

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ* FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**GÖLCÜK VE ÇEVRESİNİN SIVILAŞMA POTANSİYELİNİN
DEĞERLENDİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS

Jeoloji Müh. Gülnur KOÇ

Anabilim Dalı : Jeoloji Mühendisliği

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Ahmet KARAKAŞ

KOCAELİ, 2007

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ* FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**GÖLCÜK VE ÇEVRESİNİN SIVILAŞMA POTANSİYELİNİN
DEĞERLENDİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS

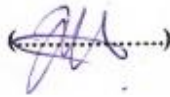
Jeoloji Müh. Gülnur KOÇ

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 04 Haziran 2007

Tezin Savunulduğu Tarih: 24 Ağustos 2007

Tez Danışmanı

**Yrd.Doç.Dr. Ahmet
KARAKAŞ**



Üye

**Yrd.Doç.Dr. Özkan
CORUK**



Üye

**Prof. Dr. Süleyman
DALGIÇ**



KOCAELİ, 2007

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR

Türkiye’ de ve dünyada meydana gelen büyük depremler, deprem kaynaklı hasarların en aza indirgenmesi açısından zeminlerin deprem yükleri altındaki davranışlarının incelenmesi ve iyi tanımlanması gerekliliğini ortaya koymuştur. Deprem sonrası meydana gelen hasarların en önemli nedenlerinden biri olan zemin sıvılaşması, Türkiye’ de 17 Ağustos 1999 Kocaeli Depremi ile daha da önem kazanmıştır. Bu çalışma kapsamında Gölcük ve çevresi için sıvılaşma analizi yapılmıştır. Zemin bileşenleri açısından değerlendirildiğinde Gölcük sıvılaşma potansiyeli taşıyan birimlerin bulunduğu bir yerleşim alanıdır.

Bu amaçla, Gölcük ve çevresi için yaptığım sıvılaşma analizi, değerlendirmeleri ve haritalama çalışmalarımın her aşamasında yardımlarını gördüğüm, bilgi ve önerileriyle beni yönlendiren danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Ahmet KARAKAŞ’ a ve sayın hocam Yrd. Doç. Dr. Özkan CORUK’ a teşekkür ederim

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER.....	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iv
TABLolar DİZİNİ.....	v
SİMGELER ve KISALTMALAR.....	vi
ÖZET.....	viii
ABSTRACT.....	ix
BÖLÜM 1. GİRİŞ.....	1
1.1. İnceleme Alanı.....	2
1.2. İncelemenin Amacı.....	3
1.3. Önceki İncelemeler.....	3
1.3.1. Ulusal düzeyde yapılan incelemeler.....	3
1.3.2. Uluslararası düzeyde yapılan incelemeler.....	5
BÖLÜM 2. GENEL JEOLojİ VE TEKTONİK KONUM.....	7
2.1. Bölgesel Jeoloji.....	7
2.2. İnceleme Alanı Jeolojisi.....	9
2.2.1. Paleozoyik yaşlı metamorfitleler (Pm).....	9
2.2.2. Bakacak formasyonu (Kb).....	12
2.2.3. İncebel formasyonu (Ti).....	12
2.2.4. Sarısu volkanitleri (Ts).....	12
2.2.5. Arslanbey formasyonu (Ta).....	13
2.2.6. Alüvyon (Qal).....	13
2.3. Bölgenin Tektonik Özellikleri.....	14
2.4. Bölgenin Deprenselliği.....	18
BÖLÜM 3. ZEMİNLERİN GENEL MÜHENDİSLİK ÖZELLİKLERİ.....	24
3.1. Kıvam (Atterberg) Limitleri.....	25
3.2. Rölatif Sıkılık (Dr).....	27
3.3. Porozite (n) ve Permeabilite.....	28
3.4. Tane Boyu Dağılımı, Tane Şekli ve Derecelenme.....	28
3.5. Dayanım.....	29
BÖLÜM 4. ZEMİNLERİN DİNAMİK YÜKLER ALTINDAKİ DAVRANIŞLARI.....	30
4.1. Sıvılaşma.....	31
4.1.1. Sıvılaşmaya etki eden faktörler.....	31
4.1.1.1. Zemin parametreleri.....	31
4.1.1.2. İvme ve sismik enerji.....	33
4.1.1.3. Yeraltı su seviyesinin konumu.....	33
4.1.1.4. Tarihsel ölçütler.....	33
4.1.2. Sıvılaşma türleri.....	33
4.1.2.1. Akma türü sıvılaşma.....	34
4.1.2.2. Devirsel hareketlilik.....	34
4.2. Oturma.....	36

4.3. Kayma.....	37
4.4. Sıvılaşma Potansiyeli Olan Zeminlerin İyileştirilme Yöntemleri.....	37
BÖLÜM 5. İNCELEME ALANI ZEMİNLERİNİN MÜHENDİSLİK	
ÖZELLİKLERİ	39
5.1. Gölçük yerleşim alanı zeminleri mühendislik özellikleri.....	39
BÖLÜM 6. STANDART SIVILAŞMA ANALİZ YÖNTEMİ.....	42
6.1. Standart Sıvılaşma Analizi.....	42
6.2. Analizde Kullanılan Veriler.....	42
6.2.1. Çevrimsel gerilme oranı (CSR).....	43
6.2.2. Çevrimsel dayanım oranı (CRR).....	44
6.2.2.1. SPT darbe sayısının düzeltilmesi.....	44
6.2.2.2. SPT değerleri için ince tane düzeltmesi.....	46
6.2.2.3. CRR _{7.5} değerinin hesaplanması.....	46
6.2.2.4. Güvenlik faktörü (FS).....	47
6.2.3. Oturma hesapları.....	47
6.2.3.1. Doymun zeminlerde oturma hesapları.....	47
6.2.3.1.1. Tokimatsu and Seed (1987) yöntemi.....	47
6.2.3.1.2. Ishihara and Yoshimine (1992) yöntemi.....	49
6.2.3.2. Kuru kumlarda oturma hesapları.....	50
6.2.3.3. Toplam oturma hesabı.....	53
BÖLÜM 7. SIVILAŞMA ANALİZİ SONUÇLARI VE CBS' DE	
DEĞERLENDİRİLMESİ.....	54
7.1. Bu Çalışmada CBS.....	57
SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	62
KAYNAKLAR.....	64
ÖZGEÇMİŞ.....	67

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1.	İnceleme Alanı Yer Bulduru Haritası.	2
Şekil 2.1.	İnceleme Alanı Jeoloji Haritası (M.T.A. 1986' dan değiştirilerek).	10
Şekil 2.2.	İnceleme alanının jeolojik kesiti	11
Şekil 2.3.	İnceleme Alanının Stratigrafik Kesiti.	15
Şekil 2.4.	Marmara Bölgesi' nin neotektonik haritası (Barka, 1997' den değiştirilerek).	16
Şekil 2.5.	Marmara Bölgesi' nin İzmit ve Düzce Depremlerinde meydana gelen yüzey kırıklarını gösteren Tektonik Haritası (Seismological Society of America, 2002).	18
Şekil 2.6.	1939 yılından itibaren KAF boyunca meydana gelmiş depremler (Seismological Society of America, 2002).	19
Şekil 2.7.	Kuzey Anadolu Fay Zonu' nun etkisi altında bulunan Marmara Bölgesi' nde meydana gelen 1943, 1963, 1967 ve 1999 Depremlerinde yüzey kırıklarını gösteren harita (Seismological Society of America, 2002).	20
Şekil 2.8.	1900-1999 yılları arasında $M \geq 5.0$ depremlerin episantır dağılımları (Afet İşleri Genel Müdürlüğü Deprem Araştırma Dairesi Başkanlığı, 2000).	23
Şekil 3.1.	Zemini meydana getiren üç bileşen.	25
Şekil 4.1.	En kolay sıvılaştıran ve potansiyel sıvılaştıran eğilimine sahip zeminler için tane boyu dağılım aralıkları (Ulusay, 2000).	32
Şekil 4.2.	17 Ağustos 1999 depremi sonrasında zeminde meydana gelen taşıma gücü kaybı (JMO, Sıvılaşma Semineri).	35
Şekil 4.3.	Niigata depremi sonrası sıvılaşmadan dolayı binalarda yan yatmalar (JMO, Sıvılaşma Semineri).	36
Şekil 6.1.	CSR ve düzeltilmiş SPT değerlerine göre hacimsel deformasyonlar.	48
Şekil 6.2.	Sıvılaşma sonrası hacimsel değişim ile güvenlik katsayısı arasındaki ilişki (Ishihara and Yoshimine, 1992).	49
Şekil 6.3.	Kesme deformasyon grafiği (Tokimatsu and Seed, 1987).	51
Şekil 6.4.	Hacimsel deformasyon grafiği (Tokimatsu and Seed 1987).	52
Şekil 6.5.	Manyetüd düzeltme faktörü.	52
Şekil 7.1.	ArcGIS Desktop yazılımları	57
Şekil 7.2.	Sondaj kuyularının inceleme sahası içindeki dağılımları.	60
Şekil 7.3	İnceleme sahası içindeki kuyuların sıvılaşma potansiyelleri ve toplam oturma eğrileri.	61

TABLULAR DİZİNİ

Tablo 2.1.	1939 tarihinden itibaren meydana gelmiş magnitüdü 7.0' dan büyük olan depremler.	19
Tablo 2.2.	İzmit ve civarında şiddetleri VI ve daha büyük olan tarihsel depremler.	22
Tablo 3.1.	İnce taneli zeminlerin LL değerlerine göre plastiklik sınıfları.	26
Tablo 3.2.	İnce taneli zeminlerin PI değerlerine göre plastiklik sınıfları (IAEG, 1981).	26
Tablo.3.3.	İnce taneli zeminlerin kıvamlilik indeksi değerlerine göre plastiklik sınıfları (IAEG, 1981).	27
Tablo.3.4.	Relatif sıklığa göre zeminlerin sınıflandırılması (Seed and Idriss,1981).	28
Tablo.3.5.	İnce taneli zeminlerin serbest basınç dayanım sınıfları (IAEG, 1981).	29
Tablo 5.1.	Gölcük yerleşim alanındaki ince taneli zeminlerin mühendislik özellikleri	40
Tablo 5.2.	Gölcük yerleşim alanındaki iri taneli zeminlerin mühendislik özellikleri	40
Tablo.6.1.	SPT N_{30} değerlerine uygulanan düzeltmeler (Youd and Idriss, 1997).	45
Tablo 7.1.	Sıvılaşma potansiyeli olan kuyular ve sıvılaşma derinlikleri.	55
Tablo 7.2.	Sıvılaşma Analiz Sonuçları Özeti.	56

SİMGELER ve KISALTMALAR

a_{max}	= Maksimum Yatay Yer İvmesi (g)
CH	= Yüksek Plastisiteli Kil
CL	= Düşük Plastisiteli Kil
C_n	= Üst Tabaka Yüğü Düzeltme Katsayısı
C_e	= Çekiç Enerji Oranı Düzeltme Faktörü
C_b	= Kuyu Çapı Düzeltme Faktörü
C_r	= Tij Boyu Düzeltme Katsayısı
C_s	= Numune Alma Metodu Düzeltme Katsayısı
CSR	= Çevrimsel Gerilme Oranı
CRR	= Çevrimsel Dayanım Oranı
Dr	= Rölatif Sıklık
D_{50}	= Zeminlerin Ortalama Tane Boyu
d_z	= Zemin Tabakasının Kalınlığı
e_{max}	= Zeminin En Gevşek haldeki boşluk oranı
e_{min}	= Zeminin En Sıkı Haldeki Boşluk Oranı
e_n	= Zeminin Herhangi Bir Durumdaki Boşluk Oranı
FC	= İnce Tane Oranı
FS	= Güvenlik Faktörü
G_{eff}	= Kesme Deformasyonu
G_{max}	= Kayma Modülü
GP	= Kötü Derecelenmiş Çakıl
K_0	= Yatay Yer Basınç Katsayısı
LL	= Likit Limit
M_s	= Yüzey Dalgası Manyetüdü
M_w	= Moment Magnitüdü
n	= Porozite
PI	= Plastisite İndisi
PL	= Plastik Limit
q_{cl}	= CPT Düzeltilmiş Uç Direnci
q_u	= Serbest Basınç Dayanımı
r_d	= Gerilme Azaltım Katsayısı
S_{doygun}	= Suya Doygun Zemindeki Oturma
S_{kuru}	= Kuru Zemindeki Oturma
SK	= Sondaj Kuyusu
SM	= Siltli Kum
SPT N₃₀	= Standart Penetrasyon Testi Vuruş Sayısı
w_n	= Kıvam indisi tanımlanacak zeminin su muhtevası
V_s	= Kayma Dalgası Hızı
γ_n	= Birim Hacim Ağırlığı
σ_{vo}	= Toplam Düşey Gerilme
σ'_{vo}	= Efektif Düşey Gerilme
σ_s	= Statik Durumda Boşluk Suyu Basıncı

σ_a	= Dinamik Durumda Boşluk Suyu Basınç Fazlalığı
BAFZ	= Batı Anadolu Fay Zonu
BPT	= Becker Penetration Test
CBS	= Coğrafi Bilgi Sistemi
CPT	= Conic Penetration Test
CRR	= Cyclic Resistance Ratio
CSR	= Cyclic Stres Ratio
DAFZ	= Doğu Anadolu Fay Zonu
DSİ	= Devlet Su İşleri
EJGE	= Electronic Journal of Geotechnical Engineering
ESRİ	= Environmental Systems Research Institute
GIS	= Geographical Information System
IAEG	= International Association Engineering Geologist
KAFZ	= Kuzey Anadolu Fay Zonu
M.Ö.	= Milattan Önce
M.S.	= Milattan Sonra
M.T.A.	= Maden Tetkik ve Arama
NCEER	= National Center For Earthquake Engineering Research
PEER	= Pacific Earthquake Engineering Research Center
SPT	= Standart Penetration Test
USCS	= Unified Soil Classification System
YAS	= Yeraltı suyu

GÖLCÜK VE ÇEVRESİNİN SIVILAŞMA POTANSİYELİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Gölnur Koç

Anahtar Kelimeler: Gölcük, Sıvılaşma, Liquefypro

ÖZET: Bu çalışma kapsamında Gölcük ve çevresinin deprem kaynaklı sıvılaşma potansiyeli değerlendirilmiştir. Gölcük ve çevresi için sıvılaşma analizleri ve değerlendirmeleri yapılmadan önce inceleme alanı ile ilgili ve zemin sıvılaşması konusundaki mevcut kaynaklar incelenmiş ve çalışma kapsamında sunulmuştur. Bölgenin jeolojisinin yanı sıra tektoniği ve depremselliği değerlendirilmiştir. Bu çalışmada Gölcük Belediyesi tarafından Pliyosen yaşlı Arslanbey Formasyonu (Ta) ve Alüvyon (Qal) zemin üzerinde açtırılan toplam 39 sondaj kuyusunun verilerinden, arazi ve laboratuvar deney verilerinden faydalanılmıştır. Sıvılaşma potansiyelinin değerlendirildiği bu çalışmada ilk olarak sıvılaşabilir zeminlerin varlığı üzerinde durulmuştur. Bu çalışmada inceleme alanı içerisindeki bütün formasyonlar değerlendirilmiş ve litolojileri göz önüne alındığında Arslanbey Formasyonu (Ta) ve Alüvyon' un (Qal) hakim olduğu alanların, zemin sıvılaşma tehlikesinin bulunduğu alanlar oldukları tespit edilmiştir. Formasyonlar ve litolojileri, hidrojeolojik koşullar zemin sıvılaşmasının değerlendirilmesinde bize yol göstermiştir. Kohezyonsuz zeminlerin sıvılaşma potansiyeli analizleri için Seed and Idriss (1971) tarafından geliştirilen Standart Sıvılaşma Yöntemi uygulanmıştır. Sıvılaşma analizleri, Standart Sıvılaşma Analiz yöntemini esas alan LiquefyPro (CivilTech 2002) bilgisayar programı kullanılarak yapılmıştır. Toplam 39 tane sondaj kuyusundan 20 tanesinde sıvılaşma potansiyeli tespit edilmiştir. Sıvılaşmaya bağlı olarak meydana gelen toplam oturma miktarı 1.41 cm ile 35.05 cm arasında değişmektedir. Kullanılan program ve sıvılaşma potansiyelinin belirlenmesinde kullanılan yöntem çalışma içerisinde açıklanmıştır. Son olarak çalışma kapsamında, sıvılaşma analizleri sonuçları ArcGIS ortamına aktarılmış, Gölcük için ArcGIS ortamında sıvılaşma potansiyeli haritası hazırlanmıştır.

ASSESSMENT OF LIQUEFACTION POTENTIAL OF GÖLCÜK AREA

Gölnur Koç

Keywords: Gölcük, Liquefaction, LiquefyPro

ABSTRACT: In this study, liquefaction potential of Gölcük area induced by earthquake was evaluated. Before liquefaction analysis and evaluation of results for Gölcük area, available studies related to Gölcük area and liquefaction analysis was researched and presented in this study. In addition to geology, tectonic and geodynamic features of study area were evaluated. In this study, datas of 39 boring drilled by Gölcük Municipality over the Alluvium (Qal) soils and Arslanbey Formation (Ta), datas of field and laboratory tests were used. In this study, all of formations existing over the study area were examined and it was determined that the areas consisting of Arslanbey Formation (Ta) and Alluvium (Qal) had a potential of soil liquefaction.. For this study of evaluation of liquefaction potential, firstly it was focused on determining liquefiable soils. Formations and their lithology, hydrogeological conditions guided us for the assesment of liquefaction potential. 39 borings drilled by Gölcük Municipality over the non-cohesive soils in order to evaluate liquefaction potential of non-cohesive soils. In this study, Standart Liquefaction Analyses method proposed by Seed and Idriss (1971) were used. Liquefaction analyses were run by LiquefyPro (CivilTech 2002) computer program based on Standart Liquefaction Analyses method. Analysis indicated that 21 out of 39 boreholes carry liquefaction potential. Calculated total settlements vary from 1.41 cm to 35.05 cm. Liquefaction Analysis program used in this study and method of liquefaction analysis was told. At the end of this study, results of liquefaction potential analysis were imported to GIS (Geological Information System). Liquefaction potential map was prepared for Gölcük area and presented in this study.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Depremlerin neden olduğu tekrarlı yükler, zeminlerde denge halinin bozulmasına yol açar. Zeminlerin tekrarlı gerilmeler karşısında gösterdiği davranışlar, zeminin fiziksel özelliklerine ve depremin karakteristiğine bağlıdır. Zeminler, zeminin türü ve özelliklerine göre tekrarlı yükler altında farklı dinamik davranış ve gerilme-yer değiştirme özellikleri gösterir. Buna göre, tekrarlı yüklerin her zemin cinsinde farklı boyutlarda deformasyonlara yol açtığı söylenebilir.

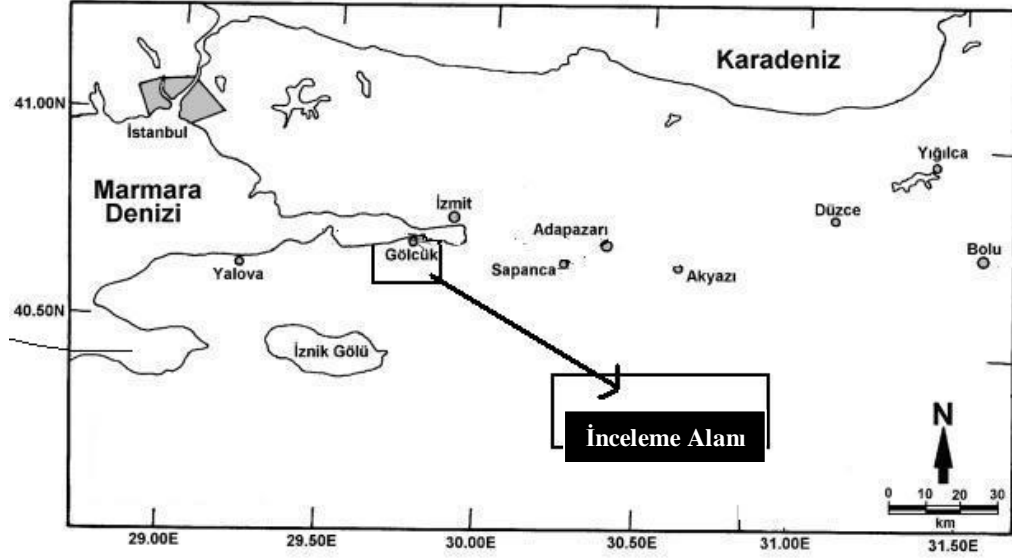
Tekrarlı yüklerin zeminlerde meydana getirdiği dinamik etkinin anlaşılması, depremler sırasında meydana gelebilecek can ve mal kayıplarının önüne geçilmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Zeminlerde depremler sırasında oluşan sismik dalgalar, yine zeminin cinsine bağlı olarak farklı hızlarda yayılır ve zeminde farklı etkiler yaratırlar. Bu sismik dalgaların genliği ve frekansı da zeminin davranışının açıklanması açısından büyük önem taşır.

