.21. Muhafaza borusu içine çakıl dökülmesi [34]

İçine çakıl dökülen muhafaza borusu vibrasyonla yukarı alınmaktadır (Resim 7.22).



Resim 7.22. Muhafaza borusunun vibrasyonla geri çekilmesi [34]

Problemlili zeminin 10 metreyi aşmadığı koşullarda tercih edilen taş kolonlar, 0.6 – 1.0 m çapında ve 20 metreye kadar inşa edilirler. Taş kolon malzemesi olarak 20 –

75 mm arasında kırma taş parçaları kullanılmakla beraber tabii agrega veya kum – çakıl karışımları da kullanılmaktadır.

Taş kolonların yük taşıma mekanizması şu şekildedir: Zemine gelen yapı yükleri nedeniyle zemin taş kolonlardan daha fazla deforme olacağından negatif sürtünme ile gelen yük taş kolonlara aktarılacaktır. Yatayda zeminle desteklenen taş kolonlar zeminden gelen yüklerle birlikte deformasyon gösterirler ve fazla yükleri tekrardan zemine aktarırlar. Zemin oturdukça taş kolonlar tekrar yük alırlar ve bu şekilde taş kolonlar gelen yükleri zeminle birlikte taşırlar.

Taş kolonların taşıma kapasiteleri uygulandığı zeminlere göre değişmektedir. Bir çok araştırmacı ve uygulamacı tarafından irdelenmiştir. Kolon taşıma kapasiteleri genellikle 200 – 350 kN arasında değişmektedir.

Taş kolonlar kare veya üçgen şeklinde teşkil edilebildiği gibi sömel yada taşıyıcı duvarları desteklemek için küme küme veya bir dizi şeklinde de inşa edilebilirler. Taş kolon uygulamasıyla zeminin taşıma gücü 3 kat artırılmakta ve oturmalar %50 oranında azaltılmaktadır. Taş kolon uygulaması ile güçlendirilen zeminlerde yüzeysel temeller uygulanarak ekonomik çözümler üretilebilmektedir.

7.3.8. Enjeksiyon yöntemi

Enjeksiyon yöntemi akışkan malzemenin basınç altında zemin içerisindeki boşluklara enjekte edilmesidir. Amaç temel zeminin yada ana kayanın kayma mukavemetini artırmak ve geçirgenliği azaltmaktır.

Enjeksiyon teknolojisinin kökeni eskiye dayanmakla beraber günümüzde gelişen enjeksiyon malzemeleri ve bu enjeksiyon malzemelerinin zemine enjekte edilme yöntemleri sürekli gelişim içerisinde. Enjeksiyon tekniği başlangıçta su sızıntılarını önlemek ve dayanım kontrolü için maden endüstrisinde ve baraj temellerinde de sızdırmazlık perdesi oluşturulmasında uygulanmaya başlanmış daha sonra inşaat mühendisliğinde tünel kazımı esnasında gevşek zeminlerin ve parçalı kayaların stabilizasyonunda sondaj ve numune alma esnasında su problemlerinin çözümünde zemin içerisinde boşlukların doldurularak aşırı oturmaların engellenmesinde hem mevcut hem de yeni yapıların zemin emniyet gerilmelerinin

arttırılmasında ve özellikle de son 10 – 15 yıllık bir süreç içerisinde tünel kazımı dolayısıyla yüzeydeki veya yakın çevredeki yapılarda meydana gelebilecek zararlı oturmaların engellenmesinde ve deprem esnasında sıvılaşabilecek gevşek suya doygun granüler zeminlerin sıvılaşma potansiyellerinin azaltılmasında, yapı temeline alttan destekleme işlerinde, şev stabilizasyonunda, yer altı su akımını kontrol altına almada kullanılmıştır.

Burada dikkatle üzerinde durulması gereken nokta bütün bu uygulamalar için aynı enjeksiyon malzemesinin ve enjeksiyon parametrelerinin kullanılmayacağıdır. Enjeksiyon karışımının cinsi doğrudan iyileştirilecek zeminin dane çapı ile ilgilidir. Çimento, kireç ve bentonit gibi daneli karışımlar çakıl dane boyutundan orta kum boyutuna kadar olan zeminlerde kullanılabilir. İnce kum ve siltlerin enjeksiyonunda kimyasal kil ve siltler kullanılmalıdır. Kil zeminlerin enjeksiyonla iyileştirilmesi mümkün değildir. Sadece, kil içerisinde belli başlı fisürler ve kuruma çatlakları doldurulabilir.

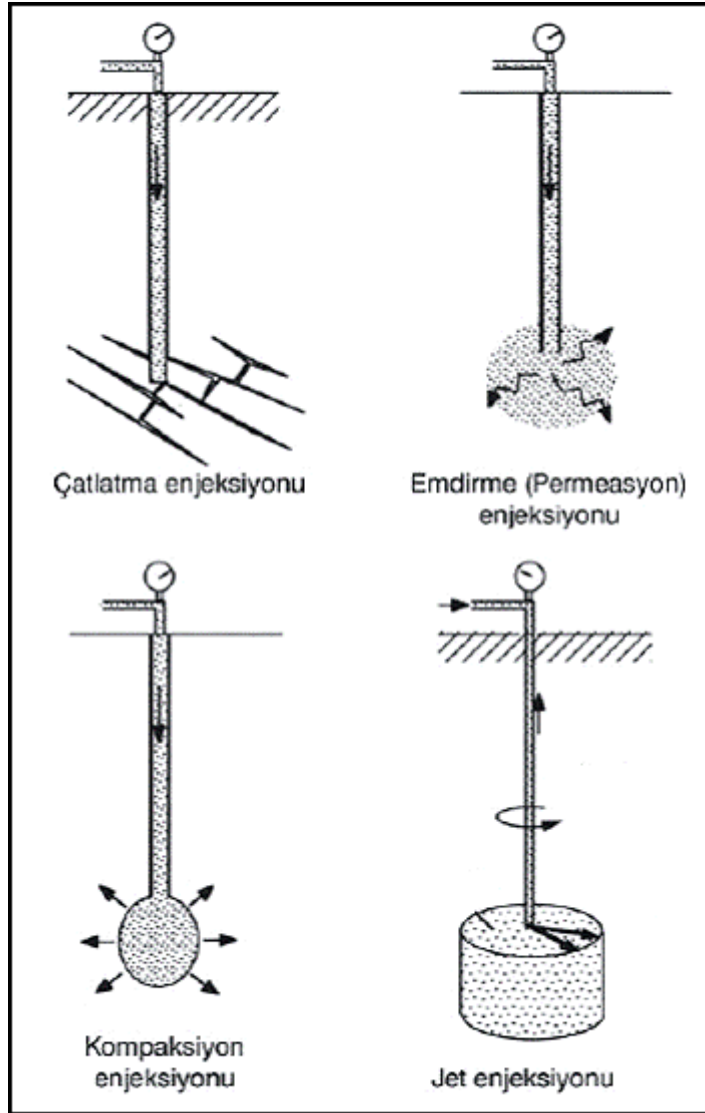
Enjeksiyon malzemesi ve enjeksiyon parametreleri zemin koşullarına ve uygulama amacına yönelik olarak tasarlanmalıdır. Daneli karışımların kullanılmadığı durumlarda kimyasal eriyikler kullanılır. Bugün en çok kullanılan kimyasal maddeler silikatlar, krom – lignin, reçine agrilamit ve poliüretandır. İyileştirilecek ortamda % 20’den fazla silt ve kil boyutunda danelerin olması halinde enjeksiyon işleminde mutlaka kimyasal maddeler kullanılmalıdır. Zemini kirletmedikleri ve daha ucuz olmaları nedeniyle uygulamada çoğunlukla ($\text{Na}_2\text{SiO}_3 + \text{CaCl}_2$) veya ($\text{Na}_2\text{SiO}_3 + \text{NaCO}_3\text{NaHCO}_3$) gibi bileşikler kullanılmaktadır.

Enjeksiyonun en çok uygulandığı alan baraj temelleridir. Alüvyonlu zeminler ve gözenekli kayalarda baraj güvenliğinin korunması için enjeksiyon programının uygulanması zorunlu olur.

Enjeksiyon basınçlarının hangi düzeyde tutulacağı günümüzde bile tartışma konusudur. Ancak enjeksiyon sıvısının iyileştirme bölgesine girişini sağlamak için minimum basıncın katman yükü eşdeğerinden yüksek olması esas kural olarak kabul edilir. Enjeksiyon debisi sabit tutulursa basınç ortamının geçirimsizliği, sıvının viskozitesi ve sistemdeki yük kayıplarının fonksiyonu olur. Değişmez debi ideal

çalışma şartları açısından istenirse de bazen yüzeydeki kabarma ve çatlamlar; ortamın bu hıza uygun olmadığını göstergesi sayılarak basınç düşürülür. Genel kural olarak açık enjeksiyonda her metre delik için $0,2 \text{ kg / cm}^2$ basınç uygulanır.

Enjeksiyon teknikleri; enjeksiyon malzemesinin zemin içerisine yerleştirilme şekline göre değişmektedir. Zemin içerisine yerleştirilmelerine göre enjeksiyon teknikleri Şekil 7.17'de gösterilmiştir.



Şekil 7.17. Enjeksiyon Teknikleri

7.3.8.1. Permeasyon (Sızdırma – Emdirme) Enjeksiyonu

Bu enjeksiyon tekniğinde düşük viskoziteli enjeksiyon malzemesi, zemin içerisindeki boşluklara, düşük basınçlarda nüfuz etmekte dolayısıyla zeminin hacmi ve yapısında bir değişiklik meydana getirmeden zemin içerisindeki boşlukların enjeksiyon malzemesiyle doldurulmaktadır. Enjeksiyon malzemesi başlangıçta akışkan iken zemin boşlukları içerisinde zamanla sertleşmekte ve dolayısıyla zeminin mekanik ve hidrojeolojik özelliklerini değiştirmektedir. Hedeflenen amaç zeminin daneleri arasındaki boşlukları doldurarak zeminin dayanımını arttırmak ise enjeksiyon malzemesi zeminin dane çapı göz önünde bulundurularak seçilmelidir. Zemin tanecikleri enjeksiyon malzemesi ile sarılmalı ve bu sayede birbirlerine bağlanmalıdır. Enjekte edilmemiş bölgesel zemin taneciklerinin kalması her ne kadar önemli olmasa da eğer tabaka halinde enjekte edilmeden kalırsa bu durumda istenilen dayanım elde edilemeyebilir. Dolayısıyla su akımını kesmek ve zemin dayanımını arttırmak için gerçekleştirilecek enjeksiyon işlerinde enjeksiyon malzemesinin zemin içerisine homojen dağılımı sağlanmalı ve hangi şekilde verimli olacağı tespit edilmelidir.

Enjeksiyon malzemesinin boşluklu bir zemine emdirme yoluyla girişini kontrol eden doğal fiziksel engelleri belirlenmiştir. Bu faktörler; enjeksiyon malzemesinde zemin içerisindeki boşluklara giremeyecek kadar büyük olan taneciklerin filtrasyona uğraması, enjeksiyon malzemesi zemin boşlukları içerisinde ilerlerken zeminle olan etkileşimden kaynaklanan iç kayma direnci, akışkan enjeksiyon malzemesinin zemin içerisindeki boşluklara akış hızını engelleyen viskozitesi olarak tanımlanmıştır.

Emdirme enjeksiyonunda hem süspansiyon türünde olan çimento şerbeti hem de kollaid yapıdaki saf kimyasal çözeltiler kullanılabilir. Fakat zeminin geçirimsizliği azaldıkça hem teknik hem de ekonomik zorluklar artmaktadır.

Zemin geçirimsizlik katsayısı, k , açısından baktığımızda silikat karışımlar için permeasyon limiti 10^{-3} cm / s, en pahalı reçine malzemeler için ise 10^{-4} cm / s civarındadır [15].

Enjeksiyon malzeme türleri; geçirimsizlik katsayısı, zemin cinsi göz önüne alınarak permeasyon enjeksiyonu için enjeksiyon malzemeleri Tablo 7.6’de sınıflandırılmıştır.

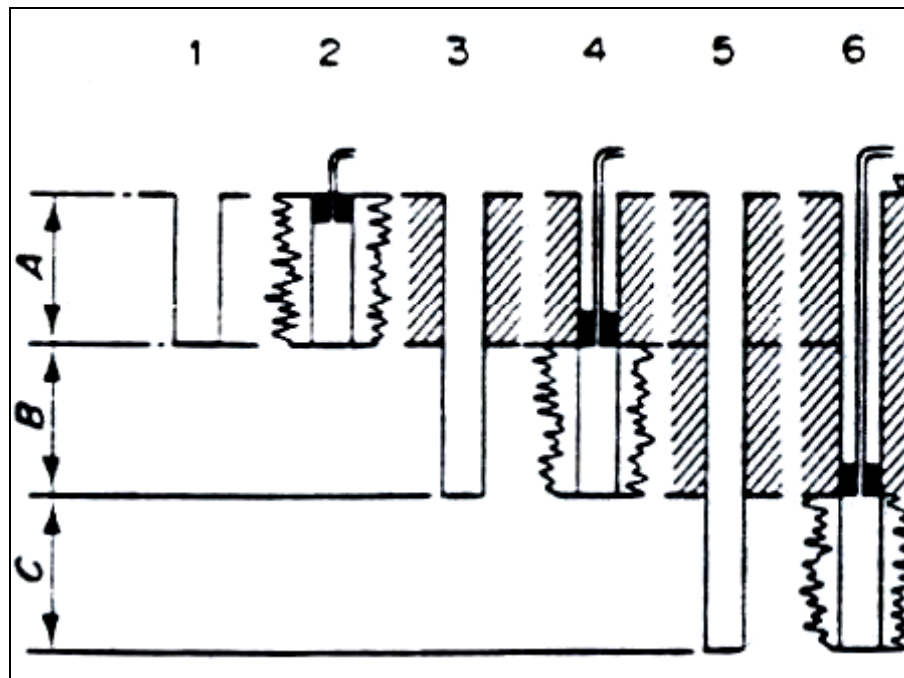
Tablo 7.6. Enjeksiyon malzemelerinin sınıflandırılması [21]

Reolojik Kategori	Partiküller Süspansiyonlar (Bingham Akışkanları)		Çözeltiler (Newton Akışkanları)			Gaz Emülsiyonları	
	Kararsız	Kararlı	Koloit Çözeltiler (Vizkozite zamanla artmakta)	Saf Çözeltiler (Vizkozite zamanla değişmemekte)			
Enjeksiyon Malzemelerinin Ana Türleri	Sadece çimento	Bentonit veya kil ile birlikte çimento	Topaklaşmamış bentonit	Kimyasal Enjeksiyon Malzemeleri			Şişebilen Enjeksiyon Malzemeleri
				Yüksek dayanımlı	Orta-Düşük dayanımlı	Organik Reçineler bazlı	
Uygulama Alanları	Çatlaklı kaya ve duvar	Mikro fisürlü ve geçirimli kaya			Büyük boşluklar veya oyuklar	Boşluklar ve hızlı akan sızıntı suları	
		GRANÜLER ZEMİNLER					
		Çakıl	Kaba Kumlar	Orta-İnce Kum	İnce Siltli Kumlar (Kumlu Siltler)		
Geçirimsizlik Katsayısı, k (m/s)		$>5.10^{-4}$	$>5.10^{-5}$	$>5.10^{-5}$	$>1.10^{-5}$	$>1.10^{-5}$	
Özgül Yüzey, S_s , (m ² /N)		<0.5	<1.5	<1.5	<4	<10	
Temel Enjeksiyon Tekniği	Yüksek Basınç	Kontrollü hacim ve basınç				Düşük basınç (Boşlukların doldurulması)	

Yeni gelişen teknolojiyle; normal portland çimentoları ile permeasyonu mümkün olmayan ince taneli zeminler iyileştirilebilmekte ve hem çevresel koruma hem de ekonomik açıdan olumlu sonuçlar elde edilebilmektedir.