Türkiye, tektonik açıdan aktif bir bölgede yer almaktadır. Son yıllarda meydana gelen depremler, özellikle de Kocaeli 1999 depremi Türkiye' nin bir deprem ülkesi olduğunu ve atılacak her bir temel için bu gerçeğin göz ardı edilmemesi gerektiğini ortaya koymuştur. Uygun olmayan zemin koşulları ve bu zeminlere göre tasarlanmamış yapılar, deprem esnasında ağır maddi ve manevi kayıplara neden olmaktadır.

Depremler sonucu meydana gelen zemin sıvılaşması, zemin oturması, yamaç ve şevlerin duraylılıklarının bozulması, yanal yayılmalar alt ve üst yapılarda büyük hasarlara neden olabilmektedir. Bu nedenle yerleşim alanları planlanmadan önce, düşünülen alanlar için deprem riskleri gözden geçirilmeli ve bu amaçla zemin koşulları incelenmelidir.

1.1. İnceleme Alanı

Çalışma alanı 1/5000 ölçekli Gölcük G-23C-c1 ve G-23C-c2 paftalarının kapsadığı alan içindedir. 1/5000 ölçekli Gölcük G-23C-c1 ve G-23C-c2 paftaları birleştirilerek tek bir pafta haline getirilmiştir. Şekil 1.1’ de Gölcük’ ün yer bulduru haritası gösterilmektedir.



Şekil 1.1. İnceleme alanı yer bulduru haritası

İnceleme alanı içerisinde İzmit-Karamürsel-Yalova (D-130) karayolu geçmektedir. İzmit- Karamürsel-Yalova karayolunun kuzeyinde topoğrafik eğimler % 5’ ten az, güneyinde kalan alanlarda ise % 5- 40 arasında değişmektedir.

İnceleme alanı içerisindeki en önemli drenaj hatları genellikle güney-kuzey doğrultusu boyunca akış göstermektedir. Drenaj hatları bölgede yapısal hatların denetiminde gelişmiştir. Selimiye (Kazıklı) Deresi ve Kuru Dere sürekli akış göstermektedir.

İnceleme alanı içerisinde gözlenen jeolojik birimlerin yapısal ve litolojik ilişkilerini ortaya koymak ve zeminin mühendislik özelliklerini belirlemek amacıyla Gölcük Belediyesi tarafından sahanın değişik kesimlerinde 39 adet sondaj kuyusu açtırılmıştır. Çalışma kapsamında Gölcük Belediyesi’ nin yaptırdığı sondaj çalışmalarının raporlarından faydalanılmıştır.

1.2. İncelemenin Amacı

İncelemenin amacı genel olarak, Gölcük ve çevresini kapsayan inceleme alanı için zeminlerin mühendislik özelliklerini ortaya koymak ve deprem esnasında gösterdiği dinamik davranışlardan biri olan sıvılaşma problemi için sıvılaşma potansiyeli analizleri yapmaktır.

Zeminin mühendislik özellikleri, o zeminin deprem esnasında göstereceği davranışı belirlemektedir. Sıvılaşma potansiyelinin değerlendirilebilmesi için bölgenin jeolojisi, tektonik özellikleri, depremsellığı, zeminlerin mühendislik özellikleri gibi birçok faktör hakkında bilgi sahibi olunması gerekir. Bu çalışma kapsamında daha önce inceleme alanı içerisinde açılmış sondaj verileri kullanılarak zeminlerin deprem sırasında çevrimsel gerilmelerle olan ilişkileri ortaya konmaya çalışılmıştır.

1.3. Önceki İncelemeler

Gerek inceleme alanı ile gerekse çalışma konumuzla ilgili olan önceki çalışmalar araştırılıp bu kısımda derlenmiştir. İnceleme alanı ile ilgili daha önce yapılan çalışmalardan bölgenin jeolojisinin ve tektonik konumunun açıklanmasına yönelik olarak faydalanılmıştır.

1.3.1. Ulusal düzeyde yapılan incelemeler

Ulusal düzeyde yapılan incelemeler başlığı altında, çalışma alanı ve çalışma konusu ile ilgili elde edilen mevcut kaynaklar değerlendirilmiştir.

Çetin ve Unutmaz (2004) sismik zemin davranışı ve zemin sıvılaşması konusunu çalışmışlardır. Çalışmalarında söz konusu zeminde sıvılaşma potansiyelinin olup olmadığı mevcut yükler altında sıvılaşıp sıvılaşmayacağını değerlendirmişlerdir.

Göncüoğlu vd. (1986) inceleme alanını da içine alan Armutlu Yarımadası' nın doğu kesiminin jeolojisini çalışmıştır. Yine aynı şekilde inceleme alanını kapsayan İzmit

Körfezi ve çevresinin jeolojisini araştıran Seymen (1995)' in çalışmasından ve Emre vd. (1998) tarafından yapılan Doğu Marmara Bölgesi' nin Neojen-Kuvaterner' deki evrimi çalışmalarından bölgenin jeolojisinin tanıtılması konusunda faydalanılmıştır.

Erken ve Ülker (1994) Erzincan (1992) depreminde Ekşisu bölgesinde yaptıkları çalışmada siltli ve kumlu zeminlerin deprem esnasındaki davranışlarını incelemişlerdir. Örselenmemiş zemin numuneli üzerinde dinamik basit kesme deneyleri yapmışlardır.

145 kişinin hayatını kaybettiği ve yapılarda büyük hasarlara neden olan 1998 Adana-Ceyhan (Türkiye) Depremi sonrası Ulusay vd. (2000) tarafından güncel Halosen ökellerinin hakim olduğu bölgede sıvılaşmaya duyarlılık analizleri yapılmış, sıvılaşan ve sıvılaşmayan zemin tabakalarının karakteristikleri araştırılmıştır. Sıvılaşma duyarlılığının değerlendirilmesi çalışmalarında jeoteknik data ve sismik parametreleri kullanan bilgisayar modeli "Liquefac" geliştirilmiştir.

Ulusay vd. (2000) Türkiye' de son depremlerde gözlenen sıvılaşma olgusunu incelemiş ve Ege Bölgesi' nde sıvılaşma potansiyeli için genel bir değerlendirme yapmışlardır.

Konak, M. (2002) yüksek lisans tezinde Gölcük-Değirmendere (Kocaeli) bölgesinde 17 Ağustos 1999 Depremi' nde oluşan yapı hasarlarına zemin özelliklerinin etkisini çalışmıştır. Hasarların ve yıkımların biçimlerini incelemiştir.

Sönmez (2003) sıvılaşmaya yatkın sahalar için sıvılaşma duyarlılık haritalarının çıkarılmasına yönelik çalışma yapmıştır. Marmara Bölgesi' nde yer alan İnegöl (Turkey) için bir vaka incelemesi niteliğinde olan bu çalışmasında Sönmez (2003) daha önce ileri sürülen sıvılaşma indeksleri ve bu indekslere karşılık gelen kategorilerin eksiklerini gidermeye yönelik araştırmalar yapmış ve bunları derlemiştir.

Ulusay ve Aydan (2003) tarafından Bingöl Depreminin karakteristiği ve mühendislik jeolojisi özellikleri çalışılmıştır. Sıvılaşma görülen üç lokasyonda açılan sondaj

kuyularından elde edilen verilerden yararlanılarak sıvılaşmaya neden olan etkenleri araştırmışlardır.

Ündül ve Gürpınar (2003) tarafından Çokal (Gelibolu) Vadisi' ndeki alüvyal zeminlerin sıvılaşma potansiyeli değerlendirilmiştir. Araştırma amaçlı açılmış sondaj kuyularından elde edilen verilerini kullanarak sıvılaşma potansiyeli belirlemişlerdir. Bu çalışmalarında Ündül ve Gürpınar (2003) LiquefyPro sıvılaşma analiz programını kullanmışlardır.

Erken ve diğ. (2004) tarafından depremler sırasında zeminlerin sıvılaşması ve taşıma gücü kayıpları konusu çalışılmıştır. Erken ve diğ. (2004) bu çalışmalarında, öncelikle kum, silt ve killerin deprem yükleri altında nasıl bir davranış göstereceği üzerinde durmuşlardır. İkinci aşamada düşük plastisiteli siltler ile kumların sıvılaşma analizinin nasıl yapılacağı gösterilmiştir. Son aşamada ise plastik silt ve killerin dinamik yükler altında yumuşaması sonucu taşıma güçlerinin nasıl etkilendiği açıklanmıştır.

Karakaş, A. (2005) doktora tezinde İzmit havzası genç çökellerinin deprem esnasındaki davranışlarını incelemiştir. Tezinde çeşitli sıvılaşma analiz yöntemlerini açıklamış ve bu yöntemleri kendi çalışma sahası için uygulamıştır.

1.3.2. Uluslararası düzeyde yapılan incelemeler

Uluslararası incelemeler, sıvılaşma analiz yöntemleri ve sıvılaşma nedenlerini araştırmaya yönelik çalışmalardır. Sıvılaşma konusunda daha önce yapılmış ulusal düzeydeki incelemelerin yanı sıra çalışma konusuna faydası olması açısından uluslararası düzeydeki incelemelerden de faydalanılmıştır.

Zemin sıvılaşmasına yönelik çalışmalar, 1964 Niigata ($M_s=7,5$) ve Alaska ($M_s=9,2$) depremleri sonucu meydana gelen sıvılaşma ve sıvılaşmaya bağlı hasarlar nedeniyle başlamıştır.

Seed ve Idriss (1971) Alaska ve Niigata' da meydana gelen iki büyük depremden sonra SPT(N) değerlerine dayalı sıvılaşma direnci değerlendirmesi için

basitleştirilmiş bir yöntem geliştirmiştir. Ampirik kurallara dayalı bu yöntem daha sonra modifiye edilmiş ve geliştirilmiştir.

Iwasaki et. Al (1982) yaptığı çalışmalarla zemin sıvılaşmasının değerlendirilmesi açısından basit indeks ve kategoriler geliştirmiştir.

SPT yönteminin zeminin sıvılaşmaya karşı direncinin değerlendirmesine olan etkisi Seed et. Al (1985) tarafından araştırılmıştır. Bu araştırmalarında enerji oranlarını dikkate alarak SPT ve sıvılaşma ilişkisini ortaya koymuşlardır.

1999 Chi-Chi (Tayvan Depremi) sonrasında Chu et.al (2004) tarafından sıvılaşmanın gözlemlendiği ve gözlenmediği sahalarda zemin koşulları incelenmiştir. Bu çalışmalarda incelenen sahalarda NCEER ve PEER tarafından geliştirilen yeraltı araştırma programları kullanılmıştır. Bu programlarla zemin yenilmelerinin karakteristikleri ortaya konmuştur.

Gratchev et.al (2006) tarafından tekrarlı yükler altında kum ve kil karışımı zeminle killi zeminlerin sıvılaşma potansiyeli çalışılmıştır.

BÖLÜM 2. GENEL JEOLJİ VE TEKTONİK KONUM

2.1. Bölgesel Jeoloji

İnceleme alanı, Marmara Bölgesi' nde İzmit Körfezi' nin güneyinde yer alan Armutlu Yarımadası içinde bulunmaktadır. Armutlu Yarımadası batıda 850 m, doğuda 1250 m yüksekliği aşan D-B uzantılı bir dağ zinciri, bir yayla görünümündedir. Prekambriyenden bu yana değişik zaman aralıklarında başkalaşım geçirmiş metamorfik ve metamorfik olmayan sedimanter, volkanik ve plütonik kayalar Armutlu Yarımadası' nın jeolojik yapısına katılmışlardır.

Armutlu Yarımadası birçok araştırmacı tarafından farklı amaçlar için incelenmiştir. Yapılan araştırmalara göre Armutlu Yarımadası' ndaki metamorfik topluluklar metamorfizma derecelerine bakılarak İznik metamorfik topluluğu ve Pamukova metamorfik topluluğu olarak iki kısımda incelenmiştir.

Bu iki metamorfik topluluk Armutlu Yarımadası' nın metamorfik ve epimetamorfik temelini oluşturmakta ve metamorfik topluluğuna ait kayalar arasında kesin bir sınır çizilememektedir. Pamukova ile İznik metamorfitlerini ve bu iki topluluğun dokanaklarını açılı uyumsuzlukla örten oluşukluklar Armutlu Yarımadasının jeolojisini tamamlar.

Armutlu Yarımadasında en yaşlı birimler, yarımadanın kuzeyinde ve güneyinde orta derecede başkalaşım geçirmiş tortul, volkanotortul ve granitik kayalardır. Bu oluşukluklar Pamukova metamorfitleri olarak adlandırılır. Armutlu Yarımadası' nda Alt Triyas yaşlı Ballıkaya Formasyonu tarafından örtüldüğü bilinen Pamukova metamorfitleri ve mikrogranit sokulumlar Permiyen yaşlıdır.

Pamukova metamorfitlerinin en alt tabakasını düzenli kuvarsit, şist-kalkışist ve mermerler oluşturur. Bu istif üzerinde mermer mercekleri içeren amfibolitler

mevcuttur. Metamorfiklerin en üst tabakasını siyah fillit, metakumtaşı, rekristalize kireçtaşı oluşturmaktadır. Bu kayaların yüksek derecede metamorfizma geçirmesi ve diğer düşük dereceli metamorfik kayaları kesmeyen metagranitlerle kesilmesi, temeli oluşturan en alt istif olmalarını düşündürür (Göncüoğlu, M.C.,1986).

İzmit metamorfikleri ise düşük dereceli metamorfik istiftir. Bu metamorfik grubun kayalarına Sapanca Gölü-İzmit arasında ve yarımada'nın batı kesimlerinde yaygın olarak rastlanır. İzmit metamorfikleri olarak adlandırılan bu istif yer yer felsik volkanik ve volkanotortul birimler de içeren metakırıntılı-karbonat istifiyle başlar. Bu istif blok, mercek yada ara tabaka halinde mermer kütleleri içerir.

Bakacak Formasyonu' nun çökeldiği ortam tektonik olarak hareketli ve hızla derinleşen bir havza özelliğindedir. Bu formasyon genel olarak kumtaşı-silttaşı ve çakıltaşından oluşmaktadır.

Armutlu Yarımadası metamorfikleri üzerine uyumsuz olarak gelen Paleosen-Eosen yaşlı İncebel Formasyonu, filiş fasiyesinde ve 1000 m' den daha kalın volkanotortul istif şeklindedir. Bu istif, volkanik tüf, kum, kil ve marnın oluşturduğu bir istiftir.

Filiş çökeli ile jenetik ilişkili olan Sarısu volkanitleri, bu istif ile tedrici geçişler yapmaktadır. Sarısu volkanitleri genel olarak koyu kahve, sarı ve yeşil renklerle tanımlanmıştır. Sarısu volkanitleri İzmit, Yalacdere, Dumanlıtepe, Bahçecik ve Karamürsel yolu üzerindeki Kızderbent köyü dolaylarında yaygındır.

Sarısu volkanitlerinin üzerine Kılınc Formasyonu gelmektedir. Kılınc Formasyonu inceleme alanında gözlenmemekle beraber Yalova ve Kılınc'ta yaygın bir şekilde rastlanmaktadır.

Kılınc Formasyonu üzerine gelen Arslanbey Formasyonu Pliyosen yaşlı olup çakıltaş, kumtaşı, kötü tabakalanmalı konglomera, çamurtaşı ve marn araldanmasından oluşur. İstif içinde çeşitli düzeylerde beyaz renkli tüf düzeylerine rastlanır. Pliyosen tabakalarının kalınlığı yaklaşık 100 m' dir.

İstifin en üstünde bulunan Kuvaterner yaşlı çökellere dere kenarlarında ve derelerin denize döküldüğü yerlerde rastlanmaktadır.

2.2. İnceleme Alanı Jeolojisi

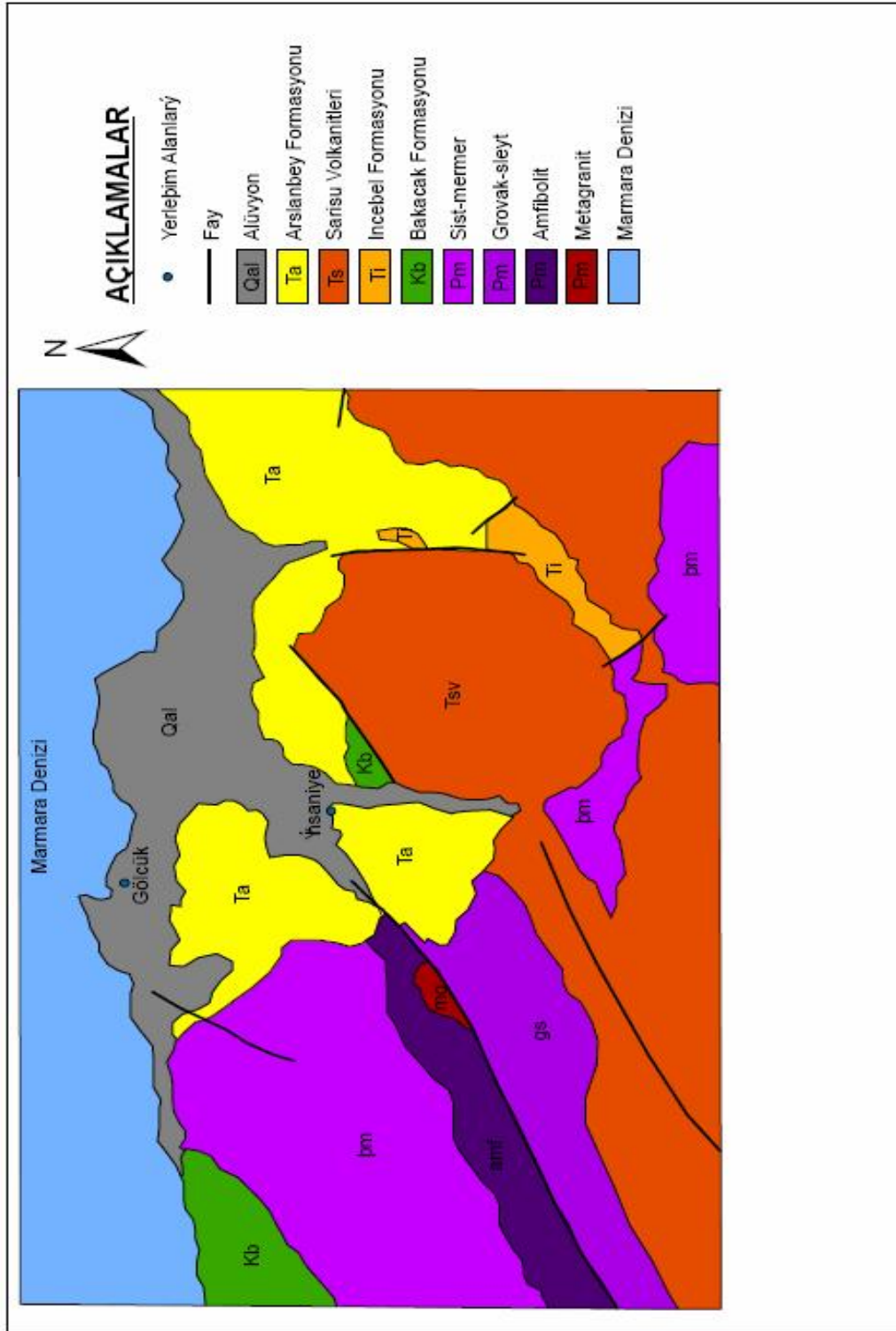
İnceleme alanı içerisinde gözlenen en yaşlı birimler Pamukova metamorfik topluluğu ile İznik metamorfik topluluğudur. İnceleme alanında gözlenen diğer birimler sırasıyla bu metamorfik istifleri örten Mاستrihtiyen yaşlı Bakacak Formasyonu, Paleosen-Eosen yaşlı İncebel Formasyonu, Eosen yaşlı Sarısu Formasyonu, Pliyosen yaşlı Arslanbey Formasyonu ile bunları üzerleyen Kuvaterner yaşlı genç çökellerdir. İnceleme alanının jeoloji haritası Şekil 2.1' de verilmiştir. İnceleme alanının 1/25 000' lik jeoloji haritasından KB-GD yönünde kesit alınmış formasyonların birbiriyle olan uyumları gösterilmiştir (Şekil 2.2).