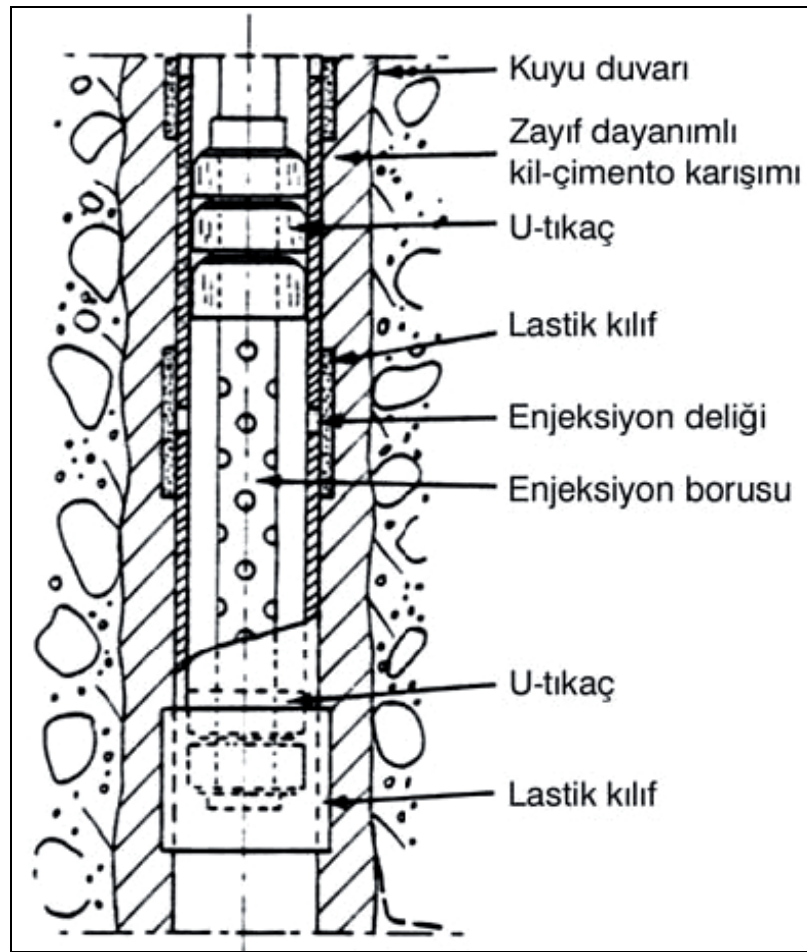
Fakat; yine de uygulamada ince dane oranı % 10'dan az olan zeminlerde permeasyon enjeksiyonu güvenle uygulanabilmektedir.

Yüzeysel derinliklerde enjeksiyon işlemi tek aşamada yapılabilir. Bu durumda enjeksiyon kuyusu tasarım derinliğine kadar açılır ve enjeksiyon borusu yardımıyla yukarıya doğru enjeksiyon işlemi gerçekleştirilir. Alternatif olarak kuyu açılırken de enjeksiyon işlemi yapılabilir. Kuyu belli bir derinlikte açıldıktan sonra enjeksiyon borusu indirilir ve açılan derinlik boyunca enjeksiyon işlemi gerçekleştirilir. Bu durum tasarım derinliğine kadar tekrar ettirilir. Kademeli enjeksiyon işlemi ise rölatif olarak yüksek enjeksiyon basınçlarının gerektiği daha derin zeminlerde ve daha efektif bir permeasyon için uygulanır. Burada enjeksiyon kuyusu belli bir derinliğe kadar açılır ve enjeksiyon yapılır. Enjeksiyon malzemesi sertleştikten sonra kuyu biraz daha derinleştirilir ve tekrar enjeksiyon yapılır (Şekil 7.18). Kademeli enjeksiyon derinliğin artması, enjeksiyon basıncının artırılmasını sağlar ve yüzeydeki sızıntıdan meydana gelebilecek enjeksiyon malzemesi kaybını engeller.



Şekil 7.18. Kademeli enjeksiyon yöntemi [8]

Herhangi bir zemin enjeksiyonu uygulamasında ve özellikle tüneller için enjeksiyon işleminin enjekte edilen malzeme hacmi cinsinden zamana bağlı kontrolü büyük önem taşımaktadır. Bu amaçla her ne kadar uzun zaman önce kullanılmaya başlansa da Tube a' Manchette tipi enjeksiyon borusu hala en uygun sistem olarak görülmektedir. Tube a' Manchette, üzerinde yaklaşık 8 mm çaplı küçük deliklerin bulunduğu bölmelerden oluşan ve çapı 37.5 ve 62.5 mm arasında değişen çelik bir borudur. Delikli bölmeler yaklaşık 30 cm aralıklı olup tek yönlü vana gibi çalışan lastik kılıflarla kapatılmışlardır (Şekil 7.19) [15].



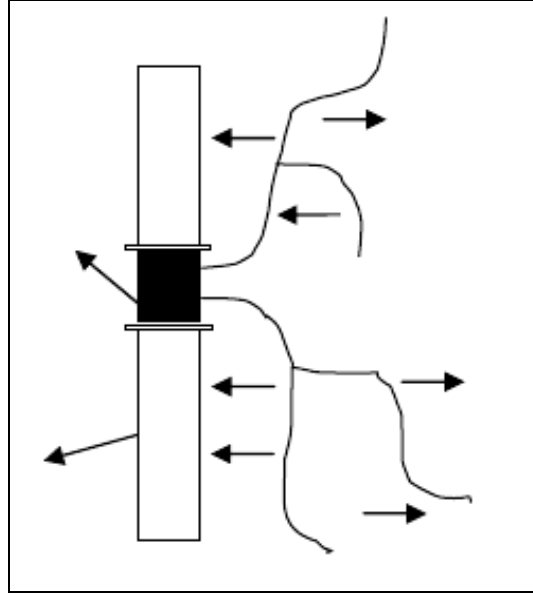
Şekil 7.19. Tube a' Manchette sisteminin detayı [8]

Muhafaza borusu yardımıyla enjeksiyon kuyusu istenilen tasarım derinliğine kadar açıldıktan sonra tube a' manchette kuyu içerisine indirilir. Daha sonra muhafaza borusu yukarı çekilir ve tube a' manchette ile kuyu duvarı arasındaki boşluk zayıf dayanımlı bir enjeksiyon malzemesi olan kil-çimento veya bentonit karışımıyla doldurulur. Asıl enjeksiyon işlemi ise tube a' manchette içerisine uç kısmı delikli ve

U-tıkaçlarla kapalı olan küçük çaplı bir enjeksiyon borusu indirilerek gerçekleştirilir. Tıkaçlar tube a' manchette üzerindeki delikli bölmelerden herhangi biri üzerine merkezlenebilir. Enjeksiyon işleminin başlamasıyla beraber lastik kılıf ve tube a' manchette ile kuyu duvarı arasındaki zayıf enjeksiyon malzemesi yırtılana kadar enjeksiyon basıncı artacaktır. Lastik kılıfların tek yönlü çalışması enjeksiyon malzemesinin tube a' manchette içerisine geri girmesini engelleyecek, tube a' manchette ile kuyu duvarı arasındaki zayıf enjeksiyon malzemesi de meydana gelebilecek sızıntıları önleyecektir. Tube a' manchette kullanımı, aynı enjeksiyon deliğinden birden fazla enjeksiyonun değişik enjeksiyon malzemeleriyle yapılabilmesini sağlamaktadır. Fakat yoğun şehir merkezlerinde veya çalışma alanı yetersizliğinde tube a' manchette sisteminin yer yüzeyinden, kuyulardan veya tünel yüzeylerinden kurulması uygun olmayabilir. Bu durumlarda tube a' manchette sisteminin yeni geliştirilen yatay yönlü foraj (horizontal directional drilling) sistemi ile yerleştirilmesi söz konusudur [15].

7.3.8.1. Çatlatma enjeksiyonu

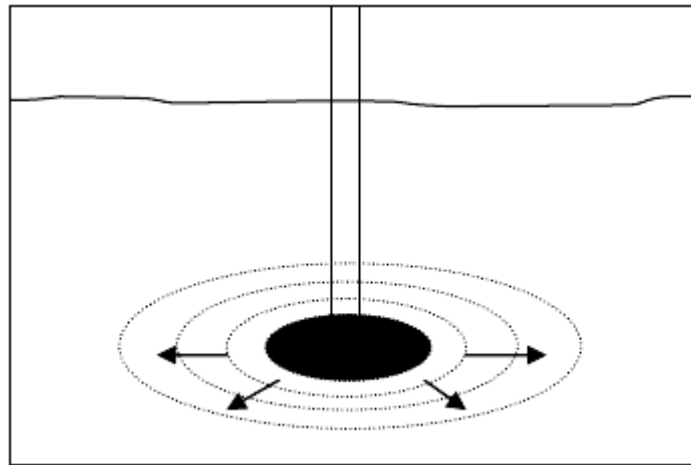
Çatlatma enjeksiyonu Avrupa'da ortaya çıkmakla beraber diğer enjeksiyon tekniklerine göre daha yenidir. Burada zeminin kontrollü bir şekilde, kararlı fakat düşük vizkoziteli çimento enjeksiyonu ile yüksek basınçlarda (4 MPa) çatlatılması söz konusudur. Bu enjeksiyon tekniği temel olarak permeasyon enjeksiyonunun mümkün olmadığı düşük geçirimsizliğe sahip, ince daneli zeminlerin stabilizasyonunda uygulanmaktadır. Çatlatma enjeksiyonunun gelişimi tünel veya kazı aktiviteleri esnasında meydana gelen oturmaları önleme (kompense etme) çalışmalarına dayanmaktadır. Çatlatma enjeksiyonu sonucunda zemin içerisinde ağaç dallarına benzer bir şekilde sertleşmiş çimento kanalları oluşmakta ve bu sayede zemin kontrollü bir şekilde ve bölgesel olarak sıkıştırılmaktadır (Şekil 7.20). Çimento şerbeti başlangıçta yüksek basınçlarda enjekte edilmekte ve zeminin çatlamasıyla beraber oluşan çatlaklar çimento ile doldurulmaktadır. Oluşan çatlakların boyu, genişliği ve hacmi enjeksiyon basıncına ve mevcut geostatik gerilmelere bağlıdır [15].



Şekil 7.20. Düşey yönde çatlakların oluşumu ve yatay sıkıştırma [15]

7.3.8.3. Kompaksiyon enjeksiyonu

1980 yılında toplanan ASCE Enjeksiyon Komitesi, kompaksiyon enjeksiyonunu 25 mm'den daha az çökme değeri olan, yeterli plastisiteyi sağlayacak kadar silt ve içsel sürtünmeyi sağlayacak kadar da kum içeren katı enjeksiyon malzemesinin, zemin boşlukları içerisine girmeksizin enjeksiyon noktası etrafında giderek genişleyen bir kütle oluşturacak ve bu sayede etrafındaki gevşek zeminleri sıkıştırarak şekilde yüksek basınçlarda enjekte edilmesi olarak tanımlamıştır (Şekil 7.21) [15].



Şekil 7.21. Kompaksiyon enjeksiyonunun şematik gösterimi [20]

Zemin hem enjekte edilen malzemenin etrafında hacim değişikliğine uğrayıp sıkışacak hem de enjeksiyon malzemesinin (genellikle beton) desteğini alacaktır. Plastiklik ve enjeksiyonlanabilme özelliklerinin artırımı için katkı malzemeleri kullanılabilir.

Enjeksiyon malzemesi içinde kullanılan agreganın % 100' ü, (nolu elekten geçen bir kum olmalıdır. 200 nolu elekten geçen malzeme %10 – 30 arasında değişmektedir.