2.2.1. Paleozoyik yaşlı metamorfitler (Pm)

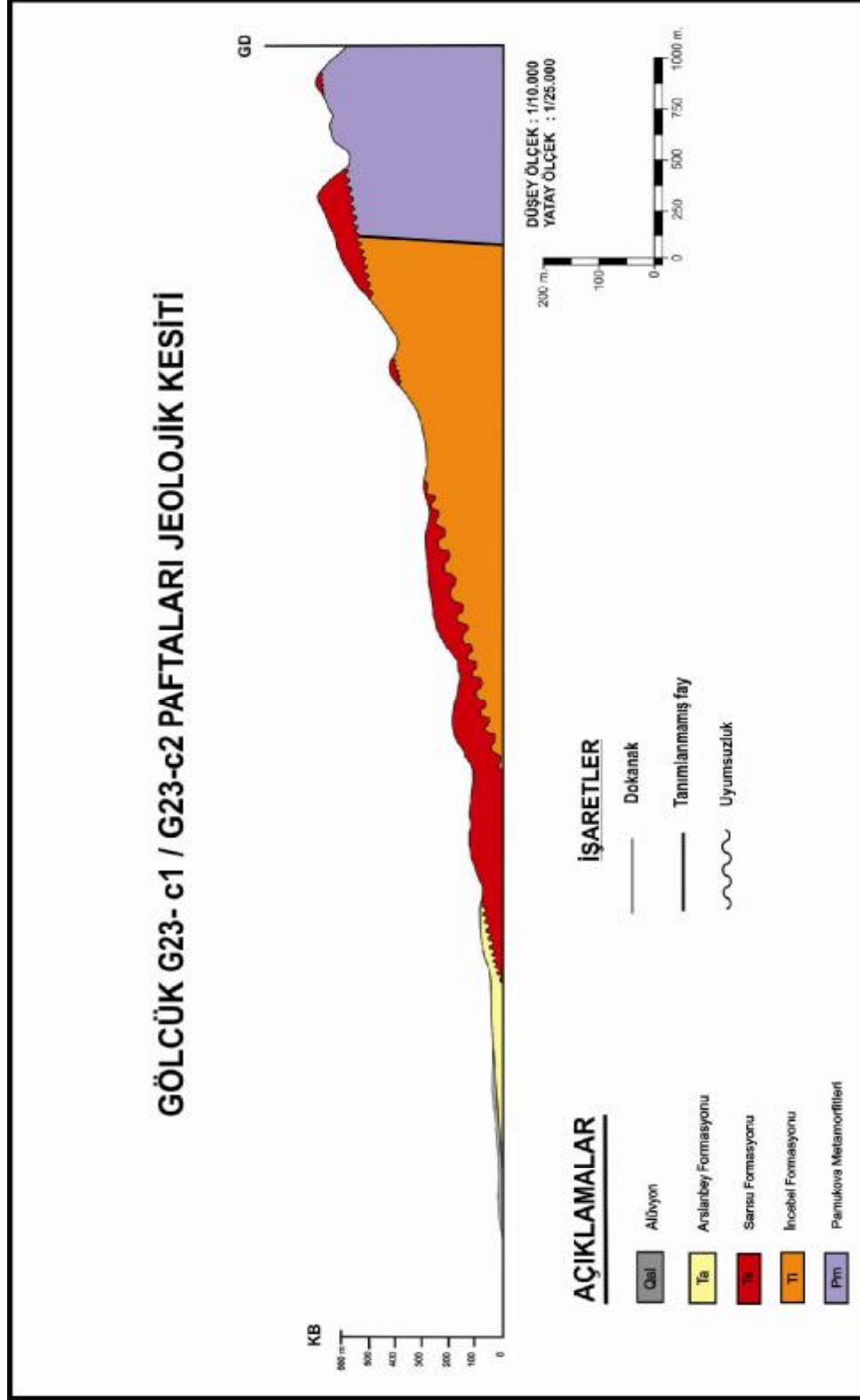
Paleozoyik yaşlı birimlere çalışma alanının batı kesimlerinde yoğun olarak rastlanmaktadır.

Çalışma alanı içerisinde, yüksek dereceli metamorfik birimler yapraklanmış, altere olmuş granit ile temsil edilmektedir. Armutlu Yarımadası' nın inceleme alanının bir kısmını da içine alan batı kesimlerinde, yaygın olarak yüzeylenmeler gösteren düşük dereceli metamorfik istif karşımıza çıkmaktadır. Bu istif, çökel ve volkanik kökenli şist ve mermer ile temsil edilmektedir.

İnceleme alanındaki Paleozoyik yaşlı birimler metamorfizma derecelerine göre sırasıyla, küçük bir alanda gözlenen metagranit (mg) ve yaygın şekilde gözlenen şist-mermer (şm) ile açıklanmaktadır.



Şekil 2.1. İnceleme alanının jeoloji haritası



Şekil 2.2. İnceleme alanının jeolojik kesiti

İnceleme alanı içerisinde metamorfik birimleri üzerleyen başkalaşım geçirmemiş oluşukluklar sırasıyla Bakacak Formasyonu (Kb), İncebel Formasyonu (Ti), Sarısu Formasyonu (Ts), Arslanbey Formasyonu (Ta) ve Alüvyon (Qal)' dur.

2.2.2. Bakacak formasyonu (Kb)

Bakacak Formasyonu filiş ve Jura- Kretase kireçtaşı ile temsil edilmektedir. Kireçtaşı blokları dışında formasyon magmatik ve metamorfik kaya bloklarını da içine alır. Filiş istifli kumtaşı, konglomera, marn ve kireçtaşı aralanmasından oluşur. Sıkça rastlanan kumtaşları gri renkli olup iyi derecelenme göstermektedir.

2.2.3. İncebel formasyonu (Ti)

Paleosen-Eosen yaşlı İncebel Formasyonu çalışılan alanın doğu ve güneydoğusunda küçük bir alanda gözlenmekte olup Bakacak Formasyonu ve metamorfik birimlerin üzerinde uyumsuz olarak yer alır.

İncebel Formasyonu üzerlediği formasyonların çakıllarından oluşan ve aşındırdığı litolojilerin rengine göre mor, gri veya sarı taban konglomerasıyla başlar. Kumtaşı, çamurtaşı, konglomera ve kireçtaşı ile temsil edilmekle birlikte bu istifin üst bölümlerinde yer yer volkanik düzeyler bulunmaktadır.

2.2.4. Sarısu volkanitleri (Ts)

Eosen yaşlı Sarısu volkanitleri metamorfik kayalar üzerinde genellikle 5-10 m kalınlıkta bir çökel düzeyi ile başlar. Bu seviye konglomera, çamurtaşı, kumtaşı ve kireçtaşı gibi litolojilerden oluşur. Bu istif genellikle piroklastik ve epiklastik kayalardan oluşur. Piroklastik seviyeler, andezitik tüf ve kaya parçalarından oluşur.

Sarısu Formasyonu, inceleme alanında özellikle orta kesimlerde yaygın olarak gözlenmektedir.

2.2.5. Arslanbey formasyonu (Ta)

Arslanbey Formasyonu Pliyosen yaşlı olup inceleme alanının orta kesimlerinde ve doğusunda gözlenmektedir. Birim kumtaşı-silttaşı-kiltaşı ve çakıltaşından oluşur. Arslanbey Formasyonu' nun litolojileri gevşek bir çimentoyla tutturulmuştur.

Daha önce yapılmış sondajlardan elde edilen verilere göre Arslanbey Formasyonu' nun kalınlığı 100 m civarındadır. Arslanbey Formasyonunun litolojileri genel olarak kil-kum-çakıl şeklinde izlenmektedir. Pliyosen çökelleri daha yaşlı formasyonların faylı sınırlarına dayalı olarak gözlenmektedir.

Pliyosen yaşlı birimler D-B uzanımlıdır. Karasal fasiyeste çökelmiş, az tutturulmuş çakıltaşı, kumtaşı ile çakıl, kum, silt ve kil çökelleri ile temsil edilir. Bağlayıcı madde genelde kildir.

Çakıltaşları orta-ince taneli olup bağlayıcı malzemesi kildir. Çakıllar ince katman halindedir. Katman içerisinde derecelenme iyidir. Arslanbey Formasyonu içinde gözlenen kum açık kahverengi renkte ve ince-orta tanelidir. Kum seviyeleri az-orta derecede geçirgenliğe sahiptir. Yeşil-kahverengi renklerde gözlenen silt ince tanelidir. Az ve orta derecede geçirgenliğe sahip olup gevşek tutturulmuştur. Kil hidrojeolojik açıdan geçirimsiz olup, sahada kahverengi renktedir.

Formasyonun tipik yüzeylenmeleri, Gölcük ilçesini doğu-batı yönünde geçen D-130 karayolu boyunca, Gözlenen Tepe2 de, 1 Mart Şehitliği alanında, Anafartalar Caddesi' nde görülmektedir.

2.2.6. Alüvyon (Qal)

Kuvaterner yaşlı genç birimlere inceleme alanının kuzey kesiminde yaygın olarak rastlanmaktadır. Bu birimler, çeşitli sebeplerle aşınan malzemelerin taşınmaları ve birikmeleri sonucu oluşur. Genellikle bu birimler, inceleme alanı içerisinde dereler vasıtasıyla aşındırılmış birimlerin taşınması, taşınması sırasında ufalanarak küçük parçalara ayrılması ve eğimin azaldığı yerlerde birikmesi sonucu oluşmuşlardır.

Alüvyon çalışma alanı içerisinde kuzeyde kıyı şeritlerinde ve dere yataklarında eğimin düşük olduğu yerlerde gözlenmektedir.

Alüvyonu oluşturan birimler kil-silt-ince kum' dan oluşmaktadır. Bazı kesimlerde alüvyonu oluşturan litolojiler kil-silt ve az miktarda çakıl gibi farklı seviyeler içerir. Bu litolojiler yer altı suyuna doygun alüvyal, plaj, kıyı, lagün ve denizel bataklık çökellerinin (kil-silt-kum) oluşturduğu litolojilerdir.

Alüvyonun kalınlığının daha önce yapılan sondajlardan elde edilen verilere göre 1m ile 50 m arasında değiştiği söylenebilir.

Çalışma kapsamında sıvılaşmaya yatkınlığı olan zeminler Arslanbey Formasyonu ve alüvyon olarak tespit edilmiş ve bu sahalarda açılan sondajlardan elde edilen veriler değerlendirilerek sıvılaşma analizi yapılmıştır.

İnceleme alanının stratigrafik kesiti Şekil 2.3' de verilmiştir.

2.3. Bölgenin Tektonik Özellikleri

Marmara Bölgesi' nin tektoniği, bugüne kadar birçok araştırmacı tarafından çalışılmıştır. Barka 1997 yılında yapmış olduğu çalışmasında, daha önce bölge ile ilgili yapılmış olan araştırmalara da yer vermiştir.

Türkiye dünyanın etkin deprem kuşaklarından biri olan Alp-Himalaya deprem kuşağı içinde yer almaktadır. Bu deprem kuşağı, doğuda Himalayalar batıda ise Azor Dağları ile sınırlanmıştır. Türkiye, başlıca Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ), Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ) ve Batı Anadolu Fay Sistemi (BAFZ) gibi çok sayıda diri fay etkinliğini sürdürdüğü bir ülkedir.

Türkiye' nin deprenselliğini kontrol eden başlıca iki tektonik eleman vardır. Bunlar kuzeyde D-B doğrultusunda uzanan doğrultu atımlı sağ yönlü Kuzey Anadolu Fayı (KAF) ve doğuda doğrultu atımlı sol yönlü Doğu Anadolu Fayı (DAF)' dir. Bu fay

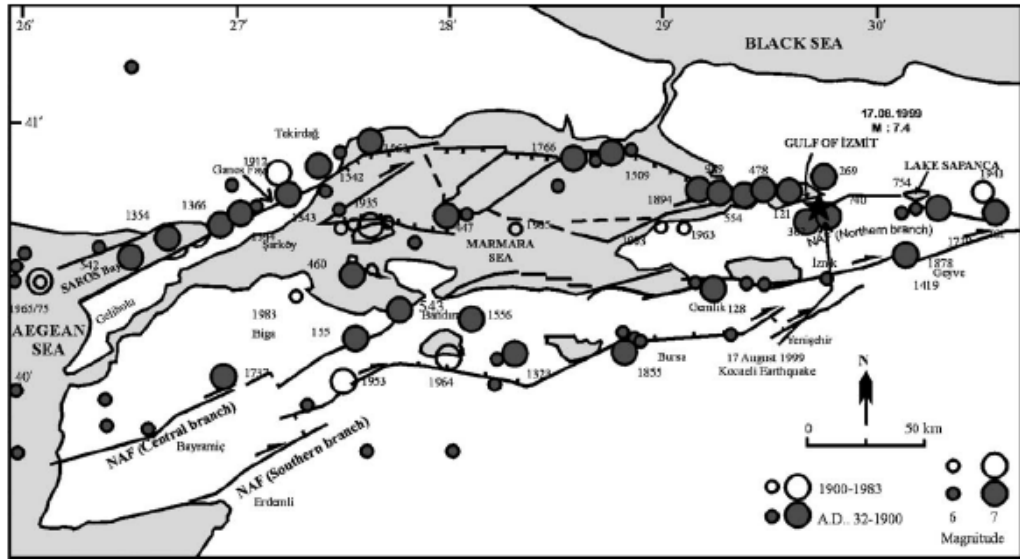
hatları üzerinde günümüze gelinceye kadar birçok yıkıcı büyük depremler meydana gelmiştir.

PALEOZOYİK		MESOZOYİK		SENOZOYİK		ÜST SİSTEM
?	KRETASE	PALEOSEN	EEOSEN	PLIYOSEN	KUVATERNER	SİSTEM
?	ÜST KRETASE	İNCEBEL FORMASYONU	SARISU VOLKANİTLERİ	ARSLANBEY FORMASYONU	ALÜVYON	SERİ
PAMUKOVA METAMORFİTLERİ	BAKACAK FORMASYONU	KİREÇTAŞI-KİTAŞI-KONGLOMERA	AGLOMERA-TÜF ANDEZİT-BAZALT	KİTAŞI-KUMTAŞI-ÇAKILTAŞI	KİL-SİLT-KUM-ÇAKIL	FORMASYON
Metasilttaşı- metakumtaşı- kuvarsit- metabazalt	Kumtaşı- silttaşı- çakıltaşı	Ti	Ts	Ta	Qal	LİTOLOJİ
Pm	Kb	150	200-250	700	1-10	SİMGE KESİT
?	100-150	150	200-250	700	1-10	KALINLIK(m)

Şekil 2.3. İnceleme alanının stratigrafik kesiti.

Jeolojik dönemlerde fay hatları boyunca fayların hareketlerine bağlı olarak ovalar gelişmiştir. Diri faylara yakın olan bu ovalarda gevşek malzemelerin çökelmiş olması, yeraltı suyunun yüzeye yakın olması sıvılaştırma açısından uygun ortam oluşturur.

İnceleme alanı Kuzey Anadolu Fay Zonu üzerinde yer almaktadır. Büyük depremlere neden olan KAF Türkiye neotektoniğinin ana yapısal unsurlarından biri olup önemli deprem kuşaklarından birini oluşturmaktadır (M.T.A., 2003). Marmara Bölgesi' nin neotektonik haritası Şekil 2.4' te gösterilmektedir.



Şekil 2.4. Marmara Bölgesi' nin neotektonik haritası (Barka, 1997' den değiştirilerek).

Kuzey Anadolu Fayı (KAF), sismik olarak dünyanın en diri faylarından birisini oluşturur. Kuzey Anadolu Fay hattının toplam uzunluğu 1400 km civarında olup toplam atım miktarı 25 km- 80 km arasında değişmektedir. Fay, doğuda birkaç yüz metre arasında değişen genişliklerde oldukça dar çizgisel görünümler gösterirken, batıya doğru fay zonunun genişliği artarak 5 km' ye kadar ulaşmaktadır.

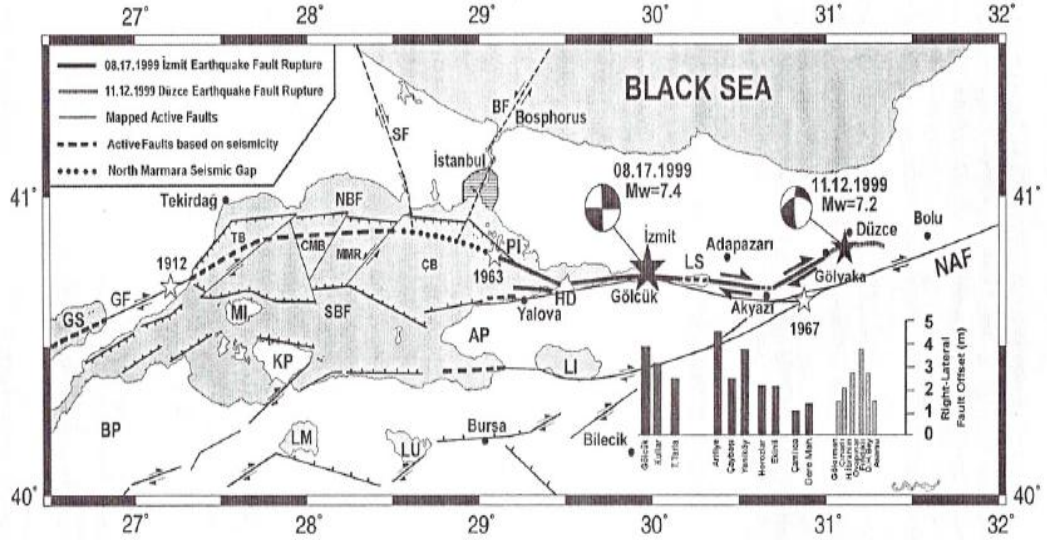
Fay, doğuda Doğu Anadolu Fayı ile kesiştiği Karlıova üçlü birleşim noktasından başlar, orta kesiminde dışa bükey bir kavis yaparak Mudurnu Vadisi segmentinin batı ucuna kadar devam eder. Mudurnu Vadisi segmentinin batısında üç kola ayrılır. Kuzeydeki kol, Sapanca ve Armutlu Yarımadası' nın kuzeyini izleyerek, Marmara denizi içinden Saros Körfezi boyunca uzanır. Fay, Sapanca Gölü güneyi boyunca İzmit Körfezi' ne kadar çok belirgin olarak izlenebilmektedir.

Genel olarak, İzmit' ten Marmara Denizi ve Saros Körfezi boyunca Yunanistan' a kadar devam eden kol kuzey kolunu; Geyve, İzmit, Mudanya, Bandırma ve Biga' yı izleyen kol merkezi kolunu; Bursa, Manyas Gölü, Balıkesir üzerinden Edremit Körfezin' e kadar uzanan kol güney kolunu oluşturmaktadır.

Bu üç kol birbirine geometrik açıdan benzemelerine rağmen sismik aktiviteleri bakımından birbirinden farklılıklar gösterir. Bölgede oluşmuş tarihsel depremler ve merkez üslerinin dağılımları araştırmacılar tarafından ortaya konmuştur. Buna göre tarihsel ve dönemsel kayıtlar, kuzeydeki kolun sismik aktivite açısından daha yoğun olduğunu ve depremlerin çoğunlukla bu kol üzerinde meydana geldiğini göstermektedir.

KAF zonunun Doğu Marmara Depremi' nde rol oynayan kuzey kolu, doğrudan atımlı segmentlerden oluşmuştur. Bu segmentler, Sapanca-Gölcük segmenti, İzmit-Karamürsel segmenti ve Yarımca-Yalova segmentidir.

Sapanca-Gölcük segmenti, Sapanca Gölü ile İzmit Körfezi arasında yaklaşık D-B doğrultusunda uzanırken, İzmit Körfezi' nden itibaren Gölcük civarında GB' ya doğru yön değiştirmektedir. 1999 depremi yüzey kırıkları ve KAF sistemi Şekil 2.5' te gösterilmektedir.

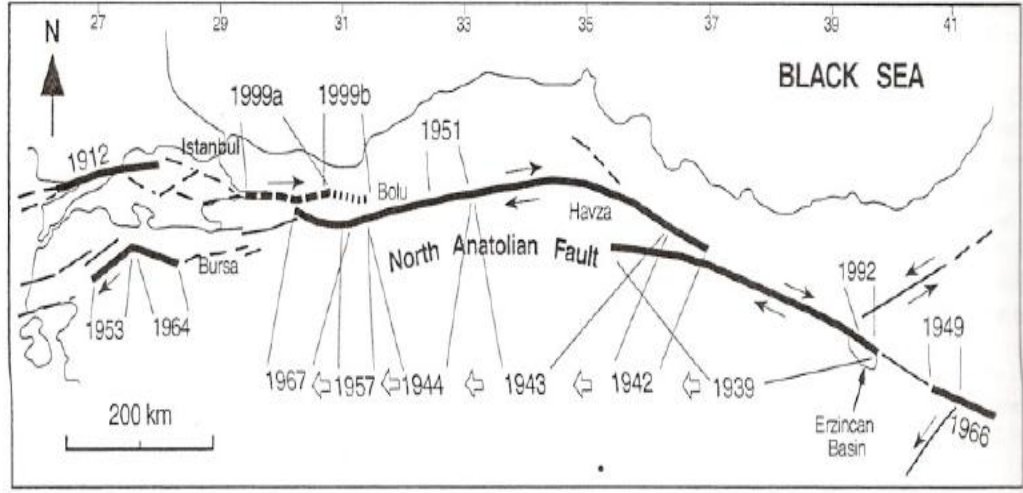


Şekil 2.5. Marmara Bölgesi' nin İzmit ve Düzce Depremlerinde meydana gelen yüzey kırıklarını gösteren Tektonik Haritası (Barka and Kadinsky-Cade, 1988; Şaroğlu et. Al., 1992).