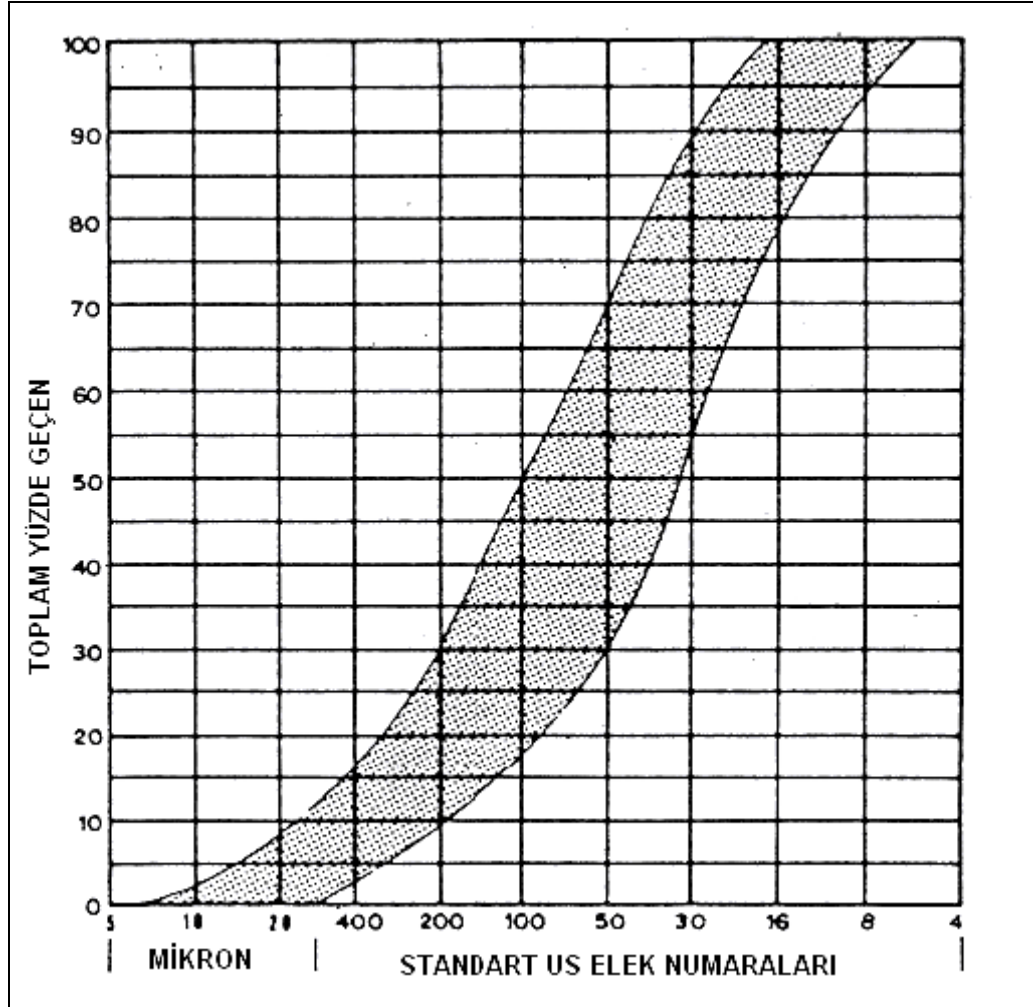
Enjeksiyon yukarıdan aşağıya veya aşağıdan yukarı olmak üzere iki şekilde yapılabilmektedir. 1-2.5 m aralıklarla ilerlenebilir. Basınçlar 4500 kPa' yı geçebilmektedir. (genellikle 1000 – 3000 kPa). Pompalama hızı, uygulanacak basınç zemin tipine, sıkıştırma derecesine, su muhtevasına, enjeksiyon derinliğine, zemin veya kayadan kaynaklanan çevre basınçlarına bağlıdır.

50 yıl kadar önce ABD'de uygulanmaya başlayan yöntem, çoğunlukla zayıf veya yumuşak zeminlerin sıkıştırılmasında, temel ve döşemelerin alttan desteklenmesinde, yapı oturmalarının kontrol edilmesinde, farklı oturmalar gösteren yapı temellerinin rehabilitasyonunda ve tekrar eski seviyelerine yükseltilmesinde kullanılmıştır [15].

Kompaksiyon enjeksiyonu ile permeasyon enjeksiyonu arasında hem enjeksiyon parametreleri hem de uygulanabilecek zeminler arasında büyük farklar vardır. Kompaksiyon enjeksiyonunda çok katı bir enjeksiyon malzemesi ve çok yüksek basınçlar gerekmektedir. Dolayısıyla zeminin orijinal yapısı bozulmakta ve bu sayede radyal olarak sıkıştırılabilmektedir. Ayrıca kompaksiyon enjeksiyonu tüm zeminlere uygulanabilirken permeasyon enjeksiyonunun uygulanabilirliği, burada zemin içerisindeki boşluklara nüfuz etme söz konusu olduğundan, hem zeminin dane çapı dağılımı hem de enjeksiyon malzemesinin dane çapı dağılımı tarafından belirlenmektedir [15].

Literatür çalışmaları göz önüne alındığında kompaksiyon enjeksiyonunun başarılı sonuçlar vermesi enjeksiyon malzemesinin katı ve yüksek vizkozitede olmasına bağlıdır. Bu yüzden karışımlar da plastisiteyi gereğinden fazla artıracak silt ve

gereğinden fazla mobilite sağlayacak bentonitin kullanılmaması öngörülmektedir. Karışımda kullanılacak kum için de tercih edilen dane çapı dağılım aralığı Şekil 7.22' de gösterilmiştir [15].



Şekil 7.22. Kompaksiyon enjeksiyonu karışımındaki kum için öngörülen dane çapı dağılım aralığı [59]

Kompaksiyon enjeksiyonu son 10 yıllık süreç içerisinde sıvılaşmayı önleyici bir teknik olarak da kullanılmaktadır. Sıvılaşma potansiyeli olan siltli kumlarda ve siltli zeminlerde SPT ve CPT direnç değerlerini önemli ölçüde arttırmaktadır [11].

Bu tekniğin çok yumuşak killerde uygulanması extra boşluk suyu basınçlarının oluşmasına neden olacağı da unutulmamalıdır.

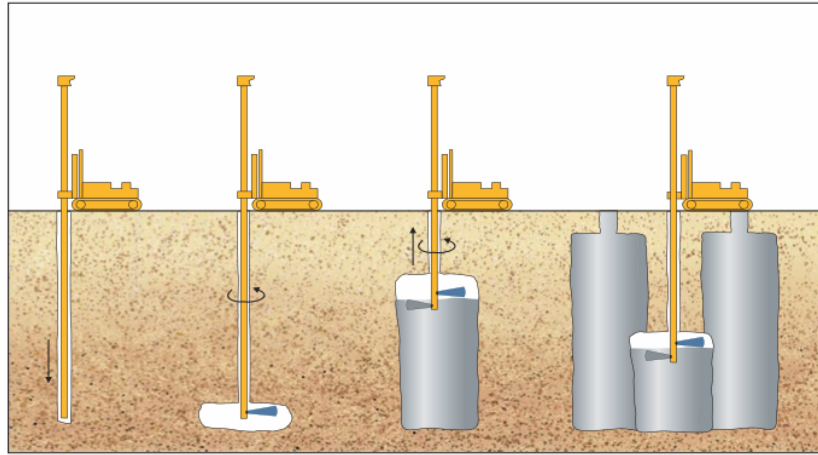
7.3.8.4. Jet enjeksiyonu (Jet – grout)

Jet enjeksiyon yönteminde yüksek basınç altında (700 kg/cm ye kadar) çok küçük deliklerden enjeksiyon malzemesi zemin bıçak gibi keserek zemin içinde silindirik kolonlar oluşturmaktır (Şekil 7.23).



Şekil 7.23. Jet enjeksiyonu ile zemin iyileştirmesi

Bu enjeksiyon türünde tasarım derinliğine kadar su kullanılarak delgi yapılmakta ve delgi için kullanılan tijlerin ucundaki nozullardan yüksek basınçlarda çimento şerbeti zemine uygulanmaktadır. Bu esnada tijler belirli bir hızda döndürülmekte ve yine belirli bir hızda yukarı çekilmektedir. (Şekil 7.24). Böylece belirli bir çapta ve boyda zemin içinde silindirik kolonlar oluşturulmaktadır.

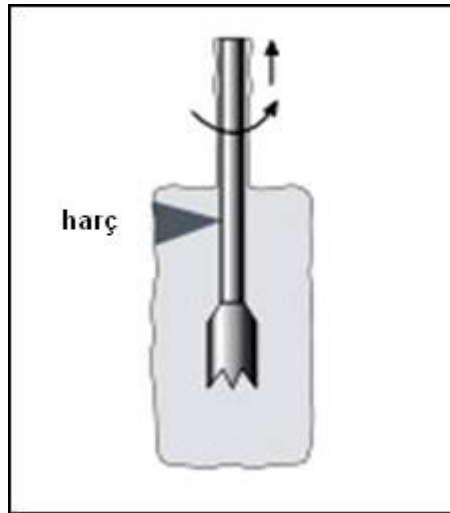


Şekil 7.24. Jet enjeksiyonu şematik gösterimi

Jet enjeksiyonu yönteminde oluşturulan kolonların çapını artırabilmek için hava ve su jetleri de kullanılabilir. Bu yüzden uygulamada kullanılan yöntemlere göre jet enjeksiyon farklılıkları göstermektedir.

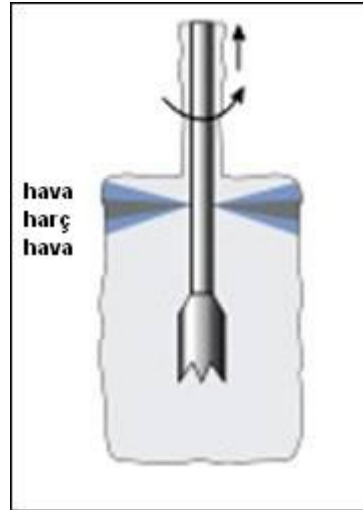
Su ve hava karışımları yüksek basınçlarda özellikle sert zeminleri yumuşatmaya ve kazmaya yarar. Enjeksiyon basınçları ise aynı sistemin içinde daha düşük tutulmaktadır.

Jet 1; En basit ve en yaygın kullanılan yöntemdir. İlk olarak 70'li yılların başında Japonya'da uygulanmıştır. Delme – enjeksiyon takımı çeperli tek bir borudan ibaret olup enjeksiyon bu borudan 300 – 600 kg/cm basınçla yapılır. Bu yöntemle oluşan kolonlar kili zeminlerde 60 – 80 cm, kumlu - çakıllı zeminlerde 10 cm kadardır (Şekil 7.25).



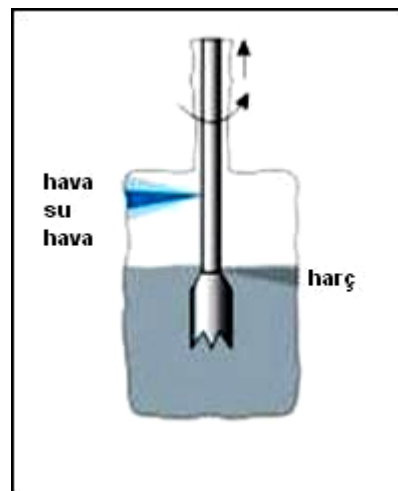
Şekil 7.25. Jet 1 yöntemi ile jet enjeksiyonu

Jet 2; Çift çeperli bir boru takımının delici olarak kullanıldığı bir yöntemdir. Enjeksiyon orta borudan basınçlı hava (8 – 12 bar) dış borudan geçer. Jet 1'e kıyasla oluşan kolon çapları % 60 – 80 daha büyük olur (Şekil 7.26).



Şekil 7.26. Jet 2 yöntemi ile jet enjeksiyonu

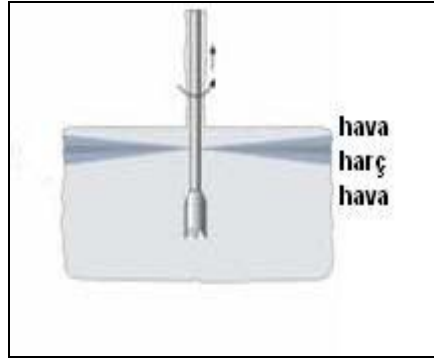
Jet 3; İç içe 3 borulu teçhizat kullanılan bu metotta, 400 – 600 bar basınçlı su ortadaki borudan, 8 – 12 bar basınçlı hava ara borudan, 30 – 80 bar basınçlı enjeksiyon ise en dış borudan su – hava karışımı içine enjekte edilir. Bu metotla kolon çapları 2 m' nin üstüne kadar çıkmaktadır (Şekil 7.27).



Şekil 7.27. Jet 3 yöntemi ile jet enjeksiyonu

Süper jet; uygulamanın maliyeti, jet enjeksiyonunun devam eden gelişimini kısmen düşürmüştür. Çok yüksek çapta kolonlar oluşturabilme metodu geliştirilmiş ve bu sayede enjeksiyon noktalarının sayısı azaltılarak maliyet düşürülmüştür. Bu teknoloji Süper Jet Enjeksiyonu olarak isimlendirilmektedir. Enjeksiyon malzemesi, hava ve delici akışkan yüksek basınçla zemine pompalanır. Zeminde dizayn derinliğine erişildiğinde yüksek yoğunluklu enjeksiyon malzemesi hava ile birlikte delici

akışkan pompalanırken zemini karıştırır. Çok düşük devirle dönen silindirik kafa 3-5 m çapında kolonların oluşmasını sağlar. Kütle stabilizasyonu uygulamalarında çok uygun bir sistemdir (Şekil 7.28).



Şekil 7.28. Süper jet ile jet enjeksiyonu

Süper jet uygulaması ile Amerika ve Japonya’da çok büyük çapta (5 m’ye kadar) kolonlar oluşturulabilmiştir (Resim 7.23).



Resim 7.23. Süper Jet Uygulaması İle Büyük Çaplı Kolonların Oluşturulması [15]

Standart su / çimento oranı 1, özgül ağırlık ise $1410 - 1570 \text{ kg / m}^3$ arasında olabilmektedir. PÇ 32,5, PÇ 40, PÇ 50, Traslı çimento, uçucu küllü çimento, Cüruf çimento, beyaz portland çimento kullanılabildiği gibi bentonit de katkı malzemesi

olarak kullanılabilir. Kimyasal analizi yapılmış temiz su kullanılmalıdır. Bu miktarlar seçilen metot; uygulanan yöntem ve kolonların son mukavemetlerine göre değişebilmektedir. Geçirimsiz jet kolonlar oluşturulmasında su / çimento oranının 0,7'nin altına inmesi uygun görülmez. Yüksek debide zemin suyu bulunan durumlarda % 1 – 3 oranında sodyum silikat ilave edilebilir.

Enjeksiyon basınçları 200 – 250 bar (düşük), 300 – 400 bar (orta), 400 - 700 bar (yüksek) şeklinde uygulanabilmektedir. Yapılacak olan jet kolonunun çapının oluşmasında basınç en önemli parametredir. Basınç arttığında kolon çapı da artmaktadır. Jet enjeksiyonu sırasında dönüş hızları ise 10 – 20 devir / dk değerleri arasında değişirken; bazı durumlarda 30 devir / dk'ya çıkabilmektedir.

Çekme işlemi şantiye tecrübelerine dayanılarak; her kademede 4 cm geri çekmek ve her kademede 6 – 10 sn beklemektir. Kil özelliği gösteren zeminlerden çakıllı zeminlere kadar jet enjeksiyon yöntemi başarıyla uygulanabilmektedir.

Killi zeminlerde düzgün bir kolon elde edilmesi için küçük çaplı nozzle kullanılmalıdır. Genellikle kullanılan nozzle adeti 2 olup, çapları ise 1,6 – 2,0 mm'dir. Uygulanan basınç 500 – 600 bar değerlerinde, enjeksiyon debisi ise zemin kırılmalarını engellemek amacıyla düşük tutulmalıdır. Eğer zemin konsolide kil ise karışım oluşturulması için 250 – 300 bar su enjeksiyonu ve her kademede bekleme süresi uzun tutulmalıdır.

Çakıllı ve genellikle granüler zeminlerde işletme parametreleri killi zeminlere göre farklıdır. Enjeksiyon basıncı genellikle 400 – 500 bar arasında nozzle çapları ise 2,5 - 3 mm arasındadır.

Jet enjeksiyon yöntemi, mevcut yapıların alttan desteklenmesi, tünellerin, açık kazılar, kanallar ve barajların geçirimsizliğini sağlamak üzere duvarlar yapılması, kazı ve shaftlarda destek sağlanması, yeni yapılar, dolgular ve istinat yapıları için temel zemin ıslahı ve heyelanların stabilizasyonunda kullanılmaktadır.

Ülkemizde de yaygın olarak kullanılan jet enjeksiyon yönteminin faydaları şu şekilde sıralanabilir:

- Geniş çaplı kolonlar (50 - 500 cm) küçük delme deliğinden (9 cm) başlanarak oluşturulabilir.
- Enjeksiyon malzemeleri çok basit “akışkan”dır. Minimum bir maliyet yüksek kullanım hacmine sahiptir.
- Bu metot uygulanırken titreşim ve gürültü oluşmaz.
- Jet kolonlar yan yana kesiştirildiklerinde sızdırmazlık perdeleri oluşturulabilmektedir.
- Fakat bu metodun gelişme safhasında olduğu için hala mevcut bir standardı yoktur.

7.3.9. Zemin Cinsine Göre İyileştirme Metotlarının Uygulanabilirliği

Yapılacak mühendislik yapısının türüne ve zemin cinsine göre iyileştirme metotları farklılıklar göstermektedir. Problemlili zeminlerde istenilen özelliklere ulaşılabilmesi için ve iyileştirme metotlarının istenilen verimi verebilmesi için yapılacak ön çalışma ve deney teknikleri önem kazanmaktadır. Zemin cinsine göre tavsiye edilen iyileştirme metotları Tablo 7.7’ de gösterilmektedir.

Tablo 7.7. Zemin cinsine göre iyileştirme yöntemi [23]

Zemin Cinsi	İyileştirme Metotları
Çeşitli dolgular	
Sığ	Kazı / Geri dolgu
Derin	Dinamik Kompaksiyon Kum Kolonları
Organik Zeminler	
Sığ	Kazı / Geri dolgu Geosentetikler
Derin	Geosentetikler Kum Kolonları
Tabakalı	Patlatma Dinamik Kompaksiyon Kompaksiyon Enjeksiyonu Kum Kolonları Taş Kolonlar

Tablo 7.4. Devamı

Yumuşak Killer	
Sığ	Kazı / Geri dolgu Geosentetikler
Derin	Geosentetikler Kum ve Kireç Kolonlar
Tabakalı	Dinamik Kompaksiyon Kompaksiyon Enjeksiyonu Kum ve Kireç Kolonlar
Killer	Dondurma Eletro - osmoz Geosentetikler Kireç veya Çimento Kolonlar Düşey Drenler Ön yükleme Jet Enjeksiyonu
Siltler	
Sığ	Kazı / Geri dolgu Dinamik Kompaksiyon
Derin	Taş Kolonlar Elektro - osmoz
Gevşek Kumlar	
Sığ	Dinamik Kompaksiyon Çimento Stabilisasyonu
Derin	Dinamik Kompaksiyon Vibrokompaksiyon Patlatma Kompaksiyon Enjeksiyonu Jet Enjeksiyonu
Sıvılaştırılabilir Zeminler	Dinamik Kompaksiyon Taş Kolonlar Düşey Drenler Enjeksiyon
Şişebilen Zeminler	Dinamik Kompaksiyon Taş Kolonlar Düşey Drenler / Drenaj Jet Enjeksiyonu
Çatlaklı Kayalar	Enjeksiyon Ankraj Yatay Drenaj

7.3.10. Zemin İyileştirme Metotlarının Kontrolü

Bu konuda yapılan çalışmalar iyileştirmenin olduğundan emin olmak için yapılmaktadır. Belirli bir zemin iyileştirme tekniğinin etkinlik derecesini kontrol etmenin en kısa yolu, iyileştirmeden önce ve sonra olmak üzere, yetersiz sayılan zemin özelliklerinin ölçülmesidir. Örneğin; zemin dayanımını arttırmada kullanılan zemin iyileştirmelerinde, iyileştirmeden önce ve sonra yapılan dayanım ölçümleriyle, iyileştirme işleminin etkinlik derecesi belirlenebilir.

Kontrol işlemlerinde laboratuvar veya arazi deney sonuçları kullanılabilir. Laboratuvar teknikleri uzun zamandır kullanılsa da arazi deney tekniklerinin son yıllarda gelişmesiyle, iyileştirmenin kontrolünü daha etkili olarak belirlemektedir.

7.3.10.1. Laboratuvar deney teknikleri

Laboratuvar deney tekniklerinin sayısız avantajı olmasına karşın bazı iyileştirme metotlarının uygunluğu laboratuvar deney teknikleriyle ölçülememektedir. İyileştirilmiş zeminden numune alma işlemi, iyileştirmenin etkilerini makroskobik olarak incelemeye izin verir. Laboratuvar deneyleri gerilme, birim deformasyon ve çevresel şartların kontrolü ve daha sağlıklı ölçülmesi bakımından daha üstün olmaktadır. Ayrıca laboratuvar deneyleri numune örselenmesinin kaçınılmaz sonuçlarından etkilenmektedir. Özellikle sıvılaştırılabilir zeminlerin iyileştirilmesinde bu problem beraberinde belirsizlikler meydana getirmektedir.

7.3.10.2. Arazi deney teknikleri

Zemin iyileştirilmesindeki etkinlik derecesinin kontrol edilmesinde arazi deneylerinin kullanılması son 15 – 20 yılda önemli ölçüde artmıştır. Sismik tehlikelerin çoğu, yerinde deney parametreleri kullanılarak değerlendirildiğinden, bu parametreler tehlike azaltılmasında doğrudan kanıt sağlamaktadır.

Zemin iyileştirilmesinin etkinlik derecesinin kontrolünde SPT, CPT, PMT ve DMT deneylerinin hepsi kullanılabilir. SPT ve CPT deneyleri örnekleme ve

laboratuvar deneylerine kıyasla nispeten hızlı ve düşük maliyetlidir. Derinlikle birlikte devamlı kayıt alması bakımından CPT özellikle yararlı sonuçlar verebilmektedir. Daha pahalı olan PMT yanal gerilmelerin ölçümüne ve zemin dayanımının doğrudan ölçümüne imkan vermektedir. Çakıllı zeminlerde Becker çekiç penetrasyon deneyleri kontrol amacıyla kullanılabilir.

7.3.10.3. Jeofizik deney teknikleri

Zemin iyileştirme tekniklerinin çoğu, iyileştirme için seçilen zeminin rijitliğini arttırmaktadır. Çoğu durumlarda iyileştirmeden önce ve sonra sismik deneylerin yapılması arzu edilebilir.

Kuyudan kuyuya veya kuyu aşağı deneyleri, zemin iyileştirilmesinin kontrolünde en çok kullanılan deneylerdir. Bu deneyler sayesinde büyük mesafelerdeki P ve S dalgası hızları ölçülmek suretiyle, rijitliğin alansal bir ortalaması ölçülmüş olmaktadır. Zemin iyileştirilmesinin geniş bir sahada yapıldığı alanlarda kontrol amacı bakımından sismik yansıma ve sismik kırılma deneyleri yararlı olabilmektedir.

BÖLÜM 8. ZEMİN İYİLEŞTİRME METOTLARININ ADAPAZARINDA UYGULANABİLİRLİĞİ ve BUGÜNE KADAR YAPILAN İYİLEŞTİRME YÖNTEMLERİNDEN BAZI ÖRNEKLER

17 Ağustos 1999 Depremi'nden sonra Adapazarı'nda şayet yapı yapılacak parselde sıvılaşma riski varsa ve YASS seviyesi yüzeye yakınsa; sıvılaşma potansiyeli olan zemin kaldırılarak temiz malzemeyle dolgu yapıldıktan sonra radye temel sistemi ve 1.5 m derinlik şartlarıyla yapı ruhsatı verilmektedir.. Bu yöntem sıvılaşma potansiyelinin sığ derinliklerde olduğu durumlarda çözüm olabilmektedir fakat sıvılaşma potansiyelinin ilk 10 metrede arandığı düşünülürse yapının bulunduğu konum ve taban alanı büyüklüğü ekonomi ve zaman açısından çeşitli sıkıntılar yaratmaktadır. Bu yöntemi mevcut binalarda uygulamak ise imkansızdır.Yeni yapı inşası sırasında veya mevcut yapıların zeminlerini güçlendirme durumlarında literatürdeki zemin iyileştirme metotlarına başvurulabilir. 17 Ağustos 1999 Depremi'nden sonra Adapazarı Kentinin merkezini oluşturan, ticaretin ve alış-verişin yoğun olarak yapıldığı Tığcılar, Cumhuriyet, Semerciler, Kurtuluş Mahalleleri'nde sıvılaşma sonucu yıkımların olduğu gözlenmiştir. Özellikle Adapazarı Kentinin kalbi teşkil edilebilecek ve Cumhuriyet Mahallesi'nde bulunan Çark Caddesi'nde yıkımlar büyük boyutlardaydı. Adapazarı Merkez Belediyesi arşivinde yapılan araştırmalar sonucu Adapazarı'nda en çok taş kolon uygulamasına rastlanmıştır. Bunun yanında Mini kazık, kazık, kum dren ve çimento enjeksiyonu gibi yöntemler de kullanılmıştır. Bu araştırma neticesinde aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır (Tablo 8.1).

Tablo 8.1. Adapazarı'nda yapılan İyileştirme şekilleri ve sayıları

iyileştirme şekli	adet
taş kolon	23
mini kazık	3
kum dren	2
kazık	1
çimento enjek.	1

İyileştirme yöntemlerinin en yoğun olarak uygulandığı bölge Tığcılar Mahallesi' dir. Bu bölge örnek olarak verilecekse taş kolon uygulama şekli olarak başta yer almaktadır. Bu bölgede uygulanan taş kolon çapları 25 cm' den 50 cm' ye kadar çıkmaktadır. Zemin yapısına göre 5 ila 10 metre derinliklerde uygulanan taş kolon yönteminin yanı sıra mini kazık, kum dren ve çimento enjeksiyonu gibi yöntemler kullanılmıştır. Uygulama açısından bu bölgede uygulanan taş kolon yöntemi hakkında karakteristik bilgiler Tablo 8.2' de gösterilmiştir.

Tablo 8.2. Tığcılar Mahallesi' de uygulanan Taş kolon yöntemleri hakkında genel bilgi

uygulama şekli	adet	min. Çap	max. Çap	min. Derinlik	max. Derinlik	Kullanılan dane çapı (cm)
taş kolon	838	25	50	5	10	0.5-4

Yapılan araştırmalar neticesinde İyileştirme metotları Adapazarı' nda bulunan 13 mahallede de uygulanmıştır. Tablo 8.3' den de görüldüğü gibi iyileştirme yöntemleri en çok Tığcılar Mahallesi'nde yapılmıştır.

Tablo 8.3. Adapazarı' nda yapılan iyileştirmeler

mahalle	adet
karaosman	1
kurtuluş	1
ozanlar	1
papuccular	1
sakarya	1
yahyalar	1
yenidoğan	1
cumhuriyet	2
yağcılar	2
orta	3
semerciler	4
yenigün	5
tığcılar	7

8.1. Adapazarı' nda Yapılmış İyileştirme Metotlarından Örnekler

Bilindiği gibi Zemin İyileştirme Metotlarının sağlıklı uygulanabilmesi ve güvenilir sonuç verebilmesi için kapsamlı bir şekilde yapılmış zemin etütlerine ihtiyaç vardır. Aşağıda bu yöntemlerden bahsederken zemin etüt rapor sonuçlarına da yer verilmiştir. Bunun nedeni zemine göre en uygun metodun seçilmesidir.

8.1.1. Kum dren uygulaması

İlk uygulama örneği olan kum dren Tığcılar Mahallesi'nde yapılmıştır. Daha önce 2002 yılından yapılan zemin etüdü neticesinde binanın bulunduğu parselde sıvılaşma tespit edilmiştir. Temmuz-2005 yılında sıvılaşma potansiyeline karşı iyileştirme filtreli çakıl kolon ile yapılmıştır.

Yapı 17 Ağustos 1999 Depremi'nden sonra orta hasar statüsüne girmiştir. Bina dükkan üstü 4 kattır. Raporların değerlendirilmesinden sonra uygun iyileştirme yapılmadığı zaman bir dahaki depremde sonucun kaçınılmaz olacağı tespit edilmiştir.

Zemin iyileştirme projesi tüm bina etrafında uygulanmıştır. Fakat iki cephesi bitişik nizam olduğu için uygulama diğer iki cephede sınırlı kalmıştır.

Bina temel zemin ile ilgili özellikler aşağıda verilmiştir (Tablo 8.4).

Tablo 8.4. Etüt sonuçlarına göre zemin durumu

Sondaj no	numune no	derinlik (m)	Wn%	LL	PL	PI	Zemin sınıfı
SK 1	SPT 1	1.50-1.95	35	NP	NP	NP	ML
SK 1	SPT 2	3-3.45	35	NP	NP	NP	ML
SK 1	UD 1	3,5-4	41	25	20	5	CL-ML
SK 1	SPT 5	7,5-7,95	22	NP	NP	NP	SM
SK 1	SPT 7	10,50-10,95	35	41	25	16	CL

Zemin etüt raporuna göre, yapılan SPT ölçümlerine göre ilk 5 metrede yumuşak-katı, 5 metreden sonra sıkı, çok sıkı zemin olduğunu göstermektedir. İlk 5 metrelik kısımda iyileştirme yapılması uygun görülmüştür. YASS seviyesi 1.80 m' lerde ölçülmüştür.

Burada kum dren uygulamasının seçilmesindeki amaç; binanın zemin emniyet gerilmesi 80kPa' dır ve bu değer hesaplamalar sonucu binaya gelen statik ve dinamik güçleri karşılayacak şekildedir. Taş kolon uygulaması yapılsaydı şayet zemin sıkılanmasından dolayı zemin emniyet gerilmesinde artış olacaktı bu durumda zemine yapılacak iyileştirme şekli sadece sıvılaşmaya karşı bir tedbir olacak şekilde kum dren olarak seçilmiştir.