2.4. Bölgenin Depremselliği

Bir bölgenin depremselliği, o bölgede meydana gelen tüm büyük ve küçük manyetütlü depremlerle ifade edilir.

İnceleme alanı, Birinci Derece Deprem Bölgesi içinde yer almaktadır. Kuzey Anadolu Fayı (KAF), sismik olarak dünyanın en derin faylarından biridir. Kuzey Anadolu Fayı'nın deprem etkinliği zaman içinde D' dan B' ya doğru sistematik bir şekilde ilerlemiştir (Ketin, 1969; Dewey, 1976). Kuzey Anadolu Fayı'nın 1939 yılında Erzincan Depremiyle doğuda başlayan aktivitesi 1967 Adapazarı Depremi ile batıya ulaşmıştır. Şekil 2.6' da 1939 yılından itibaren Kuzey Anadolu Fayı üzerinde meydana gelmiş depremler gösterilmektedir. Kuzey Anadolu Fayı zonu üzerinde, 1939' dan beri oluşmuş magnitüdü 7.0' dan büyük depremler doğudan batıya doğru sırasıyla Tablo 2.1' de verilmektedir.



Şekil 2.6. 1939 yılından itibaren KAF boyunca meydana gelmiş depremler (Seismological Society of America, 2002).

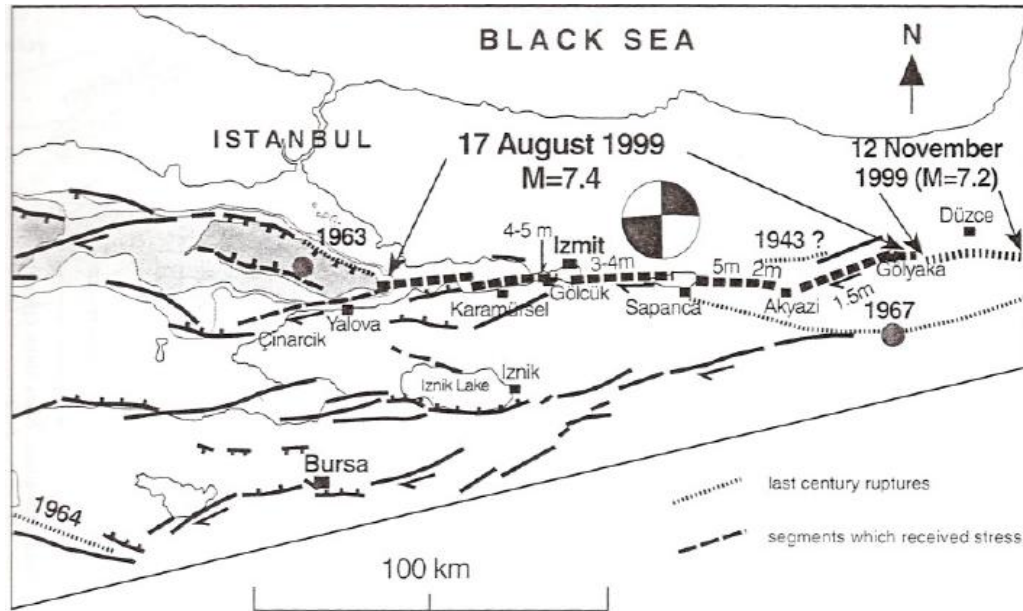
Tablo 2.1. 1939 tarihinden itibaren meydana gelmiş magnitüdü 7.0' dan büyük olan depremler.

Tarih	Deprem	Magnitüd
26 Aralık	1939 Erzincan Depremi	M=7.9
20 Aralık	1942 Erbaa-Niksar Depremi	M=7.0
26 Kasım	1943 Tosya-Ladik Depremi	M=7.2
1 Şubat	1944 Bolu-Gerede Depremi	M=7.2
26 Mayıs	1957 Bolu-Abant Depremi	M=7.1
22 Temmuz	1967 Adapazarı Deprem	M=7.2

Kuzey Anadolu Fayı (KAF), Sapanca Gölü güneyi boyunca İzmit Körfezi' ne kadar çok belirgin olarak izlenebilmektedir. Sapanca-Gölcük arasında fayın uzunluğu 60 km' dir. Fay, Kuvaterner yaşlı birimleri denetlemektedir.

Kuzey Anadolu Fay Zonu' nun etkisi altında olan bölgede son yüzyıl içinde üç büyük deprem yaşanmıştır. Bunlar 20 Haziran 1943, 22 Temmuz 1967 ve 17 Ağustos 1999 depremleridir (Şekil 2.7).

- 20 Haziran 1943 Adapazarı-Hendek Depremi' nin maksimum şiddeti $I_0=VIII$, magnitütü $M_s=6,4$ ve episantır 40.80 K, 30.40 D olarak saptanmıştır.
- 22 Temmuz 1967 Adapazarı Depremi' nin maksimum şiddeti $I_0=IX$, magnitütü $M_s=7,2$ ve episantır 40.67 K ve 30.69 D olarak belirlenmiştir.
- 17 Ağustos 1999 Kocaeli Depremi' nin maksimum şiddeti $I_0=X$, magnitütü $M_s=7.4$ ve episantır 40.70 K, 29.91 D' dur.



Şekil 2.7. Kuzey Anadolu Fay Zonu' nun etkisi altında bulunan Marmara Bölgesi' nde meydana gelen 1943, 1963, 1967 ve 1999 Depremlerinde yüzey kırıklarını gösteren harita (A. Barka vd.,2002).

Kuzey Anadolu Fay Zonu' nun batı kesimindeki yerleşim alanlarında şiddetli tarihsel depremler olmuştur. Depremlerin aletsel olarak kaydedilmesi 1900 yılından itibaren gerçekleştiği için bu tarihten önce oluşmuş depremler tarihsel depremler olarak adlandırılır.

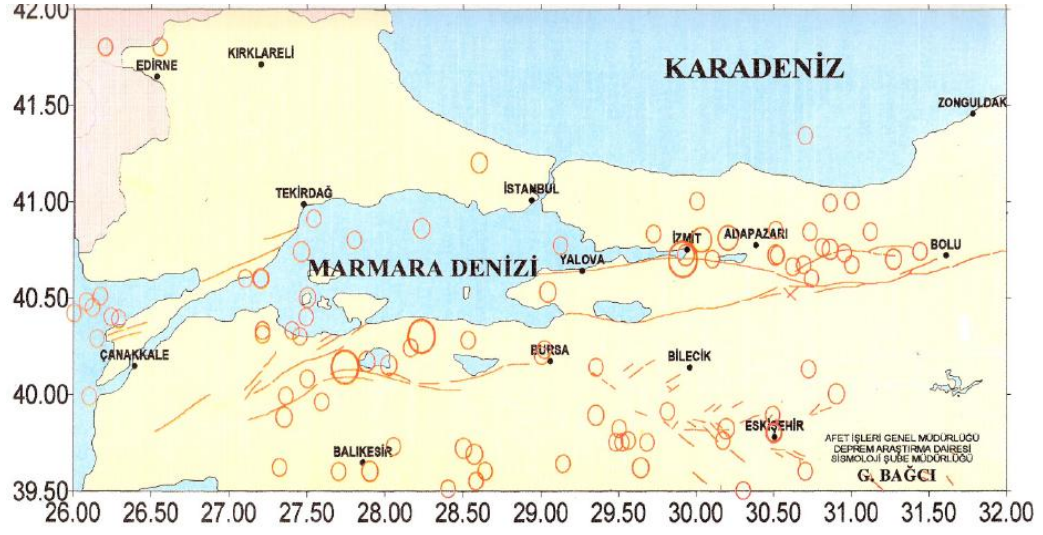
Türkiye ve çevresinde kayıtlı tarihsel depremler yaklaşık 4000 yıllık bir zamana dayanmaktadır (Soysal ve diğ. 1981). Soysal ve diğ. (1981) tarafından hazırlanan kataloğa göre (M.Ö. 2100- M.S. 1900) 39.50° K- 42° K enlemleri ve 26 ° D ve 32 ° D boylamları arasına düşen 231 deprem meydana gelmiştir.

Soysal ve diğ. (1981) tarafından hazırlanan kataloğa göre İzmit ve civarında şiddetleri VI ve daha büyük 16 deprem olmuştur. Bu depremler Tablo 2.2' de verilmektedir.

Türkiye için aletsel döneme ait veriler, 1900' lü yıllarda deprem istasyonlarının kurulması ile elde edilmeye başlanmıştır. Afet İşleri Genel Müdürlüğü Deprem Araştırma Dairesi Başkanlığı' nın hazırladığı 17 Ağustos 1999 İzmit Körfezi Depremi Raporu' na göre 1900-1999 yılları arasında $M \geq 5.0$ depremlerin episantr dağılımları Şekil 2.8' de verilmiştir. Şekle dayanarak, depremlerin önemli tektonik kuşaklar üzerinde meydana geldiğini söyleyebiliriz.

Tablo 2.2. İzmit ve civarında şiddetleri VI ve daha büyük olan tarihsel depremler.

Yıl	Enlem	Boylam	Yer	Şiddet
170	40.80	29.90	İzmit ve yöresi	VIII
268	40.80	29.90	İzmit ve yöresi	VIII
350	40.80	30.00	İzmit ve İzmit	VIII
358	40.75	29.90	Kocaeli, İzmit, İstanbul	IX
359	40.75	29.60	İzmit	VIII
362	40.75	29.60	İzmit, İzmit, İstanbul	VIII
446	40.70	29.30	İzmit Körfezi, İstanbul, İzmit	VIII
447	40.80	29.60	İzmit Körfezi, İstanbul, İzmit, İzmit	IX
467	40.80	29.90	İzmit	VI
488	41.00	29.00	İstanbul	VI
500	40.80	29.90	İzmit	VIII
740	40.80	29.00	İstanbul, İzmit, İzmit	VIII
1672	40.00	26.00	Bozcaada Kuzeyi, Ege Denizi	VIII
1719	41.00	29.00	İstanbul	VI
1754	40.80	29.40	İzmit Körfezi, İstanbul, İzmit	IX
1878	41.00	29.00	İstanbul	V



Şekil 2.8. 1900-1999 yılları arasında $M \geq 5.0$ depremlerin episantır dağılımları (Afet İşleri Genel Müdürlüğü Deprem Araştırma Dairesi Başkanlığı, 2000).

BÖLÜM 3. ZEMİNLERİN GENEL MÜHENDİSLİK ÖZELLİKLERİ

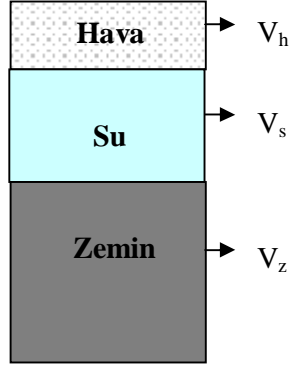
Deprem esnasında zeminin göstereceği davranış zeminden bağımsız başka faktörlerin yanı sıra daha çok zeminin kendi mühendislik özelliklerinin denetimi altındadır. Zeminin kökeni, zemini oluşturan tanelerin boyutu, biçimi ve dağılımı zeminin deprem dalgaları etkisindeki davranışını belirler.

Zemin genel olarak üç bileşene sahiptir. Taneler (katı), taneler arasındaki boşluklarda bulunan su (sıvı) ve taneler arasındaki boşluklarda bulunan hava (gaz) zemini oluşturmaktadır. Zeminde gerilmeler karşısında meydana gelen deformasyonlar söz konusu olduğunda boşluksuyu ve havanın etkisi ihmal edilerek zemin iskeleti dikkate alınır. Zeminde aynı yada farklı boyut ve şekillerdeki taneler bir araya gelerek zemin iskeletini oluştururlar. Zemini oluşturan üç bileşen Şekil 3.1' de gösterilmektedir.

Zemini meydana getiren tanelerin boyları zeminin gerilmelere karşı göstereceği direncin ve deformasyonun karakteristiğini etkiler. Zemin tanelerinin taşıdığı ya da başka bir deyişle zemin tanelerinin karşı koyduğu gerilime efektif gerilim denir.

Zeminler, iri taneli (kohezyonsuz) zeminler ve ince taneli (kohezyonlu) zeminler olarak iki gruba ayrılarak incelenmektedir. Kaba taneli zeminler kum ve çakıl ile, ince taneli zeminler kil ve silt ile temsil edilmektedir.

Zemin ortamında çalışılan mühendislik uygulamalarında zeminin yapılacak iş için uygunluğunun tespit edilmesi daha sonra meydana gelebilecek problemlerin önüne geçilmesi açısından son derece önemlidir. Zeminin cinsi, zemini oluşturan tanelerin boyutları, şekilleri, dağılımları, sıklık dereceleri vs. geoteknik alanda yapılacak uygulamalar açısından rehber niteliği taşır.



Şekil 3.1. Zemin meydana getiren üç bileşen.

Zeminlerin bazı mühendislik özellikleri başlıklar halinde aşağıda açıklanmaktadır.

3.1. Kıvam (Atterberg) Limitleri

İnce taneli (kohezyonlu) zeminler, su içeriklerine bağlı olarak sırasıyla katı, yarı katı, plastik ve likit durumlarda bulunurlar.

1. Likit Durum (Liquid State)

..... Likit Limit (Liquid Limit)

2. Plastik Durum (Plastic State)

..... Plastic Limit (Plastic Limit)

3. Yarı Katı Durum (Semi-Solid State)

..... Büzülme Limiti (Shrinkage Limit)

4. Katı Durum (Solid State)

Plastik ve likit durumları birbirinden ayıran sınır su muhtevası “likit limit” olarak tanımlanır. Diğer bir deyişle zeminin plastik durumdan sıvı duruma geçtiği andaki su içeriğidir.

İnce taneli (kohezyonlu) zeminlerin kırılma veya çatlama olmaksızın kalıcı olarak şekil değiştirebilmesi plastiklik veya plastisite özelliği ile açıklanır. Plastik limit, plastik ile yarı katı durumlar birbirinden ayıran sınır su içeriğidir.

Likit limit ile plastik limit arasındaki fark plastisite indeksi (PI) olarak ifade edilir.

Büzülme limiti (Shrinkage Limit), zemin bünyesindeki daha fazla su kaybının zemin kütlesinin hacminde azalma meydana getirmediği andaki su içeriği olarak tanımlanır.

Tablo 3.1 kohezyonlu zeminlerin LL değerlerine göre plastiklik sınıflarını, Tablo 3.2 PI değerlerine göre plastiklik sınıflarını, Tablo 3.3 ise kıvamlılık indeks değerlerine göre kıvam sınıflarını göstermektedir. Kıvamlılık indeksi Denklem 3.1' den hesaplanır.

$$CI = \frac{LL - w_n}{PI} \quad (3.1)$$

w_n = Kıvam indisi tanımlanacak zeminin su muhtevası

Tablo 3.1. İnce taneli zeminlerin LL değerlerine göre plastiklik sınıfları (IAEG, 1981).

Tanım	Likit Limit
Düşük plastiklik	<35
Orta plastiklik	35-50
Yüksek plastiklik	50-70
Çok yüksek plastiklik	70-90
Oldukça yüksek plastiklik	>90

Tablo 3.2. İnce taneli zeminlerin PI değerlerine göre plastiklik sınıfları (IAEG, 1981).

Tanım	Plastisite İndeksi
Plastik değil	<1
Az plastik	1-7
Orta plastik	7-17
Yüksek plastik	17-35
Oldukça yüksek plastik	>35

Tablo 3.3. İnce taneli zeminlerin kıvamlılık indeksi değerlerine göre plastiklik sınıfları (IAEG, 1981).

Tanım	Kıvamlılık İndeksi
Çok yumuşak	<0.05
Yumuşak	0.05-0.25
Orta katı	0.25-0.75
Sert	0.75-1.00
Çok katı veya çok sert	>1.00

3.2. Rölatif Sıklık (Dr)

Rölatif sıklık, kohezyonsuz (iri taneli) zeminlerde zeminin sıklık durumunu yansıtan bir terimdir. Aynı cins zemin gevşek ve sıkı durumlarda farklı özellikler sergiler. Bu nedenle aynı cins zeminlerin her zaman aynı davranışı göstereceğini söylemek mümkün değildir. Zeminin davranışının yorumlanmasında göz önüne alınan önemli özelliklerden biridir. Tablo 3.4' de rölatif sıklık değerleri temel alınarak elde edilen zemin sınıflaması gösterilmektedir (Seed and Idriss, 1971). Bu tabloya göre relatif sıklık değeri % 65' den büyük olan zeminlerde sıvılaşma olmayacağı söylenebilir. Relatif sıklık Denklem 3.2' deki gibi hesaplanır.

$$D_r = \frac{e_{\max} - e_n}{e_{\max} - e_{\min}} \quad (3.2)$$

e_{\max} (Maksimum Boşluk Oranı) = Zeminin en gevşek haldeki boşluk oranı
 e_{\min} (Minimum Boşluk Oranı) = Zeminin en sıkı haldeki boşluk oranı
 e_n = Zeminin rölatif sıklığının belirlenmek istendiği duruma ait boşluk oranı.

Tablo 3.4. Relatif sıklığa göre zeminlerin sınıflandırılması (Seed and Idriss, 1981).

Relatif Sıklık (D_r), %	Açıklama
0-15	Çok gevşek
15-35	Gevşek
35-65	Orta sıkı
65-85	Sıkı
85-100	Çok sıkı

3.3. Porozite (n) ve Permeabilite

Zemin boşluklu bir ortamdır ve bu boşluklar birbirlerine bağlıdır. Porozite zemin kütledeki boşluk hacminin, toplam hacmine oranının yüzde olarak ifadesidir. Zeminin boşluk durumunu yansıtır. Zemin kütlesi içerisindeki boşluk oranının artması, yeraltı suyunun hareketi için kolaylık sağlar. Denklem 3.3' deki gibi hesaplanır.

$$n = \frac{V_b}{V_{tüm}} \quad (3.3)$$

Permeabilite zeminin kendi yapısı içinde sıvıları ve gazları iletebilme kapasitesidir. Permeabilite zeminin önemli mühendislik özelliklerinden biri olup zeminin tekrarlı yükler altında göstereceği davranışı etkiler. Permeabilitenin artması, zemin içerisindeki suyun rahat hareket etmesi anlamına gelmekte ve dolayısıyla tekrarlı gerilmeler sırasında boşluk suyu basıncının hızlı dağılımına imkan vermektedir. Bu durum zemini katı formdan çıkarıp sıvı forma sokmakta, yani sıvılaştırmasına neden olmaktadır.

3.4. Tane Boyu Dağılımı, Tane Şekli ve Derecelenme

Bazı mühendislik problemlerinin önüne geçilmesi açısından zemin türünün tanımlanmasının yanında zemini oluşturan tanelerin boyu, şekli ve derecelenmesi gibi özelliklerinin iyi bir şekilde tanımlanması gerekmektedir.

Tane boyu olarak baktığımızda sivilaşmaya yatkın zeminler ince kumlardır. İnce ve yuvarlak şekilli taneler içeren zemin iri ve köşeli taneler içeren zemine göre sivilaşmaya daha yatkındır.

İyi derecelenmiş zemin tüm tane boylarından (iri, orta, ince) dengeli olarak içerir. Kötü derecelenmiş zemin tane boyu dağılımı açısından üniform zeminler olup, iyi derecelenmiş zemine oranla sivilaşmaya daha yatkındır.

3.5. Dayanım

Kohezyonsuz (iri taneli) zeminler için önemli mühendislik özelliklerinin başında serbest basınç dayanımı gelmektedir. İnce taneli (kohezyonlu) zeminlerin serbest basınç dayanımı, serbest basınç deneyiyle bulunur. İnce taneli zeminlerin serbest basınç dayanımlarına göre sınıfları Tablo 3.5' te gösterilmektedir.

Deprem yükleri altında düşük plastisiteli siltler ile kumlu zeminler de sivilaşma beklenirken plastik silt ve killerde dinamik yükler taşıma gücü kayıplarına neden olmaktadır.

Tablo 3.5. İnce taneli zeminlerin serbest basınç dayanım sınıfları (IAEG, 1981).

Tanım	Serbest Basınç Dayanımı (kg/cm²)
Çok yumuşak	<0.20
Yumuşak	0.20-0.4
Orta katı	0.4-0.75
Sert	0.75-1.5
Çok sert	>1.5

BÖLÜM 4. ZEMİNLERİN DİNAMİK YÜKLER ALTINDAKİ DAVRANIŞLARI

Her bir zemin tipi, tekrarlı yükler altında farklı dinamik davranış ve gerilme-deformasyon özellikleri göstermektedirler. Depremlerin yarattığı sismik dalgalara karşı zemin, kendi durumuna göre tepki gösterir. Deprem yükleri etkisindeki zeminin gösterdiği davranış zeminin dinamik davranışı olarak açıklanır. Büyük deprem yüklerine maruz kalan bir zeminde sıvılaşma, oturma ve kayma gibi deformasyonlar görülür.