Bilindiği gibi ince kumlar, siltler ve düşük plastisiteli killerde sıvılaşmanın birinci nedeni yer altı suyunun varlığı ve zeminin gevşek yada yumuşak olmasıdır. Deprem esnasında dinamik yükler boşluk suyu basıncını arttırarak zeminin efektif gerilmesini düşürmektedir. Böylece binalarda çökmeler meydana gelmektedir. Bu binada ilk 5 metrelik kısmında mevcut siltli kum yapısı (sondaj logu incelendiğinde siltli kum zeminde mevcuttur) ve YASS seviyesinin 1.80' lerde olmasından dolayı ilk 5 metrede iyileştirmeye gerek duyulmuştur. Böyle bir durumda boşluk suyu basıncını azaltmak ve uygun şekilde drene etmek gerekmektedir. Şimdi bu durum için 4 farklı çözüm üretilmektedir. Bunlar:

- Zemin çok katı-sert derecesinde sıkıştırmak
- YASS seviyesine derinlere çekmek
- Zemin geçirimsiz hale getirmek
- Zemin içerisinde su basıncını ve/veya sıkışmasını önlemek

İlk üç uygulama bazı nedenlerden dolayı güç ve ekonomik olmamaktadır. Bunun nedeni:

Bir zemini katı-sert derecesinde sıkıştırmak için yüksek enerjili darbe yapmak gereklidir. Bu işlem mevcut binalarda imkansızdır. Ayrıca yeni uygulanan bir projede dahi Adapazarı yerleşim şartlarında bu tarz bir uygulama ciddi sorunlar

yaratacağı için uygulama alanı bulamayacak bir yöntemdir. Örneğin; bu yöntem için dinamik kompaksiyon uygulanacağından çıkacak titreşimlerden dolayı çevredeki bina temelleri zarar göreceğinden ve panik yaşatacağından dolayı bu yöntem uygulanamaz.

Yine Adapazarı zemin şartlarından dolayı ve YASS seviyesinin mevsim şartlarından etkilendiği göz önüne alındığında YASS seviyesini düşürmek ekonomik olarak çok zordur.

Silt ve ince kum boyutundaki zemin yapısını geçirimsiz hale getirmek hem ekonomik değil hem de dünyada az kullanılan bir teknolojidir. Halen Türkiye’ de uygulama alanı bulamamıştır.

Bu durumda zemin içerisindeki boşluk suyu basıncını yükselmesine engel olmak ve deprem sırasında sıvılaşmaya engel olmanın en ekonomik ve ideal çözümü Amerika ve Japonya’ da uygulanan taş kolon veya kum dren uygulamalarıdır. Bu projede kum dren metodu seçilmiştir.

Kum dren uygulaması bina çevresinde 2.00 metrede bir karelaç yerleşim düzeni ile imal edilmiş ve kumlu silt kütlesi içinde bir drenaj ağı oluşturulmuştur.

Burada zeminde boşaltma yapılmadan zemine artı bir çakıl kütlesi basılmıştır. Bu işlem 2.00 metrede bir yapıldığından zeminin kısmen özelliğinin bozulmayacağı düşünülmektedir. Mevcut binalarda temele zarar vermeden zemin suyunu drene etmenin en iyi yolu bu işlemi darbesiz gerçekleştirmektir.

Kum drenler zeminin kıvamı el verdiği şekilde yapılmış ve binanın konumu el verdiği şekilde 2.00 metrede bir değişmektedir. Çakıl boyutları 0.4-5 cm lik temiz malzemedir seçilmiştir. Tablo 8.5’ de uygulanan kum drenlerin özellikleri detaylı bir şekilde görülmektedir.

Tablo 8.5. Yapılan kum drenler hakkında detaylı bilgi

Çap(cm)	Derinlik (m)	Genişlik (m)	Adet	Çakıl Boyutu (cm)	Çakıl Miktarı (m ³)
7.5-12	5.00	2.00	10	0.5-4	0.61

8.1.2. Çimento enjeksiyonu uygulaması

İkinci uygulama örneği çimento enjeksiyonu da Tığcılar Mahallesi' nde Eylül-2000 yılında yapılmıştır.

Bina zemin + 4 katlıdır. Bina üniform olarak 17 Ağustos Depremi' nden sonra 15 cm oturmuştur. Bina kolon ve kirişlerinde gözle görülür bir hasar olmadığı vurgulanmıştır. İyileştirme metodu olarak zemini taşıma gücünü arttıracak şekilde düşünülmesi için çimento enjeksiyonu seçilmiştir.

Zemin etüt sonuçlarına göre ilk 15 metre killi silt (ML) ve siltli kum (SM)' dir. Ölçülen SPT değerleri 15 den küçüktür ve sıvılaşmanın ilk 10.00 m içinde oluşabilmesi düşüncesiyle çimento enjeksiyonunun derinliği 10.00 m olarak alınmıştır.

Temel kirişlerini zedelemeyecek ve radye temel demirlerine zarar vermemesi düşüncesiyle 1.30-2.00 m arasında değişen aralıklarla 74 adet sondaj kuyusu açılmıştır.

Burada güdülen amaç çimento hamuru mevcut malzemeyi iteleyerek delik çevresinde çimento kolonları meydana getirmektir ve bu suretle deprem esnasında, artabilecek gözenek suyu basıncını indirgeyebilmektir.

Çimento kolonları, zemin malzemesine göre ve tatbik edilen enjeksiyon basıncına göre farklı çaplarda oluşmuştur. Çimento kolonlarını oluşturmak için seçilen muhafaza borusu çapı 7.6 cm' dir.

Uygulama ise şu şekilde yapılmıştır:

Delgi işlemi tek aşamalı olarak muhafaza borusu ucuna Vidye takılmak suretiyle yapılmıştır. Her kuyu 10.00 metre kadar derinliğe indikten sonra sondaja son verilmiş, muhafaza borusunun içi iyice temizlendikten sonra yukarı 1.00 metre çekilerek çimento enjeksiyonuna başlanmıştır. Toplam 9 sefer her 1 metrede dışarı çekilerek uygulama tamamlanmıştır.

8.1.3 Mini kazık uygulaması

Mini kazık uygulaması Orta Mahalle' de Eylül-2001' de yapılmıştır. Bina bodrum + 5 katlıdır.

Zemin etüd raporuna göre 0.60 metrede yapay dolgu, 0.60-2,70 metrede siltli kum, 2.70-5.20 metrede killi kum, 5.20-7.20 metrede kil ve daha sonra ki kademelerde düşük plastisiteli killi silt dir. SPTN değerleri ortalama 7-50 civarındadır. 3.5 metre den sonra 14' ün üzerindedir. YASS seviyesi 90 cm' dir. Ayrıca 0.00-4.00 metreler arası sıvılaşma potansiyeli taşıdığı belirtilmektedir. Zeminin atterberg limitleri LL=29-38, PL=19-20, PI= 9-19' dur. Zeminin su içeriği %28 civarındadır.

İlk olarak binanın mevcut 30 cm kalınlığındaki radyesi el kıracağı ile 35 cm açılmıştır. Daha sonra mini kazık delgisi bina içi hidrolik rotary makinelerle, auger yardımıyla susuz olarak yapılmıştır.

Delgi işlemi bittikten sonra açılmış olan kuyulara hazırlanmış donatı parça parça indirilmiştir. Donatı filiz boyları minimum $\Phi 50$ alınmıştır. Donatı ile beraber 1 adet birincil enjeksiyon hortumu ve 3 adet ikincil enjeksiyon hortumu donatıya bağlanarak indirilmiştir.

Donatı kuyuya indirildikten sonra 7-15 mm kırma taş kuyuya doldurulmuştur. Kırma taş kuyuya doldurulduktan sonra ağırlıkça su/çimento oranı 0.40 olan birincil enjeksiyon hortumdan kuyuya uygulanmıştır. Basılan enjeksiyon kuyu tabanından başlayarak kuyuyu doldurması sağlanmıştır.

Birincil enjeksiyon yönteminden 6-7 saat sonra ikincil enjeksiyon yöntemi yine 0.40 oranıyla 10-15 bar basınçla verilmiştir. Bu enjeksiyonla gerekli mukavemet

kazanamamış kazık betonunu parçalayarak kazığın dış yönde genişlemesini sağlamıştır.

Etüt raporundaki zemin profiline göre 30 cm çapında ve 10 metre uzunluğundaki tek bir kazığın maximum yük taşıma kapasitesi 27 ton olarak hesaplanmıştır. Toplamda 77 adet mini kazık uygulanmıştır.

Yapı statik hesap sonuçlarından binanın toplam ağırlığı $W = 4111.976$ ton' dur. İmal edilecek mini kazıkların bu yükün yarısını taşıyacağı şeklindedir. Bu yüzden bina yükünün yarısı 2055.98 ton' dur ve her bir mini kazığın güvenli bir şekilde 27 ton yük taşıyacağı düşünülürse; $2055.98/27 = 77$ sonucuna ulaşılabilir.

Maximum yük taşıma kapasitesi olan 27 ton değerine şu şekilde ulaşılabilir:

$$Q_{\max} = Q_{u\check{c}} + Q_s$$

$Q_{u\check{c}}$: Kazık uç taşıma kapasitesi (ton)

Q_s : Kazık çevresi boyunca taşınacak yük miktarı (ton)

$$Q_{u\check{c}} = 9 * C_u * A_p$$

A_p : Kazığın alanı

C_u : 65 kN/m^2 için $\alpha = 0.85$ (Bu değer İleri temel Mühendisliği 2004-2005 Ders notları sayfa 161' den alınmıştır SAÜ.)

$$Q_s = \alpha * C_u * p * \Delta L$$

p : Kazığın Çevresi

α : Adezyon katsayısı

C_u : Zeminin drenajsız kayma mukavemeti

ΔL : kazık boyu(m)

$$Q_{u\check{c}} = 9 * 85 * (\Pi * 0,30^2 / 4) = 41.38 \text{ kN}$$

$$Q_{u\check{c}} (\text{emniyet}) = 41.38 / 3 = 13.79 \text{ kN}$$

$$Q_s = 0,85 * 65 * \Pi * 0,30 * 10 = 521.12 \text{ kN}$$

$$Q_s (\text{emniyet}) = 521.12 / 2 = 260.56 \text{ kN}$$

$$Q_{\text{em}} = 260.56 + 13.79 = 274.35 \text{ kN} = 27.435 \text{ ton}$$

Buda yaklaşık olarak 27 ton' dur.

Son olarakta kazık donatısı hesabı yapılmak istenirse:

$$A_s = \rho_{\min} * A_c$$

A_s : Toplam donatı alanı (cm²)

ρ_{\min} : Minimum donatı oranı

A_c : Kazık Alanı (cm²)

$$A_s = (\Pi * 0,30^2 / 4) * 0,01 = 7.06 \text{ cm}^2$$

6 Φ 14 (9.24) > 7.06 olduğundan bu donatı seçilmiştir. Etriye ise Φ 8 / 15' dir.

8.1.4. Taş kolon uygulaması

Taş kolon uygulaması Tıgçılar Mahallesi' nde Temmuz-2004 yılında yapılmıştır. Bina 4 katlı olup orta hasar statusüne girmektedir. Uygulanacak olan taş kolonun amacı zeminin taşıma gücünü arttırmak, zemini granüler malzemeyle doldurmak ve taş kolonları düşey dren vazifesi gördürmektir.

Yapılan zemin etütleri sonucunda zeminin yapısı aşağıdaki şekildedir (Tablo 8.6).

Tablo 8.6. Taş kolon uygulaması yapılan zeminin yapısı

derinlik (m)	tanım	zemin sınıfı	SPTN
1.5-1.95	Kumlu Silt	ML	8
3.0-3.45	Kumlu Silt	ML	12
4.50-4.95	Kumlu Silt	ML	13
6.0-6.45	Siltli Kum	SW-SM	37
7.50-7.95	Siltli Kum	SW-SM	47
9.50-9.95	Siltli Kum	SM	45
12.00-12.45	Siltli Kum	SM	48
14.5-14.95	Siltli Kum	SM	50+

Zemin etüt raporları incelendiğinde Ml biriminin ince tane oranı % 2-11 arasında değişmektedir. Bu da sıvılaşma riskini arttırmaktadır. Bölgede YASS seviyesi 1.65 m olarak ölçülmüştür. 6.00-9.95 metreleri arasında geçilen SW-SM birimin laboratuvar verileri incelendiğinde çakıl oranının yüksek ve arazide yapılan SPTN deneylerine göre de sıkı zemin sınıfına girdiği görülmüştür. Bu incelemeden dolayı bu derinlikte sıvılaşma olmayacağı kanaatine varılmıştır. 9.50' den sonra görülen siltli kum (SM) yapısındaki zeminin su içeriği oldukça düşük ve SPTN değerleri 50 civarındadır.

Bu veriler ışığında bölgede 0.00-6.00 metreler arasında sıvılaşma potansiyeli vardır.

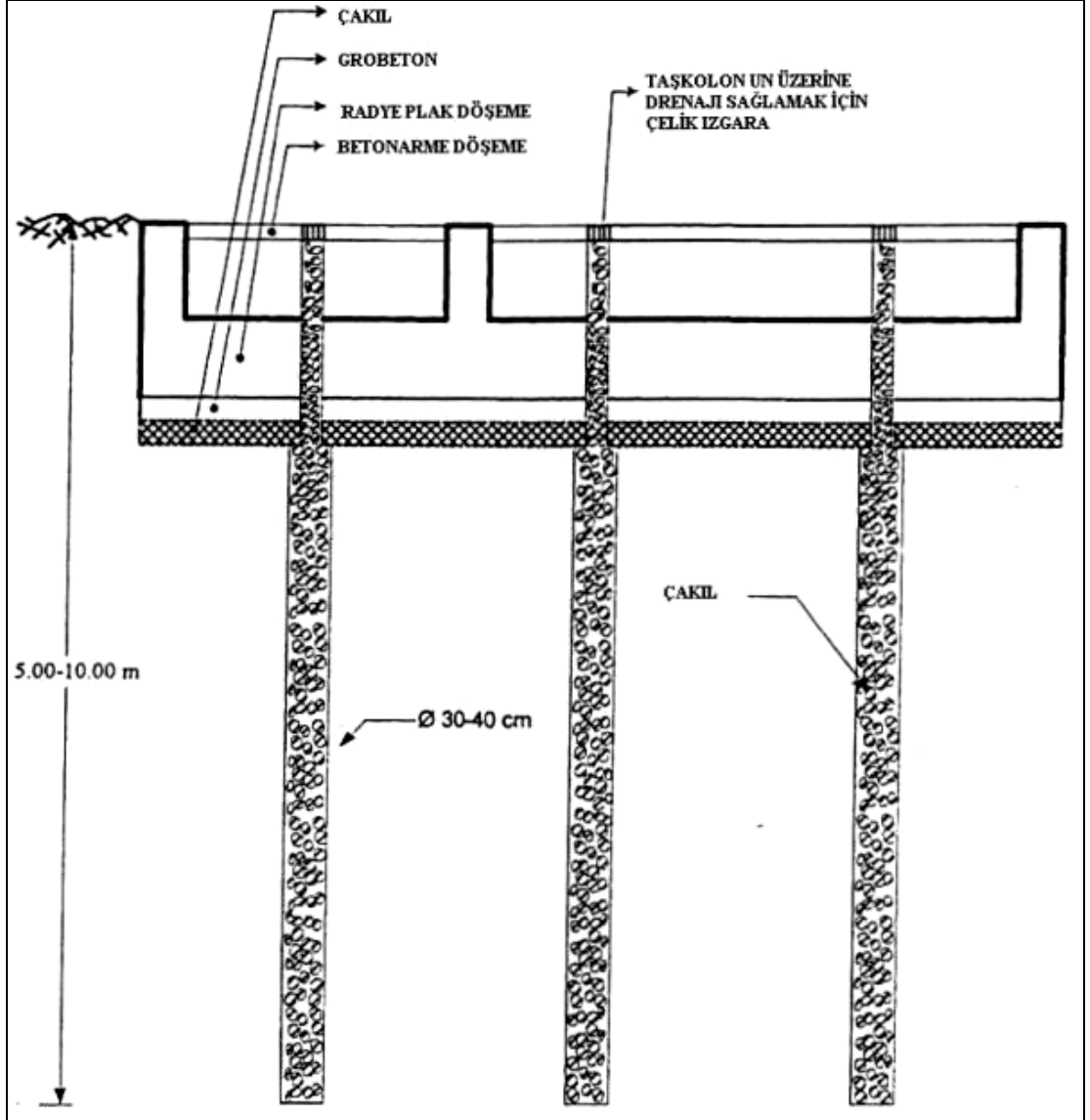
Yapılacak olan taş kolonun özellikleri Tablo 8.6' da gösterilmiştir.

Tablo 8.7. Taş kolon uygulaması için genel özellikler

Çap (cm)	Derinlik (m)	Aralık(m)	Adet	Çakıl Boyutu (cm)	Kullanılan Çakıl(m ³)
30-40	8	1.5-2.5	48	0.5-4	27

Taş kolonlar sıkıştırma esasına göre yapıldığından zemininde sıkışacağı beklenmektedir. Taş kolonlar aralıkları 2.00 ila 5.00 m arasında yapılması literatürde vurgulanmıştır. Bu uygulamada taş kolon mesafeleri genelde merkezden merkeze 2.5 metre mertebesindedir. Sıkıştırma esasına göre yapılan taş kolon çapları 60 cm civarına çıkmıştır. Fakat uygulamada mevcut binaya zarar verme düşüncesi göz önünde bulundurularak kullanılan makinenin özellikleri 30 cm' ye göre ayarlanmıştır. Açılan kuyularda sıkıştırma işlemi bittikten sonra herhangi bir deprem anında yer altı suyunun drenajı için kuyu üzerleri ızgara ile kapatılmıştır.

Aşağıda Adapazarı' nda en çok kullanılan yöntem olan taş kolon kesiti görülmektedir (Şekil 8.1).

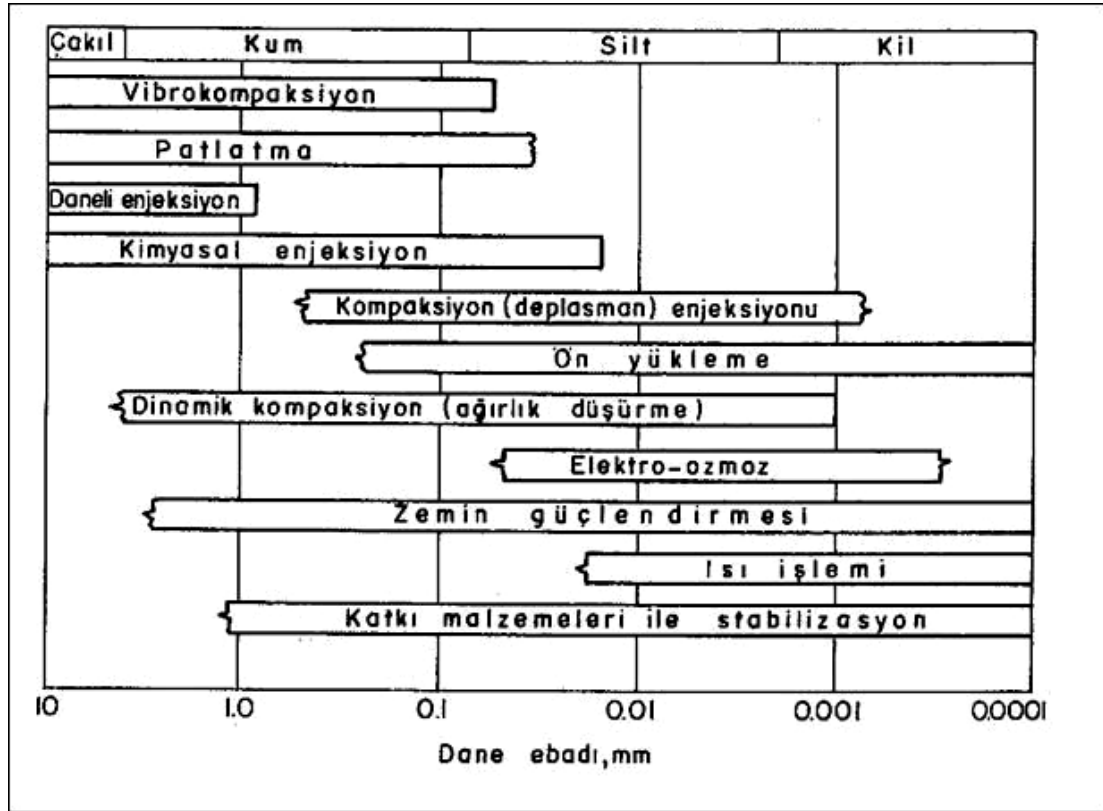


Şekil 8.1. Adapazarı zeminlerine uygulanan taş kolon kesiti

8.2. Zemin İyileştirme Metotlarının Adapazarı'nda Uygulanabilirliği

İyileştirme metotlarının Adapazarı'nda uygulanabilirliğine geçmeden önce Tablo 8.8' deki bilgilerden yararlanılabilir. Bu bilgiler ışığında ve Tablo 7.4' deki bilgilerle beraber pilot bölgelerde uygun zemin iyileştirme metotları, yapı yapılmadan önce veya mevcut yapıyı güçlendirmek için ve zemin etüt raporlarına göre uygun bir metot seçilebilir.

Tablo 8.8. Dane çaplarına göre zemin iyileştirme metotları



Bu tez kapsamında toplam 20 adet zemin iyileştirme metodundan bahsedilmiştir. Bu metotlar gerek Türkiye’ de gerek Avrupa ve Amerika’ da ihtiyaca cevap verecek şekilde çeşitli sanat yapılarında kullanılmaktadır. Fakat bu yöntemlerden bir kısmı maliyet açısından ve iyileştirecek bölgenin çeşitli stratejik konumlarından dolayı şehir merkezinde ve mevcut yapılarda güçlendirme yoluna gidildiği zaman bu bölgelerde uygulamak imkansızdır ve bu yöntemlerden bir kısmı istinat duvarlarında, şevlerin stabilitesinde kullanılmaktadır. Adapazarı gibi YASS seviyesi yüksek ve mevsimsel yağışlara göre sürekli değişen yer altı su seviyesi nedeniyle ve alüvyon zeminlerin yapısı gereği bu bölgelerde seçilecek metodun ileride fayda sağlayabilmesi için zemin iyi etüt edilmelidir. Aksi takdirde yapılacak yöntem zaman ve ekonomi açısından çeşitli zararlara yol açabilmektedir. Tablo 8.9’ de pilot bölgelerde uygulanabilir ve uygulanamaz iyileştirme yöntemleri görülmektedir.

Tablo 8.9. Adapazarın' da Zemin İyileştirme Metotlarının Uygulanabilirliği

İyileştirme Metodu	Uygulanabilirliği	Açıklama
Vibrokompaksiyon	Uygulanabilir	İnşaat Yapılmadan önce uygulanabilir.
Kum Sık. Kazıkları	Uygulanabilir	İnşaat Yapılmadan önce uygulanabilir.
Kompaksiyon Kazıkları	Uygulanabilir	İnşaat Yapılmadan önce uygulanabilir.
Dinamik Kompaksiyon	Uygulanamaz	Şehir merkezinde uygulanması dinamik etkilerden dolayı çevre binalarda hasara yol açar ve panik yaşatır
Patlatma	Uygulanamaz	Şehir merkezinde uygulanması dinamik etkilerden dolayı çevre binalarda hasara yol açar ve panik yaşatır
Ön yükleme	Uygulanabilir	Şehir merkezinde uygulanması maliyet ve zaman açısından sıkıntı yaratabilir
Düşey Drenler	Uygulanabilir	İhtiyaca göre uygulanabilir. YASS seviyesini düşürmek Adapazarı gibi bir kentte uygun olmayabilir
Isıtma	Uygulanamaz	Geçici bir çözümdür. Maliyet açısından ekonomik değildir
Soğutma	Uygulanamaz	Geçici bir çözümdür. Maliyet açısından ekonomik değildir
Geosentetikler	Uygulanabilir	İnşaat sırasında temel izolasyonu veya yol inşaatlarında kullanılabilir.
Mini Kazıklar	Uygulanabilir	Şehir Merkezinde uygulanabilir
Fore Kazıklar	Uygulanabilir	Şehir Merkezinde uygulanabilir
Zemin Çivileri	Uygulanabilir	İstinat Duvarı Yapımında uygulanabilir
Donatılı Zemin	Uygulanabilir	İstinat Duvarı Yapımında uygulanabilir
Derin Karıştırma	Uygulanabilir	İnşaat başlamadan önce uygulanabilir
Taş Kolonlar	Uygulanabilir	Şehir Merkezinde uygulanabilir
Enjeksiyon	Uygulanabilir	Şehir Merkezinde uygulanabilir

Tablodan da anlaşıldığı gibi bahsi geçen bir çok yöntem Adapazarı şehir merkezinde ve pilot bölgelerde ihtiyaca cevap verecek şekilde uygulanabilir. Bu yöntemlerden Dinamik Kompaksiyon ve Patlatma daneli zeminlerde oturma ve sivilaşma açısından çok büyük faydalar sağlamaktadır fakat şehir merkezlerinde uygulanabilirliği imkansızdır. Isıtma ve soğutma yöntemleri ise geçici çözümler sunmaktadır. Tünel inşaatı gibi kompleks yapılarda hareketli YASS seviyesini kontrol altına almak için uygulanmaktadır. Bunların dışında diğer yöntemler yapılacak yapı ve zemin özelliklerine göre veya şev stabilitesinde, istinat duvarı yapımında kullanılabilir.

Fakat bu yöntemler ekipman, iş gücü, saha sınırlamaları, zaman ve ekonomi açısından değerlendirildiğinde “uygulanabilir” yöntemleri daha da kısıtlı hale getirmektedir. Örneğin; Ön yükleme metodu oturmaları kontrol altına alma ve hızlandırma açısından düşey drenlerle kullanılmaktadır fakat zaman açısından ekonomik değildir. Tablo 6.4 incelendiğinde sığ temel uygulanacak bölgelerde hakim zemin sınıfı kohezyonlu yani ince taneli zemindir. 5 metreden sonraki zemin pilot bölgelerde yerini kumlu zemine bırakmaktadır. Bu zemin sınıfları, YASS seviyeleri göz önüne alınarak pilot bölgelerde zemin iyileştirme metotlarının seçimi Tablo 8.9’ da verilmiştir.

Tablo 8.10. Pilot bölgelerde uygulanabilecek iyileştirme metotları

Yöntem	Açıklama
Vibrokompaksiyon	Özellikle YASS seviyesi altında kalan 5 metreden sonraki zeminler için uygundur. Sıvılaşma potansiyeli gözlenen yerlerde kullanılabilir
Kum Sık. Kazıkları	Yumuşak zeminlerde ve sıvılaşma potansiyeli gözlenen yerlerde uygulanabilir.
Komp. Kazıkları	Daneli zeminlerde uygulanabilir
Ön yükleme	İnce Daneli zeminlerde uygulanabilir. Zaman açısından ekonomik değildir.
Düşey Dren	İnce daneli zeminlerde suyu drene etmek için kullanılabilir.
Geosentetikler	Her türlü uygulamada çeşitli amaçlar için uygulanabilir.
Mini Kazıklar	İstinat duvarları, şev stabilitesinde kullanılabildiği gibi yapı temellerinin güçlendirilmesinde kullanılabilir.
Fore Kazıklar	Taşıma gücünü artırmak ve stabilite sağlamak için kullanılabilirler
Zemin Çivileri	İstinat duvarı ve şev stabilitesinde kullanılabilirler
Donatılı Zemin	İstinat duvarı ve şev stabilitesinde kullanılabilirler
Derin Karıştırma	Her türlü zeminde taşıma gücü, oturma kontrolü ve sıvılaşmanın önüne geçmek için kullanılabilirler
Taş Kolonlar	Kohezyonlu zeminlerde özellikler taşıma gücünü arttırmak ve sıvılaşmayı ortadan kaldırmak için kullanılabilirler
Enjeksiyon	Her türlü zeminde taşıma gücü, oturma kontrolü ve sıvılaşmanın önüne geçmek için kullanılabilirler

Pilot bölgelerde bu yöntemlerden sadece Kum dren, Mini kazık, Taş Kolon ve Çimento enjeksiyonu uygulama sahası bulmuştur. Bu uygulamalardan bir çoğu mevcut bina temellerinde uygulanmıştır.

Bu yöntemlerin sağlıklı sonuç verebilmesi için uygulanacak deney teknikleri ve uygulama esnasında kullanılacak ekipman ve izlenecek yol önem kazanmaktadır. Fakat iyileştirme metotlarının mevcut bir standardı bulunmamaktadır. Oysaki bu metotlar uygun şekilde yapıldığında ekonomi, zaman ve özellikle sağlamlık açısından güvenilir sonuçlar vermektedir.