Suya doymun gevşek kumlar tekrarlı gerilmeler altında dayanımlarını hızlı bir şekilde kaybederler.

Sismik aktivite sonucu meydana gelen tekrarlı yükler, zeminin de durumuna göre zeminde farklı deformasyonlara neden olur. Depremin neden olduğu bu dinamik davranışlar zemin sıvılaşması, zemin oturması ve zemin kayması olarak sıralanabilir.

Zeminler tanesal bir yapı göstermelerine rağmen davranışlarındaki farklılıklardan dolayı, ince taneli (kohezyonlu) ve iri taneli (kohezyonsuz) zeminler olarak iki grupta incelenmektedir. Tekrarlı yükler altında bu iki zemin gurubu birbirinden çok farklı davranış göstermektedir. Bu yüzden zemin gruplarını, dinamik davranışlarını incelerken ayrı ayrı ele almak gerekmektedir.

İnce kumlar ve siltli kumlar sıvılaşmaya en yatkın zeminlerdir. Siltli zeminlerin tekrarlı yükler karşısında gösterdiği davranış plastisiteye bağlı olarak farklılık göstermektedir. Düşük plastisiteli veya plastik olmayan siltler deprem yükleri altında dayanımlarını tamamen kaybeder ve sıvılaşırlar. Bununla birlikte, killi zeminler sıvılaşmaya karşı duyarlı olamayan zeminler olarak kabul edilirler. Plastik killer, yumuşak kıvamlı olmaları durumunda deprem yüklerinden daha fazla etkilenir ve dayanımlarını kaybederler.

4.1. Sıvılaşma

Depremi neden olduğu tekrarlı kayma gerilmeleri zeminde zeminin fiziksel ve mühendislik özelliklerine bağlı olarak deformasyonlara yol açmaktadır. Devirsel kayma gerilmeleri gevşek, suya doygun, kohezyonsuz zeminlerin hacimlerini küçültmeye yönelik etki yapar. Bir araya gelmeye zorlanan zemin tanelerinin birbirine temas ettiği noktalardan taneleri çevreleyen suya gerilim aktarılır. Sismik sarsıntının çok hızlı meydana gelmesi boşluk suyu basıncının aniden artmasına neden olur. Bu basınç artmaya devam ederse tanelerin birbirine aktardığı temas basıncı (efektif gerilme) kaybolur. Zemin bu durumda katı formdan çıkıp bir sıvı gibi davranır. Bu aşamada “sıvılaşma” denilen olay meydana gelir.

Statik şartlarda, $\sigma_{vo}' = \sigma_{vo} - \sigma_s$

Dinamik Şartlarda, $\sigma_{vo}' = \sigma_{vo} - (\sigma_s + \sigma_d)$ olacaktır.

Eğer $(\sigma_s - \sigma_d) = \sigma_{vo}$ olursa $\sigma_{vo}' = 0$ dır.

σ_{vo} = Toplam gerilme

σ_{vo}' = Efektif gerilme

σ_s = Statik durumda boşluk suyu basıncı

σ_d = Dinamik durumda boşluk suyu basınç fazlalığıdır.

4.1.1. Sıvılaşmaya etki eden faktörler

4.1.1.1. Zemin parametreleri

Zemin tipi, zemini oluşturan tanelerin boyu, şekli ve derecelenme durumları, zeminin sıvılaşmaya karşı duyarlılığının değerlendirilmesinde önem taşımaktadır.

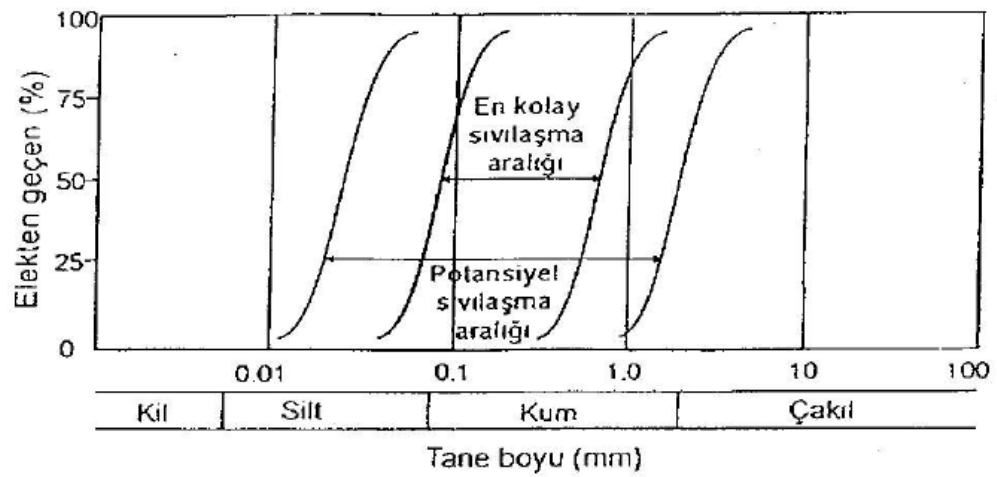
Sıvılaşmaya en yatkın zeminler, ince kumlar ve siltli kumlardır. Genel olarak killi zeminler sıvılaşmaya karşı duyarlı olmayan zeminler olarak kabul edilirler ancak deprem sarsıntıları sırasında dayanımlarını yitirdikleri ve sıvılaşan kumlarla yüzeye hareket ettikleri daha önce yapılan çalışmalarla kanıtlanmıştır.

En kolay sıvılaşılan zeminler ortalama tane boyu (D_{50}) 0.05mm ile 0.6 mm arasında olan kum zeminlerdir. Zemin tanelerinin yuvarlak oluşu, hızlı bir şekilde bir araya gelebilmelerine olanak verdiği için köşeli taneli zeminlere göre sıvılaşmaya daha yatkındır. En kolay sıvılaşılan ve sıvılaşma eğilimine sahip zeminler için sıvılaşma alt ve üst sınırlarını gösteren tane boyu dağılımı eğrileri Şekil 4.1’ de gösterilmektedir.

İçerisinde her boydan malzeme bulunduran zemin, üniform yapıda bulunan zeminlere göre sıvılaşmaya daha az yatkındır.

Sıvılaşma sonucu binalarda, köprülerde, boru hatlarında yani kısacası her türlü yer altı ve yerüstü mühendislik yapılarında farklı şekillerde hasarlar oluşabilir. Sıvılaşmanın etkileri aşağıda sıralanmıştır.

1. Kum Kaynaması
2. Yanal Yayılma
3. İstinat Yapısı Yenilmeleri
4. Taşıma Gücü Kaybı
5. Gömülü Yapı Yüzeylemesi
6. Akma Göçmesi
7. Zemin Salınımı
8. Zemin Oturması



Şekil 4.1. En kolay sıvılaşılan ve potansiyel sıvılaşılan eğilimine sahip zeminler için tane boyu dağılım aralıkları (Ulusay, 2000).

4.1.1.2. İvme ve sismik enerji

Zeminin fiziksel ve mühendislik özelliklerinin yanı sıra sıvılaşmanın oluşumuna etki eden zeminden bağımsız birçok faktör vardır. Sıvılaşmanın nedeni tekrarlı gerilmeleri meydana getiren sismik enerjidir. Deprem magnitudü deprem esnasında çıkan enerji ile belirtildiği için büyük magnitudlü depremden çıkan enerji de büyüktür. Deprem esnasında çıkan enerjinin meydana getirdiği sarsıntı, zemin tanelerinin ve yeraltı suyunun hareketini kontrol eder.

Kısacası depremin büyüklüğü ve süresi sıvılaşma potansiyelini etkiler. Deprem büyüklüğünün ve süresinin artmasıyla doğru orantılı olarak sıvılaşma için potansiyelde artmaktadır.

4.1.1.3. Yeraltı su seviyesinin konumu

Yeraltı su seviyesinin konumu sıvılaşma olayını etkileyen önemli bir parametredir. Yeraltı su tablasının sığ olması sıvılaşma riskini arttıran bir etkidir. Yeraltı su seviyesinin üzerinde yer alan ve suya doymun olmayan zeminlerin sıvılaşması mümkün değildir. Sıvılaşma olayı sadece doymun zeminlerde meydana gelmektedir.

4.1.1.4. Tarihsel ölçütler

Zemin, geçmişte sismik sarsıntılara maruz kalmışsa, etkisinde kalacağı yeni gerilmeler karşısında eskisine oranla daha yüksek bir sıvılaşma direncine sahip olacaktır. Yani ön yüklemeye maruz kalan zeminin sıvılaşmaya karşı direnci, ön yüklemeye maruz kalmayan aynı zeminden daha fazladır.

4.1.2. Sıvılaşma türleri

Zemin sıvılaşmasının etkileri zemin sıvılaşma sınıflandırmasına göre tanımlanır. Zemin sıvılaşması, sıvılaşma oluşum mekanizması ve meydana getirdiği hasarlar göz önüne alınarak iki gruba ayrılmıştır.

- Akma türü sıvılaşma
- Devirsel hareketlilik

Arazi şartlarında gelişen akma sıvılaşmasının oluşum sıklığı devirsel hareketliliğe göre daha azdır. Devirsel hareketlilik akma sıvılaşmasına göre daha geniş alanlarda gerçekleşir ve etkileri akma sıvılaşmasına göre daha az yıkıcıdır. Devirsel hareketliliğin etkileri çok önemsizden ileri derecede hasara kadar değişebilir.

4.1.2.1. Akma türü sıvılaşma

Akma sıvılaşması düşük dayanımlı bir zeminde statik dengenin dinamik yükler tarafından ortadan kaldırılması olgusudur. Akma sıvılaşması eğimi 3 dereceden daha büyük yamaçlar boyunca, gevşek ve suya doymun kumlar veya siltlerde gelişmektedir.

Akma yenilmeleri olarak da adlandırılan akma türü sıvılaşmada, zemin kütlesi geniş alanlar boyunca hareket eder. Bu tür sıvılaşma durumunda, zemini meydana getiren taneler arasında temas kuvvetleri sıfıra eşitlenir ($\sigma_{vo}' = 0$). Dinamik ve statik yüklerin her ikisinin etkisinde meydana gelen akma türü sıvılaşma büyük ölçekli hasarlara sebep olur.

Akma yenilmeleri köken itibarıyla ansızın ortaya çıkmaları, hızlı gelişmeleri ve sıvılaşan malzemelerin büyük mesafeler boyunca hareket etmesi ile karakteristiktir.

Akma türü sıvılaşma sonucunda ağır yapıların batması veya devrilmesi, hafif gömülü yapıların yüzmesi veya istinat yapılarının yıkılması gibi sorunlarla karşılaşılabilir.

4.1.2.2. Devirsel hareketlilik

Devirsel hareketlilik dinamik yüklerin neden olduğu en önemli geoteknik problemlerden biridir. Devirsel hareketliliği dinamik yükler tetikler. Devirsel hareketlilikte zemin taneleri arasındaki temas kuvvetleri azalır fakat tamamen yok olmaz.

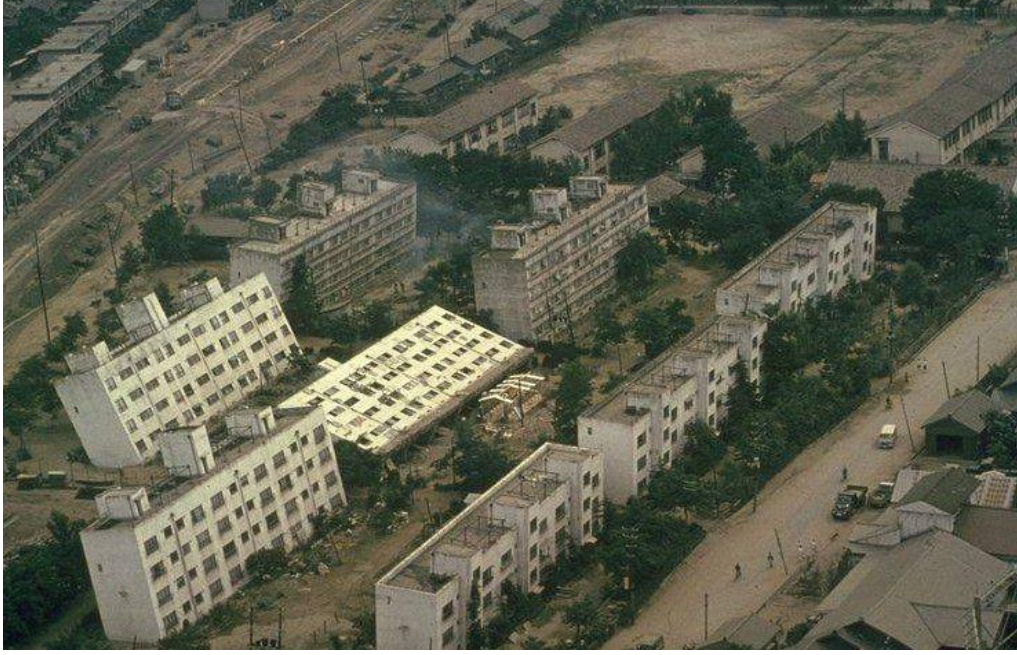
Devirsel hareketlilik çok az eğimli yamaçlarda veya hemen hemen düz yüzeyli zeminlerde görülür. Yanal yayılma olarak adlandırılan devirsel hareketlilik büyük ve kalıcı hasarlara sebep olabilir.

Devirsel hareketlilik sonucunda şev göçmesi, taşıma gücü kayıpları, binalarda oturma, yanal yayılma ve istinat duvarlarında yanal ve düşey yer değiştirmeler şeklinde hasarlar meydana gelebilir. Yanal yayılma hareketleri tipik olarak dolgulara, liman tesislerine, boru hatlarına, köprülere ve yüzeysel temellere sahip diğer yapılara zarar vermektedir.

Zemin sıvılaşmasına bağlı olarak zeminin taşıma gücünün kaybettiği ve binanın yan yattığı durum Şekil 4.2' de gösterilmiştir. Şekil 4.2' de 17 Ağustos 1999 Kocaeli depreminde zemin sıvılaşması sonrası meydana gelen bu duruma benzer bir diğer olay 1964 Niigata depreminde de meydana geldiği bilinmektedir (Şekil 4.3).



Şekil 4.2. 17 Ağustos 1999 depremi sonrasında zeminde meydana gelen taşıma gücü kaybı (JMO, Sıvılaşma Semineri).



Şekil 4.3. Niigata depremi sonrası sivilaşmadan dolayı binalarda yan yatmalar (JMO, Sivilaşma Semineri).

4.2. Oturma

Kumlar, deprem sarsıntıları nedeniyle yeraltında sıkışma eğilimi gösterirler. Yeraltında gösterdikleri bu sıkışma eğilimi yüzeyde kendini oturma şeklinde gösterir.

Deprem kaynaklı oturma sığ temel üzerine inşa edilmiş yapıları etkilemekte, kazık temelli yapıların yeraltı hatlarına zarar vermekte ve sığ derinliğe gömülmüş olan su, elektrik, doğalgaz vs. gibi yeraltı nakil hatlarında hasarlara neden olmaktadır.

Suya doymun kumlar ile kuru kumların sıkışma eğilimi birbirinden farklılık göstermektedir. Kuru kumlar hızlı bir şekilde sıkışırken suya doymun kumların oturması daha uzun zaman almaktadır. Kuru kumlarda oturma deprem bitene kadar tamamlanmış olur.

Oturma olayı depremin neden olduğu boşluk suyu basıncı sönümlenirken gelişir. Oturmanın meydana gelmesi için gerekli süre, zeminin geçirgenliği ile sıkışabilirliğine ve drenaj yolunun uzunluğuna bağlıdır.

LiquefyPro (CivilTech 2002) programı suya doygun zeminlerin oturma hesaplarını Tokimatsu and Seed (1987) ve Ishihara and Yoshimine (1990) yöntemlerine göre yapar. Bu iki yöntemden herhangi biri seçilerek sıvılaşmada suya doygun zeminlerdeki oturmalar hesaplanır.

4.3. Kayma

Depreme maruz kalan zeminin göstermiş olduğu dinamik davranışlardan bir diğeri kayma deformasyonudur. Kayma hareketi bir duraysızlık çeşididir. Zeminin kayma dayanımının etkisi altında olan bu duraysızlık çeşidinin etkileri, akma kaymaları, yanal yayılmalar, istinat duvarı yıkılmaları ve temel yenilmeleri şeklinde gözlenebilmektedir.

Normal koşullarda dengede bulunan yamaç veya şevler deprem esnasında duraylılıklarını kaybederler ve yamaç aşağı harekete geçebilirler. Meydana gelen hasarlar kayan malzemenin büyüklüğüne bağlıdır.

4.4. Sıvılaşma Potansiyeli Olan Zeminlerin İyileştirilme Yöntemleri

Depremlerin neden olduğu tekrarlı gerilimler sığ derinliklerde yer alan gevşek zeminlerde özel zemin davranışlarının gelişmesine yol açmaktadır. Dinamik yüklerin neden olduğu bu zemin davranışlarından biri olan sıvılaşma ve sebep olduğu zemin duraysızlıkları yapısal hasarlara neden olmaktadır.

Bir sahanın sıvılaşmaya karşı duyarlı olup olmadığı, duyarlı ise sıvılaşmanın oluşup oluşmayacağı tespit edildikten sonra, o sahada yapılması düşünülen herhangi bir mühendislik yapısı için durum değerlendirmesi yapılır.

Sıvılaşmaya karşı alınacak önlemler üç grupta toplanabilir;

- Alternatif sahalar mevcut ise sıvılaşmaya yatkın alanların terk edilmesi,
- Zemin iyileştirme yöntemlerine başvurulması,

- Sıvılaşma oluşması durumunda bile hasarı en aza indirecek yapısal tasarımlara başvurulması.

Zeminlerin sıvılaşmaya karşı iyileştirilmesi iki esasa dayanmaktadır. Bunlar, sıvılaşmaya neden olan aşırı boşluk suyu basıncının hızlı sönümlenmesini sağlamak ve zeminin sıkılaştırılması şeklinde açıklanabilir.

Sıkılaştırma yöntemleri, sıkılaştırma mekanizmasına göre;

- Vibroflatasyon
- Dinamik kompaksiyon
- Patlatma
- Ön yükleme
- Kompaksiyon enjeksiyonu, olarak söylenebilir.

Sıkılaştırma yöntemleri zemini olduğundan daha sıkı hale getir ve böylece zeminin rijitliği artar. Rijitliği artan zemin, çevrimsel gerilmeler karşısında boşluk suyu basıncının atmasına fırsat vermez.

Bazı yapı elemanları kullanılarak veya çakıl gibi doğal malzemeler kullanılarak sıvılaşmaya karşı duyarlı zeminler iyileştirilmektedir. Bu yöntemler zeminin taşıma gücünü arttırmak ve oturma miktarını en aza indirmek için kullanılmaktadır. Bu yöntemler;

- Taş kolonlar
- Kompaksiyon kazıkları
- Derin karıştırma teknikleri
- Enjeksiyon yöntemleri
- Drenaj teknikleri şeklinde sıralanabilir.

BÖLÜM 5. İNCELEME ALANI ZEMİNLERİNİN MÜHENDİSLİK ÖZELLİKLERİ

İnceleme alanı için Gölcük belediyesinin yaptırmış olduğu jeolojik-jeoteknik zemin araştırma raporlarından elde edilen veriler, çalışma alanı zeminlerinin mühendislik özelliklerinin belirlenmesinde temel alınmıştır. Zeminlere ait veriler derlenmiş ve tablo halinde sunulmuştur (Tablo 5.1 ve Tablo 5.2).

5.1.Gölcük yerleşim alanı zeminleri mühendislik özellikleri

Temel alınan rapor kapsamında arazi deneylerinden SPT ile zemin ortamlarının litolojileri hakkında bilgi sahibi olunmuş ve alınan numuneler ile yapılmış laboratuvar deneyleri ile ortaya konan zeminlerin fiziksel ve mühendislik özelliklerinden (w_n, g_n , Atterberg Limitleri) yararlanılmıştır.

İnceleme alanı içerisinde sıvılaşma potansiyeli analizlerinin yapıldığı Alüvyon (Qal) ve Arslanbey Formasyonu (Ta) içindeki kumlu ve çakıllı zeminlerin SPT N_{30} değerleri 9 ile 66 arasında değişmektedir (Tablo 5.2). İnceleme alanı içinde çok sıklıdan gevşeye kadar bütün zeminlere rastlanmıştır. Yeraltısu seviyesi bu formasyonlarda açılan sondaj kuyularında 0.00 m ile 4.80 m arasında değişmektedir. Bazı sondaj kuyularında (SK-17, SK-19, SK-20, SK-22, SK-39) yeraltısuyu gözlenmemiştir. İnceleme alanı içerisinde USCS (Birleştirilmiş Zemin Sınıflama Sistemi)' ye göre iri taneli zeminlerden SC, SM, SW, GM, GW türü zeminlere, ince taneli zeminlerden CH, CL, ML türü zeminlere rastlanmıştır. Laboratuvar deneylerine göre analizlerin yapıldığı Arslanbey Formasyonu (Ta) ve Alüvyon (Qal) zeminlerinin birim hacim ağırlıkları 20 kN/m^3 , $19,6 \text{ kN/m}^3$, $19,3 \text{ kN/m}^3$, $19,29 \text{ kN/m}^3$, 18 kN/m^3 , $17,4 \text{ kN/m}^3$ olarak farklılıklar göstermektedir.