BÖLÜM 9. SONUÇLAR

- Adapazarı tamamen nehir çökelleri üzerinde kurulu derelerin getirip biriktirdiği alüvyon karakterli bir ovadır. Adapazarı İzmit Körfezinden başlayan Hendeğe kadar uzanan bir çöküntü havzası içindedir.

- Adapazarı günümüze kadar Sakarya Nehri' nin etkisinde kalmıştır. Zaman zaman bu nehir taşmış yatak değiştirmiştir. Bu yüzden Adapazarı Ovası alüvyon ile temsil edilir.

- Adapazarı 1. derece deprem bölgesidir. 17 Ağustos Depremi ile Adapazarı zemin yapısının gerçek anlamda büyük bir tehlike taşıdığı anlaşılmıştır. Adapazarı Kent merkezinde ve özellikle seçilen pilot bölgelerde zemin özellikleri yapılaşmaya çokta elverişli değildir.

- 17 Ağustos sabah saat 3.02 de meydana gelen deprem, karada İzmit körfezi ile Düzce güneybatısı arasında yaklaşık 120 km uzunluğunda bir yüzey kırığı meydana getirmiş olup bu kırık üzerinde 4.2 m' ye varan sağ-yanal yer değiştirmeler meydana gelmiştir.

- Fayın yüzey kırığına çok yakın mesafede, hatta doğrudan fay kırığı üzerinde bulunmasına rağmen deprem sarsıntılarında daha az etkilenen sağlam zeminlerdeki yapıların çoğunda ölümcül hasarların olmadığı görülmüştür. Buna karşın, depremin merkez üssü ve fay kırığından uzakta olmasına rağmen jeolojik anlamda depreme karşı dayanımsız olan zeminlerin çoğunda toplu ölümle sonuçlanan yıkıntıların meydana geldiği izlenmiştir.

- Depremde meydana gelen can kaybı ve hasarın esas nedeni, bölgedeki yapılaşmanın yoğun olarak depreme karşı çok zayıf jeolojik zeminde olması ile

ilgilidir. Bu yüzden magnitüt olarak 7.4 ile ifade edilen deprem Adapazarı gibi zemin özelliklerine sahip bölgelerde şiddet olarak çok daha fazla etkilenmiştir.

- Sıvılaşma sonucu kent merkezinde; Tıgıcılar Mahallesi, Çark Caddesi, Cumhuriyet Mahallesi, Kurtuluş Mahallesi, Sedat Kırıtepe Caddesi ve Adnan Menderes Caddesi boyunca kaldırımlar kalkmış ve binaların zemin katları ise zemin içine gömülmüşlerdir. Bu semtlerde sıvılaşma nedeniyle ağır betonarme yapıların önemli bir bölümü; yana, öne veya geriye yatarak, devrilerek, oturmaya maruz kalarak ve zeminin içine çökerek hasara uğramış veya yıkılmıştır. Binalar temellerinden sökülerek devrilmiş ve komşu binaların üzerine doğru yan yatmışlardır, farklı yönlere doğru yan yatma ve devrilmeler, bazı binaların ayakta kalmasını sağlamıştır. Bir çok bölgede taşıma gücü kayıplarına rastlanmıştır.

- Seçilmiş olan pilot bölgeler Adapazarı Kenti' nin merkezini oluşturan nüfus olarak en yoğun olduğu bölgelerdir. Bu bölgelerde sıvılaşma, taşıma gücü kayıpları gözlenmiştir. Sıvılaşma daha çok sırasıyla Siltli kum, kumlu silt, killi silt gibi birimlerde gözlenmiştir.

- Bu pilot bölgelerde ortalama YASS seviyesi 2.17 metre, ortalama zemin emniyet gerilmesi 0.74 kg/cm^2 dir. Pilot bölgelerde ilk 4.5, 6 ve 7.5 metrelerde, hatta ilk 12 metrede sıvılaşma gözlenmiştir.

- Pilot bölgelerde hakim zemin sınıfları Tablo 6.4' de görülmektedir. İlk 5 metrede silt ve killi zeminler hakimken 5-10 metre arasında zemin yapısı yerini kumlu zeminlere bırakmıştır.

- Bu tez kapsamında literatürde bulunan zemin iyileştirme metotlarından bahsedilmiştir. Fakat bu metotlardan bir kısmı pilot bölgelerin ilçe merkezinde bulunmasından dolayı ve bir kısmı geçici çözümler sunduğu için uygulanması imkansızdır. Bu metotlardan patlatma ve dinamik kompaksiyon ile ısıtma ve soğutma işlemleri bu bölgelerde uygulanamaz. Bunun yanında vibrokompaksiyon, kum sıkıştırma kazıkları, kompaksiyon kazıkları, ön yükleme, düşey dren, geosentetikler, fore kazıklar, derin karıştırma, taş kolon ve enjeksiyon yöntemleri uygulanabilir.

- Uygulanabilir metotlardan bir kısmı gerek zaman gerek ekonomi gerekse mevcut sahanın darlığı bakımından uygulamada sorun teşkil edebilmektedir.
- Bugüne kadar pilot bölgelerde taş kolon, kum dren, mini kazık ve çimento enjeksiyonu gibi yöntemler kullanılmıştır.
- İyileştirme metotlarının sağlıklı sonuç verebilmesi; uygun metodun seçimi ve izlenecek yollun doğru seçilmesiyle mümkündür. Uygun metod seçilmeden önce gerekli mühendislik çalışmaları yapılmalı ve metodun faydası uygun arazi ve laboratuvar deneyleri ile kontrol edilmelidir.
- Adapazarı kent merkezi ve seçilen pilot bölgelerde gerek zemin gerekse yapısal önlemler alınmadığı takdirde olası bir depremde karşılaşılabilecek sonuç 17 Ağustos 1999 Depremi'nden farklı olmayacaktır.

BÖLÜM 10. TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Seçilmiş pilot bölgeler ve Adapazarı alüvyon karakterli bir ovadır. Bu ovadaki zemin yapısı olası depremlerde dinamik kuvvetleri artırıcı rol oynamaktadır. Bunun en çarpıcı örnekleri 17 Ağustos 1999 Depreminde görülmüştür. KAF hattına daha yakın bölgelerde yıkımlar daha az olmasına rağmen bu hatta daha uzak olan Adapazarı bu depremde çok daha fazla hasar görmüş ve magnitüd olarak büyük depremlere sahne olmuştur.

Adapazarı hızlı gelişen bir kent olduğundan dolayı hızlı ve çarpık kentleşme kimi zaman kontrol altına alınamamıştır. Deprem göz ardı edilemeyecek bir doğa olayıdır. İnsanoğlu bu doğa olayına karşı çoğu zaman savunmasız kalacaktır ancak bu dağa olayının etkisini en aza indirmek gelişen teknoloji ve mühendislik hizmetleriyle mümkündür.

Depremden sonra Adapazarı'nda bodrum + 2 kata kadar iskan verilmeye başlandı. Bunun yanında parsel bazında zemin etüdü uygulamasına geçildi ve gerek duyulduğu takdirde zeminle ilgili problemlerle karşılaşıldığında 2 metre kazı ve 50 cm dolgu yapımına başvuruldu ve daha sağlam düşüncesiyle şehir Karaman ve Camili bölgelerine kaydırılmaya çalışıldı.

İlk etapta doğru bir uygulama gibi görülen bu önlemler aslında gelişen teknoloji ile birlikte mühendislik zekasına ters düşmektedir. Adapazarı'nın da o günün şartlarında yapılmış, zemin özellikleri ve deprem gerçeği göz ardı edilmiş bir çok bina ayakta kalmıştır. Bunun yanında ayakta kalmayı başarmış çok katlı (4 veya 5 katlı) binaların yanına bodrum + 2 kat uygulaması güvenlik açısından olası depremlerde tehlike arz etmektedir.

Günü kurtarıcı çözümler yerine hızla gelişen kentlerde kalıcı çözümler oluşturmak çok daha doğru bir karar olacaktır.

Bu tez kapsamında bir çok zemin iyileştirme metotlarından bahsedilmiştir. Bu metotların bir çoğu gelişmiş ülkelerde başarıyla uygulanmasına rağmen hala bir standarda bağlanmamıştır. Hızla gelişen teknolojiyle bu metotlar bir çok yerde kalıcı çözümler oluşturacak şekilde gerek ekonomi gerekse zaman açısından bir çok faydalar sağlamaktadır.

Artık deprem gerçeği göz ardı edilmemeli ve binalar zeminden başlayarak en kötü şartlara hazır hale gelecek şekilde inşa edilmelidir.

KAYNAKLAR

- [1] ARIK, F., Zemin Sıvılaşması, (Liquefaction), 2004
- [2] BAKIR, B. S., Yerel Zeminlerin Sismik Yapı Hasarına Etkileri Üzerine Bir Değerlendirme, İMO Ankara Şube Bülteni, Ankara, 2005
- [3] BARGU, S. ve YÜKSEL, F.A., İzmit Körfezi 'nin Kuvaterner deniz dibi çökellerinin dağılımı ve özellikleri (KB Türkiye). Türkiye Jeoloji Kurultayı Bülteni 8, 169-187, 1993
- [4] BARKA, A. and GÜLEN, L., 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, 57-58,1987
- [5] BARKA, A., and CADINSKY-CADE, K., Strike-slip fault geometry in Turkey and its influence on earthquake activity. Tectonics, 7, 663-684,1988
- [6] BARKA, A., The North Anatolian Fault. Annales Tectonicae, 6, 164-199, 1992
- [7] BARKA, A., Neotectonics of the Marmara region. In Active Tectonics of NW Anatolia-The Marmara Poly-project, Schindler and Pfister (eds.), VDF, ETH Zurich, 55-87, 1997
- [8] Bell, F.G., Engineering Treatment of Soils, E&FN Spon., 1993
- [9] BİLGİN, T., Adapazarı Ovası ve Sapanca Oluğunun Alüvyal Morfolojisi ve Kuvaternerdeki Jeoforfolojik Tekamülü, İst. Üni. Edebiyat Fak. Yayınları, No: 2572, İstanbul, 1984
- [10] BOL, E., Adapazarı Zeminlerinin Geoteknik Özellikleri, Doktora Tezi, SAÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2003

- [11] BOULANGER, R.W., and HAYDEN, R.F., ‘Aspects of Compaction Grouting of Liquefiable Soil’, Journal of Geotechnical Engineering , ASCE, Cilt 121, No.12, 1995
- [12] BROWN, R.E., Vibroflotation compaction of cohesionless soils. Proc. American Society Civil Engineers, Journal Geotechnical Engineering Division,103 (GT12), 1437-51,1977
- [13] CERİT, O., SEZEN, F., NURLU, M., ÖZSARAÇ, V., SARAÇ, N. ve BATMAN, B., Adapazarı ve yakın yöresinin neotektonik özellikleri, 47. Türkiye Jeoloji Kurultayı, bildiri özleri kitapçığı, 168, 1994
- [14] EMRE, Ö., ERKAL, T., TCHEPALYGA, A., KAZANCI, N., KEÇER, M., ÜNAY, E., Doğu Marmara Bölgesinin Neojen-Kuvaternerdeki Evrimi, MTA Dergisi 120, 233-258, 1998
- [15] ERGUN, U., ÖZKAN, Y., ÖNALP, A., KEÇELİ, A., Parsel Bazında Zemin Temel Etütleri ve Zemin İyileştirme İşleri Hakkında Yönetmelik Taslağı Ön Raporu, Afet İşleri Genel Müd., 2005
- [16] ERİNÇ, S., Sapanca Gölünün Derinlik Haritası ve Morfometrisi, Türk Coğrafya Dergisi, Sayı XI-XII, Ankara, 1949
- [17] ERKEN, A., The Role of Geotechnical Factors on Observed Damage in Adapazarı, XV ICMGE Satellite Conference on Lessons Learned from Recent Strong Earthquakes, İstanbul, 2001
- [18] ERKEN, A. ve diğ., 17 Ağustos Kocaeli Depreminde Adapazarında Oluşan Hasar Üzerinde Yerel Zemin Koşullarının Etkisi, Türk Deprem Vakfı Araştırma Projesi, Proje No: 00-AP-113,2001-2003
- [19] ERKEN, A., OKAN, R., ERDEM, A., 17 Ağustos 1999 Kocaeli Depreminde Adapazarında Yeralan Zeminlerin Davranışı, V. Ulusal Deprem Müh. Konferansı, İstanbul, 2003
- [20] ESSLER, R.D., DROOFF, E.R., and FALK, E., Compensation Grouting: Concept, Theory and Practice. Advances in Grouting and Ground Modification, ASCE, GSP No.104, pp. 1-15, 2000
- [21] GALLAVRESİ, F., ‘Grouting Improvement of Foundation Soils’ Grouting, Soil Improvement and Geosynthetics, Geotechnical Special Publication, ASCE, Vol 1, s. 1-39., 1992

- [22] GÖKÇEN, R., Sakarya ve Marmara Bölgesi, Özyürek Yayınları, İstanbul, 1990
- [23] HUNT, r. E., Geotechnical Eng. Analysis and Evaluation, 1986
- [24] İNANDIK, H., Adapazarı Ovası ve Çevresinin Joemorfolojik Etüdü, İstanbul, 1953
- [25] KASAPOĞLU, K. E., ULUSAY, R., GÖKÇEOĞLU, C., SÖNMEZ, H., BİNAL, A., TUNCAY, E., 17 Ağustos 1999 Doğu Marmara Depreminin Jeoteknik Saha İnceleme Raporu, H. Ü. Müh. Fak., Uygulamalı Jeoloji Anabilim Dalı, Ankara, 1999
- [26] KAYA, Ş., SAROĞLU, E., MUSAOĞLU, N., Depremin Neden Olduğu Ağır Hasarın Şehir Alanına Etkisinin Uzaktan Algılama Verileri ile Belirlenmesi, TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, 10. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara, 2005
- [27] KAYABALI, K., Geoteknik Deprem Mühendisliği, Ankara, 2003
- [28] KETİN, İ., Über die tectonisch-mechanischen folgerungen aus den grossen Anato-lischen Erdbeben des letzten Dezenniums, Geologie Rundsh, 36, 77-83, 1948
- [29] KİKU, H., YOSHİDO, N., YASUDA, S., IRİSAWA, T., NAKAZAWA, H., SHİMİZU, Y., ANSAL, A., ERKEN, A., In-Situ Penetration Test and Soil Profiling in Adapazarı, Turkey, XVICSMGE TC4 Satellite Conference on Lessons Learned from Recent Strong Earthquakes, İstanbul, 2001
- [30] KORALI, H. ve ERYILMAZ, M., İzmit Körfezi 'nin tektoniği. İzmit Körfezi 'nin Kuvaterner İstifi, E. Meriç (ed.), 277-283, 1995
- [31] LAHN, E., Türkiye Göllerinin Jeolojisi ve Jeomorfolojisi Hakkında Bir Tür Etüt, MTA Enst. Yayınları, Seri B, No: 12, Ankara, 1948
- [32] MERİÇ, E., Marmara Denizi Araştırmaları, Workshop-III, Deniz Jeolojisi Ulusal Araştırma Programı, Tübitak-MTA, 1997
- [33] MTA, Sakarya İlinin Çevre Jeolojisi ve Doğal Kaynakları, MTA Genel Müdürlüğü Jeoloji Etütleri Dairesi, Ankara, 1998
- [34] NALÇAKAN, M. S., Problemlili Zeminlerde Geoteknik Çözümler, Türkiye Mühendislik Haberleri, Sayı 430, 2004

- [35] NURLU, M., Batman, B., Chorowicz, J. and Genç, M.A., 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, 1995
- [36] NURLU, M., CERİT, O., 17 Ağustos 1999 Gölcük Depreminin Tektonik Konumu, Afet İşleri genel Müd. Deprem Araştırma Dairesi, Ankara, 1999
- [37] OKAN, R., Fore Kazık-Jet Groutlu Bir İksa Uygulaması, TMH, Sayı 430, 2004
- [38] OKAY, A., DEMİRBAĞ, E., KURT, H., OKAY, N., and KUŞÇU, İ., 1999, An active, deep marine strike-slip basin along the North Anatolian Fault in Turkey. *Tectonics*, 18, 129-148, 1999
- [39] PECK, W., Die Tectonischen Grundzüge Westkleinasiens, Stuttgart, 1918
- [40] PFANNENSTIEL, M., Die diluvialen Entwicklungsstadien und die Urgeschichte von Dardanellen, Marmarameer und Bosphorus, Diluvial-Geologie und Klima, Geologische Rundschau, Band 3/4, Helf 7/8, Stuttgart, 1944
- [41] RISH, C., Der Sabandjasee und Seine Umgebund, Gotha, 1909
- [42] SAĞLAMER, G. ve diğ., 17 Ağustos 1999 Kocaeli Depremi, İTÜ Ön Değerlendirme Raporu, 1999
- [43] SAITO, A., Characteristics of penetration resistance of a reclaimed sandy deposit and their change through vibratory compaction. *Soils and Foundations*, 17, 32-43, 1977
- [44] SAKINÇ, M. ve BARGU, S., İzmit Körfezi güneyindeki Geç Pleyistosen (Tireniyen) çökel stratigrafisi ve bölgenin neotektonik özellikleri. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 32(1-2), 51-64, 1989
- [45] SEYMEN, İ., Kelkit vadisi kesiminde Kuzey Anadolu Fay zonunun tektonik özelliği, İTÜ maden fakültesi yayını, 192 s., 1975
- [46] SİPAHİOĞLU, S., Kuzey Anadolu fay zonu ve çevresinin deprem etkinliğinin incelenmesi, *Deprem Araştırma Bülteni*, Ankara, 45, 5-138., 1984

- [47] SÜNBL, A. B., Adapazarı Zeminlerinde Sıvılaşma Unsurlarının Belirlenmesi ve Sıvılaşmanın Önlenebilmesi için Çözümler Geliştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, SAÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2004
- [48] ŐAROĐLU, F., Age and offset of the North Anatolian fault, METU journal of pure and applied sci., 21, 1-3, 65-79 p, 1988
- [49] TANİMOTO, K., Introduction to the Sand Compaction Pile Method as Applied to Stabilization of Soft Foundation Grounds. Division of Applied Geomechanics, GSİRO, Technical Report No.16, Australia, 1973
- [50] TATAR, Y., Tectonic structures along North Anatolian fault zone, Northeast of Refahiye (Erzincan), Tectonophysics, 29, 401-409, 1975
- [51] TCHIHATCHEFF, P., Asie Mineure, Geologie, I, II, III, Paris, 1867-1869
- [52] TENGÖR, A.M.C., GÖRÜR, N. and TARODLU, F., 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, 1985
- [53] TEXIER, C., Asie Mineure, Paris, 1862
- [54] TOKAY, M., Kuzey Anadolu Fay zonunun Gerede ile Ilgaz arasındaki kısmında jeolojik gözlemler, Kuzey Anadolu fayı ve deprem kuşağı simpozyumu, Ankara, 12-29, 1973
- [55] TSE, İnşaat Mühendisliğinde Zeminlerin Sınıflandırılması, TS 1500, Ankara, 2000
- [56] TSUKAMATO, Y., ISHİHARE, K., NAKAZAWA, H., YASUDA, S., HORİE, Y., Soil Properties of the Deposits in Adapazarı from Laboratory Tests, XV ICSMGE TC+ Satellite Conference on Lessons Learned from Recent Strong Earthquakes, İstanbul, 2001
- [57] TUNÇDEMİR, F., Temel Zeminlerinin Enjeksiyonla İyileştirilmesi, Türkiye Mühendislik Haberleri, Sayı 430, 2004
- [58] TUROĞLU, H., Zemin Sıvılaşmasının 17 Ağustos 1999 Depreminde Adapazarındaki Hasara Etkisi, İST. ÜNİ., Edebiyat Fak., Coğrafya Bölümü, Coğrafya Dergisi, Sayı 12, İstanbul, 2004

- [59] WARNER, J., ve BROWN, D.R., 'Planning and Performing CompactionGrouting', Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, Vol 100, No. GT6, s. 653-666, 1974
- [60] <http://tr.wikipedia.org/wiki/sakarya>
- [61] www.adapazari.bel.tr/galeri.php?pid=270&uk=13&ak=43&uk2=32
- [62] www.adptso.org.tr/atso/sakarya.asp?Icerik=Genel
- [63] www.angelfire.com/ne/rastgele/harita.html
- [64] www.atso.org.tr/dergi/agust7.htm
- [65] www.cedgm.gov.tr/10yildaced/e_harita_iller_uydu/1sakarya1.jpg
- [66] www.civilturk.com/default.asp?PG=196
- [67] www.civilturk.com/default.asp?PG=177
- [68] www.mta.gov.tr/deprem/abaf.asp
- [69] www.deprem.gov.tr/depbolge/sakarya.gif
- [70] www.deprem.gov.tr/rapor/sekil/sekil3.jpg
- [71] www.deprem.gov.tr/rapor/rapor.htm
- [72] www.dsi.gov.tr/cocuk/tricold/gokcekaya
- [73] www.fotografalarisi.net/details.php?image_id
- [74] www.geotechnics.com/vdinstall.htm
- [75] www.geotechnics.com/vertical.htm
- [76] www.hidro.hacettepe.edu.tr/duyurular/hid351F12HLD/zamanced.jpg
- [77] www.imtek.com.tr/webtr/zeminkons.htm

- [78] www.imtek.com.tr/webuk/services.htm
- [79] www.insaatforumu.com/forum
- [80] www.istanbulteknik.com/2002/orgusuz.html
- [81] www.kiptas.com.tr
- [82] www.marmaraplastik.net/TR/geomembran.asp
- [83] www.mta.gov.tr/deprem/abaf.asp
- [84] www.mta.gov.tr/deprem/afet.asp
- [85] www.mta.gov.tr/deprem/can.asp
- [86] www.mta.gov.tr/deprem/zemin.asp
- [87] www.mta.gov.tr/deprem/zemin.jpg
- [88] www.shcek.gov.tr/portal/dosyalar/turkiye/sakarya.gif
- [89] www.sakaryayenigun.com/images/harita.jpg
- [90] www.sakaryaemniyet.gov.tr/sakarya/idari/harita.jpg
- [91] www.sakaryapolis.gov.tr/sakarya/cograficografya.asp
- [92] www.sakarya.pol.tr/deprem/resimler/resim.asp
- [93] www.sanalgazete.com.tr/gazete/vol04no04/s09/m01.htm
- [94] www.sanayitesisleri.com/vibrokompaksiyon.asp
- [95] www.sanayitesisleri.com/sondajkaziklar.asp
- [96] www.sistek2000.com/aplication_id1.html
- [97] www.sistek2000.com/product_id10.html

- [98] www.temelkon.com.tr/faaliyetler.html
- [99] www.temeltas.com.tr/cal.konu/forekazik/im-010.jpg
- [100] www.temeltas.com.tr/cal.konu/forekazik/im-006.jpg
- [101] www.temeltas.com.tr/cal.konu/forekazik/im-004.jpg
- [102] www.temeltas.com.tr/cal.konu/jetgrout/img009.jpg
- [103] www.temeltas.com.tr/cal.konu/zemin_ci.htm
- [104] www.temeltas.com.tr/tur.main.htm
- [105] www.temeltas.com.tr/cal.konu/zem-civi/img006.jpg
- [106] www.temeltas.com.tr/cal.konu/zem-civi/img008.jpg
- [107] www.temeltas.com.tr/cal.konu/jet.htm
- [108] www.zemintas.com.tr/10_katalog.pdf
- [109] www.zeminmuhendislik.com/forekazik.htm

EKLER

EK A PİLOT BÖLGELERDEKİ YIKIMLARA AİT DEPREM RESİMLERİ



EK A.1. Adnan Menderes Caddesi -1



EK A.2. Adnan Menderes Caddesi-2



EK A.3. Bulvar-1



EK A.4. Bulvar-2



EK A.5. Çark Caddesi-1



EK A.6. ark Caddesi-2



Ek A.7. Sedat Kirtatepe Caddesi-1

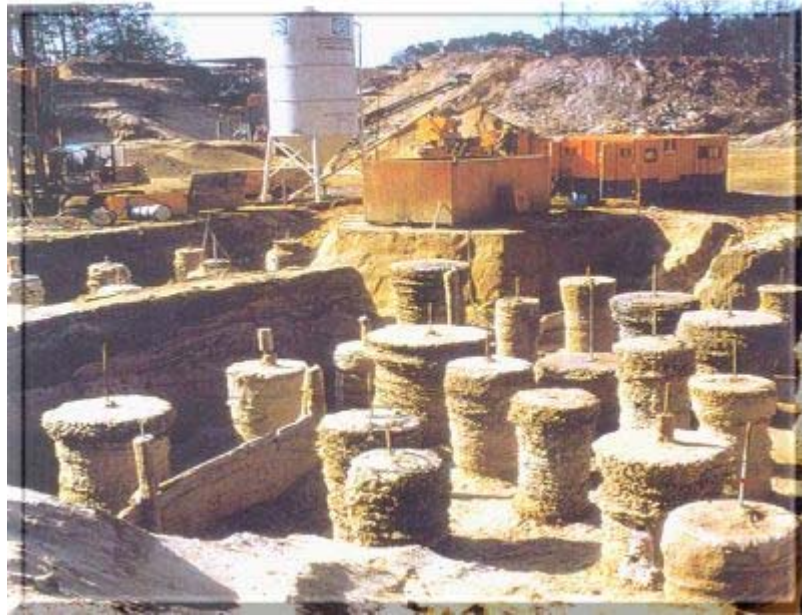


EK A.8. Sedat Kirtatepe Caddesi-2

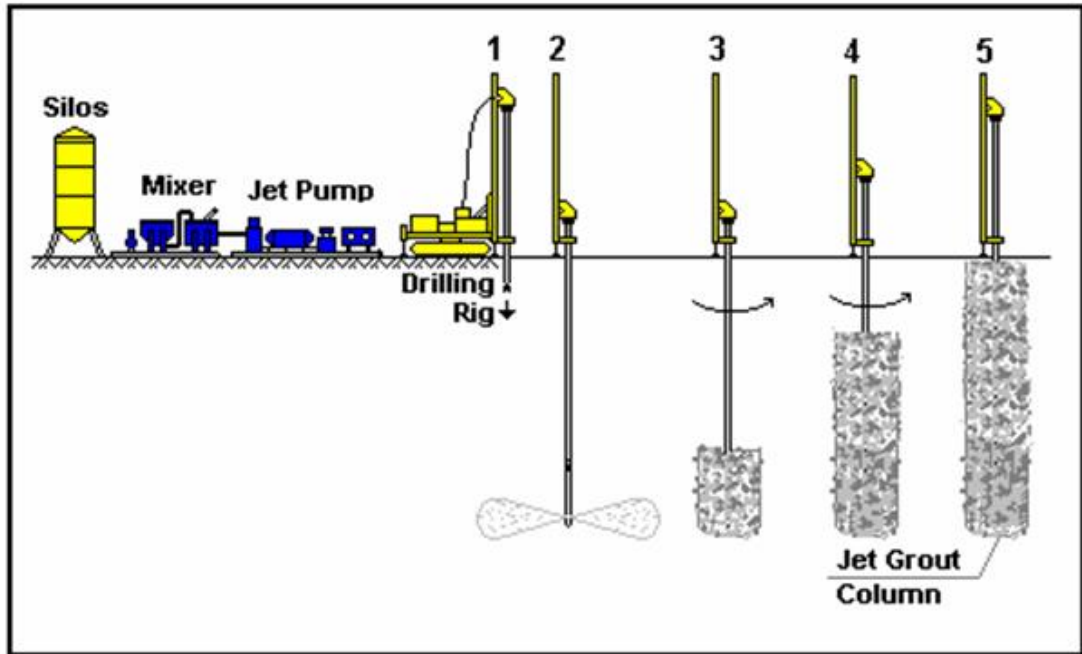
EK B ZEMİN İYİLEŞTİRMELERİ İLE İLGİLİ RESİMLER



EK B.1. Jet Grout Nozzlelarından Çıkan Su Jeti Görünümü



EK B.2. Jet Grout kolonları



EK B.3. Jet grout yapımının şematik görünümü



EK B.4. Zemin çivisi yöntemi için delme işlemi



EK B.5. Deliklerin enjeksiyonla temizlenmesi



EK B.6. Donatının deliklere yerleştirilmesi

ÖZGEÇMİŞ

Ertuğrul ÖZTÜRK 13.11.1979 yılında Adapazarı' nda doğmuştur. İlk orta ve lise öğrenimini Adapazarı' nda tamamlamıştır. 1997 yılında Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü' nde lisans eğitimini almaya hak kazanmıştır. 2002 yılında lisans eğitiminden mezun olmuştur. 2004 yılında Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Geoteknik Bilim Dalı' nda yüksek lisansa başlamıştır. Halen özel bir şirkette çalışmaktadır.