CL türü zeminlerin LL' ye göre plastiklik dereceleri düşük ile orta arasında değişmektedir. SPT N_{30} değerine göre kıvamı orta katı ile sert arasındadır. CH türü

zeminlerin ise LL' ye göre plastiklik dereceleri orta ile çok yüksek arasında değişmektedir. SPT N₃₀ değerine göre kıvamı katı ile sert arasında değişmektedir. ML için plastiklik derecesi LL' ye göre düşük ile orta arasında değişmekte olup, kıvamlılığı SPT N₃₀ değerine göre katı ile sert arasında değişmektedir.

Tablo 5.1. Gölcük yerleşim alanındaki ince taneli zeminlerin mühendislik özellikleri.

Mühendislik Özellik		Zemin Türü		
		CL	CH	ML
LL (%)	Min. Değer	23	50	23
	Max.Değer	49	73	42
PL (%)	Min. Değer	13	14	21
	Max.Değer	25	31	28
PI (%)	Min. Değer	7	26	2
	Max.Değer	32	47	14
W _n (%)	Min. Değer	4	23	24
	Max.Değer	50	60	39
SPT N ₃₀	Min. Değer	7	11	12
	Max.Değer	73	50	66

Tablo 5.2. Gölcük yerleşim alanındaki iri taneli zeminlerin mühendislik özellikleri

Mühendislik Özellik		Zemin Türü		
		SC	SM	GM
W _n (%)	Min. Değer	11	11	5
	Max.Değer	91	29	15
SPT N ₃₀	Min. Değer	9	9	12
	Max.Değer	82	62	66
Elek Analizi (% ince)	Min. Değer	16	8	1
	Max.Değer	49	44	38

Sondaj kuyularında sıvılaşmanın beklendiği seviyelerin SPT N_{30} değerleri ve ince tane oranları (FC) düşüktür. Sıvılaşma potansiyeli tespit edilen kuyulardan SK-9 kuyusu tamamiyle killi birimleri kesmektedir. Bu kuyuda tespit edilen SPT N_{30} değerleri 19 ile 49 arasında değişmektedir. Killi ve siltli birimler sıvılaşmaya duyarlı olmayan zeminler olarak kabul edilmektedir. SK-9 gibi sadece killi ve siltli birimleri kesen kuyuların sıvılaşma potansiyelleri 0 olarak kabul edilmiştir. SK-11 kuyusu da siltli ve killi birimleri kesmektedir. Bu kuyuda siltli birimlerin SPT N_{30} değerleri 9 ile 42 arasında değişmektedir. 2 m ile 4 m arasında rastlanan siltli kumun SPT N_{30} değeri 14, ince tane oranı %44 ile %60 arasındadır. Bu kuyudaki sıvılaşmanın meydana gelebileceği derinlikler SPT N_{30} değerlerinin düşük olduğu yüzeyden itibaren 2m ile 4 m aralığına düşmektedir. Silt ve killerde SPT N_{30} değerleri 9 ile 64 arasında değişmektedir. SK-14 kuyusunda YAS gözlenmemiştir. 26.5 m ile 28.5 m arasında geçilen çakıllı kum %26 ince tane oranına sahip olup SPT N_{30} değeri 14 ile 34 arasında değişmektedir. Bu seviyede sismik yükten dolayı oturmalar beklenmektedir. Diğer seviyelerde killi ve siltli birimlere rastlanmıştır. Bu birimlerin SPT N_{30} değerleri 9 ile 36 arasında değişmektedir. Çalışma alanı içinde SK-14 kuyusu gibi yeraltısuyunun tespit edilemediği kuyularda meydana gelen oturmalar, sıvılaşma kaynaklı olmayıp tamamiyle sismik yükün etkisinde meydana gelmiş oturmalardır. Sıvılaşma potansiyeli olan kuyulardan SK-30 kuyusunda ince tane oranı %14 ile %44 arası değişmektedir. Bu kuyuda SPT değerleri fazla yüksek olmamakla birlikte 12 ile 45 arasında değişmektedir. Yüzeyden itibaren 1.80 m derinlikte bulunan YAS' tan itibaren kumlu seviyelerde sıvılaşma gözlenmiştir. Kuyudaki killi birim kesildikten sonra 11.50 m' den sonra başlayan kumlu seviyelerde ince tane oranı düşük olmasına karşın (%14) sıkı zemin özelliği taşıdığı için sıvılaşma beklenmemektedir ancak 13. m' den sonra SPT N_{30} değeri düşmekte bununla birlikte sıvılaşma problemi beklenmektedir. SK-36 kuyusunda SPT N_{30} değeri 16 ile 50 arasında, ince tane oranı %28 ile %45 arasında değişmektedir. Kuyuda 7.50 m ile 10 m arasında orta sıklıkta killi kum kesilmiştir. Killi kumun ince tane oranı %45, SPT N_{30} değeri 20 ile 18 arasında değişmektedir. Killi kum ile %28 ince tane oranına sahip SPT N_{30} değeri 16 ile 21 arasında değişen dolgu zeminde sıvılaşma potansiyeli tespit edilmiştir.

BÖLÜM 6. STANDART SIVILAŞMA ANALİZ YÖNTEMİ

Gölcük ve civarının sıvılaşma potansiyeli, standart sıvılaşma analiz yöntemi kullanılarak ortaya konulmuştur. Çalışma alanı ile ilgili toplanan tüm veriler bir araya getirilmiş ve standart sıvılaşma yöntemi kullanılarak analizler yapılmıştır.

6.1. Standart Sıvılaşma Analizi

1964 Alaska ($M_w=9.2$) ve Niigata ($M_s=7.5$) depremlerinden sonra Seed and Idriss (1971) sıvılaşma olasılığının hesaplandığı bir yöntem geliştirmişlerdir. Bu yöntem zaman içinde sırasıyla Seed (1976), Seed and Idriss (1971) ve Seed et. Al. (1985) tarafından revize edilerek geliştirilmiştir.

Standart sıvılaşma analizi, CivilTech corporation tarafından hazırlanan LiquefyPro (CivilTech 2002) sıvılaşma ve oturma analizini gerçekleştiren bir bilgisayar programı yardımıyla yapılmıştır.

LiquefyPro (CivilTech 2002) bilgisayar programı Çevrimsel Gerilme Oranı (CSR) ve Standart Penetrasyon (SPT N_{30}) değerlerinden hesaplanan Çevrimsel Dayanım Oranı (CRR) yaklaşımını esas almaktadır.

6.2. Analizde Kullanılan Veriler

Bu program dahilinde standart sıvılaşma analizi için aşağıda sıralanan veriler kullanılmaktadır.

- SPT N_{30} değerleri
- YAS seviyesi
- Deprem büyüklüğü ve ivmesi
- Zemin tabakalarının doğal birim hacim ağırlıkları (γ_n) ve ince tane oranı (FC)

- Zeminlerin USCS' ye göre sınıfları
- Zeminlerin derinlikleri

Program her bir sondaj logu için sıvılaşma analizi yapmaktadır. Sondaj kuyuları içindeki zeminlerin sıvılaşma potansiyeli ve sıvılaşmadan kaynaklanan oturmaları ayrı ayrı hesaplar.

Programda ilk olarak yeraltı su seviyesinin derinliği, toplam sondaj derinliği, ham SPT N_{30} değerleri ve derinlikleri, SPT derinliklerindeki zeminin doğal birim hacim ağırlıkları (γ_n) ve ince tane oranları (FC) girilir. Daha sonra programa sondaj logundaki zemin profil bilgileri tanıtılır. Program ilk olarak CSR' yi hesaplar. CSR, deprem büyüklüğü, ivme, toplam ve efektif gerilme, r_d katsayıları kullanılarak hesaplanır. Daha sonra gerekli düzeltmeler yaparak CRR' yi hesaplar. Program, CSR ve CRR değerlerini kullanarak sıvılaşmanın ölçütü olan bir güvenlik katsayısı elde eder. Son olarak ise sıvılaşma ile oluşabilecek oturmaları hesaplar.

İnceleme alanı içinde daha önce açılmış olan sondaj kuyularında, kum ve çakıllı kum seviyeleri için sıvılaşma potansiyeli çalışılmıştır.

6.2.1. Çevrimsel gerilme oranı (CSR)

Seed and Idriss (1971) tarafından geliştirilen yöntemde çevrimsel gerilme oranının hesabında kullanılan formül, 1996 yılındaki NCEER Workshop' da gözden geçirilmiştir. 1996 NCEER Workshop' da formülün önerilen şekli Denklem 6.1' de verilmektedir.

$$CSR = \frac{t_{av}}{s'_v} = 0.65 \cdot (s_0 / s'_0) \cdot a_{max} \cdot r_d \quad (6.1)$$

CSR= Çevrimsel gerilme oranı

σ_0 = Toplam düşey yük gerilmesi (kPa)

σ'_0 =Efektif düşey yük gerilmesi (kPa)

a_{max} = Maksimum yatay yer ivmesi (g)

r_d = Gerilme azaltım katsayısı

Denkleimde yer alan r_d (gerilme azatım katsayısı), farklı araştırmacılar tarafından farklı Şekillerde ifade edilmesine karşın NCEER 1996 raporuna göre derinlik değeri dikkate alınarak hesaplanmaktadır.

$$\begin{aligned} r_d &= 1.0 - 0.00765 \times z & z \leq 9.15 \text{ m} \\ r_d &= 1.174 - 0.6267 \times z & 9.15 \text{ m} < z \leq 23 \text{ m} \\ r_d &= 0.744 - 0.008 \times z & 23 \text{ m} < z \leq 30 \text{ m} \\ r_d &= 0.5 & z > 30 \text{ m} \end{aligned}$$

Deprem yükleri, çevrimsel kayma gerilmeleri ile ifade edilmektedir. CSR ile hesaplanan deprem yükleri, ortamdaki kaydırıcı kuvvettir ve sıvılaşma analizinde güvenlik katsayısının hesaplanmasında kullanılır.

6.2.2. Çevrimsel dayanım oranı (CRR)

Zeminin sıvılaşmaya karşı gösterdiği direncin ifadesidir. CRR için geliştirilen sıvılaşma eğrileri ve denklemler, büyüklüğü 7.5 olan depremler için geçerlidir. Farklı magnitdl depremler için yapılacak analizlerde bir magnitt düzeltme faktörü kullanılır. LiquefyPro sıvılaşma programı CPT, BPT ve SPT değerleri için CRR_{7.5} hesaplaması yapmaktadır. Bu alışma kapsamında yapılan sıvılaşma analizlerinde SPT verileri kullanılmıştır. Çevrimsel dayanım oranı hesabı üç adımda yapılır:

1. SPT darbe sayısının düzeltilmesi
2. İnce tane düzeltmesi
3. CRR_{7.5} hesaplanması

6.2.2.1. SPT darbe sayısının düzeltilmesi

Standart penetrasyon deneyi ile elde edilen değerlerde belli bir standardın yakalanabilmesi için, deney sonucunu etkileyen faktörlerin ortak kabul gören bir düzeltmeden geçirilmesi gerekmektedir. Ham SPT-N değerleri için düzeltme faktörleri Tablo 6.1' de gösterilmektedir. Bu faktörler göz önüne alınarak SPT değerleri için yapılacak düzeltmelerde Denklem 6.2' nin kullanılması önerilmiştir.

$$(N_1)_{60} = N_m \cdot C_n \cdot C_e \cdot C_b \cdot C_r \cdot C_s \quad (6.2)$$

N_m = SPT darbe sayısı

C_n = Üst tabaka yükü düzeltme katsayısı

C_e = Çekiç enerji oranı düzeltme faktörü

C_b = Kuyu çapı düzeltme faktörü

C_r = Tiji boyu düzeltme katsayısı

C_s = Numune alma metodu düzeltme katsayısı

Tablo 6.1. SPT N_{30} değerlerine uygulanan düzeltmeler (Youd and Idriss, 1997).

Faktör	Terim	Alet değişkeni	Düzeltilme
Örtü Yükü Basıncı	C_n	σ'_0 = Efektif düşey yük basıncı (ton/ft ²) 100 kpa=1,044 ton/ft ²	$C_n = \sqrt{1/S'_0}$ $0.4 \leq C_n \leq 1.7$
Enerji Oranı	C_e	Güvenli çekiç Donut çekiç Otomatik düşülü	0.60 – 1.17 0.45 – 1.00 0.9 – 1.6
Sondaj Kuyusu Çapı	C_b	65 mm – 115 mm 150 mm 200 mm	1.0 1.05 1.15
Sondaj Tiji Uzunluğu	C_r	3 m- 4 m 4m -6 m 6 m- 10 m 10 m- 30 m > 30 m	0.75 0.85 0.95 1.0 <1.0
Numune Alma Yöntemi	C_s	Standart Numune Alıcı Standart Olmayan Numune Alıcı	1.0 1.2

6.2.2.2. SPT değerleri için ince tane düzeltmesi

Sıvılaşma analizleri için geliştirilen denklem ve eğriler temiz kumlar için hazırlanmıştır. Bu nedenle killi ve siltli zeminlerde bu denklem ve eğrileri kullanabilmemiz için SPT darbe sayılarının temiz kumlara göre düzeltilmesi gerekmektedir.

Seed vd. (1985) ince tane oranının artmasıyla sıvılaşmaya karşı direncin arttığını ortaya koymuşlardır. Zemin içerisindeki ince taneli malzeme oranının artması SPT değerlerini azaltmaktadır. İnce tane oranının sıvılaşma direncine katkısını hesaplamak için çalışma kapsamında kullandığımız analiz programında, Idriss and Seed (1997) yaklaşımı uygulanmıştır. Idriss and Seed (1997) tarafından ince tane düzelmesi Denklem 6.3' te verilmiştir.

$$(N_1)_{60f} = a + b(N_1)_{60} \quad (6.3)$$

$$\begin{array}{ll} \alpha = 0 ; \beta = 1.0 & FC \leq \% 5 \\ \alpha = \exp [1.76 - (1.90/FC^2)]; \beta = 0.99 + FC^{1.5}/1000 & \% 5 < FC < \% 35 \\ \alpha = 5.0 ; \beta = 1.2 & FC \geq \% 35 \end{array}$$

$(N_1)_{60f}$ = düzeltilmiş SPT vuruş değerleri

FC = ince tane oranı (%)

6.2.2.3. CRR_{7.5} değerinin hesaplanması

CRR_{7.5}, NCEER Workshop' da Blake (1997) tarafından geliştirilen Denklem 6.4 yardımıyla bulunmaktadır.

$$CRR_{7.5} = \frac{a + c \cdot x + e \cdot x^2 + g \cdot x^3}{1 + b \cdot x + d \cdot x^2 + f \cdot x^3 + h \cdot x^4} \quad (6.4)$$

$$x = (N_1)_{60f}$$

$$a = 0.048$$

$$b = -0.1248$$

$$c = -0.004721$$

$$d = 0.009578$$

$$e = 0.0006136$$

$$f = -0.0003285$$

$$g = -1.673 \cdot 10^{-5}$$

$$h = 3.714 \cdot 10^{-6}$$

6.2.2.4. Güvenlik faktörü (FS)

Güvenlik katsayısı, sıvılaşma analizlerinde zeminin sıvılaşma potansiyelini ortaya koyan bir faktördür. Sıvılaşma potansiyeli güvenlik faktörü (FS) ile belirlenir. Mühendislik uygulamaları için bu faktörün 1 ve 1' den büyük olması istenir.

Sıvılaşma için güvenlik faktörü Denklem 6.5' teki gibi hesaplanmaktadır.

$$F.S = CRR_m / CSR_{fs} \quad (6.5)$$

Güvenlik katsayısı 1' den küçük ise sıvılaşma potansiyeli vardır. Güvenlik katsayısının 1 ve 1' den büyük olduğu durumlarda sıvılaşma potansiyeli yoktur.

6.2.3. Oturma hesapları

Bu çalışma kapsamında kullanılan LiquefyPro (CivilTech 2002) programı her bir zemin tabakası için oturma hesabı yapar. Kuru zeminler ve suya doymuş zeminler olarak iki kısımda oturma hesaplamaları yapılır. Belli bir derinlik için toplam oturma, kuru ve suya doymuş zeminlerdeki oturmaların toplamı ile bulunur.

6.2.3.1. Doymuş zeminlerde oturma hesapları

6.2.3.1.1. Tokimatsu and Seed (1987) yöntemi

Tokimatsu ve Seed (1987) yöntemine göre, sıvılaşma sonrası suya doymuş kumlar için oturma hesabı $(N_1)_{60}$ ve CSR arasındaki ilişki kullanılarak yapılır.

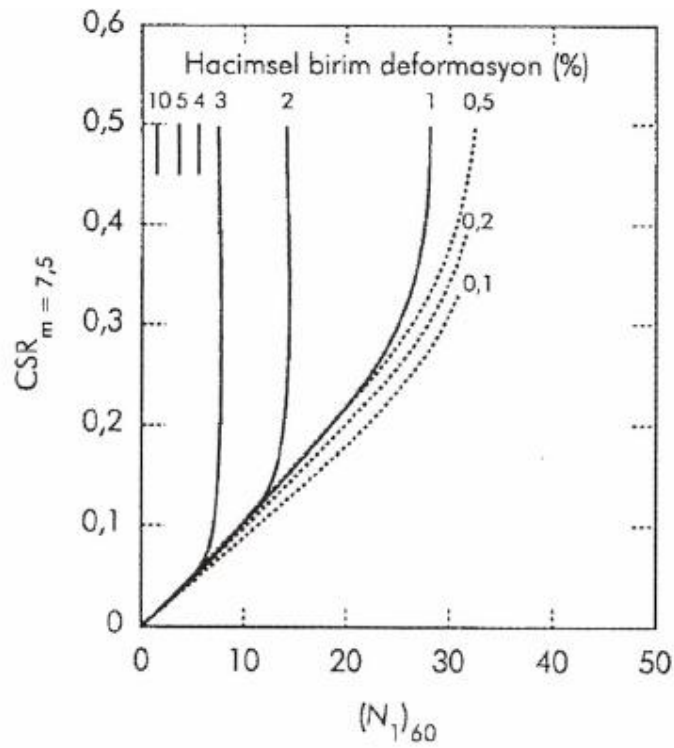
LiquefyPro, oturma analizinde SPT ve $(N_1)_{60}$ değerlerinden hacimsel birim deformasyonunu (ϵ_c) hesaplar. Her tabaka için ayrı ayrı hacimsel birim deformasyon hesabı yapılır. Tabakalar için hacimsel birim deformasyonu Şekil 6.1’deki grafik yardımı ile bulunur. En son olarak her tabakanın oturma miktarı, her tabakaya ait hacimsel birim deformasyonun tabakanın kalınlığı ile çarpılması ile hesaplanır (Denklem 6.6).

$$S_{\text{doygun}} = (\epsilon_c / 100) \cdot d_z \quad (6.6)$$

S_{doygun} = suya doygun zemindeki oturma (cm)

ϵ_c = hacimsel deformasyon (%)

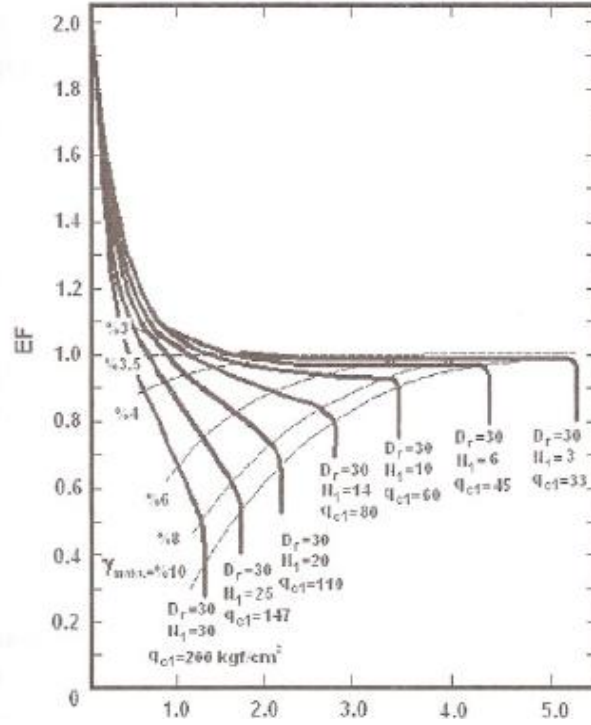
d_z = zemin tabakasının kalınlığı (cm)



Şekil 6.1. CSR ve düzeltilmiş SPT değerlerine göre hacimsel deformasyonlar.

6.2.3.1.2. Ishihara and Yoshimine (1992) yöntemi

Ishihara and Yoshimine yönteminde deprem sonrası oluşacak oturma hesabında, her tabaka için hacimsel deformasyon değerlendirilir. Hacimsel deformasyon, güvenlik katsayısı (FS) ve zeminin relatif sıkılığına (Dr) bağlı olarak Şekil 6.2' deki grafik kullanılarak bulunur.



Şekil 6.2. Sıvılaşma sonrası hacimsel değişim ile güvenlik katsayısı arasındaki ilişki (Ishihara and Yoshimine, 1992).

Hacimsel deformasyon hesabından sonra deprem sonrası oluşan oturma Denklem 6.7 kullanılarak hesaplanır.

$$S_{\text{doygun}} = (\varepsilon_v / 100) \cdot d_z \quad (6.7)$$

S_{doygun} = suya doygun zemindeki oturma (cm)

ε_v = Hacimsel deformasyon (%)

d_z = zemin tabasının kalınlığı (cm)

6.2.3.2. Kuru kumlarda oturma hesapları

Kuru zemin oturmaları her zemin tabakası için ayrı ayrı hesaplanır. Oturma hesabında basitleştirilmiş yöntemde, efektif devirsel kayma birim deformasyonu (γ_{eff}), sıvılaşma başlangıcı için önerilen devirsel birim deformasyon yaklaşımına benzer şekilde hesaplanır (Denklem 6.8).

$$\gamma_{\text{dev}} = 0.65 (a_{\text{max}}/g) (\sigma_v r_d / G \gamma_{\text{dev}}) \quad (6.8)$$

SPT verileri kullanılarak maksimum kayma modülü (G_{max}) hesaplanır (Denklem 6.10).

$$\sigma_m' = (1 + 2 K_0) / 3 \cdot \sigma_0' = 0.65 \cdot \sigma_0' \quad (6.9)$$

$$G_{\text{max}} = 10 \cdot \sqrt[3]{(N1)_{60}} \cdot \sqrt{2000 \cdot s_m'} \quad (6.10)$$

G_{max} = Maksimum Kayma Modülü (tsf)

K_0 = Yatay yer basınç katsayısı (0.47)

σ_0' = Efektif düşey gerilme (tsf)

σ_m' = Efektif çevre basıncı

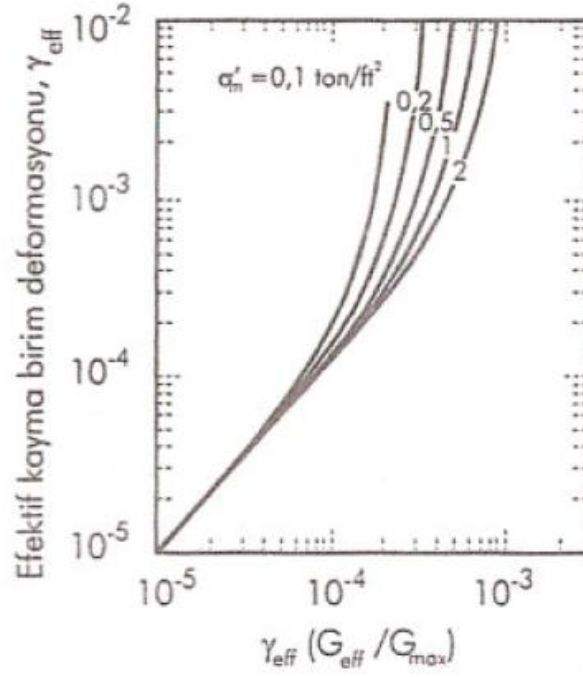
Kayma deformasyonu ile kayma modülü arasındaki ilişkiden efektif devirsel birim deformasyonu (γ_{eff}) bulunur (Denklem 6.11).

$$\gamma_{\text{eff}} (G_{\text{eff}} / G_{\text{max}}) \cdot f_s = 0.65 \cdot (\sigma_0' / G_{\text{max}}) \cdot a_{\text{max}} \cdot r_d \cdot f_s = \text{CSR}_{f_s} \cdot (\sigma_0' / G_{\text{max}}) \quad (6.11)$$

CSR = Çevrimsel Gerilme Oranı

f_s = Kullanıcının belirlediği güvenlik faktörü

Efektif kayma birim deformasyonu Şekil 6.3 kullanılarak bulunur.

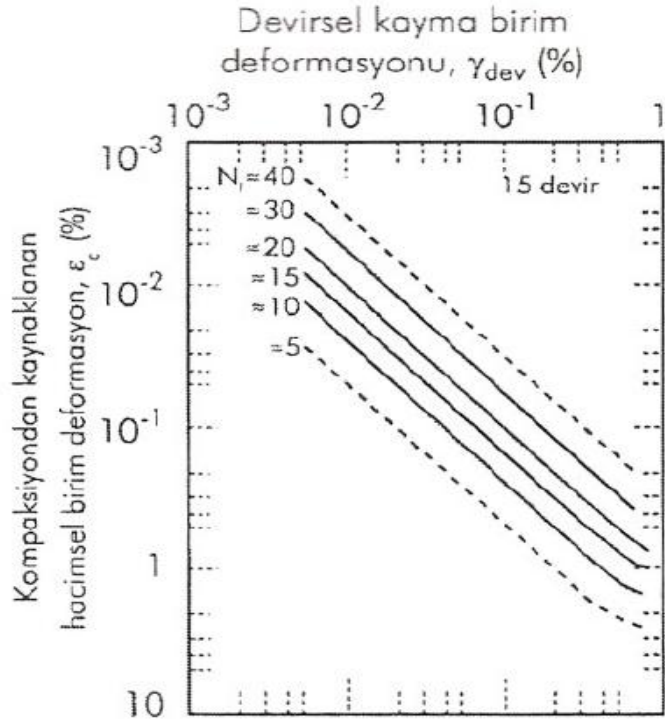


Şekil 6.3. Kesme deformasyon grafiği (Tokimatsu and Seed, 1987)

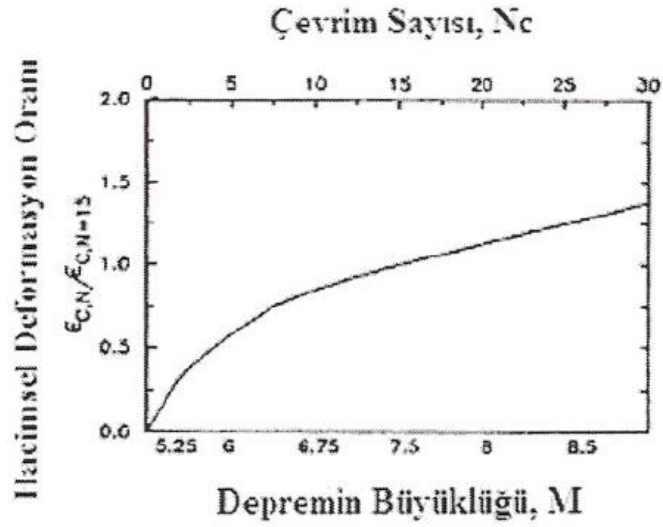
γ_{eff} değeri SPT direnci ile birlikte kullanılarak Şekil 6.5' den hacimsel deformasyon (ϵ_c 7.5) tespit edilir. ϵ_c hesaplanmasında Şekil 6.6' ya göre deprem büyüklüğü düzeltilmesinden yararlanır. ϵ_c , manyetüd ile hacimsel deformasyon oranının çarpılması ile hesap edilir (Denklem 6.12).

$$\epsilon_c = C_{\epsilon_c} \epsilon_{c7.5} \quad (6.12)$$

C_{ϵ_c} = Düzeltme faktörü



Şekil 6.4. Hacimsel deformasyon grafiği (Tokimatsu and Seed 1987).



Şekil 6.5. Manyetid D \ddot{u} zeltme Fakt \ddot{u} r \ddot{u} (Civil Tech 2002).

Son olarak deprem yüklerinin neden olduğu oturma (S_{kuru}) hesaplanır(Denklem6.13)

$$S_{kuru} = (2 \varepsilon_c / 100) d_z \quad (6.13)$$

ε_c = Hacimsel deformasyon (%)

d_z = Zemin tabakasının kalınlığı (cm)

6.2.3.3. Toplam oturma hesabı

Belli bir derinlik için yapılacak oturma hesabı, kuru ve suya doymun zeminlerde meydana gelen oturmaların toplamına eşittir (Denklem 6.14).

$$S_{toplam} = \sum_{enalt}^{YAS} S_{doymun} + \sum_{YAS}^d S_{kuru} \quad (6.14)$$

BÖLÜM 7. SIVILAŞMA ANALİZİ SONUÇLARI VE CBS' DE DEĞERLENDİRİLMESİ

Armutlu yarım adasının jeolojik yapısına katılan bütün formasyonlar ve litolojileri daha önce yapılmış çalışmalar ışığında incelenmiş Arslanbey Formasyonu (Ta) ve Alüvyon (Qal) dışındaki formasyonların metamorfik kayalarla ya da magmatik kayalarla temsil edildiği görülmüştür. Dolayısıyla kil-kum-çakıl ile temsil edilen Pliyosen yaşlı Arslanbey Formasyonu (Ta) ve kil-silt-kum birimlerin oluşturduğu Alüvyon (Qal) zeminler sıvılaşma açısından risk taşıyan alanlardır. Sıvılaşma analizinde sadece Arslanbey Formasyonu (Ta) ve Alüvyon (Qal) üzerinde Gölcük Belediyesi' nin daha önce açtırmış olduğu toplam 39 sondaj kuyusunun verileri kullanılmıştır.

Gölcük ve çevresinin sıvılaşma potansiyeli standart sıvılaşma analiz yöntemini esas alan LiquefyPro (Civil Tech 2002) bilgisayar programı yardımıyla ortaya konmuştur. Standart sıvılaşma analiz yöntemi sadece kumlu ve çakıllı zeminlerin sıvılaşma potansiyelini değerlendirdiğinden, analiz için öncelikle kumlu ve çakıllı seviyelerin olduğu sondaj kuyuları tespit edilmiştir.

Esas alınan yöntem gereği kohezyonsuz zeminlerin kesildiği sondaj kuyuları için bilgisayar programı yardımıyla analizler yapılırken, tamamiyle siltli ve killi birimlerin kesildiği sondaj kuyularında sıvılaşma potansiyeli sıfır kabul edilmiştir. Tamamiyle killi ve siltli birimleri kesen sözü edilen sondaj kuyuları SK-1, SK-2, SK-9, SK-16, SK-17, SK-20, SK-23, SK-25 nolu kuyular olup sıvılaşma analizine dahil edilmemiş ve sıvılaşma potansiyelleri doğrudan sıfır kabul edilmiştir.

Sıvılaşma potansiyelleri her bir kuyu için inceleme alanının 1. derece deprem kuşağı içerisinde yer alması nedeniyle $M=7.4$ ve 0.40 g yer ivmesi için hesaplanmıştır.

LiquefyPro (CivilTech 2002) sıvılaştırma analiz bilgisayar programında sondaj kuyularına ait istenen arazi ve laboratuvar deney verileri girilerek analizler tamamlanmıştır.

Toplam 39 sondaj kuyusunun 20 tanesinde sıvılaştırma potansiyeli tespit edilmiştir. Sıvılaştırma potansiyeli tespit edilmiş kuyular ve sıvılaştırmanın potansiyelinin tespit edildiği derinlikler Tablo 7.1’ de verilmektedir. Sıvılaştırmayla birlikte meydana gelen oturma miktarları 1.41 cm ile 35.05 cm arasında değişmektedir. Sıvılaştırmanın meydana geldiği kuyularda sıvılaştırma derinliği 1.5 m ile 20.50 m arasında değişmektedir. Her bir kuyunun sıvılaştırma potansiyeli, kuru oturma, ıslak oturma ve toplam oturma miktarları Tablo 7.2’ de verilmiştir.

Tablo 7.1. Sıvılaştırma potansiyeli olan kuyular ve sıvılaştırma derinlikleri.

Sondaj No	Kuyu Derinliği (m)	Sıvılaştırma Derinliği (m)
SK-3	30.45	5.50-7.50-9.50
SK-4	19.95	9.50-19.50
SK-6	15.45	3.50
SK-7	15.45	5.50
SK-10	24.45	1.50-20.50
SK-11	25.95	1.50-3.50
SK-12	39.45	3.00-11.00
SK-15	46.5	12.00-14.00-16.00-18.00
SK-21	19.95	3.50-5.50
SK-24	15.45	3.50-5.50-7.50-9.50-11.50-13.50
SK-26	30.45	7.50-9.50-11.50-13.50
SK-28	25.95	14.50-16.50-18.50-20.50
SK-30	15.45	2.50-8.50-14.50
SK-31	15.45	4.50-6.50-8.50-10.50-12.50-14.50
SK-33	15.45	7.50-9.50-11.50
SK-34	15.45	3.00
SK-35	15.45	9.00-11.00-13.00
SK-36	15.45	7.50-9.50
SK-37	15.45	7.50-9.50
SK-38	15.45	6.50

Tablo 7.2. Sıvılaştırma Analiz Sonuçları Özeti.

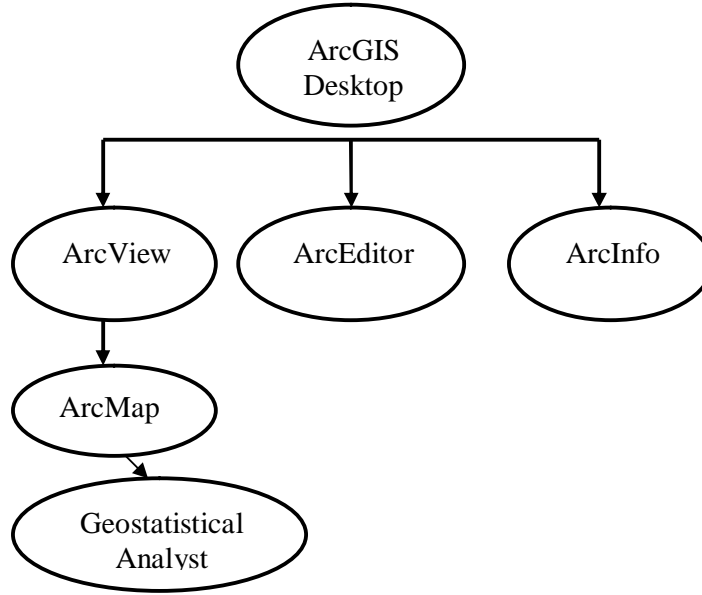
Sondaj No	X	Y	Z (m)	Sıvılaştırma Potansiyeli	Kuru Oturma (cm)	Islak Oturma (cm)	Toplam Oturma (cm)
SK-1	483793	4509517	20,6	0	0,00	0,00	0,00
SK-2	484258	4509436	28,9	0	0,00	0,00	0,00
SK-3	484500	4509395	25,7	1	1,25	15,84	17,09
SK-4	484803	4509551	18,4	1	0,05	7,20	7,26
SK-5	484835	4509875	9,4	0	0,00	0,00	0,00
SK-6	485158	4509666	8,5	1	0,58	3,76	4,34
SK-7	485080	4509359	12,8	1	0,00	1,41	1,41
SK-8	485239	4509410	9,25	0	0,00	0,00	0,00
SK-9	485482	4509473	4,4	0	0,00	0,00	0,00
SK-10	485806	4509259	6,0	1	0,00	2,51	2,51
SK-11	486002	4509345	6,0	1	0,00	6,28	6,28
SK-12	485762	4509742	1,5	1	0,00	1,94	1,94
SK-13	486081	4509818	1,3	0	0,00	0,00	0,00
SK-14	486251	4509616	3,3	0	1,23	0,00	1,23
SK-15	486516	4509700	5,2	1	0,00	13,99	13,99
SK-16	485480	4509165	19,7	0	0,00	0,00	0,00
SK-17	485809	4509083	10,3	0	0,00	0,00	0,00
SK-18	484680	4509240	31,75	0	0,04	0,42	0,46
SK-19	484440	4508965	38,5	0	1,32	0,00	1,32
SK-20	484350	4508900	33,5	0	0,26	0,00	0,26
SK-21	484032	4509048	46,5	1	0,09	14,93	15,02
SK-22	483630	4509048	42,0	0	0,93	0,00	0,93
SK-23	485445	4508440	67,5	0	0,00	0,00	0,00
SK-24	486043	4508322	34,9	1	0,00	21,68	21,68
SK-25	486480	4508603	22,55	0	0,00	0,00	0,00
SK-26	486321	4508375	23,4	1	0,00	21,70	21,70
SK-27	486607	4508832	18,8	0	0,00	0,00	0,00
SK-28	486403	4509118	11,9	1	0,00	21,95	21,95
SK-29	486240	4509840	2,25	0	3,15	0,00	3,15
SK-30	486230	4509243	9,4	1	0,11	21,96	22,07
SK-31	486403	4509435	8,35	1	0,15	34,90	35,05
SK-32	486210	4509440	6,5	0	1,74	0,00	1,74
SK-33	486201	4509049	11,1	1	0,50	12,90	13,40
SK-34	485678	4509572	3,5	1	0,00	1,24	1,24
SK-35	485414	4509517	4,8	1	0,00	10,12	10,12
SK-36	485182	4509682	7,85	1	0,04	10,69	10,72
SK-37	484689	4509685	17,0	1	0,00	7,14	7,14
SK-38	485964	4509735	1,65	1	1,07	9,97	10,98
SK-39	484885	4509483	16,8	0	6,17	0,00	6,17

7.1. Bu Çalışmada CBS

Gölcük zeminleri için yapılan sınıflama potansiyeli analizi çalışmasında kullanılan bir diğer program ArcGIS programıdır. İncelemenin son safhasında sondaj noktaları, sınıflama potansiyeli ve toplam oturma sonuçları, ArcGIS CBS (Coğrafi Bilgi Sistemi) programı kullanılarak sayısal ortamdaki harita üzerine aktarılmıştır. ArcGIS Desktop yazılımları ve kullanılan yazılım Şekil 7.1.' de gösterilmiştir. ArcGIS Desktop CBS uygulamalarının bütünüdür.

ArcView Desktop Arayüzleri:

- ArcMap
- ArcCatalog
- ArcToolbox
- ArcGlobe
- Model Builder



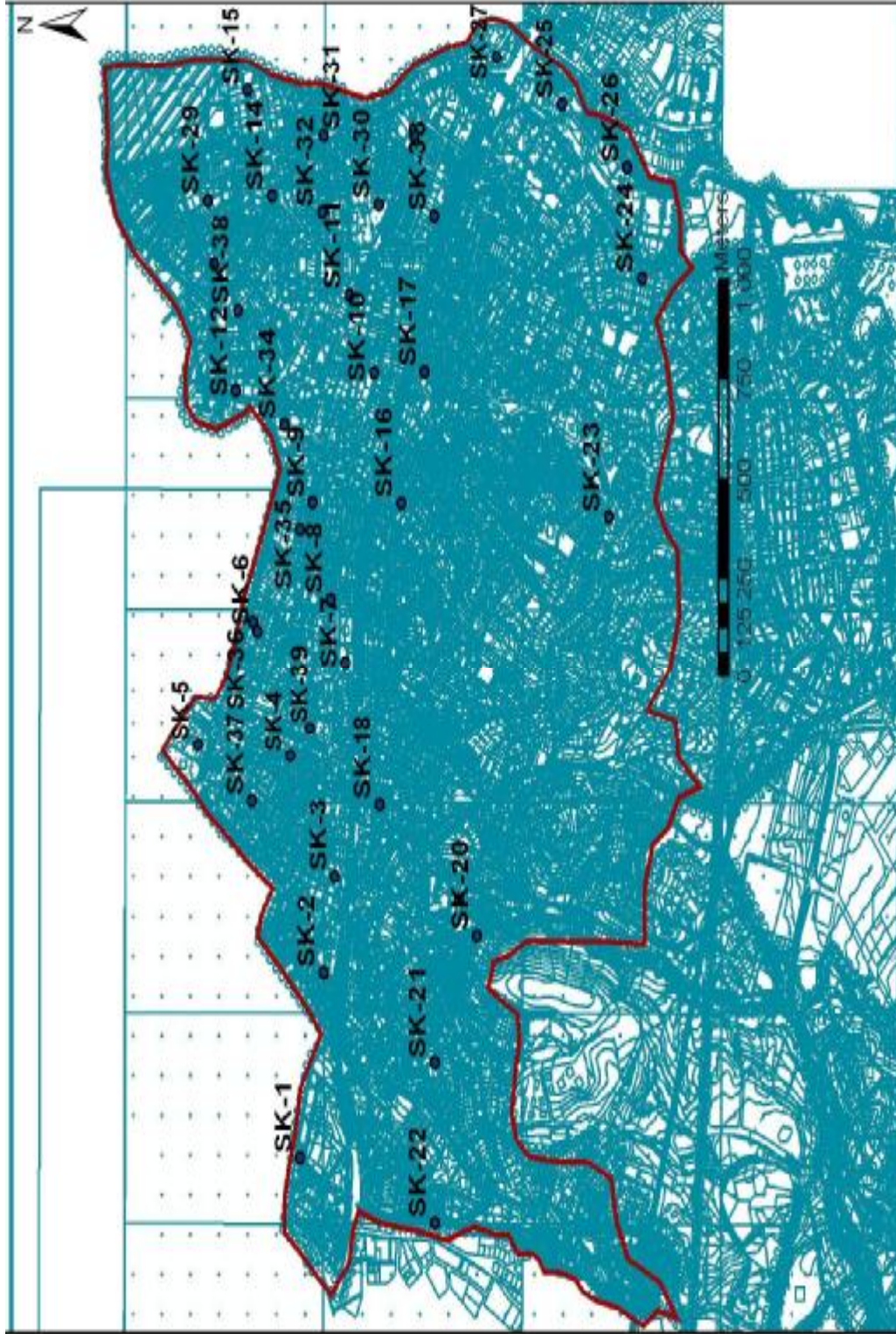
Şekil 7.1. ArcGIS Desktop yazılımları

Sıvılaşma analizi tamamlandıktan sonra analiz sonuçları CBS (Coğrafi Bilgi Sistemi) ortamına aktarılmıştır. Gölcük için yapılan sıvılaşma potansiyeli analizi için verilerini kullandığımız sondaj kuyularının saha içindeki dağılımı Şekil 7.2' de gösterilmektedir.

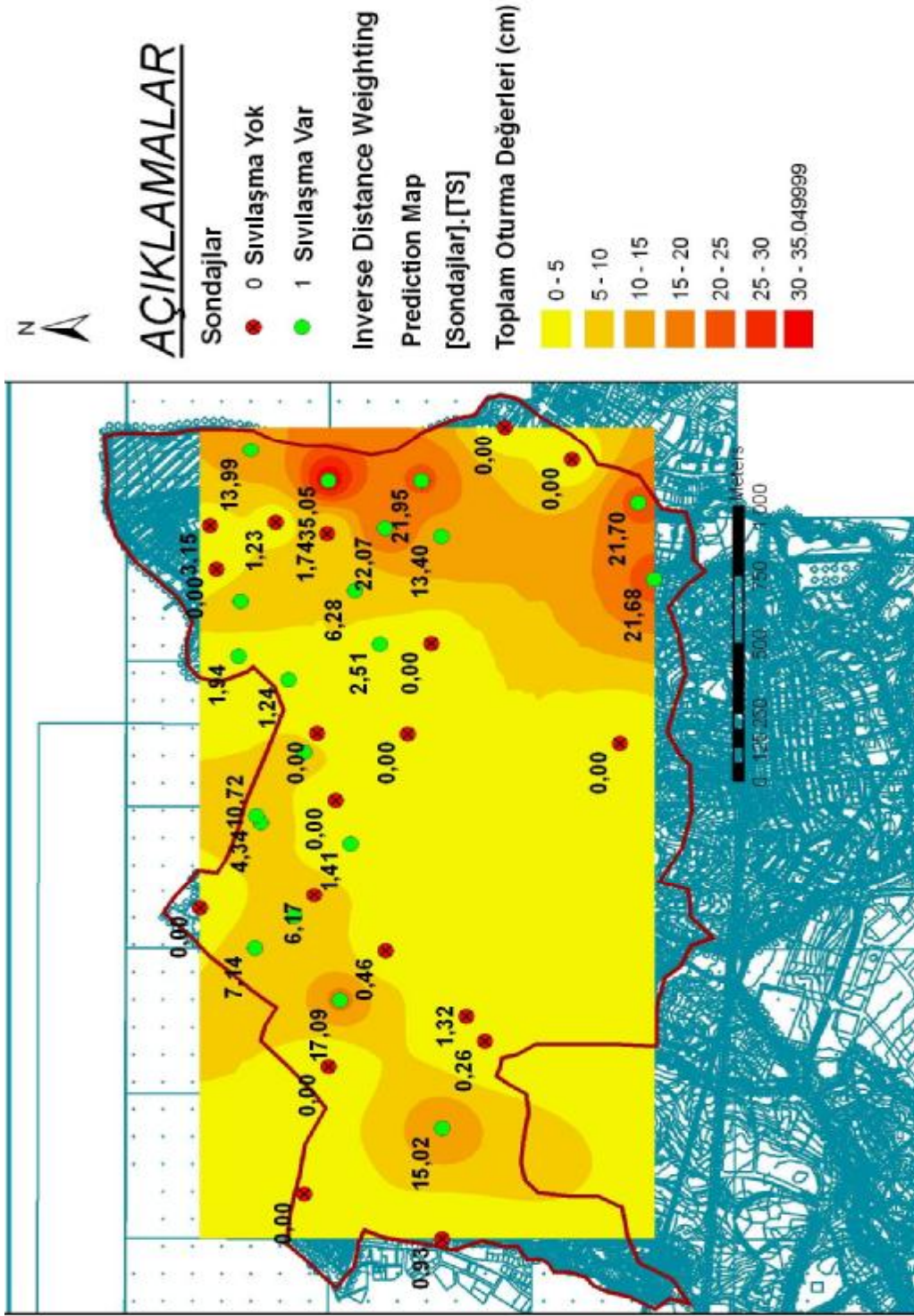
Şekil 7.3' de inceleme sahası içindeki kuyulara ait sıvılaşma potansiyelleri gösterilmektedir. Bu şekil üzerinde sıvılaşma potansiyelinin yanı sıra sıvılaşmayla veya sismik yükten dolayı meydana gelen oturmalar da harita üzerinde gösterilmiştir. Sıvılaşma potansiyeli analiz sonuçları hesaplandıktan sonra öncelikle Microsoft Office Excel'de hazırlanan ve dbf formatında kaydedilen sondaj noktalarına ait öznitelik bilgileri ArcMap ortamına aktarılmıştır. X ve Y koordinatlı noktasal veri tipindeki sondajlar kuyuları vektör dosyası (shape file) oluşturularak 1/5000 ölçekli sayısal harita üzerinde gösterilmiş ve etiketlenilmiştir. Buna benzer şekilde bu tablo içinde kaydettiğimiz, sondaj noktaları için yapılan sıvılaşma potansiyeli sonuçları da ArcMap ortamında noktasal olarak harita üzerinde gösterilmiştir. Sıvılaşma potansiyelini tanımlayan 1 (potansiyel mevcut) ve 0 (potansiyel mevcut değil) değerlerinin karşılığı programda tanımlanmıştır.

Toplam oturma miktarları ise koordinat noktaları belli olan sondaj noktalarını kullanarak oluşturulan sürekli yüzeylerle ifade edilmiştir. Bu işlem ArcMap programı altında çalışan Geostatistical Analyst modülü ile gerçekleştirilmiştir. Yapılan jeostatistik analizle birlikte toplam oturma miktarları için, koordinat noktaları belli sondaj noktalarından kontur yüzey fonksiyonu kullanılarak sürekli yüzeyler oluşturulmuştur. Bu durum elimizde verinin olmadığı yerler için de tahmini değerler ileri sürmemizi, yorum yapmamızı sağlamıştır. İnceleme alanı içerisinde sondaj kuyuları yoğun olarak kuzey ve doğuda açılmıştır. Daha çok alüvyon (Qal) zemini kapsayan bu alanların dışında inceleme alanının orta ve güney kesiminde sondaj kuyuları açılmamıştır. Jeostatistiksel analiz ile noktasal verileri baz alan konturlar oluşturulmuş ve sondaj kuyularının olmadığı alanlar için toplam oturma değerleri hesaplanmıştır.

Sıvılaşmadan ve sismik y¼kten dolayı meydana gelen noktasal oturmalarđan oturma konturları elde edilmiştir (şekil 7.3). Buna g¼re, en fazla oturma miktarlarına inceleme alanının doğu ve g¼neydoęu kesiminde rastlanmıştır.



Şekil 7.2. Sondaj kuyularının inceleme sahası içindeki dağılımları.



şekil 7.3. İnceleme sahası içindeki kuyuların sivilaşma potansiyelleri ve toplam oturma eğrileri.

SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Zemin sıvılaşması, 1999 Kocaeli depreminde yapılarda büyük hasarlara neden olmuştur. Bunun nedeni sıvılaşmaya karşı duyarlı alanlar üzerinde yerleşim alanlarının bulunması ya da daha önce zemin iyileştirilmesine yönelik bir çalışmanın yapılmamasıdır. Gölcük' te 1999 depreminde hasarların en yoğun olduğu alanlar Pliyosen yaşlı Arslanbey formasyonu (Ta)' nun ve Kuvaterner yaşlı Alüvyon zeminin (Qal) hakim olduğu alanlardır. Bu alanlar çimentolanmamış, gevşek zeminleri temsil ederler. Deprem sonrasında bu alanlarda binaların yan yatması, zemin içine göçmeleri gibi durumlara sıklıkla rastlanmıştır. Bu nedenle genç tutturulmamış kırıntılı çökellerin hakim olduğu bu alanlardaki zeminlerin depremdeki davranışları ortaya konmaya çalışılmıştır.

Depremlerin neden olduğu zemin kaynaklı hasarları en aza indirebilmek için, yapılaşmanın öncesinde zeminlerin dinamik davranışları analiz edilmelidir. Gölcük gibi I. Derecede deprem kuşağı içerisinde yer alan bütün yerleşim alanları için sıvılaşma analizleri yapılmalı ve CBS ortamında sıvılaşma potansiyeli haritaları çıkarılmalıdır. Gölcük için analiz sonuçları kullanılarak ortaya çıkarılan sıvılaşma potansiyeli haritası (Şekil 7.3), deprem sonrası sıvılaşmanın ya da sismik yükün etkisiyle, zeminden kaynaklanabilecek yapısal hasarların önüne geçilmesi açısından yol gösterici bir niteliğe sahiptir.

Bu çalışma kapsamında Gölcük ve çevresi için yapılan sıvılaşma analizlerinde kullanılan veriler, Arslanbey Formasyonu (Ta) ve Alüvyon (Qal) üzerinde açılan sondaj kuyularından elde edilmiştir.

Bu çalışmada sıvılaşma analizi için öncelikle zemin tipi ve yeraltı su seviyesine bakılmıştır. Sıvılaşabilir zeminlerin varlığı ve yeraltı suyunun konumu sıvılaşma analizi için ön değerlendirme kabul edilmiştir.

İnceleme alanı içerisinde USCS (Birleştirilmiş Zemin Sınıflama Sistemi)' ye göre iri taneli zeminlerden SC, SM, SW, GM, GW türü zeminlere, ince taneli zeminlerden CH, CL, ML türü zeminlere rastlanmıştır. Sıvılaşma analizi için verilerini kullandığımız 39 sondaj kuyusundan 20 tanesinde sıvılaşma potansiyeli tespit edilmiştir. SK-3, SK-4, SK-6, SK-7, SK-10, SK-11, SK-12, SK-15, SK-21, SK-24, SK-26, SK-28, SK-30, SK-31, SK-33, SK-34, SK-35, SK-36, SK-37, SK-38 kuyuları sıvılaşma potansiyelinin tespit edildiği kuyulardır. Bu kuyularda sıvılaşmanın beklediği derinlikler kumlu ve çakıllı seviyelerin mevcut olduğu derinlikler olup bu derinliklerin 1.50 m ile 20.50 m arasında değiştiği tespit edilmiştir. Sıvılaşma potansiyeli taşıyan seviyelerin ince tane içerikleri %6 ile %59 arasında değişmektedir. Sıvılaşma potansiyeli tespit edilen kuyularda YAS seviyesi yüzeyden itibaren 0.10 m ile 4.80 m derinlikleri arasında değişmektedir. Sıvılaşma potansiyeli ve sıvılaşma kaynaklı oturmalar değerlendirilirken diğer taraftan YAS' ın tespit edilmediği fakat sıvılaşabilir zeminlerin kesildiği sondaj kuyuları da sıvılaşma analizine dahil edilmiş ve sismik yükten kaynaklanabilecek oturmalar hesaplanmıştır. Sıvılaşma analiz sonuçlarına göre $M=7.4$ ve 0.04 g yer ivmesi için meydana gelebilecek toplam oturmalar 0 cm ile 35.05 cm arasında değişmektedir. Toplam oturma miktarları ve saha içerisindeki dağılımları harita (Şekil 7.3) üzerine aktarılmıştır.

Zemin sıvılaşması, 1999 Kocaeli depreminde yapılarda büyük hasarlara neden olmuştur. Hasarların nedeni uygun olmayan zemin koşulları ve bu zeminler üzerinde yerleşim alanlarının bulunması ya da daha önce zemin iyileştirilmesine yönelik bir çalışmanın yapılmamasıdır. Depremlerin neden olduğu zemin kaynaklı hasarları en aza indirebilmek için, herhangi bir mühendislik yapısı inşaatı öncesinde zeminlerin dinamik davranışları analiz edilmelidir.

KAYNAKLAR

ALTUN, S., “Suya Doygun Kumların Drenajsız Koşullardaki Davranışının Tekrarlı Yükler Altında Burulmalı Kesme Deney Aleti ile İncelenmesi”, *DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, Cilt: 6, Sayı: 1, 139-152 ss, (2004).

AYDAN, Ö., ULUSAY, R., KUMSAR, H., and SÖNMEZ, H., “Engineering Geological Characteristics of the 1998 Adana-Ceyhan Earthquake, with Particular Emphasis on Liquefaction Phenomena and the Role of Soil Behaviour”, *Springer-Verlag Environmental Geology* **59**, pp. 99-118, (2000).

AYDAN, Ö., ULUSAY, R., and KANIBİR, A., “Assesment of Liquefaction and Lateral Spreading on the shore of Lake Sapanca During the Kocaeli (Turkey) Earthquake”, *Elsevier Engineering Geology* **83**, pp. 307-331, 25 p, (2006), <http://www.elsevier.com/locate/enggeo>.

BARAI, S. V., and AGARWAL, G., “Studies on Instance Based Learning Models for Liuefaction Potential Asssesment”. *EJGE*, Volume 7, Bundle B, 12 p., (2002), http://www.ejge.com/index_ejge.htm

BARKA, A., AKYÜZ, H.S. vd.,. “The Surface Rupture and Slip Distribution of the 17 August 1999”. *Bulletin of the Seismological Society of America*, Volume 92, Number 1, pp. 43-60, (2002).

BELİRTİ MÜHENDİSLİK-DANIŞMANLIK A.Ş., *Gölcük Belediyesi Kuzey Gölcük Alanının İmara Esas Jeolojik – Jeoteknik Etüt Raporu*, (2000).

CHU, D. B., STEWART, J. P. et. al., “Documentation of Soil Conditions at Liquefaction and Non-Liquefaction Sites from 1999 Chi-Chi (Taiwan) Earthquake”, *Elsevier Soil Dynamics and Earthquake Engineering* **24**, 647-657, 11 p,(2004).

ÇETİN, K. Ö., UNUTMAZ, B., “Zemin Sıvılaşması ve Sismik Zemin Davranışı”, *Türkiye Mühendislik Haberleri (TMH)*, Sayı 430-2004/2, 32-37 ss, (2004).

CIVILTECH SOFTWARE, “LiquefyPro Liquefaction and Settlement Analysis Software Manual”, Version 3.1B, 50 p., Palo Alto, California, U.S.A, (2002).

DERİNÖZ, N., “Hakkari Barajı ve HES Projesi Zemin Sıvılaşma Riskinin Belirlenmesi”, *Türkiye Mühendislik Haberleri(TMh)*, Sayı 431-2004/3, 33-38 ss, (2004).

EMRE, Ö., ERKAL, T., TEHEPALYGA, A., KAZANCI, N., KEÇER, M., ÜNAY, E., “Doğu Marmara Bölgesin’ nin Neojen-Kuvaterner’ deki Evrimi”, *M.T.A. Dergisi*, No:120, 289-314 ss., Ankara, (1998).

ERKEN, A., ÖZAY, R., KAYA, Z., ÜLKER, M. B. C., ve ELİBOL, B., “Depremler Sırasında Zeminlerin Sıvılaşması ve Taşıma Gücü Kayıpları”, *T.M.H*, Sayı 431-2004/3,7s, (2004).

GÖNCÜOĞLU, M. C., ERENDİL, M., TEKELİ, O., ÜRGÜN, B., AKSAY, A. ve KUŞÇU, İ., “Armutlu Yarımadası’ nın Doğu Kesiminin Jeolojisi”, *M.T.A., Rapor no:77861*, 43 s. (Yayınlanmamış), (1986).

GRATCHEV, I. B., SASSA, K. et al., “The Liquefaction of Clayey Soils under Cyclic Loading”, *Elsevier Engineering Geology 86* , 70-84, 15 p., (2006).

KARAKAŞ, A., “İzmit Havzası Genç Çökellerinin Deprem Esnasındaki Davranışları”, Doktora Tezi, *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 233 s, Kocaeli (2005)

KETİN, İ., “Genel Jeoloji”, *İ.T.Ü. Yayını*, 340s., İstanbul (1973).

KONAK, M., “Gölcük-Değirmendere (Kocaeli) Bölgesinde 17 Ağustos 1999 Depreminde oluşan Yapı Hasarlarına Zemin Özelliklerinin Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 52 s, İzmit/ Kocaeli, (2002)..

KRAMER, S. L.,. “Geoteknik Deprem Mühendisliği”, Kayabalı, K., Gazi kitabevi, 379-455, (2003).

LiquefyPro Liquefaction and Settlement Analysis Software Manuel, *CivilTech Corporation*, Version 3 and Later, (2002).

MOLLAMAHMUTOĞLU, M., BABUÇÇU, F., “Zeminlerde Sıvılaşma Analiz ve İyileştirme Yöntemleri”, Gazi kitabevi, 61-148, (2006).

Maden Tetkik ve Arama Marmara Bölge Müdürlüğü, “Kocaeli İlinin Jeolojisi ve Doğal Kaynakları”, *M.T.A.*, Kocaeli, (2003).

Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, “17 Ağustos 1999 İzmit Depremi Yüzey Kırığı”, Editör Emre Ö., Awata Y., Duman T. Y., *M.T.A.*, Ankara, (2003).

National Center for Earthquake Engineering Reserarch, “Proceedings of the NCEER Workshop on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils”, *NCEER-97-0022*, 276 p., Buffalo, New York, U.S.A, (1997).

ÖZSOY, B. ve DURGUNOĞLU, T.,. “Sıvılaşma Etkilerinin Yüksek Kayma Modüllü Zemin-Çimento Karışımı Kolonlarla Azaltılması”, *Beşinci Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, İstanbul, (2003).

SEED, H. B., TOKİMATSU, K., HARDER, L. F., and CHUNG, R. M., “Influence of SPT Procedures in Soil Procedures in Soil Liquefaction Resistance Evaluations”, *Journal of Geotechnical Engineering, ASCE*, Vol. 111, No: 12, 1425-1445 pp, (1985).

SEYMEN, İ., “İzmit Körfezi ve Çevresinin Jeolojisi. İzmit Körfezi Kuvaterner İstifi”, E. Meriç (edt.), *Kocaeli Valiliği Çevre Koruma Vakfı*, 1-21 ss., Kocaeli, (1995).

SÖNMEZ, H., “Modification of the Liquefaction Potential Index and Liquefaction Susceptibility Mapping for a Liquefaction-prone Area (İnegöl/Turkey)”, *Springer-Verlag, Environmental Geology* **44**, 862-871, 10p, (2003).

T.C Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü Deprem Araştırma Dairesi Başkanlığı, *17 Ağustos 1999 İzmit Körfezi Depremi Raporu*, Demirtaş, R. (edt.), 295 s, (2000).

ULUSAY, R., AYDAN, Ö., KUMSAR, H., SÖNMEZ, H., TUNCAY, E., “Türkiye’ de Son Depremlerde Görülen Sıvılaşma Olgusu ve Batı Anadolu’ da Sıvılaşma Potansiyeline Genel Bir Bakış”, *Batı Anadolu’ nun Depremselliği Sempozyumu*, 323-336 ss, (2000).

ULUSAY, R., “Uygulamalı Jeoteknik Bilgiler”, *TBMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları: 38*, 385 s, (2001).

UZUNER, B. A., “Çözümlü Problemlerle Temel Zemin Mekaniği”, Teknik Yayınevi, 412 s., Trabzon, (2001).

ÜNDÜL, Ö., GÜRPINAR, O., “Çokal Vadisindeki (Gelibolu) Alüvyal Zeminlerin Sıvılaşma Potansiyeli”, *İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yer Bilimleri Dergisi, C. 16, S. 1*, 67-80 ss, (2003).

WANG, C. H., “Prediction of the Residual Strenght of Liquefied Soils”, *Civil and Environmental Engineering, University of Washington*, 493 p, (2003).

ÖZGEÇMİŞ

1982 yılında İzmit/Kocaeli' de doğdu. İlköğretimi İzmit Ulugazi İlköğretim okulunda, liseyi Derince 19 Mayıs Yabancı Dil Ağırlıklı Lise' de okudu. 2000 yılında Hacettepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümünü kazandı. 2005 yılında Hacettepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği bölümünden 2004/2005 Akademik Yılı Bölüm Üçüncüsü olarak mezun oldu. 2007 yılında jeoloji mühendisi olarak M.T.A Genel Müdürlüğü' ne atandı.